

# **Geodézia 13.**

## **Speciális geodéziai műszerek**

**Tarsoly, Péter**

---

## **Geodézia 13.: Speciális geodéziai műszerek**

Tarsoly, Péter

Lektor: Homolya , András

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

### **Kivonat**

Ez a modul a geodézia speciális műszereinek felépítésével és a velük való mérési módszerekkel foglalkozik, előkészítve a későbbi szaktárgyak ismeretanyagát.

Jelen szellemi termék a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

---

# Tartalom

13. 13 Speciális geodéziai műszerek .....	1
1. 13.1 Bevezetés .....	1
2. 13.2 Tájéoló teodolitok .....	1
2.1. 13.2.1 Mágneses tájoló és busszola .....	3
2.2. 13.2.2 Busszolás teodolitok .....	4
2.3. 13.2.3 Rátét busszolák .....	4
2.4. 13.2.4 Busszolás teodolitok használata .....	5
3. 13.3 Giroteodolitok .....	6
3.1. 13.3.1 A pörgettyű .....	6
3.2. 13.3.2 Különféle pörgettyűk .....	8
3.3. 13.3.2.2 Inklinációs pörgettyű .....	9
3.4. 13.3.2.3 Deklinációs pörgettyű .....	10
3.5. 13.3.3 A giroteodolitok általános felépítése .....	11
4. 13.4 Hidrosztatikai szintezőműszerek .....	13
5. 13.5 Szabatos optikai vetítők .....	14
6. 13.6 Összefoglalás .....	14



---

# 13. fejezet - 13 Speciális geodéziai műszerek

## 1. 13.1 Bevezetés

Ebben a modulban Ön megismerkedik a busszolák és busszolás teodolitok felépítésével és használatával. A modul részletesen tárgyalja a giroteodolitok működési elvét és felépítését. Röviden bemutatásra kerülnek a hidrosztatikai szintezők és szabatos optikai vetítők, amelyek részletesebb felépítéséről és használatáról a későbbi szakmai modulokban lesz szó.

**Ebből a modulból az olvasó megismerheti:**

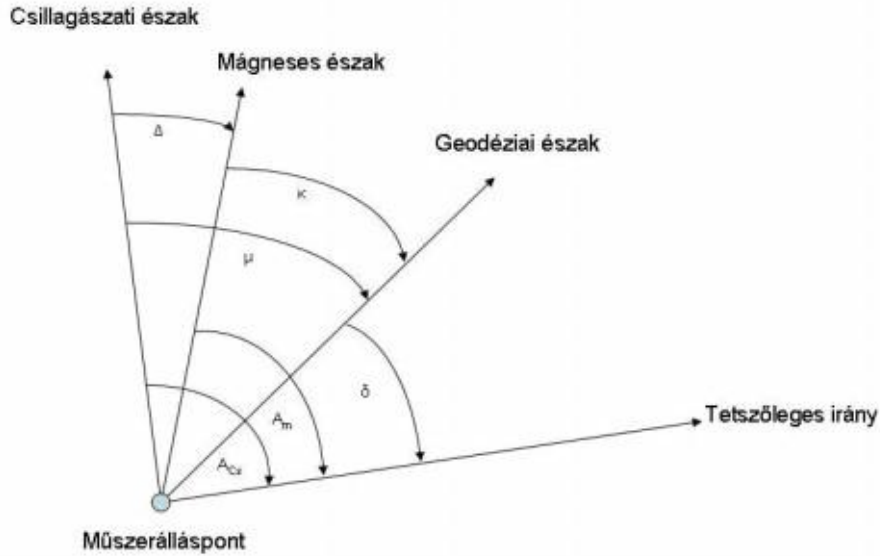
- a busszolás teodolitok felépítését és használatát
- a giroteodolitok működési elvét és felépítését
- a hidrosztatikai szintezők működési elvét és felépítését
- a szabatos optikai vetítők működési elvét és felépítését

**A modul elsajátítása után képes lesz:**

- részletesen bemutatni a busszolás teodolitok felépítését és használatát
- ismertetni a giroteodolitok működési elvét és felépítését
- ismertetni a hidrosztatikai szintezők működési elvét és felépítését
- ismertetni a szabatos optikai vetítők működési elvét és felépítését

## 2. 13.2 Tájéoló teodolitok

A teodolitok tetszőleges nagyságú vízszintes és magassági szögek mérésére alkalmas műszerek. Iránymérésnél egy pontból kiinduló térbeli irányok vízszintes vetületének relatív (egymáshoz viszonyított) helyzetét adják meg a limbusz kör 0-osztásához viszonyítva, amely helyzete álláspontonként változó. **A tájéoló teodolitok az irányok helyzetét kötött kezdőirányhoz (a csillagászati vagy mágneses északi irányhoz) viszonyítva határozzák meg.** A velük való mérés pontossága kisebb, a mérés időszükséglete pedig több, mint a hagyományos iránymérésnél. Általában akkor szoktuk alkalmazni őket, ha valamilyen okból egy adott terepen nem tudunk tájékozó irányokat mérni (pl. bányá, erdő stb.). **Geodéziai szempontból háromféle északi irányt különböztetünk meg** (13-1. ábra).



13-1. ábra A háromféle északi irány

1. **Csillagászati észak:** Nevezik másféleképpen földrajzi északnak is. Az álláspont függőlegesére illeszkedő, a Föld forgástengelyével párhuzamos sík jelöli ki. Alsógeodéziai munkáknál iránya időben állandónak tekinthető, felsőgeodéziai munkáknál azonban már figyelembe kell venni a pólusmozgás és pólusvándorlás jelenségét is.
2. **Geodéziai észak:** Nevezik másképpen hálózati vagy vetületi, térképi északnak is. A geodéziai koordináta-rendszerben a ponton átmenő +X tengellyel párhuzamos egyenes északi ága. Iránya a helytől és a vetületi rendszertől függően változik, azonban időben állandó.
3. **Mágneses észak:** A Föld mágneses pólusa által meghatározott északi irány. A mágneses pólus vándorlása miatt időben változó irány. Száz évvel ezelőtt Kanada sarkvidéki szigeteinél volt megtalálható, ma azonban folyamatosan vándorol Oroszország sarkvidéki tájai felé.

**Valamely irány északi iránnyal bezárt szögét az északi iránytól függően nevezzük el. Csillagászati azimut ( $A_{cs}$ ) a csillagászati északkal, mágneses azimut ( $A_m$ ) a mágneses északkal, irányszög ( $\delta$ ) a geodéziai északkal bezárt szög.**

Az északi irányok közötti szög megnevezésére is külön neveket használunk:

1. **Meridián konvergencia:** a csillagászati észak és a geodéziai észak közötti szög. Pozitív, ha a geodéziai észak a csillagászati északtól keletre tér el.

$$A_{cs} = \delta + \mu$$

13.1. egyenlet

1. **Mágneses deklináció:** nevezik másképpen mágneses elhajlásnak is. A csillagászati észak és mágneses észak közötti szög. Pozitív, ha a mágneses észak kelet felé tér el a csillagászati északtól.

$$A_{cs} = A_m + \Delta$$

13.2. egyenlet

1. **Mágneses tájékozási szög:** a mágneses északi irány és a geodéziai északi irány közötti szög. Pozitív, ha a térképi északi irány a mágneses északi irányhoz viszonyítva kelet felé tér el.

