



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építőmérnöki Kar

Hőlégballon versenyeken használt GPS-vevők pontossági vizsgálata

Tudományos diákköri dolgozat

Gruber Barbara

földmérő- és térinformatikai mérnök mesterszakos hallgató

Konzulensek:

Dr. Földváry Lóránt

egyetemi docens, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

Tuchband Tamás

tanársegéd, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

Paál Dávid

tanszéki mérnök, Széchenyi István Egyetem (külső konzulens)

Budapest, 2013.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni konzulenseimnek, Dr. Földváry Lórántnak és Tuchband Tamásnak a munkám során nyújtott folyamatos és kitartó támogatását, mely nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el.

Köszönöm külső konzulensemnek, Paál Dávidnak a dolgozat elkészítésének lehetőségét, a mérések kivitelezésében való segítségét, illetve a mérési adatok átnyújtását.

Köszönöm a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Általános és Felsőgeodézia Tanszékének, hogy biztosította számomra a méréshez szükséges eszközöket.

Köszönöm továbbá a hőlégballonos verseny résztvevőinek, különösen a 8-as ballon csapatának (Szabó Péternek kiemelten) és a 7-es ballon csapatának, hogy segítették méréseimet a repülések során, és különösen köszönöm, hogy megtapasztalhattam a ballonozás élményét.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	1
1. Hőlégballonozás története, fejlődése.....	2
2. A méréshez használt GNSS-vevők	6
2.1. Navigációs vevők.....	6
2.1.1. Garmin GPSMAP60C	7
2.1.2. RoyalTek RBT-2300 Bluetooth	7
2.1.3. Brauniger Flugelectronic IQ Basic	8
2.1.4. FAI/CIA Flytec Balloon Competition Logger (FAI logger)	9
2.1.5. WayteQ N770BT	9
2.1.6. Samsung Galaxy mini 2.....	10
2.2. Geodéziai vevő	11
2.2.2. Topcon HiPer II.....	11
3. A mérés folyamata	12
4. A mérési adatok feldolgozása	15
5. Eredmények.....	17
5.1. A mérések eredményei	17
5.1.1. 2013. augusztus 15., délután.....	18
5.1.2. 2013. augusztus 16., reggel	21
5.1.3. 2013. augusztus 16., délután.....	24
5.1.4. 2013. augusztus 17., reggel	27
5.1.5. 2013. augusztus 17., délután.....	30
5.1.6. 2013. augusztus 18., reggel	33
5.2. Az eredményeink összehasonlítása a tavalyi mérésekkel.....	37
Összegzés	38
Felhasznált irodalom	39
Mellékletek.....	40
1. számú melléklet – Programlista	40
2. számú melléklet – Fotódokumentáció a hőlégballonos versenyről.....	51

Ábrajegyzék

1. ábra. Célpont az üres mezőn	4
2. ábra. Markerdobás.....	4
3. ábra. A Garmin vevő.....	7
4. ábra. A RoyalTek vevő.....	7
5. ábra. A Brauniger vevő	8
6. ábra. A FAI logger	9
7. ábra. A WayteQ vevő.....	9
8. ábra. A Samsung mobil	10
9. ábra. Topcon HiPer II.....	11
10. ábra. Augusztus 14., 15., 16. délutáni repülések alkalmával megtett útvonalak, fel- és leszállási helyek	14
11. ábra. Augusztus 16. reggeli repülés alkalmával megtett útvonal, fel-és leszállási helyek	14
12. ábra. Augusztus 17. délutáni repülés útvonala, a fel-és leszállási helyek.....	14
13. ábra. Augusztus 17., 18. reggeli repülések útvonala, a fel-és leszállási helyek.....	14
14. ábra. A geodéziai vevő adatainak feldolgozása Topcon Toolsban	15
15. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM.....	18
16. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	19
17. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása..	20
18. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM.....	22
19. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	22
20. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása	23
21. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM.....	25
22. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	25
23. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása	26
24. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM.....	28
25. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	28

26. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása	29
27. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM	31
28. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	31
29. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása	32
30. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM	34
31. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében	34
32. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása	35
33. ábra. A jó konzulens mindig segít	51
34. ábra. A ballonozás elengedhetetlen művelete, a kupola fűtése	51
35. ábra. Beszállás a kosárba	51
36. ábra. Az OTP-s ballon, amellyel a méréseket végeztük	51
37. ábra. Az emelkedő hőléggallonok	52
38. ábra. A marker távolságának mérése a célponttól	52
39. ábra. Közös felszállás a Hajdúszoboszlói repülőtérrel	52
40. ábra. Alacsonyan repülve Debrecen felett	52
41. ábra. A GNSS-vevőkkel felszerelve	53
42. ábra. A csapattagok munkája elengedhetetlen	53
43. ábra. Felszállás előtti pillanatok	53
44. ábra. Búcsú a földtől, emelkedés az égbe	53
45. ábra. A hatalmas kupola alulról	54
46. ábra. A Tiszaújvárosi ballon, amellyel a méréseket végeztük	54
47. ábra. Elkezdődött a mérés	54
48. ábra. Konzultálnak a konzulensek	54

Táblázatjegyzék

1. táblázat. Az egyes repülések során használt GNSS-vevők	13
2. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	21
3. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	21
4. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	21
5. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	24
6. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	24
7. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	24
8. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	27
9. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	27
10. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	27
11. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	30
12. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	30
13. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	30
14. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	32

15. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	33
16. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	33
17. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása	35
18. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása	36
19. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása	36

Bevezetés

A hőlégballon versenyek lényege, hogy a csak magasságilag irányítható ballonokkal vízszintes értelmű feladatokat kelljen megoldani. A feladatok elvégzésének kiértékelése geodéziai módszerekkel történik. Kezdetben terepi mérőcsoportok végezték az egyes feladatok eredményének rögzítését, de az 1990-es évek óta a hőlégballonozás történetében is megjelentek a navigációs GPS-vevők, mint a verseny kiértékelésének eszközei. Az első GPS-vevők megbízhatósága és pontossága jelentősen elmaradt a ma használt vevőkétől. A GPS-vevők fejlődésének köszönhetően egyre szélesebb körben lehetett őket alkalmazni a hőlégballon versenyek során, melyek megkönnyítették egy-egy feladat kivitelezését, a verseny biztonságosabbá, az eredmények kiértékelése egyszerűbbé vált. A GPS-vevőket nem csak a repülés útvonalának rögzítésére használják a verseny során, hanem a navigációhoz is. A pilóták a saját vevőjük alapján irányítják a ballont, és végzik el a kitűzött feladatokat. Ebből a szempontból előrelépés volt, hogy a versenyzők vevőit egységessé tette a FAI (Fédération Aéronautique Internationale) Ballooning Commission, hivatalos nevén CIA (Comité International d'Aérostation), azaz a Nemzetközi Hőlégballon Szövetség a Flytec Ballon Competition Logger (röviden: FAI logger) elkészíttetésével és használatának bevezetésével jelentősebb nemzetközi versenyeken.

A dolgozat célja a versenyeken használatos GPS-vevők pontosságának vizsgálata. Ehhez méréseket végeztük a XXXIII. Magyar Nemzeti Bajnokság és XIII. Debreceni Kupa idén augusztusban megrendezett hőlégballon versenyén, mely során különböző navigációs GPS-vevőket használtunk. A vizsgálatokhoz a FAI rendelkezésünkre bocsájtott egy FAI loggert, továbbá a hőlégballonra felvittük az Általános- és Felsőgeodézia Tanszék egyik kétfrekvenciás geodéziai GNSS-vevőjét is. A geodéziai vevő célja az volt, hogy geodéziai pontosságú viszonyítási alapként szolgáljon a vizsgálat során. A dolgozat előzményeként egy elkészült diplomamunka szolgál (*Paál Dávid, 2012*), mely során hasonló céllal készültek GPS-vevőkkel mérések, de a mérések során elkövetett hibák miatt a vizsgálat folytatása célszerűnek bizonyult.

Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a GPS-vevők minősítése során a hőlégballonosokra jellemző mérésekre koncentráltunk, célunk nem egy kellően pontos mérési eljárás kidolgozása volt, hanem a gyakorlatban használt módszerek pontosságának meghatározása. Az egyes GPS-vevők pontosságára vonatkozó megállapítások után érdekes

lehet az általunk végzett mérések eredményeit a tavalyi vizsgálat során kapott eredményekkel összevetni, milyen hasonlóságok, eltérések adódnak ugyanazon vevők között. Így a dolgozat további célja ennek az összehasonlításnak az elvégzése, mely után látható lesz, hogy egyértelmű javulást mutat-e a mérések pontosságát illetően az idei mérések alatt kedvezőbb elhelyezése a GPS-vevőknek, avagy nem befolyásolja az eredmények kimenetelét, tekintve, hogy a mérés folyamán végig egy meglehetősen nagy kiterjedésű objektum helyezkedik el a vevők fölött.

1. Hőlégballonozás története, fejlődése

A ballonozás története egészen a 3. évszázadig nyúlik vissza, amikor Kínában elkészítették az első hőlégballon jellegű szerkezetet, mely egy kisméretű lámpás volt, belsejében egy mécsessel. Ezeket a lámpásokat, melyeket Kongming lámpásoknak hívtak, katonai jelzések leadására használták. A különböző fizikai törvények felismerése után, mint például hogy a levegőnek súlya van, és ami könnyebb nála, az a levegőbe emelkedik, a legközelebbi, említésre méltó próbálkozás Európában történt a XVIII. században. A kísérletezéseik után a Montgolfier-fivérek bemutatót tartottak a versailles-i királyi kastélyban, XVI. Lajos király előtt 1783. október 19-én. Ez volt az első emberes repülés, amihez a felhajtó erőt az alulról történő folyamatos melegítés adta a papírból készült légballon számára. Ezt egy hivatalos, több száz ember előtt végrehajtott repülés követette 1783. november 21-én. A melegítést a léggömb alatt elhelyezett rácson lévő száraz fa és szalma égetésével oldották meg; a léggömb ezúttal papírral kibélelt vászon volt. Ezzel a módszerrel igen jó eredményt értek el, a repülés 25 percig tartott, ami alatt 7,5 km-t tettek meg. A meleg levegő segítségével repülő hőlégballon bemutatása után nem sokkal, 1783. december 1-jén megjelent egy másik elven működő ballon is, szintén Párizs közelében. Ezt a fajta ballont hidrogéngáz emelte a magasba, melyet kénsav és vasreszelék reakciójából állítottak elő. Ezután sokáig a hidrogénnel töltött léggömbök voltak versenyben. A hőlégballonok újbóli megjelenése és terjedése csak 1860 után következett be *(forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91l%C3%A9gballon>).*

Magyarországon 1902. május 1-jén szállt fel az első magyar tulajdonú ballon, a Turul. Az első magyar hőlégballont 1977-ben készítették, amelyet sok száz követett, ezzel utat adva a ballonozás magyarországi elterjedésének. Azóta a hőlégballonozás egy modern sporttá vált,

új szintetikus anyagokat, kisebb és könnyebb égőket használva, melyek propángázzal működnek. A hőlégballon sportot a FAI (vagy CIA) felvette önálló tagozatként a 11 légi sportja közé, mely szintén a népszerűségét bizonyítja a sportnak *(forrás: Paál Dávid, 2012)*. Versenyeket, nemzeti bajnokságokat 1980 óta szerveznek rendszeresen. Hazánkban Debrecen városa már többször is otthont adott a hőlégballon versenyeknek. A debreceni versenyek közül kiemelkedő volt 2005-ben a XIV. Hőlégballon Európa Bajnokság. Lassan hagyományosan összekapcsolódik a nemzeti bajnokság futama egy nemzetközi versennyel, így 2012-ben a XXXII. Magyar Nemzeti Bajnokság és a XII. Debrecen Kupa ugyanazon repülésekre vonatkozik, illetve idén, 2013-ban a XXXIII. Magyar Nemzeti Bajnokság és XIII. Debrecen Kupán vettünk részt, aminek keretében jelen TDK dolgozat mérései elkészülhettek *(forrás: <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91l%C3%A9gballon>)*.

A versenyeken használt GPS-vevők pontossága a speciális mérési körülmények miatt a gyártó által közzétett adatokkal hitelesen nem jellemezhető, így a mérések pontosságának meghatározását konkrét, hőlégballonon végzett mérés alapján végezzük. A továbbiakban tekintsük át a hőlégballon versenyek lényegét, hogy megismerjük azt a közeget, azokat a feladatokat, ahol GNSS-mérésekre szükség van.

Az első versenyek csak egy feladatból álltak: a pilótáknak olyan közel kellett leszállniuk a célponthoz, amilyen közel csak tudtak. A célpont egy 10 m hosszú és 1 m széles színes anyagból készült nagy „X” volt, lefektetve egy üres mezőre *(1. ábra)*. A feltűnő kereszt mutatta a célpontot vagy egy különleges koordinátát. Ahogy a pilóták szakértelme egyre nőtt, a célpontot már néhány 10 méteren belül meg tudták közelíteni. A landoló pilóták egymást akadályozták a művelet közben, ezért biztonsági okok miatt a feladatot másképp kellett megoldani. Így jutottak el a „marker” (= jelző) használatáig, ami egy 170 cm hosszú, 10 cm széles nylon lobogó, a végén egy 10*10 cm-es, 70 g-os tömeggel. A marker használatával már nem kellett a célponton landolni, ezzel biztonságosabbá vált a feladat teljesítése, mert a marker eldobása után a ballonosok tovább repültek és egy egyénileg kiválasztott helyen szálltak le, ahol már nem akadályozták egymást. Az idő múlásával a pilóták folyamatosan fejlődtek, ezért egyre több feladatot kellett teljesíteni egy verseny alatt. A többféle feladat több célt és különböző típusú célpontokat igényelt. A következő lépés az utak metsződésének használata volt a markerdobás célpontjaként, ugyanis egy útkereszteződést könnyen lehet azonosítani a magasból is. Ahogyan egyre alacsonyabbról próbálták megoldani a pilóták a markerdobást az útkereszteződésekbe, úgy merült fel a következő biztonsági probléma, a

légvezetékek jelenléte. A sport követelményei miatt ezen a ponton találkozott a ballonozás a GPS technológiával, amely a markerdobást kiválthatja az útvonal rögzítésével. A kezdetben megjelenő vevők megbízhatósága és pontossága alacsony volt, de a fejlődésnek köszönhetően ma már széles körben elterjedt a GPS-vevők használata a hőlégballonosok körében. A hivatalos ballon versenyeken ennek köszönhetően számos feladat közül választhatnak a versenyszervezők. A GPS-vevők használata ellenére a marker használata hagyományőrzési céllal egy-egy feladat erejéig előkerül a hőlégballonos versenyeken (2. ábra), de ezt a feladatot is legtöbb esetben 3D-s feladatként értékelik ki a vevő által rögzített útvonal alapján (forrás: Paál Dávid, 2012).



1. ábra. Célpont az üres mezőn

(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



2. ábra. Markerdobás

(forrás: Földváryné Kapócs Katalin)

Magasságmérés

A légi sportokban a pillanatnyi pozíció alatt a vízszintes elhelyezkedés mellett a magasságot is beleértjük minden esetben. A GPS eszközök használata óta a horizontális pozíció meghatározása általában UTM rendszerben történik. A magasság meghatározására viszont két mennyiség is elterjedt a ballonozásban, ami egymástól meglehetősen eltérő értéket mutathat. A kétféle használt magasságfogalom a következő:

Barometrikus magasság

Légi közlekedés, légi sportok esetén a magasságmeghatározás klasszikus formája a barometrikus magasságmérés, melynek eredményét mechanikus vagy elektronikus barométer adja meg. A barométer a légnyomást méri, amiből számítható a magasság. Ennek meghatározásához szükség van egy kezdőértékre, amivel összekapcsolható a légkör pillanatnyi légnyomása és a tengerszint feletti magasság értéke. Ez a kezdőérték a QNH, ami

a pillanatnyi légköri légnyomás tengerszintre átszámított értéke hPa-ban kifejezve. A pilótáknak szükségük lehet a ballonkosár és a földfelszín közötti távolságra, amit felszállás előtt a talajon a magasságmérő nulla méterre állításával, tehát a talajszint tengerszint feletti magasságának (ún. QFE) kezdőértékre beállításával kaphatnak meg. A barometrikus magasságmérőn két mutató található, a hosszabbik a 100 métereket, a rövidebbik pedig az 1000 métereket mutatja. Ez az eszköz nem hPa-ban, hanem Hgmm-ben méri a légnyomás értékét ($1 \text{ hPa} = 4/3 \text{ Hgmm}$).

A valóságban több tényező is befolyásolja a légnyomás értékét, tehát az idő függvényében változhat egy adott helyen. A légnyomás függ a hőmérséklettől és az időjárási körülményektől is, ennek megfelelően a QNH értéke 950 hPa és 1050 hPa között változhat. A légi közlekedésben a magasság számítására egy nemzetközi formulát használnak, amiben a standard atmoszféra értékeit veszik figyelembe. A Nemzetközi Szabványos Atmoszféra (International Standard Atmosphere – ISA) a légnyomást a középtengerszint magasságában 15°C -on 1013,25 hPa-ban határozza meg. A formulában a hőmérséklet csökkenés a magasság növekedésével $0,65^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. A levegő súlyát és a légnyomást erősen befolyásolja a légköri hőmérséklet és a páratartalom, ezért ha a körülmények eltérnek a standard atmoszférától, akkor a barometrikus magasságmérő a nemzetközi formula szerint nem mutat helyes értéket (*forrás: Paál Dávid, 2012*).

GPS magasság

A ballonozásban elfogadott a GPS magasság használata is, amit közvetlenül a GPS-vevőből kapunk. Civil repülés során a GPS rendszert csak másodlagosan használják a magasság meghatározására, mivel egyrészt a magasság függ a geoid alakjától (geoid unduláció helyi értékétől), másrészt mert a magasságkülönbség meghatározása pontatlanabb, mint a barometrikus magasságmérők használata esetén. A hőléggallon versenyeken a feladatokra magassági limit vonatkozik, amit egységesen, tengerszint feletti magasságban jelölnek meg. A két magasságfogalom összekapcsolására a versenyeken kihirdetik az aktuális QNH értékét. A kétféle magasság között általában kb. 40-50 méteres eltérés tapasztalható Magyarországon. Áttérés a barometrikus magasságról GPS magasságra a gyakorlatban egy közelítő formulával történik, ahol ismerni kell a QNH értéket:

$$h[m] = [(QNH[hPa] - 1013) / 12] * 100 - 2$$

ahol h a tengerszint feletti magasság. A közelítő formula a mért p légnyomásból a magasságot a $p_0=1013,25$ hPa légnyomás tengerszinten vett értékével, $T_0=15^\circ\text{C}$ hőmérsékleten, és $6,5$ C/km hőmérséklet magassági változással számolva eredményezi (forrás: <http://www.win.tue.nl/~jldejong/gliding/FLS-Disk/Reading%20Flight%20Levels%20from%20QNH-altimeters-booklet.pdf> 5. oldal).

