

Dr. Timár Gábor

**VALÓSIDEJŰ GPS-NAVIGÁCIÓ
MEGVALÓSÍTÁSA TÖRTÉNETI TOPOGRÁFIAI
ÉS KATASZTERI TÉRKÉPEKEN**

Diplomaterv

**Geodéziai és Térinformatikai Szakmérnöki Szak
GPS Navigációs Ágazat**

Témavezető: Dr. Varga József

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Általános és Felsőgeodéziai Tanszék**

Budapest

2007

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
1. Bevezetés	3
2. A felhasznált műszaki eszközök és szoftverek	5
3. Szkennelt térképek, georeferálásuk módszerei és hibái.....	8
3.1. A második katonai felmérés szelvényeinek georeferálása	11
3.2. A harmadik katonai felmérés szelvényeinek georeferálása	14
3.3. A budapesti közigazgatási (kataszteri átnézeti) térképek georeferálása	16
4. Eredmények: virtuális séták a múltbeli Budapesten és Erdélyben	20
5. Az A-GPS-eljárás a zsebszámítógépen.....	31
6. Pontosság-vizsgálat az ELTE ponthálózatán	33
7. Fedélzeti pályaelemek előregedésének hatása	36
8. Összefoglalás	38
<i>Köszönetnyilvánítás</i>	38
Felhasznált irodalom.....	39
I. MELLÉKLET: A szoftverkönyezetet, a megvalósítás lépéseit, és a georeferálás leírását tartalmazó műszaki leírás.....	43
II. MELLÉKLET: A GPS-műszerek pontosságát ellenőrző mérések adatai.....	44
III. MELLÉKLET: Az NMEA-kódok jelentése, az NMEA-file-ok átalakítása trackloggá	46
Summary: Real-time GPS navigation on historical topographic and cadastral maps	53

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben, különösen a GPS-rendszer pontosságát szándékosan lerontó SA (Selected Availability) technológia lekapcsolása óta az abszolút navigációra tervezett kézi (hobby) GPS-ek használata nagyon elterjedt, e technika igen népszerűvé vált. A hobbi-célú GPS-vevők pontossága – amely a látható műholdak számától függően akár 10 méter alatti is lehet – lehetővé tette a gyors helymeghatározást a nem-geodéziai pontosságigényű terepi felmérésekben, pl. a geológiai, geofizikai, botanikai, katonai alkalmazásokban. A fenti pontosság megfelelt az 1:25 000, sőt ma már az 1:10 000 méretarányú topográfiai térképeken történő navigáció térképi leolvasási pontosságának.

Az álláspont térképi azonosítása kezdetben a GPS-műszerről leolvasott koordináták és a térkép koordináta-rendszere alapján történt. A GPS által, annak saját, WGS84 rendszerében szolgáltatott koordinátákat a felhasználónak kellett átszámítani a térkép vetületi rendszerébe. Később, ahogy a GPS-vevőkbe egyre több nemzeti vetület és geodéziai dátum adatait építették be, ezekkel, vagy a felhasználó által definiált paraméterekkel a kívánt térképi koordináták megjeleníthetővé váltak a GPS kijelzőjén (Takács, 2001a; 2001b). Ez valósággal kikényszerítette a használatos térképi vetületek és dátumaik paramétereinek egyszerű, nem geodéziai pontosság-igényű meghatározását a GPS-gyakorlat számára (Ádám, 2004). A hazai gyakorlatban használt EO V (Mihály, 1996; Ádám, 2000; Timár et al., 2002; Molnár és Timár, 2002) és katonai Gauss-Krüger (Timár et al., 2003a) paraméterezése is évek óta elérhető.

Körülbelül ezen információk publikálásával egyidőben a GPS-gyártók olyan készülékeket dobtak piacra, amelyek már képesek voltak a térképi jellegű információk megjelenítésére is. A legtöbb ilyen modell vektoros volt, pontokat, vonalobjektumokat és poligonokat tartalmazó térképi állományt tudott megjeleníteni. Néhány gyártó támogatta a felhasználói térképtervezés lehetőségét is. Ebben az esetben a helyi vetületben digitalizált vektoros adatállomány pontjait, töréspontjait kellett átszámítani a WGS84 rendszerbe, majd az így áttanszformált térképet a GPS-vevőbe tölteni. Ez azonban mindenképp súlyos generalizációt jelentett, hiszen a térkép információtartalmának csak kis részét lehetett így módon használni.

Ezen a helyzeten a szkennelt térképek használatát támogató GPS-ek megjelenése változtatott. Miközben az ezt lehetővé tevő célműszerek indokolatlanul drágák maradtak, a gyorsan terjedő PDA (Personal Digital Assistant) tenyér-számítógépek megteremtették mindazokat a technikai feltételeket, amelyek a valószerű térképi navigációhoz,

álláspontunknak a szkennelt térképre vetítéséhez szükségesek. A PDA-kon olyan operációs rendszer fut, amelyen keresztül az eszköz könnyen programozható. Emellett – elsősorban a vektorbázisú gépjármű-navigációs szoftverek elterjedése miatt –, ma már sok PDA beépített GPS-t is tartalmaz, vagy Bluetooth kapcsolaton keresztül külső GPS-hez csatlakoztatható. A szkennelt térképek alapján történő navigáció így a hobbi-célú GPS-műszerek jellemző árszintjén, néhány tízezer forintos eszközökkel megvalósítható.

Ha műszerünkbe be tudunk tölteni egy szkennelt mai térképet, miért ne tehetnénk meg ezt egy régi, történeti állapotot mutató térképpel is? Ha a régi térkép koordináta-rendszerét a GPS saját rendszerébe tudjuk transzformálni, akkor ennek semmi akadálya nincs. Az elmúlt évben, pl. az Arcanum Adatbázis Kiadó jóvoltából megjelent néhány, régi, topográfiai térképszelvényt tartalmazó georeferált DVD-adatbázis (Timár et al., 2006; Biszak et al., 2007), és a kínálat egyre bővül. Semmilyen műszaki akadálya nincs tehát annak, hogy GPS-ünket „időgépként” használjuk, és virtuálisan bejárjuk a korabeli tájat, várost, vidéket (Timár és Fehér, 2005).

A jelen diplomaterv célja ez utóbbi módszer részletes leírása. Ennek keretében először bemutatom az alkalmazott műszaki eszközöket, a választott szoftvert, annak működését. Mivel e szoftver olyan, rendkívül egyszerű georeferálási módszert használ, amely két azonosítópont WGS84-koordinátáinak ismeretét igényli, a 3. fejezetben, amely egyben dolgozatom egyik fő tartalmi része, bemutatom a felhasznált térképeket, illetve azokat az eljárásokat, amelyekkel azokon a szükséges azonosítópontok koordinátái megadhatók, és azok WGS84-rendszerbe átszámíthatók. Megadom ugyanakkor ezen eljárások becsült hibáit is. Az ezután következő fejezetben Budapest különböző területein és Erdélyben választott helyszíneken demonstrálom a történeti térképeken történő valósidejű GPS-navigációt.

Dolgozatom második részében a PDA környezetben végzett GPS-navigáció néhány speciális aspektusát mutatom be, és elemzem az így végrehajtott abszolút GPS-mérések pontosságát. Áttekintést adok az A-GPS (Assisted GPS) eljárásokról, majd annak HP iPAQ 6915hw környezetben történő megvalósításáról. Az ELTE saját ponthálózatának felhasználásával végzett mérésorozat segítségével bemutatom a használt GPS-vevők jellemző pontosságát, illetve az A-GPS eljárás pontosságcsökkentő hatását. Az A-GPS eljárásban modellezett időtávon bemutatom a GPS-holdakra vonatkozó fedélzeti pályaelemkészlet öregedésének hatását a műholdak helyzetének becslésére. Végül – hazai irodalom hiányában – mellékletben foglalom össze a GPS és a PDA közötti adatkommunikációt megvalósító NMEA 0183-kódkészletet, illetve a kódsorozatból tracklog előállítását MS Excel környezetben.

2. A felhasznált műszaki eszközök és szoftverek

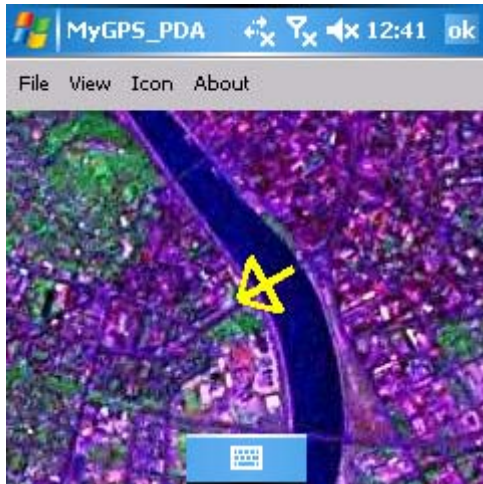
A tanulmány elkészítése során saját tulajdonú HP iPAQ 6915hw Communicator típusú zsebszámítógépet (PDA) használtam. Ez a PDA beépített, Global Locate GL20000 típusú, A-GPS technológia alkalmazására is képes, de vételteljesítményét tekintve viszonylag gyenge GPS-vevővel rendelkezik, mellyel a COM7 soros porton keresztül kommunikál, NMEA kódkészlettel (lásd a III. Mellékletet). A beépített vevőn kívül szintén saját tulajdonú MSI StarFinder SF200 típusú, Bluetooth-kapcsolaton keresztül kommunikáló GPS-eszközt használtam (1. ábra). Utóbbi SiRF-III chipsettel rendelkezik, így jelvételi képessége igen jó. Az SF200 mind NMEA-, mind SiRF-kódokkal képes kommunikálni a vezérlőszoftverrel.



1. ábra. HP iPAQ 6915hw PDA (jobbra) és MSI SF200 Bluetooth GPS (balra) az ELTE 3. sz. alappontján. A PDA képernyőjén a VisualGPSce ingyenes szoftver futási képernyője látszik.

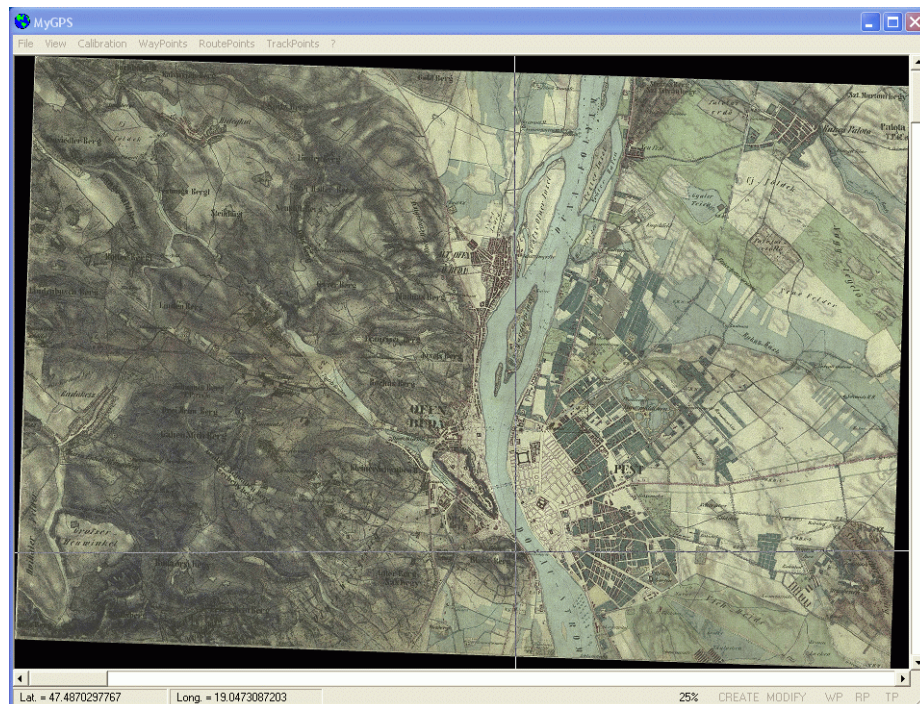
A valósidejű történeti navigáció PDA-környezetben történő megvalósításához a MyGPS_PDA szabadon használható szoftvert (Ragani, 2004) használtam fel. E szoftver – hasonlóan más, szkennelt állományokat PDA-GPS-sel használó programokhoz – valójában két részből áll. Az egyik modul személyi számítógépen (PC), a másik pedig a PDA-n fut. Az

első modullal lehet a szkennelt térképet előkészíteni és georeferálni (a raszterpontokhoz egy ismert koordináta-rendszerben adott koordinátákat rendelni), majd az így előállt, a szoftver saját formátumában levő állományt fel kell tölteni a PDA-ra. A második modul ezt a térképi állományt használja háttérképként, és erre helyezi rá a pozíciókat jelző szátkeresztet, illetve mozgás esetén egy kis nyilat (2. ábra).



2. ábra. A MyGPS_PDA futási képernyője, Budapest Landsat TM űrfelvételével, a Petőfi-hidon haladó villamosban felvéve.

A szoftver PC-modulja a szabványos képformátumokban (pl. JPG-formátumban) levő szkennelt állományt beolvassa. Ezután következik a georeferálás, vagyis az az eljárás, amelynek során a szkennelt állomány képi koordináta-rendszeréről áttérünk a WGS84 rendszerre; valamely matematikai módszerrel a szkennelt állomány minden pontján kiszámíthatóvá tesszük a GPS által is használt koordinátákat. A MyGPS nagyon egyszerű módszert használ erre: két ismert tereppontra kell rákattintani a képen, majd megadni ezen pontok WGS84-koordinátáit. Ebből a többi pixel koordinátáit a szoftver kiszámítja (3. ábra).



3. ábra. A MyGPS PC-n futó modulja, a 2. katonai felmérés budapesti szelvényének georeferált változatával.

Az illusztrációként használt képek egy része fényképezőgéppel, a PDA képernyőjének lefényképezésével, de nagyobbik része az *Ilium Software Screen Capture* program felhasználásával készült. A helyszíni felvételeken mindenütt látható a képen a PDA is. Ennek az az oka, hogy a MyGPS_PDA (de más hasonló szoftverek is) képesek soros portra kiírt felvett vagy méréstől teljesen függetlenül szimulált NMEA-adatsor alapján is dolgozni, pl. a RecSim3 szoftver (Kingshley-Hughes, 2005: 212. o.) alkalmazásával. A fotókon a képernyő általában rosszul, de látható, így ezzel a valós, helyszíni mérést dokumentálom, és nem szimulált futtatások eredményeit mutatom be. A pontosságvizsgálati mérésekhez a VisualGPSce szoftvert használtam – de amint az a III. mellékletből kiderül, adott műszerről minden ilyen szoftver ugyanazon a soros vonalon ugyanazt az NMEA-0183 kódot olvassa ki, így annak, hogy a számokat milyen szoftverrel olvassuk le, nincs gyakorlati jelentősége.

3. Szkennelt térképek, georeferálásuk módszerei és hibái

Az általam felhasznált szkennelt térképek az Arcanum Adatbázis Kft. által a közelmúltban befejezett (lásd Timár et al., 2006; Biszak et al., 2007), illetve futó projektjei kapcsán készültek el, a térképek eredeti forrása a HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum (HM-HIM) Térképtára illetve Budapest Főváros Levéltára (BFL) voltak. A következő térképműveken demonstrálom a valósídejű GPS-navigációt (1. táblázat):

Térképmű megnevezése	Méretarány	Felmérés ideje	Adatforrás
II. katonai felmérés (Magyarország, mintaszelvénny: Budapest; Section 50, Colonne XXXII)	1:28800	1857	HM-HIM
II. katonai felmérés (Erdély, mintaszelvénny: Kolozsvár; Section 10; Westliche Colonne III; Csíkszereda)	1:28800	1872	HM-HIM
Budapest közigazgatási (kataszteri átnézeti) térképe	1:5000	1878	BFL
III. katonai felmérés (Magyarország, mintaszelvények: Budapest)	1:25000	1880 körül	HM-HIM
Budapest közigazgatási (kataszteri átnézeti) térképe	1:5000	1895	BFL

1. táblázat. A valósídejű GPS-navigáció demonstrálására használt történeti térképművek.

