

4. Előadás: Kapcsoló és tájékozó mérések, számítások

A kapcsoló és tájékozó mérések, számítások célja az, hogy a földalatti alappont hálózatokat a föld felszíni alappont hálózat koordináta-rendszerében határozzuk meg.

Kapcsolás azt a műveletet jelenti, amelynél egy földalatti pont vagy pontok koordinátáit, a tájékozás pedig azt a műveletet, amikor e pontokból kiinduló irányok irányszögét határozzuk meg a felszíni koordináta-rendszerben.

A kapcsolás és tájékozás művelete együttesen lejtős aknán át elvégezhető sokszögeléssel, függőleges aknán keresztül pedig mechanikai vagy optikai aknafüggélyezéssel.

A tájékozás feladata pedig külön a kapcsolás feladatától – a pontossági követelményektől függően – megoldható pörgettyűs vagy mágneses műszerekkel.

Kapcsolás és tájékozás sokszögeléssel

A kapcsolás és tájékozás művelete viszonylag egyszerűbb, ha a földalatti térségeket táró vagy lejtősakna köti össze a felszínnel. Ekkor ugyanis mind a tájékozás, mind a kapcsolás feladata megoldott, ha a felszínről a tárón vagy lejtős aknán át sokszögvonalat vezetünk a földalatti térségbe. A tájékozó mérés célját szolgáló sokszögvonalat a felszínen 2-3 iránnyal tájékozni kell.

A kapcsolás és tájékozás szempontjából természetesen az a kedvező, ha a földalatti munkálatoknak nem egy, hanem több külszíni nyílásuk van, mert így a mérésre és az ellenőrző mérésre több lehetőség adódik. Ha pl. a földalatti térségek két, a föld alatt egymással már kapcsolatban lévő függőleges aknával csatlakoznak a külszínhez, a kapcsolás és tájékozás beillesztett sokszögvonallal végezhető el. A sokszögvonalt külszíni rendszerben meghatározott kezdő- és végpontját mechanikai vagy optikai függővel vihetjük le a kérdéses szintre. Ha pedig az összeköttetést a külszínnel egy függőleges és egy vele összekapcsolódóan álló lejtős akna képezi, akkor a kapcsolás és tájékozás feladatát szintén sokszögvonallal (kétszer kapcsolt egyik végén tájékozott sokszögvonallal) vezetésével oldhatjuk meg. Végeredményben tehát a feladatok megoldásának sok változata lehet attól függően, hogy milyen az összeköttetés a felszín és a földalatti térségek között.

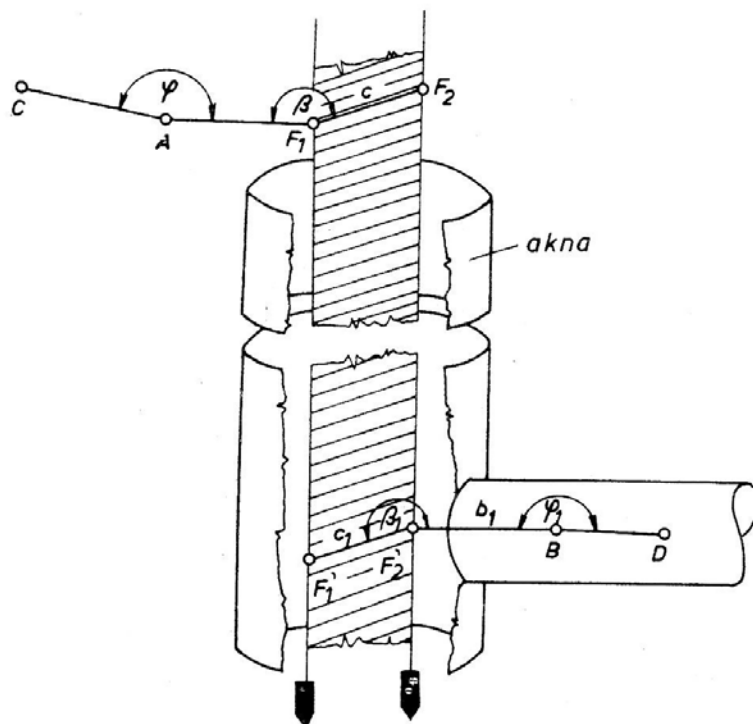
Mechanikai aknafüggélyezés

A mechanikai aknafüggélyezés alapelve az, hogy a függőleges aknában az F_1 és F_2 függőkkel egy függőleges síkot állítunk elő (1. ábra).

