

Navigacija

P r e d g o v o r

Skripta je učbenik namenjena športnim pilotom, zato vsebujejo temeljno gradivo iz računske navigacije in osnovne napotke iz vodenja vizualne navigacije. Pri sestavi sem se držal načela, da mora biti razumljiva z dovolj slikovnega materiala in da je v njej toliko teorije, ki jo pilot potrebuje v praksi.

Čeprav smo v dobi GPS navigacije, sem prepričan, da brez osnovnega znanja v letalski navigaciji ne bo šlo. Enakega mnenja je večina izkušenih učiteljev motornega letenja, ki meni, da sodobna tehnika tudi lahko odpove. Pilot mora biti sposoben, da po temeljiti pripravi navigacijskega plana na zemlji, let nadaljuje s pomočjo računske in vizualne navigacije.

Učbenik poklanjam v spomin svojemu učitelju in prijatelju Maksu Arbeiterju, ki mi je omogočil, da sem 27 let kot upravnik letalske šole Aerokluba Celje, nadaljeval njegovo delo. Hvala Maks! Nikoli ne bom pozabil ur, ki sva jih prebila skupaj, ko sva razglabljala in analizirala posamezne lete.

Vsem uporabnikom želim, da si z njo pridobijo dovolj osnovnega znanja.

Celje, dne 01. 03. 2006

Avtor:
Peter Karner,
učitelj jadralnega in motornega letenja

Kazalo

Predgovor	2
Kazalo	3
1. Uvod	5
2. Osnovni pojmi o Zemlji	6
2.1 Oblika Zemlje in njen položaj v Sončnem sistemu	6
2.2 Krogi na zemeljski obli	7
2.3 Geografske koordinate	8
2.4 Strani neba	9
2.5 Pojem smeri, kurza in poti	9
2.5.1 Smer	10
2.5.2 Kurz	10
2.5.3 Pot	10
2.5.4 Stranski kot	11
2.6 Ortodroma	11
2.7 Loksodroma	12
3. Merske enote v navigaciji	12
4. Letalske karte	14
4.1 Kaj je karta?	14
4.2 Kartografske projekcije	14
4.3 Vrste letalskih kart	17
4.4 Vsebina karte	17
5. Osnovni navigacijski elementi in instrumenti	18
5.1 Kurz in kompas	18
5.2 Višina in višinomer	22
5.3 Hitrost in merilnik hitrosti	27
5.4 Čas	30
6. Veter v navigaciji	31
6.1 Smer in hitrost vetra	31
6.2 Vpliv vetra na gibanje zrakoplova	31
7. Navigacijski pribor, merjenja in osnovni navigacijski izračuni	34
7.1 Merjenje razdalj na karti	34
7.2 Merjenje kotov	36
7.3 Določanje geografskih koordinat	36
7.4 Računsko določanje razdalj	37
7.5 Osnovni navigacijski izračuni	38
8. Navigacijska priprava leta	39
8.1 Splošna navigacijska priprava	39
8.2 Predhodna navigacijska priprava	39
8.2.1 Meteorološka priprava leta	39
8.2.2 Izbor, risanje in študiranje maršrute	39
8.2.3 Določanje višine leta	40
8.2.4 Navigacijski izračun leta	40
8.2.5 Priprava karte	41
8.2.6 Izpolnjevanje navigacijskega plana leta	43
8.3 Končna navigacijska priprava leta	44

9. Vizualna orientacija	45
9.1 Orientacija in orientiri	45
9.1.1 Uporaba vizualne orientacije	46
10. Uporaba računske navigacije	46
10.1 Pozicija zrakoplova in zahtevana linija poti	46
10.2 Kontrola leta	47
10.2.1 Kontrole leta po smeri	47
10.2.2 Kontrola leta po razdalji	49
10.3 Letenje v specifičnih pogojih	49
10.4. Izguba orientacije	49
11. GPS	50
11.1 GPS instrumenti	50

1. UVOD

Letalska navigacija je znanost in hkrati večina vodenja zrakoplova od ene do druge točke. Njena osnovna naloga je, da z zrakoplovom pridemo v predvidenem času po odrejeni poti na želeno mesto. Hiter razvoj letalske tehnike in potreba po letenju v vseh meteoroloških pogojih sta bila osnova za njen razvoj. Prav zaradi tega nam danes omogoča varno vodenje zrakoplova podnevi in ponoči na vse razdaljah, ter v vseh meteoroloških pogojih.

Osnovni navigacijski elementi so: smer (kurz), višina, hitrost in čas letenja. Za lažje določanje in vzdrževanje vseh elementov, letalska navigacija uporablja sredstva in metode. V praksi se koristijo naslednje metode: vizualna, računska, radionavigacija, astronomska, barična in najnovejša GPS navigacija.

1.1 Vizualna navigacija

je metoda pri kateri pilot vizualno primerja karto z zemljiščem nad katerim leti. Pri tem uporablja že prej omenjeni sredstvi karto in kompas.

1.2 Računska navigacija

je metoda pri kateri navigacijske naloge rešujemo računsko. Merimo kurz, določamo potovalno hitrost, čas in višino leta. Pri tem uporabljamo navigacijske instrumente kot so kompas, merilnik hitrosti, uro in višinomer.

