



Úrfelvételek felhasználása az erdőgazdálkodásban



Dr. Csató Éva osztályvezető, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Távérzékelési Központ
Kristóf Dániel doktorandus, Szent István Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

Bevezetés

Az Oktatási Minisztérium által meghirdetett IKTA–3 KÉPI–2000 pályázaton a „Távérzékelési adatok felhasználása az erdőgazdálkodásban” c. projektünk támogatást nyert. A projektben kitűzött feladatokat másfél év alatt teljesítettük.

A projekt azt tűzte ki célul, hogy az ország területének mintegy 18%-át borító erdőségek mint megújuló természeti erőforrások kezelését – a hagyományos eljárásokon túl – a távérzékelés adta lehetőségek felhasználásával magasabb színvonalra emeljük.

Az erdővagyonnal való gazdálkodás a nemzeti értékteremtés jelentős színtere. A projekt egy mintaterületen olyan magas technológiai színvonalú, távérzékelési adatok felhasználásán alapuló és ezek térinformatikai eszközökkel történő feldolgozási lehetőségeit kihasználó módszer kidolgozását célozta meg, mely a modern erdőgazdálkodás iránt támasztott műszaki és vagyoni igényeket magas szinten ki tudja elégíteni.

A távérzékeléssel előállított adatok előnye az objektivitás, a megismételhetőség, valamint az a körülmény, hogy az adatok folytonosak (nem pontszerűek), a felvételek típusától függően nagyobb területre is kiterjedhetnek.

A technológia kialakításában fontos szerepet szántunk a különböző, egymástól spektrális és geometriai tulajdonságaikban lényegesen eltérő távérzékelési adatoknak. A projekt teljesítése eredményeképpen valamennyi típusú adatnak meg kellett határozni a helyét, felhasználási területét és egymásra épülését, párhuzamos alkalmazhatóságát.

Célkitűzések

A projekt célkitűzése a különböző geometriai és spektrális felbontású távérzékelési adatokon (úrfelvételek és légifényképek) alapuló integrált térinformatikai rendszer kifejlesztése volt. Ez a rendszer az erdőgazdálkodás nyilvántartási-gazdálkodási adatainak aktuálisabbá, pontosabbá ala-

kításához készült, és tesztelni kívánta, hogyan alkalmazhatók a távérzékelés és a térinformatika legújabb eredményei ebben az ágazatban.

A projektben integrálni kívántuk a Landsat, SPOT, IKONOS műholdak által szolgáltatott adatokat a „Magyarország légifényképezése 2000” kampány során készített légifénykép adatbázissal.

A módszer célkitűzése továbbá az volt, hogy az egy térinformatikai rendszerben integrált különböző adatokból milyen, az erdőgazdálkodás szempontjából releváns információk nyerhetők, és ezek mely mértékben építhetők be a jelenleg is operatívan működő erdőgazdálkodási nyilvántartó rendszerekbe.

A térinformatikai rendszerbe integrálni tervezett adatok a következők (1. táblázat):

- Landsat TM adatbázis (úrfelvétel)
- SPOT XI + P adatbázis (úrfelvétel)
- IKONOS CARTERRA GEO PSM adatbázis (úrfelvétel)
- Légifénykép (1:30 000 méretarány)
- Erdészeti üzemtervi adatok

A felsorolt, egymásra épülő (különböző geometriai és spektrális felbontással bíró) adatbázisok erdőgazdálkodási szempontból fontos tartalmának összehasonlító vizsgálata alkotja a projekt egyik fő célkitűzését (2. táblázat).

A projekt megvalósításához szükséges térképi és erdőgazdálkodási adatok

A projekt megvalósítása során nagy hangsúlyt kívántunk fektetni a meglévő erdőgazdálkodási adatok felhasználására. A Magyarországon több évtizedes múltra visszatekintő erdészeti tervezés adatai az ország erdőterületeiről más szakágazat által nem nyilvántartott, folyamatos adatokat szolgáltatnak, jelentős kiegészítő információforrásul szolgálnak. Az üzemtervi adatok a tervezés módszertanából adódóan azonban statikusak. Jelen projekt egyik célja pontosan az volt, hogy meghatározza, az eddigi módszerekkel gyűjtött erdőgazdálkodási/erdészeti adatok mennyiben egészíthetők ki, illetőleg tehetők pontosabbá távérzékelési

Digitális képi adatrendszerek	Térképi adatrendszerek	Erdőgazdálkodási és erdészeti adatrendszerek
Landsat TM multispektrális űrfelvétel (felvételi időpontja: 1991. 10. 05.) SPOT Xi+P multispektrális űrfelvétel (felvételi időpontja: 1998. 08. 18.) IKONOS GEO PSM űrfelvétel (felvételi időpontja: 2001. 05. 02.) Színes légifényképek (felvételi időpontja: 2000. 05. 07.)	1:10 000 m.a.-ú topográfiai térkép szelvények DTM adatállományok Erdészeti térképek	Üzemtervi adatok

1. táblázat A mintaterületre rendelkezésre álló digitális képi, térképi és erdőgazdálkodási, valamint erdészeti adatok

módszerek alkalmazásával, illetve mely területeken lenne feltétlenül szükség az említett technológiák alkalmazására.

jainak digitalizálásával készült, mind helyzetileg, mind tartalmilag helyesbítésre került. Ez az adatbázis tartalmazza az adott erdőrészlet azonosítására alkalmas kódot, amely segítségével definiálható a reláció a digitális üzemtervi térkép és a leíró adatbázis között.

Műhold/ érzékenység	Landsat TM (μm)	SPOT Xi+P (μm)	IKONOS MSP (μm)	Légifénykép (2000) (μm)
Multispektrális	0,45–0,52		0,45–0,53	
Multispektrális	0,52–0,60	0,50–0,59	0,52–0,61	
Multispektrális	0,63–0,69	0,61–0,68	0,64–0,72	
Multispektrális	0,76–0,90	0,79–0,89	0,77–0,88	
Multispektrális	1,55–1,75	1,58–1,73		
Multispektrális	10,40–12,50			
Multispektrális	2,08–2,35			
PAN	0,52–0,90	0,61–0,68	0,45–0,90	
MS film				0,40–0,70

2. táblázat A felhasznált műholdadatok spektrális tulajdonságainak összehasonlítása

Az erdészeti tervezés alapegysége az erdőrészlet. Az erdőrészletek határai az 1:10 000 méretarányú üzemtervi térképeken, az erdőrészletekhez kapcsolható adatok az üzemtervi adatbázisban szerepelnek. Az üzemtervi térképek elsődlegesen topográfiai céllal, mérőkamerával készült, fekete-fehér légifelvételeken alapulnak. A légifelvételeket analóg eszközökkel korrigálják, és értékelik ki. A kiértékelt légifelvétel végeredménye 1:10 000 méretarányú térkép, amely az erdészeti szempontból fontos topográfiai adatokat (részlet, tag- és községhatárok, alapvető domborzati és vízrajzi elemek) tartalmazzák. Az üzemtervi térképek egy része már digitális formában, Arc/Info alatt kezelhető topológikus geoadatként rendelkezésre áll. Az adatbázis az üzemtervi térképek asztronon-

Az erdészeti üzemtervi adatbázis az adott területre tízévenként készülő adatsor. Tartalmazza az adott terület erdészeti szempontból fontos, szabványban meghatározott jellemzőit. Leírja az adott terület élőhelyi-termőhelyi tulajdonságait (talajtípus, vízellátottság stb.), az erdőállomány felvételezési állapotának megfelelő jellemzőit (fafaj-sorok, kor, elegyarány stb.), valamint az elvégzendő erdészeti munkák ütemezését (nevelő- felújító-vágások stb.). Az adatbázis tartalmazza az erdőrészlet azonosítására vonatkozó információkat, valamint az adott területért felelős gazdálkodó adminisztratív adatait is.

