

Nyugat-magyarországi Egyetem
Geoinformatikai Kar

A műholdas helymeghatározás alkalmazása és megbízhatóságának vizsgálata a szárazföldi közlekedésben

SZAKDOLGOZAT

Konzulens:

Dr. Busics György
egyetemi docens, NYME-GEO
Kóródi Lajos
műszaki szakértő, MÁV-TRAKCIÓ ZRT.
Braunmüller Péter
földmérő mérnök, FÖMI KGO

Készítette:

Apjok Róbert
Nappali tagozat
Földmérő és földrendező mérnöki
BSc szak, Geoinformatika szakirány

Székesfehérvár
2013

Földmérő és Földrendező Mérnök BSc Szak
Geoinformatika szakirány
Nappali tagozat
Szakdolgozat száma: 213 /2013.

APJOK RÓBERT
szakdolgozati feladata

A szakdolgozat címe: A műholdas helymeghatározás alkalmazása és megbízhatóságának vizsgálata a szárazföldi közlekedésben

A feladat leírása:

1. Szakirodalom alapján foglalja össze a GPS/GNSS technika alkalmazási területeit, lehetőségeit, előnyeit a közlekedésben. A külföldi alkalmazások mellett térjen ki a hazai megvalósult projektekre.
2. Tárja fel a DGPS technológia szükségességét, alkalmazási területeit a vasúti teherfuvarozásban. Ismertesse a mozdonyfedélzeti berendezés szerepét.
3. Vegyen részt olyan tesztmérésekben (vagy végezzen ilyent önállóan), amelyek a DGPS technika pontosságának vizsgálatára irányulnak a szokásos járműsebesség mellett, közúti és/vagy vasúti forgalomban. A pontosság-bebecsléshez geodéziai vevőt is használjon.
4. A vizsgálat térjen ki a meglévő térképek alkalmaságára és a megjelenítési lehetőségekre is.
5. Részletesen ismertesse a mérés és kiértékelés folyamatát, műszereit, tapasztalatait. Tegyen javaslatot a gyakorlatban alkalmazható technológiára.

Beadandó munkarészek:

Szakdolgozat, mint műszaki leírás az elvégzett munka bemutatásával.

Nyomtatott munkarészek (térképek, nyomvonalak, képernyő-képek, fényképek a munka nyomonkövethetőségének illusztrálására).

Teljes dokumentáció CD-n (alapadatok, digitális állományok, mérési és feldolgozási jegyzőkönyvek).

Konzulens: Dr. Busics György egyetemi docens
Kóródi Lajos műszaki szakértő (MÁV TRAKCIÓ)
Braunmüller Péter (FÖMI KGO)

Beadási határidő: 2013. november 29.

Székesfehérvár, 2013. február 22.

Dr. Busics György
tanszékezető

Dr. Mélykúti Gábor
dékán

NYILATKOZAT

Alulírott Apjok Róbert (neptun kód: [REDACTED]) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem,
hogy az

**A műholdas helymeghatározás alkalmazása és megbízhatóságának vizsgálata a
szárazföldi közlekedésben
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, 2013. november 19.

.....
Hallgató

1. 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.

Köszönetnyilvánítás

Szaktervezésem elkészültéig több ember hasznos tanácsaira és segítségére szükségem volt, melyről a dolgozatom elején szeretnék említést tenni.

Inspiráló hangvételét és segítségét köszönöm Posnyák József és Kóródi Lajos uraknak, akik a vasutas témakör felé fordították érdeklődésemet, valamint Braunmüller Péternek a felmerülő szakmai kérdések megválaszolásáért.

Segítőkéz hozzáállását szeretném megköszönni Dr. Csiszár Csaba egyetemi docensnek, aki nagyra értékelte érdeklődésemet mikor tanácsért fordultam hozzá.

Rugalmasságáról, precízségéről és a témám iránt mutatott segítőkészségéről bizonyosságot téve ezúton szeretném hálámat kifejezni konzulensemnek, Dr. Busics György tanár úrnak, akihez bármikor lehet kérdéssel fordulni.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	6
2.	A helymeghatározás szüksége, megjelenése a közlekedésüzem területén	7
3.	A műholdas helymeghatározás	9
3.1	A műholdas helymeghatározás alapelve.....	9
3.2	A műholdas helymeghatározás vonatkoztatási rendszere.....	11
3.3	A GNSS rendszer bemutatása.....	13
3.3.1	GNSS alarendszerek	13
3.3.2	GNSS kiegészítő rendszerek – GNSS infrastruktúra.....	16
3.3.3	Felhasználók köre	18
3.4	A GNSS helymeghatározás hibaforrásai	18
3.5	Mérési eljárásokhoz kapcsolódó alapfogalmak	20
3.6	A geodéziában alkalmazott mérési módszerek.....	23
4.	A telematika kialakulása és a műholdas technológia alkalmazása	26
4.1	Navigációs és telematikai rendszerek műszaki megoldásai:	27
4.2	A telematika alkalmazása a közforgalmú közlekedésben	30
5.	A DGNS technológia vizsgálata közlekedési körülmények között.....	36
5.1	A vizsgálat célkitűzései	36
5.2	Mérési módszerek és előkészületek.....	36
5.3	A mérések végrehajtása	39
5.4	A mérési eredmények feldolgozása	40
5.5	A mérési eredmények vizsgálata	42
5.5.1	Az utófeldolgozással kiértékelt mérési eredmények vizsgálata	43
5.5.2	A valós idejű mérési eredmények vizsgálata.....	47
5.6	A vizsgálat eredménye.....	56
6.	ITS – Intelligens Közlekedési Rendszerek	57
7.	Összegzés és ajánlás	62

1. Bevezetés

Az informatikai és telekommunikációs technológia ezredforduló óta töretlen fejlődése és összefonódása minden műszaki területet érint. A műholdas rendszerek, a műholdas helymeghatározás elérhetősége hétköznapijaink meghatározó tevékenységeit is kiszolgálják, valamint számos lehetőség rejlik még benne az informatika együttes alkalmazásával. A közlekedésüzem területén kezdetben ez a navigációs rendszerek elterjedését jelentette, mára ez csupán egy alkotóeleme egy olyan integrált térinformatikai és telekommunikációs rendszernek, amely vállalatok és magánszemélyek munkáját teszi hatékonyabbá nap, mint nap.

Az utóbbi évtizedek motorizált közlekedése mind az áruszállításban, mind pedig a közforgalmú közlekedésben teljesen új perspektívát nyitott, azonban a motorizáció a meglévő közlekedési infrastruktúra kimerüléséhez, valamint, a károsanyag-kibocsátás következtében komoly problémákhoz vezet.

Szakdolgozatom a hétköznapiakban alkalmazott műholdas helymeghatározási technológiát mutatja be, valamint az azon alapuló alkalmazásokat és a közforgalmú közlekedés hatékonyabbá tételére irányuló fejlesztéseket foglalja össze.

Dolgozatom gyakorlati feladataként a geodéziában használt precizitású műszert és technológiát alkalmazva vizsgálom meg a navigációs rendszerek fejlesztésének lehetőségét és korlátait. Bemutatom a műholdas helymeghatározás közlekedési körülmények között való működését, valamint ajánlást teszek fejlesztésének lehetséges irányaira, a lehetőségek és korlátok figyelembevételével.

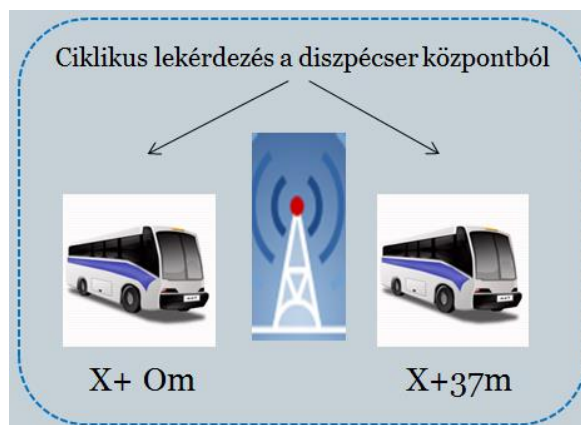
Témaválasztásom aktualitását több lezajlott és folyamatban lévő nemzetközi, valamint hazai fejlesztés mutatja, melyekbe lehetőségeim szerint megpróbálok betekintést nyújtani.

2. A helymeghatározás szüksége, megjelenése a közlekedésüzem területén

A közlekedés, legyen az közösségi közlekedés vagy árufuvarozás az urbanizáció után és a közlekedési infrastruktúra korlátainak elérését követően irányítást, valamint a járművek nyomon követését igényelte. A történelem során első ilyen alkalmazás egyike nem meglepő, hogy a közösségi közlekedés metropoliszában, Londonban alakult ki. Londonban volt a világ első földalatti vasútja, a London Underground, és a város jelenleg közel 8000 autóbuszjáratán napi 6.8 millió utas fordul meg.

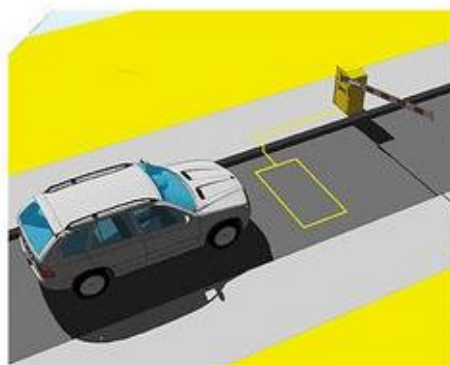
Az 1970-es években bevezetett járműazonosító rendszer optikai elven működött. Az autóbuszokon binárisan kódolt táblák voltak elhelyezve, melyeket kereszteződésekben elhelyezett leolvasók érzékeltek és küldték be adatait a központnak [1].

Ezt az elvet követve számos fejlesztés indult meg Európában, mely rendszert átfogóan AVL-nek (Automatic Vehicle Localization) nevezzük, aminek a hazánkban elterjedt és a BKV Zrt. által használt megoldása az AVM (Automatic Vehicle Monitoring/Automatikus Vonali Megfigyelés) járműazonosító rendszer. Ezek a ciklikus lekérdezésen alapuló járműazonosító rendszerek fizikai és logikai elven működnek. Fizikai helymeghatározás esetén a vonalhálózat bizonyos pontjain (kereszteződések, megállók) helykódadóknak vannak felállítva, melyek rádiós rendszeren keresztül időközönként (ciklikusan) szolgáltatnak információt a diszpécseri központnak. A logikai elven működő azonosítás eseményhez kötött, mint például az ajtónyitás az egyes megállóhelyeken. Mindegyik megoldás esetén a jármű által megtett út a járműre szerelt kerékfordulat-mérővel van mérve a hálózatban ismert távolságra lévő helykódadók között. A megoldás hatékonyan tud működni kötött pályás rendszerek esetén, de autóbuszok esetén egy esetleges forgalmi terelés esetén ellentmondásba ütköznek, hiszen a két ismert helykódadó között akár jóval nagyobb távolságot is megtehet, mint az ismert távolság, sőt akár egy soron következő helykódadó kikerülése is előfordulhat [2].



2-1. ábra Az Automatikus Vonali Megfigyelés (AVL) helykódadás működése

A vonali megfigyelést kiegészítő és egyéb megfigyelésre is alkalmas megoldás az aszfaltban elhelyezett hurokdetektorok alkalmazása. A hurokdetektorok nem csupán pozíció meghatározása miatt lettek beüzemelve, hanem az általuk érzékelt pozícióhoz valamilyen forgalomszabályozási művelet is tartozhat. Alkalmazható forgalomszámlálásra, mely dinamikus adatforrásként alkalmazható a torlódások előrejelzésére, de egy forgalmas útszakaszba torkolló kereszteződéshez érkező hurokdetektor érzékeli a jármű jelenlétét és ad zöld utat a várakozó járműnek. Ennek a 'zöld út kérésnek' nagy jelentősége van a busz-sávokban, tömegközlekedési felhasználásban.



2-2. ábra Hurokdetektor alkalmazása (forrás: www.vezess.hu)

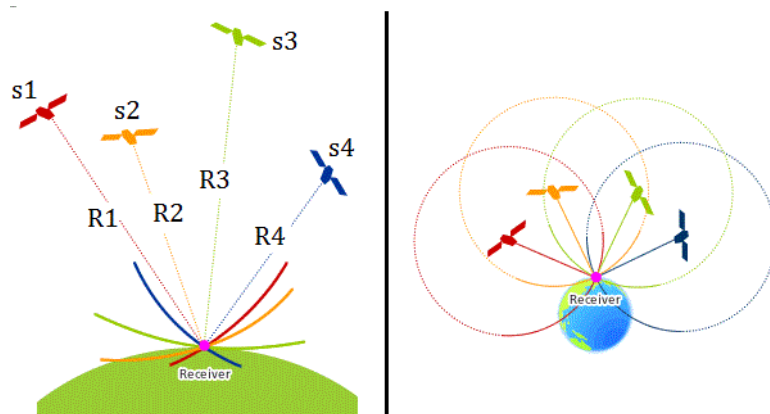
A technológiai áttörést a műholdas helymeghatározás, a GPS eszközök elterjedése jelentette. A 90-es évek elején az Egyesült Államokban már GPS alapú AVL rendszereket kezdtek használni a közösségi közlekedésben. Mielőtt bemutatom a műholdas helymeghatározó rendszerek megjelenését és beolvadását a közlekedési alkalmazásokba, ismerkedjünk meg részletesen a műholdas helymeghatározás kialakulásának történetével és technológiai hátterével.

3. A műholdas helymeghatározás

A globális műholdas navigációs rendszerek összefoglaló jellemzésére a GNSS (Global Navigational Satellite System) a helyénvaló, szemben a köztudatban pusztán GPS elnevezéssel, holott a kezdetekben (1980-as évek) már két globális helymeghatározó rendszer létezett. Ez volt az amerikai GPS és az orosz GLONASSZ. A GNSS rendszerek, és a háttérben dolgozó GNSS infrastruktúra is jelentős fejlődést mutat az informatikai fejlődéssel párhuzamosan, melynek köszönhetően a GPS ma már megtalálható hétköznapi mobil eszközeinkben, és professzionális alkalmazásban is, mint a geodézia.

3.1 A műholdas helymeghatározás alapelve

Az alapelv geometriai értelemben távolság vagy távolság-változás mérésén alapszik, mely nagy pontosságú időmérést is igényel. Alapelveként tekinthetjük a megközelítést, miszerint a mesterséges holdak helyzetét egy adott időpontban ismert pontoknak tekintjük egy előre definiált vonatkoztatási rendszerben, mely időpontban a vevő (r: receiver) és egy időben észlelt műholdak (s: satellites) között meghatározott közvetett távolságok alapján a vevő pozíciója számítható. A vevő sebessége is számítható, mivel ismerjük a vevő két meghatározott pozíciója között eltelt időt. A távolság mérése kódméréssel, fázisméréssel, vagy Doppler-méréssel történhet.



3-1. ábra A térbeli ívmetszés ábrázolása

A GPS műhold által t_0 időpontban kibocsátott kódolt jel Δt idő múlva érkezik a vevőbe. Ennek a futási időnek megméréseivel, valamint a fénysebesség (c) ismeretével a műhold-vevő távolsága meghatározható. A kódmérés során a kódkorreláció elvén a műhold által kibocsátott kódot egy a vevő által előállított referencia-kóddal hasonlítjuk össze. A mért

kódtávolság (R) az elektromágneses hullám futási idejének és terjedési sebességének szorzata. ρ a valódi geometriai távolságot jelöli, δ a kölcsönös óraállás összege.

$$R = \rho + c \cdot \delta$$

Amennyiben három műholdra végzünk egyidejűleg mérést, a vevő helyzete térbeli ívmetszéssel meghatározható. A gyakorlatban azonban a vevő és a műholdak óráját nem tekintjük tökéletesen szinkronizáltként. A műhold órahibáját ismertnek vesszük az aktív hálózatok navigációs üzeneteiben közölt precíz pályaadatok alapján, de a vevő órahibája terhelni fogja a méréseket (time offset). A time offset következtében mért áltávolságot pszeudótávolságnak nevezzük. Mivel a vevő órahibájával mindig számolni kell, a vevő pozíciója mellé egy negyedik ismeretlen is társul, melyből következik, hogy a vevő helyének meghatározására 4 műholdra való mérés szükséges. Ez négy egyenletet tartalmazó nem-lineáris egyenletrendszer megoldását jelenti. Az egyenletrendszert először linearizálni kell, majd ezután iterációval (fokozatos közelítés) oldható meg. Négyenél több műholdra való mérés esetén a túlhatározott egyenletrendszert a legkisebb négyzetek módszere szerint kell megoldani.

$$R_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2} + c \cdot \delta$$

Ezt a helymeghatározási módszert nevezzük az abszolút helymeghatározás modelljének.

Az időmérést hagyományos módszereket tekintve a Föld forgásának periodikus jelensége adta az alapot, mely szerint egy nap a Nap két delelése között eltelt idő, ennek 24-ed része egy óra. Mivel a Föld tengelye körüli elfordulása nem egyenletes, bevezették a középido fogalmát, ez a GMT (Greenwich Mean Time). Az 1960-as évektől kezdődően létezik a nemzetközi atomidő rendszer (IAT – International Atomic Time), melynek alapegysége az atom másodperc. Ennek meghatározása nagy pontosságú frekvencia oszcillátorok atomjainak rezgésszámával történik. Az atomidő mesterséges léptetéssel van a középidohoz igazítva, mely időrendszer neve a koordinált világido (UTC – Universal Time Coordinated). A GPS-nek saját időrendszere van, a GPS időskála. A GPS időrendszerben nagy jelentősége van a GPS hétnek, ami az azonosítás célját szolgálja. A GPS heteket 1-től sorszámozzák a GPS idő kezdetétől (1980. január 6.). A héten belüli napok sorszámozása szerint a vasárnap a nulladik nap, szombat pedig a hatodik.

A Positioning, Navigation, Timing szavak kezdőbetűi által a műholdas alapú szolgáltatásokat PNT-nek is jelölik, a műholdas helymeghatározás, a műholdas navigáció és a műholdas időmeghatározás összefoglalásaként [2].