1.3 Radionavigacija

je metoda vodenja zrakoplova s pomočjo radionavigacijskih naprav in radarja.

1.4 Astro navigacija

omogoča vodenje zrakoplova s pomočjo nebesnih teles, predvsem zvezd stalnic.

1.5 Inercialna navigacija

je metoda, ki omogoča vodenje zrakoplova s pomočjo instrumentov, ki merijo inercialne sile, ki so posledica pospeškov zrakoplova. Ti instrumenti stalno dajejo koordinate pozicije, kurz, hitrost in preleteno razdaljo, brez pomoči zunanjih objektov in naprav.

1.6 Barična navigacija

je vodenje zrakoplova z odrejanjem vpliva vetra na elemente leta zrakoplova iz podatkov o barometerskem tlaku na višinskih kartah enakega tlaka. To metodo uporabljamo za planiranje letov na velikih višinah.

1.7 GPS (Global Positioning System)

je svetovni položajni sistem, ki temelji na uporabi tehnologije satelitske radijske navigacije. Leta 1973 ga je začelo vzpostavljati ameriško obrambno ministrstvo. Sestavlja ga 21 aktivnih in trije rezervni sateliti, kar mu zagotavlja potrebno zanesljivost delovanja ter dostopnost in uporabnost kjer koli na zemeljski obli, ob katerem koli času in ne glede na vremenske razmere. To pomeni, da lahko uporabnik s prenosnim sprejemnikom GPS kjer koli in kadar koli natančno ugotovi svoj geografski položaj.

2.Osnovni pojmi o Zemlji

2.1 Oblika Zemlje in njen položaj v Sončnem sistemu

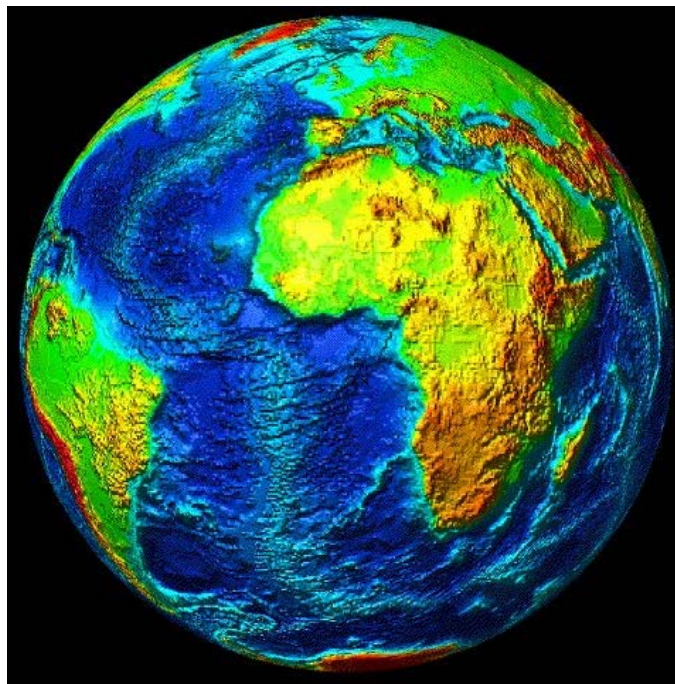
Zemlja je najbliže Soncu januarja, najdlje pa v začetku julija. Zemlja je tretji planet sončnega sistema, za Merkurjem in Venero, ki sta bliže Soncu. Nekoč je bilo potrebno dokazovati, da ima Zemlja obliko krogle. Danes je to samoumevno pa tudi to, da se kot krogla giblje po vesoljskem prostranstvu. Njena oblika odgovarja rotacijskemu elipsoidu, katerega premer je 6378,368 km. Sploščenost znaša približno 21,5 km. Površina Zemlje ni ravna. Raziskave so pokazale, da ima obliko geoida. Vsa odstopanja od pravilne oblike krogle so majhna, zato jih lahko zanemarimo in Zemljo prikazujemo kot kroglo.

Zemlja se po ekliptiki skupaj z Luno giblje okoli Sonca, ki ne leži v žarišču ampak v geometrijskem središču ekliptike. Zaradi tega ima Zemlja različno oddaljenost od Sonca. Ko je najbliže Soncu, je njena ekliptična hitrost 30 km/s (108.000 km/h). Zaradi te posebnosti je zima najkrajši letni čas.

