

# Pörgettyűs teodolitok fejlesztése a Magyar Optikai Műveknél

## Development of gyrotheodolites at the Hungarian Optical Works

Dr. ANTAL Ákos, PhD.

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Gépészmérnöki Kar,  
Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., tel.: +36 1 463 2412,  
e-mail: antal.akos@mogi.bme.hu, honlap: <https://mogi.bme.hu>

### Abstract

*The series production of various types of geodetic instruments using the gyroscopic principle, developed, and manufactured in Hungary, was carried out at the Hungarian Optical Works from the 1960s for almost three decades, but this activity can now be considered a closed chapter. Its history is an important chapter in the history of Hungarian industry. This process of enterprise-driven and highly successful innovation is particularly relevant today.*

### Kivonat

*A magyar fejlesztésű és gyártású, giroszkópikus elvet alkalmazó geodéziai műszerek különböző típusainak sorozatgyártása a Magyar Optikai Műveknél a múlt század hatvanas éveitől közel három évtizeden át folyt, de ez a tevékenység mára sajnos lezárt fejezetnek tekinthető, története azonban a magyarországi ipartörténet fontos fejezete. Ez a vállalati indíttatású és rendkívül sikeres innovációs – és napjainkban is sok tanulsággal szolgáló – folyamat mai szemmel különösen aktuális.*

**Kulcsszavak:** giroteodolit, műszertechnika, geodéziai távcső, Magyar Optikai Művek

### 1. Történelmi háttér

Az egyik legfontosabb előzmény Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868) francia fizikus 1852-ben elvégzett híres kísérlete, mely során egy kardántengelyes forgórészt egy földhöz rögzített tartóra függesztett fel egy vékony fonal segítségével; a forgórész tengelye vízszintes síkban maradt. A cél a Föld forgásának bizonyítása volt. A kísérlet kudarcra végződött, ugyanis a forgórész szögsebességének fenntartása – az akkori eszközökkel – nem volt biztosítható. Az azonban bebizonyosodott, miszerint a precesszióból eredő nyomaték hatására a forgórész forgástengelye az északi irányba fordul. Ez a rendkívül fontos kísérleti eredmény nyitotta meg az utat egy megbízható, precíz és nem mágneses alapú észak-kereső műszer születése előtt, mely iránt az igény a navigáció és később a geodézia területéről is egyre intenzívebben jelentkezett. Magát a giroszkóp elnevezést is Foucault alkotta meg a görög gyro és scope, azaz a kör és forgás szavakból. [21]

Foucault kísérlete a giroszkópot elméleti és kísérleti kutatások fontos témájává tette, e területeken Arthur Cayley (1821–1895), Lord Kelvin (1824–1907), illetve Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1868–1951) tett fontos megállapításokat. A gyakorlatban is működő műszerre egészen 1908-ig kellett várni, használható giroszkópokat a németországi Hermann Franz Joseph Hubertus Maria Anschütz-Kaempfe (1872–1931), majd az amerikai Elmer Ambrose Sperry (1860–1930) épített. Ezeket a pörgettyűs tájolókat hajók navigálására tervezték, de számos problémával küszködtek, például túlságosan érzékenyek voltak a hajó dőlésére. A tengeri használatra alkalmas és minden igényt kielégítő berendezés az 1922-ben készített úszó gömbgiroszkóp volt. [33]

Ezzel párhuzamosan egyre növekvő számban készültek tanulmányok, kísérletek és fejlesztések a giroszkópok bányá- és alagútmérésekhez való felhasználására. Ezeknek az erőfeszítéseknek elsődleges támogatói és szorgalmazói a németországi bányamérési hatóságok voltak. Az első kísérleti berendezést Maximilian Joseph Johannes Eduard Schuler (1882–1972) 1921-ben építette, és szénbányákban tesztelték, így a csillagászati észak irányú giroelven történő geodéziai célú meghatározásának gyakorlati megvalósítás az ő nevéhez fűződik. [34]

A lengések megfigyelését teodolittal végezte a lengőrészen elhelyezett tükör segítségével. Az akkori mérési eredmények kapcsán Schuler azt tapasztalta, hogy a csillagászati módszerrel és a giroteodolittal mért északi irány néhányszor tíz szögmásodperc pontossággal egybeesik.

1926-ban az Anschütz és a Breithaupt vállalatok közösen építettek ilyen célokra továbbfejlesztett giroszkópot, illetve 1936-ban szintén az Anschütz mutatott be egy harmadik generációs műszert, azonban ezek – a nem kielégítő pontosságuk, nagy tömegük és a megfigyelési eljárások bonyolultsága miatt – prototípus szinten maradtak. 1948-ban a Clausthali Bányászati Egyetemen Otto Rellensmann (1895–1970) folytatta tovább a korábban megkezdett munkát. Ennek folyományaként jelent meg 1960-ban a Fennel Kassel cég KT1 giroteodolitja. Az ezt követező időszakot a folyamatos fejlődés és a geodéziai műszerek meghatározó gyártói részéről – Wild, Sokkia, MOM – újabb és újabb típusok piaci megjelenése jellemzi. Alapvetően kétféle műszertípus terjedt el, a giroszkópos műszerek és a giroszkópos tartozékok. [2]

## 2. A működés

Helymeghatározási feladatoknál az azimut értékének meghatározásához ismerni kell az állásponton áthaladó csillagászati északi irányt. Ezért az északi irány ismeretének mind a Föld felszínén, mind a földalatti létesítményekben egyaránt nagy jelentősége van. A polgári igények elsősorban a felszíni geodéziai, illetve a földalatti létesítmények, mint amilyenek a bányák, alagutak felmérésénél merülnek fel. Az északi irány nagy pontosságú meghatározására jelenleg két alapvető lehetőség van: csillagászati módszerrel az égitestek helyzetének a pontos idő függvényében mért, asztronómiai táblázatok segítségével kiértékelt adatai alapján, vagy a giroelv segítségével, a tehetetlenség, valamint a Föld forgása kölcsönhatásának felhasználásával. Az északi irány nagy pontosságú meghatározására szolgáló, a giroelvet alkalmazó műszerek a giroteodolitok.

A Földrajzi Északi-sark, az a hely, ahol a Föld forgástengelye a felszínnel találkozik az északi félgömbön. A giroteodolitok az e felé mutató csillagászati északi irány meghatározására szolgáló műszerek, melyet a fizikai pörgettyűelv alapján határoznak meg. Felépítésüket tekintve két részből állnak: a pörgettyűből, mely az északi irány meghatározására szolgál, illetve a teodolítból, mely segítségével az iránymérés végezhető.

A gyakorlati alkalmazásokban asztatikus, erőmentes nagy sebességgel forgó merev testű pörgettyűket használnak, amelyek körszimmetrikus tömegeloszlásúak, forgástengelyük átmegy a súlyponton, egybeesik a tömegszimmetria tengellyel, illetve csapágyazásuk szinte súrlódásmentesnek tekinthető. A giroteodolitokban alkalmazott pörgettyű szerkezeti kialakításánál arra törekednek, hogy impulzus momentuma a lehető legnagyobb legyen. A pörgettyű forgástengelyének helyzete addig nem változik, amíg tengelyére külső erő nem hat. Külső forgatónyomaték hatására a pörgettyű tengelye kimozdul eredeti helyzetéből úgy, hogy az elmozdulás iránya megegyezik a forgatónyomaték irányával, azaz merőleges a forgatónyomatékot létrehozó erő irányára, ez az elmozdulás a precesszió. Az úgynevezett deklinációs pörgettyű saját tengely körüli forgásán kívül csak vízszintes síkban tud elfordulni.

