

Nyugat-magyarországi Egyetem
Geoinformatikai Kar

GPS vevőmodul fejlesztése, tesztelése

SZAKDOLGOZAT

Konzulens:
Dr. Busics György
egyetemi docens

Készítette:
Györfi Áron
Levelező tagozat
Geoinformatika szakirány

Székesfehérvár
2011.



Földmérő és Földrendező Mérnök BSc Szak

Geoinformatika szakirány

Levelező tagozat

Szakdolgozat száma: 106/2010

GYÖRFI ÁRON

szakdolgozati feladata

A szakdolgozat címe: GPS vevőmodul fejlesztése, tesztelése

A feladat leírása:

1. Adjon rövid áttekintést a GPS/GNSS rendszer fejlődéséről, szolgáltatásairól, alkalmazásáról.
2. Mutassa be és hasonlítsa össze a GPS/GNSS vevőket és mérési eljárásokat. Külön térjen ki a navigációs vevők szerepére.
3. A kereskedelmi forgalomban hozzáférhető GPS vevőmodulokból vagy navigációs vevőkből állítson össze egy saját GPS vevőt. A vevő lehetőleg támogassa nemcsak a kódmerést, hanem a fázismérést is. Írjon olyan szoftvert, amely lehetővé teszi a nyers mérési adatok kiolvasását, tárolását, értelmezését és átalakítását RINEX formátumba.
4. Próbálja meg a vevőt összekapcsolni különböző antennákkal. Tesztelje a vevőt ismert pontokon abszolút és relatív eljárást használva.
5. A tesztmérések alapján tegyen javaslatot a vevő térinformatikai vagy geodéziai célú alkalmazhatóságára. Tapasztalatait, ajánlásait foglalja össze műszaki leírásban.

Beadandó munkarészek (elsősorban elektronikus formában):

Mérési és számítási jegyzőkönyvek

Műszer specifikációk

Koordináta-jegyzékek, táblázatok, grafikonok

Műszaki leírás

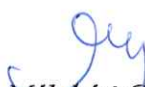
Konzulens: Dr. Busics György egyetemi docens

Beadási határidő: 2010. november 29.

Székesfehérvár, 2010. március 1.


Dr. Busics György
tanszékvezető




Dr. Mélykúti Gábor
dékán



NYILATKOZAT

Alulírott Györfi Áron (neptun kód: [REDACTED]) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a

GPS vevőmodul fejlesztése, tesztelése című

szakdolgozat

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-Magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Székesfehérvár, 2011. május 23.



Hallgató

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

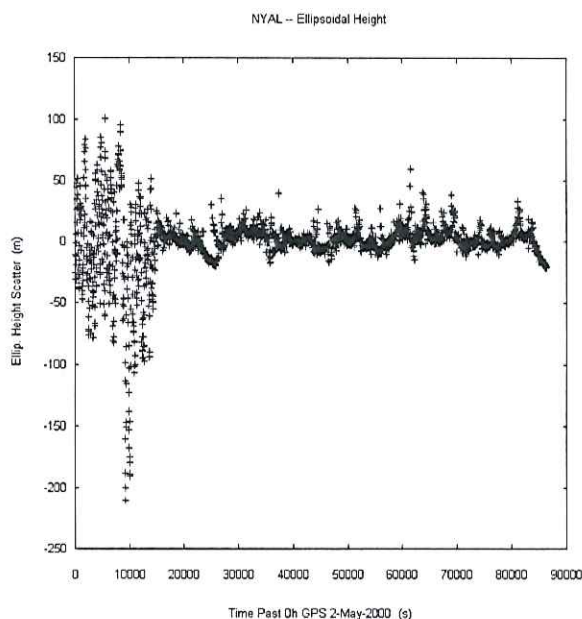
² 36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1	Bevezető.....	1-6
1.1	A GPS/GNSS rendszer fejlődése, szolgáltatásai, alkalmazása – rövid áttekintés.....	1-7
1.1.1	A műholdak alrendszere.....	1-8
1.1.2	A földi követőállomások alrendszere.....	1-8
1.1.3	A felhasználók alrendszere.....	1-9
2	A GPS/GNSS vevők összehasonlítása.....	2-10
2.1	Ipari célú GPS vevők.....	2-11
2.2	A termékek osztályozásáról, a kategóriák jelentéséről.....	2-12
2.3	A különböző termék kategóriákba sorolt eszközök korlátai és lehetőségei a földmérő szemszögéből.....	2-13
3	Az u-blox LEA-4T GPS vevő bemutatása.....	3-16
3.1	A termékcsalád és a „T” jelzésű vevők ismertetése.....	3-16
3.2	A vevőt és a mérési adatokat kezelő szoftverek.....	3-16
4	Mérések.....	4-19
4.1	A vizsgálati pontok kiválasztása és koordinátáinak meghatározása.....	4-22
4.2	Tesztmérések a LEA-4T GPS vevővel.....	4-23
5	A mérések feldolgozása, értékelése.....	5-26
6	Tapasztalatok, javaslatok.....	6-31
7	Irodalom.....	7-32
8	Jegyzetek.....	8-33

1 Bevezető

Jelen dolgozat szempontjából a műholdas helymeghatározás történetében kitüntetett időpont az SA (*Selective Availability*) kikapcsolásának időpontja. Clinton elnök utasítására 2000. május 2-án, UTC szerint 4:05-kor a GPS üzemeltetője, az Amerikai Egyesült Államok kormánya felfüggesztette² a korlátozott hozzáférés néven ismert adatmanipulációt. A műholdakon elhelyezett atomórák, a műhold-pályaadatok és ezek korrekciói valamint az alaphfrekvencia (f_0) mesterségesen előidézett ingadozásával az üzemeltető az illetéktelen felhasználókat a helymeghatározás pontosságában korlátozta.



1-1. ábra - az SA felfüggesztésének hatása

A korlátozás felfüggesztésében szerepet játszhatott, hogy a rendszer valamennyi felhasználója számára elérhető differenciális helymeghatározási eljárásokkal gyakorlatilag sikerült kiküszöbölni az SA degradáló hatását így ez részben okafogyottá vált. A döntés indoklásában ugyanakkor a GPS békés célú polgári-, kereskedelmi- és tudományos felhasználásának bátorítása szerepel, továbbá lehetőséget teremt a magántőke bevonására a globális helymeghatározó rendszer működtetését és fejlesztését elősegítendő.

Az abszolút pontmeghatározás pontossága az SA kikapcsolásával a korábban elérhető vízszintes értelemben 100 m nagyságrendről 10 m nagyságrendűre nőtt³, és ez valóban számos új ágazati terület és szolgáltatás előtt nyitotta meg a technika alkalmazásának lehetőségét.

Az Amerikai Egyesült Államok kormányának korabeli becslései szerint a döntés nyomán három év alatt, 2003-ra a GPS felhasználók száma megkétszereződik és eléri, vagy meghaladja a 8 milliót, a GPS piac értéke pedig eléri a 16 milliárd dollárt. Azzal a

² Az elnöki határozat sajtónyilatkozata: http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/docs/statement.html

³ Az SA kikapcsolása hatásának szemléltetésére: http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/world/

megjegyzéssel, hogy az amerikai GPS egyeduralma lassan megszűnik és az elemzések immár GNSS-ként hivatkoznak a technológiára és eszközeire egyaránt, a piac értéke világviszonylatban mára meghaladja az évi 124 milliárd dollárt, az értékesített vevők száma pedig meghaladja a szintén évi 437 millió darabot.

A globális piac növekedésének számadatai azért érdekesek számunkra, mert részben ennek köszönhetjük a GNSS vevőáramkörök szolgáltatásainak fejlődését és az árak csökkenését.

1.1 A GPS/GNSS rendszer fejlődése, szolgáltatásai, alkalmazása – rövid áttekintés

A GPS rövidítés a NAVSTAR GPS még rövidebb alakja, mozaikszó, amely idő- és távolságmérést biztosító navigációs rendszert, egyben globális helymeghatározó rendszert takar (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System). A NAVSTAR GPS rendszerrel párhuzamosan épített és működtetett globális műholdas navigációs rendszerek – rövidítve GNSS – említést érdemelnek, de gyakorlati alkalmazásuk, vizsgálatuk jelen dolgozat keretén túlmutat; a rendelkezésre álló eszközök és a vizsgált vevőmodul is csak a GPS jeleinek vételére alkalmas. Így a Glonass, a Galileo vagy további, tervezés, kiépítés alatt álló rendszerek (Compass, IRNSS, QZSS) felépítésére nem térek ki.

A feljegyzések szerint a második világháború után került az Egyesült Államok kormányának napirendjére a földrajzi hely meghatározását lehetővé tevő abszolút mérési módszer kidolgozásának kérdése. Ezt az időszakot követő mintegy 25 év során számos rendszer és kísérlet született, köztük a Transit⁴, Timation⁵, Loran, Decca stb. Valamennyi eljárás lehetővé tette a pozíció meghatározását ám pontosság vagy használhatóság tekintetében korlátozottak voltak. A GPS rendszer ötletét a 70-es évek elején vetették fel válaszul a kormány által fenntartott követelmények kielégítésére, nevezetesen, a rendszer felhasználója legyen képes pontosan meghatározni pozícióját a világ bármely pontján, bármikor, bármilyen időjárási körülmények között. A GPS egy műholdas rendszer, terv szerinti kiépíttetésében 24 műhold közvetítésével határozhatja meg a felhasználó pontos helyzetét. A pontosság fogalma felhasználófüggő: a túrázó számára 15m, a partmenti vizeken manőverező hajó számára 5m, a földmérő számára 1cm vagy pontosabb. Fontos megjegyezni, hogy ugyanaz a rendszer képes kiszolgálni a fent említett különböző pontossági igényeket, a különbség a célnak alárendelten kiválasztott műholdvevő és mérési/számítási technika eredménye.

Közismert, hogy a GPS katonai célokat szolgált-szolgál, és az is köztudott, hogy a műholdas helymeghatározó rendszer eredeti ötletének már megfogalmazásakor nyilvánvaló volt a polgári használhatósága, ráadásul nemcsak személyes helymeghatározás céljára – mint a katonai szükséglet esetén, hanem egyéb alkalmazásokra is. Az első két polgári felhasználás a tengeri navigáció és a földmérés volt. Napjainkban a gépjármű navigációtól a flottakövetésen át, az építőipar gépeinek vezetéséig a GPS-nek számos, pontosabban szólva számtalan alkalmazása született meg.

Műszaki felépítését tekintve, a GPS három elkülönült szegmens vagy alrendszer együttese. Ezek az űrszegmens (a Föld körüli pályán keringő műholdak alrendszere), az

⁴ Az Encyclopedia Astronautica szócikke: <http://www.astronautix.com/project/transit.htm>

⁵ Az Encyclopedia Astronautica szócikke: <http://www.astronautix.com/craft/timation.htm>

ellenőrző vagy kontroll-szegmens (a műholdakat irányító földi követőállomások alrendszere) és a felhasználók alrendszere, azaz a GPS vevőberendezések.

