

Szakmai beszámoló

1. Mintaterületek kiválasztása

Kettő, a magyarországi erdőgazdálkodás, és főképpen a fotogrammetria alkalmazása szempontjából jellemzőnek tekinthető mintaterületet választottunk ki. Az egyik jellegzetesen sík terület elsősorban ültetvény erdőkkel. A második hegyvidéki terület többé-kevésbé természetes erdőkkel, és aktív erdőgazdálkodással.

I. mintaterület: Dél-Hanság (Jánossomorja 19 B, 20 B, 21 B, Kapuvár 19 A, 22 A 1, 22 A 2, 53 D, 53 F, 55 F, 56 B, 56 D, A, 58 B, 58 D, 58 F erdőrésztetek). Faállományok: nemesnyár, fehérfűz, mézgás éger, feketedió ültetvények.

II. mintaterület: Soproni-hegyvidék, a Soproni Tájvédelmi Körzettel azonos terület mintegy 4900 ha-on, amelynek 85 % erdő. Jellemző erdőtársulások a bükkösök és a gyertyános kocsánytalan tölgyesek. A területen jelentős telepített fenyő (elsősorban luc és jegenyefenyő) állományok találhatók.

Ezen belül részletes vizsgálat céljára az ER-46 Hidegvíz-völgy erdőrezervátum (Sopron 185 A, B, C, D, és E; 186 A, B, C, D és E erdőrésztetek). Faállományviszonyok az erdőrezervátumban: sok fafajú, elegyes, mozaikosan elhelyezkedő, váltakozva sarj- és mageredetű bükkös-kocsánytalan tölgyes, részben telepített lucfenyves.

2. Beruházások

- 1) ACP PK2-L500-1BB-MIC Albacomp Activa-Standard Lion 500 asztali számítógép,
- 2) Tilt / Shift optika, Canon TS-E 24 mm F e,5,
- 3) EOS PhotoModeler szoftver,
- 4) Z/I Imaging, Image Station Satellite Triangulation szoftver,
- 5) Leica Geosystems, Imagine upgrade,
- 6) Halszemoptika Sigma 8 mm EX circular fisheye,
- 7) Epson Perfection 4990 Photo szkennel,
- 8) Christal Eyes Stereo Glasses,
- 9) Canon vaku.

3. Kutatási anyagok beszerzése

3.1. OTKA támogatás terhére beszerzett kutatási anyagok

- 1) Soproni-hegység ELK-DDM-5 domborzatmodellje
- 2) Digitális erdőgazdasági üzemi térképek.
- 3) Soproni-hegység 2005. évi, M = 1 : 30000 légifényképei (Légi2005)
- 4) HM Térkép Kht. M = 1 : 20 000 légifényképek (Hanság)
- 5) PILINE földi lézerszkennel felvételek (ER-46 Hidegvíz-völgy erdőrezervátum)
- 6) 2007. évi QuickBird űrfelvételek (Sopron)

3.2. Más forrásból rendelkezésre álló anyagok

- 1) EOVS topográfiai térképek
- 2) Sopron nagy méretarányú légifényképezése (2005.04.02.)
- 3) Hanság Digitális Domborzatmodellje
- 4) Hanság 2004. évi légifényképei
- 5) Hansági, 2004. évi lézerszkenner felvételek
- 6) Fertő tó 2007. évi UltraCamD digitális légifényképei
- 7) 2005. évi QuickBird űrfelvétel (Hanság).

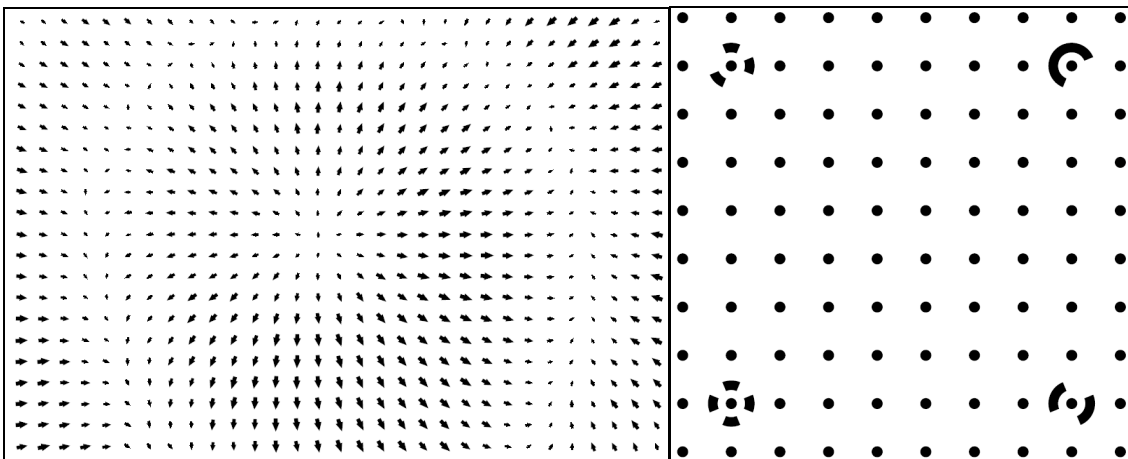
4. Optikák / fényképezők kalibrálása

A kutatásainkban fontos helyet foglalt el az amatőr kamerák kalibrációja. Ezek a kamerák szinte mindenki számára hozzáférhetőek, ugyanakkor fotogrammetriai mérésekre csak akkor alkalmasak, ha kalibráljuk őket (lásd 1. ábra).

