

# **Geodézia 9.**

## **Magasságok meghatározása**

**Tarsoly, Péter**

---

## **Geodézia 9.: Magasságok meghatározása**

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**

Ebben a modulban megismerkedünk a magasság fogalmával, a különböző magasságmérési eljárásokkal, a szintezés alapelvével, műszereivel és hibaforrásaival.

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

---

# Tartalom

9. Magasságok meghatározása .....	1
1. 9.1 Bevezetés .....	1
2. 9.2 A magasság fogalma, a magasságmérés módszerei .....	1
3. 9.3 A szintezés alapelve .....	3
4. 9.4 Szintezőműszerek és tartozékaik .....	5
4.1. 9.4.1 A libellás szintezőműszerek .....	5
4.2. 9.4.2 A kompenzátoros szintezőműszerek .....	7
4.3. 9.4.3 Digitális szintezőműszerek .....	8
4.4. 9.4.4 A szintezőfelszerelés .....	11
5. 9.5 A szintezés szabályos hibaforrásai .....	11
5.1. 9.5.1 A mérőműszer hibái .....	11
5.2. 9.5.2 A mérőfelszerelés hibái .....	12
5.3. 9.5.3 A külső körülmények okozta hibák .....	12
6. 9.6 A szintezés végrehajtásának gyakorlati szabályai .....	13
7. 9.7 A szintezés várható pontossága, az irányvonal középíngadozása és a kilométeres középhiba 14	
8. 9.8 Összefoglalás .....	16

---

## A táblázatok listája

9-1. ....	15
9-2. ....	15

---

# 9. fejezet - Magasságok meghatározása

## 1. 9.1 Bevezetés

Ebben a modulban Ön megismerkedik a magasság fogalmával, a különböző magasságmérési eljárásokkal, azok jellemzőivel.

A modul részletesen tárgyalja a szintezés alapelvét, a szintezés műszereit (optikai és digitális műszerek), kiegészítő felszereléseit valamint a szintezés hibaforrásait. A modul végén összefoglaljuk a szintezés végrehajtásának folyamatát, gyakorlati végrehajtásának menetét.

**Ebből a modulból az olvasó megismerheti:**

- a magasság fogalmát
- a különböző magasságmérési eljárásokat
- a szintezés alapelvét
- az optikai és digitális szintezőműszerek felépítését
- a szintezés szabályos hibaforrásait
- a szintezés végrehajtásának gyakorlati szabályait

**A modul elsajátítása után képes lesz:**

- a magasság különböző fogalmainak helyes alkalmazására
- a magasságmérési eljárások közül a megfelelőnek a kiválasztására
- az optikai és digitális szintezőműszerek használatára
- a szintezés alapelvének valamint szabályos hibaforrásainak kiküszöbölésére
- a szintezés gyakorlati szabályainak betartására.

## 2. 9.2 A magasság fogalma, a magasságmérés módszerei

A **földi pontok magasságát** mindig egy **választott alapfelülethez viszonyítva** adjuk meg. Alapfelületnek a geodéziában általában valamely **középtengerszint magasságában** kijelölt ponton átmenő szintfelületet, a **geoidot** választjuk. Előfordulhat azonban az is, hogy alapfelületnek nem a geoidot választják, hanem egy másik szintfelületet, vagy valamilyen matematikai felületet. A különböző magasságfogalmak tárgyalása előtt ismerkedjünk meg a magyarországi magassági alapfelületek történetével.

Magyarországon a helyi jellegű mérnöki munkákhoz, elsősorban a folyószabályozásokhoz az 1700-as évektől kezdve végeztek szintezéssel történő nagy tömegű magasságmeghatározást. A magyarországi szintezések összekapcsolása az Adriai-tenger szintjével Vásárhelyi Pál nevéhez fűződik, aki a Tisza és az Al-Duna szabályozásában egyaránt részt vett. Az Osztrák-Magyar Monarchia első szintezési hálózatát a bécsi Katonai Földrajzi Intézet tervezte és kivitelezte 1873 és 1913 között. A Monarchia területére hét szintezési főlappontot terveztek, ezek közül a mai Magyarország területére csak egyetlen alappont esik, a Velencei-hegység gránit kibukkanásába telepített **nadapi szintezési ősjegy**.(9-1. ábra) A hét főlappont magasságát és ezzel a hálózat magassági alapszintjét a trieszti Molo Sartorio mareográfjához csatlakoztatták. 1875-ben kilenc hónapig tartó megfigyelésből meghatározták a móló mellett elhelyezett tárcsa magasságát, majd az ebből vezetett szintezési

vonalak segítségével a hét főalappont magasságát. **A nadapi szintezési ősjegy Adria feletti magassága 173.8385 méterre adódott.**



9-1. ábra A nadapi szintezési főalappont

A Monarchia hálózatát súlyos hibák terhelték. Az első világháború után Magyarország elvesztette kapcsolatát az Adriai-tengerrel, ezért magyarországi hálózat magassági alapfelületének azt az alapfelületet fogadták el, amely a nadapi főalappont alatt 173.8385 méterre húzódik. Ezzel létrejött a **nadapi magassági alapszint**. A második országos szintezést 1921 és 1939 között végezték, és a második világháború után tervezték kiegyenlíteni. A háborúban a pontok 60%-a elpusztult, emiatt új hálózatot kellett tervezni.

A harmadik országos szintezés 1948-ban kezdődött és 1964-ben fejeződött be. A tervezésnél felhasználták a már meglévő alappontokat, és az ország területén nyolc főalappontot létesítettek geológiailag nyugodt környezetben. A cél az volt, hogy olyan sűrűségű hálózatot hozzanak létre, hogy minden településre jusson legalább egy alappont. 1960-ban utasítás jelent meg, amely a **balti alapszint** használatát írta elő. A Balti-tenger közepes tengerszintjének magasságát a Kronstadt város kikötőjében található mareográf regisztrálja. Ezzel megváltozott minden alappont magassága egy állandónak tekintett értékkel. Ezt az állandót a nadapi főalappont esetében vezették le; a nadapi főalappont adriai magasságából le kellett vonni **0.6747 métert** a balti magasságra való áttéréshez. A balti alapszint tehát magasabb, mint az adriai, azaz a pontok balti magassága mindig kisebb.

Az 1970-es évek végén döntés született az **Egységes Országos Magassági Alapponthálózat (EOMA)** létrehozására. Az EOMA elsőrendű pontjai az 1960-as években létesült kéregmozgásvizsgálati pontok lettek, majd az 1980-as években megkezdődött a másod- és harmadrendű hálózat sűrítése. Az EOMA az 1990-es évek közepére mintegy 60%-ban valósult meg, azonban nem egységesen az ország teljes területén. A Dunántúlon például csak az elsőrendű hálózat készült el. Jelenleg folyik az EOMA elsőrendű hálózat újramérése, és egyben az elpusztult pontok pótlása.

Az alapfelülethez viszonyított magasságot alapfelület feletti, vagy másnéven **abszolút magasságnak** nevezzük. Ha az alapfelület a közép-tengerszint magasságában található, úgy az abszolút magasság egyben a tengerszint feletti magasság is.

Két pont **magasságkülönbségén** a pontok abszolút magasságának különbségét értjük. Az egyik pont másikkal összehasonlított magasságkülönbségét nevezzük még **relatív magasságnak** is.

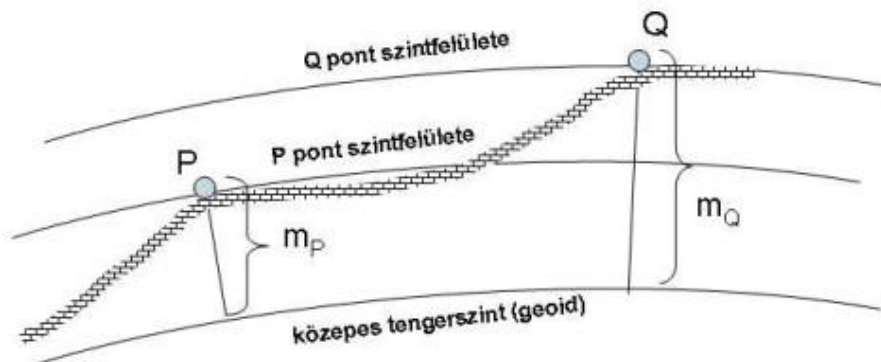
Attól függően, hogy milyen felületet választunk alapfelületnek, és hogyan viszonyítjuk ezt a pontot az alapfelülethez, **többféle magasság fogalom** használatos.

Valamely pontnak az alapul választott szintfelületről az illető ponton átmenő függővonalon mért távolsága az úgynevezett **ortométeres magasság**. A szintfelületek az egyenlítőről a sarkvidékek felé összetartanak, ezért az azonos ortométeres magasságú pontok nincsenek ugyanazon a szintfelületen, hanem egy olyan felületen, amely párhuzamos az alapfelülettel. (tehát nem szintfelület, mert a szintfelületek nem párhuzamosak!)

