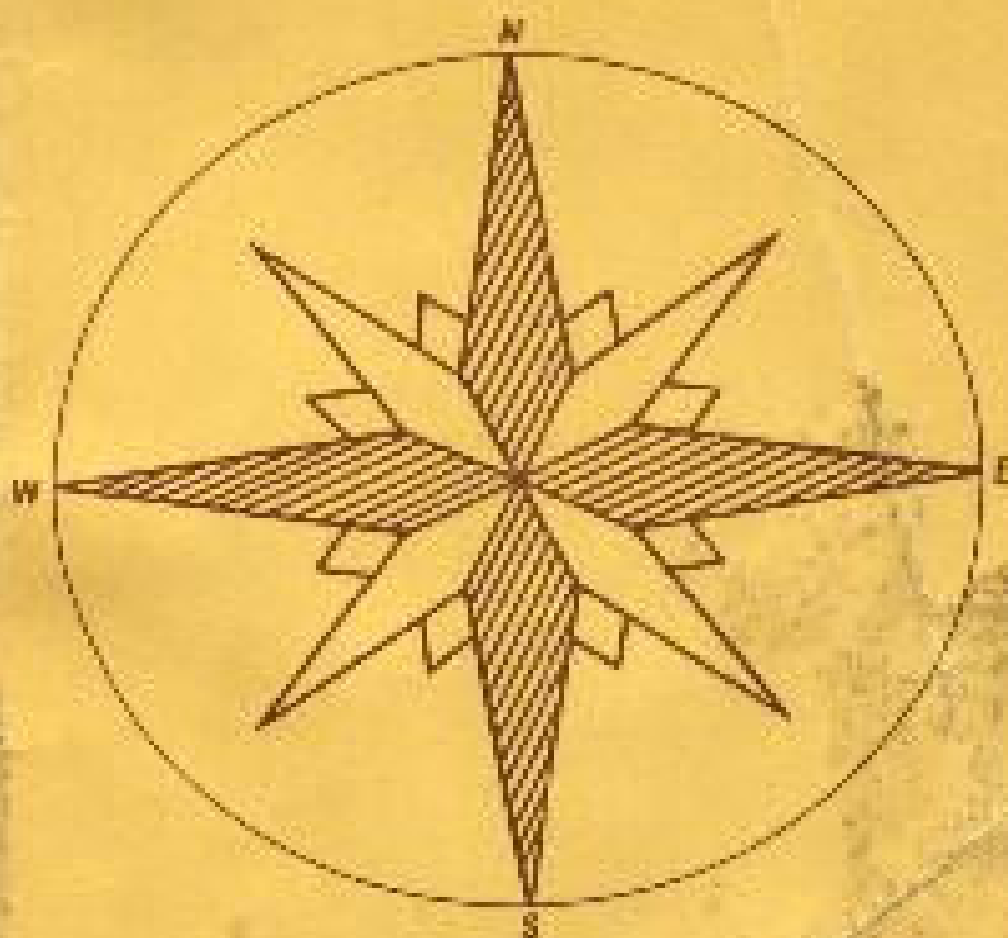


AEROKLUB PRL

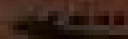


# NAWIGACJA



SZKOLENIE SZYBOWCOWE

WYDAWNICTWA KOSMOSKACJI I JACIENOSCI



AEROKLUB POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

# NAWIGACJA

WYDAWNICTWA KOMUNIKACJI ŁĄCZNOŚCI

W formie elektronicznej wprowadzone przez Bernarda Jakubowskiego  
Autorzy: PELAGIA MAJEWSKA  
ANDRZEJ PAZIO

Okładkę projektował KRZYSZTOF RACINOWSKI

*Książka zawiera podstawowe wiadomości o przygotowaniu przelotu przed rozpoczęciem lotu (wytyczenie trasy, przygotowanie map, sprawdzenie przyrządów itd.) oraz o nawigowaniu, tj. o czynnościach pilota szybowcowego wykonywanych podczas lotu.*

*Książka należy do serii obejmującej całokształt szkolenia szybowcowego. Przeznaczona jest przede wszystkim dla kandydatów na pilotów szybowcowych, pilotów oraz instruktorów szybowcowych.*

Redaktor TERESA DRZAL

Redaktor techniczny ALINA CZARNECKA

Korektor NINA NIUŃKO

**BIBLIOTEKA AEROKLUBU POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ  
LUDOWEJ**

W cyklu wydawniczym Biblioteki Aeroklubu PRL przygotowanym przez Dział Szkolenia Lotniczego Zarządu Głównego Aeroklubu PRL pierwszą serię stanowi „Szkolenie Szybowcowe”.

W serii tej znajdzie Czytelnik pełny materiał szkoleniowy obejmujący wiadomości z zakresu szkolenia szybowcowego, niezbędne do otrzymania srebrnej odznaki oraz licencji pilota szybowcowego. Seria ta obejmuje następujące tematy, ujęte w 11 broszurach: historia lotnictwa , przepisy lotnicze, mechanika lotu, meteorologia, nawigacja, medycyna lotnicza, budowa szybowców, wyposażenie szybowców, urządzenia startowe, eksploatacja szybowców i zasady pilotażu.

Każda broszura z omawianej serii stanowi odrębną całość tematyczną i może służyć za materiał samokształceniowy lub za pomocniczy podręcznik dla słuchaczy odpowiednich kursów teoretycznych. Tematy kontrolne podane na końcu każdej broszury są jednocześnie pytaniami Lotniczej Komisji Egzaminacyjnej przeprowadzającej egzaminy na licencję pilota szybowcowego.

Czytelnicy interesujący się lotnictwem, lecz nie zajmujący się praktycznym szkoleniem lotniczym, znajdą w naszym cyklu interesującą lekturę, wyjaśniającą przystępnie zagadnienia lotnictwa.

*Dział Szkolenia Lotniczego  
Aeroklubu PRL*

## **SPIS TREŚCI**

SPIS TREŚCI .....	4
WYKAZ OZNACZEŃ .....	5
WSTĘP .....	6
Rozdział 1 .....	7
MAPY LOTNICZE .....	7
Umowna geometria kuli ziemskiej .....	7
Siatka geograficzna .....	7
Zależność między długością geograficzną a czasem .....	9
Rzuty kartograficzne .....	10
Rodzaje map lotniczych .....	13
Podziałka mapy .....	13
Oznaczenia map (tzw. nomenklatura map) .....	14

Czytanie map topograficznych.....	14
Rozdział 2.....	16
LOTNICZA BUSOLA MAGNETYCZNA.....	16
Podstawowe wiadomości o magnetyzmie ziemskim.....	16
Działanie ziemskiego pola magnetycznego na igłę magnetyczną.....	17
Budowa i charakterystyka lotniczej busoli magnetycznej.....	18
Dewiacja busoli.....	21
Kompensacja busoli.....	22
Rozdział 3.....	24
WIELKOŚCI PRZYJĘTE W NAWIGACJI.....	24
Określanie kierunków na kuli ziemskiej.....	24
Kąt drogi geograficznej i magnetyczny.....	25
Kurs.....	27
Oznaczenie kierunku i prędkości wiatru.....	29
Prędkość lotu.....	30

## WYKAZ OZNACZEŃ

<i>R</i>	- promień kuli ziemskiej
$\lambda$	- długość geograficzna
$\varphi$	- szerokość geograficzna
<i>N</i>	- północ
<i>S</i>	- południe
<i>E</i>	- wschód
<i>W</i>	- zachód
<i>NG</i>	- północ geograficzna
<i>SG</i>	- południe geograficzne
<i>NM</i>	- północ magnetyczna
<i>SM</i>	- południe magnetyczne
<i>H<sub>o</sub></i>	- całkowita siła magnetyzmu ziemskiego

$H$	- składowa pozioma magnetyzmu ziemskiego
$Z$	- składowa pionowa magnetyzmu ziemskiego
$\varphi \ominus$	- inklinacja magnetyczna
$\Delta M$	- deklinacja magnetyczna
$\Delta B$	- dewiacja busoli
$\Delta V$	- wariacja
$B$	- różnica między kursem magnetycznym i kursem busoli, będąca sumą $\Delta B$ i błędu ustawienia
$\Delta U$	- błąd ustawienia
$KD$	- kąt drogi
$KDG$	- kąt drogi geograficzny
$KDM$	- kąt drogi magnetyczny
$NKD$	- nakazany kąt drogi
$RKD$	- rzeczywisty kąt drogi
$NKDM$	- nakazany kąt drogi magnetyczny
$RKDM$	- rzeczywisty kąt drogi magnetyczny
$KG$	- kurs geograficzny
$KM$	- kurs magnetyczny
$KB$	- kurs busoli
$U$	- prędkość wiatru
$D_m$	- meteorologiczny kierunek wiatru
$D$	- nawigacyjny kierunek wiatru
$V$	- prędkość powietrzna
$V_i$	- prędkość instrumentalna (odczytywana z prędkościomierza)
$V_s$	- prędkość przeskoku
$V_p$	- prędkość przelotowa
$W$	- prędkość podróżna przelotu
$t_s$	- czas lotu na odcinkach prostych
$t_w$	- czas krążenia w kominach termicznych
$E$	- kąt wiatru
$KZ$	- kąt znoszenia
$KZ_{max}$	- kąt znoszenia maksymalny
$KPT$	- końcowy punkt trasy
$WPT$	- wyjściowy punkt trasy
$PZK$	- punkt zmiany kierunku (punkt zwrotny trasy).

## WSTĘP

Nawigacja powietrzna mówi o sposobie prowadzenia statku powietrznego po obranej trasie. Nazwa przedmiotu pochodzi od łacińskiego słowa „**navigare**”, co oznacza – żeglować.

Nawigacja jest zbiorem wiadomości o przygotowaniu przelotu przed rozpoczęciem lotu oraz o nawigowaniu, tj. o czynnościach pilota wykonywanych podczas lotu, zmierzając do zachowania orientacji i przewidzianej trasy.

W przelotach samolotowych zasadniczym rodzajem nawigowania jest prowadzenie samolotu po trasie na ustalonej wysokości według uprzedniego obliczonego kursu busoli, prędkości i czasu lotu; orientacja wzrokowa jest tylko czynnikiem pomocniczym. W nowoczesnym lotnictwie do nawigowania służą urządzenia radionawigacyjne, umożliwiające przeloty po wyznaczonej trasie bez widoczności ziemi.

Pilot szybowca natomiast, który do wykonania przelotu wykorzystuje prądy wznoszące, występujące zazwyczaj przy dobrej widzialności, nawiguje głównie w oparciu o orientację wzrokową, polegającą na porównywaniu terenu z mapą i mapy z terenem. Odczyt busoli, kontrola prędkości i czasu lotu są dla szybownika czynnikami pomocniczymi, jednak nie mniej istotnymi.

Przeloty szybowcowe odbywają się na zmiennej wysokości i ze zmienną prędkością, a konieczność wyszukiwania prądów wznoszących zmusza szybowników do odchodzenia od obranej trasy lotu. Wymaga to od pilota szybowcowego dobrej znajomości podstawowych zagadnień nawigacji powietrznej.

Opracowanie niniejsze zawiera podstawowe wiadomości o nawigacji, niezbędne do przygotowań nawigacyjnych przelotu i do nawigowania w pierwszych przelotach szybowcowych.

Nawigacja szybowcowa wiąże się ściśle z zasadami pilotażu szybowcowego i teorią lotów wyczynowych, stąd do jej pełnego zrozumienia konieczne jest posiadanie podstawowych wiadomości o taktyce i technice prowadzenia przelotów szybowcowych.

## Rozdział 1

### MAPY LOTNICZE

#### Umowna geometria kuli ziemskiej

Ziemia jest bryłą o kształcie zbliżonym do kuli, obracającą się wokół osi, którą wyobrażamy sobie jako linię prostą przeprowadzoną przez dwa przeciwległe punkty, zwane biegunami.

Swoisty kształt Ziemi – kuli spłaszczonej na biegunach – nosi nazwę geoidy. W nawigacji, w celu uproszczenia obliczeń, przyjmuje się, że Ziemia ma kształt kuli o promieniu  $R = 6371$  km i obwodzie długości 40000 km.