A függőleges síkhoz mind a felszínen, mind a bányában sokszögvonallal csatlakozunk, vagyis a felszínen indított sokszögvonalat a bányában úgy vezetjük tovább, hogy a két sokszögvonalt csatlakozó oldala (a C és C_1) az előállított függőleges síknak egy vízszintes síkkal való metszése legyen. Ha már most a külszínen meghatározzuk a két függő koordinátáit s ezáltal a függőleges sík irányszögét is, ezen adatok ismeretében a földalatti sokszögvonalt pontjainak koordinátái a felszíni koordináta-rendszerben számíthatók, vagyis mind a kapcsolás, mind a tájékozás feladatát megoldottuk.

A feladat megoldása – annak ellenére, hogy alapelve egyszerű – nagyon sok nehézségbe ütközik, s a földalatti méréseknek egyik legnehezebb feladata. A feladat megoldásában a legfőbb nehézséget az okozza, hogy a függőleges síkot meghatározó két függőt egymáshoz, az akna méreteinek és beépítettségének függvényében csak nagyon

közel, gyakran 1-2 m távolságra lehet elhelyezni. Ezért ezután a tájékozás céljára a vetítést nagyon pontosan, néhány tized mm-es pontossággal kell végezni, hogy a két függőhöz csatlakozó földalatti sokszögvonalt több száz m, vagy több km távolságon is megbízható értéket szolgáltatasson.



1. ábra

Az F_1, F_2 kiinduló pontok koordinátáinak a hibái sokszögeléskor az aknától távolodva mindig azonos, nem növekvő módon éreztetik hatásukat, vagyis a sokszögvonalt végpontjaiban sem lesznek nagyobbak a koordináta hibák, mint az F_1, F_2 pontokban. Ezzel ellentétben a tájékozásban elkövetett hiba a kiinduló ponttól távolodva a sokszögvonalt fokozódó elcsavarodását eredményezi. A sokszögvonalt végpontjának eltolódása az elcsavarodás hatására

$$t_{cs} = \frac{T\beta''}{\rho''}$$

amely összefüggésben T a sokszögvonalt kezdő és végpontja közötti távolság. Ha az 1. ábra esetében feltételezzük, hogy az F_1 pontot az F_1, F_2 oldalra merőlegesen 1 mm valódi hibával vetítettük le, akkor az F_1, F_2 oldal tájékozási hibája a β_1 1,5 m oldalhosszúságú (függő távolság) esetén:

$$\beta_1 = \frac{206265 \cdot 1\text{mm}}{1500\text{mm}} = 137''$$

Ha pedig az F_2 pont vetítésekor szintén elkövetünk 1 mm-es valódi vetítési hibát, de ellenkező irányban, akkor a vetítésből származó valódi tájékozási hiba $\beta = 274''$ tájékozási hiba pedig az aknától 2 km távolságra lévő sokszögponltban

$$t_{cs} = \frac{2000 \text{ m} \cdot 274''}{206265''} = 2,7 \text{ m}$$

hibát eredményez. A példa alapján könnyű belátni, hogy a vetítések hibáinak nem szabad nagyobbak lennie a már említett néhány tized milliméternél, amely érték a koordinátáktól megkövetelt megbízhatóság és a sokszögvonal hosszának ismeretében a bemutatott módon számítható.

A bányászatban jelenleg elfogadott hibahatár szerint – térképezés céljára – aknafüggeléyzéssel meghatározott irány meghatározási hibája nem lehet nagyobb 180°-nál.