A szabatos felsőgeodéziai mérésekben nem lehet eltekinteni attól, hogy a szintfelületek nem párhuzamosak, és attól, hogy a függővonal egy kettős csavarodású térbeli görbe; az alsógeodéziában azonban megfelelő közelítéssel a szintfelületeket párhuzamosnak tekintjük, a függővonalat pedig egy függőleges egyenesnek. Csak érdekességként említjük meg, hogy a felsőgeodéziában több magasság fogalom is használatos. A **geopotenciális érték** nem hosszúság jellegű mennyiség, hanem a vizsgált ponton átmenő szintfelületen és az alapfelületen mért potenciálértékek különbsége. A **dinamikai magasságot** úgy kapjuk, hogy a geopotenciális értéket elosztjuk a normál nehézségi térerősség egy kiválasztott értékével, amely a normál ellipszoidot a 45°-os szélességi körön jellemzi. A dinamikai magasság már hosszúság jellegű, és az azonos dinamikai magasságú pontok már egy

szintfelületen vannak. A **normál magasságot** megkapjuk, ha a geopotenciális értéket elosztjuk a normál nehézségi térerősségnek a vizsgált pont normál ellipszoid feletti felezőpontjára kiszámított értékével.

Az alsógeodéziai számítások során feltételezzük, hogy az alapszintfelület a **geoid**. Ebben az esetben egy pont abszolút magasságán mindig a pont tengerszint feletti magasságát fogjuk érteni. Két pont magasságkülönbsége pedig minden esetben a két pont tengerszint feletti magasságának a különbsége lesz. (9-2. ábra)



9-2. ábra Két pont magasságkülönbségének értelmezése

Képletszerűen kifejezve a magasságkülönbség:

$$\Delta m = m_Q - m_P$$

9.1. Egyenlet

Az 9.1-es képlet a Q pontnak a P pontra vonatkozó magasságkülönbségét jelenti. Természetesen ugyanilyen módon értelmezzük a P pontnak a Q pontra vonatkozó magasságkülönbségét is; ebben az esetben a magasságkülönbség értéke megegyező lesz a  $\Delta m_{PQ}$ -val, azonban előjele vele ellentétes lesz.

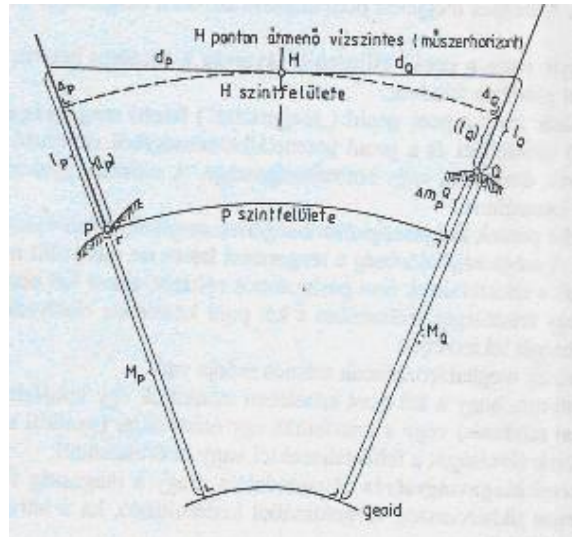
A különböző **magasságmérési eljárások** (szintezés, trigonometriai magasságmérés stb.) a pontok **magasságkülönbségeit mérik**. Ha a magasságmérésbe olyan pontot is bevonunk, amelynek ismerjük az abszolút (geoid feletti) magasságát, úgy a többi mért pont abszolút magassága is számítható. A földi pontok magasságkülönbségeinek a mérésére az alsógeodéziában az alábbi módszerek használatosak:

- **geometriai módszer**, azaz a **szintezés**
- **trigonometriai módszer**, azaz a **trigonometriai magasságmérés**
- **fizikai módszer**, azaz a **barométeres magasságmérés**.

A három említett módszer közül a barométeres magasságmérés mára már elavult, használata esetleg csak expedíciós körülmények között fordulhat elő, ezért tárgyalásától eltekintünk. Ebben a fejezetben csak a szintezés tárgyalásával fogunk foglalkozni, a trigonometriai magasságmérés ismertetése egy másik fejezet témája lesz.

### 3. 9.3 A szintezés alapelve

Ha a P és a Q pont magasságkülönbségét keressük, akkor az a legegyszerűbb eljárás, ha előállítjuk valamelyik ponthoz tartozó szintfelületet, és megmérjük a P és a Q pontoknak az ettől számított merőleges távolságát. A két pont magasságkülönbsége ennek a két leolvasásnak a különbségeként számítható. (9-3. ábra)



9-3. ábra A szintezés alapelve (Krauter, 2002)

Képlettel kifejezve:

$$\Delta m_{PQ} = M_P - M_Q = (l_P) - (l_Q)$$

9.2. Egyenlet

A szintezés gyakorlati végrehajtásában nem a szintfelület egy elemi darabját állítjuk elő, hanem a szintfelületnek a műszer fekvő- és állótengelyének metszéspontján (H) áthaladó érintősíkját. A **szintezés feladata** tehát az, hogy meghatározza a P és Q pontoknak a **szintfelület érintősíkjától mért távolságát**. Ehhez a P és a Q ponton egy beosztásokkal ellátott léce, egy úgynevezett **szintezőlécet** állítunk fel függőlegesen, és ezeken egy szintezőműszerrel leolvassuk. A szintezőműszert három lábú állványon lehet elhelyezni a teodolithoz hasonlóan. A **szintezőműszer irányvonala vízszintessé tehető**, tehát elő lehet állítani vele az irányvonal magasságában lévő **szintfelület vízszintes érintősíkját**. A P és a Q pontoknak ettől az érintősíktól való távolságát úgy határozzuk meg, hogy a vízszintessé tett irányvonallal megirányozzuk a szintezőlécet, és azon leolvassuk a vízszintes szál helyzetét. Az 9-3. ábra alapján:

$$l_P = (l_P) + \Delta_P$$

$$l_Q = (l_Q) + \Delta_Q$$

azaz

$$\Delta m_{PQ} = (l_P) - (l_Q) = l_P - l_Q - (\Delta_P - \Delta_Q) = l_P - l_Q - \Delta_P + \Delta_Q$$

9.3. Egyenlet

Rövid távolságok esetén a szintfelületet gömbbel helyettesíthetjük, tehát ha a műszert a két léctől egyenlő távolságra állítottuk fel, azaz  $d_P = d_Q$ , akkor a szimmetria miatt  $\Delta_P = \Delta_Q$ . Ez azt jelenti, hogy az 9.3-as képletben az utolsó két tag ( $\Delta_P, \Delta_Q$ ) összege nulla, vagyis ha az érintősík érintési pontja egyforma távolságra van a P és a Q pontok függőlegesétől, akkor **az  $l_P$  és  $l_Q$  leolvasások különbsége közvetlenül a két pont magasságkülönbségét** adja meg.

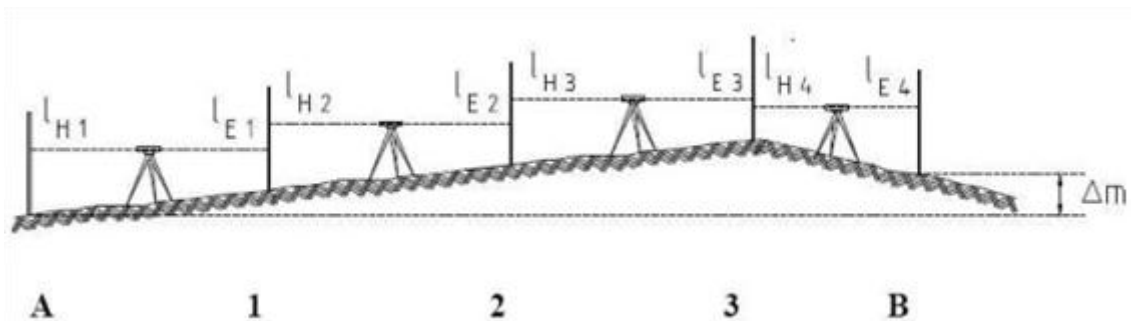
$$\Delta m_{PQ} = l_P - l_Q = M_P - M_Q$$

9.4. Egyenlet

A szintezőműszerrel egy állásban csak korlátozott távolságban lévő pontok magasságkülönbsége határozható meg. A távolságot befolyásolja a léce hossza, a terep lejtésviszonyai, másrészt az, hogy a léceleolvasás kellő pontossággal csak **korlátozott műszer-léce távolság** esetén végezhető el. A pontossági követelményektől függően a két pont távolsága 40-120 méter között lehet, azaz a műszer léce távolság 20-60 méter között változhat.