Mintaterület

A mintaterület kiválasztásánál az volt az elsődleges szempont, hogy erdőgazdaságilag jellemző területet válasszunk. Így esett a választás a természetes erdővel jellemezhető középhegységi területre (Zirc).

A munkaterület elhelyezkedése EOV koordináta-sarokpontokkal:

$$X_{\text{ÉNY}} = 568\ 000$$

$$Y_{\text{ÉNY}} = 220\ 000$$

$$X_{\text{DK}} = 552\ 000$$

$$Y_{\text{DK}} = 208\ 000$$

A munkaterület az ún. Öreg-Bakony kistáj része. Szerkezetileg az Öreg- vagy Magas-Bakony középhegységi geoszinklinális nyugati szárnyának tartozéka.

A kistáj adottságai az erdő- és vadgazdálkodásnak kedveznek, éghajlata a nem hőigényes, de nagyobb vízigényű növények termesztésére alkalmas.

A bakony-vértesi flórajárásba (Vesprimense) sorolható kistáj főbb potenciális erdőtársulásai a gyertyánelegyes bükkösök (Melico-Fegatum hungaricum), a mészkő szurdokerdők (Phyllitidi-Aceretum), a gyertyános kocsánytalan tölgyesek (Quercu petraeae-Carpinetum). A bükkösök feletti sziklákön sziklaerdők (Tiliatum), az alacsonyabb dolomitos termőhelyeken karszterdők (Fago-Ornetum), a patakok mentén hegyvidéki égerligetek (Alnetum glutino-incanae) találhatóak.

Az erdőgazdálkodásilag művelt területeken zömmel közép- és időskorú keménylombos erdők élnek. Az összes erdő átlagos évi folyónövedéke 3,7–4,5 m³ között váltakozik.

Landsat TM úrfelvétel adatok

Az erdészeti alkalmazási lehetőségek vizsgálatához egy 1991. 10. 05. felvételi időpontú Landsat Thematic Mapper (TM) felvételt használtuk fel. A transzformálást az ERDAS Imagine program Essentials moduljával végeztük el, pixel közeli (30 m) RMS értékkel. A transzformálás alapja az 1:100 000 méretarányú EOTR szelvény volt.

A Landsat TM transzformált adatbázison készült el a CORINE Land Cover felszínborítási vektoros adatbázis, melynek tartalmi elemeit összehasonlíttuk az erdőgazdálkodási adatbázisban szereplő adatokkal.

CORINE Land Cover 1:100 000 méretarányú felszínborítási adatbázis

A CORINE (Coordination of Information on the Environment) program, amely eredetileg az Európai Unió tagállamai saját területükre vonatkozó környezeti információs rendszer létrehozását célozta meg, 1985-ben kezdődött.

Az elmúlt évtizedekben az Európai Unió tagállamain kívül folyamatosan csatlakozott a többi európai állam a programhoz. 1993-ban vette kezdetét a magyarországi CORINE Land Cover prog-

ram, melyet a Phare Regionális Környezeti Program finanszírozott, és kivitelezője a Földmérési és Távérzékelési Intézet volt. Az 1990 és 1992 között készült Landsat TM adatok alapján létrehozott felszínborítási adatbázis 1997-re készült el. (Copyright FÖMI & European Commission, 1997)

A jelkulcs az egész kontinens természeti adottságait figyelembe vevő 44 kategóriából tevődik össze. A jelkulcs felépítése hierarchikus, három szinten tartalmazza a kategóriákat. A fő csoportok: mesterséges felszínek (pl. városok), mezőgazdasági területek, erdők és természet-közeli területek, mocsarak és vízfelszínek.

Az erdők és természet-közeli területek kategóriában a következő felszínrészek elkülönítése vált lehetővé (3. táblázat).

3. Erdők és természet-közeli (semi-natural) területek

3.1. Erdők

3.1.1. Lomblevelű erdők

3.1.2. Tülevelű erdők

3.1.3. Vegyes erdők

3.2. Cserjés és/vagy lágyszárú növényzet

3.2.1. Természetes gyepes, természet-közeli rétek

3.2.4. Átmeneti erdős-cserjés területek

3. táblázat

A Landsat TM adatok a lombos és tülevelű, ill. a vegyes erdők elkülönítésére alkalmas, elsősorban 30 m-es geometriai felbontásának köszönhetően. Ugyanakkor jól detektálhatók a vágásterületek és az újonnan telepített erdők. Az erdőgazdálkodási egyéb adatok regisztrálására ez az adatfajta nem alkalmas.

SPOT P+Xi úrfelvétel adatok

Az erdészeti alkalmazási lehetőségek vizsgálatához egy 1998. 08. 18. felvételi időpontú SPOT (Xi+P) felvételnél a zirci munkaterületet ábrázoló részletét használtuk fel. Az EOV-be való transzformálást az ERDAS Imagine program Essentials moduljával a FÖMI CORINE Land Cover 1:50 000 méretarányú projekt keretében (Copyright: FÖMI, 1998-1999) végeztük el, pixel közeli (10 m) RMS értékkel.

A transzformált SPOT multispektrális úrfelvételek alapján készült el a CORINE Land Cover 1:50 000 méretarányú felszínborítási adatbázis (Copyright: FÖMI, 2000), melynek a legkisebb értékelhető felszínrész-területe 4 ha. Összehasonlítva ezt a Landsat TM úrfelvételből levezetett 25 ha legkisebb területi egységgel elkészített

CORINE Land Cover 1:100 000 méretarányú adatbázissal, elmondható, hogy a lényegesen nagyobb felbontású SPOT képekből lényegesen részletesebb felszínborítási adatbázis létrehozására volt lehetőség.

Az alkalmazott felszíni kategória-rendszer is részletesebb (4. táblázat). Az így levezetett 1:50 000 méretarányú felszínborítási adatbázis sem elégti ki az erdőgazdálkodás által támasztott pontossági és tematikus követelményeket. Mindenesetre az előbbi adatbázisnál lényegesen részletesebb adatokhoz jutunk.