A Magyar Optikai Művek által fejlesztett és gyártott pörgettyűs műszerek vonatkozásában a szakirodalomban megjelenő kifejezések között jelentőséggel bír a giroszkópos, mely olyan iránytű, amely a girohatás segítségével működik, független a Föld mágnesességétől, a meteorológiai körülményektől, a kiindulási geodéziai hálózat rendelkezésre állásától és állapotától, automatikusan igazodik az égi meridiánhoz. A giroteodolit lényegében egy giroszkóppal ellátott teodolit, lehet csatlakoztatott vagy beépített, segítségével a valódi azimutális referenciát lehet megállapítani, bármilyen időszakban, csillagászati tájékozási pontok nélkül működtethető. [37]

Tehát a giroteodolitokat és a giroszkópos tájolókat is giroszkópos tájolóval az azimutok meghatározására használják. A precessziós mozgást végző elem egyensúlyi helyzetének beazonosításával határozható meg a meridián iránya, és a leolvasás a giroteodolit távcsövének egy tájékozási pontra való irányításával teszi lehetővé a tájékozási pont azimutjának meghatározását. [35]

Ha egy, a Földhöz rögzített tartóra függesztett, vízszintes síkban maradó forgástengelyű giroszkópra a Föld forgásából adódó nyomaték hat, amire a forgórész a Föld sebességvektorának irányába irányuló szögmozgással – precesszióval – válaszol. A rendszer tehetetlensége megakadályozza, hogy a forgástengely elfordulása megálljon, hanem a rendszer belső súrlódása miatt egy csillapodó lengőmozgás alakul ki. A giroteodolittal végzett – az északi irány meghatározására irányuló – mérések során e mozgás lefolyásának a detektálása és értékelése folyik.

A giroteodolitok alapvetően két fő részből állnak, egyrészt a teodolit részből, amely iránymérésre szolgál, illetve a pörgettyű részből, amely az északi irány kitűzésére szolgál. A berendezés teodolit része megegyezik egy általános teodolittal, ehhez közvetlenül kapcsolódik a pörgettyűs rész. Ez lehet egybe épített, amikor a pörgettyű a teodolit alatt helyezkedik el, és lehet rátét pörgettyű, amikor a teodolit és a pörgettyű külön részt alkotnak, de összekapcsolhatóak. A giroteodolit pörgettyű részének legfontosabb eleme a – vákuummal, vagy héliummal töltött motorházú – nagy fordulatszámú és nagy tehetetlenségű golyóscsapágyas pörgettyűmotor. A motorházat a súlypontja felett egy lapos, téglalap keresztmetszetű – speciális tulajdonságokkal rendelkező anyagból készült és a motor tengelyének vízszintes síkban való elfordulását biztosító –, torziós tartószállra függesztik fel. [31]

### 3. Giroteodolit fejlesztések a Magyar Optikai Műveknél

Előzmény, hogy 1960 végen a Magyar Optikai Művek vezetését szovjet katonai szakértők keresték meg korábbi, külföldi gyártmányú giroteodolit mintájára egy korszerűbb műszer fejlesztésének és gyártásának igényével. A műszer magyarországi fejlesztésének kiindulásául a szovjet MG, valamint MV1 műszerek kísérleteinek és vizsgálatainak gazdag tapasztalatain nyugvó alapkövetelmények szolgáltak. [17]



1. ábra

*Puszta Ferenc a Magyar Optikai Művek Kossuth-díjas műszertervezője*  
(Felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)

A giroteodolitokkal kapcsolatos kutatások a Szovjetunióban az 1930-as években kezdődtek érdemi eredményeket 1936-tól a Leningrádi Finommechanikai Intézet (LITMO) tudott felmutatni, ahol külön kutatócsoportot hoztak létre a navigációs műszerek fejlesztésére. Sajnos, a kifejlesztett giroszkópikus műszerek prototípusai nem bizonyultak alkalmasnak a geodéziai és a bányászati mérések elvégzésére. [14] A második világháború után a megszakított fejlesztések folytatásaként, az összes ilyen jellegű munka a Bányászati, Geomechanikai és Földmérési Kutatóintézetben (VNIMI) összpontosult. [7] Az erőfeszítéseket 1950-es évekre végre siker koronázta, megjelent az első szovjet bányamérő girotájéoló, az M-1. Ez, illetve az ezzel párhuzamosan Németországban készült műszerek tekinthetők az első geodéziai alkalmazású giroszkópoknak, ezek jelentették a giroszkópos tájékozódási módszer gyakorlati alkalmazásának kezdetét a geodéziában és a bányamérésben. Ez nemcsak elméletben, hanem a gyakorlatban is nagy áttörést jelentett. Az M-1 sikerének bizonyítéka volt, hogy segítségével több mint ötven aknát mértek fel a Szovjetunióban. Ezzel lezárult a giroszkópos műszerek fejlesztésének első szakasza. És bár számos hátrányuk volt – nehézkes kezelés, magas energiaköltségek, jelentős tömeg, mely egyes műszereknél elérte az 500–600 kilogrammot –, de végül bizonyították a módszer létjogosultságát a megbízható geodéziai és bányászati mérések terén. A giroszkópos mérések új korszakát jelentette, amikor 1956-ban a Szovjetunióban megjelent egy új típusú, MG jelű műszer, amelynek tömege mindössze 10 kg volt. Ez a műszer szolgált alapul a modern, kisméretű giroszkópos készülékek kifejlesztéséhez, vele a köztes célt – egy kisméretű, könnyen hordozható eszköz kifejlesztését, mely a mérések elvégzését rendkívüli körülmények között is lehetővé teszi – sikerült elérni. 1957-ben fejeződtek be – az MV1 jelű – robbanásbiztos kivitelű bányászati célú girotájéoló készülék első modelljének tervezési munkálatai. Németországban, a Szovjetunióval ellentétben, ebben az időszakban már a torziós felfüggesztésű giroszkópikus műszerek fejlesztésén dolgoztak. Ez a konstrukció bizonyult később a nyerő változatnak, mivel alacsony tömeg, méretek és energiaköltségek

mellett biztosította az azimutmérés nagy pontosságát és gyorsaságát. Körülbelül itt tartottak a giroteodolit fejlesztések a Szovjetunióban és Németországban, amikor a Magyar Optikai Művek is bekapcsolódott a fejlesztés folyamatába.

