

ÉGITESTEK MOZGÁSA, ÉGI KOORDINÁTA- RENDSZEREK NAVIGÁCIÓS ÖSSZEFÜGGÉSEI

BEVEZETÉS

Napjaink navigációs módszerei és eljárásai között — ha érdemtelenül is — de mindinkább visszaszorulni látszik a csillagászati alkalmazások felhasználási aránya.

Talán ez azért történhet meg, mert nincs olyan alapfogalmakat bemutató és magyarázó összefoglaló dokumentum, mely pótolná ezt a hiányt.

Jelen publikáció valószínűleg segít az alapösszefüggések megismerésében, és egyben figyelemfelkeltő szerepet is betölthet az olvasóban.

ÉGITESTEK NAVIGÁCIÓS TRANSZFORMÁCIÓI

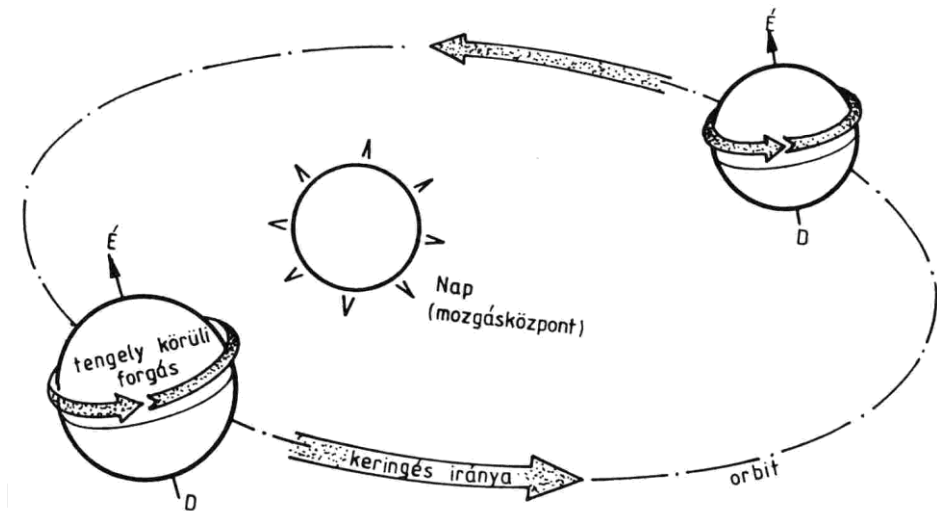
Az égitestek mozgása

A cím (és a cikk) megértéséhez röviden át kell tekintenünk az égitestek mozgását a Naprendszerben. Minden általunk ismert égitest mozgásban van, mivel maga a Föld is egyike ezeknek a mozgó testeknek, a többi égitest mozgása, amely a földi észlelő lát, látszólagos mozgás.

A naprendszer tagjainak mozgása

A csillagászatban az égitesteknek két fő mozgásfajtáját különböztetjük meg. Egyik az égitest saját *tengelykörüli forgása*, a másik a *keringés*, amely az égitestnek elliptikus pályán végzett mozgása egy *mozgásközéppontnak* nevezett másik égitest körül.

A holdak (és műholdak) mozgásközéppontja: egy bolygó. A bolygóknak (köztük Földünknek is!) és a Naprendszer többi tagjainak mozgásközéppontja: a Nap. Az egész Naprendszert a Nap gravitációs vonzása tartja össze. Az egész rendszer, mint egység, a Galaktikánk mozgásközéppontja körül kering és a Galaktika is mozgást végez a szomszédos galaxisokhoz viszonyítva.



1. ábra. Égitestek mozgása

A bolygók mozgástörvényei

A bolygók mozgástörvényeit Kepler állapította meg, és mint Kepler-törvényei ismertek. Ezek a következők:

- A bolygók olyan ellipszis alakú pályán keringenek, amelyeknek egyik közös fókuszában van a Nap.
- A Nap és a bolygók közötti vezérsugarak (rádiuszvektorok) egyenlő idők alatt egyenlő területeket sűrolnak.
- Bármely két bolygó keringési idejének négyzetei úgy aránylanak egymáshoz, mint azoknak a Naptól való középtávolságának köbei.

$$T_1^2 : T_2^2 = r_1^2 : r_2^3 \quad (1)$$

1687-ben Newton három mozgástörvényt állított fel, amelyeket a bolygókra nézve is érvényesnek tartott.

