



**TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT**

**A GNSS TECHNIKÁVAL MÉRT  
MAGASSÁGOK PONTOSSÁGÁNAK  
VIZSGÁLATA TERVEZÉSI  
ALAPTÉRKÉPEK KÉSZÍTÉSEKOR**

**Szerző:**

**Péter Tamás**

földmérő földrendező mérnök BSc.  
szak, V. évf.

**Konzulens:**

**Dr. Busics György**

egyetemi docens

**Székesfehérvár, 2014**

## Tartalom

|       |                                                                                                                  |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Bevezetés.....                                                                                                   | 3  |
| 2     | A tervezési alaptérkép célja, szerepe, készítésének technológiája.....                                           | 4  |
| 2.1   | A tervezési alaptérképekről általában .....                                                                      | 4  |
| 2.2   | A balatonkeresztúri munkaterület bemutatása .....                                                                | 5  |
| 3     | A GNSS.....                                                                                                      | 7  |
| 3.1   | A GNSS technológia rövid ismertetése .....                                                                       | 7  |
| 3.1.1 | Az alapelv .....                                                                                                 | 7  |
| 3.1.2 | A nyers mérési adatok és továbbításuk .....                                                                      | 7  |
| 3.1.3 | Abszolút és relatív helymeghatározás .....                                                                       | 8  |
| 3.1.4 | Valós idejű és utólagos feldolgozás .....                                                                        | 9  |
| 3.2   | A hálózatos RTK technológia.....                                                                                 | 9  |
| 3.2.1 | A technológia működési elve.....                                                                                 | 9  |
| 3.2.2 | A VITEL szoftver .....                                                                                           | 11 |
| 3.2.3 | Az RTCM VITEL .....                                                                                              | 11 |
| 3.2.4 | Hálózatos RTK-val alkalmazható koncepciók.....                                                                   | 12 |
| 3.2.5 | A GNSS-szel mért magasságok problémája.....                                                                      | 14 |
| 4     | A hálózati RTK-val mért magasságok pontosságának vizsgálata .....                                                | 15 |
| 4.1   | A vizsgálat célja .....                                                                                          | 15 |
| 4.2   | A tesztpont magassága szintezésből .....                                                                         | 15 |
| 4.3   | A GNSS mérések .....                                                                                             | 17 |
| 4.3.1 | A tesztpont magasságának meghatározása statikus mérésekből .....                                                 | 17 |
| 4.3.2 | Hálózatos RTK mérések végrehajtása különböző konfigurációs beállításokkal .....                                  | 22 |
| 4.4   | Különböző hálózati RTK módszerek tesztelése .....                                                                | 28 |
| 4.4.1 | 120 illetve 10 másodperces mérések összehasonlítása („C” jelölésű kiegyenlítés) .....                            | 28 |
| 4.4.2 | Két eltérő időpontban végzett mérések összehasonlítása („D” jelölésű kiegyenlítés)<br>30                         |    |
| 4.4.3 | A „B” jelölésű kiegyenlítés vizsgálata.....                                                                      | 32 |
| 4.4.4 | Különböző időpontban, de azonos koncepciókkal végzett mérések kiegyenlítése („A”<br>jelölésű kiegyenlítés) ..... | 33 |
| 5     | Összefoglalás és javaslatok optimális magasságmérési technológiára .....                                         | 36 |
| 6     | Irodalomjegyzék.....                                                                                             | 38 |

## **1 Bevezetés**

Napjainkban a tervezési alaptérképek készítésénél a GNSS technológia, annak is a hálózatos RTK módszere a leggyakrabban alkalmazott eljárás. A TDK dolgozat fő témája a geodéziai GNSS-vevővel végzett magasságmérés problémája, a kapott magassági értékek megbízhatóságának és felhasználhatóságának vizsgálata.

A mintaterület Balatonkeresztúr község, ahol a csapadékvízvezető-hálózat felújításához tervezési alaptérképre volt szükség. A tervezési alaptérkép elkészítéséhez a felmérési alappontok magasságának meghatározása hálózatos RTK módszerrel, valamint szintezéssel történt. A hálózatos RTK többféle koncepciója és konfigurációs beállítása alkalmazásával, a magasságmérésben elérhető pontosság vizsgálatára került sor. A dolgozat ezeknek a méréseknek az eredményét dolgozza fel, hasonlítja össze, valamint ad javaslatot az optimális technológia kiválasztására.

## **2 A tervezési alaptérkép célja, szerepe, készítésének technológiája**

Új építmények, szerelvények létrehozása vagy átépítése esetében a tervezők számára szükség van a leendő munkálatok helyszínét ábrázoló térképre, amelyet tervezési alaptérképnek hívunk. A térkép célja az, hogy vízszintes és magassági értelemben ábrázolja a terepen található objektumok elhelyezkedését. Az elkészítésére napjainkban többféle mérőeszköz is rendelkezésünkre áll: mérőállomás, geodéziai GNSS vevő, GNSS és mérőállomás kombinációja, lézerszkennerek illetve az ezen eszközökkel kialakítható technológiák.

Mivel a GNSS vevők használata napjainkban nagyon elterjedt széleskörű és egyszerű alkalmazhatóságuk miatt, ezért a TDK dolgozatban a GNSS vevővel végzett mérések magassági megbízhatóságának vizsgálatára vállalkoztam. A vizsgálat azért nem terjed ki a vízszintes koordináták megbízhatóságára is, mivel a geodéziai vevők segítségével olyan (centiméteres pontosságú, azaz 1-3 cm koordináta-középpontjában) koordinátákat kaphatunk, melyek a tervezési alaptérképek készítéséhez szükséges megbízhatóságot tervezői szempontból kielégítik. A magasság tekintetében azonban ezt nem jelenthetjük ki teljes bizonyossággal.

### **2.1 A tervezési alaptérképekről általában**

Azért van szükség tervezési alaptérképek készítésére, mert az ingatlanvilágtartási alaptérkép csak állami alapadat-tartalommal készülhet, ami azonban a tervezők számára nem tartalmaz elegendő információt, valamint a földhivatali térkép megbízhatósága sokszor nem megfelelő a tervezési alaptérkép készítéséhez.

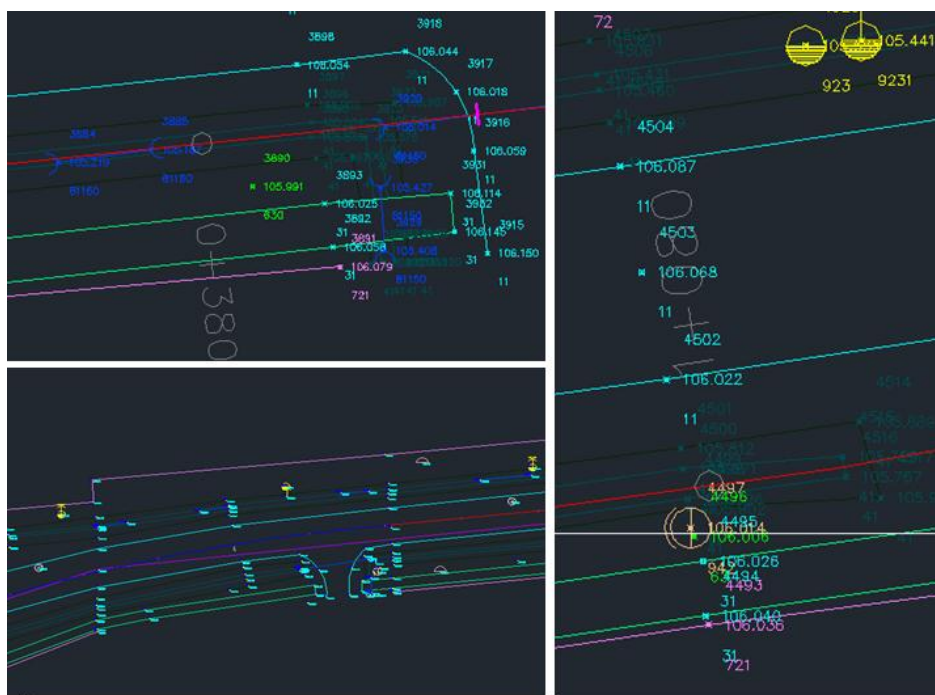
A tervezési alaptérképnek tartalmaznia kell – a tervezési igényeknek megfelelően – a tervezési területen és annak közvetlen környezetében lévő építményeket, tereptárgyakat, közműszerelvényeket (tűzcsapot, gázszaglót, telefonaknát, stb.), kerítést, burkolatot, szegélyt, támfalat, árkot és a növényzetet (fákat, fasorokat, bokrokat) is. Igény esetén a meglévő közműhálózat is rákerül a térképre, melynek rajzi munkarészeit a közműszolgáltatóktól szerezhethetjük be. Adott esetben, ha ezt a megrendelő kéri, vagy 10%-nál nagyobb lejtésű a terület, szükség lehet a terepfelszín szintvonalas ábrázolására is.

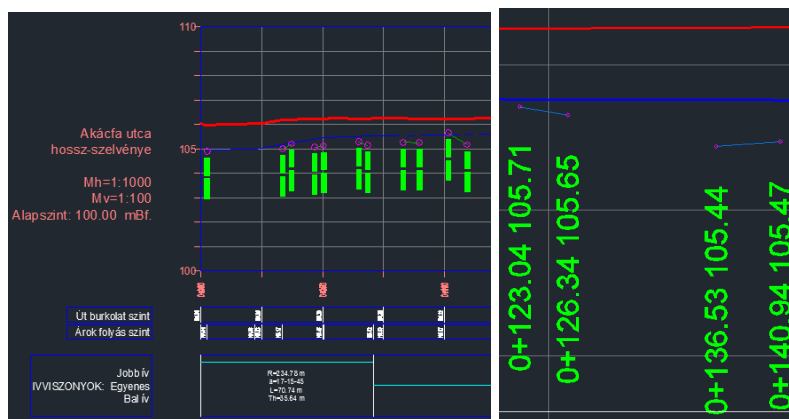
Vonalas létesítmények (csatornák, utak, stb.) építésénél a tervezési alaptérképekhez hossz- és keresztmetszelvényeket kell készíteni. A keresztmetszelvények sűrűségéről (távolságáról) mindig egyeztetni szükséges a tervezővel. Ezt már a felmérés során is figyelembe kell vennünk, és a megbeszélte távolságok alapján kell a keresztmetszelvények felmérését elvégezni.

A mérések feldolgozását ma már 3D-s térképszerkesztő programmal végezzük. Először egy helyszínrajzot készítünk a mért adatokból, amelyen folyamatos vonalakkal ábrázoljuk a vonalas létesítményeket és jelkulcsokkal a pontszerű objektumokat. Az elkészült munkarészeket nyomtatott és digitális formában is átadhatjuk, attól függően, hogy a megrendelő és a tervező hogyan kéri azokat.

## 2.2 A balatonkeresztúri munkaterület bemutatása

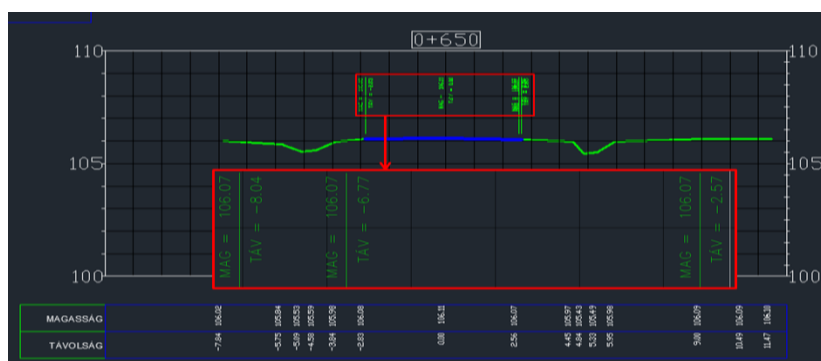
A dolgozatban végzett magassági vizsgálatot Balatonkeresztúr község területén végeztem. A község 2011-ben Európai Unió pályázaton nyert támogatást a csapadékvízvezető-hálózatának felújításához, melyhez tervezési alaptérképre volt szükség.





2.2. ábra. Hossz-szelvény (részlet)

A hossz-szelvények utcánként készültek, míg a kereszt-szelvények 50 méterenként. A mérések helyszínéül kiválasztott mintaterület egy nagyjából 700 méter hosszú utcaszakasz, melynek a lejtése minimális. Ez a hossz-szelvény-részleten is jól látszik. A kereszt-szelvényen közepén az útburkolat, szélein és tengelyében a magasságok feltüntetésével, valamint tőle jobbra és balra az árkok keresztmetszete látható.



2.3. ábra. Kereszt-szelvény

A projekt megvalósulásával a régi földárkok le lettek betonozva, kicserélték az átereszeket és felújították a kapubejárókat.



2.4. ábra. Egy régi és egy felújított árok

### 3 A GNSS

A globális műholdas navigációs rendszerek összefoglaló nevére sokáig a GPS szót használták. Bár az 1980-as évek végétől létezik az orosz GLONASS és amerikai GPS rendszer is, a gyakorlatban mégis csak az amerikai műholdrendszert használták egészen az új évezred elejéig. 2012-ben vált teljes kiépítésűvé a GLONASS rendszer is, és mivel további más navigációs rendszerek (az európai Galileo például) megvalósítása van folyamatban, ezért indokolt volt egy általános nevet illetve rövidítést bevezetni, mely a GNSS lett. A GNSS mozaikszó a *Global Navigational Satellite System*, vagyis globális navigációs műholdrendszer rövidítése. A GNSS rendszer a hely-, navigáció és a pontos időmeghatározás feladatát oldja meg műholdak segítségével, mely az úgynevezett NT-szolgáltatás (*Positioning, Navigation, Timing*).

