

**PANNON EGYETEM**  
**ÁLLAT- ÉS AGRÁRKÖRNYEZET-TUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:  
**Dr. Anda Angéla**  
**MTA doktora**

**HIPERSPEKTRÁLIS FELVÉTELEK FELDOLGOZÁSÁNAK ÉS**  
**MEZŐGAZDASÁGI ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA**

c. doktori (PhD) értekezéshez

**TÉZISFÜZET**

Készítette:  
**KOZMA-BOGNÁR VERONIKA**

Témavezető: **Dr. Anda Angéla, egyetemi tanár**  
Konzulens: **Dr. Berke József, főiskolai tanár**

Keszthely  
2012

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Célkitűzések .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Anyag és módszer .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Eredmények és következtetések .....</b>	<b>11</b>
4.1. Zajos sávok meghatározása SFD ujjlenyomatok alapján .....	11
4.2. Földhasználati módok meghatározása SFD ujjlenyomatok alapján...	13
4.3. Optimális sávok kiválasztása SFD ujjlenyomatok alapján.....	15
4.4. Hiperspektrális osztályozó eljárások összehasonlítása.....	17
4.5. Vörös él inflexió pont meghatározása.....	18
<b>5. Új tudományos eredmények .....</b>	<b>20</b>
<b>6. Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények ...</b>	<b>21</b>
<b>7. Felhasznált irodalom .....</b>	<b>24</b>

## 1. Bevezetés

A 21. századra jellemző rohamosan növekvő információ-technológiai fejlesztések a távérzékelés tudományterületére is nagymértékben rányomták bélyegüket. Az utóbbi években a távérzékelési technológiák fejlődése a többsávós és nagyfelbontású légi- és űrfelvételek alkalmazása, valamint az aktív távérzékelési módszereken belül a lézeres felmérési technológiák felé irányult. Ezen korszerű technológiák új távlatokat nyitottak a felszíni objektumokról gyűjthető adatok mennyisége és pontossága szempontjából. Napjainkra a többsávós távérzékelési módszerek közül egyre szélesebb körben alkalmazott a hiperspektrális adatgyűjtés, amely az elmúlt évtizedben a távérzékelés leggyorsabban fejlődő területévé vált. Kiválóan alkalmazzák olyan kutatási területeken, ahol a megfelelő szintű eredmény elérése érdekében nagy spektrális felbontású felvételekre van szükség. A hiperspektrális technológia alkalmazásával – a nagyobb spektrális és térbeli felbontásnak köszönhetően - a hagyományos légi felvételezési technikákhoz (RGB-, multispektrális felvételek) képest megbízhatóbb adatokat kapunk a földfelszín állapotáról, a lezajló folyamatokról, jelenségekről. A gyűjtött adatokat kiegészítve aktív (radar) távérzékelési adatokkal, megfelelő precizitású földi (terepi) információkkal, napjaink egyik leghatékonyabb és legmegbízhatóbb adatforrását kapjuk.

Örvendetes tény, hogy hazánk a hiperspektrális technológiák alkalmazásában világviszonylatban vezető szereppel bír, és elismertek a módszertani fejlesztések is. A jelenlegi gyakorlat azonban azt mutatja, hogy az adatok gyűjtése fejlettebb szinten áll, mint azok feldolgozása, hasznosítása. Annak ellenére, hogy a világban számos hiperspektrális képalkotó berendezés került bevezetésre, az ilyen jellegű többsávós, integrált felvételek feldolgozását támogató programok köre elég korlátozott. Számos térinformatikai szoftver esetében a főbb képfeldolgozási módszerek a már meglévő multispektrális felvételeknél alkalmazott eljárások adaptálásával kerültek kifejlesztésre. A multi- és hiperspektrális technológiából adódó különbözőségekből eredően (pl.: csatornák sávszélességének eltérése) megkérdőjelezhető ezen eljárások pontossága.

Az érzékelők technikai fejlődését a feldolgozási módszerek és az alkalmazások jelentős késése követi, ezért indokolttá vált a meglévő eljárások pontosítása, új eljárások, módszerek kifejlesztése, valamint a gyakorlati alkalmazások (mezőgazdaság, környezetvédelem) lehetőségeinek bővítése.

## 2. Célkitűzések

A kutatásaim során elsősorban a technológiához kapcsolódó már meglévő módszerek vizsgálatát és új módszerek kidolgozását tűztem ki célul, a légi

hiperspektrális felvételek felhasználásával elsősorban mezőgazdasági alkalmazásokra vonatkoztatva.

### Célkitűzéseim:

- Hiperspektrális információk együttes feldolgozása, gyakorlati módszerek pontosítása.
- Spektrális és szerkezeti vizsgálatok digitális képfeldolgozás osztályozási eljárásainak felhasználásával.
- Hiperspektrális érzékelők által szolgáltatott adatok, mezőgazdaságban közvetlenül felhasználható területeinek kutatása.
- A kapott eredmények összehasonlító elemzése multispektrális diagnosztikai módszerekkel.