#### Siatka geograficzna

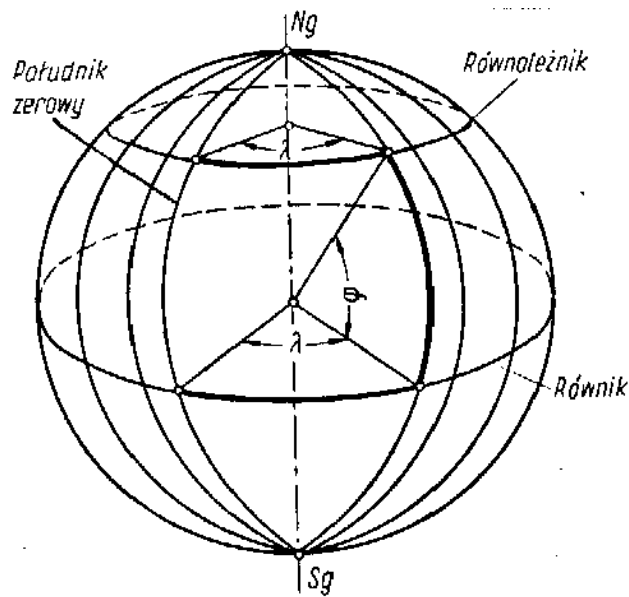
Położenie punktu na powierzchni kuli ziemskiej określa się za pomocą współrzędnych geograficznych, których układ stanowi siatkę geograficzną, utworzoną przez południk i równoleżnik. **Południki geograficzne** są śladami utworzonymi na powierzchni kuli ziemskiej przez płaszczyzny przechodzące przez oś Ziemi i bieguny. **Równoleżniki geograficzne** są utworzone na powierzchni kuli ziemskiej przez jej przecięcie płaszczyznami, prostopadłymi do osi. Równoleżnik utworzony przez przecięcie powierzchni Ziemi płaszczyzną przechodzącą przez środek osi (środek kuli ziemskiej) nosi nazwę **równika**.

Na powierzchni Ziemi można przeprowadzić dowolną liczbę południków i równoleżników. Do celów praktycznych południk i równoleżnik prowadzone są w odstępach równych jednostkom kątowym (stopniom, minutom i sekundom).

Jako południk zerowy przyjęto południk przechodzący przez Obserwatorium Astronomiczne w Greenwich na przedmieściu Londynu. Dzieli on Ziemię na półkulę wschodnią i zachodnią. Od południka zerowego w prawo mierzy się długość geograficzną ( $\lambda$  - lambda) wschodnia – od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ , a w lewo – zachodnią, również od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ .

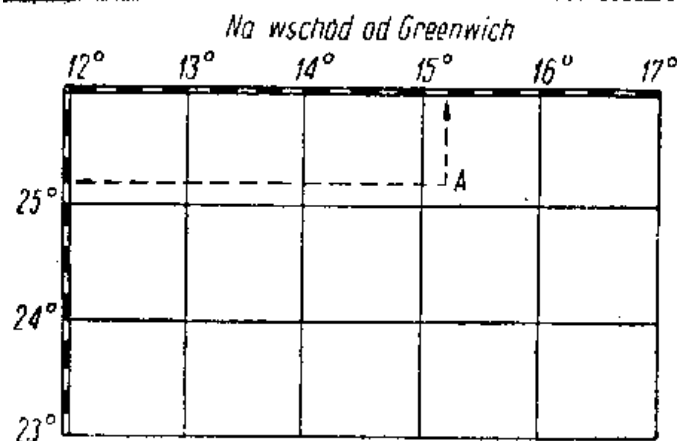
Równik dzieli Ziemię na półkulę północną i południową. Od równika w górę mierzy się szerokość geograficzną ( $\varphi$  - fi) północną, a w dół – południową, od  $0^\circ$  na równiku do  $90^\circ$  na biegunach.

**Długość geograficzna** jest kątem zawartym między płaszczyzną południka zerowego, a płaszczyzną południka przechodzącego przez dany punkt (rys. 1).



Rys. 1. Pomiar długości i szerokości geograficznej

**Szerokość geograficzna** jest kątem zawartym między płaszczyzną równika a pionem przechodzącym przez dany punkt (rys. 1).



Rys. 2. Pomiar długości i szerokości geograficznej punktu na mapie

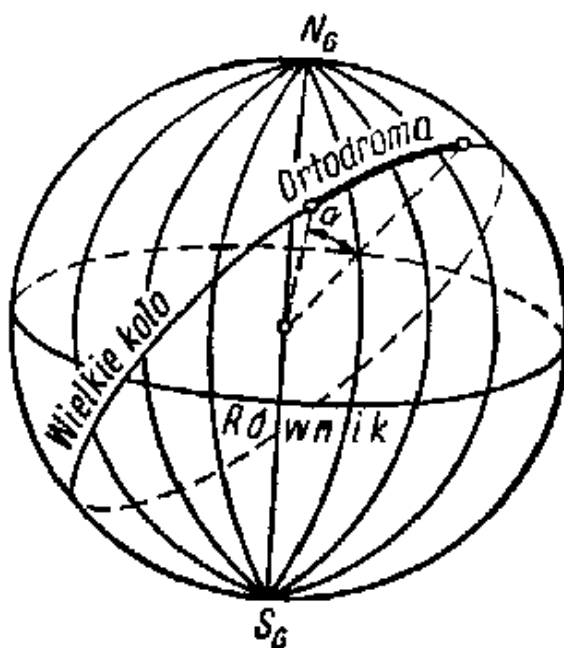
Określając położenie dowolnego punktu na powierzchni kuli ziemskiej podajemy (rys. 2):

- szerokość geograficzną ( $\varphi$ ) północną (*N*) lub południową (*S*) w jednostkach kątowych np.  $\varphi = 25^{\circ}15' N$ ,
- długość geograficzną ( $\lambda$ ) wschodnią (*E*) lub zachodnią (*W*) w jednostkach kątowych, np.  $\lambda = 15^{\circ}15' E$ .

Równik i koła utworzone przez dwa przeciwległe południki noszą nazwę wielkich kół. **Wielkie koło** jest to koło utworzone na powierzchni Ziemi przez przecięcie kuli ziemskiej płaszczyzną, przechodzącą przez środek Ziemi. Na powierzchni Ziemi można utworzyć dowolną liczbę wielkich kół, przecinających oś Ziemi pod różnymi kątami.

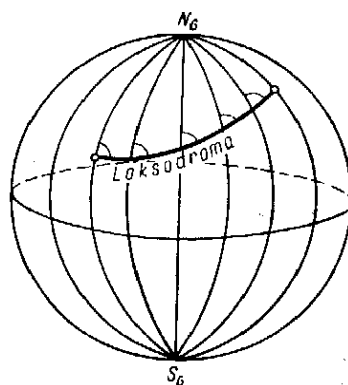
Ponieważ po powierzchni kuli ziemskiej nie można prowadzić linii prostych, najkrótszą drogą między dwoma punktami na powierzchni kuli ziemskiej jest łuk wielkiego koła, przechodzącego przez te punkty. Łuk ten nazywa się **ortodromą** (rys. 3).





Rys. 3. Ortodroma

Ortodroma, jeśli nie jest wycinkiem południka lub równika, przecina południk pod różnymi kątami, z związku z czym



Rys. 4. Loksodroma

zmienia ciągle swój kierunek w stosunku do kierunku północ-południe. Lot wzdłuż ortodromy jest bardzo niewygodny, szczególnie na krótkich odcinkach. Z tych względów loty na odległość do około 3000 km wykonuje się wzdłuż linii łączącej wyjściowy i końcowy punkt trasy, przecinającej południki pod stałym kątem. Linia taka nazywa się **loksodromą** (rys. 4).

Łuk koła można mierzyć nie tylko w jednostkach kątowych, ale również w jednostkach liniowych (odległość). Długość łuku wielkiego koła o wartości kątowej  $1^\circ$  na równiku wynosi 111 km, a długość łuku o wartości kątowej  $1'$  – około 1867 m i nosi nazwę mili morskiej (NM).

### Zależność między długością geograficzną a czasem

Rozpatrując długość geograficzną w jednostkach kątowych i ruch obrotowy Ziemi, można ustalić następującą zależność:

- jeżeli w ciągu 24 godzin Ziemia obróci się o  $360^\circ$ , to w ciągu:

1 godziny obróci się o  $15^\circ$

1 minuty obróci się o  $15'$

1 sekundy obróci się o  $15''$

- i odwrotnie, - Ziemia obróci się o:

$360^\circ$  w ciągu 24 godziny,

$15^\circ$  w ciągu 1 godziny,

$1^\circ$  w ciągu 4 minut,

$1'$  w ciągu 4 sekund,

1" w ciągu 1/15 sekundy.

Przeliczenie długości geograficznej na wartości czasowe jest niezbędne przy obliczeniach godziny zapadnięcia zmroku i nastania świtu dla położonych na trasie miejscowości, w odniesieniu do miejsca, w którym dane dotyczące zapadnięcia zmroku i nastania świtu są znane.

### Rzuty kartograficzne

Mapa jest płaskim obrazem kulistej powierzchni Ziemi lub jej wycinka, zmniejszonym w odpowiedniej proporcji (skali). Przeniesienie siatki geograficznej, punktów i konturów kulistej powierzchni Ziemi na płaszczyznę lub powierzchnię rozwijalną na płaszczyźnie następuje drogą rzutowania.

Płaska mapa nie jest wiernym obrazem Ziemi. Oceniając wierność mapy rozróżnia się:

- wierność kątów,
- wierność długości linii,
- wierność powierzchni.

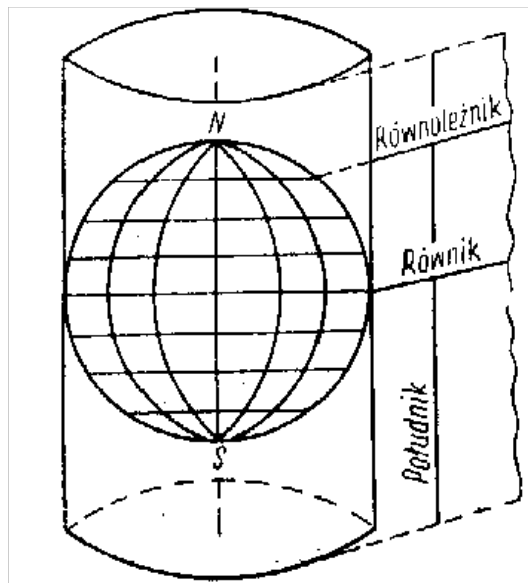
W zależności od rodzaju rzutu kartograficznego osiąga się wierność najwyżej jednego z tych elementów.

Przy odwzorowaniach bardzo małych powierzchni kuli ziemskiej jest możliwe zachowanie w dużym stopniu wierności wszystkich trzech elementów.

Przy sporządzaniu map do nawigacji lotniczej stosuje się cztery rodzaje rzutów kartograficznych:

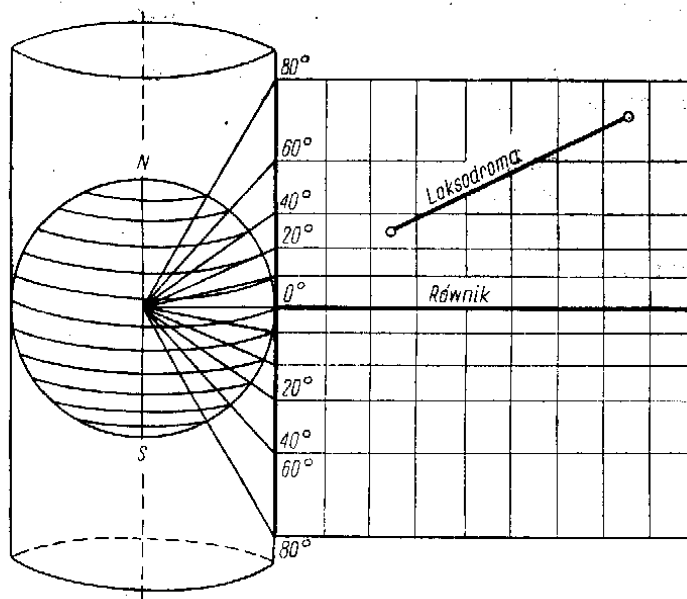
- 1) rzuty walcowe,
- 2) rzuty stożkowe,
- 3) rzuty na płaszczyznę,
- 4) rzuty dowolne.

**Rzuty walcowe** polega na rzutowaniu punktów leżących na kuli na pobocznice walca stycznego do kuli (rys. 5). Rzutowane punkty na kuli i ich rzuty na pobocznice walca leżą na prostych wychodzących ze środka kuli. Jeżeli pobocznica walca jest styczna do kuli wzdłuż równika, rzut taki nazywa się **walcowym – równikowym**.

