

## A SZIGETKÖZI ÁRTÉRI ERDŐK EGÉSZSÉGI ÁLLAPOTÁNAK ORTOFOTÓKON ALAPULÓ ELEMZÉSE ÉS ÉRTÉKELÉSE

ILLÉS GÁBOR, SOMOGYI ZOLTÁN

Erdészeti Tudományos Intézet, Erdőművelési és Fatermési Osztály  
1023 Budapest, Frankel Leó u. 42–44. e-mail: illesg@erti.hu

**Kulcsszavak:** erdőterület monitoring, felügyelt képosztályozás, infra színes ortofotó térkép, egészségi állapot becslés.

**Összefoglalás:** A cikk infra és színes ortofotók erdészeti monitoring célú alkalmazását tárgyalja. A Szigetköz hullámteréről 1991-ben és 1999-ben készült ortofotók felügyelt, földi referencia pontok felhasználásával végzett képosztályozásának eredményeit mutatjuk be. Két lépcsőben végeztük a képosztályozást. Először egy átfogó elemzést készítettünk az erdőterületeknek más felszínborítási képződményektől való elhatárolására, mindkét időpontra vonatkozóan, majd egy részletesebb elemzést az erdőterületek egészségi állapotváltozásának nagy területi becslésére irányuló céllal. Az eredmények azt mutatták, hogy különböző fafajú erdőtípusok területváltozásának monitoringjához, azok térbeli mintázatának térképezéséhez a módszer jól alkalmazható, azonban részletesebb, fafajsztíntű egészségi állapotbecslésre irányuló feladatok megoldására kevésbé alkalmas. A földi megfigyelések egyik esetben sem nélkülözhetők.

### Bevezetés

A szigetközi erdészeti monitoring keretében az Erdészeti Tudományos Intézet feladata, hogy a térség erdeiben megfigyeléseket végezzen. Ezek akár mennyire is részletesek lehetnek egy-egy megfigyelési pont esetén, csak nagyon kevés áttekintést adnak az egész térségről. Több ezer hektár évenkénti terepi bejárása pedig elképzelhetetlen. Ezért kézenfekvő megoldásként kínálkozott, hogy légifelvételeken elemezzük a térség erdeinek egészségi állapot változását.

Az alapkérdések esetünkben a következők voltak:

- Milyen volt az egészségi állapot egy-egy évben a Szigetközben?
- Hogyan változott (csökkent-e) az erdők területe az elterelés előtti állapothoz képest?
- Az esetleges csökkenés után megmaradt erdőterületnek romlott-e az egészségi állapota?
- Jellemzően hol figyelhető meg az egészségi állapot romlása?
- Megadható-e területi kiterjedés a különböző egészségi / betegségi csoportokban?

A légifelvételek növényzettel összefüggő vizsgálatokban való felhasználásának és számítógépes feldolgozásának nagy hagyományai vannak (MILLER et al. 2000, MAPEDZA és FAWCETT 2003, MAST et al. 1997, MEYERA et al. 1996). Csakúgy, mint az erdészeti célú felhasználásoknak (TINER 1990). A fás vegetáció struktúrák kutatásában való felhasználásra is találunk példát (FENSHAM et al. 2003), azonban a Szigetköz esete speciálisnak tekinthető mind a fafajokat, mind pedig az erdők helyenkénti pusztulásának okát – a vízerőmű üzemeltetését – illetően. A Szigetköz térsége, illetve az ott tapasztalható egészségi állapot romlás egyedinek számít az országban is, és nehezen lehetett volna más vizsgálatok során alkalmazott módszereket teljes mértékben átvennünk (CSÓKÁNÉ et al. 2002). Újra meg kellett vizsgálni annak módjait, hogy milyen faegészségi

kategóriákat (betegségi fokozat fafajonként/klónonként) próbáljunk elkülöníteni úgy, hogy aztán ezek a kategóriák az egész térségben felhasználhatók legyenek az egyes állományok besorolására, elkülönítésére. Légifelvételek felhasználása állományok egészségi állapot becslésére szintén vizsgálatok tárgyát képezi (CURRAN 1985, EKSTRAND 1994), csakúgy, mint felhasználásuk monitoring jellegű munkákban (KADMON és HARARI-KREMER, 1999). A térképezési célú felhasználások pedig a vegetáció térképezés újabb lehetőségeit jelentik (CONGALTON et al. 2002).

A légifelvételek kiértékelésének fő nehézsége esetünkben az, hogy nem vezethetők le egyelőre olyan, rögzíthető módszerek, amelyekkel pontos, hiba nélküli automatizált kiértékelés volna elvégezhető. Ennek számos oka van. Mindegyik nagyrészt arra vezethető vissza, hogy a felvételek színinformációi (mind a színes, mind az infraszínes felvételek esetén) nagyon sok biológiai információ aggregált értékei, így értelmezésük egy-egy biológiai jellemzőre nézve eleve igen nehéz, másrészt pedig arra, hogy a színek csak részinformációkat tartalmaznak az élőlényekről. A színek kialakulása ugyanis – a fák esetében – nemcsak az egészségi állapottól, hanem a fafajtól, a kortól, a felvételnél a vegetációs időszakban értelmezett időpontjától, a pillanatnyi termőhelyi viszonyoktól (pl. talaj víztelítettsége, hőmérséklet stb.), továbbá a felvételkészítés számos fizikai tényezőjétől (magasság, levegő páratartalma, a Nap helyzete stb.) is erősen függ. Nehezíti a helyzetet, hogy a légifelvételeknél további hibaforrást jelent az analóg képkészítés és a szkennelés, valamint az egyes felvételeken belül is a lencse hatásából adódó radiometriai különbségek (ortofotó-mozaiknál „sakktábla-hatás”). Mindezek miatt nyilvánvaló, hogy a módszer alkalmazásával a fényképek kiértékelése csak közelítésnek tekinthető.

A vizsgálatok elvégzéséhez mi jelen esetben egy, az 1991-es évben és egy, az 1999-es évben készült, nyári légifelvétel-sorozatot tudtuk felhasználni. Ez megfelelő volt olyan szempontból, hogy rendelkezünk egy Duna elterelés előtti, és egy elterelés utáni sorozattal, ráadásul úgy, hogy az 1999-es képek az elterelés után már majdnem 7 teljes vegetációs idő elteltével készültek, s így az esetleges kimutatható hatások megjelenésére már elegendő idő állt rendelkezésre.

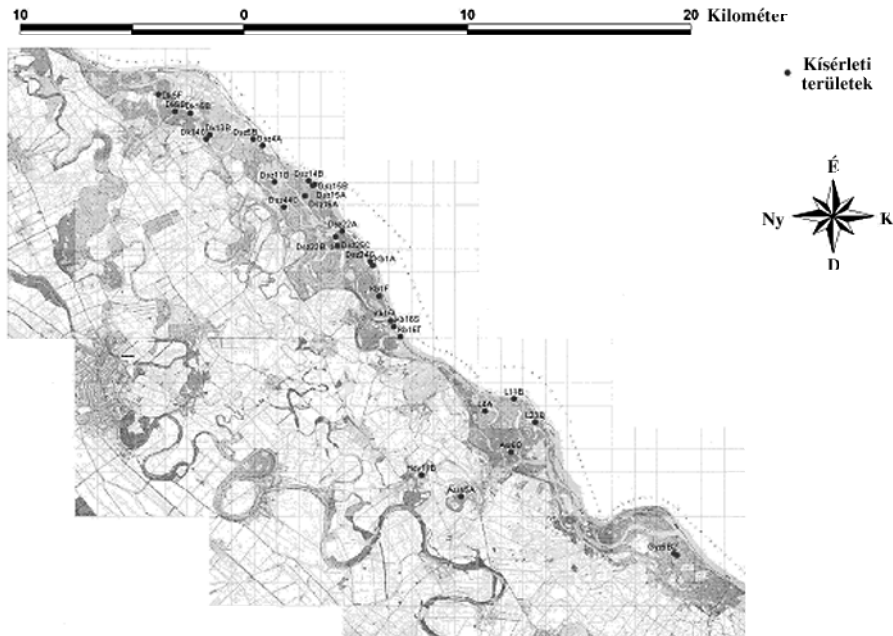
A fényképek kiértékelésénél a saját tapasztalatainkon kívül felhasználtuk a NYME Földmérési és Távérzékelési Tanszékének segítségét, valamint a Szlovák Erdészeti Tudományos Intézetnek (Zólyom) a tárgykörben szakértőnek számító kollégáktól – az intézmény meglátogatása idején – szerzett információkat.

## Anyag és módszer

### A vizsgált terület és az elemzéshez használt adatbázisok

Vizsgálati területünk a dunakiliti műtárgytól, az alsó üzemvíz-csatorna torkolatáig – Bagaméri-Dunaáig – tartott, és ezen a szakaszon a teljes árteret felölelte, mintegy 60 km<sup>2</sup>-nyi területen (1. ábra).

Az ábrán az összes pontot nem, csak az állandó növekedésvizsgálati helyek pontjait tüntettük fel. A használt rövidítések az erdészeti üzemtervek nevezéktanát használják: Község, tag (szám), erdőrésztlet (betű) rendszerben. A használt rövidítések: **Dk**: Dunakiliti; **Dsz**: Dunasziget; **L**: Lipót; **Kb**: Kisbodak; **Asr**: Ásványráró; **Gyz**: Győrzámoly; **Hdv**: Hédervár.



