

# A libellás szintezőműszertől a digitális szintezőműszerig

*Orbán Aladár*, ny. laboratóriumvezető

*Horváth Attila*, okl. szakmérnök, minőségügyi vezető

*Gyimóthy Attila*, okl. környezetmérnök, tudományos segédmunkatárs

MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron



## Bevezetés

A magyarországi felsőrendű hálózat újra-szintezés kezdeténél felhívjuk a geodéták figyelmét a szintezőműszerek főbb hibáira. Áttekintve a műszerek fejlődését és hibáit, kitűnik, hogy minél kényelmesebb és gyorsabb a mérés, annál több a hibaforrás. Különösen érvényes ez az elektromos (digitális) szintezőműszerek esetében. Ezen műszerek hibaforrásainak és vizsgálatának jelen tárgyalása nagyrészt a német szakirodalom széleskörű tanulmányozásán alapszik.

## A libellás szintezőműszerek és azok hibái

A modernnek mondható szintezés akkor kezdődött, amikor a szintkitűzést a nehézségi erőre és a szintezőműszerbe épített libellára bízta. A mérési pontosság terén legkevesebb gond a nehézségi erővel volt. Ez mindig a libella körívének legmagasabb helyére hajtotta a buborékot. A buborék azonban csak akkor áll be erre a helyre kellő pontossággal, ha a libella mérőfelülete sima csiszolású, tehát nincsenek rajta apró kis gátacsák. Korábban kiszámították, hogy a buborékot már molekula nagyságú gátak is megakasztják, s minthogy ilyen pontosan lehetetlen libellát csiszolni, ezért kimondták, hogy a libella pontos mérésekre nem használható. A gyakorlat azonban nem igazolta az egyébként helyes számítások eredményét, mert kiderült, hogy a mérőfelület csiszolási egyenetlenségeit a folyadék gőzeiből képződő folyadék-film tölti ki. Ez pedig az egyébként matt felületet elsimítja, feltéve, hogy olyan

anyagot alkalmazunk, amelyik a mérőfelületet teljesen benedvesíti (*Drodofsky*, 1956).

A szintezőműszereken az ún. beállítólibellákat alkalmazzák. Ezekre elvileg elég két vonást karcolni, és a buborékot mindig ezek közé kell állítani, még akkor is, ha a folyadék hőmozgása következtében a buborék hossza megváltozik (legfeljebb a buborék két vége szimmetrikusan túlnyúlik az osztásokon). A szintezőműszert úgy kell kiigazítani, hogy amikor a buborék középen van, akkor a vele mereven egybeépített távcső irányvonala vízszintes legyen.

Az ún. koincidienciás buborék-beállítású műszereknél ugyanez a helyzet. Ha egyszer a koincidienciát létrehozó prizmákat a műszerbe építettük, akkor a buborék beállítási helye ugyanúgy rögzítve van, mint a két osztásvonás esetén. A buborék hosszváltozása csupán abban nyilvánul meg, hogy a koincidienciás kép kissé megnyúlik.

Mindkét módszernél előfordulhat azonban, hogy a buborék hosszváltozási tartományán belül egy megengedettnél nagyobb gát van. Ekkor megtörténhet, hogy az a libella, amelyik egy adott hőmérsékleten kellő pontossággal beállítható volt, egy másik hőmérsékleten használhatatlanná válik. A koincidencia létrehozása előtt ugyanis megakad, majd átugorja a koincidencia helyét. A koincidienciás libellák vizsgálatára vonatkozóan ez ideig még nem közöltek olyan megbízható megoldást, amellyel a libella mérőfelületének apró hibái kimutathatók lennének a buborék hőtágulási tartományán belül. (Egyszer volt egy kísérlet az MTA GGKI-ban, de ennek nem volt megfelelő visszhangja). A szokásos

módszerekkel meghatározott buborék-beállítási pontosság pedig csakis arra a hőmérsékletre érvényes, amelyiken a vizsgálat történt.

A gyakorlati méréseknél különös gondot kell fordítani arra, hogy a libellát ne érje egyoldalú hőhatás. A hő okozta felületi feszültségváltozás hatására ugyanis a buborék mindig a libella melegebb vége felé vándorol, még akkor is, ha közben hajlásszög-változás nem történt. A hiba csökkentése céljából szintezéskor a műszert ernyő alatt kell tartani és a lécleolvasásokat gyorsan kell elvégezni. Ennek viszont gátat szab a buborék lassú beállása és az optikai mikrométerrel történő lécleolvasás időigénye. Laboratóriumi műszervizsgálatoknál, ahol nincs megfelelő légmozgás, egyoldalú hőhatást okoz még az is, ha hosszabb ideig a műszer mögött tartózkodunk.

Az itt felsorolt hibaforrások hatását nehéz figyelembe venni, mert a hibák a szabályos és a véletlen hibák határán mozognak.