A fenti célkitűzések megvalósítása érdekében disszertációmban a klasszikus eljárások eredményeinek ismertetése mellett egy teljesen újszerű módszer által szolgáltatott információ adta lehetőségek bemutatására koncentrálok, amely a képi adatok spektrális fraktálszerkezetének vizsgálatára épül. Négy (zajszűrés, adat optimalizálás, osztályozás és vörös él inflexiós pont meghatározás) látszólag különálló területen történő alkalmazással bizonyítani szeretném az eljárás hatékonyságát, és emellett az egyes képi adatfeldolgozási területek kapcsolatát, kultúrnövényeken történő kontrollált vizsgálatok referencia adatainak felhasználásával.

Megítélésem szerint ezen eredmények jelentős előrelépést jelenthetnek a integrált hiperspektrális adatfeldolgozás és az adatszerkezet vizsgálat területén. A doktori értekezés nagymértékben hozzájárulhat a célorientált hiperspektrális adatelemzések megfelelő szintű megválasztásához, valamint új fejlesztési irányvonalak meghatározásához.

### **3. Anyag és módszer**

Kutatásaink helyszíne a Bakony–vidék tájegységen belül a Tátika-csoport tagjai közé tartozó Várvolgy település határában helyezkedik el. A mintaterületen (a legmagasabb pont koordinátája: N: 46°51'20,76"; E:17°18'06,53; H: 247 m") 2007. év folyamán 13 különböző táblaterületet azonosítottunk be. A teszterületen olyan táblák kerültek kijelölésre, amelyek többnyire mezőgazdasági hasznosítás alatt álltak, mivel kutatásaink alapvetően a földhasználati borítottságra épültek. A vizsgálati célterületek közé olyan jól beazonosítható egyéb földfelszíni objektumok is bekerültek (erdősáv, műút, földút), amelyek később referenciaként szolgáltak egyes vizsgálatainkhoz. A terepi adatgyűjtés során meghatároztuk a vizsgálni kívánt osztályok számát, amely összesen 8 osztálykategóriát jelentett, és a vegetáció állapotára vonatkozó adatgyűjtéseket is elvégeztük. A felméréskor a teljes teszterületen

elhelyezkedő természetes és mesterséges képződmények is felmérésre kerültek. Ezek meghatározása után közvetlenül lehatároltuk a konkrét kutatási területet, így végül a vizsgálatainkba bevont objektum típusok közé a következő kategóriák kerültek beállításra: kukorica, tritikálé, búza, napraforgó, műveletlen terület, erdő, műút (aszfalt), földút. A vizsgálatokba véglegesen bevont területek kiválasztásának kritériuma az volt, hogy az elkészült AISA Dual felvételeken összefüggően és teljes táblaterülettel szerepeljenek az egyes táblák. A 2007. évi vizsgálataink során a hazai AISA Dual hiperspektrális szenzorral készült légifelvételeket elemeztünk.

Az AISA Dual hiperspektrális szenzor az Európai Unió legjelentősebb rendszerei közé tartozik a finnországi Specim Spectral Imaging Ltd. által került kifejlesztésre. Az AISA kameracsalád tagjaként egyesíti az AISA Eagle és Hawk szenzorokat. A duális tartóban történő rögzítése révén lehetővé teszi, hogy a látható és a közeli infravörös spektrális tartományokból összehangolt módon gyűjtsön adatokat maximálisan 498 spektrális sávban.

A keszthelyi térségben két időpontban történtek hiperspektrális felvételezések (2007.05.21. és 2007.06.19.). A hiperspektrális távérzékelési folyamat tervezését, és a légifelvételezés megvalósítását a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Mezőgazdasági Gépesítési Intézetének (FVM MGI) és Debreceni Egyetem Agrárcentrumának (DE AC) munkatársai végezték. A felvételezést követően részünkre átadásra kerültek az adatfájlok. A hiperspektrális felvételezéseket egy Piper Aztec típusú légijárművel végezték. A repülőgép a felvételezések során 60 m/s sebesség mellett gyűjtött adatokat, közel 1200 m tengerszint feletti magasságból. A várvölgyi teszterületről eredményül 359 spektrális sávban készült kb. 1 m/pixel térbeli felbontású felvétel, melynek spektrális felbontása 5-6 nm. A mérés során az AISA Dual rendszer által generált adatstruktúra több adatsorból tevődött össze, amelyek külön fájlként kerültek letárolásra:

- |                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Log fájlok (*.log)     | 4. Dark fájl (*drk.dat)      |
| 2. Nyers adatfájl (*.raw) | 5. Kalibrációs fájl (*.cal)  |
| 3. Header fájl (*.hdr)    | 6. Navigációs adatok (*.nav) |

A légifelvételezés lebonyolítása után a megkapott nyers adatsorokon kezdtük el a teljes feldolgozási folyamatot. Mivel a AISA Dual felvételek feldolgozási folyamata - többek között az előfeldolgozás egyes elvégzendő lépései is - kezdeti stádiumban volt, ezért a teljes adatfeldolgozásban fellelhető nehézségeket és problémákat is fel kívántuk tární. Az AISA Dual adatainak előfeldolgozását a CaliGeo 4.6.1. szoftver alkalmazásával valósítottuk meg, amely a Specim Spectral Imaging Ltd. fejlesztése és egy beépülő modulként kerül használatra ENVI környezetben.