1. ábra A kísérleti területek áttekintő térképe a mintavételi helyekkel  
 Figure 1. The overview map of the study area with the sample plots

### Az elemzésekhez használt alapadatok

Az 1991. augusztus 10-én végrehajtott repülés során készített légifelvételek közül az 1. táblázatban leírt infraszínes negatívok, illetve a belőlük készült ortofotó-mozaik szolgált a FÖMI archívumából.

1. táblázat Az 1991-es képsorozat főbb tulajdonságai  
 Table 1. The main characteristics of the ortho-photo set from 1991

Film száma	Képek száma	Nyílvántartási számok	Dátum, megnevezés	Méretarány
91-316	184; 195	3897; 3904	1991. 08. 10.; „Duna-magas”	~1:30 000
91-317	009; 019; 034	3905; 3910; 3911	1991. 08. 10.; „Duna-magas”	~1:30 000

Az ortofotót az ERTI Erdőművelési és Faterméstani Osztálya megbízásából a TÁVLAT készítette. Az ortofotó főbb adatai az alábbiak: a szkennelés felbontása: 24 mikron; terepi felbontása: ~0,8 m; újra-mintavételezés: bilineáris; ortofotó pixel-mérete: 0,75 m; ortofotó befoglaló koordinátái: 518500, 271300–543600, 297100.

Az 1999. augusztus 1–2-án végrehajtott repülés során készített infraszínes légifelvételek és a belőlük készült ortofotó mozaik főbb tulajdonságai a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat Az 1999-es képsorozat főbb tulajdonságai  
Table 2. The main characteristics of the ortho-photo set from 1999

<i>Munkaszám</i>	<i>Film</i>	<i>Képszámok</i>	<i>Dátum</i>	<i>Méretarány</i>
EUROSENSE 99074PHA	KODAK Colour Infrared IRC 2443 II.	2265; 2270,2272,2274; 2299,2301; 2318,2320;2329,2331,2333; 2336,2338	1999. 08. 1.–2.	~1:30 000

A szkennelés felbontása: 24 mikron; terepi felbontása: 1,25 m. A képeket az EUROSENSE Kft. és a Nyugat-Magyarországi Egyetem Földmérési és Távérzékelési Tanszéke (NyME FTT) készítette. Az ortofotó-mozaikot az NYME FTT készítette és az intézményeink közötti együttműködés keretében, biztosította számunkra.

#### **Az elemzésekhez használt szoftver**

Az értékelésekhez a PCI Geomatics cég PCI Geomatica 8.2.1. Fundamentals szoftver verzióját használtuk. A szoftver a korszerű, légifelvételek kiértékelésére és komplex térinformatikai rendszerek kialakítására alkalmas szoftverek közé tartozik. További információ: [www.pcigeomatics.com](http://www.pcigeomatics.com).

#### **Az elemzések során alkalmazott módszerek áttekintése**

##### **Az alapanyagok előkészítése**

A fentebb részletezett paraméterekkel rendelkező képeket, a felhasználás céljainak megfelelően bizonyos mértékben módosítottuk. A módosításokat a következőkben foglaljuk össze:

1. Technikai, fájl-kezelési megfontolásokból, de a kívánt pontossághoz való terepi felbontás megtartásával a digitális képeket újra mintavételeztük (bilineáris mintavétel-ezés), és mind a két évjárat képeinek 2,5 m-es felbontású változatát használtuk. (A képek mérete és a feldolgozás sebessége szorosan összefügg, esetünkben ez 300 MB és 1,5 GB között változott, amely különbség a feldolgozást lassítja, de eredményességét – tapasztalatunk szerint – már nem növeli számottevően.)

2. A pixel alapú képosztályozás sajátosságait figyelembe véve, több változat osztályozási pontosságra gyakorolt hatásának tesztelése után, a képcsatornákat egységesen 5x5-ös medián szűrővel módosítottuk. Ennek eredményeként az egyes vegetáció típusokon belül a pixel értékek bizonyos fokig homogenizálódnak, míg az állományhatárok továbbra is élesen elválnak. Ez által lehetővé vált a záródott faállományon belüli kisebb (1–2 fakorona nagyságú) árnyékos foltok kiküszöbölése; ezek a foltok ugyanis az osztályozás pontosságát rontják és a tanulóterületek kijelölését nehezítik.

##### **A tanulóterületek kijelölése**

A tanulóterületek megfelelő kijelölése a felügyelt képosztályozás kulcsmozzanata. Mondhatjuk hogy ez a művelet azáltal, hogy a területen fellelhető objektumok minőségi tulajdonságait ekkor kapcsoljuk össze a képi pixel tulajdonságokkal, alapjaiban határozza meg az osztályozás sikerességét.

Esetünkben a tanulóterületek kijelölése kétféleképpen történt:

- Az átfogó területosztályozás esetében nem kötődünk a mintaterületekhez, mivel ebben az esetben nem készült részletes elkülönítés fafaj és egészségi állapot mélységig. Csupán az erdővel borított területek, a nem erdővel borított, üres területek és a Duna által, vagy egyéb vízzel borított területek kerültek osztályozásra, egyértelmű képi megjelenésük és terepi azonosításuk alapján.
- A részletes faegészségügyi csoportokat is elemző területosztályozásnál kötve voltunk a földi monitoring területekhez és adataikhoz, mivel csak ezekről rendelkezünk az adott időpontra nézve a kívánt mennyiségű információval. Ez igaz az 1991-es és 1999-es évekre egyaránt.

A fentiekből következik, hogy a kétféle osztályozási mód nem feltétlenül hoz azonos eredményt, mivel sok múlik a tanulóterületek „jóságán”. Ha az adott tanulóterület nem reprezentálja kellőképpen az adott osztályt, akkor nem lehet egzakt eredményekre számítani. Hasonló a helyzet abban az esetben is, ha olyan minőséget kívánunk osztályozni, amelyre vonatkozóan a felvételek pixel adatai nem hordoznak információt vagy a pixeladatok és az osztályozni kívánt tulajdonságok nem függnek szorosan össze.

#### A tanulóterületek elemzése

Ez a munkafolyamat a részletes- és az átfogó osztályozás esetében megegyezik, ezért a továbbiakban nem bontjuk külön a leírásukat.

A tanulóterületek elemzésénél egy döntő szempont volt: a szétválaszthatóság. Két leendő osztályt akkor lehet jól szétválasztani, ha a mintaterületek adataiból számított osztályátlagok minél távolabb helyezkednek el egymástól és a minták szórása kicsi. A szétválaszthatóság mértékét az ún. Bhattacharyya, vagy Jeffries-Mastusuta távolság alapján értékeltük, mely mérőszám az osztályozási hiba lehetőségét méri. Gyakorlatilag két-két osztály átlagának különbségét mutatja (RICHARDS 1986). Szemléletesé teszi a helyzetet, ha a részletes módszerismertetésről szóló fejezetben megtekintjük a 2. ábrát.

A képeink információit esetünkben 3 színcsatorna hordozza, melyeket a vörös, a zöld és a kék színcsatornának (RGB) nevezünk. Ezek jelen esetben nem egyeznek meg a valódi vörös, zöld és kék színekkel, minthogy a vizsgálatunkhoz a közeli infravörös tartományra érzékenyebb, hamisszínes felvételeket használtunk. Így a megjelenítéshez használt színek kompozit és a felvételsávok nem egyeznek meg (pl.: a vörös szín a közeli infravörösnek felel meg). Minden egyes pixelnek ezekre a csatornákra vonatkozóan különböző értékei vannak. Egy osztályozás alapvetően akkor lehet sikeres, ha az osztályok és ezzel együtt a jellemzőikre használt tanulóterületek, e három színcsatornára nézve jelentősen eltérő értékeket vesznek fel, illetve ha nem is térnek el szembeszökően, legalább az osztályokhoz tartozó pixelértékek szórása csekély. A szétválaszthatóság csökken, ha az osztályátlagok közel esnek egymáshoz vagy nagy szórással jellemezhetők.

Ezek alapján, minden egyes osztályt egy osztályátlaggal és a három színcsatornát reprezentáló tengely mentén mért szórással jellemezhetünk, az átlagtól (+) és (-) irányban egyaránt – feltételezve, hogy az osztályba tartozó pixelek normális eloszlást követnek. Így minden egyes osztályt egy ellipszoid testesít meg egy háromdimenziós színtérben. Kettő vagy több osztály annál kevésbé választható szét, minél nagyobb a közös áthatásukkal érintett térrészük. Ha az ellipszoidok között nincs áthatás, akkor közel 100%-os a szétválaszthatóságuk.

Kisebb mértékű áthatásoknál az osztályba kerülés küszöbértékének változtatásával – a szórásmező korlátozásával – bizonyos mértékig növelni lehet a szétválaszthatóságot, ám ezzel növekszik az osztályozásból kimaradó pixelek aránya is, ugyanis az egyik osztálynak sem megfelelő pixelek nem kerülnek osztályozásra, hanem egy külön ún. „nulla-osztályba” sorolódnak.

### **Képosztályozás**

A tulajdonképpeni osztályozást a választott osztályozási algoritmus kiválasztása után a program elvégzi. Az osztályozásnál jelen esetben a maximális bekerülési valószínűségű osztályozót használtunk nulla osztállyal (maximum likelihood classification with null class) (PCI Geomatics 2001). Így, a tanulóterületek megfelelő kialakítása után, a program segítségével elkészítettük az osztályokon alapuló tematikus térképeket a vizsgálatra kijelölt területről, amelyről aztán az osztályokat jellemző statisztikai összefoglaló készült. (Ezeket a térképeket terjedelmi okokból nem közöljük.)