$$A_m = \delta + \kappa$$

13.3. egyenlet

Tehát a mágneses tájékozási szög a meridián konvergencia és a mágneses deklináció különbsége:

$$K = \mu - \Delta$$

## 13.4. egyenlet

**A mágneses északi irány helyzete periódikusan változik. Évszázados változás** a mágneses mezőnek Föld körüli változásából adódik eddig nem tisztázott okból. Ennek változása Magyarországon átlagosan 6-8 ívperc (1 ívperc 1/21600-ad része a teljes kör kerületnek) évenként és iránya az óramutató járásával ellentétes. **A napi változást** a Földről kívülről érkező elektromos sugárzások okozzák. Ennek értéke 5-15 perc is lehet, a legnagyobb értéket dél körül veszi fel, a legkisebbet pedig reggel és este. A napi ingadozást az évszakok is befolyásolják, nyáron nagyobb, télen pedig kisebb mértékű. Ha a déli órákban nem végzünk méréseket, a napi hatástól el lehet tekinteni. **Ugrásszerű változásokat** elektromos viharok (az elektromos tér gyors idő-és térbeli változása) idézhetnek elő, ezek 1-2 fokos eltérést is jelenthetnek, ezért ilyen esetben nem szabad mérni. Állandó, **helyi zavarokat** okozhatnak a környezetben lévő, nagy tömegben előforduló mágneses anyagok vagy kőzetek. Ezeket a helyi zavarokat mágneses anomáliáknak szoktuk nevezni. A mágneses műszerek emiatt nem tartalmazhatnak mágneses anyagot, és nem használhatjuk olyan környezetben, ahol mágneses anyagok vannak beépítve (vasbeton épület, vasút, elektromos vezetékek stb.).

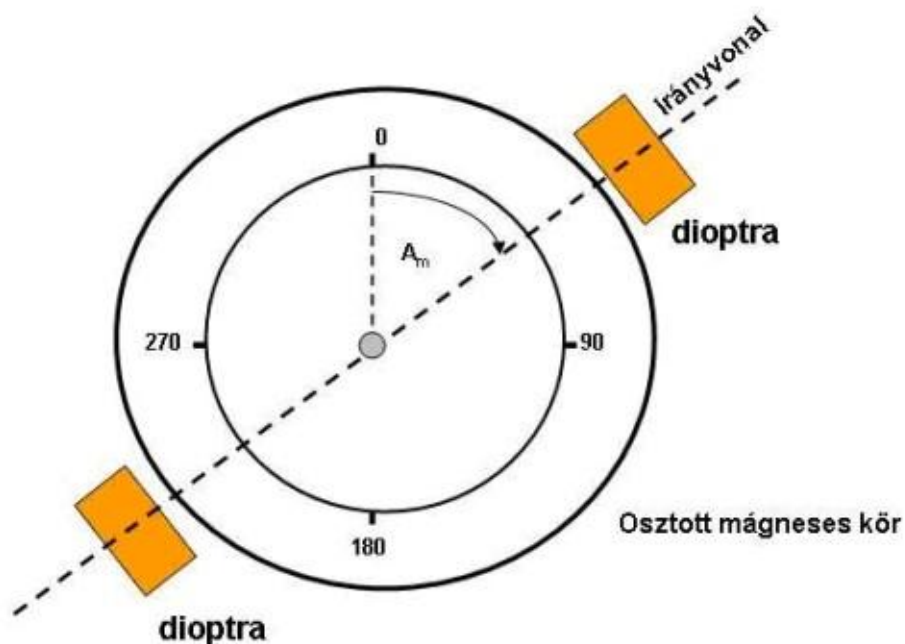
## 2.1. 13.2.1 Mágneses tájoló és busszola

A mágnesetű, ha forgó csapra helyezük, a Föld mágneses erőtere következtében észak-déli irányba áll be. Ha a mágnesetű forgástengelyét egy osztott kör középpontjába helyezük el, akkor ezt a legegyszerűbb **mágneses azimutot mérő eszközt tájolóknak nevezük**. Az osztott kört az óramutató járásával ellentétesen számozzák úgy, hogy a 0-180 fokos osztás párhuzamos legyen a tájoló rajzoló élével vagy a dioptrával. (13-2. ábra)



13-2. ábra A tájoló és használata

A **mágneses azimut meghatározását** úgy végezhetjük, hogy a tájoló rajzoló élét vagy a dioptrát a kérdéses irányba állítjuk és leolvassuk a mágnesetű helyzetét, az osztott kör külpontossága és a mágnesetű külpontossága miatt mind a két végét. A leolvasás közvetlenül az irány mágneses azimutját adja. A tájoló osztott körének legkisebb osztásegysége 1 fok, így a mágneses azimutot becsléssel 6-12 perc élesen lehet meghatározni. **Ha a tájólót irányzó berendezéssel is felszereljük, akkor ezt az eszközt busszolának nevezzük**. Ennek leggyakoribb kivitele a **dioptrás körbusszola**. Az irányzó berendezést a busszola házához rögzítik, míg az osztott kört közvetlenül a mágnesetűhöz kapcsolják. A kör számozása az óramutató járásával egyező (geodéziai pozitív forgásértelem), az irányvonal helyzetéhez tartozó mágneses azimut értékét a műszerházon elhelyezett indexen lehet leolvasni (13-3. ábra).



13-3. ábra Dioptrás körbusszola

## 2.2. 13.2.2 Busszolás teodolitok

A mágnesűvel egybeépített teodolitokat **busszolás teodolitoknak** nevezzük. A busszolás teodolitok osztáskörére gyakran közvetlenül rászerelik a mágnesűt, így az osztott kör a mágnesűvel együtt mozog. Az osztott kört az óramutató járásával megegyező irányban számozzák, így ez a műszer vízszintes köre is. Az osztott kör leemelhető a tőről (**arretált helyzet**) és ekkor a műszertalp részhez szorítható, így a műszer, mint egyszerű teodolit is használható.



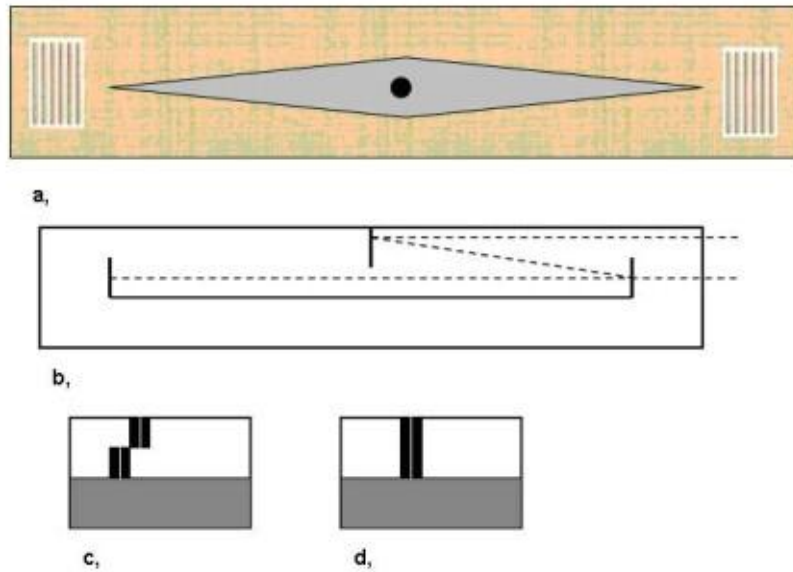
13-4. ábra A Wild T0 busszolás teodolit

A műszerről **dezarretált helyzetben** (amikor a kör a mágnesűvel együtt leng) közvetlenül a mágneses azimutot tudjuk leolvasni. A busszolás teodolitokat magassági körrel is ellátják és a távcső látómezejében tahiméter (táv mérő) szálak is vannak, így a műszer közvetlenül alkalmazható tahiméterként is. A leggyakrabban használt busszolás teodolit a Wild T0 jelű műszer volt (13-4. ábra).