Ha a pontok távolsága ennél nagyobb, akkor a magasságmérést több **műszerállásban** kell végrehajtani. (9-4. ábra)





9-4. ábra A magasságkülönbség meghatározása több műszerállásban

A kiinduló A ponttól a megengedett távolságban (vagy annál kisebb távolságban) felvesszünk egy 1-es számú köztes pontot, egy úgynevezett **kötőpontot**. Leolvasásokkal meghatározzuk az 1-es pont A pont feletti magasságát. A haladás irányával ellentétesen tett leolvasásokat **hátra leolvasásnak** nevezzük, a haladás irányával egyező leolvasásokat pedig **előre leolvasásnak**. Ezután választunk egy 2-es számú kötőpontot, ügyelve arra, hogy az A-1 és 1-2 pontok távolsága azonos legyen. A leolvasásokkal meghatározzuk a 2-es pontnak az 1-es pont feletti magasságát. Mindezt addig ismételjük – ügyelve az azonos műszer-léc távolságokra – amíg elérünk a B pontig. A két pont magasságkülönbsége:

$$\Delta m_{AB} = (l_{H,1} - l_{E,1}) + (l_{H,2} - l_{E,2}) + (l_{H,3} - l_{E,3}) + (l_{H,4} - l_{E,4})$$

9.5. Egyenlet

Az 9.5-ös képletet más formában felírva:

$$\Delta m_{AB} = (l_{H,1} + l_{H,2} + l_{H,3} + l_{H,4}) - (l_{E,1} + l_{E,2} + l_{E,3} + l_{E,4})$$

9.6. Egyenlet

A menetirányban elől lévő B pont A pontra vonatkoztatott magasságkülönbségét megkapjuk tehát, ha a hátraleolvasások összegéből levonjuk az előreleolvasások összegét:

$$\Delta m_{AB} = \sum l_{H,i} - \sum l_{E,i}$$

## 4. 9.4 Szintezőműszerek és tartozékaik

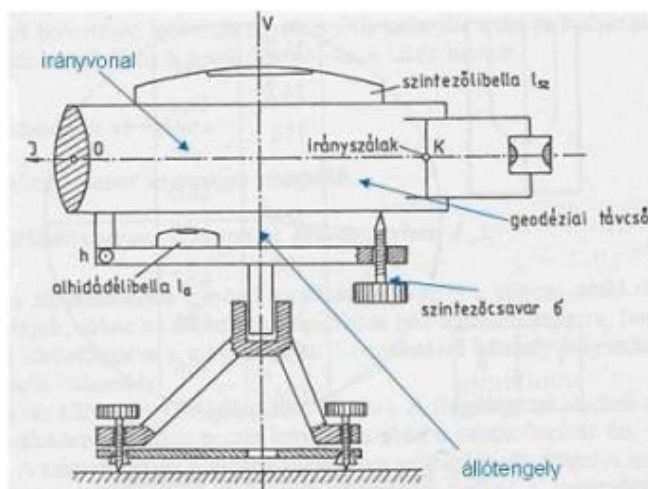
A szintezőműszereket általánosságban három csoportba lehet sorolni:

- **Tulajdonképpeni szintezőműszerek:** azok a műszerek, amelyek csak szintezésre használhatóak. Három további alcsoportba lehet őket sorolni: **libellás szintezőműszerek**, **hagyományos kompenzátoros szintezőműszerek** és **digitális szintezőműszerek**. A továbbiakban ezekkel a műszerekkel fogunk részletesebben megismerkedni.
- **Egyetemes szintezőműszerek:** fő rendeltetésük a szintezés, de vízszintes szögmérésre, optikai távmérésre és esetleg zenitszögmérésre is használhatók. Ebbe a csoportba elsősorban a rögzített távcsővű, távmérőszállal ellátott szintezőműszerek tartoztak; a mai mérnöki gyakorlat már nem használja őket.
- **Egyetemes műszerek:** azok a műszerek tartoztak ebben a csoportba, amelyek fő rendeltetése nem a szintezés volt, de fel voltak szerelve szintezőlibellával is, így szintezésre is lehetett őket használni. Egyetemes műszerek voltak elsősorban a tahiméterek, amelyek a hagyományos topográfiai felmérésnek voltak a műszerei.

### 4.1. 9.4.1 A libellás szintezőműszerek

A libellás műszereknél a távcső irányvonalának **vízszintessé tételére** egy csöves libella, az úgynevezett **szintezőlibella** szolgál. (9-5. ábra) A távcső szögnagyítása átlagosan 15-25-szörös, a szintezőlibella állandója pedig 30-60°. Amennyiben a szintezőlibella tengelye párhuzamos az irányvonalal, akkor a szintezőlibella

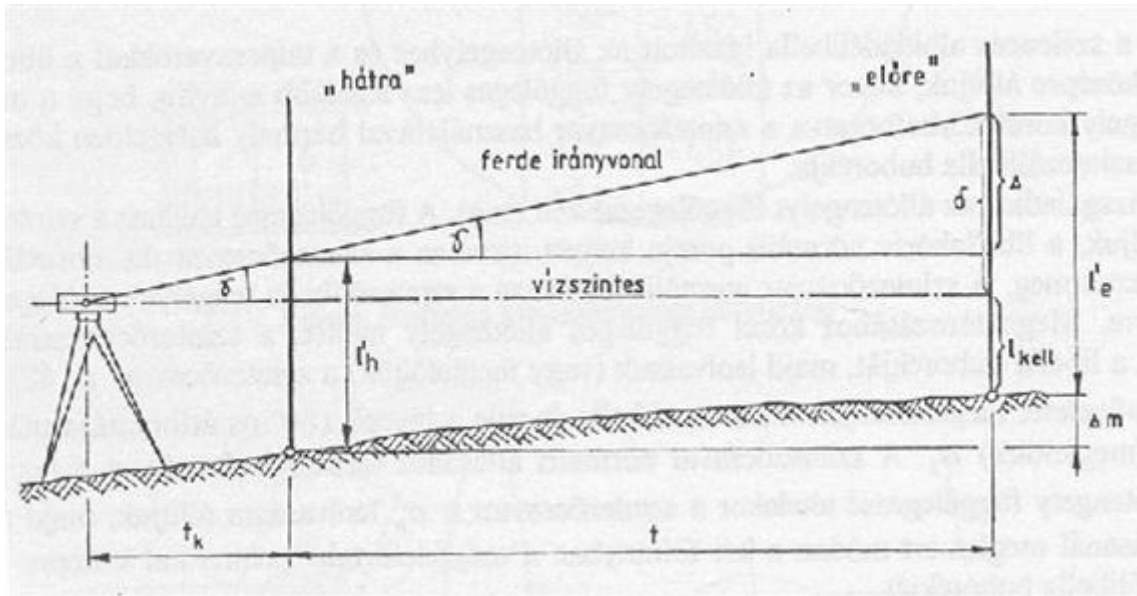
buborékjának középre állítása után az irányvonal vízszintes lesz. A szintezőlibellát a távcső fekvőtengely körüli szabatos forgatásával, a **szintezőcsavar** segítségével lehetett középre állítani.



9-5. ábra A libellás szintezőkészlet (Krauter, 2002)

A libellás szintezőkészleteken csak az egyszerűbb megoldásokon lehetett közvetlenül szemlélni a szintezőlibella buborékját. Általában egy **prizmás vetítőberendezés** segítségével a két buborék-felet bevetítették vagy az okulárba, vagy egy külön nagyítóba. A szintezőcsavar forgatásával a két buborék ellentétes irányba mozdult el; a távcső akkor volt vízszintes (volt középen a szintezőlibella buborékja), ha a két buborék-felet koincidenzában láttuk. A libellás szintezőkészlet vizsgálatakor három feltételnek kell teljesülnie:

- **A szelencés libella legyen igazított az állótengelyhez.** Amennyiben a szelencés libella igazított az állótengelyhez és a talpcsavarokkal középre állítottuk, akkor a műszert körbe forgatva a szintezőcsavar használatával a szintezőlibella buborékja bármely helyzetben középre hozható. Ha a szelencés libella nem igazított az állótengelyhez, akkor el kell végeznünk az állótengely pontos függőlegesség tételeit a szintezőlibellával a Geodézia I-ben már megismert módon, majd az igazítócsavarok segítségével középre kell állítani a szelencés libella buborékját. A középre állított helyzetet le kell ellenőrizni (vagy esetleg meg is kell ismétlni) egy 180 fokkal eltérő helyzetben.
- **A fekvő irányszál legyen merőleges az állótengelyre.** Megfelelően pontos léceleolvasást végezni csak abban az esetben lehet, ha nincs szálferdeség. Ha a fekvőszál bal oldalával megirányzunk egy pontot, majd a műszer parányi forgatásával a pont képét végigvezetjük a fekvőszálon és nem mozdul le róla, akkor a fekvőszál merőleges az állótengelyre. Ellenkező esetben a műszert igazítani kell; a diafragmagyűrű segítségével el kell forgatni a szállemezt, és ezzel hozni vízszintes helyzetbe a fekvőszálat.
- **A szintezőlibella buborékja legyen igazított a távcső irányvonalához.** A szintezőlibella középre állításával a távcső irányvonala csak abban az esetben lesz vízszintes, ha a buborék tengelye párhuzamos az irányvonallal. Ellenkező esetben **irányvonal-ferdeségről** beszélünk, amely a szintezés egy nagyon jelentős hibaforrása. Vizsgálata nagyon fontos a mérnöki gyakorlatban. Közel vízszintes terepen jelöljünk ki két pontot egymástól  $t$  távolságra, legalább 30 méterre. (9-6. ábra) Álljunk fel a szintezőkészlettel a két ponttól egyenlő távolságra, és határozzuk meg a két pont magasságkülönbségét. A műszer-léc távolságok egyenlősége miatt az irányvonal ferdesége ugyanolyan mértékben fogja terhelni a hátra és az előre leolvasást, így hatása a „hátra mínusz előre” számítási képletnek megfelelően kiesik. A magasságkülönbséget többszörös ismétléssel határozzuk meg – ezzel is csökkentve a meghatározást terhelő hibák előfordulásának lehetőségét – és a hibátlan magasságkülönbségnek ( $\Delta m$ ) a meghatározott magasságkülönbségek számtani középértékét fogadjuk el.



9-6. ábra Az irányvonal-ferdeség meghatározása (Krauter, 2002)

Ezután a szintezőműszert áthelyezzük a hátra lécc mögé, a legkisebb irányzási távolságnál alig nagyobb  $t_k$  távolságba. Ezután ismét leolvassuk a hátra és az előre léccen ( $l'_E, l'_H$ ), és meghatározzuk az irányvonal-ferdeség hatásával terhelt hibás magasságkülönbséget. Ezt a magasságkülönbséget is többszörös ismétléssel határozzuk meg. Az 9-6. ábra alapján:

$$\Delta = l'_E + \Delta m - l'_H = \Delta m - (l'_H - l'_E) = \Delta m - \Delta m'$$

azaz

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta}{t} = \frac{\Delta m - \Delta m'}{t}$$

9.7. Egyenlet

Ahonnán a  $\gamma$  irányvonal-ferdeség kiszámítható. A vízszintes irányvonalhoz tartozó léccleolvasás:

$$l'_{kell} = l'_E - \kappa$$

$$\kappa = (t_k + t) \cdot \operatorname{tg} \gamma$$

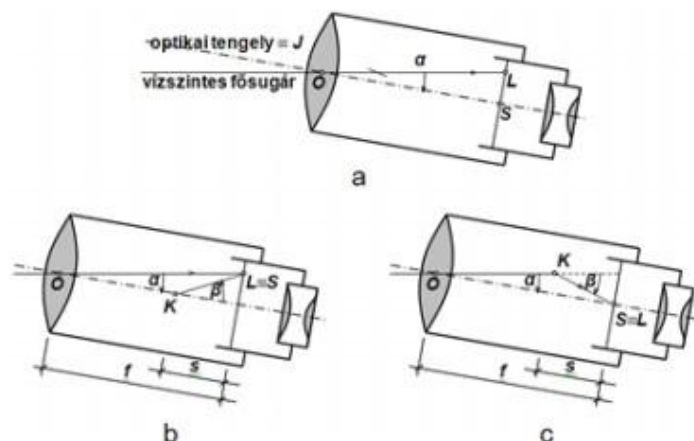
9.8. Egyenlet

A vizsgálat végén a fekvőszálat a szintezőcsavarral a kell leolvasás értékre kell állítani.

## 4.2. 9.4.2 A kompenzátoros szintezőműszerek

A kompenzátoros szintezőműszereknél elegendő a műszer **állótengelyét** csak **közéltőleg függőlegessé** tenni, a távcső ferdeségét, a **távcsőhajlást** a kompenzátor már automatikusan kompenzálni fogja, és ezzel állítja elő a vízszintes irányvonalat. A kompenzátorok szerkezeti megoldásairól már volt szó Geodézia I-ből, ezért ebben a fejezetben a kompenzátorok szerkezeti megoldását már nem tárgyaljuk részletesen, csak annyit említünk meg, hogy a szintezőműszerekben a leggyakrabban **ingás felfüggesztésű kompenzátorokat** használnak. A kompenzátoros szintezőműszerek előnye a libellás szintezőműszerekkel szemben, hogy használatuk gyorsabb és egyszerűbb, kevésbé érzékenyek a hőhatásokra. Hátrányuk az, hogy járművek mozgásának hatására vagy erős szélben a kompenzátor rezgésbe jöhet, és ez megnehezíti, vagy éppen lehetetlenné teszi a leolvasás végrehajtását. A kompenzátoros szintezőműszerek távcsőve az alhidádéval össze van kötve, a műszernek tehát nincs fekvőtengelye.

Tételezzük fel, hogy a távcső irányvonala nem vízszintes, hanem azzal valamilyen  $\alpha$  szöget zár be. Az objektív optikai középpontján átmenő vízszintes fénysugár, az úgynevezett **főszugárnak** a szintezőlécc képével alkotott L metszéspontja adja a helyes léccleolvasást. Amennyiben a távcső pontosan vízszintes lenne, az L dőfélpont az S szátkereszt középpontban képződne le. Nem teljesen vízszintes irányvonal mellett L és S pontok nem esnek egybe. (9-7. ábra)



9-7. ábra A kompenzálás elmélete szintezőműszereknél: a, a távcsőhajlás; b, irányvonal-vezérlés; c, fősugár-vezérlés (Krauter,2002)

A kompenzátor feladata lényegében az, hogy a kompenzálás tartományán (értéke 8-10') belül biztosítsa az L lécpont képének és az S pontnak az egybeesését. Ennek két gyakorlati megvalósítása lehetséges:

- **Irányvonal-vezérlés.** A K pontbeli kompenzátor az S pontot eltolja az L pontba, tehát az irányvonal mozdul el. A leggyakoribb megoldása a szátkereszt ingaszerű felfüggesztése.
- **Fősugár-vezérlés.** A kompenzátor az L pontot tolja el az S pontba, azaz megtöri a vízszintes fősugarat. A leggyakoribb megoldása valamely optikai elemnek az ingaszerű felfüggesztése.

A kompenzátoros szintezőműszerekkel szemben az alábbi követelményeket támasztjuk:

- **A szelencés libella legyen igazított az állótengelyhez.** Vizsgálata és igazítása ugyanolyan módon történik, mint a libellás szintezőműszereknél.
- **A fekvő irányszál legyen merőleges az állótengelyre.** Vizsgálata és igazítása ugyanolyan módon történik, mint a libellás szintezőműszereknél.
- **Horizontferdeség.** A távcsőhajlást a ferde állótengely okozza. Ha a műszert elforgatjuk az állótengely körül olyan módon, hogy az irányvonal az állótengely dőlési síkjába essen, akkor a távcsőhajlás nagysága az állótengely dőlési szögével azonos nagyságú lesz. Természetesen két ilyen helyzet van; ezek egymással 180 fokot zárnak be. A két helyzetben a távcsőhajlás értéke azonos mértékű lesz, de előjele ellentétes. Amennyiben az irányvonal merőleges az állótengely dőlési síkjára, úgy a távcsőhajlás értéke nulla lesz. Ha az állótengely ferdesége a kompenzátor kompenzálási tartományán belül van, és a kompenzátor hibátlanul működik, úgy a műszer képes kezelni a távcsőhajlás értékét, és a vízszintes irányvonalhoz tartozó léceleolvasást. Amennyiben az állótengely dőlése nagyobb, mint a kompenzátor működési tartománya, vagy a kompenzátor nem működik megfelelően, a műszer nem lesz képes előállítani a vízszintes horizontsíkot. Ezt a jelenséget horizontferdeségnek nevezzük. Kiküszöbölése a műszer állótengelyének gondos függőlegessé tételével lehetséges (és a szelencés libella állótengelyéhez való igazításával), illetve a kompenzátor hibájának esetén műszerlaboratóriumban, finommechanikai eszközökkel.
- **Az alapirányvonal legyen merőleges az állótengelyre.** A vizsgálat célja a libellás szintezőműszerekhez hasonlóan az irányvonal-ferdeség meghatározása. Alapirányvonalnak az irányvonalnak pontosan függőleges állótengely mellett elfoglalt helyzetét tekintjük. A hibátlan  $\Delta m$  magasságkülönbség meghatározásához a műszert a két léctől egyenlő távolságra, a két léccsúcs összekötő egyenesén kell meghatározni. A horizontferdeség hatásának kiküszöbölése miatt a hátra és előre leolvasás előtt is középre kell állítani a szelencés libella buborékját a talpcsavarok segítségével. Ezután át kell állni a hátra léccsúcs mögé a műszer legkisebb leolvasási távolságánál alig nagyobb távolságra, és meg kell határozni az irányvonal ferdeség hatásával terhelt magasságkülönbséget. Ebből a leolvasásból a horizontferdeség hatását olyan módon lehet kiküszöbölni, hogy leolvasás előtt egy rátét libellával az állótengelyt gondosan függőlegessé tesszük. A kell leolvasást a libellás szintezőműszereknél ismertetett képlet alapján lehet számolni, majd a kompenzátor megfelelő igazítócsavarjával a fekvőszálat a kell leolvasás értékre tolni.

