

Nyugat-magyarországi Egyetem
Geoinformatikai Kar

A magasság fogalma, meghatározásának módszerei, ezek fejlődése

SZAKDOLGOZAT

Konzulens:

Dr. Ágfalvi Mihály főiskolai tanár
Horváth Attila földmérő mérnök

Készítette:

Farkas Csaba
Nappali tagozat
Földmérő szak
Geoinformatika szakirány

Székesfehérvár
2011



Földmérő és Földrendező Mérnök BSc Szak
Geoinformatika szakirány
Nappali tagozat
Szakdolgozat száma: 131 /2011

FARKAS CSABA
szakdolgozati feladata

A szakdolgozat címe : a magasság fogalma, meghatározásának módszerei, műszerei, ezek fejlődése.

A feladat leírása :

1. Foglalja össze a magasság fogalmát, a fogalom tartalmának változásait, a magasság meghatározásának elméleti és gyakorlati célját.
2. Ismertesse a magasságmeghatározás módszereit, műszereit.
3. Részletesen foglalkozzon a szintezéssel, annak műszereivel, eszközeivel, s azok fejlődésével.
4. Végezzen kísérleti méréseket különböző műszerek teljesítményeinek összehasonlítása céljából.
5. Részletesen írjon a végzett munkáról.

A beadandó munkarészek :

1. Műszaki leírás.
2. Mérési, számítási munkarészek.

Konzulens: dr. Ágfalvi Mihály főiskolai tanár,
Horváth Attila földmérő mérnök.

Beadási határidő: 2011. november 28.

Székesfehérvár, 2011. február 15.


Dr. Busics György
tanszékvezető


Dr. Mélykúti Gábor
dékán



NYILATKOZAT

Alulírott FARKAS CSABA (neptun kód: XXXXXXXXXX ...) jelen
nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a
A MAGASSÁG FOGALMA, MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI, MŰSZEREI, EZEK FELV. című

szakdolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-Magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Székesfehérvár, 2011

..... Farkas Csaba

Hallgató

Nyugat-magyarországi Egyetem

Szakdolgozat száma: 131/2011

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

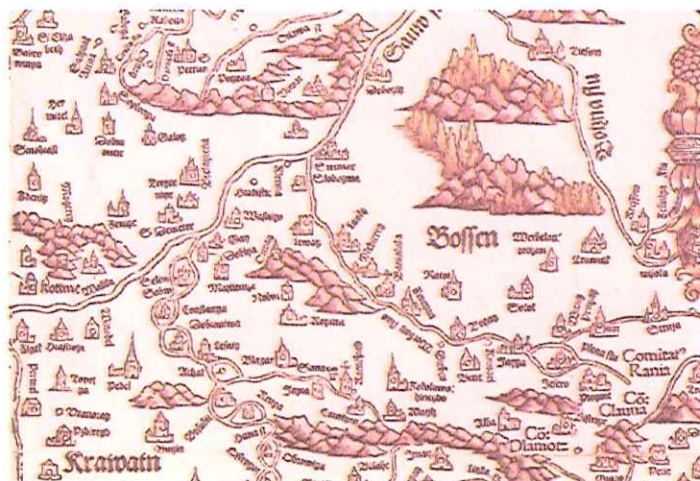
36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Magasságmeghatározás elméletben	4
2.1. Magasságfogalmak	4
2.1.1. Ortométeres magasság	4
2.1.2. Dimanikai magasság	5
2.1.3. Normálmagasság és ellipszoidi magasság	5
2.1.4. Geopotenciális érték.....	6
2.2. A magasságmeghatározás célja	7
2.3. A magasságmeghatározás módszerei.....	12
2.3.1. Geometriai módszer	12
2.3.2. Trigonometriai módszer.....	14
2.3.3. Fizikai elvű módszerek	15
3. Szintezés	17
3.1. Szintezés végrehajtása	18
3.2. A szintezés hibaforrásai	23
4. Szintezőműszerek	32
4.1. Libellás szintezőműszerek	33
4.1.1. Libellás szintezőműszerek felépítése.....	33
4.1.2. A libellás szintezőműszerekkel szembeni követelmények	36
4.1.3. Libellás műszerek fejlődése	37
4.2. Kompenzátoros műszerek	39
4.2.1. Kompenzátoros műszerek felépítése	39
4.2.2. Szálkereszt-vezérlésű kompenzátor típusok	42
4.2.3. Objektívvezérlésű kompenzátorok	44
4.2.4. Objektív előtt elhelyezett kompenzátorok	45
4.2.5. Objektív és a szálkereszt között elhelyezkedő kompenzátorok.....	45
4.2.6. A kompenzátoros szintezőműszerek vizsgálata.....	50
4.3. Digitális szintezőműszerek	51
4.3.1. A passzív mérési eljárás.....	51
4.3.2. Digitális szintezés hibaforrásai	53
5. Összehasonlító mérések	57
5.1. A műszerek	57
5.2. A mérések végrehajtása	58
5.3. Időbeli összehasonlítás	59
5.4. A mérések eredményeinek összehasonlítása	61
6. Összefoglalás	65
7. Irodalomjegyzék	68

1. Bevezetés

Az embereket mindig érdekelte az őket körülvevő világ. A szűkebb és tágabb környezetükről pedig modelleket készítettek. A valós világ modellezése egy igen bonyolult és összetett folyamat. Egy modell elkészítése előtt már feltételezésekkel kell élni, hiszen például egy ház homlokzatának modelljét a jellemző pontok (pl. sarokpontok) térbeli koordinátaival, esetleg az ezekhez rendelt szín-intenzitás értékekkel modellezzük, azonban modellezni kívánt objektum jóval több mint pár koordináta, hiszen akármilyen valóság-hű modellt is készítünk, nem lehet megfogni például. Az egyik legfontosabb ismérve a modelleknek, hogy a valóságot ábrázolják – valamilyen formában egyszerűsítve. Modell egy térkép, fénykép, úrfelvétel, de egy szabadkézi rajz is. Az elkészítésénél különböző szempontokat veszünk figyelembe a tervezett felhasználástól függően. Minél több szempontot veszünk figyelembe az elkészítésénél, annál komplexebb modellt kapunk, annál több feladat megoldásához használhatjuk. Vigyáznunk kell, mert a túl sok (esetleg felesleges) adat között nehéz kiigazodni. Jó példa erre egy tervezési alaptérkép, ahol fontos információ hogy az adott helyen fa, vagy fasor van-e, de mindegy hogy az akácfa vagy bükkfa.



1. ábra Részlet a Lázár - térképből

Hogyan is kapjuk meg a valós világ egy kis részének modelljét? Az első lépés az objektum felmérése. Ez lehet valamilyen geodéziai mérés, egy fénykép elkészítése, de akár szabad szemmel arányok, színek, távolságok becslése is elég lehet egy rajz, vagy festmény elkészítéséhez. A mérés után következik a feldolgozás, amikor a mérés eredményét megvizsgáljuk, a szükséges számításokat és javításokat elvégezzük, végül valamilyen formában megjelenítjük: rajzi illetve numerikus – szöveges formában.

A térképek elkészítésénél a modellezést kettő típusra bonthatjuk: a természetes és mesterséges objektumokat meg kell határozniuk síkrajzi és magassági értelemben. Néhány térképen akár mindkettőt egyszerre ábrázolhatjuk (pl. topográfiai). Kezdetben ezek látványosak voltak, ám nem szolgáltatottak korrekt magassági adatokat. A későbbiekben kialakult mérési, de főleg az ábrázolási módszerek azonban úgy tették lehetővé a látványos, plasztikus megjelenítést, hogy mellette pontos adatokat is kaptunk. Ezzel szemben egy tervezési alaptérképen a szép színes, 3 dimenziós hatást keltő látvány háttérbe szorul, míg a numerikus adatok pontossága, a méretarányos ábrázolás előtérbe kerül.

A magasság meghatározására különböző módszerek léteznek, azonban egy fontos kérdés felmerülhet: mitől számítva 130 méter egy geodéziai alappont magassága? A válaszadást a Föld alakjának meghatározásával kell kezdenünk: fizikai és matematikai alakról beszélhetünk. A fizikai alak egy konkrét megfogható de matematikai összefüggésekkel nem leírható felületet jelent, amit a tengerek és szárazföldek felületei együttesen határoznak meg. A matematikai felszín alatt a geoidot értjük, amit a nyugalomban lévő tengerszint modellje. A geoidon meghatározott alappontokat zárt összefüggésekkel nem tudjuk meghatározni, ezért egy helyettesítő felületen, az ún. vonatkoztatási ellipszoidon értelmezzük.

Magyarország esetében az ún. Adriai, majd a Balti magasságot használjuk. Az alaphálózat kialakítására (mérésére és számítására) hazánkban négy alkalommal került sor. A szintezéssel mért hálózatok időrendi elhelyezését a következő táblázat segíti:

Hálózat neve	Kiépítésének ideje
Katonai szintezési hálózat	1872 – 1923
Gárdonyi-féle hálózat	1921 – 1949
Bendeffy-féle hálózat	1948 – 1964
EOMA	1973 – 2006

1. Táblázat Magyarországi magassági hálózatok

Nem írtam a táblázatba, lévén háromdimenziós helymeghatározás, de fontosnak tartom megemlíteni, hogy az OGPSH mérése során a magasságot is meghatározták. Bár ez ellipszoid feletti magasság, átszámítható Balti magasságba, így akár alsógeodéziai feladatokra is használható lenne. Az idő múlásával mind a technikák, mind pedig a műszerek hatalmas fejlődésen mentek keresztül. A legelterjedtebb, és legpontosabb



módszer azonban továbbra is a szintezés maradt. Az ezzel kapcsolatos műszerek, a felszerelés, ezek fizikai és geodéziai alapja – a magasság, mint fogalom definiálása – dolgozatom fő témája. Emellett egy kiválasztott szakaszon hasonlítok össze néhány műszert több szempont szerint.

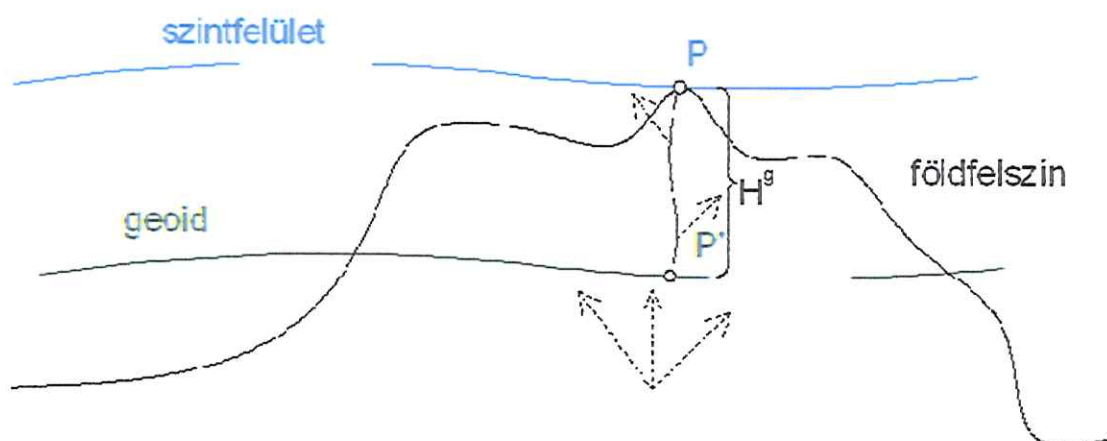
2. Magasságmeghatározás elméletben

2.1. Magasságfogalmak

A különböző magasságfogalmak ismerete fontos, hiszen sokféle magasság létezik, ezek közül ki kell választani azt amelyik az adott feladat elvégzéséhez (legyen az felső-, vagy alsógeodéziai) szükséges.

2.1.1. Ortométeres magasság

A definiálásához a következő ábra szükséges:



2. ábra Ortométeres magasság

A P-P' pontok által meghatározott függővonal mentén (kettős csavarodású térbeli görbe) mért H^g hosszúságú szakasz jelenti az ortométeres magasságot. Kiszámításához szükség van a geopotenciális értékre, és a szakaszra vonatkozó nehézségi térerősség átlagos értékére: a két mennyiség hányadosából kapjuk meg a magasság értékét (Bácsatyai, 2010). A mennyiség számításához szükséges a szintezési vonal és a geoidot meghatározó mareográf közötti szakaszon végzett mérések eredménye, és a P-P' szakasz átlagos nehézségi térerősség értéke: ezt nem ismerjük pontosan, és a szárazföldön mért értéket át

kell számítanunk a geoidra az ún. Pioncaré-Prey féle modell felhasználásával. Bár az ortométeres magasság már hosszúság-jellegű mértékegység és a geoidtól mérjük a magasságot, az azonos ortométeres magasságú pontok még sincsenek azonos szintfelületen. Ennek az az oka, hogy a nehézségi erő értéke a sarkok felé nő, így a szintfelületek a sarkok felé egyre közelebb vannak egymáshoz, tehát nem párhuzamosak. Az ortométeres magasságot pedig a következő képlettel számíthatjuk:

$$H^g = \frac{W_p - W_0}{g_k} \quad (1.)$$

Ahol a W_p és W_0 az adott szintfelületen illetve a geoidon mért *a nehézségi erő* potenciál értékek, g_k pedig a nehézségi erő PP' szakaszra eső átlagos értéke (Bácsatyai, 2010).

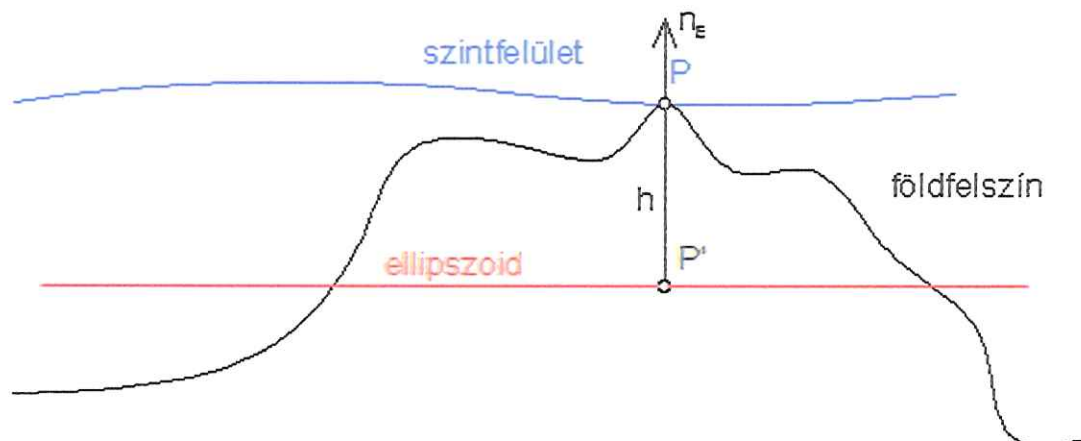
2.1.2. Dimanikai magasság

Az ortométeres magasság hátrányát kiküszöbölendő, ha a geopotenciális értéket egy állandó mennyiséggel osztjuk el, az ilyen módon kapott azonos dimanikai magasságú pontok azonos szintfelületen lesznek. Ez az állandó mennyiség pedig a szintellipszoid (ellipszoid alakú szintfelület) *pld.* 45°-os szélességi körre vonatkozó *normál* nehézségi erő értéke. Így a következő képletet kell a számításhoz felhasználnunk:

$$H_p = \frac{W_p - W_0}{\gamma_{45^\circ}} \quad (2.)$$

(Bácsatyai, 2010)

2.1.3. Normálmagasság és ellipszoidi magasság



3. ábra Ellipszoidi magasság

E magasságfogalom definiálásához szükség van az ellipszoidi magasság meghatározásához. A fenti ábrán h jelöléssel látható a szintellipszoidi normális mentén vett magasság. E magasság felezőpontjára számított normál nehézségi gyorsulás értékkel kell elosztanunk a geopotenciális értéket, hogy megkapjuk a normálmagasságot, ami ismét egy hosszúság jellegű mennyiség:

$$H_p = \frac{W_p - W_0}{\gamma_p} \quad (3.)$$

A normálmagasság és az ellipszoidi magasság különbségét magassági rendellenességnek hívjuk.

$$\xi = h - H_p \quad (4.)$$

A magassági rendellenességet kivonva az ellipszoidi magasságból tehát megkapjuk a normálmagasságot. A Föld egészére viszonyítva ez jelöli ki a telluroidot. A telluroid tehát egy olyan felszín, ami nem tartalmazza a magasság rendellenességet (Bácsatyai, 2010).

2.1.4. Geopotenciális érték

Ennek definiálásához azonban szükségesnek tartom két másik fogalom ismertetését is. Az első a nehézségi potenciál: Egy erőter pontbeli potenciálja adott pontban az oda elhelyezett, egységnyi tömegű próbatestnek a végtelenbe való elmozgatásához szükséges munkát jelenti. Itt az erőter alatt a Föld saját nehézségi erőterét értjük. Másképpen megfogalmazva potenciál alatt azt a függvényt értjük, amelynek a koordinátatengelyek irányában vett első parciális deriváltjai a ható erő megfelelő tengelyirányú komponenseivel (vetületeivel) egyenlők. A következő fogalom a szintfelület. Szintfelület alatt olyan felületet értünk, aminek minden pontjában azonos a potenciálértéke, és a nehézségi erő iránya minden pontjában merőleges rá. Ez tehát egy mindenhol azonos magasságú felület, a magasság nem hosszúság jellegű mértékegységet értek.

E két fogalom szükséges a geopotenciális érték definiálásához. A geopotenciális érték egy ponton átmenő alapszintfelület és egy szintfelület potenciálkülönbsége. Az ilyen módon kapott magasság egy nem hosszúság-jellegű mennyiség, ennek megfelelően a meghatározása is különbözik egy hagyományos értelemben vett magasság meghatározásától. A szintezés mellett ugyanis gravimetriai méréseket (a nehézségi erő értéke adott pontban) is kell végeznünk. E két mérésből a következőképpen kapjuk az értéket:

$$K_p = \sum_1^n g_i \cdot m_i \quad (5.)$$

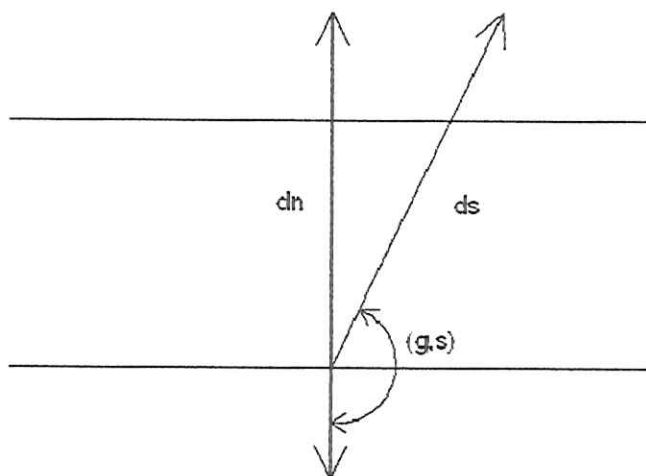


$$-K_p = W_p - W_0 \quad (6.)$$

A képletben a g_i a graviméteres mérések eredménye, az m_i pedig a szintezés eredményét jelenti. Az eredmény mértékegysége kilogalméter:

$$1\text{GPU} = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad (7.)$$

A fogalom teljes magyarázatához szükséges a következő ábra:



4. ábra Geometriai szintezés eredményeivel potenciálkülönbséget számíthatunk

A dn érték az elemi kis normális szakaszok értéke, amit geometriai szintezéssel határozunk meg. Helyettesíthető a magasságkülönbséggel. Felírhatjuk a következő összefüggést:

$$dW = -g \cdot dn \quad (8.)$$

A fenti képletben pedig a dn a következő kifejezéssel helyettesíthető:

$$dn = -ds \cdot \cos(g,s) \quad (9.)$$

(Bácsatyai, 2010)

2.2. A magasságmeghatározás célja

A különböző magasság-fogalmakhoz szükséges volt más, vele szorosan összefüggő dolgokat definiálni (pl szintfelület). Látható tehát hogy a magasság meghatározása sokkal összetettebb, mint elsőre tűnik. A szintfelület amihez a magasságot viszonyítjuk – vagyis az alapfelület – meghatározása önmagában nem egyszerű, hiszen fizikai fogalom. Ezenfelül az alapfelület – a geoid egy szabálytalan alakzat, és igen bonyolult

összefüggésekkel, feltevésekkel és modellekkel kapjuk meg egy pont geoid feletti magasságát. A geoid a Föld elméleti alakja, amit a belső tömegeloszlása és a tengely körüli forgása határoz meg.



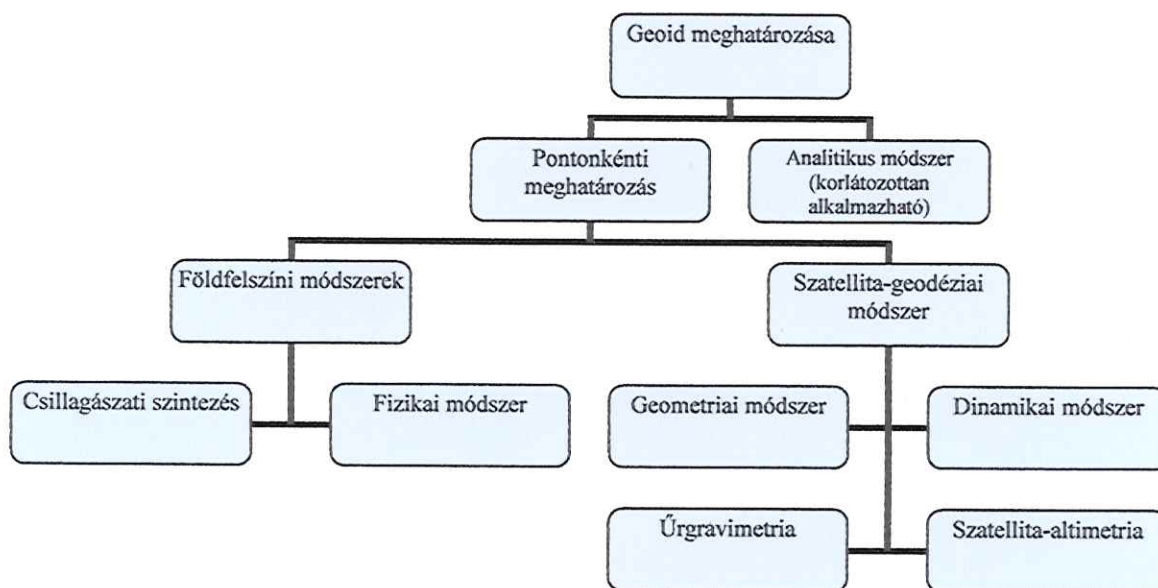
5. ábra A geoid valódi alakja megfelelő torzítással: az undulációk jelentős nagyításával

A geoid tulajdonképpen nem más, egy kiválasztott ponton átmenő szintfelülete a Föld nehézségi erőterének. Ezt a kiválasztott pontot egy középtengerszint (közepes vízszint) jelöli ki számunkra. A közepes szintet mareográfval, hosszú időn át végzett mérések kiértékelésével tudjuk meghatározni. Magyarország esetében először az Adriai tenger közép szintjéhez mért magasságot használták (1875-ben történt mérések alapján). 1960-ban áttértek a Balti alapszintre, ami a pontok abszolút magasságának 0.6747 méterrel való csökkentését jelentette. Ezt a középtengerszintet az oroszországi Kronstadt kikötőjében határozták meg. A mai földmérési gyakorlatban is a Balti magasságot használják.



6. ábra Kronstadt kikötője

A fentiekben ismertetett magasságfogalmak közül a mindennapi gyakorlatban nem használják mindet. Jó példa erre a geopotenciális érték, hiszen bár magasságot jelentő érték, nem hosszúság jellegű, és mérése is sokkal komplikáltabb egy egyszerű módszerhez (pl. geometriai szintezés) képest. A tulajdonképpeni mérése nem is lehetséges, más jellegű mérések eredményeiből lehet levezetni. A gyakorlati célok mellett azonban szükséges a Föld alakjának pontos ismerete is. Emellett a geoid, és a különböző koordináta-rendszerek szintellipszoidjainak lehető legpontosabb meghatározása is fontos szerepet játszik a magasságmeghatározásban, csakúgy mint a vetületi rendszerek. Ha meghatározunk tehát egy pontot a felszínen, akkor a mérési eredményeinket először a geoidra, onnan az alapfelületre, végül a vetületi síkra kel redukálnunk. Először a geoid pontos meghatározásával kell kezdenünk (létezik egy ún. kvázigeoid is, a geoid egy jó közelítése, amit a szintellipszoid pontjaihoz hozzáadott magassági rendellenességek határoznak meg, ezzel a normálmagasságot tudjuk meghatározni). Erre több módszer is létezik, amit a következő (6.) ábrán foglaltam össze.

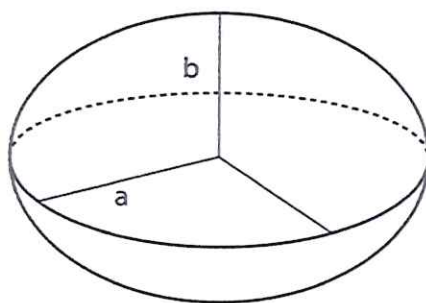


7. ábra Módszerek a geoid meghatározására

A vetítéshez Magyarországon 2 ellipszoidot használunk: az IUGG67 elnevezésűt (A Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió által 1967-ben meghatározott ellipszoid) az EOVS koordináták számításához, a WGS84 ellipszoidot pedig az UTM vetülethez. Így felületi koordinátákat kapunk, amit a műholdas helymeghatározásban használnak.