#### 3.1 A GNSS technológia rövid ismertetése

##### 3.1.1 Az alapelv

A technológia alapja, hogy a műholdak pillanatnyi helyzete ismert egy adott vonatkoztatási rendszerben, mert a pályadataikat ismert helyzetű földi követő állomásokon meghatározzák. Ezeket nevezzük navigációs adatoknak, melyeket a műholdak sugároznak. Amikor méréseket végzünk a terepen, a GNSS vevőnk meghatározza a távolságát az észlelhető műholdaktól (kódösszehasonlítás és fázismérés alapján). A vevő pozíciójának a helyzete ekkor már számítható egy adott vonatkoztatási rendszerben, mert a műholdak pozíciói ismertek, és a vevőnkől való távolságukat meghatároztuk. Így tulajdonképpen egy térbeli ívhátrametszéssel határozzák meg a vevő ún. abszolút koordinátáit, melyhez legalább négy műholdról kell adatokat fogadnunk. Geometriai szempontból a térbeli koordináták meghatározásához elegendő lenne 3 ismert pont (ebben az esetben műhold) is, azonban a távolságok meghatározásához az időt is felhasználják azzal a feltételezéssel, hogy a műholdóra és a vevő-óra szinkronizált. A negyedik műholdra a műholdon és a vevőben található óra eltérése illetve annak kiküszöbölése miatt van szükség.

##### 3.1.2 A nyers mérési adatok és továbbításuk

A mai GNSS vevők a műhold és a vevő közötti távolság meghatározásához fázismérést alkalmaznak. Ennek lényege, hogy a műhold kibocsát egy vivőjelet, a vevő pedig ezt összehasonlítja az általa előállított referenciajellel és meghatározza a két jel közötti fáziskülönbséget. A fázismérés eredménye azonban csak a periódusok számának törtrészét tartalmazza, az egész részt számítással kell meghatározni. A vevők kódmerést is használnak a

bekapcsolásuk utáni a térbeli pozíciójuk közelítő meghatározásához és a későbbi feldolgozáshoz is. A kódérés pontossága alacsonyabb a fázismérésénél, azonban ezekhez a feladatokhoz elegendő.

A GNSS technológia hatékony alkalmazásához szükség van arra, hogy a mérések eredményét ne csak az alkalmazott műszer gyártójának a saját feldolgozó programjával tudjuk számítani, hanem egy olyan mérési fájl tudjunk belőle kiolvasni, amit több program is kezelni tud. A RINEX formátum definiálásával, szabványosításával (és folyamatos megújításával) a feldolgozáshoz gyártótól független mérési fájl hoztak létre. Ez egy egyszerű szöveges fájl, mely egy fejlécből és a nyers mérési adatokat tartalmazó listából áll. Az adatok elhelyezkedése szigorúan kötött, mert csak így biztosítható, hogy a különböző programok tudják, hol kell keresni a szükséges adatokat.

Az RTK adatok szabványosítása az RTCM formátummal valósult meg. Az RTCM valójában egy amerikai bizottságnak a neve (*Radio Technical Commission for Maritime Services*), amely tengerészeti rádiónavigációs szolgáltatásokat látott el. Az RTCM bizottság a technika fejlődésével a DGPS és RTK módszer korrekciós jeleinek az egységesítését is felvállalta. Az RTCM szabványok követik a GNSS technológia fejlődését, és egyre fontosabb a szerepük a valós idejű technológiák bevezetésében, alkalmazásában. A [www.gnssnet.hu](http://www.gnssnet.hu) weboldalról, illetve a központi szerverről (NTRIP) ilyen RTCM formátumban továbbítják az adatokat interneten keresztül.

A hálózatos RTK mérésekhez szükséges referencia-adatokat és korrekciós adatokat az *NTRIP* (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) szerver szolgáltatja. Az NTRIP mozaikszó az internet és a RTCM összekapcsolásával jött létre, mivel az internet bizonyult a leghatékonyabb adatátviteli módszernek. A korrekciós adatokat a vevő mobilinternetes kapcsolaton keresztül töltheti le a szerverről.

### 3.1.3 Abszolút és relatív helymeghatározás

Abszolút helymeghatározásról (*Single Point Positioning*) akkor beszélünk, ha csak egyetlen vevővel végzett, kódérésből származó eredményeket használunk. Ennek megbízhatósága a geodéziai pontosságot nem éri el, ezért szükség van arra, hogy egyidőben (szinkronban), egyszerre több vevővel mérjünk, és azt együttesen dolgozzuk fel. Ha az új pontok helyzetét egy vagy több adott ponthoz viszonyítva adjuk meg, akkor relatív helymeghatározásról beszélünk. Ekkor két lehetőségünk van az új pont meghatározására. Vagy meghatározzuk a két vevő közötti vektor összetevőit vagy az ismert helyzetű ponton mérő vevő adataiból

számítjuk a korrekciókat, melyeket figyelembe veszünk az új pont koordinátájának meghatározásakor.

### 3.1.4 Valós idejű és utólagos feldolgozás

Akkor beszélünk valós idejű (*real-time*) feldolgozásról, ha a két vevő adatát a méréssel egyidőben dolgozzuk fel, vagyis a vektor-számítást a terepen végzi el a szoftver és akár a pontok helyi rendszerbe transzformált koordinátáit is tároljuk. Ez nem volt mindig elérhető, mivel ennek feltétele, hogy a referenciaállomások adatai azonnal továbbításra kerüljenek a vevőhöz. Manapság valós idejű feldolgozást a hálózatos RTK módszer alkalmazásakor használunk, ahol az NTRIP szerverhez mobilinterneten keresztül csatlakozva kaphatjuk meg a referenciavevők aktuális pozíciójára vonatkozó korrekciós adatokat. Utólagos feldolgozás esetén, a terepen csak méréseket végzünk, majd azok kiértékelését (a korrekciók számítását) az irodában végezzük el. Korábban csak ez a módszer állt rendelkezésre. Manapság a valós idejű adatfeldolgozást lehetővé tevő RTK módszerek a legelterjedtebbek, melyek bár kisebb megbízhatóságú, de sokkal gyorsabb adatrögzítést tesznek lehetővé. Az utófeldolgozós módszert statikus mérés esetén használjuk, ha nagy pontossággal kell meghatároznunk a pont koordinátáit.

## 3.2 A hálózatos RTK technológia

Ebben a pontban bemutatom, milyen koncepciók állnak rendelkezésre a hálózatos RTK módszer alkalmazása esetén, hogyan lehetséges terepen a mért adatok egyből EOVS koordinátákkal EOMA magasságokkal történő rögzítése, valamint összefoglalom a mérési koncepciók működési elvét.

### 3.2.1 A technológia működési elve

Sok szó esett már a hálózatos RTK technológiáról, ezért most nézzük meg részletesebben ennek működési elvét.

*„A hálózatos RTK egy nagyobb földrajzi térségben összehangoltan működő permanens GNSS-állomásokat jelent, amelyek adatait feldolgozó központ gyűjti és elemzi abból a célból, hogy a méréseket befolyásoló tényezőket modellezze, és szolgáltatásai révén lehetővé tegye a térségben tevékenykedő felhasználók igényeinek kielégítését a nagy pontosságú, megbízható és hatékony valós idejű helymeghatározás érdekében.” (Busics, 2011)*

A meghatározás szerint a bázisállomásoknak a nap 24 órájában üzemelniük kell, és garantálniuk kell a megbízható adatszolgáltatást a mért adatok folyamatos ellenőrzésével.

Szükség van egy feldolgozó központra, ami a valós idejű adatokat szolgáltatja a felhasználóknak.

Tisztázzunk néhány alapfogalmat, melyek elengedhetetlenek a technológia működésének megértéséhez. Ezeket a hatályos 15/2013. (III. 11.) VM rendelet a következőképpen írja le:

*„permanens állomás: ismert alapponton folyamatosan észlelő GNSS vevőberendezés;*

*referencia állomás: hitelesített és minőségbiztosítással ellátott, az aktív GNSS hálózat részét képező permanens állomás;*

*ciklus-többértelműség: a GNSS vevő és a műhold közötti távolságra eső vivőhullám egész ciklusai számának bizonytalansága.”*

Azáltal, hogy a referenciavevők ismert helyzetű pontokon folyamatosan végeznek méréseket az állomások közötti ciklustöbbértelműség, a műhold pályahibák és a légköri hibahatások számíthatók. Ezekből korrekciókat számítva továbbítja a központ ezt a felhasználóknak. Az egyes permanens állomásokról a központba beérkező adatok feldolgozásának a folyamata három fő részre osztható:

1. Az adatok valós idejű előfeldolgozása a központban
2. A korrekciós modell paramétereinek számítás
3. Referencia-adatok és modellparaméterek meghatározása

Az első lépésnél a legfontosabb dolog a ciklus-többértelműség feloldása, mely nélkül nem lenne folytatható a számítás. A második pontban foglaltaknak a célja az, hogy a GNSS hálózat által lefedett területen megbecsülje a hibaforrásokat. Erre többféle modellező és interpolációs eljárás létezik. Ha már előállítottuk a korrekciós adatokat, akkor azokból csak azokat kell eljuttatni az egyes felhasználókhoz, amelyek számukra lényegesek, vagyis csak a földrajzi környezetükre érvényeseket. A harmadik lépésben ezen adatok kiválasztása történik.

A hálózatos RTK számos előnnyel rendelkezik a hagyományos RTK-val szemben. Az előbb említett hibahatások valós időben modellezhetők, sőt előre is jelezhetők, mely akkor sem hiúsul meg, ha netán egy vagy több állomás meghibásodik. Növelhető a bázisállomások közötti távolság anélkül, hogy a pontosság csökkenne. Ezeknek az előnyöknek köszönhetően egy vevővel is végezhetünk centiméteres pontosságú GNSS méréseket. A technológia hátránya, hogy az infrastruktúra minden elemének folyamatosan és hibátlanul kell működnie.

### 3.2.2 A VITEL szoftver

A VITEL egy Valós Idejű GNSS helymeghatározásnál használatos Terepi transzformációs ELjárás, melyet a FÖMI fejlesztett ki. Használata nem ingyenes. A program segítségével végezhető el terepen a GNSS mérések EOVS rendszerbe történő transzformációja. A transzformációt a következő elv szerint hajtja végre.

A GNSS mérésből származó WGS84 rendszerbeli X, Y, Z térbeli derékszögű koordinátákat térbeli hasonlósági modell alapján és országos paraméterekkel átszámolja a helyi ellipszoidra (GRS67) vonatkozó X, Y, Z koordinátákká. Ezután a térbeli derékszögű koordinátákat átalakítja ellipszoidi földrajzi koordinátákká és magasságokká ( $\varphi, \lambda, h$ ), majd a vetületi egyenletek segítségével síkkoordinátákat és Balti magasságot ( $y', x', M'$ ) számol a program. Ezeket az EOVS koordinátákat azután meg kell javítani az országos és lokális transzformációval kapható eredmények különbségével ( $dy, dx, dM$ ). Ezeket a javítási értékeket, más néven maradék hibáknak hívjuk, és a következőképpen számítja a program.

Az ország területét először 5x5, majd később ezt tovább finomítva 2x2 kilométeres rácshálóra felosztották az EOVS rendszerben. Ezeket a pontokat átszámították országos paraméterekkel ETRS89 rendszerbe, majd visszaszámították az EHT szoftverrel EOVS rendszerbe. Az EHT szoftverről tudni kell, hogy keresősugaras megoldással egy lokális transzformációt hajt végre. Ennek köszönhetően nem ugyanazokat a koordinátákat és magasságokat kapták vissza. A két eredmény eltérése az országos és lokális transzformációval kapható különbség az aktuális rácspontban (ezek az említett  $dy, dx, dM$  értékek). A megfelelő értéket hozzárendelték minden rácsponthoz és egy adatbázisba foglalták. A szoftver ezeket fogja az előzetes koordinátákhoz mint javítást felhasználni.

Ha a VITEL programot telepítjük a GNSS készülékünkre, akkor a mért pontjainkat hálózatos RTK módszer alkalmazásával egyből EOVS koordinátákkal és EOMA magasságokkal rögzíthetjük.

### 3.2.3 Az RTCM VITEL

Igény mutatkozott a központi GNSS szolgáltatások továbbfejlesztésére, mely szerint a központ ne csak a korrekciókat szolgáltatassa, hanem a transzformációt is. Így 2010-ben létrejött az RTCM VITEL, mely a következőképpen működik.

A vevő beküldi közelítő pozícióját a központba WGS84 geocentrikus koordinátákkal. Ezután a központi szerver (NTRIP) számítja a transzformációs maradék hibákat a VITEL-nél leírt

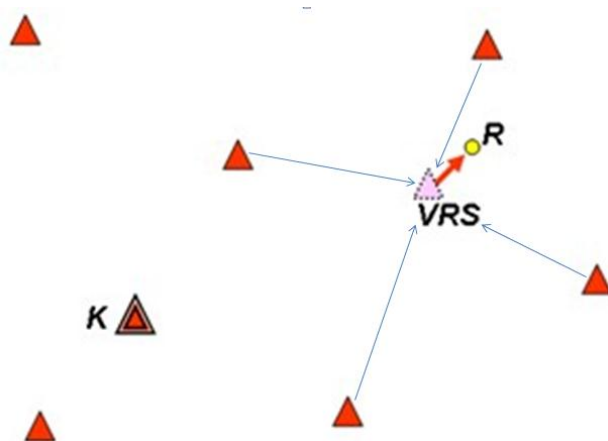
módon. A maradék hibák mellett számításra kerülnek a korrekciók is, majd ezeket az értékeket összevonva hozzárendeli a WGS84 koordinátákhoz és visszaküldi a vevőnek. Így a felhasználó „javított” WGS84 rendszerbeli koordinátát kap, melyet országos paraméterekkel átszámíthat EOVS rendszerbe. Ennek előnye, hogy a felhasználói oldalon csak egy transzformációs számítást kell végezni.

### 3.2.4 Hálózatos RTK-val alkalmazható koncepciók

Az eddigi gyakorlatban 3 elméleti elgondolást sikerült a gyakorlatban is megvalósítani. Ezek a MAC, VRS és FKP koncepciók. Ezek közül az első kettő a legelterjedtebb, valamint a tesztméréseimet is csak ezekkel végeztem, ezért csak ezeket részletezem részletesen.

