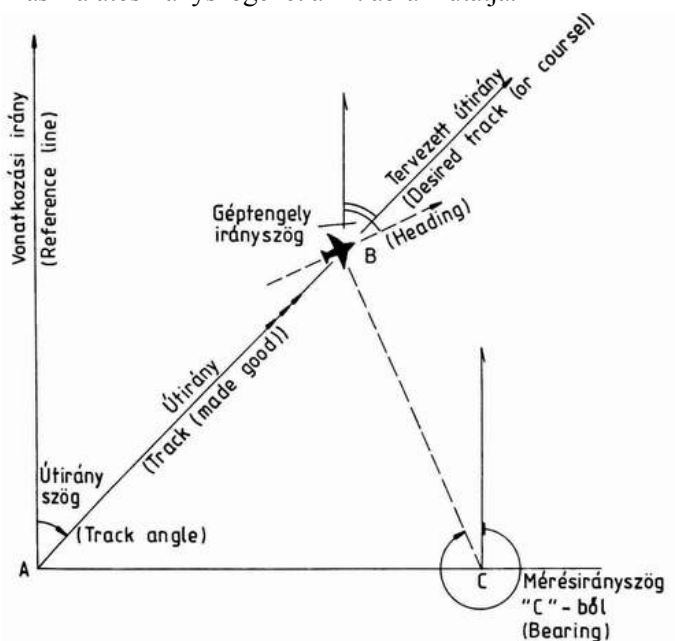


LÉGI JÁRMŰ IRÁNYAINAK MEGHATÁROZÁSA FÖLDFELÜLETEN

IRÁNYSZÖGEK

A földrajzi koordináta-rendszer egy derékszögű hálózatot alkot a földfelületen, vagyis a szélességi körök és a délkörök egymást derékszög alatt metszik. Ez a fokhálózat alkalmas arra, hogy segítségével valamely hely a földfelszínen egyértelműen meghatározható legyen és az egyik pontról egy másik pontra történő mozgás iránya a kiindulási helyen áthaladó délkörrel bezárt irányszöggel meghatározható legyen. A navigációban használatos irányszögeket az 1. ábra mutatja.



1. ábra. Irányszögek

Mérési irányszög (azimuth/bearing)

Valamely tárgyának az észlelőtől horizontális síkban mért irányszöge, melyet egy vonatkozási iránytól kiindulva az óramutató járásával megegyező irányba mérnek.

Géptengely irányszög (heading)

A légi jármű hossz tengelye és egy vonatkozási irány által bezárt szög a horizontális síkban, melyet egy vonatkozási iránytól (általában a mágneses Északtól) kiindulva az óramutató járásával megegyező irányba mérnek. Ezen értékeket helyesbítik a mágneses korrekciós adatokkal (inklináció, deklináció, deviáció).

Útirány (track)

A légi jármű haladási vonalának vetülete a Föld felületén, mely a széleltérítést és a levegő összenyomhatóságából eredő sebesség korrekciókat(is) figyelembe veszi.

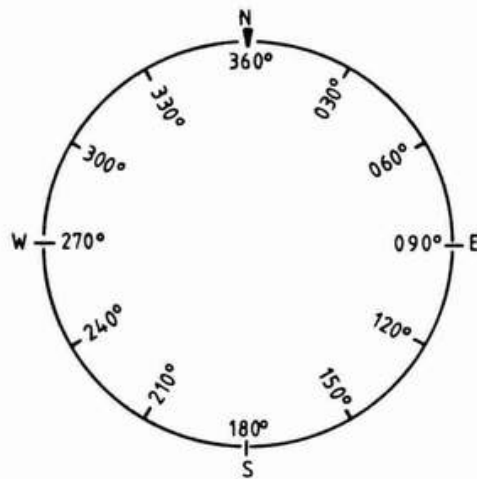
Útirányszög (track angle)

Az útirány és egy vonatkozási irány által bezárt szög a térképen, melyet egy vonatkozási iránytól kiindulva az óramutató járásával megegyező irányba mérnek.

Gyakran meg kell különböztetni a légi jármű által már megtett út irányát (track made good) és a tervezett útirányt, haladási irányt (desired track/required track/course).

Az útirányszög fogalmát nem szabad sohasem az útirány fogalmával illetve kifejezéssel helyettesíteni!