1.1.1 A műholdak alrendszere

A műholdpályák szerkesztésekor azt a célt követték, hogy a földfelszíni vevő számára a Föld bármely pontján 15°-os magassági szög fölött legalább négy műhold legyen látható – a legtöbb GPS alkalmazás számára ugyanis ez a minimum. A gyakorlat azt mutatja, hogy egyező feltételek mellett általában öt műhold látható és gyakran hat vagy hét műhold jele is elérhető.

A műholdak fedélzetén nagy pontosságú atomórák működnek, számlálójuk állítja elő a műhold által sugárzott jelek számára a 10.23 MHz-es alaphérvenciát. A műhold a számára kijelölt L sávban (1GHz – 2GHz-ig terjedő sávszélesség) több hérvencián sugároz folyamatosan. Hagyományosan a GPS rendszer műholdja két hérvencián sugároz, mindkettő az alaphérvencia többszörözésével előállított L1 és L2 néven hivatkozott hérvencia, mely hérvenciák közül az L1-en két kód modulált, az L2 vivőhérvencián pedig egy. A C/A és P kódokat, valamint az L1 és L2 vivőhérvenciákat a rendszer modernizálása során újak egészítik ki, az új hérvenciák és az új kódok kombinációjával pedig tovább nő a rendszer használhatósága.

A műholdak által sugárzott jelek legfőbb szerepe, hogy a vevő antennája, áramkörei és beépített számítógépe számára lehetővé tegye a vevő-műhold távolság számítását, továbbá, hogy adatokkal szolgáljon a vevőben elvégzett pozíció-számítás további műveleteihez.

1.1.2 A földi követőállomások alrendszere

A kontroll-szegmens legfontosabb feladata a műholdak követése, a pályaadatok figyelése és a fedélzeti órák kalibrálása valamint szinkronizálása. A pályaadatok figyelésén túl, az egyes műholdak előzetes pályadatait is számítják, ezeket az adatokat a műholdak folyamatosan sugározzák. A vevő számára a műholdak térbeli helyzetének megközelítő ismerete lényeges információ, hiszen e nélkül nem lehetne az adott műhold jeleinek vételére hangolni a vevőáramköröket sem. Számos további feladat mellett, a kontroll-szegmens állomásain végzett munka eredménye a követő mérések feldolgozásából származtatott ún. *ultra rapid*, *rapid* és *final* pályaadatok, azaz a műholdak valódi térbeli helyzetének utólagos meghatározása és a jelek terjedésének elemzéséből megállapítható paraméterek számítása a jel útját becselő modellek számára.

Mint az előző részben kiemeltem, a rendszer változatos pontossági igényeket képes kielégíteni, a rendszer fejlesztése pedig arra irányul, hogy növelt megbízhatóság és növelt biztonság mellett több felhasználóhoz juthasson el, az idő- és pozíció meghatározáshoz pedig egyszerűbb vagy hatékonyabb földfelszíni infrastruktúra legyen szükséges még a nagy pontosságú relatív helymeghatározások esetében is. A fejlesztések, vagy ahogyan gyakran hivatkoznak rá, a modernizáció⁶ révén részben azt is szem előtt tartják, hogy a közeli vagy távolabbi jövőben a különböző úrhatalmak globális rendszerei műszaki szempontból kapcsolódhassanak, vagy jeleik legalább részben támogassák az együttes feldolgozást.

⁶ <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=gpsModernization>

A GPS esetében kizárólag a kontroll szegmens kijelölt földi állomásainak van kétirányú összeköttetése a rendszer mesterséges holdjaival, a felhasználói szegmens szereplői pedig kizárólag a műholdak (vagy akként viselkedő adók) adását „hallgatja”.

1.1.3 A felhasználók alrendszere

A GPS műholdak jelei alapján több módszerrel határozhatjuk meg helyzetünket. A módszer a kívánt pontosság és a vevő típusának függvénye. A legáltalánosabb felfogás szerint háromféle módszert különböztethetünk meg, a vevőket is csoportosíthatjuk e szerint:

- Autonóm navigáció, egyedülálló vevő, abszolút helymeghatározás. A vevő kód-méréssel határozza meg helyzetét, korrekciót nem alkalmaz. A legtöbb GPS felhasználó erre a módszerre támaszkodik. A helymeghatározás pontossága 5 – 10 m. Abszolút helymeghatározásra valamennyi GPS vevő képes.
- Kód-méréseken alapuló differenciális helymeghatározás. A korrekciók földi- vagy egyéb (műholdas) adattovábbítással jutnak a vevőhöz. A rendszer lényege, hogy a kód-méréssel meghatározott vevő-műhold távolságot egy közeli, ismert helyen lévő vevővel is méri, az ismert helyen lévő vevő számított vevő-műhold távolsága és a mért mennyiség különbségéből képezik a mérés hibáját ellensúlyozó javítást, ami javítást az ismeretlen helyen lévő vevő számára továbbítanak, így korrekcióval látják el a kód-mérések eredményeit. A helymeghatározás pontossága 1 – 2 m.
- Fázisméréseken alapuló relatív helymeghatározás. A helymeghatározás pontossága 0.5 – 50 mm.

Mivel dolgozatomban egy olyan kísérleti vevő összeállítását mutatom be, amely a fázismérést is támogatja, az összeállítás és a mérések, eredmények előtt röviden összefoglalom a módszer fontosabb jellemzőit.

A fázismérést azért használjuk, mert a kód-mérésnél (beleértve a P-kód használatát is) pontosabb távolságmérést tesz lehetővé, a helymeghatározás pontosságának növeléséért elkerülhetetlen. Az L1 vivőfrekvencia hullámhossza 19.4 cm, ha a hullámhosszak egységében meg tudjuk mérni a vevő és a műhold távolságát, akkor az egyéb módszerek eredményéhez képest egy pontosabb távolságot kapunk. Ehhez előbb ki kell küszöbölnünk a vevő és a műhold órahibáit – ezek az eltérések egyébként az abszolút helymeghatározás hibájának meghatározó tényezői. Miután kettős különbség képzésével az órahibát kiejtjük, meghatározhatjuk a fázistávolságot, azaz műholdankét a távolságot egy egész számú fázisciklus és egy törtrész teszi ki. A törtrész a vevőben előállított referenciajel és a beérkező jel fáziskülönbségének mérésével milliméter pontossággal mérhető. Az egész ciklusok számának meghatározása azonban összetettebb. A feladat megoldását a legkisebb négyzetek módszerét követve végezzük. Minden egyes méréshez felírjuk közvetítőegyenletét, amely a mérések és az ismeretlen paraméterek közötti kapcsolatot írja le. Ismertek a minden egyes időpontra és műholdra vonatkozó kettős különbségek, ismeretlenek a vektor koordináta-összetevői és a ciklus-többszámok értékei. Első lépésben meghatározzuk az ismeretlenek legvalószínűbb értékét. Az eredményül kapott ciklus-többszámok valós, de nem egész számok lesznek, ez a *float* megoldás. A második lépésben a ciklus-többszámok értékét egész számra cseréljük és ezekkel az értékekkel újraszámoljuk a vektorkomponenseket vagy koordinátákat. A főlös mérések alapján, az egyes mérésekhez tartozó javítások súlyozott

négyzetes átlaga jellemzi a megoldást. A legjobb megoldást ez alapján választjuk ki, ez lesz a *fix* megoldás. A megoldás körülményeiről az általam használt vevő és a Trimble Geomatics Office programcsomag sajátosságai mellett az 5-26 fejezetben írok.

2 A GPS/GNSS vevők összehasonlítása

Mint láthattuk, különböző pontossági igényekhez különböző módszereket alkalmazhatunk, a különböző módszerek pedig különböző vevőkkel követhetők.

Kódmérésen alapuló abszolút helymeghatározás valamennyi készülékkel lehetséges, az elmúlt években forgalomba hozott legegyszerűbb vevők is felkészítettek a műholdakról sugárzott kódmérés korrekcióinak fogadására (SBAS). A legegyszerűbb vevők kézi készülékek, a GPS alapú tájékozódást nem egészíti ki iránytű és/vagy barometrikus magasságmérő. A legegyszerűbb készülék térképi adatokat nem kezel és nem jelenít meg, egyik jellegzetes problémája, hogy a tájékozódáshoz, navigációhoz szükséges iránymutatást csak mozgás közben nyerhetjük ki a készülékből.



2-1. ábra Hasonló vevőáramkör, különböző extrák

A fenti képen látható eszközök, balra a Garmin eTrexH, fent a Mio Spirit 485, alatta a Trimble Juno, jobbra a Garmin GPSMAP 695 GPS vevőáramkör vonatkozásában közel azonosak, a készülékek rendeltetését és üzemi körülményeit tekintve viszont a végleteket mutatják. A legegyszerűbb túrázó készülék esetén az egyszerűsége törekvés tettenérhető – több évvel korábbi dizájn, olcsó alkatrészek, alap funkciók. A Mio autós navigátora naprakész közúthálózati térképet ígér útvonaltervezéssel és némi felhasználói interakció lehetőségével. Kedvenc helyeket, figyelmeztetéseket és az autózáshoz kiegészítő szórakoztató funkciókat kínál – a kezdetleges helyfüggő szolgáltatásokon túl azonban a készülék többi funkciója nem a helymeghatározással kapcsolatos. A Trimble Juno készüléke egy térinformatikai adatgyűjtést szolgáló szoftverezettséggel kiegészített GPS, általános célú rendszerszoftvere révén készíthetünk rá olyan programokat, amelyek a legegyszerűbb túrázó készülékké, vagy autós navigátorrá változtatják. Mindhárom eddig

említett készülék használatából vagy használhatatlanságából származó károkért a gyártó minden felelősséget kizár. Ezért érdekes a Garmin repülős készüléke, amely céleszköz, az autós navigátorhoz hasonlóan térképi adatbázissal töltötték fel, légterek, útvonalak, repülőterek közelkörzeti térképei, gurulóutak és minden más, a repülés során használatos adattal fel van töltve, az adatokat pedig a beépített GPS vevőtől származó helymeghatározás értelmében jeleníti meg. Mint fedélzeti navigációs eszköz szigorú minősítéseken esett át, használatát tanfolyam segíti, az adatbázis frissítését és ennek ellenőrzését törvény írja elő amely a naprakészség mulasztását súlyos szankcióval sújtja.



2-2. ábra Fejlett GPS/GNSS vevők - utófeldolgozás lehetséges

A térinformatikai célú vevők árképzésében már megjelenik a munkaeszközhöz illő, hatékony munkavégzés lehetőségét tükröző tényező. A készülékek alapszoftvere univerzális, ipari szabványokat követ, a felhasználó programok pedig professzionális alkalmazások. A fenti ábrán bemutatott készülékek vevőáramkörök tekintetében fejlettebbek, egyfrekvencián dolgoznak ugyan, de már nem csak kódérésre alkalmasak, hanem fázistávolság mérésére is, az utófeldolgozást támogatandó pedig rögzíteni lehet a nyers mérési adatokat (az áramkörök támogatják ezeket a funkciókat, a készülék szoftverezettsége gyakran nem).