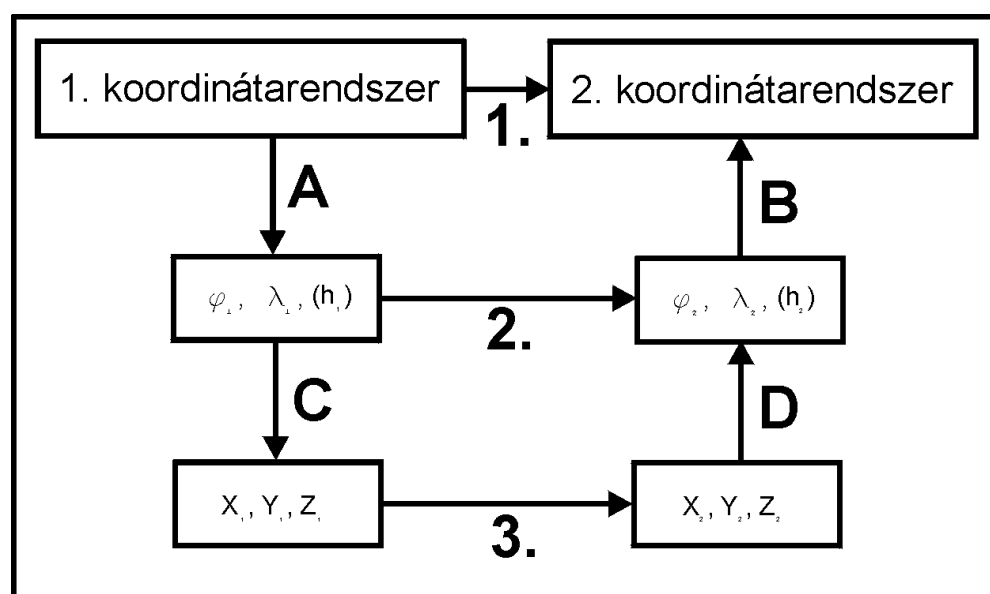
Az Arcanum által használt interaktív térképi megjelenítőrendszer (GeoView/AAView) lehetővé teszi, hogy az asztali számítógép képernyőjén a felhasználó (a mindig kijelzett WGS84-koordináták mellett) a maga által kiválasztott vetületi rendszerben kapja meg az egérrel kiválasztott pont koordinátáit, és képes arra is, hogy a képernyőn kiválasztott kivágatot (amely akár sok eredeti térképszelvényt is tartalmazhat) a felhasználó által kiválasztott formátumban, vetületben és felbontásban exportálja más alkalmazások számára. Az ehhez szükséges vetületi és alapfelületi adatbázist a szerző készítette.

A valósídejű GPS-navigáció megvalósítása érdekében a kiválasztott térképszelvényeket valamilyen (a budapesti szelvények esetén budapesti sztereografikus, a kolozsvári és csíkszeredai szelvények esetén marosvásárhelyi sztereografikus) vetületbe

exportáltam, végeredményben pedig JPG-formátumú képként állt elő a szkennelt szelvény. A MyGPS a georeferáláshoz egy roppant egyszerű eljárást követ: a georeferálandó képen meg kell jelölni 2 pontot, majd meg kell adni ezek WGS84-koordinátáját. A georeferálás és a navigáció elvégzéséhez szükséges lépéseket az I. Mellékletben ismertetem.

Ez az eljárás valójában egy jelentős egyszerűsítés, ami bizonyos esetekben nagyon komoly hibaforrást jelent. A fenti módon csak akkor lehetne hibamentesen georeferálni, ha a szkennelt állomány maga is (a vetületi szempontból nehezen értelmezhető) WGS84-rendszerben, vagyis földrajzi koordináta-rendszerben lenne. Ez azonban nem igaz (a térképeket épp azért készítik vetületi koordináta-rendszerekben, hogy a *terephez* képest vett torzulás minimális legyen). Ha az ilyen, nagyon leegyszerűsített georeferálás hibáját akarjuk megbecsülni, akkor a szkennelt állomány legtávolabbi sarkait (a fent említett, nem vetülethelyes) WGS84-rendszerbeli síkon összekötő egyenes pontjait kell a térkép vetületi síkjában ábrázolni. Ez egy görbe vonal lesz, amelynek húrmagassága adja a georeferálás módszeréből származó hibát. Természetesen ez a hiba annál kisebb, minél kisebb az ábrázolt terület. Egy 20 km kiterjedésű térképszelvény, vagy egy ennél jóval kisebb közigazgatási vagy kataszteri térképlap esetén a hiba nem fogja túllépni a térképi leolvasás, vagy a korabeli georeferencia pontosságát. A második katonai felmérés 1:28 800 méretarányú budapesti szelvényén például ez a húrmagasság kb. 16 méter. Ennél sokkal nagyobb területen azonban a módszer nem alkalmazható.

A pontok WGS84-koordinátáit (egy, később részletezett eset kivételével) az Arcanum interaktív megjelenítőszoftveréről olvastam le. Az alábbiakban ismertetem azt az algoritmust és adatbázist, amellyel a megjelenítőszoftver számítja a WGS84-koordinátákat.



4. ábra. Vetületi koordináta-rendszerek közötti átszámítások lépései (Molnár és Timár, 2004).

A 4. ábrán bemutatott 1. transzformáció közvetlenül a vetületi rendszerek között teremt kapcsolatot, ennek gyakorlati megvalósítása legtöbbször hatványpolinom-sorokkal történik (Varga, 1981). A második eset, tehát a különböző alapfelületeken, idegen szóval dátumokon értelmezett ellipszoidi és magassági koordináták közvetlen átszámítása a fenti módszeren túl a szabványos ill. az áthidaló Molodensky-formulákkal is lehetséges (Molodensky *et al.*, 1960; Badekas, 1969; magyar összefoglalást lásd Timár *et al.*, 2002). Végül a harmadik átváltást, amely a geocentrikus koordináták között teremt kapcsolatot, a gyakorlatban leginkább a háromdimenziós Helmert-transzformáció kis elforgatási szögek esetén érvényes egyszerűsítése, az ún. Bursa-Wolf-transzformáció (Burša, 1962; Wolf, 1963) segítségével tesszük meg.

Az 1. ábrán látható további átalakítások a következők: a választott vetület direkt és inverz egyenletei, ezek általában kézikönyvekben (pl. Snyder, 1987; Varga, 2000) megtalálhatók. Az ellipszoidi koordináták geocentrikussá történő átváltását elemi matematikai eszközökkel egyszerűen elvégezhetjük. Ennek inverzét egyszerű közelítő formulákkal Bowring (1976), némileg összetettebb egzakt megoldását Borkowski (1989) adta meg elsőként, a problémára más eljárásokat ismertetnek Lin és Wang (1995), illetve Fukushima (2006) is.

A konkrét esetben a 4. ábrabeli „1. koordinátarendszer”-ből a második rendszerhez tartozó ellipszoidi szélességi és hosszúsági koordinátákat kell kiszámítani. Ehhez az 1. számú vetület inverz egyenleteit és az áthidaló Molodensky-formulákban használatos egyenleteket, és mindezek egyedi paraméterkészletét kell felhasználni. A vetületek esetén ez a vetületek alapvető jellemzőinek (vetületi kezdőpont koordinátái az alap- és a képfelületen, skálátényező) megadását jelenti. Az áthidaló Molodensky-formulák az alapfelületi ellipszoidok egymáshoz képest értelmezett relatív helyzetét a középpontokat összekötő vektor három eltolási komponensével jellemzik, és nem veszik figyelembe az esetleges eltérő tájékozást ill. a méretarány kis eltérését, így *háromparaméteres dátumtranszformáció* néven is ismertek. Megjegyezzük, hogy az itt – és a jelen munkában is – elhanyagolt tényezőket is tekintetbe veszi a Burša-Wolf eljárás, amely a három eltolási tag mellett három elforgatási és egy méretarány-paramétert is tartalmazva kapja a *hétparaméteres dátumtranszformáció* elnevezést. Mindkét transzformáció paramétereit (és a hatványpolinom-sorokkal történő átváltásait is) a gyakorlatban azonos pontok, legtöbbször a kiinduló- és a célrendszerben is ismert koordinátájú felsőrendű alappontok felhasználásával határozhatjuk meg. A térben legjobb hétparaméteres transzformáció paramétereinek meghatározását Ádám (1982) megadta, annak gyakorlati alkalmazására példát mutatnak Papp *et al.* (1997; 2002). Szintén

megjegyzendő, hogy a háromparaméteres dátumtranszformáció képezi a alapját a legtöbb kézi GPS-műszeren elérhető felhasználói dátumdefiníciónak (*User Datum*) is.

A következőkben az egyes térképművek esetén e paraméterek meghatározását mutatom be.

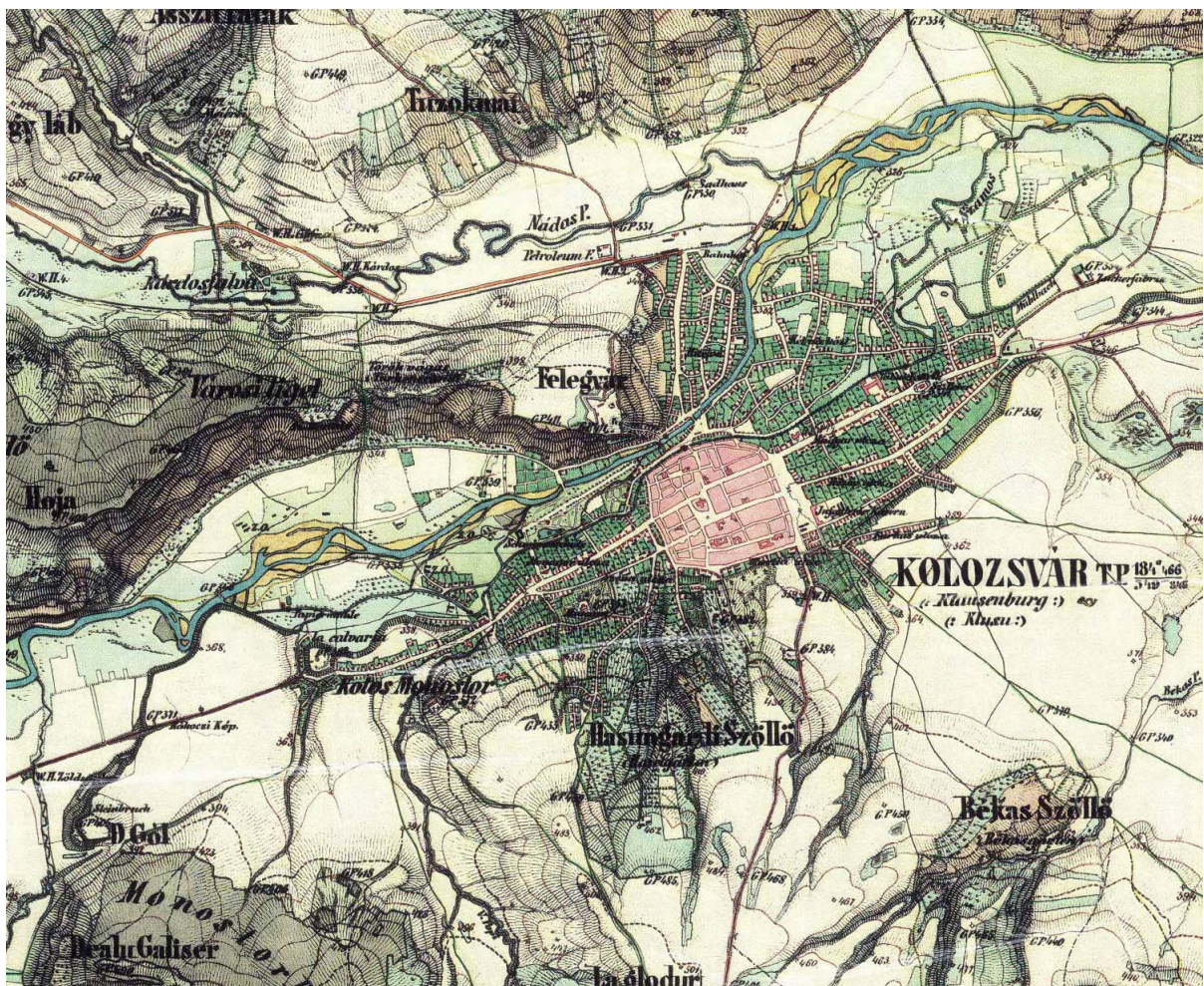
3.1. A második katonai felmérés szelvényeinek georeferálása

A Magyarország területén 1822-1859 között, Erdélyben kicsit később elkészült felmérés alapfelülete a Zach–Oriani-féle hibrid ellipszoid volt ($a=6.376.130$ méter; $f=1/310$). Az ellipszoid elhelyezését (dátumát) Ádám et al. (2004), ill. Ádám (2004) az ellipszoid nevéből következően OZ1845-nek nevezi. Mugnier (1999) a geodéziai kezdőpontra, a bécsi Stephansdomra, és a háromszögelési munka kezdetének időpontjára utalva az alapfelületet *Vienna-1806* néven említi. A Monarchia tartományai általában eltérő geodéziai alappal bírtak, Magyarországra a Zach–Oriani-ellipszoid bécsi elhelyezése érvényes (Timár et al., 2006). Erdély esetén a vetület elhelyezése a korabeli, Nagyszeben melletti vízaknai obszervatórium koordinátaival történt (Timár et al., 2004). A rendszerek elhelyezése önkényes volt, a geodéziai kezdőponton meghatározott csillagászati koordinátákból a többi alappont koordinátáinak meghatározása háromszögeléssel történt, kiegyenlítést nem végeztek (Homoródi, 1953).

Az alappontok korabeli koordinátáit Marek (1875) munkája megadja. Ugyanezen pontok WGS84-koordinátái a mai osztrák, illetve román ponthálózati adatokból, a helyi és WGS84-dátumok közötti transzformációk paramétereit ismerve kiszámíthatók. Az EGM96 geoidmodell (NIMA-NASA, 1997) által az alappontokon megadott geoidunduláció-értékek felhasználásával Magyarország és Erdély esetén a Molodensky-transzformáció paramétereit a 2. táblázatban adom meg.

Kezdőpont	Érvényességi terület	Szélesség	Hosszúság	dX (m)	dY (m)	dZ (m)
Wien-Stephansdom	Alsó- és Felső-Ausztria, Magyarország, Dalmácia, Morvaország, Vorarlberg	48,20910	16,37655	+1752	+243	+580
Vízakna	Erdély	45,84031	24,11297	+1722	+376	+595

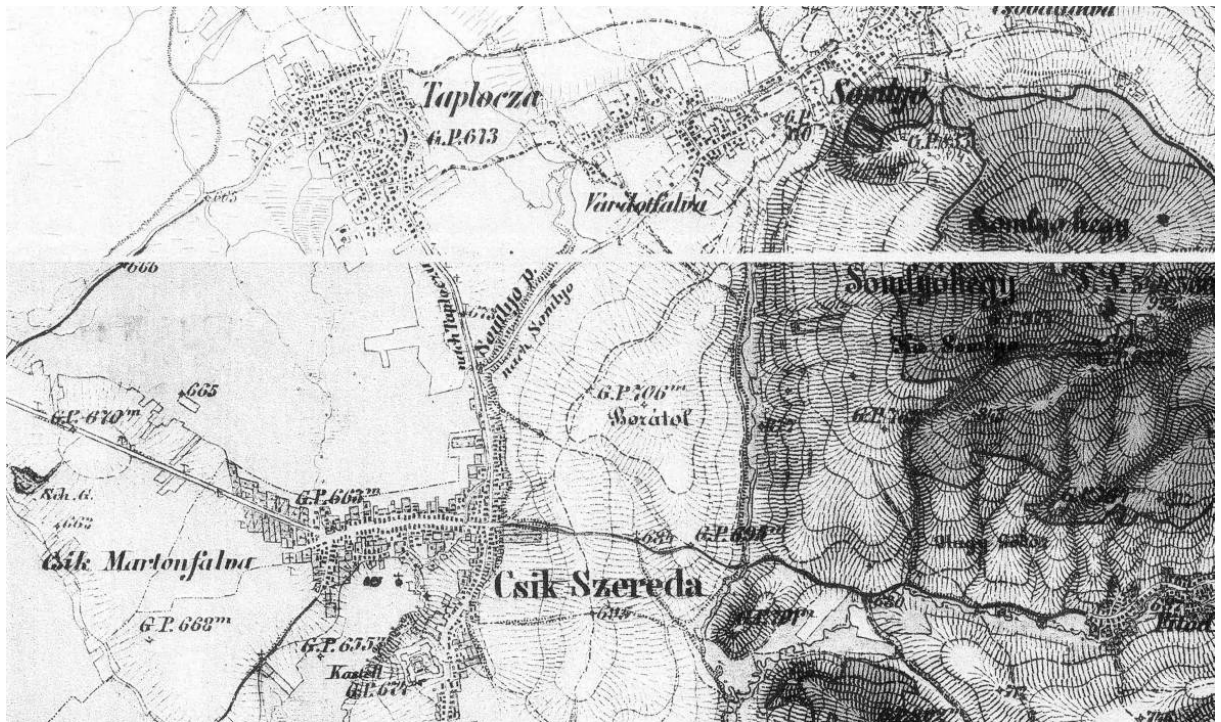
2. táblázat. A második katonai felmérés magyarországi és erdélyi szelvényein alkalmazott geodéziai kezdőpontok adatai, illetve a Zach–Oriani-ellipszoid és a WGS84-ellipszoid közötti Molodensky-paraméterek (Timár et al., 2006).