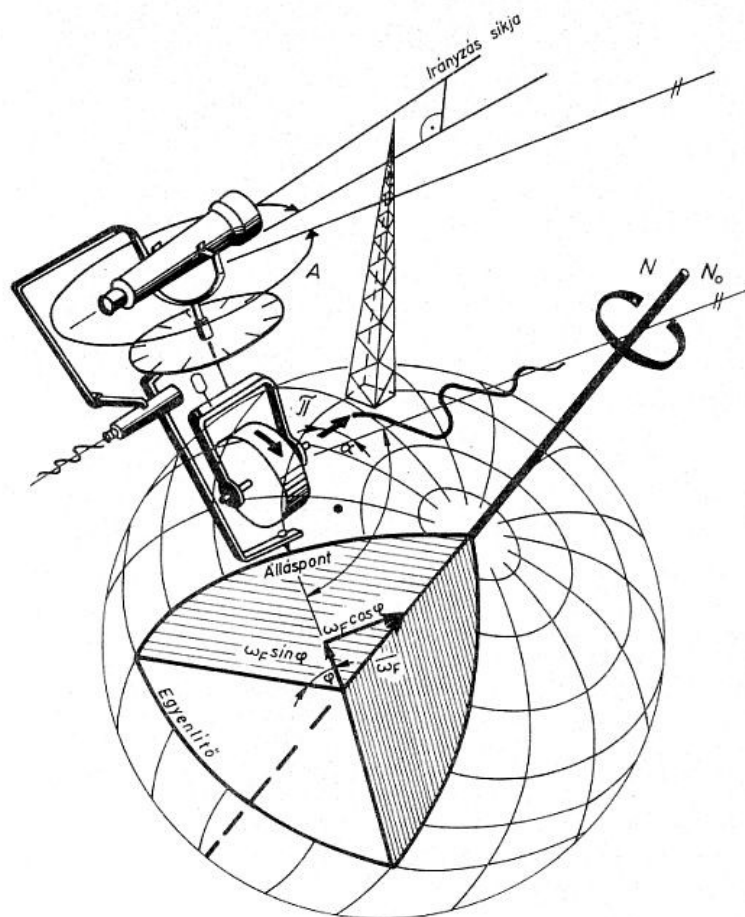
A gyakorlatban ez a hiba a legtöbb esetben 60 '' alatt marad, ami 1 km-es távolságon 30 cm-es oldal eltérést ad.

A feladat megoldását tovább nehezíti, hogy a nagy pontosságot igénylő mérésekhez csak nagyon szűk helyi viszonyok állnak rendelkezésre. A földalatti térségekben gyengék a látási viszonyok. Az aknában a talajvíz szivárgása következtében „esik az eső”. A párasodás következtében csökken az optikai műszerekkel végzendő észlelések megbízhatósága s végül az aknában az állandó légáram hatására a függők nyugalmi helyzete válik bizonytalaná. Mindezek a pontos mérést akadályozó körülmények az aknamélység növekedésével fokozottabban jelentkeznek.

Az hogy a zavaró körülmények megszüntetése, illetve az általuk okozott hibák számszerű meghatározása nem egyszerű feladat, mi sem bizonyítja jobban, mint a mechanikai aknafüggeléyzés számtalan módozata, amelyek a legjobb megoldások útkeresésének egy-egy állomásai.

Tájékozás giróteodolittal

A giroszkópos műszereket, mint ismeretes, széleskörben alkalmazzák iránykijelölési és stabilizációs célokra. Felhasználják mind a légi, mind a tengeri közlekedésben, újabban a rakétatechnikában, de felsorolhatnánk a technikai feladatok egész sorát, ahol sikerrel alkalmazzák.



2. ábra

A giroszkóp iránymeghatározásra való alkalmazásának lehetősége azon a tulajdonságán alapszik, hogy meghatározott feltételek között, úgynevezett irányító (giroszkópikus) nyomaték lép fel, amely a giroszkóp forgástengelyét állandóan a meridián síkjába kényszeríti. Ez lehetővé teszi az álláspontunkon átmenő meridián irányának közvetlen meghatározását, az egyes irányok tájékozását, mind a Föld felszínén, mind a Föld felszíne alatt. A mérés kellő pontossággal, rövid idő alatt, az időjárástól, az év és a napszaktól, a terep fizikai feltételeitől függetlenül végezhető.