A következő fejezetekben különböző vonatkozási irányokról lesz szó, amikor különbséget kell majd tenni földrajzi, mágneses és iránytű-irányszögek között. Valamennyi irányszöget a 360°-os körszám alapján, három számjeggyel kell meghatározni 001°–360°-ig. (2. ábra)



2. ábra. Irányszög meghatározás a 360°-os körskálán

Viszonylagos irányok

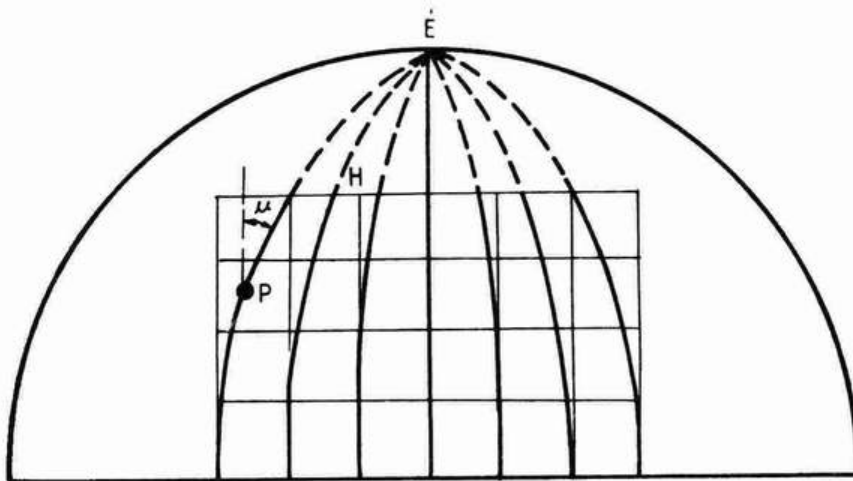
A repülésben és a légi forgalmi irányításban gyakran szükség van arra, hogy irányokat ne valamely külső vonatkozási irányhoz, hanem a légi jármű hosszten-gelyéhez képest határozzuk meg. Ilyenek pl.: a széleltérítés szöge valamint a különböző rádióirányok.

Radarirányvezetés (vektorálás) közben szükség lehet arra, hogy a légi jármű-veknek a radaron megfigyelt viszonylagos, (egymáshoz viszonyított) helyzetét az óraszám alapján határozzuk meg, ahol a helyzettájékoztatást megkapó légi jármű haladási iránya: 12 óra. A keresztező forgalom balról jobbra 9 óra irányá-ból, jobbról balra 3 óra irányából stb.

Hálózati irányok

A térképeken való könnyebb tájékozódás érdekében egyes térképlapokat derék-szögű fohálózattal látnak el. (Pl.: kutatás-mentés segítése céljából, a napjaink-ban is használt Gauss-Krüger transzverzális hengervetület).

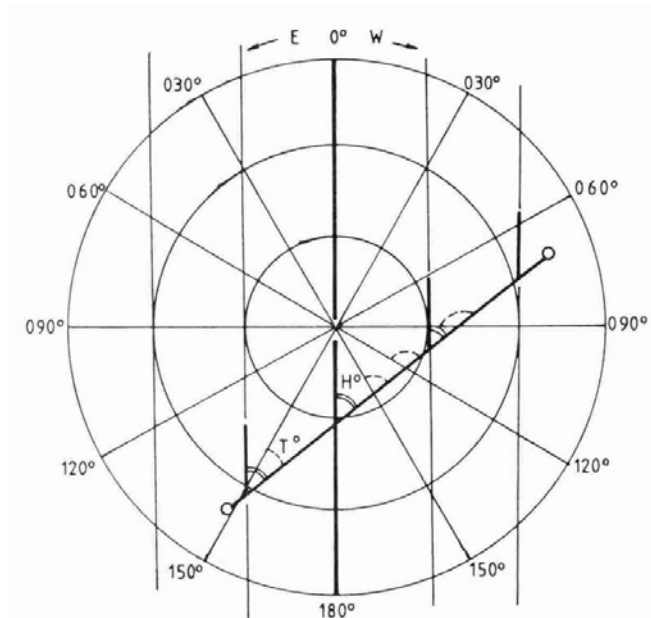
Mivel a hosszúsági körök a földgömb koordináta hálózatán a földrajzi sarko-kon találkoznak (konvertálnak), ezért a térképen sík vetületi képük sem lehet párhuzamos. Ezt a jelenséget nevezik meridián konvergenciának. Emiatt a föld-rajzi északi irány (É) és a hálózati északi irány (H) különbözik (3. ábra)!



3. ábra. A földrajzi északi irány (É) és a hálózati északi irány (H) különbsége a meridiánkonvergencia (μ) következtében

Hálózatot (grid reference) alkalmaznak még sarkköri repüléseknél is, ahol út-irányszögeket is a hálózati északhoz kell viszonyítani. (4. ábra)

A sarkkörü repüléseknél nehezíti a navigációt, hogy a meridián-konvergencia miatt túl gyorsan változik a földrajzi irányszög. Ezért a térképre a greenwichi meridiánnal párhuzamos fokhálózatot visznek rá felülnyomással, ahol a hálózati északi irány a greenwichi meridiánnal egybe esik. E hálózat segítségével a repülőgép állandó hálózati irányszögön (géptengely irányszögön vagy útirányszögön) repülhet hosszabb ideig.



