

## 1.9 A Föld mágneses terének mérése

A mágneses mérések célja a különböző földmágneses elemek számszerű értékének meghatározása. A mérésre szolgáló műszereket alkalmazási területük szerint csoportosíthatjuk. A mágneses tér összetevőinek abszolút értékét *abszolút műszerekkel*, térbeli változását *relatív műszerekkel*, az időbeli változását pedig *variációs műszerekkel* regisztrálják.

### 1.9.1 A földmágneses tér abszolút mérése

Az abszolút mérések fő célja, hogy elsősorban a relatív és a variációs mérésekhez a megfelelő mágneses elemek alapértékeit meghatározzuk. A mai modern mérés technika mellett már bármely mágneses elem abszolút értékét meg tudjuk határozni közvetlen méréssel és bizonyos esetekben ezek a mérések egyszerűbbek, mint a hagyományos relatív mérések.

#### 1.9.1.1 A mágneses elhajlás mérése

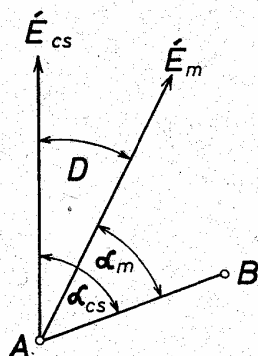
A mágneses elhajlás mérése lényegében két lépésből áll: először ki kell tűzni a csillagászati északi irányt, – vagyis meg kell határozni az *1.30 ábrán* látható  $\hat{E}_{cs}$  csillagászati északi irány és valamely földi irány közötti  $\alpha_{cs}$  csillagászati azimutot, majd ki kell jelölni a mágneses északi irányt – vagyis meg kell határozni az  $\hat{E}_m$  mágneses északi irány és a szóban levő földi irány közötti  $\alpha_m$  mágneses azimutot. Ezek ismeretében a deklináció

$$D = \alpha_{cs} - \alpha_m$$

A *csillagászati azimut meghatározása*, vagy valamely földi irány szintfelületi azimutjának meghatározása a szokásos csillagászati módszerrel történhet: tehát a Poláris vagy a Nap megfigyelésével; vagy pedig geodéziai úton: ismert síkvetületi koordinátáikból kiszámítva az állásponttól a megírányzott pontra menő irány  $\delta$  irányszögét és az illető pontban a  $\mu$  vetületi meridiánkonvergenciát. Ezek ismeretében elegendő közelítéssel:

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

A *mágneses északi irány kijelölése* elvben igen egyszerű feladat. Ha csavarodás mentes szárla vízszintes tengelyű mágneset függesztünk fel, akkor a mágneset a Föld mágneses terének forgatónyomatéka a mágneses északi irányba állítja. Így azonban a mérés eredményében számos hibaforrás hatása érvényesülhet, ezért a mérést úgy kell elvégezni, hogy ezeket a hibákat ki tudjuk küszöbölni.



1. 30 ábra. A deklináció meghatározása

A mérés egyik hibaforrása abból származik, hogy a mágnesű geometriai tengelye nem esik egybe a mágneses tengelyével, márpedig mi csak a geometriai tengely helyzetét tudjuk leolvasásokkal rögzíteni. Ez az ún. *kollimációs hiba* igen jelentős lehet. Kiküszöbölésére mindig két mérést végzünk és a két mérés között a mágnesűt átfektetjük, azaz hossz tengelye körül  $100^\circ$ -kal átfordítjuk úgy, hogy a második mérés során az oldala kerüljön felülre, amely az első mérés során alul volt. A helyes értéknek a két leolvasás középértékét tekintjük.

Pontosabb mérés esetén nem a mágnesű geometriai tengelyének irányát mérjük, hanem az ún. *autokollimációs módszerrel* a mágnesűre szerelt tükör segítségével meghatározzuk a mágnesű nyugalmi helyzetének irányát. A módszer lényege abban áll, hogy a mágneses teodolit függőleges irányszámát megvilágítjuk, amelynek képét a mágnesre erősített tükör visszaveri; és ezt a visszavert képet a teodolit függőleges tengely körüli elforgatásával fedésbe hozzuk magával a szállal. Ebben a helyzetben a távcső optikai tengelyének iránya megegyezik a mágnesen lévő tükör normálisának irányával. Így tehát kitézhetünk egy olyan irányt, amely a mágneshez van rögzítve, de pontosabban mérhető, mint a geometriai tengely iránya. A mágnesű átfektetésével a tükör kollimációs hibája ugyanúgy kiesik, mint a geometriai és a mágneses tengely által bezárt szög miatt keletkező hiba.

A mérés során alapvető feltétel, hogy a mágneset felfüggesztő szál *csavarodástól mentes* legyen. Ha ez nincs így, akkor a szál torziós nyomatéka mindaddig kitéríti a mágneset a meridián irányából, amíg ezt a mágneses tér forgatónyomatéka ki nem egyensúlyozza. A valóságban a szállak mindig lehet csavarási nyomatéka, ezért külön kísérlettel kell meghatározni a torziós nyomaték által okozott elfordulást, azaz a csavarodástól mentes száll helyzetnek megfelelő nyugalmi helyzet irányát. A kísérlet abból áll, hogy ugyanarra a szállra egymás után két különböző mágneses nyomatékú mágneset függesztünk fel és meghatározzuk a két mérés nyugalmi helyzete közötti  $\Delta$  szögműködéséget. Ezt követően a szállat  $2\pi$ -vel ( $360^\circ$ -kal) megcsavarjuk és az 1.31 ábrán látható módon meghatározzuk mindkét mágnesnek az előbbi nyugalmi helyzetétől mérhető  $\gamma_1$  és  $\gamma_2$  szögű eltérését. Ha a szál csavarodásának megfelelő ismeretlen torziós szöveget  $\tau$ -val jelöljük, és figyelembe vesszük, hogy kis szögek esetén a kitérés szöge arányos a torziós szöggel, akkor:

$$\frac{2\pi}{\gamma_1} = \frac{\tau}{x_1} \quad \text{és} \quad \frac{2\pi}{\gamma_2} = \frac{\tau}{x_2},$$