CORINE Land Cover 1:50 000 méretarányú felszínborítási adatbázis

A CORINE Land Cover 1:100 000 méretarányú felszínborítási adatbázis elkészülte után szinte azonnal felvetődött egy lényegesen részletesebb, de azonos elvek alapján létrehozandó felszíni adatbázis szükségessége. Az 1:100 000 méretarányú adatbázisban alkalmazott 25 ha-os legkisebb területi egység az európai vizsgálatok céljára készült, de hazai felhasználók is szívesen alkalmazták adatbázisaikban, elsősorban frissessége miatt. A hazai vizsgálatok és térinformatikai rendszerekbe integrált adatok azonban lényegesen nagyobb részletességet és pontosságot követeltek meg. Ezért kezdte a Földmérési és Távérzékelési Intézet keresni az 1:50 000 méretarányú felszínborítási adatbázis létrehozásának műszaki és pénzügyi lehetőségeit.

A műszaki lehetőséget a SPOT 4-es műholdon elhelyezett vevőberendezések által szolgáltatott Xi + P (multispektrális és pankromatikus műholdképek) jelentették. A 10 m-es terepi felbontással és nagyon jó spektrális felbontással rendelkező műholdadatok lehetővé tették a 4 ha-os legkisebb felszínrész minősítését (interpretálását) is. A nagyobb geometriai felbontás részletesebb jelkulcs kidolgozását is feltételezte. Az előző (CORINE Land Cover 1:100 000 m.a.) adatbázis 28 kategóriájával szemben az új adatbázis 87 kategóriát különböztet meg Magyarország területén.

Mint látjuk, a SPOT adatbázison létrehozott 1:50 000 méretarányú CORINE felszínborítási térkép tematikailag is részletesebb, azonban az itt képzett kategóriák nem illeszkednek az erdőgazdálkodási adatbázisban szereplő lényegesen részletesebb adatokhoz (4. táblázat).

IKONOS PSM (multispektrális + pankromatikus) adatok

Az előző két űrfelvétel típus vizsgálatából egy-

3.1. Erdők

3.1.1. Lomblevelű erdők

3.1.1.1. Zárt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, nem vizenyős területen

3.1.1.2. Zárt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, vizenyős területen

3.1.1.3. Nyílt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, nem vizenyős területen

3.1.1.4. Nyílt lombkoronájú természetes lombhullató erdők, vizenyős területen

3.1.1.5. Lombos erdő ültetvények

3.1.2. Tülevelű erdők

3.1.2.1. Zárt lombkoronájú természetes fenyőerdők

3.1.2.5. Tülevelű ültetvények

3.1.3. Vegyes erdők

3.1.3.1. Szárlanként elegyes természetes (lombos és fenyő) erdők, zárt lombkoronával

3.1.3.5. Csoportosan elegyes természetes erdők

lombos és fenyő állományokkal, zárt lombkoronával

3.1.3.9. Elegyes ültetvények

4. táblázat

értelműen kitűnik, hogy az erdészeti adatok detektálásához nagyobb geometriai felbontású, lehetőleg multispektrális képek szükségesek. Ezt a kívánalmat elégtik ki a szuper nagy felbontású IKONOS multispektrális és pankromatikus illesztett műholdadatok.

A további vizsgálatokat a mintaterületre beszerzett IKONOS adatokra végeztük el, mert ettől az adattól volt remélhető az erdészeti adatbázisban található erdőgazdálkodási jellemzők meghatározása. Az IKONOS adatok geometriai és spektrális feldolgozása azonban számos, az előző űrfelvételknél nem tapasztalt problémát vetett fel.

Az IKONOS adatok feldolgozása (geometriai pontosság-vizsgálat és korrekció)

Potenciális hibák, hibaforrások

A geometriai pontosság alapvető fontosságú akkor, ha a felvételeket térképek készítésére, interpretálásra, konkrét elemzésekre kívánjuk használni. A felvételeket ugyanakkor – a felvételezés módjából és a szenzorból adódóan – szükségszerűen olyan hatások terhelik, amelyek végső soron geometriai eltérések, hibák forrásai lehetnek.

Guienko (2001) alapján tekintsük át, hogy milyen hatások terhelhetik az IKONOS felvételeket, és ezek mekkora hibát okozhatnak. Az adatok 64° alatt készült felvételekre vonatkoznak, a szög nö-

vekedésével az eltérések (hibák) csökkennek (5. táblázat).

A fenti adatok mind nyers IKONOS képekre vonatkoznak. A terjesztő a forgalomba hozatal előtt elvégzi az alapkorrekciókat.

Hatás	Eltérés (pixel)
Szögtorzulás (az oldalra tekintés miatt)	332 023,6
A Föld görbülete	4 221,3
A légköri fénytörés	97,7
Domborzati hatás (relief)	
0 m magasságkülönbség	0,0
200 m magasságkülönbség	97,5
500 m magasságkülönbség	243,8

5. táblázat

A szögtorzulás és a Föld görbületéből eredő hatás egyszerű matematikai módszerekkel korrigálható, a légköri fénytörés pedig egyszerűbb atmoszféra-modellekkel is közelíthető. E három hatás korrekcióját minden IKONOS felvételen elvégzi a terjesztő, mielőtt földrajzi koordináta-rendszerbe illesztené azokat. A megrendelőhöz kerülő előfeldolgozott felvételekben a legnagyobb torzító hatása tehát a domborzatnak van.

Az általunk vásárolt „CARTERRA™Geo“ felvételeket egyáltalán nem korrigálták domborzati hatásokra.

A zirci mintaterület középhegységben található magasságkülönbségek a 480 m-t is elérik. Az általunk rendelt IKONOS Geo felvételek tehát, mivel a domborzati hatásra nem korrigáltak, 200 m nagyságrendű maximális domborzati hibával terheltek.

Koordináta-transzformáció

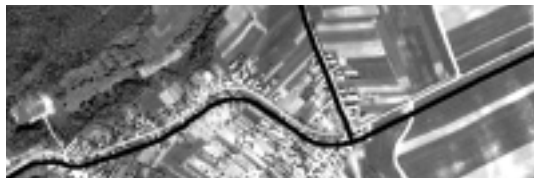
Az eredeti IKONOS felvételeket az eredeti UTM rendszerből EOVS rendszerbe transzformáltuk.

A transzformációt, a vetületi rendszerek matematikai definíciójából kiindulva, vetítéssel végeztük, a minél nagyobb pontosság elérése érdekében. A felvételek újra-mintavételezésére köbös konvolúciót használtunk.

Vizuális ellenőrzés

Az ily módon közvetlenül összehasonlíthatóvá tett műholdfelvételek és az 1:10 000 méretarányú topográfiai szelvények illeszkedését – többek között – vizuális módszerekkel elemeztük. További összehasonlítást végeztünk a topográfiai térkép-

szelvényekről digitalizált (vektorizált) vonalas elemekkel (utak, vasút). Ezek a vizsgálatok jó áttekintést adtak az eredeti felvételek geometriai jellemzőiről (1. kép).



1. kép Az eredeti, EOVS-be transzformált felvétel egy részlete, vastag fekete vonallal a topográfiai térképszelvényről vektorizált vonalas elemmel (út). Jól megfigyelhetők a geometriai eltérések.

