

ÚRFELVÉTEL-ALAPÚ IDŐSOROS VÁLTOZÁSVIZSGÁLAT A SZIGETKÖZBEN ÉS A CSALLÓKÖZBEN

KRISTÓF DÁNIEL

Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar,
Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet
2103 Gödöllő, Páter K. u. 1.
e-mail: kristof.daniel@kti.szie.hu

Kulcsszavak: űrfelvétel, Landsat, erdő, kvantitatív változásvizsgálat, geometriai korrekció, radiometriai korrekció, nedvesség

Összefoglalás: A cikk a Duna 1992-es egyoldalú elterelésének a helyi növényzetre gyakorolt hatásaival foglalkozik. A mintaterület a Szigetköz és a Csallóköz, ahol 8 különböző időpontú űrfelvétel segítségével végzett kvantitatív változásvizsgálatot. A változások megfigyelésére változás-térképeket hoztam létre, valamint idő-soros tematikus elemzést végeztem. A vizsgált időtartam hossza (17 év), a felvételek nagy száma és a vizsgálat célja szükségessé tették a hagyományos és újszerű távérzékelési módszerek kombinálását, új módszerek kidolgozását, elsősorban a geometriai és a radiometriai korrekciók, valamint az adatfúzió terén. A fentiekben kidolgozott és leírt módszerek alkalmazásával megállapítottam, hogy a valószínűleg a Duna elterelésének tulajdonítható hatások leginkább Kisbodak és a szlovák oldalon Spáleny Les környékén jelentek meg a növényzet erőteljes nedvesség-csökkenéseként, 1992 és 1993 között. E területek jelentős részén ugyanakkor regeneráció figyelhető meg, míg más területeken további csökkenés következett be 1994-re. 1997-től egyes területeken viszonylagos regeneráció figyelhető meg, bár az idősebb fűz-állományok maradandó károsodást mutatnak.

Bevezetés

A Bős-Nagymarosi vízlépcső ügye már a tervezés, illetve az építkezés megkezdése során viharokat kavart, a kezdetektől folyt – és részben azóta is folyik – a közéleti, szakmai, diplomáciai vita. A magyar fél végül az építkezés leállítására mellett döntött. Aztán a Duna 1992. októberi egyoldalú elterelése új helyzetet teremtett. A vita diplomáciai és jogi mederben folyik tovább, Magyarország és Szlovákia között. Nálunk az ökológiai igény értékes Szigetköz területét érintik leginkább a vízlépcsőrendszer hatásai, ezért a monitoringot megalapozó állapot-felmérések már az építkezés közben megkezdődtek. A munka azóta is folyik, a Magyar Tudományos Akadémia Szigetköz-munkacsoportja fogja össze a kutatásokat. A monitoring leginkább terepi megfigyeléseken, méréseken alapul, de például az erdészeti vizsgálatok keretében végeztek légifénykép-alapú elemzéseket is (ILLÉS és SOMOGYI 2005).

A távérzékelési és térinformatikai módszerek egyre nagyobb teret nyernek a földfelszín vizsgálatában, a felszínen lezajló folyamatok elemzésében. A földmegfigyelő műholdak felvételei több évtizedre visszamenően elérhetők. Az archív felvételekben rendelkezésünkre álló adatmennyiség ma is rohamosan növekszik, és az új fejlesztéseknek köszönhetően egyre nagyobb a felvételek adattartalma. Az *in situ* módszerekkel összevetve a távérzékelési eljárások jóval nagyobb területről szolgáltatnak egyidejűleg adatokat. Ezen túlmenően az archív távérzékelési adatok felhasználhatók arra, hogy elemzésünket kiterjesszük olyan időperiódusokra is, amelyekről más adat nem áll rendelkezésre. Bár a távérzékelési eljárások csak részleges információt szolgáltatnak a földfelszín egy darabjáról, más adatokkal összevontan elemezve jelentősen hozzájárulnak tudá-

sunk bővítéséhez, a földfelszíni folyamatok leírásához. A földrajzi információs rendszerek (FIR, vagy GIS – Geographical Information Systems) hatékony és egyre szélesebb körben használt megoldást jelentenek a különböző forrásokból származó adatok integrációjára és elemzésére (COPPIN et al. 2004). Mindezek figyelembevételével elmondható, hogy a távérzékelési és egyéb forrásból származó adatok kombinálásával kiterjeszthetjük tudásunkat mind térben, mind időben (BUITEN 1993). A távérzékelte adatok feldolgozása, egyéb adatokkal történő összevonása azonban sajátos problémákat vet fel, és különleges előfeldolgozási és adatkinyerési eljárásokat igényel.

SMITH et al. (2000) négy különböző dátumú (1988, 1992, 1993, 1997) Landsat TM űrfelvétel alapján vizsgálta a változásokat a Szigetközben a folyó különböző szélességű parti sávjában. A felvételek invariáns-alapú és DBO-normalizálása után felvételenként tanulóterületen osztályozással és a vegetációs index- (NDVI-) értékek változásaival dolgoztak. Vizsgálataik nem mutattak szignifikáns összefüggést a megfigyelt változások és az elterelés között.

A munkájukban alkalmazott korrekciók helyett kifinomultabb eljárásokkal, az időtáv növelésével, az azóta készült felvételek bevonásával, más indikátorok megválasztásával és külső adatbázisok bevonásával új, megbízhatóbb és részletesebb elemzés végezhető. Ez a megfontolás munkám egyik indoka.

A Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) archívumában fellelhető űrfelvételek egészen az építkezés megkezdése előtti állapottól napjainkig tartalmaznak adatokat a területről, ami lehetőséget ad hosszú távú távérzékelési elemzések végzésére. A FÖMI Távérzékelési Adatforgalmazási és Adatarchiválási Osztályával (TAAO) két pályázatunk nyert támogatást a Magyar Űrkutatási Irodától (MŰI), így a pályázatok keretében űrfelvételeket megkaptam és a kutatást elvégezhettem.

Munkám fő célkitűzése tehát a vízlépcső-rendszer erdőkre gyakorolt hatásainak kvantitatív vizsgálata, amely feltételezi az egyéb természetes és antropogén hatások elkülönítését is.

A Szigetköz és a Csallóköz ökoszisztémái és a Duna elterelése

A Szigetköz és a Csallóköz a Duna magyar és szlovák oldalán elhelyezkedő, ökológiailag igen értékes tájak. Különlegességük, hogy Európa egyik utolsó szárazföldi deltájához tartoznak: a terület igen alacsony esése miatt a Duna alsószakasz-jellegűvé válva igen kiterjedt, kanyargós ágrendszert hozott itt létre. Az 1886–1896 között elvégzett folyamszabályozási munkálatok során kotrással, kőszórással egységes középvízi medret alakítottak ki, így az Öreg-Duna innentől szabályozott medernek tekinthető.

