

**Óbudai Egyetem  
Alba Regia Műszaki Kar  
Geoinformatikai Intézet**



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT**

# **TÁJÉKOZÁS VÉGREHAJTÁSA NAP- MÉRÉSEK SEGÍTSÉGÉVEL**

**Szerző:** **Laczkó Tamás**  
Földmérő és Földrendező mérnök  
BSc. szak, IV. évf.

**Konzulensek:** **Dr. Földváry Lóránt**  
egyetemi docens  
**Horváth István**  
ügyvezető igazgató (Hohis Bt.)

**Székesfehérvár, 2014.**

## Tartalomjegyzék

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Absztrakt.....                                                | 3  |
| 1. Bevezetés.....                                             | 4  |
| 2. Azimut meghatározása Nap-észlelésből.....                  | 5  |
| 2.1. Az Azimut .....                                          | 5  |
| 2.1.1. A vetületi meridiánkonvergencia .....                  | 6  |
| 2.2. Az azimutmeghatározás története.....                     | 7  |
| 2.3. Az azimutmeghatározás módszerei .....                    | 8  |
| 2.3.1. Az óraszöges azimutmeghatározás.....                   | 10 |
| 2.3.2. A zenitszöges azimutmeghatározás .....                 | 14 |
| 3. A prizma.....                                              | 15 |
| 3.1. A prizma beállítása .....                                | 16 |
| 4. Az azimutmeghatározás során alkalmazott időrendszerek..... | 16 |
| 4.1. UTC.....                                                 | 16 |
| 4.2. UT1.....                                                 | 16 |
| 4.3. DUT1.....                                                | 16 |
| 5. A mérés végrehajtása.....                                  | 17 |
| 5.1. Eredmények.....                                          | 20 |
| 6. Összefoglalás .....                                        | 21 |
| Köszönetnyilvánítás.....                                      | 22 |
| Felhasznált irodalom .....                                    | 23 |

## Absztrakt

A GNSS olyan technológia, amely terepi munkái függetleníthetők a geodéziai alaphálózatoktól, ezzel érdemben használható geodéziailag kevésbé felmért területen. Egy mérőállomással végzett felmérés alapvetően tájékozó irány, tehát alaphálózat függő. Mérőállomások esetén azonban a tájékozó irány szerepét kiválthatja a Nap. TDK dolgozatom témája egy tetszőleges földi irány azimutjának meghatározása Roelofs-prizmával végzett Nap-észlelések alapján.

A feladat mérései az Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem R épülete előtt található pillérről, Geodimeter 500 mérőállomás használatával történtek. A dolgozat ismerteti a mérési eljárás menetét, a Roelofs-prizma működési elvét, illetve a mérési eredmények feldolgozásának módozatait, amelyek közül az úgynevezett "óraszöges" azimutmeghatározást részletesen is.

A vizsgálat keretében több mérési sorozatot végeztem, amelynek eredményét egy referencia pontra mért irány irányértékével vetettem össze. A tapasztalataim szerint a tájékozás pár másodperc pontossággal elvégezhető. A napra végzett tájékozás egyik fontos hibaforrása a Nap folyamatos követése, melynek pontossága, egy ATR-s mérőállomásra rögzített CCD-kamerás kiépítés esetén javítható. Jelen kutatást ennek megfelelően egy hosszú távú fejlesztés első lépéseként tekintem.

## 1. Bevezetés

A nap és a csillagok alapvető jelentőségűek voltak a tájékozódáshoz a történelem folyamán. A csillagok referencia pontjai a földrajzi helymeghatározásnak, amely során valódi földrajzi koordinátákat és azimutot határoznak meg csillagokra végzett iránymérések alapján. A legközelebbi csillagot, a Napot erős fénye, nagy kiterjedése és jelentős látszólagos mozgása miatt nehezebb mérési célra használni, pedig nappal az egyedüli megirányozható égitest.

A Nap esetében az egyik legnagyobb nehézség a pontos irányzás végrehajtása, lévén a Nap a többi csillaggal ellentétben a Földről szemlélve nem pontszerű objektum. Irányzásának pontos végrehajtásához az 1940-es évek közepén R. Roelofs tervezett egy erre alkalmas prizmát – a továbbiakban röviden prizma. Ezt később a Wild cég továbbfejlesztette és a Wild T-2-es teodolit távcsövének objektívjére szerelhetővé tette, mellyel így végül lehetővé vált vele a Nap központos, és biztonságos irányzása.

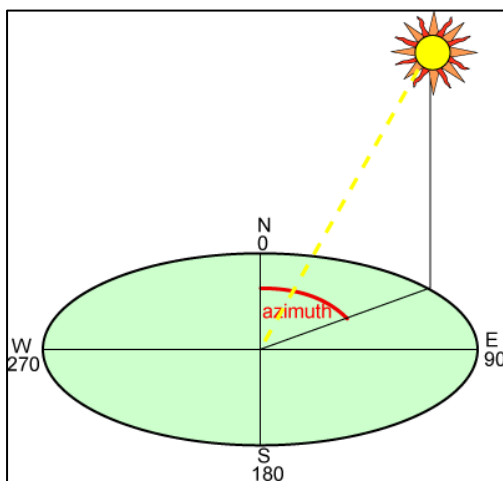
Hagyományosan napészleléseket teodolittal végeztek, de igazából hatékonyabb a módszer mérőállomással válik, amellyel számos hibaforrás csökkenthető vagy kiküszöbölhető (úgy mint pl. a kvázi-folyamatos adatrögzítés, mérések időzítésének pontos ismerete, a kompenzátor szerepe, ATR).



1. ábra Az éggömb

## 2. Azimut meghatározása Nap-észlelésből

### 2.1. Az Azimut

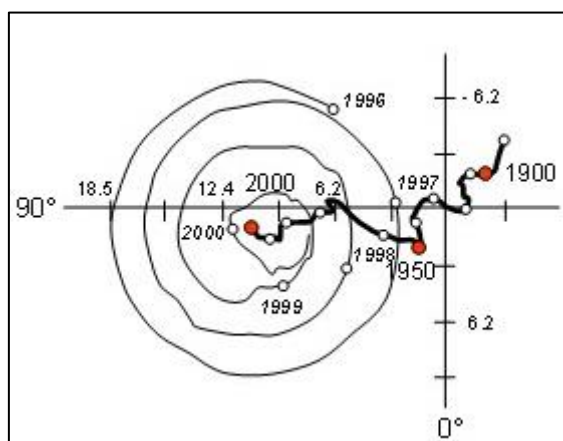


2. ábra Az azimut

Az azimut egy irányon átmenő vertikális síknak a helyi meridiánsíkkal bezárt szöge. Előjele a meridián északi ágától az óramutató járásával megegyező irányban pozitív.