A legrosszabb eset akkor áll elő, amikor a pilóták a navigációhoz GPS magasságot használnak, ellenben a repülési útvonal kiértékelése barometrikus magasság alapján történik, illetve fordított helyzetben. Mindkét esetben elég nagy eltérés mutatkozik, és a probléma, hogy ez a különbség nem konstans, hanem a légköri körülmények függvényében változik, és függ a GPS-vevő pontosságától és a pillanatnyi magasságtól is. A repülési szabályzat szerint a barometrikus magasságmérés használata a hőlégballonozás során kötelező, ennek megfelelően a FAI logger is barométeres magasságot mér (forrás: Paál Dávid, 2012).

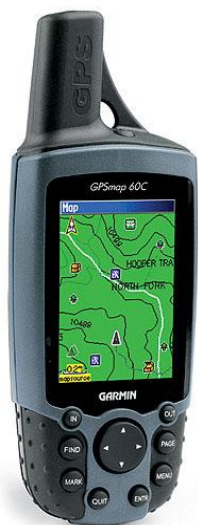
2. A méréshez használt GNSS-vevők

A vizsgálatba több rendelkezésünkre álló navigációs GPS-vevőt bevontunk, ezek a Garmin GPSMAP60 vevő C típusa, a barometrikus elven működő Brauniger Flugelectronic, az egyezményesen elfogadott FAI/CIA Flytec logger és a RoyalTek logger, ami alapján a verseny kiértékelése történt. A vizsgálatba bevontunk még egy autós navigáció célra gyártott WayteQ vevőt és egy Samsung mobiltelefont az érdekesség kedvéért, hogy lássuk, milyen pontosságot tud egy olyan vevő, ami nem kifejezetten ballonozási célra lett fejlesztve. Az összehasonlíthatóság végett szükség volt egy referencia vevőre, ami a lehető legpontosabb mérési eredményeket tudja produkálni. Erre a célra egy kétfrekvenciás geodéziai GNSS-vevőt, egy Topcon HiPer II-t választottunk.

2.1. Navigációs vevők

A mérés során használt navigációs vevők, illetve a Samsung mobil bemutatása következik, a gyártók által megadott paraméterek alapján.

2.1.1. Garmin GPSMAP60C ¹



Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	beépített Quad Helix, külső antenna csatlakozási lehetőséggel
Csatorna:	20
Pontosság:	15 méter
Magasság:	GPS magasság
Trackek:	10.000
Térkép:	van, 56 MB belső memória
Használati idő:	30 óra
Kapható:	2003 óta

3. ábra. A Garmin vevő

A Garmin vevők széleskörűen elterjedtek a hőlégballon pilóták körében kedvező ára, és egyszerű használata miatt. A versenyek kiértékelésére azonban nem használják, csak navigációs célokra. Az eszköz előnye a nagy színes kijelző, a tárolható trackek mennyisége és a térkép kapacitása. A kezelése egyszerű a 10 gombnak köszönhetően, amiből az egyik 4 irányban mozgatható, ezzel könnyítve a térképen való navigálást.

(¹ forrás: <http://www8.garmin.com/products/gpsmap60c/>)

2.1.2. RoyalTek RBT-2300 Bluetooth ²



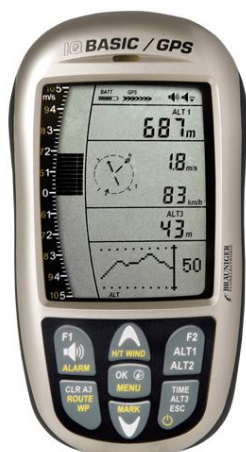
Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	SiRF Star III
Csatorna:	20
Pontosság:	10 méter
Magasság:	GPS magasság
Trackek:	650.000
Térkép:	nincs
Használati idő:	9 óra
Kapható:	2006 óta

4. ábra. A RoyalTek vevő

Az egyik legnépszerűbb logger a hőlégballonos versenyeken, mióta 2006-ban megjelent. A népszerűség legfőbb oka az eszköz ára. Az egyik előnye a tárolható trackek száma, ami lehetővé teszi 2, vagy akár 1 másodperces időközönként való rögzítést az egész repülés során. Másik előnye a Bluetooth kapcsolat. A debreceni hőlégballon versenyek során már több alkalommal is használták a RoyalTek vevőket: 2010-ben a Világkupán, 2011, 2012, és 2013-ban a Magyar Nemzeti Bajnokságokon. Az idei bajnokságon (aminek a mérési eredményei a dolgozat részét képezik) a versenyzők repülési útvonalának, és a feladatoknak a kiértékelése is ezen vevők alapján történt. A vevő többszöri használata a megbízhatóságát és pontosságát mutatja.

(² forrás: <http://www.royaltek.com/index.php/rbt-2300>)

2.1.3. Brauniger Flugelectronic IQ Basic ³



Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	SiRF Star III
Csatorna:	20
Pontosság:	10 méter
Magasság:	GPS magasság és barometrikus magasság
Trackek:	20.000
Térkép:	nincs
Használati idő:	40 óra
Kapható:	2004 óta

5. ábra. A Brauniger vevő

Ez az eszköz elterjedt a sportrepülőkhöz, bár hőlégballonos pilóták elterjedten nem használják. Az ára sokkal magasabb, mint a Garmin vevőké, viszont több funkcióval rendelkezik. A Brauniger előnye a barometrikus magasságmérő, hosszú használati idő, a nagyméretű kijelző, melyen egyszerre számos információ jelenik meg: pozíció, GPS és barometrikus magasság, sebesség, légnyomás, szélirány- és szélsébségmérési adatok. A tárolókapacitás lehetővé teszi a trackek 1 másodpercenkénti rögzítését. Az adatokat speciális fájlformátumban (IGC) menti.

(³ forrás: <http://www.brauniger.com/en/products/flight-instruments/iq-basic-gps/technical-data.html>)

2.1.4. FAI/CIA Flytec Balloon Competition Logger (FAI logger) ⁴



Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	Helix
Csatorna:	20
Pontosság:	10 méter
Magasság:	GPS magasság és barometrikus magasság
Trackek:	SD kártya kapacitása szerint
Térkép:	nincs
Használati idő:	40 óra
Kapható:	2007 óta

6. ábra. A FAI logger

A hőlégballonos versenyek egyezményesen elfogadott GPS-vevője. A speciális, hőlégballon versenyeken használt vevők fejlesztését a New Technology Subcommittee támogatja 2007 óta. A cél az volt, hogy az eszközök teljesítsék a mai ballonos versenyek követelményeit mind pontosság, mind pedig funkcionalitás szempontjából. Az eszköznek egyedülálló extra hőlégballon-specifikus funkciói vannak, például a 'virtuális markerdobás'. A vevő barometrikus magasságot mér, ezért a pilótáknak meg kell adni a földfelszíni QNH értéket a felszállás előtt (ez a Brauniger vevő esetében is szükséges). Az adatokat IGC fájlformátumban menti.

(⁴ forrás: <http://www.flytec.ch/en/products/ballooninstruments/flytec-6020-fai-logger/overview.html>)

2.1.5. WayteQ N770BT ⁵



Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	SiRF Atlas III
Csatorna:	30
Pontosság:	10 méter
Magasság:	nincs
Trackek:	SD kártya kapacitása szerint
Térkép:	van
Használati idő:	3 óra + szivargyújtó
Kapható:	2008 óta

7. ábra. A WayteQ vevő

A WayteQ autós navigáció célra gyártott GPS-vevő. A műszeren futó IGO8 navigációs program a magasságokat nem rögzítette, mivel autós navigáció során nem ez a cél. A vizsgálatba azért vontuk be ezt az eszközt, hogy egy olyan vevő pontosságát is meghatározzuk (legalább vízszintes értelemben), amit a ballonozáshoz, repüléshez a gyakorlatban nem használnak.

(⁵ forrás: <http://www.wayteq.eu/hu/node/163>, <http://gpszone.hu/termek/wayteqintensa-n770bt-pna-gps-navigacios-keszulek-n770btpna>)

2.1.6. Samsung Galaxy mini 2



Vivőhullám, kód:	L1, csak C/A kód
Antenna:	NA
Csatorna:	NA
Pontosság:	10 méter
Magasság:	GPS magasság
Trackek:	SD kártya kapacitása szerint
Térkép:	van
Használati idő:	7 óra
Kapható:	2012 óta

8. ábra. A Samsung mobil

A mobiltelefonok földrajzi helymeghatározást A-GPS-el végeznek, ami egy hálózati szolgáltatás. A műholdas kapcsolatot gyorsabban és megbízhatóbban építi ki, mint a GPS, továbbá sokkal rövidebb idő alatt beazonosítható a tartózkodási hely a GPRS-nek köszönhetően. A mobiltelefon a navigációs adatokat a műholdaktól és a mobilszolgáltató szerverétől kapja. Mobiltelefont azért vontunk be a vizsgálatba, mert manapság egyre több embernek van beépített GPS-t tartalmazó telefonja, amit navigációs célokra is lehet használni. (forrás: <http://upfone.hu/hir/mobilsuli-1-resz-mi-az-gps>).

2.2. Geodéziai vevő

A mérés során egy kétfrekvenciás geodéziai GNSS-vevőt, egy Topcon HiPer II-t használtunk. A mérési eredmények utólagos feldolgozása után cm-es pontosság érhető el, ezért ezeket az értékeket tekintjük majd referencia értékként a vevők pontosságára vonatkozó összehasonlítások során.

2.2.1. Topcon HiPer II ¹



Vivőhullám, kód:	GPS: L1 C/A, L1/L2 P-kód, L2C GLONASS: L1/L2 C/A, L1/L2 P-kód
Csatorna:	72
Pontosság:	statikus mérés esetén (L1+L2): vízszintes 3 mm + 0,5 ppm, magasság 5 mm + 0,5 ppm kinematikus mérés esetén: vízszintes 10 mm + 1 ppm, magasság 15 mm + 1 ppm RTK: vízszintes 10 mm + 1 ppm, magasság 15 mm + 1 ppm DGPS: < 0,5 méter
Magasság:	GPS magasság
Trackek:	SD kártya kapacitása szerint
Kommunikáció:	Bluetooth, UHF rádió
Használati idő:	7,5 óra
Kapható:	2010 óta

9. ábra. Topcon HiPer II

A vevő alkalmas statikus, kinematikus, RTK és DGPS módszerrel történő mérésre mindkét frekvencián. A repülés során kinematikus módszerrel végeztük a mérést, aminek a pontossága vízszintes értelemben 10 mm + 1ppm, magassági értelemben pedig 15 mm + 1 ppm (¹ forrás: <http://www.topconpositioning.com/products/gnss/receivers/hiper-ii>).

3. A mérés folyamata

A mérések ismertetése előtt fontosnak tartom bemutatni, hogyan zajlik egy hőlégballonos verseny, ezért elsőként ezzel kezdeném. A hőlégballonos verseny egy megnyitóval kezdődik (General Briefing), ahol a versenyigazgató egy rövid prezentációt tart a verseny területéről, a közlekedési viszonyokról és a versenytérképről. Ismerteti a feladatok szabályait, a közös felszálló helyeket, a repülőterek légterét és a tiltott zónákat, valamint egy időjárás előrejelzést a verseny idejére. A hivatalos versenytérkép nyomtatott példánya 1:50.000-es méretarányú és UTM vetületű. Egy nap két repülést tartanak, egyiket napkelte után, a másikat napnyugta előtt a ballonosokra veszélyes termikus aktivitás elkerülése érdekében. Az első esemény minden repülés előtt a Task Briefing-el kezdődik, amit a versenyigazgató tart meg. Minden alkalommal ismerteti az előzetes meteorológiai vizsgálatokat, melynek eredményétől függ, hogy lesz-e egyáltalán felszállás. Kielégítő időjárási viszonyok esetén (csapadékmentes idő, nem túl erős szél) ismertetésre kerülnek a szélviszonyoknak megfelelően kitalált feladatok, a felszállás illetve leszállás helye, a napkelte és a napnyugta időpontja. A megbeszélés közben a meteorológiai csoport ismételt szélmerést végez, ami 10 percig tart. A szélmerés eredménye a szél erőssége és iránya a földfelszínen és a felszíntől mérve minden 70 méteres rétegben, egészen 2000 méterig. Ha a szélmerés eredményében bizonytalanság van, akkor a felszállás helyszínén végeznek egy kiegészítő szélmerést, és szükség szerint módosítják a feladatot vagy a fel- illetve leszállási helyeket. A barometrikus magasságmérővel rendelkező GPS-vevőknél meg kell adni az aktuális QNH értéket a felszállás előtt, amit a meteorológusok közölnek minden Briefing-en.

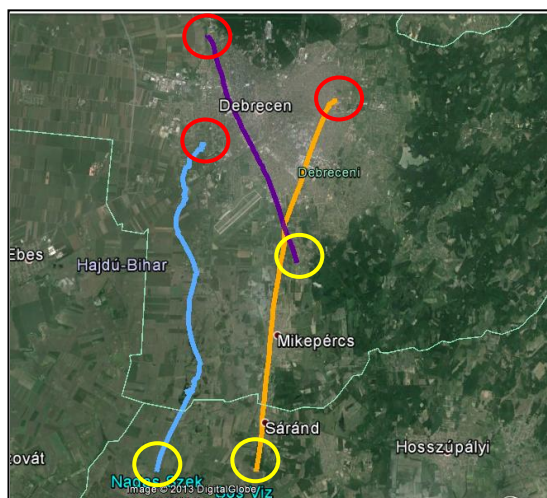
A felszállás helyszínén zöld zászlójelzés esetén megkezdődhet a felszállás, amiben az egész ballonos csapat (pilóta plusz 3 vagy 4 csapattag) segítségére szükség van. A felszállás után megkezdődik a feladatok teljesítése, amelynek többsége marker nélkül is megoldható, hiszen a pilóták GPS-vevő alapján végzik a navigációt, és az útvonaluk rögzítése is GPS-vevő alapján történik. Amikor a pilóták befejezték a feladatokat és földet értek a ballonnal, az első feladatuk a GPS logger kikapcsolása, ne rögzítsen felesleges információt a vevő, illetve nehogy felülírja a repülés során rögzített pontokat a telítődött memória miatt. A csapatoknak ezután vissza kell térniük a versenyközpontba, ahol le kell adniuk a repülés útvonalát rögzítő loggereket. A GPS-vevőkből lementett adatok feldolgozása és kiértékelése ezután a hivatalos GPS-vevő kezelők feladata. A CIA/FAI loggerek megjelenéséig az egyetlen információ a repülések trackje volt *(forrás: Paál Dávid, 2012)*.

A méréseket az idén megrendezett XXXIII. Magyar Nemzeti Bajnokság és XIII. Debrecen Kupa keretein belül végeztük. A verseny 2013. augusztus 14-18-ig tartott, helyszíne Debrecen volt, ahogy 2005., 2010. és 2012-ben is. Ez a hőlégballon verseny egy FAI által a hivatalos versenynaptárba felvett, ellenőrzött verseny volt. Az 5 nap alatt összesen 7 alkalommal volt repülés (és mérés). A 7 repülésből 3 alkalom volt reggel, 4 pedig késő délután. Az időjárás a verseny alatt végig kedvezően alakult, csak egy alkalommal kellett miatta repülést kihagyni (08. 15-én reggel). 4 alkalommal is saját magam vittem fel a vevőket, egyébként egyik konzulensem. A vevők a mérések során 2 különböző ballonnal „repültek”. A két ballon mérete közel azonos volt (kb. 7000 m³), ami a kitakarás szempontjából egyforma értéknek vehető. A vevők elhelyezése a kosárban körültekintően történt, az összes navigációs vevőt egymás mellé fűztük fel, és a repülés során végig nyakba akasztva voltak, figyelve arra, hogy egymást ne takarják, illetve a kosáron belül is a legkisebb takarás érje őket. A geodéziai vevő a kosár egyik rögzítő kötelébe volt beakasztva, a navigációs vevőkhöz képest néhány 10 cm-re, a repülés során fix távolságra a nyakba akasztott navigációs vevőktől. A geodéziai vevőnél is figyeltünk rá, hogy a lehetőségekhez képest legkisebb kitakarást szenvedjen. A repülés alatt a geodéziai vevő a kosár szélén, a kosár peremétől kiemelve volt tartva, egyedül a leszállás előtt volt kissé beljebb emelve a vevő épségének megőrzése érdekében. A GNSS-vevőket lehetőség szerint dél felé fordítva tartottuk. Az egyes repülések során felvittünk valamennyi rendelkezésre álló vevőt, de tekintve, hogy ezek mások tulajdonát képezik, valamennyit vevőt csak két esetben állt módunkban felvinni. A használt vevőket az *1. táblázat* tartalmazza, dátum és napszak szerint.

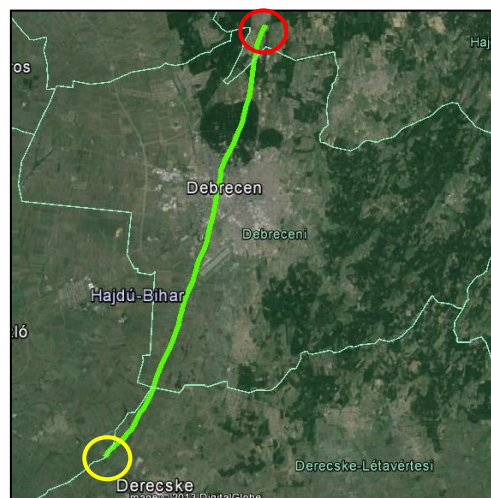
Dátum	Garmin GPSMAP60	RoyalTek RBT-2300	Brauniger Flugelectronic	FAI/CIA logger	WayteQ N770BT	Samsung mobil	Topcon HiPer II
Aug. 14. délután	-	-	+	-	+	-	-
Aug. 15. délután	+	+	+	-	+	-	-
Aug. 16. reggel	+	+	+	-	+	-	-
Aug. 16. délután	+	+	+	+	+	-	-
Aug. 17. reggel	+	+	+	-	+	-	-
Aug. 17. délután	+	+	+	+	+	+	+
Aug. 18. reggel	+	+	+	+	+	+	+

1. táblázat. Az egyes repülések során használt GNSS-vevők

Az egyes repülések alkalmával megtett útvonalak, a fel- és leszállási helyek a 10.-13. ábrán láthatók, a reggeli és a délutáni repülések alapján.