2.1 Ipari célú GPS vevők

Egy friss piacelemző jelentés⁷ a következők szerint azonosítja a GNSS piac kulcsszereplőit:

- Az öt legnagyobb szereplő: Garmin International Inc., TomTom International BV, Mio Technology Corporation, Magellan, Navman.
- További szereplők: Rockwell Collins Inc., Trimble, Leica Geosystems, Hemisphere GPS Inc., Fine Digital USA Inc., SIRF Technology Inc.

Fontos megjegyeznünk, hogy a fenti kiemelés sajátosan a globális piaci viszonyokról kíván képet adni és a tanulmány szerzőinek látásmódját tükrözi. Világviszonylatban a közúti közlekedést (autós navigáció és úthasználatarányos útdíj, egyéb gépjárműbe beépített rendszerek), a helyfüggő szolgáltatásokat (beleértve a GNSS vevővel ellátott mobilkészülékeket és az infrastruktúrát), a mezőgazdasági alkalmazásokat (precíziós

⁷ World GPS Market Forecast to 2012, 2010., RNCOS Industry Research Solutions, <http://www.rncos.com/Report/IM603.htm>

mezőgazdaság eszköztára) és a légi közlekedést (közforgalmi és általános célú egyaránt) nevezik megⁱ húzóágazatként.

A mi szempontunkból kiegészítjük az alkalmazási területek sorát a földméréssel és térképezéssel. Igen nehéz naprakész teljes képet nyernünk, hiszen a technológiát napról-napra új és újabb területek fedezik fel. Érdemes viszont megjegyeznünk, hogy a műholdas helymeghatározásban egyik alapvető feladatot ellátó áramkörök, a vevőmodulok esetében erős piaci koncentráció figyelhető meg: a számos végterméket kínáló gyártó és szolgáltató mellett lényegesen kevesebb vállalat fejleszt és gyárt vevőmodulokat. A földmérési és mérnökgeodéziai felhasználást célzó eszközök – vevőmodulok és végtermékek – ára 1000 és 125000 dollár közé tehetőⁱⁱ. Ilyen vevőmodulokat találunk a professzionális felhasználásra szánt eszközökben. A széles felhasználói rétegeket kiszolgáló eszközökbe beépített vevőmodulok ára egy – vagy bizonyos feltételek, egyszerűsített áramkörök esetén akár két nagyságrenddel olcsóbban beszerezhető néhány 100 vagy néhány 10 dollárért. Ezeket tekintem rendre olcsóbb vagy olcsó vevőmoduloknak.



Garmin GPS 15xH/15xL™



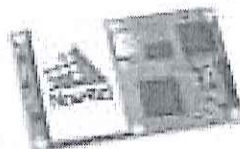
ashtech MB 500



Navman Wireless Jupiter 30xLP



Trimble Condor
Crescent



Novatel OEMV-2



HemisphereGPS

2-1. ábra Néhány vevőmodul – a professzionális és általános célú „GPS”-ek lelke

2.2 A termékek osztályozásáról, a kategóriák jelentéséről

A gazdasági tevékenység értékteremtő láncában fogyasztói terméknek vagy végfelhasználói terméknek nevezzük a használatbavételre kész termékeket. Ezzel szemben az ipari célú termék olyan termék, amelyet kész termékek vagy szolgáltatások előállításához használnak fel gyártók. Egy ma korszerű mobiltelefon példáján keresztül érzékelhető, hogy a gyártó a késztermék előállításához más gyártóktól szerez be részegységeket: a kijelző, a GPS vevő, a memória, a processzor, számos áramkör és további részegységek külső forrásból származnak, akárcsak a készüléket működtető szoftverek kisebb vagy nagyobb része. A GNSS vevők esetében sincs másképp. A szakmai körökben ismert és elismert Leica és a Sokkia számára például a kanadai NovAtel szállítja/szállította a vevőkbe beépített GNSS technológia egyes részeitⁱⁱ.

Megkülönböztetünk továbbá professzionális és általános felhasználási célú termékeket. A kettő közötti különbséget leginkább az eltérően dokumentált és eltérő tűréshatárok, a

tipikus használat és annak jellemző körülményeihez illesztett kiserelés és kezelőfelület, kezelhetőség jellemzi. A professzionális eszközök legtöbbször beruházást igénylő munkaeszközök, használatuk során, teljes életciklusuk alatt az üzemeltetési költségnek tervezhetőnek, a termelékenységnek pedig mérhetőnek kell lennie.

Az OEM (*Original Equipment Manufacturer*)⁸ kifejezéssel is találkozhatunk, a GNSS vevőmodulok gyártói is kínálnak ilyen termékeket: ezek tulajdonképpen késztermékek, a forgalomba hozó viszont saját (márka)jelzése alatt forgalmazza általában értéknövelt szolgáltatása kíséretében. Ilyen értéknövelt szolgáltatás lehet a készülék szoftverezettsége.

2.3 A különböző termékkategóriákba sorolt eszközök korlátai és lehetőségei a földmérő szemszögéből

Az SA felfüggesztése után érdeklődés mutatkozott a navigációs vevők pontosságának vizsgálata iránt. A több dolgozatban egyszerűen kézi-vevőként (általános célú, fogyasztói termék) megnevezett termékkategória készülékei rendeltetésszerű használat mellett abszolút helymeghatározást végeznek kódérés alapján. Néhány kézi-vevő (*handheld receiver*) fogadni képes továbbá DGPS jeleket és/vagy WAAS/EGNOS adatokat a kódérésen, kódérésből levezetett pszeudo-távolság számításán alapuló differenciális helymeghatározásra. Tovább szűkítve a kört, olyan kézi-vevők is léteztek/léteznek, amelyek a fázisméréssel javított kódtávolság módszerét alkalmazzák a pontosabb helymeghatározás végett. Ez pedig azt jelenti, hogy a készülék a fázismérés adatait is előállítja, igaz, a felhasználó számára „láthatatlanul”, hiszen kijelzőjén vagy NMEA távirataiban a vevő csak a (vég)eredményt tudatja. A legtöbb vevő azonban a gyártója által megtervezett adatformátumot (is) használ és a nyílt szabványoktól eltérő (pontosabban a gyártó saját szabványainak megfelelő) kommunikációs protokollt is támogat. A gyártói saját szabványok és protokollok leírása nem részletezi a kézi-kezelőmodulokban zajló folyamatokat, csak sejteni lehet, hogy pontosan mi történik. Ezeket a sejtéseket követve azonban, a gyártók ipari célú vevőmoduljaihoz kiadott dokumentációja alapján – feltételezve, hogy ezen vevőmodulok közül valamelyik szükségképpen a kézi-kezelőmodulokban is helyet kapott – kísérletezésekbe fogtak különböző csoportok – elsősorban egyetemeken –, hogy kitapogassák mire képesek az „olcsó” GPS vevők. Az akkoriban is már népszerű GARMIN termékek közül kiválasztott vizsgálati példányokat (elsősorban a Garmin 12⁹) számítógéphez csatlakoztatva olyan szoftvereket írtak, amelyek szó szerint megpróbálják kihámozni és helyesen értelmezni a vevőből kinyerhető bináris adatfolyamból a fázismérés eredményire utaló részeket. A próbálkozások nem voltak eredménytelenek. Galán professzor Spanyolországból az *async/gar2rn*x programokat tette közzé¹⁰, egy másik ismert megfigyelés pedig a Nottinghami Egyetem kutatócsoportjának eredménye, a GRINGO és a P4 utófeldolgozó programok, amelyek RINEX előállításán túl a relatív helymeghatározás számítására is lehetőséget kínáltak. A GRINGO/P4 páros azonban ma már csak archívumokban lelhető fel, a fejlesztés folytatását elvethették, a GRINGO projektet idéző legtöbb cikk internetes hivatkozása ma már hibás¹¹.

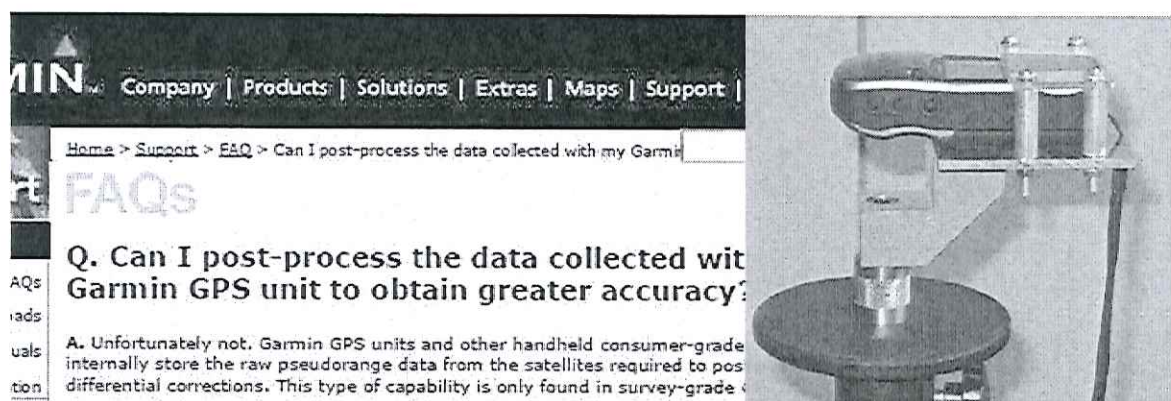
⁸ Dictionary of IBM and computing terminology: <http://www-03.ibm.com/ibm/history/documents/pdf/glossary.pdf>

⁹ A termék adatlapja a gyártó honlapján: <https://buy.garmin.com/shop/shop.do?cID=167&pID=81>

¹⁰ A.T.Galán vonatkozó oldalai: <http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/async/index.html>

¹¹ Egy elfelejtett oldal - a szakcikkek hivatkozásai nem ide mutatnak: <http://www.bigf.ac.uk/gringo/>

Az SA felfüggesztését követően (2000-ben) indított, fent említett vizsgálatokat máig idézik, a méréseket helyi körülmények között többen, többször megismételték, a kézi-vevőkből vagy rekreációs célú vevőkből kinyert nyers mérési adatokból utófeldolgozással helymeghatározást végeztek. Megállapítást nyert, hogy az eredmények ígéretesek, például „a vektorok hibája esetenként 20 cm-nél kisebb is lehet”ⁱⁱⁱ. Ugyanakkor a kísérleti mérések során szinte kivétel nélkül a fent említett két program-páros valamelyikének használatával dolgoztak a vizsgálatot végzők, ami a GARMIN néhány vevőjének vizsgálatát jelenti. Ezt azért fontos megjegyeznünk, mert a dolgozatok címeiben és szóhasználatában többször előfordul az „olcsó”, „olcsóbb”, „költséghatékony”, „rekreációs-célú”, „kézi-vevő” stb. jelző, mint a vizsgálat alá vont termékkör azonosítója, miközben valójában a GARMIN három vagy négy készüléktípusát vizsgálták.