A kalibráláshoz többféle módszert próbáltunk ki:

- Saját algoritmus
- Photo Mess Systeme AG Elcovision
- Camera Calibration Toolbox for Matlab®
- EOS Systems PhotoModeler®

A kalibrálással nagyon sok gondunk akadt. A saját módszerünk, amely csak a sugárirányú torzításokat modellezi, nem adott megfelelően pontos eredményt, ráadásul egy-két esetben a megoldás nem volt konvergens. A GVOP pályázatból beszerzésre került Photo Mess Systeme AG Elcovision programja önmagában nem tartalmazza a kalibráló részt, amelyet külön kellett volna megvásárolni, és az ára meglehetősen magas lett volna. Ráadásul ez a szoftver olyan paramétereket határoz meg, amelyekből nem lehet egyértelműen áttérni a klasszikus fotogrammetriai paraméterekre. Az amúgy ingyenes, Matlab® alatt működő Camera Calibration Toolbox alkalmazásával már jelentősen jobb eredményeket kaptunk, de még mindig egy nagyságrenddel nagyobbak voltak a maradék hibák az elvárásainkhoz képest. Végül kipróbáltuk az EOS Systems PhotoModeler®-jét, és ennek kalibráló modulja segítségével azután megfelelő eredményt kaptunk, így a szoftver beszerzésre került.



1. ábra: A kalibrálás nélküli felvétel hibatérképe, valamint az EOS PhotoModeler tesztábrája

A Canon EOS 1Ds Mark II kamerapár kalibrálását így végül az EOS Systems PhotoModeler Pro 5 program kalibráló modulja segítségével végeztük el. A kalibrálás végrehajtásához egy szabályos tesztábráról (lásd 1. ábra) készítettünk felvételeket különböző kamera-pozíciókból. A tesztábrát egy terem falára vetítettük, hogy a kamera és a kép elrendezése minél jobban

közelítse a későbbi felhasználás feltételeit. A felvételek öt különböző álláspontból, két-két kamera pozícióval (fekvő és álló képek) készültek. Mindkét kamerát kalibráltuk a 28 mm-es és az 50 mm-es fókusz távolságú objektívekkel, sorozatonként 10-10 képpel.

A PhotoModeler® által használt standard kalibrálási egyenlet 4 paramétert használ. Bármely pont (x,y) kiegyenlítése a képsíkban (adott képfőpont mellett: 0,0) a következő egyenletekkel adható meg: $x_c = x + drx + dpx$ $y_c = y + dry + dpy$

Ahol: x_c , y_c a kompenzált képpont

drx a radiális torzítás korrekció x komponense

dry a radiális torzítás korrekció y komponense

dpx a tangenciális torzítás x komponense

dpy a tangenciális torzítás y komponense

A kamerák kalibrálását a korábbi kísérletekhez készített képsorozatokra is elvégeztük, amellyel az eltérő felvételi körülmények kalibrálásra való hatását is vizsgáltuk. A felvételi körülmények különbségének tulajdonítható szisztematikus hibát mutattunk ki a különböző kalibrálásokhoz készített tesztfényképeknél. Kimutattuk a rekesz értékek pontosságra való hatását a maradék hiba értékek alapján, a szélső tartományok (f1,8 és f22) rosszabb értékeket adtak, mint a középső érték (f5,6). A kalibrálások során a 28 mm-es optika esetében a ~12,7 pixeles maximális, és ~9,6 pixeles átlagos kezdeti eltérést a kalibrálás után 1,2 pixeles maximális, és ~0,2 pixeles átlagos eltérésre tudtuk csökkenteni. Ennél a fényképezőnél 1 pixel 7,2 mikron. A kalibrálások részletes eredményei a következő cikkben találhatóak: (Bazsó T., Eredics A., Király G., 2007).

4.1. Alkalmazások

A kalibrált kamerák segítségével lehetőség nyílik a mérőkamerák pontosságát megközelítő fotogrammetriai kiértékelésre. Alkalmazásukkal mind földi, mind pedig légi, egyképes és többképes felvételek készíthetők. Az általunk készített adapterek segítségével a GVOP pályázatból beszerzett Leica TCR1205-ös mérőállomásunk tetejére rögzíteni tudunk egy kamerát, vagy a kamerapárt is. Egy kamera rögzítésével és felvételek készítésével a terepi manuálét lehet kiváltani. Egy kamera rögzítése esetén, ha nagyobb bázissal, több álláspontból készítünk felvételeket idős, valamilyen szempontból jelentős fák, famatuzsálemek felmérésekor, akkor hatékonyan alkalmazhatjuk a Tilt/Shift optikát. Ennek segítségével egyrészt a felvételkészítés válik könnyebbé (sőt, bizonyos esetekben csak ezáltal megvalósítható) szűk területeken, másrészt az elkészült felvételen a kép felbontása közel azonos a talajszintben és a fa csúcsánál. Ennek a mérések kivitelezhetőségén túl a modellek textúrálásánál van nagy jelentősége.



2. ábra: Amatőr kalibrált kamerák alkalmazása. Egyesfák felmérése földi sztereofotogrammetriával (bal oldalon), valamint légifénykép a fertői Lés-erdőről.

Egy diplomatervező hallgató, Eredics Attila, a földi sztereofotogrammetriai felvételeket vizsgálta a fatömeg-meghatározás szempontjából. Munkája során kifejlesztett egy olyan alkalmazást, amely a képpárokából megfelelő paraméterezés után meghatározza a legfontosabb faállomány-jellemzőket (Eredics, 2008).