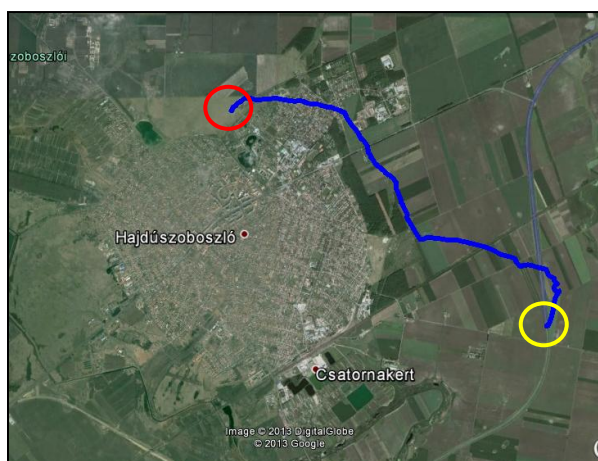


10. ábra. Augusztus 14., 15., 16. délutáni repülések alkalmával megtett útvonalak, fel- és leszállási helyek (forrás: Google Earth, saját szerkesztés az adatok alapján)

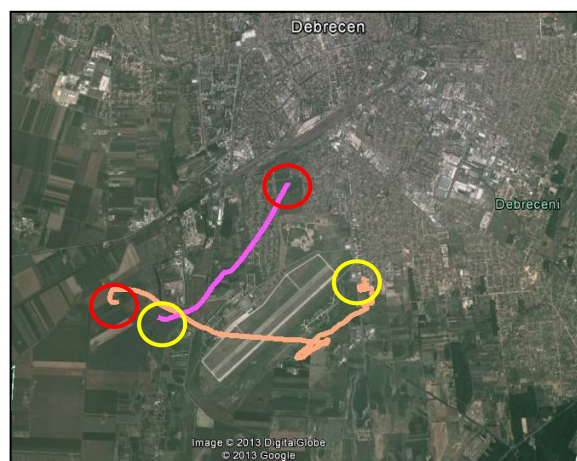


11. ábra. Augusztus 16. reggeli repülés alkalmával megtett útvonal, fel- és leszállási helyek (forrás: Google Earth, saját szerkesztés az adatok alapján)

A 10. ábrán a kék vonal az augusztus 14. délutáni, a narancssárga vonal az augusztus 15. délutáni és a lila vonal az augusztus 16. délutáni repülés útvonalát jelöli. A 10.-13. ábra esetében is a piros körök a felszállás helyét, a sárga körök pedig a leszállás helyét jelzik. A 11. ábrán az augusztus 16. reggeli repülés látható zöld színnel jelölve.



12. ábra. Augusztus 17. délutáni repülés útvonala, a fel- és leszállási helyek (forrás: Google Earth, saját szerkesztés az adatok alapján)

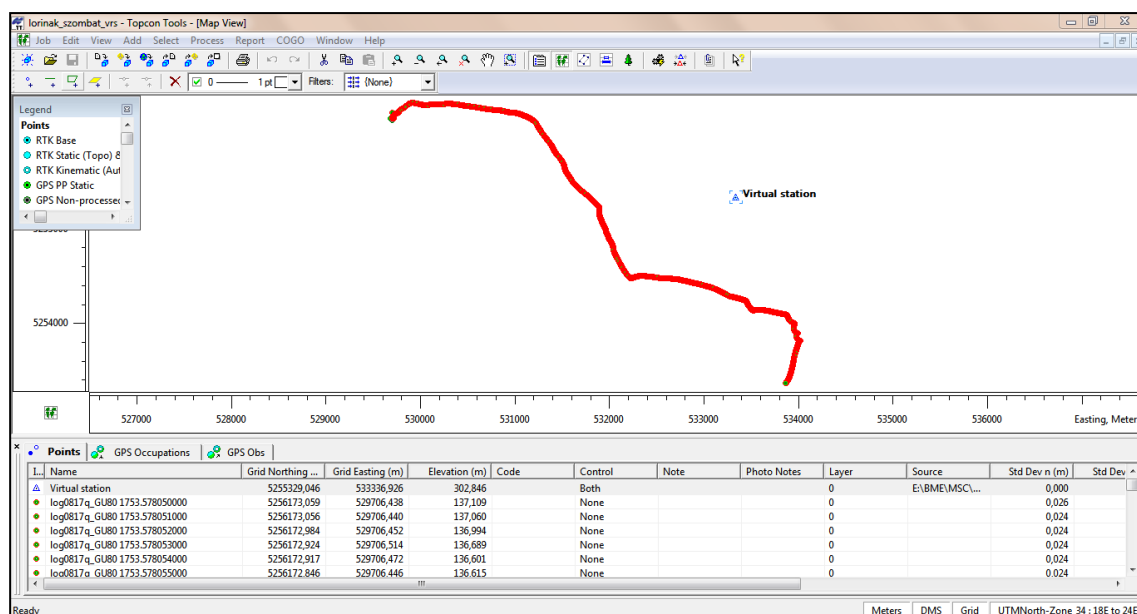


13. ábra. Augusztus 17., 18. reggeli repülések útvonala, a fel- és leszállási helyek (forrás: Google Earth, saját szerkesztés az adatok alapján)

Az 12. ábrán, sötétkék színnel az augusztus 17. délutáni repülés útvonala, a 13. ábrán rózsaszínnel az augusztus 17. reggeli, barackszínnel pedig az augusztus 18. reggeli repülés alkalmával megtett út látható.

4. A mérési adatok feldolgozása

A Topcon HiPer II geodéziai vevővel kinematikus mérést végeztünk a repülések során, az ebből származó koordinátákat utófeldolgozással kaptuk meg. Az utófeldolgozáshoz a GNSS Szolgáltató Központból (www.gnssnet.hu) kértük le az adatokat. Az adatok letöltéséhez szükség volt a mérés megkezdésének időpontjára, az időtartamra és a rögzítési gyakoriságra. Esetünkben ez másodperces adatokat jelentett. Geodéziai vevővel 2 mérésünk volt, az egyik augusztus 17. délután, a másik augusztus 18. reggel. Mindkét napra kétféle RINEX fájlt töltöttünk le: Debrecen permanens állomásra vonatkozó RINEX fájlokat, illetve méréseinkhez közelebb elhelyezkedő virtuális permanens állomás RINEX adatait. Ezután a geodéziai vevő által rögzített fájlokat (tps fájlok) és a gnssnet.hu-ról letöltött fájlok közül a .13d kiterjesztésű fájlt betöltöttük a Topcon Toolsba, és ott kinematikus mérésként feldolgoztuk azokat a WGS84 vonatkoztatási rendszerben (14. ábra).



14. ábra. A geodéziai vevő adatainak feldolgozása Topcon Toolsban

Vetületként az UTM vetületet választottuk, mert a verseny kiértékeléséhez használt GPS-vevők, és az általunk használt navigációs vevők is UTM-ben rögzítették a koordinátákat. A feldolgozásnál Debrecen ill. a két VRS állomás mindkét koordinátáját megkötöttük, és ezekhez a pontokhoz képest képeztük a különbségvektorokat, melynek eredményei megadták a repülés alatt rögzített pontok tényleges koordinátáit. A feldolgozást azért végeztük el egy permanens és egy virtuális állomás szerint is, hogy vizsgáljuk a két változat közötti különbséget. Az eltérések 1-2 cm körüli értékre adódtak. Mint a továbbiakban látható lesz, a geodéziai GNSS-mérések két feldolgozásának eltérése jóval, legalább két nagyságrenddel kisebb, mint a navigációs mérések pontossága, így azok minősítése szempontjából gyakorlatilag mindegy, melyiket használjuk. Végül a Debrecen permanens állomásról végzett meghatározást használtuk. A kapott adatokat (idő, két vízszintes koordináta és magasság) txt-be exportáltuk a további feldolgozás céljából.

A navigációs vevők adatait és a Topcon Tools-ból kiexportált geodéziai GPS-mérési adatokat MATLAB segítségével dolgoztuk fel. A navigációs GPS-mérések feldolgozásánál előzetes szűrést nem végeztünk, mivel a valós idejű mérések pontosságát kívánjuk elemezni, így minden durva hibát bent akartunk tartani a mérési adatsorban. Az egyes vevők eltérő mintavételezéssel, eltérő időpontokban rögzítették a tracket. Az összehasonlíthatóság érdekében lineáris interpolációval az egyes méréseket egy egységes időrendszerhez rendeltük. Bár az interpoláció is hibákat eredményez, ezt nem tudjuk kiküszöbölni, a hibákkal együtt kell jellemezni a méréseinket. Az interpoláció céljára megvizsgáltunk egyéb, jóval kifinomultabb interpolációs módszereket is, így köbös spline-t, és magasabb fokszámú polinomokat is, de a tapasztalat azt mutatatta, hogy ezek a módszerek nagyon érzékenyek adathiányra (jelvesztésre), ilyen esetekben a jelvesztés előtti és utáni adatsor interpolációját is elrontják. A lineáris interpoláció kis mintavételezés esetén elfogadható, hosszabb jelvesztések esetén (nagyobb, mint 10 s) az interpolált értékeket nem fogadtuk el, kihagytuk a számításból.

Az egyes repülésekhez tartozó vízszintes és magassági helyzetet bemutató ábrák elkészítésén túl az interpolált értékekből kiszámoltuk a mérésekhez kapcsolódó legegyszerűbb statisztikákat a vevők pontosságának meghatározása céljából. A MATLAB-ban végrehajtott műveletek teljes programlistája a mellékletben megtekinthető (*1. számú melléklet*).

5. Eredmények

A dolgozat célja a hőlégballonos versenyeken használt GPS-vevők pontosságának vizsgálata, így ez a fejezet tekinthető a dolgozat leghangsúlyosabb részének. Ennek tükrében összehasonlítottuk egymással az adott mérésben résztvevő GPS-vevőket. A vevőket valamennyi párosításban összehasonlítottuk egymással. Ez 4 mérés esetén az egymáshoz viszonyított relatív pontosság becslését jelentette, 2 mérés esetén, amikor geodéziai vevővel végzett mérési adatok is rendelkezésre álltak, a geodéziai méréseket referenciaként használva abszolút pontossági becslésnek tekinthetjük. Az idei mérések eredményeinek vizsgálata után a kapott eredményeket összevetettük a 2012-es versenyen történt mérések eredményeivel (*Paál Dávid, 2012*).

5.1. A mérések eredményei

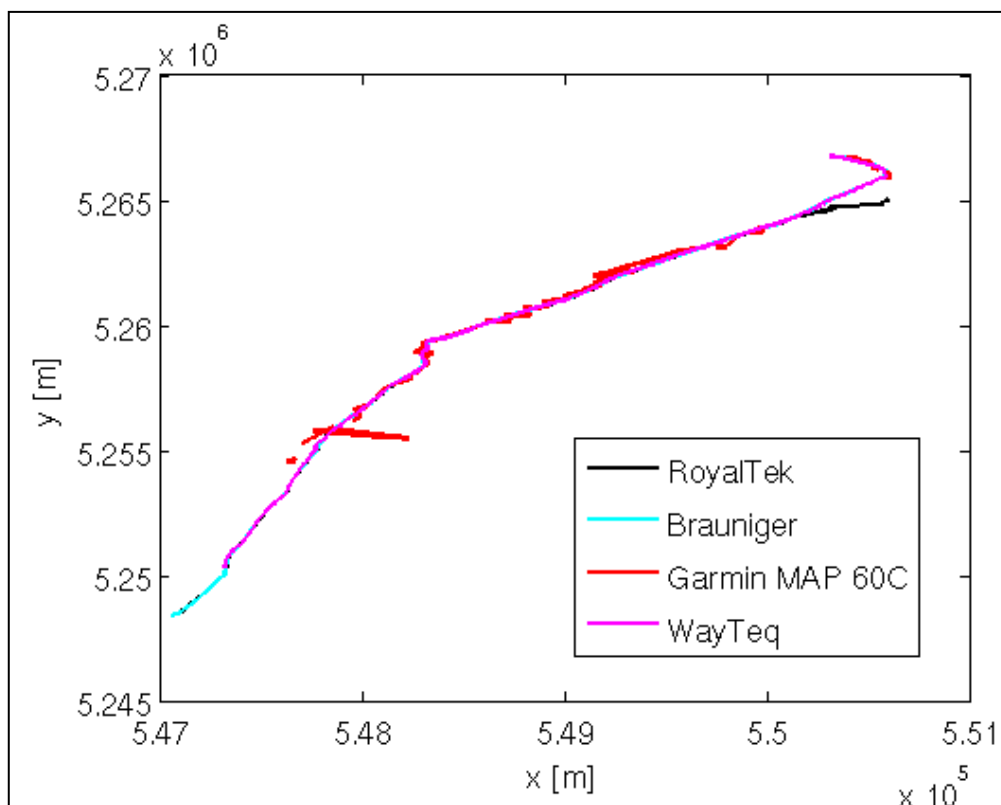
Az alábbiakban a 2013-ban megrendezett hőlégballon versenyen végzett mérések során szerzett eredményeket ismertetjük. A mérések közül az első alkalommal, 2013. augusztus 14-én délután, a hőlégballonozás során a felszállás és a leszállás műveletével ismerkedési céllal repültem, így csak néhány vevőt vittem fel magammal. Azon a repülésen végzett mérés eredményeit nem tartottuk kiértékelésre érdemlegesnek a méréskor használt vevők alacsony száma miatt. A többi repülés eredményeit a következőekben ábrákon, a kapcsolódó statisztikákat táblázatos formában ismertetjük. A GPS-, illetve GNSS-vevők azonos körülmények között történt elhelyezése miatt az eltérések esetén az elhelyezésből adódó hibát elhanyagolhatónak tekintjük, a kapott hiba nagysága a mérés (ill. a vevők) pontosságára és egyéb, a mérést befolyásoló tényezőkre utal.

Meghatároztuk az egyes mérések ideje alatt látható műholdak számát, és a mérések pontosságát jellemző GDOP (műholdgeometria hatása) és PDOP (helyzeti megbízhatóság) értékeket is (*GNSS Planning Online*). A DOP értékek azért kerültek utólag meghatározásra, mert a navigációs GPS nyers mérést nem rögzít, így a DOP érték utólag nem határozható meg az adatokból (ez csak a geodéziai vevő esetén lehetséges). A látható műholdak számában nem mutatkozott eltérés az egyes napokat illetően, minden nap 8-10 db műhold volt észlelhető. A GDOP és PDOP értékek alakulása is hasonlóan kedvező volt. A GDOP 2,2-2,4 között a PDOP 1,7-2,0 között változott a 6 mérés alkalmával, ami megfelelő. Kiugrás egyik értékben sem tapasztalható, a magasabb értékek is csak 2,8 körül voltak néhány percig. Ezek alapján

elmondható, hogy a műholdgeometria nem okozhatott jelentős eltéréseket az egyes mérési eredményekben.

5.1.1. 2013. augusztus 15., délután

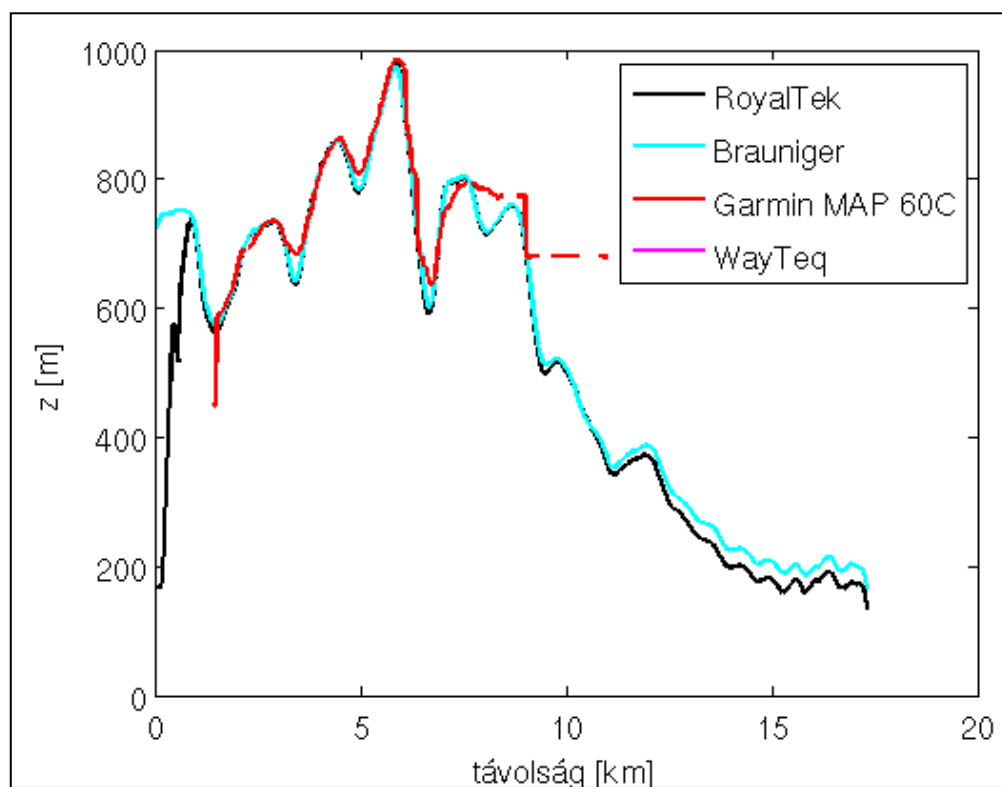
A repülés útvonala a 15. ábrán látható, ahol a koordináta tengelyek UTM koordinátáknak felelnek meg. A repülés során a magasság a 16. ábrának megfelelően változott, ahol az x tengely a távolságot mutatja km-ben. A 15. ábra felbontása mellett az egyes vevők eltérése csak jelentős, több 100 m-es eltérés esetén látható. Ennek oka lehet egyrészt a bekapcsolás utáni inicializáció bizonytalansága (lásd RoyalTek vevő kezdeti szakasza), másrészt a repülés során jelvesztés esetén felmerülő újrainicializálás (lásd a gyakori eltérései a Garmin MAP 60 C vevő méréseinek).



15. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM

A 16. ábrán is látható, hogy a Garmin vevőnél előfordulhat, hogy teljesen valótlan eredményeket ad, ami a gyakori jelvesztés következménye.

A leszállási szakaszban kirajzolódik a Brauniger Flugelectronic és a RoyalTek vevők magasságainak különbsége. A két mért magasság között elvi eltérés is van: míg a RoyalTek GPS-mérések alapján ad magasságértéket, a Brauniger vevő barométeres magasságot mér. A leszálláskori több m-es eltérés nem kizárt, hogy a QNH időbeli megváltozását tükrözi.

