



# Geodéziai mérések feldolgozását támogató programok fejlesztése a GEO-ban



*Gyenes Róbert, NYME GEO Geodézia Tanszék, –  
Kulcsár Attila, NYME GEO Térinformatika Tanszék*

## 1. Bevezetés

Karunkon a hároméves nappali és a négyéves levelező képzés során különböző mérési és feldolgozási módszereket ismernek meg a hallgatóink. Tanulmányaik során az ismeretek bővülésével szembesülniük kell azzal is, hogy a rendelkezésre álló, kereskedelmi forgalomban is kapható szoftverek nem minden esetben felelnek meg a korszerűbb mérési és adatfeldolgozási technológiáknak. Egyes rendelkezésre álló szoftvereink alkalmasak geodéziai alapfeladatok megoldására, de például nem tudjuk alkalmazni alappont-meghatározás, mérnökgeodézia vagy kiegyenlítő számítás gyakorlatokon, esetleg szakdolgozati feladatok megoldása során, ahol gyakran már a szakdolgozati kiírások követelménye is megkívánná a korszerű szoftverek használatát. Az évek során próbáltunk különböző programokat vásárolni, de a problémánk mindig a fentebb leírt maradt. Egyes szoftverek például egész egyszerűen nem jól számolnak, ami arra az okra vezethető vissza, hogy annak fejlesztésekor szakmai elméleti és gyakorlati szempontokat egyaránt nem vettek figyelembe. Alapponthálózatok számítására korábban a Karon fejlesztett programjaink az operációs rendszerek megváltozásával és újabb műszerek piacra kerülésével napjainkra elavultakká váltak. A korábbi fejlesztések eredményeként készült szoftverek szintézissel/trigonometriai magasságméréssel mért magassági hálózatok és vízszintes hálózatok számítására alkalmas programok voltak.

Mindezen okok vezettek el odáig, hogy úgy gondoltuk, olyan program készítésére lenne szükség, amely segíti megoldani ezt a problémát, és mind gyakorlati, mind tudományosabb igényű feladatok megoldása során is kiválóan alkalmazható. Az említett két dolgot nem egyszerű összehangolni, hiszen egy ilyen program fejlesztése így odáig vezethet, hogy annak „tudása” egy-egy felhasználó

lő esetén csak kis százalékban lenne kihasználva, modulokból felépített program készítése pedig véleményünk szerint nem célszerű. Külön gondot okoz, hogy egyes műszergyártó cégek változtatják a különböző adatrögzítési lehetőségeket, így más és más mezőkből felépülő mérési jegyzőkönyv-állományok állnak rendelkezésre. Ez a helyzet például Leica műszereink esetén a TC 600-as sorozatú vagy a TC 1800-as műszer alkalmazása során. A következőkben, mielőtt röviden bemutatnánk a Karon kifejlesztett programot, célszerű röviden áttekinteni a geodéziai hálózatok számításával kapcsolatos néhány olyan ismeretet, amely meghatározta az elkészítendő programmal szemben támasztott követelményeket.

## 2. Adatfeldolgozási módszerek

Az adatrögzítési technológia, amelyet napjainkban alkalmazunk nemcsak a terepi mérési technológiára, de az adatok feldolgozására is hatással van. A klasszikus számítási módszerek az alapponthálózat pontjainak számítására nem alkalmazhatók. Egyrészt a korábbi pontonkénti, külső-belső tájékozásokkal, fő- és mellékszög-vonalakkal automatikusan végrehajtható koordináta számítási feladatok nehezen algoritmizálhatók, másrészt az elv és a szemlélet, hogy ezen számításokhoz mely adatokat használjuk fel, nem tekinthető korszerűnek. Az elvégzett munkákat minősíteni kell, amely minősítések közül több kapcsolódik az elvégzett mérések vagy a létrehozott hálózat különböző pontosságú mérőszámaihoz. A Karon folyó képzés keretében az egyes szakmai tárgyak oktatásakor (Geodézia, Alappont-meghatározás, Mérnökgeodézia) ezért a hálózati szemléletet oktatjuk, és azt, hogy ezeket a hálózatokat, legyenek azok magassági vagy vízszintes hálózatok, az említett okok miatt kiegyenlítővel célszerűbb számítani. Hozzá kell tennünk azonban,

hogy a kiegyenlítés eredményeként kapott különböző értékek megfelelő elemzéséhez matematikai statisztikai, hibaelméleti ismeretekre is szükség van. Ha azonban ezekkel tisztában vagyunk, akkor a kiegyenlítéssel számított hálózatok elemzése és minősítése során elveiben is jobb alapokon nyugvó következtetéseket tudunk levonni.