A felsőrendű szintezőműszerek tervezése és szabályozása terén különös gondot kellett fordítani a következőkre:

- a távcső fekvőtengelyének ne legyen külön pontossága, hanem az kerüljön lehetőleg az állótengely függőlegesébe. A különpontosság ugyanis az állótengely-ferdeség mértékétől függő magassági hibát okoz;
- az optikai mikrométernek ne legyen RUN hibája;
- a libellának ne legyen keresztbeállása, mert ez a horizontferdeségi hibához hasonló szintezési hibát eredményez.

A megfelelő mérési pontosság elérése terén nagy szerepe volt a mérő személy rátermettségének és türelmének. Nevezetesen, hogy milyen pontosan és gyorsan tudta elvégezni a buborék beállítását és a lécosztások ékszálal történő megirányítását. Az előírt mérési pontosság elérése meglehetősen idegölő volt, ezért a korábbi időkben a felsőrendű szintezést végző mérnököket néhány évi terep-munka után nagy megbecsüléssel helyezték nyugalmasabb munkakörbe.

### Kompenzátoros szintezőműszerek

A műszerfejlesztésben nagy ugrást jelentett a kompenzátoros szintezőműszerek megjelenése. A szintezés munkája felgyorsult. Nem kellett várni a lassú buborék-beállásra és a műszer hőérzékenysége is kisebb lett. A beavatottak azonban tudták, hogy nincs geodéziai műszer hőérzékenység nélkül, különösen mióta a műszereket

a nagyobb hőtágulású könnyűfémekből kezdték gyártani. A hőérzékenység mindmáig egy nehezen figyelembe vehető hibaforrás maradt.

A kényelmesebb és gyorsabb mérés maga után vonta három új hibaforrás megjelenését:

– a horizontferdeséget, amely még az egyenlő léctávolság betartása mellett sem ejthető ki. A hiba kétszerese terheli a magasságkülönbség értékét. Külön mérési módszerrel kell alkalmazni a hiba csökkentésére, ami azonban csak akkor teljes, ha a horizontferdeség értéke a hátra és előre irányzásnál azonos. Ez a kompenzátor-szálak károsodása miatt nem mindig biztosítható;

– a mágneses hatást, amelyről német kutatók megállapították, hogy a kompenzátoros műszerek működését a Föld mágneses tere és a magasfeszültségű vezetékek által keltett mágneses tér is zavarja. A szintezési hibák nagysága változott például attól is, hogy a szintezési vonal É–D-i vagy K–Ny-i irányban halad-e. Az okozott hibák nagysága műszer-fajtánként változó (Orbán, 1987, Orbán–Bánfi, 1988). A mágneses zavarok kiküszöbölésére – egyéb próbálkozások után – végül is a műszergyarak tettek ígéretet azáltal, hogy a kompenzátor leárnyékolják a mágneses hatásokkal szemben. A műszerek újabb beható vizsgálatáról nincs tudomásunk;

– a kompenzátor rezgésérzékenysége, ami miatt egyes üzemekben és közutak mentén, vagy nagyobb légmozgás esetén a műszert nem lehet használni.

A felsőrendű szintezés területére nehezen törtek be a kompenzátoros szintezőműszerek. Ma már kedvező külső körülmények között szívesen alkalmazzák, bár az optikai mikrométerrel történő lécleolvasás még mindig próbára teszi a felhasználó rátermettségét és türelmét.

A libellás és kompenzátoros szintezésnél használt szintezőlécek gyártása terén nehézséget jelentett, hogy azokat sablonokkal osztották, ezért a megfelelő osztási pontosság nehezen volt elérhető (Foppe–Wasmeier–Wunderlich, 2005).

### Digitális (elektronikus) szintezőműszerek

Az első digitális szintezőműszer (Leica NA 2000) 1990-ben jelent meg, s ezt azóta folyamatosan fejlesztik. A digitális szintezőműszer két fajta műszert rejt magában. Egy viszonylag kis nagytávolsággal rendelkező, optikai mikrométer nélküli, tehát közepes pontosságú hagyományos kompenzátoros szintezőműszert, amelyet a szokásos cm-osztású szintezőléccel lehet használni, és egy

teljesen új elven működő, felsőrendű mérésekre is alkalmas programozható digitális szintezőműszert, amelyhez kód-osztású lécc tartozik.