### 4.3. 9.4.3 Digitális szintezőműszerek

A hagyományos libellás és kompenzátoros szintezőműszerek a mai mérnöki gyakorlatban háttérbe szorultak a digitális szintezőműszerekkel szemben. Elérhető árúak, a leolvasás automatikussá tétele, egyszerű és gyors kezelésük, esetlegesen beépített programjaik (pl. kiegyenlítés) új lehetőségeket nyitottak a pontos mérnöki magasságmeghatározásban. A digitális szintezőműszerek és szintezési eljárások ismertetését *Dr. Ágfalvi Mihály* útmutatásai alapján, *Deumlich-Steiger: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik* című könyve alapján végezzük.

A **mai digitális szintezőműszerek elődjét** a bonni egyetemen Zetsche professzor irányításával fejlesztették ki **1966**-ban. A műszer bárkódos osztású szintezőlécen tudott leolvasni, és speciális zoom optikája kompenzálni tudta a méretarányváltozást. A méretarányváltozás kompenzálás azt jelenti, hogy az osztásvonások távolsága a képen a léctávolságtól függetlenül mindig azonos marad. A drezdai műszaki egyetemen 1982-ben kezdődtek meg azok a kutatások, amelyek eredményeként 1987-re elkészült egy mai értelemben vett digitális szintezőműszer prototípusa, amelynek sorozatgyártása azonban sohasem valósult meg. Az **első sorozatgyártású digitális szintezőműszert** a Leica cég mutatta be **1990**-ben (NA200), amely már egy bárkódos lécről tudott automatikus leolvasást végezni. (9-8. ábra) Ma már négy különböző műszergyártó - Leica, Sokkia, Topcon, Trimble – kínálja eladásra a különböző pontosságkategóriába sorolható szintezőműszereit.



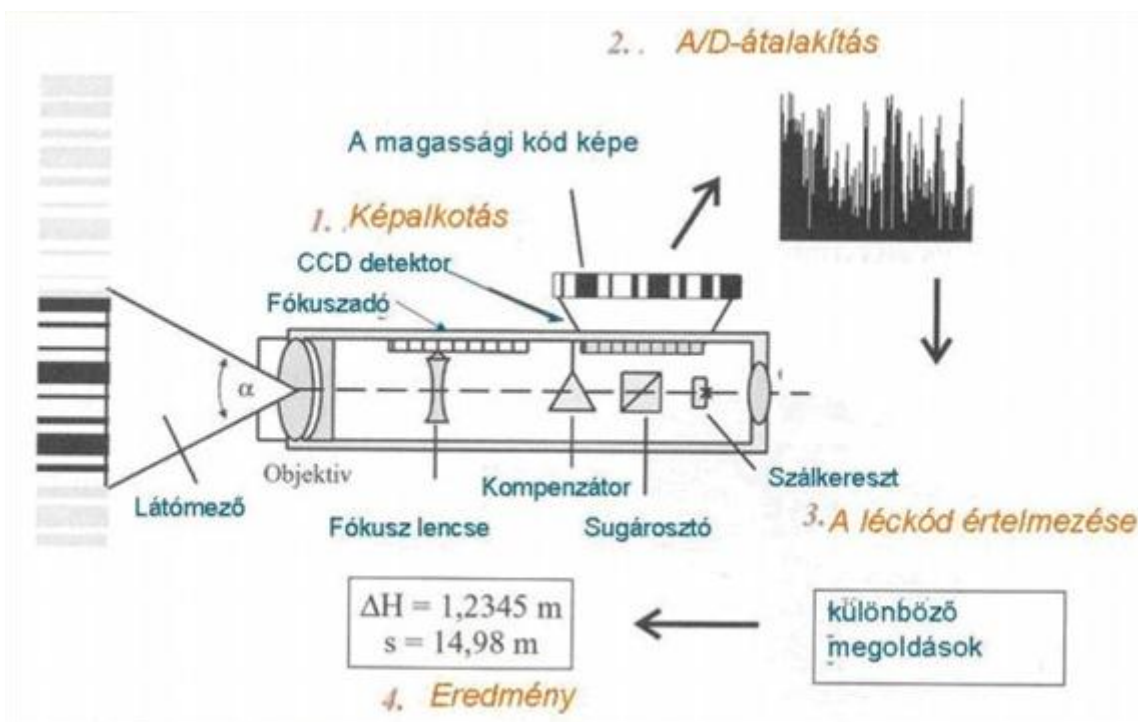
9-8. ábra A Leica NA 2000 digitális szintezőműszer és a hozzá tartozó bárkódos lécek egy szakasza

A digitális szintezőműszerek megvalósításakor az jelentette a legnagyobb kihívást, hogy hogyan tudják megvalósítani a bárkódos lécek osztásvonásainak leolvasását, majd a kapott digitális adatok átalakítását számértékekké. A lécleolvasások meghatározása nagyon hasonló a vízszintes, elektronikus körleolvasások meghatározásához. (9-9. ábra) A digitális szintezőműszerek **geometriai működésének alapelve** az, hogy a lécek megirányítása után a látómezőben megjelenő (és egyben a szálsíkban leképződő) léckivágatot az optika leképezi egy CCD (Charge Coupled Device) cellasorra. A léckivágatot a szintezőlécnek egy szakasza, amelyen meg kell határozni a vízszintes irányvonalnak a dőfpontját. A vízszintes irányvonalhoz tartozik egy olyan leolvasás, amelyet a szálsík helyett egy kalibrálási eljárással meghatározott cellához rendelnek.



9-9. ábra A digitális szintezőműszer geometriai működésének elve.

A bárkódos szintezőlécen fekete és fehér osztások vannak, így amikor a léckivágatot képe leképződik, akkor a CCD érzékelőkön lényegében a beérkezett fényintenzitások képződnek le. Ezeket egy analóg-digitál átalakító a **jelnégyzetelés** módszerével átalakítja bináris számokká, azaz 0 és 1 számjegyekké. (9-10. ábra) A feldolgozóegységben 0 és 1 számjegyekből álló kódsorozatot a kód-korreláció módszerével összehasonlítják egy előre eltárolt referencia jelsorozattal, és így már értelmezhetővé válik a léckivágatot képe. Ha sikerül a léckódokat értelmezni, akkor egyben meg lehet határozni a vízszintes irányvonalhoz tartozó lécleolvasást is, amelyet a műszer általában a ferde távolsággal együtt kijelöl a kijelzőre.



9-10. ábra A digitális szintezőműszer mérési folyamata

Összefoglalóan a mérés folyamata a digitális szintezőműszerek esetén négy részre osztható:

1. A léccé képe rögzítése egy 256-2048 pixellel (képelem) rendelkező CCD-soron.
2. A léccé képe analóg-digitál átalakítása.
3. A digitális kép különböző módszerekkel (pl. jelnégyzetelés, kód-korreláció stb.) történő kiértékelése.
4. Eredmény kijelzése a kijelzőn. (magasságkülönbség, vízszintes távolság)

Amikor 1990-ben az első digitális szintezőműszert a szakmai nyilvánosság előtt bemutatták, a fejlesztők szabályos hibáktól mentes méréseket ígértek. A hagyományos szintezőműszerekhez hasonlóan azonban a digitális szintezőműszerek sem tökéletesek, számos gyengeséggel rendelkeznek.