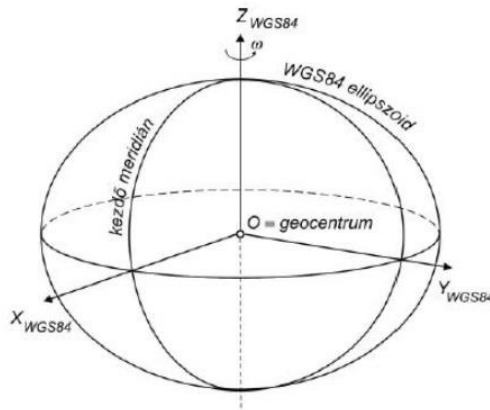
3.2 A műholdas helymeghatározás vonatkoztatási rendszere

A meghatározott pozíció geocentrikus vonatkoztatási rendszerből valamilyen általunk használt helyi rendszerbe számítandó. Biró Péter megfogalmazásában a vonatkoztatási rendszer azon anyagi pontok összessége és a hozzájuk rendelt koordináta-rendszer, melyhez a pontok helyzetét és megváltozását viszonyítjuk [3]. A helyi vonatkoztatási rendszer abban különbözik ettől, hogy nem földközéppontú. Az európai térbeli vonatkoztatási rendszert az ETRS89 (European Terrestrial Reference System) valósítja meg, amelynek fenntartását egyre inkább átveszi az európai permanens állomások hálózata, az EPN. A földi vonatkoztatási rendszer egyik megvalósulása a Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Rendszer (ITRS – International Terrestrial Reference System), mely a következőképpen van meghatározva:

- középpontja a Föld középpontja
- Z-tengelye a földi IERS Vonatkoztatási Pólus iránya
- X-Z síkja a földi IERS Vonatkoztatási Meridián
- Y-tengelye a +X és +Z tengellyel jobbsodrású rendszert alkot.

Az ITRS rendszert az egész Földön elhelyezkedő obszervatóriumok pontjai valósítják meg és alkotják együttesen a Nemzetközi Földi Vonatkoztatási Keretpontok (ITRF – International Terrestrial Reference Frame) hálózatát.

A GPS alaprendszer földi vonatkoztatási rendszere a WGS84 (World Geodetic System – Geodéziai Világrendszer), melynek koordinátáit a GPS követőállomások jelentik. A WGS84 nem csupán földi vonatkoztatási rendszert jelöl, hanem geodéziai vonatkoztatási rendszert is, ún. földmodellt. A GPS vevők kijelzőjén földrajzi koordinátákat látunk, mert szemléletesebbek az ortogonális méreteknél.



3-2. ábra A WGS 84 geodéziai vonatkoztatási rendszer

(forrás: [4])

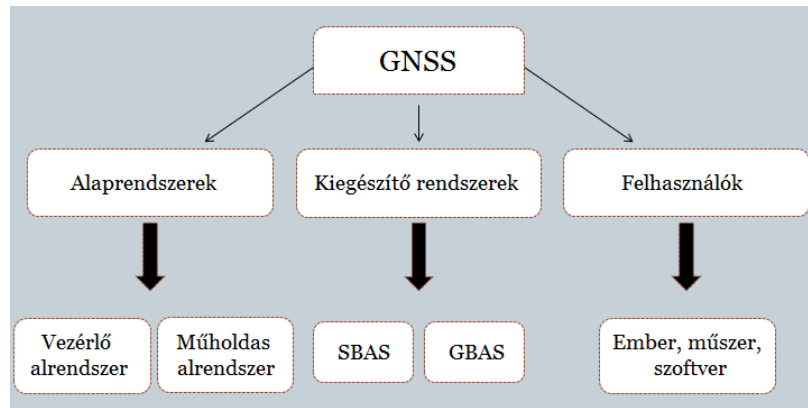
A térbeli derékszögű koordináta-rendszer origója a forgási ellipszoid origója, Z-tengelye az ellipszoid-kistengelye (a Föld forgástengelye), X-tengelye a Greenwich-i meridián síkjában van, az Y pedig X-re merőleges úgy, hogy a rendszer jobbsodrású. P terepi pont helyzetét úgy definiáljuk, hogy két szögértékkel megadjuk a P ponton átmenő ellipszoidi normális irányát, valamint a pontnak az ellipszoidi normálison mért távolságát az ellipszoid felszínétől [4].

A földrajzi ellipszoidi koordináták:

- φ ellipszoidi földrajzi szélesség (a P ponton átmenő ellipszoidi normálisnak az XY egyenlítői síkkal bezárt szöge)
- λ ellipszoidi földrajzi hosszúság (a P ponton átmenő ellipszoidi meridiánsíknak a greenwich-i kezdő meridiánnal bezárt szöge)
- h ellipszoidi magasság (a P pont és az ellipszoid felszínének legrövidebb távolsága)

3.3 A GNSS rendszer bemutatása

A GNSS rendszert a következő elkülönítésben tárgyaljuk, melyeket alrendszereknek nevezünk.



3-3. ábra A GNSS rendszerek összetevői

3.3.1 GNSS alaprendszerek

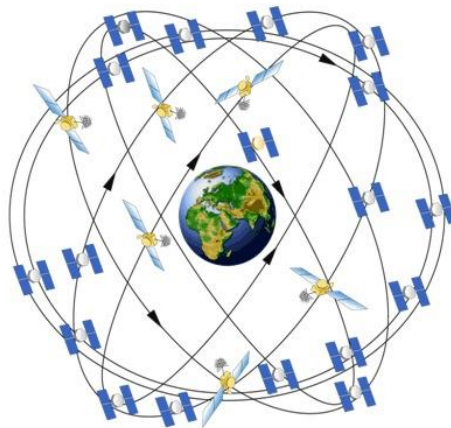
A helymeghatározás feltétele a navigációs műholdak és az azokat vezérlő rendszerek megléte, amit együttesen nevezünk GNSS alaprendszernek. Napjainkban 5 GNSS alaprendszerről van tudomásunk, mely közül az amerikai GPS és az orosz GLONASSZ üzemel ténylegesen, három pedig a tervezés állapotában van (az európai Galileo, a kínai Compass, az indiai IRNSS). Az alaprendszernek két összetevője a navigációs műholdrendszer (műholdas alrendszer), valamint egy adott vonatkoztatási rendszer ismert pontjain folyamatosan üzemelő, a rendszert felügyelő és adatokkal ellátó követőállomások (vezérlő alrendszer).

GNSS alaprendszerek – műholdas alrendszer

A GPS (Global Positioning System) az Egyesült Államok védelmi minisztériuma (DoD: Department of Defense) felügyelete alatt működő amerikai alaprendszert jelöli, amely az egyik legismertebb rövidítés a helymeghatározás és navigáció területén. Mivel a műholdas rendszerek fejlesztését elsősorban katonai célokra szánták, a rendszer üzemeltetője és fenntartója az amerikai légierő (USAF: US Air Force) és az amerikai katonai térképész szolgálat (NIMA: National Imagery and Mapping Agency). A kezdetektől (és a jövőben is) a polgári célú felhasználás is engedélyezett, sőt ezt kongresszusi és elnöki jogszabályok is biztosítják, de a GPS-t hivatalosan duális (katonai és polgári) rendszernek tekintik, s ennek a kettős feladatnak való megfelelést a jövőben is

fenn kívánják tartani, Az amerikai politika ösztönzi a GPS beépülését más civil, kereskedelmi és tudományos alkalmazásokba, mert ezzel javíthatja a közlekedés biztonságát és hatékonyságát.

A műholdas alrendszer azt a célt szolgálja, hogy „a földkerekség bármely pontján, bármely időpontban egyszerre legalább négy műhold legyen mérésre alkalmas helyzetben” [5]. Ennek a feltételnek eleget tevő műhold-konfiguráció az Egyenlítő síkjával 55 fokos szöget bezáró 6 darab ellipszispályán (félnagytengelyük 26560 km), pályánként 4 keringő műhold, melyek 12 sziderikus órás keringési idővel a Föld felszínétől mintegy 20 200 km-es távolságban vannak. A pályákat az A, B, C, D, E betűkkel jelölik, azon belül pedig sorszámozzák a műhold pozíciókat. A műholdas alrendszer a teljes kiépítést (FOC: Full Operation Capability) 1995-ben érte el, amikor 24db Block IIA típusú műhold volt pályán, 2013-ban pedig már 32 GPS hold üzemelt [3].



3-4. ábra A GPS holdak pályái (forrás: <http://garymcguire.wordpress.com/>)

A műholdak ugyanazt a két vivőfrekvenciát állítják elő, ezek:

L1: ($f_1=1575,42$ MHz, $\lambda_1=19,03$ cm), C/A és P kóddal modulálva kódmerést

L2: ($f_2=1227,60$ MHz, $\lambda_2=24,42$ cm), csak P kóddal modulálva kódmerést

L1+L2: mindkét frekvencián vivőfázis mérése lehetséges.

Ez a felosztás lényegesen megváltozik, ha megvalósul a GPS modernizációja. Ezzel a tervek szerint lehetőség adódik C/A (Course/Acquisition) kód modulálása L2 frekvencián is, valamint a P kódot felváltja a nehezebben feltörhető M (Military) kód. A polgári felhasználók számára lényeges fejlesztés pedig a harmadik frekvencia (L5) bevezetése.

A műholdak nemcsak a távolságmérésre alkalmas jeleket sugározzák, hanem a helymeghatározást kiegészítő információkkal ellátó navigációs üzeneteket is. Ezek az üzenet alegységek:

Műhold órajavítási paraméterek: A GPS rendszeridőt, a földi vezérlő állomásokon elhelyezett nagy pontosságú frekvenciaetalonok (cézium és maser órák) valósítják meg, azonban az egyes műholdak óráinak összehasonlítása a földi GPS-idővel szükséges az abszolút helymeghatározás elve során említett negyedik paraméter meghatározása érdekében.

Közelítő pályaadatok (almanach): A műholdpálya Kepler-féle pályaelemeit értjük ez alatt, melyek ismeretében a felhasználó különböző méréstervező szoftverek segítségével megtudhatja egy múltbeli vagy jövőbeli mérési alkalomkor a műhold-konstellációt.

Fedélzeti pályaadatok (broadcast ephemerides): A Kepler-pálya pontos elemei, kiegészítve a perturbáció, a nehézségi erőváltozás, a Nap és Hold hatása miatti korrekciókkal. Ezek az adatok lehetővé teszik a műhold helyzetének néhány méteres pontosságú meghatározását. Az ephemerisz-adatok érvényessége rövid távra, néhány órára szól, mert időbeli változásuk jelentős.

Ionoszférikus modellparaméterek: Az ionoszféra a Föld felső légkörének 40 km és 1000 km közé eső tartománya, ahol a Nap sugárzásának hatására megnő a szabad elektronok és ionok előfordulása. Ez jelentős hatást gyakorol a GPS holdakról érkező elektromágneses sugárzásra is: az elektronsűrűség függvényében a jel késleltetést szenved, következményként hosszabb távolságot mérünk, mint a geometriai érték. Az ionoszférikus késleltetés mértéke több tíz méter is lehet.

Műholdállapot: a pályán lévő műholdak működőképességéről tájékoztatást adó üzenet.

Az orosz GNSS alaprendszer kiépítésének célja és megoldása az amerikai GPS-hez hasonló, a rendszer a szovjet nagyhatalom válaszának tekinthető az amerikai kezdeményezésre. A GLONASSZ (*Globalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Sisztyema*) rendszer is katonai és polgári rendeltetéssel bír, katonai felügyelet alatt áll és a legmagasabb szinten valósul meg a politikai elvi irányítása. Abban is hasonlít az amerikaihoz, hogy katonai és polgári (duális) felhasználású és a civil felhasználók számára a hozzáférés korlátozható. Az abszolút helymeghatározás (degradált és anélküli) pontossága is a GPS-hez hasonló.

GNSS alarendszerek – vezérlő alrendszer

A GPS földi követőállomásait az Egyenlítő közelében, óceáni szigeteken lévő amerikai katonai támaszpontokon telepítették ismert koordinátájú pontokon. Ezek a támaszpontok Hawaii, Kwajalein, Diego Garcia, Ascension, melyek a Hawaii-n kívül a műholdakra való adatfeljuttatásért szolgálnak. Ilyen adatok a műhold pályaadatok, valamint az órakorrekciók. A GPS-korszak kezdetén négy követőállomás volt, továbbá egy vezérlőközpont Colorado Springs-ben, a Schriever légibázison. (*MCS: Master Control Station*). A vezérlő alrendszer nemcsak pozitív, „javító” szerepet töltött be, hanem manipuláló, „rontó” szerepe is volt a történelem során. Erre való magyarázat elsősorban, mint már említettem, a katonai célú felhasználás előnyben részesítése a polgárral szemben. A rendszer kiépítésekor a helymeghatározás pontossága jelentősen jobbra sikerült, mint azt gondolták volna, ezért a rendszer mesterséges torzítását, degradálását határozták el a polgári felhasználók felé. A Block II. típusú holdaknál 1990 áprilisától alkalmazták az ún. szelektív hozzáférést (*Selective Availability=SA*), ami a mesterséges holdak pályadatainak és fedélzeti órájának szándékos elrontását jelentette, hogy ne lehessen azonnali, a technikailag lehetséges pontosságú helymeghatározást végezni. Az USA elnöke 2000. május 1-jén bejelentette a szelektív hozzáférés megszüntetését. Az SA-t greenwich-i idő szerint 2000. május 2-án 4 óra 05 perckor kikapcsolták. Azóta az abszolút helymeghatározás pontossága 10 méter körülire tehető [3].

3.3.2 GNSS kiegészítő rendszerek – GNSS infrastruktúra

GNSS infrastruktúra alatt a GNSS kiegészítő rendszereket értjük. Ezeket a kiegészítő rendszereket kezdetben azért hozták létre, hogy lehetőséget adjon a helymeghatározás pontosságának növelésére úgy, mint például a DGPS szolgáltatások. Napjainkban a kiegészítő rendszerek a pontosság, az integritás és gazdaságosság növelésének eszközei egyre több szolgáltatás lehetőségét adják. A kiegészítő rendszerek között megkülönböztetünk:

- Földi kiegészítő rendszereket (GBAS – Ground Based Augmentation System)
- Műholdas alapú kiegészítő rendszert (SBAS – Satellite Based Augmentation System)

GNSS infrastruktúra – Földi kiegészítő rendszerek

A földi kiegészítő rendszerek lényegében az alaprendszertől független geodéziai hálózatok. A nagyobb területeken (ez alatt legalább országnyi területről beszélve) folyamatosan üzemelő permanens állomások alkotta ponthalmazt, melynek működése egy központ által ellenőrzött, aktív hálózatnak nevezzük. A földi kiegészítő rendszerek világméretű hálózatát az IGS (International GNSS Service), európai hálózatát az EPN (European Permanent Network), a hazai aktív hálózatot pedig a GNSSnet.hu valósítja meg.

A relatív mérési módszerek elvégzéséhez biztosítani kell referenciapontokat, de nem csak helyi rendszerben, hanem a GPS háromdimenziós koordináta-rendszerében is. Ennek megoldása lett az OGPSh, mely kialakítása során a hagyományosan kövel állandósított pontok térbeli koordinátáit is meghatározták. Az Országos GPS Hálózat 1153 pontból áll és 1997-re valósult meg, biztosítva a relatív mérések vonatkoztatási rendszerét és lehetőséget a hagyományos, valamint GPS koordináta-rendszerek közötti transzformációknak.

A magyar aktív hálózat, a GNSSnet.hu

A magyar GNSS infrastruktúra hátterét és a valós idejű mérések megvalósításának biztosítását az Országos GNSS Szolgáltató Központ jelenti. Az aktív hálózat első állomása Pencen létesült a Kozmikus Geodéziai Obszervatóriumban, majd a 2000-es évektől sorra létesültek permanens állomások általában földhivatalai épületek tetején. A teljes hálózat 2010-re épült ki. A Szolgáltató Központ szerverei az aktív hálózat 35 hazai és 19 határon túli referenciaállomás adatai alapján szolgáltatja valós idejű és utólagos feldolgozásra alkalmas adatokat. Valós időben DGNSS, RTK és hálózati RTK adatokat, utófeldolgozásra pedig a permanens állomások RINEX adatai és Virtuális RINEX adatok tölthetők le (*forrás: gnssnet.hu*).

GNSS infrastruktúra – Műholdas alapú kiegészítő rendszerek

A műholdas alapú kiegészítő rendszerek összetevői az aktív hálózaton és annak központján kívül az adattovábbítást végző mesterséges holdak és az adatfeljuttató állomások. A geostacionárius pályán lévő műholdak referencia adatokat, távolság korrekciókat továbbítanak, a földi állomások pedig az adatfeljuttatás munkáját végzik. Az

SBAS rendszerek nem katonai felügyelet állnak és szolgáltatásaik többnyire ingyenesek. Jelentőségük azon elven alapul, hogy nagy területeket vizsgálva modellezni lehet a műholdak pályadatait és az ionoszférikus hatást, tehát lehetőség van korrekciók számítására területtől, helytől függően.

Az európai SBAS rendszer: EGNOS (European Geostationary Overlay System)

Létrehozásának célja, hogy kódmeréssel lehetőség legyen helymeghatározást végezni 1-2 méteres középhibával. A földi követőállomás hálózat 34 állomásból áll, a műholdas alrendszer pedig 3 geostacionárius pályán mozgó holdat jelent. Az EGNOS 2006 óta szolgáltat korrekciókat, hivatalosan 2009 októberétől teljes kiépítésű.

3.3.3 Felhasználók köre

A GNSS rendszer különálló elemének tekintjük az ún. felhasználói oldalt. Ez alatt értjük a felhasználók által használt GNSS vevőkészülékeket, a vevőkészülékben vagy külső számítógépeken üzemelő szoftvereket, továbbá a kiegészítő rendszert üzemeltető szoftvereket. A vevőberendezéseket felhasználói körüket és ezáltal technológiai teljesítményüket három csoportra osztjuk. A navigációs célú vevők kódmeréssel abszolút helymeghatározásra képesek. Ez a csoport napjainkban igen széles körben elterjedt, hiszen az autós navigációk, karórák és okostelefonok, mind alkalmasak már ilyen célokra. Ezekkel az eszközökkel a helymeghatározás pontossága 10 méterre tehető, jó esetben 4-5 méterre javulhat. A térinformatikai vevők ugyanezen az elven akár szubméteres pontosságot is elérhetik, valamilyen kódtávolság-korrekció alkalmazásával. A geodéziai vevők fázismérést alkalmaznak távolságmérésre, és relatív mérési módszerekkel cm-es pontosságot érhetnek el.