Ellipszoid neve	Félnagy tengely hossza (a)	Félkis tengely hossza (b)	Lapultság $f = \frac{a-b}{a}$
IUGG/67	6378160	6356774.516	1:298.247
WGS84	6378137	6356752.3142	1:298.257

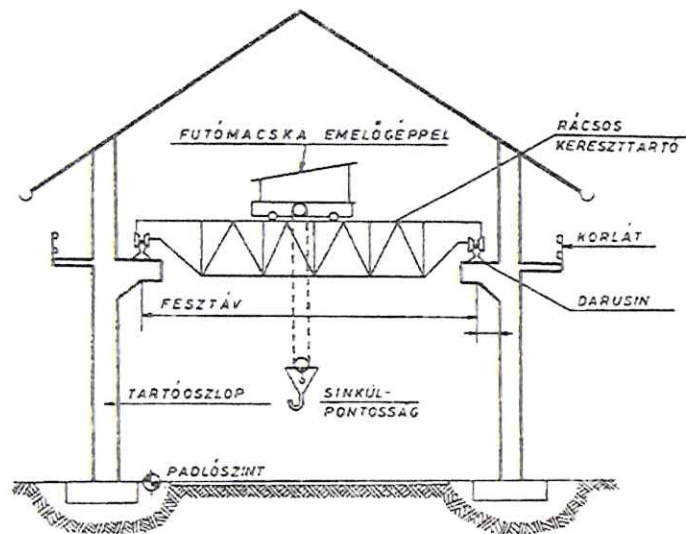
2. Táblázat Magyarországon használatos ellipszoidok főbb adatai



8. ábra A forgási ellipszoid tengelyei

A gyakorlati felhasználásnak több célja is lehet. Az legismertebb a topográfiai térképek elkészítéséhez kapcsolódik, ugyanis a domborzat ábrázolásához szükség van magassági adatokra. Itt beszélhetünk mind a polgári, mind pedig a katonai topográfiai térképekről. A másik fontos felhasználási területe a mérnökgeodézia. E szakterületen a legfontosabb cél az épülő létesítmények szerelésének irányítása, kitűzések, ellenőrző és mozgásvizsgálati mérések elvégzése közben előforduló magasságigény kielégítése. A felszín feletti létesítményekkel kapcsolatos feladatok közül megemlíthetjük a karcsú épületek szerelését, építés irányítását, és ellenőrzését. Karcsú épület például egy kémény, torony. Egy építési területen általában önálló magassági hálózatot hoznak létre, amit aztán összekapcsolnak az országos hálózattal. Példaként említhetjük a mélyművelésű bányákat is, ahol mind a bányanyitás, mind pedig a üzemeltetés során igen sok magasságmérési feladattal találkozunk. Kezdődik az aknatorony építésével, a különböző szállítóberendezések, kötélkorongok szerelésének irányításával. A felszín feletti létesítmények után a mélyben az üzemelés és építés során a bányabeli terek (vágatok és tárók kitűzése, hajtásának irányítása). Ezenkívül konvergenciamérések, és a szállítószalagok, szállítópályák szintjének ellenőrzése is gyakori feladat. Fontos hogy legyen egy alapponthálózat a felszínen, és a bányában is. Viszont az összhangot megteremteni csak úgy tudjuk, ha a két hálózatot összekapcsoljuk. Az aknamélységmérés, a nevével ellentétben nem az akna mélységének mérésére szolgál, annál inkább a felszíni és a mélyben lévő hálózat összekapcsolására. Végül pedig a bányaterület kiterjedésének megfelelően a bányaműveletek okozta felszínmozgások meghatározásával zárul. De a

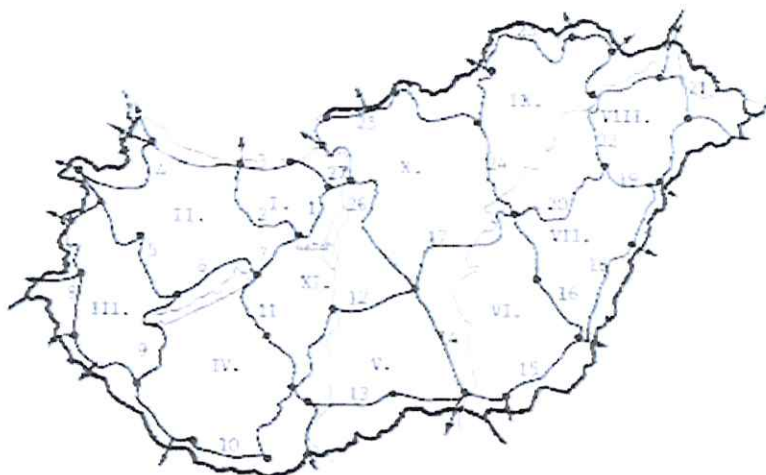
földalatti létesítményekhez soroljuk az alagutak, földalatti vasútvonalak, megállók építését is, ahol is hasonló feladatokkal kell megküzdenie a geodétáknak.



9. ábra Futódaruzszerkezet keresztmetszete

De példa lehet az előregyártott pillérek, oszlopok kitűzése, magassági elhelyezése. Itt különösen gonddal kell eljárni, hiszen az előre kitűzött helyekre, az előregyártott (azaz nem változtatható méretű) egységeket kell magasságilag a megfelelő helyre tenni. Épületek süllyedésvizsgálatakor is szükséges a magasság pontos ismerete. De egy épület belső felmérésekor, vagy darupályák építésénél, kitűzésénél is előfordulnak ilyen célú feladatok. Ezekkel a feladatokkal kapcsolatosan egy fontos dolgot szeretnék megemlíteni. Amint azt már írtam, számos esetben önálló magassági alapponthálózatot hoznak létre, ami illeszkedik az építési terület sajátosságaihoz, hiszen például a nehéz munkagépek mozgása és a terület folytonos változása miatt szükség lehet néhány olyan pontra, ami végig referenciaként szolgálhat, és nem mozdul el, vagy minimálisan (újrámérésre lehet szükség). A helyi hálózat jól szolgálhatja az építések irányítását, jó alapot adhat mindehhez, de szükséges az épületeket bekapcsolni az országos rendszerbe. Ehhez pedig kellenek olyan alappontok, amelyek magassága ismert az országos rendszerben, és a pontjelölés megfelel a vele szemben támasztott követelményeknek. Mint tudjuk, az alapponthálózatok egyre kihasználatlanabbak, hiszen GPS segítségével akárhol gyorsan és könnyedén meghatározhatunk szükséges számú alappontot. A magassági meghatározás azonban korántsem olyan egyszerű, hiszen a szabatos szintezéssel meghatározott magassági alappontok pontosságát nem lehet összehasonlítani egy GPS-szel történő meghatározással. Így tehát a magassági alappontok megléte szükséges sok esetben. Egy másik gyakorlatban használt feladat, ha a felmérés GPS-szel történt nagyobb

területen (pl. egy tervezési alaptérkép, ami egy egész települést foglal magába) a GPS-szel mért és szintezett magasságok összehasonlítása. A munkaterületen egy magassági alappontból levezetünk egy magasságot egy olyan ponthoz, ami műholdas helymeghatározó módszerrel is mérhető. Ha ezt több helyen is meg tesszük, ki tudjuk számítani a különbséget. Így javíthatjuk a mért magasságot, hiszen pl. egy csapadékelvezető rendszer megvalósításánál igen fontos, hogy korrekt kiinduló adatokkal tudjon a tervező dolgozni.

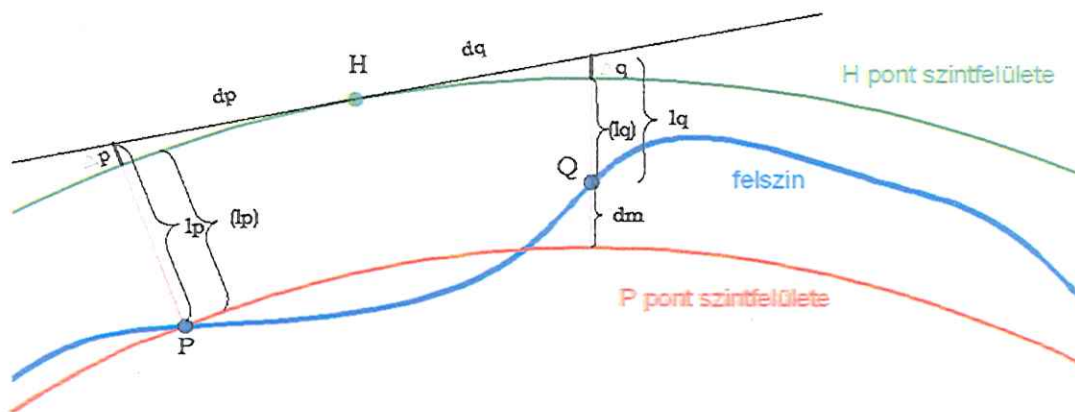


10. ábra Szintezési poligonok Magyarország területén

2.3. A magasságmeghatározás módszerei

A magasság meghatározásánál 3 típusú módszerről beszélünk. A geometriai módszer, a trigonometriai módszer és a fizikai módszer. Mindháromnak megvannak a maga sajátosságai, és felhasználási területei.

2.3.1. Geometriai módszer



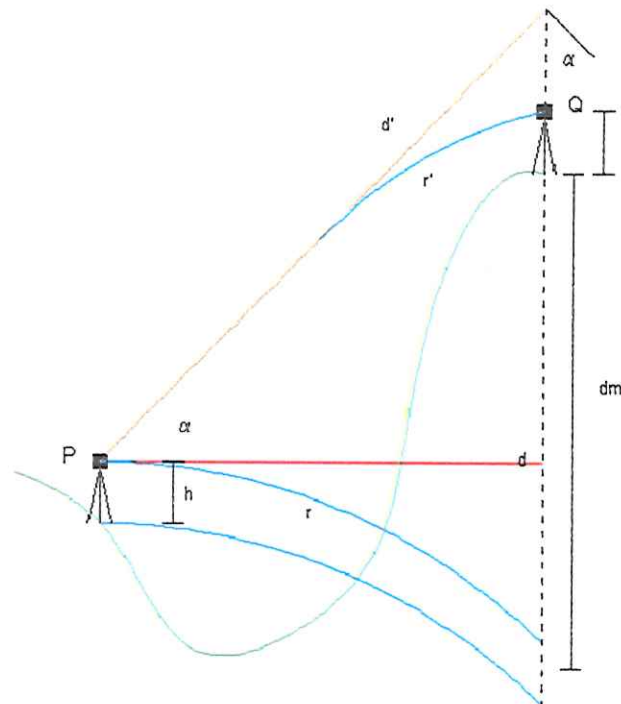
11. ábra Szintezés

A geometriai módszer lényegében a szintezést foglalja magában. Szintezéssel 2 adott pont magasságkülönbségét tudjuk meghatározni. Az meghatározásban 3 pont vesz részt. Az ábrán P-vel és Q-val jelölt két pont közötti magasságkülönbség meghatározása a cél, a középső, H-val jelölt pont pedig a műszer horizontját jelöli. Kis távolságok esetében pedig amennyiben teljesítjük a gyakorlat azon feltételét, hogy $d_p = d_q$, azaz egyenlő távolságra állunk fel a két léctől, akkor $D_p = D_q$ azaz a szintfelület érintő síkja és műszerhorizont távolsága mindkét mérendő pontnál egyenlő. Elméletben a kérdéses pontok H szintfelülettől való távolságát határozzuk meg, és egy egyszerű különbségképzéssel kapjuk meg a magasságot. A valóságban azonban a műszer irányvonalára illeszkedő vízszintes horizontsíktól való távolságot mérjük. A magasságkülönbséget, az ábrán d_m -mel jelölt távolságot a két távolságszakasz különbségével, azaz $l_q - l_p$ különbség számításával kapjuk meg. Az alapképlet igen leegyszerűsített formában tehát:

$$\Delta m = l_q - l_p \quad (10.)$$

Ebben a képletben nem szerepel a már említett $D_p = D_q$ távolság, hiszen értékük 0. Ha a magasságkülönbséget meghatároztuk, és adott a P pont abszolút magassága, akkor ismertté válik a Q pont abszolút magassága is. E módszer műszere a szintezőműszer. A meghatározás, a szintezésen belül is a szabatos szintezés a pontosabb módszerek közé tartozik, hátránya azonban, hogy korlátozott egy műszerállásban a pontok távolsága, illetve magasságkülönbsége is.

2.3.2. Trigonometriai módszer



12. ábra Trigonometriai magasságmérés

A trigonometriai módszernél hasonlóan 2 pont magasságkülönbségét tudjuk megmérni a következő módon. Az ábrán dm -mel jelöltem a pontok magasságának különbségét. Ez a két ponton (P és Q vizsgált pontok) átmenő szintfelület távolságát jelentené, a gyakorlatban azonban közelítésekkel kell élnünk. A következő feltételezésekkel kell élnünk:

1. A szintfelületek függőleges síkkal való metszésvonala kör
2. A d -n átmenő függőleges sík és d egyenes derékszöget zár be egymással
3. A P pontból Q pontba menő refrakciógörbe kör, sugara r'
4. A függőleges sík és d' -re merőleges egyenes α szöget zár be egymással.

Ezekkel a közelítésekkel a

$$dm = h - l + d \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{d^2}{2r} \cdot (1 - k) \quad (11.)$$

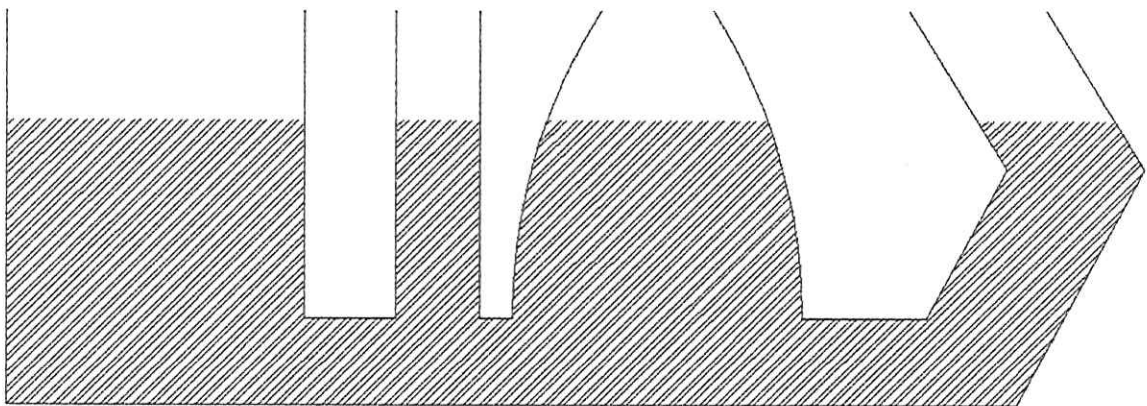
képlettel számíthatjuk a két pont magasságának különbségét. A képletben szereplő értékek közül h a műszer, l pedig a meghatározandó ponton lévő jelölés magassága, k pedig a refrakció miatti javítás. Értékét a következő képlettel számíthatjuk:

$$k = \frac{1}{\cos^3 \alpha} \cdot \frac{d^2}{2r'} \quad (12.)$$

Megemlíthetjük, hogy k értéke csak nagy távolság esetén (400 m fölött) ad nagyobb értéket. A trigonometriai magasságmérés műszere a teodolit, vagy bármilyen mérőállomás. A mért értékek: a műszerről prizmára menő magassági szög, a műszer és prizma magassága a pont felett, és a kettő vízszintes távolsága. Előnye, hogy nagy magasságkülönbségek meghatározására is alkalmas, ahogy a vízszintes távolság sem kötött, mint pl. szintezés esetén. A pontossága viszont kisebb, mert a műszermagasságot nehéz pontosan megmérni. A pontossága növelhető, ha trigonometriai szintezést alkalmazunk. Ekkor ugyanis, mivel célszerűen nem, vagy nehezen megközelíthető pontok magasságkülönbségének mérésére (illetve, amikor ez az érték igen nagy) használjuk, kiesik a műszermagasság, ami a legnagyobb hibát okozhatja a mérésben. Ez a mérnökgeodéziában gyakran használt módszer.

2.3.3. Fizikai elvű módszerek

A fizikai elvű magasságmérés egyik módszere a hidrosztatikai szintezés. A közlekedő edények elvén alapuló módszer igen pontos meghatározást tesz lehetővé (0.02-0.03 mm pontosság). Elvét a következő ábra szemlélteti:



13. ábra Különböző alakú és méretű edényekben azonos a folyadék szintje

A folyadék nyomása nem függ az edény alakjától, ezért az egymással összeköttetésben álló edényekben a folyadék szintje azonos. A hidrosztatikai szintezés esetében az edény szerepét egy fém, üveg előlapú hengeres edény tölti be, amit egy cső köt össze. A műszer fontosabb része az edény, ebből 2 típus látható lent a 14. illetve 15. ábrán. A vízszint a henger átlátszó üveggel fedett részében kell hogy legyen, ezért korlátozott a mérhető magasságkülönbség értéke.

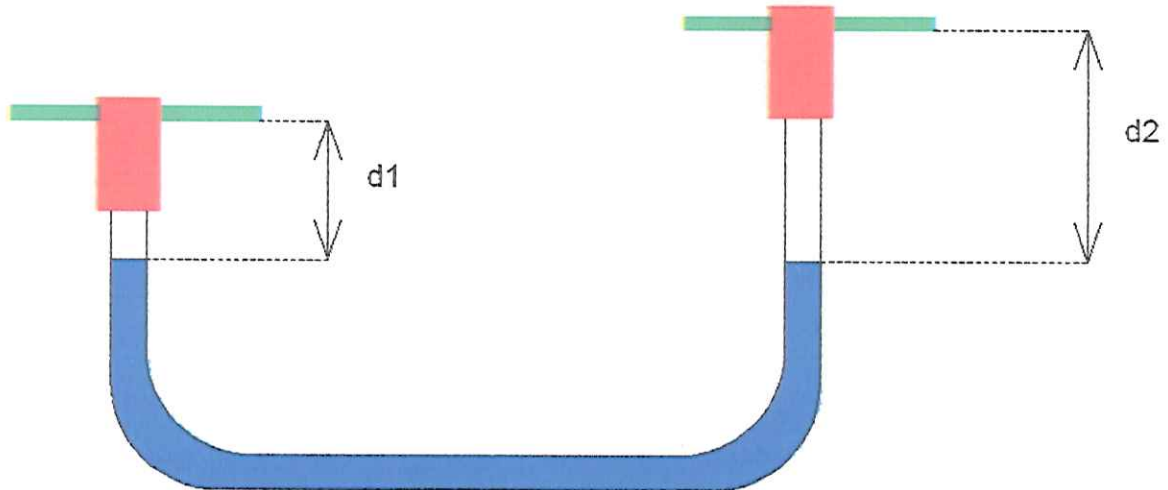
A 16. ábra mutatja a magasságmérés mikéntjét egy hidrosztatikai műszerrel.



15. ábra Miskolci Egyetemen készített hidrosztatikai szintező



14. ábra A Freibergi Praezisions Mechanic gyár Meisser-féle műszere



16. ábra A hidrosztatikai szintezés

Miután nyugalomba kerültek a csőben a víz, és a mérőeszközökben sem mozog, a műszerek felfüggesztési pontjától – aminek alját az ábrán zöld csíkkal jelöltem – a vízfelszínig lévő távolságot megmérjük mindkét helyen. A két mérés különbsége adja a pontok magasságkülönbségét. Ez a következő egyszerű képlettel fejezhető ki:



17. ábra A vízszint meghatározására szolgáló mérőcsúcs

$$\Delta m = d_2 - d_1$$

A hidrosztatikai szintezés igen korlátozottan használható magasságmérésre, hiszen az egy műszeregységgel mérhető maximális magasságkülönbség 10 cm. A mérési idő igen hosszú, mivel az edények mozgatása után meg kell várni, amíg a csőben a folyadék nyugalomba kerül. Előnye, hogy a távolságtól független (bár minél nagyobb a távolság, annál nehezebb biztosítani az összekötő cső teljes hosszán az azonos külső körülményeket), és a legpontosabb magassági meghatározást teszi lehetővé.

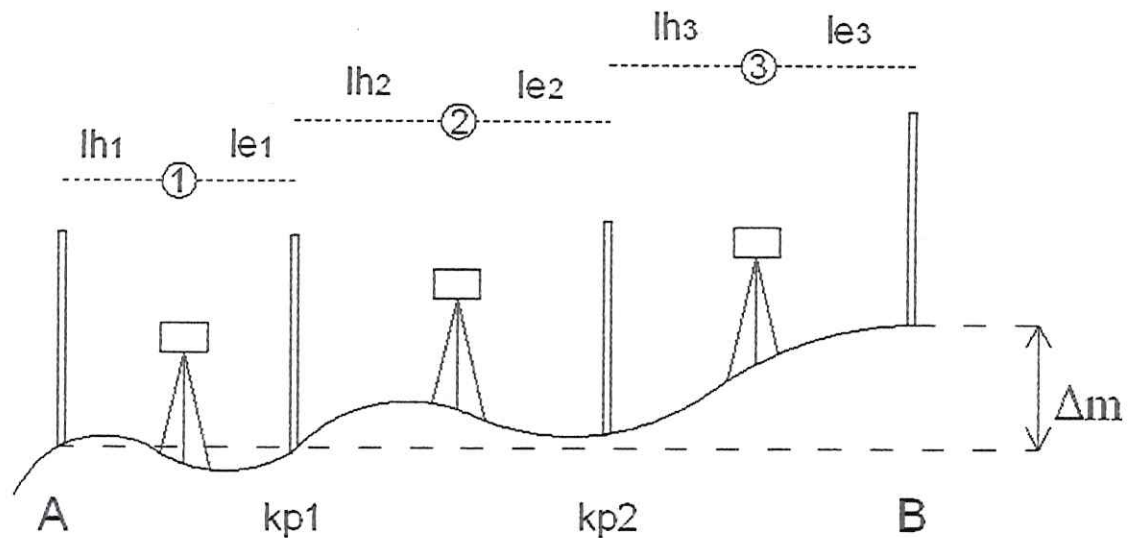
A következő módszernek már szorosabban köze van a légnyomáshoz. A barométeres magasságmérés egy igen pontatlan módszer. A lényege, hogy adott tengerszint feletti magasságnál a levegő nyomása által kifejtett erő fel-, illetve lefelé mozogva változik. A magasság és a légnyomás közötti kapcsolatra a következő összefüggést írhatjuk fel:

$$\log_{10} P \approx 5 - \frac{h}{15500} \quad (14.)$$

3. Szintezés

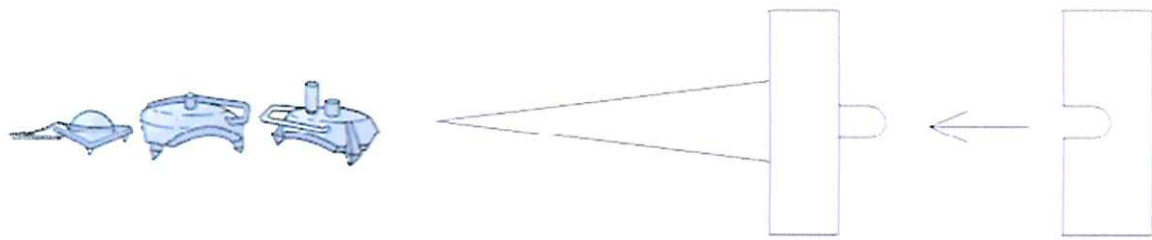
Már az ókorban is igény volt a magasság pontos mérésére, magasságkülönbségek meghatározására. A módszereket pedig a nagyobb pontosság igénye hívta életre. A legelterjedtebb és legpontosabb eljárás magasságkülönbségek mérésére a szintezés. Ezen belül létezik az alsógeodéziai munkákhoz kapcsolódóan szintezés, ami a gyakorlati munkák végrehajtását foglalja magában (különböző térképek készítése, mérnöki munkák végrehajtása). A másik csoport a felsőgeodéziai munkákhoz kapcsolódó ún. felsőrendű szintezés, ami az alsógeodéziai munkák végrehajtásához is szolgáltat alapadatokat. Ide tartozik még a kéregmozgások vizsgálata is. Attól függően, hogy mérnöki, avagy szélső pontosságú szintezést végzünk, a gyakorlati végrehajtás szabályai is változnak. Minél szigorúbbak a hibahatárok, annál több feltételnek kell eleget tennünk a gyakorlati végrehajtás során. Jól példa erre, ha megvizsgáljuk a műszer-léc távolságokat. Míg egy elsőrendű szintezésnél ez a távolság akár 60 méter is lehet, és az egy műszerállásban az előre és hátraléc távolságát a műszertől elegendő lépéssel meghatároznunk, ami körülbelül 1 méteres pontosságot eredményez, addig a szabatos szintezésnél a két távolságnak dm-re egyeznie kell (szalaggal ki kell mérni), és habár 35 méterig is elmehet ez a távolság, ideális esetben ez 20-25 méter, hogy a mérést kényelmesen el lehessen végezni.

3.1. Szintezés végrehajtása



18. ábra Szintezés több műszerállásban

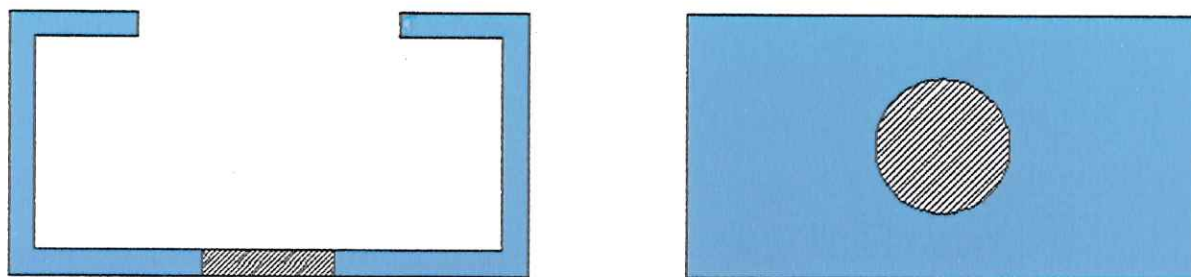
A korlátozott lécz-műszer távolságból és magasságkülönbségből adódóan nem lehet két távoli pont között egy műszerállásból megmérni a különbséget. Így szükségessé válik több álláspont, és így kötőpontok létesítése is. A műszerállás létesítése önmagában nem, azonban a kötőpontok létesítése többletmunkát kívánhat. Mérnöki pontosságú szintezésekhez kötőpontként megfelelő szintezősarú használata is (19. ábra bal oldal). A sarú alja 3 hegyes lábban végződik, így letaposás után nem mozdul el. A felső része egy gömbölyű fejű gombban végződik, aminek egyértelműen meghatározható a felső síkja. Így a szintezőlécet a tetejére lehet tenni, és a mérés végéig ott tarthatjuk anélkül, hogy elmozdulna. Nagyobb pontosságú szintezésekhez vascöveket (19. ábra jobb oldal) vagy fakarót használnak. Ideális esetben a mérés előtti napon kell leütni a ezeket a távolság pontos kimérése után. Vascövek esetén a leütéshez kalapácsot és az ábrán is látható leütő fejet használnak. Fontos a fej használata, hiszen ha a gomb megsérül, akkor kötőpontnak alkalmatlanná válik. A leütésnél ügyelni kell, hogy a cövek vízszintes rész felfeküdjön a földre, hiszen akkor különböző erőhatásokra (akár a lécz ráhelyezésekor is) elmozdulhat. A műszer-léc távolságnak a haladási irány felé és visszafelé egyeznie kell. Ezzel a szintfelület görbültségének hatását küszöböljük ki.