## 2.3. 13.2.3 Rátét busszolák

A teodolitok kiegészítő felszereléseként gyakran készítenek a teodolit alhidádé oszlopára rögzíthető **rátét busszolákat**. A rátét busszolák lehetnek **teljes-körűek** és **csonka-körűek**. A **teljes-körű rátét busszolákat** úgy használjuk, mint a **busszolás teodolitokat**, tehát az irányok mágneses azimutját közvetlenül a rátét busszolan olvashatjuk le. A **csonka-körű busszolák** csak az **északi irány beállítására** szolgálnak. Két kivételük van: a **szekrénybusszola**, amely az indexen kívül néhány osztást is tartalmaz, így szögek mérésére is alkalmas, és a semmilyen osztást nem tartalmazó **cső-busszola** (13-5. ábra). Geodéziai szempontból ez utóbbinak van jelentősége.





13-1. ábra Szekrénybusszola (a), csőbusszola sugármenete (b), csőbusszola látómezeje koincidienciába hozás előtt (c), és koincidencia helyzetben (d)

A mágnesű két végén egy-egy 90 fokkal felhajlított szár van, melyeket a csőbusszola végén lévő optikán keresztül kell **koincidienciába** hozni a teodolit vízszintes irányító csavarjával. A koincidienciába állítást az teszi lehetővé, hogy a mágnesű felfekvő csúcsa fölött elhelyezett állótűkör az észlelőhöz közelebb lévő mágnesűvéget a távolabbi tűvéggel összevetíti. Koincidencia állásban a távcső irányvonala a **mágneses meridiánban van**, illetve azzal mindig ugyanazt a szöveget zárja be. Ha ebben a helyzetben leolvassuk a teodolit vízszintes körét, **rögzítettük a mágneses észak irányát**, mint tájékozó irányt. A csőbusszola irányba állási pontossága 3-5 perc körül van.

## 2.4. 13.2.4 Busszolás teodolitok használata

A busszolás teodolitokat és műszereket használatba vételük előtt meg kell vizsgálni, hogy az alapvető igazítási és használati feltételeknek megfelelnek-e (műszerekkel szemben támasztott geometriai követelmények teljesülése).

**A körosztás középpontjának a mágnesű forgástengelyében kell lennie.** Ezt több helyzetben a mágnesű két végén tett leolvasásokkal lehet ellenőrizni. Az eltéréseknek mindenütt **180 foknak kell lennie**. A két végén tett leolvasások számtani középértéke mentes az esetleges külpontossági hiba hatásától.

**A mágnesűnek jól mágnesezettnek és a tű ágyazásának épnek kell lennie.** Ezt úgy lehet ellenőrizni, hogy valamilyen vastárgy közelítésével a mágnesűt többször kilendítjük és **minden kitérés után** a tűnek mindig **ugyanabba a helyzetbe** kell visszatérnie. A műszer óvni kell az ütésektől és a rázkódásoktól.

**A mágnesű mágneses tengelyének nem szabad eltérnie a mágnesű geometriai tengelyétől**, körhöz kapcsolt mágnesű esetében a 0-180 fokos osztásokhoz tartozó átmérőtől. Ez a tű **átfektetésével** állapítható meg, de erre csak kivételes esetekben van lehetőség.

A busszolás műszerek használata esetén vigyázni kell arra, hogy a műszerálláspont közelében **ne legyenek vastárgyak** (vaskerítés, vasúti vágány, vasbeton szerkezet, elektromos vezeték stb.). A műszerláb vassarui nem fejtenek ki észrevehető hatást a mágnesűre, mert alatta közel szimmetrikusan helyezkednek el. A műszer közvetlen közelében tartózkodó mérőszemélyeknél nem lehetnek vasból készült tárgyak (pl. kulcs, bicska, kalapács stb.).

**A mágneses tájékozási szöveget célszerű a mérések előtt ismert koordinátájú pontokra végzett méréssel megállapítani** (13-6. ábra). Felállunk egy ismert koordinátájú alapponton és leolvassuk a mágneses északi irányt a csőbusszola koincidienciába hozása után (lm). Ezután mérünk ismert koordinátájú pontokra is irányértékeket. Számítjuk az ismert koordinátájú pontokra vonatkozó irányszöveget, majd képezzük a tájékozási szöveget, és utána pedig a súlyozott középértékű tájékozási szöveget. A mágneses tájékozási szöveget a következőképpen számíthatjuk:

K=360-zk-lm

13.5. egyenlet

Ezt a mágneses tájékozási szöget néhány kilométeres körzeten belül bárhol használhatjuk.

Ha egy **ismeretlen koordinátájú ponton állunk fel**, akkor az irányok irányyszögét (tájékozott irányértékét) a következőképpen vezethetjük le. Leolvassuk a mágneses északi irány helyzetét a csőbusszola középre állításával ( $l'_m$ ) és mérjük a meghatározó pontokra menő  $l'_1, l'_2, \dots$  Irányértékeket. Először számítjuk az álláspont  $z'$  tájékozási szögét.

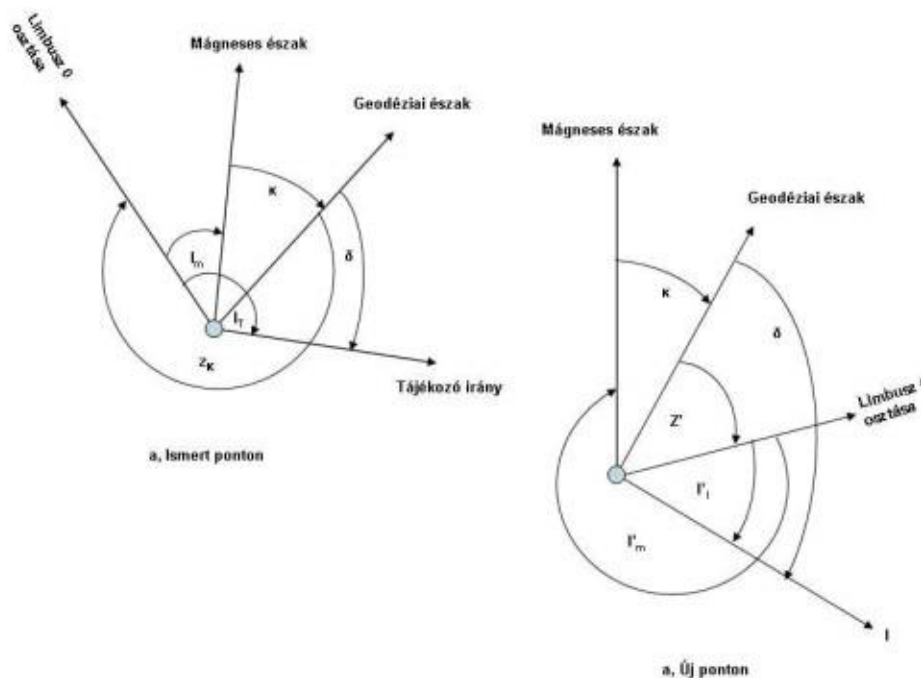
$$z' = 360 - l'_m - \kappa$$

13.6. egyenlet

Ebből már számítható az egyes irányok tájékozott irányértéke a következő összefüggéssel:

$$\delta'_i = l_i + z'$$

13.7. egyenlet



13-2. ábra A mágneses tájékozási szög meghatározása ismert ponton (a) és új ponton (b)

### 3. 13.3 Giroteodolitok

A giroteodolitok a **csillagászati északi irány** meghatározására szolgáló műszerek. Az irány azimutját a műszer egy fizikai elv alapján határozza meg. A műszerek alapvetően két részből épülnek fel: **pörgettyű**, azaz az északi irány meghatározására szolgáló egység; és a **teodolit** rész, azaz az iránymérésre szolgáló egység.