#### 3.2.4.1 A VRS koncepció

Az elnevezés a *Virtual Reference Station* angol megnevezésből származik, amelyet Lambert Wanninger dolgozott ki 1997-ben. A működési elv szerint a VRS olyan, mint egy közelben lévő referenciaállomás, melyekre a környező referencia-állomásokról határozzák meg a korrekciós értékeket.



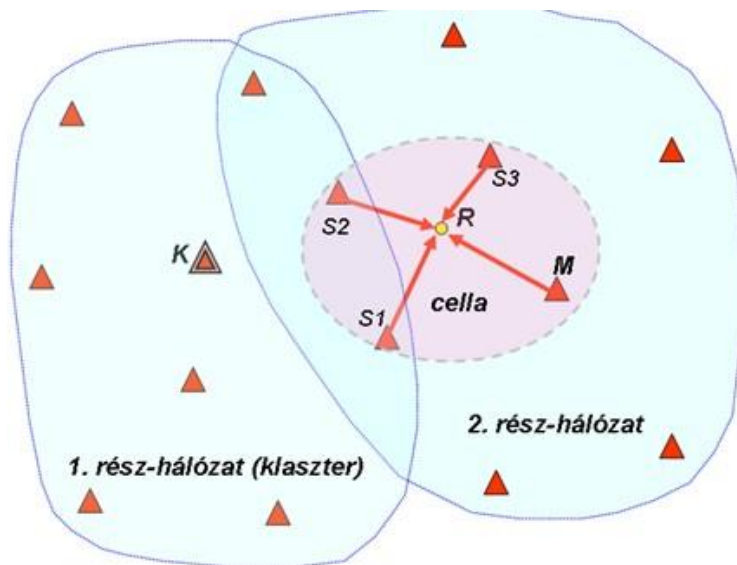
3.1. ábra. A VRS koncepció működési elve (Forrás: *Basics Gy* (2011): *Műholdas helymeghatározás 5.*)

A mozgó vevő elküldi a központnak a közelítő földrajzi koordinátáit, majd az, erre a pontra korrekciókat számít, és visszaküldi a vevőnek. A kezdeti elgondolás szerint a korrekciók mindig a vevő kezdeti pozíciójára vonatkoznak, így, ha a vevő több km-re eltávolodott ettől a ponttól, akkor nem elhanyagolható hibák léphetnek fel. Azonban az se előnyös, ha a referenciaponthoz a vevő túl közel kerül, mert az nem tudja megkülönböztetni, hogy az mesterséges vagy valódi állomásról kapja a korrekciókat, ezért előfordulhat ilyen esetben, hogy a vevő átvált egyfrekvenciás mérésre, ami szintén hibákkal járhat. Ezt a problémát a legtöbb szoftvernél sikerült úgy küszöbölni ki, hogy a virtuális referenciapontot eleve pár kilométerrel eltolják a vevő kezdeti pozíciójától. Ennek alkalmazásánál eldönthetjük, hogy 2

vagy 4 kilométer legyen a referenciátávolság. Ezt az eljárást PRS-módnak (*Pseudo Reference Station*) nevezzük és a német Geo++ cég dolgozta ki. Ha a korrekciók egy előre meghatározott négyzetrács háló sarokpontjaira vannak generálva, melyből a vevő a hozzá legközelebbihez csatlakozik, akkor beszélünk VRS-módról.

### 3.2.4.2 MAC koncepció

A MAC (*Master Auxiliary Concept*) koncepciót a Leica cég fejlesztette ki. Célja, hogy csökkentse az adatméretet, de mégis minden adat (nyers mérési eredmény és korrekció) rendelkezésre álljon. Ahhoz, hogy megértsük, hogyan tudják az adatok méretét csökkenteni, meg kell ismerkednünk két fogalommal, a főállomással és a segédállomással. A hálózathoz a MAC koncepció csak néhány referenciaállomást von be a számításba, melyek közül egyet főállomásnak kiválaszt. A felhasználó teljes terjedelemben csak ennek az állomásnak a nyers mérési adatit kapja meg, míg a többi segédállomás adatait a főállomáshoz viszonyított korrekció-különbségként. A felhasználó ezekből a különbségekből már elő tudja állítani a segédállomások nyers méréseit. Ezáltal lehetőség nyílik a felhasználói oldalon hálózatkiegyenlítést, vagy egyedi modellezést végezni.

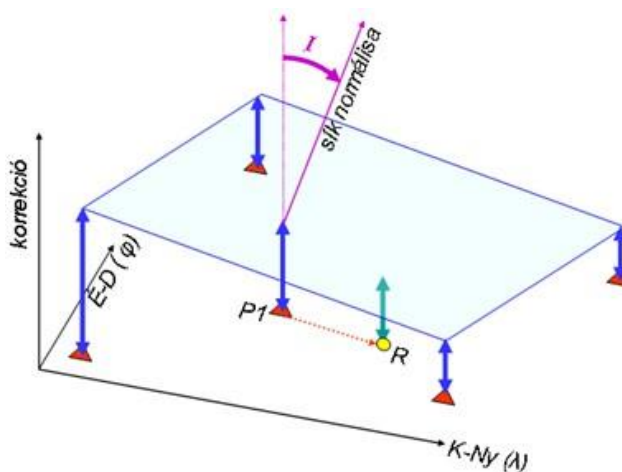


3.2. ábra. A MAC koncepció hálózat felépítése (Forrás: Busics Gy (2011): *Műholdas helymeghatározás 5.*)

A MAC koncepcióban a teljes hálózatot klaszterekre és cellákra osztják. A klaszter egy olyan része a teljes hálózatnak, amelyben a ciklustöbbsértelműség-értékek azonosak. Ezáltal a szomszédos klasztereknek vannak közös pontjaik. A cella a klaszternek egy részhalmaza, melyet a mozgó vevő felhasznál a helymeghatározásra. A központ állítja elő a rovernek legmegfelelőbb cellát és jelöli ki benne a főállomást és a segédállomásokat.

### 3.2.4.3 FKP koncepció

Szintén német eredetű koncepció, mely a *Flächen-Korrektur-Parameter* rövidítése. Ez esetben a központ az egyes permanens állomásokhoz határoz meg korrekciós paramétereket, melyekre, egy vízszintes közelítő síkot illesztnek. A paramétereket a sík dőlése, É-D-i, illetve K-Ny-i irányú összetevői adják.



3.3. ábra. FKP koncepció elvének szimbolikus ábrázolása (Forrás: Dr Busics Gy (2011): *Műholdas helymeghatározás 5.*)

### 3.2.5 A GNSS-szel mért magasságok problémája

Tegyük fel, hogy a GNSS-szel végzett magasságméréseink hibátlanok, vagy azokat durva hibák nem terhelik, azonban ezeket áttanszformálva a helyi magassági rendszerbe mégsem fogunk hibátlan eredményeket kapni, mert a pontjainkat transzformációs hiba fogja terhelni. Ennek oka, hogy az átszámításhoz leggyakrabban használt EHT és VITEL szoftverek transzformációs közös pontjaik az OGPSH-n alapszanak. A probléma ezzel az, hogy az OGPSH pontok kétharmadának Balti magassága nem szintezésből származik, hanem ellipszoidi magasságokból transzformációval lettek előállítva. Emellett probléma az is, hogy a pontok egy részének magasságát Bendefy-hálózatból, másik részét EOMA-ból vezették le. Ezen okok miatt a VITEL2009 verzióval végzett transzformáció több centiméteres magassági hibát vihet az átszámításba. Ennek a problémának a megoldására készül egy új verziója a VITEL programnak, melyben pontosították a közös pontok alapadatait, így azzal a korábbi verzióhoz képest jobb eredményeket kaphatunk.

## **4 A hálózati RTK-val mért magasságok pontosságának vizsgálata**

A 3-as fejezetben bemutattam a GNSS rendszereket, azok működési elvét, valamint gyakorlati felhasználhatóságukat. Ebben a fejezetben, mely a dolgozat fő témája is egyben, a GNSS-szel végzett magasságmérés megbízhatóságát fogom megvizsgálni. Ezt különböző időpontokban végzett mérésekkel és mérési konfigurációkkal végzett tesztméréseken keresztül mutatom be. A vizsgálat azért nem terjed ki a vízszintes koordináták megbízhatóságára is, mivel geodéziai vevők segítségével olyan pontosságú koordinátákat kaphatunk, melyek a tervezési alaptérképek készítéséhez szükséges pontosságot kielégítik. A magasság tekintetében azonban ezt nem jelenthetjük ki teljes bizonyossággal az előző fejezetben ismertetett okok miatt.

### **4.1 A vizsgálat célja**

A GNSS készülékek használata egyszerű és könnyen elsajátítható. Ha geodéziai pontosságú GNSS vevővel rendelkezünk, a pontok rögzítését már kint a terepen abban a koordináta-rendszerben elvégezhetjük, melyben szeretnénk megkapni az eredményeket. Azt a kérdést azonban, hogy ezeknek a pontoknak a koordinátáit milyen mérési konfigurációval, valamint milyen hosszú rögzítési idővel határozzuk meg, már a mi feladatunk eldönteni. Ehhez elengedhetetlen megbeszélni a megrendelővel, hogy mihez szeretné a mérés eredményét felhasználni és milyen pontosságú adatokra van szüksége. Ezek ismeretében választjuk ki a mérés technológiáját. A napjainkban széles körben elterjedt hálózati RTK módszer többféle mérési módszer, mérési konfiguráció alkalmazhatóságát teszi lehetővé. A vizsgálat célja, a különböző módszerek és konfigurációk közötti eltérés kimutatása és az optimálisnak vélt technológia kiválasztása.

### **4.2 A tesztpont magassága szintezésből**

A vizsgálatok elvégzésére a balatonkeresztúri munkaterületen található alappontok egy részét használtam fel. Mivel a mérések magassági megbízhatóságára vagyok kíváncsi, ezért az alappontok Balti magasságát szintezéssel meghatároztam, melyhez a Leica Sprinter 100 m típusú digitális leolvasású szintezőműszert használtam. Az ötödrendű vonalszintezést a munkaterületen található két EOMA alappont (0405127-1 és 0405128-1) között hajtottuk végre.



4.1. ábra. Ötödrendű vonalszitezés vázlata

A műszerben a mérés megkezdése előtt megadtam a kezdő magassági alappont EOMA magasságát, ebből számította a mért pontok magasságát, de a mérést terhelő hibákból adódó záróhibát nem tudja a pontokra ráosztani, ezért az adatok kiolvasása után a mérést még ki kell egyenlíteni. Az alappontok szennyvízakna fedlapok, melyek magasságát köztes pontként mértem meg. Így a szintezés feldolgozása két részre osztható. Először kiszámoltam a kötőpontok végleges magasságát, majd a felmérési alappontok (mint magassági részletpontok) magasságát egyesével az egyes kötőpontokról határoztam meg.

4.1. táblázat. Vonalszintezés számítása

| Pontszám         | t<br>(hm) | Mért<br>magasságkülönbség | Javított<br>magasságkülönbség | Balti<br>magasság |
|------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|
| <b>0405127-1</b> |           |                           |                               | <b>106.221</b>    |
| 11               | 0.5       | -0.304                    | -0.304                        | 105.917           |
| 12               | 1.0       | 0.046                     | 0.046                         | 105.963           |
| 13               | 1.4       | 0.090                     | 0.089                         | 106.052           |
| 14               | 1.3       | 0.009                     | 0.009                         | 106.061           |
| 15               | 1.3       | 0.010                     | 0.010                         | 106.071           |
| 16               | 1.4       | 0.140                     | 0.140                         | 106.211           |
| 17               | 1.4       | 0.071                     | 0.071                         | 106.282           |
| <b>0405128-1</b> | 1.0       | -0.329                    | -0.329                        | <b>105.953</b>    |
| Σ=               | 9.3       | -0.267                    | -0.268                        |                   |
| (Δ) [mm]         |           |                           |                               | 0.015             |
|                  | VAN       | -0.267                    | KELL                          | -0.268            |
|                  |           |                           | (K)-(V)                       | -0.001            |

4.2. táblázat. Az egyes kötőpontokról számított  
felmérési alappontok Balti magassága

| Pontszám | Balti magasság |
|----------|----------------|
| 512      | 106.020        |
| 513      | 106.170        |
| 514      | 106.143        |
| 515      | 106.015        |
| 516      | 106.034        |
| 517      | 105.966        |

### 4.3 A GNSS mérések

A GNSS mérések során szintén a Leica cég System 1200 típusú kétfrekvenciás GNSS vevőkészülékét használtam. A hálózatos RTK magasságának vizsgálatához különböző koncepciókkal és rögzítési időkkal felmértem az összes alappontot. Azonban ebből a mérésből nem lehetett konkrét következtetéseket levonni, ezért újragondoltam a mérési módszereket és a vizsgálati pontok számát lecsökkentettem egyre. Az új stratégia szerint különböző időpontokban végeztem méréseket, többféle mérési koncepcióval, úgy hogy az egyes mérési koncepciók között nem mozdítottam el a vevőt a pontról, annak érdekében, hogy a pontraállítás hibája minél kevésbé befolyásolja az eredményeket. A mérések viszonyítási alapját nemcsak a szintezett magasságokra szerettem volna helyezni, hanem egy GNSS mérésre is, hogy a transzformációs hibáktól mentesen, csak a GNSS rendszer megbízhatóságát is vizsgálhassam.

#### 4.3.1 A tesztpont magasságának meghatározása statikus mérésből

Két, egy óránál hosszabb időtartamú statikus mérést végeztem két különböző időpontban a kiválasztott 513-as tesztponton, hogy a hálózatos RTK méréseket ehhez viszonyíthassam. A mérésekre két napon került sor, mely során először 2 órán keresztül, második esetben 1 órán át történt az adatok rögzítése GPS és GLONASS holdakra egyaránt. A pontraállítás mozdulatlanságának biztosítása érdekében egy háromlábú vasállvány segítségével helyeztem a műszert a pont fölé.



4.2. ábra. Az alapponton történő pontraállítás

#### 4.3.1.1 A mérések feldolgozása

A mért adatok kiértékeléséhez a Leica Geo Office (LGO) programot használtam.