### **Részletes módszertani leírás**




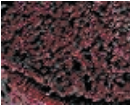

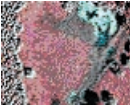



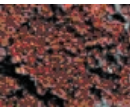

#### **Tanulóterületek kijelölése**

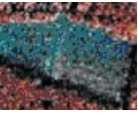

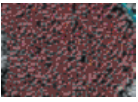

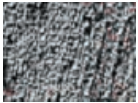

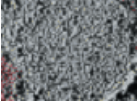

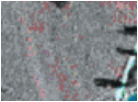


Az átfogó területosztályozás során, az eltérő képi megjelenésű erdőterületeket külön osztályokba soroltuk. Ezek lehetnek eltérő típusú erdőterületek, de lehetnek ugyanazon erdőtípus különböző képi megjelenési formái a képek közti tónuskülönbségek miatt. Az 1991. évnél pusztán a képi megjelenés alapján volt alkalmunk elkülöníteni az egyes felszínborítási kategóriákat, mivel abból az időszakból az átfogó képosztályozáshoz nem rendelkezünk földi tanulóterületeken készült felvételekkel. Az 1999. év esetében azonban a nagyobb felszínborítási kategóriákat a képi azonosítás mellett, a földi megfigyelések kiegészítő információinak felhasználásával tudtuk elkülöníteni. Így egy adott típust egy vagy több képi tanulóterülettel és egy földi felvétellel jellemezhetünk. Az 1991-ben és 1999-ben elkülönített nagyobb felszínborítási kategóriákra példát, és megnevezésüket a 3. táblázat vonatkozó részei tartalmazzák.

A részletes osztályozás tanulóterületei a monitoring pontok koordinátaival jelzett helyeken lettek kijelölve, minden esetben a megfelelő évjárat képén. Ebben az esetben a földi megfigyelések adatait vettük kiindulásnak és a látszólagos képi elválás csak másodlagos szerepet játszott. Az 1991. évi osztályozási kategóriák tehát a monitoring területek akkori fafajmegoszlását és egészségi állapotát tükrözik. Az elkülöníteni kívánt kategóriákat a fafajok és a fafajokon belül elkülönített egészségi csoportok alkották. Ez egyébként az 1999. évi részletes osztályozás esetében is így történt. A részletes osztályozás esetében is csak az 1999-es állapotról rendelkezünk a tanulóterületeket ábrázoló, és biztosan azonosítható földi felvétellel (3. táblázat).

Az összeállításból látható, hogy tulajdonságaikat tekintve egy igen változatos és összetett felszínborítási kategóriákat kellett automatizált módon osztályoznunk, amelyek között – a rendelkezésre álló mintanagyságot tekintve –, jelentős arányeltolódások voltak. Ez rányomta bélyegét a részletes osztályozás későbbiekben ismertetett eredményeire is.

3. táblázat Az osztályozási kategóriák az egyes osztályozási módok esetén  
 Table 3. Classification categories for both classification processes

Az átfogó területosztályozás tanulóterületei 1991. minták		
Légifotó részlete	Földi kép	Osztály neve
	–	Erdő 1
	–	Üres terület 1
	–	Duna
Az átfogó területosztályozás tanulóterületei 1999. minták		
Légifotó részlete	Földi kép	Osztály neve
		Erdő 1: idősebb, nagy fákból álló, zárt állomány, általában nyáras
		Üres terület 1: Magassásos, nádas növényzetű terület, vagy friss erdősítés.
		Duna: vízfelszín
A részletes területosztályozás tanulóterületei 1991. minták		
Légifotó részlete	Földi kép	Osztály neve
	–	Jó nyár: jó kondíciójú, összképében egészséges nemesnyár állományok, tanulóterületek száma:12 db
	–	Üres terület: Magassásos, nádas növényzetű terület vagy friss erdősítés

<i>A részletes területosztályozás tanulóterületei 1991. minták</i>		
<i>Légifotó részlete</i>	<i>Földi kép</i>	<i>Osztály neve</i>
	–	Vízzel borított vagy talaj
	–	Állóvíz: lefűződéseken megrekedt vízfelszín képe
<i>A részletes területosztályozás tanulóterületei 1999. minták</i>		
<i>Légifotó részlete</i>	<i>Földi kép</i>	<i>Osztály neve</i>
		Jó nyár: jó kondíciójú, összképében egészséges nemesnyár állományok, tanulóterületek száma: 25 db
		Jó fűz: jó kondíciójú, összképében egészséges fűz állományok, tanulóterületek száma: 9 db
		Rossz fűz: növekedésben és vitalitásban gyenge, beteg áll., tanulóterületek száma: 7 db
		Üres vagy újulat: Magassásos, nádas növényzetű terület vagy friss erdősítés, tanulóterületek száma: 2 db
	–	Árnyék: Alatta gyakorlatilag bármi lehet a képen...

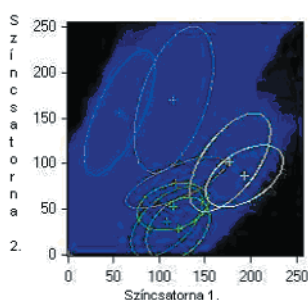


## Eredmények és megvitatásuk

### A tanuló (referencia) területek vizsgálata

#### A tanuló területek szétválaszthatóságának elemzése az átfogó képszátozozás esetében (1991)

Az 1991-es állapot átfogó elemzésének szétválaszthatósági diagramját a 2. ábrán mutatjuk be.



2. ábra Az 1991-es állapot átfogó elemzésének szétválaszthatósági diagramja az egyes és kettes színcsatorna esetében

Figure 2. The partitioning diagram of the extensive analyses from 1991 for channel 1 and channel 2

(A többi osztályozás során készített diagrammokat terjedelmi okokból itt nem közöljük.)

Az ellipszisek közepén jelölt pont az osztályátlag, az ellipszisek kiterjedése az egyes és kettes csatorna irányában a szórásmező függvénye. Osztályozásunk során végig, minden esetben 3-szoros szórásmezőt alkalmaztunk, mert így az egy osztályba tartozó pixelek 99%-a bekerül az osztályozásba – normális eloszlás esetén. Az átfedéssel érintett területek hovatartozása kétséges, ebben az esetben lehetőség van az osztályok közötti prioritások megadására, hogy „inkább” melyik osztályba sorolódjanak a kétséges pixelek. Mivel számunkra mindegyik osztály egyformán lényeges, nem alkalmaztunk torzítást az egyes osztályok között. Az ellipszisek által le nem fedett terület nem vesz részt az osztályozásban, ez alkotja a későbbi „nulla-osztályt”.

Az 1991-es állapot átfogó elemzésének szétválaszthatósági mátrixát a 4. táblázatban mutatjuk be.

4. táblázat Az 1991-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa<sup>2</sup>  
 Table 4. The extensive analyses' disassociation matrixes of year 1991

	Erdő-1	Erdő-2	Erdő-3	Erdő-4	Erdő-5	Erdő-6	ÜresTer-1	Duna	ÜresTer-2
Erdő-2	1,905								
Erdő-3	1,736	1,729							
Erdő-4	1,101	1,984	1,873						
Erdő-5	1,258	1,958	1,990	1,239					
Erdő-6	1,995	1,952	1,993	1,991	1,997				
ÜresTer-1	2,000	2,000	1,987	1,999	2,000	2,000			
Duna	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,931		
ÜresTer-2	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Állóvíz	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Átlagos szétválaszthatóság: 1,956630.

Minimális szétválaszthatóság: 1,101380.

Maximális szétválaszthatóság: 2,000000.

A legkevésbé szétválasztható osztályok: (Erdő-1, Erdő-4).

#### A tanuló területek szétválaszthatóságának elemzése az átfogó képosztályozás esetében (1999)

Az 1999-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa az 5. táblázatban látható.

5. táblázat Az 1999-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa  
 Table 5. The extensive analyses' disassociation matrices of year 1999

	Erdő-1	Erdő-2	Duna	ÜresTer-1	ÜresTer-2	ÜresTer-3
Erdő-2	1,999					
Duna	2,000	2,000				
ÜresTer-1	1,999	1,493	2,000			
ÜresTer-2	1,993	0,261	2,000	1,282		
ÜresTer-3	2,000	1,746	2,000	1,768	1,752	
Erdő-3	1,178	1,970	2,000	1,992	1,938	1,999

Átlagos szétválaszthatóság: 1,779522.

Minimális szétválaszthatóság: 0,261220.

Maximális szétválaszthatóság: 2,000000.

A legkevésbé szétválasztható osztályok: (Erdő-2, ÜresTer-2).

#### A tanuló területek szétválaszthatóságának elemzése a részletes képosztályozás esetében (1991)

A szétválaszthatósági mátrix a 6. táblázatban leírtaknak megfelelően alakult.

6. táblázat Az 1991-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa  
 Table 6. The intensive analyses' disassociation matrices of year 1991

	<i>Jó nyár</i>	<i>Közepes nyár</i>	<i>Rossz nyár</i>	<i>Jó kemény lomb</i>	<i>Jó fűz</i>	<i>Közepes fűz</i>	<i>Üres ter.</i>	<i>Víz v. talaj</i>
Közepes nyár	0,468							
Rossz nyár	1,864	1,832						
Jó kemény lomb	0,593	0,620	1,859					
Jó fűz	0,812	0,879	1,954	0,746				
Közepes fűz	1,692	1,569	1,559	1,769	1,539			
Üres ter.	1,999	1,997	1,928	1,999	1,999	1,989		
Vízzel borított	1,999	1,999	1,988	1,999	1,999	1,997	1,667	
Állóvíz	2,000	1,999	1,999	2,000	2,000	2,000	1,996	1,999

Átlagos szétválaszthatóság: 1,703202.