4. ábra. Sarkkörü útirány kijelölés hálózati irányszöggel. A földrajzi útirányszögek változnak (T°), a hálózati irányszögek (H°) azonosak

LÉGI JÁRMŰVEK HELYZETVONALAI

A földfelületen azt a vonalat, amelynek egyik pontja a légi jármű helyzetét határozza meg egy adott időpontban valamely ponthoz vagy pontokhoz viszonyítva, a légi jármű helyzetvonalának nevezzük.

A légi jármű helyzetvonalai az alábbiak lehetnek:

- orthodroma;
- loxodroma;
- egyenazimut vonal;
- kiskör;
- hiperbola;
- ellipszis.

Orthodroma (egyenes futás)¹

A Föld felületén két adott pont között a legrövidebb távolság, melyet a nagykör (legnagyobb gömbi kör) ívén mérünk. Ha a földgömböt A és B pontokon, valamint a Föld középpontján átmenő síkkal metszük, a gömb felületén egy nagykört kapunk, melynek A és B pont közötti rövidebb szakaszát orthodromának nevezzük.

Az orthodroma a meridiánokat különböző szögek alatt metszi. A különbség ezekben a szögekben egy és ugyanazon orthodromán annál nagyobb lesz, minél közelebb fekszik az orthodroma a Sarkokhoz.

Az orthodromán (vagy meghosszabbításán) mindig meg lehet találni azt a pontot, ahol az valamelyik délkörrel 90°-os szöget zár be. Ez a pont a vertex.

A meridián-konvergencia szöge az orthodroma két végpontján áthaladó meridiánhoz húzott érintők egymással bezárt szögével határozható meg. Nagysága az adott pontok relatív hosszúságkülönbségétől és a közepes földrajzi szélességtől függ. Nulla az egyenlítőn, majd értéke a Sarkok felé haladva növekvő, ahol egyenlő a hosszúságkülönbséggel.

A gyakorlatban kielégítő pontossággal lehet kiszámítani a meridián-konvergencia értékét az alábbi képlettel:

$$\delta = \Delta\lambda \sin \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$$

ahol: δ — a meridián-konvergencia szöge egész és tized fokokban;

$\Delta\lambda$ — a relatív hosszúságkülönbség egész és tized fokokban.

Az orthodroma tehát két pont között a legrövidebb távolságot jelenti, azonban az orthodroma irányszöge folyamatosan változik a meridiánokhoz viszonyítva. Az orthodroma induló és érkező szöge a meridián és a meridián-konvergencia értékével különbözik egymástól. Az orthodroma bármely pontjára meghatározhatjuk az irányszöveget, ha ismerjük induló szögét és az adott pont földrajzi koordinátáit.

Az orthodroma, ha térképen kell megszerkeszteni, induló irányszögével (azimut) és távolságával lehet meghatározni. Két pont közötti orthodromikus távolságot az alábbi képlet segítségével számítjuk ki:

$$\cos S^\circ = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1)$$

ahol: $\cos S^\circ$ — a távolság ívszöge fokokban és tizedekben;

φ_1 és λ_1 — az induló pont koordinátái fokokban és tizedekben;

φ_2 és λ_2 — az érkezési hely koordinátái fokokban és tizedekben.

A távolságot tehát ívmértékben fejezi ki a képlet.

¹ Bakos Ferenc: Idegen szavak és kifejezések szótára [1].

Az orthodroma alkalmazása a repülésben

- 1) Nagy távolságú útvonalrepülésnél orthodromán jelölik ki a repülés útvonalát a jelentős távolságmegtakarítás miatt. A inerciális navigációs berendezés a giroszkópikus iránytű használata közvetlenül lehetővé teszi az orthodrom útvonal követését.
- 2) Orthodroma a légi jármű helyzetvonala radariránymérés, földi rádióiránymérés esetén, mivel a rádióhullámok a nagykörök mentén terjednek. A VOR-radiálók is orthodromának felelnek meg.
- 3) Orthodromikus irányszöget határoznak meg a csillagászati helyzetháromszög kiszámításához, amikor az égitest azimutját határozzák meg méréssel. (A fény egyenes vonalban terjed.)
- 4) A földterületen látással (optikai eszközzel) történő irányvonal meghatározásnál is az észlelő meridiánja és a kiválasztott tereptárgy iránya által bezárt szög (azimut) orthodromikus irányszög.

Loxodroma (ferde futás)²

A földterületen két pont között az a szabályos görbe vonal, amely a délköröket állandó (azonos) szögek alatt metszi. A loxodroma egy olyan csigavonal két pont közötti szakasza, amely a sarkok felé aszimptotikusan közelít (5. ábra).