##### Adatok letöltése

A feldolgozáshoz az adatokat a [www.gnssnet.hu](http://www.gnssnet.hu) honlapról töltöttem le RINEX formátumban.

A környező permanens állomások közül Tapolca, Zalaegerszeg, Nagykanizsa, Siófok és Kaposvár adatait használtam fel, melyek közül csak a tapolcai állomás található 30 kilométeres távolságon belül, ezért – jobb eredményre számítva – a tesztpont körül 2-4 kilométerre elhelyezkedő virtuális pontokról is töltöttem le adatot.



4.3. ábra. A permanensállomások és az 513-as tesztpont. Az állomások körüli legnagyobb koncentrikus kör sugara 30 km.

## Adatok importálása

Az LGO programban létrehoztam egy új projektet, melybe beolvastam a mérési intervallumot lefedő referencia adatokat és a mérési eredményeket. Az utóbbit a műszer a benne található CF kártya DBX könyvtárában tárolja a munkaterület nevével.

A beolvasáskor a program ellenőrzi, hogy felismeri-e a permanens állomásokon található vevőantenna típusát. Hogy az ismeretlen antennatípusok ne okozzanak hibákat a számításban, az IGS (*International GNSS Service*) által az összes antennatípusra külön L1 és L2 frekvencián meghatározott fáziscentrum értékeket tartalmazó fájlt betöltöttem a projektbe.

## Vektorok számítása

Az adatok importálása után számításra kerültek az ismert pontokról a mért (meghatározandó) pontokra menő vektorok. Ehhez, meg adtam, hogy mik az adott (*Reference*) és meghatározandó (*Rover*) pontok. A letöltött permanens állomások és virtuális pontok a referenciák, az rögzített pontok pedig a meghatározandó pont.

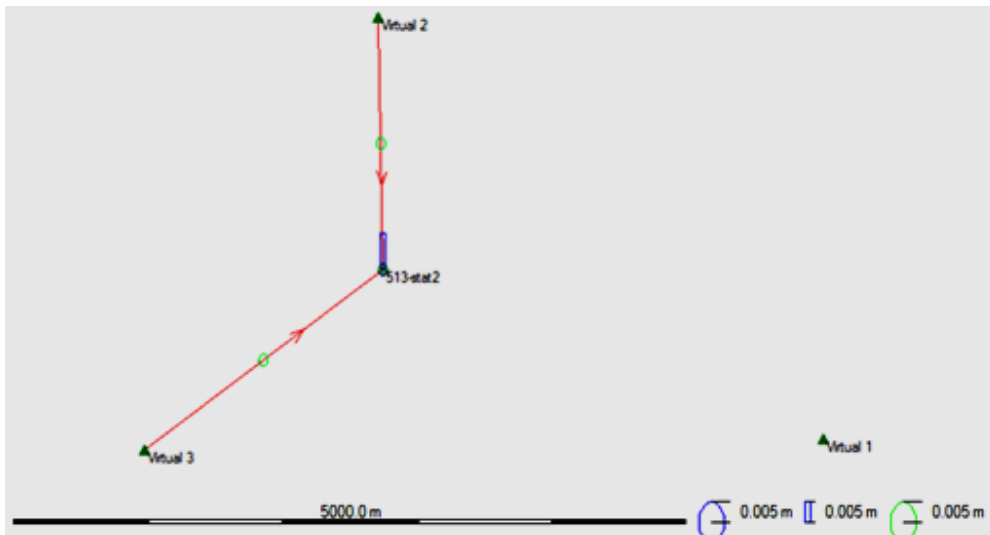
| Point Id  | Start               | Duration   | GNSS Type   | Height Read... | Antenna Type    | 12:15 | 12:30 | 12:45 | 13:00 |
|-----------|---------------------|------------|-------------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| KAPO      | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | LEIAT504GG LEIS |       |       |       |       |
| Virtual 3 | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | ADVNULLANTENNA  |       |       |       |       |
| Virtual 2 | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | ADVNULLANTENNA  |       |       |       |       |
| SIOF      | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | LEIAT504GG LEIS |       |       |       |       |
| NIZS      | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | LEIAT504GG LEIS |       |       |       |       |
| Virtual 1 | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | ADVNULLANTENNA  |       |       |       |       |
| TPOL      | 10/18/2014 12:10:44 | 1h 01' ... | GPS/GLONASS | 0.0000         | LEIAR25.R3 LEIT |       |       |       |       |
| 513-stat2 | 10/18/2014 12:11:18 | 1h 00' ... | GPS/GLONASS | 2.0000         | ATX1230 GG Pole |       |       |       |       |

4.4. ábra. Zölddel a rovernek (meghatározandó pontnak) kijelölt pont, pirossal pedig a referencia-állomások láthatók.

Ezután elvégeztem a vektorok számítását csak GPS, GPS és GLONASS holdakat, illetve számított ionoszférikus és troposzférikus modellt használva.

## Kiegyenlítés

A vektorok számítása után az *Adjustment* fülre áttérve, már láthatjuk a kiszámított vektorokat. Mivel a tesztpont koordinátáit több mért pontról határoztam meg, elvégeztem a vektorhálózat kiegyenlítését. Előtte azonban az LGO szoftverben a referenciapontokat adott (*Control*) ponttá állítottam, hogy azok a kiegyenlítésben ne kapjanak javítást.



4.5. ábra. Vektorhálózat kiegyenlítése

A 4.5. ábrán látható 513-stat2 nevű pontot ebben az esetben 3 virtuális pontról próbáltam meghatározni azonban a Virtual 1 nevű pontról a program nem tudtam elvégezni a meghatározást, ezért nem látható ott vektor. A zöld ellipszisek a vektorok relatív megbízhatóságát, a kék ellipszis a pont abszolút hibaellipszisé, az oszlopvektor a magassági középhibát szimbolizálja.

A két statikus méréssel különböző kiegyenlítéseket hajtottam végre, hogy a kapott eredményekből vizsgálhassam, hogy az egyes tényezők mennyire befolyásolják a kiegyenlítés végeredményét. A különböző kiegyenlítéseket az adta, hogy mely pontok voltak a referenciák, például csak a permanens vagy csak a virtuális állomások, vagy, hogy csak GPS vagy GPS és GLONASS holdakat is felhasználtam a vektorok számításához

### Adatok exportálása

Az adatok exportálásához a Hungary2009 (VITEL) transzformációt használtam, mellyel kimentettem a kiegyenlített pontok koordinátáit és EOMA magasságát, valamint a kiegyenlítés középhibáit is, hogy ezt az adatok összehasonlításánál figyelembe vehessük.

#### 4.3.1.2 A statikus mérésekből kapott magasságok elemzése

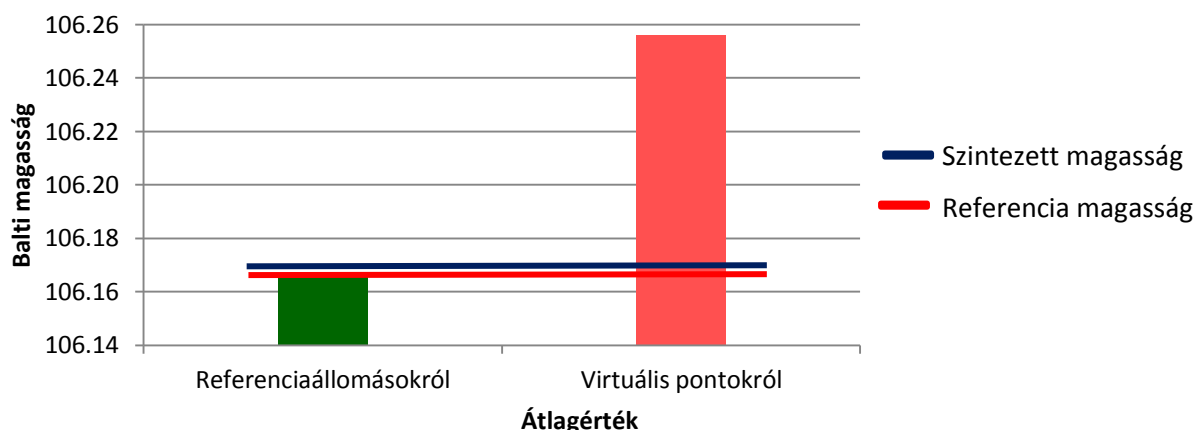
Ebben a pontban a statikus mérések eredményeit mutatom be. A 4.3. táblázat, hasonlóan az összes többihez, a Balti magasságokat méterben, a középhibákat és az összehasonlítási értékeket centiméterben tartalmazza. A kiegyenlítés módja oszlopban látható, hogy az egyes magasságok milyen módszerrel lettek meghatározva. Például az első sorban látható az első és második statikus mérés eredményeinek 5 referenciaállomásról történő kiegyenlítése, csak GPS holdakat felhasználva. A középhibák ebben az esetben a kiegyenlítés középhibái. A

referencia magasságot (106.167 m) az első és második mérési eredmények kiegyenlítésével, 5 referencia állomás, GPS és GLONASS holdak felhasználásával határoztam meg, melyet a további összehasonlításoknál a mérések viszonyítási alapjaként fogadtam el.

4.3. táblázat. A statikus mérések

| Kiegyenlítés módja                                                 | Kiegyenlített magasság [m] | Középhiba [cm] | Eltérés [cm]<br>referencia magasság:<br><b>106.167</b> | Eltérés [cm]<br>szintezett magasság:<br><b>106.170</b> |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. és 2. mérés kiegyenlítve 5 ref. állomásról, GPS holdakkal       | 106.163                    | 1.0            | 0.4                                                    | 0.7                                                    |
| 1. mérés kiegyenlítve 5 ref. állomásról, GPS és GLONASS holdakkal  | 106.172                    | 1.2            | -0.5                                                   | -0.2                                                   |
| 1. mérés kiegyenlítve 4 ref. állomásról, GPS holdakkal             | 106.163                    | 1.5            | 0.4                                                    | 0.7                                                    |
| 1. mérés kiegyenlítve 5 virt. állomásról, GPS és GLONASS holdakkal | 106.289                    | 1.4            | -12.2                                                  | -11.9                                                  |
| 1. mérés kiegyenlítve 5 virt. állomásról, GPS holdakkal            | 106.226                    | 1.3            | -5.9                                                   | -5.6                                                   |
| 2. mérés kiegyenlítve 4 ref. állomásról, GPS holdakkal             | 106.166                    | 1.4            | 0.1                                                    | 0.4                                                    |
| 2. mérés kiegyenlítve 2 virt. állomásról, GPS és GLONASS holdakkal | 106.253                    | 1.0            | -8.6                                                   | -8.3                                                   |

Zöld színnel láthatóak a permanens állomásokról meghatározott vektorokkal, piros színnel pedig a virtuális állomásokról kapott magasságok. Jól látszik, hogy a virtuális állomásokról kapott magassági eredményeknek nagy a szórásuk, és a szintezett magasságtól való eltérésük is jóval nagyobb, mint a referenciaállomásokról kapott eredményeké. Ezért sem vettem bele a referencia-magasság meghatározásába ezeket az értékeket. A referenciaállomásokról kapott magasságok azonban nagyon jól illeszkednek a szintezett magassághoz, és nincs közöttük nagy eltérés sem. Ennek ellenére még lehetne több centiméteres eltérés a GNSS technológiával meghatározott magasság és a szintezett magasság között a transzformációs hiba miatt. Azonban ez egy helyfüggő hiba, mely a tesztpont területén szerencsés módon nem jelentkezik.



4.1. diagram. A referenciaállomásokról és virtuális pontokról kapott magasságok átlagértéke

A diagramban a referenciaállomásokról és a virtuális pontokról kapott magassági értékek átlaga látszik, mely mutatja, hogy a virtuális pontokról kapott magasságok átlaga is még mennyire eltér a referencia (piros vonal)- és szintezett magasságtól (kék vonal).

#### 4.3.2 Hálózatos RTK mérések végrehajtása különböző konfigurációs beállításokkal

Ebben az alfejezetben a hálózatos RTK mérés végrehajtásáról, az ahhoz felhasznált konfigurációkról lesz szó. Ezenkívül a tesztmérés eredményeinek összehasonlítási szempontjait is ismertetem a 4.4-es fejezet (Különböző hálózati RTK módszerek tesztelése) könnyebb érthetősége végett.

##### 4.3.2.1 A felhasznált konfigurációk (streamek)

A terepen használni kívánt mérési konfigurációkat az irodai előkészítések során célszerű beállítani, valamint egy próbamérést végezve kipróbálni, hogy megfelelő-e a működésük. Konfigurációs beállítások létrehozására, módosítására a *Kezelés/Konfigurációk* menüpont alatt van lehetőségünk. Ha már van a létrehozni kívánt konfigurációhoz hasonló, akkor célszerű arra állítani a kurzort, és így létrehozni egy új konfigurációt, mert az ennek a beállításait fogja örökölni, melyeket mi tudunk a saját igényeinkhez átállítani. Néhány beállítási paraméter, melyet a hálózatos RTK mérésekhez használtam:

- **Real-Time mód:** hálózatos RTK módszer alkalmazásához a *R-Time* mezőnél a *Rover*, valamint az *RTCM v3.1*-et kell beállítani. Így tudjuk az újabb hálózatos RTK streameket is használni. A képernyő alján található *Rover* gombot megnyomva egy új ablak nyílik meg, ahol az *Oldal* gombbal egyet lapozva az *NTRIP* fülre jutunk. Az *NTRIP hasz-t* állítsuk igenre, ezzel tudunk csatlakozni az NTRIP szerverhez, amelyről a korrekciós adatokat fogjuk kapni. A *User ID* és *Jelszó* mezőknél állíthatjuk be a

szerverhez történő csatlakozáshoz elengedhetetlen felhasználónevünket és jelszavunkat. Ezeket a FÖMI-től kérhetjük. A *Mountpnt* (Mountpoint) mezőnél választhatjuk ki az alkalmazni kívánt konfiguráció típusát (SGO\_VRS-RTCM2.3-GLO, SGO\_MAC-RTCM3.1 stb.).