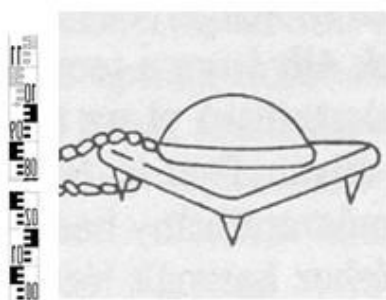
A digitális műszerek **optikai-mechanikai felépítése** nagyon hasonló a **kompensátoros szintezőműszerekéhez**, kiegészítve természetesen a képrögzítés, képfeldolgozás és kéпкиértékelés megfelelő elemeivel. A kompensátoros szintezőműszerknél fellépő hibák ennél a műszercsoportnál is megtalálhatóak. A későbbiekben ismertetett **refrakció és légrezgés** a digitális műszerekre is hatással van, bár nagy előny, hogy a műszer egy sávot olvas le, és korlátozható a leolvasott lécsáv magassága. A műszerek a **rezgésekre** is érzékenyek, ezért építési környezetben vagy forgalmas út mellett, nagy szélben a leolvasás nehézségekre ütközhet. A leolvasó egység nagyon érzékeny a **léccé megvilágítására**. Alkonyatkor, sötétebb helyen nem jut elég fény a CCD érzékelőkre, emiatt a mérés félbeszakad. Megoldást jelenthet a léccé lámpával történő megvilágítása. Ellenkező hatás lép fel erős napsugárzásban, ha közvetlenül a nap irányába álló léccé kell irányozni. Ebben az esetben a CCD érzékelőkre túl erős fény jut, és a mérés szintén megszakad. Kiküszöbölése objektív védősapkával lehetséges. Ha az **irányvonal** mintegy 6 centiméterrel a **léccé teteje fölé**, vagy a **léccé talpa alá esik**, akkor a mérés még lehetséges, de kedvezőtlen a hibaterjedés szempontjából. A léccé alsó részén történő leolvasást a fenti hiba és a refrakció miatt kerülni kell, azért azt szokták kikötni, hogy a legalacsonyabb leolvasás nem lehet kisebb, mint 0.50 méter. Ha a léccé talpán található szelencés libella buborékját nem megfelelően állítjuk középre, akkor ennek hatása a léccé tetején tett leolvasásnál lesz maximális. Az esetleges léccé feletti leolvasások és a szelencés libella nem megfelelően történő középre állítása miatt bekövetkező hibák elkerülése végett a léccé felső 0.30-0.50 méteres sávjában nem szabad leolvasni. A műszerek kiértékelő algoritmusai bizonyos mértékig kezelni tudják a **léccé kitakarását**, de ez nem lehet nagyobb, mint a teljes léccé hossz 30%-a. Ha a léccé nem merőlegesen tartjuk az irányvonalra, akkor a **léccé fordulása** miatt az érzékelőkön csak a léccé egy keskeny sávja képződik le, amely adott esetben megghiúsítja a mérést. Műszerlaboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy a léccé fordulása mintegy 51°-ig nem okoz jelentős hibát. A későbbiekben ismertetett **műszer- és léccé süllyedési hiba**, a **szintfelület görbülsége**,

az **irányvonalfedéség** és a **horizontferdeség**, a **fekvőtengely külpontossága**, a **lécosztás hibái**, valamint a **léc talppoti hibája** szintén befolyásolja a digitális szintezőműszerekkel elérhető pontosságot.

#### 4.4. 9.4.4 A szintezőfelszerelés

A szintezőműszerek felállításakor nem kell pontraállni, az állótengelyt csak közelítően kell függőlegessé tenni egy szelencés libellával. A **szintezőműszerek állványa** hasonló a teodolitok műszerállványához; általában nem olyan robosztus felépítésűek, és gyakran nem összecsisztatható lábakkal rendelkeznek.

A **szintezőléc** anyaga általában fa vagy üvegszál, újabban alumínium. A lécs hossza általában 3 méter, de készülnek ettől hosszabb és rövidebb lécek is, különösen a speciális mérnökeodéziai feladatok végrehajtásához. (9-11. ábra) A lécek lehetnek egy tagból állóak, félbe hajthatók vagy teleszkóposak. A teleszkópos léceket az illesztésnél fellépő osztáshibák miatt csak kisebb megbízhatóságú szintezési feladatoknál lehet alkalmazni. A lécek hátoldalán szelencés libella van, amely feladata a léctengely függőlegesbe állítása. A lécek hátoldalára gyakran szerelnek kihajtható fogantyúkat, amelyek a könnyebb léctartást teszik lehetővé. A hagyományos lécek centiméteres vagy fél-centiméteres osztásúak, a digitális szintezőléceken pedig kódolt osztásokat alkalmaznak.



9-11. ábra Hagyományos szintezőléc és szintezősar

Nem szabatos szintezésnél **szintezősar** biztosítja, hogy a lécs magassági helyzete mérés közben ne változzon meg. A szintezősar öntöttvasból készül, alul körmökkel mélyed a talajba, felső része gömbsüveg alakú, amelynek legmagasabb pontjára kell helyezni a szintezőlécet. Ebben az esetben a szintezőléc alsó éle függőleges léctartás mellett a szintezősar legmagasabb pontjának érintő egyenese. A szintezősarura helyezett lécs magassága változatlan marad, amikor a lécs hátra leolvasásból előre leolvasásba fordul, azaz az új műszerállítás felé. Szabatos mérésnél nem szintezősarut, hanem vascsöveket vagy karó tetejébe vert gömbölyűfejű szepteket alkalmaznak a lécek alátámasztására.

## 5. 9.5 A szintezés szabályos hibaforrásai

A szabályos hibák eredetük szerint lehetnek személyi hibák, a mérőműszer és a mérőfelszerelés hibái, valamint a külső körülmények okozta hibák. A személyi hibák a szintezésnél a gyakorlati szabályok betartásával elkerülhetőek, ezért ezek tárgyalásával a későbbiekben nem foglalkozunk. A hibák bemutatásánál feltételezzük, hogy a hibák egymástól függetlenek és szétválaszthatóak, így az eredményt mindig csak az éppen vizsgált hiba hatása terheli. A szintezés szabályos hibái a következők:

- **A mérőműszer hibái:** irányvonal-ferdeség, horizontferdeség, fekvőtengely külpontossága
- **A mérőfelszerelés hibái:** lécs talppoti hiba, lécosztás hibái, lécsferdeség,
- **Külső körülmények okozta hibák:** műszerüllyedés, lécsüllyedés, refrakció, szintfelület görbültségének hatása.

### 5.1. 9.5.1 A mérőműszer hibái

- **Az irányvonal-ferdeség.** Ismertetése, vizsgálata és igazítása megegyezik a libellás szintezőműszereknél elmondottakkal.

- **Horizontferdeség.** Ismertetése, vizsgálata és igazítása megegyezik a kompenzátoros szintezőműszereknél elmondottakkal. A horizontferdeség hatása nem szabatos méréseknél mérési módszerrel is kiküszöbölhető, ha a mérést oda-vissza irányban végezzük el.
- **Fekvőtengely külpontossága.** Fekvőtengely külpontosságról akkor beszélünk, ha a fekvő- és az állótengely nem metszi egymást. A külpontosság csak abban az esetben okoz hibát, ha az állótengely nem függőleges. Ha az állótengely ferdesége  $\alpha$ , és a fekvőtengely külpontossága  $e$ , akkor egy lécleolvasásra  $\delta l = e \cdot \alpha$  hatással van, egy műszerálláson belül meghatározott magasságkülönbségre pedig  $\delta \Delta m = 2 \cdot e \cdot \alpha$ . A képlet mutatja, hogy a hiba veszélyesen halmozódik. Hatása csökkenthető az állótengely gondos függőlegessé tételével. A műszergyártók törekednek arra, hogy a fekvőtengely szabatosan központos legyen, ezért az ebből származó hiba elhanyagolható nagyságrendű.

## 5.2. 9.5.2 A mérőfelszerelés hibái

- **Talpponti hiba.** Ha a lécosztás kezdővonása nem esik a lécszintengelyre merőleges alsó érintősíkjába, akkor a lécszint talpponti hibája van. A talpponti hiba nem befolyásolja a magasságkülönbség meghatározását ha egyetlen szintezőlécet használunk. Két szintezőlécet használva az egyetlen műszerállásban meghatározott magasságkülönbség a két talpponti hiba különbségével lesz hibás. A következő műszerállásban meghatározott magasságkülönbség ugyanakkora, de ellentétes előjelű hibával lesz terhelt. Ha a szintezési vonalban összegezzük a műszerállásokban meghatározott magasságkülönbségeket, és páros számú műszerállásban mértünk, akkor a két végpont magasságkülönbségéből a talpponti hiba hatása kiesik. A szintezést – két lécszint használata esetén – tehát mindig páros számú műszerállásban kell végrehajtani. A bizonyításhoz vizsgáljunk meg egy két műszerállásból álló szintezési vonalat, ahol a lécszint talpponti hibáját jelölje  $\Delta_A$  és  $\Delta_B$ .

$$\begin{aligned} \Delta m_{PQ} &= (l_P + \Delta_A) - (l_1 + \Delta_B) + (l_1 + \Delta_B) - (l_Q + \Delta_A) = \\ &= l_P + \Delta_A - l_1 - \Delta_B + l_1 + \Delta_B - l_Q - \Delta_A = l_P - l_1 + \Delta_A - \Delta_B + \\ &+ l_1 - l_Q + \Delta_B - \Delta_A = \Delta m_{P1} + \Delta m_{1Q} \end{aligned}$$