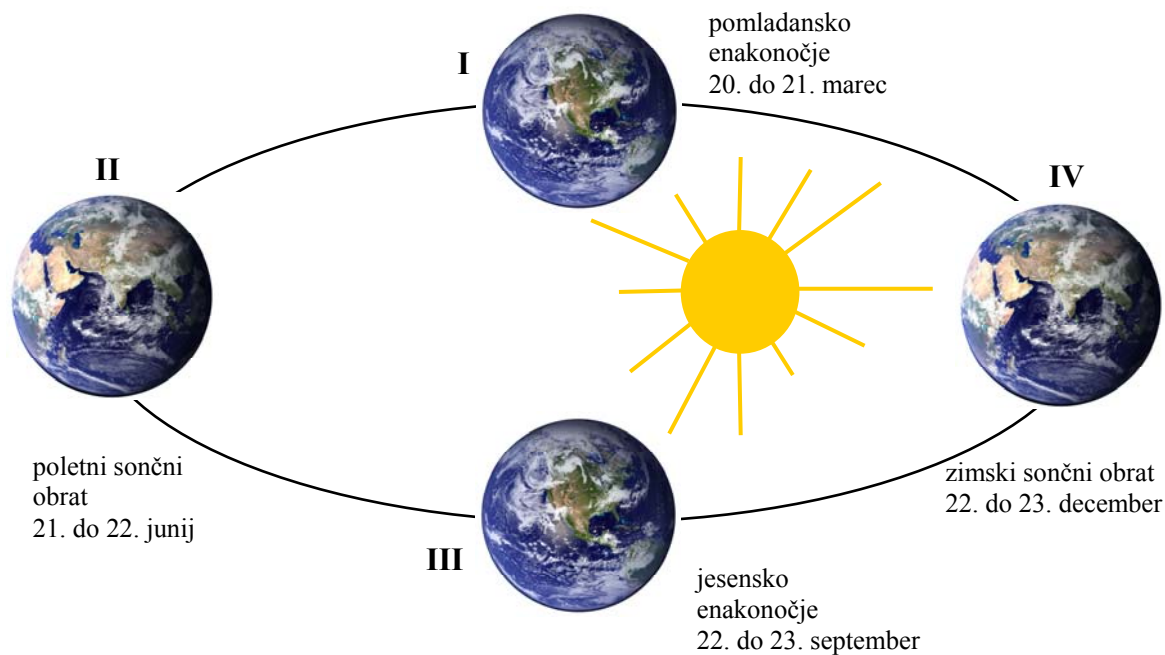
Od položaja Zemlje, njenega vrtenja okoli lastne osi in potovanja okoli sonca je odvisna klima, pojav letnih časov, dneva in noči, skratka odvisno je vse življenje na Zemlji.

Za prikazovanje Zemlje, se uporabljajo naslednje vrednosti:

- polmer ekvatorja 6378,368 km
- polmer poldnevnik 6356,912 km
- sploščenost Zemlje na polih 21,456 km
- obseg ekvatorja 40070 km 358 m
- dolžina ene stopinje 111,3 km
- dolžina ene minute 1855 m
- dolžina ene minute na 45° geografske širine 1852 m



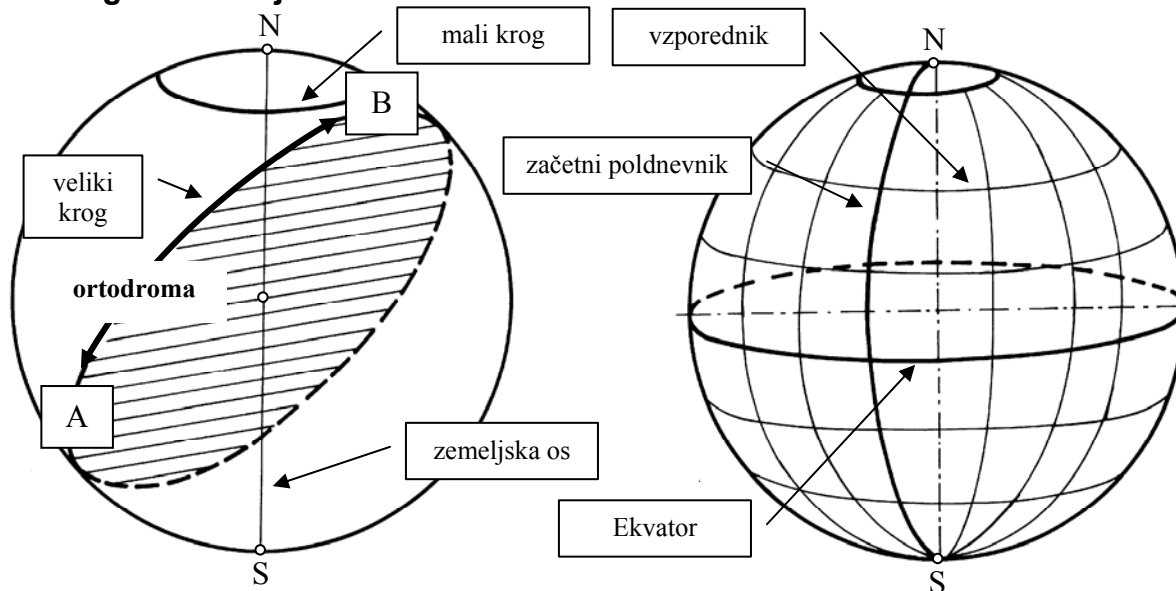
Slika 1: Oblika Zemlje



Slika 2: Pot Zemlje po ekliptiki okoli Sonca

Zemeljska os seka ravnino ekliptike pod kotom $66^{\circ} 03'$. Posledica tega nagiba so letni časi in neenakomerna dolžina dneva in noči. Ravnina ekvatorja z ekliptiko ustvarja kot $23^{\circ} 27'$. Ko je Zemlja v položaju I in III imamo enakonočje. Takrat sta dan in noč enako dolga. V položaju II je dan najdaljši, medtem ko je v položaju IV najkrajši. Zemlja skupaj s svojo luno za pot okoli Sonca potrebuje eno leto.