Referencia-pontok gyűjtése és vizsgálata

A vizuális ellenőrzésen túlmenően a topográfiai térkép-adatbázis segítségével referencia-pontokat is gyűjtöttünk a felvételek geometriai pontosságának kvantitatív megállapítására. A referencia-pontokat olyan felszíni objektumokon helyeztük el, amelyek mind a topográfiai térképen, mind a műholdfelvételen nagy pontossággal azonosíthatók és elhelyezhetők (útkereszteződések, épületek sarkai, hidak stb.). A 69566-os felvételen 38, a 69567-es felvételen pedig 16 referenciapontot azonosítottunk. Törekedtünk arra, hogy a pontok vízszintes és magasság szerinti eloszlása egyaránt a lehető legegyszerűbb legyen a felvételeken belül.

A geometriai pontosság-vizsgálatainkhoz felhasználta, az előbbieken leírt módon előállított referenciapont-adatbázis tartalmazza az adott pontnak az azonosítóját, az EOVS rendszerbe transzformált eredeti kép szerinti EOVS (x, y) koordinátáit, valamint a referenciaként használt topográfiai térképszelvények szerinti EOVS (x, y) koordinátáit.

A képi- és referencia-koordináták eltérései szolgáltatnak információt a felvételek valódi geometriai pontosságáról. Az egyes pontokban mérhető geometriai eltérések (hibák) kiszámítása egyszerű távolság-számítással történik:

$$Hiba_i = [(EOV_X_{kép} - X_{ref})^2 + (EOV_Y_{kép} - Y_{ref})^2]^{1/2}$$

Ahol $Hiba_i$ az „i“ azonosítójú ellenőrzőpont távolsága a referenciaponttól méterben, $(EOV_X_{kép}; EOV_Y_{kép})$ az i-edik ellenőrzőpont vízszintes és függőleges koordinátái az EOVS rendszerbe transzformált eredeti felvétel szerint, $(X_{ref}; Y_{ref})$ az i-edik ellenőrzőpont vízszintes, ill. függőleges refe-

rencia-koordinátái a topográfiai térkép-adatbázis alapján.

Az eredeti IKONOS felvételek geometriai pontossága

Az ellenőrzőpont-adatbázis felhasználásával nyert legfontosabb eredményeket tartalmazza a 6. táblázat.

Kép azonosítószáma	69566	69567
Ellenőrzőpontok száma	38	16
Minimális hiba	2.81 m	3.61 m
Hibaátlag	16.11 m	14.43 m
Maximális hiba	96.91 m	29.25 m

6. táblázat

Megállapítható, hogy a felvételek megfelelnek a terjesztő specifikációinak, sőt túlteljesítik azokat. A nagyléptékű térképezésre ugyanakkor nem tekinthetők alkalmasnak, így e cél érdekében szükséges a felvételek geometriai korrekciója.

Geometriai korrekciók

Az eredeti felvételek geometriai pontosságának vizuális és kvantitatív elemzése rávilágított arra, hogy a felvétel feldolgozásakor kapott adatok gyakorlati alkalmazásához, a nagyléptékű térképezési munkákhoz elengedhetetlenül szükséges további geometriai korrekciók elvégzése. A megfelelő korrekciós eljárás kiválasztásához többféle, a kereskedelmi szoftverekbe beépített eljárás tesztelését végeztük el.

Minden korrekciós eljárás igényel földi illesztő-pontokat (Ground Control Point, GCP). Annak érdekében, hogy a geometriai korrekciók hatásait közvetlenül mérhessük, ugyanazokat a pontokat használtuk illesztőpontnak, amelyeket a geometriai pontosság meghatározásakor ellenőrzőpontként használtunk.

A geometriai korrekciós eljárások során az eredeti UTM rendszerben geokódolt felvételekből indultunk ki. A felvétel TIFF formátumból történő beimportálása után a térképi koordináta-rendszer helyett a felvételek belső koordináta-rendszerét használtuk (X: pixel_oszlop, Y: pixel_sor). Ebben a koordináta-rendszerben adtuk meg minden illesztőpont bemeneti koordinátáit, a referencia-koordinátákat pedig EOVS koordinátákban határoztuk meg. A korrekció során az új pixelértékek kiszámításához köbös konvolúciót alkalmaztunk, amely 16 pixel súlyozott átlagával számol.

A módszerek hatékonyságát a kimeneti képátlomány geometriai hibáival (Root Mean Square Error, RMSE) mértük. Az RMSE értékeket minden földi illesztőpontra kiszámítottuk.

EGYSZERŰ POLINOMIÁLIS MÓDSZER

Az egyik legegyszerűbb és legelterjedtebb geometriai korrekciós módszer, amely nem igényel sem topográfiai-, sem szenzorinformációkat. A szakirodalmi adatok alapján kisebb, jelentéktelen domborzati különbségekkel jellemezhető területek esetén alkalmazható hatékonyan.

Legnagyobb előnye, hogy relatíve alacsony a számítás igénye, valamint kevés bemeneti paraméter szükséges hozzá. Hátránya, hogy segítségével csak a polinomokkal leírható vagy azokkal jól közelíthető hatások korrigálhatók, a domborzat pedig nem ilyen.

Vizsgálataink során másod-, harmad- és negyedrendű polinomiális transzformációkat teszteltünk.

RACIONÁLIS POLINOMOKON ALAPULÓ MÓDSZER

A racionális polinomok egy általános polinomiális összefüggésen alapulnak. A modell polinomok hányadosaként írja le egy adott képpont és az annak megfelelő földi illesztőpont közötti matematikai összefüggést. Előnye az egyszerű polinomokkal szemben, hogy a pontok z koordinátáját (magasságát) is figyelembe veszi. Szenzorinformációt nem igényel, a szenzor paramétereit szintén polinomokkal közelíti. Általános formája *Tao és Hu* (2001) alapján:

$$r_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)} \quad c_n = \frac{p3(X_n, Y_n, Z_n)}{p4(X_n, Y_n, Z_n)}$$

ahol r_n és c_n az adott pixel képi sor (row), ill. oszlop (column) szerinti koordinátája; X_n , Y_n és Z_n pedig az adott illesztőpont földi koordinátái.

A módszer előnye, hogy a domborzati hatásokat is figyelembe veszi, valamint az, hogy nem igényel szenzorinformációkat. *Toutin és Cheng* (2001) vizsgálatai alapján azonban csak mérsékelt domborzati viszonyok esetén alkalmazható hatékonyan.

ORTOKORREKCIÓ, MŰHOLDPÁLYA-MODELLEZÉS

A Kanadai Űrkutatási Intézetben (CCRS) kifejlesztett modell a felvétel készítésének geometriai körülményeit szimulálja, és ez alapján végzi el a geometriai korrekciókat. A modell figyelembe ve-

szi a platformból, a szenzorból, a földfelszínből adódó hatásokat, valamint esetlegesen a térképi vetületből adódó torzulásokat is.

Fontos megemlíteni a felvétel néhány sajátosságát, amelyek megnehezítik az ortokorrekciót.