A Canon EOS 1Ds Mark II kamerához az OTKA támogatásával beszereztünk egy Sigma 8 mm EX *circular fisheye* halszem optikát, amelynek a kalibrálása a saját módszerünk segítségével megtörtént (Király et al. 2003). Az erdős területen történő GPS méréseknél általános gyakorlattá alakítottuk ki azt, hogy a pont kijelölésekor készítünk egy hemiszférikus felvételt, és ezt kiértékelve tervezzük meg a GPS-mérést.

A kalibrált kamera segítségével költséghatékony repülőszervezetről, motoros sárkányrepülőről számos felvételt készítettünk. Ahhoz, hogy ezt kivitelezhessük, a kalibráláson túl számos problémát kellett megoldani az automatikus exponálástól kezdve a fényképező rögzítésén át a GPS navigációig és vezérlésig. Különböző repülési magasságokból készítettünk fényképeket a Fertői kastélyt övező Lés-erdőben, elsősorban a nagylátószögű, 28 mm-es optikával. A felvételek kiértékelése DigiTerra Map illetve a Z/I Imaging Image Station alatt történtek. A kalibrálási paramétereket át kellett számítani a megfelelő formába. Ezek után a felvételek pontossága 1,7 pixelen belül volt 200 m repülési magasságtól felfelé. 500 m-es repülési magasság esetén 1 pixel ~13 cm. A képek csodálatos térmodellt biztosítottak. Ugyanakkor az 500 m-es repülési magasságból 1 felvétel az ~430*640 m, a viszonylag kis területű Lés-erdőt sztereo átfedéssel ~ 60 felvétel fedi le. Ez jelentős mértékben megnöveli a tájékozási munkákat, még automatikus relatív tájékozás esetén is.

5. Vexcel Imaging UltraCamD Digitális mérőkamerás légifényképek vizsgálata

Magyarország első digitális mérőkamerás légifényképezése 2007. július 15-én, a Fertő-tavon valósult meg Vexcel Imaging UltraCamD kamerával. A légifényképezés a Fertő-tavi nádasok osztályozásához készült. Így lehetőségünk adódott ezt a nagyon értékes állományt is megvizsgálni. A felvételek nagyon jó minőségben, 30 cm-es terepi felbontással, és 14 bites

radiometriai felbontással készültek. A tájékozás átlagos hibája 0,17 pixel volt, tehát geometriai szempontból egy nagyon pontos ortofotó terméket lehetett előállítani. Ugyanakkor radiometriai szempontból, az amúgy nagyon jó dinamikájú felvételeken jelentős változatosságot tapasztaltunk. Ezt egyrészt a megvilágítási és szemlélési geometriának, az un. BRDF-nek tulajdonítottuk (Király G. - Márkus I. 2007), de számos egyéb tényező is szerepet játszhatott benne, pl. a felvételezéskor használt *gain* érték, amelyet a felvételt készítő Eurosense Kft. a sorok között is változtatott, és jelenleg sincs pontos információnk róla.

Ez is hozzájárult ahhoz, hogy egy olyan QuickBird űrfelvételt szerezzünk be az OTKA támogatás segítségével, amely lehetőséget biztosít a felvételek radiometriai összehasonlítására. A munka kezdet eredményeiről az ISPRS kongresszuson számoltunk be (Király 2008), ugyanakkor a részletes elemzést tartalmazó cikk megjelenésére még várni kell.

6. A kutatási tervben előirányzott témák feldolgozása a kijelölt mintaterületeken

6.1. Hanság

6.1.1. A mintaterület leírása

A hansági mintaterület kijelölését a más forrásból beszerzett légi lézeres letapogatás vizsgálatba vonása is indokolta. A felvétel 21,5 km² területen nyúlik át Ausztriából Magyarországra, melyből 281 ha erdővel borított területre esik. Az érintett község határok: Kapuvár, Csorna és Jánossomorja. Összesen 53 erdőrészletet jelöltünk ki mintaterületként, mely minden olyan erdőrészletet tartalmaz, mely a felvételen teljes területében rögzítésre került. A Hanságban lejátszódó termőhelyi átalakulások folytán az itt található természetközeli égeresek, valamint ültetvényyszerű nemesnyárasok és fehér füzesek rendkívül mozaikos szerkezetűek. Ez a sajátosságuk különösen megnehezíti a hagyományos módszerekkel történő állományfelvételt és térképezést, ezért e tekintetben itt különösen indokolt újfajta távérzékelési eljárások kipróbálása.

6.1.2. Felhasznált forrásanyagok

A hansági mintaterületre rendelkezésünkre állt az Állami Erdészeti Szolgálat által készített, 2004. évi 1:20 000-es méretarányú, színhelyes színes légifénykép anyag. A SISTEMaPARC projekt keretében került beszerzésre egy QuickBird űrfelvétel. Az űrfelvétel 2005. július 30-án készült, egy un. *Standard* felvétel volt. Szintén ezen projekt keretében az osztrák partnertől, a Bécsi Műegyetem Fotogrammetriai és Távérzékelési Intézetétől (TUW, IPF) kaptunk meg egy légi lézeres letapogatás adatállományait, amely határmenti magyarországi területeket is érintett.

Az Állami Erdészeti Szolgálattal kötött együttműködési megállapodás értelmében használtuk fel kutatásainkban a Hanságban a digitális erdészeti üzemi térképet, és az erdőállomány adatokat.

