

A GPS technika nagy pontosságú alkalmazásának vizsgálata erdővel fedett területeken

T 037384. sz. tematikus OTKA kutatás

Témavezető: Dr. Bácsatyai László

A kutatás során elvégzett feladatok és eredmények összefoglalása:

- Kiépítettünk egy 11 pontból álló teszhálózatot, amely jól reprezentálja a magyarországi erdőfedettséget és a GPS mérések végrehajtására felhasználható jellegzetes helyeket.
- A teszhálózat EOVS vízszintes koordinátáit és balti magasságait (továbbiakban országos koordinátákat) mérőállomás felhasználásával szabatos sokszögeléssel határoztuk meg.
- Az OGPSH alponthálózat felhasználásával módszert dolgoztunk ki az országos és a GPS által használt WGS84 rendszerek közötti lokális transzformáció végrehajtására.
- Megállapítottuk, hogy a teszhálózat országos és transzformált WGS84 koordinátáinak a belső ellentmondása 2 cm értéknél kedvezőbb, ezért a hálózat alkalmas ellenőrző mérések végzésére.
- Digitális, halszemobjektívvel ellátott zenitkamerát fejlesztettünk ki a tesztpontokon történő mérések kitakarásának meghatározására és az erdőfedettségben történő változások folyamatos nyomon követésére.
- Kalibrációs berendezést terveztünk és egy új szoftvert fejlesztettünk ki a digitális mérőkamera halszemobjektívének kalibrációjára.
- Kimutattuk, hogy a zenit kamera egy pixel pontossággal kalibrálható, amely alkalmas a GPS mérési időpontokhoz tartozó azimut és zenitszögek 8 ívmásodpercnél pontosabb kijelölésére.
- Programot fejlesztettünk ki a zenitfelvételek térinformatikai feldolgozásához szükséges előkészítéshez. A képpixelek osztályozásánál égbolt, lombzat és faanyag kategóriákat definiáltunk.
- Programot fejlesztettünk ki a GPS mérési eredmények minőség elemzésére (SATVIS). A mérési időpontokhoz megadjuk az egyes frekvenciákra vonatkozó mérések jelenlétét, a jel/zaj viszonyokat és mérések azimut és zenitszögeit.
- A SATVIS program eredményeit szintén térinformatikai rendszerbe konvertáltuk. Meghatároztuk az egyes mérési időpontokhoz tartozó pixelelemeket, amelyekhez a minőségi és egyéb információs adatokat attribútumként rendeltük hozzá.
- A különböző időpontokhoz tartozó osztályozott zenitfelvételeket és a GPS mérési adatokat ARCVIEW térinformatikai szoftverrel elemezhetjük. Meghatározható a teljes képen, vagy a műholdak nyomvonala mentén az égbolt, lombzat és faanyag kategóriák előfordulási aránya, illetve ezek időbeli változása.
- A lombos erdők különböző biológiai ciklusában GPS méréseket végeztünk a teszhálózat pontjain. Különböző mérési hosszakat feldolgozva meghatároztuk a „kell” mínusz „van” értékeket, amelyek valódi hibának tekinthetők.
- Különböző grafikonok és korrelációs számítás segítségével vizsgáltuk, a hibák és a különböző paraméterek közötti tapasztalati összefüggéseket. A vizsgálatba bevonható mennyiségek: PDOP, HDOP és VDOP értékek, a mérések időtartama, a mérések éven belüli ideje, az égbolt/lomb/faanyag pixelek aránya a teljes horizonton és a műholdak nyomvonala mentén.