A helyi ökoszisztémák közül legjelentősebbek és legjellemzőbbek az erdők, amelyek három kategóriába oszthatók:

- A féltermészetes ártéri erdők a mélyártereken jellemzők, domináns fajaik: fehér fűz (*Salix alba*), rekettyefűz (*S. cinerea*) és fehérynár (*Populus alba*).
- A magasabb részeken elegyes, féltermészetes keményfaligetek a jellemzők, amelyekben magas kőris (*Fraxinus excelsior*), tölgyfajok (*Quercus spp.*) és kisebb mennyiségben fehérynár (*Populus alba*) jelennek meg.
- Igen elterjedtek a fatermesztési célú erdőültetvények, amelyekben a hibrid nyárfaklónok (*Populus x euramericana*) dominálnak (BÖLÖNI et al. 2003).

Az emberi tevékenység már évszázadok óta éreztetni tájformáló-gazdálkodó hatásait, ezért az élőhelyek többsége féltermészetesnek tekinthető.

LAMBS és MULLER (2002) kutatásai alapján elmondható, hogy jórészt a talajban elérhető vízmennyiség drámai változásai tartják fenn a folyóparti területek magas biodiverzitását. Ugyanez a tényező erős fiziológiai adaptációt okozott az ezeken a területeken őshonos növényfajoknál. A nem őshonos fajok (pld. nemesnyár-ültetvények) nem mutatnak ilyen adaptációt. Fontos megjegyezni, hogy a folyóparti élőhelyeken leginkább a folyó vízszintje által befolyásolt talajvíz-szint szabja meg, hogy adott időpontban mennyi víz áll az ökorendszer rendelkezésére, amit az elöntések dinamikája, a talajok vízkapacitása és a kavicságy felszínétől való távolsága jelentősen befolyásol. Ez azt is jelenti, hogy a helyi időjárási körülményektől viszonylag független a rendelkezésre álló víz mennyisége. Ugyancsak LAMBS és MULLER (2002) viszonylag erős korrelációt találtak a késő nyári vízszintek és a fák növekedése között mintaterületükön, a dél-franciaországi Garonne folyó mentén.

A Duna 1992. októberi elterelése jelentősen módosította a vízmennyiségek térbeli és időbeli eloszlását, megváltoztatta a rendszer dinamikáját.

A szigetközi monitoring eddigi eredményei szerint a Duna eltereléseinek hatásai közül a legfontosabbak:

- a vízszint csökkenése a Duna főágában és ágrendszerében;
- ennek következtében a talajvízszintek jelentős csökkenése e terület nagy részén;
- az évi rendszeres elöntések elmaradása.

Mindezek alapján a növényzetre gyakorolt hatások:

- a természetes vegetáció fajösszetételének megváltozása;
- az erdők növekedésének csökkenése, egészségi állapotának, vitalitásának romlása.

A növényzetre gyakorolt hatás erősen függ a fajok ökológiai igényeitől, így például az erdészeti monitoring során megfigyelték, hogy a nagy vízigényű fűzék sokkal rosszabban viselik a tartós vízhiányt, mint a tájidegen nemesnyár-klónok. Ennek okai a fent említett ökológiai adaptációban kereshetők.

Felhasznált adatok

- **Úrfelvételek:** A Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) archívumában összesen 23 úrfelvétel állt rendelkezésre a területről; a legtöbb közülük a Landsat műholdcsalád tagjainak felvétele. A korábbiak között találunk a Multi-Spectral Scanner (MSS) szenzorral készült felvételeket, az újabb felvételek szinte mindegyike a Landsat Thematic Mapper (TM) és Enhanced Thematic Mapper (ETM+) szenzoraival készült. Egy felvétel készült a SPOT 4 műhold HRVIR szenzorával. A felvételek legfőbb jellemzőit az 1. táblázat foglalja össze. A hosszú távú kvantitatív elemzésben végül csak a spektrálisan összegegyeztethető, az év hasonló időszakában készült Landsat TM és ETM+ felvételeket használtam, ezek tulajdonságait foglalja össze a 2. táblázat.
- **CORINE Land Cover 1:50 000 felszínborítási adatbázis:** A FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) által 1999-ben elkészített felszínborítási adatbázis számítógéppel segített vizuális úrfelvétel-kiértékeléssel készült. Szabványosított nomenklátúra-rendszere 87 felszínborítási kategóriát különböztet meg. A legkisebb térképezett objektum-méret 4 ha (vizek esetében 1 ha), a legkisebb térképezett vonalas elem-szélesség 50 m.

1. táblázat A FÖMI archívumában fellelhető, a Szigetköz és a Csallóköz területét ábrázoló felvételek. A szürkével jelölt felvételeket nem használtam a hosszú távú kvantitatív elemzésben.

Table 1. Available satellite images of the study area from the archives of FÖMI (Institute of Geodesy, Cartography and Remote Sensing).

Those marked in grey were NOT used in long-term quantitative analysis.

Műhold	Szenzor	Év	Hónap	Nap
Landsat 2	MSS	1981	7	2
Landsat 4	MSS	1983	8	20
Landsat 4	MSS	1984	8	22
Landsat 5	MSS	1985	8	17
Landsat 5	TM	1984	6	11
Landsat 5	TM	1987	8	23
Landsat 5	TM	1990	3	8
Landsat 5	TM	1992	8	4
Landsat 5	TM	1993	8	7
Landsat 5	TM	1994	8	10
Landsat 5	TM	1997	9	3
SPOT 4	HRVIR	1998	7	?
Landsat 5	TM	2000	5	6
Landsat 7	ETM+	2000	5	14
Landsat 5	TM	2000	6	23
Landsat 7	ETM+	2000	7	1
Landsat 7	ETM+	2000	8	2
Landsat 5	TM	2000	8	10
Landsat 7	ETM+	2000	8	18
Landsat 5	TM	2000	8	26
Landsat 5	TM	2000	10	13
Landsat 7	ETM+	2000	10	21
Landsat 5	TM	2001	8	13

2. táblázat A Landsat TM és ETM+ szenzorok spektrális sávjai Muesi (2004) alapján
Table 2. Spectral bands of Landsat TM and ETM+ sensors according to Muesi (2004)

Szenzor Tartomány	1. sáv kék	2. sáv zöld	3. sáv közeli vörös	4. sáv infavörös infravörös	5. sáv középső infravörös	6. sáv hőinfra	7. sáv középső
Hullámhossz (TM, μm)	0,45–0,52	0,52–0,60	0,63–0,69	0,76–0,90	1,55–1,75	10,4–12,5	2,08–2,35
Térbeli felbontás (TM, m)	30	30	30	30	30	120	30
Hullámhossz (ETM+, μm)	0,45–0,515	0,525–0,605	0,63–0,69	0,75–0,9	1,55–1,75	10,4–12,5	2,09–2,35
Térbeli felbontás (ETM+, m)	30	30	30	30	30	60	30

Módszerek

Előfeldolgozás

Az elemzés előkészítéséhez az első lépés a felvételek geometriai korrekciója volt, ami az összehasonlíthatóság alapfeltétele. Egy nagy pontossággal ortokorrigált, 10 méteres felbontású SPOT úrfelvételről, illetve 1:10000 méretarányú digitális topográfiai térképekről azonosítottunk illesztőpontokat, és polinomiális eljárással az összes felvételt EOV (Egységes Országos Vetületi Rendszer) koordináta-rendszerbe transzformáltuk. A transzformáció hibája egyik felvételnél sem volt nagyobb 0.8 pixelnél. Ezután képszegmentációs módszerrel lehatároltam a térben és időben homogénnek tekinthető képjelölteket, és a továbbiakban ezek statisztikáit használtam a vizsgálatokhoz, hogy a minimumra csökkentsem a geometriai maradványhibák hatásait.