A giroteodolitok alapelve **Foucault**-tól származik. 1852-ben végzett ingakísérletei bizonyították, hogy az ingaszerűen felfüggesztett pörgettyű forgástengelye alkalmas az északi irány meghatározására.

#### 3.1. 13.3.1 A pörgettyű

A nagy sebességgel forgó merev testet **pörgettyűnek** nevezzük. Gyakorlatban **asztatikus, erőmentes pörgettyűket** használunk, amelyek **körszimmetrikus tömegeloszlásúak, forgástengelyük átmegegy a súlypont és egybeesik a tömegszimmetria tengellyel**. Csapágyazásuknak súrlódásmentesnek kell lennie. A giroteodolitok működésének a megértéséhez néhány fizikai fogalom átismétlésére van szükség. Egy körpályán

mozgó tárgy **impulzus momentuma**, azaz perdülete alatt a **tömeg**, a **tengelytől való távolság négyzetének** és a **szögsebesség szorzatát** értjük.

$$I_i = m_i \cdot r_i^2 \cdot \omega$$

13.8. egyenlet

Forgó test esetén a testet alkotó összes elemi rész impulzus momentumát összegezni kell:

$$\mathbf{I} = Q \cdot \omega$$

13.9. egyenlet

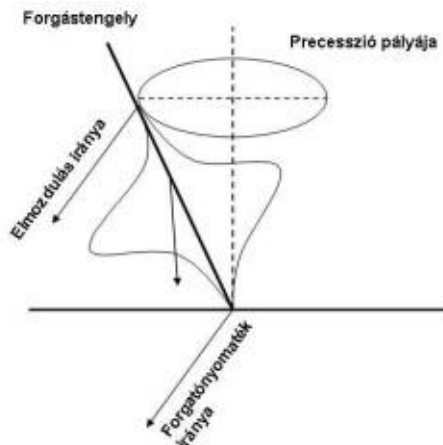
A képletben Q a forgó test tehetetlenségi nyomatéka:

$$Q = m_i \cdot r_i^2$$

13.10. egyenlet

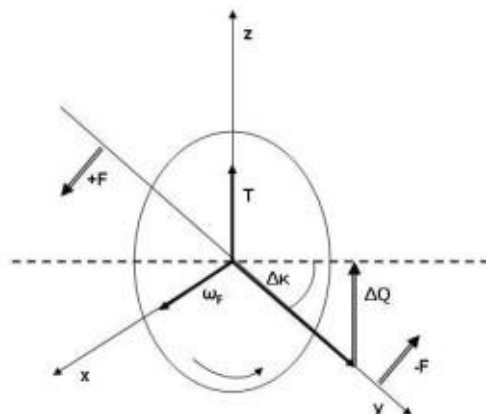
A tehetetlenségi nyomaték az impulzus momentum idő szerinti deriváltja. A **giroteodolitok pörgettyűjét** úgy készítik, hogy annak **impulzus momentuma nagy legyen**. Ennek megfelelően a motorok forgási sebessége 20 000-30 000 fordulat/perc körül van. A mai gyakorlatban inkább 3000 fordulat/perc szögsebességű szinkron motorokat alkalmaznak, amelyek tömege körülbelül fél kilogramm és átmérőjük 6 cm körüli.

A gyorsan forgó erőmentes pörgettyű szimmetria tengelyének, forgástengelyének helyzete mindaddig nem változik, amíg tengelyére külső erő nem hat. Külső forgatónyomaték hatására a pörgettyű tengelye kimozdul eredeti helyzetéből úgy, hogy az elmozdulás iránya megegyezik a forgatónyomaték irányával, azaz merőleges a forgatónyomatékot létrehozó erő irányára. A pörgettyűnek ezt az elmozdulását **precesszió**nak nevezzük. A pörgettyű súlypontjában ható nehézségi erő forgatónyomatékot gyakorol a pörgettyűnek az alátámasztással vagy felfüggesztéssel való érintkezési pontja körül. A forgatónyomaték iránya vízszintes, és hatására a pörgettyű precesszálni kezd, vagyis tengelye elmozdul a forgatónyomaték irányába. A forgástengely egy függőleges kórkúp, egy úgynevezett **precessziós kúp** palástja mentén fog mozogni (13-7. ábra).



13-3.ábra A precesszió

A jelenség pontosabb megértéséhez tekintsük az 13-8. ábrát. A pörgettyű az y tengely körül forog  $\omega$  szögsebességgel.



13-8. ábra A T forgatónyomaték származtatása

Ugyanilyen irányú  $Q_0$  impulzusnyomatéka is. Forgassuk el kereket az  $x$  tengely körül egy kis  $\omega_F$  szögsebességgel.  $\Delta t$  idő elteltével a forgástengely új, az eredetivel  $\Delta\kappa$  szöget bezáró helyzetbe kerül. Az impulzusnyomaték döntő része a kerék saját tengely körüli forgásából adódik, mert az  $x$  tengely körüli lassú forgásának járuléka csekély. Nagysága nem változik meg, viszont irány kis  $\Delta\kappa$  mértékben eltér az eredetitől. Az eltérés nagysága:

$$\Delta Q = Q_0 \cdot \Delta\kappa$$

13.11. egyenlet

Ennek következtében fellép egy  $T$  forgatónyomaték, amely az impulzusnyomaték időbeli változásának mértéke.

$$T = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q_0 \cdot \Delta\kappa}{\Delta t} = Q_0 \cdot \omega_F$$

13.12. egyenlet

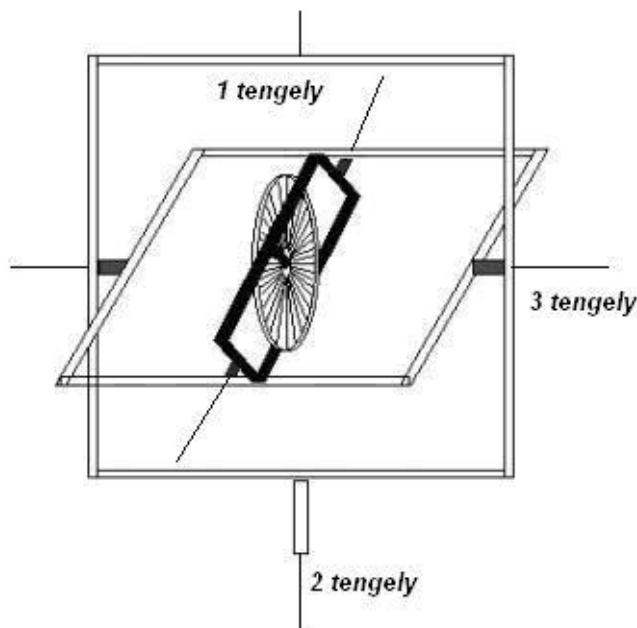
Ha a különböző mennyiségek irányát is figyelembe vesszük, láthatjuk, hogy ha  $\omega_F$  az  $x$  tengely irányába mutat,  $Q$  az  $y$  tengely irányába, akkor  $T$   $z$  tengely irányú lesz. Tehát a pörgettyű tengelyének  $\omega_F$  tengely körüli elforgatásának hatására fellép egy forgatónyomaték, amely merőleges a pörgettyű forgástengelyére és a külső forgatás tengelyére. A  $T$  forgatónyomaték hatására fellép egy  $+F$  és  $-F$  erőpár a  $T$ -re merőlegesen, mely a pörgettyű tengelyét igyekszik elforgatni. Ez az erőpár azért jön létre, mert a motor tengelyét az eredeti helyzetéből kimozdítva azt az  $\omega_F$  tengely körül forgatjuk. Ez Newton harmadik törvényéből következik, amely megköveteli, hogy egyenlő nagyságú, de ellentétes irányú erők hassanak a pörgettyűre.