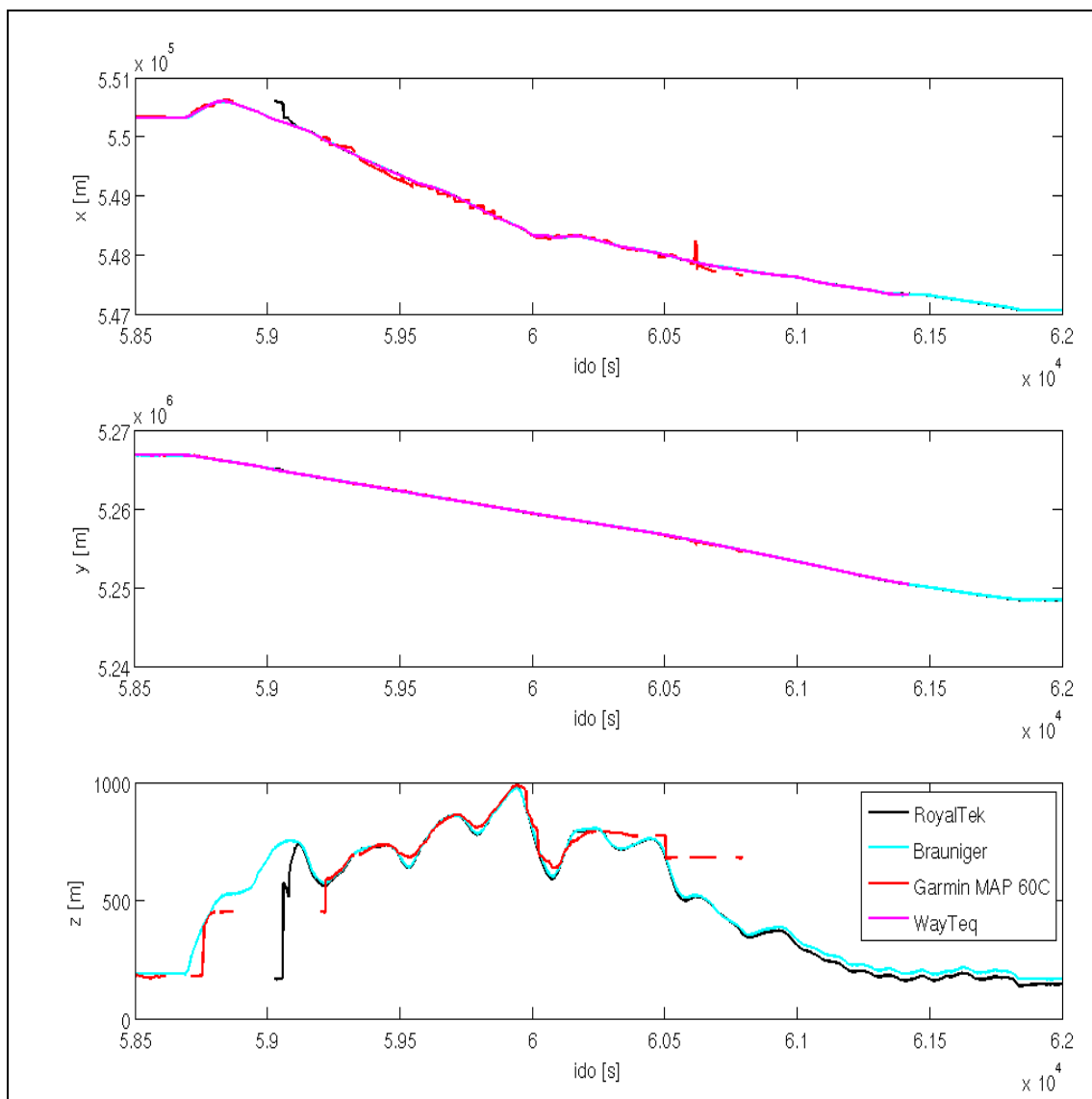


16. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében

Annak érdekében, hogy a vízszintes és a magassági helyzet időbeli alakulása együtt is látható legyen, a 17. ábra a három koordináta időbeli alakulását mutatja. A 17. ábráról leolvasható, hogy 58800 s és 59200 s közötti időszak alatt a Garmin vevő nem vett jelet. Ugyanez a jelvesztés az egyenes repülési irány miatt nem látszik a vízszintes koordinátákban.

A 2., 3., 4. táblázatok a mérések statisztikáit mutatják, az x irányban (2. táblázat), az y irányban (3. táblázat) és a magassági z irányban (4. táblázat). A mérések összehasonlíthatósága végett a különböző rögzítési időpontokat egységesítettük. Az azonos időpontokra interpolált értékek eltéréseit, majd az eltérések szórását határoztuk meg. Hosszabb jelvesztés esetén (10 s-nál hosszabb esetben) az interpolációból kapott

koordinátákat nem vontuk be a statisztika számításába. A kosárban elhelyezett vevők összehasonlítását valamennyi lehetséges párosításban elvégeztük. Megjegyezzük, hogy a WayteQ vevő magassági adatot nem szolgáltatott, így a magassági összehasonlításból (4. táblázat) ki kellett hagynunk.



17. ábra. Az augusztus 15. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

Az összehasonlíthatóság kedvéért a barométeres magasságmérés adatait átszámoltunk tengerszint feletti magasságokká, a 4. táblázat tehát a tengerszint feletti magasságokból számolt statisztikát tartalmaz.

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	33.1824	45.4118	37.0076
Brauniger	X	43.8656	4.6013
Garmin MAP 60C	X	X	43.2238

2. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	13.7740	49.3452	18.4347
Brauniger	X	45.7703	9.4197
Garmin MAP 60C	X	X	46.8827

3. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

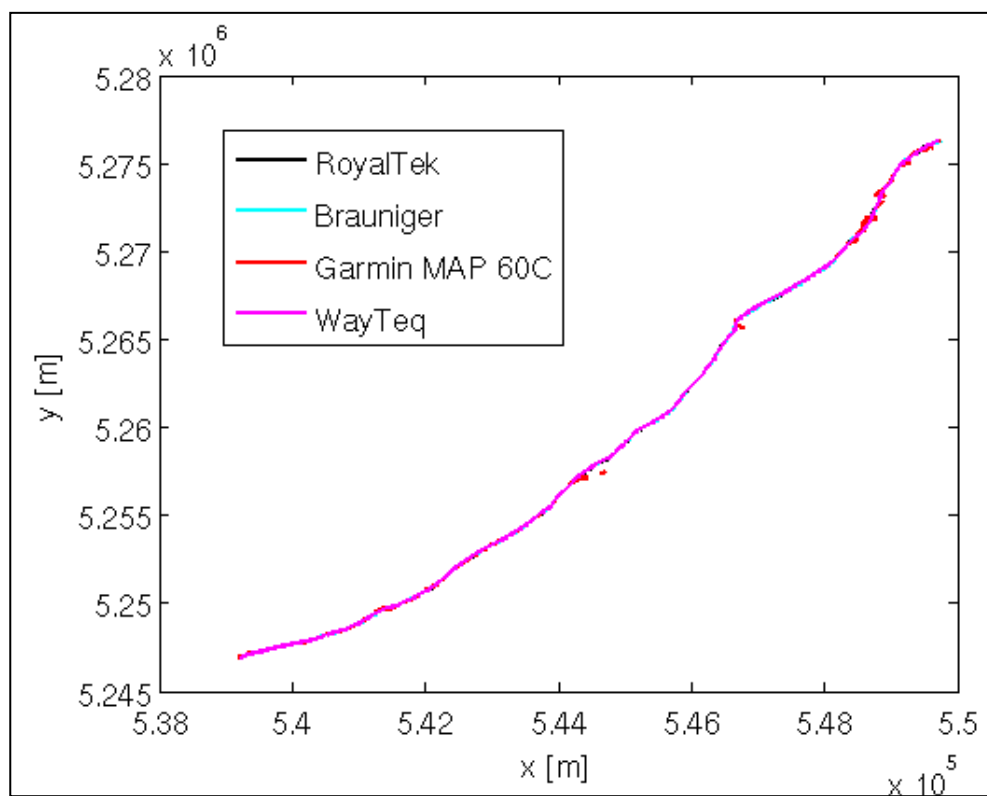
	Brauniger	Garmin MAP 60C
RoyalTek	59.25636	64.6701
Brauniger	X	68.3207

4. táblázat. Az augusztus 15. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

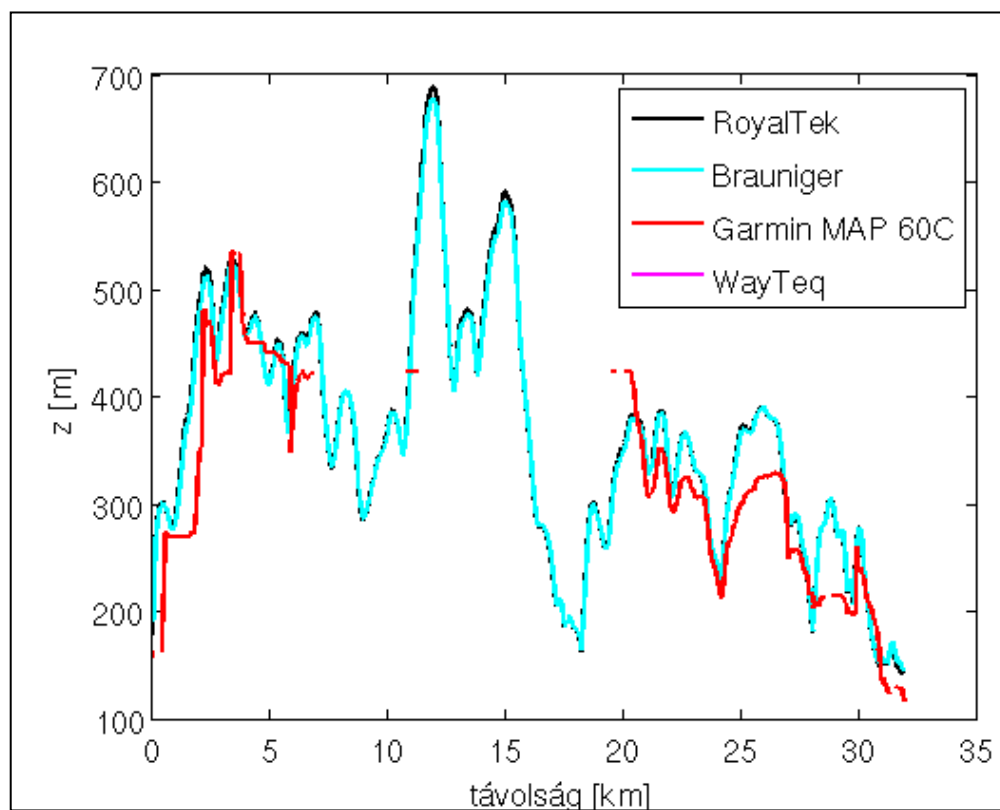
A 2., 3. és 4. táblázatokat vizsgálva az eltérések jelentősek, több 10 m-es középhibát mutatnak. Erre csak részben magyarázat a nagy kitakarás (hiszen a hőlégballon folyamatosan a vevők felett helyezkedett el). A nagy eltérések oka a vevők beépített antennájának minősége miatt lehet, ugyanis a helymeghatározás pontossága nagymértékben függhet a műholdjelek tiszta vételétől. A Garmin pontatlan eredményeit a rendszeres jelvesztés indokolhatja, a RoyalTek jelentős x irányú eltérését a WayteQ és Brauniger vevőktől a sikertelen kezdeti inicializáció (ennek okát nem tudjuk, de látható, hogy 59000 s-ig nem vett a RoyalTek; nem tudunk róla, hogy a pilóták a vevőt repülés közben kapcsolták volna be, elvileg a vevőnek a felszálláskor már üzemelnie kellett). Elfogadható pontosságúnak tekinthető a Brauniger és a WayteQ vevők vízszintes helymeghatározásának egymáshoz viszonyított középhibái. A magassági középhibák meglepően nagyok mind a 3 vevő között.

5.1.2. 2013. augusztus 16., reggel

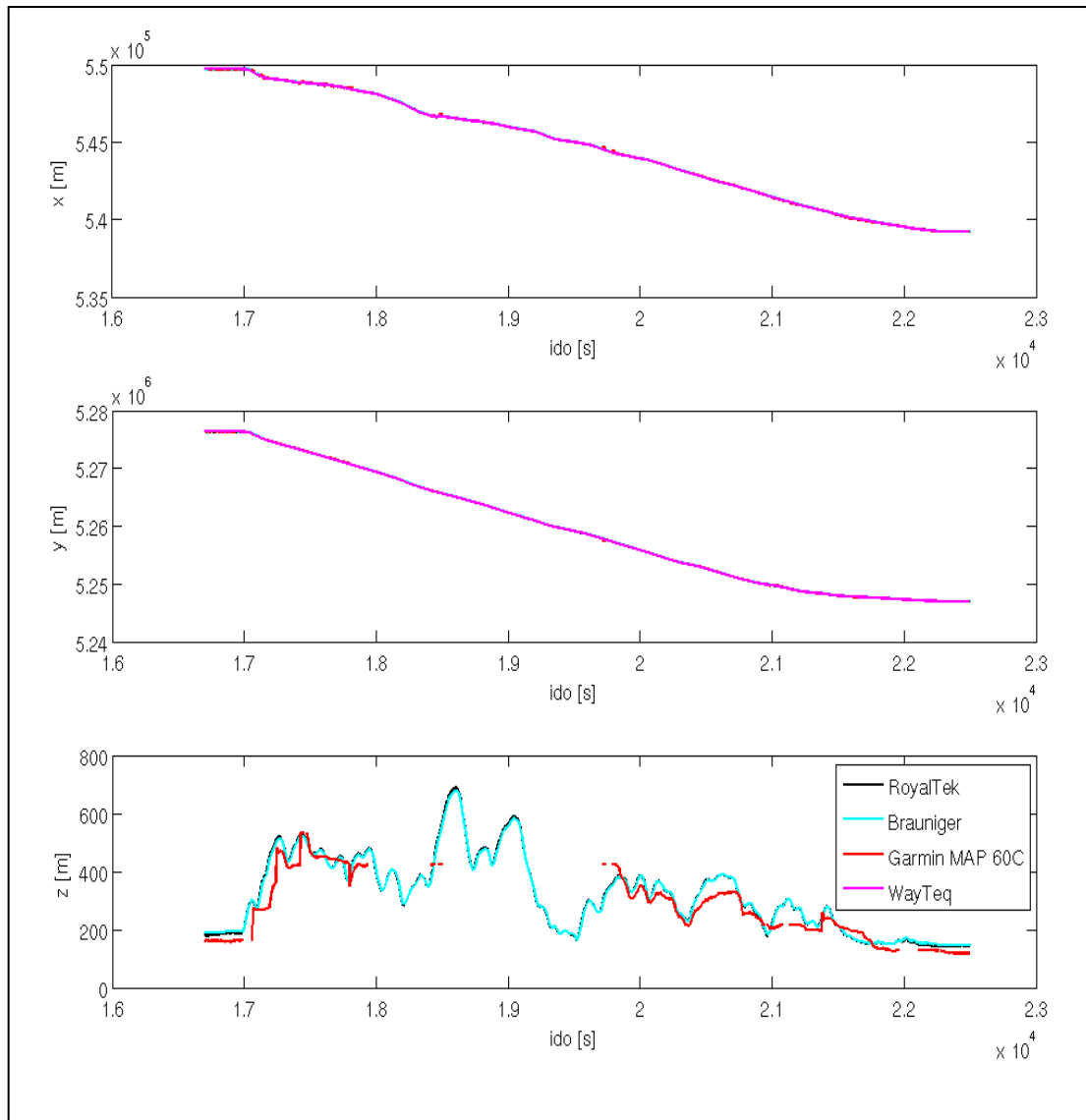
A repülés útvonalát a 18.-20. ábrák mutatják, a koordinátatengelyek továbbra is UTM koordináták, illetve a felszállástól megtett távolság km-ben kifejezve. Ezen a napon 4 GPS-vevővel sikerült rögzíteni a repülés ideje alatt, ugyanazzal a 4 vevővel, mellyel az előző nap végeztük a méréseket.



18. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM



19. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében



20. ábra. Az augusztus 16. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

A pályagörbéket megfigyelve ismét szembetűnik a Garmin vevő rendszeres jelvesztése következtében tapasztalható óriási bizonytalansága. A Garmin mérések azt mutatják, hogy 17900 s és 19800 s közötti időszakban egy bő percet leszámítva (18420 s és 18490 között) nem volt jel. Abban az 1 perces intervallumban vízszintesen egész jól sikerült megtalálnia a pozícióját, a magassági helymeghatározás viszont nem volt sikeres. A Garmin vevő pontatlansága a statisztikákban is megnyilvánul (lásd 5., 6., 7. táblázatok).

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	6.9325	28.5678	6.0626
Brauniger	X	28.1594	9.5466
Garmin MAP 60C	X	X	27.8249

5. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	9.2031	33.5902	6.0185
Brauniger	X	33.2179	11.6505
Garmin MAP 60C	X	X	34.6680

6. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

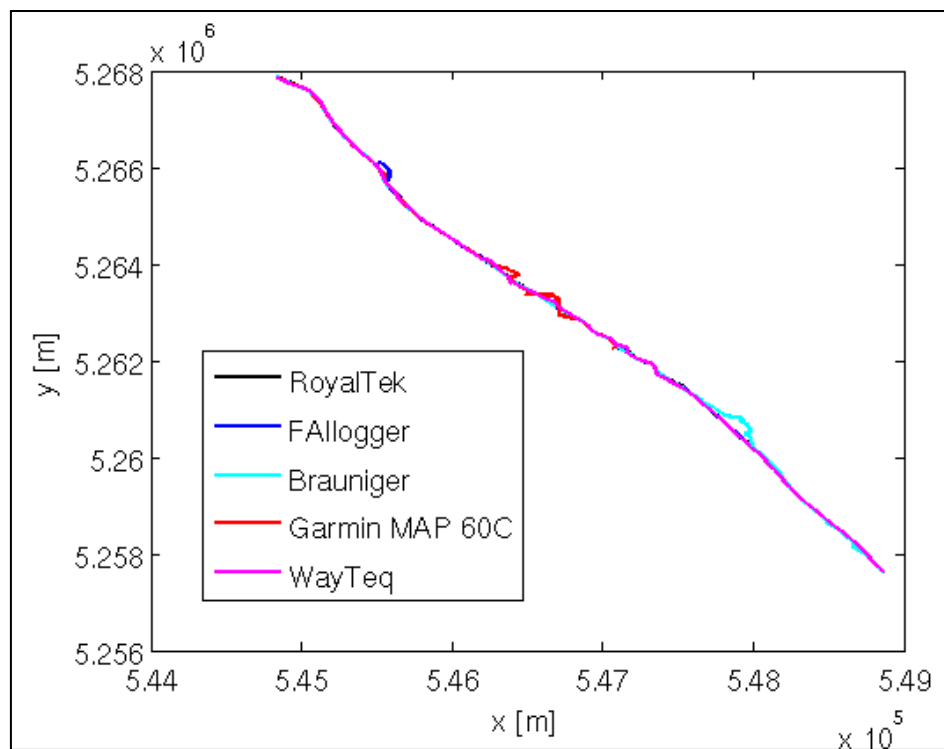
	Brauniger	Garmin MAP 60C
RoyalTek	4.6305	36.4513
Brauniger	X	35.0748

7. táblázat. Az augusztus 16. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

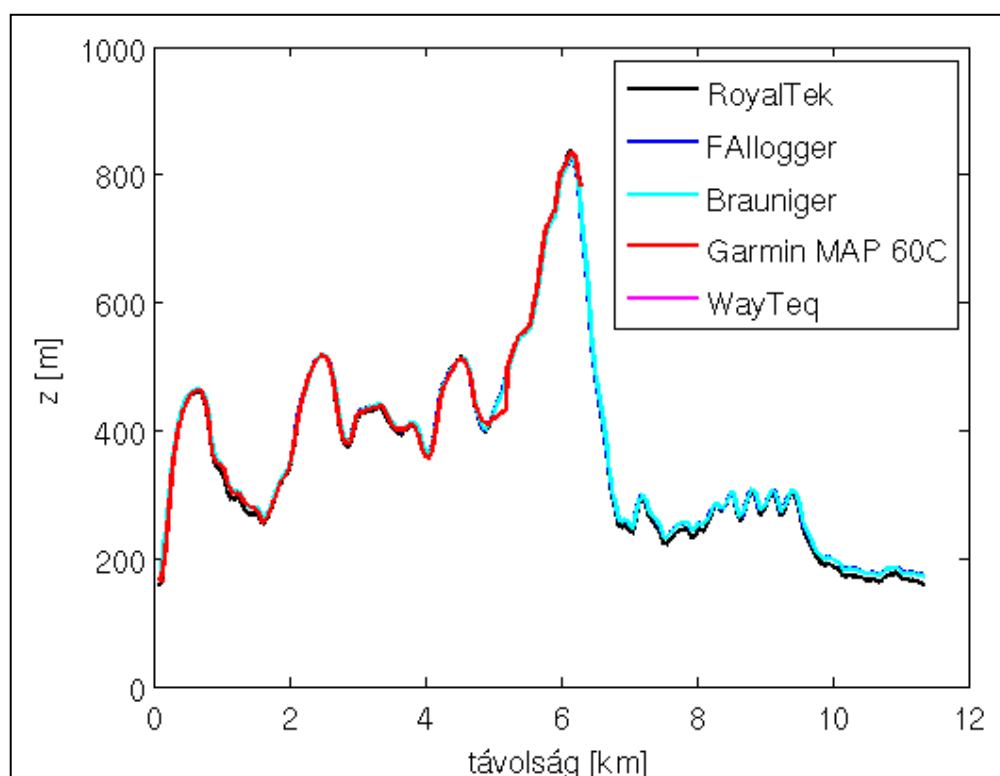
Az 5., 6., 7. táblázatok alapján a Garmin vevőt leszámítva, mind vízszintesen, mind magasságilag 5-10 m-es középhibák voltak tapasztalhatók. A Garmin vevő 30 méter körüli középhibákat produkál, ami elég pontatlan helymeghatározást jelent.