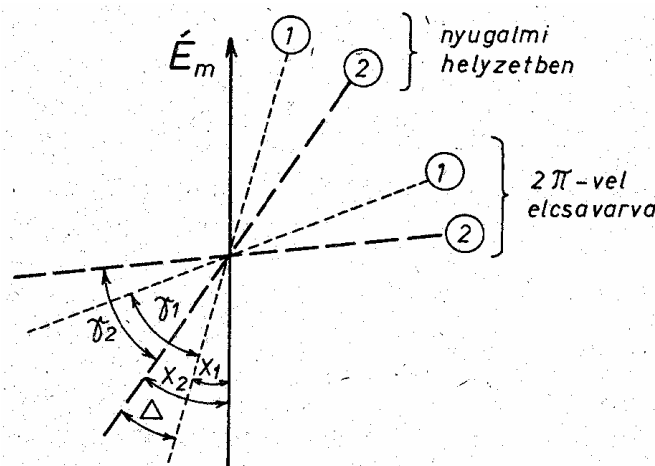
ahol az  $x_1$  és az  $x_2$  a  $\tau$  torziós szöggel csavarodott száznak megfelelő nyugalmi helyzet és a mágneses meridián által bezárt szögek. A  $\tau$ -t kiejtve és kisebb átalakítással:

$$\frac{\gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} = \frac{x_2}{x_1 - x_2}$$

ebből pedig a  $\Delta = x_1 - x_2$  figyelembevételével:

$$x_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 - \gamma_2} \Delta \quad \text{és} \quad x_2 = \frac{\gamma_2}{\gamma_1 - \gamma_2} \Delta$$

a felfüggesztő szál torziójától mentes ismeretlen nyugalmi helyzet (vagyis a mágneses északi irány) és az észlelt nyugalmi helyzetek közötti szög. Ezzel a felfüggesztő szál maradék elcsavarodásának hatását is kiküszöbölhetjük. A mérés pontossága 0.1' körül van. Ez a pontosság általában elegendő, mivel a deklináció napi menetének amplitúdója ennél két nagyságrenddel nagyobb.



1.31 ábra. A mágneses É-i irány meghatározása

### 1.9.1.2 A mágneses lehajlás mérése

A mágneses lehajlás mérésére a súlypontján átmenő vízszintes tengely körül elfordítható mágnesestű alkalmas.

Az inklináció mérésére szolgáló *inklinatóriumban* a mágnesestű vízszintes achátélek körül függőleges síkban lenghet. A mérés előtt a mágnesestű lengési síkját a mágneses meridiánba kell állítani. Ezt a beállítást nem kell túlzottan nagy pontossággal végezni, mivel a mi szélességünkön a meridiántól 1°-kal való eltérés a lehajlásban legfeljebb 0.2' hibát okoz. Ezt követően a mérés, viszonylag egyszerű, ugyanis ha a mágnesestű elérte a nyugalmi

mi állapotát, a műszer két leolvasó mikroszkópját ráállítjuk a mágnesű hegyére és a függőleges körosztáson leolvassuk a mikroszkópok helyzetét. Az egyetlen beállítás és leolvasás után kapott értékeket azonban még különböző hibák terhelik. Ezek: a mágnesű kollimációs hibája - azaz a mágneses és az alaki tengely eltérése, a tű forgástengelyének különpontossága a súlypontjához viszonyítva, és a függőleges körosztás hibája.

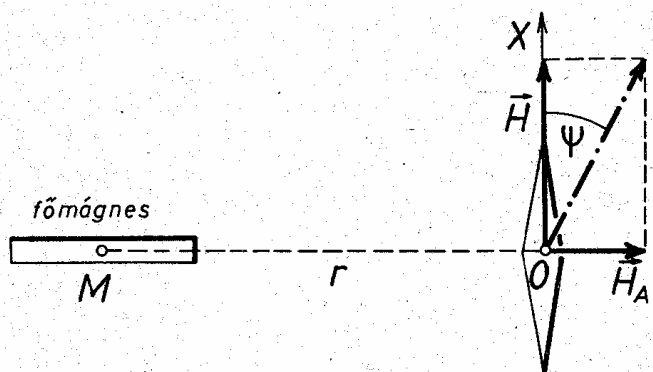
E hibaforrások hatásának kiküszöbölése céljából a mágnesűt  $180^\circ$ -kal átforgatva visszahelyezzük az élek felfekvési síkjára és megismételjük a mérést. A két mérés számtani középértékéből az említett hibák nagy része kiesik.

A lehajlás inklinatóriummal történő meghatározása esetén az elérhető pontosság a fellépő súrlódás és más hibaforrások miatt legfeljebb néhány ívperc.