Éppen ezért úgy gondoljuk, hogy nemcsak vízszintes, hanem gyakran a hozzákapcsolódó trigonometriai magasságmérések során is a kialakított hálózatot kiegyenlítéssel praktikusabb számolni. Nehéz megmondani, hogy például egy felmérési hálózat esetén mit tekintünk egyetlen összefüggő hálózatnak, amelyet együttesen érdemes feldolgozni. Ezt természetesen mindig az adott feladat dönti el. A hálózat mérete nem az elvégzendő számítások miatt akadály, hanem annak áttekinthetősége miatt. Egy kisebb, 15–20 pontból álló felmérési hálózat esetén is az iránymérések és a távmérések együttes száma könnyen meghaladhatja a százat, így a súlyos durva hibák vagy a kisebb, ún. szennyezett durva hibák előfordulásának a valószínűsége is nagyobb. Ha a pontok magasságát is számolnunk kell, akkor további mérésekre, zenit-szög, műszer- és jelmagasság mérésre is szükség van. Szintezéssel mért magassági hálózatok esetén egyfajta mérési eredménnyel kell dolgoznunk, így a mérési eredmények esetlegesen előforduló hibák keresése is egyszerűbb. Egy hálózatki-egyenlítő programot ezért fel kell készíteni arra a megoldásra, hogy egy nagyobb hálózat esetén azt esetleg részekre bontva is számolni tudjuk az említett okok miatt, amelyeket azután össze tudunk kapcsolni.

Hálózatkiegyenlítés során a programnak biztosítania kell a hibaelméleti alapokra támaszkodó durva hiba szűrési lehetőségeket is. A szakirodalmából erre vonatkozóan több módszer is ismert, legcélszerűbb azonban azokat alkalmazni, amelyek a mérési eredmények egyenkénti vizsgálatára alkalmasak. A *Baarda* által kidolgozott Data-Snooping teszt (szó szerinti fordításban „Adat szimatoló” teszt) erre kiválóan megfelel. Ez egy egyszerű statisztikai próba, amely a kiegyenlítésből számított javításoknak (ellentmondások) és azok középhibáinak a hányadosára vonatkozik. Alkalmazásáról azonban tudni kell, hogy beillesztett hálózatok kiegyenlítése esetén az ismert koordinátájú pontok miatti kényszerfeltételek és kerethibák hatása következtében a hálózat egyes részein torzított eredményt is adhat.

Bár szigorú értelemben véve nem a durva hibák kimutatására használjuk, de a minősítések során

az irány és távolságtérésekre vonatkozó hibahatárokat alkalmazzuk a leggyakrabban, elsősorban országos alapponthálózatok sűrítése során. Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy ezek a hibahatárok – annak ellenére, hogy hibaelméleti alapokon nyugszanak – nem alkalmazhatók teljes egészében összefüggő, több új pontot is tartalmazó hálózatok számításakor. A hagyományos negyed- és ötödrendű hibahatárok is a pontonkénti, nagyból a kicsi felé haladás elvét követő számítások végrehajtására az igazak, ahol mindig egy új pontot határozunk meg a szomszédos pontokból, majd a következőt és így tovább. A hibahatárok képleteiben szereplő állandók nagyjából az adott pontok vagy a számítások során meghatározott új pontok további meghatározandó pontokra gyakorolt kerethibáinak a hatását fejezik ki. Ezek azok, amelyek a leginkább érvényesülnek bennük. Az erre támaszkodó hibahatár képletek viszont hálózatban nem alkalmazhatók, a kerethibák hatása nulla is lehet egyes mérések esetén, amelyeket a hálózat adott pontoktól távolabb eső részein végeztek. Az említett statisztikai próbában viszont kifejezésre jut – a hálózat geometriája mellett – az adott pontok által okozott kényszerek és kerethibák hatása is.

Kiegyenlítéssel történő számítás egyik feltétele a mérési eredmények apriori középhibáinak az ismerete. Ezeket az értékeket általában a mérési technológiától és a feladat jellegétől függően tapasztalati úton állapítjuk meg, ritkábban a mérési eredmények között fennálló geometriai összefüggések alapján számoljuk (pl. Ferrero-féle irányközéphiba). Azért, hogy a kiegyenlített értékek középhibáinak az elemzése ne vezessen helytelen következtetésre, el kell döntenünk, hogy mit tekintünk egységnyi súlyú mérési eredménynek.