- **Antenna és antenna magasságok:** az antenna típusa *ATX1230 GG* rúd, alapértelmezett magasság 2.000 m.
- **Pont-mérés beállítás:** A *STOP feltételt*-t *Pontosságra* állítva, majd a *Param* (paraméterek) gombot megnyomva beállíthatjuk a mérési időtartamot, melyet 120 másodpercre állítottam. Ennél rövidebb ideig is végeztem méréseket, de ezekre már nem hoztam létre külön konfigurációt, mert bármikor leállítható a mérés, ha két percnél rövidebb ideig szeretnénk mérni.
- **Műhold beállítások:** itt állíthatjuk be, hogy GNSS vevőnk fogadjon-e GLONASS holdakról adatokat vagy csak GPS holdakról. Ez konfigurációnként eltérő volt az általam alkalmazott beállításoknál, mert vizsgálataim egyik szempontja, hogy tapasztalható-e különbség a csak GPS-szel vagy GPS és GLONASS műholdakkal végzett mérések között.

A hálózatos RTK módszer tesztelésére a következő konfigurációkat használtam:

- **MAC** konfiguráció csak **GPS** holdakkal **120** és **10** másodperces rögzítési idővel
- **MAC** konfiguráció **GPS, GLONASS** holdakkal **120** és **10** másodperces rögzítési idővel
- **VRS** konfiguráció **GPS, GLONASS** holdakkal **4 km**-es bázistávolsággal **120** és **10** másodperces rögzítési idővel
- **VRS** konfiguráció csak **GPS** holdakkal **4 km**-es bázistávolsággal **120** és **10** másodperces rögzítési idővel
- **VRS** konfiguráció csak **GPS** holdakkal **2 km**-es bázistávolsággal **120** és **10** másodperces rögzítési idővel

A későbbiekben az alkalmazott koncepciókat rövidítéssel fogom azonosítani, melyek jelentését a 4.4. táblázat tartalmazza.

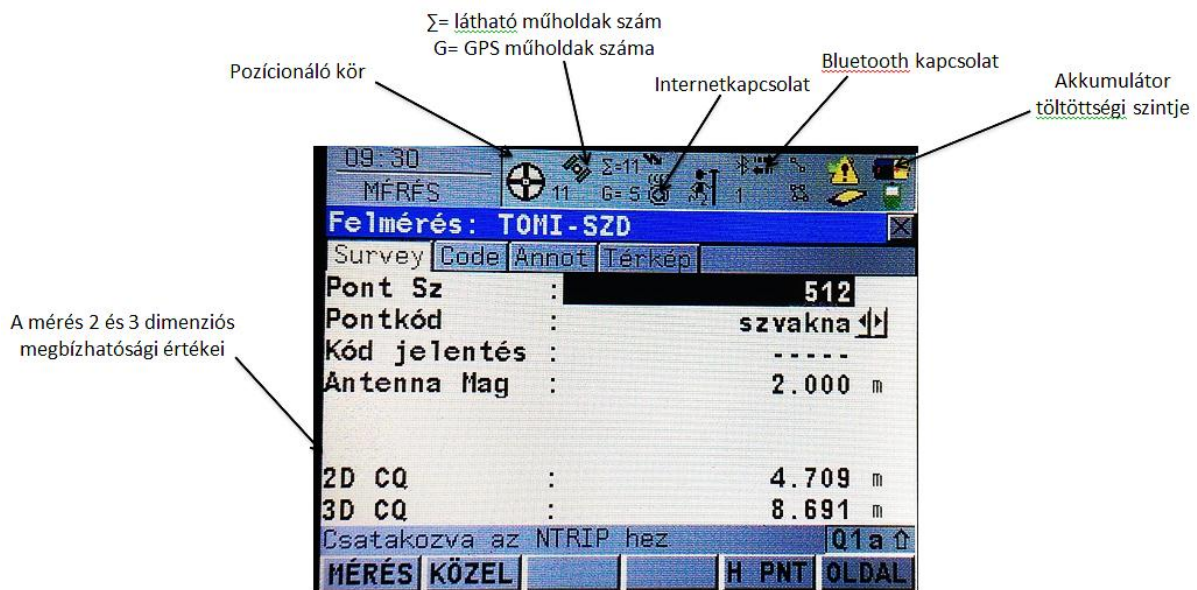
4.4. táblázat. Az alkalmazott konfigurációs beállítások

| <i>Beállítás rövidítése</i>         | <i>Beállítás leírása</i>                                                       | <i>Rögzítési idő hossza</i> | <i>Vizsgálat időpontja</i> |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>MAC GPS</b>                      | MAC koncepció beállítása csak GPS holdak felhasználása esetén                  | 120 és 10 másodperc         | Délelőtt és délután        |
| <b>MAC GPS+GLO</b>                  | MAC koncepció beállítása GPS és GLONASS holdak felhasználása esetén            | 120 és 10 másodperc         | Délelőtt és délután        |
| <b>VRS GPS+GLO</b><br>4 km-es bázis | VRS koncepció GPS és GLONASS holdak felhasználásával, 4 km-es bázistávolsággal | 120 és 10 másodperc         | Délelőtt és délután        |
| <b>VRS GPS</b><br>4 km-es bázis     | VRS koncepció csak GPS holdak felhasználásával, 4 km-es bázistávolsággal       | 120 és 10 másodperc         | Délelőtt és délután        |
| <b>VRS GPS</b><br>2 km-es bázis     | VRS koncepció csak GPS holdak felhasználásával, 2 km-es bázistávolsággal       | 120 és 10 másodperc         | Délelőtt és délután        |

#### 4.3.2.2 RTK mérések a tesztponton

Az újragondolt mérési stratégia után a hálózatos RTK méréseket két periódusban hajtottam végre úgy, hogy a két periódus között a második, 1 óra hosszúságú statikus mérés történt. A GNSS vevőt ebben az esetben is háromlábú vasállvány segítségével, gondosan helyeztem fixen a pont fölé. Mivel a vevő bluetooth-on keresztül kommunikál a kontrollerrel, azt a rúdról levéve, a kezünkben tartva is vezérelhetjük a folyamatot. A többféle konfiguráció közötti váltások gyakrabban igénylik a kontroller használatát, mellyel esetleg elmozdíthatjuk a vevőt függőleges helyzetéből. Az ebből adódó hibákat azonban ezzel a módszerrel sikerült kiszűrni.

Új munkaállomány létrehozása és konfiguráció-választás után kezdődhetett a mérés. A 4.6. ábrán látható a kijelző tartalma a felmérés program indítása után.

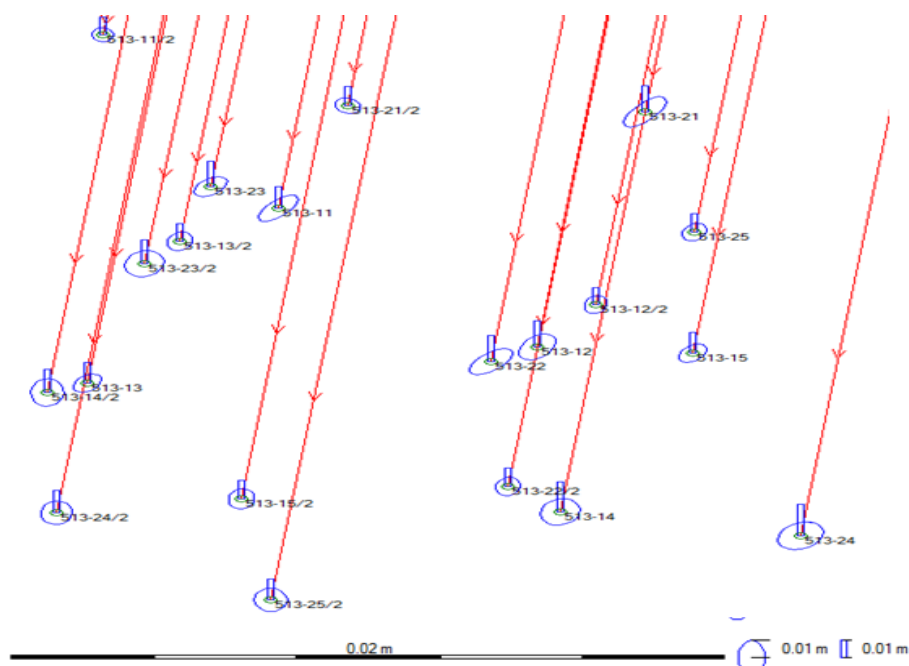


4.6. ábra. A felmérés program képernyőképe

Ha megjelent a kijelző felső sávjában a „@” jel, az azt jelenti, hogy már van internetkapcsolatunk és kapcsolódhatunk az NTRIP szerverhez. Sikeres kapcsolódás esetén megjelenik a képernyő alján a „Csatlakozva az NTRIP- hez” felirat, és az internetkapcsolatot jelző „@” jel feletti nyíl elkezd mozogni. Ekkor fogadja a műszer a korrekciós adatokat a szervertől és jó műholdkonstelláció mellett a pozicionáló kör helyén csak egy kereszt lesz látható. Ezzel együtt a megbízhatósági mérőszámok (CQ: ponthibák) értékei is lecsökkennek előbb deciméteres nagyságrendűre (amikor a kód méréses vektorfeldolgozás történik meg), majd néhány centiméterre (amikor a fázisméréses vektorfeldolgozás fejeződik be a ciklus-többszertelműség egész számként történő meghatározásával). Ez azt jelenti, hogy már geodéziai pontosságú méréseket tudunk rögzíteni és indíthatjuk a rögzítést (ez a **MÉRÉS** gomb –bal történik). A mérések befejeztével a műszerben a vektor-komponensek, azok variancia mátrixa rögzítődik valamint a referenciaponthoz képest értelmezett X, Y, Z koordináták (formailag WGS84 rendszerben). Kiolvashatunk, illetve a képernyőn megjeleníthetünk EOVS koordinátákat és EOMA magasságokat is, amennyiben VITEL-transzformációt állítottuk be, mint vonatkoztatási rendszert (*Coordinate System* a neve a szoftverben). Esetemben a terepen a Hungary 2009(S) transzformációt alkalmaztam. A kiolvasás során a saját formátumú bináris a mérési fájlt (tehát a vektor-összetevőket, kovariancia mátrixot, referenciapont koordinátáit) mentettem le a műszerben található CF kártyáról, mellyel később különböző kiegyenlítéseket hajtottam végre.

#### 4.3.2.3 Alkalmazható esetek szimulációja

Az RTK mérések esetében nincsen szükség vektorkiértékelésre, a mért pontok koordinátáinak számítására, mert – a módszer lényegéből adódóan – a vektor-összetevők és a végpont koordinátái a méréssel egyidőben kerülnek rögzítésre WGS84 rendszerben mindig, más helyi rendszerben pedig akkor, ha azt beállítjuk. (Esetemben EOVS vetületben is rögzítésre kerültek, mert a VITEL szoftvert használtam). A későbbiekben azonban lehetőségünk van arra, hogy az ugyanazon pontra vonatkozó méréseinket (vektorokat) az LGO programba beolvasva, kiegyenlítésük.



4.8. ábra. Az 513-as tesztpont különböző konfigurációs beállításokkal mérve

Ezt követően importálhatjuk (illetve transzformálhatjuk) a koordinátákat tetszőleges vonatkoztatási rendszerbe. Alapesetben tehát nincsen szükség utómunkálatokra RTK mérés esetében, a mért pontok koordinátái a műszerből kiolvassák azonnal felhasználhatók. Általános esetben, ha egyszer mérnek egy pontot, egyszerűen kiolvassák annak koordinátáit. Ha ugyanarra a pontra többször (több térbeli vektort) mérnek, akkor többnyire a kapott koordináták átlagát fogadják el végeredménynek. Esetemben azonban kiegyenlítéssel számoltam végeredményt, mégpedig a sokféle mérési adat többféle csoportosításával, különböző szimulációs eseteket létrehozva, tesztelve.

Az adatok importálása teljesen hasonló, mint a statikus mérésnél, és mivel a vektorok már a méréssel egyidőben számítva lettek, így egyből a kiegyenlítés menüpontra térhettem.

A mérés során konfigurációnként más pontszámmal került rögzítésre a tesztpont. Most azonban a kiegyenlíteni kívánt pontok számát azonossá kell tenni, a program csak így ismeri fel, hogy ugyanarról a pontról van szó, így tudja értelmezni. Most is a mérés közbeni referenciapontokat adott (az LGO megnevezésével: *Control*) ponttá kell átállítani, hogy azok ismert koordinátájú pontként vegyenek részt a kiegyenlítésben (mert egyszerű referenciapontként javítást kapnának). Miután elvégeztem egyfajta kiegyenlítést, a statikus mérésnél leírtak alapján, exportáltam (tároltam) az eredményeket. Az ezt követő kiegyenlítések előtt mindig töröltem az előzőleg létrejött kiegyenlített koordinátákat, hogy azok ne vegyenek részt a számításban.

Mivel délelőtt is, és délután is többféle beállítás mellett végeztem el a hálózatos RTK méréseket, most utólag ezek között különböző csoportosításban végezhető el a kiegyenlítés. Feltételezhetjük például, hogy egymás után két koncepció beállításával mérünk csak és ennek a kettőnek a kiegyenlített eredményét fogadjuk el. Feltételezhetjük azt is, hogy legalább 1 óra elteltével újra felkeressük a pontot, és ugyanolyan konfigurációs beállítással megmérjük. Ilyen megfontolásból utólagosan a következő csoportosításban végeztem el a vektorok kiegyenlítését:

- A** Két különböző időpontban, de azonos beállításokkal (konfiguráció típusa, észlelt műholdak, rögzítési idő hossza) mért vektorok együttes kiegyenlítése.
- B** Közvetlenül egymás után két egymástól eltérő konfigurációs típussal, de megegyező rögzítési idővel és észlelt műholdak esetén kapott vektorok kiegyenlítése.

Kiegyenlítés nélkül vizsgáltam azt, hogy változik-e az eredmény, ha ugyanazon konfigurációval:

- C** két percet (120 másodpercet) töltünk el RTK méréssel vagy csak 10 másodpercet;
- D** egy óra elteltével megismétljük a mérést.