Az új műszer megjelenése alapvető változásokat hozott a szintezés terén. Alapvetően megváltozott a mérnök, a műszer és a lécc szerepe a szintezésben. Itt nincs szükség pontos irányzásra és még optikai mikrométer sincs. Az észlelő munkája igen kényelmes, a tényleges mérésben alig vesz részt. A fókuszálási hiba hatása a mérési pontosságra csekély, legfeljebb a mérés tovább tart. A léccközép megirányzásának pontossága nem kritikus. A tényleges mérést a műszer végzi. További előnyök, hogy a műszer nem egyes léccosztásokat, hanem osztás csoportokat figyel meg, aminek következtében csökken a lécc egyes osztáshibáinak hatása. A műszer kevésbé érzékeny a vibrációkra és a turbulenciára. A lécc akár 45 fokban is elforgatható a függőleges tengely körül, aminek különösen a fal csapokon történő mérésnél lehet előnye (*Ingensand, 1990*).

A mérési kényelem és gyorsaság fokozásának azonban súlyos ára van. A digitális műszereknek rövidebb az élettartama, mert az elektronikus építőelemek elhasználódnak. Gyakran okoznak gondot az akkumulátorok, valamint a tárolóegységek kiolvasási eljárásainak gyakori változásai is. Megszaporodott a hibaforrások száma, és új módszereket kellett bevezetni azok vizsgálatára is. Külföldön jelenleg kétfajta módszert alkalmaznak a műszerek kalibrálására: lécckalibrálást (*Lattenkalibrierung*) és a rendszerkalibrálást (*Systemkalibrierung*).

#### A lécckalibrálás

A Leica cég által gyártott kódleccen 4050 mm hosszon 2000 elem van. Az alap-elemek mérete:  $4050/2000=2,025\text{mm}$ . A kódlecc osztási pontosságának ellenőrzését a lécc teljes hossza mentén teszi lehetővé, hogy minden kódmező szélessége folyamatosan a 2,025 mm-es alap érték többszöröse. Ezáltal mind az egyes kódmezők helyzeti hibája, mind a teljes lécc hossza meghatározható (*Ingensand–Schneider, 1990*).

A német DIN 18717 szabvány szerint a léccosztás megkövetelt pontossága két tetszőleges osztás között  $0,02\text{ mm}+20\text{ ppm}$  (*Rüeger–Brunner, 2000*). Az a körülmény azonban, hogy a magasságmérésnél a műszer egész kód-csoportok együttes hatását értékeli ki, szükségtelenné teszi az egyes kódmezők helyzeti hibájának vizsgálatát (*Staiger–Witte, 2005*). Ma már azt is ki merik

jelenteni, hogy a léccosztás pontosságán nincs mit vizsgálni, sőt azt is, hogy az osztás-javítás és a léccmérés korábbi megfogalmazásai a kódosztások esetében nem is értelmezhetők (*Heister, et al.*). Ennek oka egyrészt az, hogy a léccet nem sablonnal, hanem ugyanolyan interferométerrel osztják, mint amivel vizsgálják, tehát az osztás és az osztás-vizsgálat pontossága között nincs különbség. Másrészt, minthogy a szintezésnél a mérést maga a műszer végzi, a műszerhibák függvényében így más léccmérés értékek is adódhatnak, mint a szokásos lécckalibrálás esetében. A két fajta módon meghatározott értéknek már külön neve is van: „léccmérésretarány” és „rendszer-mérésretarány” (*Schauerte–Heister, 2005*).

A kódlecc egyszerű komparálásánál két dologra kell ügyelni:

- meg kell vizsgálni, hogy a szalagot kifeszítő húzóerő ugyanakkora-e, mint amekkora az a gyári léccosztásnál volt, illetve meg kell vizsgálni a húzóerő változását. Ez a teljes lécc hossz néhány mikrométer pontosságú meghatározásával megtörténhet (*Staiger–Witte, 2005*). A feszítőerő megváltozását okozhatja a nehezen ellenőrizhető és rosszul kompenzált termikus hatás, de szerepet játszhat a szennyeződés is. A szalagnak szabadon kell kifeszítve lennie. Nem tapadhat a vezető és felfekvő sínekhez. Hasonló hiba a lécc-ház elcsavarodása következtében is felléphet. A szalagnak ujjal elmozdíthatónak kell lennie oldalirányban kb. 1 mm-nyit (*Staiger–Witte, 2005*);

- meg kell határozni a szalag hőtágulási együtthatóját. Ez utóbbinak akkor van értelme, ha a gyakorlati szintezésnél kellő pontossággal tudjuk mérni a lécc-ház és a szalag hőmérsékletét. Ellenkező esetben a hőtágulást elegendő a jól bevált  $0,75\text{ ppm}/^\circ\text{C}$  értékkel figyelembe venni (*Ingensand, 1990, Heister et al, 2005*).

A lécc-mérésretarányt a fentiekén kívül befolyásolhatja még a léccferdeség és a helytelen fókuszálás is (*Schauerte, 2000*). Az eddigiekből már gyanítható, hogy hiába pontos a lécc-osztás, ebből semmiféle következtetés nem vonható le a szintezés várható pontosságára vonatkozóan. Nem lehet ugyanis tudni, hogy a látott léccképet a műszer hogyan dolgozza fel. Mint később látni fogjuk, ez igen sok körülmény függvénye.