A giroszkópokat a sokrétű sajátosságos mechanikai tulajdonságai, törvényei teszik alkalmassá a szintén sokrétű feladatok megoldására. Különösen sajátosságosak a mechanikai tulajdonságai a ráható erők következtében fellépő nyomatékok tekintetében. Ezek közül is kiemelkednek azok a mechanikai törvények, amelyek a Föld (mint pörgettyű) forgásából ráható erők következtében érvényesülnek. A következőkben a pörgettyűknek csak azokkal a tulajdonságaival, törvényeivel foglalkozunk, amelyek ismerete szükséges ahhoz, hogy megértsük a giroszkópnak azt a működési elvét, amely lehetővé teszi a műszer álláspontjában a meridián irányának kijelölését.

A Föld forgástengelye a földpálya síkjának az ekliptikának normálisával $23,5^\circ$ -os szöget zár be. Emiatt a Nap és a Hold a forgó Földre a vonzóerőn kívül forgatónyomatékot is gyakorol, amely a Föld forgástengelyének „felállítására” törekszik, és amelynek hatására a Földtengely 25800 év periódussal $23,5^\circ$ félnyílásszögű precessziós kúpot ír le. A Nap, Föld és Hold relatív helyzeteinek változásai miatt ehhez kisebb periódikus ingadozások (nutációk) is járulnak.

A Földnek, mint pörgettyűnek forgási szögsebessége:

$$\omega_F = \frac{2\pi}{86164,1} s^{-1} = 7,292 \cdot 10^{-5} s^{-1}$$

Ennek megfelelően minden meridiánsík óránként 15°-kal elfordul a térben. A forgásvektort a mérési ponton átmenő vízszintes, észak-dél irányú

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

komponensre és

$$\omega_Z = \omega_F \cdot \sin \varphi$$

függőleges komponensre bonthatjuk.(1. ábra) Az egyenlítőn

$$\varphi=0, \quad \text{ezért} \quad \omega_{ED}=\omega_F \quad \text{és} \quad \omega_Z=0.$$

A földpólusokon

$$\varphi=90^\circ, \quad \text{így} \quad \omega_{ED}=0 \quad \text{és} \quad \omega_Z=\omega_F$$

A használatos pörgettyűk 20 000...30 000 fordulatot tesznek meg percenként, a Föld forgási szögsebessége ehhez képest elenyészően kicsi.

A műszerekben alkalmazott giroszkópos forgó teste leggyakrabban egy három fázisú aszinkron motor rotorja (forgó része). Hogy a rotor tengelye a térben bármely helyzetet el tudjon foglalni, többféle rotorbeépítésű módszert alkalmaznak, többek között az ún. kardán felfüggesztést.

A kardanikus felfüggesztésű giroszkópnak három egy pontban metsződő forgástengelye van, ezt a metszéspontot a giroszkóp felfüggesztési pontjának nevezzük. A forgórész tengelye amely a giroszkóp fő tengelye, a tér minden irányába el tud fordulni, azaz a giroszkóp 3 szabadságfokkal rendelkezik. A 3 szabadságfokú giroszkóp, amelynek felfüggesztési pontja egybeesik a súlypontjával, a fő tengely bármely helyzetében megőrzi egyensúlyát. Az ilyen giroszkópot „szabadnak” „kiegyensúlyozottnak” vagy „aszztatikusnak” nevezzük.

Az asztatikus giroszkópnak az iránymeghatározás szempontjából két fontos tulajdonsága van. Ha a rotort nagy fordulatszámmal forgatjuk, akkor a rotor fő tengelye igyekszik megőrizni kezdő térbeli irányát. A giroszkóp ezen tulajdonságát giroszkópikus effektusnak, vagy giroszkópikus merevségnek nevezzük. A giroszkóp másik fontos tulajdonsága az ún. precesszió. Ha a gyorsan forgó giroszkóp fő tengelyére a rotor forgássíkjával párhuzamos erővel (erőpár) hat, akkor a giroszkóp fő tengelye mozgásba kezd de nem a hatóerő irányába, hanem a hatóerő irányára merőleges síkban. Ily módon a rotor forgási síkja, illetve a ható erőpár síkja és a fő tengely precessziós mozgásának síkja kölcsönösen merőlegesek egymásra. A gyorsan forgó rotor tengelye a merőlegesen ható külső erő hatására, végez precessziós mozgást. A precessziós mozgás irányát tehát megkapjuk, ha a ható erővektor irányát a rotor forgásirányával megegyező irányban 90°-al elforgatjuk.