## 3.2. 13.3.2 Különféle pörgettyűk

A pörgettyűk szabad tengely körüli forgásának stabilitása, és a forgatónyomaték hatására keletkező precesszió és a forgástengely elfordításakor fellépő pörgettyű nyomaték a pörgettyűnek számos felhasználási lehetőséget biztosít a műszeriparban. A következő alfejezetben megismerkedünk a különféle pörgettyűkkel és azok alkalmazási területeivel.

### 13.3.2.1 Szabad pörgettyű

Azért, hogy a pörgettyű impulzus tengely bármilyen helyzetet elfoglalhasson, úgy kell a tengelyt felfüggeszteni, hogy mindhárom irányban szabadon mozoghasson. A három tengely lehet egy jobbsodrású derékszögű koordináta-rendszer három tengelye. (13-9. ábra)



13-9. ábra A szabad pörgettyű

Az így felfüggesztett pörgettyűt **három szabadságfokúnak** nevezzük. Ennek megvalósulása a **kardanikus felfüggesztés**. A pörgettyű forgástengelyét (1) a belső kardányűrűvel fogathatóan lehetőleg súrlódás és imbolygás mentesen csapágyazzák. Ezt ugyanilyen módon egy külső kardányűrűbe fogják be úgy, hogy a forgástengelyre merőleges tengely körül elforgatható legyen. A külső kardányűrűt a 2. tengelyre merőlegesen elhelyezett 3. tengellyel fogják be a külső rendszert meghatározó keretbe. Így a pörgettyű három tengely körül foroghat, azaz három szabadságfokú pörgettyűnek nevezzük. A három szabadságfokú pörgettyű **megtartja a tengelyének térbeli helyzetét**. Ezt a pörgettyűt **állandó irány kitűzésére**, vagy **navigálásnál állandó irány tartására** alkalmazzák (pl. repülő, hajó, rakéta stb.). A három szabadságfokú pörgettyű tengelye a Föld felszínén mindig **ugyanazon állócsillag felé mutat**.

A Föld egy világűrben mozgó **pörgettyűnek** tekinthető. A Föld felszínén lévő pontokat a **pólushoz viszonyítva** határozzuk meg. A **pólust** a Föld **forgástengelyének megfelelően** vesszük fel, így a **térbeli geocentrikus koordináta-rendszer közvetlenül kapcsolódik a Föld fizikai forgásához**. A Föld a tengelye körül egy csillagnap alatt végez el egy fordulatot, szögsebessége:  $7.292 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ . A Földdel együtt forog minden földhöz kapcsolt tárgy is, így egy földhöz kapcsolt pörgettyű, amelynek egyik szabadságfokát megkötöttük (**két szabadságfokú pörgettyű**), az előzőekben leírt **precesszáló mozgást** fog végezni. Geodéziai szempontból kétféle, kétszabadság fokú pörgettyűnek van jelentősége:

1. **Inklinációs pörgettyű**: földrajzi szélesség meghatározására alkalmas. A forgástengelyén kívül csak a meridián síkjában képes forogni.
2. **Deklinációs pörgettyű**: északi irány mutatóására vagy meridián keresésére szokták használni. A forgástengelyén kívül csak a helyi vízszintes síkban foroghat. A műszerállásponton áthaladó meridián csillagászati északi irányának meghatározására alkalmas. Ezt a fajta pörgettyűt alkalmazzák a giroteodolitokban.

### 3.3. 13.3.2.2 Inklinációs pörgettyű

Az inklinációs pörgettyű olyan két szabadságfokú pörgettyű, amelynek forgástengelye csak a meridián síkjában fordulhat el. Az 13-10-es ábrának megfelelően a motor impulzus nyomatéka  $x$  tengely irányú:

$$I_{\omega} = Q \cdot \omega_p$$

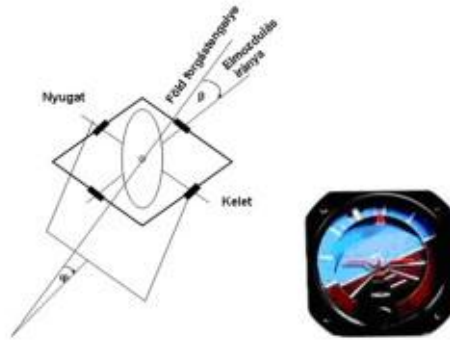
13.13. egyenlet

A pörgettyű a Föld forgása következtében elfordul a Föld forgástengelyével párhuzamos vektor körül egy  $\omega_F$  szögsebességgel, amelynek következtében fellép egy  $y$  tengely irányú nyomaték:

$$M_{(inM)} = Q \cdot \omega_p \cdot \omega_F \cdot \sin \beta$$

13.14. egyenlet

Ennek a nyomatéknak hatására a pörgettyű tengelye elfordul a Föld forgástengelye irányába. A precesszió addig tart, amíg a pörgettyű tengelye be nem fordul a Föld forgástengelyének irányába (azaz  $\beta=0$ ), és a precessziós nyomaték megszűnik.

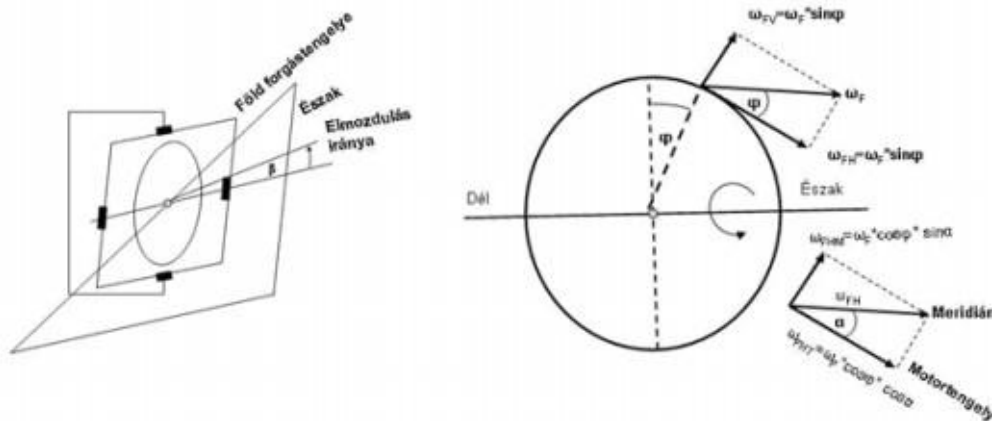


13-10. ábra Az inklinációs pörgettyű és a horizont meghatározó berendezés

Ilyen elrendezés mellett a műszerrel a földrajzi szélesség meghatározható, vagy ez utóbbi ismeretében a vízszintes sík előállítható. Ennek az elvnek az ismeretében készítik a horizont meghatározó berendezéseket, amelyeknek nagy szerepe van a hajózásnál és a repülésnél. Közvetlen geodéziai felhasználást a légi felvételek készítésénél nyer.