#### Rendszerkalibrálás

A digitális szintezésnél a műszer és a lécc szétválaszthatatlan egységet képez. Így van ez a különböző szabadalmak alapján gyártott műszerek

mindegyikénél (Zeiss-Trimble DiNi12, Sokkia SDL, Topcon stb.).

A Magyarországon is alkalmazott Leica gyártmányú DNA 03 szintezőműszerek a műszerbe jutó lécképet mérőjellel alakítják, és korrelációs eljárással dolgozzák fel (Ingensand–Schneider, 1990). Ezért a tényleges mérési pontosság csakis olyan módszerrel határozható meg, amelynél a műszert és a lécet együtt kalibrálják. Ennek legkorszerűbb formája a függőleges léctartású kalibrálás, amelynél a kódléceket szakaszosan különböző magasságba emelik, és a beállított magasságváltozásokat interferométerrel mérik meg. Ugyanakkor a digitális szintezőműszerrel is megméri a beállított magasságokat, és a két úton meghatározott mérési eredményeket összehasonlítják. Tekintettel arra, hogy az interferométeres mérések pontossága egy nagyságrenddel nagyobb, mint a szintezőműszeré, ezzel a módszerrel a mért magasságok valódi hibái határozhatók meg. Igen lényeges, hogy ezeket a valódi hibákat különböző távolságból is meghatározzák, amikor más és más kódcsoportok kerülnek a távcsőbe. Ez az ún. rendszerkalibrálás, amelyet azonban csak jól felszerelt laboratóriumban lehet elvégezni.

A vizsgálat eredményeiből ma már olyan műszerre jellemző korrekció is számítható, amelyet beiktatnak a mért értékek javítási képletébe (a lécméter+a kalibrálás útján számított magassági korrekció+a hőtágulási korrekció+a műszerre jellemző javítás). A tapasztalat szerint a műszerre jellemző javítás értéke elérheti a 0,15 mm értéket is (Heister et al, 2005). Ez pedig ismét azt jelenti, hogy hiába pontos a lécosztás, ha a tényleges mérésben a műszertől függően ilyen értékű hibák is előfordulhatnak (Ingensand, 1990).

#### *A digitális szintezőműszerek hibaforrásai*

A digitális szintezőműszerben lévő kétfajta műszerben a távcső és a kompenzátor azonos. Ennél fogva a műszer örökölte a kompenzátoros műszerek összes hibáját, és ezekhez kapcsolódnak még a digitális szintezés újabb hibaforrásai. A korábbi digitális szintezőműszereknek és tartozékainak összes hibavizsgálatát 37 pontban ismertetik (Rüeger–Brunner, 2000). Ezek közül kiemeljük az észlelőt helyettesítő elektromos képfeldolgozás hibaforrásait, amelyek a következők:

- *a megvilágítás hatása.* Az elektronikus képfeldolgozásnál a műszerben lévő sor-detektor az infravörös fényre a legérzékenyebb. A mesterséges hidegfény megvilá-

tásnál azonban az infravörös fényrész néha kevésnek bizonyul, ezért előfordulhat, hogy a laboratóriumban mért értékek pontossága kisebb, mint a terepen mért értékeké. Emiatt azt ajánlják, hogy laboratóriumban a hideg fény mellett még egy egyszerű segédlámpával (zseblámpával vagy halogén égővel) is világítsuk meg a lécet (Ingensand, 1991). A megvilágítás erősségének csökkentésénél hosszabbodik a mérési idő, míg nem a műszer hibajelet ad. Arra vonatkozóan, hogy az újabb műszereknél közben miként változik a mérési pontosság, eddig csupán egyetlen konkrét adat szolgál. E szerint, ha a fényerő 88 lux-ról 44 lux-ra csökkent, az a mérésben 0,4 mm változást okozott. Egyes megfigyelések szerint az egyoldalú mesterséges megvilágítás is adhat hibás eredményeket (Rüeger–Brunner, 2000). Hasonló okokra vezethető vissza talán az a megfigyelés is, hogy a horizontferdeség vizsgálatánál a digitális mérés kisebb hibát mutat, mint az egyszerű optikai mérés (Schauerte, 2000). Hátrányos az elektromos műszerek használatánál, hogy a műszergyárak semmiféle utasítást nem adnak a horizontferdeség ki-küszöbölésére;

- *a hiányos léckép hatása.* Rövid távolságon a szintező műszer távcsővének 2 fokok látómezeje kevés kódosztást lát, mégis egyértelmű korrelációt kell találnia a lécbármely pontján. A pontos mérést az biztosítja, hogy még a legrövidebb irányzási távolságon is 30 kódelem kerül a látómezőbe, és hogy az egyes kód elemek helyzeti pontosságának alárendelt szerepe van (Ingensand–Schneider, 1990);