## **Előfeldolgozás**

Első lépésként a felvételezés végén kapott dark fájl és kalibrációs fájl felhasználásával a radiometriai korrekció majd a GPS/INS rendszer navigációs adatainak betöltésével geometriai korrekció került elvégzésre. Esetünkben a CaliGeo szoftverrel egyetlen lépésben elvégeztük a radiometriai és geometriai korrekciót, majd kijavítottuk és georeferáltuk az AISA Dual adatkockát. Mivel a felvételek ezt követő vizsgálatához szükséges elemzési funkciókat a CaliGeo nem tartalmazta, ezért a várvölgyi hiperspektrális felvételek elemzését és interpretálását már az ENVI 4.3 illetve ENVI 4.7 programmal valósítottuk meg. Az ENVI egy komplett, fejlett képfeldolgozási és vizualizációs elemzésekre kifejlesztett szoftvercsomag, amely magába foglalja a legfejlettebb, könnyen használható spektrális feldolgozásokat. A hiperspektrális adatok előfeldolgozásának utolsó lépése az atmoszférikus korrekció elvégzése volt. A felvételezés évében az ENVI 4.3 verziója nem tartalmazott atmoszférikus korrekcióra képes modult, így közvetlenül a felvételezéseket követően ezt a funkciót nem futtattuk le. Később az ENVI 4.7 verzióhoz hozott az ENVI 4.7 verziója már beépített modulokkal rendelkezett az atmoszférikus korrekció elvégzésére (FLAASH, QUICK). A FLAASH nem váltotta be a tőle elvárt eredményeket, így a QUICK által korrigált felvételek kerültek be a feldolgozási eredmények közé. A várvölgyi teszterület következő feldolgozási feladata az egyes repülési sávok mozaikolása volt. Mivel ezt a funkciót a CaliGeo már nem tartalmazta, így a korrekció elvégzése után az egyes térbeli sávok összeillesztését az ENVI programmal próbáltuk megvalósítani. A GPS pontatlanság nem tette lehetővé, hogy geokódolás alapján végezzük el a mozaikolást és sajnos a pixel alapú illesztés (30%-os átfedés hiánya miatt) sem hozott megfelelő eredményt. A teljes terület szakadásmentes létrehozását tehát nem sikerült megoldanunk, így néhány betervezett az egész területet érintő képelemzési eljárás nem került elvégzésre. Mivel a szomszédos sávok különböző megvilágítási tulajdonságai és az érzékelők pozíciója miatt intenzitás különbségek figyelhetők meg az egyes repülési sávok között, ezért radiometriai normalizációt szerettünk volna végrehajtani MadMan módszerrel. Ennek igazolását SFD értékek változásaiban kívántuk volna kimutatni, de ez az ENVI program korlátozásai miatt nem volt megoldható.

Az elkészített sávok esetében az időjárási körülményekből adódóan olyan felvételek is rögzítésre kerültek, amelyek felhők által okozott árnyékokat tartalmaztak. Természetesen az alapvető feldolgozások során ezeket a felvételeket kihagytuk és nem használtuk fel a vizsgálatok során. A kutatásaink szempontjából a 2007.05.21-i felvételezésekből az 1. számmal, a 2007.06.19-i alkalomból pedig a 7. számmal jelölt repülési sávot találtuk a legoptimálisabbnak. A feldolgozás céljának megfelelően bizonyos esetekben

(pl. földhasználati kategóriák megállapítása) elvégeztük a terület térbeli csökkentését. Lehatároltuk a kutatási területet illetve a vizsgálatba be nem vont területek maszkolását is elvégeztük, így a vizsgálat szempontjából nem hasznosítható képpontok az elemzésekbe nem kerültek be. A maszkolás után a feldolgozni kívánt felvételek már csak a teszterület általunk vizsgált növényállományait, valamint azok közvetlen környezetét ábrázoló részletét tartalmazták raszteres formában.

A hiperspektrális felvételek megjelenítése akkor lenne teljesen egzakt, amennyiben a spektrális sávok számával azonos dimenziójú hipertérben ábrázolnánk őket. Az emberi szem és ehhez kapcsolódóan a raszteres megjelenítő eszközök egy, kettő, vagy három spektrális csatornát tudnak megjeleníteni. A kutatásaink folyamán készítettünk néhány - hasznosnak ítélt – színekompozítót, de leginkább az ENVI CaliGeo szoftvercsomag által automatikusan betöltésre kerülő színekompozítót alkalmaztunk: R = 250. csatorna, G = 179. csatorna, B = 107. csatorna. Mivel az adataink együttes elemzését a hipertérben és nem RGB színtérben végeztük el, ezért ezeket az információkat a vizsgálataink során kizárólag képi megjelenítésre használtuk fel.