Minimális szétválaszthatóság: 0,468383.

Maximális szétválaszthatóság: 2,000000.

A legkevésbé szétválasztható osztályok: (Jó nyár, Közepes nyár).

#### A tanuló területek szétválaszthatóságának elemzése a részletes képosztályozás esetében (1999)

Az 1999-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa a 7. táblázatban látható.

7. táblázat Az 1999-es állapot osztályainak szétválaszthatósági mátrixa  
 Table 7. The intensive analyses' disassociation matrices of year 1999

	<i>Nulla-osztály</i>	<i>Jó nyár</i>	<i>Közepes nyár</i>	<i>Jó fűz</i>	<i>Közepes fűz</i>	<i>Rossz fűz</i>	<i>Rossz nyár</i>	<i>Üres v. újulat</i>
Jó nyár	2,000							
Közepes nyár	2,000	0,607						
Jó Fűz	2,000	1,935	1,644					
Közepes fűz	2,000	1,845	1,391	0,467				
Rossz fűz	2,000	1,967	1,863	1,215	1,143			
Rossz nyár	2,000	1,939	1,593	1,671	1,373	1,939		
Üres v. újulat	2,000	1,998	1,999	1,886	1,920	1,982	2,000	
Árnyék	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Átlagos szétválaszthatóság: 1,788232.

Minimális szétválaszthatóság: 0,467146.

Maximális szétválaszthatóság: 2,000000.

A legkevésbé szétválasztható osztályok: (Jó fűz, Közepes fűz).

### A képosztályozás eredményei

A képek osztályozásához minden esetben maximális valószínűségi osztályozó algoritmust használtunk „nulla-osztállyal”: Ez az osztályozási algoritmus minden egyes pixelt abba az osztályba sorol, amelyikbe az adott feltételek mellett, a legnagyobb valószínűséggel tartozik. Azok a pixelek, amelyek egyik osztály kritériumait sem elégték ki egy külön osztályba (NULL vagy nulla osztály) kerülnek. Ezek az osztályozásban nem vesznek részt.

Az átfogó képosztályozás eredményei az 1991-es évre vonatkozóan a 8–9. táblázatokban láthatók.

8. táblázat Az osztályozásról készült összefoglaló  
Table 8. Summary of image classification

Osztály	Kód	Pixelek száma	Képi részaránya (%)
Erdő-1	1	1320419	13,91
Erdő-2	2	304016	3,20
Erdő-3	3	1164380	12,27
Erdő-4	4	530738	5,59
Erdő-5	5	76460	0,81
Erdő-6	6	121757	1,28
ÜresTer-1	7	978736	10,31
Duna	8	1645238	17,33
ÜresTer-2	9	6352	0,07
Állóvíz	10	147539	1,55
NULL	0	3197283	33,68
Összesen		9492918	100,00

9. táblázat Összetévesztési mátrix. Területarányokat tartalmaz:  
Az egyes kódoknak megfelelő osztályba sorolt pixelmennyiség %-át mutatja  
Table 9. Confusion matrix containing area proportions as a percentage of correctly and incorrectly classified pixels.

Név	Kód	Pixelek	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Erdő-1	1	4364	0,96	<b>80,71</b>	0,60	2,02	10,08	5,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdő-2	2	2562	0,51	0,27	<b>97,42</b>	1,33	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdő-3	3	2221	2,12	1,22	1,17	<b>94,78</b>	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdő-4	4	1171	1,62	7,17	0,00	0,26	<b>82,58</b>	8,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdő-5	5	607	1,65	9,72	0,00	0,00	4,94	<b>83,69</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erdő-6	6	1176	2,04	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	<b>97,53</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
ÜresTer1	7	13532	3,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>96,70</b>	0,26	0,00	0,00
Duna	8	78845	8,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	<b>90,80</b>	0,00	0,00
ÜresTer2	9	516	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>96,90</b>	0,00
Állóvíz	10	1047	2,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>97,42</b>

Átlagos pontosság = 91,29.

Súlyozott pontosság = 91,39.

KAPPA KOEFFICIENS3 = 0,90536.

Az átfogó képosztályozás eredményei az 1999-es évre vonatkozóan a 10–11. táblázatban láthatók.

10. táblázat Az osztályozásról készült összefoglaló  
Table 10. Summary of image classification

<i>Osztály</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek száma</i>	<i>Képi részaránya (%)</i>
Erdő-1	1	2242211	24,28
Erdő-2	2	414475	4,49
Duna	3	1248396	13,52
ÜresTer-1	4	756179	8,19
ÜresTer-2	5	724774	7,85
ÜresTer-3	6	196496	2,13
Erdő-3	7	1343970	14,56
NULL	0	2306421	24,98
Összes		9232922	100,00

11. táblázat Összetévesztési mátrix  
Table 11. Confusion matrix

<i>Név</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Erdő-1	1	8121	2,48	88,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,99
Erdő-2	2	1542	1,36	0,00	70,69	0,00	2,40	24,77	0,65	0,13
Duna	3	28438	3,07	0,00	0,00	96,93	0,00	0,00	0,00	0,00
ÜresTer-1	4	15976	6,60	0,00	3,46	0,00	84,43	4,74	0,63	0,14
ÜresTer-2	5	7445	1,02	0,00	34,09	0,00	5,60	58,72	0,40	0,16
ÜresTer-3	6	1636	3,24	0,00	0,12	0,00	0,06	0,00	96,58	0,00
Erdő-3	7	812	2,34	4,06	0,12	0,00	0,00	1,48	0,00	92,00

Átlagos pontosság = 83,98

Súlyozott pontosság = 87,59

KAPPA KOEFFICIENS = 0,82933.

### Az átfogó képosztályozás eredményeinek értékelése

Az átfogó területosztályozás eredményeiről megállapítható, hogy az egész vizsgálati területre vonatkozóan, nagyságrendi besorolások elvégzésére, az automatikus osztályozási eljárás megfelelően alkalmazható. A tanulóterületek besorolása során számított belső pontossági mérőszámok a két osztályozás esetében 85 és 91% között változtak, ami azt mutatja, hogy az osztályozni kívánt csoportok valóban szétválnak és szétválaszthatóak a képi információk alapján. Tehát, az erdővel borított területek, a nem erdővel borított területektől és a vízfelületektől szétválaszthatóak és osztályozhatóak.

Hozzá kell ehhez tenni azonban, hogy bizonyos esetekben az osztályozás bizonytalan:

1. Az elhatárolási problémák elsősorban a nagyobb csoportokon belül jelentkeznek, mint például az erdő kategórián belül az eltérő fafajú erdőtések elkülönítése vagy az üres terület kategórián belül a rét, nádas vagy vágásterület elhatárolása.
2. Előfordulhat azonban nagyobb kategóriák közötti tévesztés is. Ilyen például a folyamatos erdősítéssel érintett területek és a magas sásos, buja gyom vegetációval érintett területek tévesztése, mivel ezeknek nagyon hasonló a képi megjelenési formája a Szigetköz esetében. (Lásd: 1999-es átfogó osztályozás esetében az Üres terület-2 és az Erdő-2 osztályok összetévesztése egymással 34, illetve 25%).
3. További bizonytalanságot jelent az osztályozásból kimaradó, bizonytalan státusú pixelekkel fedett területek esete (nulla-osztály). Ebbe a kategóriába többféle módon kerülhetnek elemek:
  - Az érintett elemek egyik előre definiált csoport képi tulajdonságainak sem felelnek meg, mert nem elemei a vizsgálatba vont objektumok körének. Ez az ideális eset.
  - A légifotók, de különösen a légifotó mozaikok mindenképpen jelenlévő inhomogenitása folytán előfordul, hogy a kérdéses elemek egy vagy több értékelésbe vont osztályba tartoznak, ám a képminőségbeli változások az ortofotó-mozaikon felismerhetetlenné teszik őket az automatikus osztályozó számára. Ez a kevésbé kedvező eset, mert ellenőrzése és javítása rendkívül élőmunka igényes, megelőzése pedig – több szükséges alosztály kijelölése és tanulóterületek közé történő felvétele miatt –, szintén nagy élőmunka igényű és felemészti az automatikus osztályozás gyorsaságban rejlő előnyöket.

Az egyes osztályok területét a 12. táblázat foglalja össze.

12. táblázat Az egyes osztályok területe és változása a két időpont között  
(Zárójelben az 1991-es területre vonatkoztatott százaléktértékek)  
Table 12. The area of each class and their changes between 1991 and 1999  
(in parentheses as a percentage of the total area of 1991)

Osztály neve	Területe 1991-ben		Területe 1999-ben		Változás	
	%	ha	%	ha	%	ha
Erdő	37,1	2198,6	43,3 (42,1)	2500,4	+6,2 (5,0)	+301,8
Üres	10,4	615,7	18,2 (17,7)	1048,4	+7,8 (7,3)	+432,7
Duna	17,3	1028,3	13,5 (13,1)	780,2	-3,8 (-4,2)	-248,1
Állóvíz	1,6	92,2	0,0	0,0	-1,6	-92,2
Nulla osztály	33,6	1998,3	25,0 (24,3)	1441,5	-8,6 (-9,3)	-556,8
Összes terület	100	5933,1	100 (97,2)	5770,5	(-2,8)	-162,6

A 12. táblázat adataiból a következő következtetések vonhatók le:

1. Megállapítható, hogy a két évfolyam vizsgálati összterületei között az eltérés kevesebb, mint 3%, ami az Öreg-Duna meder szlovákiai oldalon való lehatárolásának pontatlanságából adódik, de nem érinti a vizsgálatba vont erdőterületeket. Hatása az osztályokon belül 1% körüli, tehát elhanyagolható.