Az első és legfontosabb tény, hogy az adatok feldolgozása idején nem álltak rendelkezésre az IKONOS műhold pontos pályadatai, valamint a szenzorparaméterek sem.

Fontos nehezítő tényező továbbá, hogy a beszerzhető előfeldolgozott felvételeken végzett korrekciók szintén nem ismertek.

Mindezek tükrében igen ígéretesnek tűnik egy olyan módszer, amely a fenti tények ellenére szabatos ortokorrekciót ígér.

A CCRS-modell orbitográfiai, fotogrammetriai, geodéziai és térképészeti összefüggések segítségével működik. A szükséges adatok a felvételeken kívül: a terület domborzatmodellje, földi illesztőpontok, a felvételek eredeti háttéradat („metaadat“) fájlljai. A háttéradat-fájlok fontossága nagy, hiszen a képkészítés körülményeire vonatkozó összes információ közvetlenül vagy számítással kinyerhető belőlük. A tengerszint feletti magassági értékeket minden egyes képpontnál használja a modell a számításhoz.

A módszer pontos algoritmusa (természetesen!) titkos.

Az illesztőpontok koordinátáit nem adhattuk meg EOVRendszerben, hiszen a modell a referencia-koordinátákat ugyanabban a vetületi- és koordinátarendszerben igényli, mint amiben az eredeti felvételek vannak. Ezért a referencia EOVR-koordinátákat átszámítottuk UTM (északi 33-as zóna, WGS84 ellipszoid) koordinátákra.

Mivel a modell képes egy blokkban kezelni az átfedő képeket, a két kép ortokorrekcióját egy menetben végeztük. A minél jobb eredmény elérése érdekében a két felvétel között jól azonosítható kapcsolópontok felvétele szükséges. Vizuális módszerrel összesen 8 kapcsolópontot határoztunk meg, az egész átfedő részen egyenletes eloszlásban.

Geometriai pontosság a korrekció után

A tesztelt geometriai korrekciós módszerek eredményeit, az illesztőpontokon mért hibákat foglalja össze a 7. táblázat.

A polinomiális módszerek kevésbé alkalmazhatók esetünkben, hiszen a terület nagy kiterjedésű, és a domborzati egyenletlenségek az 500 m-t is elérik néhol. Aránylag a legjobb eredményt harmadrendű polinomokkal érhetjük el, ez azonban még mindig jóval az elfogadható szint fölötti hibákat tartalmaz.

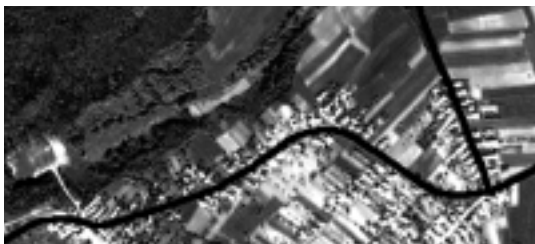
Kép	69566			69567		
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.
Poly2	1.58	13.82	70.71	2.06	7.13	19.32
Poly3	1.41	13.26	41.35	0.68	5.98	20.13
Poly4	2.07	13.68	42.25	0.25	5.98	22.24
RPF	5.09	18.93	35.24	1.51	6.32	15.54
Ortho	0.98	6.61	20.08	0.20	4.38	9.38

Polyx: x-edfokú polinomiális módszer
RPF: racionális polinom-módszer
Ortho: műholdpálya modellezésen alapuló ortokorrekció

7. táblázat

A racionális polinomiális módszer, bár a maximális hibát csökkentette az egyszerű polinomiális módszerhez képest, mind az átlagos, mind a minimális hibákat tekintve rosszabb eredményt nyújtott.

A várakozásoknak megfelelően az ortokorrekció biztosítja a legjobb eredményt. Megjegyzendő azonban, hogy egyes kirívó esetekben a hibák még így is jelentősek lehetnek (ld. 69566 – maximális hiba: 20 m!). Jól mutatja a domborzat hatását, hogy a maximális hibát a legmagasabb illesztőponton mértük. Mindent összevetve azonban elmondható, hogy jelentős javulás érhető el az eredeti geometriai pontossághoz képest (2. kép).



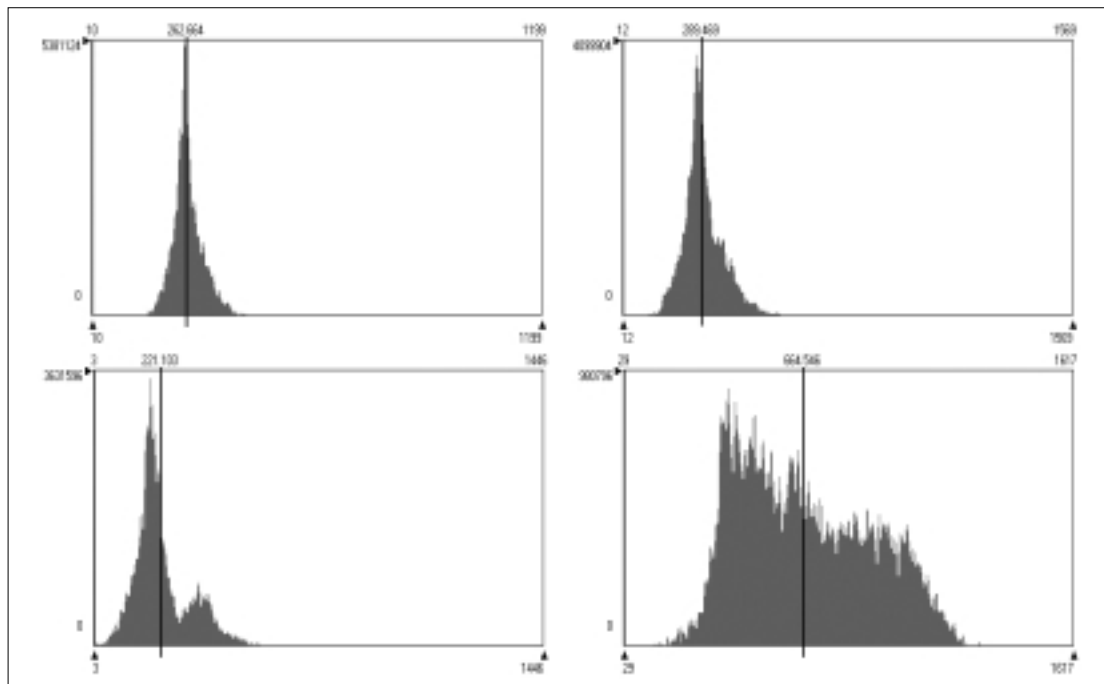
2. kép A 69566-os IKONOS felvétel egy részlete a topográfiai térképről vektorizált úttal.

Fent a geometriai korrekció előtti, lent az ortokorrekció utáni állapot látható.

Radiometriai és statisztikai vizsgálatok

Hisztogramok

A felvétel egyes sávjainak adattartalmát, a felvétel dinamikáját jól szemléltetik a sávok pixelértékeinek eloszlását ábrázoló hisztogramok (3. kép).