Szintezés esetén az 1 km hosszúságú szakasz magasságkülönbségét választjuk egységnyi súlyú mérési eredménynek. Mérnökgeodéziai feladatok során előfordul, hogy a szakaszok rövidek. Ebben az esetben egységnyi súlyú mérési eredménynek az egy műszerállásban mért magasságkülönbséget célszerű tekinteni.

Trigonometriai magasságmérések során egységnyi súlyú magasságkülönbségnek a mért átlagos irányhosszhoz tartozó magasságkülönbséget tekintjük. Felmérési hálózatok esetén ezek 100–300 méter közötti értékek, mikrohálózatok esetén 10 méteres a nagyságrend. A középhibáa az előbbi esetben 2–4 cm, az utóbbi esetben mm-es nagyságrendű, tíz méternél rövidebb irányoknál 0,5 mm körüli érték.

Vízszintes hálózatok számításakor egységnyi súlyú mérési eredménynek szintén az átlagos irányhosszt tekintjük. Középhibája kényszerközpontos mérés esetén kb. öt másodperc, ha az átlagos távolság 100–300 méter közötti nem kényszerközpontos mérés esetén 5–10 másodperc. Mikrohálózatok mérése során a középhibát a mérés előkészítésekor tapasztalati úton határozzuk meg ismételt mérések középhibáinak számítása alapján.

Táv mérés esetén alkalmazhatók a műszerek prospektusaiban szereplő középhibák, de csak kényszerközpontos mérések esetén. Nem kényszerközpontos mérések során felmérési hálózatokban az apriori középhiba kb. egy cm.

Az irányméréseket beillesztett hálózatok számításakor a kerethibák iránymérésekre gyakorolt hatása következtében távolsággal arányos súllyal vesszük figyelembe, egyébként távolságtól független súlyozást alkalmazunk. Mikrohálózatok mérésekor szintén elegendő távolságtól független súlyozást alkalmazni.

Táv mérés mérési eredményeinek súlyozásakor a műszer prospektusában szereplő középhiba távolságtól függő tagját nem szükséges figyelembe venni, elegendő a távolságtól független középhibát alkalmazni.

### 3. A kiegyenlítéssel történő számítás dokumentációja

Kiegyenlítéssel történő számítás során a kiinduló adatok közül dokumentálni kell mindent, ami a számítás alapját képezte. Ezek a következők:

- adott és új pontok száma,
- mért irányok, távolságok, magasságkülönbségek száma,
- apriori középhibák értékei és a súlyok felvételének módja,
- statisztikai próbák számításához a próba valószínűségi szintje,
- adott pontok helymeghatározó adatai,
- mérési eredmények.

Az utóbbiról meg kell jegyeznünk, hogy a kiegyenlítő számításokhoz felhasznált kiinduló adatok gyakran nem a közvetlenül mért adatok, hanem az azokból levezetett ún. fiktív mérési eredmények. Vízszintes hálózatok számításakor kiinduló adatként az irányértéket és a vetületi távolságot (nem vetületi koordináta rendszerben végzett számításkor a vízszintes távolságot) kell dokumentálni a számítási jegyzőkönyvekben. Trigonometriai magasságmérések esetén a műszermagasság, jelma-

gasság, zenitszög és a távolság dokumentálandó, amely lehet koordinátákból számított is.

A kiegyenlítő számítások eredményei közül a következő számított adatok dokumentálandók:

- a helymeghatározó adatok kiegyenlített értékei és azok középhibái,
- kiegyenlített mérési eredmények, iránymérések esetén a kiegyenlített koordináták felhasználásával végleges tájékozás,
- kiegyenlítésből számított javítások (ellentmondások),
- hibahatárok,
- kiegyenlített mérési eredmények középhibái,
- durva hibák statisztikai módszerekkel történő kimutatásához a statisztikák számszerű értékei,
- hálózatot jellemző középhiba vagy középhibák.

Az utóbbi nem egyértelmű, hiszen a hálózatot jellemző középhiba alatt elsősorban a hálózatot jellemző relatív középhibát értjük. A relatív középhiba számítható hossz- és keresztirányú középhibákból vagy az egységnyi súlyú mérési eredmény kiegyenlítés utáni középhibájából. Általában az utóbbit alkalmazzuk, amelyre a válasz igen egyszerű: ez a legkevésbé bonyolult. Tekintettel arra, hogy egységnyi súlyú mérési eredménynek az átlagos távolsághoz tartozó iránymérés középhibáját választjuk, ezért kiszámoljuk annak kiegyenlítés utáni középhibáját, amely számszerűen a súlyegység középhibájának kiegyenlítés utáni értékével egyezik. Ha a súlyegység középhibáját  $m_0$ -al, a hozzá tartozó átlagos távolságot  $t_0$ -al jelöljük, akkor  $m_0$  hosszegységben kifejezve közelítőleg