### **Fő feldolgozás**

Az előfeldolgozást követően a növényállományok kvalitatív tulajdonságainak vizsgálata következett. Első lépésként zajcsökkentés céljából a nagyméretű 359 dimenziós tér adat-transzformációját végeztük el a teljes repülési sávokra az ENVI szoftverrel. A rossz jel/zaj arányú csatornák kiválasztásához a minimális zaj (Minimum Noise Fraction = MNF) transzformációt alkalmaztuk. Az MNF olyan lineáris transzformáció, amely két egymást követő főkomponens analízisből (Principal Component Analysis = PCA) tevődik össze. A vizsgált felvételen elválasztja a zajt az adattól, majd a zajjal csökkentett adatsoron végzi el a transzformációt, annak érdekében, hogy az egyes csatornák között ne legyen korreláció (Van der Meer és De Jong, 2001). Az egész adatgyűjtést jellemző légköri elnyelési sávok által okozott zaj esetében az MNF úgynevezett statisztikus zaj szűrésére is alkalmazható. A rossz jel/zaj arányú felvételeken a zaj mértékét oly módon csökkenti, hogy még értelmezhető adatokat nyerhessünk ki belőle. Gyakorlatban a túlnyomórészt zajos sávokat már nem szűrik, hanem kihagyják a feldolgozási folyamatból (Jain, 1989). Annak megállapítására, hogy a rossz jel/zaj arányú felvétel mikor tekinthető a kiértékelés szempontjából teljesen használhatatlannak, és az osztályozás eredményét ez milyen mértékben befolyásolja, SFD értékeket számoltunk. A detektor hibájából adódó zajtípus a vizsgált felvételeken világosabb illetve sötétebb csíkként jelenik meg (Gonzalez és Woods, 1992). Az érzékelő által okozott zaj szűrésére a periodikusan előforduló zajok szűrésére szolgáló Fast

Fourier Transformation-t (FFT) futtattuk le. Az FFT-vel szűrt felvételeket a további adatfeldolgozási folyamatainkba nem építettük be, mivel a kutatásaink kiindulópontját a nyers adatállományok képezték.

A gyakorisági diagramok (hisztogram) elemzéséből következtethetünk arra, hogy a spektrális sávokban az intenzitástartománynak mely értékei fordulnak elő. Amennyiben a felvevő eszköz vagy a légkör sajátosságai miatt a radiometriai felbontás kicsi, az intenzitástartomány egy, kisebb részén sűrűsödnek az értékek, amely sávonként változó lehet. Általában ennek kiküszöbölésére hisztogram széthúzást (histogram stretching) kell alkalmazni (Nixon és Aguado, 2008). A képi információk növelésére az automatikus kontraszt kiegyenlítést (autocontrast) választottuk azért, hogy tanulmányozzuk, mennyire befolyásolja a felvételek információtartalmát a látórendszerhez igazított módosítás, illetve ez megmutatkozik-e az SFD értékekben.

A hiperspektrális felvételek magas információtartalmukkal növelik az osztályozás pontosságának eredményét, viszont negatív hatással is lehetnek rá, azáltal hogy a nagy csatornaszámból adódó variációikkal fokozzák a zaj jelenlétét. A növényállományok elkülönítése céljából optimálisnak tekinthető csatornák kiválasztására úgynevezett csatornaszelekciós eljárásokat használtunk fel. Az atmoszférikus zajjal terhelt csatornák kizárása után, a következő dimenziószám csökkentő adatbányászati műveleteket hajtottuk végre:

- Vizuális interpretáció, tapasztalat alapján
- Atmoszférikus ablak, szakirodalom alapján
- SFD optimális sávok alapján
- SFD zajnélküli sávok alapján
- SFD zajjal terhelt sávok alapján
- MNF szűrést követően kiválasztott optimális sávok alapján
- MNF szűrést követő teljes kép alapján.

Ezek az adatsökkentő eljárások megadták azokat az optimálisnak tekinthető csatornákat, amelyekkel a legjobban leírhatóak a vegetációk jellemzői és osztályozhatóak a mezőgazdasági területek. Az egyes csatornaszelekciós műveletek megbízhatóságának elemzéséhez és egymáshoz viszonyított összehasonlításához, a kapott számú csatornákat ugyanazon osztályozási módszer bemeneti egységeiként használtuk fel. A különböző input adatokat betöltve az ENVI osztályozó moduljai közül a spektrális szögek módszerével (Spectral Angle Mapper = SAM) végeztük el az osztályozást. Ezt követően értékeltük, melyik dimenziószám csökkentő művelet eredménye jellemzi leginkább a vizsgált növénykultúráinkat. A nagy geometriai felbontásból adódóan az osztályozási típusok közül egyéb pixel alapú osztályozási eljárások találati pontosságát is meg kívántuk határozni, ezért a SAM mellett a hiperspektrális felvételek elemzésére leggyakrabban alkalmazott osztályozási



eljárások kerültek összehasonlításra. A kutatásaink során az ENVI programba beépített összesen kilenc különböző tanítóterület-es osztályozási eljárás közül a gyakorlatban általánosan használt öt módszert hasonlítottuk össze (Richards, 1999). A SAM osztályozáson kívül a következő módszereket vizsgáltuk:

1. Legközelebbi középpontú osztályozás (minimum distance classification = MD)
2. Legnagyobb valószínűség (maximum-likelihood classification = ML)
3. Irány érzékeny távolság osztályozás (mahalanobis distance classification = MA)
4. Téglá vagy box osztályozás (parallelepiped classification = PA)

A vizsgálatokat egyforma előfeldolgozottsági szinttel hajtottuk végre, tehát minden osztályozásnál azonos bemenő adatsorral dolgoztunk. Az osztályozási módszerek teljes mértékű összehasonlíthatóságának biztosítása érdekében minden esetben azonos tanítóterületekkel végeztük el az ellenőrzött osztályozást. Nem rendelkezünk referencia spektrumokkal, ezért a felvételről tanítóterületek segítségével vettünk fel spektrumokat. A teszterületen gyűjtött tapasztalataink alapján a sokszög típusú tanítóterület (Region of Interest = ROI) kijelölésével adtuk meg a lehető legnagyobb homogén egységeket.