2.2 Krogi na zemeljski obli



Slika 3: Vzporedniki in poldnevnik

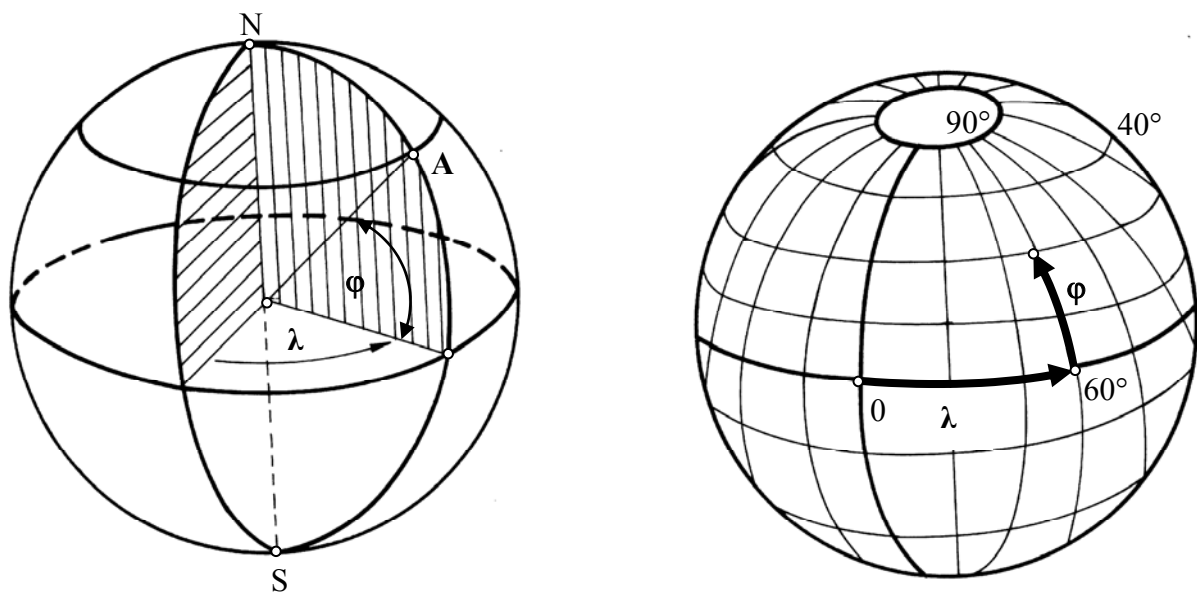
Točke, kjer zemeljska os prebada zemeljsko površino imenujemo pole. Poznamo severni in južni pol. Če zemeljsko kroglo presekamo z ravnino skozi njeno središče, razdelimo Zemljo na dva enaka dela. Tako dobimo veliki krog. Največji veliki krog je ekvator. Vsi ostali krogi, ki jih dobimo so mali krogi in so vzporedni z ekvatorjem.

Imenujemo jih vzporedniki ali kar paralele. Ekvator kot vzporedniki, so koncentrični krogi okoli zemeljske osi. Vsaka točka na zemeljski površini ima svoj vzporednik. Določa se po svoji kotni vrednosti in se računa severno ali južno od ekvatorja.

Veliki krog, ki poteka skozi zemeljska pola imenujemo poldnevnik ali meridian. Poldnevnik služi kot orientacijske linije, saj ima vsak kraj na zemeljski obli svoj poldnevnik. Določen je s stopinjskim kotom od začetnega poldnevnik vzhodno ali zahodno do 180° . Kot začetni poldnevnik uporabljamo tistega, ki gre skozi observatorij v Greenwichu blizu Londona, medtem ko 180 poldnevnik predstavlja datumsko mejo.

Pri prehodu datumske meje od zahoda proti vzhodu se šteje en dan dvakrat, v nasprotni smeri pa se en dan preskoči (mednarodni dogovor). Zemlja se vrti od zahoda proti vzhodu.