5. ábra. Kolozsvár a II. katonai felmérés szelvényén (Timár et al., 2006).

A térképszelvények eredeti vetületét leginkább a Cassini-féle vetülettel (Snyder, 1987; Varga, 2000) lehet közelíteni, bár azzal nem pontosan egyezik meg (Varga, 2002). A Cassini-vetület négy paramétere közül kettő a kezdőpont (2. táblázat) alapfelületi koordinátái. A kezdőpont képfelületi koordinátáit célszerűen zérusként definiálhatjuk. Az 1:28800 felmérési szelvényeken sem földrajzi, sem vetületi koordinátarendszer nincs feltüntetve. A térképszelvények szélei mindazonáltal a közelítő Cassini-vetület koordinátavonalainak is értelmezhetők, így a szelvények georeferenciáját a szelvényezési információk és a szelvények kiterjedése hordozza (Veverka és Čechurová, 2003; Timár et al., 2006). Mind Magyarország, mind pedig Erdély esetén a szelvények közelítő terepi mérete 18206×12137 méter (9600×6400 bécsi öl). Magyarország esetén a bécsi Staphansdom (a 2. táblázatban megadott koordinátákkal) a 44. sor 21. oszlop (Section 44 Colonne XXI) szerinti szelvény középpontja, míg Erdély esetén a vízaknai obszervatórium helye a 19. sor keleti és nyugati 1. oszlopai közötti határvonal északi végpontján levő szelvényesarak. Ily módon minden szelvény

sarokpontjai a Cassini-vetületben és annak dátumán adottak, azok átszámítása más vetületi rendszerbe a 4. ábra szerinti algoritmussal megtörténhet.



6. ábra. Csíkszereda és környéke a II. katonai felmérés szelvényén.

Ezt a georeferálási módszert több hibaforrás terheli. Ezek közül a legnagyobb az, hogy az eredeti felmérési szelvények vetülete nem pontosan a Cassini-vetület volt. Ennél kisebb hibát okoz az eredeti geodéziai hálózat pontatlansága, illetve a térképlapok anyagának száradása, és a korábbi hajtogatások miatt a bal oldali és alsó sarkok bizonytalansága is. Mindezek együttesen kb. 50-100 méteres hibát okoznak a Monarchia felmérési szelvényeinek nagy részén (Timár et al., 2006), azonban Budapest környékén ez a hiba lényegesen alacsonyabb. A Gellérthegy koordinátái például, a fent említett módon Bécsből levezetve és EOVRendszerre átszámítva a tényleges koordinátákat kb. 20 méter pontossággal adják vissza.

3.2. A harmadik katonai felmérés szelvényeinek georeferálása

Az 1860-as évekre szinte teljesen befejeződött a Habsburg Birodalom mintegy fél évszázadig tartó második katonai felmérése. A felmérés időszakában a geodézia rohamos fejlődésen esett át. Karl Friedrich Gauss ebben az időszakban alkotta meg a Föld potenciálméleti alakjának leírását, illetve a legkisebb négyzetek módszerével történő kiegyenlítés módszerét. A fejlődés, illetve az a tény, hogy a második katonai felmérés térképei sok esetben több évtizeddel korábbi állapotokat mutattak, sürgetővé tették a birodalom újabb felmérését. Ezt nevezzük harmadik katonai felmérésnek. Ennek keretében készültek el a jelen munkában is felhasznált 1:25 000 méretarányú felmérési szelvények

A harmadik katonai felmérés első, 1880-as évekbeli kiadású, 1:25 000 méretarányú térképlapjai vetületi szempontból jelentős egyszerűsítéssel készültek. Minden egyes 1:75 000 méretarányú általános térképszelvény határát elvileg a földrajzi fókuszát szélességi és hosszúsági körei adják, a gyakorlatban azonban ezeket egyenes vonalakkal ábrázolták, a szelvények trapéz alakúak. Az egyes szelvények kiterjedése természetesen eltérő, csak az azonos szélességen levő szelvényeké azonos. A fentiekből következően a szelvényekből mechanikus módon, egymás mellé helyezéssel nem lehet mozaikot készíteni. A későbbi, 1910-es években történt kiadáson a szelvényeket határoló szélességi körök ívelték. Az 1:25000 méretarányú szelvények az általános szelvények területének negyedelésével készültek.

A DVD-n levő mozaik létrehozásához az eredeti szelvények szkennelt képét oly módon kell torzítani, hogy azok egységes térképi vetületbe kerüljenek (Biszak et al., 2007). Ennek a szabatos módja az lett volna, ha térinformatikai környezetben valamennyi 1:75 000-es szelvényhez definiálunk egy közelítő vetületet, és minden szelvényt ebben a saját vetületben georeferálunk, az így létrejött állományokat pedig áttanszformáljuk a közös vetületbe. Tekintettel a szelvények nagy számára, ezt a megoldást el kell vetni. Ehelyett minden szelvény-oszlophoz definiálhatunk egy helyettesítő vetületet, amely a trapézalakhoz igen közeli torzulási formát biztosít. A választott típus a szinuszoszoidális vetület; a kezdőpont minden oszlop esetén az oszlop középmeridiánjának és az Egyenlítőnek a metszéspontja. Minden szelvényt a megfelelő oszlophoz választott vetületben kell georeferálni. Szelvényenként négy illesztőpontot (*ground control point*; GCP), a sarokpontokat célszerű definiálni. Ezzel a szelvények eredeti trapéz-alakját mintegy 20 méter pontossággal követni lehet.

A térképszelvények alapellipszoidjaként Bessel 1841-es ellipszoidját választották. A térinformatikai és GPS-gyakorlatban azonban az ellipszoid megadása kevés, definiálnunk kell annak elhelyezési paramétereit is. Ehhez azonos pontokat kell találnunk a térkép alapjaként használt háromszögelési hálózat, és modern, az abszolút elhelyezésű (Earth centered, Earth fixed) WGS84 rendszerrel ismert kapcsolatban álló hálózatok között.

A harmadik katonai felmérés esetén ez nem egyszerű. Az nyilvánvaló, hogy nem a második felmérés alapfelületét alkalmazták. A Monarchiában csak 1892-ben, a sorozat megjelentetését követően definiálták az egységes geodéziai dátumot, geodéziai kezdőpontjaként a Bécs melletti Hermannskogel ponttal (Ádám, 2004; ill. Ádám et al., 2004 ezt a rendszert B1892-nek jelöli). Ez a dátum is több formában létezik, hiszen az első feldolgozás során a bekapcsolt mintegy 650 pontot 62 külön blokkban egyenlítették ki. A pontosabb, jobb számításokon alapuló újabb kiegyenlítést megszakította az első világháború. Ezt követően a szétesett Monarchia utódállamai közül a saját területére eső pontok kiegyenlítése alapján ezt használta Ausztria és (eltérő Ferro-Greenwich hosszúságkülönbség alkalmazásával, és a háború alatt a Monarchia katonai térképészete által elvégzett Balkán-háromszögelés adatait is bevonva) Jugoszlávia, valamint más néven (Jednotné Trigonometrické Síti Katastrání; S-JTSK) Csehszlovákia is.

Az 1880-as években azonban ez a rendszer még nem, csak az abban később felhasznált alappontok koordinátái álltak rendelkezésre. Az 1860-as évek elejétől kezdve már nemzetközi összefogásban zajlottak hálózati mérések a Közép-Európai Fokmérés (Mittel-Europäische Gradmessung), illetve 1864-től már az Európai Fokmérés keretében. A Monarchia területén (a legnyugatabbi tartományok kivételével) mintegy 600 pont helyzetét határozták meg, számos alapvonalat és csillagászati pontot is mértek. Azt kell feltételezzük, hogy a harmadik katonai felmérés szelvényeit ezen nyers és kiegyenlítetlen adatok alapján készítették el, ami a térképmű pontosságát, a modern térképekkel való összekapcsolhatóság mértékét alapvetően befolyásolja. 650 pontnak az 1892-es kiegyenlítésből származó, és a térképről leolvasható koordinátáit egybevetve úgy tűnik, hogy a hálózat sok kisebb, egy-egy csillagászatiilag meghatározott pont körül fejlesztett háromszöghálóra oszlik. Egy-egy ilyen részhálózaton belül a hibák viszonylag kicsik, azonban a hálózatok között akár 200 méteres vízszintes hiba is fellelhető. Ez határozza meg a térképsorozat vetületi pontosságát.



7. ábra. A III. katonai felmérés budapesti szelvényeinek egy részlete (Biszak et al., 2007).

Összességében megállapíthatjuk, hogy míg a második katonai felmérés geodéziai alapja tartományonként egy-egy következetesen kiépített önkényes elhelyezésű hálózat volt, addig a harmadik felmérés alapjaként szolgáló hálózat kiegyenlítésére történtek lépések, azonban ezek következtelensége a második felmérésnél alapjánál gyengébb geodéziai bázist eredményezett. Az emiatt óhatatlanul fellépő szisztematikus hibákat úgy lehet kezelni, hogy az exportált digitális térképi állományt térinformatikai rendszerbe integráljuk, és egyetlen illesztőpont segítségével, elforgatás nélkül a tényleges helyzetbe toljuk. Ezzel a módszerrel a helyi maradék hibák a térképi kb. 0,5 milliméter (a terepen gyakorlatilag 15 méter) alá csökkenthetők. A budapesti szelvények esetében is ezt az eljárást kellett követni.

3.3. A budapesti közigazgatási (kataszteri átnézeti) térképek georeferálása

A budapesti közigazgatási térképművek vetületéről irodalmi információk nem álltak a szerző rendelkezésére. A budai vetületnélküli rendszerben kb. 1853-60-ig történt kataszteri felmérés. 1860-tól budapesti sztereografikus vetületet alkalmaztak a kataszteri felmérésben a szorosan vett ország területén (Varga J., személyes közlés). Emiatt azzal a feltételezéssel kellett élni, hogy a térképműveken a budapesti sztereografikus rendszert használták. Korábbi

munkánkban (Timár et al., 2003b) már bemutattuk az e vetületben készült térképszelvények georeferálásának módját. A kataszteri és áttekintő szelvények esetében a pontosságigény az egyéb topográfiai térképekhez képest természetesen jóval nagyobb, ugyanakkor a kis szelvényméret a szelvényen belüli esetleges torzítást csökkenti. Amennyiben ezt a vetületet használjuk, akkor a vetületi kezdőpontnak, a Gellért-hegynek (a volt csillagda keleti pillérének) a koordinátái az alapfelületen a következők (Homoródi, 1953):

$$\Lambda_0 = 19^\circ 2' 56,9441''; \Phi_0 = 47^\circ 29' 9,6380''$$

Ugyanezen alappont mai koordinátáinak felhasználásával az alapfelületnek, a Bessel-1841 ellipszoidnak a Föld tömegközéppontjához, vagyis a WGS84 dátum geometriai középpontjához viszonyított elhelyezési paraméterei a következők:

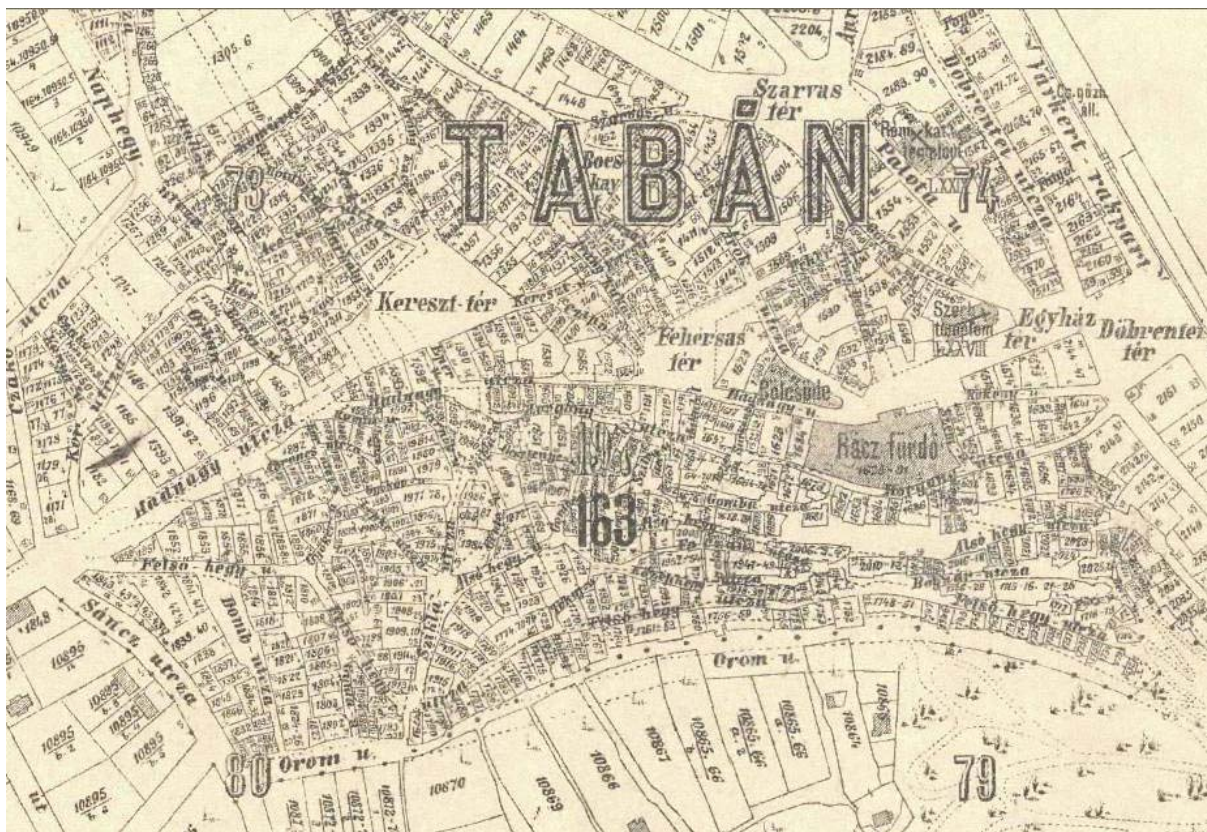
$$dX_{HD1863} = +498 \text{ m}; dY_{HD1863} = +36 \text{ m}; dZ_{HD1863} = +571 \text{ m}.$$

Az ennél pontosabb, a helyi és a WGS84 dátumok közti kismértékű tájékozási eltérést is figyelembe vevő paramétereket korábbi munkánkban (Timár et al., 2003b) már ismertettük.



8. ábra. A mai Blaha Lujza tér környéke Budapest 1878-as méterrendszerű (!) közigazgatási térképén. Figyeljük meg a leendő Nagykörút terveit és a régi Népszínház (később Nemzeti Színház) épületét.