Egy korábbi projektünk során – a „Fertő-Hanság Nemzeti Park és a Szigetközi Tájvédelmi Körzet térinformatikai rendszerének kifejlesztése” című, PHARE CBC Program – erről a területről rendelkezésünkre álltak az 1:10 000-es EOTR térképek, amelynek magassági ábrázolásának digitalizálásával állítottuk elő még akkor a digitális domborzatmodellt (DDM).

6.1.3. Illesztőpontok

A 2004. évi ÁESZ-es légifényképek tájékoztatóhoz az illesztőpontokat Kálmán Miklós diplomatervező-hallgató mérte egy Trimble 4000 SST vevőpárral (Kálmán M. 2006), gyorsstatikus módban. A koordináták meghatározása utófeldolgozással történt. Ezeket a pontokat még további mérésekkel is kiegészítettük. Ezen további illesztőpontok és mintavételi parcellák kijelölése szintén GPS mérésekkel történt. Az alkalmazott műszerek egy Trimble 4000 SST és egy Leica 1200-as kétfrekvenciás, geodéziai pontosságú vevőpárok voltak. Az illesztőpontok mérése 2005 nyarán, a mintavételi parcellák mérése 2006 tavaszán történt. Az alkalmazott mérési módszerek minden esetben fázismérésen alapuló, relatív helymeghatározások voltak, melyeket illesztőpontok esetén gyors statikus, ill. mintaparcellák esetén valós idejű kinematikus eljárással végeztünk. Összesen 8 utólagos illesztőpont, és 15 mintavételi parcella középpontja került bemérésre. A mintavételi parcellák határait az esetek többségében egy Thales Mobile Mapper CE GIS adatgyűjtővel jelöltük ki, ill. magas záródás esetén tájolóval mért mágneses azimut és ultrahangos távmérővel végzett távolságmérés alapján.

6.1.4. DDM / DSM

A hansági mintaterület digitális domborzatmodelljét először az 1:10'000 méretarányú topográfiai térkép szintvonalainak digitalizálásával állítottuk elő. A modellezéshez síklapos és Beziér-felületfolttal interpolált háromszöghálót is kipróbáltunk. A mintaterület egy részéről sikerült beszerezni a Bécsi Műszaki Egyetem Távérzékelési Intézete által, lézeres letapogatás alapján készült, nagy pontosságú domborzatmodellt. Az adatgyűjtés egy TopScan ALTM 2050-es szenzorral történt 1,5 pont/m² pontsűrűséggel. A domborzatmodell előállítását az ún. Hierarchic Robust Interpolation eljárással történt, mely különösen hatékony és pontos módszer az egyébként problémás erdőterületek esetén is.

A mintaterületről rendelkezésre álló légifénykép anyag kontrasztviszonyai nem tették lehetővé az automatikus domborzatmodell előállítását. Arra azonban megfelelőek voltak, hogy ezek alapján végezzünk sztereo-fotogrammetriai úton referenciaméréseket a famagasság méréséhez és meghatározásához.

A lézeres letapogatásból előállítandó borított felületmodellhez egyedi szűrési eljárás kidolgozására volt szükség. Ennek okai (1) A vegetációvizsgálatok számára kedvezőtlen téli felvétel, (2) A hansági faállományokra jellemző törzsenkénti ill. mozaikos, pusztulásos jellegű felnyílások. A kifejlesztett szűrés egy morfológiai alapú, iteratív, bilineáris eljárással számított küszöbölési algoritmus. Az eljárás részletei egy megjelenés alatt álló kiadványban található (Brolly G. – Király G. – Márkus I. 2009). Az eredményül kapott felületmodell magasságai alapján a terület domborzatmodelljének felhasználásával olyan magassági modellt kaptunk, mely $\pm 1,6$ méteres középponttal becsülte a mintaterületen található erdőrészeket (n=53) átlagmagasságát, amellyel alkalmas az erdőrészek belüli állományfoltok megjelenítésére.

A domborzatmodellek értékelésénél a döntő tényező, hogy a négyzetméterenkénti mérési sűrűség a lézerekkel történő mérés esetén – a terület fedettségétől függően – mintegy 50-200-szorosa volt a digitalizálásának, ráadásul sokkal egyenletesebb elosztásban. Emellett a topográfiai térkép domborzatrajza alapján interpolált felület nem tartalmazza a szintvonalak közötti kisebb magasságkülönbségű mikrodomborzati elemeket, noha a vizek összefolyásában, vízpangások kialakulásában ezeknek döntő szerep jut. Az állománymagassági modell hibáinak vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy alacsonyabb állományoknál rendszerint alábecslés, míg

idősebb állományoknál fölébecslés jelentkezik. Ennek okai egyelőre nem ismertek, de e vélhetőleg szabályos hibaforrás figyelembevételével a középhiba tovább csökkenthető.

6.1.5. Ortofotók

A 2004. évi képanyagból többféle módon állítottunk elő ortofotókat: egyrészt a digitális domborzatmodell alapján; másrészt a légi lézeres letapogatásból származó borított felszínmodell alapján. Ez utóbbi alkalmazásával a nyiladékok és erdőszegélyek nagyobb pontossággal azonosíthatók az ortofotóról, a fák dőlése nem jelentkezik.

A QuickBird űrfelvételt sajnos nem olyan formában kaptuk meg, hogy lehetőségünk legyen az ortorektifikálásához, azonban a mintaterület sík volta miatt egyszerűbb transzformációval is pontosítani tudtuk a felvételt annyira, hogy ez ne okozzon ellentmondásokat.