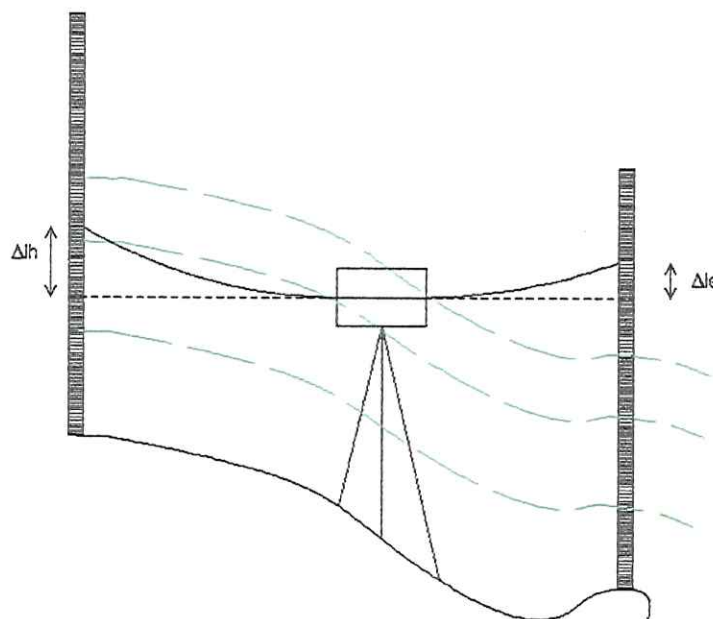
19. ábra Kötőpontok - szintezősaruk (bal oldal), vascövek és hozzá tartozó leverő fej (jobb oldal)

A mérés a következőképpen történik: két lécs esetén hátra, majd előre leolvasást végzünk. A különbséget pedig a két leolvasás különbségéből kapjuk. Itt a lécen 3 fekvőszál van, és mindhárom fekvőszálnál leolvassuk a léceket, majd a leolvasásból megfelelően képzett különbségnek egyeznie kell bizonyos határon belül. Szabatos szintezésnél a lécek kettős osztásúak, és emiatt a leolvasás is változik. Itt az első 3 (esetleg 4) számjegyet a kettős osztású lécről, a második 3 (ami már századmillimétert jelent) számjegyet pedig a mikrométerskála segítségével határozzuk meg. A leolvasások sorrendje a következőképpen néz ki: HEEH (azaz hátra bal, előre bal, előre jobb végül hátra jobb) vagy HHEE esetleg ezek kombinációja a HHEEEEEHH. Ezek mindegyike kiküszöbölné az oda és visszamérés során, időben egyenletesen zajló jelenségek hibahatását (amelyeket a későbbiekben részletezek), azonban mivel a valóságban ezek a jelenségek nem egyenletesek, és így a legkedvezőbb a HEEH sorrend. További szempontokat is figyelembe vehetünk még a sorrend megválasztásánál. A HEEH sorrendnél kétszer, azonban a HHEE módszerrel csak egyszer kell körbejárnunk a műszert. Utóbbi sajátosságából adódik, hogy csökken a műszermozgásból származó hiba lehetősége. A pontosság kérdése is felvetődik, a HHEEEEEHH sorrendnél a megbízhatóság a $\sqrt{2}$ -szörösképpen növekedik. Azonban az gyakorlat azt mutatja, hogy a HEEH sorrend alkalmasabb, ha gazdaságossági szempontokat is figyelembe veszünk. A leolvasásokat lehetőleg úgy kell elvégezni, hogy a műszerállásokban végzett leolvasások egyenlő időt vegyenek igénybe. A hosszabb mérési intervallum alatt a külső körülmények olyannyira megváltozhatnak, hogy az eredményekbe hiba csúszhat, esetleg ellehetetleníti a mérést (pl. eső). Ezen felül az észlelő és a figuráns is fárad, növelve ezzel a személyi hibák lehetőségét. Szélső pontosságú méréseknél ezen felül megkívánják a független oda-illetve visszamérést, csökkentve a hibalehetőséget. A hétköznapi gyakorlatban azonban elegendő elvégezni az oda-vissza mérést. Manapság bár még használják, de már egyre kevesebbet: a libellás szintezőkészleteket. Ezekkel a műszerekkel kapcsolatosan egy fontos momentum a mérés során, hogy a libella buborékját minden leolvasás előtt gondosan

középre kell állítani. Libellás műszerek esetében ernyővel kell védeni a műszert, mert az egyoldalú felmelegedés miatt a libella könnyen hamis értéket mutathat. A kompenzátoros műszerek megjelentével azonban ezek háttérbe szorultak. Az egyenlő távolságok ellenére is előfordulhat, hogy a különböző fényviszonyok miatt az észlelő nem ugyanolyan élesen látja az előre és hátra léceket. Ekkor kézenfekvő, hogy a parallaxiscsavarral az élességet beállítsuk. Azonban emiatt az irányvonal megváltozhat, így a mérésbe durva hiba csúszhat. Ezt kiküszöbölendő, nem szabad változtatni az élességet egy műszerállásban. A léccel kapcsolatos feltételek éppolyan fontosak mint az előzőek. A megfelelően komparált léceket függőlegesen kell tartani a mérés végéig, hiszen ez olyan hibát okozhat, amire később igen nehezen derülhet fény. Nem szabad levenni sem, amíg a műszeres átáll az következő műszerállásba. Ennek kiküszöbölésére használatban van a léccel aljára illeszthető fém alkatrész, ami a léccel véletlen lecsúszását hivatott megakadályozni. (20. ábra) További haszna hogy a léccel mindig ugyanazon pontját használjuk



20. ábra A léccel lecsúszását akadályozó sín-szerű fém elem, a közepén lyukkal bal oldalon oldal-, jobb oldalon alulnézetből



21. ábra Refrakció (Miskolczi, 1973)

Fontos szempont a mérésre alkalmas idő megválasztása. Itt egyrészt figyelembe kell venni az aktuális időjárási tényezőket, másrészt pedig a napszakok, évszakok váltakozását. Mivel a mérés közvetlen a földfelszín felett történik, így csak a légkör alsó rétegeinek hőmérsékletével, páratartalmával és légnyomásával szükséges foglalkozni. Három nehezítő külső körülményt említek meg a következőkben, amik hatása igen jelentős: légrezgés, léglengés és refrakció. A légrezgés igen könnyen észrevehető, hiszen a kora délelőtti órákban, amikor a felmelegedés erősödik, a talaj közeli légrétegek gyors hőmérsékletváltozása következtében ezek gyors mozgásba kezdenek, ami a távcsőben is megjelenik: belenézve a léc képe gyorsan és folyamatosan rezeg. Ez a jelenség reggel 7 és 9 óra között kezdődik és előfordul hogy csak a késő délutáni órákban fejeződik be. Ilyenkor a mérést abba kell hagyni. Hasonló jelenség a léglengés, amikor is a nagyobb levegőtömegek hőmérséklete hirtelen megváltozik, emiatt a meleg és hideg rétegek helyet cserélnek. Ezt már nehezebb észrevenni, mint a légrezgést, de a léc huzamosabb ideig való figyelésével felfedezhető a jelenség. A megszűnéséig szünetelteti a mérést. Veszélyes hibaforrások ezek, mert a szintezési szakasz elhelyezkedésétől függően akár az előre és hátra irányzaskor is más-más értékű hiba tapasztalható. Hasonlóan a refrakcióhoz, ahol pedig a különböző magasságokban elhelyezkedő különböző hőmérsékletű levegő törésmutatója okoz hibát. Itt ugyanis a fény útja megtörik, és az alapesetben egyenes irányvonalból egy görbe lesz. Az ábrából is látszódik, hogy a talaj lejtése nagyban befolyásolja a refrakcióhiba értékét. Így tehát minél közelebb van a terep lejtése a vízszinteshez, annál kisebb a hiba értéke. A hibát létrehozó hatás a mérés alatt időben és helyenként is változhat. Létezik egy kidolgozott módszer a refrakcióhiba csökkentésére, ennek feltétele azonban az ún. vertikális hőgradiens értékének ismerete:

$$G = \frac{\Delta t}{\Delta h} \quad (15.)$$

A képletben szereplő értékek közül a Δt a függőleges mentén egymástól adott távolságra lévő két pont hőmérséklet különbsége, a Δh pedig a pontok magasságkülönbségét jelenti. Ennek alapján tehát a hőmérséklet mérését is el kell végeznünk a szintezéssel egy időben. Kiküszöböléséhez a következő elv szolgáltatja az alapot: reggel a légrétegek felmelegednek, délután pedig lehűlnek, így ha két napszakban végezzük a mérést, a refrakcióhiba ellentétes előjelű lesz és kiesik. Az ezzel kapcsolatos kutatások (Csatnai, 1960) alapján azonban kiderült, hogy nem a napszak kérdése a döntő, annál inkább a hőmérsékleti gradiens átlagos értéke. Lehetőség szerint a mérést akkor kell végezni, amikor ez a legkisebb, tehát az izotermia állapotának beállta a mérési intervallum

közepénél kell, hogy legyen, hogy minél kisebb legyen a hiba abszolút értéke. Emellett lehetőség nyílik arra, hogy ne kelljen az oda, illetve visszamérést két különböző napszakban végezni, ha az alábbi táblázat szerinti időpontokra időzítjük a mérést.

Hónapok	Izotermia időpontja (óra)	
	Reggel	Délután
Március	9	4
Április	7	6
Május	6	6
Június	5	7
Július	6	7
Augusztus	6	6
Szeptember	7	5
Október	7	5

3. Táblázat Izotermia beálltának időpontja különböző hónapokban (Miskolczi 1973)

A hónapokra vonatkozó megállapítások tekintetében elég különböző utalások vannak, kedvezőnek ítélik a március, május, szeptember, október, november hónapokat. Figyelembe kell venni az adott időszak meteorológiai viszonyait is, de általánosságban az őszi és tavaszi hónapokat tartják alkalmasnak. A szintezés előtt szükséges tájékozódni a várható időjárásról, várható e hátráltató tényező. Így például ha a hőmérséklet 0 fok alá süllyed, ekkor mérni nagy fizikai megterhelést jelent a brigádnak, így aztán veszélyesen nő a személyi hibák lehetősége. Előfordulhat, hogy az észlelést végző személy beállítja a libellát, leolvasást végez és akár a kezével, akár leheletével melegíti a műszert ami szintén nagy hibát okozhat. A műszermozgás, és kötőpontok mozgása miatt sem alkalmas ez az idő a mérésre. A melegebb hónapokban nagy figyelmet kell fordítani az előzőekben részletezett hőmérséklet és levegőrétegek változása okozta hibákra, sőt júliusban és augusztusban, amikor a legmelegebb napok vannak az évben, nem ajánlják a mérést. Hiszen ilyenkor akkora hőmérséklet-változások tapasztalhatók, amik ellehetetlenítik a mérést. De nem ajánlatos mérni ködben sem. Minimális csapadék mellett még el lehet végezni a munkát, ám esőben, zivatarban szintén szünetet kell tartani, már csak a műszer beázásának lehetősége miatt is. A szélben pedig a lécet tartó személynek erősebben kell fognia a lécet, ezáltal nő a kötőpontmozgás veszélye. A figuráns feladata legalább olyan fontos, mint a műszeresé. Egy mozgó lécet ugyanis igen nehéz megirányozni, és ha mégis sikerül, a leolvasásba is hiba csúszhat. Ügyelni kell irányzási magasságra is. A

refrakciógörbe görbülete miatt a talaj közelében nagyobb a hiba, magasabban pedig egyre kisebb. Erre ajánlásként létezik 50 cm minimális magasság 30 méteres léctávolság esetén, illetve 80 cm 30 méter fölött. Nagyobb terület esetén egymáshoz a vonalakat. Így az egyes vonalak középhibája és poligonok záróhibája kisebb lesz.

Egy, a valódi hibát vizsgáló tanulmány eredményeképpen kiderült, hogy egy több napos mérési időszak alatt az első napok mérési eredményei jóval kevésbé megbízhatóak. Ez persze mindig függ a személyzet fáradtságától, illetve az időjárás körülményektől. Nem elhanyagolható a brigád gyakorlottsága, tapasztalata sem. Így egy olyan személy, aki hosszabb ideje végez ilyen méréseket sokkal megbízhatóbb eredményeket tud produkálni, mint egy fiatalabb, kevesebb tapasztalattal rendelkező kollégája.

3.2. A szintezés hibaforrásai

A szabatos szintezés hibaforrásainak igen széles a tárháza, lévén hogy szélső pontosságú mérésekről van szó, a legapróbbnak tűnő körülmény is befolyásolhatja az eredményeket. A hibákat a műszerből származó hibák bemutatásával kezdem.



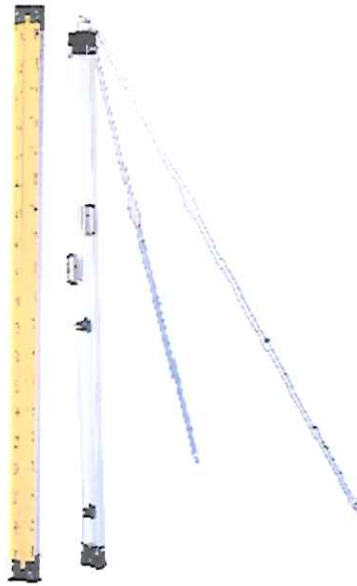
22. ábra Wild N3 szabatos optikai szintezőműszer

Befolyásoló tényező a távcső nagyítása, és a szálkereszt típusa, de ma már mindegyik használatban lévő műszerben olyanok ezek, hogy kényelmesen el lehet végezni a méréseket. Fontosabb azonban, hogy a távcső és szálkereszt által meghatározott irányvonal vízszintes legyen. A szálkeresztnek pedig merőlegesnek kell hogy legyen a műszer állótengelyére. Könnyen megállapíthatjuk, hogy a szálkereszt megfelelően áll-e: amennyiben a műszer állótengelyét gondosan függőlegessé tettük, a fehér falon rajzolt fekete pontot meg kell irányoznunk úgy, hogy a vízszintes szálkeresztben legyen. Ezután ha elfordítjuk a műszert, végig fedésben kell lenniük. Ellenkező esetben igazításra szorul.

Hiba, ha az állótengely nem tökéletesen függőleges, libellás műszereknél különös figyelmet kell a függőlegessé tételre fordítanunk. A libellás műszerek bár elavultnak tűnhetnek a mai digitális szintezők mellett, azonban nem elhanyagolható tény, hogy mivel nincs kompenzátor benne, így nem érzékeny a rezgésekre. Használják ma is felsőrendű hálózatok mérésére, illetve ipari geodéziai célokra. A kompenzátoros műszerek állótengelyét csak közelítőleg szükséges függőlegessé tenni, a kisebb eltéréseket a műszer kiküszöböli. Erre a szelencés, vagy másik nevén dobozos libella szolgál. Fontos azonban, hogy ez a libella igazított legyen, azaz ha egy irányban beállítjuk középre, akkor a műszert az állótengely körül elforgatva középen, de legalábbis a koncentrikus körön belül kell maradnia buboréknak. A kompenzátor hibás működése miatt felléphet a horizontferdeség, mint hibalehetőség. De lehet, hogy a kompenzációs tartományon túllengett az inga, így felakadt a kompenzátor. Ezt könnyen megvizsgálhatjuk: ha a műszert óvatosan megkocogtatjuk, a vízszintes szátkereszt fel-le finom csillapodó rezgőmozgást végez. Amennyiben nem mozog, a kompenzátor fennakadt. Hiba lehetőségét hordozza magában a libellás műszereknél, ha a távcső vízszintes tengelye külpontos a műszer függőleges tengelyéhez képest. Az irányvonal ferdeség is veszélyes hiba lehet, ám annál egyszerűbb a kiküszöbölése: ha az előre és hátra irányzások között nem forgatjuk a parallaxis-csavart, illetőleg a műszer-léc távolságok egyenlők, a hiba kiesik. Sok egyéb hiba is felléphet a műszerekkel kapcsolatban, ezek azonban a korszerű műszer-szerkesztési eljárásokkal, a gépészeti technika fejlődésével és a számítógépes eljárások megjelenésével ezek vagy teljesen eltűntek, vagy pedig annyira kicsivé váltak, hogy nem érdemes velük foglalkozni. Meg kell említeni még egy hibalehetőséget, ami a ma felhasznált anyagoknál már meglehetősen visszaszorított probléma, azonban fennáll a lehetősége. Ez pedig a mikrométercsavart, az osztásvonást, indexvonást és plánpárhuzamos lemezt is tartalmazó rendszerben bekövetkező kopás. Ha itt ugyanis valamelyik alkatrész megkopik, a mikrométercsavarnak holtjátéka lesz, a hiba pedig az adott műszerállástól, és a rendszer állásától függő lesz. Egy dolog azonban mindig olyan tényező lesz, amivel számolni kell: a hőmérséklet különbség. Különösen érdekes ez a kérdés a hidegebb hónapokban, amikor a műszer tároláskori hőmérséklete és a terepi hőmérséklet között akár 15 °C is lehet. Ekkor meg kell várni amíg a műszer akklimatizálódik, digitális műszer esetén egy °C-ra két percet kell számolni. Ha tehát a benti hőmérséklet 23 °C a kinti pedig 8 °C, akkor 30 percet kell várnunk a mérés megkezdése előtt.

A mérőfelszerelés következő nélkülözhetetlen eleme, a szintezőléc is igen sok pontatlanság lehetőségét hordozza magában.





23. ábra A kitámasztó egységgel felszerelt lécz mozgása függetlenné válik a figuránstól, így praktikusabb a használata

Egy örökérvényű, folyton jelenlévő hiba a lécosztás hibája. Különösen fontos itt a lécz anyaga. A fából készült lécnél ez igen jelentős mert érzékeny a hőmérsékletre, páratartalomra és ezek változása kihat a lécz méretére. Megbízhatóbb a fémből készült lécz, azonban a legjobb az alumínium alapanyagú lécz, amiben invárbetét hordozza az osztásokat. Célszerű ennek az anyagnak az alkalmazása, hiszen az invár-acél egy olyan ötvözet aminek hő-tágulási együtthatója nagyon kicsi (precíziós órák billegőjét, ingaórák ingaszárát is készítik-készítették ebből). A vékony lemezt (0.2-0.3 mm) a lécz egyik végén fixen rögzítik, a másik végén pedig egy rugóval állandó erővel feszítik, így biztosítva az invárbetét állandó hosszát. A rugó hivatott kiegyenlíteni a hőmérsékletváltozásból származó minimális hosszváltozásokat. Ezt mind optikai, mind digitális szintezésnél használják. Hagyományos lécekkel ellentétben ezek nem összehajthatók, általában 3 m hosszúak. A pontos függőlegesen tartásához két kitámasztó rövid fa-lécezt használnak, vagy pedig a léchez tartozó kitámasztó egységet (23. ábra), így már 3 ponton van alátámasztva, és a leolvasás alatti mozgás minimális lesz, olyannyira hogy a leolvasás adatait nem hamisítja meg. Ha a libella nincsen igazítva, akkor hibát okoz. Egy d léczferdeség és l leolvasás esetén a hiba

$$\Delta l = l - l \cdot \cos \delta = l \cdot (1 - \cos \delta) \quad (16.)$$

vagyis

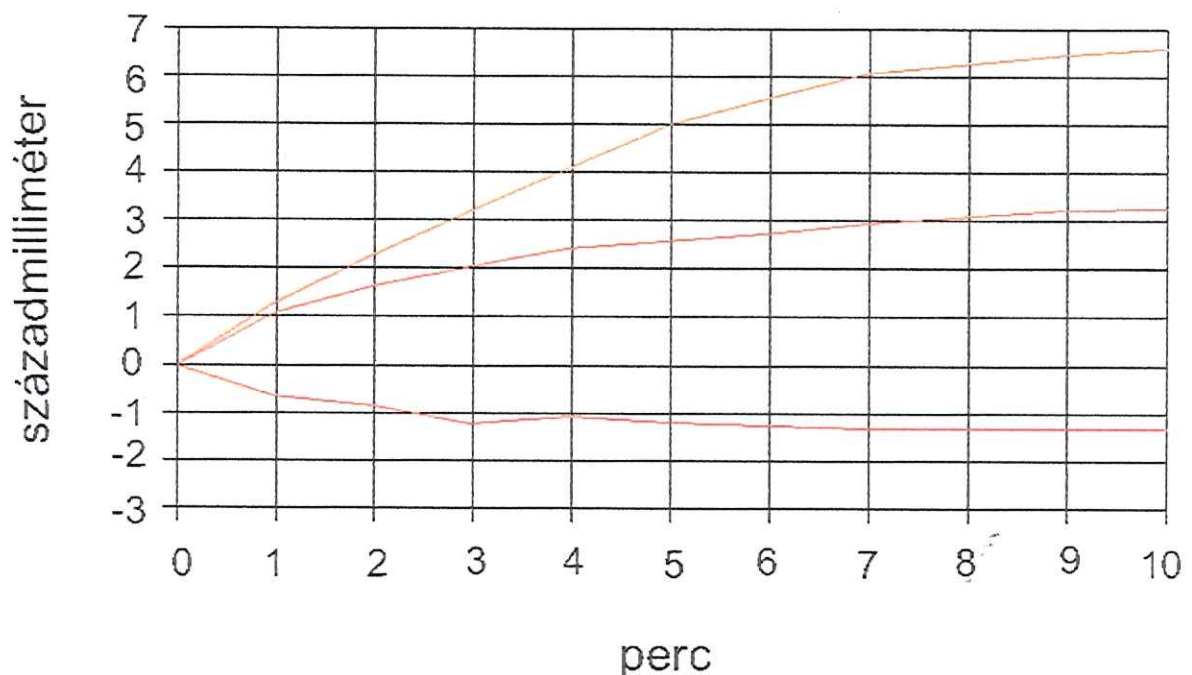
$$\Delta l = \frac{1}{2} \cdot l \cdot \delta^2 \quad (17.)$$

Ez $l=3\text{m}$ esetén már 0.09 mm -t jelent, ami nem elhanyagolható. A külső körülményekre való minimális érzékenysége miatt a komparálást évente kétszer elég elvégezni, míg a falécek esetében ezt sokkal sűrűbben kell megtenni. A léceket első sorban laboratóriumban vizsgálják, a meghatározott lécméter azonban a mérés alatt változhat. Ezért is ajánlott a faléceket napi rendszerességgel mérés előtt és után is komparálni, készítettek is erre a célra terepen használható komparátorokat. Ez azonban nem lett elterjedt, mert az invárlécek használata sokkal praktikusabb, mind pontosság, mind idő szempontjából. A digitális műszereknél pedig a lécs eredményeit beírva a műszerbe számítással figyelembe veszi azt. A kötőpontokra való átvitelrel kapcsolatban még egy fontos ténnyel számolni kell: amennyiben a figuráns a lécet a vállán viszi a lapjára fektetve, a behajlás a két végén igen nagy (akár cm -es nagyságrendű is) lehet. Az élére fektetve ez az érték minimálissá válik. De nem csak a továbbvitelnél, a tárolásnál is fontos hogy ne hagyjuk a lécet olyan pozícióban, hogy maradandó deformálódás léphet fel.

A talplemez hibája a következő igen fontos tényező, amivel számolnunk kell. A lécs alján lévő fémlemez ideális esetben tökéletes sík ami merőleges a lécs hosszanti tengelyére. Ez a valóságban nem valósul meg. Ezért fontos hogy a mérés alatt ne vegyük le a kötőpontról a lécet, és az átfordításkor se mozduljon el az eredeti pontról. Ennek kiküszöbölésére használják a már korábban említett alsó lyukas védőlemezt. Hasonlóan a lécs aljához kapcsolódik a talpponti hiba. A valóságban ugyanis a lécsosztás kezdete, és a talplemez alsó síkja nem esik egybe. Ennek igen egyszerű a kiküszöbölése: az egy műszerállásban mért magasságkülönbségek terheltek lesznek ezzel a hibával. A következő állásponton mért különbségben a hiba ugyancsak jelentkezik, ám ellenkező előjellel, a lécek megcserélődnek így kiesik a hiba. A következő 2 állásponton ez megismétlődik. Ha tehát páros számú műszerállásunk van, akkor az értéke zérus lesz.

A megvilágításra is figyelmet kell fordítanunk, hiszen szürkületben a lécsosztások nehezen látszódnak. Ezt optikai színtezésnél külső fényforrással javíthatjuk, azonban digitális színtezésnél már korántsem ilyen egyszerű a mérőcsapat helyzete. Fontos hogy a lécs egészen egyenletes legyen a rájuto fény mennyisége, de legalább a kiválasztott lécszakaszon. Ha ugyanis valamelyik eset fennáll, az érzékelő képsorba vetített képet nem tudja értelmezni a szoftver. De hasonló problémát okozhat ha, egy kisebb szakaszt valami miatt árnyék ér (pl. fa). Ilyenkor vagy meg kell szüntetni az árnyékot okozó tényezőt, vagy pedig ernyővel kell takarni a lécs egészét. Erre a problémára nyújt megoldást az ősszel való mérés, hiszen a napfény korántsem olyan erős hogy befolyásolja a leolvasást.