2-2. ábra Egy más mellett: egy utófeldolgozásra alkalmassá tett GARMIN eTrex készülék kényszerközpontosítón, balra a GARMIN álláspontja: „sajnos nem lehetséges.”

A 2-2. ábrán látható eTrex készülékhez a Stuttgarter Egyetemen elvégzett vizsgálat^{iv} részeként szerkesztettek kényszerközpontosító-adaptert. A nyilvánvaló ellentmondás feloldásáért beláthatjuk, hogy a gyártó igazat mond. Rendeltetésszerű használat mellett valóban nem lehetséges az általános célú, fogyasztói termékként forgalmazott kézi-vevők vagy rekreációs célú vevők rögzített adatainak utófeldolgozása.

Ezzel szemben az ipari-célú vevőmodulok hivatalos gyári dokumentáció és szoftvereztettség mellett többféle árfekvésben beszerezhetők, tulajdonképpen még a fent említett kézi-vevők árfekvésében is. Érdekes szem előtt tartani, hogy a vevőmodul nem azonos a vevővel – könnyen belátható, hogy a 2-1. ábrán példaként bemutatott vevőmodulok (professzionális és általános célú egyaránt) ebben a formában a legkevésbé sem alkalmasak terepi munkára (sőt, semmilyen munkára sem). A kérdés viszont az, hogy találunk-e közöttük olyat, amelynek tulajdonságai alkalmassá teszik geodéziai vagy térinformatikai, esetleg oktatási célú felhasználásra. A méréseket az előttem járókhoz^v hasonlóan magam is megismétlem a kiválasztott vevő-összeállítással, az antenna-használat és az utófeldolgozás, valamint a következtetésekben térek el. A FIG¹² közleményei sorában publikált dolgozatok témái közt a költséghatékony vevők vizsgálata időről-időre napirendre kerül.

Választásom azért esett az u-blox gyártó termékére, mert korábban - a jelen dolgozat keretein kívüli körülmények között – ilyen vevőmodulokkal kapcsolatos tapasztalatokat szerezhettem. A tapasztalatszerzés háttérében egy sportrepülésben használatos GNSS

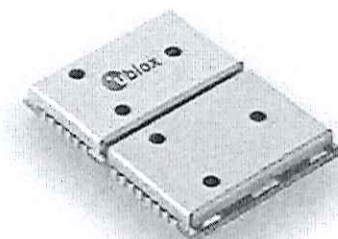
¹² <http://www.fig.net/>

alapú adatrögzítő fejlesztése áll, amelynek „lelke” éppen a továbbiakban vizsgálat alá vont vevőmodul. Elsősorban viszont azért választottam a LEA-4T vevőmodult, mert ez volt az egyetlen nagy érzékenységű vevőáramkör, amellyel a földmérő eszköztárához nélkülözhetetlen nyers mérési adatokat rendezett körülmények között előállíthatjuk.

SCHWIEGER(2003) és SCHWIEGER(2009) szerint nincs lehetőség sem a GARMIN, sem a LEA-4T vevőkkel olyan méréseket végezni, amelyek során szabatos pontráállással létesíthetnénk álláspontot. Vizsgálataihoz ezen vevők saját antennáinak fázisközpontját határozta meg és készítettett rögzítő/befogó szerkezetet (pl. 2-2. *ábra*, jobbra) így illesztve kényszerközpontosítóhoz a vevőt/antennáját, ezzel szemben én geodéziai antennát használtam.

3 Az u-blox LEA-4T GPS vevő bemutatása

Mint láthattuk, az eredmények sikeréhez nagymértékben hozzájárul az, ha a vevőmodulok rendeltetésszerűen és a gyártó által dokumentáltan rögzítik és továbbítják a nyers mérési adatokat.



3-1. ábra

A bélyegméretű LEA-4T vevőmodul

3.1 A termékcsalád és a „T” jelzésű vevők ismertetése

Földmérőként a GPS rendszer szolgáltatásai közül legtöbbször a helymeghatározást használjuk, ugyanakkor kitüntetett szerepet játszik a rendszer a pontos időhöz és időtartamhoz (*Precise Time and Time Interval - PTTI*) való hozzáférésben. A földi állomások és a műholdak atomórái együttesen ugyanis az UTC globális hordozói is, a GPS valós időben 100 ns pontossággal szolgáltatja a pontos időt. A felhasználók megtudhatják tehát a pontos időt, de meghatározhatják saját órájuk és az UTC közötti eltérést, lehetséges továbbá két távoli óra szinkronizálása is.

Az u-blox „T” jelzésű vevői „*Time Mode*” funkciója lehetővé teszi, hogy a vevő rögzítettnek, állandónak tekintse előzőleg meghatározott 3D helyzetét és ezt követően akár 1 műhold jelének vétele mellett is az UTC-hez 50 ns (hibajavítással 15 ns) pontossággal felzárkózó időimpulzust szolgáltatson.

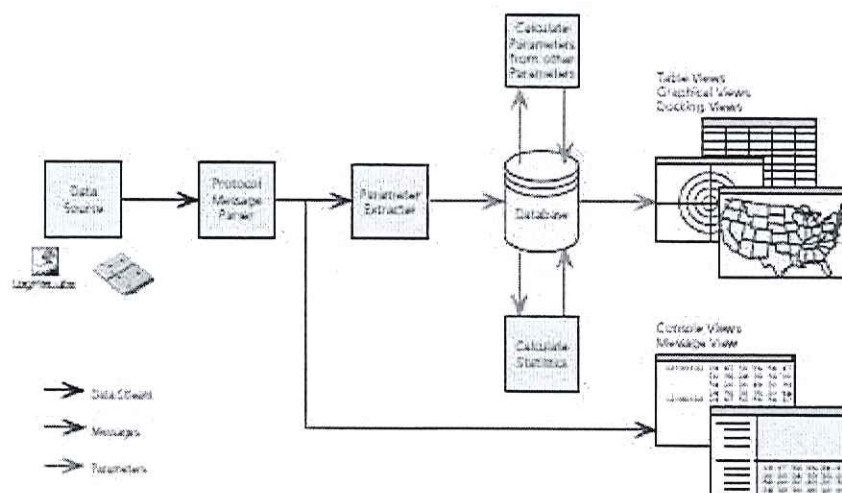
A „T” jelzésű vevők a gyártó egyetlen sorozata, amely nyers mérési adatokat szolgáltat, ezek a fázistávolság, kódtávolság és Doppler mérések. A gyártó nyilatkozata szerint kifejezetten az utófeldolgozás lehetőségének támogatására tették elérhetővé ezeket az adatokat.

A LEA-4T egy 16 csatornás, egyfrekvenciás vevő, amelyet a Salzburgi Egyetem jóvoltából az AEK-4T úgynevezett *Evaluation Kit*-ben használhattam. Ezt a terméket már kivonták forgalomból, nem gyártják.

3.2 A vevőt és a mérési adatokat kezelő szoftverek

Választásom nemcsak azért esett az u-blox gyártó termékére, mert a vevőmodul árban a vizsgált „olcsóbb” árkategóriába tartozik, hanem azért is mert a gyártó kínálatában megtalálható a vevőmodulnak egy szerelt, működtethető változata (*Evaluation Kit*) is

amivel a leendő gyártók (vagy felhasználók) kiismerhetik annak működését és kiértékelhetik képességeit. Továbbá szabadon hozzáférhető az u-center nevű szoftver, amin keresztül az u-blox vevőmodulok valamennyi paramétere lekérdezhető és beállítható, működésük minden részletéről minden adat kinyerhető és táblázatos vagy grafikus formában megjeleníthető. Szintén az u-center szoftver alkalmas arra, hogy általa a vevővel összekötött személyi számítógépen vagy kéziszámitógépen rögzíteni tudjuk a vizsgált vevő adatfolyamát, így lehetővé teszi a későbbi kiértékelést vagy a későbbi adatnyerést.



3-2. ábra - Az u-center felépítése

Forrás: u-center GPS evaluation software User Guide

Az u-blox gyártmányú vevőkben a gyártó a szabványos NMEA¹³ protokoll mellett saját kommunikációs protokollt is megvalósított, ez a sajátos bináris adatcsere az UBX protokoll, számítógépen pedig az u-center szoftver .ubx kiterjesztésű bináris állományokat hoz létre a vevőmodulból kinyert adatok alapján. Mind a protokoll, mind pedig a bináris állomány részletes műszaki dokumentációját közzéteszi a gyártó¹⁴ – így lehetőséget kínál arra, hogy a vevőmodul interfészeihez közvetlenül, saját fejlesztésű szoftverrel vagy eszközzel csatlakozzunk. Az eszköz kipróbálását kínáló csomag szerepe, hogy hardver- és szoftverfejlesztés vagy barkácsolás nélkül is működés közben értékelhessük a vevőmodult, amit ha megfelel a kívánalmainknak később (gyártóként vagy kísérletezőként¹⁵) saját tervezésű eszköz részeként saját szoftverezettséggel használhatunk fel. A kipróbálást lehetővé tevő hardverhez hasonlóan az u-center is kényelmi szempontokat szolgál, jelen dolgozat szempontjai szerint viszont lényeges körülmény, hogy az u-blox vevőmodulok népszerűségének és az .ubx formátum dokumentált átláthatóságának köszönhetően a professzionális GNSS vevők adatcsere-formátuma, a RINEX (Receiver INdependent EXchange)¹⁵ felé való átjárás megoldott/megoldható.

A saját szoftver megírásának lehetősége mellett, az .ubx állományok RINEX formátumúvá konvertálására a TEQC programcsomag szolgáltatását használhatjuk. A TEQC a GNSS vevők nyers mérési adatainak előfeldolgozását és elemzését végző

¹³ A szövetség honlapján keresztül rendelhető meg a dokumentáció:

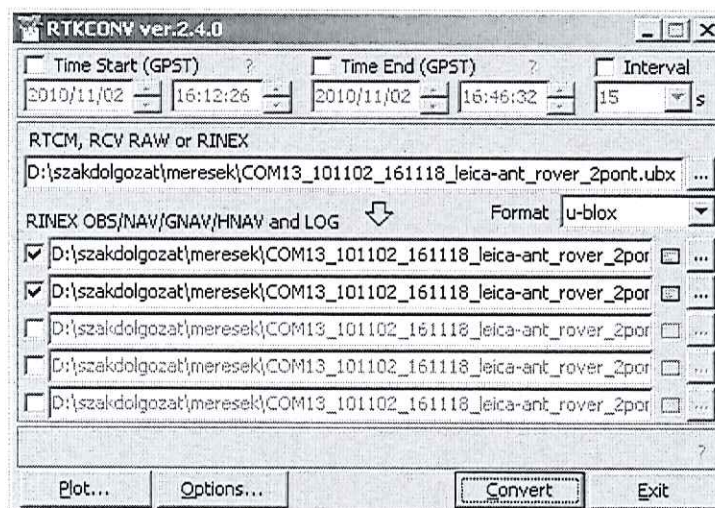
http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_083_v_400.asp

¹⁴ A gyártó honlapja: <http://www.u-blox.com/en/download/documents-a-resources.html>

¹⁵ A RINEX és egyéb használatos formátumok dokumentációja: <ftp://igschb.jpl.nasa.gov/igschb/data/format/>

programcsomag, részletes bemutatását a program készítője, az UNAVCO¹⁶ honlapján¹⁷ találjuk. A TEQC szabadon hozzáférhető.