A következő lépések részletes leírása előtt fontos leírni, hogy miért volt azokra szükség. Az úrfelvételeken alapuló változás-vizsgálatnak nincs „megszokott” forgatókönyve: sok módszer van használatban, leginkább kvalitatív és kvantitatív csoportra bonthatjuk őket. A kvalitatív módszerek a különböző változás-kategóriák meghatározására használhatók. A kvantitatív módszerek alkalmazásakor az úrfelvételeket fizikai mérésnek kezeljük, és a mérést torzító tényezőket igyekszünk korrigálni. Én ezt az utóbbi megközelítést választottam, hogy minél pontosabb képet alkothassak a Szigetközben végbement változásokról.

A kvantitatív vizsgálatokhoz azonban alapfeltétel a felvételek képpont-értékeinek „közös nevezőre hozása”, mert azok különböző (a vizsgálat szempontjából „zavaró”) hatások miatt nem hasonlíthatók össze közvetlenül egymással.

Itt van mindjárt az a tény, hogy a felvételek különböző műholdak különböző szenzorjaival készültek. Az egyes képpontokhoz tartozó értékek (kódolva) azt a sugárzásmennyiséget (radianciát) jelentik, ami a megfelelő földfelszín-darabról az adott színkép-sávban a műholdhoz érkezett. Ez azt jelenti, hogy – ha tudjuk, hogyan zajlik a kódolás – a folyamat megfordítható, azaz visszakaphatjuk a radiancia-értékeket. Minden egyes szenzorhoz léteznek a kódolást leíró kalibrációs függvények, illetve együtthatók, amelyeket Landsat TM szenzor esetében ezt MARKHAM és BARKER (1986), valamint CHANDER és MARKHAM (2003) publikáltak. Ezek az idő múlásával, a szenzorok „öregeedésével” változhatnak, de erre vonatkozóan is kidolgoztak korrekciókat (TEILLET et al. 2001). Egyszerű lineáris transzformációval kiszámíthatjuk tehát az összes felvétel képpontjainak radiancia-értékeit. Ezzel a szenzorok különbözőségéből adódó eltéréseket kiküszöböltem.

Ezek után további lépésekre volt szükség. Ennek egyik oka, hogy a felvételek más-más időpontban készültek, amikor különböző volt a Nap állása és a szenzorok rálátása a felszínre; ez befolyásolja az érzékelt sugárzás-mennyiségeket. Ezen túlmenően a légkör állapota szintén viszonylag tág határok között változik, ezért a légköri hatások (szóródás, elnyelés, visszaverés) is jelentősek. Végül a felvételek éven belüli készítési dátuma is változik, így az évszakos vegetációs ciklusok is éreztetik a hatásukat.

Ezen hatások kiküszöbölésére a következő lépésben kiszámítottam a légkörön kívüli reflektanciát. Ez egy olyan, (a radianciától eltérően) nem irányfüggő, mértékegység nélküli mérőszám, ami megmutatja, hogy egy tárgy mekkora részét veri vissza az adott hullámhosszon a Naptól beérkező sugárzásnak. A felvételek pontos készítési dátuma és

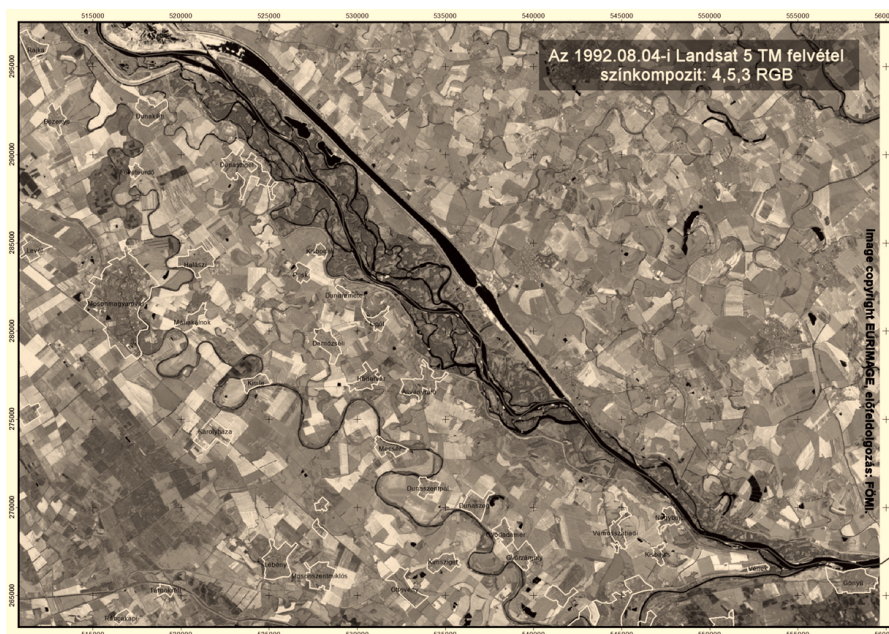
ideje, a műhold pályája és a felvételek középpontjainak koordinátái ismertek, így egy csillagászati programmal minden felvételre kiszámíthatam a Nap állását. A légkör tetején az adott hullámhossz-tartományokon mért átlagos napsugárzás megtalálható az irodalomban, ezt korrigálni kellett még a mindenkorai Föld-Nap-távolsággal. A felszíni objektumok visszaverési tulajdonságait esetünkben csak közelíteni tudjuk, így izotróp (minden irányban egyenletes) visszaverődést feltételeztem. Mindezek alapján már jó közelítéssel elvégezhetők a számítások. Ezzel a lépéssel tehát korrigáltam a Nap és a szenzor különböző helyzetéből és a változó Föld-Nap-távolságokból adódó különbségeket.