Bár a loxodroma két pont között nem a legrövidebb útirány, előnye, hogy szögtartó. Amikor a légi jármű vezetője mágneses iránytűvel állandó irányszög tartásával repül: loxodromát követ.

Rövid távolságokon nem nagy az eltérés az orthodroma és a loxodroma között, ezért a gyakorlatban 5–600 km-ig terjedő távolságokig az útirányt loxodromán lehet kijelölni.

Nagy távolságú repüléseknél mindig meg kell határozni az orthodroma és a loxodroma közötti különbséget. A jelentős távolságnövekedés miatt az orthodromán kell kijelölni az útvonalat, és ezt rövidebb loxodromikus útirányszakaszra kell felbontani.

Azt az állandó irányszöget, mellyel a loxodroma a délköröket metszi, loxodromikus útirányszögnek nevezzük.

A loxodromikus útirányszöget az indulási és érkezési hely közötti középső meridiánhoz viszonyítva mérjük. Ebből következik, hogy az orthodroma induló szöge és a loxodromikus útirányszög közötti különbség a meridián-konvergencia felével lesz egyenlő.

Az északi félgömbön az orthodroma induló szöge kisebb (meridián-konvergencia értékének felével), a déli félgömbön pedig nagyobb, mint a

² Bakos Ferenc: Idegen szavak és kifejezések szótára [2].

loxodromikus irányszög. Ezért az orthodroma a sarkok felé, a loxodroma pedig az egyenlítő felé domború szabályos görbe vonal. A loxodromikus irányszög:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cos \varphi$$

ahol:

φ — a közepes földrajzi szélesség, vagyis $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$;

φ_1 és φ_2 — a kezdő és végpont földrajzi szélessége ívpercekben;

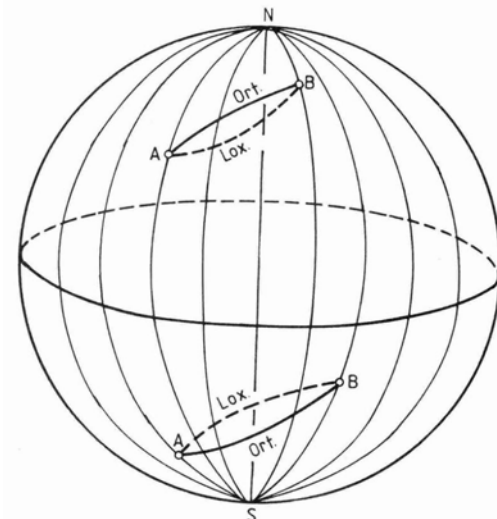
λ_1 és λ_2 — a kezdő és végpont földrajzi hosszúsága ívpercekben.

Az így kiszámított útirányszöget azonban helyesbítés nélkül csak $360^\circ - 090^\circ$ közötti értékekre lehet számításba venni!

$091^\circ - 179^\circ$ között a helyesbítés $180^\circ - \alpha$

$180^\circ - 269^\circ$ között a helyesbítés $180^\circ + \alpha$

$270^\circ - 359^\circ$ között a helyesbítés $360^\circ - \alpha$



5. ábra. Orthodroma-Loxodroma

A loxodromikus útirány nagyságát, a két pont közötti távolságot az alábbi képlet adja:

$$s = 1,852 \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\cos \alpha}$$

ahol:

- s — a távolság kilométerben;
 φ_1 és φ_2 — a loxodroma kezdő és végpontjának földrajzi szélessége ívpercekben;
 α — az útirányszög az előző képlet szerint kiszámítva.

A hengervetületű (pl.: Mercator) térképeken a loxodroma egyenessel ábrázolható, tehát más vetületi rendszerben készült grafikusan átvihetjük a tervezett útirányt a közbenső pontok koordinátái segítségével.

Kúpvetületű térképen, közepes földrajzi szélességeken a légi közlekedés számára kielégítő pontossággal megszerkeszthető a loxodromikus útirány a következő módon:

- az útirány kezdő és végpontját egy egyenessel összekötjük;
- a közbenső meridiánál lemérjük a loxodromikus útirányszöget;
- kezdőpontból kiindulva a közbenső meridiánoknál felmérjük a loxodromikus útirányszöget.

A metszéspontokat összekötve egy tört vonalat kapunk, amely megközelíti a loxodromát.

Az egyenlő azimutok vonala (egyenazimut vonal)

Egy rádióállomástól kiinduló szabályos görbe vonal a földfelületen, amely bármely pontján azonos a rádióállomás orthodromikus iránya és a délkörök által bezárt szög.