2. Az erdőterület sem százalékos arányát tekintve, sem abszolút értékében nem csökkent, sőt ~6%-al nőtt a térség összes erdőterülete, ami javarészből azoknak a területeknek a beerdősüléséből adódik, ahonnan a Duna vize visszahúzódott a lecsökkent vízhozama következtében. Ezek az újabb keletű erdők azonban, szinte mind bokorfüzesek, fatermesztési jelentőségük nincs. Annál is inkább így van ez, mert egy erdőgazdálkodással folyamatosan érintett és esetünkben jól behatárolt területen csak valamilyen felszínborítási kategória rovására van mód az erdőterület növelésére.
3. Az üres területek aránya – tehát a nem erdővel borított területek – ugyancsak nőtt, mégpedig ~7,5%-al. Az osztályozatlanból osztályozottá vált területek arányának ugyanilyen mértékű csökkenéséből arra következtethetünk, hogy a bizonytalan, ám feltehetően üres területek osztályozási pontossága nőtt meg a jobb képminőség következtében. Általánosan is elmondható, hogy az 1999-es kép, osztályozás tekintetében jobb minőségű volt, mint az 1991-es.
4. Az osztályozatlan területek magas százalékos aránya miatt, óvatosan kell kezelni az eredményeket, mivel egyes helyeken Duna szakaszok és feltehetően erdőterületek nem kerültek osztályozásra, a jelentősen eltérő fényviszonyok miatt. (Napfény tükröződése, árnyékok stb.) Nem mondható meg biztosan, hogy mi maradt ki az osztályozásból.

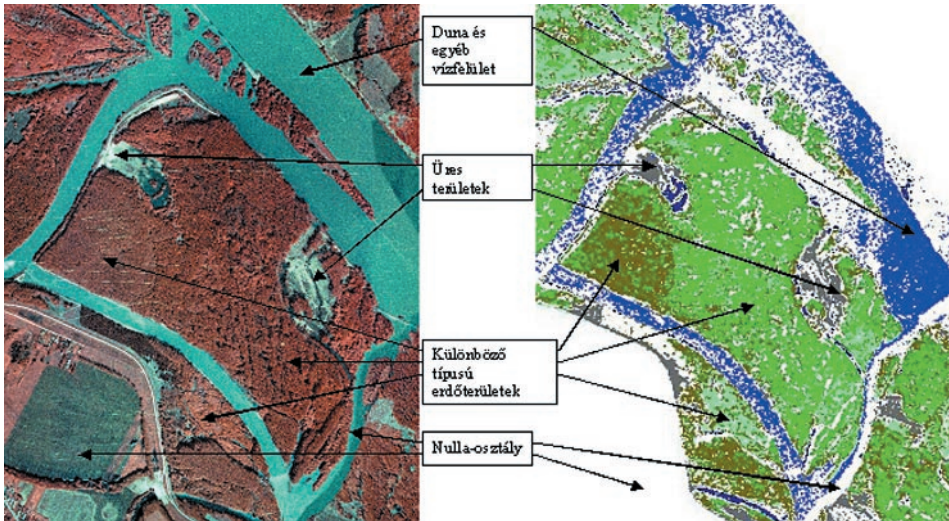
Látható, hogy az 1991 évi kép osztályozott részletén (3. ábra), az eltérő jellegű erdőterületek jól elválnak egymástól és az egyéb felszíni képződményektől. Elkülönülnek az üres területek és a vízzel borított zárványterületek is, valamint a Duna. Egyidejűleg azonban a Duna bizonyos színárnyalatoknál osztályozatlan maradt, csakúgy, mint a nem jelentős térfoglalású és ezért nem is vizsgált fenyő a töltés mellett, a kép baloldali, középső szakaszán.

Az 1999-es kép osztályozott részletéből (4. ábra) jól látható, hogy a Duna, az erdőterületek és az üres területek jól elkülöníthetők egymástól. Külön érdemes megemlíteni, hogy a befejezett erdősítések is felismerhetők a program számára, továbbá, hogy az üres területek és az erdőterületek eltérő típusai is viszonylag jól osztályozhatók. (Megjegyezzük, hogy jelen átfogó osztályozásnál az erdő- és az üres területek közötti különbségtétel csakis képi információk alapján készült, azt itt nem tudjuk megmondani, hogy ezek a csoportok pontosan milyen erdők, csak azt tudjuk biztosan, hogy erdők. Lásd, a részletes módszertani leírást.)

Összefoglalva elmondható, hogy a digitális képosztályozás esetünkben megfelelő eszköz a vizsgált terület adott időpontban jellemző felszínborítási viszonyainak becslésére, de kevésbé alkalmas a kis volumenű változások érzékelésére. A felszínborítás főbb kategóriáit és azok egymáshoz viszonyított arányát e módszer segítségével elemezhetjük és kiegészíthetjük vele a helyszíni megfigyeléseink során szerzett tapasztalatainkat.

A továbbiakban bemutatjuk, hogy milyen eredményeket hozott az egészségi állapot változásának értékelésére alkalmazott részletes területosztályozási kísérletünk, a földi monitoring pontok adataira alapozott tanulóterület-hálózat felhasználásával.

A részletes képosztályozás eredményei az 1991-es évre vonatkozóan a 13. és 14. táblázatban láthatók.

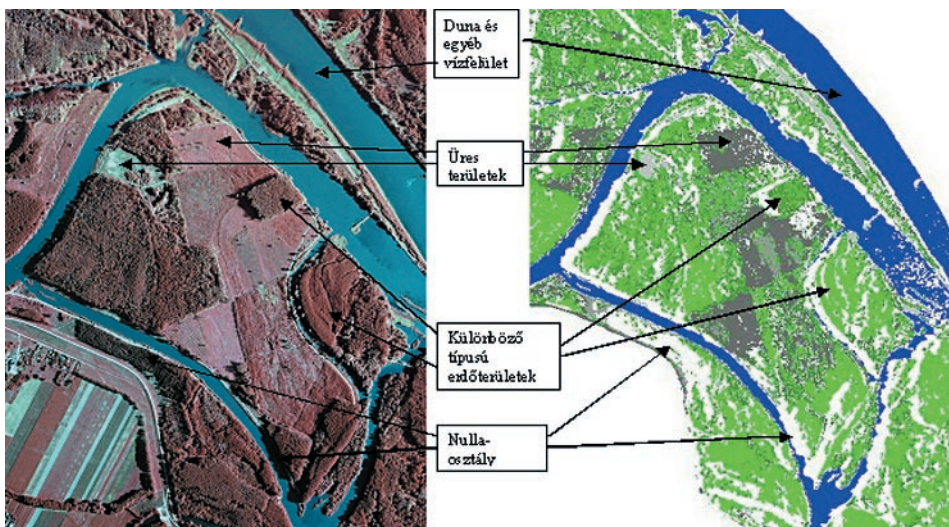


3. ábra Az 1991-es területosztályozás részlete

Baloldalon a kiindulási kép, jobb oldalon az osztályozott kép

Figure 3. A clipping of the resulted map of the extensive classification from 1991

Left side: classified image; right side: classification result



4. ábra Az 1999-es területosztályozás részlete

Baloldalon a kiindulási kép, jobb oldalon az osztályozott kép

Figure 4. A clipping of the resulted map of the extensive classification from 1999

Left side: classified image; right side: classification result



13. táblázat Az osztályozásról készült összefoglaló  
Table 13. The summary of classification

<i>Osztály</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek száma</i>	<i>Képi részaránya (%)</i>
Jó nyár	1	682609	7,19
Közepes nyár	2	1590927	16,76
Rossz nyár	3	352590	3,71
Jó kemény lomb	4	528662	5,57
Jó fűz	5	278572	2,93
Közepes fűz	6	712626	7,51
Üres terület	7	881668	9,29
Vízzel borított	8	1836367	19,34
Állóvíz	9	81784	0,86
NULL	0	2547113	26,83
Összes		9492918	100,00

14. táblázat Összetévesztési mátrix  
Table 14. Confusion matrix

<i>Név</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Jó nyár	1	4020	1,72	<b>51,39</b>	12,11	0,35	24,23	7,71	2,49	0,00	0,00
Közepes nyár	2	3024	0,43	15,41	<b>71,40</b>	2,58	4,46	3,80	1,92	0,00	0,00
Rossz nyár	3	694	2,45	0,14	0,00	<b>88,90</b>	0,86	0,00	5,19	2,45	0,00
Jó kem.lomb	4	766	0,00	9,14	6,01	0,26	<b>68,80</b>	15,54	0,26	0,00	0,00
Jó fűz	5	503	0,00	3,38	1,99	0,00	14,31	<b>76,94</b>	3,38	0,00	0,00
Közepes fűz	6	601	0,67	0,00	0,67	3,33	0,67	4,49	<b>90,18</b>	0,00	0,00
Üres terület	7	3391	2,15	0,00	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	<b>95,61</b>	2,03
Vízzel borított	8	3473	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,61	<b>94,56</b>
Állóvíz	9	605	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Átlagos pontosság = 81,72.