3.4 A GNSS helymeghatározás hibaforrásai

Ionoszférikus hatás

Az atmoszféra 70-1000 km távolságú tartománya diszperzív közeg, mely jelentős mértékben képes befolyásolni a rádióhullámok sebességét. A diszperzió következtében az eredetileg szinusz-alakú rádióhullám több különböző periódusú szinuszos összetevőre bomlik. A rádiójel futási idejét ezért nem lehet egyértelműen mérni, hiszen több jelhez több futási idő tartozik. Az ionoszféra hatása függ a napszaktól, évszaktól, a műhold magassági szögétől. A navigációs vevők általában számi tással figyelembe tudják venni a hibahatás egy részét, melynek tapasztalati úton levezetett képlete a Klobuchar-modell. A

hibahatással nem kell számolni 10 km-nél rövidebb távolságok esetén, ilyenkor elegendő L1 frekvencián mérni. Nagyobb távolságok esetén a kétfrekvenciás vevők szerepe előtérbe kerül, mert a két frekvencián mért fázistávolságok lineáris kombinációjával a hibahatás kiküszöbölhető.

Troposzférikus hatás

A Föld-közeli, 12 km-es troposzféra rétege nem diszperzív közeg, a rádióhullámok benne egyféle sebességgel és törésmutatóval terjednek. A törésmutató a hőmérséklettől, légnyomástól és a levegő páratartalmától függ, és minden mérési frekvenciát ugyanolyan hibával terhel. A hatás csökkentésére a Hopfield-féle és a Saastamoinen-féle modellt alkalmazzák a GPS feldolgozó programokban.

Többutas terjedés

A multipath a nem közvetlenül, hanem a tereptárgyakról visszaverődő jelek zavaró hatását jelenti, melyek miatt hibával terhelt távolság mérés történik. A többutas terjedés a kódtávolság mérését jóval nagyobb hatással befolyásolhatja. Kiküszöbölése az álláspont körültekintő megválasztásával lehetséges.

Relativisztikus hatás

A műhold és a vevő két különböző nehézségi erőterben vannak, ezért a műhold jele a Föld nehézségi erőtere következtében alakváltozást szenved, ezért az egyenes vonalú műhold-vevő távolság hibával terhelt. Az eltérés igen csekély, ezért a relatív mérési módszereket nem befolyásolja.

A fáziscentrum külpontossága

A hiba akkor áll fenn, amikor az antenna fizikai középpontja, nem esik egybe a rádióhullámok vételi helyével. A külpontosság mértéke függ a az érkező jel irányától, erősségétől és frekvenciájától. A hibahatás csökkentése érdekében az antennát Északra tájolva szoktuk felállítani szabatos mérések végzésekor.

Műhold-geometria hatása

A méréseink megbízhatósága függ a vevő felett látható műholdak és a vevő egymáshoz viszonyított helyzetétől, darabszámától. Ennek hatását a DOP-értékkel fejezzük ki (Dilution of Precision – a pontosság hígulása). Értéke folyamatosan változik, ahogyan a

műholdak is folyamatos mozgásban vannak az észlelést végző vevő felett. A DOP érték dimenzió nélküli szám, értéke ideális esetben 2. Számítása a következőképp történik: A kódérés alapelve során ismertetett linearizált egyenletrendszer együtthatóival képezzük a Q súlykoefficiens mátrixot. A DOP-érték a Q mátrix főátlójában lévő elemek segítségével számítható [4].

$$Q = (A^T A)^{-1} = \begin{bmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{YX} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{ZX} & q_{ZY} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{tX} & q_{tY} & q_{tZ} & q_{tt} \end{bmatrix}$$

$$GDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}}$$

3.5 Mérési eljárásokhoz kapcsolódó alapfogalmak

A következő fogalmak és kifejezések egy általános összefoglaló abból a célból, hogy gyakorlati mérés leírását és a mérési eljárások jobb megértését szolgálja.

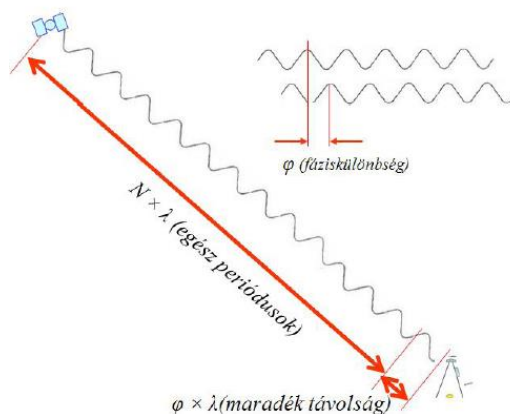
Kódérés

A GPS műhold által t_0 időpontban kibocsátott kódolt jel Δt idő múlva érkezik a vevőbe. Ennek a futási időnek megméréseével, valamint a fénysebesség (c) ismeretével a műhold-vevő távolsága meghatározható. A kódérés a kódkorreláció elvén a műhold által kibocsátott kódot egy a vevő által előállított referencia-kóddal hasonlítjuk össze. A mért kódtávolság (R) az elektromágneses hullám futási idejének és terjedési sebességének szorzata. Amennyiben három műholdra végzünk egyidejűleg mérést, a vevő helyzete térbeli ívmetszéssel meghatározható. A gyakorlatban azonban a vevő és a műholdak óráját nem tekintjük tökéletesen szinkronizáltnak. A műhold órahibáját ismertnek vesszük az aktív hálózatok navigációs üzeneteiben közölt precíz pályaadatok alapján, de a vevő órahibája terhelni fogja a méréseket (time offset). Ennek következtében mért áltávolságot pszeudótávolságnak nevezzük. Mivel a vevő órahibájával mindig számolni kell, a vevő pozíciója mellé egy negyedik ismeretlen is társul, melyből következik, hogy a vevő helyének meghatározására 4 műholdra való mérés szükséges. A kódérés alapegyenlete:

$$R = \rho + c \cdot \delta$$

Fázismérés

Fázismérés során a vevő által előállított referencia jel és a műhold kibocsátott vivőjel fáziskülönbségének mérése történik. A fázismérés eredménye egy olyan szám, melynek egész része a ciklusok számát adja (N darab λ hullámhossz), törtrésze pedig a fáziskülönbséget (ΔR). A ciklusok számlálásának kezdetét nem ismerjük. Az első alkalommal rögzített fázismérés eredményében csak a törtrészt tudjuk mérni, az egész rész számlálásának kezdete ismeretlen. Ennek az egész résznek a meghatározása a ciklus többértelműség feloldása.



3-5. ábra A fázismérés elve

Ideális körülmények között, azaz vákuumban való terjedést feltételezve, a hibahatásokat pedig figyelmen kívül hagyva, a fázisérték úgy fejezhető ki, mint a fázishelyzetek különbségének és a ciklusok számának összege:

$$R = N \cdot \lambda + \Delta R$$

Fázismérés teljes alapegyenlete a kódérés alapegyenletének felhasználásával a következő:

$$\varphi = \frac{1}{\lambda} \cdot \rho + f \cdot \Delta t - N$$

Abszolút és relatív helymeghatározás

Abszolút helymeghatározásról (SPP – Single Point Positioning) beszélünk egyetlen vevővel való kódmérési eredményekre támaszkodó mérés esetén. A geodéziai pontosságot nem elégíti ki, ehhez több vevő egyidejű (szimultán) mérésére van szükség,

mely során a mozgó (rover) vevő az ismert pontokon mérő vevők (reference) adataiból levezetett korrekciókat használja pontmeghatározáshoz.

Valós idejű és utólagos feldolgozás

A GPS térhódításának kezdetén relatív mérési módszerekből csak utólagos feldolgozással, azaz a nyers mérési eredmények számítógépes utómunkája eredményeként lehetett megkapni. Napjainkban a relatív mérési módszerekkel is valós időben történhet helymeghatározás, ebben az esetben a vevő terepen másodpercenként kapja a referenciállomás korrekcióit.

Statikus és kinematikus mérési módszer

A technológia kezdeti felhasználásakor a mérések csak műszerállványra helyezett vevőkkel történtek, azonban az inicializálás problémájának megoldása óta lehetőség van mozgás közbeni helymeghatározásra is.

Egybázisos és több-bázisos megoldás

Egybázisos megoldásról akkor beszélünk, amikor a helymeghatározásban egyetlen adott pont (single base) vesz részt. Ha a helymeghatározáshoz több pontról mért vektorokat használunk fel, akkor beszélünk több-bázisos megoldásról (multi-base solution).

Autonóm és szolgáltatásra támaszkodó mérés

Autonóm mérés során a felhasználónak maga kell gondoskodnia a relatív helymeghatározás megvalósulásához szükséges több vevő egyidejű méréséről. Amennyiben ez a mérés saját vevővel történik, autonóm módban és csak a vektor-mérés idején üzemeltetjük a vevőt, akkor azt a 47/2010. (IV. 29) FVM rendelet szerint bázisállomásnak nevezzük [4].

Szolgáltatás igénybevétele esetén a felhasználó az aktív hálózat állomásai által szolgáltatott korrekciókat, a hazai GNSS infrastruktúrát veszi igénybe. Ha egy alapponton állandóan méréseket végző vevőt állítunk fel, azt permanens állomásnak nevezzük. Referenciaállomásnak pedig az ilyen állandóan mérést végző, továbbá a folyamatosan monitorozott aktív hálózatban lévő állomásait nevezzük.

Idézet a 47/2010. (IV. 29) FVM rendeletről:

„Permanens állomás: ismert alapponton folyamatosan észlelő GNSS vevőberendezés;

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

Bázisállomás: korábban meghatározott alapponton felállított, a relatív helymeghatározásokhoz szükséges referencia-méréseket végző GNSS vevőberendezés.”

3.6 A geodéziában alkalmazott mérési módszerek

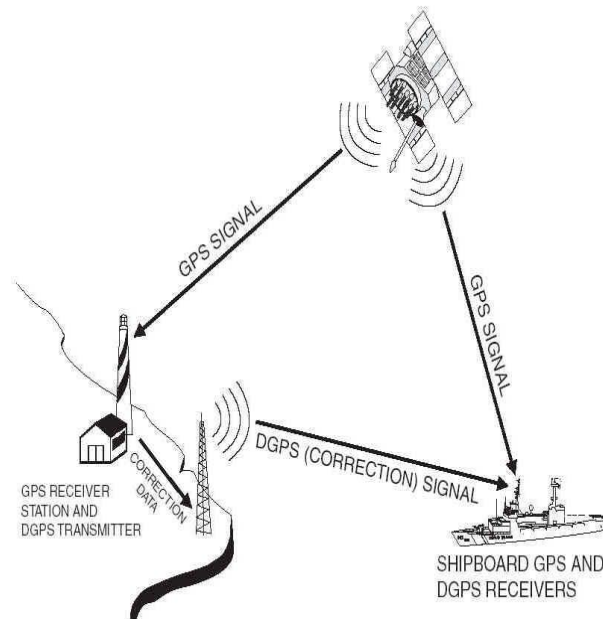
Az előző fejezet fogalmainak tisztázása után azokat az alapvető mérési módszereket mutatom be, melyek geodéziai gyakorlatban használtak, és gyakorlati feladatomban próbáltam ki, hogyan teljesítenének járműnavigációs alkalmazás esetén.

Utófeldolgozásos kinematikus technológia

A GPS technológia alkalmazásainak kezdetén a vevőantenna mozgás közbeni helymeghatározása geodéziai pontossággal még nem volt megoldható. A vevő bekapcsolása után történő inicializálás sok időt vett igénybe, menet közben pedig többnyire sikertelen volt. A probléma menet közben akkor jelentkezik, ha takarásos környezetben a látható műholdak száma 4 alá csökken, és jelvesztés miatt menet közben lenne szükség újrainicializálásra. Ennek a menet közbeni inicializálásnak (OTF – On The Fly) kifejlesztése az RTK (Real-Time Kinematic) korszakban valósult meg. A valós idejű mérések között így megkülönböztetünk félkinematikus (Stop-and-Go) és valódi kinematikus módszert (True Kinematic Survey). A félkinematikus mérés alkalmazása során a vevő felállítása tartórúdon történik a meghatározandó pontok helyein. A mérés pontossága nem marad el a gyors statikustól, viszont ügyelni kell a tartórúd mozdulatlanságára a mérés időtartama (1-30 másodperc) alatt, hogy a pont azonosítása ne legyen téves. A félkinematikus mérés lényeges előnye a gyorsan elvégezhető felmérés lehetősége. A geodéziai pontosságnak lehetőséget adó helymeghatározás feltétele a relatív mérési módszer alkalmazása, tehát a mozgó (rover) vevő munkája a felhasználó által felállított bázisvevő, vagy szolgáltatás igénybevételel biztosítható. A terepen mért nyers mérési adatokból koordináták ezután számítógépes utómunkával nyerhetők.

Differenciális helymeghatározás kódtávolságokkal

Hagyományos DGPS (Differential GPS) technikáról akkor van szó, ha egy ismert ponton üzemelő bázisvevő az ismert pont koordinátaiból számított távolság és a mért kódtávolság különbségét valós időben a mozgó vevőnek továbbítja, ezzel megjavítva a mozgó vevő által mért távolságokat.



3-6. ábra A DGPS szolgáltatás elvi működése

Hagyományos RTK technológia

A geodéziai célokra alkalmazható valós idejű technológia (Real-Time Kinematic) 1994-ben jelent meg, melynek működési feltétele a referencia-vevő teljes mérési anyagának (kódmérés és fázismérés) és a bázisvevő koordinátáinak egyidejű továbbítása a mozgó vevő számára, valamint alapvető a mozgás közbeni inicializálás (OTF – On The Fly) szoftveres megoldása is. A mérési adatok továbbításának kezdeti megoldását URH rádió volt. A mérési elv megegyezik az utófeldolgozós technológia elvével, azonban az utófeldolgozást alkalmazó technológiával szemben RTK esetén már terepen koordináták állnak rendelkezésünkre. Az aktív hálózat kiépítésével referencia céljából az aktív hálózat permanens állomásai ebben az esetben kézenfekvő megoldásnak bizonyulnak. Az adattovábbítást a mobilkommunikáció fejlődése és az RTCM formátumú adatok interneten történő szabványosított továbbítása (NTRIP) tette lehetővé.

Hálózatos RTK technológia

A hagyományos RTK elvét továbbfejlesztő koncepció egy nagyobb területen összehangoltan működő permanens állomásokat jelent, melyek adatait feldolgozó központ gyűjti össze és elemzi abból a célból, hogy a méréseket befolyásoló tényezőket modellezze, és szolgáltatásai révén lehetővé tegye a lefedett térségben tevékenykedő felhasználók számára a nagy pontosságú valós idejű helymeghatározást. A központ valós idejű adatokat szolgáltat a felhasználók felé a nap 24 órájában, erre mondjuk, hogy a rendelkezésre állás garantált szolgáltatás.

A hálózat elvén működés azon tulajdonsága, hogy a referenciavevők ismert helyzetű pontokon folyamatosan mérnek, így az állomások között értelmezett ciklustöbbsértelműség a műhold pályahibák, a légköri és más hatások kiszámíthatók, majd a hibahatásokból adódó korrekciók képezhetők és továbbíthatók a felhasználók felé. Ezáltal megvalósítható az egy vevővel végzett, cm pontosságú, valós idejű GNSS mérés.

A hálózatos RTK technológiája három részegységre tagolható. Az állomáshálózat adatait központban előfeldolgozzák, majd ezekből kiindulva a korrekciós modellparamétereket határoznak meg. Ezeket a felhasználó földrajzi helyére megfelelően kell interpolálni és a korrekciós adatokat a mozgó (rover) vevőnek eljuttatni.

4. A telematika kialakulása és a műholdas technológia alkalmazása

A műholdas navigáció fejlődése hatást gyakorol a modern gazdaság minden ágazatára, a termékek és elérhető szolgáltatások piaca évről-évre növekszik. A szállítmányozási ágazat forradalmi eszközként alkalmazza az áruszállításban résztvevő járműveiken a nyomkövető berendezéseket. A tengereken és vízi utakon a műholdas technológia alkalmazása természetes választás. Az olyan technológiák fejlődése, mint a rádiófrekvenciás azonosítók, az informatika, a vevőkészülékek miniatürizálása, megteremtik a lehetőséget egy összetett rendszer kiépítésére, – nem csak a közlekedésüzem területén – mely alapvetően támaszkodik a műholdas helymeghatározásra.

A műholdas helymeghatározás, az informatika és a telekommunikáció integrált tudománya a telematika fogalmát hívta életre. A közlekedési telematika a telematika egy részhalmaza, mely a közlekedési infrastruktúrában a járművek és telekommunikációs eszközeik összességét jelenti. A telematika a térbeli folyamatokat, a közlekedésüzemet látja el információval. Ez a minden járművön individuálisan működő fedélzeti egységeket, a telekommunikációs és forgalomtechnikai alkalmazások együttes menedzselését jelenti.

A telematika célorientált alkalmazása számos lehetőséget rejt magában. A meglévő közlekedési infrastruktúrát hatékonyan kihasználva, egyes túlterhelt útvonalakat tehermentesítve a közlekedési alágazatok között ún. intermodális munkamegosztást lehet kialakítani. Magyarország átmenő forgalmát, ezzel együtt az úthálózat amortizációját csökkenthetné a Ro-La (teherautók vasúti kocsin való szállítása) szállítási mód újraindítása. Az osztrák Wels és Kiskundorozsma között közlekedő „gördülő országút” 2012 óta nem működik, ezzel évi 30.000 kamion forgalma terheli a magyar autópályát, miközben Románia uniós forrásokból tervezi fejleszteni intermodális csomópontjait (*forrás: iho.hu*). Tudni kell, hogy Magyarország az egész Európát érintő áru fuvarozást illetően helyzetileg nagyon forgalmas tranzit útvonalon helyezkedik el. A transzeurópai közlekedési hálózat (TEN-T) kiterjesztése a páneurópai közlekedési folyosók, melyek kiépítésének célja az európai országok közötti hatékony közlekedés és áruszállítás infrastruktúrájának megteremtése. A közúti áruszállítás és a navigáció óriási piacot jelent a GNSS termékeket gyártó cégek számára. Közúti forgalomban megtakarítás lehetséges a

torlódások, üres futás elkerülésével mind időben, üzemanyagban és károsanyag-kibocsátásban. A telematika alkalmazása kiemelkedő jelentőséggel bír a Just In Time logisztika megvalósításában.