Ezen kívül kiegyenlítettem az összes RTK mérésből származó eredményt egy pontként, ezzel létrehozva viszonyítási magasságot a hálózatos RTK mérésből, melyet közepes RTK magasságnak neveztem el.

A különböző kiegyenlítésekkel a gyakorlatban alkalmazható mérési módszereket próbáltam szimulálni.

#### 4.4 Különböző hálózati RTK módszerek tesztelése

Ebben a pontban kerül sor a különböző konfigurációk és kiegyenlítések vizsgálatára. A vizsgálatok során a kapott eredményeket a statikus mérésből kapott referencia-magassághoz (106.167 m), a közepes RTK magassághoz (106.192 m) és a szintezésből kapott magassághoz (106.170 m) fogom viszonyítani. Az előző, 4.3.2.3-as fejezetben vázolt A-D pontok szerint vizsgáltam az eredményeket. A táblázatokban a magasságok méterben, míg a középhibák és eltérések centiméterben szerepelnek. A 3 centimétert meghaladó különbségek piros színnel vannak kiemelve. Ahhoz, hogy szemléletesebb képet adjak a kapott eredményekről, diagramokban is megjelenítettem az adatokat, melyeken a viszonyítási magasságokat, vagyis a referencia-magasságot és a közepes RTK magasságot, a vízszintes piros és világoszöld vonalak szemléltetik. Pirosan sraffozottak az oszlopok a 3 centimétert meghaladó eltérések esetén.

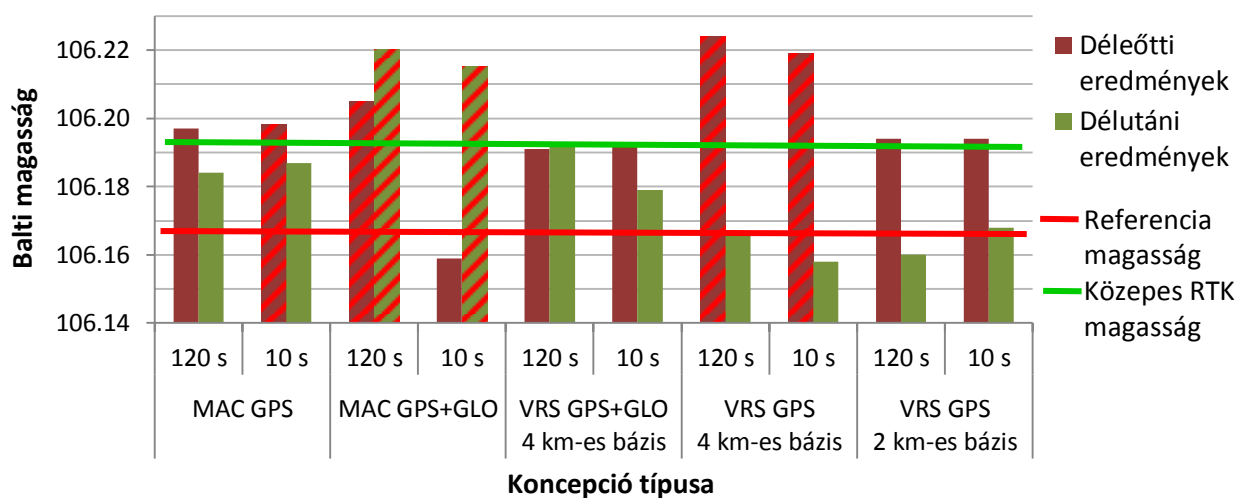
##### 4.4.1 120 illetve 10 másodperces mérések összehasonlítása („C” jelölésű kiegyenlítés)

Először lássuk, hogy milyen eredményeket kapunk, ha ugyanazon konfigurációs beállításokkal, közvetlenül egymás után 120 majd 10 másodpercen át végzünk méréseket. Ez a különbség a harmadik oszlopban *Eltérés két mérési időpont között* néven szerepel, melyben láthatjuk, hogy a legtöbb esetben egy centiméter körüli, vagy az alatti az eltérés. Egy esetben van nagyobb eltérés a GPS és GLONASS holdakat is használó MAC koncepciónál. Azonban, ha a referencia-magassághoz viszonyítjuk az értékeket, akkor érdekes módon több nagyobb (5 centiméter körüli) eltérés is tapasztalható – transzformációs hiba nélkül –, melyek a rögtön egymás után végrehajtott két mérés különbségéből nem derültek ki. Az is kivehető a táblázatból, hogy a közepes hálózatos RTK magassághoz már jobban illeszkednek a pontok, kevesebb a 3 centimétert meghaladó eltérés.

4.5. táblázat. Délelőtti és délutáni kapott eredmények 120 és 10 másodperces összehasonlításban

| Konceptió típus              | Rögzítési időhossz [sec] | Kiegyenlített magasság [m] | Középhibák [cm] | Eltérés a különböző rögzítési időhosszak között [cm] | Eltérés [cm] referencia magasság: 106.167 | Eltérés [cm] közepes RTK mag.: 106.192 | Eltérés [cm] szintezett magasság: 106.170 |
|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Délelőtti eredmények         |                          |                            |                 |                                                      |                                           |                                        |                                           |
| MAC GPS                      | 120 s                    | 106.197                    | 1.8             | -0.1                                                 | 3.0                                       | 0.5                                    | 2.7                                       |
|                              | 10 s                     | 106.198                    | 2.3             |                                                      | 3.1                                       | 0.6                                    | 2.8                                       |
| MAC GPS+GLO                  | 120 s                    | 106.205                    | 2.2             | 4.6                                                  | 3.8                                       | 1.3                                    | 3.5                                       |
|                              | 10 s                     | 106.159                    | 2.3             |                                                      | -0.8                                      | -3.3                                   | -1.1                                      |
| VRS GPS+GLO<br>4 km-es bázis | 120 s                    | 106.191                    | 1.8             | -0.1                                                 | 2.4                                       | -0.1                                   | 2.1                                       |
|                              | 10 s                     | 106.192                    | 2.2             |                                                      | 2.5                                       | 0.0                                    | 2.2                                       |
| VRS GPS<br>4 km-es bázis     | 120 s                    | 106.224                    | 2.6             | 0.5                                                  | 5.7                                       | 3.2                                    | 5.4                                       |
|                              | 10 s                     | 106.219                    | 2.7             |                                                      | 5.2                                       | 2.7                                    | 4.9                                       |
| VRS GPS<br>2 km-es bázis     | 120 s                    | 106.194                    | 1.8             | 0                                                    | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
|                              | 10 s                     | 106.194                    | 1.6             |                                                      | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
| Délutáni eredmények          |                          |                            |                 |                                                      |                                           |                                        |                                           |
| MAC GPS                      | 120 s                    | 106.184                    | 1.5             | -0.3                                                 | 1.7                                       | -0.8                                   | 1.4                                       |
|                              | 10 s                     | 106.187                    | 1.6             |                                                      | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |
| MAC GPS+GLO                  | 120 s                    | 106.220                    | 1.5             | 0.5                                                  | 5.3                                       | 2.8                                    | 5.0                                       |
|                              | 10 s                     | 106.215                    | 1.6             |                                                      | 4.8                                       | 2.3                                    | 4.5                                       |
| VRS GPS+GLO<br>4 km-es bázis | 120 s                    | 106.193                    | 1.5             | 1.4                                                  | 2.6                                       | 0.1                                    | 2.3                                       |
|                              | 10 s                     | 106.179                    | 2.1             |                                                      | 1.2                                       | -1.3                                   | 0.9                                       |
| VRS GPS<br>4 km-es bázis     | 120 s                    | 106.167                    | 2.0             | 0.9                                                  | 0.0                                       | -2.5                                   | -0.3                                      |
|                              | 10 s                     | 106.158                    | 1.9             |                                                      | -0.9                                      | -3.4                                   | -1.2                                      |
| VRS GPS<br>2 km-es bázis     | 120 s                    | 106.160                    | 1.6             | -0.8                                                 | -0.7                                      | -3.2                                   | -1.0                                      |
|                              | 10 s                     | 106.168                    | 1.8             |                                                      | 0.1                                       | -2.4                                   | -0.2                                      |

A 4.2. diagram a délelőtti és délutáni eredményeket foglalja össze, és próbálja szemléletesebben ábrázolni a két eltérő időpontban végezett mérések, valamint a 120 és 10 másodperces mérések közötti eltéréseket.



4.2. diagram. Délelőtti és délutáni kapott eredmények 120 és 10 másodperces összetételben

A diagramos ábrázolásból kitűnnek az előbb vázolt jellemzők, azonban itt szembeűnőbb, hogy más eredményt kapunk, ha egy óra elteltével megismétljük a mérést, mintha azt 120 vagy 10 másodpercen át rögzítenénk, de rögtön egymás után.

#### 4.4.2 Két eltérő időpontban végzett mérések összehasonlítása („D” jelölésű kiegyenlítés)

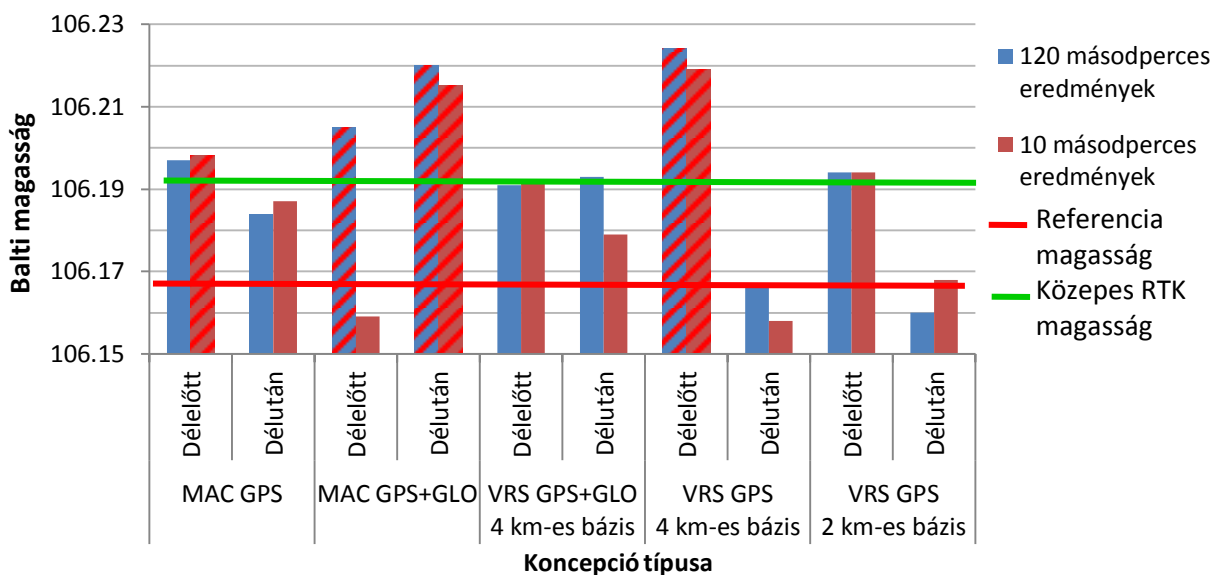
A 4.6. táblázatban a délelőtti és délutáni eredményeket hasonlítottam össze, konfigurációnként külön a 120 és 10 másodperces adatokat. Ha a két mérési időpont közötti eltéréseket nézzük, azt tapasztaljuk, hogy jelentősen különbözőek az értékek, és a legmagasabb több mint 6 centiméter, amit transzformációs hiba nem terhel, csupán a GNSS mérésből származó hibák. Ez nem kevés, hiszem kétszerese a hálózatos RTK-től elvárt 2-3 centiméteres megbízhatóságnak. Az eltérés oka a különböző időpontokban végrehajtott mérések alatti eltérő műholdkonstelláció.

4.6. táblázat. A 120 és 10 másodperces rögzítési idővel kapott eredmények délelőtti és délutáni összehasonlításban

| Konceptió típus              | Mérés időpontja | Kiegyenlített magasság [m] | Középhibák [cm] | Eltérés két mérési időpont között [cm] | Eltérés [cm] referencia magasság: 106.167 | Eltérés [cm] közepes RTK mag.: 106.192 | Eltérés [cm] szintezett magasság: 106.170 |
|------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| 120 másodperces eredmények   |                 |                            |                 |                                        |                                           |                                        |                                           |
| MAC GPS                      | Délelőtt        | 106.197                    | 1.8             | 1.3                                    | 3.0                                       | 0.5                                    | 2.7                                       |
|                              | Délután         | 106.184                    | 1.5             |                                        | 1.7                                       | -0.8                                   | 1.4                                       |
| MAC GPS+GLO                  | Délelőtt        | 106.205                    | 2.2             | -1.5                                   | 3.8                                       | 1.3                                    | 3.5                                       |
|                              | Délután         | 106.220                    | 1.5             |                                        | 5.3                                       | 2.8                                    | 5.0                                       |
| VRS GPS+GLO<br>4 km-es bázis | Délelőtt        | 106.191                    | 1.8             | -0.2                                   | 2.4                                       | -0.1                                   | 2.1                                       |
|                              | Délután         | 106.193                    | 1.5             |                                        | 2.6                                       | 0.1                                    | 2.3                                       |
| VRS GPS<br>4 km-es bázis     | Délelőtt        | 106.224                    | 2.6             | 5.7                                    | 5.7                                       | 3.2                                    | 5.4                                       |
|                              | Délután         | 106.167                    | 2.0             |                                        | 0.0                                       | -2.5                                   | -0.3                                      |
| VRS GPS<br>2 km-es bázis     | Délelőtt        | 106.194                    | 1.8             | 3.4                                    | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
|                              | Délután         | 106.160                    | 1.6             |                                        | -0.7                                      | -3.2                                   | -1.0                                      |
| 10 másodperces eredmények    |                 |                            |                 |                                        |                                           |                                        |                                           |
| MAC GPS                      | Délelőtt        | 106.198                    | 2.3             | 1.1                                    | 3.1                                       | 0.6                                    | 2.8                                       |
|                              | Délután         | 106.187                    | 1.6             |                                        | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |
| MAC GPS+GLO                  | Délelőtt        | 106.159                    | 2.3             | -5.6                                   | -0.8                                      | -3.3                                   | -1.1                                      |
|                              | Délután         | 106.215                    | 1.6             |                                        | 4.8                                       | 2.3                                    | 4.5                                       |
| VRS GPS+GLO<br>4 km-es bázis | Délelőtt        | 106.192                    | 2.2             | 1.3                                    | 2.5                                       | 0.0                                    | 2.2                                       |
|                              | Délután         | 106.179                    | 2.1             |                                        | 1.2                                       | -1.3                                   | 0.9                                       |
| VRS GPS<br>4 km-es bázis     | Délelőtt        | 106.219                    | 2.7             | 6.1                                    | 5.2                                       | 2.7                                    | 4.9                                       |
|                              | Délután         | 106.158                    | 1.9             |                                        | -0.9                                      | -3.4                                   | -1.2                                      |
| VRS GPS<br>2 km-es bázis     | Délelőtt        | 106.194                    | 1.6             | 2.6                                    | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
|                              | Délután         | 106.168                    | 1.8             |                                        | 0.1                                       | -2.4                                   | -0.2                                      |