Sokkal pontosabban mérhető az inklináció a földinduktorral. A földinduktor olyan kétpólusú egyenáramú generátor, amelynek mágneses terét a Föld szolgáltatja. A földinduktor lényege egy kör alakú vezető tekercs, amelyet a Föld mágneses erőterében forgatunk. Ha a tekercs síkjába eső forgástengely a mágneses tér irányába esik, akkor a forgó tekercsben nem indukálódik áram. Méréskor először a forgástengelyt érzékeny mágnesű segítségével beállítjuk a mágneses meridiánba, majd a forgástengelyt a meridián síkjában addig billentjük, amíg a tekercsben a forgatás ellenére már nem indukálódik áram. Az áram mérésére, illetve a nullhelyzet megállapítására érzékeny galvanométer szolgál. A tengely helyzetét az árammentes állapot elérésekor függőleges körosztáson olvassuk le. A körosztás indexhibájának kiküszöbölése céljából  $180^\circ$ -kal átforgatott tekercshelyzetben a mérést meg kell ismételni. A földinduktorral elérhető pontosság  $0.1-0.2$  ívperc; a fő hibaforrás a csúszó-érintkezőkön fellépő zavaró termoáram.

### 1.9.1.3 A mágneses térerősség vízszintes összetevőjének mérése

A térerősség vízszintes összetevőjének mérése Gauss nevéhez fűződik. A tőle származó mérés lényege az, hogy egy felfüggesztett mágnesrúd lengésidejéből és egy szög megméréseiből meg lehet határozni mind a lengetett mágnes nyomatékát, mind pedig a földmágneses tér vízszintes összetevőjét.



1.32 ábra. A vízszintes térerősség mérése

Tegyük fel egyelőre, hogy az 1.32 ábrán az  $O$  pontban meghatározandó  $\mathbf{H}$  mágneses térerősség iránya az  $OX$  irány. Függesszünk fel először az  $O$  helyen egy vízszintes helyzetű mágnesrudat torziómentes szárra úgy, hogy ez függőleges tengely körül szaba-

don foroghasson. Az  $OX$  irányból mint egyensúlyi helyzetből kissé kitértett mágnesrúd (nevezzük ezt a továbbiakban *főmágnesnek*) lengéseket végez

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}} \quad (1.16)$$

lengésidővel, – ahol  $I$  a felfüggesztett rúd tehetetlenségi nyomatéka,  $M$  pedig a főmágnes ismeretlen mágneses nyomatéka. Megmérve a lengésidőt, az  $I$  ismeretében (1.16)-ból az  $MH$  szorzatot kiszámíthatjuk.

Második lépésként függesszünk fel az  $O$  pontban egy másik mágnesűt (ezt *segédmágnesnek* nevezzük) szintén úgy, hogy függőleges tengely körül szabadon elfordulhasson. Egyedül a  $\mathbf{H}$  térerősség hatására ez a segédmágnes is az  $OX$  irányba áll be. Ha most az előbbi főmágneset az 1.32 ábrán látható módon az  $O$  ponttól  $r$  távolságra pl. a Gauss-féle első főhelyzetnek megfelelően helyezzük el, akkor a segédmágnes nyilván a földi  $\mathbf{H}$  és a főmágnesről származó  $\mathbf{H}_A$  térerősség eredőjének irányába fog beállni – vagyis az  $OX$  iránytól

$$\psi = \arctan \frac{H_A}{H} \quad (1.17)$$

szöggel elfordul. Az (1.5) összefüggés alapján gradiensképzéssel és a Gauss-féle első főhelyzet figyelembevételével

$$H_A = \frac{2M}{r^3} \quad (1.18)$$

az  $O$  pontban az  $M$  nyomatékú főmágnes által létrehozott térerősség. Az (1.18)-at az (1.17)-be írva:

$$\tan \psi = \frac{2}{r^3} \frac{M}{H} \quad (1.19)$$

A  $\psi$  szög megméréseivel (1.19)-ből az  $M/H$  hányados meghatározható, – és mivel (1.16)-ból az  $MH$  szorzatot már ismerjük – így a földmágneses erőter  $H$  vízszintes összetevője és a főmágnes  $M$  mágneses nyomatéka is kiszámítható.

A mérés gyakorlati kivitelére *mágneses teodolit* szolgál. A mágneses teodolit forgó részének (alhidádéjának) középpontjában vékony torziós szátra mágnes függeszthető fel. A szál a forgástengely meghosszabbításába esik. Az alhidádéból 3 kar nyúlik ki, az egyikre távcső van erősítve úgy, hogy optikai tengelye a középpontban felfüggesztett mágnes felé irányul. A másik két kar összekötő egyenese merőleges a távcső tengelyére. Mérés-kor ezekre a karokra kerül a főmágnes, amellyel a torziós szálon függő segédmágneset kitértjük. A kitérés  $y$  szögét mágneses teodolittal mérjük. A segédmágnes és a főmágnes közötti  $r$  távolságot külön berendezéssel mérjük meg.

A vízszintes térerősség meghatározása elvben egyszerű, gyakorlatilag azonban elég körülményes. Az első nehézséget az okozza, hogy a mágnesek mérete nem hanyagolható el az  $r$  távolság mellett, ezért az (1.19) összefüggés jobb oldala igen bonyolult kifejezés lesz. Részben ezért, részben pedig műszertechnikai okokból nem a Gauss-féle főhelyzetben, hanem az ún. *Lamont-féle főhelyzetben* használjuk a kitértő mágneset, - aminek a jel-

lemzője, hogy a két mágnes tengelye a kitérés utáni egyensúlyi helyzetben lesz merőleges egymásra. A mérés eredményét a hőmérséklet erősen befolyásolja, ezért a mérés során gondoskodni kell ennek állandó értéken tartásáról, továbbá a lengésidő és az eltérítési szög mérésének eredményét azonos hőmérsékletre kell redukálni.