Ha a repülőgépről rádióiránytű segítségével (önbeméréssel, pl.: QDM) határozzák meg a földi rádióállomás irányát, akkor a repülőgép helyzetvonala a rádióállomástól kiinduló egyenazimutvonal lesz. Valamely rádióállomástól számtalan egyenazimutvonal húzható. Mivel a rádióiránymérés egész fokú pontossággal történik, gyakorlatilag minden rádióállomástól 360 egyenazimut görbét lehet szerkeszteni. Ezek közül valamelyik a légi jármű helyzetvonala a fedélzeti rádió iránymérés pillanatában (6. ábra).

Az egyenazimutvonal egyenlete:

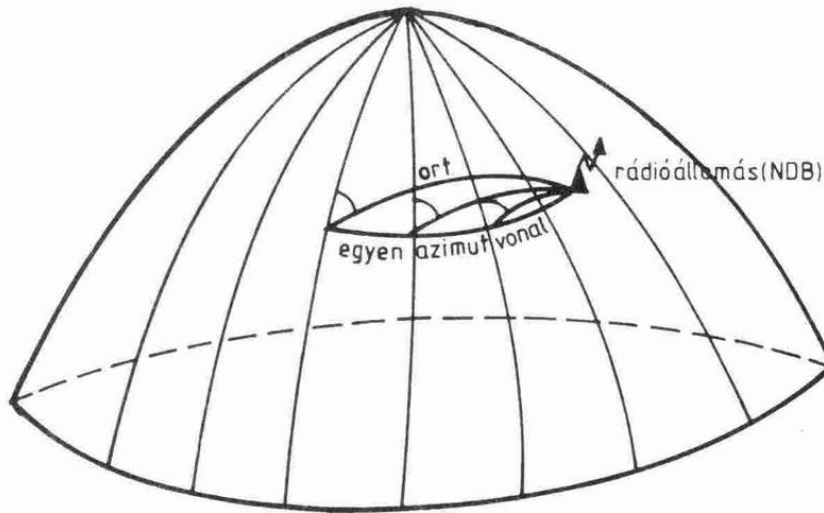
$$\operatorname{ctg} \pi = \cos \varphi \operatorname{tg} \varphi_0 \cos(\lambda_0 - \lambda) - \sin \varphi \operatorname{ctg}(\lambda_0 - \lambda)$$

Ez az egyenlet tulajdonképpen az orthodromikus irányszög képlete is, mivel az egyenazimutvonal bármely pontja, egyidejűleg pontja annak az orthodromának is, amely a délkörrel ennél a pontnál π -szöget zár be.

A fenti képletben:

- φ_0 és λ_0 — a rádióállomás földrajzi koordinátái;
- φ és λ — folyó koordináták (változók);
- π — a rádióállomás azimutja.

Az egyenazimutvonal pontjainak kiszámítása a fenti képlet segítségével analitikus módon történik. A gyakorlatban a legtöbb esetben grafikus eljárással vezetjük rá a térképre az egyenlő azimutok vonalait.



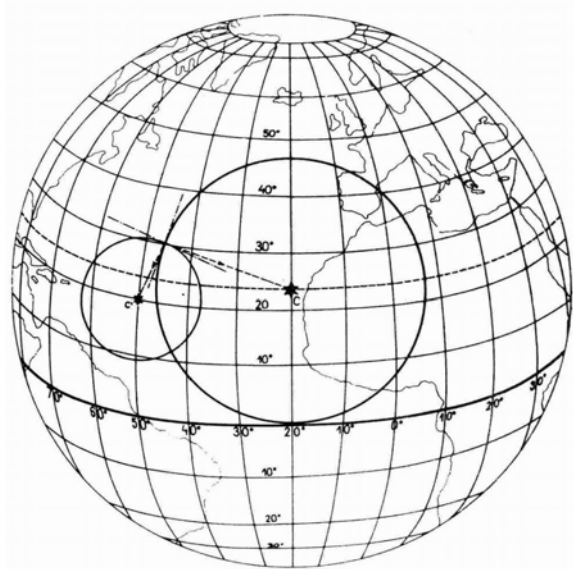
6. ábra. Egyenazimutvonal

Nem szabad összetéveszteni az egyenazimutvonalat és a loxodromát! Míg a loxodroma bármely pontján a délkör és a helyzet-vonal által bezárt szög állandó, addig az egyenazimut vonal esetében annak bármely pontjában a rádióállomás orthodromikus iránya és a délkör közötti szög állandó.

Az egyenazimutvonal az északi félgömbön bármely két ponton keresztül húzott orthodromától és loxodromától délebbre (az egyenlítőhöz közelebb) helyezkedik el.