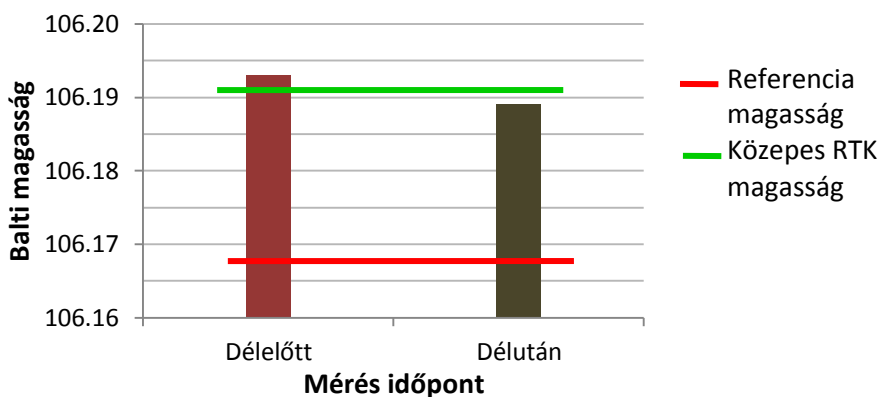
Az 4.3. diagramban láthatjuk az eltéréseket külön a 120 és külön a 10 másodperces rögzítési időkre mérési koncepciónként a délelőtti és a délutáni mérési periódusokra. Az 4.4.1 pontban

leírtakhoz hasonlóan itt is látszik, hogy a 120 és 10 másodperces rögzítési idővel kapott eredmények között nincsen nagy eltérés, míg ez a délelőtti és délutáni eredményekről nem mondható el.



4.3. diagram. 120 és 10 másodperces rögzítési idővel kapott eredmények délelőtti és délutáni mérési időpontok alapján

Feltűnő, hogy a legtöbb eredmény a referencia-magasság felett van. Azt nem jelenthetjük ki, hogy a délelőtti vagy délutáni eredmények jobbak, azonban a 4.5. és a 4.6. táblázatokból kivehető, hogy a mérés időpontja, az aktuális műholdkonstelláció nagyobb befolyással van az eredményre, mint az alkalmazott koncepció vagy rögzítési idő. Ezért kiegyenlítettem egy-egy pontként az összes délelőtti és délutáni mérést. A kiegyenlítés után már közel azonos értéket kaptam mindkét időpontra, melyek érték jól „feksznek” a közepes RTK magasságra.



4.4. diagram. Összes délelőtti és délutáni mérés kiegyenlített értékei

#### 4.4.3 A „B” jelölésű kiegyenlítés vizsgálata

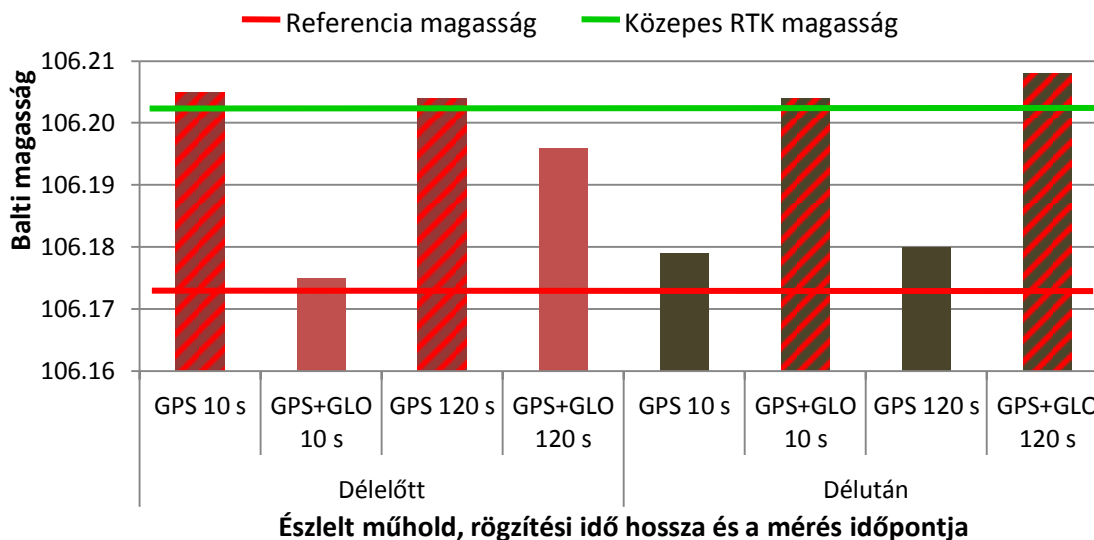
Olyan kiegyenlítéseket végeztem, melyben kettő, közvetlenül egymás utáni, de két különböző koncepcióval, a MAC-kel és a VRS-sel, mértem. A mérési beállítások, tehát az észlelt műholdak és a rögzítési idő hossza, teljesen azonos volt minden esetben, csak a használt koncepció típusa különbözött. Itt összehasonlítottam, hogy mekkora eltérések vannak, ha csak GPS, illetve, ha GPS és GLONASS holdakat is használunk, melynek eredménye a 4.7. táblázat harmadik oszlopban látható. 3 cm-t meghaladó eltérés nem tapasztalható, viszont az eredmények a legtöbb esetben megközelítik azt. Ha azonban a referencia-magassághoz viszonyítjuk őket, akkor már meglehetősen eltérő különbségeket kapunk, 4 centiméter körülíek. Ez sok, mivel ez két mérés kiegyenlítése, ezért azt váránk, hogy közelebb leszünk a „hibátlan” eredményhez. Ennek az oka, mely a közepes RTK magasság oszlopban található eredményekből látható, hogy a hálózatos RTK módszerrel rögzített pontok magassága a legtöbb esetben 1-2 centiméterrel a statikus mérésből kapott eredmény felett van.

Érdekes, hogy délelőtt a csak a GPS-es észlelések teljesítettek az elvártnál rosszabbul, míg délután pont ezek voltak jobbak, sőt nem is mondható nagynak a referenciától való eltérésük.

4.7. táblázat. MAC és VRS koncepciók kiegyenlítésével kapott eredmények

| Kiegyenlítés módja                 | Kiegyenlített magasság [m] | Észlelt műholdakból származó különbség [cm] | Eltérés [cm] referencia magasság: 106.167 | Eltérés [cm] közepes RTK mag.: 106.192 | Eltérés [cm] szintezett magasság: 106.170 |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| Délelőtti eredmények               |                            |                                             |                                           |                                        |                                           |
| MAC és VRS koncepció GPS 10 s      | 106.205                    | 3.0                                         | 3.8                                       | 1.3                                    | 3.5                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS+GLO 10 s  | 106.175                    |                                             | 0.8                                       | -1.7                                   | 0.5                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS 120 s     | 106.204                    | 0.8                                         | 3.7                                       | 1.2                                    | 3.4                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS+GLO 120 s | 106.196                    |                                             | 2.9                                       | 0.4                                    | 2.6                                       |
| Délutáni eredmények                |                            |                                             |                                           |                                        |                                           |
| MAC és VRS koncepció GPS 10 s      | 106.179                    | -2.5                                        | 1.2                                       | -1.3                                   | 0.9                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS+GLO 10 s  | 106.204                    |                                             | 3.7                                       | 1.2                                    | 3.4                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS 120 s     | 106.180                    | -2.8                                        | 1.3                                       | -1.2                                   | 1.0                                       |
| MAC és VRS koncepció GPS+GLO 120 s | 106.208                    |                                             | 4.1                                       | 1.6                                    | 3.8                                       |

A 4.5-ös diagram jelölései itt is megegyeznek az előzőekben használttal. Látszik, hogy azok az eredmények, amelyek nem lépték túl a 3 centiméteres általam felállított „hibahatárt”, azok nem térnek el már jelentősen a referencia-magasságtól, viszont ez csak a mérések felénél tapasztalható. Ez a kiegyenlítésnek tudható be. Viszont az is szembetűnő itt is, hogy az ugyanazon koncepcióval és rögzítési idővel mért délelőtti és délutáni eredmények 2-3 cm-re eltérnek egymástól.



4.5. diagram. Azonos mérési beállításokkal közvetlenül egymást követő két különböző koncepció kiegyenlítésének eredményei

Az eddigi eredmények alapján azt is kijelenthetjük, hogy különböző mérési konfigurációkkal nem kapunk számottevően eltérő eredményeket.

#### 4.4.4 Különböző időpontban, de azonos koncepciókkal végzett mérések kiegyenlítése („A” jelölésű kiegyenlítés)

Két csoportba rendezve láthatjuk az adatokat. A 4.7. táblázatban az eltérő rögzítési idők különbségével, az 4.8. táblázatban pedig az észlelt műholdakból keletkező különbség szerint. A 2 km-es bázisú VRS koncepció esetében nincs lehetőség GPS és GLONASS holdakra történő rögzítésre is, ezért hiányzik ez az utóbbi táblázatból. Érdekes, hogy nagy különbség nincsen aközött, hogy milyen holdakról és milyen hosszúságú mérési idővel határozzuk meg a vektorokat, ha ugyanazt a koncepciót használjuk. Egy érték azonban durván eltér a többitől, ugyan nem haladja meg ez sem a „hibahatárt”, de pirossal szerepel, mivel ezt az eltérést a MAC koncepció 120 másodperces, GPS és GLONASS holdakról meghatározott délutáni eredménye okozza. Ez a korábbi összehasonlításokban is mindig nagy eltérést mutatott. Azonban nem tekinthetjük hibás mérési eredménynek, mert nem több 10 centiméterrel tér el. Ilyen, hálózatos RTK mérésnél bármikor előfordulhat. Hogy ez az eredmény miért lett ennyire eltérő a többitől azt 100 százalékos biztonsággal nem lehet megmondani, de valószínűleg nem sikerült jól feloldani a ciklus-többértelműséget, vagy esetleg csak egyetlen állomásról, a távoli (22 km-re lévő) Tapolcától történt a meghatározás. Sajnos, a szoftverek ismertetése nem olyan mélységű, hogy pontosan lehetne követni a számítás folyamatát, melyből például ilyen esetben következtethetnénk a hiba forrására. Az eredményekből látszik,

hogy hiába mérünk több percen keresztül, nem biztos, hogy jobb eredményt kapunk, mintha csak pár másodpercig mérnénk.

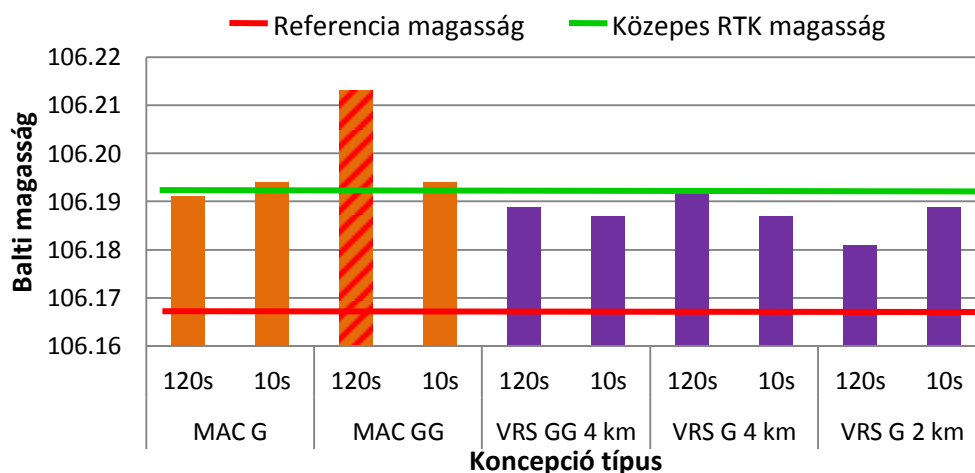
4.8. táblázat. A délelőtt és délután azonos beállítással végzett mérések kiegyenlítése és rögzítési időhossz szerinti összehasonlítása

| Konceptió típus                 | Kiegyenlített magasság [m] | Eltérő mérésidőből származó különbség [cm] | Eltérés [cm] referencia magasság: 106.167 | Eltérés [cm] közepes RTK mag.: 106.192 | Eltérés [cm] szintezett magasság: 106.170 |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| MAC GPS 120 s                   | 106.191                    | -0.3                                       | 2.4                                       | -0.1                                   | 2.1                                       |
| MAC GPS 10 s                    | 106.194                    |                                            | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
| MAC GPS+GLO 120 s               | 106.213                    | 1.9                                        | 4.6                                       | 2.1                                    | 4.3                                       |
| MAC GPS+GLO 10 s                | 106.194                    |                                            | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
| VRS GPS+GLO 4 km-es bázis 120 s | 106.189                    | 0.2                                        | 2.2                                       | -0.3                                   | 1.9                                       |
| VRS GPS+GLO 4 km-es bázis 10 s  | 106.187                    |                                            | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |
| VRS GPS 4 km-es bázis 120 s     | 106.192                    | 0.5                                        | 2.5                                       | 0.0                                    | 2.2                                       |
| VRS GPS 4 km-es bázis 10 s      | 106.187                    |                                            | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |
| VRS GPS 2 km-es bázis 120 s     | 106.181                    | -0.8                                       | 1.4                                       | -1.1                                   | 1.1                                       |
| VRS GPS 2 km-es bázis 10 s      | 106.189                    |                                            | 2.2                                       | -0.3                                   | 1.9                                       |