Newton mozgástörvényei

- I. Minden test megtartja nyugalmi helyzetét vagy egyenes vonalú egyenletes mozgását, míg egy külső erő nem hat rá. (Tehetetlenség v. inercia)
- II. Ha a testre külső erő hat (P), akkor annak gyorsulása (a) egyenesen arányos a hatóerővel és fordítottan arányos a test tömegével (m), hányadosuk pedig a mozgott rendszer tömegére jellemző állandó.

Az erő vektormennyiség, iránya megegyezik a gyorsulás irányával, vagyis a gyorsulás az erőhatás irányába következik be.

$$\frac{P}{a} = m = \text{állandó}$$

- III. Minden erőhatással szemben egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú visszahatás működik. (akció = reakció).
- IV. Newton saját és Kepler törvényéből vezette le az általános tömegvonzás törvényét, mely szerint:

Az anyag minden részecskéje vonzó hatást gyakorol minden részecskére olyan erővel, amely egyenes arányos tömegük szorzatával és fordítva arányos a közöttük lévő távolság négyzetével. Ez a hatóerő a gravitáció.

A bolygók viszonylagos mozgása

Az égitest forgása és keringése lehet *szinódikus* vagy *sziderikus*. Szinódikusnak mondjuk a mozgást, ha azt a Naphoz és sziderikusnak, ha azt a csillagokhoz viszonyítjuk.

A *szinódikus forgás* tartalma alatt az égitest Naphoz viszonyítva egy teljes körülfordulást végez. A Földön ezt az időtartamot *látszólagos szoláris napnak* nevezzük.

Egy *sziderikus forgás* tartama alatt az égitest egy teljes körülfordulást a csillagokhoz viszonyítva végez.

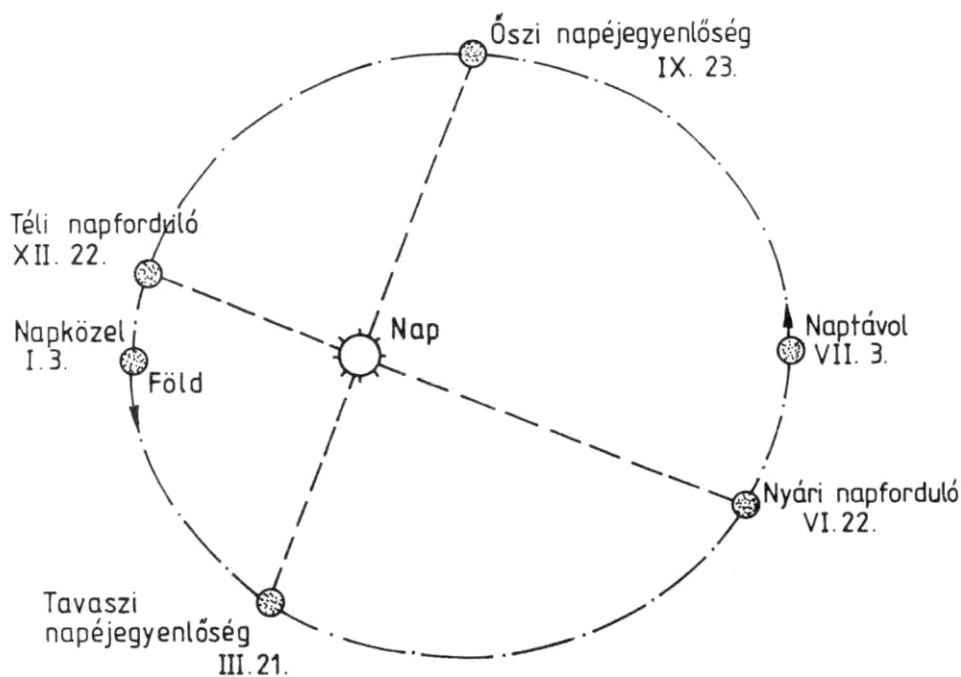
Egy *szinódikus keringés* tartama alatt a Földről nézve az égitest egy teljes pályát ír le a Naphoz viszonyítva. Így a Földnek magának nincs szinódikus keringési ideje.