6.1.6. Manuális vektorizálás

Részben tanszékünk munkájának köszönhető, hogy az Állami Erdészeti Szolgálat a térképfelújításokat a digitális ortofotók alapján – vagy legalábbis jelentős segítségével – végzi. A 2004. évi felvételek kifejezetten abból a célból készültek, hogy a 2005. évi erdőtervezést segítsék. Az üzemi térkép elkészült a digitális domborzat- és a borított felszín-modell alapján készült ortofotók segítségével is (Brolly G. – Király G. – Márkus I. 2007).

6.1.7. Automatikus vektorizálás

A cél olyan automatikus úton előállított erdőterkép létrehozása volt, mely mind magassági, mind elegyedési jellemzőket figyelembe véve optimalizálja az erdőrészek további, alrészlet szerinti felosztását, nagyterületű ültetvények esetén. A forrásadatok egy nagyfelbontású QuickBird űrfelvétel, és a lézeres letapogatás adataiból előállított magassági modell voltak. E forrásadatok kiemelkedően jó geometriai felbontása már meghaladja az elterjedt képpont-alapú képfeldolgozás lehetőségeit, emiatt objektum-alapú megközelítést alkalmaztunk (Király G. – Brolly G. 2006). Ennek során a geometriailag egyesített spektrális és magassági adatokat az ún. *multiscale-resolution* képszegmentáló eljárással, homogenitási és alakkritériumok alapján homogén régiókra osztottuk. Az alkalmazott eCognition Professional szoftverrel az adatok régiókra bontásával egyidőben annak határai is létrejöttek vektoros formátumban, melyek egyszerű generalizálás után alkalmasnak bizonyultak az alrészlethatárok meghatározására. Az eljárás messze túlmutat az erdőterképezésen, így összetettebb növényi és természeti környezetben is használható általános növényterképezési célokra (Brolly G. – Király G. – Márkus I. 2007).

6.1.8. Sztereo-fotogrammetriai vektorizálás

A légifényképek minősége nem tette lehetővé az automatikus felületmodell-meghatározást, de segítségével térkiértékelést végeztük a mintaterületen. Ezek a kiértékelések egyrészt referenciaként szolgáltak a légi lézeres letapogatásból (ALS) levezethető faállomány-magasságok pontosságának megítéléséhez (Király G.; Brolly G., 2006) másrészt gyakran jelentős többletinformációt szolgáltatnak a mintaterületen oly jellemző változatos termőhelyi viszonyok között.

6.1.9. Összehasonlítás

Ezen a mintaterületen jellemző, hogy az erdőrészlet-határok gyakran nem követik a faállomány határát, hanem jogi határvonalak, vagy egyéb objektumok határaihoz igazodnak (pl. csatornák). A szegmentálásokat elvégeztük önállóan, valamint az üzemi térkép határvonalaihoz igazodva is. Az előbbi esetben a szegmentálás eredménye jelentősen eltért a

jogi határoktól, az utóbbi esetben azonban az erdőrészeteken belüli faállomány-részeket jól elkülönítette. Az üzemtervi leíró adatok közül a famagasságot és a törzsszámot határoztuk meg a forrásadatokból, ez előbbit többféle módszerrel is, ezeknek eredménye több közleményben jelent meg (Király G. – Brolly G. 2006; Brolly G. – Király G. – Márkus I. 2007; Brolly G. – Király G. – Márkus I. 2009).

6.2. Soproni-hegység

A Soproni Tájvédelmi Körzettel azonos terület, mintegy 4900 ha-on terül el, amelynek 85 % erdő. Jellemző erdőtársulások a bükkösök és a gyertyános kocsánytalan tölgyesek. A területen jelentős telepített fenyő (elsősorban luc és jegenyefenyő) állományok is találhatóak.

6.2.1. Felhasznált forrásanyagok

Ezen a mintaterületen a Légi2005 projekt fényképeiből egy repülési sor egymás utáni 6 felvételét szereztük be. A felvételek 1:30 000-es méretarányban, színhelyes színes filmre készültek, amelyeket 21 µm-es felbontással szkenneltük be.

Megrendeltük az Eurimage úrfelvétel-forgalmazón keresztül a Digital Globe cégtől a Soproni-hegységet többé-kevésbé lefedő QuickBird úrfelvételt. Ennél a rendelésnél már 'ortho ready' terméket kértünk, amelyen az ortorektifikáció is elvégezhető. Az úrfelvétel 2007.07.18-án készült, három nappal az első magyarországi digitális mérőkamerás légifényképezés után (Király – Márkus 2007).

A mintaterületre a FÖMI-től szereztük be a DDM5 domborzatmodellt.

A Tanulmányi Állami Erdőgazdaság területén a Nyugat-magyarországi Egyetem jogosult a digitális üzemi térképet és a leíró adatokat oktatási/kutatási feladatokhoz felhasználni.

6.2.2. Illesztőpontok

A Soproni-hegység területén elég sok munka született már, amelyeknek fő feladata, vagy csak része volt az illesztőpontok mérése (Bácsi 1986; Bánky 1987; Miszori 2003; Király 2007). Ezeket a méréseket jelentősen kiegészítettük a 2005-ös légifényképek tájékoztatóhoz.