Kérdés azonban, hogy miként csökken a mérési pontosság akkor, ha a távcső vízszintes szála a lécbármelyik pontjához közeledik. A lécvégeken nem csak a kódok, hanem a háttér egy darabja is megjelenik, amit a műszernek fel kell ismernie és ki kell szűrnie. Az összehasonlított léckép azonban nem lesz szimmetrikus, ami komoly mérési hibákhoz is vezethet. A gyakorlatban kialakult szabály szerint 3 m-es lécben 30 m-es távolságig a lécben fent és lent maradjon szabadon 30 cm (Woschitz, 2005). Tovább bonyolítja a problémát, hogy terepen az ágak behajlása kitarasításokat is eredményezhet. A mérés folyamatosan megtörténhet a műszer által kijelzett hiba-

jelig, de a mérési pontosság folyamatos csökkenésének kiderítésére még kiterjedt kutatásokat kell végezni;

- *ciklikus hiba*. A ciklikus hiba fellépésével kapcsolatban összefüggést találtak az érzékelő egység pixelmérete és az erre vetített léckép kódosztásainak mérete között (Schauerte, 2000, Ingensand, 1990). Ciklikus hibák kisebb-nagyobb mértékben minden műszernél előfordulnak, amelyek bizonyos léctávolságok mellett magassági hibákhoz vezetnek. A Leica műszereknél a kritikus távolságok a 7,5 m, 15,0 m, 22,5 m, 30 m. A hiba könnyen kiküszöbölhető, ha elkerüljük, akár néhány centiméterrel is ezeket a léctávolságokat (Staiger–Witte, 2005). A kritikus távolságokat és azok határait célszerű minden műszernél külön ellenőrizni;
- *a leképző optika elrajzolási hibái és a szenzorok hibái*. Ezek műszertől függő, egyedi hibák. Hatásuk csakis különböző távolságokon végzett rendszerkalibrálással mutatható ki. Ennek alapján határozható meg a már említett műszerre jellemző korrekciós érték is. A képfeldolgozás hibái szerephez juthatnak még a műszer magassági feloldóképességének vizsgálatánál is, amely alatt azt értik, hogy melyik az a legkisebb magasságváltozás, amit a műszer még érzékel (kb. 0,01mm);
- *a lécosztás károsodása*. A hagyományos invarléces szintezésnél egy hibás skálaosztás irányzása könnyen kikerülhet a műszer megemelésével. Digitális szintezésnél ez a megoldás nem vezet eredményre, mert itt az optika nem egyetlen jelet figyel meg, hanem a távolság függvényében a kódok bizonyos csoportját. Ezek mindegyikébe beleeshet a hibás kódelem. Durva hibák esetén a műszer hibajelet ad, de kisebb rendellenességek esetén nem lehet tudni, hogy mekkora lesz az okozott mérési hiba. A szigorú szabály az, hogy sérült lécet használni tilos – mint ahogy ezt már több publikációban megírták (Staiger–Witte, 2005) –, de hogy mekkora sérülés számít a felsőrendű szintezéskor veszélyesnek, azt egy konkrét esetben külön meg kell vizsgálni. Pl. egy sárga kódosztás mezőben 1,5 mm átmérőjű sérülés volt, ami a rendszerkalibrálásnál, különböző távolságokon 1,5 mm-ig terjedő magassági hibát okozott. A lécméter meghatározásakor az ilyen helyeket kihagyják a számításból.

Hasonló hibákra a hagyományos léckomparálással nem lehet következtetni (Schauerte–Heister, 2005);