A következő csoport a talaj fizikai viszonyai miatt adódó hibalehetőségeket foglalja magában. Ide tartozik a kötőpontok, műszerek, és alappontok mozgása. A műszer süllyedése nem minden esetben egyenlő, műszerállásonként azonban igen. Ezért is alkalmazzák gyakorlatban a HEEH mérési sorrendet, hiszen így kiküszöbölhető e jelenség mérésre gyakorolt hatása, amennyiben a szintezést oda-vissza irányban végezzük el. Az egy irányban végzett szintezésben a hiba értéke a haladási iránynak megfelelően pozitív értékű. Így ha a mérést oda-vissza végezzük el, akkor a kettő kiejtheti, de legalábbis csökkenti egymás hatását. A hiba abszolút értékben vett nagysága függ a műszerállástól: egy földbe letaposott műszerláb várhatóan nagyobb mértékben fog mozogni mint egy betonon létesített álláspont. Hogy mégis mekkora ez az érték, ez egy 1954-es kísérleti mérésből (Izotov, 1954) derült ki: 0.04 mm kilométerenként, feltételezve a megfelelő körülményeket, a mérőszemélyzet rátermettségét. Több diplomaterv is készült a Budapesti Műszak Egyetemen, ami a műszermozgással foglalkozott (Tömöri 1960, Sinóros-Szabó 1967). Több sorozatot mértek és sorozatonként több leolvasást végeztek. A következő ábra mutatja az eredményeket:

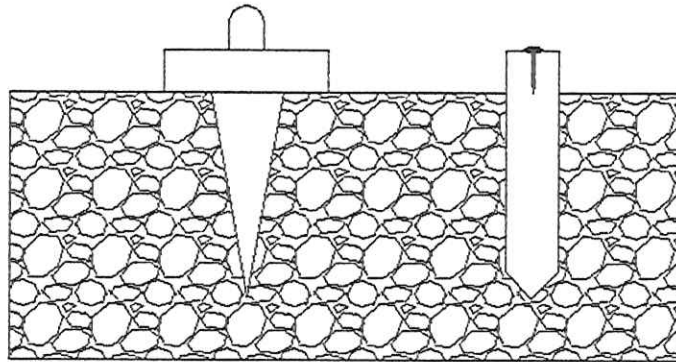


24. ábra Műszerek mozgása az idő függvényében (Miskolczi 1973)

A fent említett ismétlésszámból adódóan, még ha hiba is terheli ezeket az eredményeket, néhány következtetés levonható ú.m.: műszersüllyedésről beszélünk, ám egyaránt lehet emelkedés és süllyedés is. A mozgás időben nem egyenletes, a letaposás után nagyobb, majd az idő elteltével kisebb mértékben mozog. Még fontosabb azonban hogy az oda és

visszaméréskor hasonlóak legyenek a körülmények, ami a mozgást meghatározza, mert így kiejthető. A műszer súlyával nincs kapcsolatban a mozgás mértéke. Az ábrából kitűnik az is, hogy körülbelül az 5. perc környékén kezd a mozgás lassulni, megszűnni. Tehát mindenképpen számolnunk kell a mozgás hatásával, ugyanis a mérések időszükségleteit nézve optikai műszerrel 2-4 perc az észlelési idő (ehhez még hozzájön a műszer elhelyezése, és az állótengely függőlegessé tétele ami megközelítőleg 1 percet, vagy valamivel kevesebb mint egy percet vesz igénybe), míg digitális műszerrel ez 1-2 perc. Így jobb esetben, azaz ha nem kell újramérni semmit és a figuránsok is rövid idő alatt pontosan függőlegessé teszik a léceket, akkor a már említett 5 percen belül maradunk. Erre vonatkozólag végzett kísérleti számítások során kiderült, hogy a HEEH sorrenddel, a már meghatározott értékekkel figyelembe vételével kisebbre csökkenthető a hiba.

Három fontos tényező van, ami befolyásolja a mozgást. Az első a talaj állapota: nem mindegy hogy száraz, nedves talajon, puhább füves, vagy agyagos esetleg szikes talajon van a műszerállás. Az észlelő személy által a lábak letaposáskor kifejtett erő nagysága a második, a talaj műszerlábba gyakorolt hatásának nagy része ugyanis ebből az erőből keletkezik. Végül pedig a műszerállvány sarujának alakja, minősége (anyaga).

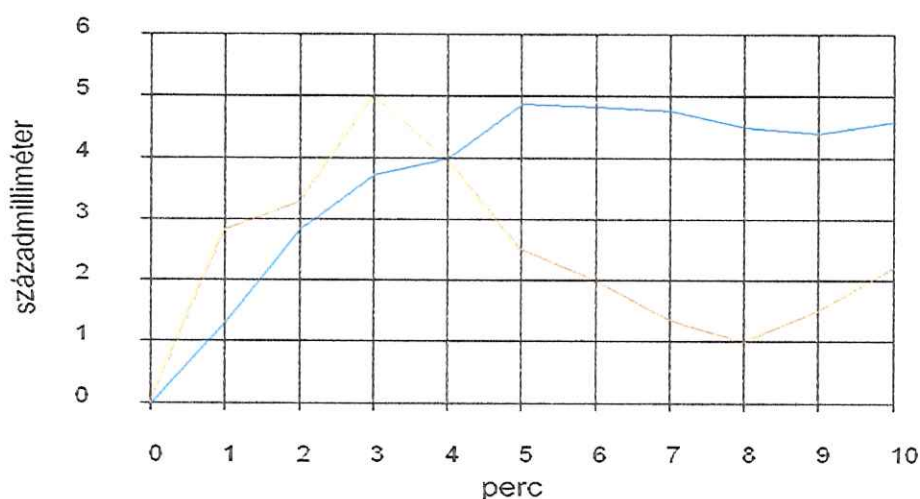


25. ábra Vascővek és fakaró szeggel

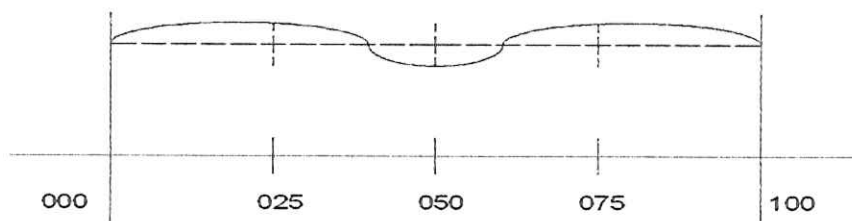
A kötőpontok mozgása is egy lehetséges hibaforrás. Alacsonyabb rendű szintezésnél sarut alkalmazunk a kötőpontok alá, míg szabatos szintezésnél a földbe levert fakaró vagy vascővek tölti be ezt a szerepet. Mivel szabatos szintezést végeztem, fontosnak tartom megemlíteni az ide vonatkozó kutatások eredményét (Miskolczi 1973). A vascővek kialakítása olyan, hogy a tetején lévő gömbölyűfejű csavar egyértelműen kijelöli a vízszintes síkot egy pontjával, fakaró esetében azonban ezt szeggel kell megjelölnünk. Így amennyiben a mérés alatt mozdulatlanok lennének, tökéletesen megfelelnek kötőpontnak. A valóságban azonban ez nem történik meg. Ennek oka lehet a szintezőlc saját súlyából származó nyomóerő, esetleg ha a figuráns nyomja a lécet lefelé. De ha

valamilyen erőhatás éri a védtelen már előzőleg földbe vert pontjelet (pl. áthajt rajta egy autó, vagy belerúgnak), az is okozhat kisebb mozgást. A másik ok, a műszermozgásnál említetthez hasonló. A leveréskor a pontjelre kifejtett nyomóerő hatására a talajban ébredő reakciók is emelhetik, illetve süllyeszthetik azokat. Az ennek vizsgálatára végzett mérések eredményeiből bár következtetéseket vonhatunk le, azonban minden talajtípuson, azok minden állapotában és minden körülmények között más-más mozgás jellemző. Amennyiben közvetlenül a mérés előtt verjük le a cöveket, akkor minden esetben nagyobb mozgás mutatkozik, mint az előtte egy nappal levert esetben. Érdekes azonban hogy a mérés előtt 24 órával levert facövek is mozog, igaz 3 perc alatt teljesen csillapodik a mozgása, és a maximális értéke 2 ezredmilliméter. Ezért a következő táblázatban csak a közvetlen mérés előtt levert cövekeket szerepeltettem. Ez a száraz és nedves talajon, több vizsgált talajféleséget is számba véve abszolút értékben mutatja a mozgást:

Ebből láthatjuk, hogy a vas-cövek alkalmasabb mérésre ha az mozgási időt nézzük, hiszen a 2. perctől már minimális mozgása van. Azonban a facövek még a 8. percben sem eléggé



27. ábra Kötőpontok mozgása: pirossal a fa, késsel pedig a fém cövek (Miskolczi 1973)



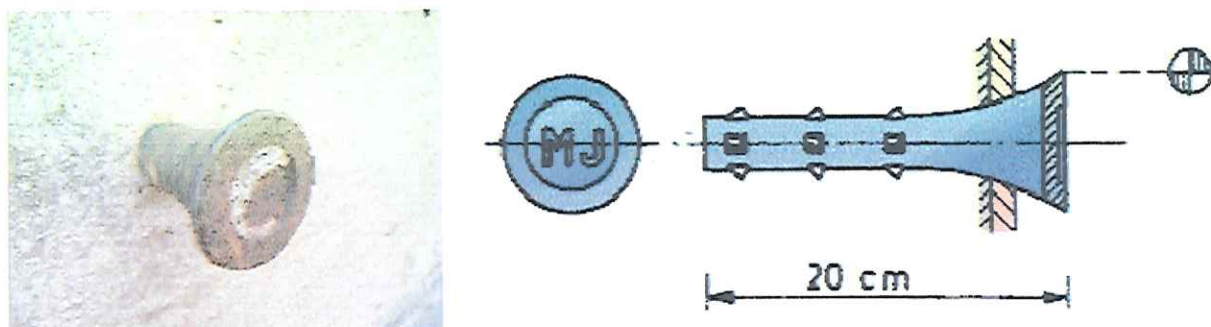
26. ábra Becslési hiba a mikrométer skálán (Miskolczi 1973)

stabil. Így alkalmasabbnak látszik a fém jelölés használata. (A Bendeffy-féle hálózat mérése során azonban nem mutatkozott különösebb előnye a vascövek használatának.) Néhány szabállyal ezeket a kis mozgásokat is kiejthetjük: ha oda-vissza szintezést végzünk, műszerállásonként nagyjából ugyanannyi időt eltöltve, feltételezve hogy a talaj állapota azonos, akkor minimalizálhatjuk a hiba értékét. Fontos hogy álláspont váltáskor, azaz amikor az előre lécesből hátra léces lesz, nem szabad levenni a lécet a pontról.

Személyi hibák közül elsőként a libella beállításának hibáját említeném. Ez ugyan csak a libellás műszereknél figyelhető meg, azonban ott igen nagy hibát tud okozni, ha nem pontosan középen van. Alkalmas külső körülmények között is előfordulhat, hogy az észlelő személy nem látja tökéletesen a libellát, esetleg az árnyékát véli a buborék végének, így az állótengely nem lesz középen. Hasonlóan kényes a lécs libellájának beállítása. Itt ügyelni kell, nehogy az egyoldalú felmelegedés, esetleg lehűlés hatására ferde legyen a lécs. Az szátkereszt függőleges szálának párhuzamosnak kell lennie a léccel. Kompenzátoros műszerek esetében felfedezhető, ha a lécs ferde, esetleg a libellája rosszul igazított. Optikai műszereknél megnő a személyi hibák lehetősége. Itt ugyanis mivel a leolvasás manuálisan történik, az észlelő által becsült 6. számjegy, a századmilliméter értéke bár jól látható a skála, mégis szubjektív. Befolyásoló tényező a mikrométer osztásának nagysága, a távcső nagyítása, a léctávolság, és a lécs osztása. Ezen felül hogy történik a becslés. A szimmetria miatt a középen lévő szál helyét pontosabban meg tudjuk becsülni mintha az első illetve második fél osztásközből lenne (26. ábra). A hiba értéke 50 m-es léctávolságnál akár 0.04 mm is lehet. Az észlelő gyakorisága is nagymértékben hozzájárul a leolvasás pontosságához. Hasonlóan az osztás közrefogásánál is lehet, hogy nem sikerül tökéletesen. Ehhez azonban a parallaxscsavarral élesre kell állítani mind a szátkeresztet, mind pedig a lécs képét. Könnyen ellenőrizhetjük, ugyanis rossz élesség esetén az optikába nézve apró fel-felmozdulásokkor a látott kép is elmozdul. Ügyelni kell a műszerállás létesítésekor a műszermagasságra, hiszen a magas állás veszélye az elmozdulás (szél miatt), míg az alacsony műszerállásban az észlelő görnyedve végzi az észlelést, kényelmetlen helyzetben könnyen elronthatja a leolvasást. Hasonlóan fontos hogy a kényelmes észlelés érdekében hogy jó irányban álljanak a műszerlábak. Ha ugyanis oldalról hajolunk az okulár felé, netalántán a szabályokat nem figyelembe véve „lovagoljuk” a műszerlábát igen nagy az esélye hogy belerúgunk a lába. Érdekes és logikus tanács a következő, miszerint az egy irányba való haladáskor a lábakat 120°-kal kell elforgatni az egymás után következő műszerállásokban. Így az elcsavarodás, és a lábak hosszváltozása miatti

hibát csökkenthetjük. Ez amiatt léphet fel, hogy az egyik lábat süti a nap. Ajánlott ernyő használata. Ha az észlelési idő megnő (gyakorlatlan a műszert kezelő személy, vagy hibás értéket olvasott le így újra kell mérni), akkor hozzáadódik a műszerállvány süllyedése, a lábak egyenetlen felmelegedése, elcsavarodása, kötőpontosüllyedés és refrakcióváltozás miatti hibák. Így célszerű gyorsan elvégezni a mérést. Az állószállal könnyen meg lehet állapítani ha az irányvonal és állótengely síkjára merőlegesen dől a lécz. Ha a síkban dől a lécz már nehezebb megállapítani. Kis hibát okoz ez egy műszerállásban, azonban ha ez halmozódik, igen nagy méreteket ölthet. Függ ez a mérendő pontmagasságától is, hiszen egy talajtól 5 cm-re kiemelkedő léczet könnyebb függőlegesen tenni mint egy 30 cm magasán lévő falicsapot. Fontos hogy a kötőpontul szolgáló vascöveket vagy fakarót függőlegesen verjük le, hiszen ha ferdén áll a földben, akkor a lécz súlya és a lécztartó által gyakorolt nyomásnak (esetenként hozzáadódik a szél hatása is) olyan forgatónyomaték jön létre, ami a pont magasságát megváltoztathatja. Ha nem lehetséges cöveket leütni sarut használunk. Ezt a lerakás után két lábbal le kell taposni hogy a 3 fog belesüllyedjen a talajba. Nem szabad nyáron a meleg aszfaltra rakni, csakis hűvösebb időszakban szabad ilyenkor mérni.

A szintezésbe foglalt alappontok is hordoznak magukban hibalehetőséget. A 20 vagy még több éve állandósított jelölések jól lettek elhelyezve, így nem mozognak azonban az idő viszontagságainak kitett fém jelölések rozsdásodásra hajlamosak.



28. ábra Falicsap falban, és keresztmetszete

A megfelelő anyagú jelölések kevésbé, azonban sok olyannal találkozni, amikre ez jellemző. Szerencsés esetben a lakók festékekkel vagy mésszel lefestették, így jobban védve vannak, ebben az esetben azonban mérés előtt drótkéfével kell letisztítani. Akármilyen pontról is van szó, lényeges hogy egyértelműen ki lehessen jelölni egy olyan síkját egyetlen pontjával, amire felülről jól rá lehet helyezni a szintezőlcet. Fontos hogy amennyiben épületbe falazzuk a pontot, lehetőleg olyat válasszunk, ami nem mozog. Így a 100-200 éves épületek pl templomok, középületek jól használhatók ilyen célra. Amennyiben a jelzés mozog, nem alkalmas mérésre. A szintezési gombokkal is nagy körültekintéssel kell eljárunk, már az állandósítás során. Az ilyen módon

elhelyezett gombok általában jól mérhetők, amennyiben kivártuk a telepítés utáni minimális egy évet.

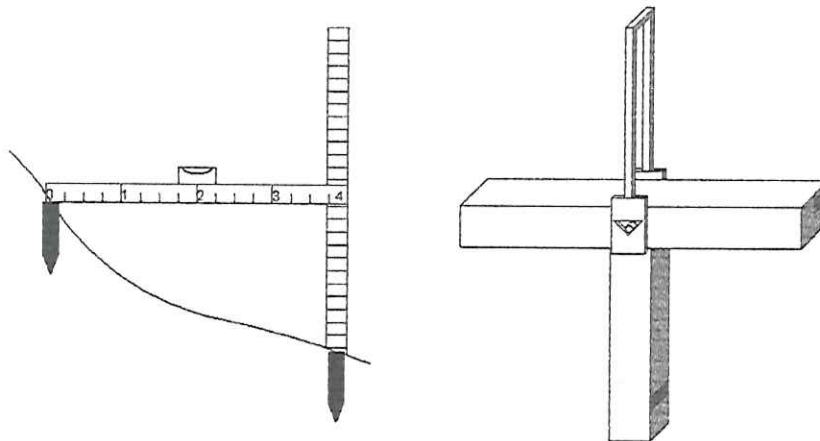
4. Szintezőműszerek

A szintezőműszerek igen nagy fejlődésen mentek keresztül az idők során. Nagyon sok műszert fejlesztettek, gyártottak az idők során. Csoportosíthatjuk ezeket az irányvonal beállítása szerint, a libella és a távcső kapcsolata szerint, a felhasználás módja, illetve pontosság szerint. Az irányvonal beállítása szerint megkülönböztetünk libellás és kompenzátoros műszereket, valamint egyszerű műszereket, amiknek nincs irányzó távcsöve. A libellás műszerek irányvonalának vízszintessé tételére a lábakon, talpcsavarokon kívül a szintezőlibella szolgál. A kompenzátoros műszereket csak közelítőleg kell vízszintessé tenni, a pontos beállítást automatikusan elvégzi a kompenzátor. A felhasználás módja szerint létezik szabatos, mérnöki és építész szintezőműszer. Egy másik szempont szerint megkülönböztetünk tulajdonképpeni szintezőműszereket, amik csak szintezésre használhatók; egyetemes szintezőműszereket, amiket szintezésre fejlesztettek ki de használhatók még szög-, és távmérésre is. A harmadik csoportba pedig az ún. egyetemes műszerek, amik felszerelven egy szintezőlibellával szintezésre is használhatók. Legnagyobb pontosságot a csak szintezésre használható műszerek biztosítják. A működés szerint csoportosíthatjuk a műszereket optikai, és digitális műszerekre. Az első esetben az értékek leolvasása mindig manuálisan történik. A digitális műszerek leolvasása alapvetően digitálisan történik, de a szátkereszt kialakítása olyan, hogy azzal manuális leolvasást is végezhetünk. Végül a pontosság szerinti csoportosítást a következő táblázat mutatja (az értékek az oda-vissza szintezés a posteriori középhiba értékei:

Szélső pontosságú szintezőműszerek				
		$m_{(km)}$	$\leq$	0.5 mm
Nagy pontosságú szintezőműszerek				
0.5 mm	<	$m_{(km)}$	$\leq$	2 mm
Közepes pontosságú szintezőműszerek				
2 mm	<	$m_{(km)}$	$\leq$	6 mm
Kis pontosságú szintezőműszerek				
6 mm	<	$m_{(km)}$	$\leq$	20 mm

4. Táblázat Szintezőműszerek csoportosítása

A libellás műszerek részletezése előtt megemlítem a szintezés, vagy magasságkülönbség-mérés egyszerű eszközeit. Ilyen egyszerű eszköz a mérőléc. Ezen eszköz egyik végét az adott pontra helyezzük, a lécre illeszkedő merőleges lécz másikat pedig a mérendő pontra. A függőleges lécen lehet a magasságkülönbséget közvetlenül leolvasni. A vízszintes sík pontos kijelöléséhez azonban szükség van egy libellára, ez a vízszintes lécen van elhelyezve. Hasonlóan egyszerű, ám igen pontatlan szintezésre alkalmas a szintezőkereszt, aminek felső lapját nézve jelölhető ki a vízszintes.



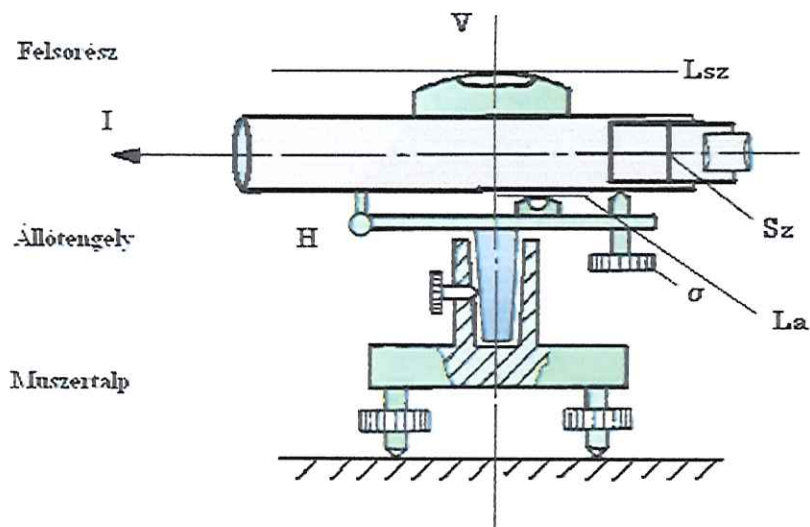
29. ábra Bal oldalt a mérőléc, jobb oldalt a szintezőkereszt

4.1. Libellás szintezőműszerek

A szintezőműszerek csoportosítását a libellás – kompenzátoros - digitális műszerekre bontva fogom megtenni. Ezek közül is az első a libellás műszer, időrendi sorrendben az első.

4.1.1. Libellás szintezőműszerek felépítése

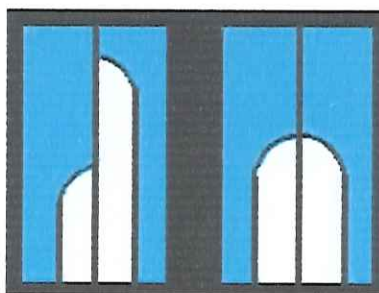
A libellás szintezőműszereket 3 további csoportra oszthatjuk. A korszerűbb libellás műszerek távcsöve is (a távcsőtartóhoz), és libellája is (a távcsőhöz) kötött.



30. ábra Szintezőműszer keresztmetszete

Régebbi műszereknél előfordult, hogy a távcső hossz tengelye körül forgatható volt, esetleg a libella sem volt a távcsőhöz kötött. (30. számú ábra alapján:) A felsőrészen helyezkedik el a geodéziai távcső, benne a szátkereszttel (Ssz) ami az irányvonalat (I) adja meg. A műszer állótengelyének (V) vízszintessé tételére az állótengely-libella (La) szolgál. A távcsőnek méréshez szükséges pontos vízszintessé tételére egy másik, a távcső-libellát használják (Lsz). Ezt pedig a szintezőcsavarral lehet megvalósítani (s). A libella kijelöli a helyi függőlegest, és ezáltal a szintezőműszer irányvonalára illeszkedő vízszintes síkot, hiszen a nehézségi erő miatt a libella buborékja mindig a csiszolt belső görbületű felület legmagasabb pontján lesz. A különböző megoldásokkal (fizikai, fotográfiai) felvitt jelzésekkel a libella ívének közepét jelölik. Amikor a buborék ide kerül, a műszer állótengelye egybevágó lesz a helyi függőlegessel. A gyakorlatban a sima fejezetű műszerlábak terjedtek el. Ezután az állótengely durva függőlegessé tételéhez a lábakat, majd a finom állításhoz a talpcsavarokat kell használnunk. Az ábrán az alhidádé olyan megoldása látható, ahol a tengelyrendszer kúpos, és a tengelycsap a felsőrészhez, a persely pedig a műszertalrhoz van rögzítve. Létezik ezen kívül hengeres tengelyrendszer megoldás is, itt a tengelycsap párhuzamos a persellyel. Amennyiben a tengelycsap nem a felsőrészhez hanem a műszerlábhoz van rögzítve, akkor a perselyt fixálják a felsőrészhez így biztosítva a forgathatóságot. A műszer állótengely körüli elforgatására két módon nyílik lehetőségünk: kézzel a durva irányzáshoz, és paránycsavarral a finom irányzáshoz. A finom irányzás lehet végtelenített megoldású, illetve kötőcsavaros illetve kötőkilincses. Utóbbi esetben a durva irányzás után megkötjük a műszert, ezután már csak a paránycsavarral tudjuk egy kis tartományon belül fordítani az állótengely körül. A

távcsőben helyezkedik el a szálkereszt, és a belső állítású lencserendszer. Az itt használt üvegek igen jó minőségűek, és tükröződésmentes bevonattal vannak ellátva. Belül teljesen zárt, így biztosítva hogy a kerülhessen be porszemcse vagy egyéb apró piszok. A lencserendszer járása szabatos súrlódásmentes és egyenes kell hogy legyen. További feltétel hogy az irányvonal, az objektívrendszer optikai tengelye és a távcső mértani tengelye egy egyenesre essenek. Az irányzásra az irányvonal szolgál. Ezt a szálkereszt jelöli ki: a középpontját az objektív-rendszer segítségével lehet közös síkba hozni különböző távolságban lévő tárgyakkal. Amennyiben az okulárba nézve mind a szálkereszt, mind pedig az irányzandó objektum élessé válik, akkor lehet a leolvasást elvégezni. Ilyenkor az adott távolságban lévő tárgy képe a szálkereszt síkjába kerül, a parallaxist eltüntetjük. A szintezőműszerekben kétféle szálkereszt megoldás terjedt el. Az egyikben a leolvasás 3 különböző magasságban lévő vízszintes szálon történik, míg a másikon egy ék alakú szálkereszttel kell közrefogni a lécszétét (utóbbiak mikrométerrel ellátott műszerek). A libellás műszerek szintezőlibelláját minden leolvasás előtt középre kell hozni. Ezek érzékenysége szabatos műszereknél 2" mérnöki pontosságú műszereknél 25" körül alakul. Feltétele a mérésnek, hogy a libella hossz tengelye (csöves libella) igazított legyen a távcső irányvonalához. A kényelmes leolvasás feltétele hogy az okulár szemmagasságban legyen.



31. ábra Koincidenciás vetítőberendezésben a középre hozás előtti (bal oldal), és utáni állapot (jobb oldal)

Ilyenkor a libellát már nem látjuk (de ha alacsonyabban is van a műszer akkor sem tudunk ránézni úgy hogy azt megfelelően lássuk. Hogy a libella beállítása pontos legyen, forgatható tükörrel szerelik fel a műszereket így több állásból is jól lehet látni. Pontosabb műszereken koincidenciás vetítőberendezéssel látják el a műszert, ez a libella buborékja végeinek felét egymás mellé vetíti a távcsőbe, vagy pedig külön okulárba. Amennyiben középen van a buborék, a végek egymás mellett vannak. Az állótengely precíz függőlegessé állítására a szintezőlibella szolgál. Ezzel a távcsövet a fekvő tengely körül kis mértékben lehet elfordítani. Beosztással látják el, amivel a csavar normális állását

jelölik, ebben az állásban a libella merőleges az állótengelyre. Ez mindaddig érvényes, amíg a libella távcsőhöz viszonyított helyzete meg nem változik.