A Gauss-féle módszerrel a vízszintes összetevő értékét kb.  $1\text{ nT}$  pontossággal tudjuk meghatározni.

#### 1.9.1.4 A teljes térerősség mérése

A teljes térerősségvektor abszolút értékét *protonprecessziós magnetométerrel* határozhatjuk meg [82].

A mérési módszer lényegének megértéséhez kvantummechanikai ismeretek szükségesek. Az atomi részecskék mágneses nyomatéka mindig impulzusnyomatékhoz kapcsolódik, és ezzel párhuzamos, vagy ellentett irányú. A mágneses tér a mágneses nyomatékra forgatónyomatékot gyakorol, ezért a mágneses nyomatékhoz kapcsolt impulzusnyomaték precessziós mozgást végez. Protonoknál a mágneses nyomaték és az impulzusnyomaték vektorok egymással párhuzamosak.

$T$  erősségű mágneses térben a protonok

$$\omega = \gamma_p T \quad (1.20)$$

körfrekvenciájú precessziós mozgást végeznek, ahol  $\gamma_p$  a proton giromágneses aránya (a mágneses nyomatékának és az impulzusnyomatékának a hányadosa).

A protonprecessziós mágneses térerősségmérés az  $\omega$  körfrekvencia meghatározásán alapszik. Ha a precessziós frekvenciát megmérjük, akkor  $\gamma_p$  értékét ismerve a  $T$  teljes térerősség az (1.20) alapján kiszámítható.

Egyetlen protonnal a mérést nem lehet elvégezni, mivel nem kapunk mérhető nagyságú jelet. Igen sok proton van viszont a hidrogéntartalmú anyagokban (pl. víz, alkohol stb.). Makroszkóposan azonban ezek sem szolgáltatnak mérhető jelet, mivel a térben rendezetlenül mozognak és így egymás hatását kompenzálják. A precessziós mozgás makroszkopikus észlelhetősége céljából a mérendő földmágneses térre közel merőlegesen igen erős segédmágneses teret alkalmazunk, aminek a hirtelen kikapcsolása után minden egyes elemi mágneses nyomaték rövid ideig a földmágneses térerősség vektora körül végez precessziós mozgást. Az így keletkező tranzienst állapotban a nukleáris polarizáció vektor mozgását a protonmintát magában foglaló szondatekeres segítségével észleljük, amelyben így mikrovolt nagyságú váltakozó feszültség indukálódik. A felerősített jel frekvenciáját megmérve a mágneses tér erőssége kiszámítható. A protonprecessziós magnetométerben protonmintaként vizet, - esetleg bizonyos alkoholokat és szénhidrogéneket alkalmaznak. A szondatekeres rendszerint kettős rendeltetéssel használható: egyrészt megfelelő áram rákapcsolásával a segédter létrehozására szolgál, másrészt az áram kikapcsolása után a benne indukálódott feszültséget vezetjük az elektronikus erősítőhöz.

Az indukált feszültség kezdeti értéke akkor lesz a legnagyobb, ha a szondatekeres tengelye merőleges a  $T$ -re. A módszer elég tág határokra belül érzéketlen a szonda tájolására, a precesszió frekvenciáját csupán a  $T$  térerősség határozza meg. A tájolástól csak a

tekercsben indukált feszültség nagysága függ. Így a tájolási hiba a frekvenciaméréshez szükséges feszültség jel/zaj arányát rontja, ami esetleg fokozza a mérési hibát.

A protonprecessziós magnetométerekkel  $1\text{ nT}$ -nál kisebb mérési pontosság is elérhető. Mivel a műszer sem szintezést, sem orientálást nem igényel, a mérési időtartam pedig mindössze néhány másodperc, ezért kiválóan alkalmas légi és tengeri mágneses mérésekhez.

Mivel megfelelő elhelyezésű *Helmholtz-tekercsek* alkalmazásával a földmágneses térerősség bármely összetevőjét ki lehet ejteni, így a protonprecessziós magnetométerrel a mágneses térerősség bármely komponensét is megmérhetjük. (A Helmholtz-tekercspár két szemben álló párhuzamos síkú körvezetéből áll, amelynek egymástól mért távolsága egyenlő a körvezető sugarával. Az ilyen tekercsek középpontjában a mágneses tér homogénnek tekinthető; a mágneses tér erőssége arányos a bevezetett áram erősségével, iránya pedig merőleges a körvezetők síkjára [92].