5.1.3. 2013. augusztus 16., délután

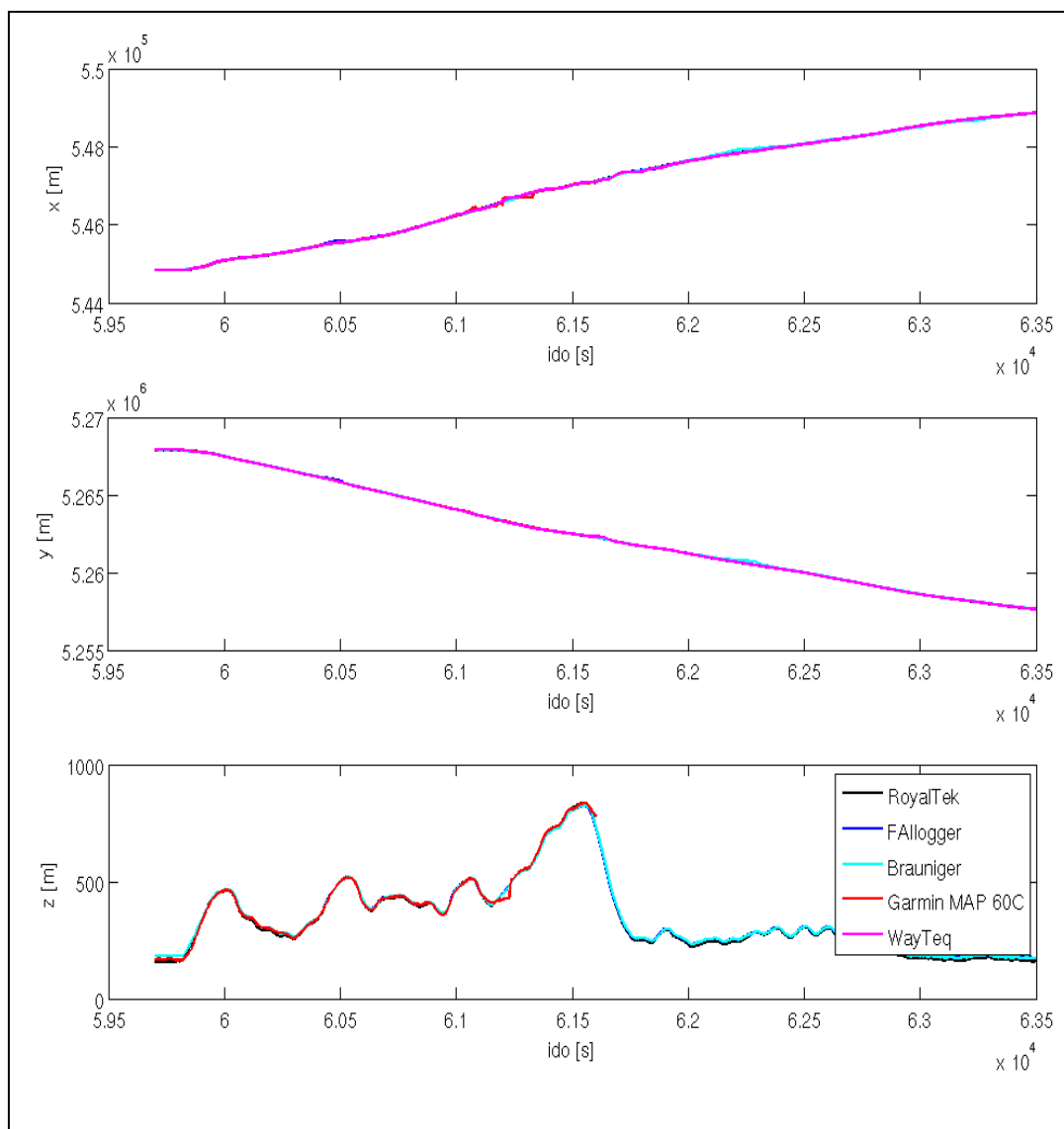
A repülés útvonalát a 21.-23. ábrák mutatják. A koordinátatengelyek továbbra is UTM koordináták, illetve a felszállástól megtett távolság km-ben kifejezve. Ezen a napon már 5 vevővel sikerült mérni, ami az összehasonlításban kedvező, hiszen több viszonyítási lehetőség van az egyes vevőkre.



21. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM



22. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében



23. ábra. Az augusztus 16. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

Ezen a napon az eddigiektől eltérő tapasztalatok szereztünk. Általánosságban elég alacsony volt a helymeghatározás pontossága a gyakori jelvesztések miatt, de a Garmin vevő az eddigiekhez képest jobban szerepelt, átlagos vevőnek volt tekinthető. A Garmin vevő mérési folyamata a repülés felénél megszakadt, feltételezhetően lemerült az akkumulátora, vagy egy későbbi mérés felülírta az adatokat (ugyanis nem minden esetben volt megoldható az adatok kiolvasása közvetlenül a mérés után). A rossz mérési körülmények statisztikailag is látszanak (lásd 8., 9., 10. táblázatok), 10-30 m-es vízszintes helymeghatározási hibákat tapasztaltunk. Ennek ellentmond, hogy a magassági helymeghatározás most először sikerült általánosan minden vevőre elfogadhatóra, 10 m alatti középhibákat eredményezve.

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	7.9460	18.0780	19.5660	9.2633
FAI logger	X	21.1284	27.3157	12.4655
Brauniger	X	X	20.1944	21.7547
Garmin MAP 60C	X	X	X	20.6772

8. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	11.3863	31.6673	9.6875	12.5149
FAI logger	X	37.0215	21.4819	17.8206
Brauniger	X	X	10.6355	33.8936
Garmin MAP 60C	X	X	X	15.0132

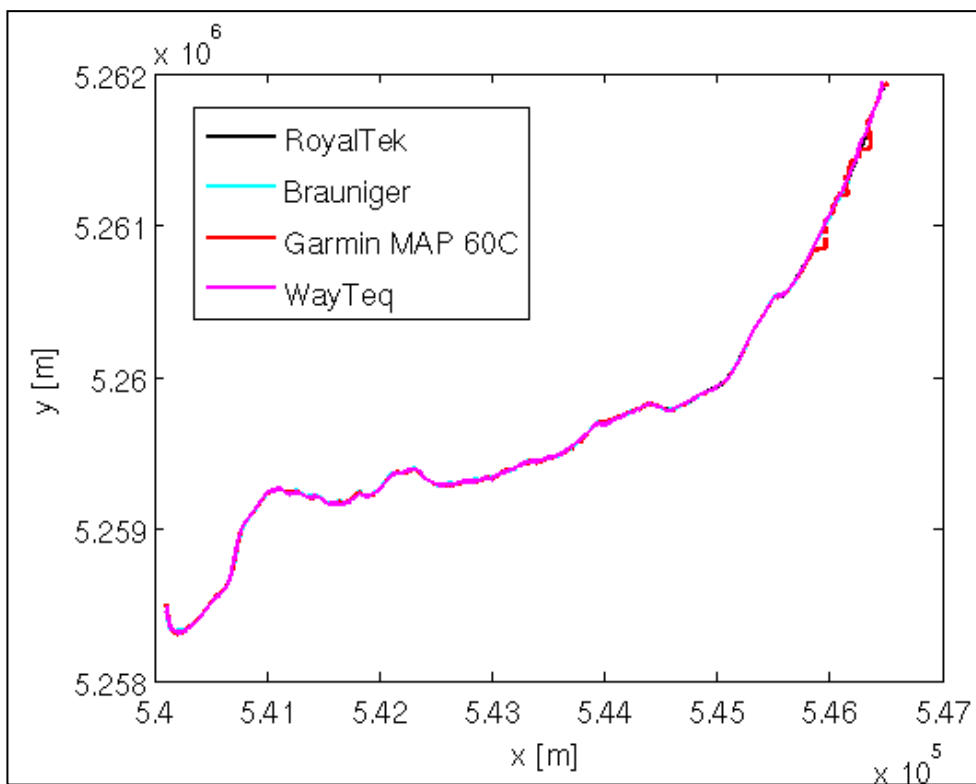
9. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C
RoyalTek	6.2183	6.5951	7.9970
FAI logger	X	2.8913	9.9647
Brauniger	X	X	9.4006

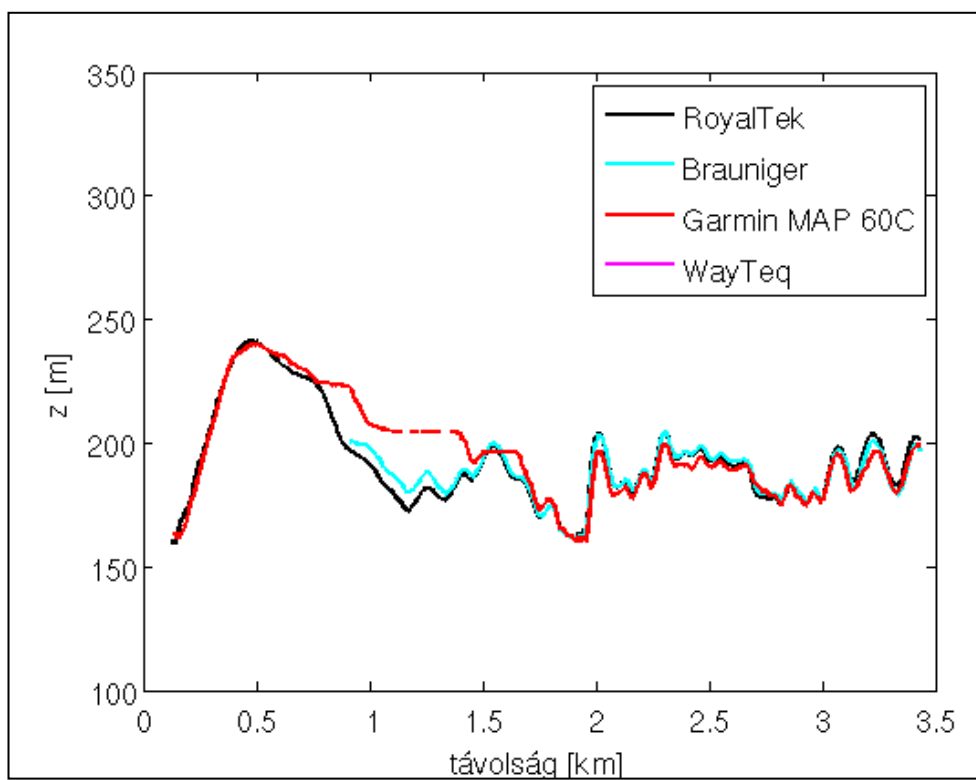
10. táblázat. Az augusztus 16. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

5.1.4. 2013. augusztus 17., reggel

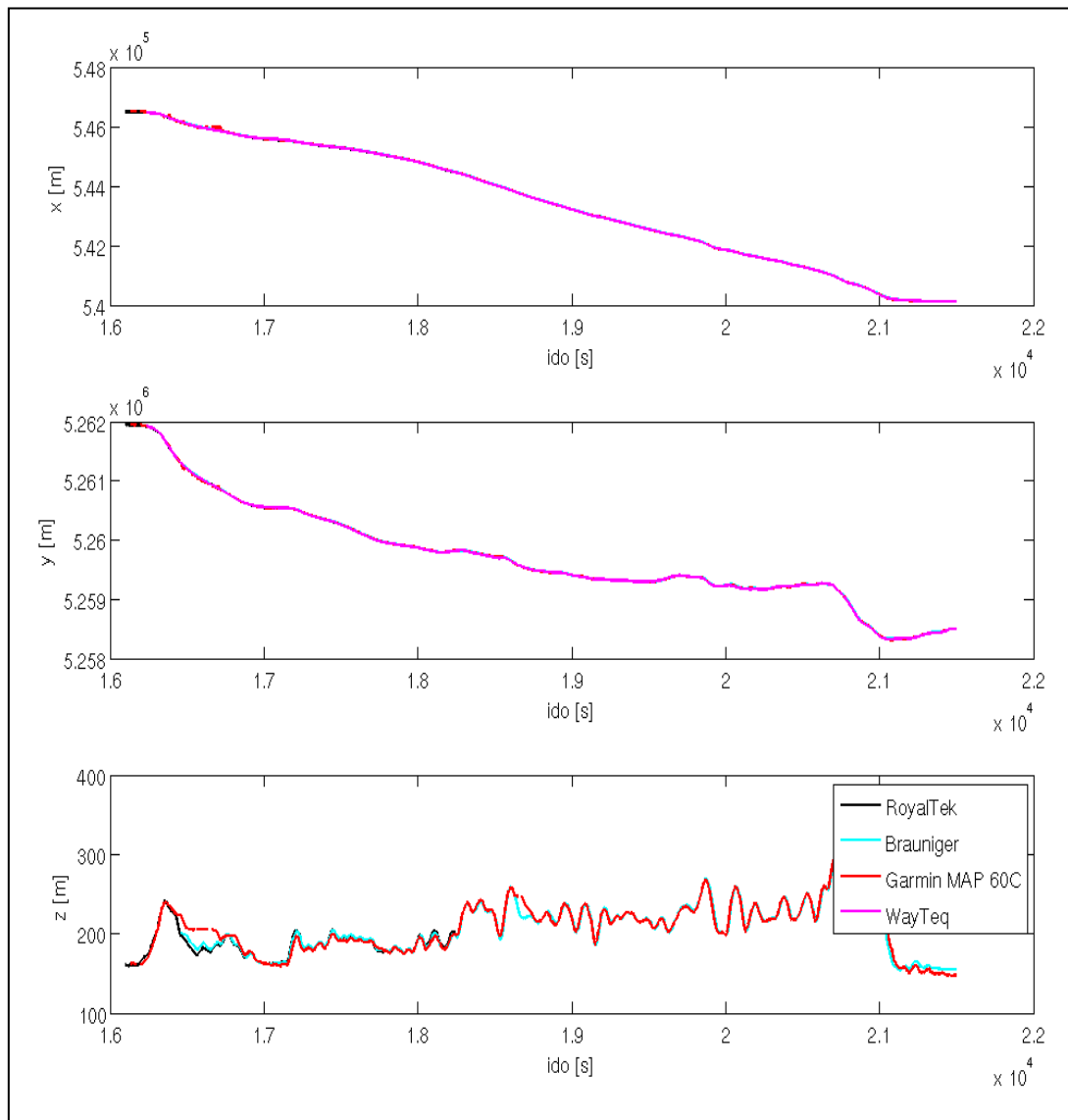
A repülés útvonala a 24.-26. ábrákon látható UTM koordinátákban, illetve a felszállástól megtett távolság szerint, km-ben megadva. A statisztikai jellemzést adják a 11., 12., 13. táblázatok.



24. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés útvonala. Koordináta-rendszer: UTM



25. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében



26. ábra. Az augusztus 17. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

Ezen alkalommal a helymeghatározás jellemzően 10 m alatti pontossággal történt, csak a Garmin vevővel végzett x-irányú helymeghatározás volt ennél valamivel nagyobb. A Garmin vevő eltérései a többi vevőtől minden ábrán kirajzolódnak. A magassági vonalvezetés ábráján (25. ábra) igen jelentős, tartós eltérés mutatkozik a Garmin vevő esetében, mégis összességében azzal, hogy nem folyamatosan észlelt, jobb középhibát produkált, mint rendszeres jelvesztés esetén, állandóan inicializálva.