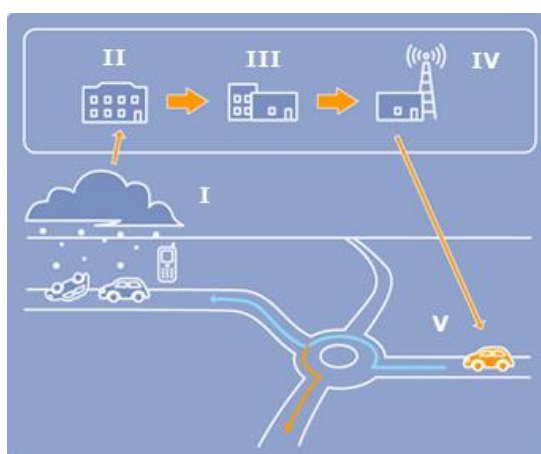
A műholdas helymeghatározás alkalmazásáról az Európai Községgek Bizottsága 2006-ban fogalmazta meg Zöld könyvét a műholdas navigációs alkalmazásokról, mely megfogalmazza a kiépítés alatt álló Galileo műholdrendszer céljait és alkalmazási területeit [6]:

- Helymeghatározó alapú szolgáltatások és segélykérő hívások
- Közúti szállítás
- Vasút
- Tengerhajózás, halászat és belvízi hajózás
- Légiközlekedés
- Polgári védelem, veszélyhelyzetek kezelése és humanitárius segítségnyújtás
- Veszélyes áruk
- Élőállat szállítás
- Mezőgazdaság, parcellamérések, geodézia és kataszteri felmérés
- Energia, olaj és gáz
- Kutatás és mentés
- Egyéb alkalmazások: logisztika, környezetvédelem, tudomány, bűnüldözés

4.1 Navigációs és telematikai rendszerek műszaki megoldásai:

- Statikus autonóm navigációs rendszerek: a navigáció a fedélzeti berendezés előtelepített térképén történik, nem pedig külső kommunikációs infrastruktúra alapján.
- Dinamikus navigációs rendszerek: a navigáció egy központból érkező statikus adatok, valamint dinamikusan érkező információk alapján történik. A dinamikus információk az RDS (Radio Data System) és a TMC (Traffic Message Channel) rendszer kifejlesztésével a rádiós rendszereken keresztül jutnak el a sofőrökhöz. A rendszer a közlekedési információkon kívül alkalmas DGPS korrekciós jelek sugárzására is.
- Kétoldalú kommunikációt folytató navigációs rendszerek: a jármű fedélzeti berendezése saját adatai megadva kommunikál a központtal, mely pedig adatokat szolgáltat a járműnek. Az adattovábbítás történhet GSM hálózaton keresztül [7].

Az Ipari Kommunikációs Technológiai Intézet által kifejlesztett MyTraffic nevű alkalmazás mobilinterneten keresztül fogadja a rendszerben regisztrált járművek GPS adatait, mely alapján a központ valós idejű adatokkal rendelkezik a forgalom alakulásáról, melyről vész helyzet, torlódás esetén ugyanezen a csatornán információt szolgáltat a járművekben lévő navigációs rendszer számára. A mytraffic.hu oldalon regisztrálók saját forgalomelemző adatbázissal rendelkeznek, mely a megelőző fél óra adatait tartalmazza. A rendszer magánszemélyek adatait használja fel, mely miatt az adatok minősége nem garantálható. (forrás: <http://bitport.hu/megoldasok/magyar-fejleszt-es-a-koezlekedesi-dugok-ellen>)



4-1. ábra Forgalmi információk áramlása RDS-TMC csatornán (forrás: www.tomtom.com)

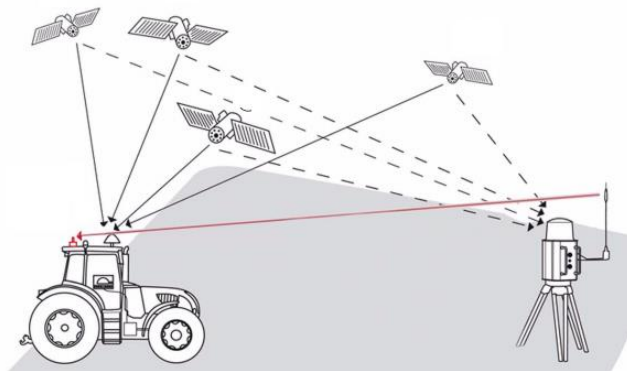
Speciálisan a nagy járműparkkal rendelkező vállalatok körében kezd alapkövetelménnyé válni a flottamenedzsmentet elősegítő telekommunikációs rendszer kiépítése, melynek járművön lévő meghatározó berendezése a navigációs rendszer. Ezzel egyszerre megoldott a lopást biztosító járműkontroll, de a nyomkövetésen túl az elektronikus tachográf adatrögzítése is megoldott. Nem utolsó sorban fontos megemlíteni, hogy már hazánkban is elfogadják a hatóságok a GPS-adatokat balesetek és közúti szabálytalanságok felderítésének céljából. A GPS adatai perdöntőek lehetnek, hiszen utólag visszakereshető a jármű sebessége és helyzete.

A flottakövető rendszerek alkalmazásával a járműdiagnosztikai adatok rögzítésén és ellenőrzésén túl a technológia olyan átfogó infrastrukturális fejlesztésre is lehetőséget ad, mint az elektronikus útdíj-rendszer alkalmazása. 2013 nyarán vezették be hazánkban a megtett úttal arányos elektronikus útdíjfizetési rendszert, mely a magyar úthálózat több, mint 6000 km-es szakaszát érinti. Az útdíjszedés a 3,5 tonnát meghaladó járművekre vonatkozik, az útdíj bevallás pedig a HU-GO rendszerben történik. Gyakori úthasználat

esetén – flottával rendelkezőket érint – egy olyan fedélzeti berendezéssel és navigációs rendszerrel van nyomon követve a fizetős szakaszon megtett út, mely alapján elektronikusan megoldott a díj kifizetése *(forrás: <https://www.hu-go.hu/>)*.

A GINA elnevezésű 2 éves projektet az Európai Bizottság (PHARE) kezdeményezte az útdíjszedés tesztelését EGNOS, valamint a leendő Galileo szolgáltatásaira támaszkodva. A projekt feladata volt demonstrálni a helymeghatározás hozzáadott értékét a közlekedési szektorra nézve, valamint tesztelni, hogy a navigációs berendezés esetleges szolgáltatás kiesés miatt produkálhat-e inkorrekst adóztatást. A GINA által tervezett fedélzeti berendezést hetekig tesztelték különböző útvonalakon. A berendezés egyfrekvenciás vevővel volt felszerelve, referenciának kétfrekvenciás vevőket használtak inerciális navigációs rendszerrel kiegészítve. Az EGNOS szolgáltatásai nem teljesítettek kiemelkedően, jóllehet azért, mert a kódkorrekciós szolgáltatások elsősorban a hajózás és a légiközlekedés területén bevált alkalmazás. Ezért leginkább csak az autópályán teljesített kielégítően a berendezés, de ennek ellenére számottevő túladóztatás sem történt. A projekt rámutatott a fejlesztések lehetőségére, valamint a rendszer várható korlátaira [9].

A műholdas helymeghatározás professzionális alkalmazása elsősorban a geodéták körében elterjedt, azonban jelentős mértékben alkalmazzák már a precíziós mezőgazdaságban. Alkalmazása csak nagy területeket művelő felhasználóknak kifizetődő, valamint ahol óriási kiadással járó működtetésű gépeket használnak. Bár hazánkban nem mindennapos még RTK technológiát alkalmazni a termőföldeken, a külföldi példák alátámasztják a témám és vizsgálataim létjogosultságát. A GPS alkalmazásával a modern farmerek valós időben kapnak információt az aratás állapotáról, a művelt területtel kapcsolatos nyilvántartásról, az erőforrások pillanatnyi állapotáról.



4-2. ábra RTK technológia alkalmazása a mezőgazdaságban

(forrás: CLAAS CO-PILOT kézikönyv, www.axial.hu)

4.2 A telematika alkalmazása a közforgalmú közlekedésben

A 2013. évi Közlekedéstudományi Konferencián több előadó témája volt a tömegközlekedésben végbement telematikai fejlesztés, például a Győr Megyei Jogú Város közösségi közlekedését fejlesztő koncepció vagy az új forgalomirányító és utastájékoztató rendszer kialakítása a Kisalföld Volán Zrt.-nél [10].

A fejlesztés technikai oldalát a több, mint 100 autóbuszra feltelepített fedélzeti számítógép, utasszámláló berendezések jelentették, valamint 5 fő-közlekedési csomópontban zöldút-kérés alkalmazását vezérlő egységeket állítottak fel.

A Pécsi Közlekedési Zrt. esetén hasonló célokat szolgáló fejlesztése során létrehozott rendszer a következő feladatokat látja el:

- Forgalomirányítás: járművek helyzetének valós idejű megjelenítése, késés/sietés jelzése.
- Utastájékoztató: a járművön és megállóhelyeken elhelyezett dinamikus információkkal ellátott kijelzők felállítása.
- Teljesítmény elszámolás: Gépjárművezető tevékenységeinek archiválása, futott kilométer és üzemanyag-elszámolás kimutatása.

A tömegközlekedési eszközök fedélzeti berendezéseit GPS vevőkkel látták el, melyek a járművek helyzeti adatait GPRS kommunikáción juttatják el a mobilszolgáltató szerverére, majd kapja meg azt a közlekedési szolgáltató információs központja. A GPS és a fedélzeti berendezés másodpercenként meghatározza a jármű helyzetét és a

megállóhelyek földrajzi koordinátaival összevetve irányítja az utastájékoztató rendszert. A jármű helyzete digitális térképen nyomon követhető a központban, valamint a járással kapcsolatos információk azonnal eljuttathatók az utazóközönséghez. Ennek megoldása például az interaktív berendezés a megállóhelyeken, ahol az esetleges késésről azonnal információt szereznek az utasok.

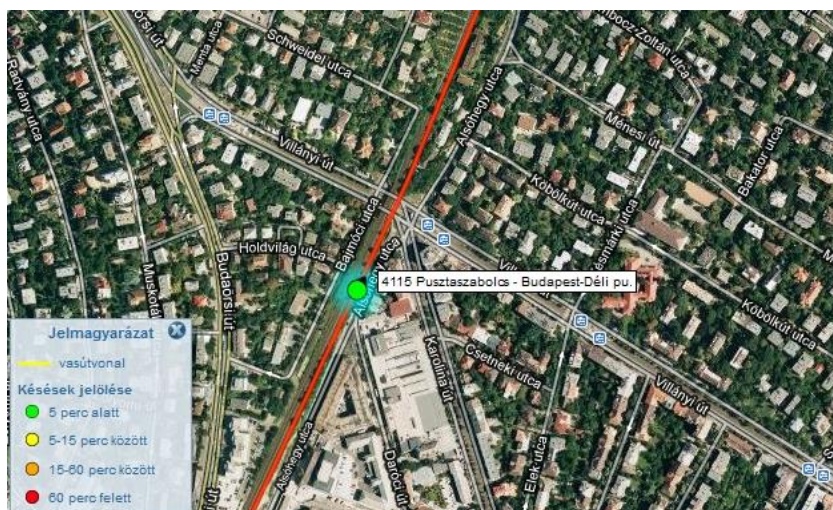
A járműveken kis hatótávolságú rádióadókkal lehet irányítani a közlekedési lámpákat zöld útérés céljából. A jármű sebességének és helyzetének ismeretében, amennyiben szükséges, a fedélzeti számítógép kódot küld a jelzőlámpa vezérlésnek, hogy a zöld fázis meghosszabbodjon *(forrás: <http://ko.sze.hu/konferencia-2013>).*

Hasonló műholdas fejlesztések már más városokban, így Londonban is végbementek már, melyet London iBus System-nek neveznek. 2009-re minden autóbusz fel lett szerelve GPS rendszerrel, odométerrel.

Hazánkban jelenleg kezdeti szakaszban, az adatgyűjtés szakaszában lévő projekt a BusEye nevű kezdeményezés, mely az informatika és helymeghatározás összefonódásának jó példája. A célja a közösségi közlekedés előtérbe helyezése, továbbá a dinamikus terjedő intelligens mobil eszközök kihasználása valós idejű utastájékoztató céljából, előzetes tesztekkel és megfigyelésekkel figyelembe véve az utazási szokásokat *(forrás: www.kukg.bme.hu/kutatas/projektek/BusEye_projekt.html).*

Ilyen elven működő alkalmazás természetesen a vasúti alágazatot érintve is megjelent. A Vonatinfo 2.0 alkalmazás lehetővé teszi a Magyarországon közlekedő összes személyvonat Google térképen való követését.

A Vonatinfo a mozdonyokra és motorvonatokra szerelt GPS jeleit, a forgalomirányítás, a biztosítóberendezések és más vasúti információs rendszerek adatait gyűjti össze. Ezek az adatforrások előre meghatározott hierarchia szerint sorba vannak állítva. Tehát, ha egy mozdonyon elromlik a GPS, akkor a Köfe és Köfi rendszerek (Központi forgalomellenőrző és –irányító) adatait használják fel a térképes megjelenítéshez *(forrás: www.iho.hu).*



4-3. ábra A Vonatinfó alkalmazás (forrás: www.iho.hu)

Mivel a vasúti közlekedés biztonságának megteremtése a vasút kötött pályája miatt szigorú fegyelmet követel meg, ezáltal kiterjedt irányítási rendszert igényel. Az Európai Unió közlekedéspolitikájának fontos része a vasút fejlesztésének irányelve, melynek célkitűzése a vasúti kapacitáskihasználás és a közlekedési alágazatok közötti együttműködés javítása. Hazánkat érintő legfontosabb irányelv, hogy az EU tagországok számára biztosítanunk kell a vasúti pályánkhoz való hozzáférést, mely azt is jelenti, hogy ehhez megfelelő színvonalú telematikai rendszerrel kell rendelkezünk. A vasúti közlekedés sínhez kötöttsége magától értetődően lehetőséget ad a szerelvények mozgásának nyomon követésére a biztosítóberendezések által. A szerelvények összetételéről azonban nem ad tájékoztatást. Erről egy összetett rendszernek kell gondoskodnia.

A MÁV Zrt. Szállításiirányítási Információs Rendszere (SZIR) országos kiterjedésű, számítógépes rendszerre épülő vasúti áruszállítással kapcsolatos adatokat gyűjtő, tároló, elosztó rendszer. Elsődleges célja a kereskedelmi vonatforgalomról információkat adjon az üzemeltetőnek. A vasúti kocsival és a rajta lévő áruval bármi is történjék, arról a SZIR rendszerben nyilvántartás készül [8].

A vontatójárművek vezetőállásán elhelyezett fedélzeti számítógép a Mozdonyfedélzeti Berendezés (MFB). A MÁV-TRAKCIÓ Zrt. jogelődje 2006-ban határozta meg szükségét egy olyan mozdonyfedélzeti berendezésnek, mellyel a vontatójárművek teljesítményadatai és energiafelhasználása pontosan mérhető. Az MFB a járművek irányításába nem avatkozik be, csupán a műszaki jellegű adatgyűjtésért felel. A berendezés részegysége a GPS adó, mely jelenleg 20 méteres pontossággal határozza meg

a szerelvény helyzetét. A GSM alapon működő kommunikációval az elemző informatikai központnak percenként továbbítja az adatokat. A vasúti alkalmazásra a GSM-R rendszer került kifejlesztésre a vasút-üzemeltetés vezeték nélküli kiszolgálására, mely ugyanazt a GSM900 technológián alapul, melyet a mobilkészülékek is alkalmaznak.

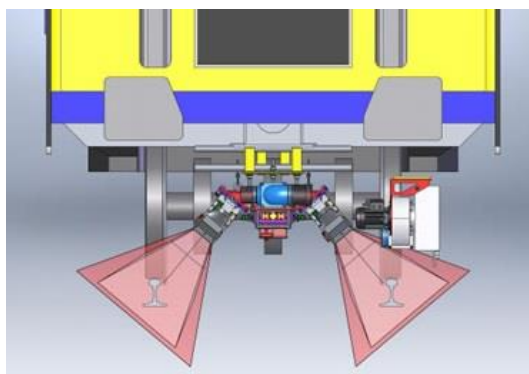
A távlati tervek szerint a fedélzeti berendezés szolgáltatja majd a megfelelő bemenő adatokat (például földrajzi koordináták, sebesség, ezek alapján a késésre vonatkozó információkat) az utastájékoztató rendszerek működtetéséhez. A mozdonyfedélzeti berendezés fejlesztése érdekében ezért 2013-ban egy terv is napirendre került a MÁV-TRAKCIÓ és a FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) közös munkájaként. A projekt a vasúttársaságnál történt átszervezések és forráshiány miatt nem valósult meg, azonban a Mozdonyfedélzeti Berendezés (MFB) fejlesztésének ötletéből adódóan indokoltnak láttam a geodéziában alkalmazott helymeghatározás vizsgálatát az eredeti cél érdekében. A Mozdonyfedélzeti Berendezés fejlesztésének célja lett volna a sávszintű helymeghatározás biztosítása azokon a vonalakon, ahol egyéb adatgyűjtő technológia nem áll rendelkezésre a szerelvény helymeghatározása céljából. Amennyiben sávszintű meghatározásról van szó, az 1435 mm nyomtávú vasútvonalakat tekintve szükséges a helymeghatározó berendezés fejlesztése kódkorrekciókkal, vagy akár hálózatos RTK alkalmazásával.