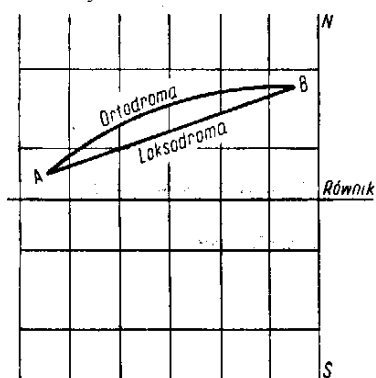


Rys. 5. Rzut walcowy

Modyfikacją rzutu walcowego – równikowego jest **rzut Merkatora** (rys. 6), który umożliwia wiernokątne odwzorowanie. Loksodroma w tym rzucie jest linią prostą, a ortodroma linią krzywą wypukłą w stronę bieguna (rys. 7).



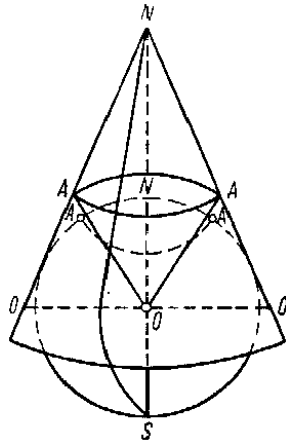
Rys. 6. Rzut Merkatora



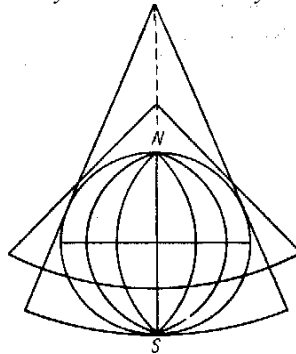
Rys. 7. Siatka w rzucie Merkatora

Zniekształcenia proporcji odległości i powierzchni narastają w miarę wzrostu szerokości geograficznej w takim stopniu, iż mapa w odwzorowaniu Merkatora może być używana dla rejonów zawartych między  $75^\circ$  szerokości geograficznej północnej i  $75^\circ$  szerokości geograficznej południowej. Mapy Merkatora używa się w marynarce i lotnictwie komunikacyjnym przy przelotach na duże odległości.

**Rzut stożkowy** otrzymuje się rzutowanie ze środka kuli ziemskiej punktów leżących na jej powierzchni na pomocniczą stożka styczną do kuli. Oś stożka pokrywa się z osią kuli ziemskiej (rys. 8). Wierność odległości występują tylko na równoleżniku styczności. Rzut ten jest najczęściej stosowany, szczególnie do odwzorowania dużych powierzchni na mapach o dużej skali. Do odwzorowania mniejszych powierzchni w małej skali stosuje się modyfikację rzutu stożkowego, tzw. rzut wielostożkowy (rys. 9).

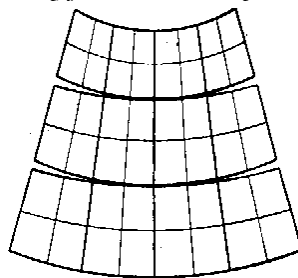


Rys. 8. Rzut stożkowy



Rys. 9. Rzut wielostożkowy

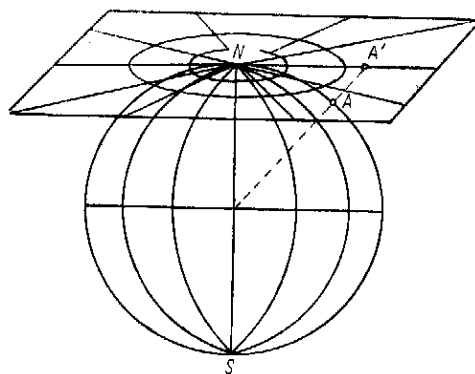
**Rzut wielostożkowy** polega na tym, że dla każdego arkusza mapy terenu budujemy stożek o innej podstawie i innej wysokości. Siatkę geograficzną rzutujemy na pobocznice szeregu stożków stycznych do powierzchni Ziemi co  $4^\circ$  szerokości geograficznej. Po rozcięciu stożków wzdłuż tworzących stożka, otrzymujemy arkusze map (rys. 10), na których, podobnie jak w rzucie stożkowym, południki są liniami prostymi zbieżnymi na biegunie, a równoleżniki są łukami punktów środkowych. Ortodroma jest linią krzywą zwróconą wypukłością do bieguna, a loksodroma jest linią łamaną, wygięta w stronę równika. Na małych odległościach (do 400 km) zarówno ortodromę, jak i loksodromę można rysować jako linię prostą.



Rys. 10. Rozwinięcie arkuszy mapy w rzucie wielostożkowym

W rzucie wielostożkowym mała odległość równoleżników stycznych sprawia, że mapa o tym odwzorowaniu jest wiernokątna i ma zachowane proporcje odległości w stopniu nie wymagającym w praktyce wnoszenia żadnych poprawek do pomiarów z mapy dokonywanych kątomierzem i skalówką. Mapy o odwzorowaniu wielostożkowym są powszechnie używane w nawigacji lotniczej do lotów na małe odległości.

**Rzuty na płaszczyznę** otrzymuje się drogą rzutowania punktów na powierzchni kuli ziemskiej na płaszczyznę styczną do niej. Rzutowanie może odbywać się ze środka kuli lub z punktu przeciwległego do punktu styczności płaszczyzny; rzut ten stosuje się najczęściej do odwzorowania na mapie okolic podbiegunowych (rys.11).



Rys. 11. Rzut centralny

## Rodzaje map lotniczych

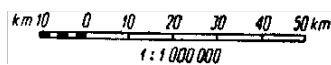
W lotnictwie stosuje się dwa rodzaje map, mapy nawigacyjne w rzucie Merkatora, z naniesionymi drogami lotniczymi, pomocami radionawigacyjnymi i innymi danymi niezbędnymi dla lotnictwa komunikacyjnego, oraz mapy topograficzne w rzucie wielostozkowym z naniesioną rzeźbą i pokryciem terenu.

W lotnictwie sportowym, a szczególnie w szybownictwie stosuje się mapy topograficzne. Mapom tym stawia się następujące wymagania:

- wiernokątność, zachowanie proporcji, odległości i kształtów powierzchni,
- dokładność, przejrzystość i aktualność.

## Podziałka mapy

Podziałka mapy (lub skala) jest to stosunek, w jakim zmniejszone zostały wymiary liniowe rzeczywiste, istniejące na powierzchni Ziemi, do wymiarów na mapie. Może być ona podana w postaci narysowanej podziałki na mapie jako stosunek liczb (rys. 12).



Rys. 12. Podziałka liczbowa i liniowa mapy

**Podziałka liniowa** – jest to podziałka przedstawiona w formie graficznej; równe odcinki oznaczone są liczbami, które odpowiadają w pomniejszeniu odległościom w terenie. Gdy jedna podziałka długości 1 cm równa się 10 km, oznacza to, 1 cm na mapie równa się 10 km na powierzchni kuli ziemskiej. Podziałka liniowa podana jest na każdym arkuszu mapy w jej dolnym skraju.

**Podziałka liczbowa** – jest to stosunek liczb wskazujących, ile razy linie i odległość na powierzchni kuli ziemskiej są większe od linii i odległości na mapie. Podziałkę liczbową oznacza się na każdym arkuszu mapy w dowolnym jej skraju. Np. podziałka 1 : 500000 oznacza, że 1 cm na mapie odpowiada 5 km na powierzchni kuli ziemskiej.

W lotnictwie używa się następujących map topograficznych.

- 1) Mapa o skali 1 : 1000000, zwana „milionówka” (1 cm na mapie odpowiada 10 km w terenie); mapa ta jest odwzorowana w zmodyfikowanym rzucie stożkowym. Jest ona wykonana tylko do szerokości geograficznej 60°, gdyż przy większych szerokościach jest niedokładna. Arkusz mapy obejmuje 4° szerokości i 6° długości geograficznej. Skala odległości na całym arkuszu mapy jest stała. Południki i równoleżniki naniesione na są co 1°. Na ramce mapy oznaczone są wartości liniowe, odpowiadające wartościom kątowym szerokości i długości geograficznej, co 5 minut. Mapa wykonana jest w pięciu kolorach; ma naniesione tylko ważniejsze miejscowości i główne drogi, a przestrzenie wodne są odtworzone szczegółowo.

Wysokość nad poziom morza określana jest w metrach. Mapy te są stosowane jako zapasowe mapy pokładowe, mapy do nanoszenia różnych sytuacji operacyjnych, a także mogą być stosowane jako mapy przelotowe przy długich przelotach szybowcowych.

- 2) Mapa o skali 1 : 500000, tzw. „pięćsetka” lub „pięciokilometrówka” (1 cm na mapie odpowiada 5 km w terenie), jest także odwzorowana w rzucie wielostozkowym. Mapa ta składa się z arkuszy o 2° szerokości i 3° długości geograficznej. Powierzchnia terenu na jednym arkuszu mapy odpowiada powierzchni o

promieniu ok. 100 km. Południki i równoleżniki przebiegają co 30 minut. Na ramce mapy są oznaczone wartości liniowe, które odpowiadają wartościom kątowym co 5 minut szerokości i długości geograficznej.

Mapa jest wykonana w pięciu podstawowych kolorach. Wysokość wyrażana jest w metrach, a warstwiec oznaczone są co 20 m. Na mapie tej naniesione są izogony<sup>1</sup> jako czerwone lub fioletowe przerywane linie.

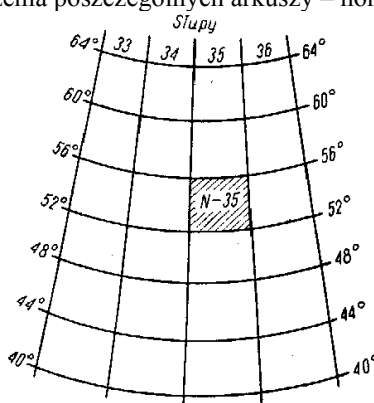
Mapy w skali 1 : 500000 są stosowane jako zasadnicze mapy przelotowe w przelotach szybowcowych i samolotowych w lotnictwie sportowym.

- 3) Mapy o skali 1 : 200000 (1 cm na mapie odpowiada 2 km w terenie), są używane w lotnictwie gospodarczym.

### Oznaczenia map (tzw. nomenklatura map)

Każda mapa w małej skali składa się z wielu oddzielnych arkuszy. Do dobrania odpowiednich arkuszy niezbędnych do lotu służą skorowidze map. W skorowidzach tych każdy arkusz ma określoną numerację.

System podziału mapy na oddzielne arkusze, określający ramki każdego arkusza, nazywa się rozlinowaniem mapy, a system oznaczenia poszczególnych arkuszy – nomenklaturą mapy (rys. 13).



Rys. 13. Nomenklatura mapy 1 : 1000000

### Czytanie map topograficznych

Na mapach topograficznych ukształtowanie, rzeźba i pokrycie terenu przedstawione są za pomocą umownych znaków topograficznych. Mapy te są najczęściej wykonane w 5 lub 6 kolorach, zależnie od wydania:

- brązowy lub fioletowy – ukształtowanie pionowe (warstwiec) i izogony,
- niebieski – wody,
- zielony – lasy,
- czarny – tory kolejowe, napisy, siatka geograficzna, miejscowości,
- czerwony – szosy, autostrady, miejscowości, izogony,
- żółty – drogi polne lub w budowie.

Znaki topograficzne i skróty stosowane na mapach przedstawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

#### Znaki topograficzne stosowane na mapach o podziale 1 : 500000

Znaki oznaczone kolorem czerwonym:

	autostrada
	(autostrada w budowie — linia przerywana)
	droga główna
	(droga w budowie — linia przerywana)
	droga drugorzędna
	droga lokalna
	trakt (szlak)

Znaki oznaczone kolorem czarnym:

--	--

<sup>1</sup> Pojęcie to jest omówione szczegółowo w rozdziale o magnetyzmie.

	kolej dwu- lub wielotorowa
	kolej wąskotorowa
	kolej gospodarcza
	kolej jednotorowa
	kolej w budowie
	miasto
	miasteczko
	wieś kościelna
	wieś

Warstwice oznaczone są kolorem jasnobrązowym, cienką linią co 20 m, grubą linią co 100 m. Obszarów górskich warstwice oznaczone są linią przerywaną co 50 m, linią cienką co 100 m i grubą linią co 500 m. Lasy oznaczone są kolorem zielonym, rzeki i jeziora – kolorem niebieskim.

