Optomechatronika projekt

GIROTEODOLIT LEOLVASÁSI MÓDSZEREI

Csintalan Gergely

F218CL

2026 április

Tartalomjegyzék

A giroteodolitról 3
Működési elv: 3
A giroszkopikus egység: 3
A teodolit egység: 3
A mérés folyamata 4
Leolvasási módszerek 5
Ismert periódusidő módszere (quick / known period / quarter time method) 5
Fordulópont megfigyelés módszere (reversing / turning point method) 6
Amplitúdó módszer (Amplitude method) 8
Áthaladás módszere (passing / transit method) 9
Módszerek összehasonlítása 10
Hivatkozások 11

A giroteodolitról

A giroteodolit egy, a csillagászati észak irányának meghatározására alkalmas eszköz. Ahogy neve is, az eszköz is két részből áll, egy giroszkopikus egységből és egy teodolitból. Előbbi az északi irány kimutatását, utóbbi pedig a pontos mérését és kijelölését teszi lehetővé.

Működési elv:

A giroteodolit azon fizikai elvet használja ki, hogy egy, Föld felszínén magára hagyott, forgó giroszkóp forgástengelye az aktuális meridiánsíkba igyekszik beállni. A meridián csillagászati szakfogalom, egy főkört jelöl, amely tulajdonságaiból adódóan áthalad az északi és déli sarkokon, illetve a vizsgált pont zenitjén, azaz az éggömb pontba húzott merőlegesével vett metszéspontján. Ebben a síkban forgó giroszkóp forgástengelye szükségszerűen kijelöli az észak-déli irányt, a horizonton rögzített pontokkal pedig kijelölhető földmérési technikákkal is.

A giroszkópot mozgató nyomatékot, ezzel a gravitációs – forgási kölcsönhatást a föld és egy szabadon elmozduló giroszkóp közt már 1852-ben kimutatták, a 20. század első évtizede óta építenek ezen fizikai elvet kihasználó girokompasszokat. Ezek és a giroteodolitok történelmét ebben a projektben nem tárgyalom részletesen, összefoglalást ad róla Dr. Antal Ákos cikke a Historia Scientiarum-ban. (Dr. Antal, 2022).

A háttérben működő fizikai törvény bemutatása szintén szükségtelen a leolvasási technikák megismeréséhez, ezért nem tartom szügségesnek behatóbb tárgyalását. Számunkra elegendő összefoglalót nyújt a Bulletin Géodésique cikkének bevezetője. (Schwendener, 1966)
A forgó giroszkóp megpróbálja fenntartani a térben a kezdeti forgási síkját. A Föld forgó mozgása, azonban kihúzza a giroszkópot a teodolittal és az állvánnyal együtt ebből az eredeti forgási síkból. A giroszkóp erre az interferenciára egy csillapodó oszcillációval reagál, amelyet precessziónak nevezünk, és amely addig folytatódik, amíg a forgástengelye el nem éri a meridián síkjában (valódi északi irány) elfoglalt helyzetét. Amikor elérte ezt a helyzetet a szögimpulzusvektora ugyanabban a meridián síkban fekszik, mint a Föld forgási sebességvektora, többé nem befolyásolják egymást. Amíg azonban a kettő szöget zár be egymással, a föld forgása „interferencia” nyomatékot hoz létre a giroszkópban.

A giroszkopikus egység:

A giroteodolitok különleges része a giroszkopikus egység, amely lehet beépített vagy kiegészítő egység. Benne egy, ideális esetben elhanyagolható súrlódású csapágyazással ellátott, nagy sebességű pörgettyű – giroszkóp – található. Ez egy ún. deklinációs pörgettyű, amelynek jellegzetessége, hogy csak a vízszintes síkon tud elfordulni. A továbbiakban, gyakorlati vizsgálataim alapjául szolgáló MOM Gi-B1 típusú giroteodolit példáján át fogom az eszközök felépítését, működését bemutatni. Ezen műszer giroszkópja megközelítőleg 20 000/perc fordulaton üzemel, és egy nagyon kis torziós ellenállású szálon felfüggesztve, nagyfokú vákumban van elhelyezve, biztosítandó a nagyon kis nyomatékigényű elfrdulás lehetőségét. Külső nyomaték hatására a pörgettyű precessziós mozgásba kezd, azaz a forgatónyomatékot létrehozó erő irányára merőleges kitéréssel válaszol.