6.2.3. DDM / DSM

A Soproni hegyvidéken jellemző összefüggő erdőborítás miatt automatikus úton állíthattunk elő lombkorona-felületmodellt a Légi2005 képanyagból. Ezt a Z/I Imaging ImageStation® AutomaticElevation moduljával végeztük. A program a tájékoztató elemek ismeretében a képrészletek közötti korreláció alapján keres fel homológ pontokat, melyekből az epipoláris geometria szerint térbeli koordinátákat számol. Ez a pontalmaz tartalmazza a talajfelszín és tereptárgyak pontjait, ill. téves egyeztetésből adódó pontokat. A modellezni kívánt felület változatosságának megfelelő szűrést és simítást követően, bilineáris interpolációval áll elő a modell. A folyamat a képek piramisrétegei szerint, a felbontást növelve, hierarchikus módon zajlik, fokozatosan finomítva a modellt. A módszert többféle paraméterezés mellett kipróbáltuk. A legeredményesebb megoldást a sűrű képegyeztetés és szigorú korrelációs küszöb alkalmazása jelentette.

Az elkészült lombkorona-felületmodellből a domborzatmodell felhasználásával faállomány-magassági modellt állítottunk elő. A modell által számított erdőrészet átlagmagasságokat 102 erdőrészet adataival hasonlítottuk össze, melynek során $\pm 3,5$ méteres középhiba adódott (Brolly – Király – Márkus, 2009). A hiba összetételében számolni kell a DDM5 és a

képegyeztetés hibáiból adódó hatásokkal, ezek szétválasztása és értékelése még további kutatásokat igényel. Eddigi vizsgálataink szerint a kiugróan hibás becslésű erdőrészek az esetek jelentős részében a modellezés interpolációs fázisát megelőzően lényegesen alacsonyabb pontsűrűséggel rendelkeztek. Ez a megfigyelés a jövőben remélhetőleg segít majd a modell megbízhatóságának előrejelzésében.

A korlátozott pontosság ellenére e vizsgálat jelentősége abban áll, hogy a valamennyi felhasznált forrásadat országos méretben rendelkezésre áll, így a bemutatott eljárás erdőreszlet szintű állományfelvételek helyett nagyterületi felmérések, regionális erdőleltárok potenciális módszere lehet.

6.2.4. Ortofotók

A LÉGI2005 képanyagból előállítottuk az egyes ortofotókat és az ortofotó-mozaikokat is a DDM alapján. Az automatikusan előállított borított felszínmodell segítségével olyan valódi, un. *true* ortofotót állítottunk elő, amelyen a fák már nem dőlnek. A későbbiekben mindkét ortofotó alapján végeztünk erdőtérképezést.

A Sopron környéki QuickBird űrfelvétel előzetes feldolgozási foka: "*Standard, Ortho Ready*", vetülete a nemzetközi NUTM Z33 (WGS84). Az előzetes vizsgálatok alapján a felvétel geometriai pontossága 5-10 méter közötti értékkel jellemezhető, mely jobb ugyan, mint ami a specifikációban szerepel, viszont így is elmarad a hasonló geometriai felbontású légifelvételekétől.

A felvétel tájékozásának javítását és EOVS vetületbe illesztését végül a DDM5 digitális domborzatmodell, illesztőpontok és a felvétellel megvásárolt, a szenzor belső tájékozási elemeit empirikusan közelítő törtpolinomos együtthatók (RPC) felhasználásával végeztük. A tájékozáshoz az Erdas Imagine 8.7 programot használtuk. Az illesztőpontok egy részét Miszori (2003) munkájából vettük át. Összesen 32 illesztőpont bevonásával a tájékozás belső pontosságát 2 méterre növeltük.

6.2.5. Manuális vektorizálás

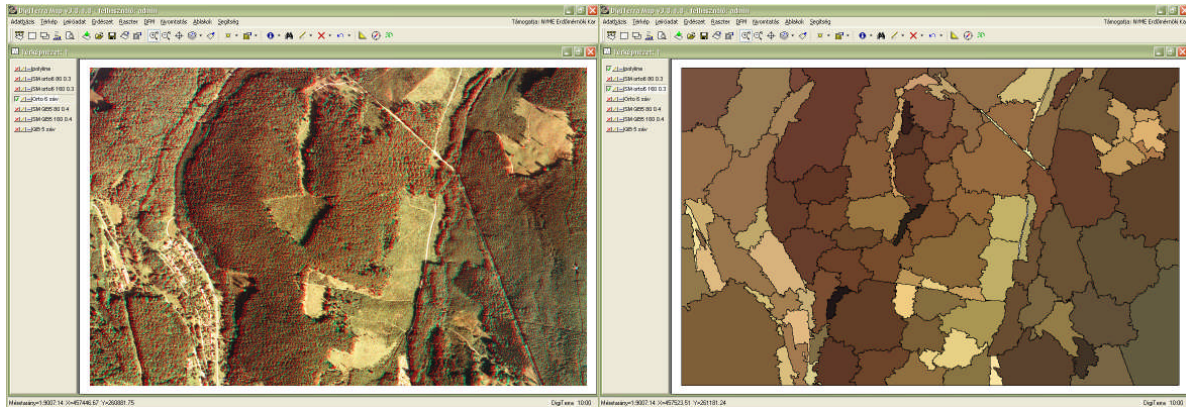
Az ÁESZ gyakorlatának megfelelően elvégeztük az erdőtérképezést az ortofotók alapján. Ezen a területen az erdőreszlet-határok jobban igazodnak a faállomány határaihoz, de még itt is vannak olyan esetek, amikor egy határvonalat pusztán a jogi határvonal megléte indokol.