4-4. ábra Mozdonyfedélzeti Berendezés (MFB) (forrás: www.prolan.hu)

A fejlesztés létjogosultsága hazai és külföldi példákkal is alátámasztható. Már 2006-ban készült egy tanulmány a GNSS technológia alkalmazásáról a vasúti gépek pozicionálásának fejlesztése érdekében. A tanulmány célja volt képet adni a GNSS technológia elvárható pontosságáról és megbízhatóságáról vasúti környezetben. A tanulmány készítésében a MÁV Központi Felépítményvizsgáló Kft. szakmai irányításával és földmérő kollégák segítségével készült. A MÁV-KFV Kft. rendelkezik olyan

mérőberendezésekkel és mérőkocsikkal, melyek a vasúthálózat síndiagnosztikai, vágánygeometriai méréseit végzi el évről évre. A mérés egy referencia előállításával kezdődött. Egy vasúti pályaszakasz Lepsény külterületén került felmérésre RTK technológiát alkalmazva. Az FMK-007 típusú mérőkocsin ezután el lehetett végezni a valós idejű méréseket a kiválasztott szakaszon, melyen több ismétléssel, különböző sebességgel végeztek méréseket valós időben, melyet utófeldolgozással is kiértékeltek.



4-5. ábra FMK-007 felépítményi mérőkocsi mérőrendszere (forrás: www.mavkfv.hu)

Az mérések elemzése alapján látható volt, hogy az eltérések és szórások mértéke függ a sebességtől, valamint a mérési módszertől. Számszerű adatok közlésétől eltekintek, tényként kijelenthető azonban, hogy a sebesség növekedése alapvetően nem jelentett egyértelműen növekedő pontosságraomlást is, a problémát inkább az jelenti, hogy nagyobb sebesség esetén a másodpercenként tárolt pozíciók közötti távolság nő, ami miatt a sítengely vonalvezetése nem a valóságot tükrözi, főleg ívekben [11].

A University of Nottingham egy 120 méteres tesztpályát létesített a dinamikus helymeghatározás megismételhető tesztelése céljából. Ez a tesztpálya optimális környezetet biztosít a mérések elvégzésére, melyen 7 km/órával közlekedő távvezérlésű mozdony járja a köröket a helymeghatározás pontosságát növelő kutatások céljából. A teszteredmények igazolhatják az új módszerek alkalmazhatóságát összehasonlítva a várt és valós eredményeket, valamint szimulálhatók a hibahatások mértéke [12].



4-6. ábra Tesztmozdony a Nottingham Geospatial Institute tetején kialakított tesztpályán
(University of Nottingham) [12]

A European GNSS Agency irányítása alatt megkezdődött a Galileo Signal Priority (GSP) nevű projekt, melynek munkálataiban partnerként a Széchenyi István Egyetem (Győr) is részt vesz. A projekt célja EGNOS és Galileo alapú helymeghatározó rendszer fejlesztése a közforgalmú közlekedés igényeinek kielégítésére.

(forrás: <http://www.galileosignalpriority.eu>)



4-7. ábra A GSP projekt Galileo-tesztjárművei (forrás: <http://www.pwp-systems.de/>)

5. A DGNSS technológia vizsgálata közlekedési körülmények között

5.1 A vizsgálat célkitűzései

A méréseim célja az autós navigáció, járműkövetés fejlesztésének lehetőségei közül a szakmánk által használt nagypontosságú technológia kipróbálása. A jövőbeni közlekedési infrastruktúra, a közlekedésüzemi alkalmazások, valamint az ITS (*Intelligent Transportation Systems*) rendszerek elterjedése igényli a pontosabb jármű-meghatározást, ily módon a hálózatos RTK technológia, vagy a kódérés pontosságát javító DGPS technológia előtérbe kerülhet ezen a területen. Méréseimből kiderül, hogy valós időben, valamint nagy sebességnél is képesek-e működni ezek a technológiák, valamint milyen nehézségekkel kell szembe nézni alkalmazásuk során, ha figyelembe vesszük a műholdak láthatóságának zavaró tényezőit, legfőképp a városi, kitakarásos területeket, és ezen problémák áthidalására milyen lehetőségeink vannak.

5.2 Mérési módszerek és előkészületek

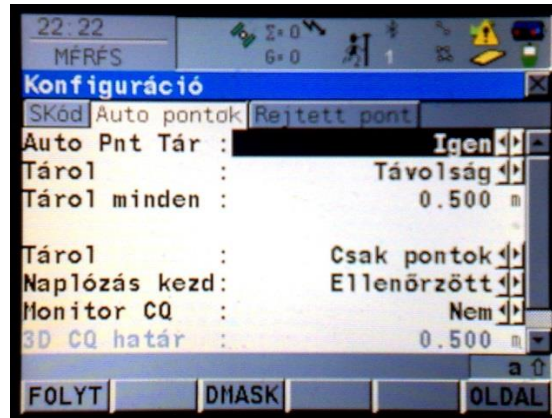
A mérést gondosan elvégzett műszerkonfiguráció beállítása előzte meg. Három különböző, a gnssnet.hu valós idejű adatszolgáltatását tesztelendő konfigurációt hoztam létre a Leica 1200-as vezérlő egységben, amely másodpercenként rögzíti a nyers mérési adatokat, valamint a valós idejű koordinátákat.



5-1. ábra Leica 1200 GPS (forrás: <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm>)

Ezt a műszer nyers mérési beállításai között találjuk meg, valamint az útvonal rögzítésének beállítását a felmérés menü konfigurációja között állíthatjuk be. Itt az Autopontok tárolását kell beállítanunk, és megválaszthatjuk a tárolás módját, ahol egy számomra hasznos beállítás is helyet kapott. Ugyanis, ha másodpercenként rögzítem az

útvonalam, akkor egy gyalogos átkelőnél, vagy közlekedési lámpánál való várakozás során szükségtelenül rögzítenék pontokat, ezért itt olyan beállítást választottam, hogy 0.5 méteren belül ne kerüljenek pontok tárolásra.



5-2. ábra Leica 1200 képernyőkép a mérési beállításokról

A Leica 1200-as GPS vevője és kontrollere közötti bluetooth kapcsolatot a nagyobb megbízhatóság érdekében kábelre cseréltem, bár az egyik mérési konfigurációnál a bluetooth-t is kipróbáltam, semmilyen fennakadást nem okozott nagy sebességnél sem.

A vevőt egy mágnesesen tetőre helyezhető Wild csúcson rögzítettem az autó tetejére. Székesfehérváron elsősorban a műszerrel ismerkedtem meg, valamint beállításait teszteltem néhány próba kör során, hogy a méréssel a számomra szükséges adatokat kapjam meg. Eleinte többször akadályba ütközött az adattárolás, ugyanis nekem a valós időben keletkező Auto-pontokra, valamint ezzel párhuzamosan a nyers mérési eredmények tárolására is szükségem van. Ezt a székesfehérvári próba-mérések során úgy gondoltam megoldani, hogy a Leica 1200-as vevővel rögzítem a valós idejű eredményeket, a Leica 500-as vevőjével pedig utófeldolgozáshoz rögzítem a nyers mérési adatokat. Ez bonyolultabb feldolgozást jelentett volna, mivel a két vevő fáziscentrumát egy pontba kell transzformálni, de végül több próba után sikerült az 1200-as vevőt is beállítani az én igényeimnek megfelelően.

Ezeket a paramétereket használva háromféle mérést végeztem el, a GNSS Szolgáltató Központ által a magyarországi aktív GNSS hálózatra támaszkodó három különböző, valós idejű GNSS szolgáltatását igénybe véve. A korrekciós adatszolgáltatás az aktív hálózat permanens állomásai nyers méréseinek feldolgozásával jut el internetes szerveren a felhasználókhoz, az RTCM szabványainak megfelelő formátumban. A korrekciós adatok továbbítása az NTRIP protokollon keresztül történik. Erre csatlakozva a felhasználó a

forrástáblázatot lekérve kiválaszthatja a számára szükséges korrekciót, melyet használni szeretne a méréseihez. Az én méréseimhez innen a következő három szolgáltatást vettem igénybe:

MONO DGPS-RTCM2.1

DGPS kódkorrekciók RTCM2.1 formátumban egyfrekvenciás GPS/GLONASS vevőkhöz.

Egybázis DGPS korrekció, mely az ország közepén található monori referenciaállomás korrekcióit továbbítja a felhasználók felé, anélkül, hogy a felhasználó a közelítő pozícióját beküldené.

SGO DGNSS-RTCM3.0

DGNSS kódkorrekciók RTCM3.0 formátumban egyfrekvenciás GPS/GLONASS vevőkhöz.

Az aktív hálózat felhasználóhoz legközelebbi referenciaállomása által előállított korrekcióit továbbítja, melyhez szükséges a felhasználó közelítő pozíciójának beküldése.

SGO RTK-RTCM3.0-GLO

RTK kód- és fázismérési adatok RTCM3.0 formátumban kétfrekvenciás GPS/GLONASS vevőkhöz.

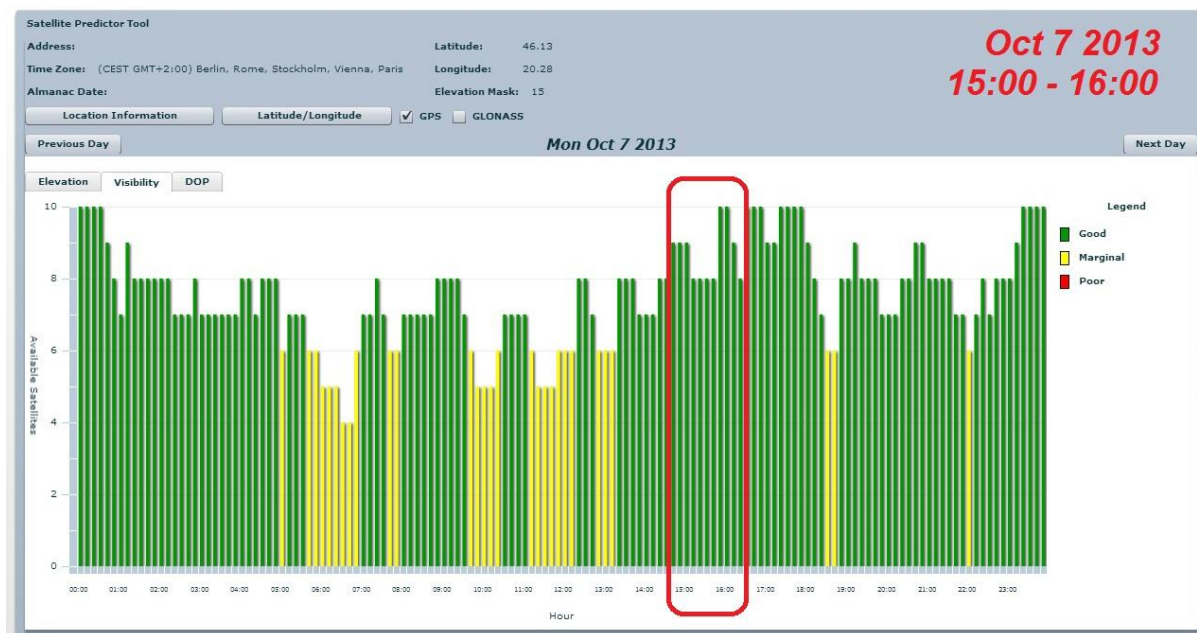
GNSSnet.hu Monitor	
Hálózat Állomás Stream Légkör Skyplot	
NTRIP STREAM	STATUS
SGO_FKP-RTCM2.3	OK
SGO_VRS-RTCM2.3	OK
SGO_VRS-RTCM2.3_2KM	OK
SGO_VRS-RTCM2.3-GLO	OK
SGO_VRS-RTCM3.1	OK
SGO_VRS-RTCM3.1_2KM	OK
SGO_VRS-RTCM3.1-GLO	OK
SGO_VRS-CMR	OK
SGO_MAC-RTCM3.1	OK
SGO_MAC-RTCM3.1-GLO	OK
SGO_RTK-RTCM2.3	OK
SGO_RTK-RTCM3.0	OK
SGO_RTK-RTCM3.0-GLO	OK
SGO_RTK-CMR	OK
SGO_DGPS-RTCM2.1	OK
SGO_DGNSS-RTCM3.0	OK
MONO_DGPS-RTCM2.1	OK
TRF_RTK-RTCM3.0-GLO	OK
TRF_VRS-RTCM3.1-GLO	OK
1033_RTK-RTCM3.1-GLO	OK
1033_VRS-RTCM3.1-GLO	OK
1033_MAC-RTCM3.1-GLO	OK
2013-11-10 21:14 UTC	

5-3. ábra Az elérhető szolgáltatások forrástáblázata (forrás: www.gnssnet.hu)

Ahhoz, hogy a mérésekből objektív információkat lehessen levezetni és helyes statisztikai adatokkal szolgáljanak, körültekintően kell bánni a mérési eredményekkel. Ahhoz, hogy tesztnek, kísérletnek lehessen hívni a mérést, adódik a probléma, hogy az útvonalat sok ismétléssel kellene végigjárni, különböző időpontokban. Ha azonban nem járjuk be többször az útvonalat, akkor viszont egy ismert koordinátákkal rendelkező pályán kellene haladnunk. Ez vasúti környezetben még megoldható is lenne elméletben, azonban ez a gyakorlatban sajnos korlátokba ütközött. Közúton pedig ez a megoldás nem kivitelezhető. Ezen tesztelési célokat vitathatóan kiszolgáló körülmények között választottam azt a megoldást, hogy a valós idejű mérési eredmények mellett párhuzamosan tárolt fázismérési nyers mérési adatokból utófeldolgozással előállított eredmények lesznek az egyes mérések referenciái, hibátlanak tekintett eredményei.

5.3 A mérések végrehajtása

Miután a műszerben létrehoztam a céljaimnak megfelelő beállításokkal rendelkező konfigurációkat, a méréseket Makón végeztem el önállóan. Kijelöltem egy olyan útvonalat, melyet három szakasz jellemez. Az útvonal hossza kb. 7.5 km. Az első szakasz Makó külvárosa, ahol a jelvételt nem zavarják fák, magas épületek, azonban a jármű sebessége nagy. A középső szakasz a legkritikusabb, a belvárosba vezető szűk főútvonalon halad, a fél sávba belógó nagy fák között. Az útvonal harmadik szakasza ugyancsak belvárosi szakasz, azonban zavaró körülmények csak bizonyos részeken fordulnak elő, melynek hatásait várhatóan mindhárom korrekció használata során észre fogjuk venni és vizsgálatuk is érdekes lehet. A mérést megelőzően egy online program segítségével előrejelzést készítettem a várható mérési körülményekről. Ez alapján a mérés elvégzését délután úgy terveztem, hogy lehetőség szerint minél több műhold legyen látható a megadott földrajzi pozíció felett.



5-4. ábra A látható műholdak száma Makón, 2013. október 7-én

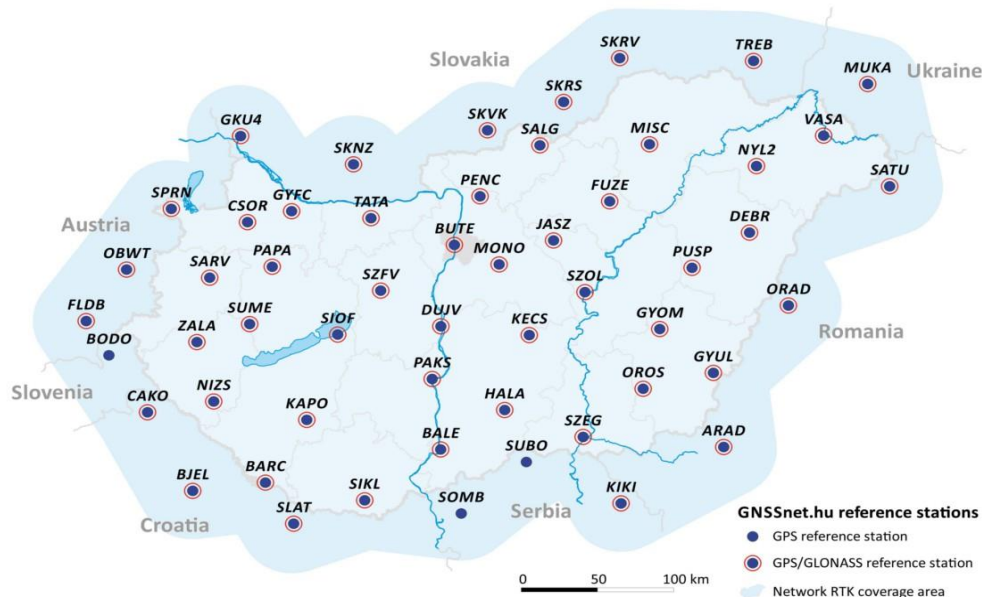
(forrás: <http://satpredictor.navcomtech.com>)

Adott tehát egy útvonal, melyet háromféle mérési módszerrel, mérésenkénti saját referenciával bejártam. Mivel a műszer beállításait korábban elvégeztem, a mérések a forgalmi viszonyoktól eltekintve sikeresen zajlottak. Ennek eredményeit, vizsgálatát és következtetéseit foglalom össze.

5.4 A mérési eredmények feldolgozása

A valós idejű mérés azt jelenti, hogy a vektorfeldolgozás és a transzformáció lényegében azonnal megtörténik, aminek eredményeként EOVS koordináták és Balti magasságok kerülnek tárolásra a vezérlő egységben, így csak kiolvasásra van szükség, hogy az autóban végzett valós idejű mérés eredményét megtekintsük. Erről koordináta-jegyzéket készítettem mind a három mérési konfiguráció eredményeiből külön-külön. Mivel a valós idejű Auto-pontok rögzítése mellett a nyers mérési eredmények is tárolásra kerültek, a Makón elvégzett méréseket utófeldolgozással is kiértékeltem Leica Geo Office (LGO) szoftverrel, melynek eredményeit a három különböző korrekcióval elvégzett mérés referenciájának (hibátlan értékének) tekintem. Ehhez szükséges a gnssnet.hu, azon belül a GNWEB által kínált szolgáltatásokat igénybe venni. A regisztrált felhasználók számára a GNSS Szolgáltató Központ 30 napra visszamenőleg online biztosítja a referenciaállomások által észlelt, illetve a referenciaállomások mérései alapján virtuális állomásokra számított, RINEX formátumú mérési adatokat. A mérési adatok vonatkoztatási rendszere ETRS89. A mérések kezdő és záró időpontját megadva

letölthető az erre az időpontra vonatkozó, nyers mérési adatokat tartalmazó fájl Rinex formátumban, a legközelebbi, azaz a szegedi referenciaállomás adatai alapján, vagy általunk megadott földrajzi koordinátákkal, Virtuális Rinex fájlformátumban.