### Znaki topograficzne stosowane na mapach topograficznych o podziałce 1 : 100000

Znaki oznaczone kolorem czerwonym:

	autostrada
	droga główna
	droga drugorzędna
	droga gruntowa

Znaki oznaczone kolorem czarnym:

	kolej dwutorowa
	kolej jednotorowa
	kolej wąskotorowa
	ważniejsze stacje kolejowe

Rzeźba terenu (warstwice) są oznaczone co 50 m, kolorem brązowym, warstwice co 150 m linią przerywaną, kolorem zielonym, a rzeki i jeziora – kolorem niebieskim.

### Znaki topograficzne przyjęte dla wszystkich map topograficznych

	port morski		kopalnia
	port rybacki		szyby naftowe
	latarnia morska		nadleśnictwo
	zamek		lotnisko
	ruiny		radiostacja
	głębokość w m		pobojowisko
	kościół		uzdrowisko
	fabryka		schronisko

Skróty:

Cem. – cementownia

Ckr. – cukrownia

El. – elektrownia  
 Fb. masz. – fabryka maszyn  
 Ht. żel. – huta żelaza  
 Sant. – sanatorium  
 Szpit. – szpital  
 U. cel. – urząd celny  
 Wap. – wapiennik  
 Walc. – walcownia  
 G. – góra  
 Odlew. – odlewnia  
 Gr. – górny  
 Kol. – kolonia  
 Kośc. – kościelny  
 J., Jez. – jezioro  
 Kan. – kanał  
 Dż. – duży  
 Król. – królewski  
 Mł. – mały  
 Niż. – niżny  
 Nw. – nowy  
 Pol. – polski  
 Str. – stary  
 Wlk. – wielki  
 Pap. – papiernia  
 Dln. – dolny  
 Wys. – wysoki  
 Średn. – średni

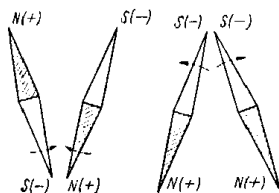
## Rozdział 2

### LOTNICZA BUSOLA MAGNETYCZNA

#### Podstawowe wiadomości o magnetyzmie ziemskim

Właściwości niektórych metali polegające na wzajemnym przyciąganiu się lub odpychaniu nazywamy magnetyzmem.

Siła przyciągająca lub odpychająca nie jest jednakowa na całej długości magnesu, lecz jest największa na jego końcach, zwanych biegunami. Zależnie od tego, jakimi biegunami zbliżamy do siebie magnesy, przyciągają się one lub odpychają (rys. 14). Bieguny różnoimienne magnesów przyciągają się, a jednoimienne odpychają się.



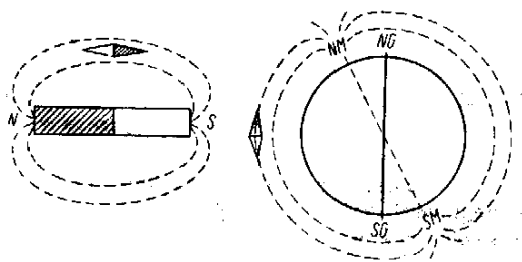
Rys. 14. Wzajemne oddziaływanie biegunów magnetycznych

Swobodnie zawieszony magnes ustawia się zawsze w kierunku północ-południe, a wytrącony z tego położenia wraca do niego, przy czym zawsze ten sam biegun jest zwrócony na północ. Tak ustawiający się biegun nazywa się biegunem północnym (*N*) lub dodatnim (+), a biegun zwracający się ku południowi – biegunem południowym (*S*) lub ujemnym (-).

Właściwości kierunkowego ustawiania się magnesu wynika stąd, że Ziemia jest również magnesem i, jak każdy magnes, wytwarza pole magnetyczne. Bieguny magnetyczne Ziemi znajdują się w pobliżu biegunów geograficznych, tzn. biegun magnetyczny znajdujący się na półkuli północnej nazywamy północnym i oznaczamy *NM*, a biegun leżący na półkuli południowej – południowym i oznaczmy *SM*.



Z biegunów magnetycznych Ziemi rozchodzą się we wszystkich kierunkach linie sił magnetycznych, tworząc ziemskie pole magnetyczne. Swobodnie zawieszony magnes ustawia się zawsze wzdłuż linii sił magnetycznych (rys. 15).



Rys. 15. Pole magnetyczne magnesu Ziemi

Rzut linii sił pola magnetycznego na powierzchnię Ziemi nazywamy południkami magnetycznymi. Tak więc swobodnie zawieszony w ziemskim polu magnetycznym magnes wskazuje kierunek południka magnetycznego.

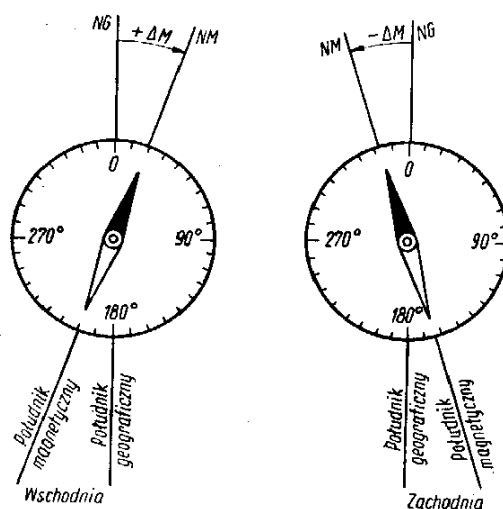
W różnych miejscach kuli ziemskiej kierunek i natężenie pola magnetycznego są różne i zależą od szerokości geograficznej danego miejsca oraz od miejscowych warunków geologicznych. Nie są one wartościami stałymi, lecz ulegają zmianie z biegiem czasu.

Natężenie pola magnetycznego Ziemi jest największe na biegunach magnetycznych.

### Działanie ziemskiego pola magnetycznego na igłę magnetyczną

Iglą magnetyczną nazywamy swobodnie zawieszony magnes, stanowiący zasadniczy element kompasów i busol magnetycznych.

Ponieważ igła magnetyczna ustawia się wzdłuż południka magnetycznego, jej północny koniec wskazuje północny biegun magnetyczny, a nie geograficzny. Jak wiemy, bieguny geograficzne i magnetyczne nie pokrywają się i dlatego ich odpowiednie południki zwykle też nie pokrywają się, lecz przecinają pod pewnym kątem (rys. 16).



Rys. 16. Zboczenie magnetyczne – deklinacja

Kąt zawarty pomiędzy północnym kierunkiem południka geograficznego a północnym kierunkiem południka magnetycznego nazywamy **deklinacją magnetyczną** (zboczeniem magnetycznym). Jeśli południk magnetyczny odchyła się w prawo od południka geograficznego deklinacja jest dodatnia (+), zwana także wschodnią, a jeśli odchyła się w lewo, to deklinacja jest ujemna (-), czyli zachodnia.

W przypadku pokrywania się południków, deklinacja nie występuje (wynosi  $0^\circ$ ) i północny koniec igły magnetycznej wskaże również północ geograficzną.

Deklinacja w różnych punktach na kuli ziemskiej ma różne wartości i znaki i podlega okresowym wahaniom.

Linie łączące punkty o jednakowej o deklinacji (wielkość i znak) noszą nazwę **izogon**. Na mapach topograficznych izogony są nanoszone co  $1^\circ$ , jako czerwone lub fioletowe przerywane linie. W Polsce deklinacja magnetyczna waha się w granica około  $\pm 2^\circ$ .

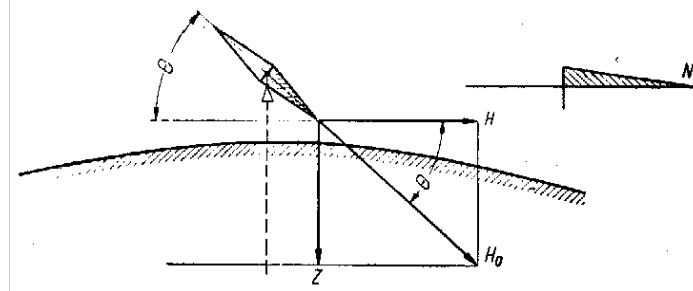
Na przebieg izogon duży wpływ wywiera budowa geologiczna danego obszaru; na obszarach tzw. anomalii magnetycznej zboczenie osiąga wartość do kilkudziesięciu stopni. Duże, przejściowe wahania deklinacji magnetycznej są wywołane przez tzw. burze magnetyczne, związane z występowaniem plam na słońcu i zórz polarnych.

W nawigacji wiele uwagi poświęca się zjawisku deklinacji magnetycznej i, oprócz nanoszenia na mapę izogon, sporządza się także specjalne mapy zboczeń magnetycznych i ich zmian.

Innym, również ważnym zjawiskiem związanym z działaniem magnetyzmu ziemskiego na swobodnie zawieszoną igłę magnetyczną jest **inklinacja**.

Linie sił magnetycznych ziemskiego pola magnetycznego nie przebiegają poziomo, lecz tworzą z poziomem pewien kąt, zwany inklinacją. Wielkość tego kąta zależy od szerokości geograficznej: na równiku wynosi  $0^\circ$ , na biegunie  $90^\circ$ , na pozostałych szerokościach geograficznych przyjmuje wielkości pośrednie.

Swobodnie zawieszona igła magnetyczna, ustawiając się wzdłuż linii działania sił magnetycznych, podlega również inklinacji i zależnie od szerokości geograficznej tworzy z poziomem pewien kąt (rys. 17). W naszych szerokościach kąt ten wynosi ok.  $60^\circ$ .

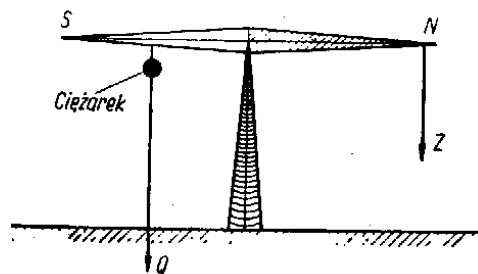


Rys. 17. Inklinacja magnetyczna

$H_0$  – całkowita siła magnetyzmu ziemskiego,  $H$  – składowa pozioma magnetyzmu ziemskiego,  $Z$  – składowa pionowa magnetyzmu ziemskiego,  $\Theta$  – inklinacja magnetyzmu

Aby nie dopuścić do ustawiania się igły magnetycznej pod kątem do poziomu, na półkuli północnej obciąża się odpowiednio południowy biegun igły magnetycznej (rys. 18), a na półkuli południowej postępuje się odwrotnie. Z tego względu każda busola lotnicza jest dostosowana do użytkowania wyłącznie na jednej z półkól.

Linie łączące punkty o jednakowej wartości inklinacji noszą nazwę **izoklin**.



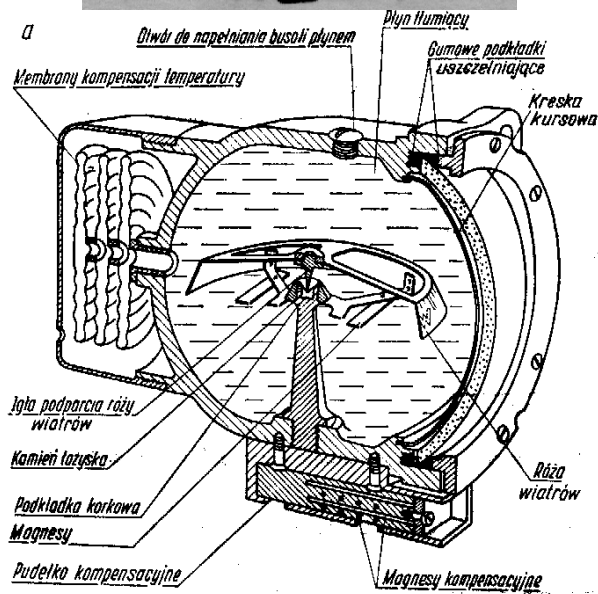
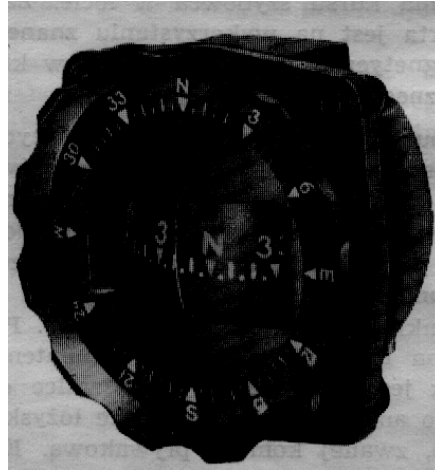
Rys. 18. Równoważenie inklinacji magnetycznej w busolach

### Budowa i charakterystyka lotniczej busoli magnetycznej

Lotnicza busola magnetyczna umieszczona na szybowcu służy do określania kursu szybowca w locie. Zasada działania tej busoli oparta jest na wykorzystaniu znanej nam właściwości igły magnetycznej, ustawiającej się w kierunku południka magnetycznego.