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	3.4509	16.7115	8.9671
Brauniger	X	10.3594	6.7966
Garmin MAP 60C	X	X	12.7901

11. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	Brauniger	Garmin MAP 60C	WayteQ
RoyalTek	3.6319	7.1716	4.4386
Brauniger	X	6.1544	6.3135
Garmin MAP 60C	X	X	6.4550

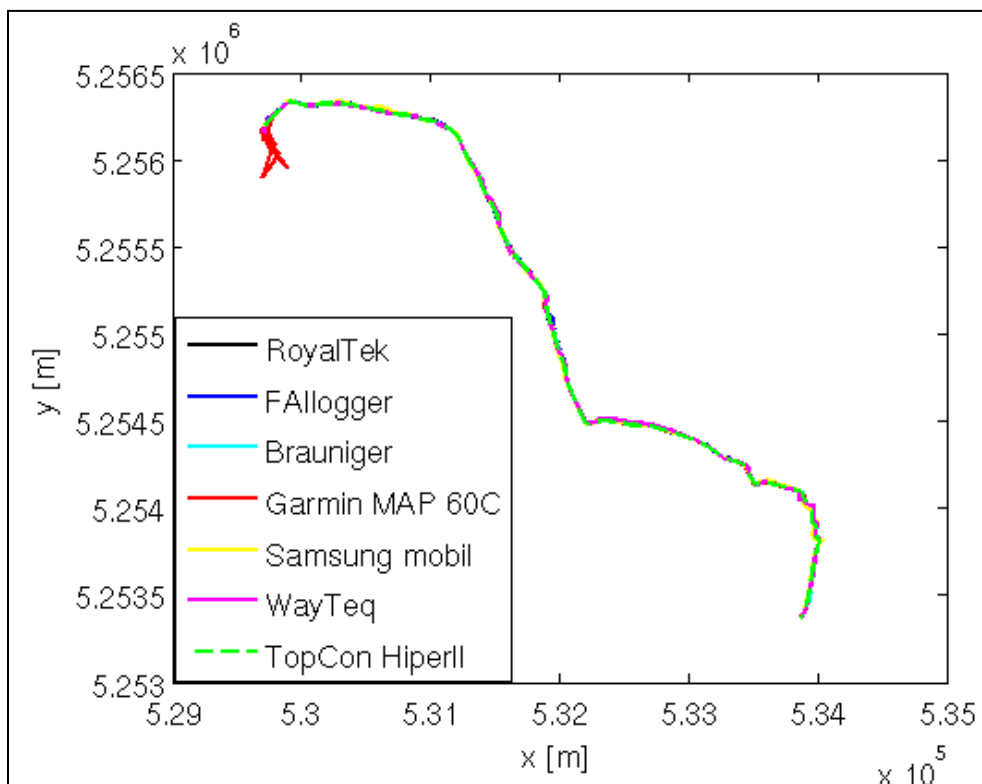
12. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

	Brauniger	Garmin MAP 60C
RoyalTek	2.5257	8.1622
Brauniger	X	5.2621

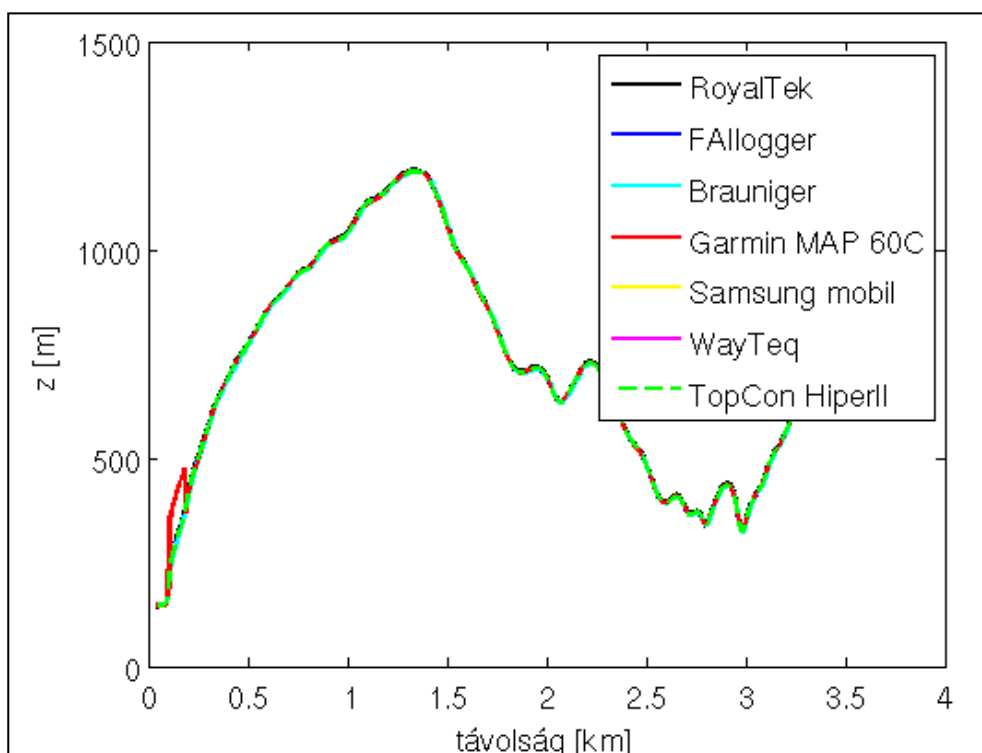
13. táblázat. Az augusztus 17. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

5.1.5. 2013. augusztus 17., délután

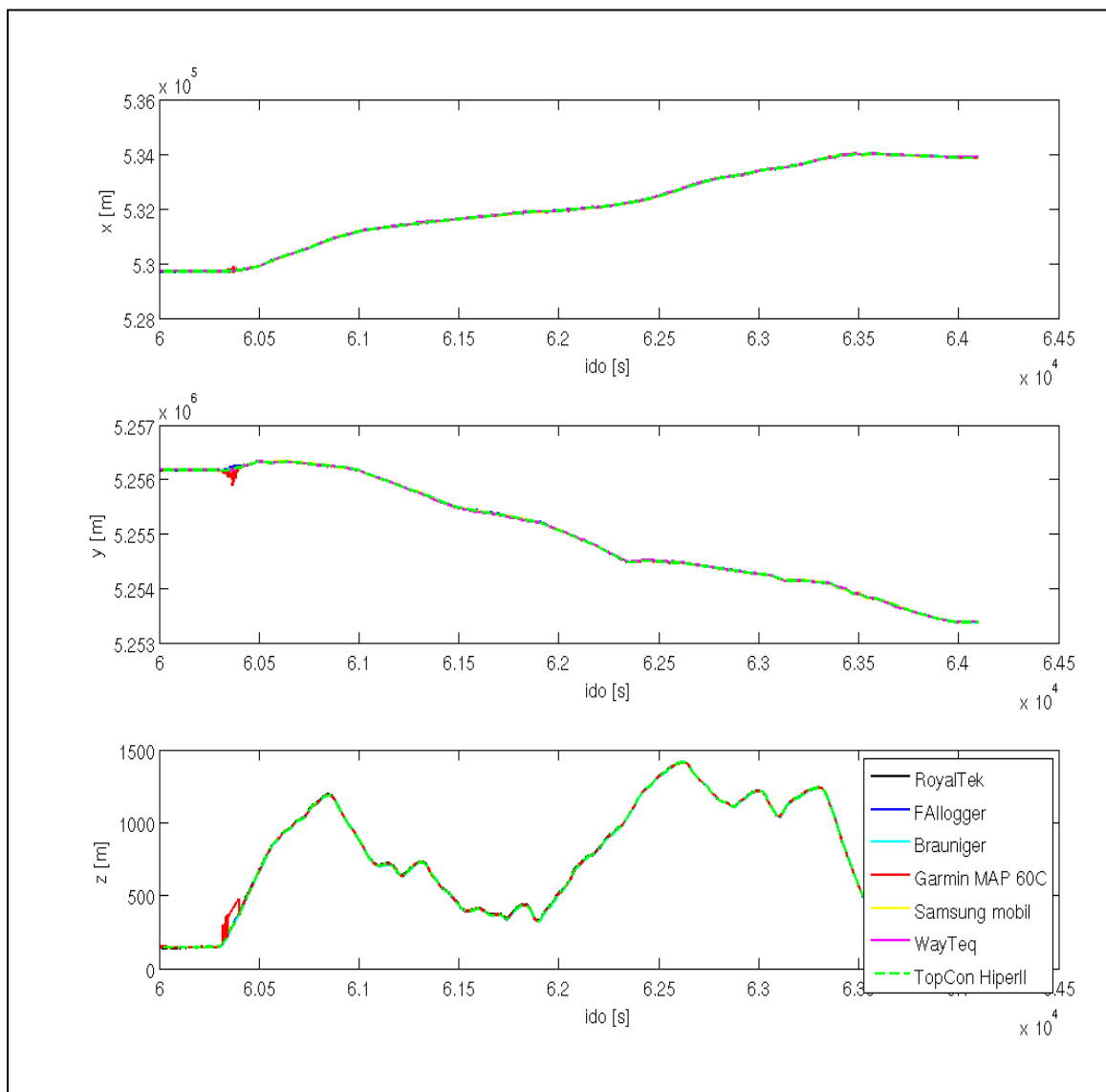
Ezen alkalommal sikerült a teljes műszerparkunkat repültetni. A repülés útvonalát a 27.-29. ábrákon, és az eltéréseket a 14., 15., 16. táblázatokban mutatjuk be a korábbiakban megszokott módon. Ebben az esetben a Garmin vevőre a pontosság növelése érdekében egy külső antennát csatlakoztattunk.



27. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés útvonala. Koordinátarendszer: UTM



28. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében



29. ábra. Az augusztus 17. délutáni repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	WayteQ	Topcon HiPer II
RoyalTek	5.0187	3.4914	7.8136	4.2463	5.4662	0.8092
FAI logger	X	5.0700	6.2838	7.1388	8.4992	4.5031
Brauniger	X	X	6.7985	7.6872	8.7896	4.5109
Garmin 60C	X	X	X	8.4271	9.2462	6.0373
Samsung	X	X	X	X	7.7597	5.8810
WayteQ	X	X	X	X	X	6.8158

14. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	WayteQ	Topcon HiPer II
RoyalTek	7.5957	4.6520	17.5172	5.7984	8.6560	3.1840
FAI logger	X	7.0591	17.1269	8.0830	9.0503	5.1902
Brauniger	X	X	12.0228	6.5235	7.6227	3.2260
Garmin 60C	X	X	X	14.4890	14.5193	13.2378
Samsung	X	X	X	X	9.3018	5.3017
WayteQ	X	X	X	X	X	7.2526

15. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	Topcon HiPer II
RoyalTek	3.3298	5.0903	19.5694	26.5741	2.5711
FAI logger	X	3.2970	15.1891	25.4212	1.4193
Brauniger	X	X	16.0984	23.1419	4.2905
Garmin 60C	X	X	X	30.8975	15.0736
Samsung	X	X	X	X	26.1410

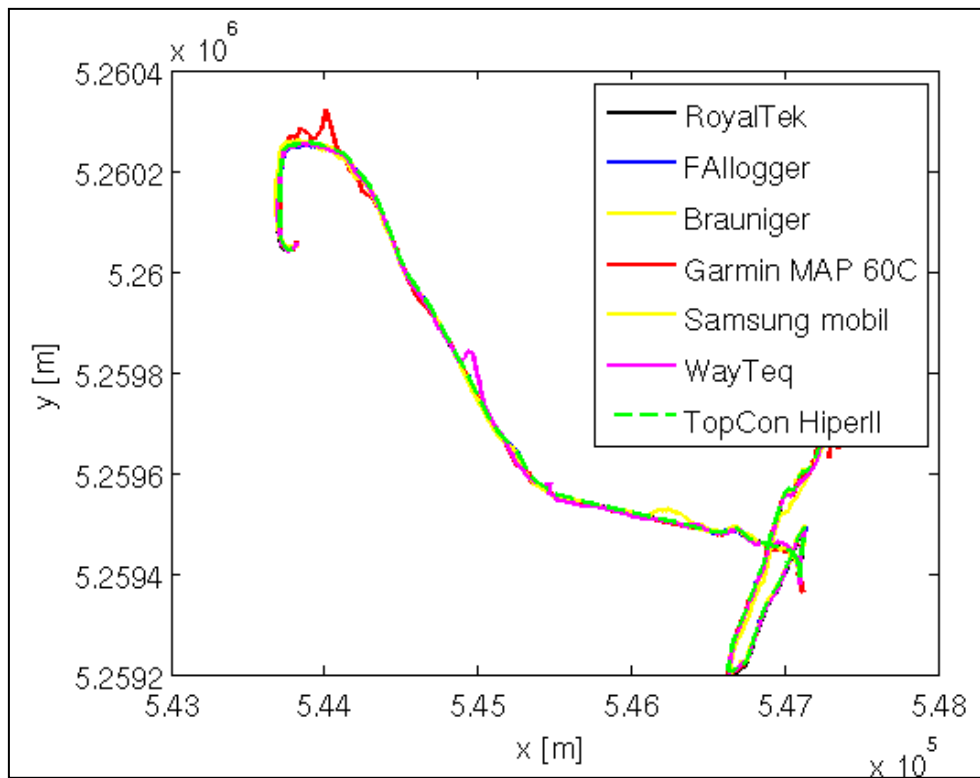
16. táblázat. Az augusztus 17. délutáni mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

A mérések során jellemzően valamennyi vevő pár m pontossággal mért. A Garmin vevő meglepően gyengén szerepelt, annak ellenére, hogy egy külső antenna volt rácsatlakoztatva, bár az eddigi mérésekhez képest vízszintes értelemben pontosabbnak bizonyult. A kísérleti jelleggel vizsgált Samsung telefon vízszintesen a navigációs vevők pontosságához körüli értéket produkált, magasságilag azonban a legnagyobb hibákat ez eredményezte.

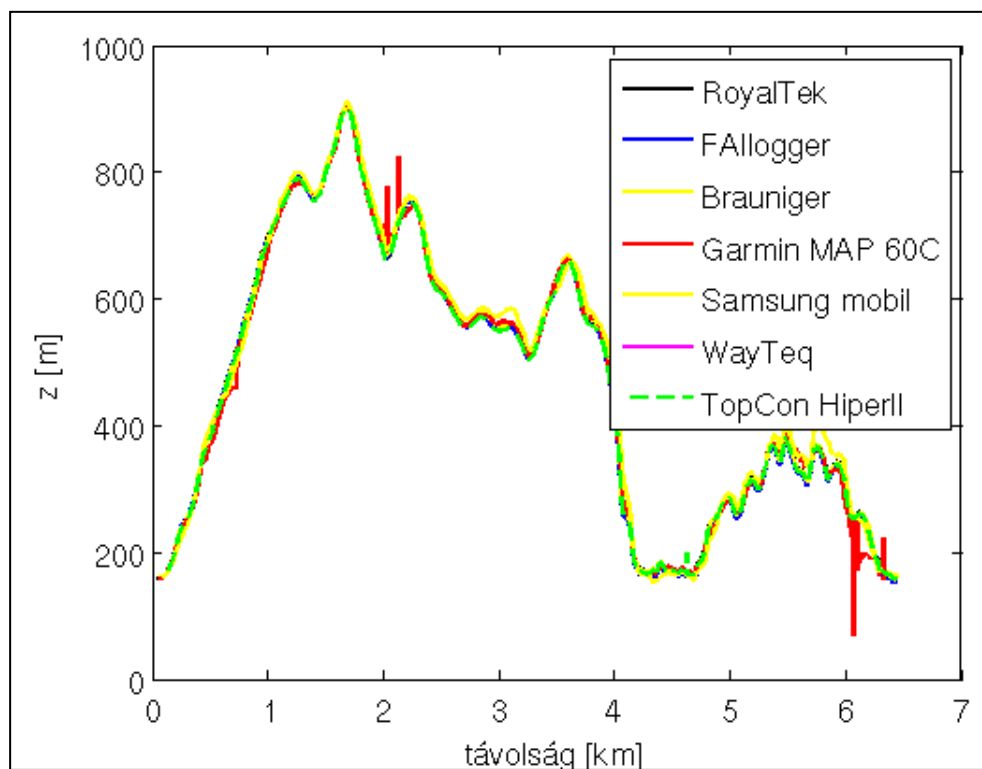
Tekintve, hogy a Topcon geodéziai vevő mérései utólag pár cm-es pontossággal lettek feldolgozva, az ehhez viszonyított adatok tekinthetők abszolút pontossági minősítésnek. Ez alapján elmondható, hogy míg vízszintesen 5-10 m körüli pontosságot tapasztalni navigációs vevők hőlégballonos alkalmazása során, addig (a mobil telefon kihagyása után) magasságilag 1-20 m közötti pontosságokat tapasztaltunk.

5.1.6. 2013. augusztus 18., reggel

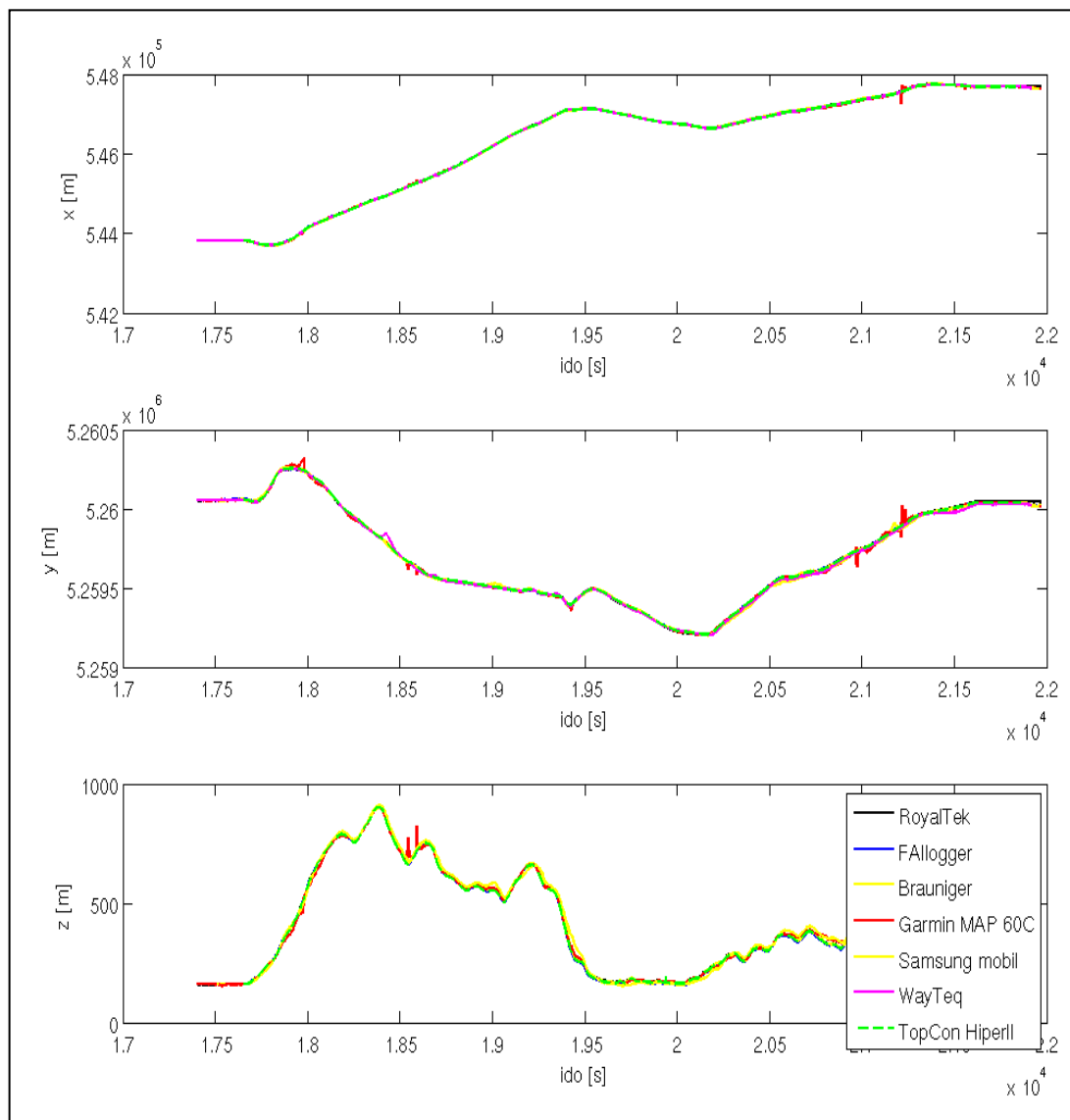
Ezen a napon is sikerült a teljes műszerparkunkat repültetni. A repülés útvonalát a 30.-32. ábrákon, és az eltéréseket a 17., 18., 19. táblázatokban mutatjuk be a korábbiakban megszokott módon.



30. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés útvonala. Koordináta-rendszer: UTM



31. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés magassági vonalvezetése a megtett út függvényében



32. ábra. Az augusztus 18. reggeli repülés mindhárom koordinátájának időbeli változása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	WayteQ	Topcon HiPer II
RoyalTek	5.9380	5.8949	11.6883	7.1491	6.0783	3.3724
FAI logger	X	4.0604	10.0430	7.6058	5.1446	1.4361
Brauniger	X	X	10.7065	7.7903	5.5909	3.7113
Garmin 60C	X	X	X	12.4662	10.4300	10.2521
Samsung	X	X	X	X	9.1765	7.5196
WayteQ	X	X	X	X	X	4.7444

17. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott X koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	WayteQ	Topcon HiPer II
RoyalTek	4.9884	6.5276	10.3455	9.7542	9.6680	3.1576
FAI logger	X	4.7117	9.4976	8.5568	8.4370	2.2952
Brauniger	X	X	10.3626	8.5097	8.8359	4.6698
Garmin 60C	X	X	X	12.6695	11.6407	9.5515
Samsung	X	X	X	X	10.6721	8.8953
WayteQ	X	X	X	X	X	8.5228

18. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Y koordinátaeltérések szórása

	FAI logger	Brauniger	Garmin MAP 60C	Samsung mobil	Topcon HiPer II
RoyalTek	3.4029	3.4951	12.3435	16.0704	1.2992
FAI logger	X	3.6119	12.8820	16.5441	5.7139
Brauniger	X	X	12.4022	14.8073	5.9305
Garmin 60C	X	X	X	16.5638	12.7047
Samsung	X	X	X	X	16.6757

19. táblázat. Az augusztus 18. reggeli mérés során az egyes GPS-vevők által meghatározott Z koordinátaeltérések szórása

A mérések középhibáit vizsgálva, azok meglehetősen hasonlítanak az augusztus 17-i délutáni eredményekre. A két repülés közötti különbség elsősorban a repülés magasságában van; átlagos repülési magasság a jelen alkalommal közel fele az előző napi délutáni repüléshez képest (lásd 28. és 31. ábrák). Jelentős javulás a mobiltelefonnal rögzített magasság értékekben tapasztalható. Ez nem kizárt, hogy a mobil hálózatról észlelt jeleknek köszönhető, amely ez esetben észlelhetőnek bizonyult. A tavalyi mérések során, amikor valós idejű kinematikus mérések folytak, valahol 800 m-1000 m táján vett el a GPRS-en vett korrekció, tehát ebből a szempontból a két repülési magasság közötti eltérés mobiltelefonos helymeghatározás esetén számottevő.

5.2. Az eredményeink összehasonlítása a tavalyi mérésekkel

A tavalyi mérések egy komoly hiányossága, hogy a geodéziai vevő csak valós idejű kinematikus mérést végzett, nem rögzítette a méréseket utófeldolgozás számára. Ráadásul a valós idejű kinematikus mérés csak alacsony magasságokban szolgáltatott fix megoldást, mert 800-1000 m körül már nem vette a korrekciókat a vevő. Idén ez megoldódott, a geodéziai mérések nagy megbízhatósággal szolgáltatják a repülés útvonalát.

A tavalyi mérések előnye azonban, hogy jobban sikerült a navigációs vevők összegyűjtése, akkor inkább sikerült olyan vevőkkel mérni, amelyeket a ballonosok előszeretettel használnak. Idén viszont a versenyeken leggyakrabban használt RoyalTek vevővel is mértünk, ami tavaly kimaradt a vizsgálatból.

Összességében a tavalyi, relatív összehasonlítás eredményeit alátámasztják az idei vizsgálatok, mely szerint a navigációs vevőkkel hőlégballonon mérve a navigáció legfeljebb 5-10 m pontossággal végezhető, amely pontosság magasságilag is elérhető, de a magassági navigáció sokkal nagyobb mértékben terhelt durva hibákkal. A méréseket nagyon rosszul érintik a jelvesztések és az azt követő újrainicializáció, így az erre hajlamos vevőket nem tartjuk a célra alkalmasnak.

Gyakorlati eredménynek mondható, hogy az olcsó vevők nem feltétlenül pontatlanok, mind a tavalyi méréseken vizsgálat Garmin Geko, mind az idén vizsgálat RoyalTek a legmegbízhatóbb vevők között szerepeltek. Ezeket a vevőket egyébként gyakran alkalmazzák versenyeken is.

Végezetül a FAI loggerről azt tapasztaltuk, hogy a navigációs vevők között a legmegbízhatóbb vevőnek számít, ugyan kimagaslóan nem teljesít jobban, mint egyéb „jó” vevők, de a folyamatos navigáció elvégzésére alkalmasnak bizonyult.

Vizsgáltuk még a vevők megfelelő elhelyezésének hatását. Tavaly a vevők elhelyezése esetleges volt, volt olyan vevő, amely a kosár alján kapott helyett, más az észlelő nyakában lógott, tehát nem voltak azonosak a vevők észlelési körülményei. Már tavaly sem lehetett egyértelmű kapcsolatot találni a vevők kosáron belüli helyzete és a mérés pontossága között. Ezt idén megerősítjük: a vevők következetesen kedvezőbb elhelyezése következtében nem mutatkozott a középhibák több méteres, egyértelmű javulása a tavalyi eredményekhez képest. A kapott 10 méteres középhiba értékekben pedig nincs jelentősége néhány cm-es javulást vizsgálni, hiszen ez navigációs vevők esetében és a hőlégballonos versenyeken sem mérvadó.

Összegzés

Összegzésként elmondható, hogy a GPS-vevők alkalmazása a hőlégballonos civil repülések és versenyek során is igen jelentős. A navigációhoz már elengedhetetlen, hogy a pilóták rendelkezzenek GPS-vevővel, a versenyek esetén pedig kedvező, ha a navigációhoz egy pontosabb GPS-vevőt választanak, hogy a repülés kiértékelése során ne adódjon nagy eltérés a saját és a kiértékelésre használt vevő eredményei között. A GPS kiválasztásánál fontos szempont az antenna minősége, amely a helymeghatározás pontosságát befolyásolja (a műholdjelek kedvezőbb vétele miatt), illetve a magasságmérés elve. Barometrikus magasságmérővel rendelkező GPS-vevő ugyanis megfelelőbb hőlégballonos használatra.

A navigációs vevők mérési hibái a versenykiértékelés szempontjából abban az esetben jelentősek, ha a versenyző által használt vevő nem ugyanaz, mint ami alapján az eredményét megítélik. Erre több okból is gyakran van példa, egyrészt mert a versenyzők szívesebben hisznek a saját, általuk jól ismert vevőnek. Másrészt pedig azért, mert a versenyekhez többször olyan vevőt használnak, aminek nincs is kijelzője, ilyen például a RoyalTek is, ami a valós idejű navigációra nem alkalmas. Ilyen esetekben a pilóta eleve a saját mérőeszközeire van utalva. Éppen ezért a FAI logger egyik fontos előnye, hogy navigációra is alkalmas, így a pilóta repülés közben is látja, mit ért el, mi alapján értékeli ki az eredményét.

A dolgozat elején tett célkitűzéseket megvalósítottuk, miszerint megállapításokat kívántunk tenni a hőlégballon versenyeken használt GPS-vevők pontosságára vonatkozóan. A dolgozat ilyen szempontból sikeres kiegészítése a tavalyi diplomamunkának (*Paál Dávid, 2012*), ugyanis az idén megrendezett debreceni hőlégballon verseny során további méréseket sikerült végeznünk. Kedvezőnek mondható a mérési eredmények értékelése szempontjából, hogy idén a geodéziai GNSS-vevővel kinematikus mérést végeztünk, melyet utólag dolgoztunk fel, így biztosítva cm pontosságú koordináta értékeket a vizsgált GPS-vevők értékeléséhez.

A vizsgált GPS-vevők pontosságára vonatkozó megállapítások tehát a következők: hőlégballonon végzett mérések során a pillanatnyi helyzet 5-10 méteres pontossággal határozható meg, a magassági helyzet pontossága pedig a vevő magasságmérési módszerének függvényében akár 1-15 méter között változhat. Ezek az értékek a hőlégballonos alkalmazás során még elfogadhatónak mondhatók, tekintve az elvégzendő feladatok jellegét.

Felhasznált irodalom

- *Paál Dávid: Accuracy analysis of GPS navigation on hot air ballon competitions, BME diplomamunka, 2012.*
- *Wikipédia: Hőlégballon* - <http://hu.wikipedia.org/wiki/H%C5%91l%C3%A9gballon>
- *Reading Flight Levels from QNH-altimeters, Jan L. de Jong* - <http://www.win.tue.nl/~jldejong/gliding/FLS-Disk/Reading%20Flight%20Levels%20from%20QNH-altimeters-booklet.pdf> 5. oldal
- *Garmin GPSMAP 60C specifikáció* - <http://www8.garmin.com/products/gpsmap60c/>
- *RoyalTek RBT-2300speifikáció* - <http://www.royaltek.com/index.php/rbt-2300>
- *Brauniger Flugelectronic specifikáció* - <http://www.brauniger.com/en/products/flight-instruments/iq-basic-gps/technical-data.html>
- *CIA/FAI Flytec specifikáció* – <http://www.flytec.ch/en/products/ballooninstruments/flytec-6020-fai-logger/overview.html>
- *WayteQ N770BT specifikáció* - <http://www.wayteq.eu/hu/node/163>
- *WayteQ N770BT specifikáció* - <http://gpszone.hu/termek/wayteqintensa-n770bt-pna-gps-navigacios-keszulek-n770btpna>
- *Az A-GPS-ről* - <http://upfone.hu/hir/mobilsuli-1-resz-mi-az-gps>
- *Topcon HiPer II specifikáció* – <http://www.topconpositioning.com/products/gnss/receivers/hiper-ii>

.....

Gruber Barbara

földmérő- és térinformatikai mérnök
mesterszakos hallgató

Budapest, 2013. október 25.

Mellékletek

1. számú melléklet – Programlista

```
% A 2013. 08. 14-18-ig megrendezett debreceni hőlégballon versenyen
% végzett GPS mérések feldolgozása
%
%   BEOLVASO BLOKK
%
pth='C:\Documents and Settings\Apa\Asztal\2013 - Gruber
Barbara\Observations\'
dr=['0814pm';'0815pm';'0816am';'0816pm';'0817am';'0817pm';'0818am';'
BMEtxt'];
Imax=size(dr,1);
col=['bgrkmcybgrkmcybgrkmcy'];
method='linear';
% the additional observations from BMEtxt
d=dir([pth dr(Imax,:)]);
J=0;
for i=3:length(d);
    a=struct2cell(d(i));
    a=cell2mat(a(1,:));
    %
    disp(a)
    J=J+1;
    fid=fopen([pth dr(Imax,:) '/' a]);
    data=fgetl(fid);
    data='T';
    j=0; x=[]; y=[]; z=[]; ti=[];
    while data(1)=='T'
        j=j+1;
        data=fgetl(fid);
        if data(1)=='T'
            x(j)=str2num(data(12:17));
            y(j)=str2num(data(19:25));
            if data(56)==','
                z(j)=str2num(data(53:55));
            else
                z(j)=str2num(data(53:57));
            end
        end

        ti(j)=3600*str2num(data(38:39))+str2num(data(41:42))*60+str2num(data
(44:49))+16;
        if i==24|i==25;
            ti(j)=3600*str2num(data(38:39))+str2num(data(41:42))*60+str2num(data
(44:49)); end
        else
            x(j)=NaN; y(j)=NaN; z(j)=NaN; ti(j)=NaN;
        end
    end
    fclose(fid);
```

```

        eval(['xt' num2str(J) '=x; yt' num2str(J) '=y; tt' num2str(J)
            '=ti;']);
        eval(['zt' num2str(J) '=z;']);
    end
    % read geodetic topcon receiver
    for J=1:4;
        if J==1; fid=fopen([pth 'szombat debrecen idĹ.txt']);
        elseif J==2; fid=fopen([pth 'szombat vrs idĹ.txt']);
        elseif J==3; fid=fopen([pth 'vasarnap debrecen idĹ.txt']);
        elseif J==4; fid=fopen([pth 'vasarnap vrs idĹ.txt']); end
        %
        data=fgetl(fid);
        for j=1:5000
            if length(data)>1
                if J==1|J==2

ti(j)=3600*str2num(data(1:2))+str2num(data(4:5))*60+str2num(data(7:8
));

                    y(j)=str2num(data(9:20));
                    x(j)=str2num(data(21:31));
                    z(j)=str2num(data(32:end));
                    data=fgetl(fid);
                else

ti(j)=3600*str2num(data(1))+str2num(data(3:4))*60+str2num(data(6:7))
;

                    y(j)=str2num(data(8:19));
                    x(j)=str2num(data(20:30));
                    z(j)=str2num(data(31:end));
                    data=fgetl(fid);
                end
            end
        end
        fclose(fid);
        eval(['xg' num2str(J) '=x; yg' num2str(J) '=y; tg' num2str(J)
            '=ti;']);
        eval(['zg' num2str(J) '=z;']);
    end
    % the observations of the referees
    for I=1:Imax-1;
        d=dir([pth dr(I,:)]);
        J=0;
        x1=[]; x2=[]; x3=[]; x4=[]; x5=[]; x6=[]; x7=[]; x8=[]; x9=[];
x10=[]; x11=[];
        y1=[]; y2=[]; y3=[]; y4=[]; y5=[]; y6=[]; y7=[]; y8=[]; y9=[];
y10=[]; y11=[];
        z1=[]; z2=[]; z3=[]; z4=[]; z5=[]; z6=[]; z7=[]; z8=[]; z9=[];
z10=[]; z11=[];
        t1=[]; t2=[]; t3=[]; t4=[]; t5=[]; t6=[]; t7=[]; t8=[]; t9=[];
t10=[]; t11=[];
        for i=3:length(d);
            a=struct2cell(d(i));
            a=cell2mat(a(1,:));
            ok=0; % ok - jó fájlok

```



```

if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'txt')==3; ok=1; end
if ok==1;
    disp(a)
    J=J+1;
    fid=fopen([pth dr(I,:) '/' a]);
    data=fgetl(fid);
    data='T';
    j=0; x=[]; y=[]; z=[]; ti=[];
    while data(1)=='T'
        j=j+1;
        data=fgetl(fid);
        if data(1)=='T'
            x(j)=str2num(data(12:17));
            y(j)=str2num(data(19:25));
            if data(56)==','
                z(j)=str2num(data(53:55));
            else
                z(j)=str2num(data(53:57));
            end
        end

ti(j)=3600*str2num(data(38:39))+str2num(data(41:42))*60+str2num(data
(44:49))+16;

        else
            x(j)=NaN; y(j)=NaN; z(j)=NaN; ti(j)=NaN;
        end
    end
    fclose(fid);
    eval(['x' num2str(J) '=x; y' num2str(J) '=y; t'
num2str(J) '=ti;']);
    eval(['z' num2str(J) '=z;']);
end
end
disp(' ')
end
% Empirical determination of the QNH
% 0817PM
figure(1); plot(tg1,zg1,'g'); hold on; plot(tg2,zg2,'g');
plot(tt4,zt4,'m'); plot(tt13,zt13,'k'); title('0817PM')
ind4=find(abs(tt4-6e4)==min(abs(tt4-6e4)));
ind13=find(abs(tt13-6e4)==min(abs(tt13-6e4)));
ind1=find(abs(tg1-6e4)==min(abs(tg1-6e4)));
ind2=find(abs(tg2-6e4)==min(abs(tg2-6e4)));
hmin4=zt4(ind4); hmin13=zt13(ind13); hmin1=zg1(ind1);
hmin2=zg2(ind2);
hmax4=max(zt4); hmax13=max(zt13); hmax1=max(zg1); hmax2=max(zg2);
dh4=hmax4-hmin4; dh13=hmax13-hmin13; dh1=hmax1-hmin1; dh2=hmax2-
hmin2;
mt4=dh1/dh4;
mt13=dh1/dh13;
zt4uj=(zt4-zt4(1))*mt4+zt4(1);
zt13uj=(zt13-zt13(1))*mt13+zt13(1);
figure(1); plot(tt4,zt4uj,'r:'); plot(tt13,zt13uj,'b:');
plot(tt4,zt4uj-zt4,'r'); plot(tt13,zt13uj-zt13,'b');
% 0818AM

```

```

figure(2); plot(tg3,zg3,'g'); hold on; plot(tg4,zg4,'g');
plot(tt5,zt5,'m'); plot(tt14,zt14,'k'); title('0817PM')
ind5=find(abs(tt5-6e4)==min(abs(tt5-6e4)));
ind14=find(abs(tt14-6e4)==min(abs(tt14-6e4)));
ind3=find(abs(tg3-6e4)==min(abs(tg3-6e4)));
ind4=find(abs(tg4-6e4)==min(abs(tg4-6e4)));
hmin5=zt5(ind5); hmin14=zt14(ind14); hmin3=zg3(ind3);
hmin4=zg4(ind4);
hmax5=max(zt5); hmax14=max(zt14); hmax3=max(zg3); hmax4=max(zg4);
dh5=hmax5-hmin5; dh14=hmax14-hmin14; dh3=hmax3-hmin3; dh4=hmax4-
hmin4;
mt5=dh3/dh5;
mt14=dh3/dh14;
zt5uj=(zt5-zt5(1))*mt5+zt5(1);
zt14uj=(zt14-zt14(1))*mt14+zt14(1);
figure(2); plot(tt5,zt5uj,'r:'); plot(tt14,zt14uj,'b:');
plot(tt5,zt5uj-zt5,'r'); plot(tt14,zt14uj-zt14,'b');
% elfogadjuk?
if 1;
    zt4=zt4uj;
    zt13=zt13uj;
    zt5=zt5uj;
    zt14=zt14uj;
end
close all;

% STATISZTIKAI SZAMITASOK BLOKK
%

% the observations of the referees vs. additional observations from
BMEtxt
for I=1:Imax-1;
    disp(' ')
    disp(' ... calculating ... ')
    disp(' ')
    % displaying tags
    if I==1; date='0814PM'; tag=['RoyalTek      ':'FAIlogger
';'Brauniger      '];
    elseif I==2; date='0815PM'; tag=['RoyalTek      ':'Brauniger
';'Garmin MAP 60C';'WayTeq      '];
    elseif I==3; date='0816AM'; tag=['RoyalTek      ':'Brauniger
';'Garmin MAP 60C';'WayTeq      '];
    elseif I==4; date='0816PM'; tag=['RoyalTek      ':'FAIlogger
';'Brauniger      ':'Garmin MAP 60C';'WayTeq      '];
    elseif I==5; date='0817AM'; tag=['RoyalTek      ':'Brauniger
';'Garmin MAP 60C';'WayTeq      '];
    elseif I==6; date='0817PM'; tag=['RoyalTek      ':'FAIlogger
';'Brauniger      ':'Garmin MAP 60C';'Samsung mobil ':'WayTeq
';'TopCon HiperII';'TopCon HiperII'];
    elseif I==7; date='0818AM'; tag=['RoyalTek      ':'FAIlogger
';'Brauniger      ':'Garmin MAP 60C';'Samsung mobil ':'WayTeq
';'TopCon HiperII';'TopCon HiperII'];
    end
end