5-5. ábra A magyar aktív hálózat referenciaállomásai (forrás: www.gnssnet.hu)

A nyers mérési adatokat (kódtávolságokat, fázisértékeket) tartalmazó fájlokat a Leica Geo Office-ba importáltam nyers mérési adatként (raw data), és referenciának jelöltem ki. A nyers mérési eredmények rögzítésével lehetőségem adódik utófeldolgozással is eredményhez jutni. Ez jelenti majd a valós időben kapott eredmények referenciáját. Az autóban kapott mérési eredmények a mozgó, azaz Rover eredmények. A nyers mérési adatokat a mérés helyszínétől majdnem 30 kilométerre lévő, Szegeden található SZEG permanens állomáshoz képest, valamint általam megadott ($\varphi=46-12-20$ és $\lambda=20-30-00$) virtuális referenciához képest értékeltem ki. Tehát van 3 valós idejű koordináta-jegyzékem a 3 különböző konfiguráció eredményeivel, valamint mindezekhez referenciám Szeged, valamint egy virtuális állomástól. Mivel a valós idejű eredményeket a virtuális referencia utófeldolgozott eredményeivel hasonlítom össze, ezért azzal az eljárással készítettem egy olyan koordináta-jegyzéket is, mely csak GPS-holdakra támaszkodva adott eredményt, GLONASS holdak adatait nem használta fel. Az autós mérések átlagosan majdnem 20 percesek voltak a forgalmi viszonyoktól függően, ami a másodpercenkénti adatrögzítést tekintve tetemes mennyiségű adat kezelését jelenti. A koordináta-jegyzék 7-800 soros adatai alapján vizsgálhatjuk meg a mérés körülményeit és vonhatunk le következtetéseket.

5.5 A mérési eredmények vizsgálata

Az összehasonlítások és statisztikai mutatók alkalmazása előtt egy kis elméleti kitérőt kell tennem a mérési eredmények vizsgálatáról. A következő gondolatokat mind az utófeldolgozás, mind pedig a valós mérési eredmények vizsgálatakor érdemes megfontolni.

Mind a valós idejű mérési eredmények, mind pedig a referencia eredmények koordinátákból és az azokat jellemző középhibákból állnak. A teljes útvonalon ezeknek a megbízhatósága az útvonal jellegétől változik, ettől függően vannak jó és rossz körülmények között kiértékelt szakaszok. Mint már említettem, az első szakaszon rendre jók az eredmények, a belvárosban rosszabb a helyzet. Nos, ha én több időt töltenék járművel a külvárosi részen, azzal a jó megbízhatóságú pontok számát növelném, melyek az egész mérési eredmény átlagát javítanák, tehát lényegében tudnám szándékosan a vizsgálatom eredményét manipulálni. Nem volt megoldható az, hogy laboratóriumi körülmények között végezzek vizsgálatot, ezért az eredményeket, a pontok sokaságát nem tekinthetem homogén sokaságnak, mert az ideális és nem ideális körülmények között kiértékelt eredmények együttes figyelembevételével számolt átlagok összemossák a jellegzetességeket. Ahhoz, hogy a mérésből hiteles következtetések legyenek levonhatók, valamilyen kikötést kell tenni a statisztikai mutatók használatáról, tehát csoportképző ismérveket kell meghatározni. Én az útvonalamra ezt gyakorlati megfontolásból kétféleképpen tettem, valamint az átlagok számolásán túl számítottam az eredmények harmonikus középértékét is, melynek eredménye jellemzően a sokaság kisebb értékei felé húz. Ezen kívül a sorba rendezett eredmények móduszát is számoltam.

Az első vizsgálat során az egész útvonalon mért pontokat vettem figyelembe, azonban csak azokat, melyeket FIX megoldásként, fázisméréssel sikerült utófeldolgozni. A csak kód-méréssel utófeldolgozott pontokkal nem foglalkoztam ebben az összehasonlításban, hanem a technológiailag elvárt megoldással feldolgozott pontokat vizsgáltam. Ezt a vizsgálatot nevezem a *FIX részsokaság vizsgálatának*.

Második esetben az összes pontot figyelembe vettem, legyen az bármely megoldással kiértékelt, azonban csak az útvonalam harmadik, legáltalánosabb környezettel rendelkező szakaszán. Így a legideálisabb környezetet biztosító első szakasz, valamint a műholdak elől nagyon takart második szakasz szélsőséges jellemzői nem fogják az átlagértékeket befolyásolni. Ezt a vizsgálatot nevezem *Lokális vizsgálatnak* a következőkben.

5.5.1 Az utófeldolgozással kiértékelte mérési eredmények vizsgálata

Először is kíváncsi voltam az utófeldolgozás különböző eljárásai közötti különbségekre, főleg azért, mert a mérés majdnem 30 kilométerre zajlott a legközelebbi, Szegeden működő permanens állomástól. Fontos a kétféle utófeldolgozás eredményét összehasonlítani, hiszen valamelyik eredmény fogja a valós idejű mérések referenciáját, viszonyítási alapját adni. Az utófeldolgozással kapott eredményeket csak a FIX részsokaságban vizsgáltam. A két referencia eredményei között kiszámoltam y és x koordináták különbségeit, valamint a különbségekből képezhető lineáris eltéréseket, melyek a valódi hibát jelentik.

$$l = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}$$



5-6. ábra Utólagos adatigénylés a GNWEB alkalmazáson keresztül (forrás: www.gnssnet.hu)

Virtuális és Szegedi permanens állomás utófeldolgozott adatainak vizsgálata a MONOR konfiguráció esetében:

Az összesen kiértékelte 725 darab pont 13 %-a (virtuális referencia esetén), valamint 16 %-a (SZEG referencia esetén) történt pusztán kódérés eljárással, a többi esetben működött a fix megoldás fázisméréssel. A szegedi referencia távolsága tehát nem okozott jelentősen kevesebb pontkiértékelést.

5.1 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)		
FIX megoldásokat vizsgálva	y	x
Koordináta különbségek átlaga	0.02	0.01
Koordináta különbségek maximuma	0.08	0.07

5.2 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)	
FIX megoldásokat vizsgálva	
Lineáris eltérések átlaga	0.02
Lineáris eltérések maximuma	0.08

A csak GPS holdakat használó utófeldolgozás során 15-tel kevesebb pont volt kiértékelhető és az összes pont 12 %-a történt pusztán kód mérés eljárásával. Ez igen jó eredménynek mondható Glonass holdak nélkül, ezért azt gondolhatnánk hogy a Glonass nélkül jelentősen romlik a pontosság, azonban a fix megoldásokat tekintve a vízszintes ponthiba maximuma csupán 5 cm volt.

Virtuális és Szegedi permanens állomás utófeldolgozott adatainak vizsgálata a DGNS konfiguráció esetében:

Az összesen kiértékelt 755 darab pontnak mind virtuális referencia esetén, mind SZEG referencia használatával 22 %-a történt pusztán kód mérés eljárással, a többi esetben működött a fix megoldás fázisméréssel. A szegedi referencia távolsága tehát nem okozott jelentősen kevesebb pontkiértékelést.

5.3 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)		
FIX megoldásokat vizsgálva	y	x
Koordináta különbségek átlaga	0.02	0.05
Koordináta különbségek maximuma	2.40	2.06

5.4 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)	
FIX megoldásokat vizsgálva	
Lineáris eltérések átlaga	0.07
Lineáris eltérések maximuma	3.20

A virtuális és a szegedi referencia összehasonlítása során az átlagos eltérések nem voltak kiemelkedőek, azonban a pontok között a legnagyobb eltérés miatt jobban meg kellett vizsgálnom a mérési eredmények sorozatát. Bár csak a fázisméréssel kapott eredményeket vizsgáltam, így is kiértékelésre került egy igen nagy különbséget mutató hely, az útvonal középso, leginkább zavart részén. Ezen a 13 pontot tartalmazó, körülbelül 50 méteres szakaszon rendre 2 méter körüli eltérések vannak az x koordinátákban, míg az y koordinátákban egyik esetben sem több az eltérés, mint 10 cm. Az eltérés okát annak

tudhatjuk be, hogy pontosan ezen hibás pontok előtt néhány másodpercig csak kód-méréssel volt képes mérni a vevő, ezért ez a 13 pontnyi 50 méteres szakasz volt szükséges az elvárt minőségű korrekciók helyreállításához.

A csak GPS holdakat használó utófeldolgozás során 11-gyel kevesebb pont volt kiértékelhető és az összes pont 27 %-a történt pusztán kód-mérés eljárással. Ez igen jó eredménynek mondható, ezért azt gondolhatnánk, hogy a Glonass nélkül jelentősen romlik a pontosság, azonban a fix megoldásokat tekintve a vízszintes ponthiba maximuma csupán 8 cm volt.

Virtuális és Szegedi permanens állomás utófeldolgozott adatainak vizsgálata a MAC konfiguráció esetében:

Az összesen kiértékelt 737 darab pont 15 %-a (virtuális referencia esetén), valamint 11 %-a (SZEG referencia esetén) történt pusztán kód-mérés eljárásával, a többi esetben működött a fix megoldás fázisméréssel. A szegedi referencia távolsága tehát nem okozott kevesebb pontkiértékelést.

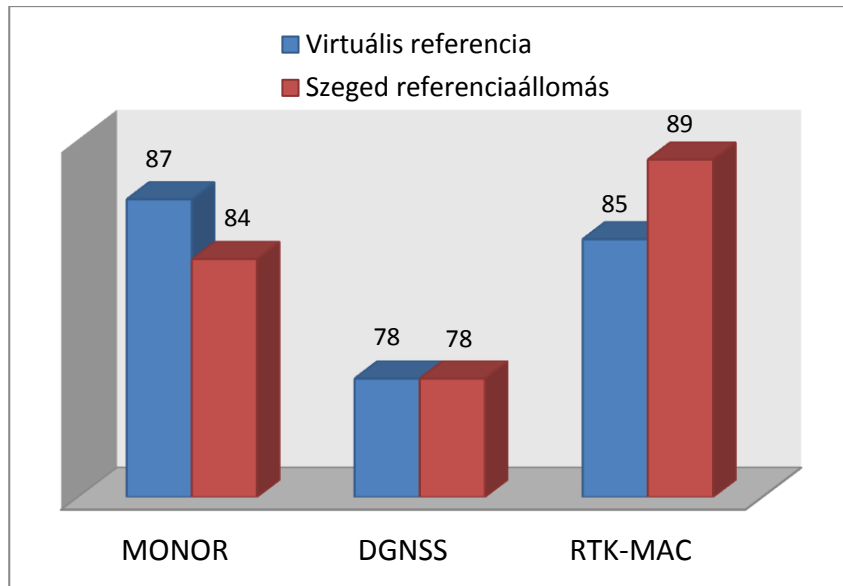
5.5 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)		
FIX megoldásokat vizsgálva	y	x
Koordináta különbségek átlaga	0.01	0.01
Koordináta különbségek maximuma	0.04	0.04

5.6 táblázat

Virtuális és Szegedi referencia összehasonlítása (m)	
FIX megoldásokat vizsgálva	
Lineáris eltérések átlaga	0.02
Lineáris eltérések maximuma	0.06

A csak GPS holdakat használó utófeldolgozás során 18-cal kevesebb pont volt kiértékelhető és az összes pont 11 %-a történt pusztán kód-mérés eljárásával. Ez igen jó eredménynek mondható, ezért azt gondolhatnánk, hogy a Glonass nélkül jelentősen romlik a pontosság, azonban a fix megoldásokat tekintve a vízszintes ponthiba maximuma csupán 3 cm volt.



5-7. ábra Két referenciaponttól utólagosan fázisméréssel, fix megoldással kiértékelt pontok százalékos aránya az összes mért ponthoz viszonyítva, az egyes konfigurációk esetében

Mivel a kiértékelt pontok aránya mindkét referencia esetén nagy hasonlóságot mutat, illetve a fenti táblázatok sem árulkodnak durva hibáról egyik megoldást tekintve sem, ezért a távolságban közelebb lévő virtuális referencia adatait fogom felhasználni a valós idejű eredmények viszonyítási alapjaként.

5.5.2 A valós idejű mérési eredmények vizsgálata

Az utófeldolgozás eredményeinek összefoglalása után, elfogadva a Virtuális Rinex referenciapont alapján utólagosan kiértékelt koordinátákat hibátlannak (viszonyítási alapnak) megvizsgálhatjuk, milyen mérési eredményeket produkált valós időben a Leica 1200-as vevő és az általam használt három féle konfiguráció.

MONOR- konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban

A monori konfigurációval végzett valós mérési eredmények listájában 18 ponttal kevesebbet találni, mint amennyit az utófeldolgozásból kapott eredmény tartalmaz. Tehát valós időben 18 pontot veszítettünk el gyenge jel, vagy nem ideális műhold konstelláció következtében. Megjegyzem, hogy a koordináta-jegyzékek listájában látható, hogy ez a hiányzó 18 pont utófeldolgozás során is pusztán kódmeréssel volt kiértékelhető. Fontos megnézni, hogy a hiányzó 18 pont az útvonal mely szakaszán fordult elő, hogy tudjuk általánosítani a jelvesztés, valamint a pontosság hígulásának okát, és összefüggést találjunk abban a tekintetben, hogy a többi korrekcióval végzett mérés során is ezeken a helyeken adódik-e probléma. A koordináta-jegyzékben szereplő időpont és pontszám alapján nyomon-követhető, hogy a hiányzó 18 pont nem mind elvétve fordul elő. Mind a 18 pont az útvonal legkritikusabb második szakaszán található, azon belül különböző tömbökben, ahol a jármű kis sebességgel haladt a kilátást jelentősen zavaró lombos fák között. A kritikus szakaszon belül is elkülöníthető az, hogy tartósan rossz volt a láthatóság, vagy csak egy nagyobb objektum zavarta meg a vevőt, mert ahol csak megzavarta, ott a pontok vízszintes ponthibája 30cm körülire romlott, azonban a tartósan zavart helyeken ez az érték a 4 métert is meghaladta.

Tehát a FIX részsokaság vizsgálata szerint, a valós időben kapott és az utófeldolgozás során kiértékelt eredmények általános jellemzésekor mind az átlag, valamint a maximum értékeit terhelik a mérési sorozatban szereplő kódmeréssel, gyengébb középhibával meghatározott és kiértékelt pontok is, ezért a jellemzést a csak fix megoldással képzett koordináták alapján érdemes szemügyre venni. A valós idejű mérés során a meghatározott pontoknak nemcsak a koordinátáit kapjuk meg, hanem a pontok ún. minőségi mérőszámait is (az angol kijelzés szerint: Coordinate Quality – CQ). amit szakszóval koordináta középhibáknak mondunk. Ezek tehát a műszer által kijelzett vízszintes középhibák becsült értékei, amiből a vízszintes értelmű ponthibát számoltam. Ha az utófeldolgozással kapott, hibátlannak tekintett koordinátákból kivonjuk a valós idejű

mérés során ugyanerre a pontra kapott megfelelő koordinátákat, akkor ezeket a koordináta-különbségeket valódi hibáknak tekinthetjük, amiből lineáris eltérés képezhető, mint a vízszintes pontosságot jellemző mérőszám.

5.7 táblázat

MONOR konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	5.88	Lineáris eltérés maximuma	2.01
Vízszintes ponthiba átlaga	0.49	Lineáris eltérés átlaga	0.42
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.43	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.30
Vízszintes ponthiba módusza	0.32	Lineáris eltérés módusza	0.34

A mérési eredményeket sorba rendeztem és előfordulnak a FIX részsokaságban is az elvárhatónál jelentősen rosszabb eredmények, melyeket meg kellett keresnem az ortofotón is, valamint az eredmény környezetét meg kellett vizsgálnom. A maximum értékek minden esetben a jelvesztés, vagy olyan szakasz után fordulnak elő, mielőtt az eredmény csak kódmeréssel volt kiértékelhető, tehát egy takarásos szakasz miatti romlás utáni helyreállítás alatt keletkeztek ezek a pontok. Alátámasztja ezt az is, hogy a valós mérési eredmények 98 %-a esetén 1 méter alatti vízszintes ponthibát jelzett a vevő.

Ami a koordináta-különbségeket illeti, az eredmények hasonlóak, további vizsgálatra nem adtak okot.