3. kép A 69566 számú IKONOS felvétel sávjainak hisztogramjai. Bal felső: kék, jobb felső: zöld, bal alsó: vörös, jobb alsó: közeli infravörös sáv. A vízszintes tengelyen a pixelértékeket ábrázoljuk, a jelzett minimum- és maximumérték között. A függőleges tengelyen az adott értéket felvevő pixelek száma látszik. Az összes pixelérték számtani átlagát jelölik a függőleges vastag fekete vonalak.

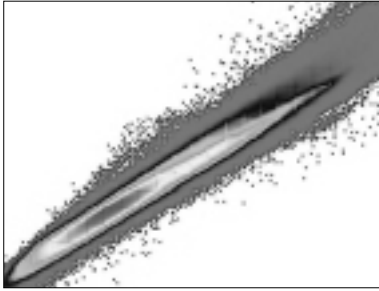
A hisztogramok elemzésekor kitűnik, hogy a látható tartományú sávok meglehetősen alacsony dinamikájúak, az adattartalom jóval korlátozottabb, mint a közeli infravörös sáv esetében. Ennek oka, hogy a felvétel nagy részén a vegetáció az uralkodó felszínborítási kategória, amelynek visszaverése a közeli infravörösben sokkal nagyobb, mint a látható tartományban. További magyarázat lehet a különböző vegetáció-típusok jóval differenciáltabb visszaverése a közeli infravörös tartományban. A visszaverés mértéke ebben a tartományban erősen függ az adott faj specifikus tulaj-

donságaitól (morfológia, levélállás, fotoszintetikus aktivitás stb.), valamint az egyes egyedek aktuális állapotától, s így az egyes fajok elkülönítésére is jobb lehetőség nyílik.

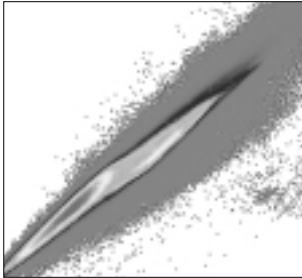
Kétdimenziós hisztogramot („feature space image“) állíthatunk elő, ha a felvétel pixeleit nem

a valós (térbeli) koordinátáik, hanem a spektrális értékeik alapján ábrázoljuk (4–6. kép). Ebben az esetben a spektrális tér egy részét (spektrális síkot) ábrázolunk. A vízszintes tengelyen az egyik, a függőlegesen egy másik sáv pixelértékeit vesszük fel, majd a pixeleket a sávokban felvett értékeik alapján ábrázoljuk. Jól vizsgálható ezzel a módszerrel az egyes sávok korreláltságának mértéke. Amennyiben a sávok korreláltak, a kétdimenziós hisztogram vonalas, elnyúlt elhelyezkedést mutat. A vörös és közeli infravörös sávok kétdimenziós hisztogramja mutatja általában a legnagyobb adattartalmat. Az azonos vagy hasonló értékekkel rendelkező pixelek csomósodási pontokat alkotnak, amelyek nagy valószínűséggel egy-egy felszínborítási kategória jellemző értékeinek felelnek meg.

A kétdimenziós hisztogramok elemzése azt mutatja, hogy a látható tartomány sávjai erősen korreláltak. A legnagyobb kovariancia a vörös és infravörös sáv értékei között figyelhető meg, így



4. kép
A kék és a zöld sáv kétdimenziós histogramja (vízszintes tengely: zöld, függőleges: kék sáv)



5. kép
A zöld és a vörös sáv kétdimenziós histogramja (vízszintes tengely: vörös, függőleges: zöld sáv)



6. kép
A vörös és a közeli infravörös sáv kétdimenziós histogramja (vízszintes tengely: vörös, függőleges: közeli infravörös sáv)

ebben a tartományban nyílik a legjobb lehetőség a tematikus adatkinyerésre, itt különíthetők el legjobban a vegetációs osztályok.

A vörös és közeli infravörös sáv histogramja a jellegzetes „pomponos sapka” („Tasseled Cap”) alakot mutatja. Ennek jellegzetes elemei a talajvonal, ill. az arra merőleges vegetáció-vonal.

Elkészítettük e két sáv kétdimenziós histogramját úgy is, hogy az erdészeti térkép-adatbázist maszkként alkalmaztuk, s így csak az erdőterületek értékeit vettük figyelembe (7. kép).

Megfigyelhetjük, hogy a talajvonal jóval kevésbé kifejezett. Az is jól látható továbbá, hogy a histogramban nem figyelhetünk meg további külön „csomósodásokat”, az eloszlás igen jól közelít a normál (gauss-i) eloszláshoz, ami előrevetíti a klasszifikáció nehézségeit.

Főkomponens-analízis

A főkomponens-analízis (Principal Components Analysis, PCA) lényege, hogy a spektrális



7. kép
A vörös és a közeli infravörös sáv kétdimenziós histogramja erdőmaszk alkalmazásával (vízszintes tengely: vörös, függőleges: közeli infravörös sáv)

térben a legnagyobb adattartalmat keressük. A spektrális tér annyi dimenziós, ahány képsávunk van. A histogramok ennek megfelelően akárhány dimenziósak lehetnek, de az ábrázolás – mint láthattuk – csak 2 dimenzióig lehetséges. A normális (gauss-i) eloszlásnak 1 dimenzióban a gauss-i harranggörbe, 2 dimenzióban egy ellipszis, három dimenzióban ellipszoid, több dimenzióban hiperellipszoid felel meg. A főkomponens-analízis lényege, hogy az ellipszis (ellipszoid) tengelyeit keressük, amelyek a legnagyobb adattartalmat jellemzik. Ennek megfelelően annyi főkomponens számítható, ahány sávos a felvétel. Az egymást követő főkomponensek egymásra merőleges szakszokként jellemezhetők. Az első főkomponens (kétdimenziós histogram esetén) az ellipszis nagytengelye, a második főkomponens az erre merőleges kistengely. Ha további sávokat (dimenziókat) vonunk be az elemzésbe, a további főkomponensek mindig merőlegesek lesznek az összes addigira, terjedelmük pedig egyre csökken. A főkomponens-transzformáció során a felvétel eredeti spektrális terét transzformáljuk a főkomponensek koordináta-tengelyekénti felhasználásával, így maximalizáljuk a létrejövő sávok adattartalmát. A legnagyobb adattartalmat leíró főkomponensek használatával csökkenthető a fájl méret. A főkomponens-analízis és -transzformáció használható adattömörítésre (a redundáns adatok kiküszöbölésével), illetve például az adathalmaz struktúrájának jellemzésére. Ha az adatstruktúra rejtett mintázatát keressük, akkor az utolsó főkomponensek vizsgálata célravezető.

A 69566-os felvételre elvégeztük a főkomponens-analízist, majd képi formában ábráztuk a főkomponenseket. Mint a vörös-közeli infravörös sávok kétdimenziós histogramján láttuk, a legnagyobb kiterjedés leginkább a talajvonal mentén található, s azt a pixelek fényessége adja. A második (erre merőleges) főkomponens leginkább a növényzettel hozható összefüggésbe, a látható és NIR tartomány közötti nagy visszaverési különbségek miatt.