4.1.2. A libellás szintezőműszerekkel szembeni követelmények

Három feltételt kell a műszereknek kielégíteniük a használhatósághoz. Első lépésben meg kell vizsgálni hogy az állótengely libella igazított legyen az állótengelyhez. Ezt úgy tudjuk ellenőrizni, ha a középre állítás után a műszert az állótengely körül elforgatjuk, így pedig nem szabad elmozdulnia. Ha elmozdul akkor a pontos vízszintessé tételhez a szintezőcsavart kell használnunk: a buborékot középre hozzuk, majd megjelöljük a csavaron az állást. 180°-kal elfordítjuk, és ismét középre hozzuk a buborékot, ebben az állásban is jelzéssel látjuk el a csavart. A kettő közepe lesz a csavaron a normális állás. Ennek segítségével ha a talpcsavarokkal két főirányban középre állítjuk a csöves libellát, az állótengely függőleges lesz. A második feltétel a fekvőszál merőlegessége az állótengelyre. Ennek vizsgálatáról már írtam. Harmadik feltétel pedig hogy a szintezőlibella tengelye párhuzamos legyen a távcső irányvonalával. Ha ez nem teljesül, akkor keresztbenállás, és irányvonalferdeség léphet fel. Keresztbenállás alatt azt az esetet értjük, amikor az irányvonal nem párhuzamos az álló irányokkal. Ha ferde az állótengely, akkor ez szabályos hibát okoz (horizontferdeség). Kiküszöbölésére egy lécezt megirányzunk. A szintezőlibellát középre állítjuk, majd leolvasunk. Lényeges hogy az irányvonal az egyik talpcsavar irányába nézzen. Ezután a másik kettő talpcsavar közül az egyiket körbeforgatjuk kétszer, majd a másikat ellentétes irányba addig, amíg ismételen az előzőleg leolvasott értéket nem tudjuk leolvasni. Igazított műszer esetén nem szabad a libellának elmozdulnia. Irányvonal ferdeség esetén az irányvonal a fekvő irányzállal nem párhuzamos. Vizsgálatához két A és B-vel jelölt léce közé egyenlő távolságra kell felállítani a műszert. A leolvasások (18) után számítjuk a magasságkülönbséget, majd a legkisebb irányzási távolsággal a két pont által meghatározott egyenesen arrébb visszük a műszert B irányába d távolsággal, és ismét leolvasunk. Ezt a leolvasást már terheli az irányvonal ferdeség (19). Ebből a következő képlettel lehet számítani az irányvonal ferdeség értékét MB szakaszra (20):

$$\Delta m_{AB} = a_1 - b_1 \quad (18.)$$

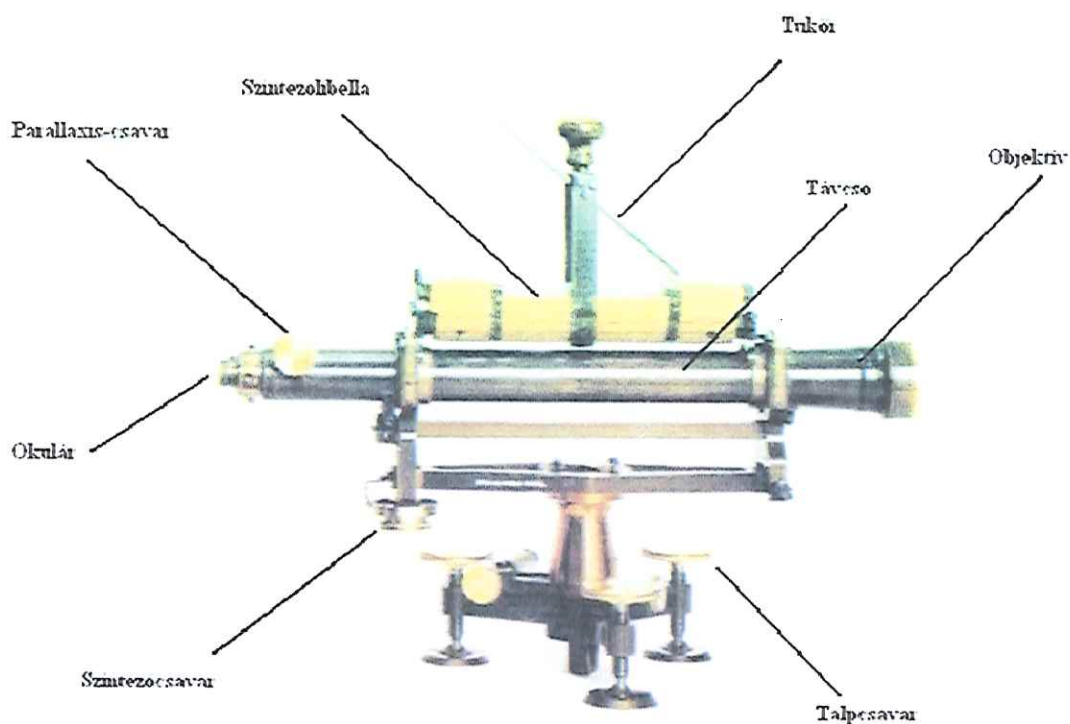
$$\Delta m'_{AB} = a'_1 - b'_1 \quad (19.)$$

$$\alpha''_{MB} = \frac{\Delta m_{AB} - \Delta m'_{AB}}{d_{AB}} \rho'' \quad (20.)$$

Ezután a B pontra vonatkozó hibátlan leolvasás értékre kell állítanunk az irányvonalat, majd a buborékot ebben a helyzetben középre állítani. Másik hiba műszereknél, ha a mikrométer hibás, vagy holtjátéka van. Ennek ellenőrzésére egy hitelesített milliméterosztást kell megirányoznunk kb. 10 méterről. A szintezőlibellával is függőlegessé tett állótengelyű műszerrel egymás után ráállítjuk az osztásokra a szátkeresztet, és leolvassuk a skála állását. Egy mérésből megkapjuk, hogy mekkora az osztás hibája, többszöri méréssel pedig a mikrométer holtjátékáról kapunk információt. A korszerű műszerekben azonban csökkentették ennek a lehetőségét.

4.1.3. Libellás műszerek fejlődése

A következő ábrán egy Kern-féle szabatos szintezőműszer látható 1865-ből. Érdekes, hogy a 30. ábrán látható keresztmetszethez képest is megfigyelhetők a műszer fontosabb részei. Igen egyszerű a szerkezeti felépítése, nem burkolták le.



32. ábra Kern-féle szabatos műszer

Később aztán robosztusabb megjelenésű műszereket készítettek: Hilger and Watts típusú londoni műszer a 33. ábrán.



33. ábra Szintezőműszer 1950-ből

Itt ugyanúgy megtalálható minden elem, feltűnő hogy a távcső mennyivel hangsúlyosabb szerepet kapott a műszer kinézetében. Mivel a két műszer között majdnem 100 év telt el, így logikus hogy a gépészeti eljárások, és a szakmai gyakorlat is közrejátszott abban hogy pontosabb, tartósabb műszereket készítsenek, így a pontossági igények egyre szigorúbbak lehettek. Így a Wild N3 (a cég ma már a Leica tulajdona) szabatos szintezőműszere, amit még ma is használnak a mérnöki gyakorlatban. A képen az 1981-es szériából látható egy darab, ebből a típusból ugyanis már 1965-ben is készítettek, igaz akkor még más volt a szerkezeti felépítése, és a pontossága sem érte el a későbbi társáét.



34. ábra Wild N3

De fontos megemlíteni, hogy a magyarországi finommechanikai ipar is igen fejlett volt, a MOM (Magyar Optikai Művek) is sok műszert fejlesztett ki, ami igen előnyös volt, hiszen a kalibrálást, karbantartást és javítást helyben meg lehetett tenni, esetleg a mérnökök maguk is el tudtak végezni különböző kisebb igazításokat. A következő műszer egy magyar fejlesztés, a MOM Ni-B7.



35. ábra Magyar gyártású műszer

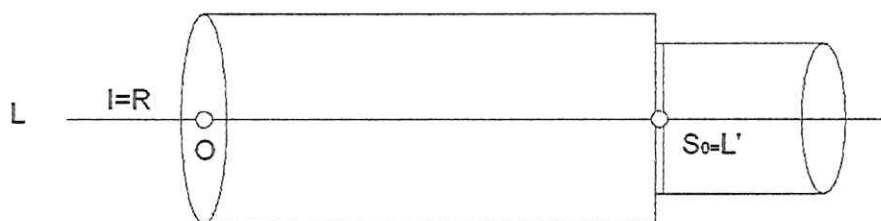
A MOM műszerek nevéből a pontosságra is következtethetünk: a szabatos műszereket A-val, és a csökkenő pontosságot az ABC egyre hátrébb lévő betűivel jelölték. Ez tehát a szélső pontosság után következő műszer, így csak igen nagy megbízhatóságú mérnöki mérésekre alkalmas.

4.2. Kompenzátoros műszerek

A második csoport a kompenzátoros szintezőműszerek csoportja, ami jelentős fejlődést jelentett a libellás műszerekhez képest.

4.2.1. Kompenzátoros műszerek felépítése

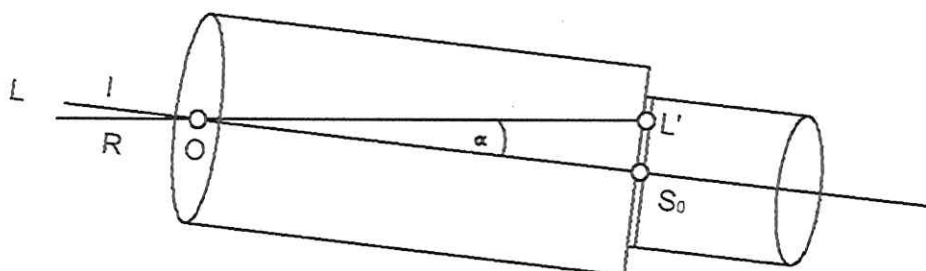
A kompenzátoros műszerek nagy különbsége a libellás instrumentumokhoz képest, hogy a elegendő a szelencés libellával közelítőleg függőlegessé tenni az állótengelyt (feltételezve hogy az igazított), az irányvonal ugyanis a kompenzátor segítségével a nehézségi erő hatására automatikusan vízszintessé áll be. Így szintezőcsavar sem található a műszeren. Amennyiben az állótengely tökéletesen függőleges és a műszer igazított, a következő eset áll fenn:



36. ábra A távcső vízszintes irányvonal esetén

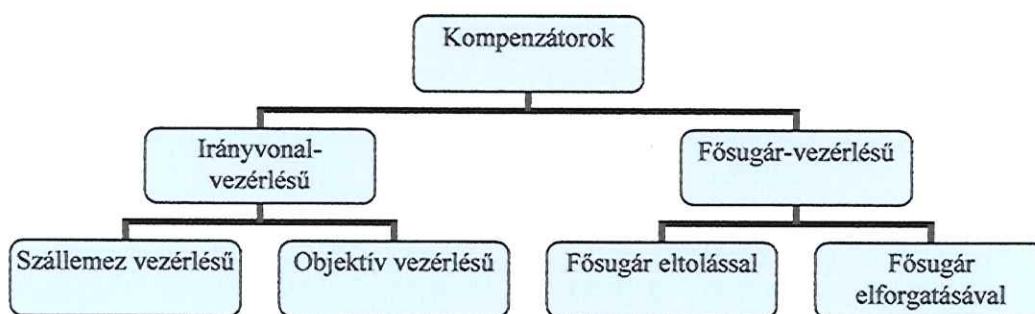
Azaz a műszer irányvonala (I) éppen egybeesik a távcső objektív középpontján (ábrán O-val jelölt) átmenő vízszintes fősugárral (R). Ekkor a szálkereszt középpontján képződik le a léc képe ($L \rightarrow L'$). A valóságban azonban a távcső irányvonala ezzel valamilyen a

szöveget zár be. Ennek megfelelően a léc képe nem a szálkereszt középpontján, hanem attól a szállemezen S_0L' távolságra van.



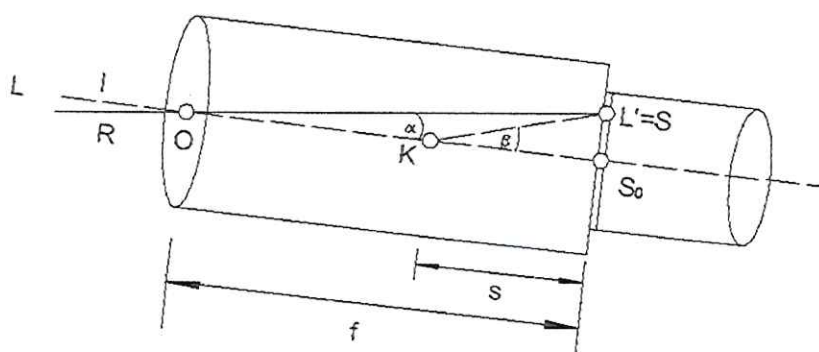
37. ábra A távcső a valóságban

Ennek kiküszöbölésére több módszer is létezik. Fizikai elv szerint létezik libellás, ingás, és szabad folyadékfelületű kompenzátor, technikai megoldás szerint optikai és mechanikai kompenzátor. Mindegyik mód lényege, hogy S_0 és L' pont egybe essen. Ez lehetséges az irányvonal valamilyen módon történő elmozdításával, illetve a fősugár elmozdításával. Ezek rövid áttekintésére szolgál a 38. ábra:



38. ábra Kompenzációs módok

Az irányvonal vezérlésű kompenzáció egyik esete, amikor a szállemez mozdul el az objektívhez képest. Ezen elv szerint vagy az objektív O pontja az S_0 ponthoz képest, vagy az S_0 pont az O -hoz képest mozdul el úgy, hogy a K pont körül (ami az optikai tengelyen a szállemeztől S távolságra van) α szöggel elfordul.



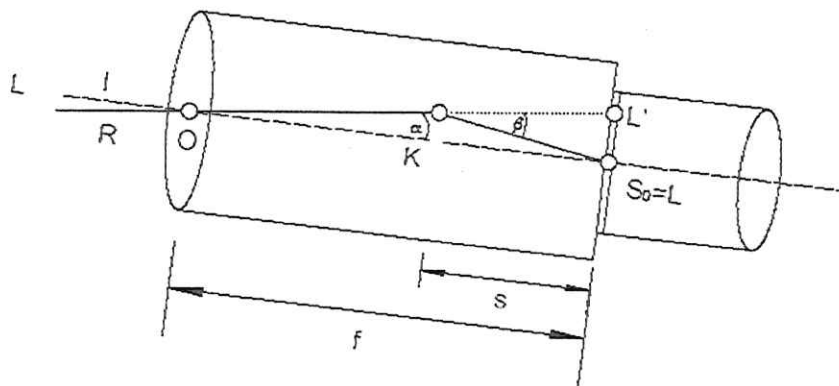
39. ábra Irányvonalvezérlésű kompenzátor

A kompenzációs tartomány 8-10' (az állótengely tehát ilyen mértékben dőlhet a függőlegeshez képest). Ezen a tartományon belül a

$$\frac{f}{s} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (22.)$$

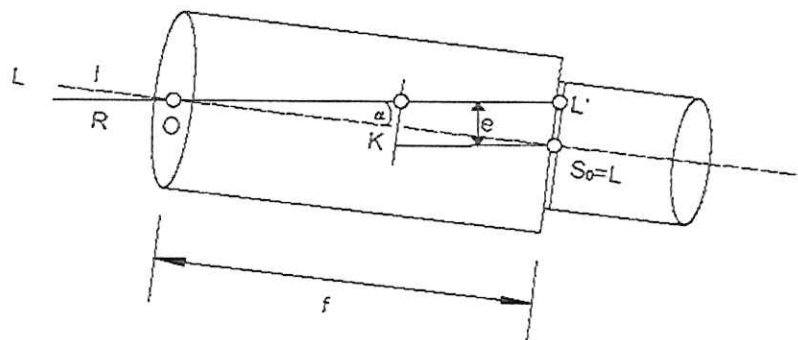
feltételnek teljesülnie kell. A képletben szereplő második tag a kompenzátor szögnagyítás n értékétől függ K helyzete. $N=1$ esetén az objektív főtengelyével esik egybe, ha $n=2$, akkor $f=2s$, azaz K pont felezi a főtengely szálkereszt középpontja és objektív főtengely közötti távolságot. Többségében azonban n értéke nagyobb 2-nél gazdaságossági megfontolásokról: így közelebb van a képsíkhöz, és kisebb méretű és tömegű kompenzátor alkalmazható.

A következő eset, amikor a főtengely eltérítésével kerül fedésbe a két kérdéses pont. Ebben az esetben a főtengely vonalán lévő K kompenzátor eltéríti β szöggel (40. ábra), így az irány éppen egybeesik a szálkereszt középpontjával (S_0).



40. ábra Sugárnyaláb elforgatásával történő kompenzáció

Másik eshetőség hogy eltolja a főtengellyel párhuzamosan e távolságra (41. ábra), így szintén előáll az előbb említett helyzet.



41. ábra Sugárnyaláb eltolásával történő kompenzáció

A fősugárvezérlésű kompenzátoroknál is teljesülnie kell a (22.) feltételnek. Ennek felhasználásával kapjuk a kompenzátor alapegyenletét:

$$f = \pm n \cdot s \quad (23.)$$

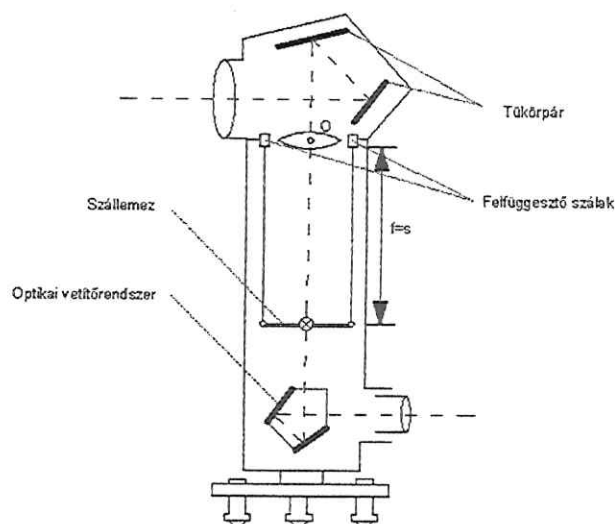
A képletben a - előjel az irányvonal-vezérlésű (a b szöget az a szöggel ellentétes irányban értelmezzük), a + pedig a fősugár vezérlésű kompenzátorokra érvényes. A b szöget mint a kompenzátor egyik szerkezeti elemének elfordulását kétféleképpen értelmezzük: relatív elfordulásként $-b_r$, és abszolút elfordulásként $-b_a$. Első esetben a távcső optikai tengelyéhez képest, míg utóbbit a helyi függőlegeshez képest mérjük. Így a kompenzátor mechanikai szögnagyítása lehet relatív, illetve abszolút. Fontos megjegyezni, hogy a kompenzátoroknak van optikai szögnagyítása is: ez a fősugár elfordulási szöge. Az elhelyezkedéséről n függvényében már írtam. Ezen felül úgy kell elhelyezni, hogy az irányvonalat egy U pont körül forgassa el, ami az állótengelyben, és a távcső optikai tengelyén van. A távcső méreteit nagyban befolyásolja a kompenzátor mérete, és vele együtt a különböző optikai elemek (pl. objektív és belső képállítási lencse távolsága, objektív és szátkereszt távolsága, gyújtótávolságok) egymáshoz viszonyított helyzetétől. Amennyiben a (23.) teljesül, és a kompenzátor távcsőben elfoglalt helyétől (lehet a távcső előtt, azon belül illetve a szátkereszthez képest állandó távolságra vagy a képtávolság felében) akkor biztosítható, hogy az alapegyenlet tetszőleges tárgytávolság esetén is érvényes legyen.

4.2.2. Szátkereszt-vezérlésű kompenzátor típusok

Akármilyen szátkereszt-vezérlésű kompenzátor megoldásról van is szó, a következő feltételnek teljesülnie kell:

$$s = \frac{f}{n_r} \quad (24.)$$

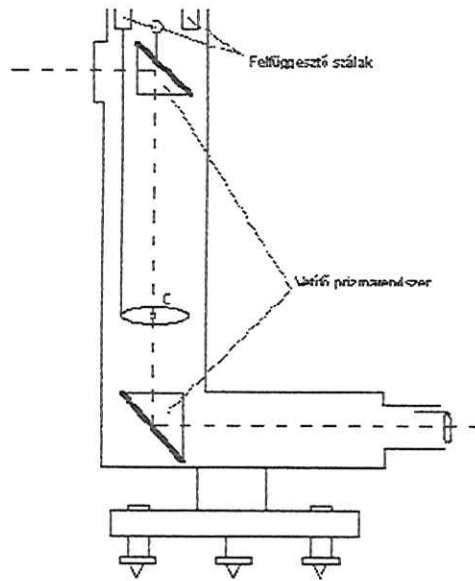
A képletben az S távolság tehát a szátkereszt és a kompenzátor K forgáspontjának távolsága, amint azt a 39. ábrán is látható.



42. ábra Szabatos szintezőműszer Olaszországból

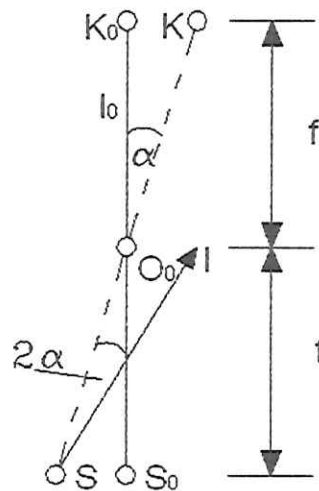
Elsőként a Filotechnica Salmoiraghi 5190 típusú szabatos szintezőműszer függőleges szálon felfüggesztett szállemez kompenzátor megoldását mutatom be a 42. ábrán, ami egyszerűsítve mutatja a műszer szerkezeti felépítését. Az okulárba benézve egy prizmarendszer megtöri a sugármenetet, majd a felső részén egy tükörrendszer ismét megtöri. Ez a tükörpár magassági irányban 10 mm intervallumon belül eltolható, így egyben optikai mikrométerként is funkcionál. A lényegesebb rész: a szállemez 3 felfüggesztő szálhoz van rögzítve, így ingamozgást végezve áll be vízszintesre. A K forgáspont itt olyan helyen van, hogy az egybeesik az objektív O optikai középpontjával, az objektív fókusz távolsága egyenlő a fizikai inga hosszával. Ezen műszer kompenzációs tartománya $[5']$, a beállási középpontja $0.2''$. Létezik keresztszál as megoldás is, egyik lehetséges megoldása, amikor a távcső belsejéhez két pontban négy fémszálat függesztenek fel, és ez tartja a szállemez. Ezen két fémszál egymást keresztezi, és a nehézségi erő hatására szintén kis tartományon belül elmozdul. Ebben az esetben a kompenzátor közel van az okulárhoz, így igen kisméretű és könnyű. Következő eset az ún. libellás szátkereszt vezérlésű kompenzátor. Ez egy különösen érdekes megoldás, hiszen itt egy csöves libella végeit vetítik egy prizmarendszeren keresztül az okulárba, és az egy hengerlencse által vízszintes szál at alkot. Ennek a kompenzációs tartománya $[1,5']$.

4.2.3. Objektívvezérlésű kompenzátorok



43. ábra Objektívvezérlésű kompenzátor

A 43. ábrán látható a Filotechnika Salmoiraghi 5173-5175 típusú közepes pontosságú szintezőműszereiben lévő három szálon függő objektívvel oldották meg a megfelelő leolvasást. Hasonlóan a Franke FN2 és FN3 műszerekben is. Itt az objektív felfüggesztési pontja (azaz az inga forgáspontja), az optikai középpontja és a szálkereszt középpontja egy függőleges egyenesben vannak.

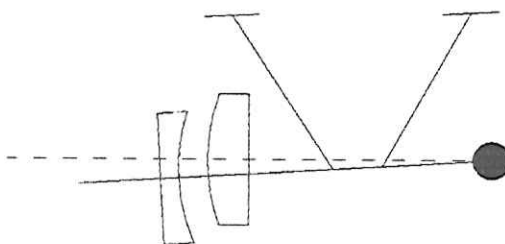


44. ábra Objektívvezérlésű kompenzálás

Azaz K_0 , O_0 , és S_0 egy egyenesre illeszkednek. Amennyiben a távcső kis mértékben dől, a rendszer követi a dölést, és az észlelő már a függőleges képet látja az okulárba nézve. Tehát a dőlés esetén az irányvonal 2α mértékben dől, ezt hivatott kompenzálni a felül felfüggesztett prizmarendszer. Elvi vázlatát a 44. ábra mutatja.

4.2.4. Objektív előtt elhelyezett kompenzátorok

A Guszev-féle szintezőműszerekben egy optikai ék téríti el az irányvonalat, az optikai ék szerepét pedig nem más mint két üvegkamra, amiben dibutil-ftalát nevű anyag van, e (egyébként színtelen, viszkózus mérgező) folyadék felszíne pedig a nehézségi erő hatására vízszintessé válik, és az irányvonalat a mértékben téríti el. Így az elfordulás 2α lesz, és a vízszintessé tételre egy derékszögű prizma szolgál ami a távcsőházzal együtt a szöggel fordul el.

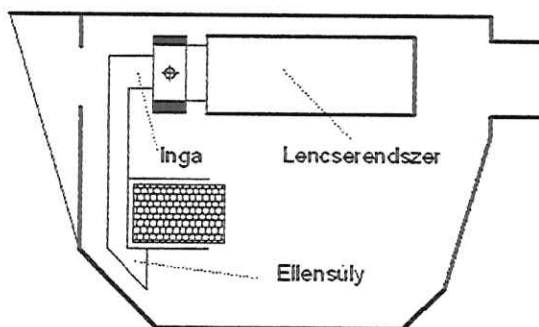


45. ábra Szovjet NSM-2 típusú műszer kompenzátor megoldása

Szovjet mérnökök is fejlesztettek ki ékes kompenzátor, itt az ék szerepét egy lencserendszer tölti be, ami egy síkhomorú és egy síkdomború lencséből áll. Ebben a műszerben a csuklós négyszögre függesztett kompenzátorlencse mozdul el az alábbi módon: a fekete körrel jelölt ellensúlynak kiegyensúlyozó szerepe van. A síkhomorú lencse elmozdul, így a két lencse vízszintessé teszi az irányvonalat. Gyakran alkalmazott megoldás a tükrös kompenzátor, amikor is a képalkotó sugárnyaláb útjában elhelyezett ingára felfüggesztett tükör téríti el az irányvonalat. Itt találunk olyan megoldást, ahol igen kicsi a relatív szögnagyítás. A MOM Ni1 műszerben a kompenzáortükröt egy rugós ingához rögzítették, olyan módon hogy a mértékű távcsőhajlás esetén a tükör elfordulása ennek fele legyen. A kompenzációs tartomány $[30']$.