Természetesen felvetődik a kérdés, hogy – különösen az újabb térképművek esetén lehet-e a budapesti önálló vetület a szelvények koordinátarendszere? A budapesti önálló rendszer méretarányát meghatározó alapvonal-mérésre csak az 1930-as évek elején került sor (Oltay, 1951) vagyis a rendszer bevezetése csak a vizsgált időszakot követően történt meg.



9. ábra. A régi Tabán eredeti kiépítésében Budapest 1895-ös közigazgatási térképén.

A vizsgált térképművek nagyobb részén találunk számszerű és/vagy jelzett koordinátamegírásokat. Ahol nincs ilyen, ott a szelvények ismert kiterjedése, és a Gellért-hegynék a szelvényezéséhez képest értelmezett helyzete (melyik szelvény melyik sarkában található) adja meg a georeferenciát. A szelvényhatárok minden esetben a fenti koordinátarendszer valamely (ölből vagy méterben értelmezett) kerek észak-déli vagy kelet-nyugati koordináta-vonalán húzódnak, így a szelvények sarkait jól lehet illesztőpontként alkalmazni a georeferálás során. Mivel mai kataszteri lapok nem álltak rendelkezésemre, az ellenőrzéshez a szelvények egymáshoz illesztését, illetve a mai 1:10 000 méretarányú topográfiai térképpel való fedését használtam. A hibák mindenütt alatta maradtak az ilyen ellenőrzéssel kimutatható kb. 5 méteres eltérésnek (Timár, 2007).



10. ábra. Ferencváros egy része Budapest 1895-ös közigazgatási térképén. A Horthy Miklós- (ma: Petőfi-) híd csak 1937-ben készül majd el, és látható a II. világháborúban elpusztult Elevátor a Boráros téri Duna-parton.

4. Eredmények: virtuális séták a múltbeli Budapesten és Erdélyben

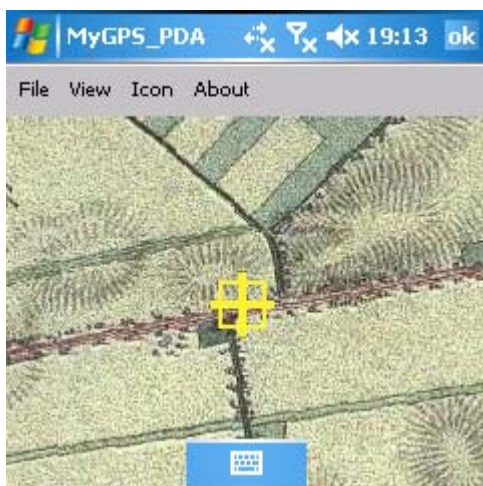
Amikor GPS-ünkkel nem a jelenlegi terepet, hanem annak egy lényegesen korábbi állapotát bemutató történeti térképen navigálunk, lényegében két feladattípust tűzhetünk magunk elé, amelyek a geodézia két alapfeladatának analógiái:

- „Mi volt itt, ahol most állok?” – ez a geodézia *felmérési* alapfeladatának megfelelője, de esetünkben az eredmény nem egy megadott koordinátakendszerben érvényes koordinátapár, hanem azon keresztül egy, a terep korábbi állapotára vonatkozó információ;
- „Hol van a régi térképen megjelölt, (de esetleg már nem létező) objektum helye a mai terepen? – ez a geodézia *kitűzési* alapfeladatának megfelelője, de esetünkben a kiindulási adat nem közvetlenül egy koordinátákkal jellemzett pont, hanem a rajzolt térkép egy pontja, vagy egy térképi objektum egy jellemző pontja.

Ebben a fejezetben virtuális múltbeli barangolásokat mutatok be. Budapest számos pontját mutatom be a régi térképeken navigálva; az Örs vezér tértől a Belvárosig, a régi Nemzeti Színház és az 1880-as években épülő József körút vidékét, a ferencvárosi Duna-partot és a városrész régi negyedeit, az ELTE és a BME campusát, Kelenföldet, és végül a régi Tabánt. Az utolsó képeken Erdélybe is ellátogatunk: Csiksomlyóra, Csíkszeredára és Kolozsvárra. Az erdélyi helyszíneken még fényképezőgéppel rögzítettem a PDA képernyőjét, ezért a képminőség itt gyengébb.



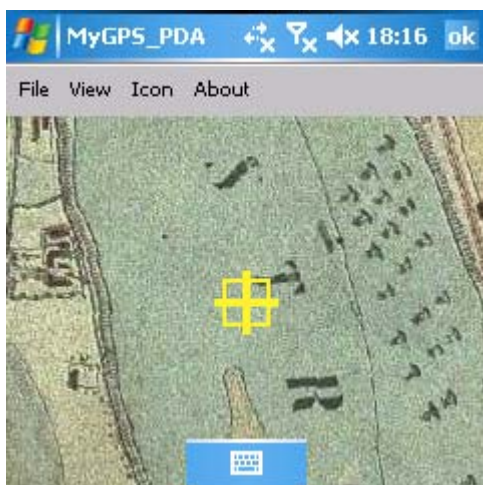
11. ábra. Az első próbát a Ferencvárosban, a Mester utca és a Vágóhid utca sarkán végeztem, a II. felmérés szelvényével (Timár, 2007).



12. ábra. Az Örs vezér tere a II. katonai felmérésen és ma. A Fehér út elődje már mai pozíciójában volt, de a Nagy Lajos király útja még a mai IKEA és Sugár területén áthaladva érte el a Kerepesi utat.



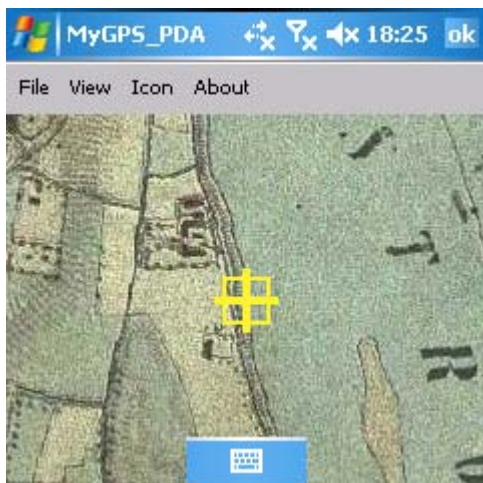
13. ábra. 1857-ben még a színház és a Körút sincs sehol, nemhogy a mai Blaha Lujza tér.



14. ábra. Még a Duna hullámszik az ELTE Északi Tömbje helyén.



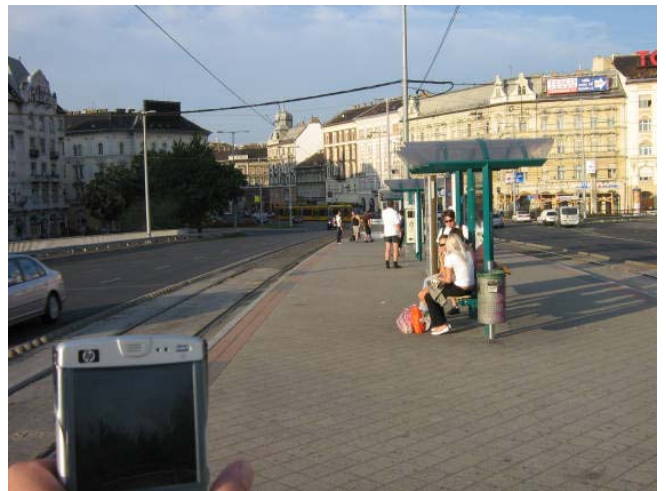
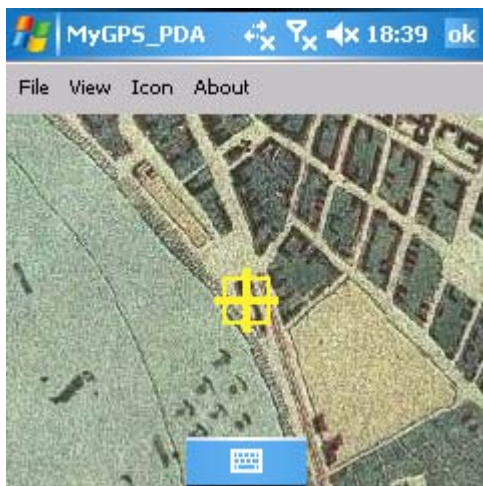
15. ábra. Kitűzési feladat: keressük meg a kis sziget helyét! Addig mozgunk a terepen, míg a szátkereszt a kívánt helyre nem kerül, és épp a sziget csúcsánál állunk. A terepen ma már semmi nem mutatja a régi tájat, a sziget (vonallal jelölve) a BME I épületétől keletre húzódott.



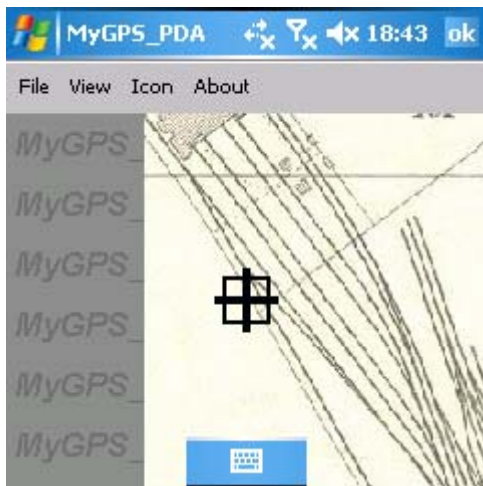
16. ábra. Keressük meg a hajdani Duna-part vonalát! Itt a Bogdánfy út vonalában találjuk, majd Karinthy szobra mellett eltűnik a két háború közt épített tömbben.



17. ábra. Északabbra, a Lágymányosi utcában találjuk meg ismét. Háttérben a BME tömbje.



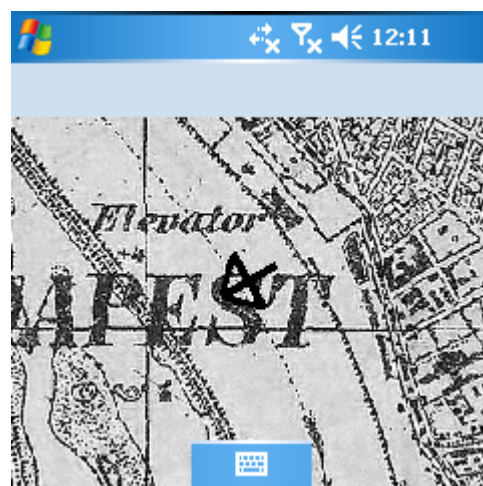
18. ábra. Immár a másik parton: a Boráros téri megálló helyén még semmi nincs 1857-ben...



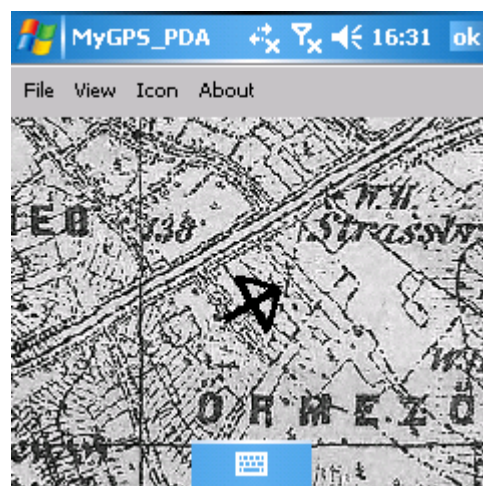
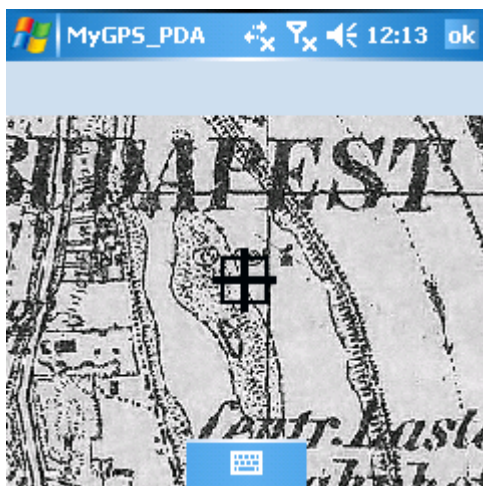
19. ábra. 1895-ben már más a helyzet: itt volt a dunaparti teherpályaudvar, északon az Elevátor. Az 1:5000 méretarányú térképen a pozícióhiba itt 2–3 méter; már a Dunában vagyunk.



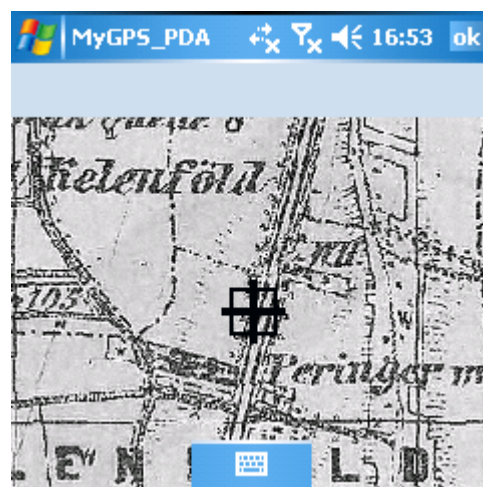
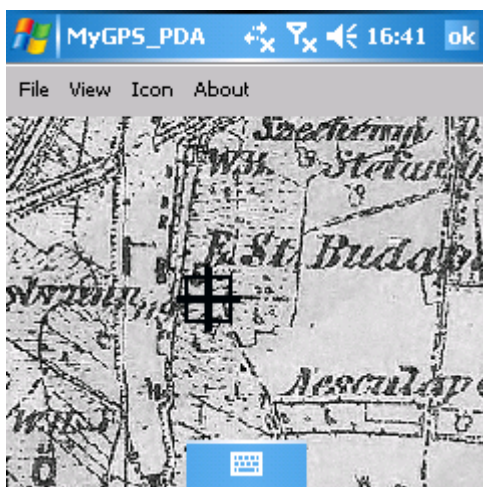
20. ábra. Hol is állt az Elevátor? A 2-es villamos Petőfi hídi megállójában kell keresni.



21. ábra. A fenti megálló (18. ábra) a III. felmérés 1880 körüli térképén (balra), és navigálás a Petőfi-híd leendő helyén (jobbra).



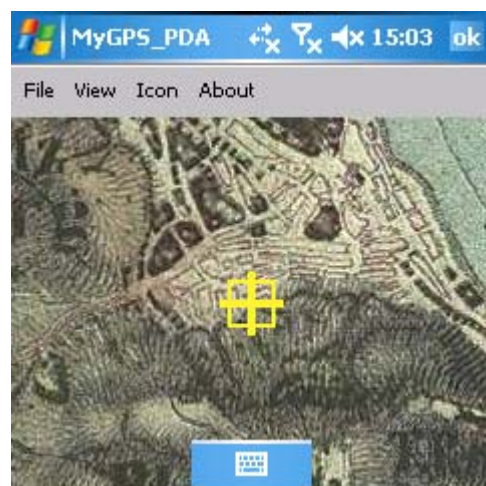
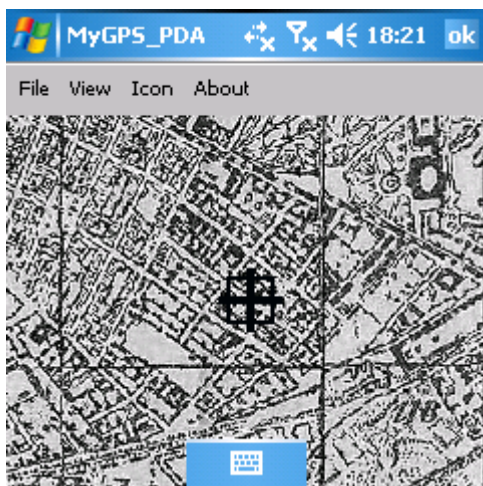
22. ábra. A fenti kis sziget is megnőtt 20 év alatt (a 14. ábra helyszínén, balra). A balatoni autópálya helyén természetesen semmi nem utal az út majdani vonalvezetésére (jobbra).