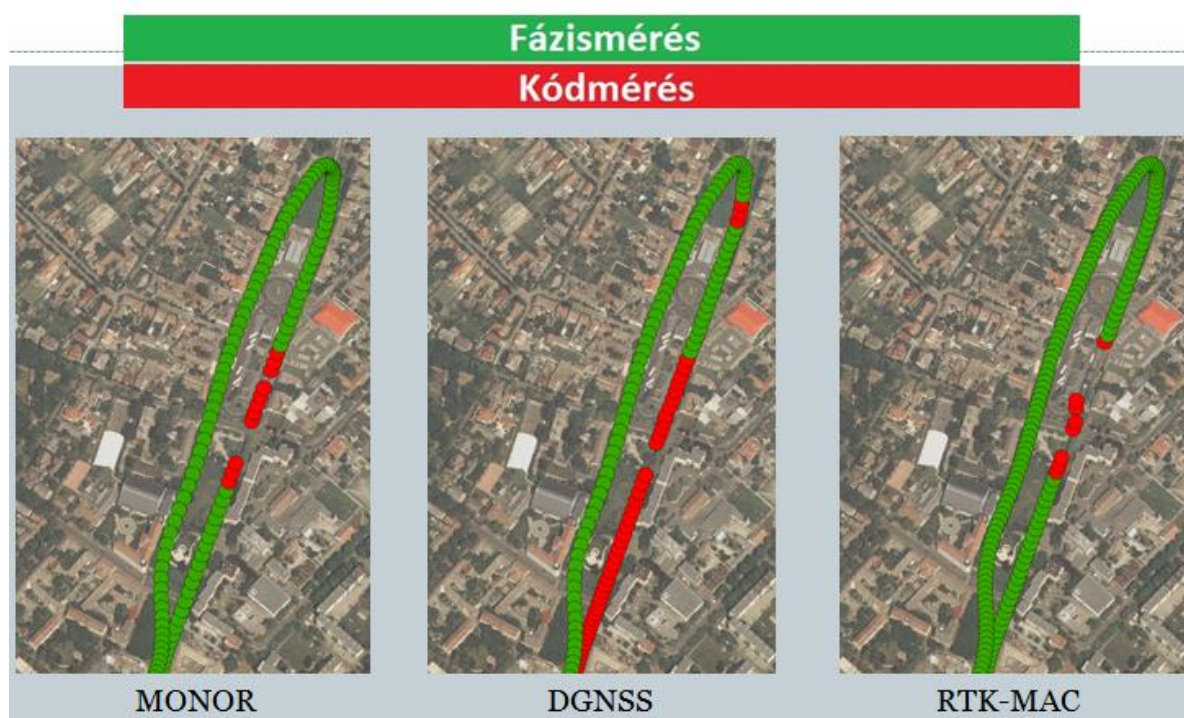
5.8 táblázat

MONOR konfiguráció koordináta-különbségei (m)		
FIX részsokaságban	dy	dx
Átlag	0.19	0.34
Maximum	0.91	1.97

MONOR- konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban

A lokális részsokaság vizsgálatakor a harmadik szakaszt jellemzem, minden pontot figyelembe véve. A szakaszon a pontok 9 %-át nem sikerült FIX megoldásként fázisméréssel kiértékelni utólag. Mint ahogyan a többi konfiguráció vizsgálatakor is látni fogjuk, a probléma a szakaszon belül ugyanazon a magas épületek által takart területen adódik.

A lokális részsokaság kiértékelése

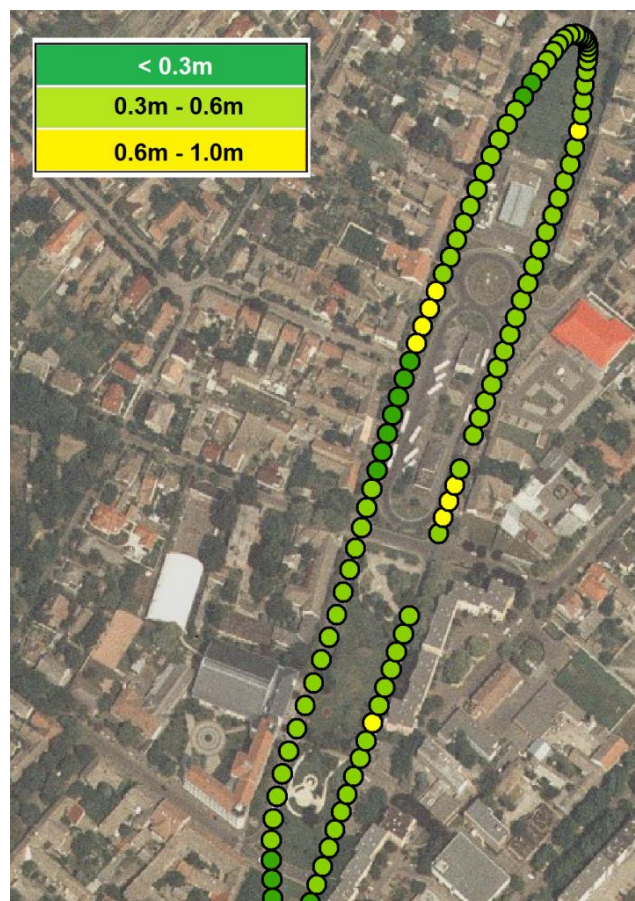


5-8. ábra A valós idejű mérések megoldásai a Lokális részsokaságban

5.9 táblázat

MONOR konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	5.88	Lineáris eltérés maximuma	0.87
Vízszintes ponthiba átlaga	0.67	Lineáris eltérés átlaga	0.39
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.47	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.33
Vízszintes ponthiba módusza	0.45	Lineáris eltérés módusza	0.46

Ahogy a teljes útvonalat vizsgálva igaz volt, itt is teljesül az átlagértékekben a korrekciótól elvárható pontosság. A maximum hibák helye pedig egyértelműen a takart rész, melyet a következő ábrán is láthatunk, amelyen a valós időben becsült pontmeghatározás megbízhatóságát ábrázoltam. A jármű 82 métert haladt pontmeghatározás nélkül a kérdéses szakaszon.



5-9. ábra A vízszintes ponthiba ábrázolása a MONOR konfiguráció mérési eredményeiből

DGNSS- konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban

A második esetben a DGNSS korrekcióval mért eredmények elemzését végeztem el, amely ugyancsak kódmerést alkalmazó technológia, azonban nem a Monor referenciaállomást használja adatszolgáltatásra, hanem hálózatos technológiát – az én esetemben legközelebbi referenciaállomás adatait - és már az RTCM3.0 szabványt alkalmazza. Az összehasonlítás első lépéseként azt láttam, hogy ez a mérés szakadásmentes, azaz ugyanannyi pontot mértem valós időben, mint amennyit utófeldolgozással is megkaptam. Ez azonban nem ad egyértelmű okot a Monor konfiguráció hátrányos jellemzésére, mert a mérések nem egy ugyanazon időpontban történtek, tehát a műhold konstelláció is lehet a jelenség hátterében.

A valós időben kapott és az utófeldolgozás során kiértékelt eredmények általános jellemzése:

5.10 táblázat

DGNSS konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	1.10	Lineáris eltérés maximuma	3.07
Vízszintes ponthiba átlaga	0.21	Lineáris eltérés átlaga	0.31
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.18	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.09
Vízszintes ponthiba módusza	0.14	Lineáris eltérés módusza	0.05

Ha megnézzük az átlagértékeket, általános javulását láthatjuk a pontmeghatározásnak a Monor konfigurációhoz képest, nyilvánvalóan a szegedi referenciaállomás közelségének köszönhetően. A maximum értékek ennél a korrekciónál is minden esetben a jelvesztés, vagy olyan szakasz után fordulnak elő, mielőtt az eredmények csak kódmeréssel volt kiértékelhető, tehát egy takarásos szakasz miatti romlás utáni helyreállítás alatt keletkeztek ezek a pontok. Alátámasztja ezt az is, hogy a valós mérési eredmények 99 %-a esetén 1 méter alatti vízszintes ponthibát jelzett a vevő. Ami a koordináta-különbségeket illeti, az eredmények hasonlóak, további vizsgálatra nem adtak okot.

5.11 táblázat

DGNSS konfiguráció koordináta-különbségei (m)		
FIX részsokaságban	dy	dx
Átlag	0.16	0.22
Maximum	2.61	2.39

DGNSS- konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban

A harmadik szakasz vizsgálatának elsőre legszembetűnőbb jellemzője, hogy a másik két konfigurációnál jóval több pont csak kódmeréssel volt utólag kiértékelhető, 34 %. Ez a jelenség ellentmond annak az ésszerű ténynek, hogy a Monor állomás pedig távolabb volt, mint jelen esetben a Szegeden lévő. Azonban kiemelném azt, hogy a DGNSS konfiguráció alkalmazásakor ugyanannyi pont volt utólag kiértékelhető, mint valós időben mért. Monor konfiguráció esetében pedig 18 pontot elveszítettünk. Mivel minden konfigurációval csak 1 mérést végeztem, a jelenséget csupán annak tudom be, hogy a leginkább zavart második szakaszcól kiérve, a vevő lassan volt képes a mozgó járművön visszatérni az ideális működésre.

DGNSS konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	2.05	Lineáris eltérés maximuma	1.20
Vízszintes ponthiba átlaga	0.32	Lineáris eltérés átlaga	0.35
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.25	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.27
Vízszintes ponthiba módusza	0.21	Lineáris eltérés módusza	0.17

Az átlagértékeket tekintve nagyon jó eredményeket produkált a vevő, és általános javulás is látható a Monor konfigurációhoz képest. Jól látható, hogy a legnagyobb ponthibával kapott koordináták a Monor konfigurációt is hátrányosan érintő útszakaszon jelentkeznek. A jármű 43 métert haladt pontmeghatározás nélkül a kérdéses szakaszon.



5-10. ábra A vízszintes ponthiba ábrázolása a DGNSS konfiguráció mérési eredményeiből

RTK-MAC- konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban

Utolsóként a hálózatos RTK technológia MAC koncepcióját alkalmazó korrekcióval mért eredmények elemzését végeztem el, amely földmérési célokra szánt, kétfrekvenciás vevőket igénylő és fázismérést alkalmazó technológia. Az összehasonlítás első lépéseként ismét megnéztem, hogy ezen mérés során jelvesztés történt-e. Egy szakaszon, mely

pusztán kódmeréses technológiával volt utólag is kiértékelhető, 1 pontnak nyoma veszett a listában. Ezt normális jelenségnek tartom a legpontosabb korrekciót használó konfiguráció esetében is, hiszen a hiányzó pont helye az útvonal egy olyan szakaszán van, ahol magasabb épületek miatt mindhárom mérési alkalommal egyértelműen romlott a jelvétel és a koordináta-középheibák értéke.

A valós időben kapott és az utófeldolgozás során kiértékelt eredmények általános jellemzése:

5.13 táblázat

RTK-MAC konfiguráció vizsgálata a FIX részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	0.30	Lineáris eltérés maximuma	0.64
Vízszintes ponthiba átlaga	0.04	Lineáris eltérés átlaga	0.06
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.02	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.02
Vízszintes ponthiba módusza	0.01	Lineáris eltérés módusza	0.02

5.14 táblázat

RTK-MAC konfiguráció koordináta-különbségei (m)		
FIX részsokaságban	dy	dx
Átlag	0.04	0.04
Maximum	0.37	0.63

A geodéziai célokat kiszolgáló hálózatos RTK technológia mint látjuk, ideális esetben képes szolgáltatni az elvárt minőségű pontmeghatározást közlekedési körülmények között, nagy sebességnél is. A maximumértékeket vizsgálva láthatjuk, hogy a nem ideális körülmény – legyen az bármilyen vevőnek szánt korrekció - problémát jelent ebben az esetben is, azonban a százalékos értékek továbbra is a nagy átlagot támasztják alá, hiszen a FIX részsokaság mérési eredményt tekintve a pontok 14 %-a esetén haladta meg a vízszintes ponthiba értéke az 10 centimétert.

RTK-MAC- konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban

5.15 táblázat

RTK-MAC konfiguráció vizsgálata a Lokális részsokaságban (m)			
Műszer által valós időben becsült értékek		Számított valódi hibák	
Vízszintes ponthiba maximuma	0.06	Lineáris eltérés maximuma	0.13
Vízszintes ponthiba átlaga	0.06	Lineáris eltérés átlaga	0.13
Vízszintes ponthiba harmonikus középértéke	0.02	Lineáris eltérés harmonikus középértéke	0.02
Vízszintes ponthiba módusza	0.01	Lineáris eltérés módusza	0.02

A harmadik szakaszon az RTK konfiguráció remekül teljesít, természetesen a kitakarás működésbeli problémát okoz ebben az esetben is, de a pontok 95 %-a FIX megoldásként, fázisméréssel utólag is kiértékelhető volt. A jármű 140 métert haladt pontmeghatározás nélkül a kérdéses szakaszon.



5-11. ábra A vízszintes ponthiba ábrázolása a RTK-MAC konfiguráció mérési eredményeiből

Az általános statisztikai adatokból egyszerű következtetéseket lehet tenni a helymeghatározó rendszerek közötti alkalmazásáról. A háromféle korrekció lehetőségeit nem kell egymással összevetni, mindnek ismerjük elvárható minőségét, valamint korlátait. Amennyiben a környezet jellege lehetővé teszi, hogy elegendő műholdat észleljen a vevő és fix megoldással tudjunk pontokat meghatározni, az összes konfiguráció teljesíti valós időben, nagy sebességnél is a tőle várt szolgáltatást, ezt jól mutatja, hogy néhány százalékban nem sikerült 1 méternél pontosabban a helymeghatározás. A célt tekintve ez pozitív eredmény, hiszen a fejlesztés célja a sávszintű helymeghatározás volt.

Az útvonal nagy részén tehát, amely ideális körülménynek adott lehetőséget, a helymeghatározás elvárt pontossággal, fennakadás nélkül tudott működni. Az útvonal második szakasza volt a legkedvezőtlenebb a műholdas helymeghatározás számára. A harmadik szakasz egy részén, magas épületek környezetében mind a három konfiguráció esetében általánosítható a helymeghatározás pontosságának romlása.

5.16 táblázat

1 méternél alacsonyabb értékek aránya (%) a FIX részsokaságban				
Konfiguráció	Becsült ponthiba	dY	dX	Valódi hiba
MONOR	98.0	100.0	98.1	97.0
DGNSS	99.8	99.7	95.4	95.3
RTK-MAC	100.0	100.0	100.0	100.0

5.17 táblázat

10 cm-nél alacsonyabb értékek aránya (%) a FIX részsokaságban				
Konfiguráció	Becsült ponthiba	dY	dX	Valódi hiba
RTK-MAC	86.4	93.1	90.4	89.1

A százalékban kifejezett értékek mutatják, hogy ideális környezetben milyen arányban sikerült 1 méter, valamint 10 centiméter hiba alatti eredményeket produkálni. Ez az érték azonban nehezen általánosítható, ugyanis az útvonalat szándékosan tervezhettem volna még jobb körülményeket biztosító irányba, vagy egy kizárólag belvárosban haladó útvonal esetén ezek az értékek nem lennének ilyen arányban.

Az útvonal harmadik szakasza egy általános belvárosi környezet, amelynek kiemelhető egy része, ahol mindhárom mérés alkalmával várható volt a jelvétel megzavarása okozta pontosság romlás. Erről a szakaszcól készítettem további elemzést. Az ábrán látható útvonal jobboldali forgalmi sávját jellemzi minden esetben eleinte pontosságromlás, majd a vevő pusztán kódéréssel volt csak képes pozíciót meghatározni, legrosszabb esetben pedig jelvesztés történt.

5.6 A vizsgálat eredménye

Az általános összehasonlítások alapján megállapítható: legyen az bármilyen elvart pontosságot biztosító korrekció, jó körülmények között képes a megbízható adatszolgáltatásra, és alkalmazható közlekedési célokra, figyelembe véve a kezdetekben meghatározott célt, azaz a sávszintű helymeghatározást. Véleményem szerint, amennyiben továbbra is az ideális esetet vesszük figyelembe, a közlekedésüzemi célokat a DGNSS korrekció pontossága kielégíti, tehát van létjogosultsága az ötletadó DGNSS fejlesztésnek, mely a Mozdonyfedélzeti Berendezés helymeghatározó rendszerének fejlesztése lett volna sávszintű pozicionálás érdekében.

A hálózatos RTK alkalmazása úgy gondolom, hogy speciális esetekben indokolt, azonban a jövőre tekintve meghatározó szerepben lehet. Egyes alkalmazásokra, legyen az járműflotta-követés, az RTK használata indokolatlan, főleg, hogy a szükséges berendezéseinek technológiai igénye lényegesen költségesebb. Vannak azonban olyan területek, ahol a hálózatos RTK pontossága szükséges lehet és elvárható, hiszen mint már említettem, a precíziós mezőgazdaságban is megjelent.

A probléma a nem ideális körülmények között merül fel, melyre attól függően, hogy milyen alkalmazásról van szó, és milyen közlekedési területen milyen célokat kell kiszolgálni, a megoldásra más-más módszert kell találni. Annyi biztos, hogy a műholdas helymeghatározás önállóan, individuális eszközként nem képes a teljes körű járműkövetést és az ezen alapuló alkalmazásokat kiszolgálni.

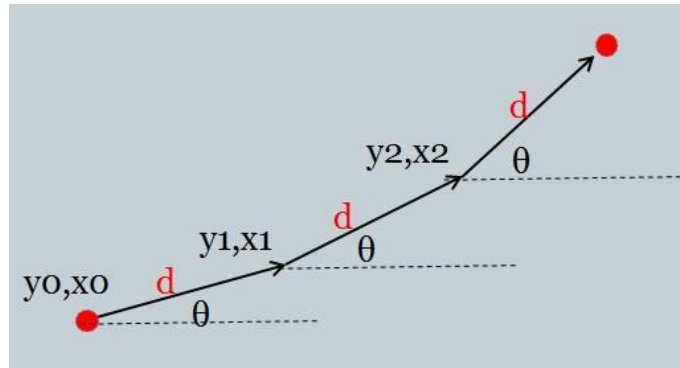
A következőkben bemutatok néhány nem csak geodéziai területen használt módszert és berendezést, melyeknek GNSS technológiával való egyesítése lehetőséget ad a közlekedésüzemi célok megvalósítására.

6. ITS – Intelligens Közlekedési Rendszerek

A dolgozat korábbi részeiben már említett Intelligens Közlekedési Rendszerek (ITS – Intelligent Transportation Systems), valamint a telematika egyik alkalmazott eszköze a műholdas helymeghatározás. Az ITS fejlesztéseket az EU jelentős összegekkel segíti, több százmillió eurót félretéve a Galileo fejlesztésére [13]. Az Európai Parlament és Európa Tanács 2010/40/EU irányelve kiemelt intézkedéseket fogalmaz meg az ITS keretein belül, ezek között szerepel az EU területén valós idejű forgalmi információs szolgáltatások nyújtása. Az ITS célja a közlekedési hálózat kapacitásának optimalizálása modern informatikai megoldásokkal, a lehető legkisebb környezeti terhelés és lehető legnagyobb forgalombiztonság elérése mellett. Mivel az ITS és egyéb informatikai rendszerek teljesítményét a gyűjtött és rendelkezésre álló adatok határozzák meg, berendezéseik és azok összehangolt működése kiemelt jelentőségű. A következőkben ezek közül mutatok be néhányat, melyek a közforgalmú közlekedésben igényelt fejlesztést segíthetik.

A helymeghatározó eszközök lehetnek abszolút vagy relatív érzékelők. Relatív érzékelőkkel távolság, pozíció és irányváltoztatás detektálása lehetséges. Az elmozdulás-mérők és kerékfordulat-számlálók (odométer) mechanikai, optikai, lézeres vagy induktív elven működnek, és minden professzionális pozicionálási alkalmazásban alapvető berendezések.