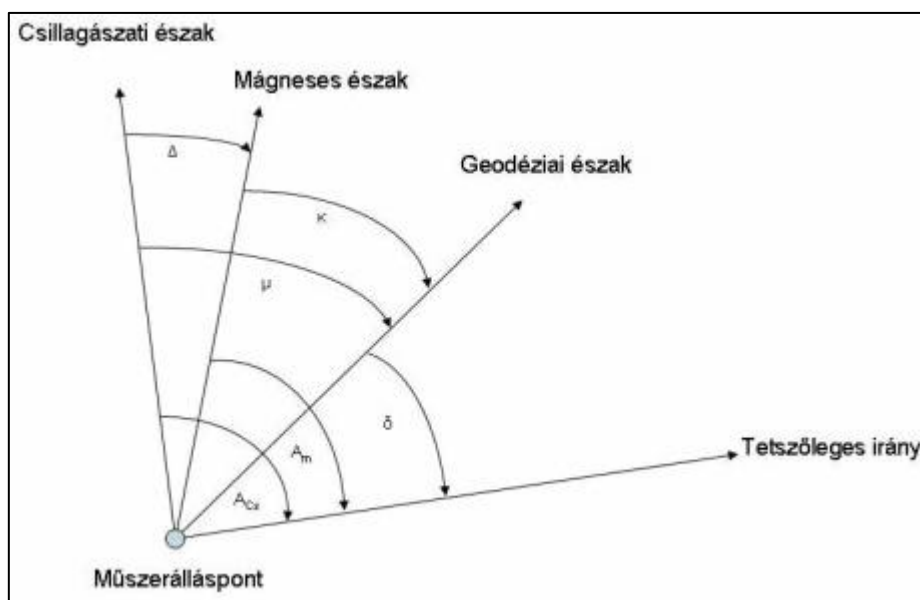
Az északi iránytól függően különféle azimutokat különböztethetünk meg. A mágneses azimutot a föld mágneses északja által kijelölt iránytól számítjuk, melynek értéke a mágneses pólus vándorlása következtében időben változó. A

mi feladatunkhoz szükséges csillagászati északot az álláspontunk helyi függőlegesére illeszkedő, a föld forgástengelyével párhuzamos sík jelöli ki, melynek iránya szintén a forgástengely változásai (pólusmozgás és pólusvándorlás) függvényében változik.



3. ábra A pólusmozgás (vékony vonal) és a pólusvándorlás (vastag vonal) mértéke méterben (Gyenes 2010)

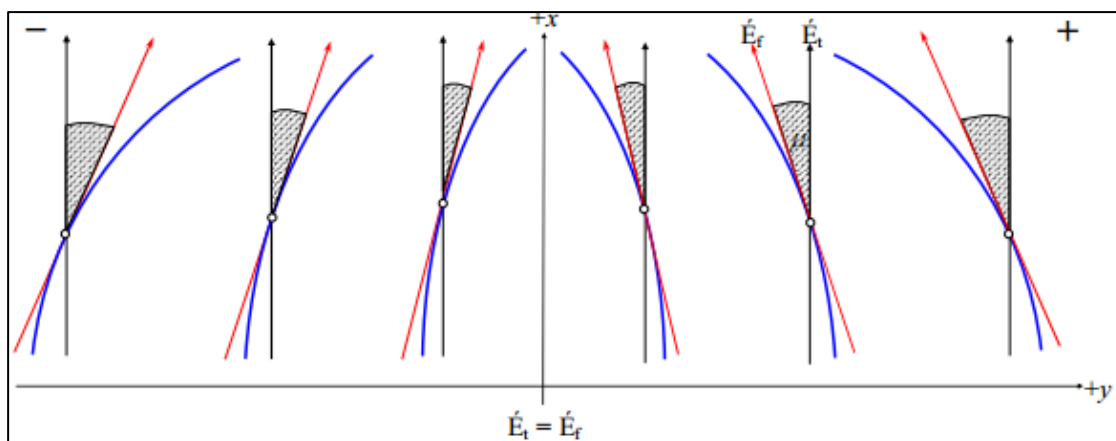
Az azimut egy speciálisabb formája a "hálózati azimut", ismertebb nevén az irányszög. Sok geodéziai munkánál célszerű egy helyi, lokális rendszerben dolgozni. Az ilyen vetületekben az északi irányt geodéziai északnak nevezzük, amely az állásponttól függetlenül mindig ugyanaz az irány adott vetület használati területén belül; Magyarországon az EOVS rendszer +X tengely északi ágával párhuzamosan húzott egyenes.



4. ábra A három féle északi irány (Tarsoly 2010)

### 2.1.1. A vetületi meridiánkonvergencia

A geodéziai és csillagászati észak közötti kapcsolatot a vetületi meridiánkonvergencia írja le. Értéke annál nagyobb, minél jobban eltávolodunk a kezdőmeridián vetületi képétől. Függ továbbá az álláspontunk koordinátájától és a Föld sugarától (Bácsatyai, 2005).



5. ábra A vetületi meridiánkonvergencia változásai (Bácsatyai 2005)

A fenti ábrából látható, hogy minél jobban eltávolodunk a kezdőmeridián képétől (+X tengely) annál nagyobb mértékben nő a vetületi meridiánkonvergencia értéke.

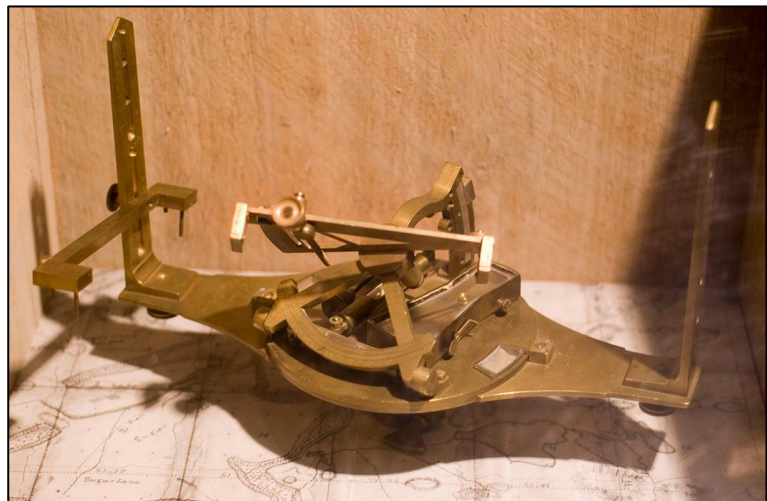
Az irányszög és az azimut közötti összefüggés tehát:

$$\delta_P = \alpha_P - \mu_P \quad (2.1)$$

## 2.2. Az azimutmeghatározás története

Az azimut precíz értékének meghatározása a Nap segítségével legelőször William Austin Burt-nek sikerült. Burt az 1830-as évek közepe fele megfigyelte, hogy a nagy vastartalmú hegyekben a mágneses anomáliák miatt az iránytű, így az északi irány is megbízhatatlan. Ezt megoldandó 1836-ban megépítette a napiránytűt.

A műszer nem összekeverendő egy egyszerű napórával, hisz a megfelelő működéshez ismerni kellett a földrajzi szélességet, a Nap deklinációját, valamint a helyi időt. Az előbb felsoroltakat beállítva és a Napot megirányozva jelölte ki a műszer a tényleges északi irányt.