### **Utófeldolgozás**

A képosztályozó programok különböző algoritmusokat, döntési függvényeket használnak fel az osztályba soroláskor. Mivel a felvételek osztályozási módszereinek megbízhatóságát rendkívül sok változó befolyásolja, ezért a különböző felhasználói igények és adatforrások miatt számos módszer került kidolgozásra az osztályozás pontosságának értékelésére. A Congalton és Green által 1993-ban (Congalton és Green, 1993) meghatározott négy fő eljárás közül (vizuális értékelés, mennyiségi összehasonlítás, térbeli egyezés elemzése, hibamátrix) a képosztályozás eredményeinek ellenőrzésére hibamátrixot (error matrix, confusion matrix) alkalmazhatunk. A hibamátrix a hibaértékelési eljárások során leggyakrabban alkalmazott értékelési lehetőség, amely előnye abban rejlik, hogy az egyes osztályok közötti összefüggésekre is rámutat (Hay, 1988). Az osztályozás megbízhatóságának helyességét a hibamátrix átlós értékei mutatják, mivel az ott feltüntetett pixelértékek kerülnek helyesen osztályozásra. Az osztályozási hibák közül a téves osztályba soroláson (commission) kívül a téves osztályból történő kihagyást (omission) is értékelhetjük: - előállítói (production accuracy) és felhasználói (user accuracy) pontossági mutatókkal. Esetünkben mivel a teszterület minden pontja ismert növénykultúrát tartalmazott és a nem osztályozott pontok száma elenyésző ( $\leq 0,05\%$ ) volt box módszer esetén (a többi módszernél minden pont osztályozásra kerül), egységesen az ún. találati pontosságot alkalmaztuk, amely a helyesen osztályozott és a teljes képpontok számának százalékos aránya.

## **SFD**

A hiperspektrális feldolgozás teljes feldolgozási láncát végigkövetve az egyes munkaszakaszok után kiszámítottuk a spektrális fraktáldimenzió (SFD) értékeket, az SFD Informatika Kft. által fejlesztett mérőprogram segítségével. Annak függvényében, hogy a kiértékelés a feldolgozás mely fázisát érintette, vagy a teljes felvételezési sávon vagy csak a kivágott teszterületeket ábrázoló területeken mértünk SFD értékek. Az előfeldolgozás problémaköréhez tartozó korrekciók változásait a teljes felvételekre számított SFD értékek nyomon követésével biztosítottuk. A osztályozás alkalmával az egyes növényállományokat tartalmazó felvételek kerültek kiértékelésre és csak a kimaszkolt területekre számítottunk SFD értékeket. Minden egyes növénykultúrára a hagyományosnak tekinthető reflektancia görbék mellett elkészítettük a vegetációk SFD ujjlenyomatait is. Az SFD ujjlenyomat a hullámhossz függvényében ábrázolt SFD értékeket ábrázolja (Berke, 2007) A SFD egy, az általános fraktáldimenzióból (Mandelbrot, 1983) származtatott szerkezetvizsgálati eljárás, amely a fraktálok egy újszerű alkalmazását jelenti. Az SFD a térbeli szerkezeten kívül a spektrális sávok színszerkezetének mérésére is alkalmas, és elegendő információt nyújt számunkra a színek, árnyalatok fraktál tulajdonságaira vonatkozóan is.

## **REIP**

A hiperspektrális képalkotás új generációs vegetációs indexei a spektrális reflektancia görbék alakját és relatív helyzetét írják le. A vizsgálataink során a reflektancia görbékhez hasonlóan az SFD spektrumgörbék jellegzetes szakaszait is megvizsgáltuk. A vegetációk elemzése során a spektrális visszaverődési görbe nevezetes pontja a vörös-él inflexiós pont (Red Edge Inflexion Point = REIP), amely kiemelt jelentőségű a fotoszintetikusan aktív vegetációk kvantitatív vizsgálatait során. A vörös él pozíciónak (Red Edge Position = REP, a REIP-hez tartozó hullámhossz) nincs rögzített elhelyezkedése, a legtöbb szakértő a  $690\text{--}720\text{ nm} \pm 50\text{ nm}$ -es vörös-él spektrumszakaszon belül definiálja.