Célom az volt, hogy az utófeldolgozáshoz szükséges RINEX állományokat a legegyszerűbben nyerjem ki, így a továbbiakban egy nyílt forráskódú programcsomag egy modulját használtam az .ubx -> RINEX átalakításhoz. Ez a programcsomag az RTKCONV (az .ubx állományok „olvasásához” egyébként a TEQC programkönyvtár szolgáltatásaira épül).



3-1. ábra Az RTKCONV párbeszéd- és programablaka

Az RTKCONV program a támogatott bináris állományokból – amelyek a nyers mérési adatokat is tartalmazzák – előállítja az .obs, és .nav kiterjesztésű RINEX állományokat. Képes kezelni ugyanakkor a GLONASS navigációs üzeneteket is, ha a vevő azokat rögzíti, továbbá az SBAS üzeneteket is. Mivel az általam használt vevő csak GPS jeleket mér, az utófeldolgozáshoz pedig nem volt szükség egyéb adatokra, a lehetséges további kimeneteket nem rögzítettem.

Az u-center és az RTKCONV programokkal több lépcsőben ugyan, de maradéktalanul megvalósítható az u-blox vevő „szoftveres” beillesztése a mérési folyamatokba. Az utófeldolgozáshoz szükséges RINEX állományok előállításához a vevőt úgy kell konfigurálnunk, hogy továbbítsa a nyers mérési adatokat. A mérések időtartama alatt ezeket az adatokat számítógépen rögzítjük, majd átalakítjuk az utófeldolgozás szükségletei szerint.

¹⁶ University Navstar Consortium: <http://www.unavco.org/aboutus/aboutus.html>

¹⁷ TEQC az UNAVCO honlapján: <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>

4 Mérések

Olyan mérések elvégzését tűztem ki célul, amelyek a meglévő infrastruktúra nagyfokú kihasználása mellett a legtöbb összehasonlítást engedik meg a vizsgálat alá vont vevő és a referenciaként használt geodéziai vevő eredményei között. Referenciaként egy kétfrekvenciás Trimble 5800-as vevőt használhattam. Szintén rendelkezésre álltak a Salzburgi Egyetem Természettudományi Kar Földrajz Tanszékén kísérleti jelleggel üzemeltetett permanens állomás (azonosítója USBG) adatai, így a mérések utófeldolgozásakor ezt használtam bázisként. Mivel a mérésekre az egyetem tetőteraszán került sor, az utófeldolgozás rövid vektorokat ad, így az egyfrekvenciás GPS vevő adatait első körben ilyen utó-feldolgozási körülmények között tettem próbára. Az egyetem tetőteraszán rendszeresen végeznek méréseket, ezek egyik állandó helye egy rögzített antenntartó rúd, amelynek koordinátáit korábban meghatározták. Ezen kívül egy második, tetszőlegesen kiválasztott közeli ponton végeztem méréseket. A mérésekhez az u-blox vevő saját antennáját és egy egyfrekvenciás Leica AT501-es típusú antennát felváltva használtam, az összehasonlító mérések alatt a Leica antenna volt csatlakoztatva az u-blox vevőhöz. A Leica antenna előnye a kedvezőbb elektromágneses tulajdonságai mellett abban mutatkozik meg, hogy műszerállványra és az antenntartó rúdra is szabatosan rögzíthető, így biztosítható, hogy vizsgálatom a vevő tulajdonságainak vizsgálatára szűkül.



4-1. ábra Az u-blox vevő a NAWI_02 ponton: balra a Leica AT501-es antennával

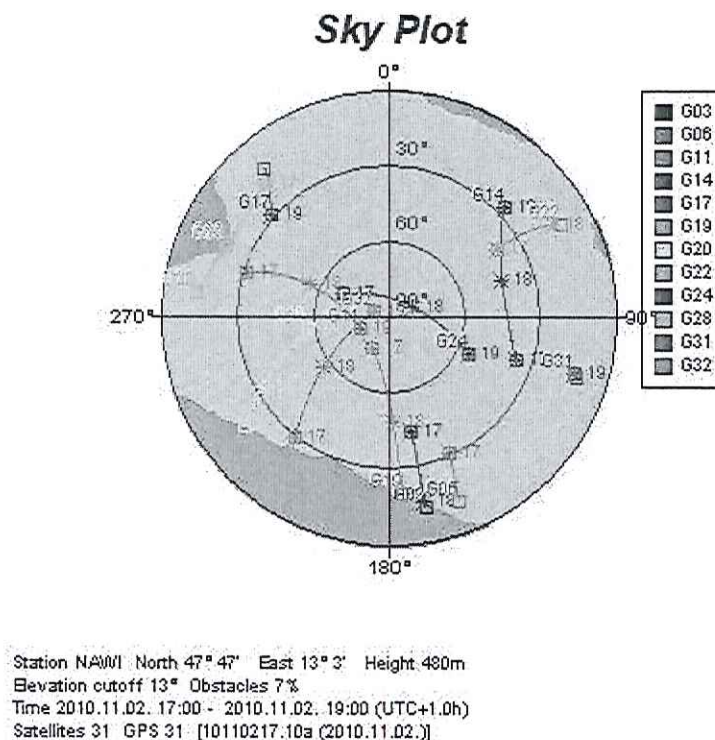
A Leica antenna csatlakoztatása egyszerűnek bizonyult, ehhez egy SMA – TNC csatlakozó átalakítóra volt szükség (valójában SMA – BNC¹⁸-t sikerült beszerezni, de a különbség a menetes vagy bajonettes rögzítés, ez egy áthidalható eltérés).

Összegezve, az u-blox vevőt a csatlakozó-átalakító és az említett szoftverek révén

¹⁸ <http://www.cablesondemand.com/Library/InfoManage/Items.asp?product=AD-COSMAPBNCJ>

lehetséges hiánytalanul beilleszteni a mérési eszköztárba.

A mérések során mindhárom vevőre, a permanens állomásra, a referenciaként használt Trimble 5800-asra és a vizsgált vevőre vonatkozóan a munkaterület kis mérete miatt a takarás kivételével ugyanazok a körülmények érvényesek, a Planning *Multi Station* funkciójára ezért nem volt szükség. A mérésekre 2010. november 2-án került sor, a Trimble Planning (v. 2.90) szoftverrel¹⁹ végeztem el a mérés körülményeinek feltárását.



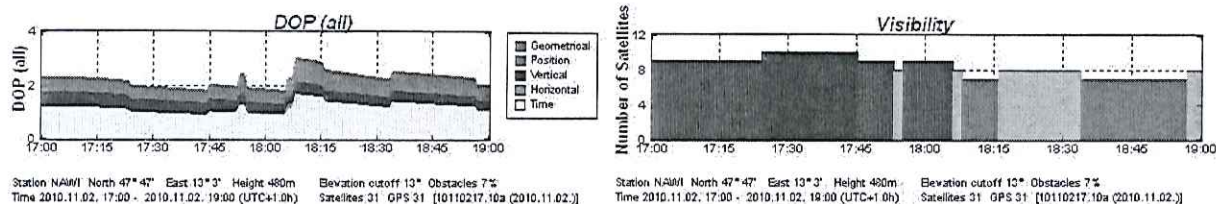
4-2. ábra A munkaterületre érvényes Sky Plot

A takarási ábra elkészítéséhez egy tükrös tájolólt használtam mind az irány-, mind a magassági értékek becslésére, az értékeket helyszínen készített jegyzetek és fényképfelvételek dokumentálják. A *Sky Plot*-on 295°-os irányban látható takarást a 4-1. ábra bal oldali képén is látható fa koronájának tulajdonítom.

Az előkészületek során a Trimble honlapján elérhető²⁰ almanach adatokat használtam, a fenti ábra és az itt bemutatott további ábrák alapja a mérés alatt a permanens állomás *Hourly RINEX* adatsorából kiemelt 10110217.10a nevű almanach fájl.

¹⁹ Szabadon letölthető a gyártó honlapjáról: <http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-421084/SetupPlanning.exe>

²⁰ GPS/GLONASS almanach a Trimble Planning file formátumában: <ftp://ftp.trimble.com/pub/eph/almanac.alm>



4-3. ábra A DOP értékek és a műholdak száma a mérések idején

Az USBG permanens állomás egy úgynevezett *Community Base Station*, azaz közösségi permanens állomás, adatai előzetes bejelentkezés és elbírálás után elvileg nyilvánosak. A tanszék támogatásával és eszközeinek felhasználásával végzett mérések során az állomás adatait lekérdezhettem. Meg kell jegyeznünk, hogy noha az állomást a Trimble is az ausztriai referenciaállomások sorában listázza²¹, honlapja elavult, az ott²² feltüntetett adatok nem felelnek meg a valóságnak.

```

2.1 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
GPSBase 2.40 2472 02-Nov-10 16:59:45 PGM / RUN BY / DATE
USBG MARKER NAME
1 MARKER NUMBER
Geography Salzburg University OBSERVER / AGENCY
00020786 TRIMBLE 4400 Nav 2.38 / Boot 3 REC # / TYPE / VERS
0 TRM33429.20+GP RCV CLOCK OFFS APPL
4182363.8328 970225.8981 4701529.8933 ANT # / TYPE
-0.0665 0.0000 0.0000 APPROX POSITION XYZ
1 1 0 ANTENNA: DELTA H/E/N
9 C1 P2 L1 L2 S1 S2 D1 D2 WAVELENGTH FACT L1/2
1.000 # / TYPES OF OBSERV
2010 11 2 16 0 0.0000000 GPS INTERVAL
TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER
10 11 2 16 0 0.0000000 0 9G19G32G24G03G14G06G22G28G11
20566356.305 20566358.592 -2454880.61308 -1897764.15648 57.000
45.000 -2366.118 -1843.728
22612568.141 22612573.800 -5547057.91408 -4325940.24247 56.000
35.000 1340.806 1044.784
20507323.344 20507328.466 -5285930.60508 -4126274.88747 57.000

```

4-4. ábra Az USBG permanens állomás adatai egy RINEX fájl fejlécében

Az USBG állomáshoz NTRIP szerver is csatolva van, RTCM 2 szabványnak megfelelő formátumban közvetíti a korrekciós adatokat. Az üzemeltető által megadott koordináták, az RTCM2 adatfolyam és a RINEX .obs állományban közölt koordináták között eltérést fedeztem fel, az alábbi táblázatban foglalom össze:

4-1. táblázat Az USBG állomás koordinátái

USBG	NTRIP RTCM2	Adott	RINEX OBS
$X_{(ECEF)}$	4182363.790	4182363.8320	4182363.8328
$Y_{(ECEF)}$	970225.890	970225.8980	970225.8981
$Z_{(ECEF)}$	4701529.840	4701529.8930	4701529.8933

Az „Adott” koordináták WGS84 ellipszoidi földrajzi (ϕ , λ , h) koordinátaként érkeztek, a fenti táblázat számára átszámítottam a 47°47'21.50253"N, 13°03'37.72246"E, 487.446m értékeket a térbeli derékszögű koordináta-rendszerben megfelelő értékeire. A

²¹ Trimble Reference Stations: <http://www.trimble.com/findtrs.asp?Nav=File-14384&Detail=Austria>

²² USBG „Community Base Station”: <http://www.sbg.ac.at/geo/gps/gps.htm>

továbbiakban az „Adott” koordinátákat tekintetem irányadónak.