2.3 Geografske koordinate



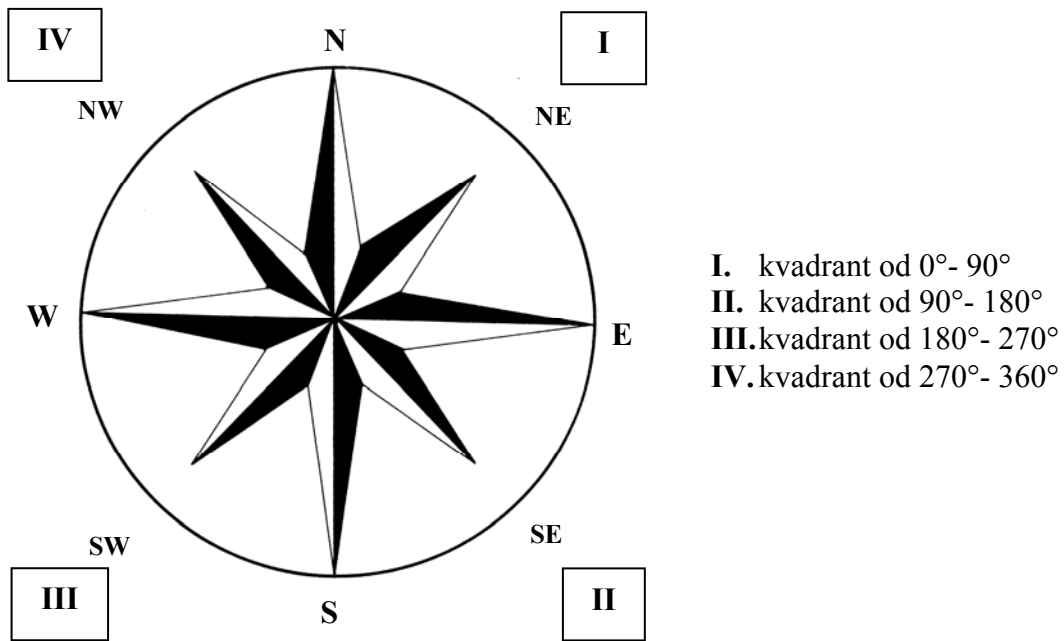
Slika 4: Geografska širina in dolžina

Ekvator, vzporedniki in poldnevnik oblikujejo geografski koordinatni sistem, s pomočjo katerega lahko vsakemu kraju na zemeljski obli določimo pozicijo.

Geografska širina nekega kraja je lok poldnevnik, merjen od ekvatorja do vzporednik določenega kraja. Je oddaljenost od ekvatorja, merjena v stopinjah severno in južno. Ekvator ima geografsko širino 0° , medtem ko ima pol 90° geografske širine. Geografsko širino zapišemo takole: N $45^\circ 54,3'$ ali N 45,907472.

Geografska dolžina je lok na vzporedniku od začetnega poldnevnik do poldnevnik določenega kraja. Meri se v stopinjah od 0° do 180° vzhodno ali zahodno od začetnega poldnevnik. Vsi kraji, ki leže na istem poldnevniku imajo tudi isto geografsko dolžino. Geografsko dolžino pa zapišemo takole: E $015^\circ 01,2'$ ali E 15,01125.

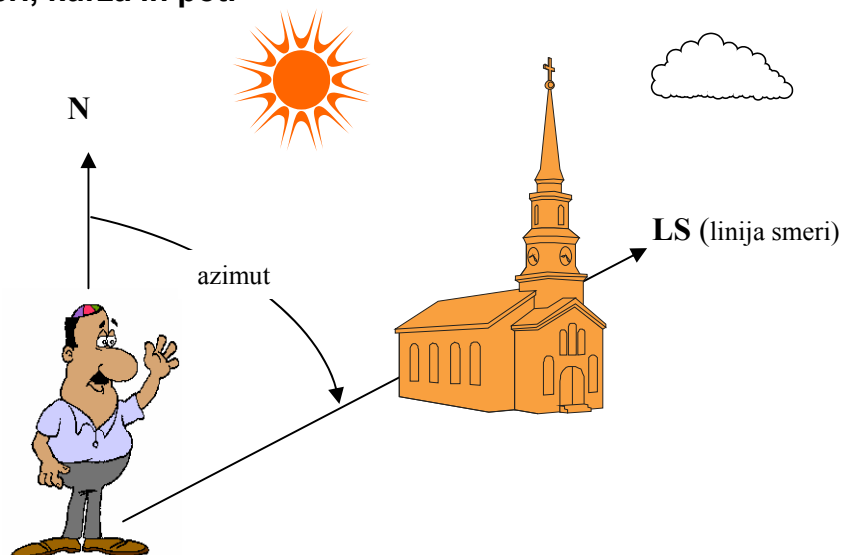
2.4 Strani neba



Slika 5: Strani neba

Zaradi lažje orientacije v prostoru delimo horizont na štiri glavne in štiri vmesne smeri. Glavne in vmesne strani neba tvorijo tako imenovano rožo vetra. Tak način določanja smeri je nenatančen in ga uporabljamo za grobo orientacijo v prostoru. V navigaciji zato smer določamo s kotom med smerjo sever in linijo smeri.