9.9. Egyenlet

- **A lécosztás hibája.** A szintezés lényegében függőleges irányú hossz mérés, éppen ezért a szintezőlécet mind beosztására, mind egységére meg kell vizsgálni, azaz a mérőszalagokhoz hasonlóan komparálni kell. A beosztásra való vizsgálatnál meg kell nézni, vajon az osztásközök egyenlők-e. Az eltérések a beosztás hibái. A léceket általában szabatos osztógépekkel hozzák létre, ezért a beosztás hibái általában elhanyagolhatóak. Az egységre való vizsgálat megállapítja, hogy a lécszint méternek kijelölt hosszúság mennyiben tér el a hivatalos métertől. A lécszint vizsgálatát komparátorral végezzük el. Mivel a lécszint hibáinak hatása nem kiküszöbölhető ki mérési módszerrel, ezért a komparálást meghatározott időközönként el kell végezni. Szabatos szintezésekhez használt lécszintnél évente két alkalommal komparálják, általában kora tavasszal és késő ősszel.
- **Lécszint ferdeség.** A lécszint ferdeség azt jelenti, hogy a szintezőlécszint tengelye nem függőleges, hanem azzal valamilyen szöveget zár be. Hatása arányos a lécszint fordulási szögével, és arányosan növekszik a lécszint leolvasással. Hatása kiküszöbölhető a szelencés libella pontos igazításával az állótengelyre, valamint ha a lécszint a mérés közben valamilyen kitérőt eszköz segítségével tartjuk. Ha a lécszint hátoldalán tartófülek vannak, akkor ez megkönnyíti a lécszint függőlegesben tartását, ha nincsenek rajta tartófülek, akkor a kitérőt két bot segítségével szokták megoldani. Érdekességként megjegyezzük, hogy hatása 1 fokos ferdeséget feltételezve 3 méteres lécszint 0.50 milliméter.

## 5.3. 9.5.3 A külső körülmények okozta hibák

- **Műszerüllyedés.** Amennyiben a hátra és előre leolvasás között a műszer magassági helyzete megváltozik, műszerüllyedésről beszélünk. Ha minden műszerállásponton fellép a hatása, akkor az összegzett magasságkülönbségben minden műszerálláspont műszerüllyedési hibája megjelenik, azaz a hiba halmozódik. Ha feltételezzük, hogy a műszerüllyedés egy műszerálláson belül, és a mérést hátra-előre, majd előre-hátra irányban is elvégezzük, akkor a meghatározott magasságkülönbségből a műszerüllyedés okozta hiba kiesik. Ez a szabatos szintezés módszere. A kisebb megbízhatóságú szintezéseknél elegendő a mérést oda-vissza irányban elvégezni, és ekkor – egyenletes és azonos mértékű műszerüllyedést feltételezve – a közepelt magasságkülönbségből a hiba hatása kiesik. A hiba hatását csökkenteni lehet a műszerlábak gondos letaposásával.



- **Lécsüllyedés.** Ha a műszer átállása idején, azaz a szintezőlécre végzett előre leolvasás és az átállás után ugyanarra a szintezőlécre végzett hátra leolvasás időpontja között a szintezőléc helyzete magassági értelemben megváltozik, lécsüllyedésről beszélünk. A lécsüllyedés a műszersüllyedéshez hasonlóan halmozódásra hajlamos hiba. A lécsüllyedés hatásának csökkentésére a kötőponton elhelyezett sarut bele kell taposni a földre. Amennyiben vascsöveket vagy fakarót használunk a kötőponton, úgy azokat megfelelő mélységbe le kell ütni, és célszerűen a mérés előtt egy napig állni kell hagyni őket. Ez az időtartam alatt a cövek-föld kölcsönhatás erői nyugalomba kerülnek, és várhatóan sem süllyedés, sem azzal ellentétes „kiemelkedés” nem fog előfordulni a mérés közben. Természetesen a hátra és előre mérések között a lécet a kötőpontról nem szabad levenni, azon el kell fordítani. Ha a szintezést oda-vissza értelemben, egyenletes sebességgel végezzük, akkor a közepelt magasságkülönbségekből a hiba hatása kiesik.
- **Refrakció.** A légkör egy inhomogén közeg. A fény csak az optikailag egynemű környezetben halad egyenes vonalban, a levegő azonban eltérő sűrűségű és összetételű rétegekből áll, tehát a fény rajta áthaladva Snellius-Descart törvénye alapján törést szenved. Ebben a bekezdésben a szintezés szempontjából fontos alsó 3-4 méteres réteg tulajdonságaival fogunk foglalkozni, elsősorban a hőmérséklet változásával, amely a legfőbb oka a levegő sűrűségváltozásának, és ezzel a refrakciónak. A Nap sugarai felmelegítik a talajt, az pedig a felette lévő levegőréteget. A hőmérséklet nappal a magassággal csökken, éjszaka pedig fordítva, a magassággal nő. Ez azt jelenti, hogy éjszaka alul a hidegebb, tehát sűrűbb levegőrétegek helyezkednek el. A Nap felkeltével a talaj elkezd felmelegedni, és a napkelte utáni első félórában fellép a léglengés jelensége: egy-egy nagyobb, felmelegedett légtömeg felemelkedése. Ebben az időszakban szintezni nem szabad, mert a kép a szintezőműszer látmezejében a léglengés hatására lassú periódusú lengő mozgást végez, amely téves lécleolvasáshoz vezethet. A léglengést követő kb. 2 órás időszakban a távcsőben látható kép nyugodt lesz, majd utána beáll az izotermia állapota: azaz a légkör egyensúlyba kerül, a hőmérséklete nem fog változni a magassággal. Az izotermia állapotát követően az alsó légrétegek már melegebbek lesznek a felettük lévőknél, a légkör állapota labilissá válik. Az izotermia időszakától számítva kb. 1 óra múlva megkezdődik az alsó légrétegek felfelé áramlása, azaz légrezgés lép fel. A légrezgés azt jelenti, hogy megindul a melegebb és hidegebb levegő részecskék időtől és helytől függő véletlenszerű helycseréje. A távcsőben a kép remegni kezd. A légrezgés állapota a déli órákban éri el maximumát. Délután a légkör változásai a reggelivel ellentétes sorrendben játszódnak le: légrezgés, izotermia, nyugodt időszak, léglengés. Szintezésre tehát a legalkalmasabb időszak a napkelte utáni félórával kezdődő 2-3 órás időszak, valamint a napnyugta előtti félórával végződő 2-3 órás időszak. Vízszintes terepen a refrakció sem nappal, sem éjszaka végzett szintezés esetén nem okoz szabályos hibát a magasságkülönbségben. Lejtős terepen a hátra és előre leolvasásnál az irányvonal eltérő magasságban halad a talaj felett, tehát eltérő hőmérsékletű és sűrűségű rétegben. Ebben az esetben mind nappali, mind éjszakai mérésnél a magasságkülönbséget a refrakcióból eredően szabályos hiba terheli. A refrakció hatása csökkenthető, ha nem engedjük az irányvonalat 0.50 méternél alacsonyabban haladni a talaj felett, valamint korlátozzuk a maximális műszer-léc távolságot. Ennek oka, hogy a refrakciógörbe egy körnek fogható fel, tehát hatása a léctávolság négyzetével arányosan nő.
- **Szintfelület görbültségének hatása.** Szintezéskor nem a szintfelülettől, hanem a szintfelület műszerálláspontbeli érintőjétől mért távolságot mérjük meg. A szintfelület görbültségének figyelmen kívül hagyása tehát szabályos hibát okoz. Ha azonos műszer-léc távolságokat veszünk fel, akkor az érintősík mind a két lécnél ugyanolyan mértékben tér el a szintfelülettől, azaz hatása a két lécleolvasásra azonos értékű lesz. A műszerállásponton belül a magasságkülönbséget a hátra leolvasás és az előre leolvasás különbségeként számítjuk, azaz a számított magasságkülönbség értéke mentes a hiba hatásától. (Lásd: a 9.3 ábrát és a 9.3 egyenletet.)

## 6. 9.6 A szintezés végrehajtásának gyakorlati szabályai

Az előző fejezetekben megismerkedtünk a szintezőműszerek fajtáival, a szintezés szabályos hibaforrásaival és kiköszöbölésük módjával. Ebben a fejezetben a szintezés gyakorlati végrehajtásának szabályait foglaljuk össze.