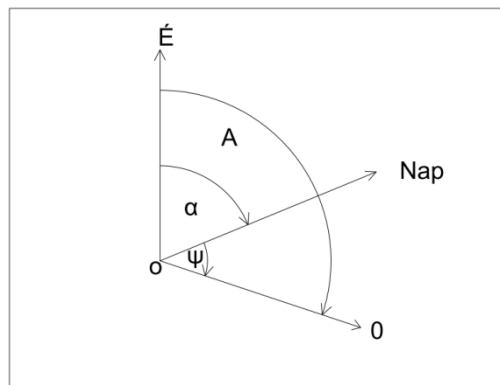
6. ábra William Burt napiránytűje ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

### 2.3. Az azimutmeghatározás módszerei

Egy tetszőleges földi irány azimutjának Nap-észlelésekből történő meghatározásához két különböző módszert különböztetünk meg:

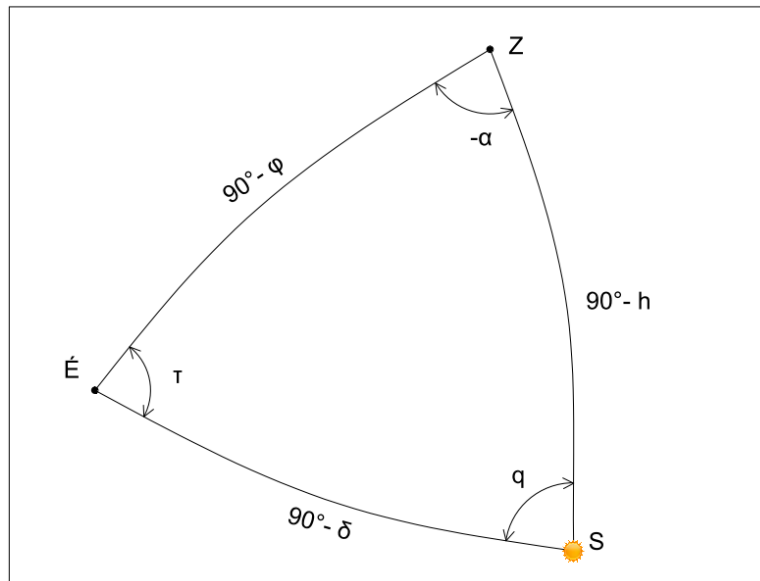
- "óraszöges", illetve
- "zenitsöges" azimutmeghatározást.

Alapvető különbség a két módszer között, hogy míg a zenitsöges azimutmeghatározás nevéből adódóan nagy pontosságú magassági szög mérését és az észlelés pillanatának közelítő ismeretét igényli, addig az óraszöges meghatározás nagy pontosságú időmérést igényel, magassági szögmérést azonban egyáltalán nem. Abban mégis egyeznek az eljárások, hogy mindkettőhöz szükséges ismernünk az álláspontunk szintfelületi földrajzi koordinátáit, valamint szükséges mérnünk azt a szöget, amelyet az álláspontunkra sorozott függőleges síkok közül a Nap által kijelölt és a meghatározandó irányunk által kijelölt vertikális síkok bezárnak egymással (lásd 7. ábra).



7. ábra A Nap és a földi irány azimutja közötti összefüggés

Ezek segítségével könnyedén megkaphatjuk a kérdéses irány azimutját ( $A$ ), ha a Nap és a földi irány síkjai által bezárt szöget ( $\psi$ ) hozzáadjuk a Nap azimutjához ( $\alpha$ ). Utóbbi meghatározásához és megértéséhez a csillagászati helyzetháromszög nyújt segítséget.



8. ábra Csillagászati helyzetháromszög

A gömbháromszög az éggömbön helyezkedik el úgy, hogy csúcsait a Nap (S), a zenitpont (azaz az álláspontunk helyi függőlegesének dőléspontja az éggömbön: Z), illetve az északi égi pólus (É) alkotják.

A háromszög oldalaiban ( $\delta$ ) a Nap deklinációját, ( $h$ ) a Nap magassági szögét ( $\varphi$ ) az álláspont földrajzi szélességét jelenti. Belső szögei alatt ( $\alpha$ ) a Nap azimutját, ( $q$ ) a helyzetháromszög parallaktikus szögét, míg ( $\tau$ ) a nap óraszögét jelenti.

*Az óraszög (Angulus horarius), valamely égi testen átmenő deklinációkör egyenlítőn mért távolsága a megfigyelési hely meridiánjától. Mivel az egyenletesen forgó éggömbön e távolság az idővel arányosan változik, az óraszög közvetlenül az idő mértékéül szolgálhat; innen neve is.*

*Forrás: Pallaas Nagylexikon*

A háromszög oldalai abban az esetben adottnak tekinthetők, ha ismerjük az álláspontunk földrajzi szélességét és hosszúságát, a Nap koordinátaiból számított deklinációt, illetve mérési eredményből a Nap magassági szögét. Ezek segítségével az 8. ábrán látható képletekkel tudjuk számolni az oldalakat. Ahhoz, hogy a helyzetháromszög egyértelműen határozott legyen, szükségünk van még egy adatra. Ez lehet az egyik szög, azaz a Nap óraszöge, illetve lehet a harmadik oldal, melyet a Nap magassági/zenit szögéből kaphatunk meg.

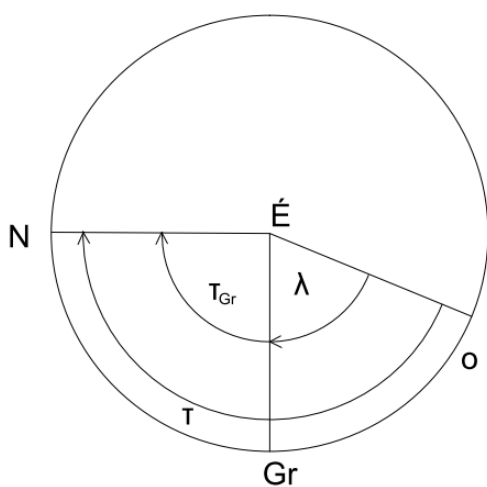
Dolgozatomban az óraszöges meghatározást részletesen ismertetem, mivel a méréseimet is ezzel dolgoztam fel. A zenitszöges módszert azonban csak érintőlegesen tárgyalom.

### 2.3.1. Az óraszöges azimutmeghatározás

Mint ahogy fentebb ismertettük, az óraszöges módszernél mérjük a Nap és a földi irány közötti vízszintes szöget, majd a megfigyelés időpontjának és az álláspont koordinátáinak ismeretében számíthatjuk a Nap azimutját az alábbi képlettel:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin \tau}{\sin \varphi \cos \tau - \cos \varphi \tan \delta} \quad (2.2)$$

Az egyenletben ( $\tau$ ) a Nap helyi óraszöge, ( $\varphi$ ) az álláspont földrajzi szélessége, ( $\delta$ ) a Nap deklinációja. A Nap óraszöge észlelésekből közvetlenül nem nyerhető, de az álláspont földrajzi hosszúságának ismeretében a szálátmenet pillanatában végzett óraleolvasásból meghatározható (Márkus 1980).