Az AISA Dual hiperspektrális adathalmaz 640 és 770 nm közötti tartományában 27 darab csatornával rendelkezünk, így olyan módszer elvégzését tűztük ki célul, amely a hiperspektrális technológia nyújtotta többletinformációk felhasználásával pontosabb meghatározást tesz lehetővé a REIP esetén. Kutatásaink során az eddig meghatározott eljárásokon felül egy új, SFD spektrumgörbe alapú vörös él számítási eljárást dolgoztunk ki. Az összefüggés meghatározásánál feltételként állítottuk, hogy a reflektancia adatokból kiindulva az SFD felhasználásával egy egyszerű matematikai formula alapján számítható módszert hozunk létre. Elsőként a referencia adatok alapján kiválasztottuk azokat a területeket, amelyek biztosan egészséges

állományt ábrázoltak, majd elkészítettük ezen növénykultúrák SFD görbéit. Az SFD ujjenyomatok vörös él szakaszának vizsgálatával és az általunk létrehozott formulával kiszámítottuk a vörös él inflexió pontot (Kozma-Bognár, 2010; Kozma-Bognár és Berke, 2010). A kapott eredményt a gyakorlatban használt két alapvető irodalmi számítási módszerrel Clevers és munkatársai (Clevers et al., 2002) valamint Mutanga és Skidmore (Mutanga és Skidmore, 2004) is összehasonlítottuk.

#### **4. Eredmények és következtetések**

##### ***4.1. Zajos sávok meghatározása SFD ujjenyomatok alapján***

A zajos sávok meghatározásánál a teljes repülési sávokat vettük figyelembe. Az AISA Dual felvételeken vizuális interpretáció alapján három zajtípust különítettünk el egymástól: érzékelő okozta zaj, légköri zaj, geometriai zaj.

Az érzékelő okozta zaj a vizsgált felvételeken sötét illetve világos csíkként jelent meg. Mindkét felvételezés egy-egy repülési sávjának vizuális tapasztalati úton történő vizsgálatával a következő csatornákat találtuk érzékelő okozta zajjal terheltnek: 124, 142, 146-148, 150, 153, 168, 171, 174-175, 183, 191-198, 201, 206, 249, 251, 253, 255-282, 284, 287, 291, 299-300, 313, 341-359. A sávok elsődleges vizsgálata során kiderült, hogy az Eagle szenzor esetében szinte teljesen homogén, zajmentes csatornákat láthatunk, viszont a Hawk szenzor felvételeinél megtalálhatóak voltak az érzékelő hibájából adódó zajok. Az érzékelő zaját egyes szakirodalmak a repülőgép okozta vibrációval magyarázták. Kutatási eredményeink jelenleg azt támasztják alá, hogy ez a fajta zaj nem ilyen eredetű, mivel esetünkben csak az egyik érzékelő (Hawk) felvételein volt észlelhető. Erre a zajtípusra jellemző csíkozottság periodikus módon jelentkezett, így szűrésére Fast Fourier transzformációt alkalmaztunk a felvételeken. Az érzékelőre jellemző zaj képen történő geometriai elhelyezkedésének változása nem minden esetben érintette a vizsgált tábláinkat.

Az érzékelő zajától eltérően az atmoszférikus zaj az egész felvételen megjelenik. A vizuális interpretáció alapján összesen 77 atmoszférikus zajjal terhelt csatornát határoztunk meg: 1-8, 116-126, 184-198, 256-265, 268-273, 275-281, 341-359. Szakirodalmi adatok alapján (Sabins, 1987) kiválasztottuk azokat a csatornákat is, amelyekben a légköri hatások befolyása erőteljesen jellemző, így korlátozzák a megfelelő felvételek készítését. Ezek a következő sávok voltak: 176-207, 256-287. Találtunk olyan atmoszférikus zajjal terhelt csatornákat is, amelyek spektrális ablakokon belül helyezkedtek el 1-8, 116-126, 341-359. Az egyes zajok mérhető hatásának megítélésére olyan vizsgálatokat terveztünk, melyek elsősorban nem a klasszikus intenzitásértékek

statisztikai (hisztogram elemzés, variancia alapú vizsgálatok) vizsgálatára épültek, hanem a tényleges színszerkezet vizsgálatára. A fenti indokok alapján, SFD alapú görbéket állítottunk elő, hogy megvizsgáljuk az egyes korrekciók elvégzését követően, mennyire van hatással adott korrekció a felvétel színszerkezetére. A radiometriai és geometriai korrekciók elvégzése után kapott SFD ujjlenyomatok szinte teljesen megegyeznek a módosítás előtti nyers felvételek értékeivel. Az atmoszférikus korrekció elvégzése után viszont már észrevehető változás következett be a felvételek színszerkezetében. Az atmoszférikus zajjal terhelt ablakokban lévő sávok SFD értékei megnöttek, újabb csúcsok jelentek meg a 256-287. sávokban, változtak a görbe egyes pontjainak meredekségei, lokális minimum és maximum pontjai, amely egyértelműen a QUICK eljárásnak tudható be. Több esetben is 264., 272-277. közötti sávok esetén a szűrés utáni képeken minden információ elveszett (a képek teljesen sötétek, SFD értékük nulla) úgy, hogy a zajsűrés előtti képek nem teljesen sötétek, SFD értékük 0,04-0,05 között változott, valamint vizuálisan szemlélve is felismerhetők a felszíni objektumok. Megítélésünk szerint a QUICK eljárás hatása spektrális tartományonként változó megbízhatóságú eredményt ad, ezért használatát - számos szakirodalmi hivatkozással egyetértve - erősen korlátozott feltételek mellett javasoljuk csak.