A teodolit egység:

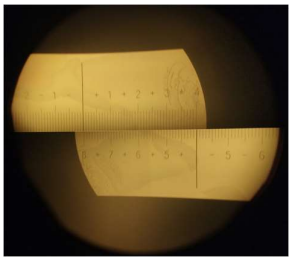
A teodolit egység bármely különleges tulajdonság nélküli, földmérésben elterjedt teodolit egység lehet, szerepe a pontos szögmérés és referenciapont kijelölés. A pontos feladatai a későbbiekben részletezett leolvasási technikák ismeretetésekor részletesebben is ki lesznek fejtve, nagyvonalakban, a mérés folyamata a giroszkóp lengéseinek követéséből, a lengések szélsőértékének megkeresésébőL, ezeknél pontos szögértékek leolvasásából, majd ezen szögértékek feldolgozásából áll. Ezen folyamatban a pontos szögérték-meghatározás, illetve a mérés végeztével az eredmény szögérték irányában egy referenicia pont felvétele a teodolit egység feladata.

A mérés folyamata

MOM Gi-B1 giroteodolit példáján keresztül

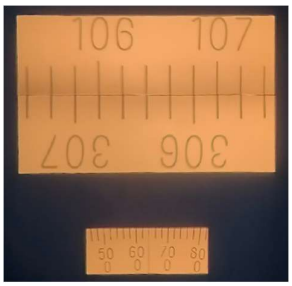
A giroteodolittal végzett mérés lépései, vázlatosan összefoglalva, saját képekkel illusztrálva:

1. Megközelítő északi irány meghatározása, például csillagászati úton, mágneses iránytűvel, gps adatokból.
2. A giroteodolit felállítása, kijelölt oldalát, tartólábát a nagyjából, feltételezett északi irányba forgatva, valamint igen pontosan kivízszintezve. A vizszintes helyzetet, valamint a mágneses északi irányt segít meghatározni egy eszközhöz tartozó rátét műszer.
3. Ezután áram alá helyezhető a giroteodolit, a kábel csatlakoztatása közben oldhatóvá válik a giroszkóp rögzítőkereke. Felkapcsolandó a világítás és a giroszkóp indítható.
4. A giroszkóp fixált, „aretált” állapotban éri el az üzemi fordulatszámot, néhány perc alatt.
5. Az üzemi fordulatszám elérése után az aretáló kerék kioldható, a giroszkóp elkezdi a fordulást.
6. A giroteodolit okkulárjába nézve két skála látható, egyik fix helyzetű, és együtt forog a teodolittal, a másik pedig a giroszkóphoz csatlakozik, és egy tükör segítségével a giroszkóp vízszintes síkbeli elfordulása figyelhető meg elmozdulásából.



1. ábra - A két skála az okulárba nézve

7. A lengés nagysága meghatározza, hogy a 2 lehetséges mérési módszer közül melyik alkalmazandó: követéses vagy követés nélküli mérés
   a. Ha a lengés nagy, az egyik skála elhagyná a másik skála tartományát, akkor „követni” kell, a teodolitot az oldalán található két orsóval forgatva, a giroszkóp mozgását az egész eszközzel követni kell, egészen a lengés szélsőértékéig, ahol is a mozgás lelassul, megáll, majd visszafordul.
   b. Ha a lengés amplitúdója igen kicsi => nagyon közel vagyunk az igazi északhoz, akkor az elmozduló skála nem hagyja el az álló skála tartományát, és nincs szükség követésre. Az álló skálán leolvasható a lengés szélsőértéke.
8. A szélsőértéket elérve, a másik okkulárba nézve leolvasható a teodolit által jelzett szögérték, 2 szögmásodperc pontossággal.



2. ábra - a teodolit szögleolvasó skálája, felül fok, alatta szögmásodperc és szögperc skála

9. Itt válnak szét a leolvasási módszerek, amiket a továbbiakban részletesebben elemzek.

Leolvasási módszerek

Az alábbi szekciót alapvetően három forrásból dolgoztam ki, ezek a korábban már hivatkozott Bulletin Géodésique cikk (Schwendener, 1966), a Wild GAK 1 giroteodolit kiegészítő leírása (Jones, 1977) valamint a giroteodolitokról szóló legrészletesebb könyv, eredetileg V. Yu. Torochkov által írva, az amerikai FSTC hivatal által angolra fordítva (Torochkov, 1972). Ezen angol verzió képzi az alapját az alábbi bemutatónak.