W lotniczej busoli magnetycznej igła magnetyczna jest zastąpiona przez zespół dwu lub czterech magnesów, ustawionych równolegle do siebie i skierowanych biegunami północnymi w jedną stronę. Magnesy te są przymocowane do pływaka, mającego kształt pierścienia. Na pływaku umieszczona jest podziałówka stopniowa co  $5^\circ$  oraz są zaznaczone symbolami zasadnicze kierunki stron świata ( $N$ ,  $S$ ,  $E$ ,  $W$ ). Podziałówka na pływaku zwana różą wiatrów, jest elementem pomiarowym busoli. Pływak jest ułożyskowany na szpilce obracającej się na odpowiednio amortyzowanej panewce łożyska i umieszczony w komorze, zwanej komorą pływakową. Komora ta jest wypełniona specjalną cieczą (nafta, benzyna, ligroina) tłumiąc wahania pływaka.

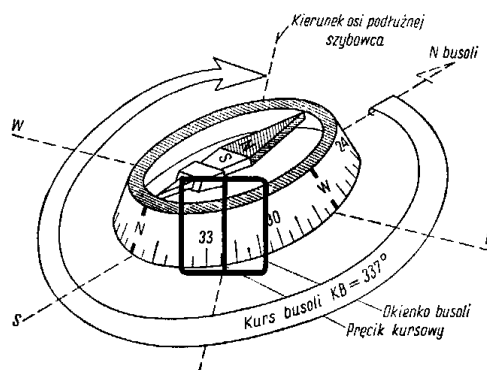
W ramce komory pływakowej znajduje się szybka i pręcik kursowy, umożliwiający odczyt wskazań busoli. Komora pływakowa łączy się z komorą kompensacji wpływów temperatury. Taka budowa busoli umożliwia jej użytkowanie w szerokim zakresie temperatur dodatnich i ujemnych.



Rys. 19. Widok ogólny i przekrój busoli magnetycznej

W budowie busoli znajduje się także komora kompensacji dewiacji, zawierająca sterowane z zewnątrz ruchome magnesiki kompensacyjne.

Poszczególne typy busoli różnią się między sobą szczegółami konstrukcyjnymi. Busola może być dodatkowo wyposażona w oświetlenie do lotów w nocy czy w ruchomy pierścień kursowy wokół szybki, ułatwiającej zapamiętanie kursu przez odpowiednie jego oświetlenie.



Rys. 20. Pływak busoli magnetycznej – odczytywanie wskazań

Wykorzystanie lotniczych busoli magnetycznych wymagana znajomości ich charakterystyk i błędów. Poza deklinacją i inklinacją busole lotnicze charakteryzują się następującymi cechami: współczynnik tłumienia, zastój pływaka, pociąganie cieczy, błąd ustawienia, błąd północy, błędy kierunków wschodnich i zachodnich.

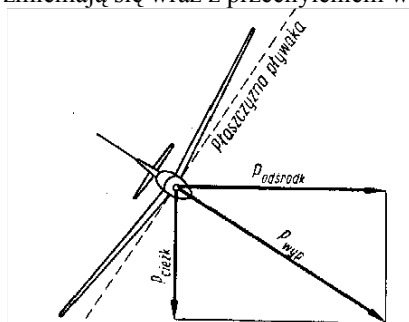
**Współczynnik tłumienia** jest to stosunek dwu kolejnych amplitud pływaka busoli wytrąconego ze stałego położenia. Im większy jest stosunek tłumienia, tym czas ustalenia się wskazań busoli po zmianie kierunku lotu jest krótszy. Od busoli lotniczej wymaga się, aby po odchyleniu o  $90^\circ$  pływak powrócił do poprzedniego położenia po wykonaniu nie więcej niż trzech wahnięć w czasie nie przekraczającym 25 sekund.

**Zastój pływaka.** Gdy odchylimy pływak busoli o pewien kąt, nie powróci on dokładnie do poprzedniego położenia, lecz ustawi się na nowym kierunku, różniącym się od poprzedniego o kąt rzędu 1 do  $1,5^\circ$  zwany kątem zastoju pływaka. Zastój pływaka powstaje na skutek tarcia szpilki o łożysko i pływaka o płyn.

**Pociąganie cieczy.** Podczas wykonywania zakrętu, ścianki obracającej się busoli pociągają za sobą ciecz, ta z kolei pociąga pływak, który powinien pozostawać nieruchomy. Wskutek tego obserwując busolę stwierdzamy, że prędkość kątowna zakrętu jest większa niż w rzeczywistości. Pociąganie cieczy powoduje tym większy błąd wskazań busoli, jak: kształt pływaka, gładkość ścianek komory oraz rodzaj i gęstość płynu.

**Błąd ustawienia.** Jeśli oś busoli nie pokrywa się z osią podłużną szybowca, lecz tworzy z nią pewien kąt, to wówczas kierunek wskazywany przez busolę będzie się różnił o ten kąt od rzeczywistego kierunku lotu szybowca. Błąd ten może być usunięty przez ustawienie busoli zgodnie z podłużną osią szybowca lub, jeśli konstrukcja busoli na to pozwala, przez zmianę położenia pręcika kursowego.

**Błąd północny busoli.** Podczas zakrętu busola i jej pływak przechylają się razem z szybowcem, ponieważ podlegają tym samym siłom masowym co szybowiec (rys. 21). Na magnesy umocowane do przechylonego pływaka działają siły magnetyzmu ziemskiego składowa i pionowa. Ponieważ kierunki tych składowych w odniesieniu do płaszczyzny Ziemi są stałe, to kierunki ich działania na magnesy pływaka w odniesieniu do płaszczyzny pływaka zmieniają się wraz z przechyleniem w zakręcie.



Rys. 21. Położenie płaszczyzny pływaka busoli w zakręcie

Składowa pionowa magnetyzmu ziemskiego (w odniesieniu do płaszczyzny Ziemi) działająca na północny koniec igły nie jest przy przechyleniu pływaka prostopadła do osi pionowej przyrządu, jak w locie prostym. Powoduje to obrót północnego końca igły w kierunku, w którym przechylony jest szybowiec, a wraz z nim busola.

Błąd spowodowany wyżej opisanym zjawiskiem nosi nazwę błędu północnego busoli. Wskutek tego błędu w zakrętach ma kierunkach północnych pływak „obraca się” wolniej niż szybowiec w zakręcie, a na kierunkach południowych „obróć” pływaka jest szybszy niż szybowca.

W gwarze lotniczej przyjęło się określenie, że na kierunkach północnych busola jest „leniwa”. W związku z tym przy wyprowadzaniu szybowca z zakrętu na kierunek należy stosować następującą zasadę:

- przy zakrętach na północ należy „nie dociągać” („Nie przesmarować” – przypis B. J.) o  $10^\circ$  do  $30^\circ$  zależnie od wielkości przechylenia,
- przy zakrętach na południe należy „przeciągać” („przeSmarować” – przypis B. J.) o  $10^\circ$  do  $30^\circ$ .

**Błąd kierunków wschodnich i zachodnich.** Podczas lotu na kierunkach wschodnich i zachodnich igła magnetyczna jest ustawiona poprzecznie do podłużnej osi szybowca. Przy zmianach prędkości następują odchylenia od południka, ponieważ południowy koniec igły magnetycznej, z racji umieszczonego na nim ciężarka, ma większą bezwładność niż koniec północny. Powoduje to następujące błędy wskazań busoli:

- 1) podczas lotu z kursem wschodnim:
  - przyrost prędkości powoduje zmniejszenie kursu,
  - spadek prędkości powoduje zwiększenie kursu,
- 2) podczas lotu z kursem zachodnim:
  - przyrost prędkości powoduje zwiększenie kursu,
  - spadek prędkości powoduje zmniejszenie kursu.

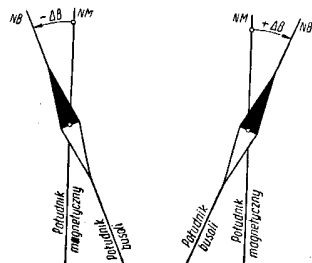
Po ustaleniu nowych prędkości busola powraca do poprzednich wskazań, jeśli kierunek lotu został zachowany.

**Uwaga.** Charakterystyka lotniczej busoli magnetycznej i jej błędy powodują, że wskazania busoli są miarodajne jedynie w locie z ustaloną prędkością.

## Dewiacja busoli

Na busole na szybowcu oprócz ziemskiego pola magnetycznego działa także pole magnetyczne stalowych żelaznych części szybowca. Pole magnetyczne szybowca powoduje odchylenie igły busoli od południka magnetycznego o kąt zwany dewiacją ( $\Delta B$ ).

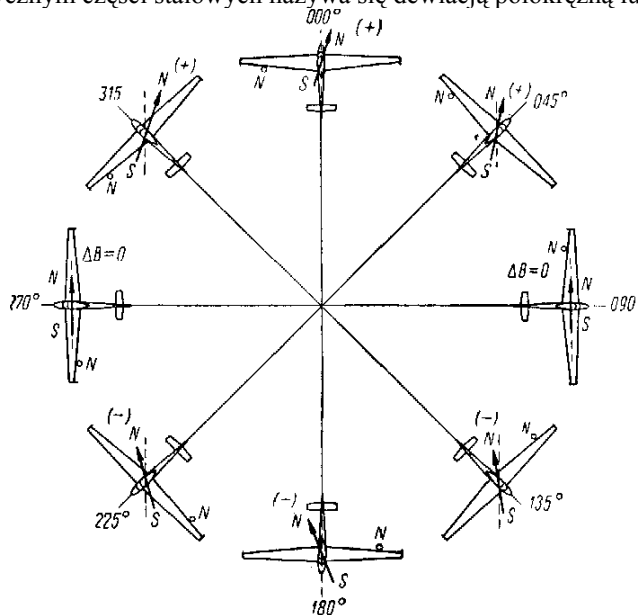
Jeśli północny koniec igły odchylony jest od północnego końca (kierunku) południka magnetycznego, to dewiacja jest dodatnia (wschodnia), a jeśli jest odchylony w lewo od południka, to dewiacja jest ujemna (zachodnia, rys. 22)



Rys. 22. Dewiacja busoli

Wartość i kierunek dewiacji zależą od kierunku działania i natężenia pól magnetycznych części stalowych i żelaznych szybowca w stosunku do igły busoli.

Części stalowe szybowca wytwarzają pole magnetyczne, które w stosunku do podłużnej osi szybowca ma stały kierunek i stałe natężenie. Gdyby więc dewiacja była wywołana wyłącznie przez części stalowe szybowca, podczas obrotu szybowca o  $360^\circ$  wokół osi pionowej zmieniałaby kierunek co  $180^\circ$ . Dewiację wywołaną polem magnetycznym części stalowych nazywa się dewiacją półokrężną lub półkołową (rys. 23).

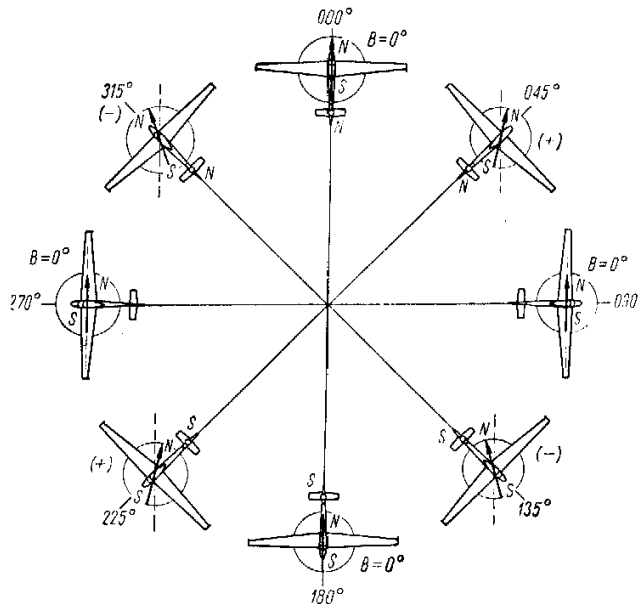


Rys. 23. Dewiacja półokrężna

Pole magnetyczne części żelaznych nie ma stałego kierunku i natężenia. Natężenie pola magnetycznego tych części zmienia się wraz ze zmianą ich położenia w stosunku do południka magnetycznego, wywołaną przez zmianę położenia podłużnej osi szybowca.