Kutatásaink kiterjedtek arra is, hogy a zajos sávok milyen információ tartalommal rendelkeznek. Az SFD görbék alapján kiválasztottuk a zajos csatornákat azért, hogy megállapítsuk melyek bírnak olyan rossz jel/zaj aránnyal, hogy a vizsgálati körünkből kivegyük őket. A zajjal terhelt sávok esetében a képi információ rendkívül alacsony, így a zajos sávok eldöntésére az SFD értékeket is figyelembe vettük. Azoknál a sávoknál, ahol a képi információ és az SFD is alacsony értékeket mutatott, azt a zajos sávok közé soroltuk és kihagytuk a további elemzésekből. Amennyiben az alacsony képi információ magas SFD értékkel párosult, azt feltételeztük, hogy releváns adatokat tartalmaz, így azok a sávok bevonásra kerültek a vizsgálatainkba. Megállapítottuk, hogy a teljes képen jelentkező zaj hatására a színszerkezet jelentősen romlik, azaz az SFD értékek ugrásszerűen csökkennek, esetleg oszcillálnak. Az SFD görbe vonalába beleillő, az aktuális görbületet mutató hullámhosszoknál lévő csatornák nem terhelték zajjal, viszont a görbe lefutásában és meredekségében bekövetkezett hirtelen változások a zaj jelenlétére utaltak. A fent említett kritériumok alapján 59 csatornát emeltünk ki a következő tartományokban: 1-5, 123-126, 146-152, 184-198, 256-281, 358-359. A teljes hiperspektrális kép SFD értékeit reprezentáló görbék jellegének elemzésével egyértelművé vált, hogy SFD számítások alapján közvetlenül következtetni lehet a zajos sávokra.

#### **4.2. Földhasználati módok meghatározása SFD ujjlenyomatok alapján**

A 2007. évi AISA Dual felvételeken a referencia adatokat figyelembe véve 9 táblát tanulmányoztunk, amelyek esetében 5 különböző vegetáció típust tudunk elkülöníteni: kukorica, tritikálé, búza, napraforgó, műveletlen terület. Vizsgálataink alá vontunk egyéb objektumokat is, mint a műutat és az út mellett húzódó főként akácfával borított erdősávot. Az összes elemezni kívánt objektumra sávonként kiszámítottuk az SFD értékeket. A SFD szerkezeti paraméter sávonkénti mérésével elkészítettük a hullámhossz alapú spektrális, 16 bites görbék, „ujjlenyomatokat” (Kozma-Bognár et al., 2008) kukoricára, tritikáléra, búzára, napraforgóra, műveletlen területre, erdőre és műútra. A mért adatok alapján észrevehetően elkülöníthetők az egyes objektumok, megállapíthatók a további vizsgálatokhoz leginkább alkalmas spektrális sávok, tartományok.

Az AISA Dual felvételek 10-14 bit hasznos információt tartalmaznak (saját mérések). Számos esetben talákoztunk olyan elemzésekkel, ahol ezen tényt a szakemberek nem vették figyelembe és 8 bites bemenő adatként értékelték ki a képeket. Ismert tény, hogy számos képformátum csak 8 bites adatot tud kezelni illetve számos rutin, függvény csak 8 bites adaton hajt végre pontos számításokat. A kutatók, szakemberek téves következtetésre juthatnak, amennyiben 8 bitnél nagyobb adatmélységű információkat a megszokott 8 bites eljárásokkal dolgoznak fel.

Azzal a határozott céllal, hogy feltárjuk a fenti hiányosságokból eredő esetleges problémákat, pontatlanságokat, a teljes képre vonatkozóan elkészítettük a felvételek 8 és 16 bites változatainak SFD ujjlenyomatait is. Az eltérő színmélységű (8 és 16 bit) felvételek SFD értékeiben jelentős eltérések tapasztalhatók. Amennyiben a feldolgozó programok csak 8 bites adatokat kezelnek, a bemenő és ezáltal a kimenő információk is jelentősen eltérhetnek a valós értékektől. Az eredeti, magasabb színmélységű (10-14 bit) felvételek kínálta többletinformációk elvesznek, sőt néhány esetben az adatok torzítottak. A 8 és 16 bit alapú SFD görbék lefutását figyelve, észrevehető bizonyos csatornák esetében, hogy az alacsonyabb színmélységű felvételek SFD értékeiben nagyobb kiugrások jelentkeztek, mint a magasabb színmélységű esetben. A teljes képet tekintve mindez zajos csatornákra utalhat (151-161 közötti sávok), pedig a valóságban a képek zaj szempontjából megfelelőek. Így nemcsak információ veszteség léphet fel a 8 bit alapú képek elemzésekor, hanem téves következtetésekre is sor kerülhet, hiszen ezáltal olyan sávok is zajjal terheltek közé lesznek sorolva, amelyek jel/zaj aránya az eredeti felvételeket tekintve megfelelőek. Mindez téves következtetésekre vezethet minden olyan elemzéskor, amelyek a görbén belüli korrelációt, varianciát is nézik. Ilyen számos képosztályozó eljárás, első vagy másodrendű index is. A

fentiek alapján fontos feldolgozási szempontként emeljük ki, hogy hiperspektrális távérzékelés során szerzett képi információk feldolgozása az eredeti adatmélységnek megfelelően történjen (Kozma-Bognár et al., 2008; Kozma-Bognár, 2010).