Tematikus információ-kinyerés

A felvételek tulajdonságai

Mindkét IKONOS felvétel ún. „pan-sharpened“ termék, amelyet a 4 m-es felbontású multispektrális és az 1 m-es felbontású pankromatikus felvételek egyesítésével állítottak elő. Minden egyes sáv értékeit 11 biten ábrázolják a felvételek, a képek dinamikusak, a radiometriai felbontás jó.

Terepi bejárás és adatgyűjtés

A terepi bejárás célja az volt, hogy referencia-adatokat gyűjtsünk a képfeldolgozáshoz. A terepi adatok az erdészeti adatbázis ellenőrzését, az automatikus osztályozások eredmény-osztályainak azonosítását, valamint a tanulóterület-es osztályozások lehetséges tanulóterületeinek lehatárolását szolgálták.

A terepi bejárást a terület nagysága miatt egy kb. 6 x 10 km-es kiválasztott mintaterületen, Zirc környékén végeztük el. Az adatok a spektrális és radiometriai megbízhatóság miatt a felvételek egészen reprezentatívnak tekinthetők.

A terepi bejárás során – erdészeti szakemberek bevonásával – terepi referencia adatokat gyűjtöttünk. A terepi bejárás célterületeit úgy határoztuk meg, hogy az ortokorrigált felvételt, illetve az automatikus klasszifikációk eredményeit vizuális és statisztikai módszerekkel összevetettük az erdészeti térkép-adatbázissal, és azokon a területeken, ahol egészen biztosan ellentmondás van a két adatbázis között, terepi ellenőrzőterületet jelöltünk ki (8. színes kép a hátsó borító belső oldalán). A terepen kerestük továbbá az egyes fajokra, illetve korcsoportokra jellemző „tisztá“ erdőfoltokat, amelyek tanuló- és ellenőrzőterületként szolgálnak a képosztályozások során.

Az adatgyűjtés során GPS-t és (adatgyűjtőként) zsebszámítógépet (Pocket PC) használtunk. A GPS-szel összekapcsolt zsebszámítógép tárolta a terület csökkentett felbontású IKONOS felvételét, az erdészeti térkép-adatbázis kivágatát, valamint a vonatkozó kérdéseket. Összesen 40 terepi ellenőrzési pontot jelöltünk ki, amelyből 28 ellenőrzése történt meg az első terepi bejárás alkalmával. A terepi adatokat a helyszínen azonnal rögzítettük. A jellemző állományokról digitális fényképek is készültek. A terepi adatokat ezután asztali számítógépre töltöttük át, és itt történt meg azok kiértékelése.

A második adatgyűjtés célja a fennmaradó 12 terület adatainak felvétele, az eddigi eredmények ellenőrzése, validálása, valamint újabb referencia-adatok gyűjtése volt.

Vizuális interpretáció

A rendkívül nagy térbeli és radiometriai felbontás, valamint az értékek jó eloszlása megkönnyíti a vizuális interpretációt. A felvételek tartalmazzák az összes látható színtartományt (vörös, zöld, kék), valamint a közeli infravörös (NIR) tartományt. A vegetáció-térképezés céljaira célravezető a „szabványos“ hamisszínes infravörös megjelenítés (vörös: NIR, zöld: zöld, kék: kék). Ez a hamisszínes infravörös légifotókhoz közeli színvilágot biztosít, így megkönnyíti a vizuális interpretációt.

Az ortokorrigált felvételek hamisszínes infravörös színkompozícióját és a vektoros erdészeti adatbázist egyidejűleg megjelenítve lehetővé válik az adatbázis tematikus adatainak vizsgálata. A jól közelíthető attribútumokat (fafaj, elegyarány, záródás) kiválasztottuk, és az adatbázist vizuális interpretációs módszerekkel ellenőriztük, illetve (már a terepi adatok birtokában) felülbíráltuk (9. színes kép a hátsó borító belső oldalán).

Automatikus osztályozás (Isodata módszer)

A terepi mintaterületnek megfelelő, geometriailag korrigált felvétel-kivágaton Isodata módszerrel alapuló automatikus osztályozást végeztünk, 30 osztállyal (Tou és Gonzalez, 1974). Az osztályozás végeredménye egy olyan tematikus adatokat tartalmazó fájl, ahol minden egyes osztálynak egy kódszám felel meg. Az egyes osztályok tematikus információ-tartalmát (fafaj, záródás, kor stb.) a terepi adatok alapján határoztuk meg.

Tanulóterület-es osztályozás

A fent említett képrészleten ezen kívül tanulóterület-es osztályozást is végeztünk. Az osztályozás során a maximum likelihood (Hord, 1982) módszert alkalmaztuk. A tanulóterületek kijelölésénél a terepi adatokat használtuk, elsődleges szempont volt a fafaj, a záródás és a kor szerinti osztálykijelölés.

Kép-szegmentáció

A kép-szegmentáció egy olyan eljárás, amelyet elsősorban radarfelvételek elemzéséhez fejlesztettek ki, de egyre nagyobb szerephez jut az optikai felvételek, leginkább a nagyfelbontású felvételek kiértékelésében is. Lényege, hogy spektrális és texturális (tehát színbeli és statisztikai-eloszlási) jellemzők alapján képes a felvételt képobjektumokra, „szegmentumokra“ bontani. A hagyományos pixel-alapú megközelítéssel szemben a képobjektumok olyan homogén pixelcsoportok, ame-

lyek egy bizonyos szempontból egységes földfelszíni objektumnak feleltethetők meg. Ilyen objektum lehet például egy azonos korcsoportú és fajú faállományt tartalmazó erdőrészlet vagy egy tisztás. Nagy előnye az eljárásnak, hogy kiküszöböli a nagyon nagyfelbontású műholdképekre jellemző szórás-problémát. Ennek lényege, hogy a térbeli felbontás finomodásával az egy osztályhoz (pl. 30 éves 100%-os záródású tiszta bükkös) tartozó pixelértékek szórása nagymértékben megnő. Nem számolhatunk a pixelméret átlagoló hatásával, mint kis- és közepes felbontású felvételek esetében. Jó példa erre a fakoronák napos és árnyékos oldala, amely spektrálisan messze esik egymástól, és valószínűleg külön osztályba kerül egy pixel-alapú osztályozásnál.

Esetünkben a kép-szegmentációt úgy végeztük el, hogy minden egyes képjelbontású objektumhoz az általa tartalmazott pixelek sávonkénti átlagértékét rendeltük (10. színes kép a hátsó borító belső oldalán).

A tematikus adatkinyerési vizsgálatok eredményei

Elmondható, hogy a nagy térbeli és radiometriai felbontás elősegíti a vizuális interpretációt. A vegetáció-térképezés szempontjából kedvező lenne azonban, ha a felvétel tartalmazná a középső infravörös sávot. A felvételek a hamisszínes infravörös légifelvételekhez hasonlóan használhatók, interpretációs technikájuk, színviláguk gyakorlatilag megegyezik. A vizuális interpretációs módszer – terepi adatokkal megtámogatva – alkalmas a digitális erdészeti térképek aktualizálására, frissítésére, felülbírálására.