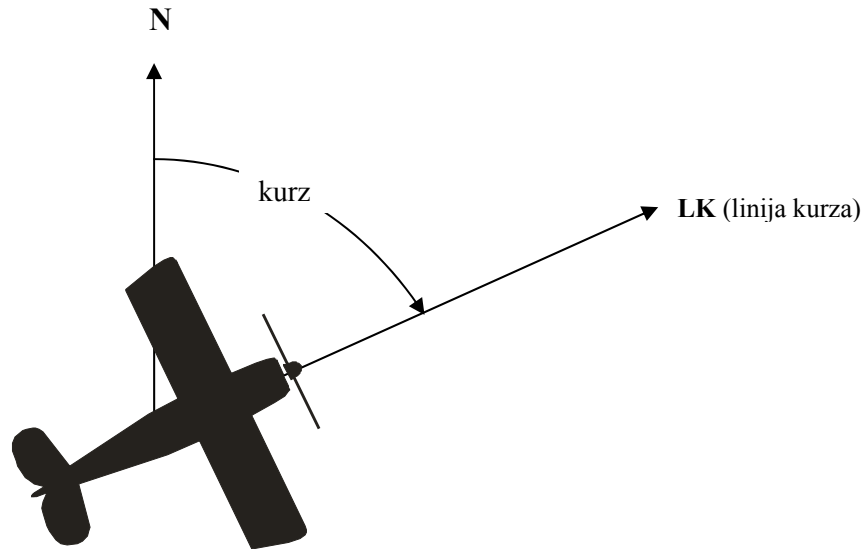
2.5 Pojem smeri, kurza in poti



Slika 6: Azimut

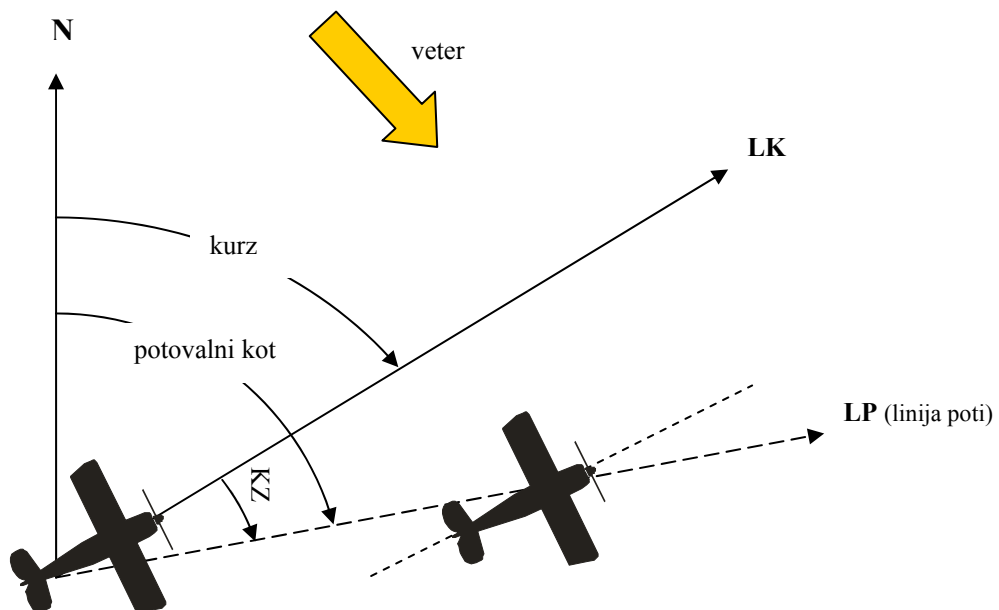
2.5.1 Smer (bearing) je namišljena navigacijska smer, ki gre od opazovalca k nekemu objektu ali obratno. Grafično smer narišemo z linijo smeri in kotom med severom in linijo smeri. Kot imenujemo azimut. Glej sliko 6.

2.5.2 Kurz (heading) je kot med smerjo severa in vzdolžno osjo zrakoplova.



Slika 7: Kurz

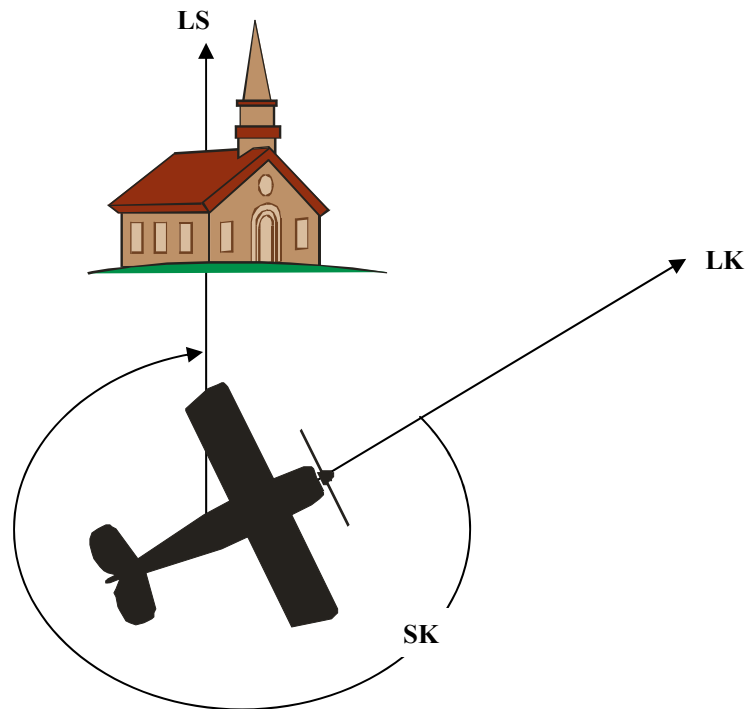
2.5.3 Pot (track) je smer po kateri se zrakoplov giblje v odnosu na zemeljsko površino.