### 3.4. 13.3.2.3 Deklinációs pörgettyű

Ha a két szabadságfokú pörgettyű olyan, hogy saját tengely körüli forgásán kívül csak vízszintes síkban tud elfordulni, akkor deklinációs pörgettyűről beszélünk. A Föld felszínén lévő deklinációs pörgettyű precessziós nyomatékának meghatározásához bontjuk fel a Föld forgásának szögsebesség vektorát az állásponton áthaladó függőleges és vízszintes irányú összetevőkre. (13-11. ábra)



13-11. ábra A deklinációs pörgettyű és precessziós nyomatékának származtatása

$$\omega_{FV} = \omega_F \cdot \sin \varphi$$

$$\omega_{FH} = \omega_F \cdot \cos \varphi$$

13.15. egyenlet

Az  $\omega_{FV}$  függőleges irányú összetevő hatására nem keletkezik precessziós nyomaték, mert a pörgettyű szabad tengelyének az irányába esik. Az  $\omega_{FH}$  vízszintes összetevőt bontjuk fel két további részre. Egy a motor tengelyével egyező  $\omega_{FHT}$  és egy a motor tengelyére merőleges  $\omega_{FHM}$  összetevőre.

$$\omega_{FHM} = \omega_{FH} \cdot \sin \alpha = \omega_F \cdot \cos \varphi \cdot \sin \alpha$$

$$\omega_{FHT} = \omega_{FH} \cdot \cos \alpha = \omega_F \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha$$

13.16. egyenlet

Ezen két összetevő közül a **motor tengely irányú összetevő nem hoz létre precessziós nyomatékokat**. A **motor tengelyre merőleges összetevő** azonban **precessziós forgatónyomatékokat** hoz létre, amely nyomaték iránya **függőleges lesz**, mert az impulzus nyomaték és a szögsebesség vektor is vízszintes. A létrejövő, úgynevezett **irányító nyomaték** nagysága:

$$M_p = I \cdot \omega_p \cdot \cos \varphi \sin \alpha = Q_p \cdot \omega_p \cdot \omega_F \cdot \cos \varphi \sin \alpha$$

13.17. egyenlet

A nagyobb irányító nyomaték eléréséhez növelni kellene a Q tehetetlenségi nyomatékokat, ami a motor és a műszer súlyának a növelését jelentené. A szögsebesség növelése elsősorban technikai nehézségekbe ütközik továbbá a mérés időtartamát is jelentősen megnövelné. A **pörgettyű irányító nyomatéka a meridián és a tengely közötti  $\alpha$  szögtől is függ**. A precessziós mozgás megindulásakor a tengelyre négy precessziós nyomaték hat, ez a nyomaték a tengelyt a meridián sík felé mozdítja el. Az elmozdulás következtében csökken az  $\alpha$  szög, és ezzel együtt a precessziós nyomaték is. A tengelyvég gyorsulása egyre kisebb lesz, sebessége pedig a meridiánál lesz a legnagyobb. A meridiánsík elérésekor a precessziós nyomaték megszűnik ( $\alpha=0$ ), de a rendszer mozgási energiája következtében tovább halad egyre csökkenő sebességgel mindaddig, amíg mozgási energiájánál nagyobb nem lesz az ellenkező irányú precessziós nyomaték. **A motor tengelyvége a meridiánsík körül lengéseket végez, amely a fellépő veszteségek miatt egyre kisebb amplitúdójú (tágasságú) lesz.**

A pörgettyű gyakorlati kivitelénél a **függőleges tengelyt** úgy hozzák létre, hogy a **motor házat egy tartószálon felfüggesztik, és így egy függőleges önbeálló ingát hoznak létre**. A felfüggesztés miatt a pörgettyű tengelye **nem csak a vízszintes**, hanem a **függőleges síkban** is lengéseket végez, így a pálya alakja **egy erősen lapított ellipszisre** fog hasonlítani.

A létrejövő **precessziós nyomaték és a lengési idő függ az álláspont földrajzi szélességétől**. A precessziós nyomaték nagysága a pólus felé közeledve egyre csökken, azt elérve megszűnik. A lengésidő a pólus felé haladva egyre nagyobb lesz, míg a póluson végtelen nagyra válik. Ennek gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy a giroteodolitok pontossága az egyenlítőn a legjobb, és észak felé haladva egyre kisebb lesz. A pontosság csökkenésével együtt nő a mérés időtartama is, ezért északi korlátként a giros műszereket a 70-dik szélességi fokig szokták használni.

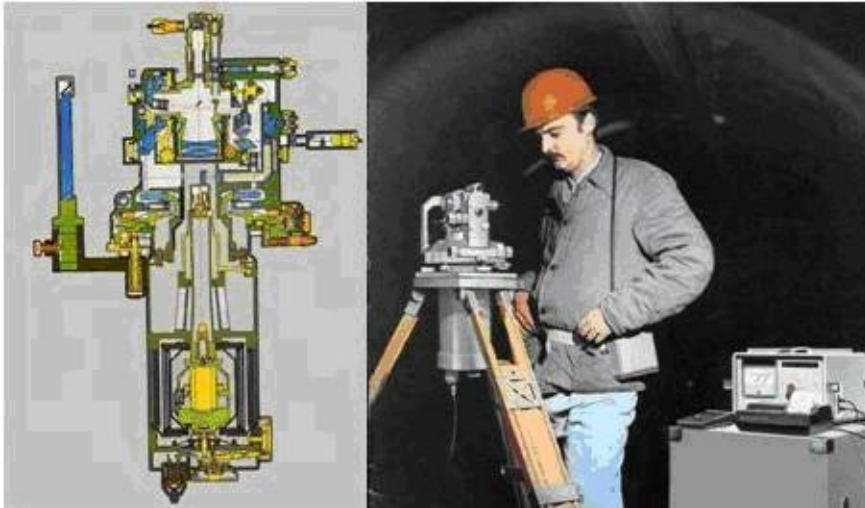
### 3.5. 13.3.3 A giroteodolitok általános felépítése

A geodéziai célra szolgáló giroteodolitok leggyakrabban **ingás felfüggesztésűek**. A Magyar Optikai Művek annak idején számos világviszonylatban is értékelt műszert gyártott, közöttük giroteodolitokat is: a GiB és GiC műszercsaládot. Ebben a fejezetben elsődlegesen ezen műszerek felépítésével fogunk foglalkozni.

A giroteodolitok alapvetően három fő részből állnak (13-12. ábra):

1. teodolit-rész, amely iránymérésre szolgál
2. pörgettyű-rész, amely iránymutatásra szolgál
3. generátor, azaz áramátalakító a megfelelő akkumulátorral.