Egy *sziderikus keringés* tartama alatt az égitest egy teljes keringést végez pályáján, a csillagokhoz viszonyítva. Az égitesten levő észlelő számára a *Nap látszólagosan körbe megy az égboltozaton*, a csillagokhoz viszonyítva. *A Földön ez az időtartam egy év.*

A bolygók pályájának Naphoz legközelebbi pontja a *perihélium* (napközel) a legtávolabbi pedig az *afélium* (naptávol) (2. ábra). A Holdnak és műholdaknak a Föld körüli pályájukon a Földhöz legközelebb eső pontja a *perigeum* (földközel), a legtávolabbi pedig az *apogeum* (földtávol).

A Föld mint bolygó

A többi bolygóval együtt a Föld saját tengelye körül forog és ellipszis alakú pályáján (orbiton) a Nap körül kering.



2. ábra. A Föld útja a Nap körül

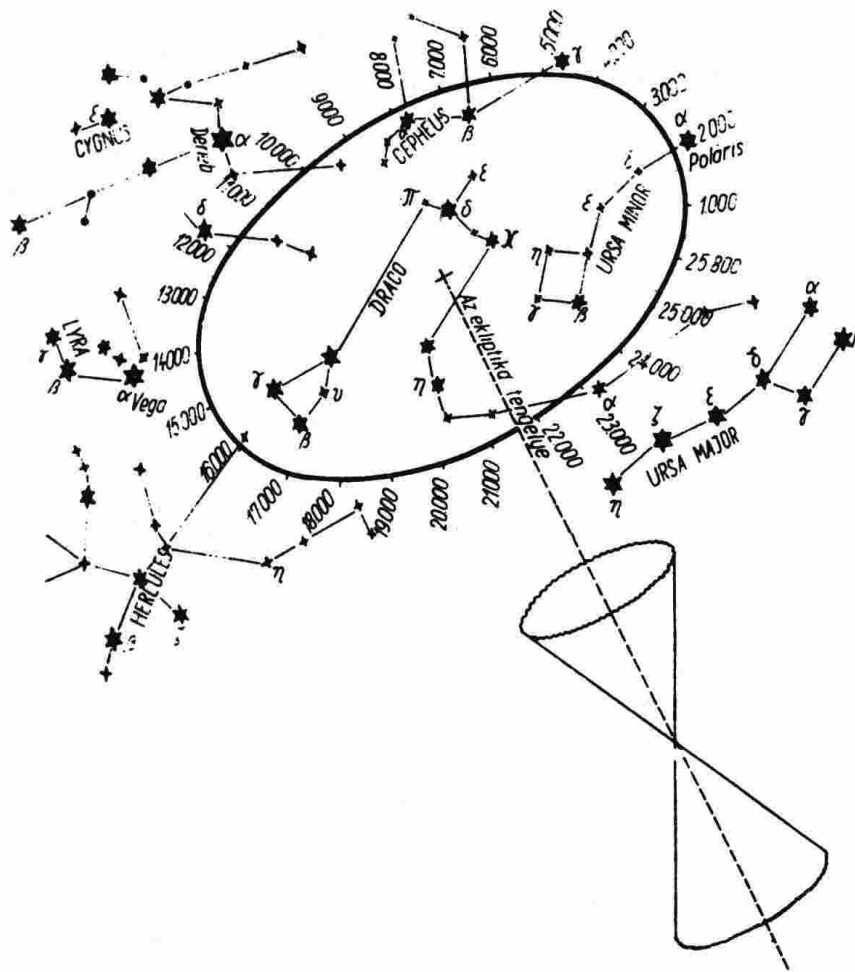
Ez a két főmozgás a forrása a többi égitest *látszólagos mozgásának* a Földről nézve.

A Föld két főmozgásán, a forgáson és keringésen kívül van még egy 25 800 éves periódusú mozgása. A Földtengely e periódus alatt egy kettőskúp alakú mozgást ír le és az égi pólusok változtatják helyüket a csillagokhoz képest. A földtengely e kettőskúp alakú mozgását *precesszió*nak nevezik.