A lécet felállítjuk a vonal kezdőpontján, erre a lécre fogjuk végezni az első hátra leolvasást. A másik léces elindul a hátsó ponttól, és vagy lépéssel, vagy szalaggal kiméri a léc-műszer távolságot, és ott megjelöli a műszerállás helyét. A műszeres feláll ezen a ponton, míg az előre léces kimérve az előbbi léc-műszer távolságot szintén feláll előre irányban. A szintezősarut leteszi a földre, jól letapossa, és a közepére helyezi a szintezőlécet. Az észlelő miután jól letaposta a műszer lábait, az állótengelyt közelítőleg függőlegessé teszi a szelencés libellával. Megirányozza az irányzó dioptrával vagy a műszer tetején elhelyezett sínnel a hátra léc középvonalát, majd megszünteti a parallaxist, és a paránycsavar segítségével elvégzi a pontos irányzást. Az álló irányzálnak

és a lécc tengelyének fedésbe kell kerülnie. Leolvas a műszer három szálán négy számjegyet. Az első kettőt a léccen megírt számok alapján, a harmadikat az osztások megszámlálásával, a negyediket, azaz a milliméter értéket (centiméteres osztást feltételezve) pedig becsléssel. Az előre léccen ugyanezt a műveletsort kell elvégezni azzal a különbséggel, hogy azonos műszer-lécc távolságot esetén az előre lécc irányzásánál már nem lép fel parallaxis. A jegyzőkönyvvezető felírja a jegyzőkönyvbe a három szálon tett leolvasásokat mind a hátra, mind az előre lécc esetében. Képezi a leolvasásokból a magasságkülönbségeket, és ha azok hibahatáron belül egyeznek, akkor tovább lehet indulni a következő álláspontokra. A volt első lécces nem mozdul, csak óvatosan átforgat a szintezőléccet a másik irányba. Az észlelő vállon tovább viszi a műszert, és most a volt hátsó lécces méri ki a műszer-lécc távolságot előre irányban. Ha mindig a leendő előre lécces méri ki a műszer-lécc távolságot biztosítani tudjuk a hátra és előre távolságok egyenlőségét. A második és a további műszerálláspontokon a fentebb leírt folyamatot kell ismételni. A szintezés legfontosabb gyakorlati szabályait a következőkben lehetne összefoglalni:

- A műszer-lécc távolságok azonosak legyenek.
- A szelencés libella buborékját az állótengely közelítő függőlegessé tételéhez mindig gondosan középre kell állítani a műszer és a lécc esetében is.
- A hátra és előre irányzás között a parallaxiscsavarhoz feleslegesen hozzányúlni nem szabad.
- A műszerlábakat és a szintezősarut gondosan le kell taposni.
- A szintezőműszert óvni kell az egyoldalú felmelegedéstől.
- A szintezést a lehetőségekhez és a pontossági követelményekhez mérten oda-vissza irányban kell végezni.
- A mérést csak arra alkalmas időben és egyenletes sebességgel szabad végrehajtani.
- A mérést páros számú műszerállásban kell elvégezni.

## 7. 9.7 A szintezés várható pontossága, az irányvonal középíngadozása és a kilométeres középhiba

Tételezzük fel, hogy a szintezésbeni léccleolvasásokat csak véletlen jellegű hibák terhelik. A végpontok magasságkülönbségének középhibája a léccleolvasások középhibájától, valamint a műszer-lécc távolságtól függ. A mérőfelszerelést jellemző középhibát az **irányvonal középíngadozásának** nevezzük:

$$\alpha = \frac{m_i}{d}$$

9.10. Egyenlet

ahol  $m_i$  a léccleolvasás középhibája,  $d$  a műszer-lécc távolság,  $\alpha$  pedig az irányvonal középíngadozása. Ha egy  $n$  darab műszerállásból álló vonalat mértünk végig, a műszer-lécc távolságok mindenhol egyezők voltak, valamint minden műszerálláson belüli magasságkülönbséget ugyanakkora középhibával ( $m_{\Delta m}$ ) határoztunk meg, akkor a végpontok magasságkülönbségének középhibája a hibaterjedés törvénye alapján:

$$m_m = m_{\Delta m} \cdot \sqrt{n} = m_i \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{n} = m_i \cdot \sqrt{2n} = \alpha \cdot d \cdot \sqrt{2n}$$

9.11. Egyenlet

Ha a műszerállások száma helyett a vonal  $L$  hosszát helyettesítjük be, ahol  $L=n \cdot 2d$ , akkor

$$m_m = \alpha \cdot \sqrt{L \cdot d}$$

9.12. Egyenlet

Amennyiben  $L$  helyére 1 kilométert helyettesítünk be, úgy megkapjuk a szintezés **egyirányú a priori (előzetes) középhibáját**, amely jól jellemzi a szintezés kilométeres középhibáját. A képletbe  $\alpha$ -át radiánban,  $L$  és  $d$  értékét méterben kell behelyettesíteni, és  $m_m$  értékét is méterben fogjuk megkapni. Ha a szintezést **oda-vissza irányban végeztük**, akkor az a priori középhiba:

$$m_{m,oda-vizsa} = \frac{m_{km}}{\sqrt{2}}$$

9.13. Egyenlet

Ha azt is tudni szeretnénk, hogy mekkora a szabályos hibák hatása a végpontok magasságkülönbségében, akkor ki kell számítanunk a szintezés **a posteriori (utólagos) középhibáját**. Tételezzük fel tehát, hogy a szintezést oda-vissza irányban végeztük, n darab műszerállásban, és a vonal L hosszúságú volt. Az oda és a vissza irányú szintezéssel meghatározott magasságkülönbségek közötti eltérés, az úgynevezett **észlelési differencia** legyen  $\Delta$ . A bizonyítás közreadása nélkül az **oda-vissza szintezés kilométeres a posteriori középhibája**:

$$m_{km} = \sqrt{\frac{1}{4n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i^2}{L_i}}$$

9.14. Egyenlet

Az **egyirányban végzett szintezés kilométeres a posteriori középhibája**:

$$m_{km} = \sqrt{\frac{1}{2n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i^2}{L_i}}$$

9.15. Egyenlet

Minél jobban egyezik az apriori és az a posteriori középhiba, annál jobban sikerült a mérésünkből a szabályos hibákat kiküszöbölni. Érdekességként megjegyezzük, hogy alappont-meghatározásnál az észlelési differenci értékére szoktak megadni hibahatárokat. (9-1. táblázat)

### 9-1. táblázat -

Típus	Hibahatár (mm)
Negyedrendű vonalszintezés	$15 \cdot \sqrt{L_{km}}$
Ötödrendű vonalszintezés	$20 \cdot \sqrt{L_{km}}$

Szabatos szintezésnél nem csak az észlelési differencia, hanem az a posteriori középhiba értékére is szoktak megadni hibahatárokat. Végezetül az apriori kilométeres középhiba függvényében összefoglaljuk a szintezőműszerek típusait. (9-2. táblázat)

### 9-2. táblázat -

szintezőműszer	kilométeres középhiba (mm)
szabatos, legnagyobb pontosságú	$m_{km} \leq \pm 0.5$
szabatos, nagy pontosságú	$\pm 0.5 < m_{km} \leq \pm 2.0$
közepes pontosságú (mérnöki)	$\pm 2.0 < m_{km} \leq \pm 6.0$
kis pontosságú (építész)	$\pm 6.0 < m_{km} \leq \pm 20.0$

## 8. 9.8 Összefoglalás

A modul során megismerkedtünk a magasság fogalmaival, a különböző magasságmérési eljárások legfontosabb jellemzőivel. Részletesen tárgyaltuk a szintezés alapelvét, az optikai és digitális szintezőműszerek felépítését és vizsgálatát. Részletesen kifejtettük a szintezés szabályos hibaforrásait, a hibák hatását a léceleolvasásra és a számított magasságkülönbségekre. A modul utolsó részében megismerkedtünk a szintezés végrehajtásának gyakorlati szabályaival.

### Önellenőrző kérdések:

1. Milyen magasság fogalmakat és magasságmérési eljárásokat ismer?
2. Ismertesse a szintezés alapelvét! Rajzoljon hozzá ábrát is!
3. Ismertesse a libellás szintezőműszereket!
4. Ismertesse a kompenzátoros szintezőműszereket!
5. Hogyan működnek a digitális szintezőműszerek?
6. A szintezés szabályos hibaforrásai közül, melyek a mérőműszer hibái? Hogyan történik ezek vizsgálata?
7. A szintezés szabályos hibaforrásai közül, melyek a mérőfelszerelés hibái?
8. A szintezés szabályos hibaforrásai közül, melyek a külső körülmények okozta hibák?
9. Ismertesse a szintezés végrehajtásának gyakorlati szabályait!
10. Milyen megbízhatósági mérőszámokat alkalmazunk a szintezés jellemzésére?

## Irodalomjegyzék

- Bácsatyai 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.
- 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 (Átdolgozott és bővített kiadás)*, 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. et al.: *3D modelling by advanced total station*, Selcuk University, Athén, 2007.