## 1.9.2 A földmágneses tér relatív mérése

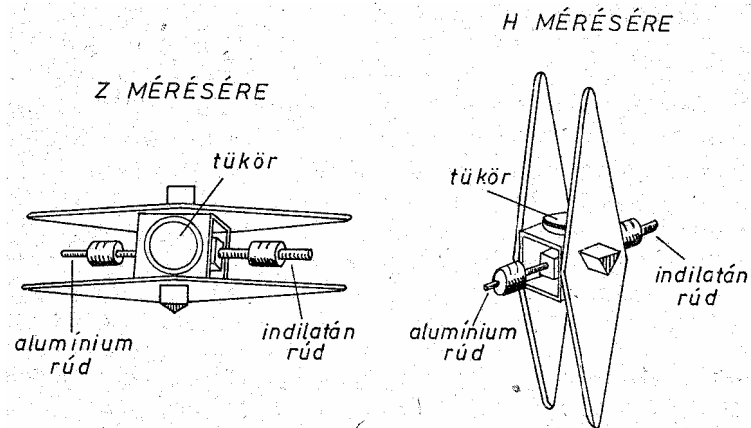
Ha a mágneses térerősségnek csak a térbeli vagy az időbeli változásait vizsgáljuk, akkor általában nincs szükségünk az abszolút értékének ismeretére. A relatív értékek a többé-kevésbé egyszerűbb és kezelhetőbb relatív műszerekkel határozhatók meg [7].

A relatív műszerek a mágneses térnek valamely abszolút méréssel meghatározott alapértékéhez viszonyított eltéréseit illetve változásait mérik.

### 1.9.2.1 A mágneses tér térbeli változásainak mérése

A földmágneses erő változik a földrajzi szélességgel, hosszúsággal és a tengerszint feletti magassággal: azaz a mérési pont földrajzi helyével - de változik a mérési pont közelében levő különböző kőzetek mágneses tulajdonságai következtében is. Éppen az utóbbi hatások miatt, geológiai szempontokból fontos a mágneses elemek értékét minél több pontban meghatározni, ugyanis a helyi hatásokból a geológiai szerkezetre, bizonyos anyagok jelenlétére következtethetünk. Ahhoz, hogy a legkülönbözőbb terepviszonyok között nagyszámú mérést végezhesünk, olyan műszerek szükségesek, amelyek gyorsan és könnyen felállíthatók, emellett nagy pontosságot nyújtnak. Természetesen itt nem abszolút pontosságról van szó, hanem arról, hogy nagy pontossággal mutassuk ki a mágneses elemek eltérését egy-egy alapállomásbeli értéktől. Ilyen vonatkozásban a térerősség jellegű mágneses elemek mérésénél megkívánt pontosság  $1\text{ nT}$  körüli érték.

A gyakorlati földmágneses kutatás legegyszerűbb mérőeszközei a mágneses mérlegek. A *Schmidt-rendszerű terepmérlegek* mérőszerve olyan mágnesrúd, amely az 1.33 ábrán látható módon két párhuzamos síkú lapos rombold vagy elnyúlt ellipszis alakú mágneses acéllemezből áll. A két lemezt kapcsolótest köti össze, melynek felső részén tükröző felület van. A mágneslemezek között egy-egy indulatán, illetve alumínium rudacska található, mindkettőn kis súllyal. A kapcsolótesthez csatlakozik a mágnes forgástengelyét képező él, amelyen a mágnes a műszerházban felfekszik.



1.33 ábra. A Schmidt-féle magnetométer mérőszerve

A Schmidt-féle  $Z$  magnetométerben a mágnes mágneses tengelye vízszintesen fekszik. Méréskor a magnetométert úgy állítjuk be, hogy a mágnes forgástengelye a mágneses meridián síkjára merőleges legyen. Az indilatán rudacsán levő súlyt úgy szabályozzák, hogy a súlypont ne essék a forgástengelybe, hanem az északi féltekén ettől dél felé legyen. Így a mágneses tér függőleges összetevőjét a nehézségi erő egyensúlyozza ki. Ebből következik, hogy a függőleges összetevő kis megváltozására a mágnes erősen elfordul. Az elfordulást a tükörrre bocsátott és az onnan visszaverődő fénysugár eltolódásával lehet meghatározni.

A Schmidt-féle  $H$  magnetométerben a mágnes mágneses tengelye függőlegesen áll. Mérési elve a  $Z$  magnetométerével azonos, de itt a mágnes az indilatán rudacsán levő súly szabályozásával úgy állítják be, hogy a mágnes mágneses tengelye közel függőleges legyen, azaz a vízszintes összetevő hatását kompenzálják a nehézségi erővel. Így a  $H$  összetevő kis megváltozására a mágnes erősen kitér a függőleges helyzetéből. Leolvasása szintén a tükörről visszaverődő fénysugár segítségével történik.

A Schmidt-féle terepmérlegek igen érzékenyek a hőmérséklet változására, ugyanis a hőmérséklet emelkedésével a mágneses mágneses nyomatéka csökken. ( $1^\circ\text{C}$  hőmérsékletváltozás kb.  $30\text{ nT}$ -nak megfelelő változást idéz elő.) Ennek a hibaforrásnak kiküszöbölésére szolgál a mágneses lemezeket összekapcsoló testből kinyúló alumínium rudacska. Ez ugyanis a hőmérséklet emelkedésére megnyúlik és így az indilatán rúdon levő súly hatását olyan mértékben csökkenti, ahogyan a hőmérséklet emelkedésével a mágnes mágneses nyomatéka fogy.

A mágneses térerősség vízszintes és függőleges komponensének mérésére gyakran alkalmazzák a *Dan la Cour-féle készülékeket* is. A  $H$  összetevő mérésére a QHM, a  $Z$  összetevő mérésére pedig a BMZ műszer szolgál.