```

```

% displaying colors
c12=['b-y-c-r-y-m-'];
if I==1; col=['kkkkkkkkkkkkkkkkkk']; c12=['b-c-'];
elseif I==2; col=['kkkkkkkkkkkkkkkkkk']; c12=['c-r-m-'];
elseif I==3; col=['kkkkkkkkkkkkkkkkkk']; c12=['c-r-m-'];
elseif I==4; col=['kkkkkkkkkkkkkkkkkk']; c12=['b-c-r-m-'];
elseif I==5; col=['kkkkkkkkkkkkkkkkkk']; c12=['c-y-r-m-k:']; end
tag_ind=[];
% DISPLAY ROYALTEK
if I==1; Tn=6.1e+04; Tx=6.45e+04;
elseif I==2; Tn=5.85e+04; Tx=6.2e+04;
elseif I==3; Tn=1.67e+04; Tx=2.25e+04;
elseif I==4; Tn=5.97e+04; Tx=6.35e+04;
elseif I==5; Tn=1.61e+04; Tx=2.15e+04;
elseif I==6; Tn=6e+04; Tx=6.41e+04;
elseif I==7; Tn=1.74e+04; Tx=2.197e+04; end
%
d=dir([pth dr(I,:)]);
J=0;
x1=[]; x2=[]; x3=[]; x4=[]; x5=[]; x6=[]; x7=[]; x8=[]; x9=[];
x10=[]; x11=[];
y1=[]; y2=[]; y3=[]; y4=[]; y5=[]; y6=[]; y7=[]; y8=[]; y9=[];
y10=[]; y11=[];
z1=[]; z2=[]; z3=[]; z4=[]; z5=[]; z6=[]; z7=[]; z8=[]; z9=[];
z10=[]; z11=[];
t1=[]; t2=[]; t3=[]; t4=[]; t5=[]; t6=[]; t7=[]; t8=[]; t9=[];
t10=[]; t11=[];
for i=3:length(d);
    a=struct2cell(d(i));
    a=cell2mat(a(1,:));
    ok=0; mi=0; % ok - jó fájl? mi - magassági adat?
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'txt')==3; ok=1; mi=1; end
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'plt')==3; ok=0; mi=1; end
% fi, lambda, h
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'igc')==3; ok=0; mi=0; end
% bináris
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'IGC')==3; ok=0; mi=1; end
% bináris
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'LXN')==3; ok=0; mi=1; end
% ismeretlen formátum
    if sum(a(length(a)-2:length(a))== 'trk')==3; ok=0; mi=1; end
% ismeretlen formátum
    if ok==1&mi==1;
        disp(a)
        J=J+1;
        fid=fopen([pth dr(I,:) '\ ' a]);
        data=fgetl(fid);
        data='T';
        j=0; x=[]; y=[]; z=[]; ti=[];
        while data(1)=='T'
            j=j+1;
            data=fgetl(fid);
            if data(1)=='T'
                x(j)=str2num(data(12:17));
            end
        end
    end
end

```

```

        y(j)=str2num(data(19:25));
        if data(56)==','
            z(j)=str2num(data(53:55));
        else
            z(j)=str2num(data(53:57));
        end

ti(j)=3600*str2num(data(38:39))+str2num(data(41:42))*60+str2num(data
(44:49))+16;

        else
            x(j)=NaN; y(j)=NaN; z(j)=NaN; ti(j)=NaN;
        end
    end
    fclose(fid);
    ind=find(ti>Tn&ti<Tx);
    eval(['x' num2str(J) '=x(ind); y' num2str(J) '=y(ind);
t' num2str(J) '=ti(ind);']);
    eval(['z' num2str(J) '=z(ind);']);
    if
        ((I==1|I==3|I==4|I==6|I==7)&i==10)|((I==2|I==5)&i==9);
        tav=[0 cumsum(sqrt(diff(x).^2+diff(y).^2))];
        figure(1);
        set(gcf,'defaultaxesfontsize',14);
        set(gcf,'defaultlinelinerwidth',2);
        set(gcf,'defaulttextfontsize',14);
        plot(x(ind),y(ind),col(J)); hold on;
        xlabel('x [m]'); ylabel('y [m]')
        figure(2);
        set(gcf,'defaultaxesfontsize',14);
        set(gcf,'defaultlinelinerwidth',2);
        set(gcf,'defaulttextfontsize',14);
        plot(tav(ind)./1000,z(ind),col(J)); hold on;
        xlabel('tÃvolsÃg [km]'); ylabel('z [m]')
        figure(3);
        set(gcf,'defaultaxesfontsize',14);
        set(gcf,'defaultlinelinerwidth',2);
        set(gcf,'defaulttextfontsize',14);
        subplot(3,1,1); plot(ti(ind),x(ind),col(J)); hold
on;

        xlabel('ido [s]'); ylabel('x [m]')
        subplot(3,1,2); plot(ti(ind),y(ind),col(J)); hold
on;

        xlabel('ido [s]'); ylabel('y [m]')
        subplot(3,1,3); plot(ti(ind),z(ind),col(J)); hold
on;

        xlabel('ido [s]'); ylabel('z [m]')
        it_x=[x(1:end-1)]; it_y=[y(1:end-1)]; it_z=[z(1:end-
1)]; it_t=[ti(1:end-1)]; it_tav=tav(1:end-1);
        indt=ind;
    end
end
end
disp(' ')
% TIME VECTOR AND BOUNDARIES

```

```

T=[t1 t2 t3 t4 t5 t6 t7 t8 t9 t10 t11];
Tn=min(T);%-3600*2;
Tx=max(T);%+3600*2;
%
if I==1; Tn=6.1e+04; Tx=6.45e+04;
elseif I==2; Tn=5.85e+04; Tx=6.2e+04;
elseif I==3; Tn=1.67e+04; Tx=2.25e+04;
elseif I==4; Tn=5.97e+04; Tx=6.35e+04;
elseif I==5; Tn=1.61e+04; Tx=2.15e+04;
elseif I==6; Tn=6e+04; Tx=6.41e+04;
elseif I==7; Tn=1.74e+04; Tx=2.197e+04; end
%INTERPOLATION TO A COMMON TIME SERIES, INT_T
int_t=Tn:Tx;
int_x=interp1(it_t,it_x,int_t,method);
int_y=interp1(it_t,it_y,int_t,method);
int_z=interp1(it_t,it_z,int_t,method);
int_tav=interp1(it_t,it_tav,int_t,method);
ind_t=[]; ind_t(1,1:length(int_t))=NaN;
for j=1:length(int_t); ind_t(j)=min(abs(int_t(j)-
it_t(indt)))<10; end
ind_nt=find(ind_t==0); int_nt=int_t; int_nt(ind_nt)=NaN;
int_x(ind_nt)=NaN; int_y(ind_nt)=NaN; int_z(ind_nt)=NaN;
% SHIFT IN ALTITUDE
indz=round(length(int_z)/2);
if I==1; tbias=6.3e4;
elseif I==2; tbias=5.97e4;
elseif I==3; tbias=1.75e4;
elseif I==4; tbias=6.053e4;
elseif I==5; tbias=1.7e4;
elseif I==6; tbias=6.028e4;
elseif I==7; tbias=1.839e4; tbias=1.768e4;
end;
indz=find(int_t==tbias);
zbias=int_z(indz);
%
cl=['b*g*r*k*m*c*y*bogorokomocoyob^g^r^k^m^c^y^'];
cl2=['b:g:r:k:m:c:y:b:g:r:k:m:c:y:b:g:r:k:m:c:y:'];
%
if I==1; J=[1 6];
elseif I==2; J=[7 15 24];
elseif I==3; J=[8 16 25];
elseif I==4; J=[2 9 17 26];
elseif I==5; J=[10 11 18 27];
elseif I==6; J=[4 12 13 19 22 28];
elseif I==7; J=[5 14 20 21 23 29];
end
% DISPLAY OTHER NAVIGATIONAL RECEIVERS
for j=1:length(J);
ind=[];
eval(['ind=find(tt' num2str(J(j)) '>Tn&tt' num2str(J(j))
'<Tx);']);
if ~isempty(ind);
%

```

```

        eval(['xt=xt' num2str(J(j)) '; yt=yt' num2str(J(j)) ';
zt=zt' num2str(J(j)) '; tt=tt' num2str(J(j)) ';']);
        ind2=find(diff(tt(ind))<0.00001);
        ind(1:ind2)=[];
        % Wayteq has no altitude data
        if J(j)>23; zt(ind)=NaN; end
        %
        figure(1); plot(xt(ind),yt(ind),cl(2*j-1:2*j));
        figure(2); plot(tt(ind),zt(ind),cl(2*j-1:2*j));
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(tt(ind),xt(ind),cl(2*j-
1:2*j));
        subplot(3,1,2); plot(tt(ind),yt(ind),cl(2*j-1:2*j));
        subplot(3,1,3); plot(tt(ind),zt(ind),cl(2*j-1:2*j));
        disp(['Related track(s): No. ' num2str(J(j))])

        % interpoláljuk a méréseket egy int_t idősor elemeihez
        it_x=interp1(tt(ind),xt(ind),int_t,method);
        it_y=interp1(tt(ind),yt(ind),int_t,method);
        it_z=interp1(tt(ind),zt(ind),int_t,method);
        ind_t=[]; ind_t(1:length(int_t))=NaN;
        for jj=1:length(int_t); ind_t(jj)=min(abs(int_t(jj)-
tt(ind)))<10; end
        ind_nt=find(ind_t==0); int_nt=int_t; int_nt(ind_nt)=NaN;
        it_x(ind_nt)=NaN; it_y(ind_nt)=NaN; it_z(ind_nt)=NaN;
        if J(j)>23; it_z(:)=NaN; end
        int_x=[int_x; it_x];
        int_y=[int_y; it_y];
        int_z=[int_z; it_z];
        % shift the altitude to the corresponding value of
RoyalTek
        it_z=it_z-it_z(indz)+zbias;
        %
        figure(1); plot(it_x,it_y,cl2(2*j-1:2*j));
        figure(2); plot(int_tav./1000,it_z,cl2(2*j-1:2*j));
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(int_t,it_x,cl2(2*j-
1:2*j));
        subplot(3,1,2); plot(int_t,it_y,cl2(2*j-1:2*j));
        subplot(3,1,3); plot(int_t,it_z,cl2(2*j-1:2*j));
    end
end
% DISPLAY TOPCON RECEIVER
if I==6|I==7
    ind=[];
    eval(['ind=find(tg' num2str(2*I-11) '>Tn&tg' num2str(2*I-11)
'<Tx);']);
    if ~isempty(ind);
        eval(['xg=xg' num2str(2*I-11) '; yg=yg' num2str(2*I-11)
'; zg=zg' num2str(2*I-11) '; tg=tg' num2str(2*I-11) ';']);
        figure(1); plot(xg(ind),yg(ind),'g');
        figure(2); plot(tg(ind),zg(ind),'g');
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(tg(ind),xg(ind),'g');
        subplot(3,1,2); plot(tg(ind),yg(ind),'g');
        subplot(3,1,3); plot(tg(ind),zg(ind),'g');
        disp(['TopCon Hiper II observation is available'])
    end
end

```

```

        % interpoláljuk a méréseket egy int_t idősor elemeihez
        it_x=interp1(tg(ind),xg(ind),int_t,method);
        it_y=interp1(tg(ind),yg(ind),int_t,method);
        it_z=interp1(tg(ind),zg(ind),int_t,method);
        ind_t=[]; ind_t(1,1:length(int_t))=NaN;
        for jj=1:length(int_t); ind_t(jj)=min(abs(int_t(jj)-
tg(ind)))<10; end
        ind_nt=find(ind_t==0); int_nt=int_t; int_nt(ind_nt)=NaN;
        it_x(ind_nt)=NaN; it_y(ind_nt)=NaN; it_z(ind_nt)=NaN;
        int_x=[int_x; it_x];
        int_y=[int_y; it_y];
        int_z=[int_z; it_z];
        % shift the altitude to the corresponding value of
RoyalTek
        it_z=it_z-it_z(indz)+zbias;
        %
        figure(1); plot(it_x,it_y,'g--');
        figure(2); plot(int_tav./1000,it_z,'g--');
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(int_t,it_x,'g--');
        subplot(3,1,2); plot(int_t,it_y,'g--');
        subplot(3,1,3); plot(int_t,it_z,'g--');
    end
    ind=[];
    eval(['ind=find(tg' num2str(2*I-10) '>Tn&tg' num2str(2*I-
10) '<Tx);']);
    if ~isempty(ind);
        eval(['xg=xg' num2str(2*I-10) ';' yg=yg' num2str(2*I-10)
'; zg=zg' num2str(2*I-10) ';' tg=tg' num2str(2*I-10) ';'']);
        figure(1); plot(xg(ind),yg(ind),'g');
        figure(2); plot(tg(ind),zg(ind),'g');
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(tg(ind),xg(ind),'g');
        subplot(3,1,2); plot(tg(ind),yg(ind),'g');
        subplot(3,1,3); plot(tg(ind),zg(ind),'g');

        % interpoláljuk a méréseket egy int_t idősor elemeihez
        it_x=interp1(tg(ind),xg(ind),int_t,method);
        it_y=interp1(tg(ind),yg(ind),int_t,method);
        it_z=interp1(tg(ind),zg(ind),int_t,method);
        int_x=[int_x; it_x];
        int_y=[int_y; it_y];
        int_z=[int_z; it_z];
        % shift the altitude to the corresponding value of
RoyalTek
        it_z=it_z-it_z(indz)+zbias;
        %
        figure(1); plot(it_x,it_y,'g');
        figure(2); plot(int_t,it_z,'g');
        figure(3); subplot(3,1,1); plot(int_t,it_x,'g');
        subplot(3,1,2); plot(int_t,it_y,'g');
        subplot(3,1,3); plot(int_t,it_z,'g');
    end
end
disp(' ')

```

```

figure(1); legend(char(tag))
figure(2); legend(char(tag))
figure(3); legend(char(tag))
%
% STATISTICS
%
clc;
% signal variance
disp(['Date:      ' num2str(date)]);
disp(' ')
disp('-----');
disp(' ')
disp('Vevl\k:');
disp(num2str(tag))
disp(' ')
disp('-----');
disp(' ')
for i=1:size(int_x,1)
    disp(['Signal variance of ' tag(i,:) ':'])
    x=int_x(i,:); y=int_y(i,:); z=int_z(i,:);
    ind=find(~isnan(x)); disp(['      x: ' num2str(std(x(ind)))]);
    ind=find(~isnan(y)); disp(['      y: ' num2str(std(y(ind)))]);
    ind=find(~isnan(z)); disp(['      z: ' num2str(std(z(ind)))]);
end
% error variance
tab_x=[]; tab_x(1:size(int_x,1)-1,1:size(int_x,1)-1)=NaN;
tab_y=[]; tab_y(1:size(int_x,1)-1,1:size(int_x,1)-1)=NaN;
tab_z=[]; tab_z(1:size(int_x,1)-1,1:size(int_x,1)-1)=NaN;
for i=1:size(int_x,1)-1;
    for j=i+1:size(int_x,1);
        x=int_x(i,:)-int_x(j,:); y=int_y(i,:)-int_y(j,:);
z=int_z(i,:)-int_z(j,:);
        ind=find(~isnan(x)); tab_x(i,j)=std(x(ind));
        ind=find(~isnan(y)); tab_y(i,j)=std(y(ind));
        ind=find(~isnan(z)); tab_z(i,j)=std(z(ind));
    end
end
disp(' ')
disp('-----');
disp(' ')
disp('Table of the error RMS along the x axis:')
Tag=['RoyalT  '];
for i=2:size(int_x,1); Tag=[Tag, tag(i,1:10) ' ']; end
disp(' ')
disp(Tag)
disp(num2str(tab_x))
disp(' ')
disp('-----');
disp(' ')
disp('Table of the error RMS along the y axis:')
disp(' ')
disp(Tag)
disp(num2str(tab_y))
disp(' ')

```



```

disp('-----');
disp(' ')
disp('Table of the error RMS along the z axis:')
disp(' ')
disp(Tag)
disp(num2str(tab_z))
disp(' ')
disp('-----');
%
pause; close all
end

```

2. számú melléklet – Fotódokumentáció a hőlégballonos versenyről



33. ábra. A jó konzulens mindig segít
(forrás: saját felvétel)



34. ábra. A ballonozás elengedhetetlen művelete,
a kupola fűtése (forrás: saját felvétel)



35. ábra. Beszállás a kosárba
(forrás: saját felvétel)



36. ábra. Az OTP-s ballon, amellyel a méréseket
végeztük (forrás: saját felvétel)



37. ábra. Az emelkedő hőlégballonok
(forrás: saját felvétel)



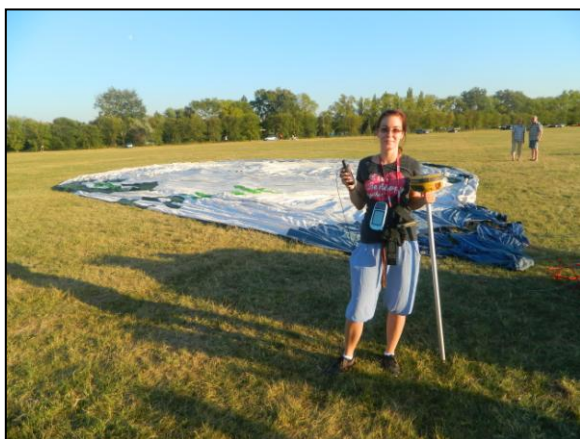
38. ábra. A marker távolságának mérése a
célponttól (forrás: saját felvétel)



39. ábra. Közös felszállás a Hajdúszoboszlói
repülőtérrel (forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



40. ábra. Alacsonyan repülve Debrecen felett
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



41. ábra. A GNSS-vevőkkel felszerelve
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



42. ábra. A csapattagok munkája elengedhetetlen
(forrás: Földváryné Kapócs Katalin)



43. ábra. Felszállás előtti pillanatok
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



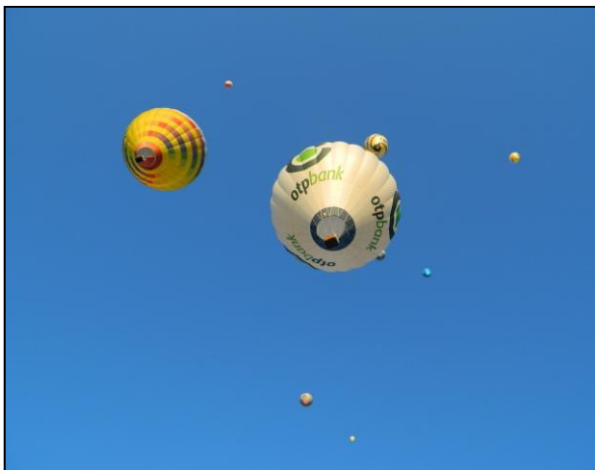
44. ábra. Búcsú a földtől, emelkedés az égbe
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



45. ábra. A hatalmas kupola alulról
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



46. ábra. A Tiszaújvárosi ballon, amellyel a
méréseket végeztük
(forrás: Földváryné Kapócs Katalin)



47. ábra. Elkezdődött a mérés
(forrás: Tuchbandné Varga Orsolya)



48. ábra. Konzultálnak a konzulensek
(forrás: Földváryné Kapócs Katalin)