Ezt a jelenséget a Nap és a Föld vonzóerejének kölcsönhatása okozza. (3. ábra) A Föld tengelye az orbit síkjával $66^{\circ} 33'$ -es szöveget zár be. Ez a jelenség okozza az évszakváltozást.

Égi koordináta-rendszerek

Ahhoz, hogy az *égitestek látszólagos mozgását* megfigyelve helyzetüket regisztrálhassuk, miként a Földön, itt is a koordináta-rendszerre van szükségünk. Elképzelünk magunknak egy végtelen sugarú gömböt, melynek középpontjában a Föld áll. Az éggömb belső felületére rávetítve képzeljük az összes égitestet, melyeket így egyenlő távolságra levőnek tekintünk.



3. ábra. Az északi égi pólus vándorlása a precesszió következtében

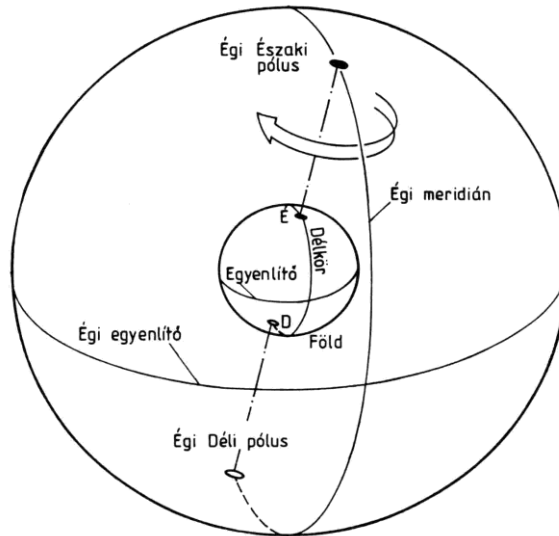
Az égi egyenlítői (Equatoriális) koordináta-rendszer

Ha a földrajzi koordináta-rendszert — képzeletben — a végtelenbe kiterjesztjük, kapjuk az éggömbön az égi egyenlítői koordináta-rendszert, melynek elemei a következők:

Égi pólusok: azok a pontok az éggömbön, ahol a meghosszabbított földtengegy az égboltot dőfi.

Égi egyenlítő: az a legnagyobb gömbi kör (nagykör az éggömbön), amelyet a földi egyenlítő síkje alkot az éggömbbel.

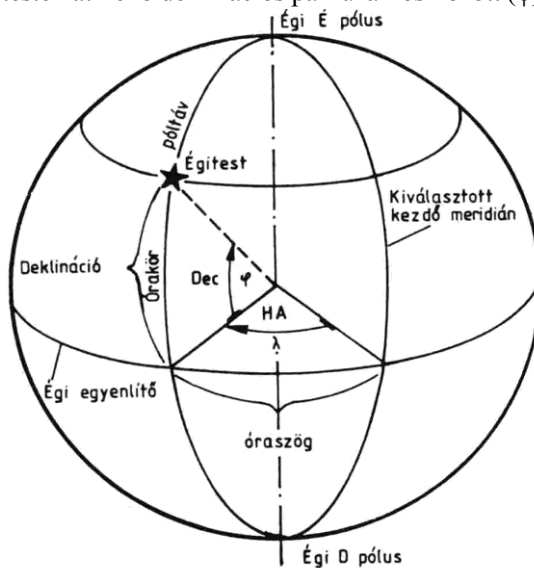
Égi meridiánok (órákörök): az éggömb azon nagykörei, melyek az égi pólusokon haladnak át.



4. ábra. Égi egyenlítői koordináta-rendszer

Deklinációs párhuzamosok: a szélességi köröknek megfelelő kiskörök az éggömbön, melyek síkja az égi egyenlítő síkjával párhuzamos. Az égi egyenlítő az éggömböt északi és déli félgömbre osztja.

Az égitest deklinációja: az a szög, amelyet az égitesthez húzott sugár az égi egyenlítő síkjával alkot, vagyis az égitesten áthaladó órákör ívhossza fokokban mérve az égi egyenlítő és az égitesten átmenő deklinációs párhuzamos között (φ) (5. ábra).