A változó légköri körülmények hatásai viszont még mindig befolyásolják a mérési eredményeket, ezért egy utolsó korrekciós lépésre is szükség van. Ha szigorúan fizikai alapon szeretnénk eljárni, akkor ismernünk kellene a felvétel készítésekor uralkodó légköri viszonyokat. Egy másik lehetséges megoldás a „szabványos” légkörmodellek alkalmazása lenne, de mivel minden felvételekre ugyanazokat a paramétereket használnánk, a felvételek közti eltérések nem küszöbölhetők ki teljes mértékben. Létezik azonban más megoldás is: a statisztikai alapú normalizálás. Irodalmi adatok alapján a zavaró hatások lineáris egyenletekkel közelíthetők. Az általam alkalmazott módszer alapjait DU et al. (2002) dolgozták ki, az alpmódszeren olyan változtatásokat vittem végbe, amelyek növelték az objektivitást és automatizálták azt (KRISTÓF 2005, KRISTÓF és DUCROT 2004). Elvi alapja az a feltételezés, hogy a felvételek képpontjainak többsége nem változott két időpont között; ebben az esetben „közös nevezőre hozhatjuk” őket. Az 1992 augusztusi Landsat 5 TM felvételt választottam referenciának, mert ez a Duna (1992 októberi) elterelése előtti utolsó felvétel, láthatóan tiszta, homogén légköri hatásokkal, ráadásul a vizsgált 20 éves periódus közepén készült. Az összes felvételt ennek a felvételnek a referencia-szintjére számítottam át.

Ehhez először ki kellett küszöbölni az egyes felvételeken megfigyelhető felhők, felhőárnyékok és egyéb, nagy mértékben megváltozott képpontok statisztikai torzító hatását. Sávonként összehasonlítottam a felvételeket az 1992-es referencia-felvétellel (ld. 1. ábra), és az átlagosnál jóval nagyobb mértékben megváltozott képpontokat kizártam a további vizsgálatokból, majd statisztikai módszerekkel azonosítottam a két felvételi dátum között szoros összefüggést mutató képpontokat, amelyek a „stabil” felszíni objektumoknak felelnek meg. Ezek statisztikai mutatóit felhasználva már átszámolhattam a felvételek értékeit a referencia-szintre, így azok közvetlenül összehasonlíthatóvá válnak, ami a további vizsgálatokhoz már elegendő. Ellenőrző vizsgálataim bebizonyították, hogy a módszer megbízhatóan használható a több időpontú felvétel-adatbázisok normalizálására.

A változás-vizsgálat előkészítéséhez a vízlépcső hatásainak az egyéb antropogén és természetes hatásoktól való elkülönítésére egy több időpontú szűrést is elvégeztem.

- Közvetlen antropogén hatások, bolygatások: A tapasztalat azt mutatja, hogy a vízelterelés hatása a növényzetre elsősorban a növekedés lassulása, csökkenése, illetve a növények vitalitásának változása. Ezek a folyamatok várhatóan nem okoznak olyan hirtelen, nagymérvű és ugrásszerű spektrális változásokat, mint a közvetlen emberi beavatkozások, bolygatások (pld. az erdőállományok véghasznosítása, gyérítése stb.). A vízelterelés hatásainak elkülönített vizsgálata érdekében fontos kizárni ezeket a hatásokat a változás-vizsgálatból. A közvetlen emberi bolygatások azonosítására vegetációs indexet (NDVI-t) használtam változás-indikátorként, mivel ez igen érzékeny a vegetáció változásaira, és emellett a légköri hatásokra is. Mivel a felvétel-



1. ábra Az elterelés előtti utolsó ūrfelvétel (1992.08.04., Landsat 5 TM, színekombináció: 4,5,3 RGB)

Figure 1. The last pre-diversion satellite image (04.08.1992, Landsat 5 TM, band combination: 4,5,3 RGB)

adatbázis radiometriai korrekciója már megtörtént, abszolút NDVI-küszöbértéket használtam. Vizuálisan azonosítottam számos területet, ahol az egymást követő felvételek között az erdővágás megfigyelhető volt, majd ezeken a helyeken az ūrfelvételeken megmértem az NDVI-változásokat. A méréseim alapján meghatározott NDVI-küszöbérték 0,3. Az ennél nagyobb változást mutató területeket kizártam a további elemzésből. A megmaradt területeken tehát vagy a vegetáció növekedése, helyreállása, vagy lassú degradációja figyelhető meg.

- **Nem korrigált helyi légköri hatások:** Mivel a radiometriai korrekció globálisan, a felvételek egészére működik, és a torzító hatások horizontális homogenitását feltételezi, a nem korrigált helyi légköri hatások (pld. aeroszolok) még befolyásolhatják a változás-vizsgálat eredményeit. Ezek a hatások viszonylag kis változást okoznak a spektrális értékekben, ezért könnyen összetéveszthetők a lassú vegetáció-változásokkal. Ennek elkerülése érdekében a felvételek 1-es sávját (kék tartomány) használtam a több időpontú szűrés elvégzésére, mivel a felvételeknek ez a sávját a legérzékenyebb a légköri hatásokra. A szűrés küszöbértéket a felvétel-sor vizuális vizsgálatával és az értékek elemzésével határoztam meg. Minden olyan területet kizártam a további elemzésből, ahol a kék sávban mért értékek különbsége nagyobb volt 0,05-nél.

Mindezek után a fenti két kizárást (maszkolást) az összes felvételen elvégeztem, így csak azokat a területeket használtam a további elemzésekben, amelyek a teljes vizsgált időszak alatt teljesítették a kritériumokat.

Adatkinyerés

Az elterelés távérzékeléssel megfigyelhető hatásainak kvantitatív leírásához mindenképpen szükséges olyan változók keresése, amelyek a növényzet állapotával összefüggésbe hozhatók. A vonatkozó szakirodalom áttekintése és a várható hatások mérlegelése után a vegetáció hosszú távú változásainak elemzésére a Kauth-Thomas- (vagy Tasseled Cap) transzformáció harmadik változóját, azaz a *nedvesség-értékeket* választottam (KAUTH és THOMAS 1976, CRIST és CIGONE 1984). Ez az indexérték leginkább a közepső infravörös hullámhossz-tartományon alapul, ahol a víz sugárzás-elnyelési maximumai dominálnak, ezért értéke erősen korrelált a víztartalommal. A Szigetközben bekövetkezett változások vizsgálatára különösen alkalmas, hiszen a vegetáció számára rendelkezésre álló vízkészlet megváltozása mindenképpen megjelenik a növényzet víztartalmában. További érv a módszer mellett, hogy kevésbé érzékeny a légköri hatásokra. Bár a felvételek radiometriai korrekciója és normalizálása megtörtént, a helyi légköri inhomogenitások, aeroszol-foltok erősen befolyásolják pld. a vegetációs indexek értékeit. Ezzel szemben a nedvesség-értékek leginkább a közepső infravörös sávokon alapulnak, amelyek nagyobb hullámhosszuk miatt jóval kevésbé érzékenyek a légköri hatásokra. Szakirodalmi forrásaim szerint a nedvesség-értékek a növényzet anizotrópiájára is kevésbé érzékenyek a vegetációs indexeknél. Számos irodalmi forrás javasolja alkalmazását, így például SONG és WOODCOCK (2003) az erdő-változások „legmegbízhatóbb indikátorának” nevezik a Kauth-Thomas nedvesség-értékeket. Fontos megjegyezni azt is, hogy a vegetációs indexekkel ellentétben a légköri hatások *növelik a nedvesség-értékeket*, ezért egy esetleges „láthatatlan” aeroszol-folt biztosan *nem* okoz olyan nedvesség-csökkenést, ami összetéveszthető lenne az elterelés hatásaival. A felvétel-adatbázis előfeldolgozása (radiometriai és geometriai korrekció, normalizálás) biztosítja az egyes időpontok összevethetőségét.