A megbízás elvállalásával a vállalat műszaki-gazdasági vezetése a témaválasztásban kiváló problémafelismerő készségről, a vezető, tervező és a konstruktóri gárda kiemelkedő színvonalú alkotókészségről tett tanúbizonyságot, melynek eredményeként, minden előzmény nélkül, a gyár szinte egyik napról a másikra a giroteodolitok fejlesztése és gyártása területén a világ élvonalába került. [17] [20] Ezt mi sem bizonyítja jobban, mint hogy a giroteodolitokról szóló egyik legismertebb szakkönyvben a szerző a giroteodolit-fejlesztések és -alkalmazások terén világviszonylatban is legnagyobbak között említi Pusztai Ferencet és Halmos Ferencet. [32]

Pusztai Ferenc a Magyar Optikai Művek Kossuth-díjas műszertervezője 1923. november 25-én született Pestszenterzsébeten. Budapesten érettségizett 1942-ben, egyetemi tanulmányait 1942-től 1944-ig Budapesten végezte, mérnöki oklevelet 1946-ban Drezdában szerzett. 1946-tól 1949-ig Budapesten a Csillagvizsgáló Intézet optikai műszereinek karbantartásával foglalkozott. 1954-től a Budapesti Geodéziai és Térképészeti Vállalat laboratóriumát vezette. 1957-ben került a Magyar Optikai Művek szerkesztési osztályára. Kezdetben a Te-D1 és az Ni-B1 geodéziai műszerek fejlesztésével foglalkozott, majd 1960-tól a giroteodolitok vezető tervezőjeként irányította a konstrukciós munkát egészen nyugállományba vonulásáig. E területen szerzett eredményei és sikerei elismeréseként kapott 1963-ban Kossuth-díjat, 1978-ban Akadémiai díjat. Budapesten hunyt el 1999. június 6-án. [30]

Míg Pusztai Ferenc elsősorban a giroteodolitok tervezésének, illetve gyártástechnológiájának kialakítása, Halmos Ferenc e műszerek alkalmazásának és mérés technikai vonatkozásai elméleti kérdései kidolgozása területén elért eredményei révén szerzett Magyarországon és külföldön elismerést.



2. ábra

*Halmos Ferenc*

(A felvételt Halmos Ferenc családja bocsátotta rendelkezésre.)

Halmos Ferenc földmérő mérnök, geodéta a Baranya megyei Hásságy községben született 1931. szeptember 5-én. [27] Középiskolai tanulmányait Pécsen végezte, a Nagy Lajos Gimnáziumban érettségizett 1949-ben. Egyetemi tanulmányait a Földmérőmérnöki Karon Sopronban végezte, tanulmányai mellett demonstrátori feladatokat is ellátott. 1953-ban szerzett oklevelet, 1954-ig egyetemi tanársegéd volt a Műszaki Egyetemi Karok Geodéziai és Bányaméréstani Tanszékén Sopronban. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete jogelődjéhez került 1954-ben. Itt volt 1968-ig tudományos munkatárs, 1968-tól 1974-ig tudományos főmunkatárs, 1974-től 1980-ig tudományos tanácsadó. 1972-től 1977-ig az intézet tudományos osztályvezetője, majd 1977-től 1980-ig tudományos igazgatóhelyettese. 1959-től 1963-ig a Magyar Tudományos Akadémia Tudományos Minősítő Bizottságának volt önálló aspiránsa. 1963-ban az addigi eredményeit összefoglaló értekezésével elnyerte a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot. [10] 1964-től 1965-ig a Szovjetunióban, 1969-ben pedig a Német Szövetségi Köztársaságban volt ösztöndíjas vendégkutató. Folyamatos oktatói munkája mellett főbb

kutatási területei voltak a kiegyenlítő számítások geodéziai alkalmazásai, a vetülettan, a geodéziai műszerek és azok alkalmazásának vizsgálatai, a geodéziai és szatellita-geodéziai matematikai modellek előállításai, illetve a giroteodolitok vizsgálatai. Ez utóbbi témában írt disszertációjával 1973-ban műszaki tudományok doktora fokozatot szerzett. [11]

Kiterjedt tudományos munkásságát mintegy kettőszáz megjelent tanulmánya, számos magyarországi és külföldi konferencián megtartott előadása bizonyítja. A magyar és a nemzetközi geodéziai tudományos élet lelkes és aktív közreműködője volt. 1973-tól az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának volt a titkára, 1971-től 1980-ig a Nemzetközi Földmérő Szövetség (FIG) Giroteodolitok és Alkalmazásuk Bizottságának titkára, 1976-tól ugyanezen szervezet vezetője, 1979-től a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (IAG) IV. szekciójának titkára volt. Tudományos és oktatói tevékenysége elismeréseként 1979-ben címzetes egyetemi tanárrá nevezték ki. A Geodéziai és Kartográfiai Egyesület alapító tagja volt. Akadémiai Díjat 1965-ben kapott. Sopronban élt és tevékenykedett. 1980. október 21-én rövid ideig tartó súlyos betegség után hunyt el, temetése 1980. október 28-án volt, Sopronban a Szent Mihály-temetőben helyezték örök nyugalomra.

A Magyar Optikai Műveknél a hatvanas évek elején elindult egy – a vállalat vezetésének kiemelt támogatását élvező – intenzív fejlesztőmunka, mely eredményeként a Gi-B1 mintaműszer 1962 elején elkészült. Az elméleti tervezést végző és a konstrukciós munkát irányító Pusztai Ferenc kiváló csapatot állított össze. Mellette dolgozott szerkesztőként Hollai Kornél, optikai tervezőként Lisziewicz Antal és elektronikai tervezőként Gesztelyi Endre. A működés szempontjából kifogástalan minőségben készült torziós szálak előállításának technológiájának kidolgozása a nagy tapasztalatú tervezőre, Gallai Gyulára hárult. [6]



3. ábra

*Gallai Gyula*

(Az 1968-ban készült felvételt Kisfalusi Gábor bocsátotta rendelkezésre.)

A prototípus után a műszer nullszériája 1963-ban készült el. Később a műszercsaládot a gyártási és felhasználási tapasztalatok figyelembevételével alakították, a berendezés szerkezeti kialakítása is változott, de az elv változatlan maradt. A fejlesztés eredményei több szabadalmi bejelentésben kaptak iparjogi védelmet. [22] [23] [25]

A műszer egyik legfontosabb része a giroegység, mely giromotorháza foglalja magába a lengéskeltő nyomtatékat létrehozó giromotort, ami a torziós tartószalagon függ. A tartószalag felső befogója kívülről kismértékben állítható és kapcsolatban van a követésre szolgáló kollimátor egységgel. A kapcsolat frikciós, mely azonban a lengés ideje alatt állandó. Ekkor a lengőrész tükrének normálisa, a torziós szalag felső befogója és a követésre szolgáló kollimátor relatív helyzete változatlan. A frikciós kapcsolattal lehetséges a nullpontnak a tartószalag deformációjától függően mindig közel nulla értékűre történő beállítása. A keresett irány az egyensúlyi állapot körüli lengések amplitúdóiból számítható.

A Magyar Optikai Művek által gyártott giroteodolitok első típusa a Gi-B1 típusjelzést kapta, melynél csak egy tükör volt a lengőrész felső részén. A torziós szál a teodolit állótengelye körül elforgatható részhez volt rögzítve. A teodolitba épített, és a tükörrre néző autokollimátor segítségével lehetett a lengést a teodolit vízszintes parányicsavarjának kézi állításával követni. A fordulópontokhoz tartozó szögértékek a teodolit vízszintes körén voltak leolvashatók. Ezzel a viszonylag fásasztó megoldással lehetett a lengőrész elfordulásakor a szál torziós nyomatékának zavaró hatását minimálisra csökkenteni.