23. ábra. A Kelenföldi pályaudvar már áll, de a buszvégállomás helyén még szántók (balra). A Peringer-malom a mai Fehérvári út-Etele-út kereszteződésétől délre volt (jobbra).



24. ábra. A mai Kerekerdő park; Ferencváros: Vendel-Lenhossék (akkor: Szvetenay)-Tűzoltó-Márton utcák között, helyén még sűrű beépítés. A SiRF-III vevő itt méterre pontos.



25. ábra. Az előző helyszín kisebb méretarányú térképén. Az előző pozícióhoz képest látható kis délkeleti csúszás a térkép illesztési hibája (balra). A Tabán 1857-ben (jobbra).



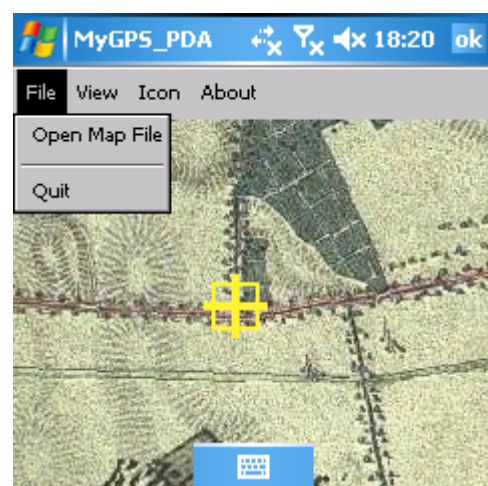
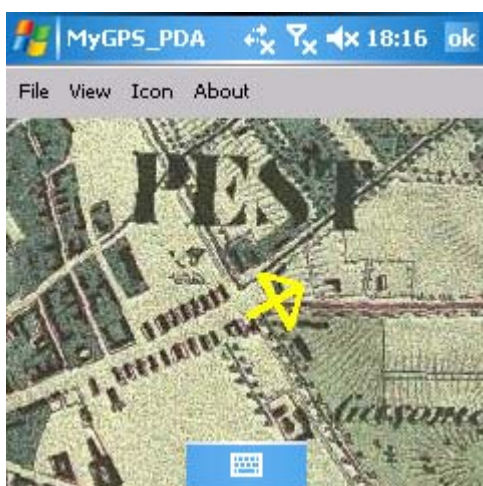
26. ábra. A Körút belevágott a józsefvárosi utcák 1878-as hálózatába; a Rákóczi tér szélesebb lett.



27. ábra. 1878-ban északról már előkészítették a Körút nyomvonalát a Bérkocsis utcáig. Ma pedig már több mint 100 éve használjuk.



28. A GPS és az emlékmű egybehangzóan állítják; itt állt a színház!



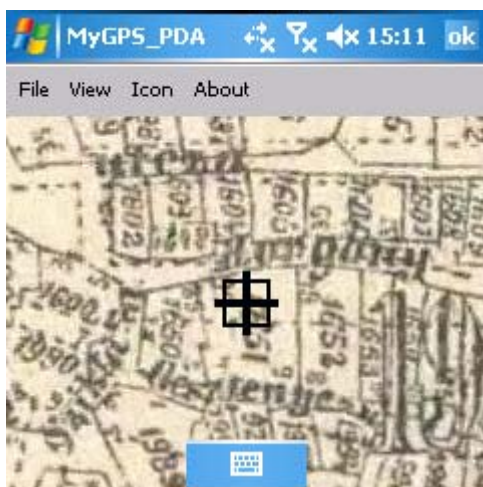
29. ábra. A Baross tér helye a buszon navigálva (balra); Istvánmező, a mai Kerepesi út-Dózsa György út sarok helye 1857-ben (jobbra).



33. ábra. A mai víztároló bejárata előtt futott a Lepke utca a Szikla utcába.



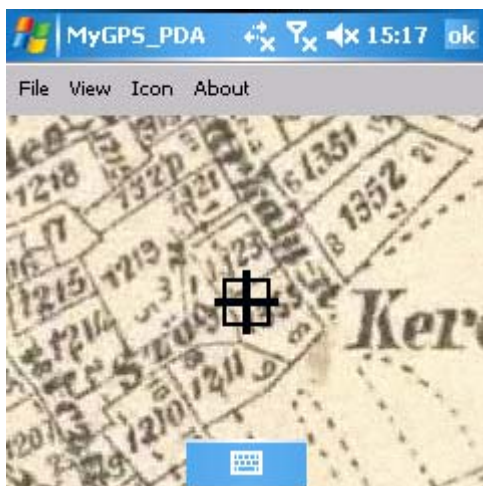
34. ábra. A Gyökér és Lepke utcák helyét ma részben sétányok követik.



35. ábra. A Hegyalja út kettévágja a régi Tabán helyét. De hol? Itt a régi Horgony utca vonalán.



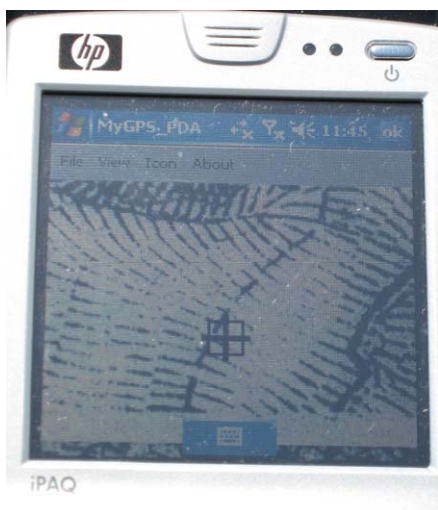
36. ábra. Itt viszont a Hadró utca és az Abroncs utca helyén halad.



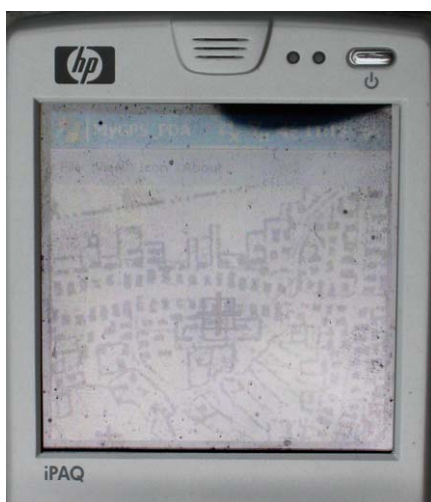
37. Mi volt az új 1956-os emlékmű helyén? A Szög utca vége.



38. ábra. Sétánk végén, a Kereszt tér helyén megtaláljuk az eredeti névadót.



39. Végezetül egy kis erdélyi ízelítő: Csíksomlyó az 1870-es években (balra), és a 2007-es búcsú idején.



40. Csíkszereda. Az ún. „Taps tér” (jobbra) helyén korábban csak laza beépítés és mezőgazdasági területek voltak (balra).



41. A kolozsvári Mátyás-szobor és a Szent-Mihály templom alkalmas a GPS pontosságának demonstrálására.

5. Az A-GPS-eljárás a zsebszámítógépen

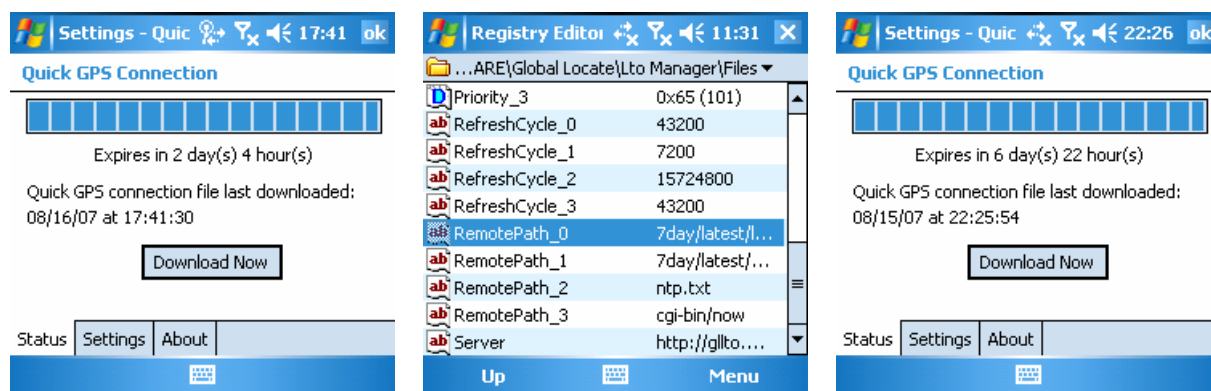
Az A-GPS rövidítés a *Global Locate Inc.* által kifejlesztett, majd hasonló elven más cégek (Septier Communications, u-blocks) által is forgalmazott *Assisted GPS* (támogatott GPS) eljárás nevének rövidítése. Az eljárás kidolgozását az USA FCC E911 mandátumának kibocsátása gyorsította fel, ez irányelveként előírja a mobiltelefonon leadott vészhívásokhoz koordináták kapcsolását is. Az eljárás végcélja így a GPS-eszközök beltéri, helyi rádióforrásokkal támogatott alkalmazása, illetve az erősen beépített területeken, az ún. városi kanyonokban a gyors GPS-vétel lehetőségének megteremtése (LaMance et al., 2002; Wikipedia, 2005-7; van Diggelen, 2007).

A még kísérleti alkalmazási fázisban levő beltéri használat nem tartozik e dolgozat tárgykörébe. A bonyolult környezetben történő GPS-navigációra a termékfejlesztés két választ adott. Az egyik a GPS-műholdak pályaelemkészletének internetes elérése (aktív AGPS), amely a kód méréses helymeghatározás legidőigényesebb részét, a műholdak fedélzeti pályaelemkészletének (*broadcast ephemeris*; BE) letöltését spórolja meg. A műholdas kapcsolat 50 baud sávszélessége mellett ez ugyanis holdanként bő fél perc zavartalan adatletöltést igényel, ami városi vagy más módon zavart környezetben, vagy mozgó vevő esetén szinte lehetetlen. Ha a BE-adatokat interneten keresztül töltjük le, úgy az első kapcsolódás ideje (*Time to First Fix*; TFF) néhány másodpercre rövidül. Amennyiben nincs folyamatos internet-hozzáférésünk, a Global Locate (és más cégek) az ún. passzív AGPS-megoldást kínálják. Ennek keretében nem magukat a pályaelemeket, hanem azok, vagy a műholdpozíciók előrejelzett értékeit tölthetjük le egy néhány 10 kilobyte méretű modellfile formájában. Az eljárás a HP iPAQ zsebszámítógép-sorozata esetén a *Quick GPS Connection* (QGPSC) nevet kapta (Forián-Szabó, 2006). A másik, a fentiektől lényegesen eltérő megoldási stratégiát a SiRF-III sorozatú GPS-chipsetek megjelenése jelenti; ezek képesek az igen gyenge GPS-jelek vételére is. Városi körülmények között természetesen ez megnöveli a többutas terjedés okozta hibák fellépését.

Nyilvánosan nem dokumentált az, hogy a QGPSC eljárás pontosan milyen adatokat tölt le a gyorsindításhoz, illetve a mérés gyors megkezdéséhez. Mint azt a következőkben bemutatom, a BE-adatok gyorsan érvényüket veszítik, a pályaelem-számítások során a két nappal korábbi BE-adatokból a holdak pozíciói kilométert is meghaladó hibával számíthatók csak ki, és a hiba az idővel bizonyos mértékben növekszik. A pályaelemek és a műholdpozíciók azonban bizonyos pontossággal néhány napra előrejelezhetők. Ennek

lehetőségét az általam elvégzett, és alább bemutatott hibavizsgálatok is igazolják. A technológia nem nyilvános ugyan, de (egyelőre nem bizonyított) feltételezésem az, hogy a pályamelemek változásában mutakozó modellezhető, és így előrejelezhető változásokon alapul. A modellfile neve LTO (*Long Term Orbit* – hosszútávú pályaadatok) is erre utal.

Ahogy a szokványos GPS-mérések esetén is, a QGPSC-eljárásban is a műszer egy idő elteltével a pályaelem-előrejelzési adatokat (bármelyek legyenek is ezek) érvénytelennek tekinti. Ez az időszak a QGPSC esetén hosszabb; a szerző által használt HP iPAQ gépen pl. két nap négy órát tesz ki, ezalatt az adatok internetes frissítése nem szükséges. A zsebszámítógép registry-információinak manuális átírásával az LTO-adatok ennél hosszabb időtartamra, a Global Locate adatai esetén 7 napra is letölthetők (42. ábra). Az u-blocks fizetős szolgáltatása mindazonáltal 14 napos, a Global Locate-é pedig 10 napos előrejelzést is kínál.

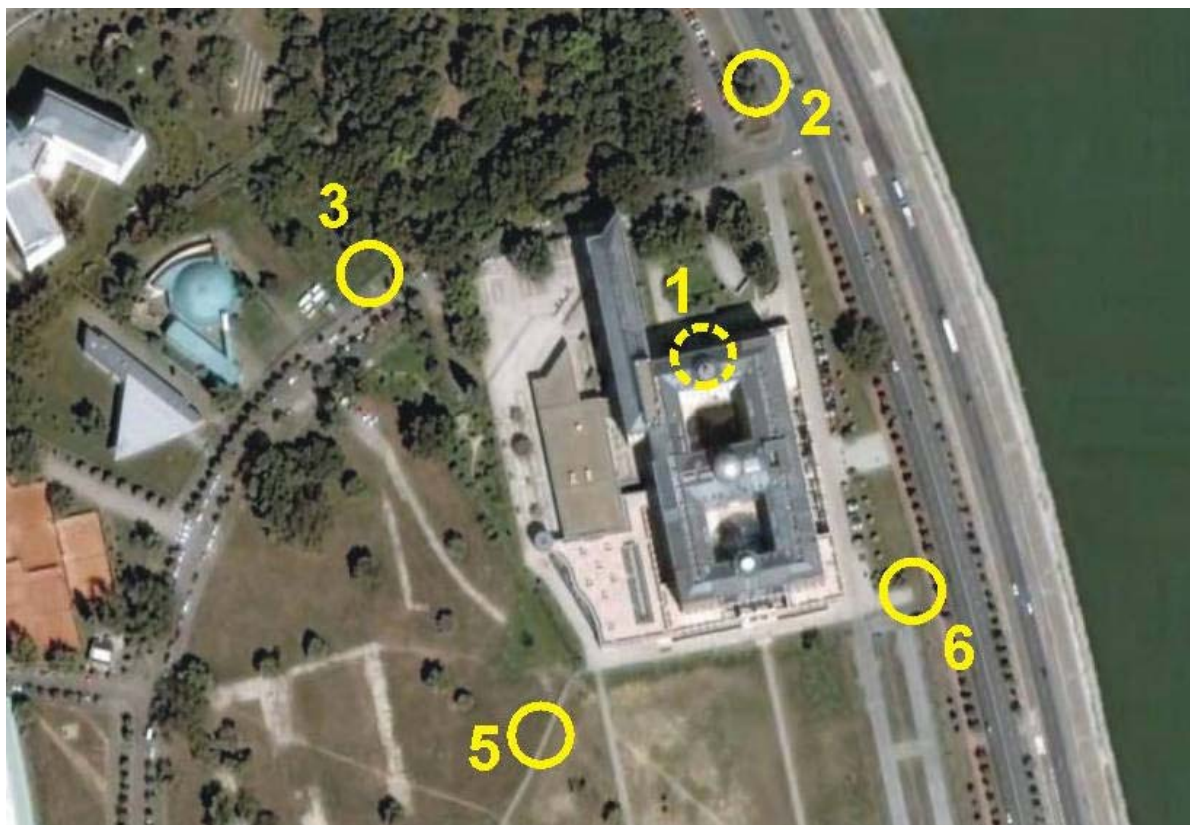


42. ábra. A QGPSC alapértelmezett letöltése után két napig érvényes az előrejelzés (balra). A registry-információk átírásával (középen) 7 napos adatokhoz is hozzáférhetünk (jobbra).