4.9. táblázat. A délelőtt és délután azonos beállítással végzett mérések kiegyenlítése és az észlelt műholdak szerinti összehasonlítása

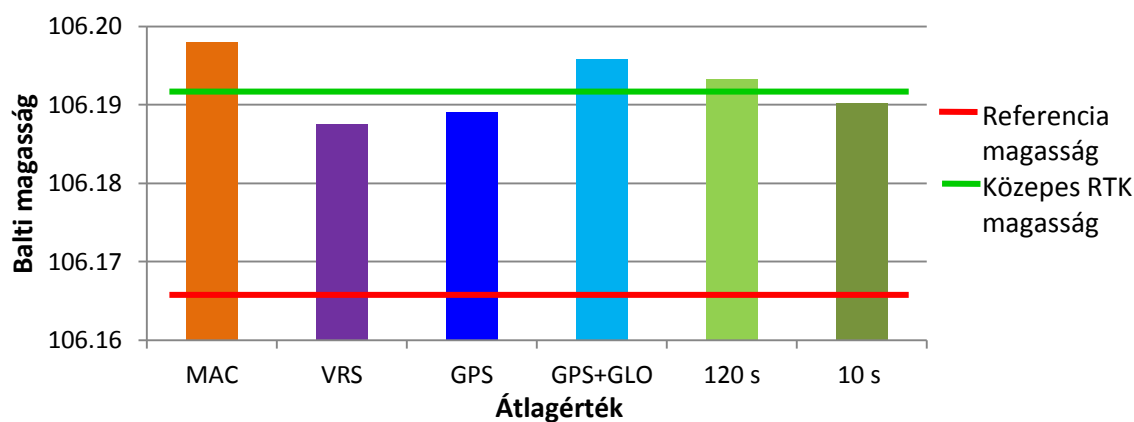
| Konceptió típus                 | Kiegyenlített magasság [m] | Észlelt műholdakból származó különbség [cm] | Eltérés [cm] referencia magasság: 106.167 | Eltérés [cm] közepes RTK mag.: 106.192 | Eltérés [cm] szintezett magasság: 106.170 |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|
| MAC GPS 120 s                   | 106.191                    | -2.2                                        | 2.4                                       | -0.1                                   | 2.1                                       |
| MAC GPS+GLO 120 s               | 106.213                    |                                             | 4.6                                       | 2.1                                    | 4.3                                       |
| MAC GPS 10 s                    | 106.194                    | 0.0                                         | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
| MAC GPS+GLO 10 s                | 106.194                    |                                             | 2.7                                       | 0.2                                    | 2.4                                       |
| VRS GPS+GLO 4 km-es bázis 120 s | 106.189                    | -0.3                                        | 2.2                                       | -0.3                                   | 1.9                                       |
| VRS GPS 4 km-es bázis 120 s     | 106.192                    |                                             | 2.5                                       | 0.0                                    | 2.2                                       |
| VRS GPS+GLO 4 km-es bázis 10 s  | 106.187                    | 0.0                                         | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |
| VRS GPS 4 km-es bázis 10 s      | 106.187                    |                                             | 2.0                                       | -0.5                                   | 1.7                                       |

A diagramban szembevető a kiugró érték és, hogy jól illeszkednek a magasságok a közepes RTK magasságra.



4.6. diagram. Azonos konfigurációs beállításokkal, de két eltérő időpontban végzett mérések kiegyenlítése

A 4.7. diagramon látható a MAC és a VRS koncepcióval, 120 és 10 másodpercen keresztül mért eredmények és a csak GPS, valamint a GPS és GLONASS holdakat is felhasználó mérések átlaga. Ezekből az látszik, hogy a közepes RTK magasságot mindegyik átlagérték megközelíti, egyik sem tér el durván tőle, de, ha a „hibátlan” elfogadott statikus referencia-magassághoz viszonyítjuk őket, akkor a VRS, a csak GPS műholdakat használó koncepciók és a 10 másodperces rögzítési idők átlaga valamivel jobban megközelíti azt. Azonban ez nem jelentős eltérés a többi koncepciótól, 1 centiméter körüli vagy annál kisebb, ezért nem jelenthetjük ki azt, hogy egy csak GPS műholdakra támaszkodó, rövid (körülbelül 10 másodperces) mérés lenne az ideális mérési konfiguráció. A legkisebb eltérés a rögzítési idők különbségénél tapasztalható, ami jól mutatja, hogy a rögzítési idő növelésével nem kapunk pontosabb magasságokat. Itt is látszik, hogy a hálózatos RTK mindig a statikus mérésből származó eredmény fölé rögzítette a pontokat, nagyjából 2 centiméterrel.



4.7. diagram. Az egyes konfigurációs beállítási paraméterek szerinti átlagértékek

## 5 Összefoglalás és javaslatok optimális magasságmérési technológiára

Munkám és vizsgálataim végén a következő tapasztalatokat, ajánlásokat fogalmazom meg.

Tervezési alaptérkép készítésekor, még a felmérés megkezdése előtt egyeztessük a megrendelővel, hogy milyen célra fogja felhasználni a munkánkat és milyen pontossággal szükségesek neki az adatok. Ezek után kell eldöntenünk, hogy milyen mérési technológiával tudjuk az adatokat a megrendelő igényeihez mérten a leggazdaságosabban előállítani.

Abban az esetben alkalmazhatunk biztonságosan hálózatos RTK módszert, ha nem szükséges 3 centiméternél jobb magassági meghatározás, és csak az alappontsűrítést végezzük el az említett módszerrel – azonban ebben az esetben az alappontok meghatározását több különböző időpontban kell elvégezni –, a részletpontok (például átereszek) felmérését az alappontokra támaszkodó mérőállomásos módszerrel végezzük el. Legfeljebb azon részletpontok felmérését végezzük hálózatos RTK technikával, melyek magassága nem tekinthető kiemelkedően fontosnak a tervezési alaptérképen. Ilyenek például a telekhatárpontok.

Amennyiben ennél megbízhatóbb magassági értékekre van szükség, akkor javasolt az alappontok meghatározásához statikus mérést alkalmazni, és legalább három, a munkaterületet körülvevő pontot szintezéssel is, és statikus GNSS-tehnológiával is megmérni. A három(vagy több) pontra kiegyenlítő sík illeszthető, amelynek alapján a csak GPS-szel mért magasságok a legjobb helyi illesztéssel számíthatók át Balti magassággá. Ezt a megoldást az LGO transzformációs modulja (*step-wise approach*) támogatja. Ilyen esetben azonban érdemes megfontolni, hogy megéri-e hosszabb idejű statikus méréseket végezni továbbá néhány pontot szintezni, nem lenne-e célszerűbb az összes alappont magasságát szintezéssel meghatározni, vízszintes koordinátáikat pedig hálózatos RTK módszerrel. A vízszintes koordináták pontosságáról nem esett e dolgozatban szó, azonban a gyakorlati tapasztalatok szerint ezek megbízhatósága tervezési alaptérképek készítéséhez elegendő.

Végül, a tesztmérés eredményeiből a következő következtetések vonhatók le. A hálózatos RTK-val végzett mérések eredményét sokkal nagyobb mértékben befolyásolja a mérés alatti műholdkonstelláció, mint az, hogy milyen koncepcióval vagy milyen rögzítési idővel mérjük meg a pontot. Ezek alapján megbízhatóbb eredményt kapunk, ha többször, egymástól eltérő időpontban mérünk. Egy munka során ez rendszerint nem kivitelezhető gazdaságosan, ezért

ha a munka elvárt megbízhatósági értékeit figyelembe véve úgy döntünk, hogy hálózatos RTK-val határozzuk meg alappontjaink vízszintes és magassági koordinátáit, akkor mérjük legalább két különböző időpontban, köztük legalább egy óra eltéréssel, majd a kapott két koordinátát egyenlítsük ki. A rögzítési időnek nem szükséges 8-10 másodpercnél hosszabbnak lenniük, de ennél kevesebb se legyen. Azonban attól, hogy hosszabb ideig mérünk, nem biztos, hogy jobb eredményt kapunk. Az elemzésekből kiderült, hogy a 10 és 120 másodperces mérések, valamint a MAC és VRS koncepciók között ugyanúgy előfordulhatnak megbízható és kevésbé megbízható értékek. Ezek véletlenszerűen változnak, és többszöri méréssel, majd ezek kiegyenlítésével a véletlenszerű megbízhatatlanságuk kiküszöbölhető. A műholdak észlelése szempontjából célszerű GPS és GLONASS holdakat is használni. Szabályosság ugyan nem fedezhető fel, hogy mikor kapunk jobb eredményt, ha csak GPS vagy GPS és GLONASS holdakat is használunk, de az utóbbiak valamivel (átlagosan kevesebb, mint 0,5 centiméterrel) rosszabb eredményt produkáltak, mely valószínűleg annak tudható be, hogy két teljesen különböző műholdrendszerrel fogadunk ilyen esetben adatokat. Azonban lényegesen több műhold észlelhető, ha felhasználjuk a GLONASS holdak adatait is, melyekkel jobban biztosítható, hogy nem fogunk durva hibás méréseket tárolni, illetve takart környezetben is elvégezhető a mérés.

A dolgozat azért irányult csupán a magasságok vizsgálatára, mert a GNSS rendszerek magassági megbízhatósága a gyakorlatban sokszor megnehezíti a munkavégzést. Tervezési alaptérképek készítésekor gyakran találkozhatunk olyan esettel, ahol a magasságok meghatározása nagyobb pontosságot követel, mint a vízszintes. Ilyen például egy sík területen szennyvíz- vagy csapadékvízvezető-hálózathoz készülő tervezési alaptérkép. Azért fontos ezekben az esetekben a magasság, mert azt fizikából ismerjük, hogy a víz folyásához minimális szintkülönbség szükséges, így sokkal inkább fontos a megrendelő számára, hogy milyen magasan van például egy áteresz folyásfeneke, mint az, hogy az, az árok széléhez képest hogyan helyezkedik el.

A mai GNSS készülékek használata egyszerű és gyorsan megtanulható, azonban nem megfelelő odafigyelés és méréstechnológia alkalmazásával könnyen rögzíthetünk rossz értékeket. Ez nem csak a mi hibánkból eredhet, hanem a GNSS technológia véletlen hibáiból is, hiszen az a koordináta, amit a kijelzőn látunk nagyrészt valószínűségi számításból származik, ezért mindig fordítsunk gondot az ellenőrző mérésre, ha hálózatos RTK módszerrel mérünk.

## 6 Irodalomjegyzék

**Bácsi Mérnökiroda Földmérő és Szolgáltató Kft.** weboldala, Tervezési alaptérképek készítése:

<http://www.bacsi-mernokiroda.hu/tervezesi-alapterkepek-keszitese>

**Bilajbegović A (2000):** Untersuchungen zur Genauigkeitsteigerung von RTK Messungen bei der Nutzung vernetzter Referenzstationen, HTWD-University of Applied Sciences Dresden, Ljubljana, 2000. 40 o.

**Busics Gy (2005):** Alappontmeghatározás RTK-val. Geomatikai Közlemények VIII. kötet, MTA GGKI, Sopron, 2005. 107-114.

**Busics Gy (2011):** Műholdas helymeghatározás 1., A GNSS-ről általában. Nyugat magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar kiadványa, Székesfehérvár, 2011. 30 o.

**Busics Gy (2011):** Műholdas helymeghatározás 4., A GNSS transzformációs eljárások. Nyugat magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar kiadványa, Székesfehérvár, 2011. 27 o.

**Busics Gy (2011):** Műholdas helymeghatározás 5., RTK és más kinematikus technológiák. Nyugat magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar kiadványa, Székesfehérvár, 2011. 22 o.

**Busics Gy (2014):** A vonatkoztatási rendszerek és transzformálásuk néhány kérdése. 20 éves a Térinformatika Tanszék. Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar kiadványa. Szerk.: Márkus Béla. (nyomtatás alatt).

**Busics Gy (2014):** A kiegyenlítő számítás alkalmazásának szükségességéről az alappontsűrítésben, Geomatikai Közlemények XVII. kötet, MTA GGKI kiadvány, Sopron, 2014 (szerkesztés alatt) 32 o.

**Diósi Mérnöki Iroda** weboldala, Tervezési alaptérkép készítése

[http://www.foldmero.net/tervezok/tervezesi\\_alapterkep](http://www.foldmero.net/tervezok/tervezesi_alapterkep)

**Klaus Schleußinger:** Ist Ihre Messungen immer punktgenau? Gyártói cikk, Leica Geosystems GmbH 6 o.

**Méter Kft.** weboldala, Tervezési alaptérkép készítése:

<http://www.foldmeres.eu/foldmeres/tervezesi-alapterkep-keszites>

**Schmitz, M, Wübbema, G (2007):** Einflüsse auf die GNSS Höhenbestimmung – Grenzen und Chancen –. 5. ascos Anwender- und Kundentreffen, e-on | Ruhrgas, Heme 2007. 27 o.

**Vidékfejlesztési Minisztérium (2013.03.20.):** 15/2013. (III. 11.) VM rendelet, 2013. 1-3 o.

**Wanninger, L (2006):** Festschrift 125 Jahre Geodäsie und Geoinformatik, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 263, 2006. 313-320 o.

**Wanninger, L (2006):** GPS und Galileo – Methoden, Lösungen und neueste Entwicklungen, 66. DVW-Seminar, Darmstadt, DVW-Schriftenreihe Band 49/2006, Wißner-Verlag, Augsburg, 2006. 59-69 o.