A mérési eredmények későbbi kiértékelésének szemléltetése céljából egy helyi rendszert is felvettem, vetülete Transzverzális Mercator, kezdőpontja az USBG állomás a koordinátarendszer észak-keleti tájékozású, az eltolás mértéke nulla. Magassága WGS84 ellipszoidi.

4.1 A vizsgálati pontok kiválasztása és koordinátáinak meghatározása

Mint fentiekből tudjuk, az egyetem tetőteraszán kiválasztott munkaterületen található egy antennarúd, amelynek koordinátáit korábban meghatározták. A pont állandósítására a teraszon elhelyezett betontalpú antennarúd szolgál, mozdulatlanságáról súlya gondoskodik, helyét fotóval dokumentáltam. Ez a pont a NAWI_02 (a 4-5. ábrán a háttérben).

4-2. táblázat A NAWI_02 pont koordinátáinak ellenőrző mérése

NAWI_02	Referenciaérték	USBG-bázissal	Δ (m)	Eltérés (m)
φ (deg)	47.78943868	47.78943857		
λ (deg)	13.06066524	13.06066533		
h (m)	481.560	481.542		
Helyi rendszerben				
N (m)	14.723	14.711	-0.012	0.014
E (m)	13.995	14.002	0.007	
U (m)	481.560	481.542	-0.018	0.018

A fenti adatokat a Trimble 5800-as vevővel korábban végezett mérésekből nyertem, a referenciaérték relatív módszerrel, az Osztrák Állami Vasúttársaság permanens állomása adatai felhasználásával, a második érték az USBG állomás adatai alapján került meghatározásra. Céлом az volt, hogy képet alkothassak a tesztmérések és az utófeldolgozás során használt eszközök működéséről. A továbbiakban a NAWI_02 pont koordinátáiként a táblázatban „Referenciaérték”-ként megjelölt adatot tekintem. Magassága WGS84 ellipszoidi.

A másik pontot tetszőlegesen választottam ki, a terasz négyzetes burkolólapjainak találkozásánál, a hely a tetőkorlát egyedi jellemzője segítségével később is azonosítható,



4-5. ábra A NAWI_01 és NAWI_02 pontok

felkereshető; a pont helyét fotóval dokumentáltam. Ez a pont a NAWI_01. Ezen a ponton műszerállvánnyal és kényszerközpontosítóra rögzített antennával lehet mérést végezni. A NAWI_01 pont koordinátái ismeretlenek, a tesztmérések során a vizsgálat alá vont u-blox vevővel és a Trimble 5800-assal is meghatároztam. Az alábbi táblázatban megadott koordinátákat tekintem a NAWI_01-es pont koordinátáinak.

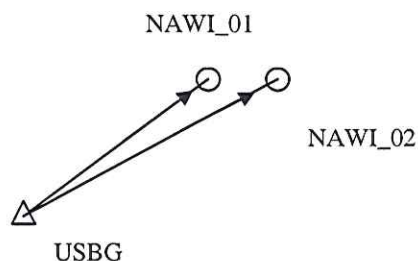
4-3. táblázat A NAWI_01 koordinátái

NAWI_01	Helyi rendszerben
N (m)	13.720
E (m)	11.085
U (m)	481.562

A 4-3. Táblázat koordinátáit a Trimble vevővel, statikus-relatív módszerrel határoztam meg, a számításokat a TGO programmal²³ végeztem. Ehhez a meghatározáshoz az USBG bázisállomás és a Trimble vevő egy órás (pontosabban 66 perc, 15"-es epochával) mérési periódusának adatait használtam fel.

A két pont távolsága szalaggal mérve 3.03m (a koordinátákból számítva pedig 3.078m).

4.2 Tesztmérések a LEA-4T GPS vevővel



4-6. ábra Poláris mérés vektorai

A LEA-4T vevőt magába foglaló eszközt az u-center programot futtató számítógéphez csatlakoztattam – e kettő együtt a megfelelő konfigurációban egy egyfrekvenciás (L1) vevőként kezelhető. A méréseket a fent részletezett két ponton két antennával végeztem, a Leica AT 501 és a vevőmodul csomagjában található u-blox ANN-MS-0-005 antennákkal.

A konfiguráció ellenőrzése végett több statikus próbamérést végeztem az u-blox vevővel, 2010. november 2-án pedig a bemutatott körülmények mellett - az „a” periódus kivételével - 30 perces mérési periódusokban működtettem a vevőt a NAWI_01 és NAWI_02 pontokon.

²³ Projekt-könyvtár neve: nov02_NAWI_01-TRM5800

4-4. táblázat Poláris elrendezés ütemezése

Vevő jele	Mérési periódus jele				
	a	b	c	d	e
USBG	USBG	USBG	USBG	USBG	USBG
TRM-5800	x	x	x	NAWI_01	NAWI_02
u-blox/u-center AT 501	NAWI_01	NAWI_02	x	NAWI_02	NAWI_01
u-blox/u-center ANN-MS	x	x	NAWI_02	x	x

A mérések során keletkező állományokat az u-center alapértelmezett beállításai szerint nevezte el; ebben nem követtem maradéktalanul a nyers adatokat tartalmazó állományok elnevezési szokását. Az „álláspont neve, Julián-nap sorszáma, mérési periódus jele” helyett a „port-szám, dátum, észlelés kezdete (UTC), antenna típusa, álláspont neve” formátumot használtam.

A nyers mérési adatok rögzítése mellett az IGS honlapjáról²⁴ letöltöttem az elérhető legfrissebb pályaadatokat, a későbbi utófeldolgozás során valamint a mérési eredmények további összehasonlítása végett, az előrejelzett *Broadcast* adatok mellett az *Ultra rapid*, a *Rapid* és a *Final* adatokkal is lehet dolgozni.

A mérések során keletkezett állományokat és az utófeldolgozáshoz szükséges, a mérés alatt rögzített egyéb adatokat – utalással a 4-4. Táblázat mérési periódusaira – a következő táblázatban foglalom össze.

²⁴ http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html

4-5. táblázat Mérés napló. A nyers mérési adatok rögzítésének időpontjai és egyéb paramétereir mérési periódusok szerint rendezve

Mérés időtartama (hó)		2010. november 2.		2010. november 2.		2010. november 2.	
Dátum		2010. október 28.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.
GPS Week (WNO)		1607	1608	1608	1608	1608	1608
GPS Day of week		4	2	2	2	2	2
Julian nap (Day of year)		301	308	308	308	308	308
Észlelés kezdete (UTC)		13:12:04	14:38:24	15:10:38	16:12:11	17:13:57	17:13:57
Észlelés vége (UTC)		14:26:29	15:08:28	15:40:46	16:46:17	17:44:13	17:44:13
Időtartama		1 óra 14 perc	0 óra 30 perc	0 óra 30 perc	0 óra 34 perc	0 óra 30 perc	0 óra 30 perc
Pont/állomás azonosító		NAVM_01	NAVM_02	NAVM_02	NAVM_02	NAVM_01	NAVM_01
Méző		álványon, kénszerközp.	belortálpú antennarúdon	belortálpú antennarúdon	belortálpú antennarúdon	álványon, kénszerközp.	álványon, kénszerközp.
Mérőszköz		u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T
Antenna magasság (m)		1.5	1.82	1.82	1.82	1.82	1.86
Antenna típusa		Leica AT501	Leica AT501	Leica AT501	Leica AT501	Leica AT501	Leica AT501
RAW állomány		COM14_101028_131139_w-Leica-ant.ubx	COM13_101102_143807_ubx	COM13_101102_151017_sajat-antenna	COM13_101102_161118_Leica-ant. rover	COM13_101102_171341_1ponton.ubx	COM13_101102_171341_1ponton.ubx
X		4182342.59	4182341.71	4182432.27	4182344.34	4182345.52	4182345.52
Y		970233.58	970235.92	970050.8	970234.76	970231.95	970231.95
Z		4701529.97	4701532.75	4701532.37	4701535.79	4701533.51	4701533.51
a konverter program		RTKCONV 2.4.0	RTKCONV 2.4.0	RTKCONV 2.4.0	RTKCONV 2.4.0	RTKCONV 2.4.0	RTKCONV 2.4.0
obs		COM14_101028_131139_w-Leica-ant.ubx	COM13_101102_143807.nav	COM13_101102_151017_sajat-antenna	COM13_101102_161118_Leica-ant. rover	COM13_101102_171341_1ponton.obs	COM13_101102_171341_1ponton.obs
nav		COM14_101028_131139_w-Leica-ant.na	COM13_101102_143807.obs	COM13_101102_151017_sajat-antenna	COM13_101102_161118_Leica-ant. rover	COM13_101102_171341_1ponton.nav	COM13_101102_171341_1ponton.nav
Mérés időtartama (hó)		2010. november 2.		2010. november 2.		2010. november 2.	
Dátum		2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.	2010. november 2.
GPS Week (WNO)		1608	1608	1608	1608	1608	1608
GPS Day of week		2	2	2	2	2	2
Julian nap (Day of year)		308	308	308	308	308	308
Észlelés kezdete (UTC)		16:05:30	16:05:30	16:05:30	16:05:30	17:13:15	17:13:15
Észlelés vége (UTC)		17:11:45	17:11:45	17:11:45	17:11:45	17:46:45	17:46:45
Időtartama		1 óra 6 perc	1 óra 6 perc	1 óra 6 perc	1 óra 6 perc	0 óra 33 perc	0 óra 33 perc
Pont/állomás azonosító		NAVM_01	NAVM_01	NAVM_01	NAVM_01	NAVM_02	NAVM_02
Méző		álványon, kénszerközp.	álványon, kénszerközp.	álványon, kénszerközp.	álványon, kénszerközp.	belortálpú antennarúdon	belortálpú antennarúdon
Mérőszköz		u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	u-blox LEA-4T	Trimble 5800 c.f.g. as base station	Trimble 5800 c.f.g. as base station
Antenna magasság (m)		1.9	1.9	1.9	1.9	1.86	1.86
Antenna típusa		TRMS800	TRMS800	TRMS800	TRMS800	TRMS800	TRMS800
RAW állomány		36283060.DAT	36283060.DAT	36283060.DAT	36283060.DAT	36283061.DAT	36283061.DAT
X		4182350.489	4182350.489	4182350.489	4182350.489	4182348.902	4182348.902
Y		970233.2122	970233.2122	970233.2122	970233.2122	970236.3734	970236.3734
Z		4701538.097	4701538.097	4701538.097	4701538.097	4701540.419	4701540.419
a konverter program		DAT2RINAV 3.10	DAT2RINAV 3.10	DAT2RINAV 3.10	DAT2RINAV 3.10	DAT2RINAV 3.10	DAT2RINAV 3.10
obs		36283060.10b	36283060.10b	36283060.10b	36283060.10b	36283061.10b	36283061.10b
nav		36283060.10n	36283060.10n	36283060.10n	36283060.10n	36283061.10n	36283061.10n

5 A mérések feldolgozása, értékelése

A vektorfeldolgozást a Trimble Geomatics Office szoftverrel végeztem. A feldolgozás számára létrehoztam egy munkaterületet (*Site*) „NAWI_munkaterület” néven, így a különböző projektek minden további koordinátája ebben a helyi rendszerben értendő (kezdőpontja az USBG állomás, a koordinátarendszer észak-keleti tájékozású, az eltolás mértéke nulla, magassága WGS84 ellipszoidi). Magassági értelemben a NAWI_02 és a NAWI_01 pontok elvileg egy magasságon vannak, noha a referenciaként tekintett magasság-értékeik között van 2 mm eltérés. Az antenna-magasság meghatározásának bizonytalansága miatt, ennek az eltérésnek egyéb lehetséges okaival nem foglalkoztam.