Adatintegráció

Az adatintegráció lépése több okból is kulcsfontosságú az elemzés szempontjából:

- Egyrészt a térinformatikai eszközök segítségével külső adatforrások is felhasználhatók a trendek leírására és elemzésére,
- Másrészt munkám egyik fontos célkitűzése egy olyan integrált térinformatikai adatbázis létrehozása, amely tartalmazza az előfeldolgozott távérzékelte adatokat, így – reményeim szerint – a későbbiekben több különféle tudományterületen is felhasználható a Szigetköz változásainak elemzésére.

A távérzékelte adatok térinformatikai adatbázisba integrálásakor a következők szerint jártam el:

- Minden egymást követő felvételi időpont között (páronként) elvégeztem a fent leírt több időpontú szűrést.
- Egy objektumot csak akkor vettem be az elemzésbe, ha a pixeleinek többsége „érvényes” volt, azaz átment a több időpontú szűrésen.

A képszegmentáció eredményeként előállított poligonos, azaz vektoros formátumú szegmentum-adatbázis a felvétel-adatbázisból kinyert határvonalakon alapul, ezért spektrálisan igen homogén objektumokból áll. Az adatintegráció során így nem volt szükség további szűrésre.

Ha nem spektrális-radiometriai alapon, közvetlenül a felvétel-adatbázisból határozzuk meg az objektumokat, hanem az adatintegráció során más, *a priori* felállított objektum-határokat használunk, további problémák vetődnek fel. A Szigetköz védett területeinek digitális élőhely-térképébe és a digitális erdészeti térkép-adatbázisba történő adatintegráció során ezért a következők szerint jártam el:

- Az élőhely-térkép és az erdészeti térkép poligonjai spektrálisan heterogének, hiszen a térkép tematikája nem spektrális, hanem ökológiai ill. erdészeti-adminisztratív szempontokon alapul. Egy-egy objektum sokféle spektrális értéket tartalmazhat, a csupasz talajtól egészen a sűrű növényzetig stb. Mivel a vizsgálat célja a növényzet változásainak leírása, a más spektrális tulajdonságokkal rendelkező pixeleket ki kell zárni a statisztika-számításokból. Ennek érdekében egy több időpontú osztályozáson alapuló erdőmaszkot használtam; így csak a mindvégig erdős vegetációval jellemzett pixeleket vontam be a statisztika-számításba.
- Az élőhely-térkép esetében további feladatot jelentett a felbontásbeli különbségek feloldása. Mivel légifelvétel-kiértékeléssel készült, az élőhely-térkép térbeli felbontása a Landsat-felvételekhez képest igen nagy. Az adatbázis sok olyan poligont tartalmaz, amelyek pixel alatti, illetve néhány pixel területűek. Ezek kizárására a poligonok területét használtam fel. A terület-küszöböt 1 ha-ban állapítottam meg, az ennél kisebb poligonokat a továbbiakban nem használtam. Az 1 ha-os küszöb kb. 3 3 Landsat-pixelnyi területnek felel meg. Az úrfelvételek terepi felbontását általában a fizikai felbontás felében szokták meghatározni, így ez a küszöbérték mindenképpen elfogadható.

Ezek után minden objektumra, minden időpontra kiszámítottam és attribútumként eltároltam az azt alkotó pixelek nedvesség-értékeinek átlagát és szórását.

Változásvizsgálat

A vegetáció-változások vizsgálatához a (különböző térinformatikai adatbázisokba integrált) nedvesség-értékek idősorát használtam.

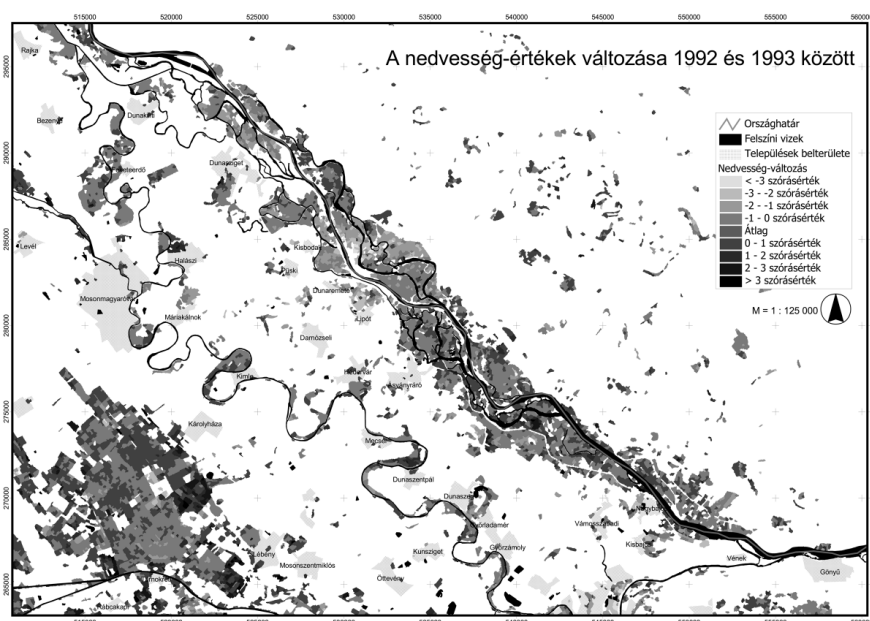
Egyik célom a bekövetkezett változások idejének, helyének és mértékének feltárása volt, ezért az egymást követő felvételi időpontok között a nedvesség-értékek különbségét páronként kiszámítva változás-térképeket hoztam létre. Mindig a későbbi időpont értékeit vontam ki a korábbiából, így a nedvesség-csökkenés negatív, a növekedés pedig pozitív értéként jelent meg. Ebben az esetben a több időpontú szűrést is csak a felvétel-pár között végeztem el. Ez a módszer alkalmas a két időpont közötti változások helyének és mértékének elemzésére.