- A vizsgálatok igazolták, hogy a túlevelű erdők valóban kedvezőtlenebbek a GPS mérések szempontjából. Bebizonyosodott azonban, hogy erdővel fedett területeken is lehetőség van a geodéziai pontosságú helymeghatározásra, különösen a lombzat nélküli periódusban. Kedvező borítottságú helyeken 15-30 percnyi méréssel geodéziai pontosság érhető el. Az általánosnál lényegesen kedvezőtlenebb esetekben a hosszabb mérésekkel sem lehet lényegesen javítani az eredményeken, ezért a ponthely kiválasztása is fontos tényező. Nyiladékok, felújítások, vadlegelők és tisztások kiválasztása kedvezően befolyásolja a várható pontosságot.
- Nyílt területeken a jelenlegi műhold-konfiguráció gyakorlatilag szinte mindig biztosítja a kívánt pontosságot. Erdővel fedett területeken azonban a pontos mérések tervezése mindig gondos előkészületeket igényel. A mérések előkészítésénél a bevezetett zenitfelvételek és a tervezett időtartamra vonatkozó műhold előrejelzések segítségével nagy valószínűséggel megbecsülhető a várható pontosság.

Részletes ismertető:

Az utóbbi években az erdőműveléssel és a természeti erőforrások megőrzésével kapcsolatos erdőfeltárási és fotogrammetriai tevékenység a fedettebb területeken is igényli a geodéziai pontosság biztosítását, de az erdei lombzat alatt végzett GPS mérések pontosságáról a szakirodalomban többnyire ellentmondásos információkat találhatunk. Valószínűsíthető, hogy a pontosságot az erdőfedettség sűrűsége, a lombtakaró szezonális változása és minőségi jellemzői, a szabdaltabb erdei topográfia, valamint a mérések időtartama is befolyásolja. Az erdőfedettség- és a lombtakaró változásának hatása a lombos és a túlevelű állományokban is egyértelműen kimutatható. A kutatásaink fő célja a halszemobjektív zenit felvételek kiértékelésével a különböző fedettségekre és időpontokra vonatkozó várható pontosság becslésének kidolgozása volt.

Kutatási teszterületünk a Soproni-hegyvidéken helyezkedik el. Itt 10 állandósított mintapontot jelöltünk ki. A kijelölt mintapontok hazánk erdeire jellemző helyeken, részben lombos, illetve örökzöld, részben fiatal-, közép- és időskorú erdőállományban, erdei úton, illetve útkereszteződésben helyezkednek el. Elkerültük a 10°-nál nagyobb lejtésű területeket, hogy a domborzat kitakarása ne érvényesülhessen. A mintapontok állandósítása helyszínen csömöszölt betonnal (d = 10 cm, h = 50 cm), a pontjelölés acélsappal történt. A mintapontok biztosítására és megtalálásuk könnyítésére őrpontokat helyeztünk el. Sajnos, a mintapontok közül 3 – a mintaterületen folyó erdőgazdálkodás miatt – a kutatásunk végére használhatatlanná vált.

A mintapontok pontos koordinátáit vízszintes és magassági sokszögeléssel, Sokkia Powerset mérőállomással határoztuk meg a közelben lévő geodéziai alappontokból, cm-en belüli vízszintes és magassági pontossággal. Az összehasonlításhoz szükséges, a WGS84 és a HD-72 vonatkozási rendszerek közötti 7 paraméteres koordináta-transzformációhoz Sopron környékén elhelyezkedő azonos pontok, többségében eredeti OGPSH pontok felhasználásával kapott paramétereket használtunk. A transzformációs paraméterek meghatározása és a transzformáció megbízható végrehajtására – más célra is használható - szoftvert készítettünk.

A GPS mérések pontosságát nagyban befolyásoló horizontkorlátozások, valamint a kitakarások objektív meghatározása és dokumentálása céljából halszemoptikával készült zenitfelvételeket készítettünk. A HP PhotoSmart 912 típusú digitális fényképezőgéphez egy Nikon FC-E8 típusú nagy látószögű előtétlencsét illesztettünk. Az illesztést egy szűkítő-gyűrű (*step-down ring*) segítségével valósítottuk meg. A GPS antenna és a fényképező berendezés azonos helyzetét egy olyan közdarabbal rögzítettük, amely - a kényszerközpontosítóba illeszkedve -

biztosította a kamera és a műszertalp tengelyének egybeesését. A közdarabra szerelt kis tájoló segítségével biztosítható volt a felvételek É-i tájolása is.