5-1. táblázat Abszolút és relatív meghatározás eredményei
a NAWI_01 ponton a vizsgált vevővel

NAWI_01	N	E	U
Kódmérés, abszolút (N)	14.092	12.283	474.767
Kódméréses relatív (C)	13.784	11.068	481.069
Fázisméréses relatív (L1)	13.719	11.091	481.650
Referencia (Ref)	13.720	11.085	481.562

5-2. táblázat Vízzintes és magassági ponthibák

	Vízzintes eltérés (m)	Magassági (m)
N - C	1.253	6.302
C - L1	0.069	0.581
L1 - Ref	0.006	0.088
C - Ref	0.066	0.493
N - Ref	1.254	6.795

Az „a” jelű mérési periódus adatainak feldolgozásához létrehozott projektben²⁵ betöltöttem az u-blox/u-center vevő mérési adatait, és mivel ez egy egy óránál hosszabb periódus alatt rögzített adatsor, az USGB permanens *Hourly RINEX* állományaiból kettőt „manuálisan” összefűztem. A vektorfeldolgozásához két feldolgozási módot definiáltam, az 5-1. táblázatban foglalom össze az eredményeket, amelyeket ezen feldolgozási módok szerint számolt a TGO, mellette feltüntettem a abszolút kódmérés alapú átlagolt (4466 epocha) értéket (jele N), a csak kódmérés alapján relatív meghatározással kapott értéket (jele C) és a fázismérések adatait is felhasználó relatív meghatározás eredményét (jele L1). Az 5-2. táblázat a referenciaérték és a különböző megoldások közötti eltéréseket foglalja össze, koordináták helyi rendszerben. A számításokat elvégeztem precíz pályaadatokkal is, ám a relatív meghatározásnál nem tapasztaltam kimutatható koordinátakülönbséget, ami részben a relatív számítási menetnek, részben pedig az igen rövid vektoroknak tulajdonítható.

Az eredmények azt mutatják, hogy az u-blox/u-center vevő geodéziai antennával kiegészítve beilleszthető a műholdas helymeghatározás geodéziai igényű mérési folyamatába, a fent bemutatott példa alapján pedig azt is kijelenthetjük, hogy „szerencsés” körülmények között, a „GPS-korszak” kezdetére jellemző hagyományos statikus módszerrel mérve, az itt elért

²⁵ Projekt-könyvtár neve: okt28_NAWI_01_u-blox_AT501

pontosság éppen alulmúlja a centiméteres pontossági kategória²⁶ legfeljebb 50mm-es térbeli ponthibáját. A fentiekre támaszkodva azonban folytathatjuk a vizsgálatot, hogy kiderítsük megfelel-e más körülmények között is a deciméteres (maximális térbeli ponthiba 0.20 m) pontossági kategóriának.

A „b” és „c” (vö. 4-4. Táblázat) mérési periódusokban rögzített adatok feldolgozása menetének ismertetésétől most eltekintünk, eredményeit azonban összefoglalom.

**5-1. táblázat A teljes „b” periódus és felosztása után
kapott eredmények és a feldolgozó figyelmeztető üzenetei**

Mérés ideje	N	E	U	Megjegyzés
30'	14.710	13.964	481.658	low ratio
20'	14.715	13.964	481.669	L1 Fixed
10'	14.708	13.964	481.645	low ratio

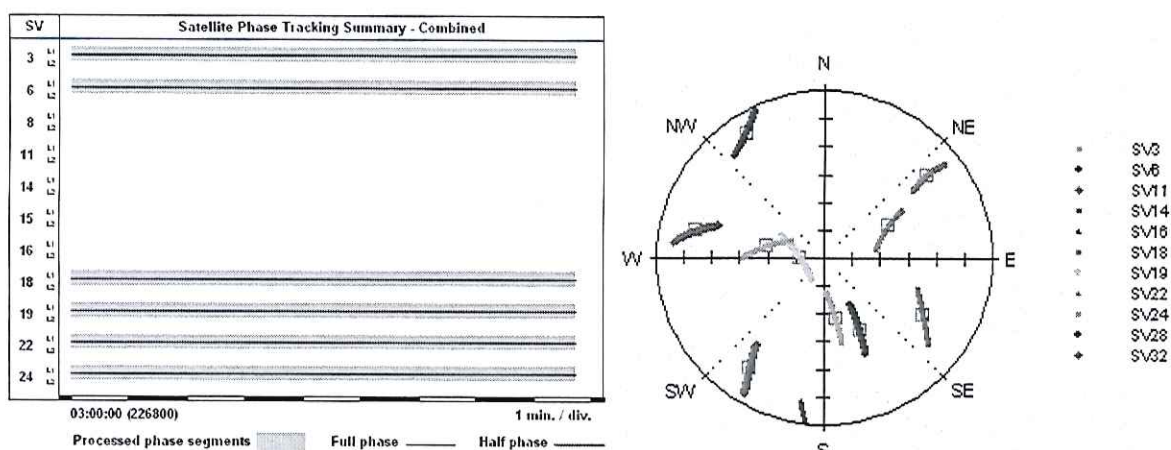
Az 5-1. táblázat számára a „b” mérési periódusban (NAWI_02 ponton) rögzített adatokból három időtartamú adatsort állítottam elő, egyik a teljes 30 perces periódus, másik a mérés első 20 perce, a harmadik pedig utolsó 10 perce. Fontos észrevennünk, hogy a 30 perces (és a 10 perces) mérésből származó adatsor feldolgozása során a TGO WAVE (*Weighted Ambiguity Vector Estimator*) utófeldolgozó-modulja az alapértelmezett beállításokhoz igazodva figyelmeztető üzenetet (*low ratio*) fűz a megoldáshoz.

Acceptance criteria		Single frequency		Dual frequency	
		Flag	Fail	Flag	Fail
☒ If RMS >		0.03	0.04	0.02	0.03
☒ If ratio <		3	1.5	3	1.5
☒ If reference variance >		10	20	5	10

**5-1. ábra A TGO alapértelmezett értékei a feldolgozás
minőségi paramétereire**

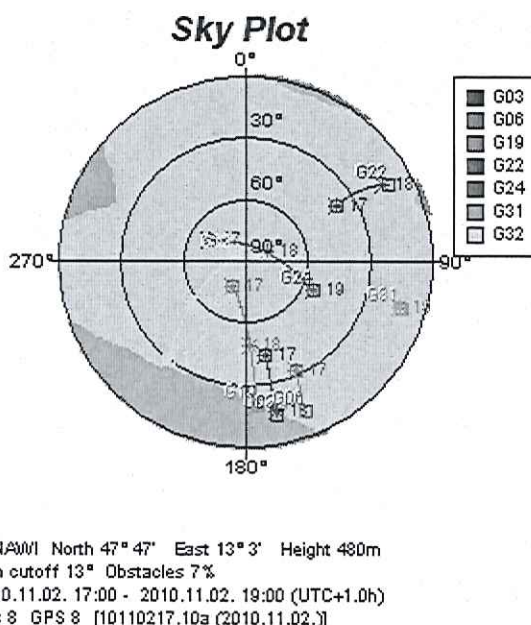
A 30 perces adatsor esetén az arány 1.7 (>3 helyett); a 10 perces adatsor esetén pedig 2.6. A „low ratio” figyelmeztetés arra utal, hogy a ciklustöbbsértelműség feloldása során a kettős-különbség értékek első legkisebb középhibájú fix megoldása és a következő legkisebb középhibájú fix megoldása középhibáinak aránya alapján nem biztos, hogy a legvalószínűbb megoldás a jó megoldás.

²⁶ Az ACSM *ad hoc* Committee on Geodetic Accuracy Standards nyomán, in Ádám et al., Műholdas helymeghatározás, Műegyetemi Kiadó, 2004, pp.133. 5.1 Táblázat



5-2. ábra A 3,6,18,19,22 és 24-es műholdakra végzett egyidejű fázismérések (balra) és a Sky Plot. A műholdgeometria nem kedvező.

Mivel a vektor hossza igen rövid (<22 m) a fázis-többsértelműség helyes feloldásában nem feltétlenül segít az atmoszféra hatásának jobb modellje vagy a precíz pályaadatok. Egyéb zavaró tényező lehet a többutas terjedés, a mérés ideje (rövidsége – a 10 perc kevés lehet), a látható műholdak száma (ajánlások szerint legalább 5) és geometriája. Esetünkben azonban a látható műholdak száma 6 (vö.5-2. ábra), a többutas terjedés a Leica AT501-es antenna védelmét és a tetőtéri munkaterület sajátosságait tekintve nem valószínű oka a figyelmeztető üzenetnek, ezért elsőként elkészítettem a takarási ábrát erre a mérésre a Trimble Planning programmal is.



5-3. ábra A „b” mérési periódusban „látható” műholdak takarási ábrája

Az 5-3. ábrából kitűnik a kedvezőtlen műholdgeometria viszont célszerű megvizsgálni, hogy a 11, 14-es számú holdak miért hiányoznak a feldolgozásból, a pályaadatok és a takarási ábra szerint mindkettőnek az égbolt látható részén volt.