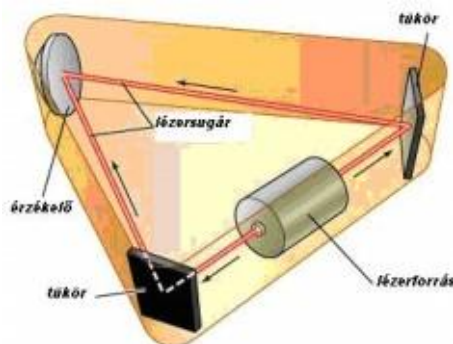
A **teodolit-rész** megegyezik egy szabatos másodperc teodolittal, eltérés a könnyebb használhatóság érdekében csak szerkezeti kiegészítésben van. A vízszintes irányítócsavar végtelenített, hogy a mérés során ne jelentsen akadályt a parányi mozgatás tartományának korlátozása. A műszert el kell látni olyan eszközzel és optikával, amely lehetővé teszi a műszer és az osztott körök mesterséges fényel történő megvilágítását. A teodolithoz közvetlenül kapcsolódik a pörgettyűs-rész. Ez lehet egybe épített, amikor a pörgettyű a teodolit alatt helyezkedik el, és lehet rátét pörgettyű, amikor a teodolit és a pörgettyű külön részt alkotnak, ám összekapcsolhatóak.



13-12. ábra GiB11 giroteodolit szerkezeti rajza és használat közben földalatti mérésnél

A **pörgettyű-rész** fő része a nagy fordulatszámú nagy tehetetlenségű pörgettyű motor. A tengelyük golyóscsapágyas, amely biztosítja a motor ingadozásmentes járását. A motort egy motorházban helyezik el, amelynek belső tere vagy vákuum, vagy héliummal töltik ki. A motorházat a súlypontja felett egy lapos téglalap keresztmetszetű, acél tartószálra függesztik. Ez a tengely biztosítja a motor tengelyének vízszintes síkban való elfordulását. A tartószál csavarodási nyomatéka befolyásolja a motor lengését, ezért a tartószálat speciális tulajdonságokkal rendelkező acélból készítik. Mérés közben ez a szál hordja a műszer súlyát és egyben az áramvezető szál szerepét is betölti. A felfüggesztés lehetővé teszi a motor tengely és tartószál körüli elmozdulását, ezen kívül még elmozdulhat egy vízszintes tengely körül is, de ezt a súlypont feletti bekötés gátolja. Ezt a típusú pörgettyűt nevezik két és fél szabadságfokú pörgettyűnek. A giroteodolitok részletesebb felépítésével és használatával a Mérnökgeodézia című tantárgyban fogunk megismerkedni.

A giroszkóppal felszerelt műszerek fejlesztése az egyre magasabb fokú **automatizáltság** felé halad. A fejlődésnek alapvetően két iránya van: a lengéspálya különböző helyzeteinek automatizált módon történő regisztrálása, továbbá az északi irányba álló rendszerek fejlesztése. Ez utóbbi rendszerek közül elsődlegesen a **nyomatékkiegyenlítés** elvén működő műszerek fejlődése várható. Ilyen típusú műszerekkel jelentősen lehetne növelni a mérési pontosságot, és csökkenteni a mérés időtartamát. A közepes pontossági igények kielégítésére alkalmasak a **lézergiroszkópok**, amelyek fejlődése mind a mai napig tart. *Sagnac* kísérletei igazolták, hogy a szögelfordulásra érzékeny **lézerkeret** is alkalmas az északi irány meghatározására. A lézergiroszkóp három vagy több tükre és fényvezetője sík zárt áramkört alkot. A zárt körben két ellentétes irányú infravörös, monokromatikus és koherens fény halad végig. (13-13. ábra)



13-13. ábra A lézergiroszkóp elvi felépítése

A tükör fényvisszaverése és a kimenő jel okozta energiaveszteséget az áramkörbe épített optikai kvantumgenerátor folyamatosan pótolja. A rendszernek az áramkör síkjára merőleges tengely körüli forgásokor a forgás irányában megtett fényút hosszabb, mint a forgással ellentétes irányú fényút. A nagyobb utat megtevő sugár frekvenciája csökken, a másiké nő. A keletkező frekvenciacsúszást optikai vagy elektronikai úton meg lehet határozni. Az északi irány meghatározásához a rezonátor áramkörének síkját függőleges helyzetbe hozzák és a függővonal körül addig forgatják, amíg a frekvenciacsúszás értéke nulla nem lesz. A Föld forgási szögsebesség vektorának az áramkör síkjának merőlegességére vonatkoztatott vetülete akkor lesz zérus, amikor



a lézerforrás áramkörének síkja egybeesik az állásponton áthaladó meridiánsíkkal. A gyorsan pörgő mechanikus elemek elmaradása miatt nagy stabilitású, megbízható műszereket lehet előállítani lézertechnika segítségével.

## 4. 13.4 Hidrosztatikai szintezőműszerek

Szintezéskor egy **szintfelületet állítunk elő**, és ettől mérjük a **pontok merőleges távolságát**. A szintfelület előállítását végezhetjük a hagyományos módon, egy optikai **szintezőműszer** segítségével, de lehetőségünk van arra is, hogy definiáljuk a **szintfelület egy elemi darabját** egy a közlekedő edények elvén működő műszer, a **hidrosztatikai szintezőműszer** segítségével. A szintfelület darabját a műszer csővezetékében lévő szabad folyadékfelszín hozza létre.

A hidrosztatikai szintezőműszer **két mérőberendezésből (mérőhenger)** és az azokat összekötő **folyadékkal töltött rugalmas csőből** (tömlő) áll. (13-14. ábra)



13-14. ábra A Meisser-féle hidrosztatikai szintezőműszer

A műszer sajátos szerkezeti felépítése miatt csak **kisebb távolságban lévő pontok magasságkülönbségeinek** meghatározására alkalmas (30-50 méter), bár különleges kiegészítő berendezésekkel vonalszintezés is végrehajtható ilyen műszerrel. Széles folyók, tengerszorosok átszintezéséhez több száz méter vagy néhány kilométer hosszú hidrosztatikai szintezőműszereket is használtak. Érdekességként megjegyezzük, hogy a 20. század elején, amikor Németország elcserélte Angliával Zanzibár „fűszer szigetét” az észak német partok előtt található Helgoland szigetére, akkor a kontinensről a szigetre ilyen hidrosztatikai szintezőműszerrel vitték át a magasságot. A hidrosztatikai szintezést már az ókorban is ismerték, és egyszerűbb formában mind a mai napig használja az építőipar. A geodéziai szempontból fontos, nagy pontosságú hidrosztatikai szintezőműszerek gyártása az **1930-as években indult meg**. Mindegyik közös tulajdonsága, hogy a **folyadékfelszín távolságát a ponttól egy mikrométer csavarral mozgatott tüvel lehet megmérni**. A mérőcsúcsot mindig felülről vezetik a folyadékfelszínhez, és érintkezését a folyadékkal egyszerűbb esetben **szemrevételezéssel**, precízebb esetben **elektromos regisztrálással** oldják meg.

Magyarországon a gyakorlatban a Meisser-féle hidrosztatikai műszerek használata terjedt el. A műszer üvegből készült mérőhengereit előlről fémfoglatat védi. Ebben mozgatható a mérőcsúcs egy mikrométer csavarral. A mérőcsúcs helyzetét egy 100 mm hosszú beosztásos skálán olvashatjuk le milliméter élesen. A mikrométer dobról 0.01 mm-t közvetlenül leolvashatunk, az ezredmillimétereket pedig becsülhetjük. A műszer méréskor egy beépített lemezen fekszik fel a speciális gömbölyű fejű csapokra. A műszer lecsúsztatását szorítócsavarok és egy támasztó kengyel oldja meg. A műszer függőlegességét az állítógyűrűkre szerelt csavarok segítségével állíthatjuk be a szelencés libella középre hozásával. A mérés megkönnyítése érdekében a műszert egy indikátorlámpával szerelték fel, amely azonnal felvillan, amint a mérőcsúcs elérte a folyadék felszínét. Egy csőfekvéssel maximum 10 cm magasság különbség határozható meg.