Ismert periódusidő módszere (quick / known period / quarter time method)

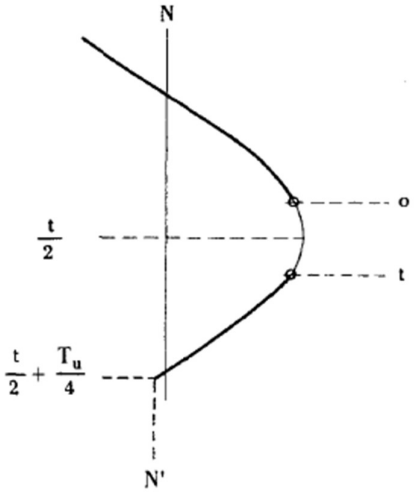
Ez a technika azt az elvet használja ki, hogy a giroszkóp lengésideje független az amplitúdótól, egyedül a műszer tulajdonságaitól (fordulatszám, perdület, stb.) illetve a föld forgásának adott pontbeli horizontális komponensétől függ. Utóbbi, mivel a föld forgásának szögsebessége állandó, egyedül a földrajzi szélesség függvénye. Emiatt, ha az egyenlítői lengésidő (T_0) ismert, bármely szélességre kiszámítható a lengésidő, az alábbi módon:

$$T_\varphi = T_0/\sqrt{cos(\varphi)}$$

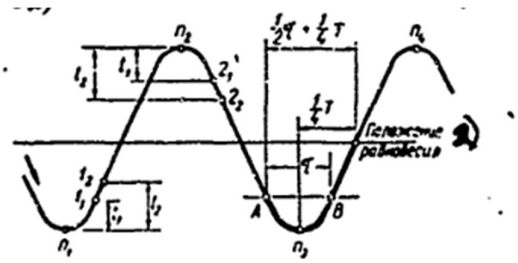
A gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy 2 méréssel kellő pontossággal meg is határozható a lengésidő, egy fix pontban rögzítve a teodolit egységet, majd megfigyelve és lemérve a giroszkóphoz kapcsolt mutató áthaladását. Érdekes, irodalomban említett technika, hogy a módszert megfordítva, a periódusidő mérésével meghatározható a földrajzi szélesség, a periódusidő 0,2 másodperc pontos meghatározását feltételezve 1 szögperc pontossággal.

A módszer tömören összefoglalva abból épül fel, hogy az ismert lengésidő (ami egy teljes periódust tartalmaz, egyik végponttól a másikig majd vissza) negyedét véve, az egyik szélső ponttól indulva negyedidő elteltével pontosan az oszcilláció középpontjába, azaz az igazi észak irnyába érkezünk.

A módszer gyakorlati megvalósítását nehezíti, hogy a szélsőérték elérésének pontos pillanata nehezen meghatározható. Ennek feloldására az irodalom javaslata, hogy a szőlsőérték közelében, még előtte, egy stopper indítandó, majd a lengést nem követve, állva a mutató visszatérte megvárandó, és ennek bekövetkezésekor a stopper leolvasandó, az ekkor mutatott érték t. Ezután a lengést követni kell, amíg a stopper el nem éri a (T/4 + t/2) időpillanatot, amikor is a lengés a középértékénél kell járjon, azaz pontosan észak felé mutat a teodolit egység.



3. ábra - A módszer ábrázolása (Jones, 1977)



4. ábra - A módszer ábrázolása (Torochkov, 1972)

A módszert a szakirodalmak hasonló pontosságúnak értékelik, mint a fordulópont-módszert két szélsőértékre végrehajtva, időigénye ellenben 40%-kal kevesebb, emiatt gyors mérésre a leginkább alkalmas.

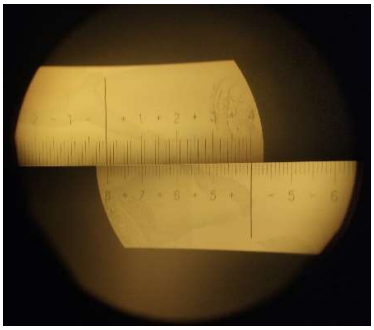
Fordulópont megfigyelés módszere (reversing / turning point method)

A gyakorlatban legszélesebb körben elterjedt módszer, az irodalom és személyes, kezelői elmondások szerint egyaránt. Minden helyzetben, előzetes ismeretek nélkül elvégezhető módszer, bizonyos határok közt (általában 2-6) választható számú mérési pontot felvéve, ezáltal optimalizálva a mérési pontosságot és időt az aktuális feladat igényeire.