Slika 8: Pot

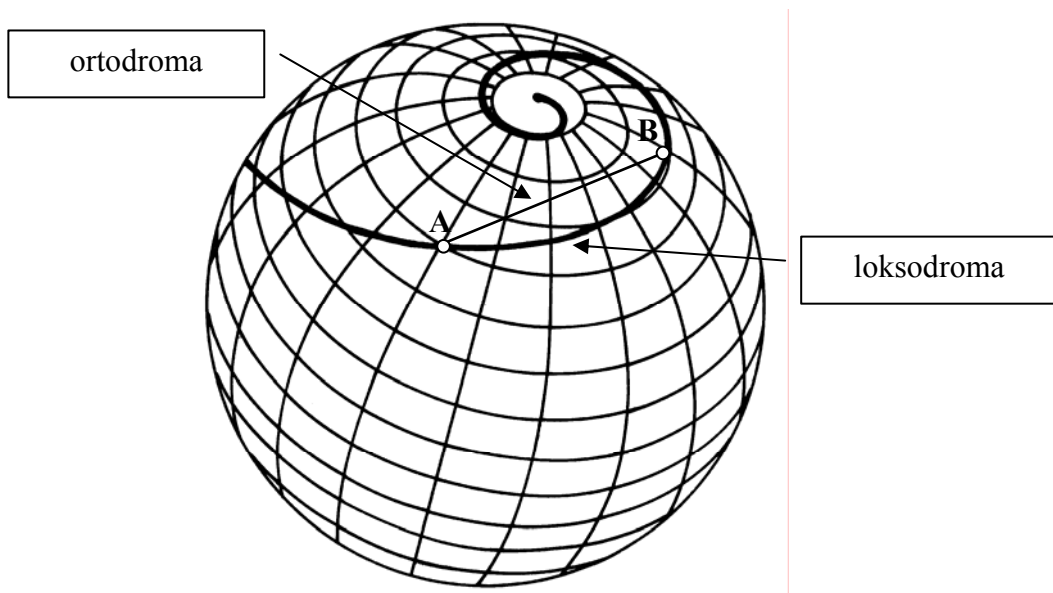
Zaradi vetra se zrakoplov nikoli ne giblje v smeri njegove vzdolžne osi. Linija kurza ni nikoli enaka liniji poti ampak se razlikujeta za kot zanosa, ki je odvisen od hitrosti in vpadnega kota vetra ter hitrosti zrakoplova.

2.5.4 Stranski kot (relative bearing) je kot med vzdolžno osjo zrakoplova in smerjo od zrakoplova do objekta.



Slika 9: Stranski kot

2.6 Ortodroma

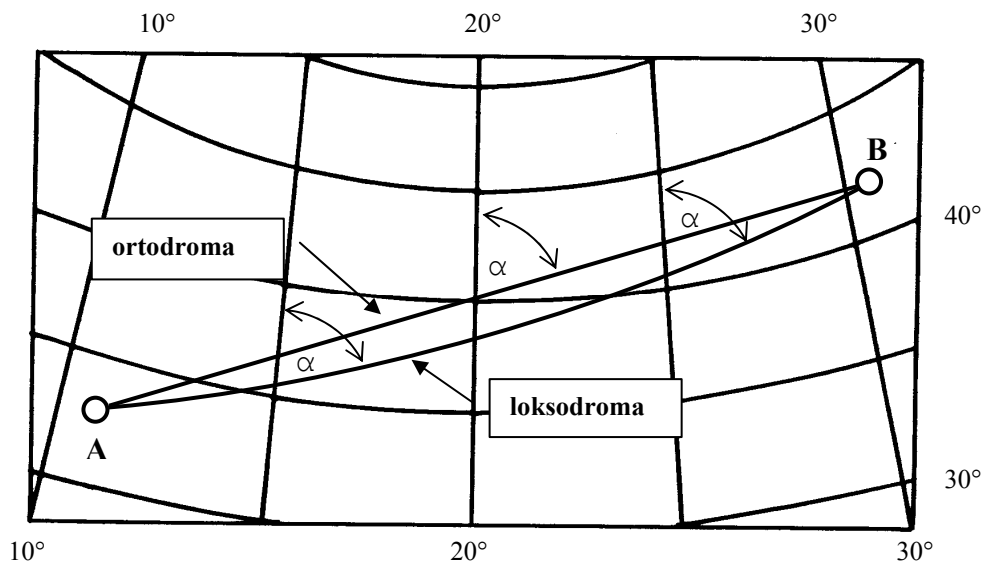


Slika 10: Ortodroma in loksodroma

Ortodroma (grško: ortos pravilen, raven, dromos pot) je najkrajša razdalja med dvema krajema na zemeljski površini. Dobimo jo, če Zemljo presekamo z ravnino, ki gre skozi dve točki in središče Zemlje. Ker ortodroma seka poldnevniko pod različnimi koti, moramo neprestano spreminjati kurz zrakoplova, razen če se leti vzdolž ekvatorja ali poldnevniko.

2.7 Loksodroma

Loksodroma (grško: loksos kos, dromos pot) je krivulja, ki povezuje dva kraja na zemeljski površini in poldnevnik seka pod istim kotom. Ekvator in vzporedniki so loksodrome. Ker loksodroma poldnevnik seka pod istim kotom, zrakoplovu ne spreminjamo kurza. Na krajših razdaljah (do 500 km) je razlika med ortodromo in loksodromo zelo majhna, zato vedno letimo po loksodromi. Največja razlika med njima nastane, če kraja ležita na ekvatorju in sta za 180° vsak sebi. Če bi se v tem primeru odločili za let po loksodromi, bi nas pot vodil po ekvatorju, medtem ko bi let po ortodromi potekal po poldnevniku preko pola. Preletena razdalja bi bila znatno krajša.



Slika 11: Konvergenca poldnevnikov

Konvergenca poldnevnikov je kot pod katerim sta dva poldnevnik nagnjena drug proti drugemu. Na ekvatorju so poldnevnik paralelni, na polih pa se združujejo. Kot pod katerim se stekajo (konvergirajo) drug proti drugemu, je odvisen od geografske dolžine dveh poldnevnikov in večje geografske širine krajev, skozi katere tečeta poldnevnik. Konvergenca v bistvu predstavlja razliko med koti pod katerimi ortodroma in loksodroma sekata poldnevnik začetne in končne točke maršrute.