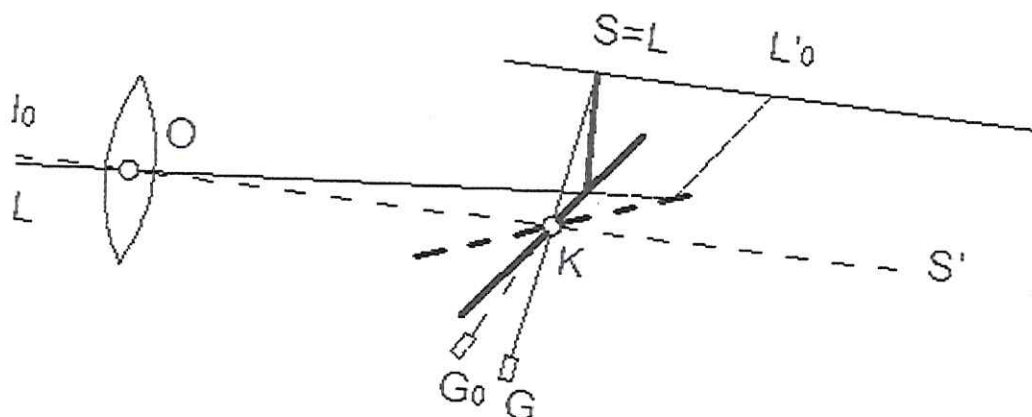
4.2.5. Objektív és a szátkereszt között elhelyezkedő kompenzátorok

A következő műszerben egy egyszerű lencsés megoldást láthatunk: a Kern GK0-A jelzésű műszerben egy golyóscsapágy tengelyű inga van felfüggesztve az ábrán is látható pontban. Ez mozgatja a lencserendszert. Ellensúlyként a sraffozott részen lévő mágnes szolgál. Ennek a kompenzációs tartománya $[30']$. Igen hasznos ez a fajta kompenzátor, hiszen kisebb tömegű és kisebb méretű is.



46. ábra Kern GK0-A

Az objektív és szálkereszt között elhelyezkedő kompenzátorok is hasonlóan működnek mint az objektív előtt lévő társaik. Ez is igen népszerű mód, ennek megfelelően sokféle-fajta megoldás létezik. Ismerünk tükröt vagy tükrö-rendszert használó kompenzátort, egyszerű illetve összetett ingára függesztett rendszert, illetve többfajta elhelyezésű és elrendezésű szerkezeteket. Egyszerű vázlatot mutat a 47. számú ábra.



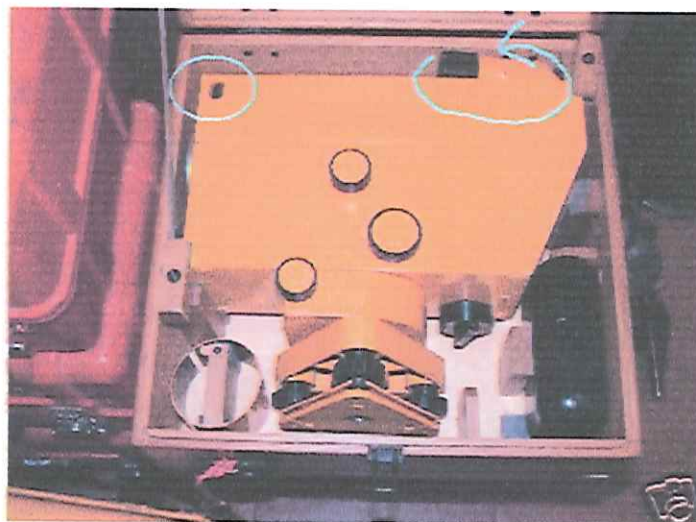
47. ábra Tükrös kompenzátor

A vastag vonallal jelölt tükrő forgástengelye K pontban van rögzítve. Vízszintes helyzet esetén S szálkereszt középpontján megy át. Dőlés után az inga G_0 helyzetből G helyzetbe kerül, így vele fordul a tükrő is. Ez pedig pont akkora szög, mint amennyivel a távcső megdől, és ismételten S pontba érkezik az irányvonal. Ilyen kompenzátora van az Optikai Művek nagysikerű konstrukciójának, a Ni A31 jelű műszerének is. A relatív szőgnagyítása -1, a tükröző felület egy egyszerű távcsőben a képtávolság felében van. A műszerben ez úgy teljesül, hogy a kompenzátortükrő az ingához van erősítve. Igen jó megoldást találtak a mérnökök a kompenzációs tartomány vizsgálatára: a szálkereszt képe az okulárban az állótengely dőlésétől függően mindig más helyzetben jelenik meg.



48. ábra A GGKI laboratóriumának libellamérlegén lévő MOM NiA31

Amennyiben kívül esik a tartományon, az átvetített szálak a második szállemezen lévő vastag vonásokon kívülre esnek. Az optikai mikrométer hibát okoz az irányvonalban, ugyanis ha az állótengely ferde, akkor annak a távcső irányába eső dőlésszögével arányosan magassági irányban eltolja. Az objektív tárgyoldali fókuszához képest az állótengely azonban külpontos elhelyezésű, így a mikrométerként használt síkpárhuzamos üveglemez nem okoz hibát. Egy osztásegység eltolódás értéke 5 nm.

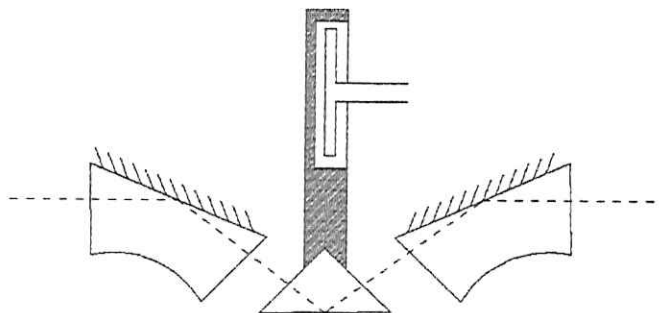


49. ábra Zeiss Ni002

Hasonló megoldású a Zeiss cég NI 002A jelű műszere is. További előnye a MOM műszeréhez képest, hogy a kompenzáortükre 180°-kal elforgatható a függőleges tengelyéhez képest, azaz két kompenzátorállása van. Az ilyen módon végzett mérésekkel a vízszintes $[1'']$ -en belül kijelölhető. A kompenzációs tartománya $[10']$. (mindkét fentebb

említett műszer a szabatos kategóriába tartozik) Utóbbi motoros szintezésekhez készült, ugyanis az okulár elforgatható (49. ábra), így az előre és hátraleolvasások között nem kell megkerülni a műszer, egy helyzetben lehet végrehajtani az észleléseket. Ennek megfelelően az irányzó dioptrája sem a megszokott, a műszer két oldalán látható koincidenciás vetítő berendezéssel lehet a durva irányzást elvégezni. A mikrométer beosztása 1 cm-es intervallumon mozog. A kompenzátor beállási hibája $[0.5'']$, míg a két kompenzátorállásban oda-vissza végzett szintezések km-es középhibája $[0.2] - [0.3]$ mm/km.

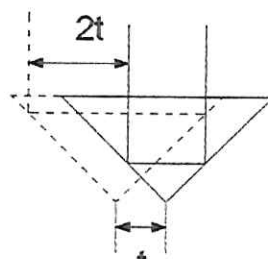
Egy másik megoldás, amikor a kompenzátor lengő részét négy szálhoz függesztik. A távcső dőlése esetén a lengő tagon lévő súly miatt az mindig jobban elmozdul a vízszinteshez képest mint maga a távcső. Itt a kompenzációs tartományon belül a relatív szőgnagyítás $n_r=1$. Ilyen rendszer van az első kompenzátoros szintezőműszerben is, a Zeiss Opton Ni 2 jelzésűben. Ennek sugármenetét mutatja a kompenzátor tükröknél a 50. ábra



50. ábra Zeiss Opton Ni 2 kompenzátora

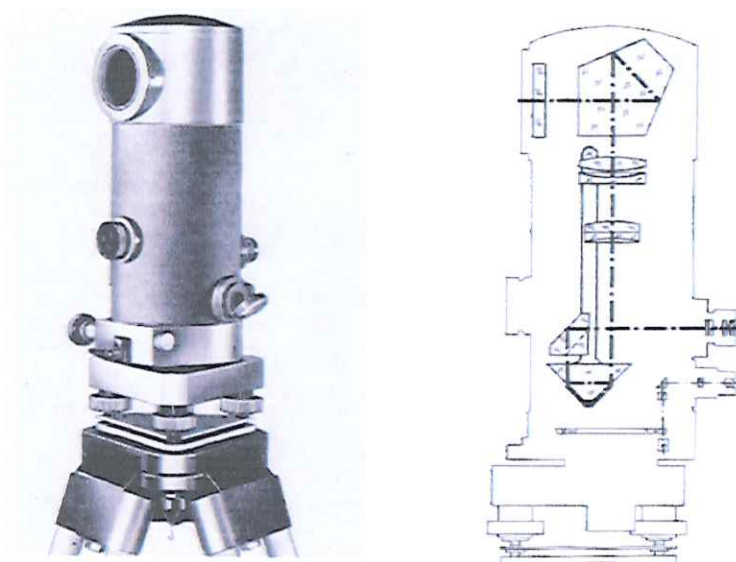
Ezt a műszert igen sok feladatra lehet használni, így például folyóátszintezéshez, amikor egy műszerállványra rögzítenek két műszert, irányozni pedig műszerállványra rögzíthető jeltárcsákat kell. Kiegészítő elemekkel használhatjuk optikai vetítőként, asztrolábiumként, és akár 1.8 m távolságra lévő léceket is irányozhatunk. Bendefy ezt írja róla: „Kelj fel Jancsi elven működő kompenzátor: a súrlódás elkerülése végett egy igen kis tehetetlenségű rugós csuklózású négyszögre szerelt tükör. Ez önműködő módon kompenzálja az irányvonal elferdüléséből származó, a vízszintes szálhoz tartozó leolvasást. A kompenzátor pontossága egyenlő egy 3"-es libelláéval.” (1953, Geodézia és Kartográfia) Kísérleti mérésekből adódott, hogy az addigi legkorszerűbb libellás műszerhez képest az Opton műszerrel közel 40%-os időmegtakarítás érhető el. Hasonló kompenzátor van a Zeiss Ni 025 műszerben, csak fordítva: a két oldalsó prizma fix, míg a harmadik rögzített.

Ezen felül a objektívhez közelebbi kompenzátor prizma nem lefelé, hanem felfelé irányítja a sugármentet.



51. ábra Párhuzamos sugáreltolás

A párhuzamos sugáreltolású kompenzátorok fősugarának eltolását egyetlen prizmaival meg lehet oldani mégpedig az 53. ábrán látható módon. Ez a prizma két derékszögű élén tükröző felülettel van ellátva. Így tehát amennyiben a prizmat adott távolsággal eltoljuk, kétszer annyival tolódik el a sugármenet. Ilyen rendszer van a Zeiss Ni007 típusú műszerben is. Két prizmaival történő kompenzálás után a sugármenet vízszintes, ezért a fent látható pentaprizmával tették ismét vízszintessé. Ez a prizma egyben mint optikai mikrométer is funkcionál, mégpedig 0.5 cm-es intervallummal.



52. ábra Zeiss Ni007 - műszer és a sugármenete

A Zeiss 050 műszerben is hasonló kompenzátor működik. Felépítése a Zeiss Opton Ni 2-höz hasonló. Érdekessége a műszernek, hogy nem talpcsavarokkal lehet függőlegessé tenni az állótengelyt, hanem két ékkorong szolgál erre. Mindkettő egyik oldal ferde,

mégpedig ugyanolyan szögben egyenes síkkal lemetszették. Így amennyiben íves oldalukkal egymásra fektetjük úgy hogy egyiknek legkisebb magasságú része legyen a másik legmagasabb részénél, egy vízszintes korongot alkotnak. E két korong oldalán két kar van, amikkel lehet mozgatni azokat, amennyiben ellentétes irányba, akkor a mozgítás irányába dől a műszer, amennyiben egyszerre egy irányba forgatjuk a két kart, akkor pedig az helyi függőleges körül forog úgy, hogy akörül az állótengely egy kúp palástjának alkotója minden helyzetben.

4.2.6. A kompenzátoros szintezőműszerek vizsgálata

A kompenzátoros szintezőműszereket is meg kell vizsgálni, hiszen adódhatnak olyan igazítási hibák, amik a mérésben nagy eltérést okozhatnak. Ilyen például ha az állótengely-libella nem függőleges. Bár a kompenzátor egy bizonyos tartományon belül képes kiküszöbölni az állótengely ferdeségét, mégis jobb ha a libella pontos értéket mutat. Erről a következőképpen győződhetünk meg: a távcsőre egy csöves libellát rögzítünk (vagy a műszer felső részéhez), és ezzel pontosan függőlegessé tesszük a műszer állótengelyét. Amennyiben nem igazított a szelencés libella, akkor az nem lesz a koncentrikus kör közepén. Az igazítást egy libellamérleggel megtehetjük: a műszert a mérlegre tesszük, majd állótengelyét ismét függőlegessé tesszük a csöves libellával. Ezután a távcsövet a libellamérleg karjának irányába fordítjuk, és leolvassuk a finomállító csavar állását. Ezután a csavarral középre hozzuk a szelencés libellát, majd ismét leolvassuk a csavar állását. E két leolvasásból, kapjuk a libella igazítási hibáját a következő képlettel (ahol a'' a libellamérleg állandója):

$$\vartheta = (m_2 - m_1) \cdot \alpha'' \quad (25.)$$

E módszerrel megkapjuk az igazítási hiba egyik irányú összetevőjét. Amennyiben a távcsövet elforgatjuk a karra merőleges irányban, a másik összetevőjét is meg tudjuk határozni. A fekvő szál, és az irányvonal ferdeségének vizsgálatát a libellás műszereknél ismertetett módon kell elvégezni.

A kompenzátor meggyorsítja és leegyszerűsíti a mérést, azonban hibalehetőség is egyben. Hiszen ha hibás a működése, irányvonalferdeség léphet fel. Ennek vizsgálatát libellamérleggel elvégezhetjük: a ráhelyezett műszer állótengelyét függőlegessé tesszük, majd a távcsövet a libella karjával egy vonalba állítjuk. A műszertől egy kb. 10 m távolságra elhelyezett lécen leolvasásokat végzünk olyan módon, hogy közben a mérleg finomállító csavarjával a műszert előre-hátra döntjük, és a lécleolvasásokkal (l) egy

időben a csavar állását (m) is feljegyezzük. Ebből számíthatjuk a horizontferdeség és az állótengely hosszirányú komponensét d műszer-léc távolság és α'' ismeretében:

$$\delta\alpha''_h = \frac{l_i - l_0}{d} \rho'' \quad (26.)$$

$$\zeta''_h = (m_i - m_0) \cdot \alpha'' \quad (27.)$$

Hasonlóképpen számítható a keresztirányú ferdeség is, ha a távcső merőleges a mérleg karjára. Ez a hiba lehetősége sajnos a kompenzátor-szálak károsodása miatt fennáll, és figyelembe kell venni.

4.3. Digitális szintezőműszerek

A digitális műszerek a egy hasonló ugrást jelentenek a műszerek csoportjában a kompenzátoros műszerekhez képest, mint a libellához képest a kompenzátoros műszerek. A szintezést tudták a hagyományos geodéziai méréstípusok közül legkésőbb automatizálni. Az észlelési idő még jobban lerövidült. Egy digitális szintezőműszer használható mint kompenzátoros optikai műszer, ekkor teljesen figyelmen kívül hagyva az elektronikus egységeket, és mint elektronikus műszer ahol az irányzás után a leolvasás, tárolás a műszerben automatikusan történik. Emiatt az észlelő is kevesebb hibát követhet el mert digitális leolvasás esetén csak a irányzás miatt kell az okulárba nézni hiszen a magasságértékek meghatározása automatikusan történik, emellett a hibás jegyzőkönyv-vezetés, mint személyi hibalehetőség is kiesik.

Éjszaka is lehetséges mérni a lécs megfelelő megvilágítottságával. A műszerben világítás van beépítve a kijelzőhöz. A műszer beépített programjai az észlelőt minden fontos tényezőre, hibára figyelmeztetik, és igen egyszerű a kezelése is. Ellenben még több hibalehetőség áll fenn.

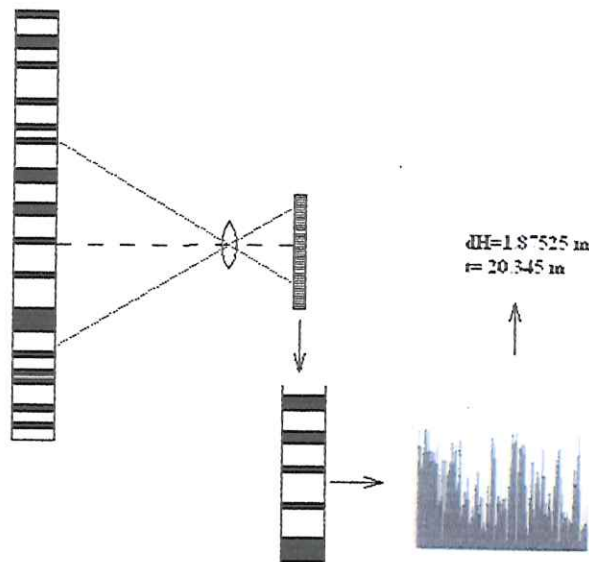
Módszerek tekintetében megkülönböztetünk aktív illetve passzív mérési folyamatot. Elsőnél lézertényforrást alkalmazunk, ami megjelöli a vízszintes síkok maga körül, egy helyzet-érzékeny detektor pedig a magassági információkról szolgáltat adatokat. Dolgozatomban szempontjából a passzív eljárás, és annak műszerei a lényegesek. Ebben az esetben egy CCD érzékelő sor fogja fel a speciálisan kódolt szintezőlécről érkező sugarakat.

4.3.1. A passzív mérési eljárás

A következő, 53 számú ábrán látható módon történik a leolvasás. A műszerben lévő optikán át egy érzékelő detektorsorba jut a lécs egy részének képe. Ezt a műszer



összehasonlítja a benne lévő lécek képével, és megkeresi a hozzá legjobban illő részt. Az irányzás tehát manuális, ezt követi egy digitális képalkotási és képfeldolgozási rész. Az összehasonlítási alapként szolgáló lécek képe a műszerben természetesen a távolságtól függően méretarányosan változik.



53. ábra Digitális képalkotás bárkódos lécről

A látómezőben leképződő lécek képe igen nagy intervallumban mozog: 3 m körül egy 10 cm-es léckivágatot kell értelmeznie a műszernek, míg a maximális 100 m-nél már több mint 3 m kerül a látómezőbe. Az érzékelő (ami egy 256-2048 elemből álló CCD-sor), miután felfogta a jelet, egy analóg-digitális átalakítást végez a felfogott lécek-kivágaton. Ezt már értelmezni tudja, különböző korrelációkat és transzformációkat végrehajtva azon, majd eredményként az észlelő lát egy magasságot, és egy távolságot. A számítógép az átalakított képet végigvezeti a tárolt lécek-képen, és minden egyes elmozdulásnál megvizsgálja, hogy egyezik-e a kép. Az egyezésig megtett elmozdulások összege adja a magasságot. Ez egy igen gyors folyamat.

A mérési idő rohamos csökkenésének, és a folyamat egyszerűsödésének azonban nagy ára van: az kompenzátoros műszereknél megismert hibákhoz képest több másik tényező is hozzáadódik, ami hibát okozhat, esetleg ellehetetleníti a mérést. Ügyelni kell a lécek egyenletes megvilágítására, a kitakarásra, illetve a lécvégeken történő mérésre. Előnyös azonban, hogy mintegy 50 fokig elfordulhat a függőleges tengely körül.

A legelső ilyen módon működő műszert 1966-ban fejlesztették Németországban. Ez már bárkódos léceken olvasott le. 1987-ben elkészült egy folytatás nélküli prototípus, majd 1990-ben jelent meg a Leica Na2000 típusú műszer. Ez volt az első digitális műszer.

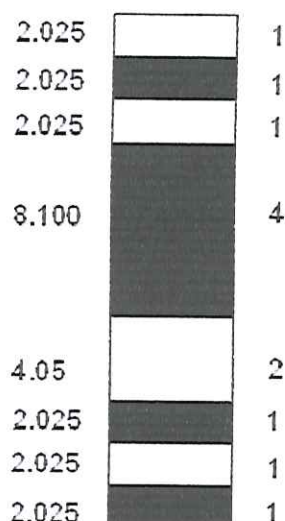
2002-ben jelent meg szintén a Leicától a DNA széria első darabja. Az általam használt Leica DNA 03 műszer digitális leolvasással 0.3 mm-es kilométeres középhibát kínál. Hasonló pontosságú a Topcon DL-101C: 0.4 mm/km. A Trimble DiNi1 12/12T műszer a Leica típussal egyező kilométeres hibával reklámozza a műszerét. Emellett a Sokkia cég is kínál digitális szintezőműszereket.

4.3.2. Digitális szintezés hibaforrásai

A digitális szintezés hibaforrásai főként az előnyéből adódnak: a digitális leolvasást sok tényező befolyásolja. A következőket kell számba vennünk:

- a lécs megvilágítása
- a műszer által vizsgált léckivágat mérete és helyzete
- ciklikus hiba
- leképző optika képalkotási hibái
- érzékelő szenzorok hibái
- lécosztás hibája
- hőérzékenységből eredő hiba
- mágneses hatás
- lécferdeség

Ezek közül eddig nem említett hiba a lécosztás hibája: amennyiben a használt bárkódos lécs megsérül, és rajta folt keletkezik a világos részen igen nagy hibát okozhat a mérésben. Sérült lécs használni nem szabad. Fontos az invárbetét hőtágulása, a csavarodás és a feszítőerő. A leképző optika minden műszernél egyedi, mivel minden szerkezet mérete eltér a többitől minimális mértékben. Hasonlóan a CCD szenzor is okozhat hibát, ezt is külön kell vizsgálni. A mágneses hatásnál érdekes tény, hogy helytől és iránytól is függ.



54. ábra Leica bárkódos lécc kódolása

A lécek tekintetében nagy különbségek vannak. Míg az optikai szintezésnél minden lécnél egyértelműen meg lehet határozni a magasságokat, digitálisnál a cégek különböző megoldásokat alkalmaznak. Az 54. ábrán a Leica cég igen egyszerű megoldását mutatom be: az osztásvonások (legyen az világos vagy sötét) mindig 2.025 mm vastagak, vagy annak páros számú többszörösei. Komparálásnál ezek középpontját vizsgálják. A többi műszergyártó hosszú képletekkel adja meg a sötét osztások vastagságát, és ismétlődése is igen bonyolult. E típusú lécek hossza 4050 mm, és 2000 osztással látják el. Ezen lécek kalibrálását Magyarországon is el tudják végezni a soproni Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetében. Az alagsorban található laboratóriumban egy erre a célra készített rendszer található. Hat fontos eleme van: egy sínrendszer két kocsival, ami fixen rögzítve van egy mélyen alapozott beton emelvényhez. A két kocsi a lécc alátámasztását szolgálja. A sínen a lécc hosszirányban tud mozogni egy számítógép által vezérelt léptető motor segítségével. A másik eleme egy CMOS kamera. Végül pedig az interferométer, ami a dróttal mozgatott kocsik és egyúttal a lécc mozgását méri 0.1 mm élességgel. Tartozik még egy meteorológiai állomás is a rendszerhez ami a hőmérsékletet, légnyomást és páratartalmat méri, és egy számítógép, ami a rendszer vezérli.



55. ábra Lézerinterferométer és a sugármenete pirossal jelölve

A komparálás elve, hogy meghatározzák a lécen lévő vékony sötét osztások egymástól mért távolságát, majd a gyártó által megadott távolságok segítségével a kettőből egy lécmétert határoznak meg. A méréskor a kamera az osztás felett van elhelyezve, és hosszirányban a léptető motor mozgatja a léceket a kamera alatt. Amikor egy vékony, azaz 2.025 mm vastagságú osztáshoz érkezik, a kamera lefényképezi majd a pixelekből számítja a pontos közepét, az interferométer pedig leméri az elmozdulást az első és az aktuális osztás között. A mérés elkezdésekor az első osztást manuálisan kell beállítani. Ezután a komparálást végző személy beállítja hány osztást mér meg. Beállít a számítógépen egy fájlnévet az eredményeknek, majd megadja hogy milyen szigorúak legyenek a meteorológiai javítások. Tehát ha elér egy adott határt, csak akkor vegye figyelembe, vagy folyamatosan mérje és rögzítse. A komparáláskor kapott lécméter adott hőmérsékletre érvényes, ezt azonban könnyen át számolni más hőmérsékletre is. Egy lécmegmérése kb. 45 percet vesz igénybe. Fontos azonban megjegyezni, hogy a mérést nem az első osztástól kezdik. A kezdő osztás és a talppont közötti távolságot külön kell megmérni. A már említett számítógép azonban nem csak a meteorológia állomást vezérli, a kamerát, a motort (ami miatt külön impulzus-kártyákkal van ellátva) és a motort meghajtó elektronikát is. Ezen felül folyamatos kapcsolatban áll az interferométerrel. Természetesen a komparálást, amennyiben nem bárkódos lécről van szó analóg módon optikai eszközökkel is el tudják végezni. Azonban míg többszöri méréssel az elérhető pontosság digitális módszerrel $|1|-|1.5|$ mm, addig analóg módszerrel $|3|-|10|$ mm.