A három szabadtengelyű giroszkóp a tájékozás céljára még nem alkalmas, mert miután fő tengelyének kezdeti irányát – a térben az álló csillagokhoz viszonyítva – igyekszik

megtartani, a Föld forgásának következtében a főtengely a földi irányokhoz viszonyítva más-más helyzetet foglal el.

A giroszkóp a meridián irányának kijelölésére csak úgy használható, ha megoldjuk, hogy a Föld forgása következtében a főtengelyre ható erők irányító nyomatéka a főtengelyt (a forgástengelyt) az állásponton áthaladó meridián síkjában kényszerítse. Erre két megoldás adódik: ha a giroszkópot egy szabadságfokától megfosztjuk, vagy pedig ha a giroszkóp főtengelyének vízszintes síkból való kilépését ingahatással korlátozzuk. E megoldás módja szerint a giroszkópot két szabadságfokúnak vagy ingás giroszkópnak nevezzük.

A geodéziai mérések céljára megfelelő pontosságú két szabadságfokú giroszkóp gyakorlati kivitelezése a készülék erős excentrikussági érzékenysége miatt bonyolult műszerteknikai feladat. Ezért a korszerű giroteodolitok pörgettyűs részét olyan ingás giroszkóp képezi, amelyet súlypontja felett felfüggesztenek, s a felfüggesztés által keletkezett ingahatás kényszeríti a forgástengelyt a vízszintes síkba.

Nézzük meg azután, hogy milyen irányító nyomaték kényszeríti a már vízszintes helyzetű főtengelyt a meridián síkjába.

Képzeljük el egy ingás giroszkópot az egyenlítőn. Az S súlypont és az F felfüggesztési pont közötti t távolság az inga hossza. A g nehézségi erőnek a felfüggesztési pontra vonatkoztatott nyomatéka az inganyomaték. A kiinduló helyzetben az inganyomaték nulla, mivel a nehézségi erő iránya átmegy az F felfüggesztési ponton, s így a giroszkóp forgástengelye pedig az álláspont horizont síkjában vagyis a vízszintes síkban helyezkedik el.

Egy kis idő múlva a Föld β szöggel elfordul, és a giroszkóp a új helyzetbe kerül. Mivel pedig a forgástengely – a giroszkópikus merevség következtében – most is igyekszik megőrizni az eredeti irányát, a keleti vége a horizont fölé emelkedik, vagyis kiemelkedik a vízszintes síkból. Ebben a helyzetben azonban a nehézségi erő iránya nem megy át az F felfüggesztési ponton, tehát fellép egy M_i nagyságú inganyomaték, amely igyekszik a giroszkóp forgástengelyét a horizont síkjában tartani. Az inganyomaték értéke

$$M_i = m g t \sin \beta$$

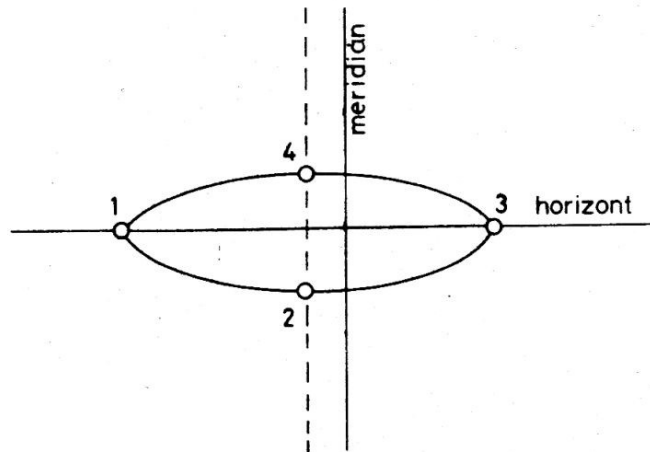
amely összefüggésben a már ismert betűjelzések mellett m az inga tömege.