A műszer három fő részből állt, az iránymérésre szolgáló teodolitból, iránymutatásra szolgáló pörgettyűből és a műszert kiszolgáló elektromos egységekből. A teodolit lényegében kisebb szerkezeti kiegészítésekkel és eltérésekkel megegyezett a Bors Károly által tervezett és nagy sorozatban gyártott másodpercteodollal. [3] [17] A vízszintes irányítócsavar végtelenített volt, a műszer el volt látva az osztott körök mesterséges fényvel történő megvilágítását biztosító eszközzel és optikai rendszerrel. A teodolithoz közvetlenül kapcsolódott a pörgettyű. A pörgettyű legfontosabb eleme a nagy fordulatszámú nagy tehetetlenségű és ingadozásmentes járást biztosító golyócsapágyas tengelyű pörgettyűmotor volt, mely egy légüres terű motorházban helyezkedett el. A motorházat a súlypontja felett egy lapos, téglalap keresztmetszetű tartószálra, az úgynevezett torziós szálra függesztették fel. Ez biztosította a motor tengelyének vízszintes síkban való elfordulását úgy, hogy a műszer súlyának hordozása mellett áramvezetőként is szolgált. Egyes szakirodalmak ezt a kialakítást két és fél szabadságfokú pörgettyűnek nevezik.



4. ábra

*A Gi-B1 műszer*

(A felvételt dr. Kalló Péter bocsátotta rendelkezésre)

A GI-B1 sikere bizonyította a konstrukció alkalmasságát a mérési feladat ellátására, emellett gyártása technológiailag is jól kézben tartható volt, amit a nagysorozatú gyártás is igazolt. Az eszköz és a későbbi változatok is tartalmaztak egy giroegységet, egy szögmérésre alkalmas részt, egy teodolitot, illetve egy áramforrást. Az érzékelő egység központi eleme egy giromotor volt, a műszer függőleges tengelyéhez viszonyított felfüggesztő és központosító rendszerrel, áramellátással és arretálással. Az áramellátó rendszer nyomatékmentes elektromos energiaátvitelt biztosított az érzékelő egység giromotorja részére úgy, hogy egy rögzítő rendszer a mérés befejezése után az érzékelőt szilárdan csatlakoztatta a giroegység burkolatához.

A felsorolt egységeken kívül a giroteodolithoz tartozott egy speciálisan erre a célra tervezett állvány, csatlakozókábelek és egyéb különböző tartozékok. A Gi-B1 kialakítása alapján a torziós felfüggesztésű érzékelő elemmel ellátott kézi nyomkövető rendszerrel rendelkező giroteodolitok csoportjába sorolható. A giromotor háromfázisú áramellátása két spirális szalagvezetéken és a torziós szálon keresztül történt. A vékony ezüstszalagokból készült spirálok belső végei az áramvezető blokkban vannak rögzítve, amely mereven az emelőlapra volt szerelve. A blokkspirálok külső végei az érzékelőn futó vezetőkhoz voltak forrasztva. Ezek a vezetékek speciális hermetikus vezetékek voltak, rajtuk keresztül két fázisú áramot továbbítottak a giroszkópmotorhoz. A harmadik fázis egy torziós hevederrel kapcsolódott a giroszkópos kamera tömegéhez. Ennek megfelelően a giroszkópmotor két állórész-tekerésének vezetékait a giroszkóp-vezetékek érintkezőihez forrasztották, a harmadik fázisú tekercs vezetékét pedig rövidre zárták a giroszkóp-elem tömegével. Az érzékelő elem lapos tükre és az autokollimátor segítségével történt az érzékelő elem mozgásának követése úgy, hogy az autokollimátor okulárján keresztül annak szálkeresztjével egy speciális skálának az érzékelő elem tükréről visszavert képét kellett figyelni.

A torziós szál és az áramvezetékek csavarodásának megakadályozása céljából az érzékelő elem azimutális oszcillációi során a kezelő az autokollimációs mintát figyelve a giroszkóp házát egy csigahajtású reduktorral tudta elforgatni a precessziós mozgás átfordulásának pillanatában, azaz az érzékelő elem azimutális mozgása irányváltásakor a megfigyelő a szögmérő optikai mikrométerének kiegészítő okulárjának felhasználásával leolvasást tudott végezni a giroteodolit vázához mereven rögzített vízszintes körön. A megfigyelések eredményeinek feldolgozása során az irányváltás helyzeteinek leolvasásából számítható volt az érzékelő elem precessziós rezgései dinamikus egyensúlyi helyzetének leolvasási pozíciója. Külön szerkezet biztosította, hogy arretált állapotban is terhelés alatt maradt a torziós szál, ami megővta a szalagot a szállítás közbeni deformálódástól, és megőrizte rugalmasságát. [35] [7]

A Gi-B1 műszer mintapéldányán a katonai előírások szerinti vizsgálatra a Szovjetunióban került sor 1962 elején Pusztai Ferenc részvétele mellett. A vizsgálatok eredményei kedvezőek voltak, csupán kisebb módosításokat kellett eszközölni, így az 1963-ban elkészült nullszériát a későbbiek során több száz kifogástalan minőségű műszer követte. [15]

A sikereken felbuzdulva később egy egész műszercsaládot alakítottak ki. A tervezők a következő és továbbfejlesztett műszernél az automatikus követéssel rendelkező giroteodolitok területét célozták meg, ezek olyan giroszkópos iránymérő eszközök, amelyekben a torziós szál lengéseit egy speciális követőrendszer követi. A Magyar Optikai Művek első ilyen típusú giroteodolitja volt a Gi-B2 és annak módosítása, a Gi-B2M. A Gi-B2-nél – a lengés fordulópontjainak változatlan módon történő leolvasása mellett – a lengést követő szálbefogás elforgatást egy, a lengőrész középtáján elhelyezett alsó tükörrel és egy autokollimátoros szervorendszerrel tették automatikussá.

A girokamera hermetikusan zárt volt, körülbelül 1-2 Hgmm vákuummal. A GMA-4P típusú háromfázisú aszinkron giromotor mereven rögzített volt, így a forgástengely közelítőleg vízszintes helyzetet vett fel. Az érzékelő elem a torziós szála



5. ábra  
*A Gi-B2 jelű műszer*  
(A felvételt dr. Kalló Péter  
bocsátotta rendelkezésre.)



illesztve volt felfüggesztve, amelynek felső vége az emelőlemezhöz, az alsó vége pedig a giroszkóphoz volt rögzítve. A fotoelektromos érzékelő izzólámpájának fénye áthaladt egy maszkon, a prizmafelületekről visszaverődve áthaladt egy objektíven és a párhuzamos sugárköteg formájában érte el a tükröt, melyről visszaverődve ismét áthaladt az objektíven, a prizmákon és a maszkról képet alkotott a fotóellenállások felületén. A megvilágítástól függően a fotóellenállások ellenállásai változtak. Az elektromos nyomkövető rendszer nullpozíciója a követő elemnek a tükrökhöz viszonyított olyan helyzete, amelynél ugyanaz a fény mennyiség esik a fotóellenállásra. A nyomkövető rendszer elektromos nulla értéke a precessziós rezgések követése során a követőrendszer erősítésszabályozója kézikerekével volt beállítható. [36]