A technológia alkalmazásához célszerű megvizsgálni, milyen hatással van az adatfrissítés óta eltelt idő hossza a mérési pontosságra. Ehhez centiméter pontossággal ismert helyi ponthálózaton végeztem méréseket a BE-adatok közvetlen internetes letöltését követő egy órán belül, azt egy, két, öt és hét nappal követően, illetve QGPSC alkalmazása nélkül. A mérések mellett számításokat végeztem a pályaelemek „előregedésének” hatásáról, vagyis arra vonatkozóan, hogy az 1, 2, 5 illetve 10 napos pályaelemekkel számítva egy adott hold pozícióját mekkora eltérés mutatkozik a pillanatnyilag aktuális, „friss” pályaelemekből számított műholdhelyezethez képest. Ugyanezen a ponthálózaton megvizsgáltam egy SiRF-III sorozatú vevő pontosságát is.

6. Pontosság-vizsgálat az ELTE ponthálózatán

Miután megadtam a régi térképek georeferálásának jellemző hibáját (3. fejezet), meg kell becsülni az alkalmazott abszolút GPS-mérés pontosságát is. Ehhez az ELTE lágymányosi campusán telepített GPS-alapponthálózat kínált lehetőséget. Az évezred elején a Honvéd Térképészeti Intézet szakértői által kiépített hatpontos hálózathoz mára 5 pont maradt meg. Ebből egy az ELTE Északi Tömbjének tetején, a műholdvevő állomás mellett üzemelő ELTE egyfrekvenciás bázisállomás helye – ezt a pontot a nehézkes megközelíthetőség és mérési körülmények miatt a vizsgálatból kihagytam. A maradék négy pont az épület 50 méteres környezetében található, Hilti-szeggel állandósított és festékekkel megjelölt objektum (lásd az 1. ábrán), amelynek WGS84-rendszerben érvényes koordinátái 6-7 tizedfokig (centiméter élességgel) pontosak (43. ábra).



43. ábra. Az ELTE GPS ponthálózata. A 1. sz. a bázisállomás, a 4. sz. állandósított pont a telepítés óta elveszett. Az ellenőrzéshez a 2., 3., 5. és 6. sz. pontokat használtam.

Az alappontokon a következő méréseket végeztem el:

- mérés a HP iPAQ 6915hw beépített GL20000 vevőjével (a továbbiakban HP), A-GPS használata nélkül;

- mérés a HP vevővel közvetlenül a QGPSC állomány letöltése után;
- mérés a HP vevővel a QGPS állomány letöltése után 1 nappal;
- mérés a HP vevővel a QGPS állomány letöltése után 2 nappal;
- mérés a HP vevővel a QGPS állomány letöltése után 5 nappal;
- mérés a HP vevővel a QGPS állomány letöltése után 7 nappal;
- mérés az MSI SF200 SiRF-III vevővel.

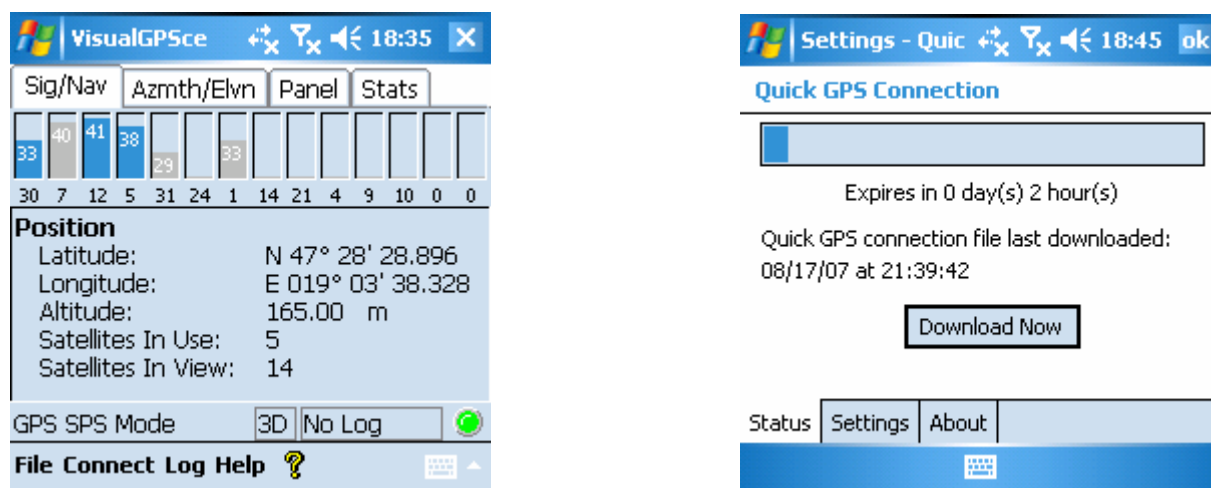
Az 3. táblázatban megadom az egyes méréssorozatok során adódott átlagos vízszintes és magassági hibaértékeket és szórásokat. A teljes mérési jegyzőkönyvet a II. Mellékletben adom meg. A troposzféra jellemzésére ugyanott megadom az egyes méréssorozatok idején a METAR repülőtéri időjárási szolgálat által Budapest-Ferihegyen (h=155 méter) mért léghőmérséklet-, számított relatív páratartalom- és tengerszintre redukált légnyomás-értékeket is.

Mérés	Átl. hor. hiba	Átl. vert. hiba	Hor. hibaszórás	Vert. hibaszórás
HP AGPS nélkül	4,5 m	3,4 m	2,1 m	1,7 m
HP friss AGPS	6,3 m	7,9 m	1,8 m	7,8 m
HP 1 napos AGPS	14,7 m	33,4 m	6,2 m	11,7 m
HP 2 napos AGPS	17,3 m	24,9 m	12,6 m	5,8 m
HP 5 napos AGPS	12,2 m	7,2 m	3,9 m	2,4 m
HP 7 napos AGPS	38,2 m	12,7 m	19,0 m	6,9 m
MSI SF200 SiRF	3,4 m	2,9 m	2,3 m	1,7 m

3. táblázat. Az ELTE alappontokon elvégzett ellenőrző mérések összefoglaló táblázata. Részletes mérési jegyzőkönyv a 2. sz. Mellékletben.

Az eredményekből látható, hogy az abszolút GPS-mérés alappontossága 3-5 méter körül adódott AGPS és bármilyen segédinformáció (pl. SBAS, EGNOS-korrekciónak) nélkül. Az AGPS drasztikusan lecsökkenti ugyan az első pozíciósolgáltatáshoz szükséges időt (TFF), ennek azonban ára van: a pontosság még frissen letöltött QGPSC-adatokkal is gyengébb, mint AGPS alkalmazása nélkül, és a QGPSC-adatok öregedése tovább ront az elérhető pontosságon. A 3-5 méteres alappontosságból adódó hiba kb. az 1:10 000 és annál kisebb méretarányú topográfiai térképeken már nem észlelhető, de az 1:5000 méretarányú közigazgatási, különösen pedig a még részletesebb kataszteri térképi alkalmazások számára azonban már nem elegendő. Az AGPS mellett fellépő 20 méter nagyságrendű hibák az 1:25 000 és 1:28 800 méretarány mellett is észrevehető, de nem zavaró eltéréseket okoznak, de alatta maradnak az ilyen méretarányú történeti térképek georeferálási hibáinak.

Külön említést érdemes az A-GPS mellett észlelt pontosság időbeli változása. Az 5. napig nem mértem érzekelhető különbséget a pontosságban, a pontok valódi koordinátáinak és a pontokon mért koordinátáknak az eltérése inkább arra utal, hogy kora délután az ionoszférikus időkésések hatása nagyobb hibákat okoz, mint a késő délutáni órákban, különösen vertikális értelemben. Ez magyarázhatja az 5. napon mért viszonylag pontosabb értékeket. Az A-GPS-sel lefedett időszak legvégén, a 7. napon, 2 órával az érvényességi időszak vége előtt azonban megnőtt a horizontális hiba, mind átlagosan, mind pedig pontonként (a vertikális hiba továbbra sem ekkor volt maximális). Azt, hogy az A-GPS ilyenkor már kevésbé megbízható, az is jelezte, hogy bár viszonylag sok hold volt a horizont felett, ezek közül nem mindegyikről sikerült a helymeghatározáshoz szükséges jelek (feltehetően a jelkésés- és Doppler-korrelációk) vétele és meghatározása (44. ábra).



44. ábra. 2 órával a majdnem 7 napos QGPSC érvényességi időszak vége előtt bizonytalanná válik a mérés viszonylag sok elérhető hold esetén is. Mivel a fedélzeti pályaelemeket a szoftver és a vevő ilyenkor még ismertnek tételezi fel, a „szürke” holdak esetén feltehetően a pszeudótávolságok meghatározásához szükséges korrelációk nem végezhetőek már el. A nullás sorszámmal jelzett két utolsó hold sem jelent meg a korábbi mérések során.

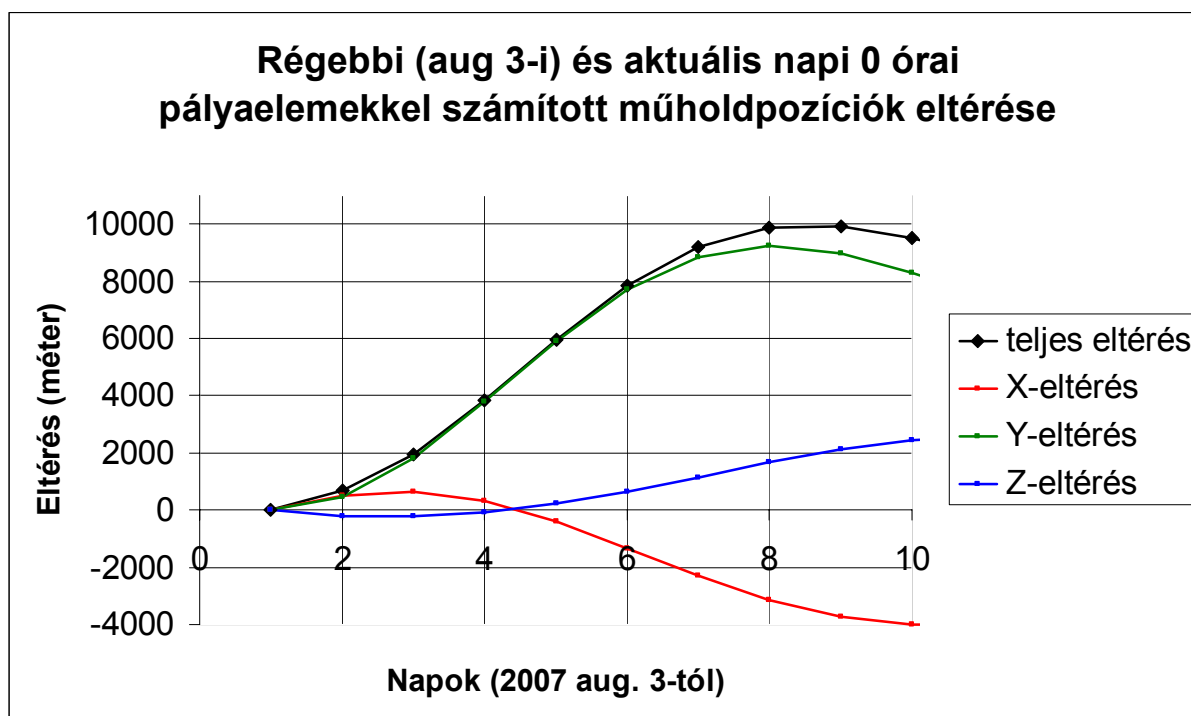
7. Fedélzeti pályaelemek előrejedésének hatása

Végezetül elvégeztem egy számítássorozatot a GPS holdakra vonatkozó fedélzeti pályaelemek előrejedésének hatásának megbecslésére. Letöltve a GPS-holdak kétóránkénti pályaelem-adatait 2007. augusztus közepén egy 11 napos intervallumra (3-ától 13-áig), kiválasztottam a PRN2 sz. GPS-holdat (ennek ugyanis minden éjféltkor volt pályaelem-adata). Az intervallum minden napján 0 órai időpontra kiszámítottam a hold geocentrikus koordinátáit a kezdőnapon érvényes efemeridák felhasználásával. Takács (2006) részletes számítási eljárásával kiszámítottam e koordinátákat ugyanezekre az időpontokra az éppen akkor érvényes pályaelemkészlettel is. A 4. táblázatban megadom a pozíciókat és az eltéréseket, a XX. ábrán pedig megadom az X, Y és Z-irányú, továbbá a teljes eltérés menetét a teljes intervallumra.

dátum	teljes eltérés	X-irány (m)	Y-irány (m)	Z-irány (m)
aug. 3.	0	0	0	0
aug. 4.	692	489	449	-197
aug. 5.	1946	620	1832	-220
aug. 6.	3824	309	3811	-72
aug. 7.	5938	-392	5921	226
aug. 8.	7843	-1331	7702	647
aug. 9.	9210	-2309	8842	1148
aug. 10.	9893	-3148	9229	1668
aug. 11.	9935	-3727	8959	2131
aug. 12.	9522	-4003	8282	2460
aug. 13.	8888	-3997	7506	2587

4. táblázat. A PRN2 GPS-műhold 2007 augusztus 3-án 0 órakor érvényes fedélzeti pályaelemei alapján előrejelzett műholdpozíció és az aktuális nap 0 órai pályaelemek alapján számított műholdpozíció eltérése méterben az adott napon 0 órakor.

A 4. táblázatban szereplő adatokból látható, hogy az előrejedés pontosságcsökkentő hatása az idővel nem lineárisan növekszik, sem a teljes eltérés, sem a geocentrikus koordináták szerint szétválasztott eltérés esetén. Ezért a 45. ábrán grafikus formában is megjelenítettem az eltérések menetét. Az eredmény elgondolkodtató.



45. ábra. A 4. táblázatban megadott eltérések grafikus formában.

Az eltérések időbeli lefutása nyilvánvaló periodicitást mutat. Az eltérések nagyságrendje mindazonáltal megkérdőjelezi annak a lehetőségét, hogy pusztán e periodicitást felhasználhatnánk a műholdpozíciók előrejelzésére a korábbi helyzetek alapján, de erős indikációt jelent arra, hogy a pályaelemekben jelentkező változásokban mutatkozó, modellezhető trendek alkalmasak az efemeridák előrejelzésére és így az LTO (*Long Term Orbit*) információk megadására. Ennek vizsgálata túlmutat a jelen dolgozat keretein, de mindenképp érdekes kutatási irányt jelöl.

8. Összefoglalás

Dolgozatom eredményeit az alábbiakban foglalom össze:

- Megvalósítottam a valós idejű abszolút GPS-navigációt történeti topográfiai és közigazgatási (kataszteri áttekintő) térképeken, nevezetesen a II. katonai felmérés 1:28 800 méretarányú magyarországi és erdélyi szelvényein, a III. katonai felmérés 1:25 000 méretarányú szelvényein, illetve Budapest 1:5000 méretarányú 1878-as és 1895-ös kataszteri áttekintő térképein. A navigációt PDA-környezetben valósítottam meg, dokumentáltam az ehhez szükséges előkészítő lépéseket és képsorozaton demonstráltam a navigációt.
- Bemutattam a PDA-környezetben alkalmazott Assisted GPS eljárás konkrét megvalósítását (QGPSC) HP iPAQ zsebszámítógépeken. Méréseket végeztem ismert koordinátájú pontokon, hogy megállapítsam a felhasznált vevők abszolút mérési pontosságát, illetve a pontosság megváltozását (romlását) A-GPS alkalmazásakor, a QGPSC-állomány öregedésének függvényében.
- Kiszámítottam egy GPS-műhold pozíciójának korábbi és aktuális efemeridák alapján számított pozíciói közötti teljes és koordináta-irányonkénti eltérést a régebbi efemeridák kora függvényében. Az eredményül kapott kváziperiodikus eltérésmenet alapján a jelen munka továbbfejlesztésének lehetséges irányaként megjelöltem a pályaelemek előrejelezhetőségének vizsgálatát.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat elkészítésében és a korábbi ismeretszerzésemben kiemelkedően sok segítséget kaptam témavezetőmtől, dr. Varga Józseftől (BME), továbbá Kovács Bélától (ELTE), dr. Takács Bencétől és dr. Földváry Lóránttól (BME). Dr. Molnár Gáborral (TU Wien-ELTE) hosszú, inspiráló beszélgetéseket folytattam a tárgyalt témákról. Megköszönöm családom türelmét és gondoskodását, amivel ezt a „játsszadózásomat” elviselte. Végül, de nem utolsósorban, munkámat a közelmúltban elhunyt kollégám és mentorom, Joó István professzor emlékének ajánlom.