- *a hőérzékenység*. A digitális szintező műszerek akklimatizálódására ugyanolyan gondot kell fordítani, mint minden más geodéziai műszernél. Figyelembe kell venni azonban azt is, hogy az elektromos működés miatt a műszer belsejében saját hő is keletkezik. Emiatt még klimatizált laboratóriumban történő vizsgálatok megkezdése előtt is bekapcsolva kell tartani a műszert kb. 1 óra hossznyi időre, közben célszerű próbaméréseket is végezni. A műszer bekapcsolása után 15 perc alatt 0,4"–2,0" szögmásodpercenyi irányvonal-hibák léphetnek fel (2,0"-es hiba 20 m-es távolságon 0,2 mm-es hibát jelent). A műszer belső hőmérséklete 15 perc alatt 2 Kelvin fokkal emelkedik, utána már csak 0,5K-val. Javasolják azt is, hogy zárt helyen történő hosszabb méréseknél pótakkumulátort használjunk, de az eredeti akku is maradjon a műszerben, hogy a normál használat-hoz hasonló körülményeket teremthessünk (Rüeger–Brunner, 2000). A hőérzékenység szempontjából a szabadban végzett vizsgálatok néha jobbnak bizonyulnak, mert a légturbulencia csökkentti a kedvezőtlen hőhatásokat. Ha azonban a műszer eredeti hőfoka nem egyezik a terepen mért hőmérséklettel, akkor be kell tartani az 5 min/d°C fok várakozási időt, ahol a d°C fok a hőmérsékletkülönbséget jelenti (Schauerte, 1992). Ez az akklimatizálódási idő Woschitznál 2 min/K értékű, azzal a megjegyzéssel azonban, hogy a kalibrálásnál, ahol maximális irányvonal állandóságra törekszünk, 8 óra várakozásra van szükség (Woschitz, 2005). Vonalszintezésnél a gyorsan elvégzett előre- és hátraméréssel csökkenthetők az irányvonal hőmérsékleti hibái;
- *mágneses hatás*. A mágneses hatás vizsgálatáról újabban kevés szó esik. Nem tudni, hogy a digitális műszereknek nem árt-e az erős mágneses térben történő vizsgálat. Egy korábbi publikáció szerint a Leica NA3000 műszer mágneses hibája 0,15 mm/km, ami a megengedett érték körül van. A vizsgálat 5–6,5-szeres földi térerő mellett történt (Schauerte, 1992). Újabb utasításokban a mágneses hatás megengedett értéke 0,1 mm/km (Rüeger–Brun-

ner, 2000). Ezek szerint a mágneses horizontferdeség legfeljebb 0,2" lehet. A hagyományos kompenzátoros műszerekre vonatkozó saját vizsgálataink alapján tudjuk azonban, hogy 5–6-szoros földi térerő mellett a mágneses hatás ezzel a pontossággal nem mutatható ki. Valószínűleg nincs is még kialakult egységes vizsgálati módszer. Ez pedig fontos lenne, mert a mágneses hatás sem az oda-vissza szintezésből, sem a körpoligon zárásából nem derül ki. A jó zárás ellenére minden pont magassága hibás marad a kezdőponttól mért É–D-i irányú távolságuk arányában (Orbán, 1987);

- *lécferdeség.* Durva irányzási hibák, vagy fokozott állótengely-ferdeség esetén a műszer hibajelet ad, de nem veszi észre pl. a lécférdesség okozta hibaforrásokat. Ezért igen fontos, hogy a lécfüggőlegességétételére szolgáló szelencés libella igazított legyen. Ezt időről-időre ellenőrizni kell.

### Együtműködésben végzett vizsgálatok német nyelvterületen (Ringversuch)

A német precizitás a mágneses vizsgálatokhoz hasonlóan ismét példát mutatott arra, miként lehet meggyőződni az említett kétféle kalibrálási módszer (léckalibrálás és rendszerkalibrálás) eredményeinek hasznosságáról és pontosságáról. A Ringversuch-nak (körbemérésnek) nevezett együtműködés keretében 5 kalibráló laboratórium mérési eredményeit hasonlították össze, amely eredmények ugyanazon szintezőműszerek és lécpárok kalibrálására vonatkoztak (Bonn, Graz, Zürich, München Bw, München Uni.).

A kalibrálás egyes intézetekben vízszintes léctartással, más helyeken függőleges léctartással történt. Az együtműködésben a Trimble/Zeiss DiNi 12 és a Leica DNA 03 szintezőműszert, valamint két Zeiss és egy Leica szintezőlécezt vizsgálták meg. A mérések előtt minden lécnél meghatározták a hőtágulási együtthatóját, és a mérési eredményeket 20 °C-ra vezették vissza. A mérések két éven át tartottak. A kiértékelést ugyanazon a helyen, Bonnból végezték.

A részletek mellőzésével a vizsgálat főbb eredményei (Schauerte–Heister, 2005) a következők voltak:

- az együtműködésben résztvevő intézetek felszerelése és kalibrálási módszere mind alkalmas arra, hogy kellő pontossággal ellenőrizze a lécosztások megfelelőségét, és hogy

meghatározza a lécméter (lécméretarány) értékét, amelyet a digitális szintezés megjavítására lehet felhasználni. Az összehasonlított lécméter bizonytalanság a 2 ppm értéket nem haladja meg (ez 100 m-es magasságkülönbségnél 0,2 mm értéknek felel meg);