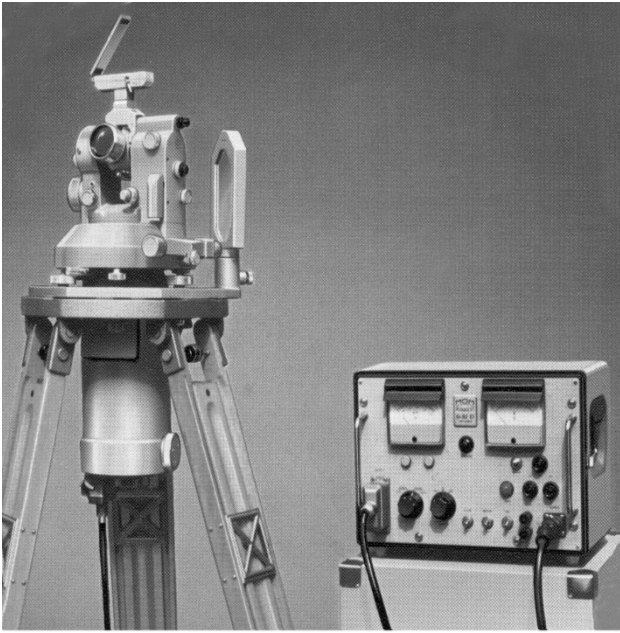
A Gi-B2M a Gi-B2 giroteodolithoz képest javított műszaki és működési jellemzőket eredményező apróbb módosításokat tartalmazott, használata, beállítása megegyezett a hasonló Gi-B2-vel. Ezek közül talán a legfontosabb, hogy a csillagászati azimut meghatározásának átlagos négyzetes hibája felére csökkent, illetve a precessziós oszcilláció időtartama is rövidült. Az új kialakítású giroblokk lehetővé tette a precessziós mozgás során az oszcillációs periódus csökkentését. A torziós szál keresztmetszetét csökkentették, ami kisebb szélességi együtthatót eredményezett, illetve alkalmaztak egy nullpont-kompensátort, amely lehetővé tette a nullpont elektromos kompenzálását. A giroszkópmotor harmadik fázisának kimenete el volt szigetelve a giroblokk testétől, ami kizárta a torzió melegeledését és csökkentette a készülék nullpontjának sodródását indításkor. Ez, a követőrendszer részét képező nullpont-kompensátor egy változó ellenállás volt, amely a fotoelektromos érzékelő egyik ágához csatlakozott, és a giroteodolit követőrendszere elektromos nullpontjának eltolásával a nullpont beállítását szolgálta. A kompenzátor gomb elforgatásával megváltoztatható volt a kompenzátor ellenállása, ami a fotoelektromos érzékelő kiegyensúlyozatlanságát eredményezte. Az ebből eredő kiegyensúlyozatlansági jelet felerősítették és a működtető motorra táplálták, amely a kiegyensúlyozatlansági szöggel elforgatta a követőháza, ami a torziós szál nullpontjának megváltoztatását okozta. [36]

A MOM Gi-B21 és a MOM-Tellurometer gyár közös gyártmányában, az 1971-ben megjelent GYMO Gi-B1A típusjelű műszerben a Pusztai–Besskó-féle automatizált átmeneti-idő-mérés módszerét alkalmazták. Az autokollimátor átlátszatlan szállemezeire vékony átlátszó csíkot helyeztek. A szállemezre az autokollimátor két fénycsíkot vetített, amelyek a pörgettyű lengése alatt áthaladtak a szállemez átlátszó csíkján és a meridiánon való áthaladás környezetében két felvillanást hoztak létre; ezek egy-egy villamos impulzust váltottak ki. A kvarcórával stabilizált impulzusszámlálóval összekötött fényérzékelővel az áthaladási idő századmásodperc pontossággal regisztrálható vagy digitális kijelzőn leolvasható volt. Amikor ezek az átlátszó csíkok fedésbe kerültek, fény jutott az érzékelőre és villamos jel jött létre, amely indította az órát, mely folyamatosan vagy szakaszosan mérte az átmeneti-idő-értékeket, amelyekből a nyugalmi helyzet számítható volt. [13] Ez a fejlesztés az első automatikus mérési módszer alkalmazását jelentette, mely mentesítette a kezelőt a tényleges megfigyelési és rögzítési eljárás elvégzése alól. Ez a megoldás jelentősen járult hozzá a nagyobb pontosság eléréséhez. A Gi-B23 giroteodolithban a szervomotorból álló automatikus követő rendszer két fototranzisztort tartalmazott. [8] [9]



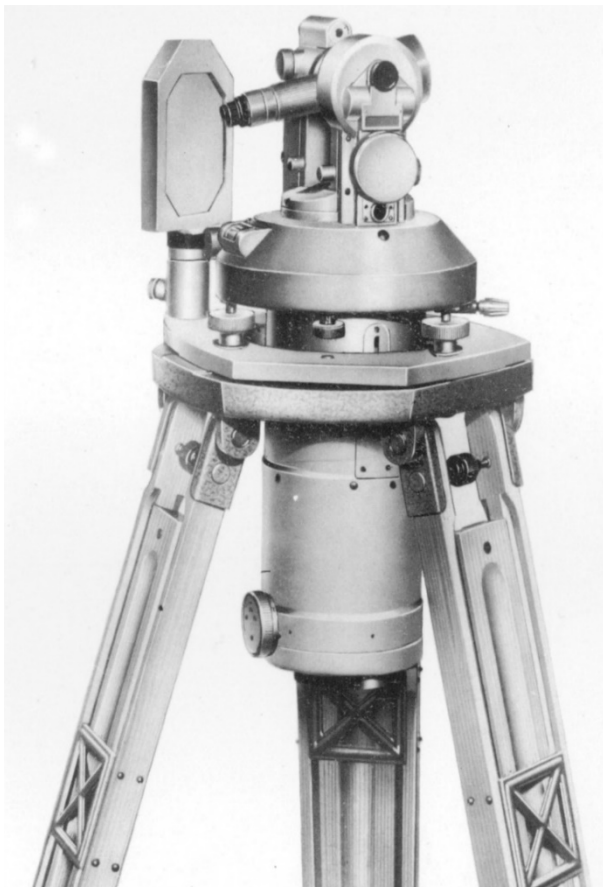
6. ábra  
A Gi-B2M jelű műszer  
(A felvételt dr. Kalló Péter  
bocsátotta rendelkezésre.)





7. ábra

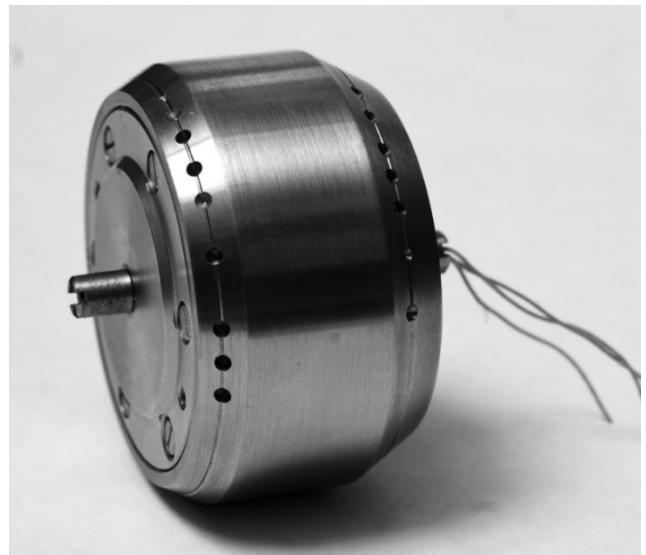
*A Gi-B23 jelű műszer és tápegysége*  
(A felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)



8. ábra

*A Gi-B3 jelű műszer és tápegysége*  
(A felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)