Ezen mérési módszert alkalmaztuk a MOM Gi-B1 giroteodolittal, a folyamatok menetének megértése céljából végzett méréseink során. Ezen alkalmakról származnak az illusztráló képek és videók.

A mérés megkezdéséhez praktikus, de nem elvárás a feltételezett északi irányba fordulni, a lengések amplitúdójának minimalizálása végett. Ez könnyíti a követési folyamatot és pontosabbá teszi az egész mérést. Ennek érdekében nem szokatlan a technika, hogy kellő idő rendelkezésre állása esetén előzetes méréssel megállapításra kerül egy közelítő északi irány, majd arra beállva lesz indítva a pontosnak szánt mérés.

A mérés indításakor az aretáló kereket kitekerve a giroszkóp szabad lengésbe kerül, majd azonnal, a skálákat minél inkább egymásoz képest szinkronban tartva, a lengés a teodolit fordításával követendő. A skálák minél pontosabb együtt tartása nem csak a biztonságos követés miatt fontos, de minimalizálja a giroszkóp függesztőszálának torziójából adódó nyomatékot, a mérés pontosságát növelve. A követési folyamat videófelvételen is megtekinthető az alábbi linken: https://youtu.be/-yNO-tLOHQk



5. ábra - a két skála követés közben, egymáshoz képest kitért állapotban
A kitérés itt a javosoltnál lényegesen jelentősebb, gyakorlati javaslat a két középpont 2 egységen belül tartása egymáshoz képest.

A követés szélsőértékeinek közelébe érve a lengés lelassul, majd egy pillanatra megáll. Mivel a lengés – természetesen ezen adatok helyszín és eszközfüggőek, jelen esetben a korábban említett MOM Gi-B1 eszköz és Magyarország feltételezett – egy irányban két végpont között megközelítőleg 4,5 percet vesz igénybe, érzékelhető, hogy a szélsőértékek közelében a mozgás igen lassú, emiatt könnyen követhető, s a visszafordulási pont kellő pontossággal beállítható. Ezen a ponton, a giroszkóp leállítása nélkül szükséges leolvasni és rögzíteni a teodolit által mutatott pontos szögértéket, majd a követést azonnal folytatni kell. A mozgás lassúsága lehetővé teszi a leolvasás idejére a követés mellőzését anélkül, hogy a mérés pontosságát negatívan befolyásolná.

Ez a folyamat legalább két szélsőértékre elvégzendő. Két pont esetén, a két szögérték átlagaként adódik a lengés középértéke, azaz az igazi észak irány. A szakirodalom egyetért a gyakorlati tapasztalatokkal abban, hogy a mérési pontok ideális száma négy, ez adja az elérhető legmagasabb pontosságot, míg további mérési pontok felvétele, a lengés nem tökéletes csillapítatlansága és a valóságban mindig kismértékben késő vagy siető követés enyhe befolyásoló hatása miatt már a mérési bizonytalanságot növeli. Köztes megoldásként lehetséges 3 fordulópont meghatározása, ekkor a mérésidő ~20%-kal, míg a pontosság csak 5-10%-kal csökken.

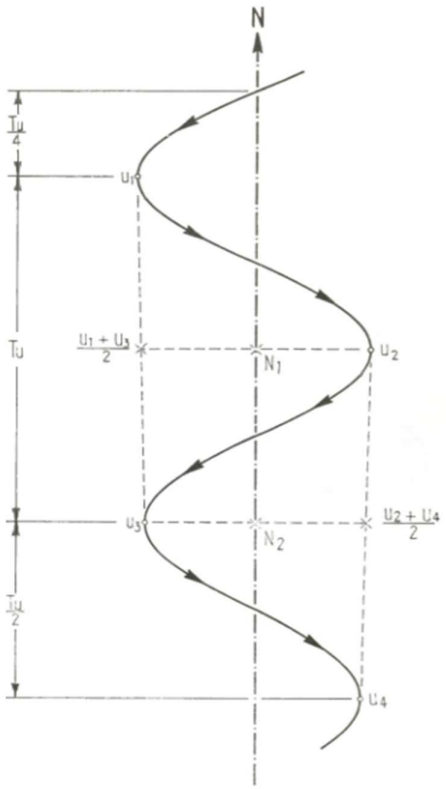
Kettőnél több mérés esetén a lengés középértéke a szögértékek Schuler átlagaként határozható meg. Ennek képletei:

$$a_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{(u_1 + u_3)}{2} + u_2\right) \qquad a_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{(u_2 + u_4)}{2} + u_3\right) \qquad N = \frac{\Sigma a_1}{n}$$