- az adott mérési pontosság mellett a meghatározott lécméterekben nem mutatható ki statisztikailag szignifikáns eltérés attól függően, hogy a vizsgálat függőleges vagy vízszintes léchelyzetben történt-e;
- a mérési eredmények átlaga szerint, egy 3 m-es lécfüggőleges helyzetben 3,7 mikronnal rövidebb, mint vízszintes helyzetben;
- alapjában véve hasonló mondható a léckalibrálás és a rendszerkalibrálás összehasonlításáról is megjegyezve, hogy ez csakis a lécméter meghatározására vonatkozik, és azzal a megkötéssel, hogy műszertípustól és a mérési távolságtól függően itt már szignifikáns differenciák is felléphetnek. A léckalibrálás és rendszerkalibrálás lécméterre vonatkozó eredményei közti különbség a Leica műszernél volt a legkisebb. Az eltérések átlaga az összes kalibrálás figyelembevételével mindössze 0,8 ppm-nek adódott;
- az együtműködésben résztvevő intézményeknél az ismételt mérések alapján számítható mérési pontosság átlaga 0,5 ppm, ennek ellenére a meghatározott lécméter értékek intézetenként 3–4 ppm értékkel is eltérnek egymástól;
- a szignifikáns eltéréseknek számos apró oka lehet, ami egyúttal rámutat a kalibrálás és az ott alkalmazott felszerelések bonyolultságára is (Schauerte–Heister, 2005). Ilyenek:
  - a meteorológiai adatok különböző mérése,
  - a lécférdesség hibái és a mozgássebesség különbözősége,
  - az Abbé-féle elv nem pontos betartása,
  - a CCD kamerák, vagy mikroszkópok függőlegességi hibája, a távolsági ingadozások a mikroszkóp és a lécfüggőleges között, mélységélességi zavarok,
  - a lécfüggőleges, ívelt vagy torzított deformálódások, nem egyforma szalagfeszítő erő stb.

A két évig tartó együtműködés folyamán a léceket mintegy 3500 km-es távolságon szállították, amely alatt azok sem folytonos, sem ugrászerű hosszváltozást nem szenvedtek.

A szakemberek körében felvetődnek még vitás kérdések, többek között a német DIN szabvány hiányosságait és egyes szak kifejezéseket illetően, valamint a két fajta léckalibrálás előnyeire és hátrányaira vonatkozóan is. Elhatározták azonban, hogy a vizsgálatokat folytatják, amellyel hozzájárulhatnak a műszerfejlesztés, a műszervizsgálat és a felhasználás megjavításához (*Schauer-Heister*, 2005).

## Összefoglalás

Az itt elmondottak alapján megállapítható, hogy a hagyományos műszerekkel végzett szintezés pontosságának elérésénél egyaránt fontos szerepe volt mind a mérnöknek, mind a lécnak, mind a műszernek. A digitális szintezésnél a mérnökön és a lécen már szinte semmi sem múlik, minden felelősség a műszergyártókra, illetve a műszer képfeldolgozására hárul. Növekedett a figuránsok felelőssége is, különösen léckárosodások megakadályozása terén.

Az is látható volt, hogy bár minden felsőrendű szintezőműszernek vannak nehezen figyelembe vehető hibaforrásai, ezek száma azonban a digitális műszereknél ugrásszerűen növekedett. Ennek megfelelően növekedett a hibák kiderítésére vonatkozó műszervizsgálatok bonyolultsága is. Az utóbbi időben egyre erősödik az a vélemény, hogy a szintezőműszer működési pontosságára vonatkozó ismeretekre csakis a műszer és léccel együttes vizsgálatával, tehát rendszerkalibrálással tehetünk szert.

Hazai viszonylatban egy komplex rendszerkalibrálásra alkalmas laboratórium felépítése a hatalmas költségek miatt egyelőre reménytelennek látszik. A nagy költségek esetleg csak akkor térülhetnek meg, ha a környező keleti államok is nálunk kalibráltatnák a műszereiket és léceiket. Ehhez azonban egy nyugati tapasztalatokon alapuló korszerű laboratórium felépítésére és jól képzett, elhivatott mérőcsoporthoz van szükség.

A magyar szintezési hálózat felújításához előírták a Leica gyár legújabb, DNA 03 típusú műszerének használatát. Ennek a műszernek a vizsgálatáról még nem közöltek annyi publikációt, mint egyes fentebb idézett korábbi műszerekről. A műszer kiválasztásának indokait nem ismerjük, de a külföldi irodalomból annyi mégis nyilvánvaló, hogy mind a Leica, mind a Zeiss/Trimble műszernek vannak előnyei és hátrányai is. A lényeg azonban az, hogy az egységesen

használt műszertípustól jobb szintezési eredmények várhatók feltéve, hogy azok valóban azonos megbízhatósággal dolgoznak.

Az MTA GGKI Kalibráló Laboratóriumában lehetőség van sokfajta műszerhiba megállapítására, többek között annak kiderítésére is, hogy az egyes szintezőműszerek valóban egyformán mérnek-e. Bizonyos fókig arra is van lehetőség, hogy néhány szintkülönbség digitális műszerrel mért értékének valódi hibáját is meghatározzuk különböző távolságból. Vannak javaslatunk a kalibrálási költségek csökkentésére is. Az eddig kidolgozott vizsgálati módszereinkről és költségcsökkentő javaslatainkról egy következő publikációban számolunk be.