Az inganyomaték hatására azonban fellép a precesszió jelensége, vagyis a forgástengely a hatóerőre merőleges síkban igyekszik kitérni. A precesszió jelensége azonban nem érvényesülhet szabadon, mert a giroszkóp együtt forog a Földdel a Föld tengelye körül, s mivel a Föld tengelye nem párhuzamos a giroszkóp tengelyével, a kinetika törvényei alapján fellép egy másik nyomaték, az ún. pörgettyű vagy irányítónyomaték (M_p), amely a giroszkóp tengelyét a Föld forgástengelyével párhuzamos helyzetbe kényszeríti. A pörgettyű nyomaték értékét a motor forgatónyomatékának (tehetetlenségi nyomaték és a szögsebesség szorzata) és a Föld szögsebességének a vektori szorzata adja:

$$M_p = I_p \omega_F \cos \varphi \sin \alpha = \theta_p 2 \Pi f \omega_p \omega_F \cos \varphi \sin \alpha$$

Az összefüggés betűjelzései a következők: I_p a motor forgató nyomatéka, f az üzemeltetési áram frekvenciája, θ_p a rotor tehetetlenségi nyomatéka, ω_p a rotor forgásának szögsebessége, α a giroszkóp tengelyének a meridián síkhoz viszonyított pillanatnyi helyzete által bezárt szög, φ pedig az álláspont földrajzi szélessége.

Az említett két nyomaték hatására változó irányú és nagyságú irányító nyomaték lép fel, amelynek eredményeképpen a giroszkóp forgástengelye egyensúlyi helyzetéhez viszonyítva gyengén csillapított lengéseket végez. A giroszkóp egyensúlyi helyzetében $M_i = M_p = 0$. A két nyomaték értéke akkor veheti fel a nulla értéket, ha α és β értéke is nulla. Ekkor pedig a pörgettyű forgástengelye vízszintes és a meridián síkba helyezkedik el, vagyis a forgástengely iránya megegyezik a csillagászati északi-déli iránnyal.



3. ábra

Lengés közben a főtengelel mindkét vége, egy a függőleges tengelye mentén erősen lapított ellipszist ír le (3. ábra). Az ellipszis pályán a nyomatékok értéke állandóan változik.

Az inga- és az irányító nyomaték együttes hatásaként létrejövő precessziós nyomaték maximális értékét a meridián síkjában fekvő 2 és 4 pontban éri el, ahol a giroszkóp irányító nyomatéka nulla, innen kezdve az inganyomaték hatására a precessziós nyomaték csökken mindaddig, amíg teljesen megszűnik. Ekkor ér a giroszkóp főtengelel az 1, 3 átfordulási (reverziós) pontok egyikére, ahol az irányító nyomaték értéke maximális.

A giroszkóp tengelyének lengésideje:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_p \omega_p}{mgt \omega_F \cos \varphi}}$$

Ahol a jelölések az előzőekből ismertek.

Ha tehát a giroszkópot egybeépítjük, vagy szilárdan összekapcsoljuk egy teodolittal, amellyel meg tudunk határozni egy földi irány és a forgástengely iránya által bezárt szöget, vagyis a földi irány azimutját, akkor a tájékozás feladata megoldott, mert az azimutból az alkalmazott összefüggésekkel a földi irány irányszöge számítható, függetlenül attól, hogy ez az irány a Föld felszínén vagy a Föld felszíne alatt helyezkedik el.

A giróteodolitoknak a földalatti tájékozó mérések céljára megkövetelt pontosságú (néhány vagy néhány 10" pontosságú) gyakorlati kivitelezése a műszertechnikának csak az utolsó évtizedekben elért fejlődésével vált megoldhatóvá, amikor többek között megoldást nyert a nagy fordulatszámú (percenként 20 000-30 000 ezer fordulatszámú) motor előállítás, illetve a nagy fordulatszámú motor súrlódási viszonyainak a szükséges minimumra szorítása.

A nagy fordulatszámra azért van szükség, mert az irányító nyomaték az M_p csak ebben az esetben ér el olyan nagyságú értéket, amely a forgástengelyt el tudja mozdítani, illetve a meridián síkba tudja kényszeríteni.

Felhasznált irodalom:

- Ódor K.: Földalatti mérések. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984. (S. 79-113)