Az átlagszámítás folyamata, az elvégzett próbamérésünk eredményeire bemutatva (megjegyzés: A méréshez használt giroteodolit nem 360 fokos, hanem 400 egységes szögbeosztást használt, minden egységet 100*100 alegységre bontva, a jelölésre ellenben a klasszikus jelölésrendszert használtam):

197°87’10”
206°28’31”
214°69’52”
206°30’49”
206°29’40”
206°30’62”
197°91’45”
206°33’18”
206°31’84”
214°74’92”

A műszer rendelkezett továbbá egy 100 szögegységes műszerállandóval, ezt figyelembe véve az igazi észak iránya 106°30’62” irányban volt.



6. ábra - A módszer mintavételének ábrázolása (Jones, 1977)

Amplitúdó módszer (Amplitude method)

Az előző módszerek közös tulajdonsága, hogy szükséges hozzájuk az elforduló giroszkopikus elem mozgásának pontos kézi követése. Ezt a folyamatot későbbi, automata vagy félautomata követőrendszerrel felszerelt giroteodolitok lényegesen egyszerűbbé és pontosabbá tették, de a teljesen kézi követésű eszközökön, mint az általunk használt MOM GiB-1, a mérési pontosságot és hibát legerősebben befolyásoló tényező. A követés, ha nem teljesen pontos, befolyásolja a torziós szál elcsavarodását, ezzel a giroszkópra ható erőt, valamint a szélső pontok környékén a leolvasás érdekében megállított követés a lengés két szélső pontján aszimmetrikus hibát hoz a rendszerbe. Ezen kívül jelentős, 15-30 percen át tartó, folyamatos precíziós munkaigénye, kifejezetten a valós, ideálistól eltérő időjárási és környezeti körülmények közt jelentős igénybevételt és ezáltal hibakockázatot jelent a kezelőre nézve. Ezek az aggályok vezettek a következő két módszer kidolgozásához, amelyeket legalább részben követés nélkül lehet megvalósítani.

Az amplitúdó módszer sikeres alkalmazásához a teodolit egységnek szükséges a valódi észak irányhoz képest kis eltérésű (20-30') kezdőhelyzetben állnia. Ezt gyakran előzetes, gyors méréssel határozzák meg. Ezen a tartományon a torziós szál elcsavarodásának hatása a szög függvényében jó közelítéssel lineárisnak tekinthető, ezért az alábbi egyenlet írható fel a csavarásból adódó nyomatékra:

$$M = k \cdot \gamma = \frac{E \cdot I}{l} \cdot \gamma$$

Ahol E a torziós szál Young modulusa, I a másodrendű nyomatéka, l a hossza, γ pedig a felfüggesztés szögelcsavarodása. Ezt felhasználva, itt most nem részletezet, de a hivatkozott szakirodalomban kifejtett (Torochkov, 1972) levezetés után, az alábbi, észak helyzetét végeredményül adó egyenletre jutunk:

$$N = \frac{n_1 + n_2}{2} - \frac{k}{H\omega_r}\left(\frac{n_1 + n_2}{2} - n_0\right)$$

Ahol H a giroszkóp perdülete, ω_r pedig a föld szögsebességének horizontális komponense az adott szélességen. Szükséges meghatározni egy oszcilláció szélsőértékeit, ezek lesznek n_1 és n_2, valamint a felfüggesztett elem nyugalmi helyzetét, ha a giroszkóp motorja kikapcsolt állapotban van – ekkor csak a torziós szál nyomatéka hat az elemre, ez a nyugalmi érték (általában szintén két oszcilláció-szélsőérték átlagaként) lesz n_0. Ezeket az adatokat behelyettesítve az egyenletből egyértelműen meghatározható az északi irány.