## IRODALOM

- Drodofsky, M.* (1956): Libellen mit Anzeige durch Glasblasen. (DGK Reiche C/17, 1956)
- Foppe, K.–Wasmeier, P.–Wunderlich, Th.* (2005): Erfahrungen aus nahezu 25 Jahren Nivellierlattenprüfungen an der TUM. (AVN 6/2005, 213–220)
- Heister, H.–Woschitz, H.–Brunner, F. K.* (2005): Präzisionsnivellierlatten, Komponenten- oder Systemkalibrierung? (AVN 6/2005, 233–238)
- Ingensand, H.* (1990): Das WILD NA2000. Das erste digitale Nivellier der Welt. (AVN 6/1990, 201–210)
- Ingensand, H.–Schneider, F.* (1990): Erste Erfahrungen mit dem neuen digitalen Nivellier WILD NA2000. (VR, 52 Jahrgang, Heft 5+6, 1990, 289–296)
- Ingensand, H.* (1991): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Digitalnivelliers WILD NA 2000. (VR 53 Jahrgang, Heft 1, 1991, 45–55)
- Ingensand, H.* (2005): Die Entwicklung von Digitalnivellieren und Codelatten. (AVN 6/2005, 229–232)
- Maurer, W.–Schnädelbach, K.* (1993): Bestimmung der Systemgenauigkeit der digitalen Nivelliere NA 2000/ NA 3000. In Mitteilungen des Geodätischen Instituts der Technischen Universität Graz (Festschrift zum 70. Geburtstag von Günther Schelling), Folge 78, 1993.
- Orbán A.* (1987): A kompenzátoros szintezőműszerek mágneses hatás miatti hibái. (Geod. és Kart. 6/1987, 438–442)
- Orbán A.–Bánfi F.* (1988): Szabatos kompenzátoros szintezőműszerek mágneses hatás miatti hibáinak hazai vizsgálata. (Geod. és Kart. 1/1988, 5–11)

- Reithofer, A.–Hochhauser, B.–Brunner, F. K.* (1996): Calibration of Digital Levelling Systems. (ÖZfV und Raumordnung 1996, 84. Jahrgang, Heft /96 (284–289)
- Rumpf, W. E.–Meurisch, H.* (1982): Systematische Änderungen der Ziellinie eines Präzisionskompensatornivelliers insbesondere des Zeiss Ni 1- durch magnetische Gleich- und Wechselfelder. (Vermessungsingenieur 4/1982)
- Rüeger, J. M.–Brunner, F. K.* (2000): On the System Calibration and Type Testing of Digital Levels. (ZfV April, 2000, 125. Jahrg., Heft 4, 120–130)
- Schauerte, W.* (1991): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Digitalnivelliers WILD NA 2000. (Vermessungswesen und Raumordnung 1991 1/53, 45–55)
- Schauerte, W.* (1992): Vergleichende Untersuchung der Digitalnivelliere WILD NA 2000 und NA 3000. (Vermessungswesen und Raumordnung, Jahrgang 54 Heft 2+3 1992, 116–124)
- Schauerte, W.* (2000): Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Digitalnivelliers WILD NA 2000. (VR 53/1, 2000, 45–55 )
- Schauerte, W.–Heister, H.* (2005): Der Ringversuch 2003–2004 zur Kalibrierung von Präzisionsnivellierlatten. (AVN 6/2005, 221–228)
- Staiger, R.* (1998): Zur Überprüfung moderner Vermessungsinstrumente. (AVN 11–12 /1998)
- Staiger, R.–Witte, B.* (2005): Zur Bedeutung der Prüfung von Präzisionslatten für die Praxis. (AVN 6/2005, 200–203)
- Woschitz, H.* (2005): Systemkalibrierung: Effekte von digitalen Nivelliersystemen. (AVN6/2005, 239–244)

### From traditional levelling to digital levels

*Orbán, A., Horváth, A., Gyimóthy, A.*

#### Summary

At the beginning of the re-levelling of the Hungarian first order vertical control network we call the attention of the surveyors to the main errors of the levelling instruments. Reviewing the development of the instruments and their deficiencies it is visible, that the more the fastness and the comfort at the levelling, the higher is the possibility of errors. This is especially valid for the digital levelling instruments. The recent discussion on the error-sources and examination of these instruments is based on a thorough review of the German technical literature.

## TÁJÉKOZTATÁS

A Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság  
2008. július 2–4. között rendezti  
idei vándorgyűlését, Nyíregyházán.

A program szervezés alatt van,  
hamarosan tájékoztatjuk olvasóinkat a részletekről  
a [www.mftt.hu](http://www.mftt.hu) weboldalon és folyóiratunkban.