A számítógépes interpretáció, képosztályozás szempontjából nehézséget jelent a nagy térbeli felbontás és ugyanakkor a viszonylag csekély spektrális információ-tartalom. A három látható tartományú sáv (vörös, zöld, kék) erősen korrelált, vegetáció-térképezéshez kevésbé használható. A közeli infravörös sáv, bár javítja az eredményeket, nem elegendő a pixel-alapú feldolgozás során.

Mind az automatikus, mind a tanulóterületen osztályozások eredményei meglehetősen gyengék a pixel-alapú képfeldolgozás esetén. A terepi adatok alapján, a tanulóterületen osztályozások során az ellenőrzőterületek pixeleinek 31–58%-a került a megfelelő osztályba. A gyenge eredmények a már említett csekély spektrális információ-tartalommal, illetve a nagy térbeli felbontásból adódóan megnövekedett pixelérték-szórással magyarázhatók.

A kép-szegmentáció és az azt követően végrehajtott képosztályozás ugyanakkor jelentősen

megnöveli az eredményességet: a terepi adatok alapján osztálytól függően 73–95%-os megbízhatóságot biztosít.

Összefoglalás

Az erdőgazdálkodási adatbázisban rögzített adatok kinyerésére az IKONOS multispektrális (4 m-es felbontás) és pankromatikus (1 m-es felbontás) illesztett műholdkép alkalmas. Dolgozatunkban vizsgáltuk az IKONOS adatok geometriai és spektrális feldolgozásának különböző módszereit.

A nagy magasságkülönbségekkel rendelkező középhegységi (Zirc és környéke) területre az EOVB-ba történő transzformálás hibája egyes pontokon kiugróan nagy (a 20 m-t is eléri), átlagosan 6,5 m.

A tematikus adatkinyerésre a legeredményesebb módszernek a kép-szegmentáció bizonyult, mely segítségével – utólagos terepi ellenőrzés alapján – 73-95%-os megbízhatósággal voltak azonosíthatók a legfontosabb erdészeti adatok.

Ezzel a módszerrel, illetve a térinformatikai és képfeldolgozási módszerek kombinációjával az erdészeti adatbázisokban rögzített adatok egy jelentős részére korrelációt tudunk létrehozni a műholdkép és az előre ismert adatok között. Ezek az adatok a következők:

- fajaj,
- elegyarány,
- elegyedés módja,
- záródás,
- fajaj területe.

Mivel sok erdészeti adatot a fent felsorolt jellemzőkből számítással képeznek, levonhatjuk azt a végkövetkeztetést, hogy az általunk vizsgált IKONOS multispektrális és pankromatikus műholdképek alkalmasak az erdőgazdálkodási adatbázisokba való integrálásra. Az úrfelvételek nemcsak hasznos kiegészítő adatsort képezhetnek ezen az adatbázison belül, hanem sok, eddig a terepen meghatározott adat forrásai is lehetnek.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki a VARINEX Rt-nek, személy szerint *Szuhanyik János* GIS szakértőnek, amiért szaktudásán túl lehetővé tette számunkra a PCI Orthoengine program használatát.

IRODALOM:

1. *Detrekői Ákos, Szabó György*: Bevezetés a térinformatikába, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1995.

2. Magyarország Kistájainak Katasztere I., II., MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, 1990.

3. Mezőgazdasági Növénykultúrák Monitorozása Távérzékelési Módszerekkel és Környezetvédelmi Alkalmazások. PHARE Program. MERA Erdei ökoszisztémák térképezése, Zárójelentés, Földmérési és Távérzékelési Intézet, Budapest, Erdészeti és Faipari Egyetem, Földméréstani Tanszék, Sopron, 1996.

4. CORINE Land Cover – Hungary, Final Technical Report, Project leader: *G. Büttner*, FÖMI RSC, Budapest, 1997.

5. CORINE land cover, Technical guide, European Commission, Project leader: *Y. Heymann*, Brussels, 1994.

6. *Büttner Gy.–Maucha G.–Petrik O.*: SPOT-4 űrfelvételek geometriai és radiometriai előfeldolgozása II., Feldolgozási eredmények (23 felvétel), FÖMI TK KTO, Budapest, 1999.

7. *Büttner Gy.–Bíró M.–Maucha G.–Petrik O.*: Land Cover mapping at scale 1:50 000 in Hungary: Lesson learnt from the European CORINE Programme, 20th EARSEL Symposium, 14–16 June 2000, Dresden.

8. *Karl Kraus*: Fotogrammetria, Alapok és általános módszerek, Tertia Kiadó, Budapest, 1998.

9. MÉM Országos Földügyi és Térképészeti Hivatal, Földügyi Főosztály: T.3. Az Egységes Országos Térképrendszer 1:10 000, 1:25 000 és 1:100 000 méretarányú Topográfiai Térképeinek Jelkulcsa, Budapest, 1977.

10. *Tou, Julius T., és Gonzalez, Rafael C.*, 1974, Pattern Recognition Principles. Reading, Massachusetts, United States, Addison–Wesley Publishing Company.

11. *Hord, R. Michael*, 1982, Digital Image Processing of Remotely Sensed Data. New York, United States, Academic Press.

12. *Franklin, S. E.–Hall, R. J.–Moskal, L. M.–Maudie, A. J.–Lavigne, M. B.*, 2000. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. International Journal of Remote Sensing, Vol. 21, No. 1, pp. 61–79.

13. *Davis, C. H.–Wang, X.*, 2001. Planimetric accuracy of Ikonos 1 m panchromatic image products, http://www.pcgeomatrics.com/tech-papers/ASPRS_2001_ikonos.pdf

14. *Guienko, G. A.*, 2001. Geometric accuracy of Ikonos: Zoom In. Submitted to IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing <http://www.technion.ac.il/~guienko/>

15. *Toutin, T.–Cheng, P.* Demystification of Ikonos. Earth Observation Magazine, 2000. <http://www.eomonline.com/Common/Archives/July00/toutin.htm>

Satellite Data Evaluation for Forest Management Applications

É. Csató–D. Kristóf
Summary

Our study deals with the forestry applications of remote sensing imagery. The primary aim of our work was to compare and evaluate the different remote sensing datasets from the point of view of the forestry sector, and to elaborate methods for integrating GIS and RS data for forest mapping, planning and management. Different remote sensing images and existing GIS databases were analyzed and evaluated, including aerial photographs, medium- and high-resolution satellite image datasets as well as different scale CORINE Land Cover databases and digital forestry maps. Different satellite images were tested including medium-resolution Landsat TM and SPOT scenes as well as new high-resolution IKONOS data. Geometric accuracy, spectral information content and data extraction possibilities were examined and evaluated. The whole study focuses on a selected Hungarian research area, but the results can be useful in a more general context.