A kiskör

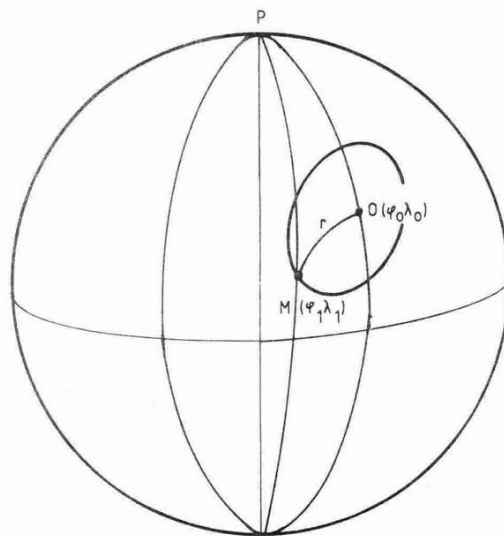
Mindazon pontok mértani helye, amelyek azonos távolságra vannak a kör középpontjától. A gömbfelületen kiskör minden olyan gömbi kör, melynek metszősíkja nem foglalja magában a gömb középpontját. Kiskör a légi jármű helyzetvonal a rádió navigációs távolság meghatározásánál (radar, DME) és csillagászati helyzet meghatározásnál (7. ábra).



7. ábra. Kiskör helyzetvonal csillagászati helyzet meghatározásnál

Rádiónavigációnál a kiskör középpontjának helyzete és a kör sugara (egy orthodroma!) ismert.

A 8. ábrán a kiskör középpontjának koordinátái: φ_0 és λ_0 a körön egy tetszőleges (M) pont koordinátái: φ_1 és λ_1 .



8. ábra. Kiskör gömbi felületen

A POM gömbháromszög OM oldalát (r) az alábbi képlettel fejezhetjük ki:

$$\cos OM = \cos OP \cos PN + \sin OP \sin PN \cos P$$

vagyis

$$\cos r = \sin \varphi_0 \sin \varphi_1 + \cos \varphi_0 \cos \varphi_1 \cos(\lambda_0 - \lambda_1)$$

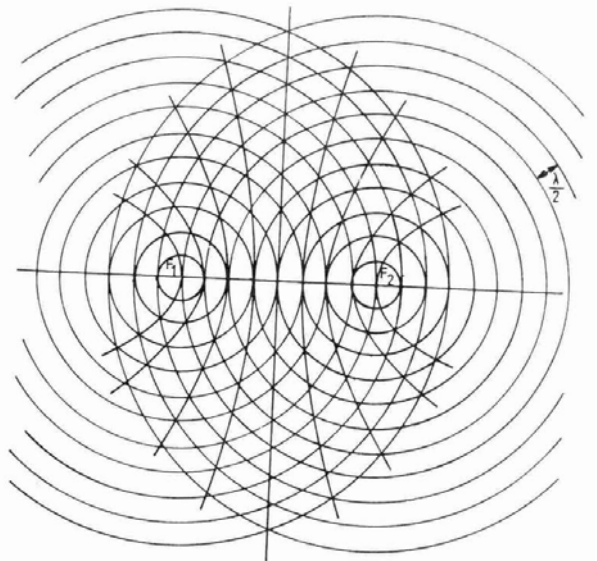
Az így nyert kifejezés a kiskör egyenlete, amelyben φ_1 és λ_1 a kiskör középpontjainak koordinátái.

A számítás a kiskör itt levezetett képlete szerint nem mindig lehet kielégítő a térképen való megrajzoláshoz, mivel a képlet nem veszi számításba a Föld szferoid alakját. A radarernyőkön alkalmazott videotérképek megrajolásához, a pontos távolság meghatározásához a számítást a magasabb geodézia képletei szerint végzik el.

Két pont közötti pontos távolság kiszámítására több út lehetséges, ezen megoldások egyike a Clark-képlet.³

A hiperbola

A sík azon pontjainak mértani helye, amelynek két adott ponttól (a fókuszpontoktól) való távolságkülönbsége állandó (9. ábra).



9. ábra. Hiperbola

³ Magyar katonai szabvány [3].