A GPS antenna és a kamera fókuszpontjának azonos felvételi magasságát egy állítható magasságú műszerlábbal biztosítottuk. A kialakított optikai rendszert az 1. ábra mutatja be.

Az így kialakított összetett optikai rendszer – zoom-optika + előtétlencse – kalibrációja során meghatároztuk a fókuszpont helyét, a sugárirányú torzításokat (*radial distortion*) és a megvilágítottságot (*relative illumination*).

A kutatás időtartama alatt mindegyik mintaponton több mérést is végeztünk a vegetációs időszak különböző időpontjaiban. Bázisállomásként a MTA Geodéziai és Geofizikai Kutatóintézet tetején elhelyezett ismert koordinátájú pontot használtuk. A bázisvonalak hossza 6 és 7 km között volt. A mérések ideje: március (lombfakadás előtt); április-május 3 mérés (lomb növekedése idején); augusztus (teljes lombozat); október (lombhullás). A méréseket geodéziai célú GPS vevőkkel (Trimble, Leica) végeztük. A mérésekkel párhuzamosan zenitfelvételeket készítettünk. A mérések hossza általában 1 óra volt. Azonos típusú műszerekkel (Trimble 4000 SST) különböző mintapontokon mértünk egyidejűleg, így a mérések adatait azonos műhold-konfiguráció mellett hasonlíthatuk össze. A nyári időszakban navigációs célú GPS vevőkkel is végeztünk méréseket néhány mintaponton. Megállapítottuk, hogy a tőlük elvárható pontosságot lombozat alatt is tudják nyújtani.

A terepi méréseket mérés technikai problémák kísérték: egyrészt a zenitfelvételek tájékoztatóhoz szükséges volt a fényképezőgép északi irányba tájolása, de az elkészített összeállításban maga a fényképezőgép zavarta a tájolót, így a tájolás előtt le kellett szerelni azt. Másrészt nehézkes volt a felvételek készítése a nap miatt, mivel a felvételek egy részén nem tette lehetővé a kiértékelést. Ennek kiküszöbölésére egy mérés során két felvétel készült: a mérés előtt és után is egy-egy.

A méréseket a GPSurvey 2.35 szoftverrel dolgoztuk fel. Ennek során ionoszférikus korrekciót is alkalmaztunk, tapasztalataink szerint pontosabb eredményeket kaptunk vele. A kapott koordinátákat átszámítás után összehasonlítottuk a hagyományos módszerrel meghatározott koordinátákkal.

Megállapítottuk, hogy a GPS mérések pontossága szoros kapcsolatot mutat a vegetációs ciklussal. A vegetációs ciklus elejétől a közepéig (áprilistól júliusig) folyamatosan egyre nagyobb hibákat találtunk a mérésekben, mely a levél mennyiségének és méretének folyamatos növekedésével magyarázható. A nyár közepétől gyenge javulás áll be a mérések pontosságában, a lomb mennyiségének csökkenésével (aszály, rovarrágás, viharok) párhuzamosan egészen őszig, amikor is az első fagyok idején fokozódik a lombhullás, s így fokozódik a mérések pontossága. A 2. ábrán a vízszintes koordináta-eltérések mellett a teljes (vízszintes és függőleges) eltérések változását is bemutatjuk az idő függvényében (a mintapont egy középkorú bükkösben helyezkedik el). Érdekes, hogy ez a trend az örökzöldeknél is megjelenik, bár ott sokkal laposabb ez a görbe, valamint sokkal pontatlanabbak a mérések.