Súlyozott pontosság = 78,56.

KAPPA KOEFFICIENS = 0,74635.

A részletes képosztályozás eredményei az 1999-es évre vonatkozóan a 15. és 16. táblázatban láthatók.

15. táblázat Az osztályozásról készült összefoglaló  
Table 15. The summary of classification

<i>Osztály</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek száma</i>	<i>Képi részaránya (%)</i>
Jó nyár	1	1927626	20,88
Közepes nyár	2	1425245	15,44
Jó fűz	3	440789	4,77
Közepes fűz	4	432838	4,69
Rossz fűz	5	422989	4,58
Rossz nyár	6	46721	0,51
Üres v. újulat	7	241923	2,62
Árnyék	9	70126	0,76
NULL	0	4224665	45,76
Összes		9232922	100,00

16. táblázat Összetévesztési mátrix  
Table 16. Confusion matrix

<i>Név</i>	<i>Kód</i>	<i>Pixelek</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>9</i>
Jó nyár	1	2777	0,18	<b>75,23</b>	23,84	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00
Közepes nyár	2	1014	0,10	20,91	<b>62,23</b>	0,00	14,79	0,00	1,97	0,00	0,00
Jó fűz	3	808	0,12	0,00	2,10	<b>80,32</b>	11,14	5,45	0,87	0,00	0,00
Közepes fűz	4	360	0,83	0,00	2,78	24,17	<b>67,22</b>	3,61	1,39	0,00	0,00
Rossz fűz	5	759	0,92	0,00	0,00	6,59	11,20	<b>81,29</b>	0,00	0,00	0,00
Rossz nyár	6	74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	0,00	0,00
Üres v. újulat	7	1636	4,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>95,66</b>	0,00
Árnyék	9	662	3,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>96,98</b>

Átlagos pontosság = 82,37.

Súlyozott pontosság = 80,46.

KAPPA KOEFFICIENS = 0,76034.

### A részletes képosztályozás eredményeinek értékelése

A részletes területosztályozás eredményeinek korrekt értékeléséhez három fontos kiindulási feltételtől nem lehet eltekinteni:

- Először is attól, hogy a részletes elemzés tanulóterületei a földi monitoring területek voltak, mivel ezekről állt rendelkezésre a kívánt mennyiségű információ. Minthogy 1991-ben kevesebb monitoring területet figyeltünk meg és ezek részben másutt helyezkedtek el, mint az 1999-ben megfigyelt területek, belátható, hogy az osztályok között nem lehet teljes a koherencia. Továbbá, 1991-ben részben a kevesebb terület miatt, részben az eltérő állományviszonyok miatt nem léteztek azok az osztályok, amelyek 1999-ben már jelen vannak.
- Másodszor attól, hogy a két évjárat képei között meglévő minőségi különbségek szükségessé tették bizonyos nem erdőterületre vonatkozó osztályok felvételét a hibás osztályozások csökkentése érdekében.

- Harmadszor pedig attól, hogy nem lehet garantálni a terepi megfigyelési eredmények digitális képosztályozási területen való alkalmazhatóságát, mivel a megfigyelési módszerek kialakításánál – a monitoring kezdetén –, a digitális képfeldolgozás szempontja nem játszott szerepet. Az erdőterületek egészségi állapotának megítélése szubjektív módon és tapasztalati alapon zajlik, konkrét mérés nem köthető hozzá.

Az 1991-es osztályozásról elmondható, hogy az eltérő egészségi állapotú és fafajú erdőterületek az egyéb területektől jól elkülöníthetők. Ezzel szemben, főként a jó egészségi állapotú, ám eltérő fafajú erdőterületek nem megfelelően különíthetők el; de előfordulhat az is, hogy eltérő fafajú és eltérő egészségi állapotú erdőtestek sem különülnek el, ami végképp kedvezőtlen, pl.: Jó keménylomb – közepes nyár (0,620).

Kedvező azonban, hogy a rossz egészségi állapotú erdőterületek – amelyek számunkra most a legérdekesebbek – megfelelő módon elkülönülnek mind az egyéb erdőktől, mind pedig az egyéb felszíni képződményektől.

A fentieket alátámasztja a vonatkozó összetévesztési mátrix, melyből kiolvasható, hogy a rossz egészségi állapotú nyárasok tanulóterületei 88,9%-ban helyesen kerültek visszaosztályozásra. Mindezekkel együtt az osztályozás pontossága 80% körüli, ami közepesnek mondható.

Az 1999-es osztályozásról megállapíthatjuk, hogy a legkevésbé szétválasztható osztályok a jó és közepes egészségi állapotú nyárasok, illetve fűzek, de a két fajokcsoport megfelelően elkülönül egymástól. A legalacsonyabb pontossággal a közepes egészségi állapotú nyárasok és fűzek kerültek osztályozásra, a többi csoport osztályozási pontossága 70% feletti. Az osztályozás átlagos pontossága 80% körüli, és szinte teljesen megegyezik az 1991 évi osztályozás eredményével.

A bevezetőben már utaltunk rá, hogy a két évjárat képeinek átfogó és részletes osztályozása során eltérő tanulóterület hálózatot alkalmaztunk, ezért a kapott eredmények is különbözőek lehetnek. Mivel a részletes osztályozásnál csak az erdőterületekre voltunk kíváncsiak, a továbbiakban csak ezek adataira szorítkozunk.

17. táblázat Az egyes osztályok területe és változása a két időpont között  
(Zárójelben az 1991-es területre vonatkoztatott százaléktételek)

Table 17. The area of each class and their changes between 1991 and 1999  
(in parentheses as a percentage of the total area of 1991)

Osztály neve	Területe 1991-ben		Területe 1999-ben		Változás	
	%	ha	%	ha	%	ha
Jó erdő	15,7	931,2	25,7 (24,9)	1480,2	+10 (9,2)	+549,0
Közepes erdő	24,3	1439,7	20,1 (19,7)	1161,3	-4,2 (-4,6)	-278,4
Rossz erdő	3,7	220,4	5,1 (4,9)	293,6	+1,4 (1,2)	+73,2
Üres	9,3	551,1	2,6 (2,5)	151,2	-6,7 (-6,8)	-399,9
Egyéb	20,2	1198,8	0,8 (0,7)	43,8	-19,4 (-19,5)	-1155
Nulla osztály	26,8	1591,9	45,7 (44,5)	2640,4	+18,9 (17,7)	+1049,3
Összes terület	100	5933,1	100 (97,2)	5770,5	(-2,8)	-162,6

A 17. táblázatból érdekes módon úgy tűnik, hogy az erdők területi megoszlásában az egészségesnek mondható erdők aránya 10%-al emelkedett, míg a közepes egészségi állapotú erdők aránya ~4%-al csökkent és a rossz egészségi állapotú erdők aránya pedig csak ~1%-al nőtt.

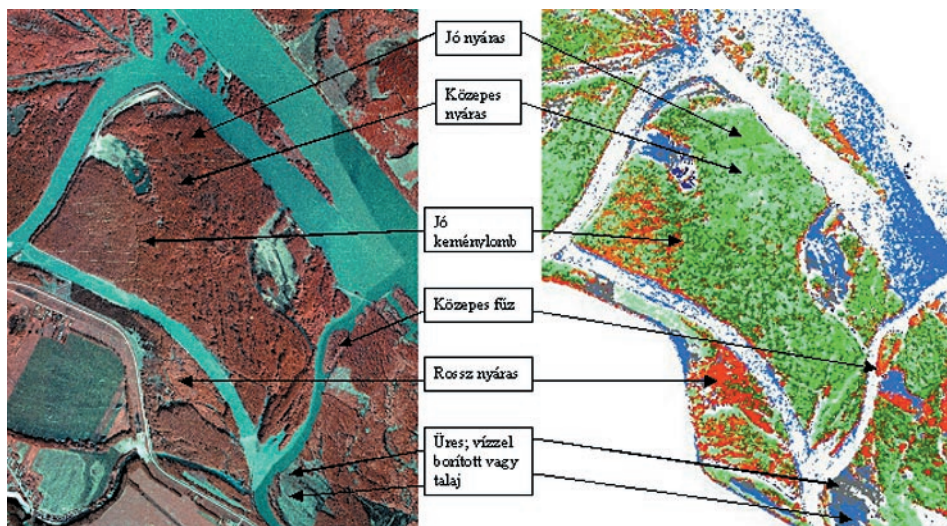
A nagyságrendi adatok helyességét közvetve alátámasztja az a tény, hogy az erdők ösztályozásának változása ~6,5%, ami majdnem megegyezik az átfogó osztályozás során kapott eredménnyel. Feltehetően ennek a hat százaléknak a zöme a jó egészségi állapotú erdőket gyarapítja, minthogy az újonnan kialakult bokorfűzes sáv az új meder partján igen intenzíven növekszik. Feltehető továbbá ezek alapján, hogy a jó egészségi állapotú erdők terület növekedésének aránya – az új erdőket nem számítva –, csak 3%, amely a közepes egészségi állapotú erdők csoportváltásából került ki. Így a mérleg szerint, a közepes egészségi állapotú erdők 4%-os területvesztése 3% erejéig a jó egészségi állapotú erdőket, míg 1% erejéig a gyenge egészségi állapotú erdőket gyarapította.