A módszer hátránya, hogy szükségesek hozzá előismeretek, így a torziós szál rugóállandója (MOM GiB sorozatú eszközökben megközelítőleg 2,5e-5), valamint a giroszkóp perdülete és a pontos földrajzi szélesség.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a módszer nem ad lényegesen pontosabb eredményt, mint csupán a szélsőértékek megfigyelésével a fordulópont módszer használata, emiatt általában csak a torziós felfüggesztés nullpontjának meghatározására volt szokás használata.

Áthaladás módszere (passing / transit method)

Az amplitúdó módszer továbbfejlesztett változata, amely már tényleges mérési előnyökkel jár.

A módszer lényege a teodolit egység az oszcilláció egy belső pontjában rögzítése, majd az elforduló giroszkóp skálájának a fix ponton áthaladásának megfigyelése, majd az oszcilláció részidejeiből következtetés.

A mérés a giroszkóp egység elengedésével, szabadlengésének indulásával kezdődik. Ezután a teodolit egységgel a feltételezett északi irányhoz minél közelebb szükséges fordulni. A teodolit egység innentől mozdulatlan marad.
A mérés igényel egy minél pontosabb, részidő mérésére alkalmas stopperórát. A kezelő várja a fix heyzetű eszköz okkulárján figyelve a másik – elforduló skála (vagy egyéb jelző más eszközökön) áthaladását az álló skála felett. Mikor a két skála pont szinkronba kerül, a stopperóra indítandó. Az elforduló egység ezután kilendül, szélsőértékénél visszafordul és újra áthalad az álló egység skáláján. Itt ismét szinkron helyzetben a stopperórán egy részeredmény rögzítendő, ez lesz az egyik fél oszcilláció ideje. Ugyan ezt a folyamatot szükséges megismételni a másik irányú kitérésre. A pontosság növelhető további áthaladásokhoz tartozó részidők meghatározásával.

A mérés eredménye legalább két időérték. Ha ezek megegyeznek, akkor a teodolit egység pontosan észak fele néz. Ha nem, akkor a lemért időkből végezhetők a további számítások.

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

A különbség a két irányú kilendülés részidejei közt. Ez arányos a $\Delta\alpha$ északi iránytól vett szögeltéréssel. A számításokhoz szükséges még egy periódusban a kitérések amplitudójának (a) meghatározása, ideális esetben, valódi északhoz kellően közeli indulási pontot feltételezve ehhez nincs szükség követésre sem. Az amplitudó érték a két irányú kilendülés összegének feleként jelen számításokhoz kellő pontossággal meghatározható.

Szükséges még egy korrekció bevezetése, amely a torziós szál csavarodásából adódó nyomatékot hivatott kompenzálni. Ez ϑ szögértékként fejezhető ki az igazi észak (N) körül. Az itt most nem részletezett, hivatkozott levezetések (Jones, 1977) után felírható egyenletek:

$$\Delta\alpha = \frac{a}{T_D} \cdot \Delta t \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$\vartheta = \frac{M_B}{M_E} \cdot \Delta\alpha$$

Ahol M_E a föld forgásából adódó, M_B pedig a torziós szál csavarodásából származó forgatónyomaték. Ezek aránya praktikusan meghatározható a lengésidők összehasonlításaképp – ha a lengést folyamatosan követjük, M_B hatása lényegében elhanyagolható, az így mért lengésidő T_U, míg a fix állású teodolittal mért lengésidő T_D. A levezetés végén az alábbi végső egyenlet adódik:

$$N = N' + \Delta N = N' + a \cdot \Delta t \cdot \frac{\pi}{2} - \frac{T_U^2}{T_D^3}$$

Érdekesség, hogy a földrajzi szélesség növekedésével $\frac{M_B}{M_E}$ arány folyamatosan növekszik. Néhány érték táblázatos összefoglalása megtalálható a GAKI gyro kiegészítő bemutatójában. Megfigyelhető, hogy nagyjából 75° szélességen az arány már közelíti 1-et, emiatt ez a giro egység hatékony alkalmazhatóságának földrajzi határa.