$$\frac{m_0}{\bar{n}} \cdot t_0$$

értékkel egyenlő, amely

$$\frac{1}{H} = \frac{\frac{m_0}{\bar{n}} \cdot t_0}{t_0} = \frac{1}{\frac{\bar{n}}{m_0}}$$

relatív középhibának felel meg ( $\rho = 206265''$ ). Ez az egyszerű elv az oka annak, hogy ezt az összefüggést alkalmazzuk gyakrabban.

Nagy hálózatok számításakor előfordulhat, hogy a kiegyenlítés eredményeként számított javításokból vagy statisztikákból arra a következtetésre jutunk, hogy valamely mérést szennyezett durva hiba vagy durva hiba terhel. Ilyenkor kellő következtetés és indoklás mellett szükség lehet arra, hogy ezeket a mé-

réseket a kiegyenlítésbe ne vonjuk be, hanem hagyjuk ki azokat, majd ismételjük meg a kiegyenlítést. A kérdés viszont az, hogy ezt a kihagyást miként dokumentáljuk? Ha ezeket a méréseket fizikailag töröljük, akkor nem lesz meg az összhang a mérési és a számítási jegyzőkönyv között. Véleményünk, hogy ezt az ún. logikai törlést is dokumentálni kell, a számított ellentmondásokat ugyanúgy fel kell tüntetni, mintha azok a kiegyenlítésben részt vettek volna. Ennek matematikai és elméleti hátterét jelen dolgozatban nem kívánjuk részletezni annak terjedelme miatt, de az általunk kifejlesztett programokkal ezeket a problémákat is megoldottuk.

#### 4. Az elkészített programok

Az előző fejezetekben közölt feltételeknek megfelelő programokat fejlesztettünk ki magassági és vízszintes hálózatok kiegyenlítésére, valamint részletmérések feldolgozására. A mérési technológia és a kiinduló adatok különbözősége miatt a magassági hálózat kiegyenlítést külön készítettük el szintezéssel és külön trigonometriai magasságméréssel mért hálózatok esetére. A szintezési hálózatok számítására ezért különálló programot készítettünk. A hálózat kiegyenlítések mind beillesztett, mind önálló hálózatok esetén elvégezhetők, ezeket az eseteket a programok automatikusan felismerik. Vízszintes hálózatok esetén az összes defektus típusra elvégezhető a feldolgozás. Ezek a következők:

- defektus = 1: a hálózatban egyetlen fix koordinátájú pont van, a kiegyenlítésben irány- és távmérések is szerepelnek,
- defektus = 2: a hálózatban egyetlen fix koordinátájú pont van, a kiegyenlítésben csak iránymérések szerepelnek,
- defektus = 3: a hálózatban nincsen fix koordinátájú pont, a kiegyenlítésben irány- és távmérések is szerepelnek,
- defektus = 4: a hálózatban nincsen fix koordinátájú pont, a kiegyenlítésben csak iránymérések szerepelnek.

A mérőállomásokkal végzett mérések mérési eredményei a megfelelő műszerformátumokból betölthetők. A feldolgozás a következő műszercsaládok, illetve a formátum különbözősége miatt egyedi műszerek adataival lehetséges:

- Geodimeter UDS,
- Leica GSI 8 és GSI 16 formátumú adatok,
- Sokkia SDR (numerikus és alfanumerikus pontszámok esetén is),
- Topcon.

Tekintettel arra, hogy a digitális szintezőműszerek még mindig kevésbé elterjedtek, ezért a szintezési hálózat kiegyenlítő programot szabatos szintezési és részletmérési feladatok feldolgozására a manuális adatbevitel lehetősége mellett csak az NA 3000 műszerre vonatkozóan készítettük el, de igény szerint a mérőállomásokhoz hasonlóan ezt a lehetőséget tovább fejlesztjük.

A hálózat kiegyenlítéseket megelőző előzetes magasságok és koordináták számítása automatikusan történik, de a számítások eredményei különböző szöveges állományokban is megtalálhatók. Az elvégzendő számításokhoz különböző hibahatárok és számítási élességek is megadhatók az egyes feladatok igényeinek megfelelően.

Az elkészített programok menüszerkezetei úgy lettek kialakítva, hogy azok kövessék a számítások logikai menetét, segítve ezzel a program kezelésének minél egyszerűbb elsajátítását is.