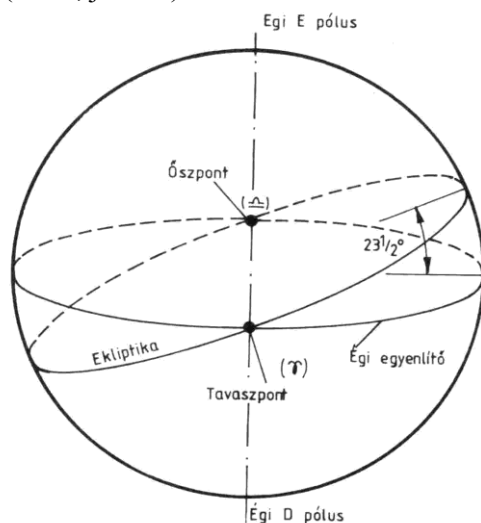


5. ábra. Az egyenlítői koordináta-rendszer elemei

A deklinációt az égi egyenlítőtől É-ra és D-re $90-90^\circ$ -ig mérjük. Ha az égitestet az északi égbolton figyeljük meg, akkor a deklináció előjele: +, ha a déli égbolton van: -. Az északi égi pólus jelen korunkban a Sarkcsillag (Ursae Minoris) közelében van.

Az órákörnek azt az ívét, amely az égi pólus és az égitest között van: *pólustávolságnak* (póltávnak) nevezzük.

Az a sík, amelyben a Föld a Nap körül kering: az *Ekliptika* síkja, amely az égi egyenlítő síkjával kb. $23,5^\circ$ -os szöget zár be (6. ábra). A két sík egy vonalban metszi egymást, melynek két végpontját Tavasz-pontnak (Aeries, jele: γ), illetve Őszpontnak (Libra, jele: Ω) nevezzük.



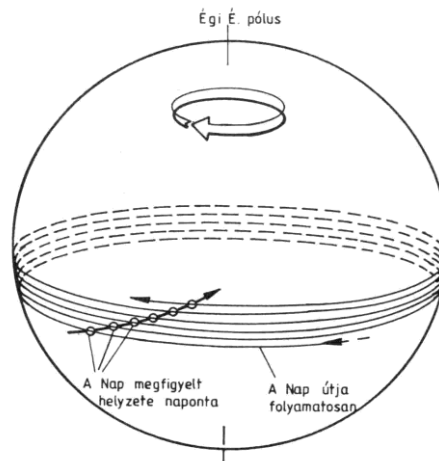
6. ábra. Az Ekliptika nevezetes pontjai

E pontok más néven a tavaszi, illetve őszi napéjgyenlőség (ekvinokcium) pontjai. Napéjgyenlőség idején (III.21. és IX. 23.) a *Nap látszólagos mozgása* (7. ábra) során az égi egyenlítő síkján halad keresztül.

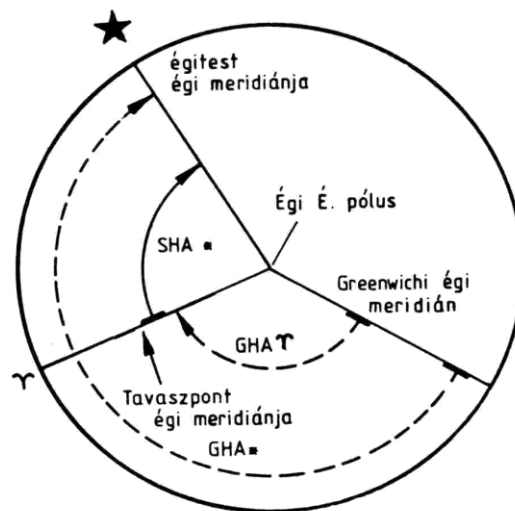
A Tavaszponton (Aeries) átmenő órákört az égi egyenlítői koordináta-rendszerben kezdőkörnek használjuk, melytől Nyugat felé 360° -ig számítjuk a *csillagászati óraszöget* (SHA¹) (λ)

A csillagászati óraszög tehát hasonló a földi földrajzi hosszúsághoz azzal a különbséggel, hogy a hosszúságot Greenwich-től K-re és Ny-ra $180^\circ-180^\circ$ -ig mérjük. A csillagászati óraszöget a navigációs számításoknál használják. Az időt az égi egyenlítőn mérjük. A csillagászati óraszög tehát az égi egyenlítő ívdarabjának fokokban mért hossza, amely Tavaszponttól Nyugat felé a csillagon átmenő órákorig terjed.