A QHM (*Qarz Horizontalforce Magnetometer*) műszerben a mágnes hosszú kvarcszálon függ. A mérés a műszerrel úgy történik, hogy a kvarcszálat felső foglalatánál fogva  $360^\circ$ -kal megcsavarjuk és megmérjük azt a  $\psi$  szöveget, amellyel a megcsavart szál a mágnesűt a mágneses meridiánból kitéríti. Mivel ekkor a kvarcszál és a földmágneses erő forgatónyomatéka egyensúlyban van ezért a  $\psi$  szög ismeretében a horizontális összetevő kiszámítható.

A BMZ (*Balance Magnetic Zero*) műszerben a mágnes úgy egyensúlyozzák ki, hogy a mágneses tengelye pontosan vízszintes legyen. Ha a  $Z$  összetevő megváltozik, akkor a mágnes eltér vízszintes helyzetétől. (Az eltérés jól észlelhető, ha a mágneset egyszer Észak-Dél, azután Dél-Észak irányba állítjuk be, mivel így a tükörről visszavert fény a két hatás összegével arányosan tolódik el.) A mérés abból áll, hogy a mérőmágnes feletti



és alatti segédágneseket olyan helyzetbe állítjuk, hogy hatásukra a mérőágnes teljesen vízszintes helyzetbe kerüljön. A segédágneseknek ez a helyzete adja meg a függőleges összetevő változásának kiszámításához szükséges leolvasásokat.

A *Fanslau-féle torziószálas vertikális magnetométerben* a mérőágnesre ható földmágneses erőter forgatónyomatékát a nehézségi erő forgatónyomatéka és a mérőágnes tartó torziós szál forgatónyomatéka ellensúlyozza. Működése leginkább a Schmidt-féle *Z* magnetométer működéséhez hasonlítható, itt azonban a mérőágnes nem achátéleken leng, hanem vízszintesen kifeszített torziós szál tartja.

### 1.9.2.2 A földmágneses tér időbeli változásának regisztrálása

A mágneses tér időbeli változásának regisztrálására a *variációs mérőműszerek* szolgálnak. Ezeket földmágneses obszervatóriumokban állítják fel és a mérési eredményeket folyamatosan rögzítik. Általában a *D*, a *H* és a *Z* összetevők változásait figyelik. A variációs műszerek közös sajátossága, hogy valamennyiben megfelelő irányítású tengely körül mágnesű leng. A mágneses és a forgási tengely irányától függ, hogy az adott műszer melyik mágneses elem mérésére alkalmas.

A deklináció változásának mérésére szolgáló műszerben (a *deklinatóriumban*) függőleges kvarcszálon vízszintes síkban lengő mágnes függ. Ha a mágneses meridián iránya (azaz a deklináció) megváltozik, a mágnesű követi a változást. A regisztrálást általában úgy oldják meg, hogy a mágnesűn elhelyezett tükörré fénynyalábot ejtenek, majd a visszavert fény sugarat fényérzékeny szalagra vetítik. A szalagot egy mechanizmus óramű segítségével egyenletesen mozgatja és meghatározott időközönként időjellel is ellátja.

A *H-variométer* a deklinatóriumhoz hasonlóan működik. Itt azonban a kvarcszálat annyira megcsavarják, hogy a mágnes mágneses tengelye a mágneses meridiánra merőleges legyen, ezzel a horizontális összetevő forgatónyomatékát kiegyensúlyozzák a kvarcszál torziós nyomatékával. Ekkor a műszer a *H* összetevő aránylag csekély megváltozására is jelentős kitéréssel reagál.

A *Z-variométerben* a mágnesű kelet-nyugati irányú függőleges síkban leng. A függőleges térerősség forgatónyomatékát a nehézségi erő forgatónyomatékával egyensúlyozzák ki, mégpedig úgy, hogy a mágnesű súlypontját (az északi féltekén) a forgástengelytől déli irányban eltolják. Így ismét olyan egyensúlyi állapot jön létre, melyben a *Z* összetevő kis megváltozása erős elfordulást eredményez.

A földmágneses tér időbeli változásának regisztrálására az obszervatóriumok a fenti klasszikus variométerek használata esetén általában két különböző érzékenyséű műszer-csoportot kénytelenek felállítani. A mágneses tér háborgása idején bekövetkező igen nagy változásokat csak a gyengébb érzékenyséű "vihar-regisztráló" műszerek képesek követni; ugyanakkor a kis változások – elsősorban a mágneses elemek szokásos napi menetének – regisztrálására a jóval érzékenyebb "normál-regisztráló" variométerek alkalmasak. A variométerek a hőmérséklet változására rendkívül érzékenyek, ezért az ún. variációs házban – ahol a műszereket elhelyezik – gondoskodni kell a hőmérsékleti stabilitásról. A variométereket időnként be kell szabályozni, azaz abszolút mérésekkel meg kell határozni a regisztrált mágneses elemek alapértékét.

Protonprecessziós magnetométer alkalmazása esetén ilyen problémák nem merülnek fel. Amint már korábban említettük megfelelő elhelyezésű Helmholtz-tekercekkel elérhetjük, hogy a protonprecessziós magnetométerrel nem csak a teljes térerősség vektorra, hanem ennek bármely összetevője is mérhető. Így a magnetométerrel percenként több alkalommal  $nT$  pontossággal meg tudjuk mérni bármely térerősség összetevő abszolút értékét. A mérési eredményeket mágnesszalagon rögzítve lehetőség van az adatok számítógépes kiértékelésére is.