A távérzékelte adatok és egyéb adatbázisok integrációval részletesebb tematikus elemzésekre is lehetőség nyílt. Ebben az esetben a teljes idősort vizsgáltam, így a több időpontú szűrést az összes időpont között elvégeztem. Ha egy pixel bármely két egymást követő időpont között kiesett a szűrés során, nem vettem be az elemzésbe. A végeredmény egy olyan felvétel-adatbázis, amelyben csak a viszonylag „stabil” pixelek szerepelnek: az időközben közvetlen emberi vagy légköri hatásra megváltozott pixelek kiestek, így hatásuk nem jelenik meg a hosszú távú trendekben.

Eredmények

A felvételi időpontok között bekövetkezett vegetáció-változások területenként

Az előfeldolgozás és a fent leírt több időpontú szűrés után az egyes felvételi időpontok között kiszámítottam a nedvesség-értékek különbségeit minden képszegmentumra, és ezek alapján állítottam elő a változás-térképeket. Erre mutat példát a 2. ábra.



2. ábra Változás-térkép: A nedvesség-értékek változása a Duna elterelése előtti (1992.08.04-i) és az elterelés utáni (1993.08.07-i) felvételek között.

Figure 2. Change map showing wetness differences between the images acquired before (04.08.1992) and after (07.08.1993) the diversion of the Danube River.

Mivel a felvétel-idősor „foghíjas”, és egy-egy vegetációs időszakra csak egyetlen felvétel áll rendelkezésre, a megfigyelt változások alapján a trendek nem azonosíthatók egyértelműen. A vizsgálat megbízhatóságát növeli ugyanakkor, hogy a felvételek legnagyobb része a vegetációs időszakok hasonló periódusában (augusztus folyamán) készült, és hogy az egyes felvételeken belül területi összehasonlításokra is lehetőség nyílik.

A felvételi időpontok között megfigyelhető változások részletes leírását az alábbiakban közlöm.

1984–1987

A Szigetköz és a Csallóköz legnagyobb részén a nedvesség-értékek enyhe (átlag és 1 szórásérték közötti) növekedése figyelhető meg. Egyes kisebb területeken (a Csallóközben pld. Dunajksa síhot környékén, illetve a Szigetközben a Lipóti-tó mocsaras területén) enyhe csökkenés figyelhető meg. A szórványosan előforduló, nagy nedvesség-

csökkenést mutató szegmensek közül elvértve néhány mezőgazdasági terület is előfordul. Többségükben azonban ezek olyan erdőfoltok, amelyeket a 1984 tájékán levágtak, de 1987-re már ismét viszonylag dús növényzet borítja őket, így a küszöbértékes NDVI-szűrésen a felvételek közötti nagy időintervallum miatt átcúsúztak (pld. Kisbodaktól ÉNY-ra, Nyáros-szigeten; Mecsértől ÉNY-ra, a Mosoni-Duna mentén).

1987–1992

A terület nagyobb részén a nedvesség-értékek enyhe növekedése, kisebb részén igen enyhe csökkenése figyelhető meg. Dunakilititől É-ra, a töltés és a Duna között, a tervezett tározó területén megtörtént az erdők kiirtása, de a két időpont között már jelentős újulat fejlődött. A nedvesség-értékek jól mutatják a biomassza csökkenését a területen. Rajka mellett az erdők szárazabbá váltak. A szórványosan megjelenő, igen erős nedvesség-csökkenést mutató szegmensek a két felvételi időpont között eltelt ötéves időtartammal magyarázhatók: az erdőirtások helyén időközben megjelent az újulat (pld. Dunaszentpáltól ÉK-re, Istvánmajor környékén). A délnyugati részekben egyes helyeken a szárazodás jellemző (pld. Dunaszegtől ÉK-re, a Bagoméri-mellékág közelében), de az Alsó-Szigetköz és a Csallóköz délnyugati részein kifejezetten a nedvesség-értékek növekedése dominál (pld. Ásványráró környékén, illetve Nagybjacs mellett a szlovák oldalon). Kisbodakkal szemben a szlovák oldalon az erdők viszonylag enyhe szárazodása jellemző, rögtön emellett Spáleny Les környékén inkább a nedvesedés, néhány erdőirtásos foltal tarkítva.

1992–1993 (ld. 2. ábra)

A Duna 1992. októberi elterelése után készült első felvételen a Szigetköz és a Csallóköz ártéri erdeinek nagy részén szárazodás figyelhető meg. Igen kifejezett ez a folyamat a terület felső és középső részén, míg az Alsó-Szigetközben találunk példát a nedvesség-értékek jelentős növekedésére is (pld. a Bagoméri-mellékág közelében).

Rajka mellett a kőrises-tölgyes Felső-erdő enyhén szárazabbá vált, ez valószínűleg az állományok öregedésével is magyarázható. Dunakilititől É-ra, Rajkától K-re a tervezett tározó területén növekvő újulat vegyes képet mutat: kisebb részekben jelentős szárazodás, más részekben nedvesebb válás figyelhető meg. Dunaszigtől É-ra, „Kormos” területén az idős nyárasok szárazodása jellemző. A „Felső vörösfüzes”, „Kerekes-ceglés” területén az olasznyárasok, a „Jakab-szigetek” területén a fehér füzesek váltak jelentősen szárazabbá. A legnagyobb szárazodás Kisbodak környékén, de még inkább vele szemben, a szlovák oldalon, „Spáleny les” környékén következett be. Kisbodak környékén az ártéren a nyárasok, de még inkább a füzesek jelentős szárazodást mutatnak; kivétel ez alól a Pap-sziget igen fiatal, 1985-ben telepített fehérfűz-állománya, ahol a nedvesség növekedett. A szlovák oldalon „Spáleny les” környékén, attól ÉNY-ra, valamint „Královsky les” területén és attól K-re a szárazodás minden állományban igen jelentős. A Lipóti-tó mocsaras területe szintén jelentős szárazodást mutat. Lipóttal szemben, a szlovák oldalon az ártéri erdők szintén egyöntetűen szárazabbá váltak, de a csökkenés itt kisebb mértékű. Ásványráró környéke, az ásványi ágrendszer vegyes képet mutat: a nedvesség-értékek kismértékű csökkenése és növekedése egyaránt megfigyelhető. Dunaszegtől ÉK-re a mentett oldali erdők hasonló képet mutatnak, bár itt valamivel jellemzőbb a szárazodás. A Mosoni-Duna mentén az erdők nem mutatnak határozott tendenciákat, bár Dunaszentpáltól É-ra az újulat további fejlődése növekvő értékeket okoz.

1993–1994

A Felső-Szigetközben, a Halászi-Dunasziget-Kisbodak háromszögben egy részben áttetsző felhő figyelhető meg az 1994-es felvételen, árnyéka ettől ÉNY-ra, Dunakiliti térségében („Szárász-erdő” és „Csölösztő-sziget” területén) húzódik. Ezeket a területeket a többidőpontú küszöbértékes szűrés sikeresen azonosította és eltávolította. Dunasziget és Halászi közt egy alig látható aeroszol-folt figyelhető meg, ami mezőgazdasági terület felett húzódik, így nem befolyásolja az elemzést; ennek az (alig észrevehető) árnyéka viszont Feketeerdő térségében, a Mosoni-Duna mentén, a Felső-erdő és a Lovári-erdő területén befolyásolja jelentősen a nedvesség-értékeket. Az ezeken a helyeken megfigyelhető növekedés tehát nem utal valós földfelszíni folyamatokra.