¹ Sideral Hour Angle — csillagászati óraszög.



7. ábra. A Nap látszólagos mozgása



8. ábra. A csillagászati óraszög

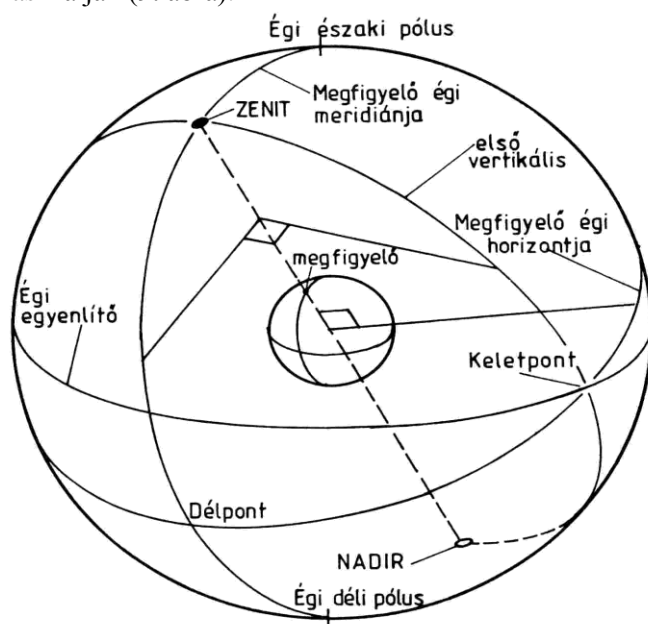
ahol: GHA_{\star} : Greenwich Hour Angle — az égitest gr-i óraszöge;
 GHA_{γ} : Greenwich Hour Angle γ — a Tavaszpont gr-i óraszöge.

A csillagászok praktikai okokból rendszerint az ún. *rektascenziót* használják (right ascension, RA, α), melyet a Tavaszponttól Keletre 0-24 óráig terjedő időegységekben mérnek az égi egyenlítőn. A rektascenzió és a csillagászati óraszög közötti összefüggés a következő:

$$\text{SHA} + \text{RA} = 360^\circ \quad \text{és} \quad \text{RA} = 360^\circ - \text{SHA}$$

A deklináció és a rektascenzió független az észlelés helyétől. Ezek a koordináták határozzák meg az égitest helyét az éggömbön.

Az égi egyenlítői rendszer azonban nem alkalmas arra, hogy az égitesteket az észlelőhöz viszonyítva határozzuk meg az égbolton. Erre a célra az ún. horizontális rendszert használják (9. ábra).



9. ábra. Horizontális égi koordináta-rendszer

A horizontális égi koordináta-rendszer

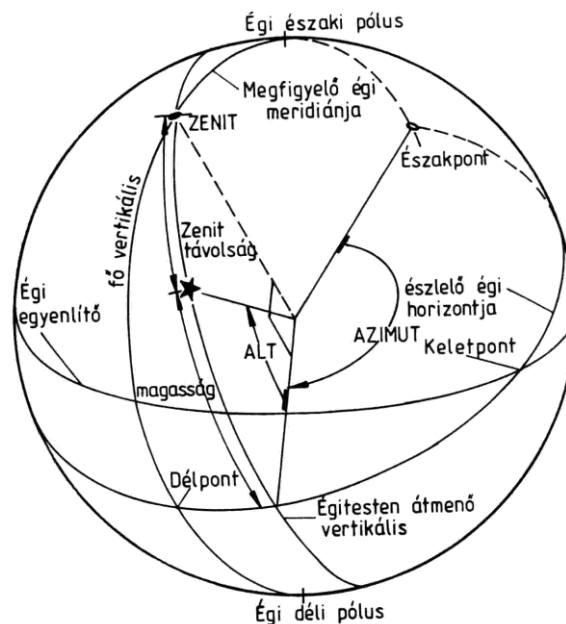
Ha észlelési helyünk függőlegesét (vertikálisát) meghosszabbítjuk, amíg az éggömböt dőfi, fejtünk a *Zenit* (Z), ezzel ellentétesen (alattunk) a *Nadir* (Na) pontot kapjuk.