## 1.10 A mágneses mérések feldolgozása

A mágneses elemek értéke erősen függ a mérés helyétől. Mivel a felszíni és a felszínközeli kőzettestek mágneses hatása a mágneses tér normális változásával együtt jelentkezik, ezért a geológiai szerkezetek és az ásványi nyersanyagok kutatását célzó mérések esetén a mérési adatokból le kell vonni a normális hatást. (Korábban láttuk, hogy a mágneses tér normális változását országos mérések adataiból kiegyenlítéssel határozzuk meg.)

A mágneses elemek időbeli változása a terepen végzett méréseinkre is hatással van. Ha különböző időpontokban végzett méréseink eredményeit össze akarjuk hasonlítani, és különféle következtetésekre, vagy pl. térképszerkesztésre kívánjuk felhasználni, akkor a méréseket az időbeli változással redukálni kell. A mágneses tér időbeli változását vagy a mérési terület valamely pontján felállított berendezéssel regisztráljuk, vagy mágneses obszervatórium magnetogramjairól olvassuk le. Az utóbbi esetben feltételezzük, hogy a mágneses tér időbeli változása a mérés helyén ugyanolyan lefolyású, mint az obszervatóriumban. Ez a feltételezés a mérsékelt övben – így hazánk területén is – az obszervatóriumtól legfeljebb 200-300 km-es távolságig engedhető meg. Mágneses viharok esetén a terepi méréseket szüneteltetni kell. Méréseinket egyéb javításokkal is elláthatjuk (hőmérsékletváltozás, műszerjárás, terephatás stb.) ezekkel azonban nem foglalkozunk.

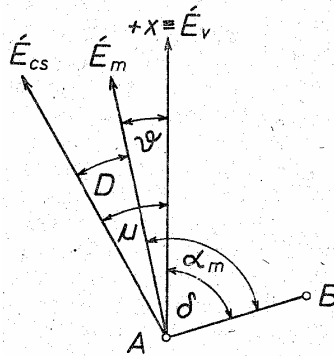
A méréseink eredményei alapján különféle mágneses térképek szerkeszthetők. A nyersanyagkutatás céljaira leginkább a  $\Delta Z$  és a  $\Delta H$  izoanomalia térképeket szokták felhasználni. A mágneses anomáliák értelmezése meglehetősen bonyolult feladat.

## 1.11 A földmágnesség geodéziai jelentősége

A földmágnesség geodéziai jelentősége elsősorban az iránytű iránytartó, illetve irány kijelölő tulajdonságán alapul. Figyelembe véve, hogy az iránytű helyzetét egy körosztáshoz viszonyítva kedvező esetben is csak legfeljebb néhány szögperc pontossággal lehet megállapítani, ezért iránykijelölésre csak kisebb pontossággal beérő műveleteknél alkalmazhatjuk. Ennek megfelelően felhasználjuk:

- a) mint egyszerű iránytűt vázlatok, rajzok tájolására, rövidebb távolságok közelítő azimutjának levezetésére,
- b) mint az ún. busszolát (tájolót) a mérőasztal (közelítő) tájékozására,

c) teodolitba építve, mint busszolás (tájolós) teodolitot, alsóbbrendű sokszögelésekre (pl. erdei felméréseknél ún. mágneses sokszögvonala mérésére) [39].



1.34 ábra. A mágneses tájékozó szög meghatározása

Ha irányszöget akarunk a tájoló teodollal meghatározni, nem szabad szem elől téveszteni, hogy az iránytű a mágneses meridián irányába mutat, tehát a koordináta-rendszerünk  $+x$  tengelyének irányával valamilyen  $\mathcal{G}$  szöget zár be. Ez a  $\mathcal{G}$  szög a mágneses tájékozó szög. Jelölje az 1.34 ábrán  $E_v$  a vetületi északi irányt, azaz pl. a Gauss-Krüger vetületnek megfelelően a  $+x$  tengely irányát; legyen továbbá  $E_m$  a mágneses,  $E_{cs}$  pedig a csillagászati északi irány. Ekkor az  $AB$  irány irányszöge:

$$\delta = \alpha_m + D - \mu = \alpha_m - \mathcal{G} , \quad (1.21)$$

ahol:

$$\mathcal{G} = \mu - D \quad (1.22)$$

a mágneses tájékozó szög ( $\mu$  a meridiánkonvergencia és a  $D$  a mágneses elhajlás.)

Mivel a mágneses elhajlás – amint láttuk – évszázados, napi, sőt ugrásszerű változásokat is mutat, a  $\mathcal{G}$  mágneses tájékozó szög az időben nem állandó.

Az 1.9 ábra tanúsága szerint Magyarországon 1965-ben az agonvonal a Balaton nyugati végén haladt át és a deklináció az ország nagy részén keleti irányú – tehát pozitív volt. Ebben az időszakban a mágneses elhajlás az ország keleti részén évente kb. 3.8 szögperccel, a nyugati részeken pedig majdnem 5 perccel növekedett. Ennek eredményeképpen pl. 1980-ban az agonvonal már messze elhagyta Magyarország területét és a mágneses elhajlás az egész ország területén keleti irányú – tehát pozitív. Az ország keleti és nyugati részei között a deklináció értékében több mint  $2^\circ$  különbség tapasztalható. Mindebből az következik, hogy a mágneses elhajlás értékét az (1.14) és az (1.15) típusú deklinációra vonatkozó hatványsorok felhasználásával a mérés helyére és időpontjára minden esetben ki kell számítani. Ha 3-4 szögperc elhanyagolása megengedhető, akkor a mágneses elhajlás értékét elegendő az év közepére kiszámítani.