A hidrosztatikai szintezőműszerek részletesebb felépítésével és használatuk módjával későbbi tanulmányainkban fogunk részletesebben megismerkedni.

## 5. 13.5 Szabatos optikai vetítők

A mérnökgeodéziai gyakorlatban, elsősorban az építőipari geodéziában gyakori feladat a pontok **szabatos módon történő fel- vagy levetítése, vagy az egy függőlegesbe eső pontok kijelölése**. Ezt a geodézia klasszikus műszereivel és felszereléseivel nem lehet megoldani. A teodolittal vagy mérőállomással két oldalról való vetítés ugyan megoldást jelentene, azonban az építési környezet, a hely hiánya az esetek többségében ezt nem teszi lehetővé. Ilyen típusú feladatok megoldására alakították ki a **szabatos optikai vetítőket**.

A **függőleges vetítésnek alapvetően két formája alakult ki: a mechanikai és az optikai vetítés**. A **mechanikai vetítés** eszköze a függő, amelynél a zsinór jelöli ki a függőleges egyenest. Nagyobb magasságkülönbségek esetén vékony acélhuzalt alkalmaznak; 100 méteres vetítésig 0.5 mm vékony és 20-50 kg súllyal terhelhető. Föld feletti méréskor ritkán alkalmazzák nehézsége miatt, azonban föld alatti méréseknél a rossz látási körülmények miatt gyakrabban használják. Ebben az esetben több száz méter is lehet az átvétendő távolság; ekkor már több száz kilogramm súlyú vetítőket használnak, olajjal történő lengéscsillapítással.

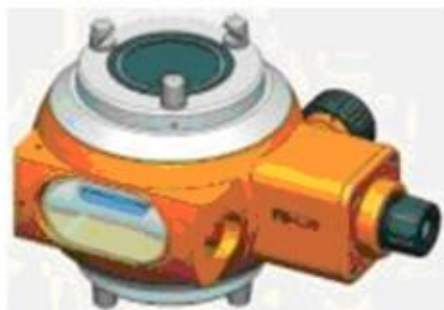
Az **optikai vetítés** elvégezhető **bármely olyan geodéziai műszerrel, amelynek irányvonala függőlegessé tehető**. Pentaprizmák és tört okulárok segítségével egy szintezőműszer, teodolit vagy mérőállomás is alkalmas lehet vetítésre, ám a szabatos megoldások elérése miatt ezekre a feladatokra külön geodéziai műszercsaládot hoztak létre.

Az optikai vetítők fő része egy **távcső**, melynek irányvonala **szabatosan függőlegessé tehető**. A függőlegessé tételhez megfelelő érzékenységű **libella** vagy **kompensátor** szolgál. Az optikai vetítők kényszerközpontosan felcserezhetők a megfelelő gyártók műszereivel és prizmaival, állótengelyük körül körülforgathatóak a műszerhibák kiküszöbölése érdekében. A műszerek általában csak egyirányú vetítésre alkalmasak: felvetítők, azaz **zenitvetítők**; és levetítők, azaz **nadírvetítők**. (13-15. ábra) A műszerek elnevezése mindig arra utal, hogy hová vetítünk velük, fel, azaz a zenit irányába, vagy le, azaz a nadír irányába. A mindkét irányú vetítésre alkalmas műszereknél egy **váltóprizma** teszi lehetővé a vetítési irány megváltoztatását. Az is előfordul, hogy egy műszerben két távcsövet alakítanak ki, egyet a fel, egyet pedig a levetítéshez.

Az optikai vetítőket a **vetítés módja szerint két csoportba osztjuk**:

1. síkbeli vetítők, amelyek segítségével egy függőleges sík állítható elő
2. térbeli vetítők, amelyek egy függőleges egyenes létrehozására alkalmasak.

A mai gyakorlatban gyakrabban még a síkbeli vetítők, azaz a csak egy irányban kompenzáló vetítők, azonban az egyre bonyolultabb kompenzátor szerkezetek kialakításával a síkbeli vetítők, lassan teret fognak veszíteni a térbeli vetítőkkel szemben. A térbeli vetítők már képesek a kétirányú kompenzálásra, és ezzel jelentősen csökkentik a mérési időtartamot, valamint a mérőszemély figyelmetlenségéből bekövetkező esetleges mérési hiba valószínűségét.



13-15. ábra Zenitvetítő és nadírvetítő

## 6. 13.6 Összefoglalás

A modul során megismerkedtünk a busszolák és busszolás teodolitok felépítésével, használatával, továbbá részletesen tárgyaltuk a különféle északi irányokat, valamint azok egymással bezárt szögét. Megismertük a giroteodolitok működési elvét, a különféle pörgettyűket, valamint a giroteodolitok általános felépítését. A modul végén röviden bemutattuk a hidrosztatikai szintezőműszereket és a szabatos optikai vetítőberendezéseket.

### Önellenőrző kérdések:

1. Milyen északi irányokat ismer, és hogyan definiáljuk ezek egymással bezárt szögét?
2. Hogyan működnek a mágneses busszolák, a rátét busszolák, a tájolók és a busszolás teodolitok?
3. Milyen igazítási és használati feltételeknek kell megfelelnie egy busszolás teodolitnak?
4. Hogyan határozzuk meg a mágneses tájékozási szögét ismert és új ponton?
5. Hogyan működik a pörgettyű?
6. Ismertesse röviden a következő fogalmakat: szabad pörgettyű, inklinációs pörgettyű, deklinációs pörgettyű, lézergiroszkóp!
7. Milyen elven működnek a hidrosztatikai szintezőműszerek?
8. Hogyan lehet csoportosítani a szabatos optikai vetítőket?

## Irodalomjegyzék

### *Irodalomjegyzék*

- Bácsatyi L.: *Geodézia erdő- és környezetmérnököknek*, Geomatikai Közlemények, MTA FKK GGKI, Sopron, 2003
- Busics Gy.: *Adatgyűjtés 1-2.*, NYME-GEO, Budapest, 2009
- Busics Gy., Csepregi Sz.: *Poláris részletmérés segédpontokkal*, Geodézia és Kartográfia, Budapest, 1997/3
- Csepregi Sz.: *Mérőállomások*, NYME-GEO, Székesfehérvár, 2005
- Csepregi Sz.: *Geodéziai alapismeretek I-II-III.*, SE-FFFK, Székesfehérvár, 1977
- Deumlich-Steiger: *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*, Wichmann Verlag, Drezda, 2002
- Fasching A.: *A földméréstan kézikönyve*. Magyar Királyi Pénzügyminisztérium, Budapest, 1914
- Fialovszky L.: *Geodéziai műszerek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- Dr. Vincze Vilmos (szerk.): *Geodéziai számítások*, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1959
- Gyenes R.: *A geomatika alapjai*, NYME-GEO, Székesfehérvár, 2006
- Hazay István (szerk.): *Geodéziai kézikönyv I-III.*, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1956-1960
- Krauter A.: *Geodézia*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002
- Martin D., Gatta G.: *Calibration of Total Stations Instruments at the ESRF*, XXIII FIG Congress, München, 2006
- Oltay K., Rédey I.: *Geodézia*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1962
- Sárdy A.: *Geodéziai alapismeretek I-II.*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985
- Sébor J.: *Geodézia I., Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, 1953

Staiger R.: University of Applied Sciences, Bochum, Németország, 2009

Yildiz F. .: *3D modelling by advanced total station*, Selcuk University, Athén, 2007