Módszerek összehasonlítása

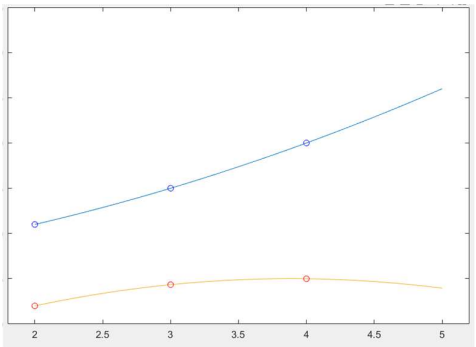
Torochkov könyve tartalmaz egy kellően részletes összehasonlító táblázatot a különböző mérési módszerek mérésidejeiről és pontosságáról.

Orientation	Method of orientation	Model Gi-B1 gyrotheodolite		Model Gi-C1 gyroscope attachment	
		Mean error	Observation time (in min)	Mean error	Observation time (in min)
Preliminary	By known period	50"	8	3'	4
	By two reversing points . .	50"	11	2'	7
Precise	By four reversing points .	20"	20	25"	14
	By three reversing points .	23"	15	25"	11
	By three reversing points with marking of symmetric check points	23"	15	—	—
	By two reversing points with marking of symmetric check points	25"	10	—	—
	Amplitude method with observation of four reversing points	20"	20	25"	12
	Passing method with measurement of four time intervals	20"	20	25"	12
	Passing method with measurement of two intervals and marking of supplementary intervals by symmetric marks of the scale .	25"	14	—	—

A legfontosabb megállapítások ezek és a műszaki gyakorlatról szóló beszámolók alapján:

- A legpontosabb mérés az áthaladás, az amplitúdó és a fordulópont módszerekkel is elérhető, megközelítőleg azonos mérési időigénnyel
- Az ismert periódusidő módszerével érhető el a legrövidebb mérési idő
- A fordulópont módszerben új mérési pontok felvétele a mérési időt megközelítőleg lineárisan növeli, a mérési pontosságot ellenben csökkenő ütemben javítja.

Ebből levonható néhány következtetés. A fordulópont módszer mérési idejét (kék görbe) és pontosságát (piros görbe) grafikonon ábrázolva a műszaki tapasztalattal egybevágó következtetésekre jutunk, a mérési pontok ideális száma a maximális pontosság eléréséhez 4, a görbének ekkor maximuma van.



7. ábra – a fordulópont módszer idő és pontosság adatai

Az irodalom által javasolt technika a leggyorsabb, ismert periódusidőn alapuló módszerrel, vagy két fordulópont keresésével gyors fordulópont módszerrel előzetes mérést végezni, és ezzel egy feltételezett északi irányt megállapítani, ahonnan a pontosabb, végleges mérés indítható. Ez a pontosabb kezdeti helyzetet igénylő módszereknek előfeltétele is, de a fordulópont módszer követését és ezzel pontos végrehajtsát is nagyban megkönnyíti.

Összességében nem állapítható egy, leginkább alkalmasnak, „legjobbnak" ítélhető módszer. Mindegyik rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal, melyeket figyelembe kell venni a mérési módszer választáskor. A választáskor változó súlyú szempontok lehetnek a mérési idő, mérési pontosság, kezelő igénybevétele, emberi pontatlanság vagy hiba valószínűsége, előzetes információk rendelkezésre állása, segédeszközök jelenléte.

A valóság azt mutatja, hogy a módszerek bizonyos szintű kombinációja, így egy előzetes mérés ismert periódusidő vagy két fordulópont módszerekkel, majd egy precíz mérés, elsősorban 4 fordulópont módszerével a legelterjedtebb gyakorlat.

Hivatkozások

Dr. Antal, Á. (2022). Pörgettyűs teodolitok fejlesztése a Magyar Optikai Műveknél. *Historia Scientarum*. Forrás: https://ojs.emt.ro/hs/article/view/1126

Jones, T. P. (1977). *An intruduction to the Wild GAK-1 gyro attachment.* The Ontario Land Surveyor. Forrás: https://www.krcmar.ca/resource-articles/1977_Fall_An%20Introduction%20to%20the%20Wild%20Gak_0.pdf

Schwendener, G. J. (1966). A North-Seeking gyro Attachment for the Theodolite. *Bulletin Géodésique*, 23-27, 29-33. Forrás: https://link.springer.com/article/10.1007/BF02527147

Torochkov, V. Y. (1972). *Gyrotheodolites.* ARMY FOREIGN SCIENCE AND TECHNOLOGY CENTER. Forrás: https://apps.dtic.mil/sti/html/tr/AD0741713/index.html