Rajka és Dunakiliti térségében, a tervezett tározó helyén a fiatalos erdők további növekedést mutatnak. Dunaszigettől É-ra a nemesnyárasokban, a szlovák oldalon Zofin és Obnoha könyékén, valamint Vajkától D-re az erdők jelentős szárazodása figyelhető meg. Kisbodak és Dunaremete térségében a fiatal fűzesek nedvesség-értékei jelentősen emelkedtek, de az 1969-ben telepített fehérfüzes állomány is növekvő értékeket mutat. A legnagyobb emelkedést a magyar oldalon a Kisbodak környéki erdők, a Csallóközben a Kisbodakkal szembeni területek („Spáleny les”, „Královsky les”) mutatják. Ez a folyamat éppen ellentétes az előző évben megfigyelttel. A vizsgált terület többi részén vegyes kép jellemző, kifejezett tendenciák nem láthatók.

1994–1997

Az 1997-es felvételen Dunakiliti térségében egy felhő, Dunasziget környékén pedig néhány áttetsző felhőfoszlány figyelhető meg, árnyékuk is jól látható tőlük ÉNY-ra. A többidőpontú szűrés ebben az esetben is jól azonosította a felhős és árnyékos területeket, így ezek nem jelennek meg hamis változásokként. Feketeerdő térségében az 1994-es árnyék miatt a mostani nedvesség-csökkenés sem mérvadó, hiszen ez csak az előző felvétel „hamis változásaihoz” képesti változást mutatja. A Kisbajcs, Győr, Győrszentiván és Vének térségében megfigyelhető felhőket sikerült kiszűrni, de egy kisebb területen a felhőárnyékok jelentős hamis változásokat okoznak, így ezen a területen az értékeket nem lehet figyelembe venni.

Általában elmondható, hogy a Szigetköz és a Csallóköz egészén a nedvesség-értékek növekedése dominál. Ez a folyamat Rajka és Dunakiliti térségében és a tervezett tározó erdeiben a legkifejezettebb. Kisbodak környékén, és vele szemben, a szlovák oldalon ebben az időszakban is növekedés figyelhető meg, bár kevésbé kifejezetten, mint 1993 és 1994 között. Ásványráró közelében, az ásványi ágrendszerben is nedvesebbé váltak a fűzesek és a nyárasok is, néhány kivételtől eltekintve. Az Alsó-Szigetköz vegyesebb képet mutat, egyes területeken a negatív tendenciák uralkodnak. Vámosszabaditól ÉNY-ra, a „Nagy-patkó” területén kisebb területeken a nemesnyárasok vágása, majd az újulat megjelenése okoz nem kiszűrt negatív változást, viszont ugyanitt a főleg 1976–1980 között telepített idősebb fűzesek jelentős romlást mutatnak. A Mosoni-Duna mentén az erdők szinte kivétel nélkül emelkedő nedvesség-értékeket mutatnak.

Az 1994 és 1997 között eltelt időben sajnos nem állt rendelkezésre több felvétel, pedig ez egy mozgalmas időszak volt: a szivattyús vízpótlás után 1995 júniusában indult be a gravitációs rendszerű fenékküszöbös vízpótlás, 1997-ben pedig rövid időre árvíz öntötte el a területet, ami jól magyarázza a nedvesség-értékek általános növekedését.

1997 – 2000

A 2000. augusztus 10-i felvételen elszórtan néhány apró felhő és felhőárnyék található, de ezek jól körülhatároltak, és nem érintik a Szigetköz és a Csallóköz területeit.

A terület nagy részén enyhe nedvesség-csökkenés figyelhető meg az 1997-es állapothoz képest. Dunaszigettől É-ra, „Kormos” és „Felső veresfüzes” térségében az erős negatív változások a nemesnyárasok véghasznosításával és az újulat megjelenésével magyarázhatók, hiszen itt is 3 év telt el a két felvételi időpont között. Ugyanitt délebbre, a mentett oldalon található „Galambos” erdő nedvesség-értékei jelentős nedvesség-csökkenést mutatnak. Kisbodak és Dunaremete környékén, valamint a szlovák oldalon „Spáleny les” és „Královsky les” közelében ismét enyhébb negatív tendenciák látszanak. A Lipóti-tó mocsaras területe viszont egyöntetű emelkedést mutat. Az ásványi ágrendszerben ismét igen vegyes a kép. Vámoszabadi mellett a „Nagy-patkó” területén a pozitív tendenciák egyértelműen az 1994-1995 táján telepített erdők növekedésére, záródására utalnak.

2000 – 2001

A területen a tendenciák eléggé kiegyensúlyozott képet nyújtanak. Feketeerdő környékén, a Mosoni-Duna mentén a kőrises-tölgyes erdők és a fenyvesek egyaránt enyhe csökkenést mutatnak. Dunasziget mellett, „Kerekes-ceglés” és „Nagy-ceglés” térségében az 1977–1980 környékén telepített fehér füzesekben és nemesnyárasokban is növekvő nedvesség-értékeket találunk. Jelentős pozitív trendeket figyelhetünk meg Ásványrárótól keletre, a szlovák oldalon, „Istragov” és „Riecina” területén. A vizsgált terület többi része tarka képet mutat, kisebb növekedésekkel és csökkenésekkel.

Következtetések, javaslatok

A Szigetköz és a Csallóköz növényzete állapotváltozásai a kifejlesztett módszerek alkalmazásával, a nedvesség-értékek idősoros elemzésével kvantitatív alapon leírhatók. Míg az *in situ* vizsgálatok pontszerűek, a távérzékelt adatok a teljes területre adnak információt, így jól használhatók a változások helyének és időpontjának meghatározásához. A kidolgozott és alkalmazott előfeldolgozási módszerek segítségével a változások számszerűsíthetők. Vizsgálataim eredményei azt mutatják, hogy az elterelés hatásai leginkább a Kisbodak és a szlovák oldalon Spáleny Les környékén jelentek meg erőteljes nedvesség-csökkenésként, 1992 és 1993 között. E területek egy részén ugyanakkor valamelyes nedvesség-növekedés figyelhető meg, míg más területeken további csökkenés következett be 1994-re. 1997-től egyes területeken ismét növekedés figyelhető meg, míg bizonyos, főleg idősebb fűz-állományok maradandó károsodást mutatnak.