A vegetációs időn kívüli, a késő őszi – téli - kora tavaszi időszakban elérhető geodéziai pontosságot elsősorban az erdőterület fatömege befolyásolja. Minél sűrűbben vannak a fák, minél vastagabb a törzsük, annál nagyobb darabot takarnak ki az égboltból és teszik bizonytalanabbá a távolságmérést. Azokon a mintaterületeken, ahol az égbolt legalább 25%-a szabad, ott a tavaszi időszakban is biztosított volt a cm-es pontosság.

A terveknek megfelelően hosszabb idejű (több órás) méréseket is végeztünk a mérések optimális időtartamának meghatározásához. Az adatok feldolgozása során a mérés időtartamát kisebb szakaszokra bontottuk. Ezek a szakaszok 5, 10, 15, ..., 55, 60, 70, 80, ..., 220, 230, 240 perc hosszúságúak voltak. Amint várható volt, az első 30 percben fokozatosan javult a pontosság (3. ábra), de utána – főleg a nagyobb fasűrűségű mintapontokon – ismét nagy szórást mutattak a koordináták. Ezek alapján a mérés időtartamának növelése 30-60 perc után

nem hoz számottevő javulást a pontosságban, sőt, még bizonytalanabbá teheti az eredményeket. Azonos mintaponton, különböző időpontokban végzett méréseket is feldolgoztunk különböző hosszúságú szakaszokra bontva. A kitakarás változásától (vegetációs ciklus változásától) függetlenül fokozatosan javult a mérés pontossága az 1 óra időtartamú mérés alatt. Azonban ez a pontosság geodéziai célokra nem mindig megfelelő.

Elvégeztük a mérésekkel párhuzamosan készített zenitfelvételek kiértékelését. A felvételeket és a mérési eredményeket térinformatikai rendszerbe foglaltuk (Arcview 3.1). A RINEX formátumú GPS mérési fájlokból az általunk írt SATVIS programmal meghatároztuk a mérések folyamán minden észlelési időpontban a mintapontokról „látható” műholdak vízszintes és magassági szögét, illetve a vett frekvenciákat (nem vett jelet, csak L1, L1 és L2 is). Ezek, mint pontfedvény és leíró adataik kerültek a rendszerbe. A szögértékeket egy scripttel átalakítottuk képi koordinátákká, így megtörténhetett az azonos méréshez tartozó eredmények és felvételek összeillesztése (4. ábra) (*sky plot*).

A felvételek rendszerbe illesztése során problémát jelentett, hogy az általunk használt azonos típusú fényképezőgépekkel (2 db) készített felvételek más fizikai tulajdonságokkal rendelkeztek, így máshogy kellett az általunk használt koordinátarendszerbe beilleszteni. Itt derült ki az is, hogy a felvételek északi irányba történő tájékozása nem pontos, több foknyi elfordulás tapasztalható a különböző időpontokban, azonos helyszínen készített felvételek között. Az eltérés nem a mágneses észak változásából adódik (mivel azzal korrigáltuk a felvételek tájékozását), és mivel a helyszíni tájékozás a fényképezőgép leszerelése mellett történt, valószínűleg a használt tájoló nem felelt meg a pontossági követelményeinknek. A felvételek felhasználásához további korrekciók voltak szükségesek: az észlelt elfordulás kijavításához tájékozó pontokat kellett keresnünk a felvételeken, ezeket hagyományos geodéziai módszerrel bemérni, illetve referencia-felvételeket kellett készítenünk, és ehhez tájékozni az elkészült képeinket.

A felvételek elemzése során a műholdpozíciókhoz tartozó pixelek RGB-színkódú értékeit megfeleltettük az adott képhez kialakított égbolt-lomb-faanyag kategóriáknak, és ezeket vetettük össze a mérési eredményekkel. Méréseink igazolták, hogy a faanyag kitakarása a legfontosabb korlátozó tényező, akár 30°-os horizontkorlátozást is okozhat. A mozgó, vékony ágak és a lombtakaró miatt a GPS vevő csak az L1 frekvencián vesz jelet, bár itt is van rá példa, hogy mindkét frekvencián érkezett jel.