Felhasznált irodalom

- ÁDÁM, József (1982): On the determination of similarity coordinate transformation parameters. *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini* **41**: 283-290.
- ÁDÁM József (2000): Magyarországon alkalmazott geodéziai vonatkoztatási rendszerek vizsgálata. *Geodézia és Kartográfia* **52** (12): 9-15.
- ÁDÁM József (2004): Egységes európai geodéziai és geodinamikai alapok létrehozása. Akadémiai székfoglaló értekezés, MTA, Budapest, 39 o.
- ÁDÁM József, BÁNYAI László, BORZA Tibor, BUSICS György, KENYERES Ambrus, KRAUTER András, TAKÁCS Bence (2004). Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 458 o.
- BADEKAS, John (1969): Investigations related to the establishment of a world geodetic system. *Report 124*, Department of Geodetic Science, Ohio State University, Columbus.
- BISZAK, Sándor, TIMÁR, Gábor, MOLNÁR, Gábor, JANKÓ, Annamária (2007): Digitized maps of the Habsburg Empire - The third military survey, Ungarn, Siebenbürgen, Kroatien-Slawonien, 1869-1887, 1:25000. DVD-kiadvány, Arcanum Adatbázis Kiadó, Budapest.
- BORKOWSKI, Kazimierz M. (1989): Accurate algorithms to transform geocentric to geodetic coordinates. *Bulletin Géodésique* vol. **63**: 50-56.
- BOWRING, B. R. (1976): Transformation from spatial to geographical coordinates. *Survey Review* **XXIII**: 323-327.
- BURŠA, Milan (1962): The theory for the determination of the non-parallelism of the minor axis of the reference ellipsoid and the inertial polar axis of the Earth, and the planes of the initial astronomic and geodetic meridians from the observation of artificial Earth satellites. *Studia Geophysica et Geodetica* **6**: 209-214.
- DMA, Defense Mapping Agency (1986): Department of Defense World Geodetic System 1984 – Its Definition and Relationships With Local Geodetic Systems. Technical Report 8350.2. St. Louis, Missouri, USA.
- FORIÁN-SZABÓ Márton (2006): GPS pozíció szinte azonnal. *GPS Magazin*, online kiadvány. URL: <http://www.gpsmagazin.hu/content/view/301/65/>
- FUKUSHIMA, Toshio (2006): Transformation from Cartesian to geodetic coordinates accelerated by Halley's method. *Journal of Geodesy* **79** (12): 689-693.
- HOFSTÄTTER, Ernst (1989): Beiträge zur Geschichte der österreichischen Landesaufnahmen, I. Teil, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien, 196 p.

- HOMORÓDI Lajos (1953): Régi háromszögelési hálózataink elhelyezése és tájékozása. *Földméréstan Közlemények* **5**: 1-18.
- KINGSHLEY-HUGHES, Katie (2005): Hacking GPS. Wiley Publishing Inc., Indianapolis, Indiana, 334 p.
- LIN, Kuo-Chi, WANG, Jie (1995): Transformation from geocentric to geodetic coordinates using Newton's iteration. *Journal of Geodesy* **69** (4): 300-303.
- LAMANCE, Jimmy, JARVINEN, Jani, DESALAS, Javier (2002): Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach. *GPS World*, online kiadvány.
URL: <http://www.gpsworld.com/gpsworld/article/articleDetail.jsp?id=12287>
- MAREK, Johannes (1875): Technische Anleitung zur Ausführung der trigonometrischen Operationen des Katasters, Budapest, 397 p.
- MIHÁLY, Szabolcs (1996): Description directory of the Hungarian geodetic references. *Geo-Information Systems* **4**: 30-34.
- MOLNÁR Gábor, TIMÁR Gábor (2002): Az EOY-koordináták nagy pontosságú közelítése Hotine-féle ferdetengelyű Mercator-vetülettel. *Geodézia és Kartográfia* **54**(3): 18-22.
- MOLNÁR Gábor, TIMÁR Gábor (2004): A legjobb vízszintes illeszkedést biztosító Molodensky-paraméterek meghatározása azonos pontok adatai alapján. *Geodézia és Kartográfia* **56** (4): 9-13.
- MOLODENSKY, Mihail Sergeievich, EREMEEV, V. F., YURKINA, M. I. (1960): Metody izucheniya vnesnego gravitatsionnogo polya i figuri Zemli. *Trudy CNIIGAIK [Moscow]*, vol. **131**.
- MUGNIER, Clifford J. (1999): Grids & Datums – Republic of Hungary. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **65**: 423 & p. 425.
- NIMA-NASA, National Imagery and Mapping Agency, National Aeronautics and Space Administration GSFC (1997): WGS84 EGM96 (complete to degree and order 360) 1st Edition. NIMA-NASA GSFC, St. Louis, Missouri, USA
- OLTAY Károly (1951): A budapesti invardrótmérés. Akadémiai Kiadó, Budapest, 170 o.
- PAPP, Erik, SZÜCS, László, VARGA, József (1997): GPS network transformation into different datums and projection systems. *Reports on Geodesy*, Warsaw University of Technology, No. 4 (27).
- PAPP Erik, SZÜCS László, VARGA József (2002): Hungarian GPS network transformation into different datums and projection systems. *Periodica Polytechnica Ser. Civ. Eng.* **46**(2): 199-204.

- RAGANI, Paolo Faure (2004): MyGPS_PDA software.
URL: <http://www.faureragani.it/mygps/>
- SNYDER, John P. (1987): Map Projections – A Working Manual. *USGS Prof. Paper* **1395**: 1-261.
- TAKÁCS Bence (2001a): EOVS koordináták beállítása GARMIN vevőkön.
URL: http://www.agt.bme.hu/staff_h/bence/eov_gar.html
- TAKÁCS Bence (2001b): EOVS koordináták beállítása MAGELLAN vevőkön.
URL: http://www.agt.bme.hu/staff_h/bence/eov_mag.html
- TAKÁCS Bence (2006): GPS mérések feldolgozása. Számítási segédlet, BME Általános és Felsőgeodéziai Tanszék, Budapest, 35 o.
URL: <http://www.agt.bme.hu/szakm/gps/meresekfeld/jegyzet01.pdf>
- TAKÁCS Bence, GÁSPÁR Péter (2001): Mire képesek az olcsó GPS-vevők? Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság 2001. évi vándorgyűlés.
URL: http://www.agt.bme.hu/public_h/gps2/gps2.html
- TIMÁR Gábor (2007): GPS-navigáció történeti topográfiai és kataszteri térképeken. *Geodézia és Kartográfia* **59** (5): 22-26.
- TIMÁR Gábor, FEHÉR Gabriella (2005): Időutazás GPS-szel – Mire használható egy geokódolt történelmi térkép? *GPS Magazin* **4** (1): 56-58.
- TIMÁR Gábor, MOLNÁR Gábor, PÁSZTOR Szilárd (2002): A WGS84 és HD72 alapfelületek közötti transzformáció Molodensky-Badekas-féle (3 paraméteres) meghatározása a gyakorlat számára. *Geodézia és Kartográfia* **54** (1): 11-16.
- TIMÁR Gábor, KUBÁNY Csongor, MOLNÁR Gábor (2003a): A magyarországi Gauss-Krüger-vetületű katonai topográfiai térképek dátumparaméterei. *Geodézia és Kartográfia* **55**(7): 20-24.
- TIMÁR Gábor, MOLNÁR Gábor, MÁRTA Gergely (2003b): A budapesti sztereografikus, ill. a régi magyarországi hengervetületek és geodéziai dátumaik paraméterezése a térinformatikai gyakorlat számára. *Geodézia és Kartográfia* **55** (3): 16-21.
- TIMÁR Gábor, MOLNÁR Gábor, PĂUNESCU Cornel, PENDEA Florin (2004): A második és harmadik katonai felmérés erdélyi szelvényeinek vetületi és dátumparaméterei. *Geodézia és Kartográfia* **56** (5): 12-16.
- TIMÁR Gábor, MOLNÁR Gábor, SZÉKELY Balázs, BISZAK Sándor, VARGA József, JANKÓ Annamária (2006): Digitized maps of the Habsburg Empire – The map sheets of the second military survey and their georeferenced version. Arcanum, Budapest, 59 p.

- VAN DIGGELEN, Frank (2007): GNSS Accuracy – Lies, Damn Lies and Statistics. *GPS World*, January 2007, pp. 27-32.
- VARGA József (1981): Vetületi rendszereink közötti átszámítások új módjai. Műszaki doktori értekezés, BME, Bp.
- VARGA József (2000): Vetülettan. Műegyetemi Kiadó, Bp., 296 o.
- VARGA József (2002): A vetületnélküli rendszerektől az UTM-ig. Kézirat, BME, Általános és Felsőgeodéziai Tanszék, Budapest.
URL: http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/Osszes/Dok3uj.htm
- VARGA József (2005): Kataszteri térképrendszerek. Kézirat, BME Általános és Felsőgeodéziai Tanszék, Budapest.
URL: http://www.agt.bme.hu/staff_h/varga/katrend/katrend.html
- VEVERKA, Bohuslav, ČECHUROVÁ, Monika (2003): Georeferencování map II. a III. vojenského mapování. *Kartografické listy* **11**: 103-113.
- Wikipedia team (2005-7): Assisted GPS.
URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Assisted_GPS
- WOLF, Helmut (1963): Geometric connection and re-orientation of three-dimensional triangulation nets. *Bulletin Géodésique* **68**:165-169.
- WÜHRL Tibor (2006): Robotkutatások és a térinformatika kapcsolata. *Hadmérnök* **1**(1), online kiadvány.
URL: http://zrinyi.zmne.hu/hadmernok/2006_1_wuhrl.pdf

I. MELLÉKLET: A szoftverkönyezetet, a megvalósítás lépéseit, és a georeferálás leírását tartalmazó műszaki leírás

A felhasznált szoftverek:

- a georeferáláshoz: (1) Arcanum GeoView megjelenítő szoftver, (2) MyGPS szoftver (PC-változat; Ragani, 2004).
- a navigációhoz: MyGPS szoftver PDA-változat.

A megvalósítás lépései:

1. a szkennelt állomány tetszőleges darabját JPG-képfarmátumban be kell tölteni a MyGPS PC-változatába.
2. A térképi állományon két azonosítópontot kell megjelölni (célszerűen a térkép két távoli pontját), amelyekre a MyGPS-ben rá kell kattintani, majd ugyanezen pontoknak megadni a WGS84 vonatkoztatási rendszerben érvényes koordinátáit.
3. Utóbbiak célszerűen a GeoView megjelenítőablakáról olvashatók le, de (kisebb méretarányú térképek esetén) terepi GPS-méréssel is felvehetők.
4. Az így georeferált térképszelvényt a MyGPS saját, a georeferált állományok számára fenntartott formátumában (*.mygps kiterjesztés) el kell menteni, majd a PDA-ra tölteni.
5. A MyGPS_PDA szoftver elindítása után a View/NMEA menüpontban be kell állítani a GPS-jeleket NMEA-formátumban fogadó soros port számát.
6. A File menüpontban be kell olvasni a 4. pontban ide feltöltött, georeferált térképet.
7. A View/Map menüponttal térképi navigációra váltunk.
8. Az Icon menüpontban található *Center Icon* jelöléssel beállíthatjuk, hogy az aktuális álláspont legyen a képernyő közepén. A *Locked Icon* jelöléssel az is beállítható, hogy mozgás közben álláspontunk a képernyő azonos helyén maradva a térkép mozduljon el.

II. MELLÉKLET: A GPS-műszerek pontosságát ellenőrző mérések adatai

pont sz.	fok	szélesség perc	mp.	fok	hosszúság perc	mp.	magasság ellipszoidi
ALAPPONT ADATOK							
2	47	28	33.031	19	3	44.342	148.025
3	47	28	30.727	19	3	37.056	148.358
5	47	28	24.588	19	3	40.043	148.482
6	47	28	26.579	19	3	47.161	148.463
AGPS nélkül							
műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS							
Időpont: 2007. augusztus 14, 16:40 CET DST							
Troposzféra (METAR, Ferihegy): 29°C; 32% 1012 hPa							
2	47	28	33.156	19	3	44.607	147
3	47	28	30.753	19	3	36.912	153
5	47	28	24.666	19	3	39.788	153
6	47	28	26.589	19	3	47.275	152
AGPS nélkül							
műszer: MSI StarFinder SF 200 BlueTooth							
Időpont: 2007. augusztus 15, 12:00 CET DST							
Troposzféra (METAR, Ferihegy): 28°C; 45% 1014 hPa							
2	47	28	33.114	19	3	44.130	147.3
3	47	28	30.576	19	3	37.200	153.0
5	47	28	24.594	19	3	40.002	152.1
6	47	28	26.526	19	3	47.094	151.2
Friss QGPSC letöltéssel							
műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS							
Időpont: 2007. augusztus 10, 13:10 CET DST							
QGPSC letöltés ideje: 2007. augusztus 10, 12:35 CET DST							
Troposzféra (METAR, Ferihegy): 25°C; 61% 1007 hPa							
2	47	28	32.896	19	3	44.134	150
3	47	28	30.767	19	3	37.399	164
5	47	28	24.506	19	3	40.187	148
6	47	28	26.734	19	3	46.846	162
1 napos QGPSC letöltéssel							
műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS							
Időpont: 2007. augusztus 13, 13:00 CET DST							
QGPSC letöltés ideje: 2007. augusztus 12, 12:15 CET DST							
Troposzféra (METAR, Ferihegy): 25°C; 53% 1009 hPa							
2	47	28	32.960	19	3	44.004	182
3	47	28	30.853	19	3	36.507	185
5	47	28	23.957	19	3	39.697	166
6	47	28	25.976	19	3	47.080	194
2 napos QGPSC letöltéssel							
műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS							
Időpont: 2007. augusztus 14, 13:00 CET DST							
QGPSC letöltés ideje: 2007. augusztus 12, 12:15 CET DST							
Troposzféra (METAR, Ferihegy): 28°C; 34% 1012 hPa							
2	47	28	32.605	19	3	44.225	170
3	47	28	30.726	19	3	36.717	170
5	47	28	24.270	19	3	39.632	171
6	47	28	25.557	19	3	47.964	182

5 napos QGPSC letöltéssel

műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS

Időpont: 2007. augusztus 22, 17:00 CET DST

QGPSC letöltés ideje: 2007. augusztus 17, 21:40 CET DST

Troposzféra (METAR, Ferihegy): 31°C; 40% 1012 hPa

2	47	28	33.432	19	3	44.97	143
3	47	28	31.062	19	3	37.11	154
5	47	28	24.924	19	3	39.864	141
6	47	28	26.88	19	3	47.112	138

7 napos QGPSC letöltéssel

műszer: HP iPAQ 6915hw PDA GL20000 GPS

Időpont: 2007. augusztus 24, 18:30 CET DST

QGPSC letöltés ideje: 2007. augusztus 17, 21:40 CET DST

Troposzféra (METAR, Ferihegy): 30°C; 48% 1021 hPa

2	47	28	31.662	19	3	44.454	165
3	47	28	28.896	19	3	38.328	165
5	47	28	24.126	19	3	39.552	163
6	47	28	26.274	19	3	45.762	146

III. MELLÉKLET: Az NMEA-kódok jelentése, az NMEA-file-ok átalakítása trackloggá

Az NMEA rövidítés az amerikai *National Marine Electronic Associations* által bevezetett kódrendszert jelenti. A GPS-technológiában, de nem kizárólag abban használt kódrendszer pontos megnevezése NMEA 0183. A GPS-eszköz által kibocsátott NMEA-kódok az alább részletezett, és azokon túlmutató információkat közvetítenek a GPS-mérésről és annak eredményéről. Fontos tudnunk azokban, hogy ezek a kódok nem tartalmazzák az egyes holdak pszeudotávolságának információit, és más, a helymeghatározáshoz szükséges adatokat, hanem a helymeghatározás eredményeit közvetítik. Önmagában az NMEA-kódok birtokában nem valósíthatunk meg olyan fázismérést, amelyet pl. Takács és Gáspár (2001) ismertetnek, és az utólagos korrekció lehetőségei is korlátozottak.