A Magyar Optikai Művek Gi-B3 jelű giroteodolitja illeszkedett a műszercsalád korábbi tagjai sorába, automatikus követésű, torziósszálás, teodolitja nem motorizált, leolvasóberendezései analóg rendszerűek voltak. A giroegység és a teodolit rész alapállapotban egymáshoz mechanikailag rögzített volt. A műszer teodolit része egy éjjeli mérésre is alkalmassá tett Te-B43 másodpercteodolit változat volt, a teodolit a giroegység északmeghatározáshoz kapcsolódó lengéseinek megfigyelésére szolgáló autokollimátorral és a felette elhelyezett segéd szögolvasó mikroszkóppal volt ellátva, távcsöve autokollimációs okulárral volt szerelt, vízszintes paránycsavarja kétoldalas végtelenített kivitelű volt. A giroegység torziósszálás lengőrésze és a teodolit közötti irányítvitel optikai úton, a felső lengőtükör és az autokollimátor segítségével, autokollimáció útján valósult meg. A lengések megfigyelése, a skála- és körleolvasás közvetlenül az autokollimátorral és közvetve a teodolittal történt. A giroegység fő szerkezeti része volt a torziós szálon felfüggesztett lengőrész a magas fordulatszámú giromotorral, a teodolit autokollimátora felé történő irányítvitelre szolgáló felső lengőtükörrel, illetve az automatikus követésre szolgáló alsó tükörrel. A követőautomatika a lengőrész felfüggesztési pontjának az északmeghatározó lengéssel azonos mértékű automatikus utánforgatását végezte. Az arretáló mechanizmus a lengőrész mérés előtti dezarretálását, illetve a szállítás, mozgatás, felpörgetés, fékezés során szükséges arretálását végezte. [13]



9. ábra

*A Gi-B sorozatú giroteodolitokban alkalmazott giromotor*  
(A szerző felvétele a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány gyűjteményében található darabról.)

Mivel az átfutási idők és fordulópontok megfigyelése fárasztó, időigényes és tapasztalt megfigyelőket igényelt, a Magyar Optikai Művek giroteodolit fejlesztői komoly erőfeszítéseket tettek a mérési eljárás automatizálására. A szögleolvasás és a mérési pontosság jelentős javításának eredményeként született Gi-B11 műszer pontossága már plusz-mínusz két-három szögmásodperc volt. Ezt a típust alkalmazták Svájcban a CERN építése során. Ez a berendezés két fotodiódával volt ellátva. A mozgó jel áthaladását ezeken a diódákon egy kvarcstabilizált impulzusszámláló automatikusan időzítette. Az eredmények egy kijelzőn voltak megjeleníthetők és rögzíthetők vagy közvetlenül voltak továbbíthatók a számítógépre. [5] [26]

A Gi-B11 minden korábbinál nagyobb pontossága és a rövidebb mérési idő az akkor csúcstechnikai modelnek számító HP-41C programozható kalkulátorral megvalósított direkt kapcsolatának is volt köszönhető. Ennek megvalósításában Farnady Pál, Szántó Tamás és Foki Józsefné szerzett elvülhetetlen érdemeket. [28] [29]



10. ábra

*A Gi-B11 giroteodolit egy HP-41C programozható kalkulátorral  
(A felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)*

A későbbi fejlesztések is elsősorban a mérési idő hosszának csökkentésére és a mérési pontosság fokozására irányultak. [24] A digitális elektronika a Gi-E1-ben kapott először szerepet. Ez a típus két párhuzamos tengelyű giromotort tartalmazott. Az elektronika tervezője Gesztelyi Endre és Szántó Tamás volt. A Gi-E1 típus automatikus követőrendszerrel, teodolit alatti giroegységgel és a pillanatnyi lengésamplitúdó számjegyes kijelzésének lehetőségével rendelkezett. Ezekből a típusokból évente sok száz, olykor ezernél is több készült alapvetően exportra. Sikeresen alkalmazták Magyar Optikai Művek gyártmányú giroteodolitot az Amerikai Egyesült Államokat és Kanadát összekötő vasúti alagútnál, vele a Sziklás-hegység alatt mintegy 40 kilométeres nyompályát tűztek ki. A Magyar Optikai Művek giroteodolitjait jellemző kiemelkedő mérési pontosság és viszonylag rövid mérési idő tette őket világelsővé, amíg fennállt a lehetőség a sorozatgyártásra. A giroteodolitok fejlesztése, gyártása és forgalmazása a vállalat létezésének szinte az utolsó időszakáig folyt, például a GT-12 típust még az 1990-es évek elején is jelentős mennyiségben szállították Dél-Afrikába. [4]

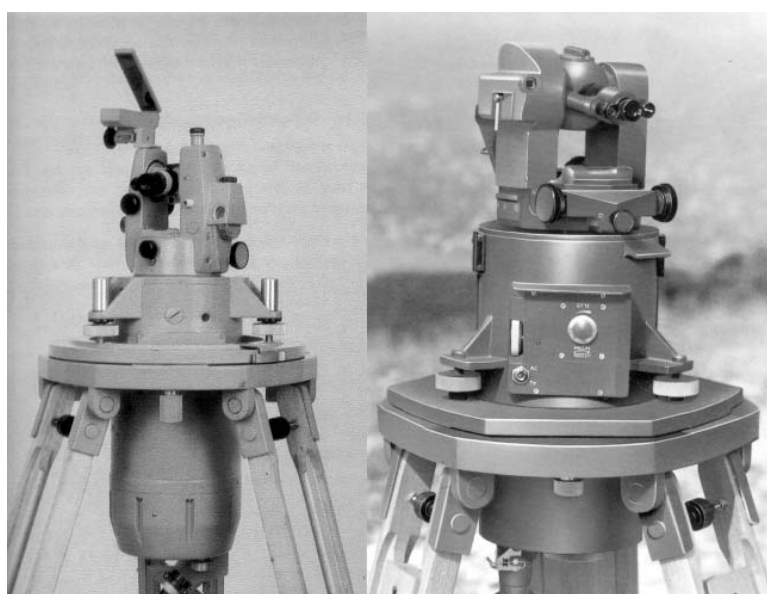


11. ábra

*A Gi-El giroteodolit*

(A felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)

A GT sorozat fejlesztésének alapját a korábbi műszerek képezték azzal, hogy már igen szélsőséges hőmérsékleti követelményeket kellett kielégíteniük és különleges rázás- és ütésálló kivitelűnek kellett lenniük. [15] A fejlesztések eredményeként a műszerek a távcső által megcélzott vízszintes szöveget, valamint a giroszkópikus lengés pillanatnyi szöghelyzetét elektronikusan határozták és digitálisan jelenítették meg. A giroszkópikus lengés szöghelyzetének ismeretében a mintavételi eljárás alkalmazásával az azimut meghatározását automatikusan tudták elvégezni, az alapvető paramétereket billentyűzetről kellett beírni. Az azimut értékeket a műszer vezérlő és kijelző egysége egy beépített mikroszámítógép segítségével számította ki, digitálisan jelenítette meg és tárolta. A mérés eredményeit egy RS 232 interfészen keresztül lehetett továbbítani egy külső számítógépbe. A mérés pontossága hét perces mérés esetén 20", tíz perces mérés esetén pedig 12" volt. A teodolit távcsövének nagyítása huszonegyszeres volt. [32] [1] [12]



12. ábra

*A GT-11 és a GT-12 giroteodolitok*

(A felvétel a Magyar Optikai Művek Emlékalapítvány archívumából.)