A Szigetköz és a Csallóköz állapotváltozásainak nyomon követéséhez, részletes leírásához és a megfigyelt változások ellenőrzéséhez mindenképpen szükség lenne:

- További adatok bevonására. Hasznos lenne például a kvantitatív erdészeti megfigyelések (fanövekedési vizsgálatok), illetve a faegészségi monitoring-adatok bevonása az elemzésekbe, hiszen így egyes területeken ellenőrizni lehetne a felvételekből kimutatott folyamatokat. A vízhozam-adatok, a talajvíz-mérések, illetve a mindenkori talajvíz-tükör adatainak bevonása pedig lehetőséget nyújtana a megfigyelt válto-

zások, a felszíni vizek és a talajvíz szintváltozásai közötti térbeli és időbeli összefüggések elemzésére.

- Más szakemberek bevonására. Egyetlen ember nyilvánvalóan nem képes a Szigetközben és a Csallóközben végbement változások leírására, a bonyolult összefüggérendszer elemzésére. Munkám során a felvételek alapos előfeldolgozása és az adatok integrációja útján olyan térinformatikai adatbázisokat állítottam elő, amelyeket reményeim szerint minden, a szigetközi és csallóközi változásokat elemző szakember használhat arra, hogy vizsgálatait mind térben, mind időben kiterjessze.
- Az idősből hiányzó Landsat TM felvételek (1985, 1986, 1989–1991, 1995–96, 1998–1999) beszerzésére. A terjesztő archívumában biztosan van augusztusi felvétel ezekre az évekre, hiszen a Landsat-felvételeket folyamatosan archiválják. Egyrészt fontos lenne részletesebben ismerni az elterelés előtti időszak folyamatait, másrészt kulcsfontosságú lenne pld. az 1995-ös és 96-os felvétel a fenékküszöbös vízpótlás hatásainak közvetlenebb vizsgálatára.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm itthoni és franciaországi doktori témavezetőim, Dr. Ángyán József és Dr. Danielle Ducrot értékes segítségét, útmutatását, támogatását és biztatását. Köszönet illeti a Magyar Űrkutatási Irodát (MŰI), amiért két űrkutatási témapályázat keretében 2003-ban és 2004-ben anyagi támogatást biztosítottak a kutatás megvalósításához.

Köszönöm Dr. Csató Évának, a FÖMI-TAAO vezetőjének, hogy segítette munkámat, és hogy együtt dolgozhattunk a MŰI-pályázatok keretében. Köszönöm Dr. Somogyi Zoltánnak (ERTI) a szakmai segítséget a Szigetközzel kapcsolatos munkában. Köszönet illeti továbbá cikkem bírálóját értékes megjegyzéseikért és javaslataikért, amelyekkel nagyban hozzájárultak a végleges változat kialakításához.

Irodalom

- BÖLÖNI J., KUN A., MOLNÁR ZS. (szerk.) 2003: Előhely-ismereti Útmutató 2.0. Kézirat. Magyarország növényzeti örökségének felmérése és összehasonlító értékelése, Adatminőség-ellenőrzési Munkacsoport, Vácrátót.
- BUITEN H. J., CLEVERS J. G. P. W. 1993: Land Observation by Remote Sensing: Theory and Applications. Amsterdam, Overseas Publishers Association (OPA), 642 p.
- CHANDER G., MARKHAM B. 2003: Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-calibration Dynamic Ranges. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 41: 2674–2678.
- COPPIN P., JONCKHEERE I., NACKAERTS K., MUYS B. 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *Int. J. Remote Sensing*, 25(9): 1565–1596.
- CRIST E. P., CICONE R. C. 1984: Application of the Tasseled Cap Concept to Simulated Thematic Mapper Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 50 (3): 343–352.
- DU Y., TEILLET P. M., CIHLAR J. 2002: Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sens. Environ.* 82: 123–134.
- ILLÉS G., SOMOGYI Z. 2005: A Szigetközi ártéri erdők egészségi állapotának ortofotókon alapuló elemzése és értékelése. *Tájékológiai Lapok* 3: 335–360.
- KAUTH R. J., THOMAS G. S. 1976: The Tasseled Cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: *Proceedings of the symposium on machine processing of remotely sensed data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp. 4B41–4B51.
- KRISTÓF D. 2005: Távérzékelési módszerek a környezetgazdálkodásban. Doktori (PhD) disszertáció, Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő.
- KRISTÓF D., DUCROT D. 2004: Integrated method for long-term environmental change detection by remote sensing. In: Owe, M., D'Urso, G. (szerk.): *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology V.*, Volume 5232: SPIE, Bellingham, Washington, pp. 303–311.

- LAMBS L., MULLER E. 2002: Sap flow and water transfer in the Garonne River riparian woodland, France: first results on poplar and willow. *Ann. Forest Sci.*, 59: 301–315.
- MARKHAM B. M., BARKER J. L. 1986: Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exo-atmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes, no. 1, Earth Observation Satellite Co., Lanham, MD, USA.
- SMITH S. E., BUTTNER GY., SZILAGYI F., HORVATH L., AUFMUTH J. 2000: Assessment of the environmental impacts of a river diversion using satellite imagery: the Gabčíkovo barrage system. *Journal of Water Resources and Management* (126)3: 138–145.
- SONG C., WOODCOCK C. E. 2003: Monitoring Forest Succession With Multitemporal Landsat Images: Factors of Uncertainty. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 41 (11): 2557–2567.
- TEILLET P. M., BARKER J. L., MARKHAM B. L., IRISH, R. R., FEDOSEJEVS, G., STOREY, J. C. 2001: Radiometric cross-calibration of the Landsat-7 ETM+ and Landsat-5 TM sensors based on tandem data sets. *Remote Sens. Environ.* 78: 39–54.

REMOTE SENSING-BASED IMPACT ASSESSMENT OF A WATER DIVERSION
ON LOCAL FORESTED ECOSYSTEMS
IN THE REGIONS OF SZIGETKÖZ (HUNGARY) AND CSALLÓKÖZ (SLOVAKIA)

DÁNIEL KRISTÓF

Szent István University, Dept. of Geoinformatics
2103 Gödöllő, Páter K. u. 1. e-mail: kristof.daniel@kti.szie.hu

This study deals with the quantification of the effects of a water diversion on local forested ecosystems in the area of Szigetköz (Hungary) and Csallóköz (Slovakia), where the Danube River was diverted into a reservoir and an artificial canal in 1992 to produce electricity. Numerous satellite images, representing a period of 20 years, are used to carry out quantitative change analysis. From a methodological point of view, this case study is the most important of the three, as the long study period, the large number of images and the objectives of the study require the application and testing of all the aforementioned methods, and the elaboration of new methods, especially for geometric and radiometric corrections and data fusion. Based on RS data processing by applying the above-mentioned methods, it can be stated that an important decrease of the forest wetness values can be observed between 1992 and 1993 in the neighbourhood of Kisbodak and Spáleny Les, likely due to the diversion of the Danube River. Later on, however, most of these areas show regeneration, while other forests are characterised by a further decrease till 1994. Beginning from 1997, a gradual regeneration can be observed, with, however, several ancient willow forests showing irreversible damage.