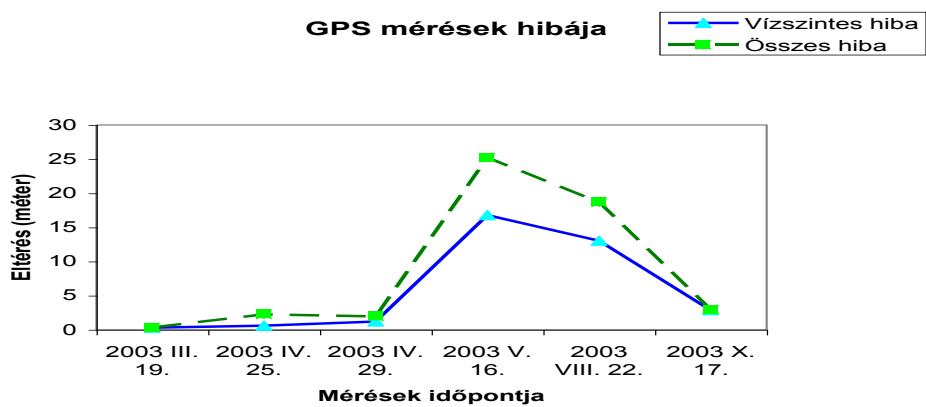
Bebizonyosodott, hogy erdővel fedett területeken is lehetőség van a geodéziai pontosságú helymeghatározásra, különösen a lombzat nélküli periódusban. Kedvező borítottságú helyeken 15-30 percnyi méréssel megfelelő pontosság érhető el. Az általánosnál lényegesen kedvezőtlenebb esetekben a hosszabb mérésekkel sem lehet lényegesen javítani az eredményeken, ezért a ponthely kiválasztása is fontos tényező. Nyiladékok, felújítások, vadlegelők és tisztások kiválasztása kedvezően befolyásolja a várható pontosságot. Erdővel fedett területeken a pontos mérések tervezése mindig gondos előkészületeket igényel. A mérések előkészítésénél a bevezetett zenitfelvételek és a tervezett időtartamra vonatkozó műhold előrejelzések segítségével nagy valószínűséggel megbecsülhető a várható pontosság.

A vizsgálatok nagy része Trimble 4000 SST berendezésekkel készült, az RTK technika csak 2005. végétől áll a rendelkezésünkre, aminek az erdészeti alkalmazása szintén további vizsgálatra szorul. Ez a pályázat megteremtette a vizsgálatok alapfeltételeit. A rendelkezésre álló infrastruktúra és a tovább folytatandó mérések még számos numerikus analízist tesznek lehetővé. Az OTKA ugyan technikailag most lezárult, de a vizsgálatokat tovább kívánjuk folytatni.

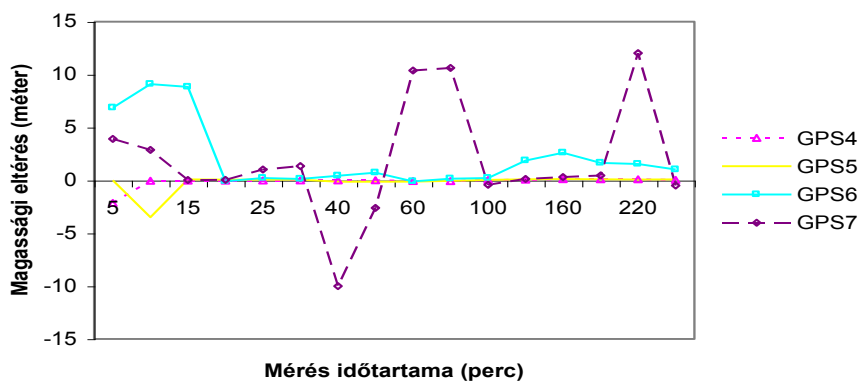
Ábrák:



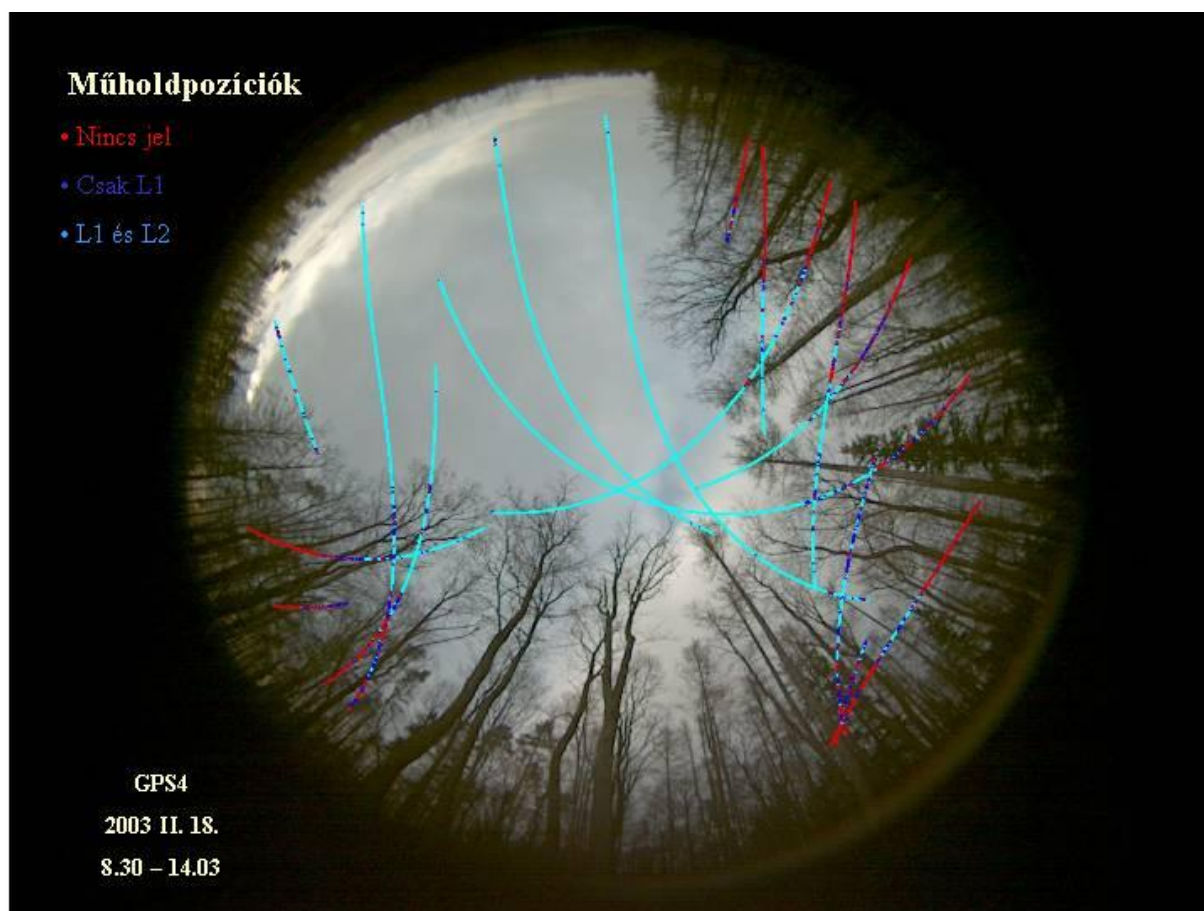
1. ábra. Optikai rendszer a zenitfelvételek készítéséhez



2. ábra. A 8. számú mintaponton végzett GPS mérések „hibái”



3. ábra. 4. mintaponton végzett GPS mérések magassági eltérései



4. ábra. A 4. mintaponton végzett GPS mérések műholdpozíciói