A távolságok alapfelületi és vetületi redukciói a vetülettanból ismert összefüggések alapján kerülnek számításra. Az ehhez szükséges átlagos magasság és koordináta egy meglévő koordináta-jegyzék választását követően kerül számításra, de külön be is gépellenthetőek ezek az értékek. A vetületi távolságok a megfelelő vetület kiválasztása után kerülnek számításra. Ezek a vetületek a következők:

- EOVS,
- Sztereografikus vetület,
- Hengervetületek (HÉR, HKR, HDR).

Vetület nélküli rendszer esetén értelemszerűen a vízszintes távolságokat számolja a program. A különböző ellenőrzési lehetőségek biztosítása érdekében a következő ellenőrző számításokra van mód:

- szintezés esetén szintezési vonalak és poligonok záróhibáinak a számítására,
- trigonometriai magasságmérés esetén magassági sokszögvonalak és poligonok záróhibáinak a számítására,
- vízszintes hálózatok esetén poligonok szög- és vonalas záróhibáinak a számítására.

A hálózatok kiegyenlítéséről készített jegyzőkönyvek úgy lettek összeállítva, hogy azok a 3. fejezetben leírt szempontoknak és követelményeknek megfeleljenek, állami és egyéb munkák leadására is alkalmasak legyenek.

Részletpontok koordinátáinak számításakor a DAT szabályzathoz igazodva biztosítottuk, hogy az ellenőrzéssel mért részletpontok koordináta különbségei is dokumentálhatók legyenek. Ezek a számítások a részletpontok koordináta-jegyzékének a végén találhatóak.

## 5. Összefoglalás

A leírtak összefoglalásaképpen úgy véljük, hogy sikerült olyan programokat készítenünk, amelyek fejlesztése során figyelembe vettünk szélesebb körű gyakorlati és elméleti alkalmazási lehetőségeket is. Tekintettel arra, hogy a durva hiba szűrési lehetőségeket matematikai statisztikai alapokon is biztosítottuk, valamint részletes dokumentációt tettünk lehetővé a kiegyenlített mérési eredmények és a helymeghatározó adatok pontossági mérőszámaira vonatkozóan, ezért az általunk fejlesztett programok tudományos igényű feladatok elvégzésére is alkalmasak. Az általunk készített és a hozzá hasonló szoftverek állandóan fejlesztésre szorulnak, hogy mindig a kor igényeinek megfelelő feladatok elvégzésére legyenek alkalmasak. A fejlesztés több elméleti háttér elsajátítását igényli nemcsak a szoftverfejlesztő, hanem a felhasználó részéről is. Az oktatási intézmények a szoftverfejlesztések terén csak nagy nehézségek árán vagy egyáltalán nem lehetnek versenyképesek azokkal a szoftverfejlesztő cégekkel szemben, ahol elsődleges feladatok közé ezen programok elkészítése tartozik. Mindezek ellenére az elkezdett munkát folytatni fogjuk, és a felhasználói igényeknek is megfelelő fejlesztésekre törekszünk a jövőben. Az elkészített szoftverekről további információk találhatóak a <http://www.geocalc.hu/> címen.

## Development of processing software of the geodetic measurements in the College of Geoinformatics, University of West Hungary

*Summary*

*R. Gyenes–A. Kulcsár*

The beginning of this paper presented some requirements and instructions for processing of geodetic measurements. For this reason such software has been developed in our College by us with which one may solve those exercises that were enumerated in the section 2 and section 3 of this study. In our opinion, the developed software may be very useful in education and practice alike. The calculation of preliminary coordinates and heights is fully automatized before adjustment calculations, and the detection of coarse errors may be made with statistical tests. There is a possibility of full documentation of preliminary and adjustment calculations so the entire process is well checked step by step. We hope that we will be able to continue the work we have begun, making further developments in the future.

**Földmérési és Távérzékelési Intézet  
K-GEO Akkreditált Kalibráló Laboratórium**

vállalja

**GEODÉZIAI ELEKTROOPTIKAI TÁVMÉRŐK KALIBRÁLÁSÁT**

Gödöllön, az Országos Geodéziai Alapvonalon

és

**GPS VEVŐBERENDEZÉSEK KALIBRÁLÁSÁT**

Pencen, a GPS Kalibrációs Hálózatban.

2614 Penc, Kozmikus Geodéziai Observatórium

Tel: 06-27-374-980 Fax: 06-27-374-982

Email: borza,nemeth,virag@sgo.fomi.hu

Levelezési cím: 1373 Budapest, Pf. 546.