6.2.6. Automatikus vektorizálás

A Soproni-hegységben került kidolgozásra a távérzékelési forrásadatok referencia vektoros térkép alapú elemzése és osztályozása. Ennél a módszernél a képi felvételeket az erdőgazdálkodási üzemi térkép által meghatározott alapegységére, az erdőreszletekre vizsgáljuk és elemezzük, így kapunk az adott erdőreszletről és annak változásairól információt (Király, 2007).

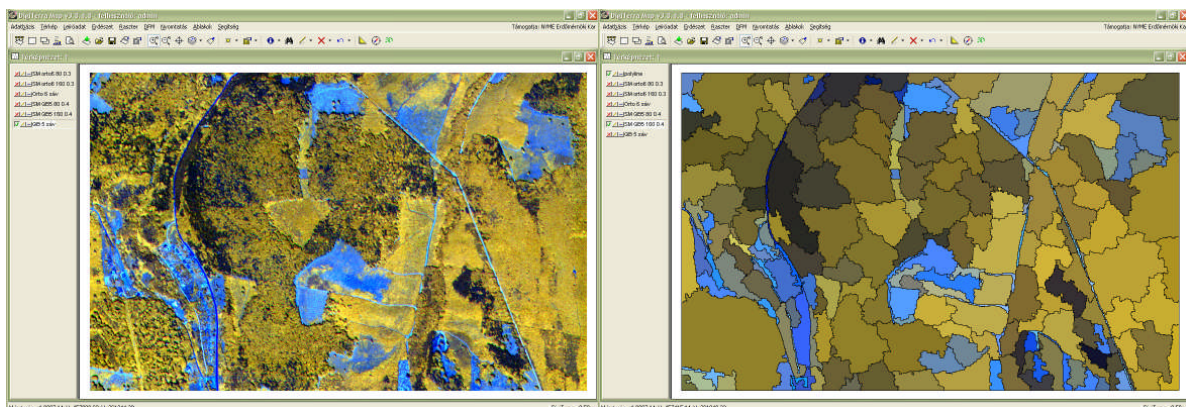
Ezen a mintaterületen teszteltük először a Czimber Kornél által kifejlesztett, új, általános célú képosztályozót (Czimber, 2009). Az új osztályozó alapja egy olyan szegmentálás, amely lentől felfelé (bottom-up), az összes pixelből kiindulva alakítja ki a bemeneti paraméterként meghatározott léptéktényezőnek és alakszámnak megfelelő szegmenseket, amely szegmensek később az osztályozás alapját képezik.

A szegmentálás alapú osztályozást két különböző léptéktényezővel végeztük el, először a LÉGI2005 felvételekből készült sztereo orto felvételpáron (3. ábra). Ez a kompozit a terepmodellhez viszonyított eltéréseket mutatja meg, ilyen módon nagyon szemléletes rajta a faállomány. A kompozit szegmentálása lehetővé teszi a parallaxisok bevonását is a szegmentálásba és az osztályozásba.



3. ábra: a LÉGI2005 felvételekből készült sztereo orto felvételpár, és szegmentálásának eredménye

A szegmentálás alapú osztályozást elvégeztük a QuickBird űrfelvétel négy multispektrális és egy pankromatikus sávjaiból készített színekompoziton is (4. ábra).



4. ábra: A QuickBird űrfelvétel 4+1 sávós kompozitja, és annak szegmentálása

6.2.7. Sztereo-fotogrammetriai vektorizálás

A mintaterületen sztereo-fotogrammetriai kiértékelést is végeztünk a légifényképek alapján. Az igen változatos állományviszonyok között a térkiértékelés gyakran szükséges kiegészítése az automatikus felületmodell-meghatározásnak a modell szabdaltsága miatt.

6.2.8. Összehasonlítás

Ezen a mintaterületen az erdőtérképeket az orto felvételek, a sztereo-felvételekből előállított különböző felületmodellek, valamint az erdőtérkép alapú elemzések segítségével készítettünk. Az orto felvételek osztályozásánál mindenképpen szükséges a szegmentálás alapú osztályozó. A sztereo orto kompozit felhasználásával az osztályozás jelentősen pontosítható. Még jobb eredményt értünk el, amikor a borított felszínmodellt is bevontuk az osztályozási folyamatba. A vektor alapú osztályozó kevésbé érzékeny a forrás felvétel geometriai felbontására és egyéb, pl. spektrális jellemzőire.

6.3. Hidegvíz-völgy Erdőrezervátum

6.3.1. A mintaterület leírása

A Hidegvíz-völgy Erdőrezervátum a Soproni-hegység mintaterületen belül, az osztrák határ közelében található (Király–Brolly–Márkus 2007) található. Az előző mintaterületről való különválasztását az indokolta, hogy ezen a területen jelentősen nagyobb méretarányban és adatsűrűségben dolgoztunk. A rezervátum a 63 erdőrezervátumból álló hazai erdőrezervátum-hálózat tagja, amelyet 2004-ben jelöltek ki hosszú távú vizsgálatokra (HTV).

6.3.2. Felhasznált forrásanyagok

Nem sokkal azután, hogy a rezervátumot kijelölték HTV-re, lehetőség adódott arra, hogy egy koratavaszi, Sopron belterületeinek légifényképezéséhez kapcsolódva, nagyon nagy méretarányú, 1:4 000-es színhelyes színes légifényképezést rendeljünk más forrásból. A képanyag 2005.04.02-án készült el, jó fotografiai minőségben. A rezervátumot lefedő 3 db felvételt 14 µm-es felbontással digitalizálták, így a terepi felbontásuk ~ 6 cm-es.