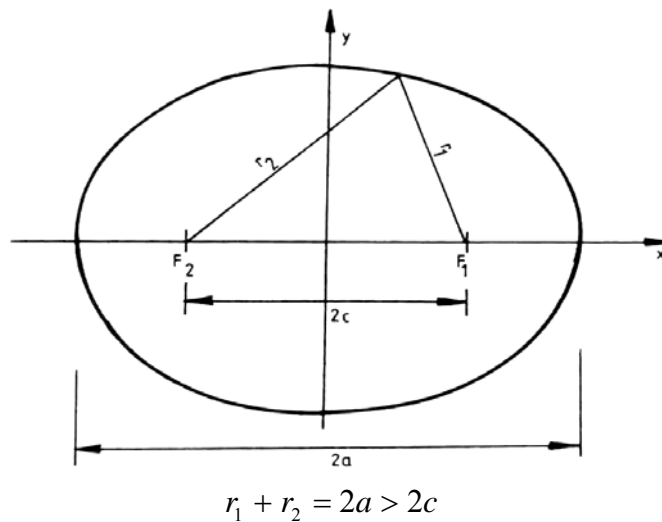
Egyes rádió navigációs eljárásoknál (pl.: LORAN) illetve módszereknél a repülőgép helyzetvonala is hiperbola. A rendszerben lévő rádióállomások mint fókuszpontok körül egy térbeli hiperbola sereg alakul ki. A rádióállomások impulzusjeleit a fedélzeti vevőben időkülönbséggel vagy folyamatos hullámú jeleit fáziskülönbséggel veszik. Az időkülönbség, illetve fáziskülönbség azonos pontjai egy hiperbolát határoznak meg. A sík hiperbolához hasonló ilyen vonalakat a gömbfelületen szférikus hiperbolának nevezik.

A repülőgép helyzetvonala tehát a két rádióállomás jeleinek összehasonlítása pillanatában egy szférikus hiperbolával határozható meg. A szférikus hiperbola egyenletét illetve kiszámítását bonyolult gömbháromszögtani képletekkel lehet leírni illetve elvégezni, ahol a szférikus és a megfelelő földrajzi koordináták közötti összefüggést matematikai függvényekkel fejezik ki.

A hiperbola navigáció céljaira speciális térképeket alkalmaznak, ahol a lehetséges fő helyzetvonalakat előre meghatározzák és ráviszik a térképszelvényekre. Mivel a gömbfelület síkon torzulásmentesen nem ábrázolható, a szférikus hiperbolák síkban ábrázolt képei a térképes vetület fajtái szerint különböző torzulást szenvednek.

1.2.6. Az ellipszis

A sík azon pontjainak mértani helye, amelyeknek két adott ponttól (a fókuszpontoktól) való távolságaik összege állandó (10. ábra).



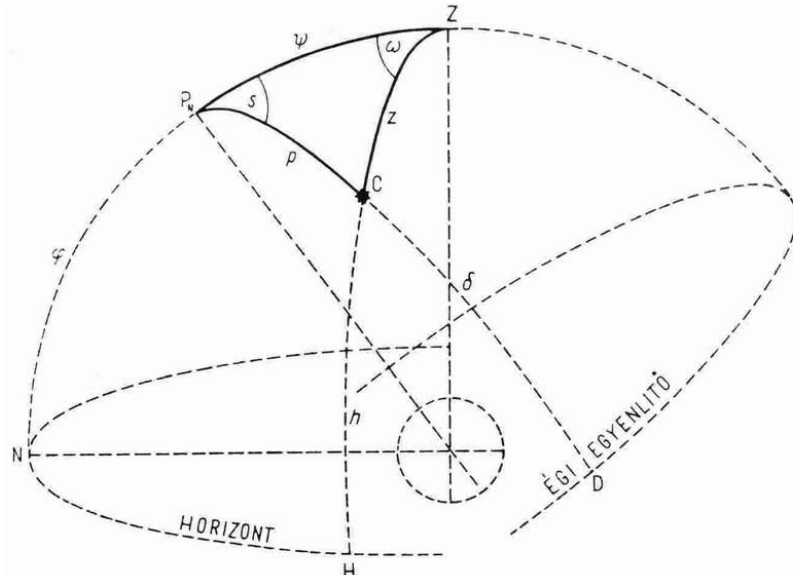
10. ábra. Ellipszis

A hiperbolához hasonlóan szférikus ellipszis is lehet a légi jármű helyzetvonala rádió navigációs eljárásnál.

A CSILLAGÁSZATI HELYZETMEGHATÁROZÁS ALAPJAI

Egy gömb három főköre által határolt háromszöget gömbháromszögnek, vagy szférikus háromszögnek nevezzük.

A szférikus háromszöget az éggömbön csillagászati gömbháromszögnek, vagy égi háromszögnek nevezzük (11. ábra).



11. ábra. Csillagászati gömbháromszög

Ennek csúcspontjai a látható pólus (P_n vagy P_s attól függően, hogy melyik félgömbön van az észlelő), a Zenit (Z) és az észlelt égitest (C).

A helyzetháromszög oldalai:

- ψ — a pólus-zenit távolság vagyis az égi meridián azon íve, amely a zenit és a látható pólus között van (ZP_n);
- p — a pólustávolság (póltáv) vagyis az égitesten átmenő órákörnek azon íve, amely a pólus és a csillag között van (P_nC);
- z — a zenittávolság, vagyis az égitesten átmenő vertikálisnak azon íve, amely a Zenit és a csillag között van (ZC).