A táblázathoz a következőket kell még hozzátenni:

- Az egyéb osztályok területe azért csökkent drasztikusan, mert az 1999-es részletes osztályozáshoz nem kellett a Dunát, illetve egyéb vízfelületeket bevenni az osztályozásba, mivel azok jól elkülönültek az egyéb területektől. Az 1991-es képen ezeket be kellett venni, mert ott fennállt az összetéveszthetőség veszélye,
- A nulla-osztály területének jelentős növekedése az előző ponttal, tehát a Duna teljes területének nulla-osztályba kerülésével magyarázható.

A következőkben megvizsgáljuk, hogy az átfogó osztályozás során elemzett képrészletet milyen sikerrel lehetett a szigorúan a monitoring területekhez kötődő tanulmányterület hálózat alapján végzett, részletes osztályozással besorolni. A 5. ábráról látható, hogy az erdőterületeket a különböző típusokba sikerült besorolni, ám annak helyességét, az időbeni távlat miatt nem tudjuk ellenőrizni. Az elfogadhatóságot a tapasztalat és az átlagos pontossági mérőszám alapján kell mérlegelni. Ugyanez mondható az 6. ábráról is.

Összefoglalva a részletes képosztályozás során kapott eredményeket azt mondhatjuk, hogy vizsgálatunk célját tekintve a módszer még nem eléggé fejlett arra, hogy megbízható eredményeket adjon. Az átfogó és a részletes osztályozás közötti különbségek nagysága azt mutatja, hogy az eredmények igen nagy változatosságot mutatnak a tanulmányterület-hálózat kialakításától függően. Megjegyezzük, hogy habár viszonylag sok mintaterülettel dolgoztunk – 1991-ben 20 db, 1999-ben 55 db –, mégsem kaptunk a várakozásainknak megfelelő eredményt. Ennek következtében, habár önmagában mindkét osztályozás a rendelkezésre álló információk alapján elfogadható volt, összehasonlításuk nem célravezető, hiszen ugyanazon területek más-más nagy csoportokba kerültek az egyik, mint a másik képen. Ezért, ameddig nem tudjuk meghatározni, hogy az osztályok közötti területvándorlás pontosan hogyan zajlott, addig távolabbra mutató elemzésekre nem vállalkozhatunk.

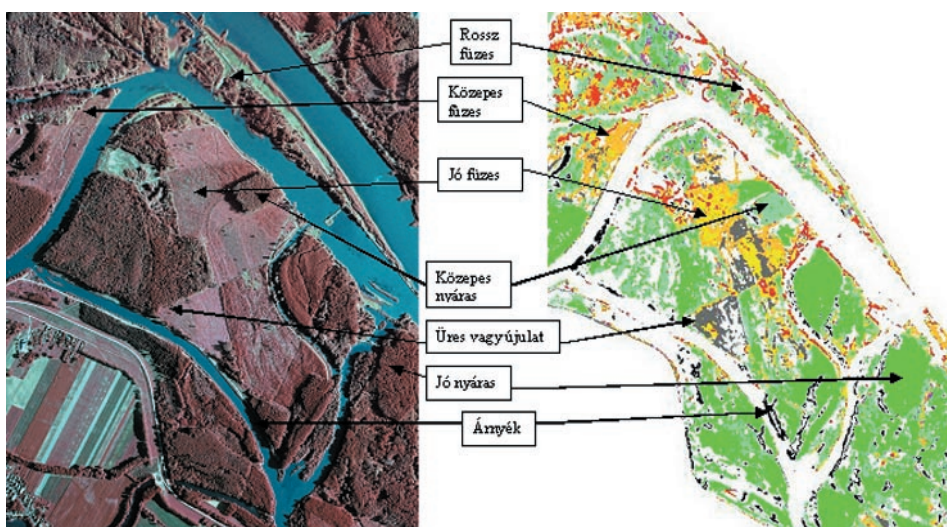


5. ábra Az 1991-es területosztályozás részlete

Baloldalon a kiindulási kép, jobb oldalon az osztályozott kép

Figure 5. A clipping of the resulted map of the intensive classification from 1991

Left side: classified image; right side: classification result



6. ábra Az 1999-es területosztályozás részlete

Baloldalon a kiindulási kép, jobb oldalon az osztályozott kép

Figure 6. A clipping of the resulted map of the intensive classification from 1999

Left side: classified image; right side: classification result

### Az átfogó és részletes képosztályozás eredménye közötti különbségek vizsgálata

Ebben a fejezetben megvizsgáljuk, hogy az átfogó és a részletes képosztályozások közötti különbségek mely osztályok közötti területvándorlásokból adódtak, illetve, hogy mely 1991-es képi osztályból milyen képi osztályok alakultak 1999-ben.

Ennek az elemzésnek az eredményeképpen bizonyosodhatunk meg arról, hogy az előző fejezetekben tett megállapításaink valóban megfelelnek-e a valóságnak, és hogy a Szigetköz erdőterületei állapotváltozásáról alkotott képünk hűen tükrözi a lejátszódó folyamatokat.

A feladat végrehajtásához különbségtérképeket állítottunk elő. (A térképeket terjedelmi okokból nem közöljük.) Az eljárás során, a két időpontra készült térképeket kivontuk egymásból, oly módon módosítva a pixelértékeket, hogy bármely két osztály különbsége egy egynél kisebb, ám minden más osztály-párosítás különbségétől eltérő eredményt adjon. Ezzel a módszerrel minden egyes különbség-osztály előállítható és megjeleníthető lett a térképen, mely térkép értelmezésével eldönthetők azok a kérdések, hogy egyes osztályok mely területeken és milyen mértékben alakultak át más osztályokká, illetve, hogy mely területeken maradtak változatlanok.

### Az átfogó területosztályozás különbsége 1991–1999.

Az átfogó területosztályozás két időpont közötti különbségeinek elemzését a hullámtér területére vonatkozóan végeztük el, amely elemzés keretében az 1991-es, 1999-es állapotot ábrázoló képek mellett a különbségtérképet is figyelembe vettük. Ezekben a képeken jól értelmezhető lett, hogy milyen osztályból, milyen osztály lett 1991-ről, 1999-re a területváltozások térbeli mintázatának értékelésével.

Az eredményekről táblázatos összefoglalót készítettünk, a főbb csoportok közötti területmozgások összefoglalásához és elemzéséhez (18. táblázat).

18. táblázat Az átfogó területosztályozás osztályok közti területváltozása 1991–1999 (ha).  
Table 18. Area changes between the classes of extensive analyses from 1991 to 1999 (ha).

Minek a kárára/javára	Erdő gyarapodás	Erdő csökkenés	Változás	Üres gyarapodás	Üres csökkenés	Változás
Nulla osztály erdő	766,3	-444,8	321,6	333,6	-143,4	190,2
üres	228,8	-363,3	-134,5	363,3	-228,8	134,5
Duna	119,8	-5,0	114,7	118,1	-10,1	108,0
Összesen			301,8			432,7
Minek a kárára/javára	Duna gyarapodás	Duna csökkenés	Változás	Nulla osztály gyarapodás	Nulla osztály csökkenés	Változás
Nulla osztály erdő	280,3	-397,8	-117,5	444,8	-766,3	-321,6
üres	5,0	-119,8	-114,7	143,4	-333,6	-190,2
Duna	10,1	-118,1	-108,0	397,8	-280,3	117,5
Összesen			-340,2			-394,3

Az értékeléséből megállapítható volt, hogy a vizsgált térségekben, az 1999-ben fel-térképezett üres területek jelentős része a megelőző időszakban erdőterület volt, melyek aztán véghasználatra kerültek. Az a megállapítás, miszerint a kérdéses erdőtümbök a tervszerű gazdálkodásból következésképpen alakultak üres területté, az alakzatok szabályos-ságából, erdőrészekhez való igazodásából vezethető le. A termőhelyi, ökológiai okok-ból bekövetkező erdőterület csökkenés – fapusztulás – kevésbé mutatható szabályos és ilyen koncentrált képet, annak elsősorban szétszórtan és nagy kiterjedésben kellene jelentkeznie.

Az erdőterület csökkenéshez hozzájáruló, ám továbbra sem ökológiai okokra vissza-vezethető tényező az erdőterületek „nulla-osztályá” alakulása a képeken. Ezeknek a területeknek az elhelyezkedése, erősen köthető az erdőszegélyekhez, amiből arra követ-keztethetünk, hogy a szomszédos erdőtümbök 7 évi magassági növekedéséből fakadó árnyékolás okozza az osztályok közötti változást. A nem erdőszegélyhez köthető, ilyen irányú osztályváltást állományokon belül már tulajdoníthatjuk termőhelyi, ökológiai okok hatásának, mivel az állományok ligetesedésének, kiritkulásának következtében, állományon belül is kialakulnak az árnyékos foltok.

Fennmaradtak olyan üres területek is, amelyek egyik időpontban sem hordoztak erdőállományt. Az ilyen tartósan üres területek esetében három lehetséges ok van: az egyik, hogy sem 1991-ben, sem 1999-ben nem tartoztak erdőművelési ágba, hanem raj-tuk rét- vagy legelőgazdálkodás folyt; a másik lehetséges ok, hogy a területek termőhelyi adottságai nem teszik lehetővé a faállományok telepítését; és végül a harmadik, hogy erdőművelési ágba tartoznak ugyan, de hasznosításuk vadföldként történik.