9. ábra A földrajzi hosszúság és a lokális óraszög kapcsolata

Az ábra az észlelési ponton, (O) átmenő paralelkört mutatja felülnézetben. Az ábrán ( $\lambda$ ) az észlelő földrajzi hosszúságát, (Gr) a Greenwichi meridiánt, (N) pedig a Nap meridiánját jelenti. Mint ahogy az látható, a Nap helyi óraszöge ( $\tau$ ) a Nap meridiánjának az álláspontunk meridiánjával bezárt szöge, és a Greenwichi óraszög ( $\tau_{Gr}$ ) és az álláspont hosszúságának összegeként képezhető.

A Nap Greenwichi óraszögét és deklinációját csillagkatalógusból nyerhetjük minden nap 0. órájára, így az észlelés UT1 időpontjára vonatkozó értékeit interpolálnunk kell. Mivel a méréseinket UTC időrendszerben rögzítettük, így alkalmaznunk kell a DUT1 korrekciót. (lásd (4.1) a későbbiekben).

$$UT1 = UTC + DUT1 \quad (2.3)$$

A leolvasás pillanatakor a Nap Greenwichi óraszöge ( $\tau_{Gr}$ ) a  $\tau_{Gr}$  0. órára vonatkozó értéke, és a  $\tau_{Gr}$ -ben UT1-ig bekövetkezett változás összegeként képezhető:

$$\tau_{Gr}^{UT1} = \tau_{Gr}^{0h} + \frac{UT1}{24} * (\tau_{Gr}^{24h} - \tau_{Gr}^{0h} + 360^\circ) \quad (2.4)$$

Ezt követően a Nap lokális óraszögét az előzőekben számított érték és az álláspont földrajzi hosszúságának összevonásával nyerjük:

$$\tau = \tau_{Gr}^{UT1} + \lambda \quad (2.5)$$

A deklináció UT1 időbeli értékét az óraszöghöz hasonlóan a 0. és a 24. órára adott deklináció értéke közé kell interpolálnunk az adott képlettel:

$$\delta_{(UT1)} = \delta_{(0h)} + \frac{UT1}{24} * (\delta_{(24h)} - \delta_{(0h)}) \quad (2.6)$$

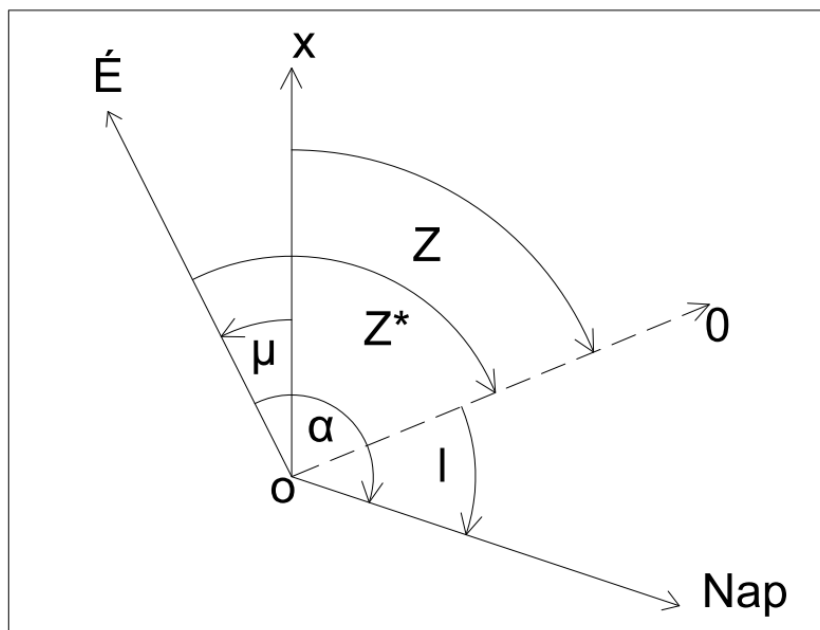
Végül a Nap azimutja a már ismertetett a (2.2) egyenlettel számítható. Az azimut egy 0 és 360 fok közé normalizált szög, amire (a csillagászati helyzetháromszög alapján belátható, hogy) az 1. táblázatban látható korrekciót kell alkalmazni.

| Ha az óraszög: | Akkor a korrekció   |                     |
|----------------|---------------------|---------------------|
|                | Ha $\alpha$ pozitív | Ha $\alpha$ negatív |
| 0°-180°        | +180°               | +360°               |
| 180°-360°      | +0°                 | +180°               |

1. táblázat Azimutkorrekció ([www.engineeringtraining.tpub.com](http://www.engineeringtraining.tpub.com))

Az így kapott azimut a valódi pólusra vonatkozik, így ezt az IERS (Nemzetközi Földforgás és Vonatkoztatási Rendszerek Szolgálat - *International Earth Rotation and Reference Systems Service*) vonatkoztatási pólusra kell redukálnunk. Ehhez szükséges pillanatnyi forgástengely jellemzőket (precessió, csillagászati nutáció és pólusmozgás) az

IERS szolgáltatja, a redukció módjáról részletesen pedig az IERS Conventions rendelkezik (Petit-Luzum, 2010).



10. ábra Tájékozás végrehajtása azimutmeghatározás alapján

Ahhoz, hogy a feladat címének is eleget tegyünk és elvégezzük a tájékozást, meg kell határoznunk a műszerünk limbusz kör 0. osztásának az irányszögét, azaz a tájékozási szöget. Első lépésben ki kell vonnunk a limbusz 0 és a Nap iránya közötti szöget, azaz a Nap irányértékét ( $l$ ), a (2.2) képlet alapján számolt azimutból ( $\alpha$ ).

$$Z^* = \alpha - l \quad (2.7)$$

Ennek eredményeképpen kaptunk egy előzetes tájékozási szöget ( $Z^*$ ), amelyet még javítanunk kell a 2.1.1. pontban említett vetületi meridiánkonvergencia ( $\mu$ ) értékével. A vetületi meridiánkonvergenciát a DOS-os 'Vetület' nevű programmal számítottam (Bácsatyai, 1993).

$$Z = Z^* - \mu \quad (2.8)$$

Érthetően a Napra több mérési sorozatot végzünk és az összes regisztrált értékre el kell végeznünk a fenti számításokat.  $n$  számú mérési eredményből így az átlagolt értéket elfogadhatjuk középtájékozási szögnek ( $Z_k$ ):

$$Z_k = \frac{\sum Z_n}{n} \quad (2.9)$$

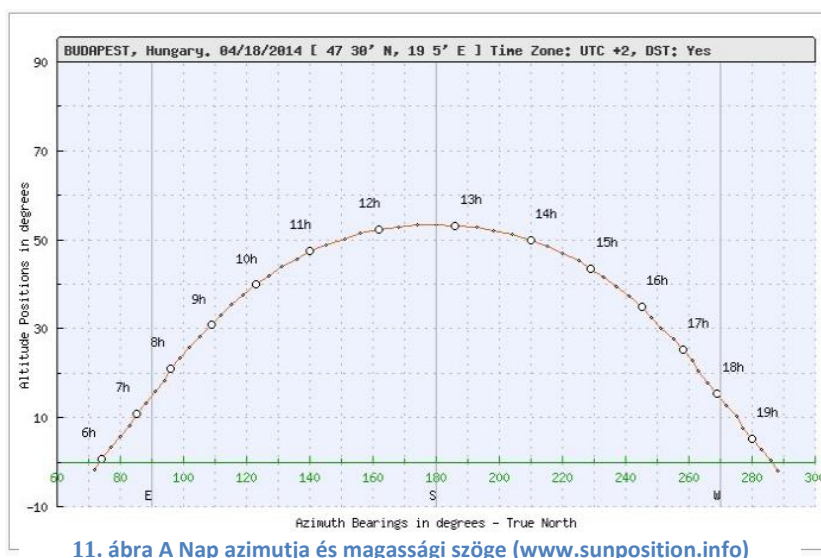
Ezután már számolható bármely tetszőleges irány tájékozott irányértéke a jól ismert képlettel:

$$\delta_p = Z_k + l_p \quad (2.10)$$

### 2.3.1.1. Az óraszöges azimutmeghatározás fontosabb hibaforrásai

A múltban, a modern mérőállomások megjelenése előtt az asztronómiai mérések legnagyobb hibaforrása az állótengely ferdeség volt, melyet az alhidádé libellán végzett leolvasással kellett meghatározni és korrekcióként figyelembe venni. A modernkori műszereknél ez a hiba a kéttengelyű kompenzátoroknak köszönhetően kiesik (Nixon 2011).

A méréseket célszerű  $45^\circ$ -nál kisebb magassági szögek mellett végezni, illetve a délet megelőző, illetve követő 2 órában mellőzni a méréseket. Ennek legfőbb oka, hogy ebben a  $\sim 4$  órás intervallumban a Nap túl nagy látszólagos mozgást végez az égbolton.



11. ábra A Nap azimutja és magassági szöge ([www.sunposition.info](http://www.sunposition.info))

Az ábrán konkrétan a Budapesti, a mérés napjára számított Napátvonulást láthatjuk. Függőleges tengelyen a magassági szög, vízszintes tengelyen az azimut látható. Az előbbieken említett időszakban, az ábra alapján a Nap azimutja 1 másodperc alatt átlagosan közel  $50''$ -et változik (Nixon 2011).

Ezen felül elmondható, hogy az azimutmeghatározást a feltételezett földrajzi koordináták megbízhatósága befolyásolja. Az alábbi táblázat az azimutban bekövetkező hibát mutatja az óraszög 10° fokenkénti lebontásában, szögmásodpercben, -23° és + 23°-os deklinációérték között (Hashimi 2005).

| Óraszög | Az azimutot terhelő hiba, a földrajzi szélességben bekövetkező 1'-es hiba esetén |      |        | Az azimutot terhelő hiba, a földrajzi hosszúságban bekövetkező 1''-es*, és az időmérésben 1 másodperces hiba esetén** |       |      |       |        |       |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------|------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|-------|--------|-------|
|         | d=23°                                                                            | d=0° | d=-23° | d=23°                                                                                                                 |       | d=0° |       | d=-23° |       |
|         |                                                                                  |      |        | *                                                                                                                     | **    | *    | **    | *      | **    |
| 0       | 0,00                                                                             | 0,00 | 0,00   | 3,10                                                                                                                  | 47,20 | 1,60 | 23,30 | 1,00   | 15,50 |
| 10      | 1,40                                                                             | 0,30 | 0,10   | 2,60                                                                                                                  | 38,70 | 1,50 | 22,40 | 1,00   | 15,20 |
| 20      | 1,70                                                                             | 0,50 | 0,20   | 1,70                                                                                                                  | 26,00 | 1,30 | 20,00 | 1,00   | 14,50 |
| 30      | 1,50                                                                             | 0,60 | 0,20   | 1,20                                                                                                                  | 17,80 | 1,10 | 17,20 | 0,90   | 13,50 |
| 40      | 1,30                                                                             | 0,60 | 0,20   | 0,90                                                                                                                  | 13,40 | 1,00 | 14,70 | 0,80   | 12,40 |
| 50      | 1,00                                                                             | 0,50 | 0,10   | 0,70                                                                                                                  | 10,90 | 0,80 | 12,70 | 0,80   | 11,30 |
| 60      | 0,80                                                                             | 0,40 | 0,10   | 0,60                                                                                                                  | 9,60  | 0,80 | 11,30 | 0,70   | 10,36 |
| 70      | 0,60                                                                             | 0,30 | 0,00   | 0,60                                                                                                                  | 8,90  | 0,70 | 10,40 | 0,60   | 9,60  |
| 80      | 0,40                                                                             | 0,10 | 0,10   | 0,60                                                                                                                  | 8,70  | 0,70 | 9,80  | 0,60   | 9,00  |
| 90      | 0,20                                                                             | 0,00 | 0,20   | 0,60                                                                                                                  | 8,70  | 0,60 | 9,60  | 0,60   | 8,70  |
| 100     | 0,10                                                                             | 0,10 | 0,40   | 0,60                                                                                                                  | 9,00  | 0,70 | 9,80  | 0,60   | 8,70  |

12. ábra Az azimutot terhelő hibák (Hashimi 2005)

### 2.3.2. A zenitszöges azimutmeghatározás

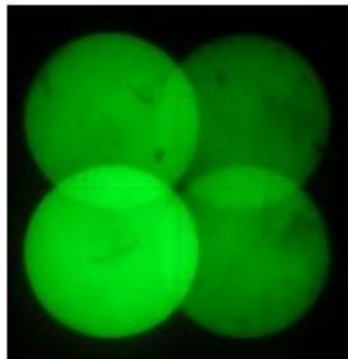
Ebben a fajta eljárásban a 8. ábrán látható csillagászati helyzetháromszög harmadik adata a Nap zenitszöge (Z). Az azimut így a következő összefüggés alapján számolható:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{\sin \delta - \sin \varphi * \cos Z}{\cos \varphi * \sin Z} \quad (2.11)$$

Mint ahogy azt már említettük, ezen eljárás alkalmazásánál nincs szükség az észlelési idő pontos rögzítésére, éppen ezért a múltban ez volt a ’’népszerűbb’’ eljárás az óraszöges módszerrel szemben. A technológiai fejlődés, így az időmérés egyszerűsödése és pontosodása következtében az eljárás háttérbe szorult, mivel az óraszöges eljárásnál kisebb pontosságot biztosít, és több megkötés vonatkozik rá a mérésre alkalmas órákra vonatkozóan.

### 3. A prizma

A prizma 5 fontos részből áll: prizmaház, a prizmaházon elhelyezkedő forgókeret, kötötüske és a szorítógyűrű. A prizmaházon belül található a 3 prizmadarab, amely lehetővé teszi számunkra a Nap központos irányzását. A háromból két ék az objektív egészének egy-egy felét fedi le, s egymásra merőlegesen helyezkednek el. Az így kialakított rendszerben az objektívbe beeső sugárnyaláb egyik részét eltéríti a fekvőszál, illetve az állószál irányába. A színszűrővel rendelkező harmadik prizmadarab lefedi a teljes objektívnyílást és a sugárnyalábot olyan megfelelő szöggel téríti el, hogy megirányozva a Napot, az így kialakított rendszeren keresztül a Napnak négy szimmetrikusan elhelyezett képét látjuk (Márkus 1980).