$ZN = 90^\circ$; $P_nC = 90^\circ$ és $ZH = 90^\circ$ amiből következik, hogy

$$\psi = 90^\circ - \varphi$$

$$p = 90^\circ - \delta$$

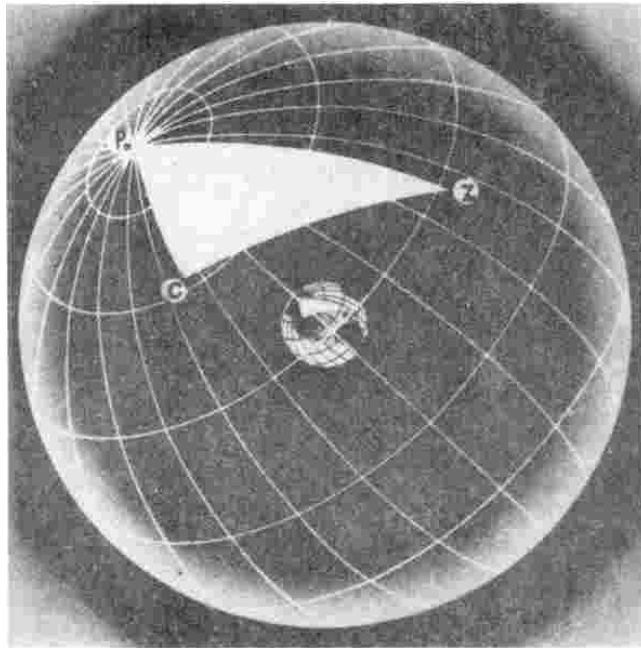
$$z = 90^\circ - h.$$

Tehát a pólus-zenit távolság egyenlő a szélesség, a pólustávolság, a deklináció, a zenittávolság pedig a magasság pótszögével.

A helyzetmeghatározás szögei:

- S — az óraszög vagy meridiánszög, az a pólusnál levő szög, amelyet az égi meridián az égitesten átmenő órákörrel alkot;
- ω — az azimutszög, a zenitnél levő szög, amelyet az égi meridián az égitesten átmenő vertikálissal alkot;
- γ — a parallaktikus szög, az égitestnél levő szög, amelyet az égitesten átmenő órákör és vertikális közbezár. (Ezt a szöget közvetlenül sohasem kell navigációs feladatoknál kiszámítani.)

A csillagászati gömbháromszög Földi megfelelője: a helyzetháromszög (12. ábra)



12. ábra. Helyzetháromszög

Ennek oldalai két délkör íve és egy nagykör, amely a két délkör egy-egy pontját köti össze. Csúspontjai: ez a két pont és az egyik földrajzi pólus. Az orthodromán való repüléskor a két pont közül az egyik az indulási, a másik pedig az érkezési hely. A csillagászati navigációban ez a két pont az észlelő felvett helyzete és az égitest földrajzi helyzete, vagyis az égitest szférikus vetülete a Földön (ezen ponton az égitest a Zenitben van).

A Nap földrajzi helyzeteét, vagyis szférikus vetületét a Földön szubszoláris pontnak, a Holdét szublunáris pontnak, a bolygókét (akár természetes, akár mes-

160

terséges) szubszatellit pontnak, a csillagokét szubsztelláris vagy szubasztrál pontnak nevezzük.

Amikor egy csillagászati észlelés megoldásáról van szó, akár az égi, akár a földi helyzetháromszöget csillagászati gömbháromszögnek nevezhetjük.

A csillagászati navigációban leggyakrabban az alábbi feladatokat kell megoldani a helyzetháromszög egyik alkotó részének kiszámításával:

1. Adott: a szélesség, a deklináció és az óraszög;
Keressük: a magasságot és az azimutszöget. Ez a feladat a csillagászati észlelések redukciójának esetében, amikor a helyzetvonal adatait keressük.
2. Adott: a szélesség, a magasság és az azimutszög;
Keressük: a deklinációt és az óraszöget. Ebben az esetben egy ismeretlen égitest azonosítását hajtjuk végre.
3. Adott: az óraszög, a deklináció és a magasság;
Keressük: az azimutszöget. Ez az azimut kiszámításának esete, ha a magasság ismert.
4. Adott: a Föld felszínén két hely földrajzi szélessége és azok hosszúságkülönbsége;
Keressük: az orthodrom útirányszöget és két hely közötti távolságot.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bakos Ferenc: Idegen szavak és kifejezések szótára. Akadémiai kiadó Budapest, 1973 ISBN 963 05 3178 X p. 608.
- [2] Bakos Ferenc: Idegen szavak és kifejezések szótára. Akadémiai kiadó Budapest, 1973 ISBN 963 05 3178 X p. 505.
- [3] Magyar katonai szabvány MSZK 1120. Magyar szabványügyi testület Budapest, 1999 ICS 95.020 p. 21–41.