56. ábra Mérőcsonk rajta pillérállvánnyal

A laboratóriumban többek között a belső képállítású lencse negatív képvezetését is tudják vizsgálni. A betonemelvénnyel egyik oldalán az 56. ábrán látható csonkok vannak elhelyezve, amelyek magasságkülönbségét igen pontosan meghatározták. Ezek közül az elsőre helyezett műszerrel a következőre illesztett lécs magasságát mérjük. Ezután a léceket arrébb visszük majd a következő csonkon is mérést végzünk így tovább a 28 m hosszú pályán. A magasságkülönbségekből számíthatjuk a műszer hibáját. De lehetőség van a képfeloldás meghatározására az ún. képfeloldásvizsgáló kollimátorral: amennyiben a parallaxiscsavarral a műszer tárgy távolságát végtelenre állítjuk, akkor az erre a célra kialakított mérőskálán kell a még kivehető vonásokat kell figyelni. Az 57. ábrán látható a kollimátor, és előtte egy MOM Ni-B5 jelű műszer. A laboratóriumban ezen kívül több fajta vizsgálat is elvégezhető. A KN24 jelű kollimátor állomással a szátkereszteket igazítását lehet elvégezni, ezen kívül a kompenzátor helyes működését lehet ellenőrizni



57. ábra Képfeloldásvizsgáló kollimátor

5. Összehasonlító mérések

5.1. A műszerek

A dolgozatom részeként terepi méréseket is végeztem. Az iskolában műszerek közül a következőket választottam a konzulensem javaslatára

- Leica DNA03 digitális szabatos kompenzátoros
- Leica NA3000 digitális szabatos kompenzátoros
- MOM Ni-A31 optikai szabatos kompenzátoros
- Zeiss Ni 002 optikai szabatos kompenzátoros

Az első két műszer a Leica cégtől: DNA 03 és Na3000. A DNA műszer meglehetősen könnyű, mindössze 2,8 kg súlyú akkumulátorral együtt is. Oda-vissza szintezéssel a gyártó 0.3 mm/km-es középhibát kínál, amennyiben invárbetétes léceket és ezzel együtt digitális leolvasást használunk. Előnye hogy a belső memóriájába akár 6000 álláspont adatait is menthetjük, de akár memóriakártyával is bővíthető. Természetesen digitálisan rögzítettem az adatokat. Kompenzátoros, mégpedig ingás felfüggesztésű és mágneses csillapítású. A méréskor a Vonalszintezés funkciót használtam, Tűréseknél beállítottam a Szabatost, a Sorrendnél HEEH módszert alkalmaztam. Beállítottam hogy figyelembe vegye a két lécleolvasás különbségét, és amennyiben nagyobb mint 0.2 mm figyelmeztessen az újramérésre.

A következő műszer az Na3000 jelű is szabatos szintező. Hasonló tulajdonságokkal bír, mint az előbb említett DNA 03 jelzésű. Sajnos a méréskor nem működött az adatrögzítés, így papíron kellett jegyzőkönyvet vezetnem. Az adatrögzítés hiánya miatt a beprogramozott szabatos mérés funkciót sem tudtam használni, így csak a leolvasás történt digitálisan, az eredményeket jegyzőkönyvben vezettem és az eltéréseket mérés közben számoltam.

A MOM NiA31 műszert Magyarországon a '70-es években felsőrendű szintezésekre használták. Jó okkal, ugyanis a kísérleti mérések alapján számított kilométeres középhiba 0.3 mm/km-re adódott. Az előtte használt libellás Wild N3 műszer sem sokkal rosszabb, ugyanaz a mérőszám a 0.4 mm/km. Mondhatni a magyar műszergyártás egyik műremeke, jól használható kisméretű, tömegű. Több sajátos mérést segítő megoldás található benne, ilyen a bal oldalán elhelyezkedő arretáló kar: a kétállású kart a mérést megelőzően vízszintes helyzetbe kell állítani. Függőleges állásban tehermentesíti a kompenzátort a továbbvitel, illetve szállítás alatt. A mikrométercsavar érdekessége hogy "löttyög", ennek

nyomás oka van: így ugyanis nem adódik át az észlelő kezének rezgése, és kisebb lökéseket is ki tud szűrni.

Végül a Zeiss Ni002A jelű műszer. Ez egy jóval nagyobb, ám szintén pontos műszer, lévén a két kompenzátorállásban való méréssel szinte teljesen vízszintes horizontot tudunk kijelölni. Mind a Zeiss, mind a MOM műszernél saját kezűleg vezettem a jegyzőkönyvet.

5.2. A mérések végrehajtása

A mérés előtt kijelöltem az álláspontok helyét, és a kötőpontot, így mérés közben nem kellett ezzel foglalkozni. Az álláspontokat festéssel jelöltem a földön, míg a kötőpontokat vascövekkel. Sikerült az összes kötőpontot vascövekkel megjelölnöm, ezen kívül belevettem a 4 meglévő állandósított pontot, amik egyben a szakaszokat is kijelölték. Ezek a pontok a következők voltak: a Gyümölcs utca - Pirosalma utca sarkánál lévő gomb (1000), a Pirosalma utca közepén a dékáni hivatal előtti gomb (1001), és a másik sarkon a Deák Ferenc utcánál lévő gomb (1002). Az utolsó pont pedig a Nemes Nagy Ágnes Lánykollégium előtt a Gyümölcs utcában található gomb (1003). A méréseket oda-vissza végeztem a szabatos szintezés szabályainak megfelelően. Az előzőleg kijelölt kötőpontok minimum 30 percet pihentek a földben, így ezek nem mozogtak már, vagy ha igen akkor annyira minimális mértékben és egyenletesen, hogy az nem zavart bele a szintezésbe. Lécként 2-2 (műszertől függően hagyományos vagy bárkódos) invárbetétes lécet használtam, és azokhoz két kitámasztó lécet. Két segítőm volt, és páros számú műszerállásban mértem. Sajnos a legnagyobb odafigyelés sem volt elég hogy tökéletes legyen a mérőfelszerelés, a Zeiss műszer 1 cm-es mikrométerskálájához 1 cm-es lécet kellett volna használnom, ehelyett 0.5 cm osztásúval dolgoztam. Szerencsére így is jó (bár a szabatos szintezés pontossági követelményeit nem kielégítő) eredményeket kaptam, ahogy az későbbiekben kiderül. A mérés kezdetekor a cél a 1000 és 1003 számú pont közötti vonal szintezése volt a cél, majd később ez módosításra került, és a kört bezártam, így a 1003 és 1000 pontok között egy új szakaszt iktattam be. Így a négy szakaszt két részletben mértem meg a két optikai műszerrel. A 3 műszerrel mért eredmények papíron voltak, így ezeket a számításhoz digitalizálni kellett. A következő módon jártam el: a sablon elkészítése után kézzel beírtam a mért értékeket egyesével. Miután az összeset beírtam, a hátuljától kezdve átnéztem hibákat keresve. Ezután az eredményeket a SpeakBoard szoftverrel felolvastattam, kezemben az eredeti mérési jegyzőkönyvvvel. Így már biztosan hibátlanul rendelkezésemre állt az összes nyers eredmény digitálisan.



5.3. Időbeli összehasonlítás

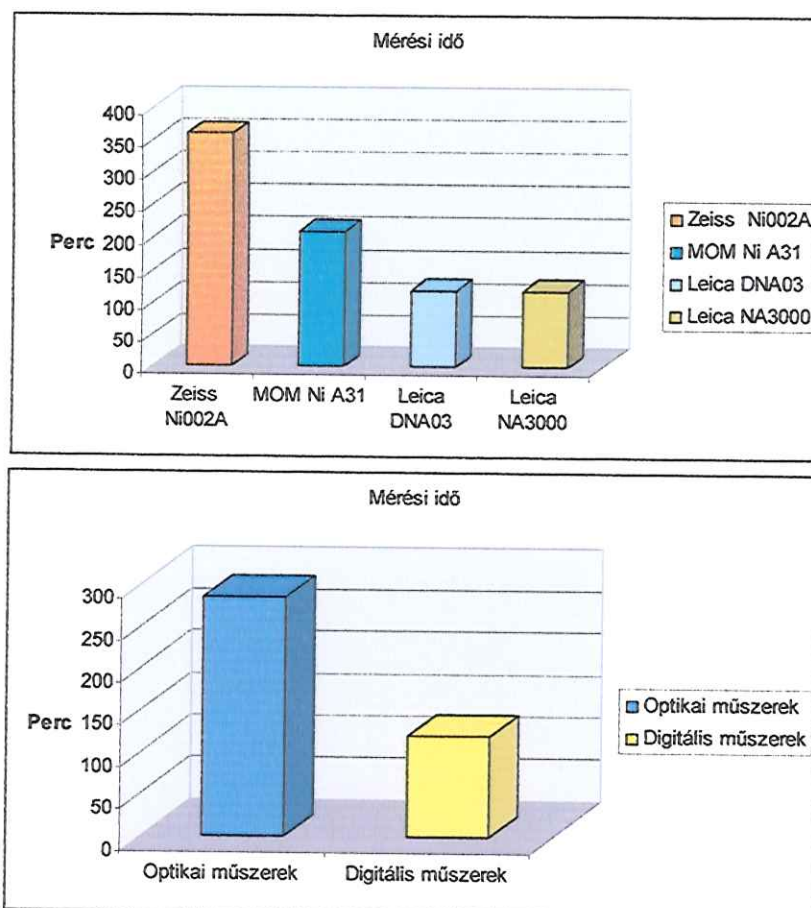
	I. II. III. szakasz			IV. szakasz		
	Nap	Kezdés	Vég	Nap	Kezdés	Vég
MOM Ni A31	10. 01	10 ó 50 p	13 ó 37 p	11. 03.	10 ó 34 p	11 ó 36 p
Zeiss Ni002A	10. 14.	13 ó 56 p	18 ó 30 p	11. 02.	14 ó 30 p	16 ó
	Nap		Kezdés	Vég		
Leica DNA03	11. 11.		13 ó 30 p	15 ó 30 p		
Leica Na3000	11. 03.		12 ó 30 p	14 ó 45 p		

5. Táblázat Mérések ideje és időtartama

Ez alapján könnyen számítható hogy a MOM műszerrel ~210 perc, a Zeiss műszerrel ~360 perc, míg a Leica műszerekkel 120-120 perc lemérni az adott szakaszt. Ehhez persze hozzátartozik, hogy a digitális műszereknél már kicsivel több gyakorlattal rendelkeztem. Ellenben a lécesek mások voltak, és több időbe tellett amíg függőlegesé teszik a léceket. Így az idő nagyjából egyenletesnek tekinthető. Ezen tények mellett is látható, hogy a digitális műszerekkel igen gyorsan lehet mérni, azaz a Zeiss műszerrel megközelítőleg 3x annyi időbe tellett lemérni ugyanazt a szakaszt. Ennek okai a következők:

- papír jegyzőkönyv-vezetés
- magasságkülönbségek ellenőrzése számológéppel
- parallaxis megszüntetése és ennek ellenőrzése
- mikrométercsavarral osztás közrefogása
- két kompenzátorállásban való mérés

Ezen kívül hozzáadódik, hogy 0.5 cm-es léccel mértem, így ha nem azonos osztásokat fogtam közre, akkor az egyből megmutatkozott és újra kellett mérni. A gazdaságosság tekintetében tehát a két digitális műszer magasban az optikai műszerek fölött van. A jegyzőkönyv-vezetés ellenére az NA3000-el nem nőtt jelentősen a mérési idő a DNA03-hoz képest.



1. Diagram Mérési idő változása

Ennek oka, hogy amíg az előbbivel a mért adat megjelenítése, majd leírása (mivel a két előre és hátra leolvasás hasonló volt, azonnal ki tudtam számolni fejben a HE-HE különbséget), az utóbbinál a szoftverrel való adatrögzítés, majd menüben továbblépés közel annyi időt vett igénybe. Az első ábrán látható hogy mennyi időt töltöttem méréssel egyes műszerek esetében. Ez különösen a Zeiss műszer esetében kiemelkedően magas. A MOM műszer a Leica és a Zeiss között végzett. Így elmondható, hogy igen gazdaságosan használható konstrukció. Ha az optikai és digitális típusokat átlagolva hasonlítjuk össze, kapjuk, hogy több mint kétszer annyi időbe telik adott szakaszt lemérni hagyományos módszerrel. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy nem vagyok gyakorlott szintező, ami különösen az optikai műszereknél jelenti a mérési idő növekedését. Ennek ellenére mégis úgy vélem, hogy igen sokkal nem lehet lecsökkenteni fent látható időtartamot, tehát mondhatni reálisak a diagramon látható értékek. Nem lehet általános következtetést sem levonni, hiszen a kísérletben csak 2-2 műszer vett részt. Mégis jól mutatja, hogy mennyi időt spórolhatunk, ha a korszerű módszereket használjuk.

5.4. A mérések eredményeinek összehasonlítása

A mérés során a kötőpontok bár ugyanazon a helyen voltak, az iskola vascövek-állományának megmaradása érdekében azokat a mérés után kivettem. Emiatt az egyes álláspontok magasságkülönbségeinek összehasonlítása kevésbé érdekes, annál inkább a szakaszok magasságkülönbségei. Ezt a 6. számú táblázat tartalmazza méter egységben.

	Oda				Vissza			
	NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03	NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03
I	1.15730	1.15614	1.15735	1.15724	1.15758	1.15615	1.15714	1.15728
II	0.32282	0.32417	0.32311	0.32302	0.32295	0.32152	0.32305	0.32309
III	-1.50205	-1.50361	-1.50104	-1.50107	-1.50229	-1.50164	-1.50204	-1.50101
IV	0.02152	0.01796	0.02110	0.02082	0.02058	0.01807	0.02096	0.02070

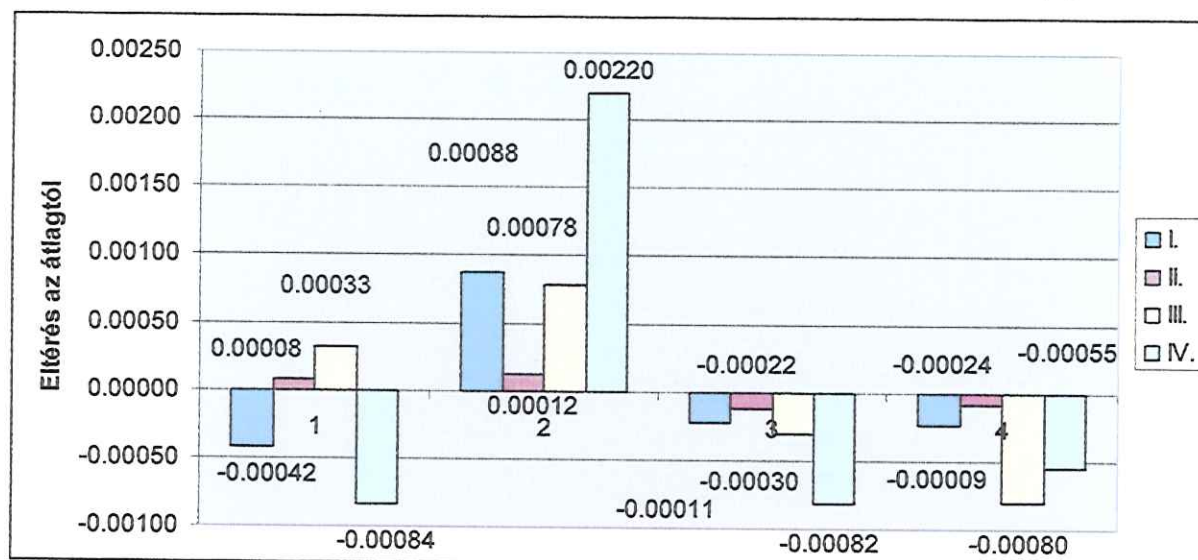
6. Táblázat Szakaszok magasságkülönbségei

Elsőre kitűnik, hogy 3 műszerrel közel hasonló értékeket kaptam, míg a Zeiss műszerrel igencsak eltérnek az értékek. Például az első két szakaszon az odaméréskor a többi átlagtól az eltérés több mint 1 mm, a többi között pedig csak pár századmilliméter. A harmadiknál a DNA03 és NA3000 műszer még összhangban van, ettől, és egymástól is eltér a két optikai műszer. A negyedik szakaszon pedig már 3 mm-re nő ez az érték. Az odamérés eredményei tehát a digitális műszernél összhangban vannak, a NI A31-es jól közelíti ezeket, míg a Zeiss-nél nagyobb ingadozásokat is találunk. A visszamérésnél az első két szakasz eredményei hasonlóak mint az odaméréskor, míg a harmadik szakasznál minden műszer között tapasztalunk különbségeket. Ehhez persze fontos ismerni a szakaszok hosszát: az első 80 m, a második 61 m, a harmadik 325 m, míg a negyedik 175 m.

Átlag	Eltérés az átlagtól (m) - Oda			
	NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03
1.15701	-0.00029	0.00087	-0.00034	-0.00023
0.32328	0.00046	-0.00089	0.00017	0.00026
-1.50194	0.00011	0.00167	-0.00090	-0.00087
0.02035	-0.00117	0.00239	-0.00075	-0.00047
	Vissza			
	NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03
1.15704	-0.00054	0.00089	-0.00010	-0.00024
0.32265	-0.00030	0.00113	-0.00040	-0.00044
-1.50175	0.00055	-0.00010	0.00030	-0.00073
0.02008	-0.00050	0.00201	-0.00088	-0.00062
	Közép			
	NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03
1.15702	-0.00042	0.00088	-0.00022	-0.00024
0.32297	0.00008	0.00012	-0.00011	-0.00009
-1.50184	0.00033	0.00078	-0.00030	-0.00080
0.02021	-0.00084	0.00220	-0.00082	-0.00055

7. Táblázat Átlagok, és azoktól való eltérések

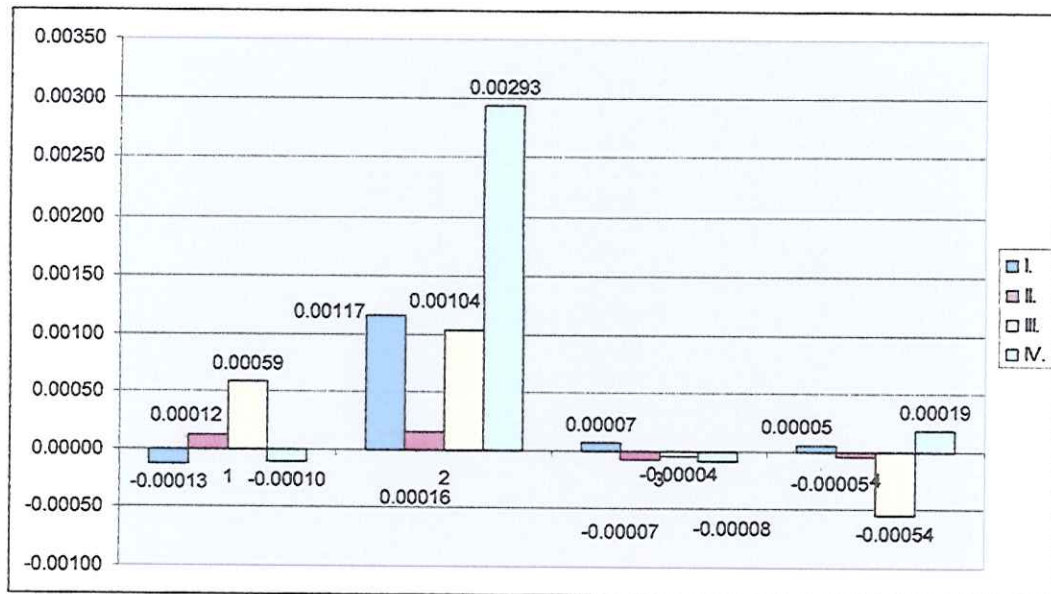
A harmadik szakaszon – lévén a leghosszabb – adódik a legtöbb tényező, ami hatással lehet a mérésre. Itt ugyanis volt napos álláspont, volt ahol a fák árnyékoltak; de akadt olyan ahol igen közel volt a közút, emellett találni szinte teljesen autómentes részt is. Jól látható, hogy az átlagok (7. táblázat) az oda és visszamérésnél csak tizedmilliméter eltéréseket mutatnak. Az eltérések számszerűen szerepelnek ugyan a táblázatban, de célszerűbben grafikonon megjelenítve alkalmasabb következtetések levonására (m):



2. Diagram Eltérések az átlagtól a közepelésekből, a műszerek sorrendje balról jobbra megegyezik a 7. táblázatban lévővel

Szembevetendő hogy a Zeiss műszernél szinte mindenhol (a harmadik szakaszon 0.02 mm-el nagyobb a DNA03 eltérése) nagyobb az eltérés az átlagtól. Ez alapján első helyen az NA3000 szintező végzett, második a DNA03 utána a MOM végül a Zeiss műszere. Egy kivétellel mindenhol az utolsó szakaszon a legnagyobb az eltérés, ami igen érdekes, hiszen a harmadik szakasz szinte csak fele olyan hosszú. Ebből az következne logikusnak hogy a szakasz hosszával nem áll egyenes arányosságban a megbízhatósága.

Mivel láthatóan eltérnek a Zeiss mérési eredményei már a 6. táblázatból is, ezért a következő diagramon nem szerepel az átlagképzésben ez a műszer, és az ilyen módon képzett középértől való eltéréseket mutatja méter egységben. Így jól látható hogy az eltérések lecsökkentek különösen az NA3000 esetében. A másik két műszernél sem éri el a 0.6 mm-t. Ellenben a Ni002A szintező eltérései kis mértékben növekedtek. Amennyiben tehát szerepel a Zeiss műszer is az átlagképzésben, lerontja a többi műszer eredményét. Ezek alapján azt mondhatom, hogy igen jó eredményeket kaptam mind 3 műszerrel.



3. Diagramm Eltérések az átlagtól a NI002A nélküli közepelésekből, a műszerek sorrendje balról jobbra megegyezik a 7. táblázatban lévővel

De ami még fontosabb, hogy mivel az első szakasz kezdőpontja egyben az utolsó szakasz végpontja is, a magasságkülönbségek összegének ideális esetben 0-nak kellene lennie. Ez e helyett a következőképpen alakul:

Közepelések összege (m)				
NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03	Átlag
-0.00079	-0.00562	-0.00018	0.00004	-0.00164

Oda				
NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03	Átlag
-0.00041	-0.00534	0.00052	0.00001	-0.00130

Vissza				
NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03	Átlag
-0.00118	-0.00590	-0.00089	0.00006	-0.00198

8. Táblázat Magasságkülönbségek összegei: középérték, majd külön oda-vissza

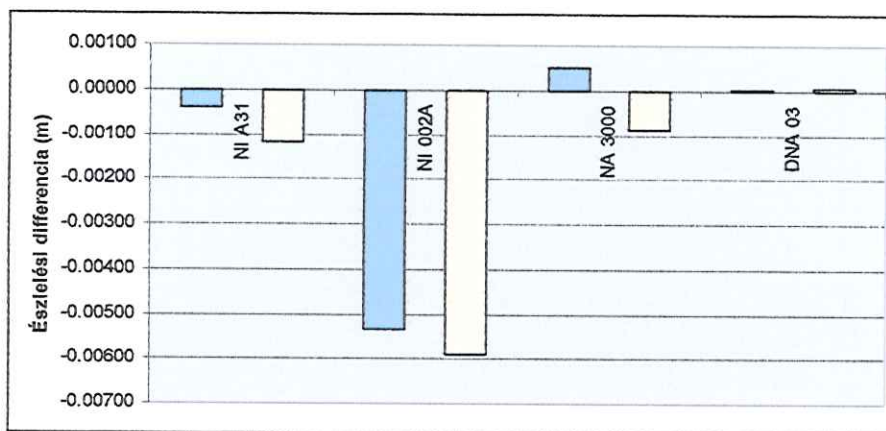
E táblázat alapján a Leica DNA03 szintező a legjobb, ugyanis a 0.04 mm a legszigorúbb követelményeket is kielégíti. A 2011-es M2. Mérnökgeodéziai Tervezési Segédlet (2011) alapján az észlelési differencia értékei a mérés rendűségétől függően következők lehetnek:

- I. rendű esetén 0.96 mm
- II. rendű esetén 1.92 mm
- III. rendű esetén 2.88 mm

Így a hibahatár 1/24-e az elért pontosság. Ami ennél is meglepőbb, az odamérés eredménye, ami mindössze 0.01 mm. A mérések pontossága tekintetében a 2. helyen a

másik digitális műszer szerepel, harmadik a MOM, az utolsó pedig a Zeiss. A szakaszok bizonytalansága alapján már lehetett számítani, hogy az eredmények nem lesznek megfelelőek. Így azonban teljesen biztossá vált. Sajnos időhiány miatt az újramérés nem kivitelezhető. Azonban ami még ennél is sajnálatosabb tény, hogy még a harmadrendű szintezés pontosságát sem elégíti ki. Bár a MOM műszerrel végzett szintezés is csak a másodrendű mérésnek lenne megfelelő, így is majdnem 1/5-e az észlelési differencia a Zeiss-hez képest. Ez alapján az optikai műszerek közül a magyar gyártású alkalmasabb mérésre. A digitális műszerek közül az újabb DNA 03 jelzésűvel kaptam jobb eredményeket. A digitális-optikai műszerek összehasonlításának nincs sok értelme, hiszen egyértelműen sokkal jobb eredményeket kaptam a korszerűbb konstrukciókkal.

A már említett lécek kompatibilitási hiba kiküszöbölésére összehasonlítottam az álláspontokon mért magasságkülönbségeket az oda-vissza mért különbséggel, a két kompenzátorállásban mért magasságkülönbséggel, a többi műszerrel, és ahol egyértelműen hibás mérés volt, ott azt kivettem a jegyzőkönyvből. Ezzel bár javultak az eredmények, még mindig igen sok felfedetlen hiba maradt, ami valószínűleg a rossz lécek használata miatt adódott.



58. ábra Az oda-és visszamérések összehasonlítása

Még egy érdekesség felfedezhető: az odamérés mindegyik mérésnél kisebb eltérést mutatott (58. ábra). De látni lehet itt azt is, hogy melyik műszer mérési eredményei bizonyultak jónak illetve kevésbé jónak. Tehát minden oda-visszamérésből az odamérésre kaptam jobb eredményt. Bár különösen nagy eltérés egyik mérésnél sincsen, mégis látható. Ez alapján indokoltnak látszik az ajánlás, hogy az oda-, és visszamérést másik napszakban kell elvégezni. Mert bár a Zeiss műszerrel 3x annyi időbe tellett lemérni a vonalat mint a digitális társaikkal, és az észlelés is sokkal fárasztóbb, mégis szabályosan nő a zárás hibája.

Átlagos hőmérséklet					
Zeiss Ni002A I.	Zeiss Ni002A II.	MOM Ni A31 I.	MOM Ni A31 II.	Leica NA3000	Leica DNA 03
7	8	24	3	3	1

9. Táblázat Mérések alatti átlaghőmérsékletek a www.metnet.hu alapján

A hőmérséklet amint a 9. táblázatban látható, egy kivétellel igen kedvezőtlen volt. A mérési idő minimálisan a digitális műszerekkel két óra volt, egy álláspont itt 2,5 percre adódik átlagosan. Ebből az átállási idő a léces szempontjából nagyjából fél perc, tehát két percen keresztül kell fogni a lécet, a mérési idő alatt (kb. egy perc) mozdulatlanul függőlegesen. Ez igen fárasztó tud lenni, így könnyen előfordulhat, hogy figyelmetlenség miatt a léce nem lesz teljesen függőleges. A MOM műszernél 3 körülbelül 2 perc a mérési idő, a Zeiss-nél pedig 4-5 percre adódik egy állásponton a mérési idő ami alatt fixen kell fogni a lécet. Az optikai műszereknél pedig közbejöhet, ha nem megfelelő a mérés és újra kell mérni, ekkor majdnem megduplázódik a mérési idő. Ez bizony még megterhelőbb, mint az előző esetben.