Érdekes adalék, hogy a Magyar Optikai Művek exportképes gyártmányok körének további szélesítése érdekében *Korszerű geodéziai távcső tervezése* címmel 1984-ben pályázatot hirdetett elsősorban a giroteodolit fejlesztések eredményeként születő egyre jobb paraméterekkel rendelkező szerkezeti kialakítások nyújtotta mérés-technikai lehetőségek optikai oldalról – különös tekintettel a teodolit rész egy jobb paraméterekkel rendelkező geodéziai távcsővel – történő megtámogatása céljával. A pályázatra Kalló Péter optikai és Zsebők János mechanikai tervező közösen nyújtott be két távcső tervet, a kiírásban szereplő paramétereknek megfelelően általános, illetve korszerű, drága üvegyanyagok felhasználásával. [18] Kalló Péter távcsövei objektívjeinek és okulárjainak tervezését és optimalizálását a Műegyetem Finommechanika-Optika Tanszékén fejlesztett, TPA-11-es számítógépen futó programcsalád felhasználásával végezte. [16] Kalló Péter a pályázatra benyújtott mindkét változat optikai rendszerének tervét ismertette a Műegyetemi Kiadó gondozásában megjelent, az optikai tervezés szakmai fogásait összefoglaló feladatgyűjteményében mintapélda formájában. [19] Pályamű érkezett továbbá Lisziewicz Antal optikai, illetve Kisfalusi Gábor mechanikai tervezőtől egyenesállású képet biztosító tört sugármenetű prizmarendszerrel ellátott távcsőre vonatkozóan. A tervek alapján legyártott mintapéldányokat Pusztai Ferenc értékelte, melyek a specifikációkat – kiváló képalkotási tulajdonságok és képminőség mellett – maradéktalanul teljesítették, azonban már gyártásba nem kerültek.

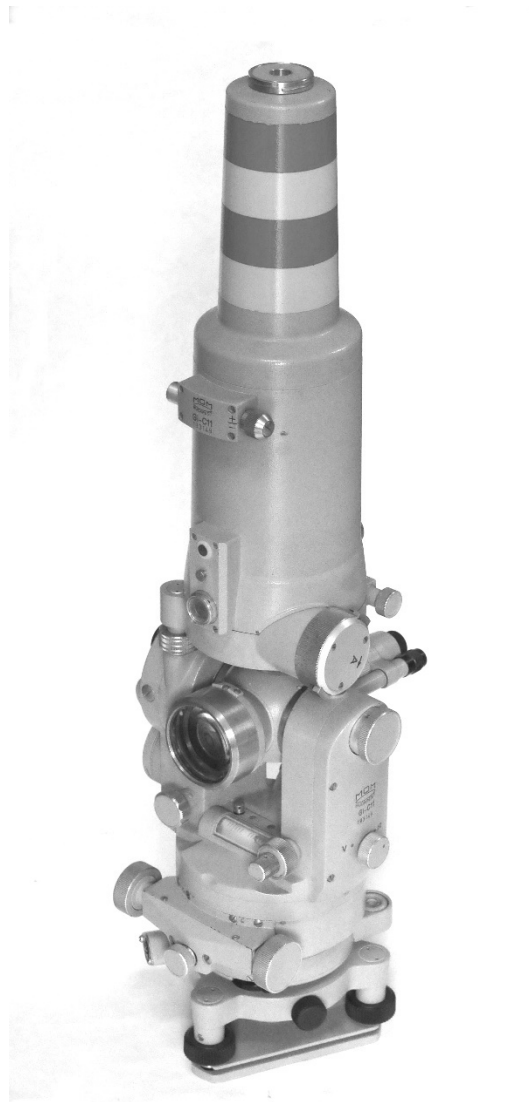


13. ábra

*A Korszerű geodéziai távcső tervezése című pályázatra érkezett távcsövek mintapéldányai. Bal oldalon a Kalló Péter és Zsebők János által általános, középen pedig különleges üvegyanyagokból, jobb oldalon pedig a Lisziewicz Antal és Kisfalusi Gábor által tervezett távcső mintapéldánya látható.*

(A szerző felvétele magántulajdonban lévő példányokról.)

A magyar Optikai Műveknél folyó giroteodolit fejlesztések másik csoportja a rátétgiroteodolitok voltak, melyek az alacsonyabb pontossági osztályú teodolitokat egészítették ki ráhelyezhető giroegységekkel. A sorozat első darabja a közepes pontosságú, kézi követésű, teodolit-távcsöves megfigyelésű Gi-C1 típusjelű, illetve a Gi-D1, az úgynevezett kis giroteodolit volt. Ezeket követte a Gi-C2, mely a Gi-C1 koincidenciás érzékelővel és normál szállemezzel ellátott változata volt. A következő darab a Gi-C3, a közepes pontosságú Gi-C11, illetve ennek egyenes állású távcsöves változata a Gi-C13 lett. Általános felépítésükre jellemző, hogy a könnyű és kis méretű giroegység munkapozícióban egy speciális csatlakozási pontokkal rendelkező, általános használatú teodolitra volt szerelve. A teljes műszer tartalmazta a giroegységet, a teodolitot, a tápegységet, az akkumulátort, a csatlakozókábeleket, az állványt és az egyéb kiegészítő elemeket. A giroegység háza tartalmazta az érzékelő elemet, érzékelő elem torziós szálú felfüggesztő rendszerét, a reteszelő mechanizmusokat, a nullpont szabályozót, az érzékelő elem elforgató mechanizmusát, a kollimátort és az elektromos áramköri elemeket. A megvilágító és az alapvonal prizma kivehető egységek voltak, amelyeket működés közben a giroegységre szereltek. Az érzékelő elem hasonló felépítésű volt, mint a Gi-B giroteodolit érzékelő eleme, csak a tükrök funkcióját az alsó részen rögzített optikai henger látta el.



14. ábra

*A Gi-C11 típusú rátétgiroteodolit*

(A szerző felvétele a Műegyetem Általános- és Felsőgeodézia Tanszékének tulajdonában lévő példányról.)

### **Összefoglaló**

A magyar fejlesztésű és gyártású, giroszkopikus elvet alkalmazó geodéziai műszerek különböző típusainak sorozatgyártása a Magyar Optikai Műveknél közel három évtizeden át folyt, ez a tevékenység mára sajnos lezárt fejezetnek tekinthető. A sikerben kiemelt szerepet játszott, hogy a magyar giroteodolit-családot katonai követelmények alapján fejlesztették ki. A giroteodolit szabatos iránymegadásra szolgáló geodéziai műszer, számos katonai alkalmazással, amelyet elsősorban a geodézia területén néhány szögmásodperc pontossági igényű földalatti iránymegadással, földalatti létesítmények építéséhez kapcsolódóan használnak. A katonai igények kielégítését követően, a műszerek korszerűségük, pontosságuk és megbízhatóságuk miatt különböző polgári területeken is széleskörű alkalmazást nyertek. A giroteodolitok fejlesztése és gyártása területén a Magyar Optikai Művek világhírnevet szerzett, a műszereit jellemző kiemelkedő mérési pontosság és mérési idő folytán világviszonylatban is meghatározó geodéziai műszergyártó volt, amíg fennállt a lehetőség a termékcsalád sorozatgyártására. [20] A magyarországi fejlesztésű és gyártású giroteodolitok sikereinek alapja a szoros nemzetközi együttműködés, a körültekintő, gyors innovatív fejlesztés, a nagy volumenű sorozatgyártás és a gazdaságos értékesítés volt. [1] [12]