Gdyby dewiację wywoływało tylko pole magnetyczne części żelaznych, to dewiacja zmieniałaby swój znak czterokrotnie (co  $90^\circ$ ) podczas pełnego obrotu szybowca wokół osi pionowej, ponieważ co  $90^\circ$  zmienia się natężenie i kierunek pola magnetycznego wywołującego dewiację.

Dewiację wywołaną częściami żelaznymi nazywa się ćwierćokrężną lub ćwierćkołową (rys. 24).



Rys. 24. Dewiacja ćwierćokrężna

Ponieważ na igłę busoli działa jednocześnie stałe i zmienne pole magnetyczne szybowca, to siła powodująca odchylenie igły od południka magnetycznego jest wynikiem nałożenia się dewiacji pół- i ćwierćokrężnej.

## Kompensacja busoli

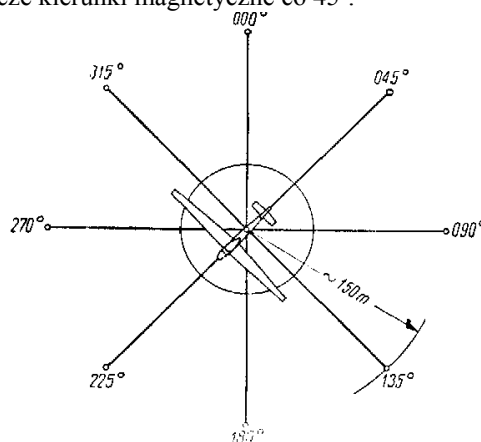
Usuwanie dewiacji busoli nosi nazwę kompensacji busoli. Całkowite usunięcie dewiacji jest niemożliwe i dlatego kompensacja polega na zmniejszeniu dewiacji, a następnie określeniu jej wartości (wielkość, kierunek) dla zasadniczych kierunków wskazywanych przez busolę. Zmniejszenie dewiacji jest możliwe dzięki układowi ruchomych magnesów, równoległych i prostopadłych do podłużnej osi szybowca, umieszczonych w puszcze kompensacyjnej busoli.

Kompensację busoli należy przeprowadzić:

- po naprawach,
- po wymianie części metalowych lub ich zabudowaniu,
- co 12 miesięcy na wszystkich użytkowanych szybowcach.

Aby przeprowadzić kompensację busoli, trzeba mieć możliwość porównania kierunków wskazywanych przez busolę z kierunkami magnetycznymi. Do tego celu służy stanowisko kompensacji lub pelengator.

Stanowisko kompensacji (rys. 25) to specjalnie przystosowane miejsce, w którym wyznacza się palikami lub namalowanymi pasami zasadnicze kierunki magnetyczne co 45°.



Rys. 25. Schemat stanowiska kompensacji busoli

Pelengator jest odmianą busoli magnetycznej umieszczonej na statywie i zaopatrzonej w obrotowy celownik, umożliwiającą dokładne ustalenie kierunku magnetycznego ustawienia podłużnej osi szybowca.

Kompensację busoli należy przeprowadzić w miejscu oddalonym co najmniej o 100m od zabudowań i innych skupisk metalu. Szybowiec do kompensacji musi być ustawiony w położeniu lotu ślizgowego z pełnym wyposażeniem stałym (spadochron, przybory do kotwiczenia). Wszelkie odczyty busoli i manipulowanie magnesikami kompensacyjnymi powinny być dokonywane przy zamkniętej limuzynie i neutralnym położeniu sterownic.

Pierwsza faza kompensacji polega na ustawieniu szybowca na kursach magnetycznych (wg stanowisk kompensacji lub pelengatora) 000°, 090°, 180° i 270°, odczytaniu odpowiadających im kursów wskazywanych przez busołą oraz usunięciu dewiacji przez pokręcenie magnesików za pomocą antymagnetycznego śrubokręta.

Dewiację usuwamy:

- na kursie 000° do wartości 0° za pomocą magnesika *NS*,
- na kursie 090° do wartości 0° za pomocą magnesika *EW*,
- na kursie 180° do połowy jej wartości za pomocą magnesika *NS*,
- na kursie 270° do połowy jej wartości za pomocą magnesika *EW*.

Druą faza polega na zarejestrowaniu wartości dewiacji na ośmiu zasadniczych kierunkach i ewentualnym usunięciu błędu pozycyjnego. W tym celu ustawiamy szybowiec kolejno na następujących kursach busoli: 000° (360°), 045°, 090°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° i posługując się pelengatorem lub stanowiskiem kompensacji obliczamy różnicę między kursem magnetycznym a kursem busoli z wzoru:

$$B = KM - (\pm KB)$$

Jeśli suma algebraiczna ośmiu różnic kursów ( $B_{000^\circ} + B_{45^\circ} \dots + B_{315^\circ}$ ) jest równa 0°, to przyjmujemy, że różnice kursów równe są dewiacji ( $B = \Delta B$ ); jeśli suma jest różna od zera, to przez podzielenie jej przez 8 otrzymujemy wartość błędu ustawienia busoli ( $\Delta u$ ).

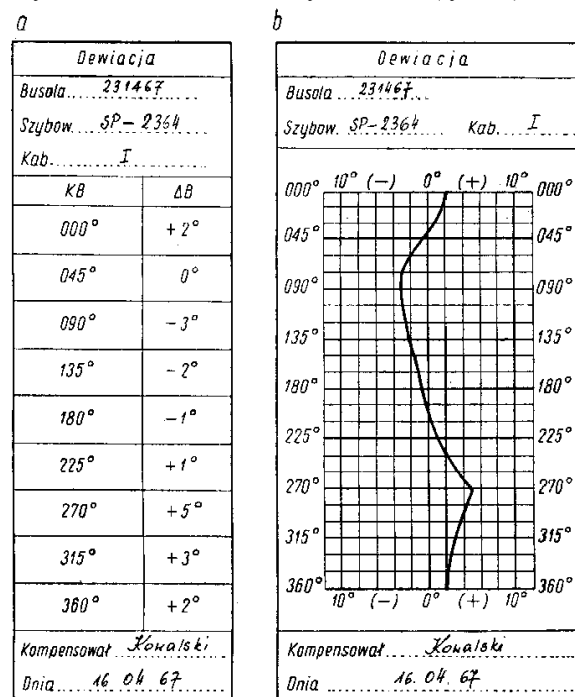
$$\Delta u = B_{000^\circ} + B_{45^\circ} \dots + B_{315^\circ} / 8$$

Dodatni znak błędu ustawienia wskazuje na to, że wszystkie kursy busoli są mniejsze od odpowiednich kursów magnetycznych. Dla usunięcia tego błędu należy wszystkie kursy busoli powiększyć o jego wartość przez obrócenie busoli lub przesunięcie kreski kursowej w prawo. Przy ujemnym błędzie ustawienia obracamy busołą lub przesuwamy kreskę kursową w lewo.

Po usunięciu błędu ustawienia busoli można dopiero obliczyć wartość dewiacji dla ośmiu kursów ze wzoru:

$$\Delta B = B - (\pm \Delta u)$$

Tak obliczoną dewiację należy zestawić w tabelicę odchyłek busoli (rys. 26).



Rys. 26. Tabela odchyłek busoli  
a – tabelka dewiacji, b – wykres dewiacji

**Uwaga.** Gdy suma algebraiczna różnic kursów ma wartość bezwzględną mniejszą niż 8° (błąd ustawienia mniejszy jest od 1°), wówczas przyjmujemy że wszystkie  $B = \Delta B$ .

## Rozdział 3

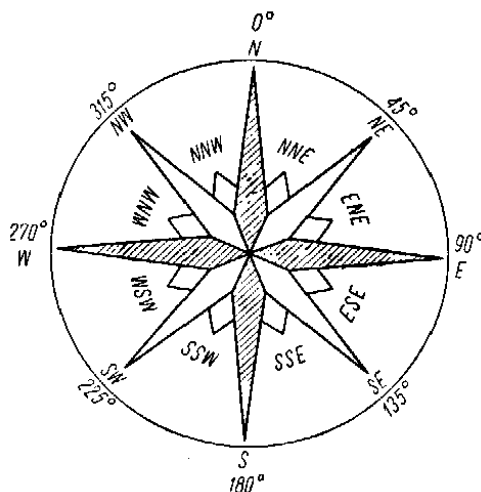
### WIELKOŚCI PRZYJĘTE W NAWIGACJI

#### Określanie kierunków na kuli ziemskiej

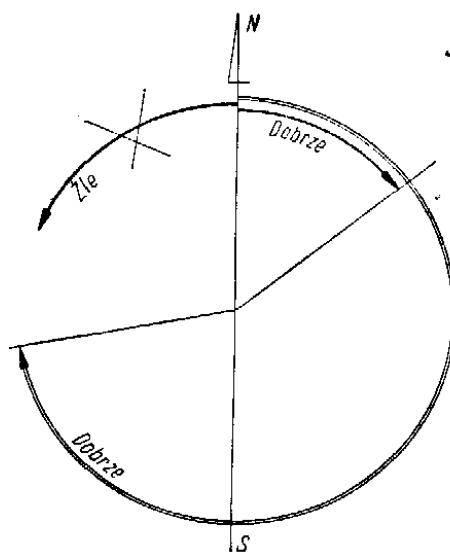
Określenie kierunku jest jednym z podstawowych elementów nawigacji. W nawigacji kierunki określa się w odniesieniu do południka. Wyróżnia się przy tym cztery główne kierunki: dwa pierwszej wielkości – północ (*N*) i południe (*S*), oraz dwa drugiej wielkości – wschód (*E*) i zachód (*W*), a także kierunki pośrednie: północny wschód (*NE*), południowy wschód (*SE*), południowy zachód (*SW*) i północny zachód (*NW*).

Pełny układ kierunków na powierzchni kuli ziemskiej, określanych stronami świata, nazywa się różą wiatrów (rys. 27). Określanie kierunków za pomocą róży wiatrów ma charakter orientacyjny i znajduje zastosowanie tam, gdzie nie jest wymagana duża dokładność (np. przy określaniu kierunku wiatru dolnego).

Do celów nawigacyjnych kierunek określa się azymutem, tj. kątem zawartym między południkiem a linią wyznaczającą kierunek. Kąt ten jest mierzony w prawo (zgodnie z ruchem wskazówek zegara) od północnego zwrotu (kierunku) południka do linii kierunku, w skali stopniowej od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  (rys. 28).



Rys. 27. Róża wiatrów – kierunki główne i pośrednie



Rys. 28. Pomiar azymutów (kursów i kątów drogi)

Każdy kierunek róży wiatrów można przedstawić za pomocą azymutu:  
*N* -  $000^\circ$  lub  $360^\circ$       *S* -  $180^\circ$



NE - 045°	SW - 225°
E - 090°	W - 270°
SE - 135°	NW - 315°

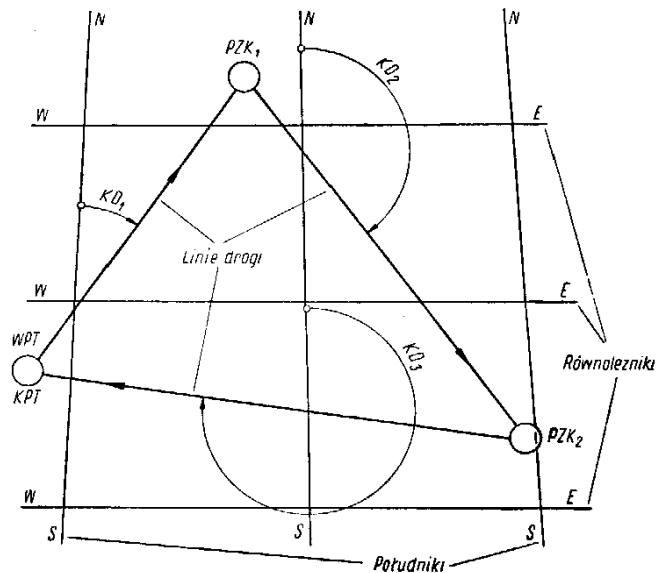
Wartości azymutów zapisujemy zawsze jako liczby trzycyfrowe. Omawiane niżej pojęcia, kąt drogi i kurs, są azymutami.