Végül pedig számítottam a kilométeres középhiba értékét. Ezt a következő táblázat tartalmazza:

Középhiba			
NI A31	NI 002A	NA 3000	DNA 03
0.12862	0.09354	0.23552	0.00835

10. Táblázat Utólagos középhiba értékek

Az a posteriori középhiba értékekből szintén kitűnik a Leica DNA 03 műszer, igen kicsi értékekkel. Érdekes, hogy a második legjobb érték a Zeiss műszeré, majd a MOM végül pedig az NA3000. Az utolsóra a magyarázatot a 8. táblázatban találjuk: az odamérésből kapott záróhiba - 0.18 mm, míg a visszamérésből + 0.52 mm. A kettő között pedig nagyobb a különbség, mint az egyébként több mérési pontatlansággal rendelkező Zeiss műszer jegyzőkönyvében. Igaz, így is jóval az M2-ben megadott hibahatár alatt van az összes mérés. Itt már fordul a helyzet, az optikai műszerek a digitális műszerek fölé emelkedtek, és az optikai szintezőkön belül is a Ni002A műszerrel kaptam jobb eredményt.

6. Összefoglalás

A dolgozatom témája saját ötlet, véleményem szerint a magasság ismerete igen fontos a különböző mérnöki munkáknál. Bár a hétköznapi gyakorlatban többnyire csak egy abszolút mérőszámot használunk, esetleg csak relatív magasságot, vannak olyan munkák,



kutatások ahol a többi is nagy szerepet kap. Ezek is hívták életre a szigorúbb pontossági követelményeket, az igényt a még pontosabb ismeretre. Így tudtak a módszerek és velük együtt a műszerek is fejlődni. Csak összehasonlításképpen: amíg a korai libellás műszerekkel egy álláspont akár 20 percnyi időtartamot is igénybe vehetett, ma már ez akár 3 perc alatt megoldható a pontosság megtartása, vagy növelése mellett is. Ennek ellenére nem felesleges foglalkozni a libellás műszerekkel, hiszen néhány helyzetben előnyösebb a használatuk. Minden műszer alkalmas tehát mérésre, amennyiben a megfelelő helyen használjuk. Fontos, hogy a munka fejében a megfelelő műszert válasszuk ki pontosság, méret, idő szempontjából.

A méréseim alapján az a véleményem, hogy szélső pontosságú mérésekre (amennyiben az nem kéregmozgás-vizsgálat, ez ugyanis több mérést igényelne) digitális szintező a legalkalmasabb, már csak azért is, mert ha esetleg valami kis rejtőzködő hiba van az eredményekben amit utólag szinte lehetetlen megtalálni, az újramérésre van időnk. Egy jó mérőcsapattal a ~120 perces mérési idő is csökkenthető, ugyanis előfordult hogy a műszer már mérőképes állapotban volt, azonban a léces még mindig a függőlegessé tétellel volt elfoglalva. Szubjektív véleményem (amiben a mérési eredmények mellett a kényelmesség is szerepet játszott) szerint a következő sorrendet állítottam fel a négy használt műszer között:

- 1: Leica DNA03
- 2: Leica NA 3000
- 3: MOM Ni A31
- 4: Zeiss Ni002A

Bár nem tudtam a két digitális műszert olyan módon összehasonlítani hogy mindkettővel digitális adatrögzítést végzek, azt gondolom, hogy nem lenne sok különbség a kettő között. Ami miatt mégis a DNA03 mellett voksolok az a kényelmesebb és modernebb menürendszere, és hogy több beállítási lehetőséget kínál a külső körülményekre vonatkozóan. Az optikai műszerek közül a magyar gyártásút tartom jobb konstrukciónak. Bár a méret és a súly a motoros szintezésnél kevésbé játszott szerepet mint az általam is végzett hagyományos szintezésnél, mégis jónak tartom hogy egy kisebb műszerrel hasonló pontosságot lehet elérni. A mérési idő csökkenése nem elhanyagolható gazdaságossági tényező. Ez alapján a MOM szintezővel megközelítőleg 40%-kal kevesebb idő alatt tudtam lemérni ugyanazt a szakaszt. Az idő igen fontos tényező, tekintve hogy a szabatos szintezés egy igen körülményes geodéziai feladat. Nem csak maga a mérés, hanem a kötőpontok megjelölése, az egyenlő lécs-műszer távolságok



biztosítása, és a léceseknek a lécsínek igen pontos függőlegessé tétele. Emellett a Zeiss műszerrel a két kompenzátorállásban való méréssel a visszamérés utolsó álláspontoknál már érezhetően nehezebben ment a leolvasás. Az optikai és digitális műszerek közül egyértelműen a digitális mellett voksolok, hiszen nagyságrendekkel kényelmesebb és gyorsabb mérni. Emellett a feldolgozó szoftverek az irodai részt is lerövidítik, ráadásul kisebb a hiba lehetősége. Az eredményeket először kézzel számoltam, így nem kaptam jó eredményeket. A digitalizált jegyzőkönyvvel azonban sokkal gyorsabban tudtam jobb eredményeket kapni. Úgy is, hogy a Microsoft Excel programmal számítottam, és így a műveleteket saját kezűleg kellett beírni.

7. Irodalomjegyzék

- Ádám J. – Tokos T. – Tóth Gy. 2002 : Magassági mérőszámok és kapcsolatok Magyarországon. Geodézia és Kartográfia, 2002/4, 5-10, Budapest
- Ádám J. 2009: Geodéziai alapponthálózataink és vonatkoztatási rendszereink. Geodézia és Kartográfia, Jubileumi Különszám, 6-21, Budapest
- Ágfalvi M. 2010: – Földalatti mérések előadások és Válogatott feladatok mérnökgeodéziából előadás, NyME-GEO, Székesfehérvár
- Bácsatyi L. 2010: – Felsőgeodézia, NyME-GEO, Székesfehérvár
- Bendefy L. 1954: – A korszerű szabatos szintezés hibaforrásai. Geodézia és Kartográfia, 1954/2 121-124, 1954/3 187-188, 1955/1 14-22, Budapest
- Busics Gy. 2010:– Geodéziai hálózatok, NyME-GEO, Székesfehérvár
- Deumlich/Steiger 2001: – Instrumentenkunde der Vermessungstechnik. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg
- Krauter A. 2002: Geodézia. Egyetemi jegyzet (az 1995. évi kiadás átdolgozott és bővített változata). Műegyetemi Kiadó, Budapest
- Fialovszki L. 1979: – Geodéziai műszerek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Hoboday-Böröcz A. 2001: – A magyar felsőrendű hálózat jelene és jövője. Geodézia és Kartográfia, 2001/9, Budapest
- Joó I. 1977 – Magyarország magassági alapszint-problémái. Geodézia és Kartográfia, 3, Budapest
- Miskolczi L. 1973 – Kéregmozgások vizsgálata szabatos szintezéssel. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Mentes Gy. 2009: Méréstechnika – adatgyűjtés, műszertechnika. Geodézia és Kartográfia, Jubileumi Különszám, 30-43, Budapest
- Orbán A. – Horváth A. – Gyimóthy A. 2009: A libellás szintezőműszertől a digitális szintezőműszerig. Geodézia és Kartográfia, 2009/2, 6-13, Budapest
- Tarsoly P. 2009: Geodézia II, NyME-GEO, Székesfehérvár
- Papp E. 2008 – Geodéziai alapismeretek előadás, Szent István Egyetem, 11-14. rész
- Tímár G. 2005: Kulcsszavak, definíciók (Elektronikus oktatási segédlet) A Föld alakja, nehézségi erőtere és változó forgása c. tárgy oktatásához ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, <http://sas2.elte.hu/tg/szotar.html#P>
- Juhász András 1997: Fizikai kísérletek gyűjteménye ELTE Anyagfizikai Tanszék, V2.3., <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/fgm/e2s3.htm> 1997



Mellékletek**1. számú melléklet – Zeiss Ni002A mérési jegyzőkönyve, számítások**

Álláspont	Pontszám	Bal leolvasás	Jobb leolvasás	Bal-jobb közép	Kompensátorállások közepe	Bal- Jobb
100 I.	1000	307 885	914 589	62 081	62 098	32
	1	245 788	852 524			
		62 097	62 065			
100 II.	1000	310 184	916 407	62 116	62 098	19
	1	248 059	854 301			
		62 125	62 106			
101 I.	1	386 790	993 540	169 139	169 130	-20
	1001	217 661	824 391			
		169 129	169 149			
101 II.	1	388 370	994 629	169 121	169 130	-20
	1001	219 259	825 498			
		169 111	169 131			
102 I.	1001	230 339	836 590	-46 053	-46 052	3
	2	276 390	882 644			
		-46 051	-46 054			
102 II.	1001	229 381	835 630	-46 052	-46 052	12
	2	275 427	881 688			
		-46 046	-46 058			
103 I.	2	285 370	891 620	110 876	110 887	-13
	1002	174 501	780 738			
		110 869	110 882			
103 II.	2	286 460	892 705	110 898	110 887	-5
	1002	175 565	781 805			
		110 895	110 900			
104 I.	1002	237 479	843 705	14 233	14 268	15
	3	223 239	829 480			
		14 240	14 225			
104 II.	1002	239 500	845 740	14 303	14 268	6
	3	225 194	831 440			
		14 306	14 300			
105 I.	3	292 724	899 500	52 985	53 021	-31
	4	239 755	846 500			
		52 969	53 000			
105 II.	3	294 650	901 500	53 058	53 021	5
	4	241 590	848 445			
		53 060	53 055			
106 I.	4	127 590	734 329	-234 123	-234 154	27
	5	361 699	968 465			
		-234 109	-234 136			

106 II.	4	130 134	736 350	-234 186	19
	5	364 310	970 545		
		-234 176	-234 195		
107 I.	5	229 270	835 510	-117 090	-19
	6	346 369	952 590		
		-117 099	-117 080		
107 II.	5	227 240	833 500	-117 108	-25
	6	344 360	950 595		
		-117 120	-117 095		
108 I.	6	254 250	860 480	-45 998	5
	7	300 245	906 480		
		-45 995	-46 000		
108 II.	6	256 240	862 470	-45 960	39
	7	302 180	908 449		
		-45 940	-45 979		
109 I.	7	274 250	880 500	29 228	3
	1003	245 021	851 274		
		29 229	29 226		
109 II.	7	275 299	881 547	29 213	9
	1003	246 082	852 339		
		29 217	29 208		
110 I.	1003	242 495	848 752	-24 862	-17
	8	267 365	873 605		
		-24 870	-24 853		
110 II.	1003	243 620	849 870	-24 868	-20
	8	268 498	874 728		
		-24 878	-24 858		
111 I.	8	262 839	869 580	-23 743	-16
	9	286 590	893 315		
		-23 751	-23 735		
111 II.	8	263 680	869 920	-23 743	-20
	9	287 433	893 653		
		-23 753	-23 733		
112 I.	9	281 640	888 400	14 146	21
	10	267 484	874 265		
		14 156	14 135		
112 II.	9	284 260	890 513	14 156	-11
	10	270 110	876 352		
		14 150	14 161		
113 I.	10	283 428	890 185	38 039	-32
	1000	245 405	852 130		
		38 023	38 055		
113 II.	10	285 378	892 135	38 059	-12
	1000	247 325	854 070		
		38 053	38 065		
114 I.	1000	240 889	847 636	-38 083	22
	10	278 961	885 730		
		-38 072	-38 094		

114 II.	1000	243 345	849 591			
	10	281 420	887 662			-4
		-38 075	-38 071	-38 073		
115 I.	10	267 591	874 349			
	9	281 770	888 528			0
		-14 179	-14 179	-14 179		
115 II.	10	270 238	876 500			
	9	284 366	890 641			13
		-14 128	-14 141	-14 135		
116 I.	9	288 021	894 290			
	8	264 280	870 531			-18
		23 741	23 759	23 750		
116 II.	9	287 190	893 421			
	8	263 444	869 675			0
		23 746	23 746	23 746		
117 I.	8					
	1003					0
		0	0	0		
117 II.	8	264 660	871 420			
	1003	239 800	846 535			-25
		24 860	24 885	24 873		
118 I.	1003	258 798	865 022			
	7	288 499	894 732			9
		-29 701	-29 710	-29 706		
118 II.	1003	260 335				
	7	290 053				0
		-29 718	-29 718	-29 718		
119 I.	7	287 795	894 555			
	6	241 800	848 555			-5
		45 995	46 000	45 998		
119 II.	7	286 330	893 115			
	6	240 360	847 115			-30
		45 970	46 000	45 985		
120 I.	6	346 490	953 240			
	5	229 345	836 105			10
		117 145	117 135	117 140		
120 II.	6	348 520	955 261			
	5	231 375	838 130			14
		117 145	117 131	117 138		
121 I.	5	349 510	956 253			
	4	115 378	722 123			2
		234 132	234 130	234 131		
121 II.	5	351 565	958 328			
	4	117 424	724 190			3
		234 141	234 138	234 140		
122 I.	4	248 799	855 550			
	3	301 755	908 497			-9
		-52 956	-52 947	-52 952		

122 II.	4	250 758	857 480	-52 973		22
	3	303 720	910 464			
		-52 962	-52 984			
123 I.	3	220 461	826 720	-14 269	-14 264	9
	1002	234 725	840 993			
		-14 264	-14 273			
123 II.	3	222 512	829 269	-14 259		4
	1002	236 769	843 530			
		-14 257	-14 261			
124 I.	1002	167 562	774 284	-110 917	-110 905	33
	2	278 462	885 217			
		-110 900	-110 933			
124 II.	1002	169 162	775 400	-110 894		-10
	2	280 061	886 289			
		-110 899	-110 889			
125 I.	2	275 400	882 130	46 598		45
	1001	228 780	835 555			
		46 620	46 575			
125 II.	2	276 341	883 115	46 605		-24
	1001	229 748	836 498			
		46 593	46 617			
126 I.	1001	221 750	828 490	-169 121	-169 125	41
	1	390 850	997 631			
		-169 100	-169 141			
126 II.	1001	223 318	830 105	-169 130		-40
	1	392 468	999 215			
		-169 150	-169 110			
127 I.	1	233 200	839 439	-62 082	-62 105	-2
	1000	295 283	901 520			
		-62 083	-62 081			
127 II.	1	234 490	840 780	-62 128		-5
	1000	296 620	902 905			
		-62 130	-62 125			

Szakaszok oda-vissza (m)		Szakaszok közép (m)	Áp.	Oda-vissza
			100	-7
1.15614	-1.15615	1.15615	101	5
			102	
0.32417	-0.32152	0.32422	103	-19
			104	4
			105	59
			106	-19
			107	41
			108	13
-1.50361	1.50164	-1.50140	1099	
			110	8
			111	5
			112	-6
0.01796	-0.01807	0.01802	113	-29
-0.00534	0.00590	-0.00302		



2. számú melléklet: MOM Ni A31 szintezési jegyzőkönyve, számítások

Álláspont	Pontszám	Bal leolvasás	Jobb leolvasás	Bal-jobb közép	Bal-Jobb	Oda-vissza közép (m)
100	1000	311 450	917 929	64 866	-5	0.32438
	1	246 587	853 061			
		64 863	64 868			
101	1	391 565	998 067	166 594	-18	0.83305
	1001	224 980	831 464			
		166 585	166 603			
102	1001	224 663	831 151	-44 253	2	-0.22133
	2	268 915	875 405			
		-44 252	-44 254			
103	2	296 000	902 478	108 818	19	0.54422
	1002	187 173	793 670			
		108 827	108 808			
104	1002	244 676	851 150	16 088	15	0.08051
	3	228 581	835 070			
		16 095	16 080			
105	3	297 460	903 941	61 810	18	0.30895
	4	235 641	842 140			
		61 819	61 801			
106	4	111 340	717 733	-247 454	-2	-1.23740
	5	358 795	965 186			
		-247 455	-247 453			
107	5	234 805	841 290	-115 135	30	-0.57560
	6	349 925	956 440			
		-115 120	-115 150			
108	6	268 355	874 845	-51 349	-16	-0.25677
	7	319 712	926 186			
		-51 357	-51 341			
109	7	291 800	898 281	35 630	18	0.17814
	1003	256 161	862 660			
		35 639	35 621			
110	1003	285 515	892 000	-25 227	16	-0.12613
	8	310 734	917 235			
		-25 219	-25 235			
111	8	305 379	911 867	-23 000	0	-0.11499
	9	328 379	934 867			
		-23 000	-23 000			
112	9	324 525	931 000	13 954	-27	0.06942
	10	310 585	917 033			
		13 940	13 967			
113	10	322 525	929 010	38 578	30	0.19275
	1000	283 932	890 447			

		38 593	38 563		
114	1000	238 456	845 000	-38 523	-43
	10	277 000	883 501		
		-38 544	-38 501		
115	10	296 704	903 190	-13 813	18
	9	310 508	917 012		
		-13 804	-13 822		
116	9	317 073	923 578	22 997	-6
	8	294 079	900 578		
		22 994	23 000		
117	8	302 175	908 701	25 223	-46
	1003	276 975	883 455		
		25 200	25 246		
118	1003	251 617	858 078	-35 627	20
	7	287 234	893 715		
		-35 617	-35 637		
119	7	322 391	928 888	51 361	5
	6	271 028	877 530		
		51 363	51 358		
120	6	351 893	958 385	115 105	-7
	5	236 792	843 277		
		115 101	115 108		
121	5	388 605	995 055	247 505	20
	4	141 090	747 560		
		247 515	247 495		
122	4	222 140	828 661	-61 770	-1
	3	283 910	890 430		
		-61 770	-61 769		
123	3	230 132	836 640	-16 117	17
	1002	246 240	852 765		
		-16 108	-16 125		
124	1002	193 984	800 490	-108 869	-17
	2	302 861	909 350		
		-108 877	-108 860		
125	2	272 715	879 200	44 279	13
	1001	228 430	834 928		
		44 285	44 272		
126	1001	226 645	833 130	-166 628	-15
	1	393 280	999 750		
		-166 635	-166 620		
127	1	248 295	854 780	-64 888	-15
	1000	313 190	919 660		
		-64 895	-64 880		

Szakasz száma	Szakaszok oda-vissza (m)		Szakaszok (m)	Áp.	Oda-vissza
I.	1.15730	-1.15758	1.15744	100	-22
				101	-34
II.	0.32282	-0.32295	0.32289	102	26
				103	-51
III.	-1.50205	1.50229	-1.50217	104	-29
				105	41
				106	51
				107	-31
				108	12
				109	3
				110	-4
IV.	0.02152	-0.02058	0.02105	111	-3
				112	141
				113	56
Σ	-0.00041	0.00118	-0.00080		

3. számú melléklet: Leica Na3000 mérési jegyzőkönyve

Álláspont	Pontszám	Bal leolvasás	Jobb leolvasás	Bal-jobb közép	Bal-Jobb	Oda-vissza közép (m)
100	1000	162 534	162 536	29 472	7	0.29468
	1	133 059	133 068			
		29 475	29 468			
101	1	205 548	205 553	86 263	-8	0.86257
	1001	119 289	119 286			
		86 259	86 267			
102	1001	130 572	130 575	-24 872	1	-0.24875
	2	155 443	155 447			
		-24 871	-24 872			
103	2	156 311	156 309	57 182	-2	0.57182
	1002	99 130	99 126			
		57 181	57 183			
104	1002	130 719	130 731	8 237	-11	0.08226
	3	122 488	122 489			
		8 231	8 242			
105	3	169 097	169 094	24 917	-8	0.24918
	4	144 184	144 173			
		24 913	24 921			
106	4	76 243	76 244	-118 055	-7	-1.18064
	5	194 301	194 295			
		-118 058	-118 051			
107	5	125 862	125 855	-58 453	9	-0.58470
	6	184 310	184 312			
		-58 448	-58 457			
108	6	138 104	138 066	-21 605	33	-0.21620
	7	159 692	159 687			
		-21 588	-21 621			
109	7	146 615	146 623	14 855	-9	0.14857
	1003	131 765	131 764			
		14 850	14 859			
110	1003	129 204	129 202	-12 481	1	-0.12482
	8	141 684	141 683			
		-12 480	-12 481			
111	8	142 264	142 257	-11 632	1	-0.11629
	9	153 895	153 889			
		-11 631	-11 632			
112	9	152 518	152 526	7 061	-24	0.07049
	10	145 469	145 453			
		7 049	7 073			
113	10	151 557	151 556	19 161	-3	0.19165
	1000	132 398	132 394			

		19 159	19 162		
114	1000	133 552	133 544	-19 170	5
	10	152 719	152 716		
		-19 167	-19 172		
115	10	142 072	142 075	-7 037	-7
	9	149 112	149 108		
		-7 040	-7 033		
116	9	157 178	157 181	11 627	-3
	8	145 553	145 553		
		11 625	11 628		
117	8	143 279	143 282	12 484	-3
	1003	130 797	130 797		
		12 482	12 485		
118	1003	130 704	130 704	-14 859	-5
	7	145 565	145 560		
		-14 861	-14 856		
119	7	162 521	162 506	21 636	11
	6	140 880	140 876		
		21 641	21 630		
120	6	191 470	191 443	58 487	25
	5	132 971	132 969		
		58 499	58 474		
121	5	195 773	195 762	118 073	12
	4	77 694	77 695		
		118 079	118 067		
122	4	147 599	147 601	-24 918	6
	3	172 514	172 522		
		-24 915	-24 921		
123	3	121 879	121 876	-8 215	1
	1002	130 093	130 091		
		-8 214	-8 215		
124	1002	106 202	106 195	-57 183	7
	2	163 381	163 381		
		-57 179	-57 186		
125	2	160 620	160 625	24 878	-17
	1001	135 751	135 739		
		24 869	24 886		
126	1001	129 414	129 409	-86 250	2
	1	215 663	215 660		
		-86 249	-86 251		
127	1	138 399	138 401	-29 464	-1
	1000	167 863	167 864		
		-29 464	-29 463		

Szakasz száma	Szakaszok oda-vissza (m)		Szakaszok (m)	Áp.	Oda-vissza
I.	1.15735	-1.15714	1.15724	101	8
					13
II.	0.32311	-0.32305	0.32308	102	6
				103	-1
				104	22
III.	-1.50104	1.50204	-1.50154	105	-1
				106	19
				107	34
				108	31
				109	-4
				110	3
				111	-5
IV.	0.02110	-0.02096	0.02103	112	25
				113	-9
Σ	0.00051	0.00089	-0.00019		



4. számú melléklet: Leica DNA03 mérési jegyzőkönyve, számítások

Álláspont	Pontszám	Bal leolvasás	Jobb leolvasás	Bal-jobb közép	Bal-Jobb	Oda-vissza közép (m)
100	1000	159713	159709	29 659	5	0.29656
	1	130052	130053			
		29 661	29 656			
101	1	203697	203706	86 066	-9	0.86071
	1001	117636	117636			
		86 061	86 070			
102	1001	125980	125978	-24 745	1	-0.24741
	2	150724	150723			
		-24 744	-24 745			
103	2	152736	152738	57 047	-1	0.57047
	1002	95690	95691			
		57 046	57 047			
104	1002	132240	132245	6 699	-8	0.06697
	3	125545	125542			
		6 695	6 703			
105	3	165552	165547	25 485	10	0.25487
	4	140062	140067			
		25 490	25 480			
106	4	83868	83869	-117 509	-5	-1.17510
	5	201379	201375			
		-117 511	-117 506			
107	5	126498	126504	-57 843	-2	-0.57839
	6	184342	184346			
		-57 844	-57 842			
108	6	136973	136970	-23 036	3	-0.23033
	7	160007	160007			
		-23 034	-23 037			
109	7	149918	149914	16 096	4	0.16095
	1003	133820	133820			
		16 098	16 094			
110	1003	130257	130255	-13 560	5	-0.13560
	8	143814	143817			
		-13 557	-13 562			
111	8	144143	144146	-11 110	-3	-0.11109
	9	155254	155254			
		-11 111	-11 108			
112	9	151575	151575	6 105	-5	0.06101
	10	145473	145468			
		6 102	6 107			
113	10	162584	162590	20 647	-7	0.20644
	1000	141941	141940			

		20 643	20 650		
114	1000	133106	133101	-20 641	-2
	10	153748	153741		
		-20 642	-20 640		
115	10	148347	148355	-6 098	1
	9	154444	154453		
		-6 097	-6 098		
116	9	160038	160053	11 109	-21
	8	148940	148934		
		11 098	11 119		
117	8	149982	149978	13 560	4
	1003	136420	136420		
		13 562	13 558		
118	1003	143712	143709	-16 094	-1
	7	159806	159802		
		-16 094	-16 093		
119	7	165404	165399	23 031	8
	6	142369	142372		
		23 035	23 027		
120	6	193008	193013	57 835	-4
	5	135175	135176		
		57 833	57 837		
121	5	203715	203706	117 511	19
	4	86195	86205		
		117 520	117 501		
122	4	140883	140889	-25 488	-12
	3	166377	166371		
		-25 494	-25 482		
123	3	127122	127127	-6 694	4
	1002	133814	133823		
		-6 692	-6 696		
124	1002	100067	100062	-57 047	5
	2	157111	157111		
		-57 044	-57 049		
125	2	154961	154967	24 738	-5
	1001	130226	130227		
		24 735	24 740		
126	1001	127479	127482	-86 076	-3
	1	213556	213556		
		-86 077	-86 074		
127	1	128485	128471	-29 653	11
	1000	158132	158129		
		-29 647	-29 658		

Szakasz száma	Szakaszok oda-vissza (m)	Szakaszok közép (m)	Áp.	Oda-vissza különbségek
I.	1.15724	-1.15728	1.15726	100 6
				101 -10
II.	0.32302	-0.32309	0.32306	102 -7
				103 0
III.	-1.50107	1.50101	-1.50104	104 5
				105 -3
				106 2
				107 -8
				108 -5
				109 3
				110 1
IV.	0.02082	-0.02070	0.02076	111 -1
				112 7
				113 6
Σ	0.00001	-0.00006	0.00004	



5. számú melléklet: Szintezési szakaszok az álláspontok és kötőpontok feltüntetésével