13. ábra A prizma látómezeje

A kialakult 4 kép az átfedések miatt egy keresztet alkot, melynek középpontjában egy rombusz látható. A rombusz mérete a Nap éves látszólagos mozgásából adódó aktuális átmérőjével változik – jelen esetben, ez körülbelül  $10''$  –es átmérőt jelent. A rombusz középpontja a Nap középpontjának felel meg, a mérések végrehajtásánál lényegében ezt irányozzuk.

A prizmán két szűrő is található, mely egyrészt látásunkat, másrészt a műszer távmérő berendezését is óvja. Az erőteljes fényszűrő hatás miatt, felhő mögött lévő napot értelemszerűen nem lehet irányozni.



14. ábra A Roelofs prizma

### 3.1. A prizma beállítása

A prizmat felhelyezzük az objektívre és a szorítógyűrű csavarjával hozzáerősítjük. A forgókeret forgatásával az átfedések miatt kialakult keresztet párhuzamossá tesszük a műszer szálkeresztjével és a megfelelő állásban rögzítjük a kötötüske segítségével. A felmerülő eltérés nagyságát fokozatos közelítéssel, illetve kellő gyakorlattal rendelkezve elhanyagolható értékűre minimalizálhatjuk.

## 4. Az azimutmeghatározás során alkalmazott időrendszerek

A kozmikus geodéziai mérésekben meghatározó jelentőségű az idő, hisz az észlelő és maga az észlelt égitest is folyamatos mozgásban van. Mivel egy adott mérési eredmény, kizárólag egy adott pillanatnyi állapotra vonatkozik, ezért elkerülhetetlen a mérés "t" időpontjának megfelelő pontosságú rögzítése (Bíró 2003).

### 4.1. UTC

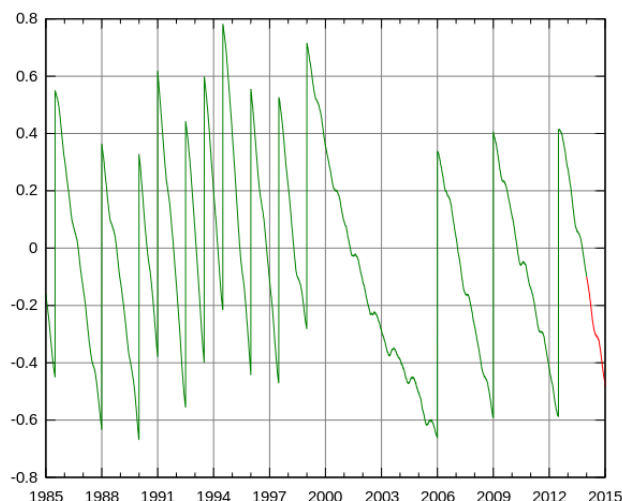
pontos időt mérőállomás használatakor szinkronizálhatjuk a mérőállomáshoz kapcsolt GPS vevővel (SMART Station), vagy akár manuálisan. Az így kapott idő UTC időt jelent, azaz Koordinált világidőt. Az UTC a GMT-t hivatott felváltani és alapja a TAI, azaz a Nemzetközi Atomidő.

### 4.2. UT1

A nagy pontossági követelmények esetén indokolandó, hogy méréseinket UT1 időrendszerben dolgozzuk fel. Az UT1 időrendszer a Föld tényleges forgásán alapszik, melyet kvazárokra végzett Nagyon Hosszú Bázisvonalú Interferométeres (Very Long Baseline Interferometry - VLBI) mérésekkel határoznak meg, közel 4 miliszekundum pontossággal.

### 4.3. DUT1

A föld folyamatosan lassuló forgása miatt az UTC-t időszakosan az úgy nevezett szökőmásodpercekkel kell korrigálni, hogy az UT1-hez képest 0.9 másodpercen belül maradjon. A fenti grafikonon látható, hogy amikor a különbség eléri a ~0.9 másodperces értéket, beiktatják a szökőmásodpercet, mely a 15. ábrán egy függőleges vonalként jelenik meg. Az UT1 és UTC közötti különbséget DUT1-nek nevezik és az IERS feladata a meghatározása és közzététele (Petit-Luzum, 2010).



15. ábra UTC és UT1 időrendszer közötti különbség az évek folyamán ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

$$DUT1 = UT1 - UTC \quad (4.1)$$

## 5. A mérés végrehajtása

Méréseimet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem R épülete előtt található, nagy pontossággal ismert koordinátájú pillérről végeztem, Geodimeter500-as műszerrel. A mérést megelőzően a terepen szinkronizáltuk a műszer belső óráját az aktuális UTC időrendszerrel. A pontos időt a Sol Et Umbra nevű mobilalkalmazásból nyertük. Ezt a korlátozott lehetőségek kívánták meg. Amennyiben lehetőségünk nyílt volna rá, hogy GNSS vevővel ellátott műszerrel dolgozzunk, úgy lényegesen pontosabb eredményt tudunk volna elérni.

A műszer pillére való felállítása után rögzítettük a prizmat a műszer objektívjéhez az 1.5.-ben leírtak szerint, valamint beállítottuk a műszer rögzítési maszkját, hogy megbizonyosodjunk, hogy a műszer tárolja az észlelési időket is. A rögzítési maszk definiálja, hogy mely mért, és levezetett értékek tárolódnak a mérőállomásban. A mérési folyamat megkezdése előtt nagyon fontos a műszer konfigurációs beállításaink és a rögzítési és megjelenítési maszknak az ellenőrzése, mert ezek beállításai egyértelműen meg fogják határozni azoknak az adatoknak a körét, amelyek a műszerből irodában kiolvashatóak lesznek (Tarsoly 2010).

Ezt követően több ismert irányra mért iránymérési sorozat eredményeiből elvégeztük a tájékozást, így ismertté vált a műszer limbusz kör 0. osztásának helyzete. Ezzel biztosítottuk az azimutmeghatározásból levezetett tájékozási szög ellenőrzését, mint ahogy az a későbbiekben látható lesz.

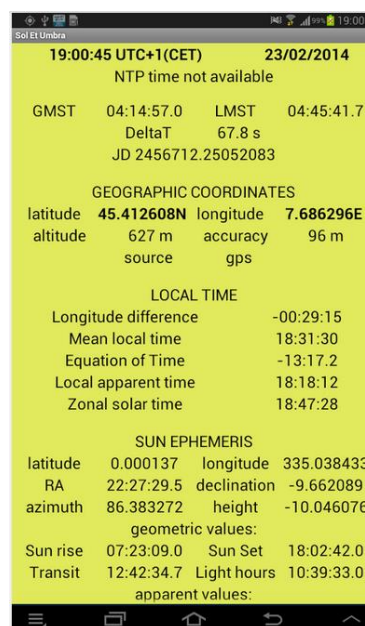
A 2-es számú táblázatban található a 30 darab mérési eredmény, ahol  $\varphi$  és  $\lambda$  az álláspontunk földrajzi koordinátái,  $t$  a mérés időpontja UTC időben,  $H$  a Napra mért vízszintes szög,  $\alpha$  a számított azimut,  $Z^*$  a (2.7) alapján számított előzetes tájékozási szög,  $\Delta''$  pedig az egyes értékek eltérése a mérési sorozat átlagától.