### Kąt drogi geograficzny i magnetyczny

Jeśli na mapie wykreślimy odcinek prosty łączący wyjściowy punkt trasy lotu z końcowym kursem, otrzymamy linię drogi. Kąt zawarty pomiędzy północnym zwrotem południka a linią drogi nosi nazwę kąta drogi (KD). Kąt ten jest mierzony w stopniach od 0° do 360° w prawo od północnego zwrotu południka (rys. 29).

Na mapach w odwzorowaniu wielostozkowym wykreślona linia drogi przecina południki pod różnymi kątami, ponieważ na mapach tych południki nie są równoległe, lecz zbieżne w kierunkach bieguna. Do celów praktycznych wystarczy pomiar pośredniego kąta drogi, tj. pomiar w odniesieniu do południka przebiegającego przez środek trasy.

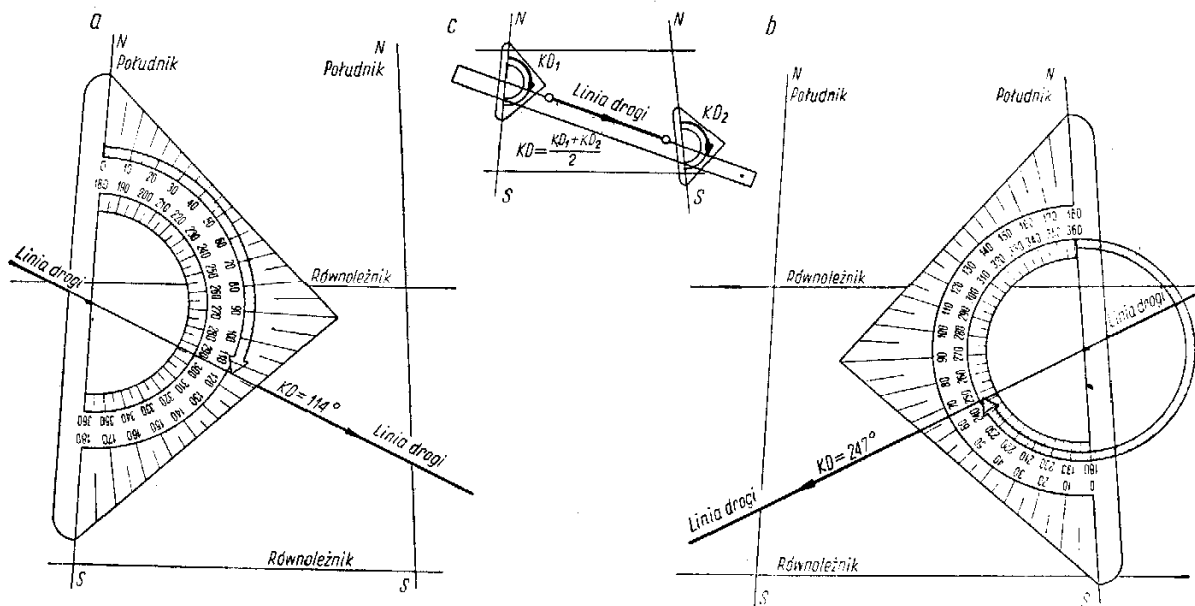
Tablica 2 przedstawia pomiar kąta drogi trójkątnym kątomierzem nawigacyjnym. Przypadek *c* ilustruje pomiar kąta drogi, gdy linia drogi nie przecina żadnego z południków naniesionych na mapie. Trójkątny kątomierz nawigacyjny ma półkolistą skalę, która umożliwia dzięki podwójnemu skalowaniu bezpośredni odczyt kąta drogi od 0° do 180° i od 180° do 360°. Przy pomiarze należy zwrócić uwagę na odpowiednie przyłożenie kątomierza tak, aby korzystać z właściwej skali (porównaj *a* z *b*), oraz na dokładne pokrycie się osi kątomierza (0° do 180°) z południkiem i środka skali z przecięciem się wykreślonej linii drogi z południkiem.



Rys. 29. Kąt drogi (KD) na przykładzie trasy trójkąta

Tablica 2

### Pomiar kąta drogi kątomierzem



(a – gdy kąt drogi jest mniejszy niż 180°, b – gdy kąt drogi jest większy niż 180°, c – gdy odcinek trasy nie przecina żadnego południka)

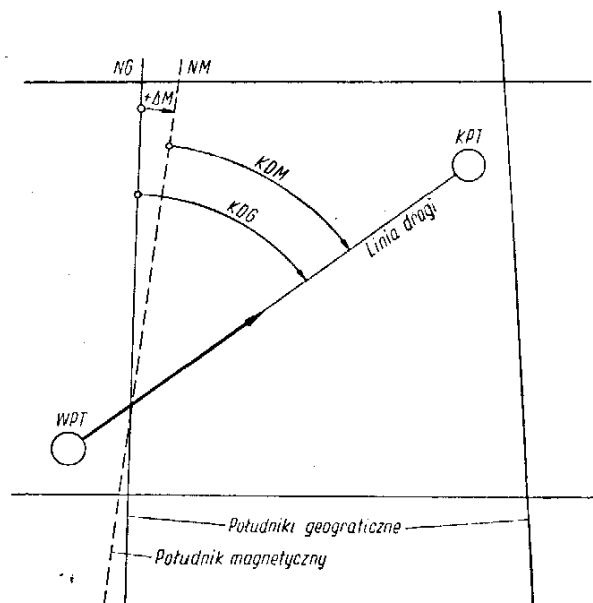
Kąt drogi można również zmierzyć zwykłym szkolnym kątomierzem o skali od 0° do 180°. W tym przypadku przy pomiarze kątów drogi większych niż 180° należy początek skali kątomierza (0°) pokryć z południowym końcem południka, a do wartości otrzymanej z pomiaru dodać 180°.

Kąt drogi zmierzony bezpośrednio z mapy w odniesieniu do południka geograficznego nosi nazwę **kąta drogi geograficznego (KDG)**.

**Kąt drogi magnetyczny (KDM)** jest to kąt liczony od południka magnetycznego. Różni się on od kąta drogi geograficznego o wartość deklinacji magnetycznej. Kąt drogi magnetycznej można zmierzyć bezpośrednio z mapy, wykreśliwszy uprzednio południk magnetyczny, odchylony od południka geograficznego o kąt równy wartości deklinacji (w prawo – gdy deklinacja jest dodatnia, w lewo – gdy deklinacja jest ujemna, rys. 30).

W praktyce nie mierzy się z mapy magnetycznego kąta drogi, lecz oblicza się go odejmując algebraicznie deklinację od geograficznego kąta drogi.

$$KDM = KDG - (\pm \Delta M)$$



Rys. 30. Kąty drogi geograficzny i magnetyczny

Przy znanym kącie drogi magnetycznym, kąt drogi geograficznej można obliczyć przez dodanie algebraiczne deklinacji do magnetycznego kąta drogi.

$$KDG = KDM + (\pm \Delta M)$$

Przykład:

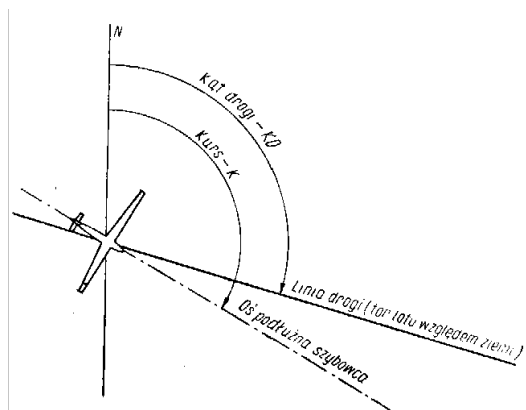
- 1)  $KDM = 317^\circ$ ,  $\Delta M = -3^\circ$ ;  $KDG = ?$   
 $KDG = 317^\circ (-3^\circ) = 317^\circ - 3^\circ = 314^\circ$
- 2)  $KDG = 045^\circ$ ;  $\Delta M = +4^\circ$ ;  $KDM = ?$   
 $KDM = 045^\circ (-4^\circ) = 041^\circ$

Kąt drogi wybranej i wykreślonej trasy nazywamy nakazanym kątem drogi (*NKD*). W praktyce nie zawsze lecimy wzdłuż obranej trasy, lecz poruszmy się pod pewnym kątem do niej. Wówczas lecimy z innym kątem drogi, zwanym rzeczywistym kątem drogi, zwanym rzeczywistym kątem drogi (*RKD*).

Nakazany i rzeczywisty kąt drogi można rozróżniać w układzie geograficznym (wtedy mówimy o nakazanym kącie drogi geograficznym – *NKDG*, i rzeczywistym kącie drogi geograficznym – *RKDG*) lub w układzie magnetycznym (*NKDM* i *RKDM*).

## Kurs

Wydaje się, że aby lecieć wzdłuż linii drogi wystarczy zgodnie z tą drogą skierować podłużną oś szybowca. W rzeczywistości jest to wystarczające tylko wówczas, gdy nie wieje wiatr boczny do trasy. Utrzymanie szybowca wzdłuż trasy przy locie z bocznym wiatrem, wymaga odchylenia osi podłużnej szybowca od linii drogi „pod wiatr”. Wynika z tego konieczność odróżnienia kierunku osi podłużnej szybowca od kąta drogi (rys. 31).

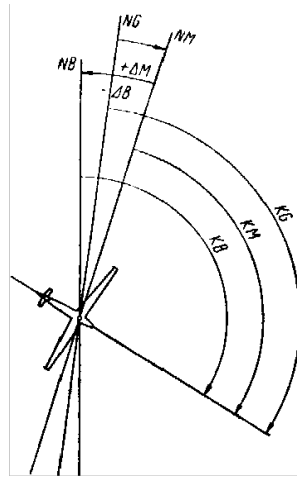


Rys. 31. Kąt drogi a kurs

Kąt zawarty między północnym końcem południka a podłużną osią szybowca jest nazywany **kursem szybowca** lub krótko – kursem. Jest on mierzony w prawo od północnego zwrotu południka od  $0^\circ$  do  $360^\circ$ .

Kurs pokazuje nam, w jakim kierunku w stosunku do północy skierowany jest przód szybowca, niezależnie od tego, jaki jest kierunek lotu szybowca względem Ziemi. Przez każdy punkt, nad którym znajduje się w danej chwili szybowiec, przechodzi południk geograficzny i magnetyczny, odchylone od siebie o kąt zwany deklinacją. Można również przez ten punkt przeprowadzić umowny południk busoli, odchylony od południka magnetycznego o kąt równy dewiacji busoli (rys. 32). Stąd przy zachowaniu stałego kierunku osi podłużnej szybowca można pomierzyć trzy kursy, różniące się zwykle między sobą o kilka stopni:

- kurs geograficzny (*KG*), mierzony od południka geograficznego,
- kurs magnetyczny (*KM*), mierzony od południka magnetycznego,
- kurs busoli (*KB*), odczytywany przez pilota w locie, mierzony od umownego południka busoli.



Rys. 32. Kursy: geograficzny, magnetyczny i busoli

W obliczeniach nawigacyjnych posługujemy się wszystkimi rodzajami kursów i dlatego należy umieć szybko i bezbłędnie przeliczać jeden rodzaj kursu na inny.

Rysunek 32 przedstawia graficzną metodę porównania i przeliczania kursów. Z rysunku tego widać wyraźnie, że:

- kurs magnetyczny różni się od kursu geograficznego o wartości deklinacji,
- kurs busoli różni się od kursu geograficznego o sumę algebraiczną deklinacji i dewiacji,
- kurs busoli różni się od magnetycznego o wartość dewiacji, tzw. **wariację** ( $\Delta V$ ).

Przy stosowaniu graficznej metody przeliczania kursów należy pamiętać, że wartość i znak dewiacji busoli zmieniają się wraz ze zmianą kursu, a więc dany południk busoli może się odnosić tylko do danego kursu.