A hazai irodalomban az NMEA-üzenetek leírása csak átnézetesen található meg (Würhl, 2006), ezért talán nem haszontalan áttekinteni a legfontosabb üzenetek jelentését, azt, hogy milyen információkat tudhatunk meg a kód olvasásakor. Előrebocsátom, hogy az NMEA-üzenetek szinte minden olyan információt tartalmaznak, amelyeket a hobbi-célú, kézi GPS-vevők megadnak, így az üzenetek visszafejtésével algoritmizált, tehát programozható módon megkapjuk ezeket az adatokat is.

Az NMEA-üzenetek formátuma csak többé-kevésbé szabványos. Az alább részletezett üzenetek kezdőkódjai (a \$ jel után következő karakterlánc) által definiált rekordstruktúra szabvány, de hogy az egyes műszerek azt hogyan töltik, vagy nem töltik fel adatokkal, az már esetenként változó. Arra is van lehetőség, hogy az egyes gyártók \$P??? (a \$ jel után kötelezően P karakterrel kezdett, és további három karakterből álló) majd tetszőlegesen folytatott kezdőkódokat definiáljanak saját szoftvereik által történő felhasználásra, így pl. a Garmin kezdőkódjai a \$PGRM, míg a Magellanéi a \$PMGN stringgel kezdődnek. A szabvány kezdőkódok listája igen hosszú, azoknak nagy részét pl. Kingshley-Hughes (2005) ismerteti, további kódok leírását az interneten, az „nmea 0183 sentences” keresőkóddal nagy számban fellelhető dokumentumok megadják. Az egyes műszerek általában nem generálják és exportálják a teljes NMEA üzenetkészletet (pl. az almanach-adatoknak a \$GPALM üzenetben megadott aktuális értékével a szerző az általa használt eszközök NMEA-outputjai között még nem találkozott).

Bár a jelen dolgozat témáján túlmutat, itt jegyzem meg, hogy a 4800 baud átviteli sebességre tervezett, ASCII-alapú NMEA-kódrendszer mellett az új évezred elején megjelent, és napjaink GPS-technológiájában egyre elterjedtebb SiRF-kód is. Ennek neve a technológiát kifejlesztő, az USA-beli San Joséban működő SiRF Technology Inc. vállalatéból ered. A SiRF-kódok binárisak és nagyobb adatátviteli sebességet tesznek lehetővé.

Mind az NMEA-, mind a SiRF-kódrendszer kétirányú adatforgalmat tesz lehetővé a GPS-eszköz és az azt használó szoftver között. Az NMEA-kódkészletben 6 speciális kód (\$PSRF10?, ahol a ? helyén 0-5 számok állhatnak) szolgál a GPS vezérlésére. A vezérlőkódokat ebben az esetben a szoftver küldi a kapcsolódó GPS felé a soros porton keresztül. E kódokkal beállítható az átviteli kódrendszer és az adatátvitel sebessége (olyan eszközök esetén, amelyek SiRF-kódban is üzemelnek, így lehet arra átváltani), beállítható a bekapcsoláskor értelmezett pozíció és idő (inicializálás), illetve DGPS alkalmazása esetén az a soros port, amelyen a differenciális jelek érkeznek. Itt hívom fel a figyelmet arra, hogy a vezérlőkódok alkalmazása során, különösen Bluetooth kapcsolaton keresztül üzemeltetett GPS-egység esetén nagyon körültekintően kell eljárni; amennyiben pl. a SiRF-kód átviteli sebességét olyan értékre állítjuk, amelyen az eszköz Bluetooth-kapcsolata nem működik, a műszerkapcsolat elvész, annak visszaállítása körülményes, vagy adott esetben lehetetlen. A SiRF által felkínált vezérlőkódok köre lényegesen szélesebb, ezek alkalmazásával lehetséges pl. a mérésbe bevont holdak szűrése magassági szög vagy jelerősség szerint, illetve a meghatározott GPS-pozíció érvénytelennek nyilvánítása bizonyos DOP-érték(ek) felett. A vezérlőkódok kiadását legegyszerűbben néhány ingyenes segédsoftverrel (SiRFTech, SiRFDemo) tehetjük meg.

\$GPGGA

A GPS-mérés legfontosabb eredményei és azok becsült pontossága, pl.

\$GPGGA,132338.98,4729.488754,N,01902.390318,E,1,04,2.0,169.0,M,-1.320001,M,-0.33303,*42

mező	Példa	Jelentés
Idő	132337.16	13 óra 23 perc 37,16 másodperc, korrigált világidőben
Szélesség	4729.488754,N	Északi szélesség (N) 47 fok 29,488754 perc
Hosszúság	01902.390318,E	Keleti hosszúság (E) 19 fok 2,390318 perc
Helymeghatározás minősége 0=invalid adat (pl. nincs jelvétel, de valamilyen szűrő pozíciót becsül); 1=GPS-pozíció; 2=DGPS-pozíció	1	Abszolút GPS-vétel rendben
Műholdak száma	04	Négy holdról vett pszeudotávolságok alapján történt a helymeghatározás
HDOP (horizontális pontosság-hígulás)	2.0	HDOP=2,0 (számítási módja vevőnként változhat)
Magasság	169.0,M	Vevőnként változó, hogy ez ellipszoid vagy geoid feletti magasságot jelent, méterben. Utóbbi esetben megadhatják a geoid-unduláció felhasznált értékét is.
Geoid-unduláció*	-1.32, M	A bemutatott példaértéket Budapesten szolgáltatotta a GL20000 vevő, és az nagyon eltér a helyes 43 méteres értéktől.
Differenciális GPS-mérés esetén használt 2 számérték	-0.33303,	Az ellenőrző összeget bevezető csillag előtti vessző azt jelzi, hogy a második számérték nincs megadva.
Checksum, ellenőrző összeg	*37	Az átviteli hiba kiszűrésére használt érték

*Mivel a GPS-vevők a fentebb megadott magasságértéket ezzel az értékkel csökkentve adják meg a magasságot, ha itt nem a valódi geoid-unduláció, vagy ahhoz közeli érték, hanem zérus közeli érték vagy hiányzó adat szerepel, a GPS ellipszoid feletti magasságra, ellenkező esetben tengerszint feletti magasságra utal. Ez az egyetlen általam ismert módszer, hogy ellenőrző mérések nélkül eldöntsük, hogy egy műszer ellipszoidi vagy geoidi magasságot jelez-e ki.

\$GPGSA

Aktív holdak, 2D/3D mód, becsült DOP-értékek, pl.

\$GPGSA,A,3,09,12,17,22,,,,,,,,,02,02,02*12

Mező	példa	jelentés
2D/3D mód beállítása M=manuálisan beállított 2D ill. 3D mód; A=automatikus	A	Automatikusan beállított 2D/3D mód
2D/3D mód 1=nincs pozíció; 2=2D; 3=3D	3	3D mérés
Műholdak PRN számai	09,12,17,22,,,,,,,,	A 9, 12, 17 és 22 PRN-kódú holdak jelei alapján történik a mérés, 8 további hold vételére lenne lehetőség (vesszők száma), de azokkal nincs kapcsolat
PDOP	2	PDOP=2*
HDOP	2	HDOP=2*
VDOP	2	VDOP=2*
Checksum, ellenőrző összeg	*12	Az átviteli hiba kiszűrésére használt érték

*=A példában bemutatott számsor, ahol mindhárom DOP-érték 2 (ez nyilvánvalóan lehetetlen) valós NMEA-kódból való, ami arra utal, hogy e DOP-értékeket nem kell feltétlenül elhinni. A DOP-értékek kiszámíthatók pl. Ádám et al. (2004: 118. o.) módszerével, az aktív holdak PRN-számai, és azoknak a \$GPGSV szekvenciában adott topocentrikus pozíciói segítségével.

\$GPGSV

A horizont felett levő GPS-holdak topocentrikus koordinátái, pl.

\$GPGSV,3,1,10,09,60,302,33,17,46,072,29,26,42,178,32,12,33,244,33*72

\$GPGSV,3,2,10,29,33,174,33,18,17,274,35,28,17,060,30,05,13,247,*77

\$GPGSV,3,3,10,22,13,311,32,11,01,027,*7C

Mező	példa	jelentés
Az adott ciklusban szereplő sorok száma	3	Annyi műhold van a horizont felett, hogy 3 sort tesz ki a \$GPGSV-szekvencia
Az adott ciklus hányadik sora	1	Első sor (ebben az esetben a 3-ból)
Horizont feletti holdak száma	10	Max. 10 holddal jöhet létre kapcsolat, ennyi adat van a \$GPGSV-szekvenciában
PRN	09	9-es PRN-kódú hold adatai
Magasság	60	A hold magassága a horizont felett 60 fok
Azimut	302	A hold azimutja északhoz képest 302 fok
SNR (<i>signal-to-noise ratio</i> ; jel/zaj-arány; 00-99 dB; 0 vagy üres hely=nincs vétel)	33	33 dB erősségű vétel (gyenge közepes)
A fenti négy mező ismétlődik a többi holdra, soronként négy hold szerepel. Egyes vevők a következő ellenőrző összeget nem választják el vesszővel		
Checksum, ellenőrző összeg	*7C	Az átviteli hiba kiszűrésére használt érték

Meg kell jegyezni, hogy a egyes vevők (pl. a szerző birtokában levő HP iPAQ9615 PDA beépített vevője) azokra a holdakra, amelyről a *broadcast ephemeris* adatok még nem érkeztek meg, nem a valós topocentrikus helyzetet adják meg, hanem valamilyen, elég szerencsétlen „radar-imitáló” módon forgatják az azimut-értékeket.

További információkat, pl. a célpont irányát, az aktuális haladási irányt, haladási sebességet adnak a \$GPBOD, \$GPBWC, \$GPHDT, \$GPVBW, \$GPVTG üzenetek adnak meg.

Az NMEA-kódokat a legtöbb GPS-vevő képes exportálni számítógépünkre. Azok a hobbi-műszerek, amelyek nem, azok a \$GPGGA üzenetet exportálják a számítógép felé, amelyben a lényeges adatok megtalálhatók. Bár az interneten fellelhetünk olyan szoftvereket, amelyek az NMEA-üzenetkből képesek idővel, koordinátákkal és magassággal definiált pontokból alkotott tracklogot készíteni, nem árt, ha ezt egyszerű eszközökkel magunk is elő tudjuk állítani.

Az NMEA-formátumban adott mérési adatsorban az egyes adatokat vessző választja el (*comma delimitation*), ez alól kivétel lehet a sorvégi ellenőrző összeg, amelyet nem vessző, hanem csillag választ(hat) el az előtte levő mezőtől. A fájlt Microsoft Excel táblázatkezelőbe töltve azt tehát vesszővel elválasztott adatrendszerként olvassuk be. Az első oszlopban a kódszavak találhatók, és mivel a \$GPGGA minden NMEA-kódban megtalálható, és a tracklog előállításához szükséges minden információt tartalmaz, ezért rendezzük táblázatunk sorait az első oszlop tartalma alapján, és töröljük minden más kódhoz tartozó sort.

A fent ismertetett adatformátum felhasználásával az idő (UTC) Excel-képletekkel, ha az idő, \$GPGGA üzenet második eleme a B1 cellában van:

$$T_{\text{óra}} = \text{CSONK}(B1/10000)$$

$$T_{\text{perc}} = \text{CSONK}((B1 - \text{CSONK}(B1/10000))/100)$$

$$T_{\text{mp}} = B1 - 10000 * \text{CSONK}(B1/10000) - 100 * \text{CSONK}((B1 - \text{CSONK}(B1/10000))/100)$$

A szélesség kiszámítása fok-perc formátumban, ha a szélesség a C1 cellában szerepel:

$$\Phi_{\text{fok}} = \text{CSONK}(C1/100)$$

$$\Phi_{\text{perc}} = C1 - \text{CSONK}(C1/100)$$

A hosszúságérték kiszámítása ugyanígy történik. Más formátumra (fok-perc-másodperc vagy tizedes fok) az átszámítás triviális.

A szélességi és a hosszúsági adatokat tartalmazó oszlopot követően 1-1 szöveg típusú mezőben szerepel az észak-déli (N/S) ill. kelet-nyugati (E/W) típusmegjelölés. A hazai gyakorlatban ezeket az oszlopokat törölhetjük. A következő oszlop nagyon fontos: ha ennek értéke zérus, akkor az ezt tartalmazó rekordot törölni kell, hisz a koordináta nem valós mérésből származik. A következő mezőben az aktív, a méréshez használt műholdak számát látjuk, majd egy becslést a HDOP (horizontális pontosság-hígulás) értékére. Utóbbit az egyes műszerek eltérő módon számíthatják, és nem feltétlenül tükrözik az általánosan elfogadott számítási módszereket (pl. Ádám et al., 2004: 118. o.). A következő mezők már vevőről vevőre változnak, az általam használt egységben a WGS84 ellipszoid feletti magasságot következik, a következő mezőben látható „M” karakter pedig azt jelenti, hogy ez méterben értendő. Amennyiben tengerszint feletti magasságértékre van szükségünk, a legegyszerűbb

eljárás az, ha valamely globális geoidmodellbe (pl. az EGM96-ba; NIMA-NASA, 2007) behelyettesítjük a mérés szélességi és hosszúsági értékeit, és a megkapott geoidunduláció-értéket az ellipszoid feletti magasságból levonjuk. Kisebb (néhány kilométer kiterjedésű) mérési terület esetén elegendő a terület egy központi pontjára kiszámítani a geoid-undulációt, és ezt az értéket korrekciós konstansnak használni. A további mezők nem tartalmazznak a mérés szempontjából fontos információkat. A fenti képletek alapján a mérés ideje, ellipszoidi koordinátái és magassági adata az Excel-táblázatban kiszámítható és szöveges fájlba exportálható.

Summary: Real-time GPS navigation on historical topographic and cadastral maps

In this work it is shown how to realize a real-time GPS navigation on georeferenced historical maps. As free PDA softwares (eg. Paolo Ragani's MyGPS) offer the opportunity to navigate on georeferenced scans and other raster-type spatial databases, the main point of the present work is that how to georeference the old maps? An automatic or semi-automatic approach is given here, in which the old sheets can be geocoded without identical points (eg. old churches, etc.) on the terrain but to use only the geodetic and cartographic data of the old map sheet systems. Georeferencing of the scanned sheets of historical topographic (2nd and 3rd militarys survey of the Habsburg Empire) and overview cadastral (1878 and 1895 survey of Budapest) maps enables to accomplish real-time GPS navigation on these cartographic items. Using a Portable Digital Assistant (PDA) with a built-in or connected GPS receiver and a software to show the scanned maps and the GPS position it only needs the georeference of the map sheets. In the most simple PDA GPS softwares, the georeference requires/allows to use only two ground control points given by their WGS84 coordinates. The accuracy of the GPS navigation is significantly better than those of the georeferencing of the topographic maps (cca. 50 meters) but exceed the precisity of the fitting of the cadastral ones (1 meter). However, the method gives an opportunity to take a virtual tour to the past, to see, whan was the environment at the time of the mapping at the point of the survey.

In the second part of the work, I carried out a meause campaign on the basepoint set of the Eötvös University. The coordinates of these points are given with centimeter accuracy. The error of the absolute GPS navigation occured 3-5 meters without Assisted GPS, but it was much worse (7-20 meters) using the Global Locate LTO (Long Term Orbit) data on the HP PDA Quick GPS Connection file. It is the price to pay for the much quicker Time to First Fix (TFF) values, which is a few second using A-GPS, compared to more than a half minute without it. Analyzing the broadcast ephemeris data of a GPS satellite during a 10-day period, I pointed out some quasi-periodicities in the differences between the position calculated by the ephemerids of the start of the period and by the one of the current data. These periodicities were found in total distance, as well as distances along the Cartesian coordinate axes. This indicates that the method of the LTO is based on model prediction of the ephemerides.