A deklináció napi változásának értéke 5-15 szögperc között ingadozik; nyáron nagyobb, télen kisebb amplitúdóval. Kisebb pontosságú méréseknél a napi változást figyelmen kívül hagyhatjuk, mert a leolvasás bizonytalansága ennél nagyobb. Szabatos mérésnél azonban figyelembe kell venni vagy egy másik műszer állandó megfigyelése, vagy valamely közeli obszervatórium adatai alapján.

Mágneses viharok idején a geodéziai célú mágneses méréseket szüneteltetni kell, ezek ugyanis a mágneses elhajlásban  $1-2^\circ$  nagyságú eltéréseket is okozhatnak és így méréseinket teljesen megzavarhatják.

A mágneses tájékozószög kiszámításához az (1.22) szerint a deklináción kívül ismernünk kell a  $\mu$  meridiánkonvergencia értékét is. A meridiánkonvergencia az álláspont függvénye, de természetesen függ attól is, hogy milyen síkvetületre vonatkoznak számításaink. Mivel a mágneses meridiánt legfeljebb néhány szögperc pontossággal tudjuk kijelölni, a meridiánkonvergencia egyszerűsített képletekből számítható. A síkkkoordináták ismeretében a meridiánkonvergenciát az alábbi összefüggés alapján számíthatjuk:

$$\mu'' = K_1 y + K_3 y^3 + K_5 y^5 \quad (1.23)$$

ahol  $y$  értékét 100 km-es egységekben kell beírni;  $K_1$ ,  $K_3$  és  $K_5$  pedig az  $x$  koordináta függvénye. Az (1.23) összefüggés harmadik tagja egyetlen Magyarországon használatos vetületi rendszerben sem ad  $1''$ -et elérő értéket, a második tagja pedig a legkedvezőtlenebb esetben is legfeljebb  $12''$ - $15''$  nagyságrendű lehet. Így a gyakorlati esetekben a meridiánkonvergencia értéke a

$$\mu'' = K_1 y$$

képlettel mindig kielégítő pontossággal kiszámítható. A  $K_1$  értéke pl. Gauss-Krüger vetületnél:

$$K_1 = \frac{\rho''}{N} \tan \varphi \quad ,$$

ahol  $N$  a harántgörbületi sugár a műszerálláspontban,  $\varphi$  pedig a műszerálláspont földrajzi szélessége.

Az említett kisebb pontossági követelmény miatt nem szükséges minden álláspont-ra külön-külön kiszámítani  $K_1$  értékét, hanem általában kb. 20 km sugarú körön belül a kör középpontjára meghatározott értékkel lehet számolni.

Egyébként mind a meridiánkonvergencia, mind a deklináció figyelembevételét megkönnyíti az, hogy a topográfiai térképek (pl. az 1:25000, vagy 1:10000 méretarányú térképek) keretén megadják a térképlap közepére vonatkozóan a meridiánkonvergencia és a deklináció értékét, sőt feltüntetik azt is, hogy az utóbbi melyik évre vonatkozik és mennyi az évi változása. Az így megadott értékeket a térképlap területén belül számos gyakorlati célra elegendő pontossággal használhatjuk.

A busszolás teodolittal való méréskor vigyázni kell a műszerálláspont megválasztására. Vaskerítéstől legalább 20-25 m-re, egyvágányú vasúttól 60-70 m, kétvágányú vasúti pályától pedig csak 100-120 m távolságra szabad felállni. Kerülni kell a vasoszlopok környékét és magasfeszültségű vezetékek alatt és közelében sem jelölhetünk ki műszerálláspontot. Nagyobb eltéréseket okozhatnak még tűzi eredetű geológiai tömegek, ezért vulkanikus vidéken (Balaton-felvidék, Tokaj környéke stb.) nagyobb – esetleg több fokos – eltérésre is számíthatunk. Ha a sokszögvonalunk egyik-másik töréspontja elkerülhetetlenül ilyen mágneses szempontból kedvezőtlen helyre kerül, akkor ún. ugró állásokkal kell mérni. A busszolás sokszögelésnél ugyanis – ha minden pontra felállunk – valamennyi sokszögoldalon 2 mágneses azimut-értéket kapunk: egyet az oldal kezdőpontján és egyet az oldal végpontján végzett mérésből. Így ha egy-egy álláspontot átugrunk, a vele kapcsolatos két oldal azimutját a szomszédos pontokon végzett mérésből le tudjuk

vezetni. Ha két értékünk van, akkor természetesen a számtani középértékkel célszerű számolni.

Ha busszolás teodolittal sokszögelünk és a kezdő valamint a végponton is tudunk külső tájékozó irányokat mérni, akkor célszerű ezeket is irányozni és a busszolat leolvasni. Így ugyanis rendelkezésre áll ezek mágneses azimutja, és a kezdő, valamint a végpont koordinátáiból, továbbá a tájékozásra használt pontok koordinátáiból kiszámítható a tájékozó irányok  $\delta$  irányszöge. Így az

$$\alpha_m - \delta = \mathcal{G}$$

képzése azonnal megadja a mágneses tájékozó szög helyi és pillanatnyi értékét, tehát a deklináció és a meridiánkonvergencia számítása eszik; az egyes oldalak mágneses azimutjának értékét a helyi és a pillanatnyi értékkel tudjuk megjavítani, hogy irányszögüket megkapjuk.