Az országos 2005-ös légifényképezésből beszerzésre kerültek nemcsak az erdőrezervátumot lefedő képek, hanem a teljes Soproni-hegységet lefedő hat felvétel. Ez a 2005-ös képanyag már jobb radiometriával rendelkezik, mint a 2000. évi képek, de az erdőterületek esetében itt sem elegendő a kinyerhető információ.

Egy szakmai rendezvényen alakult ki kapcsolatunk a piLine Kft-vel, akiktől megrendeltük az erdőrezervátum két kijelölt hálópontjában és annak környékén a földi lézeres letapogatást (TLS). A felvételezést egy Riegl LMS Z420i szkennel segítségével, 2006. április 6-án végezték el.

A tanszékünkön évről-évre megszervezésre kerülő Geodéziai Nagygyakorlatot 2005 és 2007 között a Hidegvíz-völgy Erdőrezervátumban tartottuk. Ezen nagygyakorlatok során került felmérésre mind a rezervátum magterülete, mind a védőzónája, és kitértünk az ERDŐ+h+á+l+ó pontokat. A létesített geometriai alap jó lehetőséget teremtett különböző további mérésekhez. Egy walesi egyetemen készült diplomaterv keretében kijelölt mintaterületen részletes törzstérkép készült (B. v. Puttkamer 2006), valamint egy térinformatikai szakmérnöki szakdolgozat keretében a hálópontok körüli fák geodéziai pontosságú pozícionálása történt meg (Bazsó T. 2008).

6.3.3. Illesztőpontok

A 2005. évi koratavaszi felvételek tájékoztatóhoz még a nagygyakorlatok során elvégzett geodéziai felmérés sem volt elég, ezért 2006-ban illesztőpontokat mértünk a három felvételhez, a Leica GPS1200-as vevőpárral, az illesztőpontok koordinátáit utófeldolgozással határoztuk meg.

6.3.4. DDM / DSM

A rezervátum területén először az 1:10 000-es topográfiai térkép magassági ábrázolásából készítettünk domborzatmodellt. Ezt a modellt később, a terepi mérésekből jelentősen megjavítottuk.

A rezervátum területén megvalósult földi lézeres letapogatás tudomásunk szerint az első volt erdei környezetben Magyarországon. Éppen ezért számos új módszert kellett kidolgoznunk arra, hogy ilyen helyen hogyan lehet a rengeteg pontból domborzat- és felszínmodellt

előállítani. Ezen módszereket széleskörűen publikáltuk (pl. Király et al. 2007). A felmérés több millió pontjából kis területen ugyan, de nagyon finom domborzatmodellt tudunk előállítani, valamint a lombkoronák tetején futó borított felszínmodellt is előállítottuk.

A 2005. évi koratavaszi felvételekből félautomatikus és automatikus úton állítottunk elő domborzatmodellt. A védőzónában lévő lucfenyő ültetvény azonban még a térkiértékelés során is nehézségeket okozott.

Az országos 2005-ös képanyagból a borított felszínmodellt a rezervátum területére is előállítottuk.

6.3.5. Ortofotók

A mintaterületre számos ortofotót, és ortofotó-mozaikot készítettünk a 2005-ös lombtalan és lombos felvételekből. A mintaterület kis területe miatt az ortofotók mozaikolására itt nem volt szükség.

6.3.6. Manuális vektorizálás

A lézeres adatok feldolgozása során merült fel az igény arra, hogy az egyes fák pozíciójának automatikus meghatározása mellett egy olyan módszert is kidolgozzunk, amely a vizuálisan felismert törzs közepére illeszti a letett pontot, és automatikusan kiszámolja az adott törzs mellmagassági átmérőjét. Ennek az eszköznek a segítségével a teljes, TLS által lefedett területen elkészítettük a törzstérképet.

6.3.7. Automatikus vektorizálás

A földi lézeres letapogatás adataiból két különböző módszert is kidolgoztunk arra, hogy hogyan lehet az egyes fák helyét automatikusan meghatározni. Az egyik egy geometriai módszer volt, a másik pedig egy statisztikai alapú módszer (Király – Brolly 2008). Ezek az automatikus módszerek a fák pozícióján túl az átmérőket is meghatározták a törzs bármely magasságában. Ennek segítségével 3D-s törzsmodelleket is készítettünk.

6.3.8. Sztereo-fotogrammetriai vektorizálás

A nagyméretarányú légifényképek alapján sztereo-fotogrammetriai térkiértékelést végeztünk, egyrészt a terep és a borított felszín modelljének meghatározásához, másrészt az egyes fák helyének méréséhez.

6.3.9. Összehasonlítás

Az automatikusan elkészített törzstérképet, valamint a mellmagassági átmérőket széleskörű összehasonlításoknak vetettük alá. Az összes faegyed 78-84%-át találták meg az algoritmusaink a meglehetősen magas törzsszámmal rendelkező állományban (~750 db/ha), ugyanakkor a lézeres felvételen látható törzsek 96-99%-át. A mellmagassági átmérőket ± 2 cm-en belül határoztuk meg automatikus úton a törzsek felénél. A magasságok meghatározása ennél jelentősen pontatlanabb $\pm 1-4$ m volt módszertől függően (Király G. – Brolly G. 2008).