Azt a legnagyobb gömbi kört, melynek síkja a Föld középpontján megy keresztül és a gravitáció által meghatározott *Zenit* és *Nadir* pontokat összekötő egyenes vonalra merőleges, *valódi horizontnak* nevezzük.

A *Zenit-Nadir* vonalra és a valódi horizont síkjára épül a horizontális égi koordináta-rendszer.

Ebben a koordináta-rendszerben a *horizont* az égi egyenlítőnek megfelelő kezdő főkör. A rendszer pólusai: a *Zenit* és *Nadir* pontok.

A horizont síkjával párhuzamos köröket az égbolton *magassági köröknek* vagy *magassági párhuzamosoknak* (almucantar) nevezzük.



10. ábra. A horizontális égi koordináta-rendszer elemei

Az égi délkörök (órákörök) megfelelője a valódi horizont síkjára merőleges és a Zenit és Nadir pontokon átmenő legnagyobb gömbi körök, melyeket *vertikális köröknek* vagy *vertikálisoknak* nevezzük.

Az égitesteknek a horizont feletti szögtávolsága: a *magasság*. Valamely égitest magasságának nevezzük azt a szöget, amelyet az égitesthez húzott sugár a horizont síkjával alkot, illetve azt a vertikális körívet, melyet a csillag magassági köre a horizont síkjával bezár. A vertikálisnak azt az ívdarabját, amely a Zenittől az égitestig terjed *zenittávolságnak* nevezzük. A horizont Kelet és Nyugat pontján átmenő nagykör az ún. *első vertikális*. A horizont Észak és Dél pontján átmenő vertikális a *fővertikális kör*.

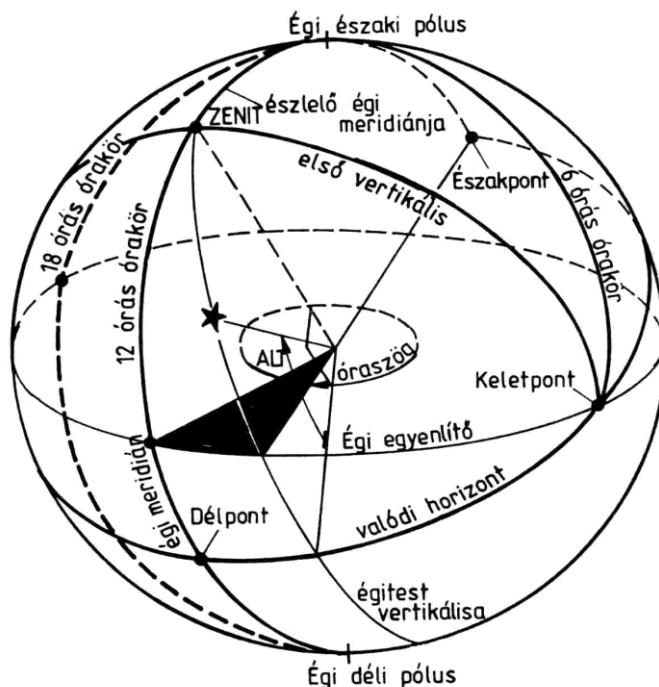
Az *azimut* (ω) a fő vertikális kör és az égitesten átmenő vertikális közötti szögtávolság, a vízszintes síkban mérve. Az azimutot mint iránylatot az óramutató járásával egyező irányba 1° – 360° -ig mérjük.

A horizontális rendszert a csillagászati navigációnál alkalmazzák. Az időméréshez az ún. *egyesített koordináta-rendszert* használjuk.