Az odométert gyakran távolságmérő berendezésként említik (DMI – Distance Measurement Instrument). Amennyiben mindkét kormányzott keréken használunk odométert, lehetőség van differenciális odometria alkalmazására, aminek az a lényege, hogy mindkét érzékelő számlálja a megtett kerékfordulatot. A kerekek átmérője és távolsága ismert, ezért a fordulatszám különbségéből a kormányzás szöge számítható. A megtett út és a kormányzás szögének mérése alkalmas helymeghatározásra. Ezt a megoldást Dead Reckoning kifejezéssel látták el. Ismert kiindulási pontból ezzel a megoldással folyamatosan meghatározható a pillanatnyi hely [14].



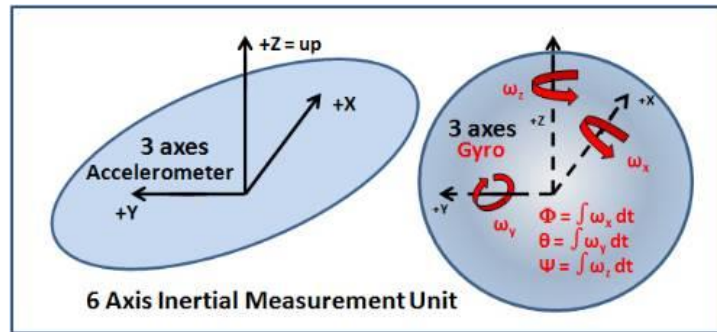
6-1. ábra A dead-reckoning alapelve

Belátható, hogy a mért távolságok (d) tengelyvetületeit kell folytonosan az előző pozícióhoz (koordinátákhoz) hozzáadni az aktuális pozíció meghatározásához.

Helymeghatározás céljából a berendezések legprofesszionálisabb és legösszetettebb felhasználása már jóval ezelőtt, a légi fotogrammetria, majd napjainkban a lézerszkennelés alkalmazásakor jelenik meg. Ezeket az adatgyűjtő technológiákat segítő GNSS helymeghatározást az inerciális mérőegységek (IMU – Inercial Measurement Unit) egészítik ki, melyeket két kategóriába sorolunk. Az első csoportba a mozgó eszközök tartoznak, a másik csoportot pedig a rögzített műszerek adják. Utóbbiak alkalmazása esetén a három koordináta-tengely mentén rögzített érzékkelővel végzünk méréseket. A rendszer gyakorlati megvalósításához tehát biztosítani kell egy mozdulatlan tengelyű koordináta-rendszert, ami giroszkópok segítségével lehetséges, valamint szükség van a tengelyeken méréseket végző gyorsulásmérőkre [15].



6-2. ábra IMU-501 inerciális mérőegység (forrás: www.optolink.ru)



6-3. ábra Hat szabadságfokú IMU adatai (forrás: [16])

A műholdas, valamint az ezeket kiegészítő berendezések együttes méréseit szinkronizálni kell a helyes felhasználás érdekében. A különböző elven és frekvencián működő helymeghatározó megfigyelések eredményei egyesíthetők az ezen a területen elterjedt feldolgozási eljárás segítségével, a Kálmán-szűréssel, mely lényegében szabvány lett a pozicionálásban. Segítségével több szenzor együttes kezelése lehetséges. A legkisebb négyzetek elvén működő becslő eljárás lényege, hogy folyamatosan becsli a rendszerváltozók értékeit, eközben az új megfigyelés alapján folyamatosan finomítja a modellt. A GNSS/INS technika integrálásakor a GPS-szel mért térbeli vektorok, valamint az INS-sel mért gyorsulás- és szögváltozás értékek egyesítésével pontosabb pozíciót lehet számítani [15].

A felsorolt technikai megoldások ötvöztetésével nemcsak a mobil lézerszkennelés, hanem a vezető nélküli autó megalkotása is valósággá vált. A Google megépítette a fent említett technológiákat felsorakoztató, a forgalomban vezető nélkül is haladni képes autóját. A jármű kamerával, GPS-szel, odométerrel, radarral és lézerszkennerekkel van felszerelve.



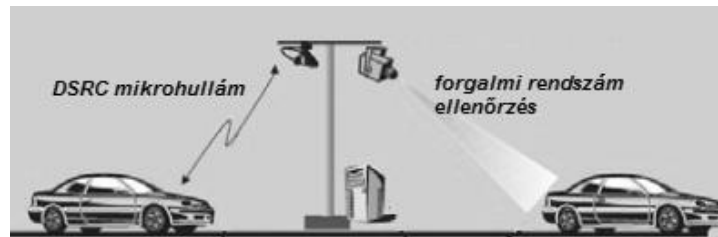
6-4. ábra Google Driverless Car (forrás: <http://atechplanet.com/google-driverless-car/>)

Az imént említett berendezéseknél jóval egyszerűbb felépítésű és elterjedtebb szenzorok a közlekedésüzem területén már alkalmazott és a dolgozat első fejezetében ismertetett helykódadók és hurokdetektorok. Kiegészítő alkalmazásuk megoldást jelenthet a GNSS technológia lefedettsége szempontjából problémás területeken.

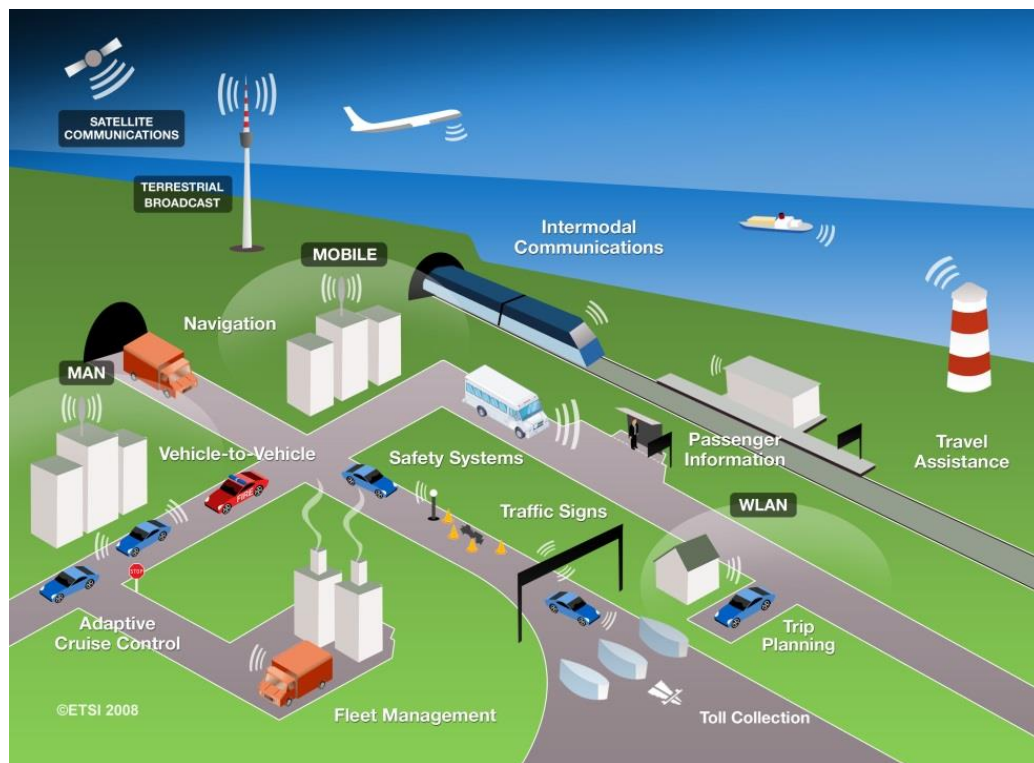
A következő lépésben meg kell vizsgálni mind a műholdas helymeghatározásban, mind az intelligens rendszerekben alkalmazott adatátviteli és kommunikációs megoldások lehetőségeit és korlátait. A valós idejű, korrekciós szolgáltatást igénylő műholdas helymeghatározás GSM kommunikációval valósul meg, melynek országos lefedettsége ma már kielégítő, bár hozzá kell tenni, hogy mégis szükség volt specifikusan a vasúti céloknak megfelelő GSM-R adatátviteli fejlesztésre.

A közúti járműveket érintő kommunikációs megoldás, mely az ITS szemléletben terjedt el, a VANET (Vehicular Ad-hoc Network), azaz a járműves ad-hoc hálózat. A járművek kommunikációjára egy amerikai konzorcium is létrejött, a Car-to-car Communication Consortium, mely a járművek közötti kommunikáció fejlesztését tűzte ki célul és meghatározta a járművek közötti kommunikációt (V2V – vehicle to vehicle), és a jármű és infrastruktúra közötti kommunikációt (V2I – vehicle to infrastructure). Ezek a megoldások lehetővé teszik a járműre szerelt, valamint útmentén elhelyezett szenzorok adatait egymásnak eljuttatni a közlekedésben résztvevők között [14]. A MyTraffic alkalmazáshoz hasonlóan, a fedélzeti berendezéssel ellátott járművek lényegében egymást figyelmeztetik a bekövetkezett forgalmi eseményekről, melyekről egy adatgyűjtő központ valós időben ábrázolhat a forgalom alakulásáról átfogó képet (FCD-Floating Car Data).

Az 1000 méternél kisebb távolságban működő, dedikált rövidtávú kommunikáció (DSRC – Dedicated Short Range Communication) több alkalmazásban is jelen van már a közlekedésüzem területén, legelterjedtebb alkalmazása az elektronikus útdíjszedő rendszerek között van, működési elve az AVL rendszerekéhez hasonló. Az elektronikus útdíjat és a megtett kilométert az autópálya feljárók és lehajtók közelében elhelyezett vevőberendezések rögzítik, a kommunikáció pedig a fedélzeti berendezésen is rögzítésre kerül.



6-5. ábra A DSRC technológia elve



6-6. ábra Az ITS technológiái a közlekedésben (forrás: www.etsi.org)

Jelenleg Európában szinte minden ország különböző saját fejlesztésű vonatbefolyásoló rendszert használ, ez a nemrég csatlakozott kelet-európai országokkal több, mint 20 különböző rendszert jelent. Az EU az egységes és átjárható vasutak megteremtése, a személyszállítás és teherszállítás hatékonyabbá tétele érdekében döntött arról, hogy Európában be kell vezetni az Egységes Európai Vasúti Közlekedésirányítási Rendszert (ERTMS – European Rail Traffic Management System) amely a GSM-R-ből mint szabványos, vezeték nélküli átviteli módból és az Egységes Európai Vonatbefolyásoló Rendszerből (ETCS – European Train Control System) áll. 2012-re több, mint 60000 km vasútvonal és több ezer gőrdülőállomás futott ERTMS szabvány szerint. A fejlesztés a már említett magyar tranzitútvonalat is érinti, az ERTMS D korridorja Valencia és Budapest között fut.

7. Összegzés és ajánlás

Összegezve a kitűzött célokat, a technikai megoldásokat és azok korlátait, ajánlást teszek a fejlesztés lehetőségeire, szem előtt tartva a vasúti célokat és sajátosságokat.

A vasúti szerelvények helymeghatározásának megoldását három szakaszra bontanám. Nyílt vasúti pályán a GNSS technológia teljesen jól működő megoldásnak tűnik, hiszen a teszt során is jól működött a valós idejű helymeghatározás nagy sebességnél is. A MÁV-TRAKCIÓ tervezett fejlesztése DGPS kódkorrekciót alkalmazott volna, ami, tekintve a mérési eredményeket, nyílt pályán elegendő lenne a sávszintű helymeghatározás megvalósításához. Úgy gondolom, hogy a hálózatos RTK technológia nem indokolt a célok megvalósítása szempontjából. Egyrészt jóval drágább eszközigényű (kétfrekvenciás, fázismérésre alkalmas vevő), mint a kódkorrekciót alkalmazó berendezések, valamint nagy sebesség esetén a másodpercenkénti adatrögzítés egyébként sem produkál tökéletes íveket, de szükség sincs rá. A korrekciók szolgáltatása egyrészt az állami fenntartású magyar aktív hálózat állomására támaszkodva történhetne, azonban a költségeket szem előtt tartva, a magán permanens állomások alkalmazása is felmerülhet.

Nyílt pályáról belterületi, városias körülmények közé érkezve, valamint a pályaudvarokon, rendező pályaudvarokon a GNSS technológiától független adatforrásokat is használni kell, melyek a műholdak által be nem látható helyeken is biztosítják a folyamatos helymeghatározást. Amennyiben a vasúti pálya előre fel van mérve (márpedig, elméletileg az FMK-007-es mérőkocsival ez évente megtörténik), akkor a vasúti alagutak és felüljárók miatti pozíció-kimaradást könnyen lehet interpolálni, de a közúti tömegközlekedésben alkalmazott helykódadás rendszer, odométerrel kiegészítve, kiváló megoldást nyújthat számos pályaudvar környékén a gördülőállományok helyzetéről. Ezt a rendszert valójában már alkalmazzák is a vasútüzem területén. A mozdonyokra szerelt odométerekkel a referenciapontoktól való távolság mérhető, azonban ez csak helyzeti információ, ezért kell ezt a Mozdonyfedélzeti Berendezés adataival és a GNSS technológiával összekapcsolni. Az odométerrel való helyzetinformáció közvetett, ezzel szemben a valós időben adatokat szolgáltató összehangolt rendszer jelentősen növelné a biztonságot is a már említett utastájékoztató rendszert kiszolgáló dinamikus adatszolgáltató szerepe mellett.

A sok sávval rendelkező pályaudvarokon, valamint a kocsik összeállítását ellátó rendező pályaudvarokon nem engedhető meg a sávon kívüli helymeghatározás, a gördülőállomány pozícióját és a dinamikus adatáramlást biztosítani kell. Ennek biztosítása a GNSS technológiával kiegészített Mozdonyfedélzeti Berendezés, valamint a vasúti biztosítóberendezések elektronikus visszajelzései alapján kell, hogy félreazonosítás nélkül megtörténjen.

Nyílt pálya	Leárnyékolt terület	Pályaudvar
1. MFB+DGPS	1. MFB+DGPS 2. DSRC	1. MFB+DGPS 2. DSRC 3. AVL
		

7-1. ábra Az eltérő körülmények között megkívánt technológiák alkalmazása vasúti célokra

Irodalomjegyzék

- [1] *Halbrucker T.: Diplomaterv*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésüzemi Tanszék, 2012.
- [2] *Busics Gy.: Műholdas helymeghatározás*, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2011.
- [3] *Biró P.: A vonatkoztatási rendszerek és a geodéziai dátum*, Geomatikai Közlemények VIII. kötet, MTA GGKI Sopron, 2005.
- [4] *Busics Gy.: Geodéziai hálózatok*, Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar, 2010.
- [5] *Ádám J., Bányai L., Borza T., Busics Gy., Kenyeres A., Krauter A., Takács B.: Műholdas helymeghatározás*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.
- [6] *Az Európai Közösségek Bizottsága: Zöld könyv a műholdas navigációs alkalmazásokról*, Brüsszel, 2006.
- [7] *Közúti informatika*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésüzemi Tanszék
- [8] *Lengyel E., Tóth J., Csiszár Cs., Juhász J.: Közlekedési informatika*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésüzemi Tanszék, 2004.
- [9] *Sara Gutiérrez-Lanza: Meet GINA-Road user pricing with GNSS and EGNOS*, Inside GNSS – www.insidegnss.com, 2011.
- [10] *Mihályka I., Winkler Á.: Új forgalomirányító és utastájékoztató rendszer a Kisalföld Volán Zrt.-nél*, Közlekedéstudományi Konferencia, Győr, 2013.
- [11] *Gombás L., Horváth Zs.: A GNSS technológia alkalmazása a vasúti gépek abszolút értelmű pozicionálásban*, Geodézia és Kartográfia, 2008.
- [12] *Lukasz Bonenberg, Craig Hancock: On the edge: Tracking, testing*, www.gpsworld.com, 2010.

- [13] *Lindenbach Á., Bokor Z., Mészáros F.: Stratégia az Intelligens Közlekedési Rendszerek és Szolgáltatások hazai fejlesztéséhez*, Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium vitaanyaga, Budapest, 2009.
- [14] *Barsi Á., Lovas T., Siegler Á., Schumann G.: Intelligens Közlekedési Rendszerek és Járműnavigáció*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 2011.
- [15] *Lovas T., Berényi A., Barsi Á.: Lézerszkennelés Monográfia*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, 2012.
- [16] *Michael E. Stanley: Degrees of freedom vs. axes*, <https://community.freescalar.com/community/the-embedded-beat/blog/2012/03/29/degrees-of-freedom-vs-axes>, 2012.

Mellékletek jegyzéke

[01] **Szakdolgozat 2013.:** Apjok Róbert – A műholdas helymeghatározás alkalmazása és megbízhatóságának vizsgálata a szárazföldi közlekedésben, Fájlformátum: *pdf.

[02] **Mérési eredmények, 2013. október:** A Leica 1200-as műszer memóriakártyájáról mentett mérési adatok, melyek 2013. október 6-án és 7-én keletkeztek. Feldolgozásuk Leica Geo Office szoftverrel történt.

[03] **RINEX fájlok:** A gnssnet.hu GNWEB szerveréről letöltött RINEX és Virtuális RINEX fájlokat tartalmazza, melyek az utófeldolgozáshoz voltak szükségesek. A feldolgozás Leica Geo Office szoftverrel történt.

[04] **Koordináta-jegyzékek:** Leica Geo Office szoftverből exportált koordináta-jegyzékek a mérések eredményéről, *txt formátumban.

[05] **Számítások:** A koordináta-jegyzékek alapján Microsoft Excel szoftver segítségével történt meg a mérési eredmények vizsgálata. Fájlformátum: *xlsx.

[06] **Táblázatok, grafikonok:** Microsoft Excel szoftverrel készült grafikonok és táblázatok a mérési eredmények feldolgozásának eredményei alapján. Fájlformátum: *xlsx.

[07] **ArcGIS állományok:** ArcGIS-ArcMAP 10 szoftverrel készített munkarészek fájljait tartalmazza. Fájlformátum: *.mxd