3. Merske enote v navigaciji

Včasih je uporabljala vsaka država, pokrajina in mesto svoj merski sistem. Danes sta na svetu najbolj razširjena metrski in anglosaški merski sistem. Ker je večina pilotskih instrumentov anglosaškega porekla, je prav, da se s temi enotami tudi seznanimo.

Mere za dolžino

Metrične

kilometer	km	1000 metrov
meter	m	10 decimetrov
decimeter	dm	10 centimetrov
centimeter	cm	10 milimetrov

milimeter	mm	1000 mikrometrov
1. Anglosaške		
statutna milja	STM	1,61 km (1609,3 m)
navtična milja	NM	1853 m
yard	yd	91,44 cm
čevelj (feet)	ft	30,48 cm
palec (inch)	in	25,40 mm

Mere za volumen

1. Metrične		
liter	l	1 dm ³
deciliter	dl	10 centilitrov (0,1 l)
2. Anglosaške		
imperjalna galona	gal.	45,5 dl
US galona	US gal.	37,9 dl

Mere za maso

1. Metrične		
tona	t	1000 kg
metrski cent (kvintal)	q	100 kg
kilogram	kg	1000 g
2. Anglošaške		
libri (Imp.US)	lb	453,59 g

Anglosaške merske enote je včasih potrebno pretvoriti v metrski sistem in obratno. To lahko približno napravimo na pamet ali bolj natančno z navigacijskim računarjem. Za približen izračun uporabljamo naslednjo tabelo zaokroženih vrednosti merskih enot.

1 NM	1,85 km	1 km	0,54 NM
1 STM	1,6 km	1 km	0,6 STM
1 ft	0,3 m	1 m	3,3 ft
1 NM	1,15 STM	1 STM	0,87 NM
1 in	2,5 cm	1 cm	0,4 in
1 yd	0,9 m	1 m	1,1 yd
1 Imp.gal.	4,5 l	1 l	0,22 Imp.gal.
1 lb	0,45 kg	1 kg	2,2 lb

Da pri matematičnih izračunih ne boste imeli težav, uporabljajte samo vrednosti enega merskega sistema.

4. Letalske karte

4.1 Kaj je karta?

Karta je zmanjšana slika zemeljske površine. Zemeljska površina je ukrivljena, zato jo je nemogoče brez deformacij in pomanjkljivosti prikazati na ravni površini. Karte se uporabljajo za različne znanstvene, gospodarske, vojne in druge namene. Odvisno od namena, se pri njihovi izdelavi uporabljajo različne kartografske projekcije in merilo. Tudi vsebina je prilagojena namenu karte. Sestavljajo jo matematični in geografski elementi.

Med matematične elemente prištevamo: merilo, kartografsko mrežo, projekcijo in trigonometrične točke.

Geografski elementi karte so: relief, naselja, mesta, prometnice, vodno omrežje, državne meje itd.

Merilo karte je razmerje, ki pove kolikokrat je ena dolžina na karti manjša od horizontalne projekcije te dolžine v naravi. Lahko je izraženo številčno ali grafično. Glede na merilo ločimo karte velikega merila (do 1 : 100 000), na karte srednjega merila (od 1 : 200 000 do 1 : 500 000) in karte z malim merilom (od 750 000 naprej).

4.2 Kartografske projekcije

Odvisno od površine na katero prenašamo zemeljsko površje, ločimo:

- a) valjno (cilindrično) projekcijo (površino prenašamo na plašč valja),
- b) stožčno (konično) projekcijo (površino prenašamo na plašč stožca),
- c) azimutno projekcijo (površino prenašamo na ravno površino).

Pri vseh postopkih prenosa, je nemogoče doseči, da bi bili hkrati točni koti, razdalje in površine. Tudi medsebojni odnos vzporednikov in poldnevnikov je nemogoče ohraniti.

Prav zaradi tega ločimo:

- a) konformne projekcije, ki so točne v kotih,
- b) ekvidistančne projekcije so točne v razdaljah,
- c) ekvivalentne projekcije so točne v površinah.

Navigacijske karte so narejene v dogovorjenih projekcijah. To pomeni, da so osnovni tip projekcije spremenili in s tem dobili boljšo verodostojnost karte. Dogovorjene projekcije so dobile ime po svoji namembnosti ali pa po avtorju. Najbolj znane dogovorjene projekcije so Merkatorjeva, Lambert-Gaussova in polikonična.

Nizozemski kartograf Merkator je problem valjne projekcije reševal tako, da je na večji geografski širini, povečal razdaljo med vzporedniki. Na ta način je dobil pravilne oblike, medtem ko so se površine povečale. Na šestdesetem vzporedniku so površine že dvakrat večje od realnih. Bolj ko gremo proti polu, večja je ta napaka.

Glavne značilnosti Merkatorjeve projekcije so:

- a) s spremembo geografske širine se menja tudi merilo karte (na istem vzporedniku ostaja enako v vseh smereh),
- b) karta ima pravilne kote in oblike.

Karta izdelana v Merkatorjevi projekciji, je zelo primerna za pomorsko in letalsko navigacijo.