Az egyesített égi koordináta-rendszer

Az egyesített koordináta-rendszerben az *égi meridián* az a legnagyobb gömbi kör, amely az égi egyenlítői és a horizontális rendszert mintegy egybefoglalja. Az égi meridián áthalad az égi sarkokon, az Zenit és a Nadir pontokon és az

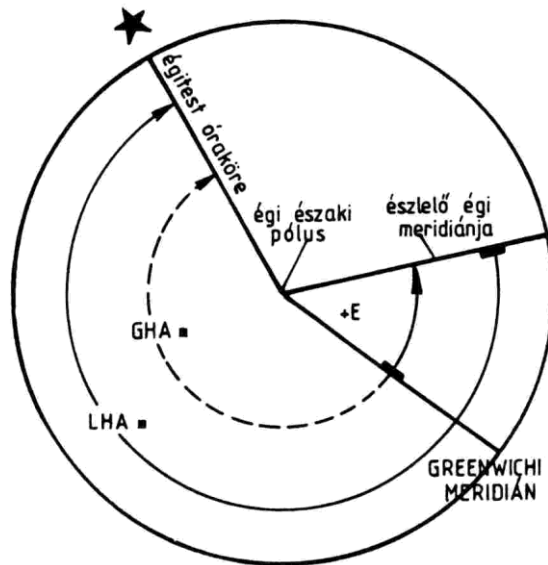
észlelő Észak és Dél pontján, a valódi horizontot az Észak és Dél pontokban metszi. Azt a vertikálist, amelynek síkja merőleges az égi meridián síkjára és áthalad a Kelet és Nyugat pontokon, *első vertikálisnak* nevezzük (11. ábra).



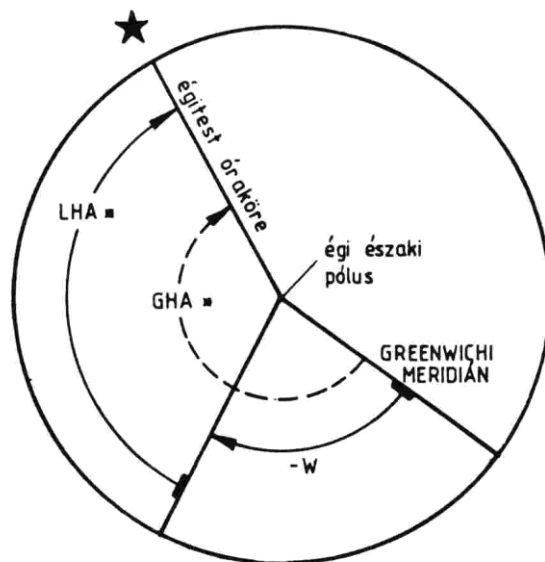
11. ábra. Az egyesített égi koordináta-rendszer

Az É és D pontokon áthaladó kezdő *égi meridián* felső íve egyben a 12 órás órákör, alsó íve pedig a 0 óras vagy 24 órás órákör. Azt az órákört pedig, amelynek síkja merőleges az égi meridián síkjára (vagyis a 12/24 órás órákörökre) és átmegy a Kelet, illetve Nyugat pontokon, 6 órás órákörnek, illetve 18 órás órákörnek nevezzük. A Kelet és Nyugat pontokban metszik egymást a valódi horizont, az égi egyenlítő, az első vertikális és a 6/18 órás órákör, melyeknek síkjai mind merőlegesek az égi meridián síkjára (Geometriai tétel: Egy legnagyobb gömbi kör síkjára merőleges főkörök egy pontban metszik egymást)

Az *óraszög* (HA), az a szög, amelyet az észlelő égi meridiánjának síkja az égitesten átmenő órákör síkjával alkot. Az óraszög függ az égi meridiántól és mivel ez a Föld minden pontjára más (az észlelés helyétől függ), így az óraszög sem független az észlelés helyétől. Tehát a Föld más-más pontján ugyanannak az égitestnek más az óraszöge ugyanabban az időpontban. Ezzel szemben a *csillagászati óraszög*, illetve rektascenzió független az észlelő helyétől és ugyanabban az időpontban a Föld minden pontján ugyanaz (12. ábra).



ÉSZLELŐ A KELETI FÉLTEKÉN



14. ábra. Összefüggés a greenwichi és a helyi óraszögek között

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Jeppesen Airway Manual Volume 1. Jeppesen GmbH Neu-Isenburg (Germany), 1996 p.EE-51.
- [2] TÓTH JÁNOS: Légi navigáció I. LRI Repülésoktatási Központ Budapest, 1992.
- [3] DR. MOYS PÉTER: Légi navigáció Tankönyvkiadó Vállalat Dabas, 1990 munkaszám:90-0597.