| Dátum | 2014.0418 | $\varphi$   | 47-28-45,46    | $\lambda$     | 19-03-33,41 |
|-------|-----------|-------------|----------------|---------------|-------------|
|       | $t$       | $H$         | $\alpha$       | $Z^*$         | $\Delta''$  |
|       | óó,ppmm   | ff,pp-mm    | ff,pp-mm       | ff,pp-mm      |             |
| 1     | 7,1939    | 14,- 46- 26 | 113,- 24- 29,3 | 98,- 38- 03,3 | 14''        |
| 2     | 7,2015    | 14,- 54- 36 | 113,- 32- 44,7 | 98,- 38- 08,7 | 9''         |
| 3     | 7,2037    | 14,- 59- 19 | 113,- 37- 47,9 | 98,- 38- 28,9 | -11''       |
| 4     | 7,213     | 15,- 11- 35 | 113,- 49- 59,7 | 98,- 38- 24,7 | -7''        |
| 5     | 7,2144    | 15,- 15- 09 | 113,- 53- 13,4 | 98,- 38- 04,4 | 13''        |
| 6     | 7,2214    | 15,- 21- 54 | 114,- 00- 08,8 | 98,- 38- 14,8 | 3''         |
| 7     | 7,2255    | 15,- 31- 26 | 114,- 09- 37,5 | 98,- 38- 11,5 | 6''         |
| 8     | 7,2328    | 15,- 39- 06 | 114,- 17- 16,1 | 98,- 38- 10,1 | 7''         |
| 9     | 7,2345    | 15,- 42- 50 | 114,- 21- 12,6 | 98,- 38- 22,6 | -5''        |
| 10    | 7,2426    | 15,- 52- 27 | 114,- 30- 44,0 | 98,- 38- 17,0 | 1''         |
| 11    | 7,2443    | 15,- 56- 26 | 114,- 34- 41,2 | 98,- 38- 15,2 | 2''         |
| 12    | 7,2452    | 15,- 58- 33 | 114,- 36- 46,9 | 98,- 38- 13,9 | 4''         |
| 13    | 7,2529    | 16,- 06- 54 | 114,- 45- 24,2 | 98,- 38- 30,2 | -13''       |
| 14    | 7,2555    | 16,- 13- 17 | 114,- 51- 28,3 | 98,- 38- 11,3 | 6''         |
| 15    | 7,2615    | 16,- 17- 56 | 114,- 56- 08,7 | 98,- 38- 12,7 | 5''         |
| 16    | 7,2758    | 16,- 41- 58 | 115,- 20- 17,3 | 98,- 38- 19,3 | -2''        |
| 17    | 7,3045    | 17,- 21- 38 | 115,- 59- 42,6 | 98,- 38- 04,6 | 13''        |
| 18    | 7,3102    | 17,- 25- 33 | 116,- 03- 44,6 | 98,- 38- 11,6 | 6''         |
| 19    | 7,3205    | 17,- 40- 32 | 116,- 18- 43,1 | 98,- 38- 11,1 | 6''         |
| 20    | 7,3259    | 17,- 53- 13 | 116,- 31- 35,6 | 98,- 38- 22,6 | -5''        |
| 21    | 7,3401    | 18,- 08- 21 | 116,- 46- 25,3 | 98,- 38- 04,3 | 13''        |
| 22    | 7,343     | 18,- 15- 01 | 116,- 53- 22,4 | 98,- 38- 21,4 | -4''        |
| 23    | 7,3451    | 18,- 20- 05 | 116,- 58- 24,9 | 98,- 38- 19,9 | -2''        |
| 24    | 7,3509    | 18,- 24- 29 | 117,- 02- 44,5 | 98,- 38- 15,5 | 2''         |
| 25    | 7,3539    | 18,- 31- 28 | 117,- 09- 57,6 | 98,- 38- 29,6 | -12''       |
| 26    | 7,3714    | 18,- 54- 29 | 117,- 32- 53,8 | 98,- 38- 24,8 | -7''        |
| 27    | 7,3744    | 19,- 01- 40 | 117,- 40- 09,8 | 98,- 38- 29,8 | -12''       |
| 28    | 7,3804    | 19,- 06- 41 | 117,- 45- 00,9 | 98,- 38- 19,9 | -2''        |
| 29    | 7,3821    | 19,- 10- 53 | 117,- 49- 08,6 | 98,- 38- 15,6 | 2''         |
| 30    | 7,3905    | 19,- 21- 19 | 117,- 59- 50,8 | 98,- 38- 31,8 | -14''       |

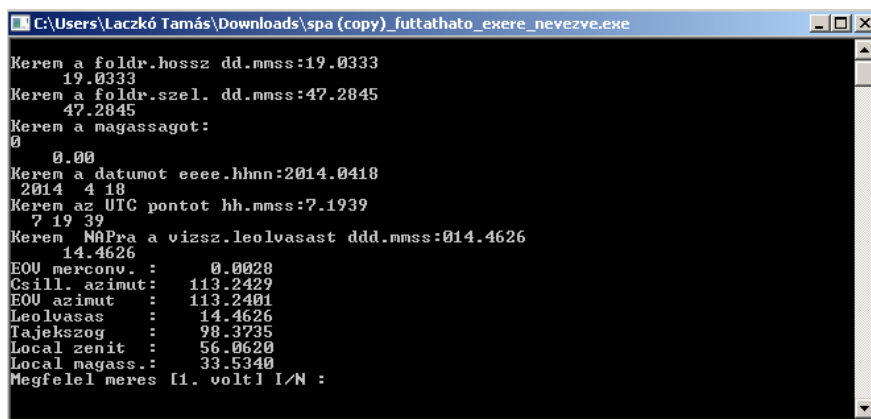
2. táblázat Mérési és számítási eredmények

Az egyes regisztrálásokhoz tartozó azimutokat a már az előbbieken is említett Sol Et Umbra, ingyenes, androdios készüléken használható programból nyertük. A program használatának nagy előnye, hogy már terepen ellenőrizni tudtuk mérési eredményeinket.

A szoftverben a számításhoz meg kell adnunk a dátumot és a mérés idejét UTC-ben, az álláspontunk földrajzi koordinátáit, melyhez azonban (a pontosság rovására) a program akár telefonunk GPS vevőjét is felhasználhatja. A mérések feldolgozását önállóan, az e célra írt Excel táblázat segítségével végeztem. A számítás helyességét véletlen módon választott mérési eredményeken teszteltük ipari konzulensem, Horváth István által, saját céljaira készített programjával (SPA). Az eredmény nem mutatott szignifikáns eltérést, ezért a programot megbízhatónak ítéltük.