Az imént vizsgált képi osztályok területváltozását részletező 18. táblázat adataiból kitűnik, hogy az erdőterület növekedést mutató eredmény döntően a „nulla-osztály”-ból erdő osztályba került területből adódik, amely eredmény az 1999-es évi felvétel jobb képminőségének és jobb felismerési arányának köszönhető. Ezt az értéket tulajdonkép-pen erdőterület korrekciónak is nevezhetnénk. (Ez igaz a táblázat egészére, kivéve a Duna esetét.) Ennél érdekesebb, és több információt hordoz magában a felismerten üres terület és a felismerten erdő osztályok közötti viszony. A táblázat tanúsága szerint több erdőterület alakult üres területté, mint amennyi üres területet az erdő „visszahódított”. Ez azért érdekes, mert tervszerű erdőgazdálkodás esetében, zárt erdőterületen, az üres és fa-állománnyal borított területek aránya dinamikus egyensúlyban kellene, hogy legyen. Annak, hogy nem így van, két oka lehet: először is az, hogy némi felújítási hátralékkal küzd az erdőszegély a letermelt erdők helyén, másodsorban pedig az, hogy a fakitermelési ter-ven módosítani kellett – esetleges egészségügyi termelések beiktatásával –, ami megnö-velte a felújítandó területet. Mindkét eset visszavezethető ökológiai okokra, de mértéke jelen esetben még elenyésző.

Szintén érdekes adat, mely alátámasztja az előző fejezetekben megfogalmazott elmé-letet, a Duna kárára bekövetkezett erdőterület növekedés, illetve az üres terület gyara-podása szintén a Duna területével szemben.

Összefoglalva, az 1991. és 1999. évi ortofotón alapuló, átfogó területosztályozások eredményének, illetve eredményeik közötti különbségek értékelését a Szigetközben, megállapítható, hogy:

1. A Szigetköz erdőterületeinek ökológiai okokra visszavezethető, jelentős csökkenését nem tapasztaltuk.

2. A Duna lecsökkent vízszintjének következtében létrejött szárazulatokon, spontán beerdősülés folytán 3–6%-nyi erdőterület növekedés mutatható ki.

3. Ugyancsak a Duna vízszint csökkenése folytán hasonló mértékben megnőtt az üres területek aránya is.

### **A részletes területosztályozás különbsége 1991–1999.**

A részletes osztályozás különbségeinek elemzéséhez ugyanazokat a módszereket használtuk fel, mint az átfogó képosztályozás különbségének elemzésekor. Az elemzések tanúsága szerint a részletes osztályozás megbízhatósága elmarad az átfogó osztályozás megbízhatóságától, minthogy a „beteg erdő” kategóriába olyan területek kerültek, amelyek mindkét időpontot ábrázoló képen üres területek voltak. Megfigyelhető az is, hogy indokolatlanul sok erdőterület került át a „jó erdő” kategóriába az 1999-es kép osztályozása során, ez a fejlemény nagyban hozzájárult az említett kategória 10%-os terület nyereséséhez egyik időpontról a másikra. Az „üres területek” és a „nulla-osztály” kategóriák átalakulása a „jó erdő” kategóriába szintén hozzájárult a jó egészségi állapotú erdők kategóriájának megnövekedéséhez.

Érdekes megjegyezni, hogy az erdőterületek közül azok a foltok, amelyek mind a két időpontra vonatkozó osztályozásnál azonos kategóriába kerültek, igen kis területarányt képviselnek. Ez arra utal, hogy az alkalmazott osztályozási kategóriák a két különböző időpontban készített felvételek esetében nem eléggé stabilak, és nem reprodukálhatók a kívánt mértékben.

Összefoglalva a részletes osztályozások összehasonlítását, elmondható, hogy a kívánt részletességű elemzésekre (fafaj és egészségi állapot szintű elkülönítések), a Szigetközben tapasztalható változások mértékéhez képest, a digitális automatikus képosztályozás jelenlegi módszere és kiinduló adatai még nem alkalmazhatóak a pontatlanságuk miatt.

### **Összefoglalás**

Összefoglalva megállapítható, hogy a digitális képosztályozás esetünkben megfelelő eszköz a vizsgált terület felszínborítási viszonyainak becslésére. A felszínborítás főbb kategóriáit és azok egymáshoz viszonyított arányát e módszer segítségével elemezhetjük és kiegészíthetjük vele a helyszíni megfigyeléseink során szerzett tapasztalatainkat.

A részletes faegészségi szempontú képosztályozás során kapott eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a módszer még nem eléggé fejlett arra, hogy megbízható eredményeket adjon. Az átfogó, és a részletes osztályozás közötti különbségek nagysága azt mutatja, hogy az eredmények igen nagy változatosságot mutatnak a tanulóterület-hálózat kialakításától függően. Ennek folyományaként, habár önmagában mindkét osztályozás a rendelkezésre álló információk alapján elfogadható volt, direkt összehasonlításuk nem célravezető, hiszen ugyanazon területek más-más nagy csoportokba kerültek az egyik, mint a másik osztályozott képen. Ezért, az osztályok közötti területvándorlási mintázatok elemzése nélkül nem értelmezhetőek az egészségi viszonyokban bekövetkezett változások, pusztán a légifelvételek elemzése által.



Az osztályozási különbségek részletes elemzése alapján megállapítható, hogy:

- A Szigetköz erdőterületeinek ökológiai okokra visszavezethető, jelentős csökkenését nem tapasztaltuk,
- A Duna lecsökkent vízszintjének következtében létrejött szárazulatokon, spontán beerdősülés folytán 3–6%-nyi erdőterület növekedés mutatható ki,
- Ugyancsak a Duna vízszint csökkenése folytán hasonló mértékben megnőtt az üres területek aránya is,
- Az egészségi állapotra és fafajokra bontott osztályozások összehasonlításából, látható, hogy a kívánt részletességű elemzésekre – fafaj és egészségi állapot szintű elkülönítések –, a digitális automatikus képosztályozás jelenlegi módszere és kiinduló adatai nem megfelelőek. Az ilyen mélységű, és részletességű vizsgálatok, monitoringon belüli felhasználásához a légfelvételek által hordozott információ nem elégséges.

#### Irodalom

- Anonymus. 2001: Getting Results with Geomatica Focus, User's Guide. Version 8.2. PCI GEOMATICS Ontario. p. 147.
- CONGALTON R. G., BIRCH K., JONES R., SCHRIEVER J. 2002: Evaluating remotely sensed techniques for mapping riparian vegetation. *Computers and Electronics in Agriculture* 37: 113–126.
- CURRAN P. J. 1985: Aerial photography for the assessment of crop condition: a review. *Applied Geography* 5: 347–360.
- CSÓKÁNYI SZ. I., ILLÉS G., SOMOGYI Z. 2002: Erdészeti megfigyelések a Szigetközben. Zárójelentés. ERTI, Budapest, p. 141.
- EKSTRAND S. 1994: Close range forest defoliation effects of traffic emissions assessed using aerial photography. *The Science of The Total Environment* 146–147: 149–155.
- FENSHAM R. J., CHOY S. J. L., FAIRFAX R. J., CAVALLARO P. C. 2003: Modelling trends in woody vegetation structure in semi-arid Australia as determined from aerial photography. *Journal of Environmental Management* 68: 421–436.
- KADMON R., HARARI-KREMER R. 1999: Studying Long-Term Vegetation Dynamics Using Digital Processing of Historical Aerial Photographs. *Remote Sensing of Environment* 68: 164–176.
- MAPEDZA E., WRIGHT J., FAWCETT R. 2003: An investigation of land cover change in Mafungautsi Forest, Zimbabwe, using GIS and participatory mapping. *Applied Geography* 23: 1–21.
- MAST J. N., VEBLEN T. T., HODGSON M. E. 1997: Tree invasion within a pine/grassland ecotone: an approach with historic aerial photography and GIS modeling. *Forest Ecology and Management* 93: 181–194.
- MEYERA P., STAENZB K., ITTENA K. I. 1996: Semi-automated procedures for tree species identification in high spatial resolution data from digitized colour infrared-aerial photography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 51: 5–16.
- MILLER D. R., QUINE C. P., HADLEY W. 2000: An investigation of the potential of digital photogrammetry to provide measurements of forest characteristics and abiotic damage. *Forest Ecology and Management* 135: 279–288.
- RICHARDS J. A. 1986: *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo. p. 206–225.
- TINER R. W., JR. 1990: Use of high-altitude aerial photography for inventorying forested wetlands in the United States. *Forest Ecology and Management* 33–34: 593–604.

THE ANALYSES AND EVALUATION OF THE HEALTH CONDITION OF FOREST STANDS IN THE SZIGETKÖZ ON THE BASIS OF INFRARED AERIAL ORTHOPHOTOS

G. ILLÉS, Z. SOMOGYI

Forest Research Institute, Department of Silviculture and Yield  
1023 Bp. Frankel Leó u. 42–44. e-mail: illesg@erti.hu

**Key words:** forest monitoring, supervised image classification, infrared orthophoto map, health condition assessments.

The paper deals with the application of infrared orthophotos for forestry monitoring purposes. Orthophotos taken in 1991 and 1999 of the floodplain of the Danube in the Szigetköz were used for supervised automatic classification on the basis of terrain reference points. The analyses involved two stages. The first stage was an extensive study aimed at delineating forest areas separately from other surface cover types for both years. In the second stage we tried to analyze and assess the health conditions of forests of different species for the whole study area (intensive analyses). The results showed out that this methods of evaluating aerial photos can be used successfully to monitor the changes in covered area of different forest types, but it is less effective in health condition assessments. However, terrain observations must be made in both cases.