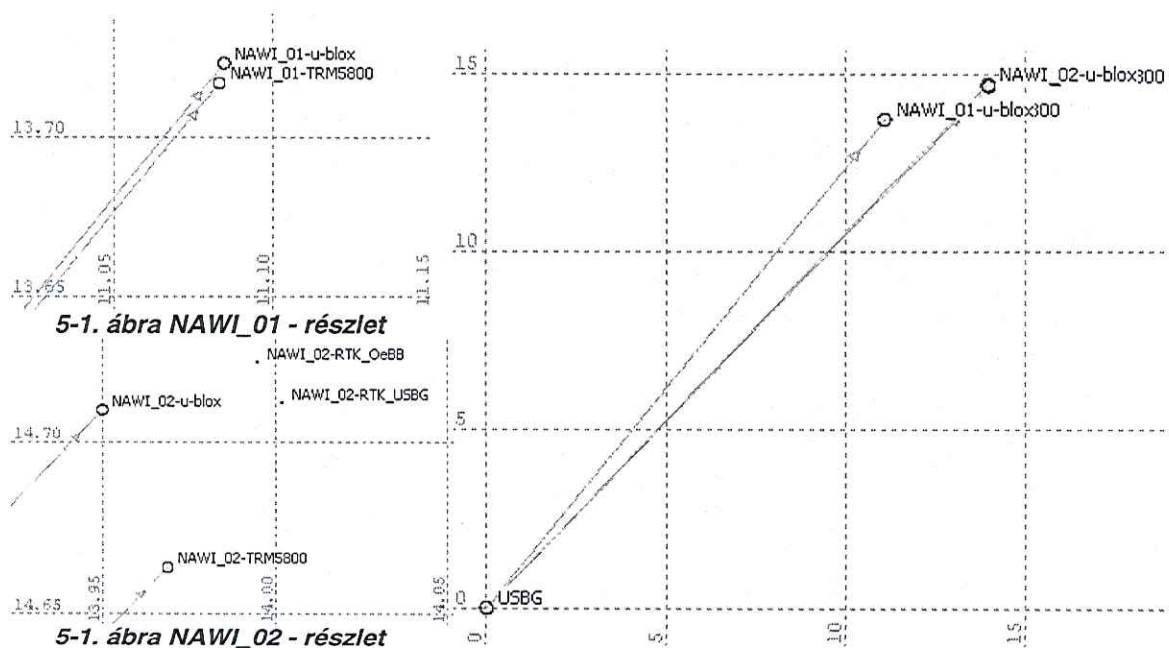
A feldolgozó szoftver log-fájlban rögzíti az eseményeket, ebben azt találtam, hogy hiányzó pályaadatokat sorol fel, ami arra utal, hogy a vizsgált vevő navigációs adatokat tartalmazó állománya hibás vagy hiányos, okának felderítése egy további feladatot tűz ki. Vizsgálni kell a vevő konfigurációját, belső adatátviteli korlátait és a bináris .ubx állományból RINEX formátumot előállító szoftvert is.

Mindezek mellett, összehasonlítva a NAWI_02 ponton végzett 20 perces mérés eredményét (ez az eredmény hibaüzenet vagy figyelmeztetés nélküli) a pont koordinátáinak referenciaértékével, 0.032 m vízszintes és 0.109 m magassági eltérést tapasztaltam.

A „c” mérési periódus alatt rögzített és RINEX formátumba konvertált állományokat a TGO importáláskor elutasította, így a vevő saját, nem geodéziai antennájával rögzített mérési eredményeinek feldolgozásához előbb törölnöm kellett az állomány elejéről a hiányos rekordokat – a fázisértékeket ugyanis csak kb. 1 perccel a mérés megkezdése után kezdte rögzíteni a vevő. A feldolgozás ezt követően zökkenőmentes volt. A NAWI_02 ponttól való eltérés a saját antennával (ANN-MS) mérve vízszintesen 0.024 m, magasságban 0.015 m.

A „d” és „e” mérési periódusok körülményeit részletesen tárgyalja a 4. rész bevezetője és 4.1-es alrésze, a munkaterület, a vizsgálati pontok, a takarási ábra és a vételi körülmények (látható műholdak száma, DOP értékek) ismertek. Az egyenként 30 perces statikus mérések eredményeit fogom összehasonlítani, tehát mindkét ponton mindkét vevő eredményét egymással. Az utófeldolgozást egy projektben²⁷ végeztem el, a számításokat (*GPS Processing Style*) a TGO alapértelmezett beállításai szerint - *Broadcast Ephemeris* adatokkal, statikus fázismérés relatív feldolgozása - végezte a szoftver.

Mivel egyazon projekt-állományban szerepel mindkét pont amelyeken a méréseket végeztem, az ábra olvashatósága miatt a pontok elnevezését kiegészítettem a vevőre utaló toldalékkal. Az alábbi ábrákon az USBG adott pontból számított vektorokat mutatom be.



²⁷ Projekt-könyvtár neve: nov02_NAWI-0102_duo

**5-3. táblázat A mért pontok koordinátái és a vizsgált vevő eltérései
a referenciavevő értékeitől illetve a koordináták referenciaértékeitől**

Koordináták	Helyi rendszerben (m)			Az u-blox vevő vízszintes eltérése (m)	Magassági eltérése (m)
Pont azon./vevő	N	E	U		
USBG	0.000	0.000	487.446	na.	na.
NAWI_01-TRM5800	13.717	11.083	481.560	0.006	0.041
NAWI_01-u-blox	13.723	11.084	481.601	0	0
NAWI_01-Ref	13.720	11.085	481.562	0.003	0.039
NAWI_02-TRM5800	14.664	13.969	481.547	0.049	0.032
NAWI_02-u-blox	14.709	13.950	481.579	0	0
NAWI_02-Ref	14.723	13.995	481.560	0.047	0.019

A négy vektor számítását egyenként végeztem. Az eredményeket geocentrikus koordináta-rendszerben is lekérdeztem.

**5-4. táblázat A vizsgált- és a referencia-vevő „d” és „e” mérési periódusokban
meghatározott eredményei geocentrikus koordináta-rendszerben**

Koordináták	WGS84 földrajzi			ECEF		
	Lat	Lon	height	X	Y	Z
USBG	47.789306258°N	13.060478460°E	487.446	4182363.832	970225.898	4701529.893
NAWI_01-TRM5800	47.789429631°N	13.060626377°E	481.560	4182347.578	970233.506	4701534.750
NAWI_01-u-blox	47.789429681°N	13.060626394°E	481.601	4182347.600	970233.512	4701534.784
NAWI_01-Ref	47.789429652°N	13.060626396°E	481.562	4182347.577	970233.507	4701534.753
NAWI_02-TRM5800	47.789438141°N	13.060664886°E	481.547	4182346.234	970236.156	4701535.376
NAWI_02-u-blox	47.789438553°N	13.060664635°E	481.579	4182346.226	970236.135	4701535.431
NAWI_02-Ref	47.789438676°N	13.060665235°E	481.560	4182346.194	970236.174	4701535.426

6 Tapasztalatok, javaslatok

Számos más mérési körülmény között és más vektorokkal is kipróbálható a vizsgált vevő, hogy biztosabbak lehessünk teljesítményében. Mindezek mellett műszaki vonatkozásban a vizsgált vevő felveszi a versenyt az egyfrekvenciás vevőkkel, a korlátokat az utófeldolgozási technika szabja meg, tehát nem a vevő, hanem egyfrekvenciás volta jelöli ki használhatóságát. A műszaki tartalom mellett azonban fontos szempont a használhatóság és a hordozhatóság is – ilyen tekintetben természetesen nem versenyképes, hiszen nem is végtermék. Előnye viszont, hogy teljes rálátást kínál a helymeghatározás folyamatára, így az érdeklődők bármikor GNSS „anatómialeckét” vehetnek működtetésével.

Statikus módszerrel, a fél órás mérésekkel meghatározott rövid vektorok esetén a vízszintes ponthiba néhány cm, nem haladta meg az 5 cm-t. Az előttem hasonló vizsgálatokat végzőktől eltérően, a geodéziai antenna illesztése révén ugyanazon a ponton más – más időpontokban, napokon is végeztem méréseket. Egy szabványos geodéziai antennához csatlakozott, a centiméteres és deciméteres pontossági kategória közé (vagyis deciméteres kategóriába) sorolható vevővel számos feladat megoldása elképzelhető.

Összegzésképpen megfogalmazható, hogy amennyiben közműként tekintünk a műholdas helymeghatározás szolgáltatásaira, úgy az elérhető pontosság és a felhasználói kényelem kívánt szintjének eléréséhez nekünk kell a célnak alárendelt eszközöket felállítani. Mint a bevezetőben is kétféleképpen közelítettem a vevőkhöz, egyrészt az elérhető pontosság szerint, másrészt a helymeghatározásra épülő szolgáltatások szerint, jól érzékelhető, hogy egy adott készülék e két kritérium metszésénél keresi piaci helyét. Szakdolgozatom számára több vevőt vizsgáltam és több, hasonló vevővel végzett mérések beszámolóit tekintettem át keresvén azt az áramkört, amellyel kíméletes költségvetés mellett lehet egy az adott költségszinten elfogadottnál jobb pontossági osztályba sorolható méréseket végezni. A kiválasztott vevőáramkörrel végzett méréseim igazolták, hogy lehetséges olcsóbb eszközökkel is deciméteres vagy akár centiméteres pontosságot elérni. A szakdolgozatom címében említett leendő GPS vevőmodul legfőbb áramköre tehát jól vizsgázott. A pontosság szempontjai ismertek, a GPS vevő fejlesztésének következő lépése a második kritériumkör meghatározása: a helymeghatározásra épülő szolgáltatások leírása.

7 Irodalom

- Ádám-Bányai-Borza-Busics-Kenyeres-Krauter-Takács (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó.
- Husti Gy. (2000): Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés). Nyugat – Magyarországi Egyetem.
- Tomas Beran; Richard B. Langley; Sunil B. Bisnath; and Luis Serrano (2005): High-Accuracy Point Positioning with Low-Cost GPS Receivers: How Good Can It Get? ION GNSS 2005.
- Weston-Schwieger (2010): Cost Effective GNSS Positioning Techniques. FIG publication no. 49.
- u-blox (2009): u-center, GPS evaluation software User's Guide
- T. Takasu (2010): RTKLIB ver 2.4.0 Manual

8 Jegyzetek

ⁱ GNSS Market Report – Issue 1, 2010. október, GSA:

http://www.gsa.europa.eu/go/download_the_gsa_gnss_market-report

ⁱⁱ S. COLWELL (2007): Surveying the market: in which the real money in GPS is unearthed. GPS World..

http://findarticles.com/p/articles/mi_m0BPW/is_7_18/ai_n27327225/

ⁱⁱⁱ TAKÁCS-GÁSPÁR: Mire képesek az olcsó GPS vevők?

http://www.agt.bme.hu/public_h/gps2/gps2.html

^{iv} V. SCHWIEGER (2003): Using Handheld GPS Receivers for Precise Positioning:

http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS12/TS12_1_schwieger.pdf

^v V. SCHWIEGER (2009): Accurate High-Sensitivity GPS for Short Baselines

http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/ts06c/ts06c_schwieger_3349.pdf

^{vi} T.TAKASU és A.YASUDA: Development of the low-cost RTK-GPS receiver

http://www.rtklib.com/paper2005/isgps_2009_rtklib_revA.pdf