Metoda graficzna, pozwalająca zrozumieć zasadę przeliczania kursów, nie jest stosowana w praktyce. W obliczeniach nawigacyjnych przy przeliczaniu kursów, podobnie jak przy liczeniu kątów drogi, posługujemy się metodą algebraiczną, stosując następujące wzory:

$$KM = KG - (\pm \Delta M)$$

$$KB = KM - (\pm \Delta B)$$

i odwrotnie:

$$KM = KB + (\pm \Delta B)$$

$$KG = KM + (\pm \Delta M)$$

Aby uniknąć pomyłek, dobrze jest zapamiętać następującą zasadę. Przechodząc do kursu geograficznego przez magnetyczny do kursu busoli odejmujemy algebraicznie poprawki ( $\Delta M$  i  $\Delta B$ ), a przechodząc od kursu busoli do geograficznego przez magnetyczny dodajemy poprawki.

Można to zilustrować następującym schematem:

KG	+ $(\pm \Delta M)$	-	KM	+ $(\pm \Delta B)$	KB
----	--------------------	---	----	--------------------	----

Przykłady:

- 1)  $KG = 011^\circ$ ;  $\Delta M = -4^\circ$ ;  $KM = ?$   
 $KM = 011^\circ - (-4^\circ) = 011^\circ + 4^\circ = 015^\circ$
- 2)  $KM = 093^\circ$ ;  $\Delta B = +6^\circ$ ;  $KB = ?$   
 $KB = 093^\circ - (+6^\circ) = 093^\circ - 6^\circ = 087^\circ$
- 3)  $KB = 003^\circ$ ;  $\Delta B = -6^\circ$ ;  $KM = ?$  ( $KB + 003^\circ = 363^\circ$ )  
 $KM = 363^\circ + (-6^\circ) = 363^\circ - 6^\circ = 357^\circ$
- 4)  $KM = 358^\circ$ ;  $\Delta M = +4^\circ$ ;  $KG = ?$   
 $KB = 358^\circ + (+4^\circ) = 358^\circ + 4^\circ = 362^\circ = 002^\circ$

Uwaga. Jeżeli w celu przeliczenia kursu trzeba od kursu odjąć bezwzględną wartość poprawki przewyższającej bezwzględną wartość samego kursu, należy kurs powiększyć o 360° i dopiero wykonać działanie, jak w przykładzie trzecim. Jeżeli z przeliczenia kursu wyniknie kurs większy niż 360°, od wyniku należy odjąć 360°, jak w przykładzie czwartym. Uwagi te mające zastosowanie do kierunków północnych, dotyczą również przeliczania kątów drogi.

Do szybkiego przeliczania kursu geograficznego na kurs busoli i odwrotnie, można posłużyć się wariacją:

$$\Delta V = (\pm \Delta M) + (\pm \Delta B)$$

Wówczas wzór przyjmuje następującą postać:

$$KB = KG - (\pm \Delta V)$$

$$KG = KB + (\pm \Delta V)$$

Przykłady:

1)  $KB = 315^\circ$ ;  $\Delta M = -1^\circ$ ;  $\Delta B = +3^\circ$ ;  $KG = ?$

$$\Delta V = (-1^\circ) + (+3^\circ) = -1^\circ + 3^\circ = 2^\circ$$

$$KG = 315^\circ + (+2^\circ) = 315^\circ + 2^\circ = 317^\circ$$

2)  $KG = 067^\circ$ ;  $\Delta M = +4^\circ$ ;  $\Delta B = -3^\circ$ ;  $KB = ?$

$$V = (+4^\circ) + (-3^\circ) = 4^\circ - 3^\circ = +1^\circ$$

$$KB = 067^\circ - (+1^\circ) = 067^\circ - 1^\circ = 066^\circ$$

### Oznaczenie kierunku i prędkości wiatru

Podstawą większości obliczeń nawigacyjnych jest znajomość kierunku i prędkości wiatru. W komunikatach meteorologicznych przyjęto podawać kierunek wiatru – skąd wieje wiatr. Kierunek ten nosi nazwę meteorologicznego kierunku wiatru ( $D_m$ ).

Prędkość wiatru ( $U$ ) podaje się w m/s lub w km/h. Dla wiatrów wiejących w warstwie przyziemnej – od 0 m do 400 m podaje się meteorologiczny kierunek wiatru wg róży wiatrów, np. *NW*, lub rzadziej w stopniach np.  $315^\circ$ , a prędkość w m/s. Dla wiatrów na wysokości powyżej 400 m, zwanych wiatrami górnymi, meteorologiczny kierunek wiatru podaje się w stopniach, np.  $240^\circ$ , a prędkość w km/h, np. 60 km/h.

W obliczeniach nawigacyjnych meteorologiczny kierunek wiatru zmienia się na nawigacyjny kierunek wiatru ( $D$ ), to jest na kierunek – dokąd wiatr (rys. 33). Meteorologiczny kierunek wiatru jest odmierzany od południka geograficznego, a kierunek nawigacyjny jest kierunkiem odniesionym od południka magnetycznego.

Aby zamienić kierunek meteorologiczny wiatru na kierunek nawigacyjny, należy do kierunku podanego w komunikacie meteorologicznym dodać  $180^\circ$ , jeśli jest on mniejszy niż  $180^\circ$ , lub odjąć, jeśli jest większy niż  $180^\circ$ , a następnie do otrzymanej wartości odjąć algebraicznie deklinację.

$$D = D_m + (\pm 180^\circ) - (\pm \Delta M)$$

W praktyce, szczególnie w szybownictwie, pomija się odejmowanie deklinacji (rys. 32) i wówczas:

$$D = D_m + (\pm 180^\circ)$$

Do obliczeń nawigacyjnych stosuje się prędkość wiatru wyrażoną w km/h. Zachodzi więc konieczność zmiany prędkości wiatru podawanej w m/s na km/h. Aby tego dokonać należy prędkość podaną w m/s pomnożyć przez 3,6. W praktyce można to obliczenie przeprowadzić w pamięci przez przemnożenie prędkości wiatru przez 4 i odjęcie 10% od otrzymanego wyniku.

Przykłady:

1)  $10 \text{ m/s} = ? \text{ km/h}$

$$10 * 3,6 = 36 \text{ km/h}$$

$$\text{lub } 10 * 4 = 40 \quad 10\% = 4$$

$$40 - 4 = 36 \text{ km/h}$$

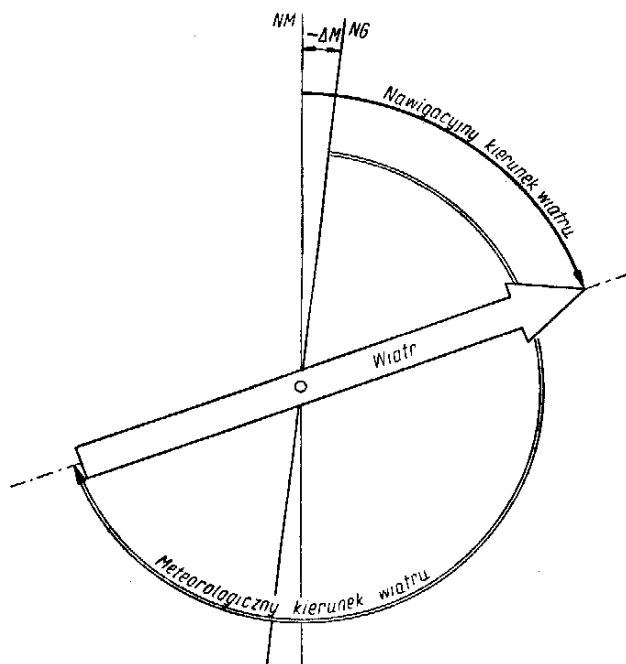
2)  $18 \text{ m/s} = ? \text{ km/h}$

$$18 * 3,6 = 64,8 \text{ km/h} \approx 65 \text{ km/h}$$

$$\text{lub: } 18 * 4 = 72 \quad 10\% \approx 7,2 = 7$$

$$72 - 7 = 65 \text{ km/h.}$$

Przeliczanie prędkości wiatru podanej w km/h na prędkość w m/s polega na podzieleniu wartości podanej w km/h przez 3,6.



Rys. 33. Meteorologiczny i nawigacyjny kierunek wiatru

## Prędkość lotu

W fizyce przez pojęcie prędkości rozumie się stosunek drogi przebytej przez jakieś ciało do czasu przebycia. Prędkość jest obliczana z ogólnego wzoru:

$$v = S / t$$

W lotnictwie, a w szczególności w nawigacji lotniczej, istotne znacznie ma odróżnienie prędkości samolotu lub szybowca osiąganego w stosunku do otaczającego powietrza, od prędkości osiąganego w stosunku do Ziemi.

Jak wiemy z meteorologii, masy powietrza zwykle przemieszczają się z pewną prędkością w stosunku do powierzchni Ziemi. Szybowiec lecący w przesuwającej się masie powietrza jest więc razem z nią przesuwany względem Ziemi. Tylko przy locie w ciszy prędkości te będą sobie równe. Prędkość względem powietrza, zwana **prędkością powietrzną** ( $V$ ) jest stosunkiem drogi, jaką przeleci szybowiec lub samolot w otaczającej go masie powietrza do czasu jej przebycia.

W otaczającej szybowiec masie powietrza brak jest widocznych punktów odniesienia, w stosunku do których można by pomierzyć drogę przebytą przez szybowiec. Prędkość powietrza można zmierzyć tylko prędkościomierzem, działającym na zasadzie pomiaru różnicy ciśnień, zależnej od prędkości lotu.

Prędkość odczytana z prędkościomierza ( $V_i$ ) tzw. **prędkość instrumentalna**, różni się prędkości powietrznej rzeczywistej o błąd własny przyrządu, o błąd wynikający z wpływu aerodynamicznego części szybowca na dyszkę pomiarową oraz o błąd metodyczny wynikający z tego, że prędkościomierz jest skalowany w warunkach atmosfery wzorcowej, a pracuje w innych warunkach. W praktyce do celów nawigacji szybowcowej, podczas lotów wykonywanych do wysokości 2000 m nad poziom morza i przyjmuje się, że prędkość odczytana z przyrządu równa jest prędkości powietrznej.

Prędkość szybowca względem Ziemi nosi nazwę **prędkości podróżnej** ( $W$ ). Prędkość podróżna jest prędkością złożoną z prędkości powietrznej szybowca, z którą szybowiec leci w otaczające go masie powietrza, i prędkości tej masy powietrza, która „unoszą” z sobą szybowiec względem Ziemi. Prędkość podróżna może być obliczona na podstawie drogi przebytej przez szybowiec względem Ziemi i czasu lotu, ponieważ na Ziemi znajduje się wiele punktów odniesienia, umożliwiających dokładny pomiar długości przebytej drogi.

W dalszych rozdziałach będziemy się również posługiwać następującymi określeniami prędkości:

- prędkość przeskoku ( $V_s$ ),
- prędkość przelotowa ( $V_p$ ),
- prędkość podróżna przelotu ( $W$ ).

Dokładne zrozumienie tych pojęć jest niezbędne do opanowania podstaw nawigacji szybowcowej. Dlatego też dobrze jest porównać omówienie tych pojęć z rozdziałem VIII podręcznika „Zasady pilotażu”, wydanego w cyklu Biblioteka Aeroklub PRL – „Szkolenie szybowcowe”.

**Prędkość przeskoku** ( $V_s$ ) jest prędkością, jaką osiąga szybowiec na odcinku lotu prostego przelotu szybowcowego. Jest to prędkość powietrzna i może być mierzona prędkościomierzem.

**Prędkość przelotowa** ( $V_p$ ) jest to stosunek drogi w masie powietrza jaką przebywa szybowiec podczas przelotu do czasu trwania przelotu. Na czas trwania przelotu składa się zarówno czas krążenia w kominach

termicznych ( $t_w$ ), jaki i czas lotu na odcinkach prostych ( $t_s$ ). Prędkość przelotowa jest również prędkością względem masy powietrza.

**Prędkość podróżna przelotu ( $W$ )** jest to stosunek drogi przebytej przez szybowiec względem Ziemi, mierzonej wzdłuż linii prostej, do czasu przebycia tej drogi.

**Uwaga.** Przepisy sportowe, a za nimi i codzienny język lotniczy przez pojęcie „prędkość przelotowa” określają tę prędkość, która w podręczniku „Nawigacja Szybowcowa” jest nazywana „prędkością podózną”.