16. ábra Sol Et Umbra kezelői felülete



17. ábra SPA program

Az 3. táblázatban látható az 1, 8, 19 és 26. számú mérésből származtatott csillagászati azimutok összehasonlítása.

|    | Sol Et Umbra | SPA       | ”kézi”      |
|----|--------------|-----------|-------------|
| 1  | 113-24-29.3  | 113-24-29 | 113-24-29.9 |
| 8  | 114-17-16.1  | 114-17-16 | 114-17-15.7 |
| 19 | 116-18-43.1  | 116-18-43 | 116-18-43.4 |
| 26 | 117-32-53.8  | 117-32-54 | 117-32-54.1 |

## 5.1. Eredmények

A 2-es számú táblázatban található  $Z^*$  előzetes tájékozási szögeknek képeztük az átlagát, majd a vetületi meridiánkonvergencia figyelembevételével végeredményül megkaptuk a keresett középtájékozási szöget, melynek értéke  $98^\circ 37' 46.3''$ . A kapott eredmény meglepően magas egyezőséget mutat a hagyományos tájékozással meghatározott középtájékozási szöggel. A módszer ismert hibahatásai nagyobb hibára engednének következtetni, így vélhetően a kedvező hibahalmazódásnak köszönhető a mérés „pontossága”.

|                                                                  |                                        |               |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------|
| <b>Előzetes tájékozási szögek átlaga</b>                         | <b><math>Z^*(\text{átlag})=</math></b> | 98,- 38- 17,6 |
| <b>Szórás</b>                                                    | <b><math>s=</math></b>                 | 8"            |
| <b>Vetületi meridiánkonvergencia</b>                             | <b><math>\mu=</math></b>               | 31"           |
| <b>Középtájékozási szög</b>                                      | <b><math>Z_k=Z^*-\mu</math></b>        | 98,- 37- 46,3 |
| <b>Tájékozásból levezetett középtájékozási szög</b>              |                                        | 98-37-43      |
| <b>Az azimutból és tájékozásból levezetett szögek különbsége</b> |                                        | 3"            |

4. táblázat Eredmények kimutatása

Fontos megjegyeznünk, hogy egyrésről műszerünk a másodperc törtrészeit nem rögzíti, mely, mint 1.3.1.1.-ben láthattuk, az egyik legjelentősebb hibaforrások közé sorolható. Ezen felül, nekem, mint észlelőnek nem volt meg a kellő tapasztalatom a mérésnél. A 2. táblázatból látható, hogy  $\Delta''$  értéke maximum a  $14''$ -es értéket éri el, amely az adott körülmények között kifejezetten jó eredménynek minősül. Pontosabb statisztikai elemzést lehetne végezni, ha több különböző napon, reggeli és a délutáni órákban végzett mérésekkel rendelkezünk. Nekünk erre nem volt meg a lehetőségünk az eddigiek során. Érdeemes lenne ezen felül az eljárás hazai használhatóságát vizsgálni, az ország különböző pontjain mérve, azt vizsgálva, hogy a földrajzi koordináták változása milyen mértékben befolyásolja az eljárás pontosságát.

Összességében elmondható, hogy a módszer működőképesnek tűnik, de erről bizonyosságot egy átfogó pontossági vizsgálat eredményezhet csak.

## 6. Összefoglalás

Dolgozatomban Napra iránymérések alapján végeztem tájékozást. A módszer további részletes pontossági vizsgálatot igényel. A teszt mérés egyik hiányossága, hogy (ahogy az a 2-es számú táblázatban látható) a méréseket mindössze egy 20 perces intervallumban végeztük, helyi idő szerint 9:19-től 9:39-ig, amely már megközelíti az 1.3.1.1-ben említett veszélyes időkorlátot. A továbbiakban szükséges több mérést végezve, különböző helyeken, különböző napszakokban és eltérő körülmények között a vizsgálatot megismételni. Röviden szummázva, véleményem szerint a Napészlelésekből levezetett tájékozás egyszerűvé és praktikussá tehető, mely minimális odafigyeléssel és gyakorlattal a kisebb pontosságigényű munkáknál érvényességet szerezhet.

Tekintettel az emberi hibákra és az így elért pontosságra, nagy bizonyossággal kijelenthető, mint minden geodéziai mérés esetében, az automatizáltság lényeges javulást hozna az eljárásban. Az automatizáltságot jelen esetben, a mérési és a feldolgozási folyamatra is egyaránt értjük. Ezt egy nagy pontosságú, ATR-rel (Automatic Target Recognition) rendelkező műszerrel lehetne elérni, melynek megoldása jövőbeli fejlesztésnek tervbe van véve. Ennek keretében esztergáltattuk egy kötőelemet (17. ábra) a prizma, és a műszer objektívnyílásának az átmérőjében lévő különbség miatt, amely lehetővé teszi a prizma felcsatlakoztatását a Geoinformatikai kar, Leica TPS 1205-ös műszerére. A csatlakozó elem csak a közelmúltban készült el, így az említett műszerrel a méréseket még nem tudtuk elvégezni. A későbbi fejlesztésekben megkíséreljük (ha lehetséges) a Napot felismerő és automatikusan követő algoritmus programozását.



17. ábra Csatlakozó elem



18. ábra Csatlakozó elem és a prizma

## Köszönetnyilvánítás

Első sorban szeretném megköszönni konzulensemnek Dr. Földváry Lórántnak a rengeteg tanácsot, korrigálást és nem utolsó sorban a türelmet, amivel végigkísért a dolgozat készítése során. Ezen felül köszönöm külső konzulensemnek, Horváth Istvánnak, aki megismertette velem az eljárást és biztosította számomra a feladat elvégzéséhez nélkülözhetetlen eszközöket.

## Felhasznált irodalom

Bácsatyi László (2005): Magyarországi vetületek, egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatikai Kar

Biro Péter (2003): Csillagászati alapismeretek és földrajzi helymeghatározás, egyetemi jegyzet, Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar

Gyenes Róbert (2010): A helymeghatározás alapjai, egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatikai Kar

Hamilton, John (2003): Azimuth in control surveys; online szakkikk, pp. 16; internetes elérhetőség: <http://www.terrasurv.com/azimuths.pdf>

Hashimi, Sayed R (2005): Solar Observations Using Total Stations, Proceedings of the ACSM-CLSA-NALS-WFPS Conference, March 21 – 23, 2005, Las Vegas, NV.

Márkus Mihály (1980): Földrajzi helymeghatározás Roelofs-prizmával végzett Nap-észlelésekkel, diplomamunka, Budapesti Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar

Nixon, Philip (2011): Using sun observations to set an azimuth combining and comparing Automatic Target Recognition in a Total Station with GPS observed time and position, USQ Project beszámoló; internetes elérhetőség: <http://eprints.usq.edu.au/22622/>

Petit, Gerard és Luzum, Brian (2010): IERS Conventions, IERS Technical Note No. 36, pp. 179, internetes elérhetőség: <http://maia.usno.navy.mil/conv2010/tn36.pdf>

Tarsoly Péter (2010): Speciális geodéziai műszerek, egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatikai Kar; internetes elérhetőség: [http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027\\_GED13/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_GED13/adatok.html)

Tarsoly Péter (2010): Mérőállomások, egyetemi jegyzet, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Geomatikai Kar; internetes elérhetőség: [http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027\\_GED14/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0027_GED14/adatok.html)

### Internetes források:

[www.engineeringtraining.tpub.com](http://www.engineeringtraining.tpub.com)

[www.sunposition.info](http://www.sunposition.info)

[www.iers.org](http://www.iers.org)

[www.maia.usno.navy.mil](http://www.maia.usno.navy.mil)

[www.astronavigationdemystified.com](http://www.astronavigationdemystified.com)