## Irodalmi hivatkozások

- [1] BENNETT G. G.: *New methods of observation with the wild gaki gyro-theodolite*, Kensington, Australia, University of New South Wales, (1969)
- [2] BENNETT G. G.: An historical review of the development of the gyroscope, *Australian Surveyor*, 23. évf. 4. sz. (1970) 244-252. o.
- [3] BORS Károly: Korszerű teodolitok szerkesztésének problémái, A Magyar Optikai Művek egymásodperces teodolitja, *Geodézia és Kartográfia*, 12. évf. 2. sz. (1960) 77–87. o.
- [4] ESTÓK János (szerk.): *Nemzeti évfordulóink*, Balassi Intézet, Budapest (2013) 68. o.
- [5] FISHER, J. C., HAYOTTE, M., MAYOUD, M., TROUCHE, G.: Underground geodesy, In: *CAS - CERN Accelerator School : Applied Geodesy for Particle Accelerators*, (1986) 183-208. o.
- [6] GALLAI Gyula: Torziós felfüggesztő szálak méretezési és stabilitási kérdései, *Finommechanika*, 3. évf. (1964) 361-364. o.
- [7] GOLOVANOV V. A.: *Gyroscopic orientation*, Training manual, St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, (2004) 92. o.
- [8] GREGERSON, L. F.: Report from experiments with the MOM's B-23 gyroscopic theodolite. *Proceedings of the fourth canadian symposium on mining surveying and deformation measurements* (1982) 43-51. o.
- [9] GROBLER, H. C. I.: Azimuth determination by gyroscope, 50 years later, has anything changed? *16th International Congress for Mine Surveying*, Brisbane, Australia, 12-16 Sept (2016) 105-112. o.
- [10] HALMOS Ferenc: *Mérési eredmények kiértékelésével kapcsolatos gazdaságossági és pontossági vizsgálatok*, kandidátusi értekezés, (1962) MTA Budapest
- [11] HALMOS Ferenc: *Giroteodolitok geodéziai alkalmazásának elméleti és gyakorlati kérdései*, doktori értekezés, Magyar Tudományos Akadémia (1971)
- [12] HALMOS Ferenc: *Theoretical and Practical Problems of the Use of Gyrotheodolites in Geodesy*, Geodetical and Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences (1977)
- [13] HALMOS Ferenc: Giroteodolitok, in: *Geodéziai műszerek*, szerk.: Dr. FIALOVSKY Lajos, Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1979)
- [14] HEGER, W., TREVOHO, I., LOPATIN, Y.: Investigations to digitizing of the gyro oscillation swing by a line camera. *Modern achievements of geodesic science and industry*. 2. évf. (2019) 45-53. o.
- [15] HOLLAI Kornél: Hollai Kornél gépészmérnök és a MOM, in: *Fejezetek a Magyar Optikai Művek és utódai történetéből 1876–2015*, szerk.: NÁDUDVARI Zoltán, MOM Emlékalapítvány, Budapest (2015) 150-152. o.
- [16] KALLÓ Péter, LACK Gábor: A BME Finommechanika-Optika Tanszék optikai programcsaládja. *Kép- és Hangtechnika*, 25. évf. 2. sz. (1979) 89-92. o.
- [17] KALLÓ Péter: A magyar girotájéoló, *Haditechnika*, 18. évf. 1. sz. (1984) 2-9. o.
- [18] KALLÓ Péter: Megfontolások és tapasztalatok a geodéziai távcső optikai rendszerének tervezésénél, *Kép- és Hangtechnika*, 31. évf. 2. sz. (1985) 59-61. o.
- [19] KALLÓ Péter (szerk): *Optikai feladatgyűjtemény I-II. kötet. Képzőoptikai rendszerek és változataik tervezése, vizsgálata*, Műegyetemi Kiadó, Budapest (1999)
- [20] KALLÓ Péter: Maradandó élményeim a MOM-ról, in: *Fejezetek a Magyar Optikai Művek és utódai történetéből 1876–2015*, szerk.: NÁDUDVARI Zoltán, MOM Emlékalapítvány, Budapest, (2015) 187-188. o.
- [21] POVELL, B.: Foucault's Gyroscope Experiments, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 15. évf. (1855) 182. o.
- [22] PUSZTAI Ferenc: *Pörgettyűs teodolit*, szabadalmi bejelentés, lajstromszám. 153941 (1965),
- [23] PUSZTAI Ferenc: *Giroteodolit*, szabadalmi bejelentés, lajstromszám. 153844 (1965).
- [24] PUSZTAI Ferenc: Giroteodolitok pontosság növelésének néhány problémája, *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 73. évf. sz. 4 (1966) 141-152. o.
- [25] PUSZTAI Ferenc: *Kétszabadságfokú digitális kijelzésű azimut meghatározó girotájéoló rendszer*, szabadalmi bejelentés, lajstromszám: 174095 (1978)
- [26] SCHOPPER, H. F.: *Advances Of Accelerator Physics And Technologies*, World Scientific, Singapore (1993) 565. o.
- [27] SZÁDECZKY-KARDOSS Gyula: Halmos Ferenc, *Geodézia és Kartográfia*, 32. évf. 6.sz. (1980) 437-438. o.
- [28] SZÁNTÓ Tamás, FARNADY Pál, FOKI Józsefné: *Berendezés egymást kizáró sorrendi események digitális kiértékelésére*, szabadalmi bejelentés, lajstromszám: 183920 (1982)
- [29] SZÁNTÓ Tamás: A geodéziai műszereink sikerének titka, in: *Fejezetek a Magyar Optikai Művek és utódai történetéből 1876–2015*, szerk.: NÁDUDVARI Zoltán, MOM Emlékalapítvány, Budapest (2015) 160-65. o.
- [30] SZÉKELY Domokos: 80 éve született Pusztai Ferenc Kossuth-díjas geodéziai műszertervező, *Geodézia és Kartográfia*, 55. évf. 12. sz. 34–35. o. (2003)
- [31] TARSOLY, Péter: *Speciális geodéziai műszerek*, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, (2010)
- [32] TOROCHKOV, Vladislav Yurievich: *Gyrotheodolites*, Nedra, Moscow (1970)
- [33] TRAINER, Matthew: Albert Einstein's expert opinions on the Sperry vs. Anschütz gyrocompass patent dispute. *World Patent Information*, 30. évf. (2008) 320-325. o.
- [34] VIERHAUS Rudolf (szerk.): *Die Deutsche Biographische Enzyklopädie (DBE), Band 9.*, Walter de Gruyter, 2011. 268. o.
- [35] VORONKOV N. N., KUTYREV V. V., ASHIMOV N. M.: *Gyroscopic orientation*, Moscow, Nedra, (1973)
- [36] VORONKOV N. N. (szerk.): *Astronomical and Geodetic Surveying Manual Part 3, Gyroscopic Positioning*, Editorial and Publishing Department of VTS, Moscow (1979)
- [37] \*\*\* *Glossary of Mapping, Charting, and Geodetic Terms*, United States Army, Topographic Command (1969) 106. o.