Ismert tény, hogy nagy színmélységű képeket a vizuális interpretációhoz, elektronikus megjelenítőkön nehéz hűen megjeleníteni. A probléma megoldására a képfeldolgozó rendszerek saját fejlesztésű, egyedi és védett, ezáltal nem publikált automatikus eljárásokat alkalmaznak (auto tone, auto contrast, auto color). Ezek közül talán az egyik legismertebb és leggyakrabban használt eljárás az automatikus kontraszt kiegyenlítés (ac). Megvizsgáltuk, hogy az információk feldolgozására milyen hatással lehet az ac, vagyis az automatikus kontraszt kiegyenlítés. Az ac jelentősen megnöveli a színszerkezet változatosságát, az első 26 sáv együttes használatakor az SFD érték 1,98-ról 3,14-re változik (a különbség 1,16). Ezen különbség RGB kompozit képeken ahol csak három sáv kerülhet megjelenítésre (ilyen az összes vizuális interpretációra alkalmas színes, elektronikus megjelenítő) alig mutatkozik (az első három sáv esetén a különbség  $D_3 = 1,89 - 1,29 = 0,6$ ). Mivel az SFD érték logaritmikus skálán mér, ezért a tényleges különbség  $10^{1,16 \cdot 0,6} = 3,63$  azaz több mint 3,5-szeres már az első 26 sáv együttes feldolgozása után is. A teljes 359 sávra történő különbség a görbe alapján becsülhető: az utolsó 10 sáv esetén az SFD értékek különbsége már nem változik jelentősen, azaz közel 4-szeres érték várható 359 sávra. Elfogadható időn belüli számítása megítélésünk szerint jelenleg szuperszámítógép kapacitását igényelné. Vagyis a megjelenítőkön tapasztalható ac hatás jelentősen elmarad az adatokon ténylegesen bekövetkező változásokon, ami az automatikus kontraszt kiegyenlítéssel javított képeken nagymértékű változásokat eredményezhet, így az információk is módosulhatnak bármilyen további feldolgozás során.

Elemzéseink kitértek az egyes sávok külön-külön történő elemzéseire is. Egyértelműen megállapítható, hogy az ac a valós adatok számos pontján a SFD görbe jellegzetességeit eltünteti, azokat összemosza, kiegyenlíti, vagyis a korábban is jelzett abszolút értékekre, varianciákra épülő elemzéseket meghamisíthatja. Mindezek ismét megbízhatatlanná tehetik a végső következtetéseket, interpretációkat, amelyek vizuális és mért adatokra is épülnek. Javasoljuk, hogy a vizuális interpretációkra épülő feldolgozások megbízhatóságának eldöntésére a bemenő adatokon történjen SFD alapú szerkezetvizsgálat, amely kiterjed a teljes spektrális tartomány sávonkénti, valamint együttes vizsgálatára is.

### **4.3. Optimális sávok kiválasztása SFD ujjlenyomatok alapján**

A hiperspektrális képalkotó rendszerek felvételei a zaj mellett, erősen redundánsak. Esetünkben a 359 sáv bizonyos sávjai között szoros összefüggés volt tapasztalható, amely kiszűrésére a szakirodalom különböző adatsökkentő eljárásokat ajánl, mint pl. a főkomponens analízis, az egyes csatornák közötti korreláció. Ezek közül számos eljárás tényleges képi adatsökkentést nem tartalmaz, csupán tájékoztat arról, hogy adott valószínűség mellett a tényleges adattartalom hány darab független sávval (komponenssel) írható le (PCA alapú módszerek). Azonban, hogy melyek ezek a sávok, arra már nem adnak információt vagy a kapott információ erősen a bemenő adat függvénye (pl. függenek a zajos sávok arányától, azok súlyától). Végül is egy „ördögi körnek” tekinthető, hiszen akkor tudok hatékony előfeldolgozást végezni, ha már végeztem zajos sávok eltávolítását megelőző adatszelekciót, amelyet erősen befolyásol a zajos sávok ismerete, amelyet adatszelekció során kívánunk majd meghatározni.

A problémakör megoldására megítélésünk szerint, olyan adatfeldolgozó módszert, eljárást célszerű alkalmazni, amely nem vagy kevésbé érzékeny a bemenő adatokra. Ilyen eljárás az SFD alapú szerkezetvizsgálat, amelynek megfelelő alkalmazásával a zajra vonatkozóan eredményeket értünk el és jelen problémakörre is megoldási javaslattal tudunk szolgálni. A növénykultúránként és sávonként mért SFD értékeket csökkenő számsorrendbe rendeztük a csatornaszámok függvényében. Öt növénykultúra esetén mindez öt rendezett oszlopot jelent, ahol a sorrendbe egymás mellett lévő értékek különbségeit képeztük, majd ezen különbségi értékeket összeadtuk és elneveztük „rendezett minták SFD különbségeinek az összegének”. Majd megkerestük az így kapott görbén a lokális maximum értékhez tartozó csatornaszámokat, amelyek az optimális csatornákat képezik az adott felvételen, adott növénykultúrák esetén. A 2007.06.19-i görbén 21 lokális maximumhelyet találtunk a fentiek szerint öt növénykultúra esetén (kukorica, búza, tritikálé, napraforgó, műveletlen terület), melyek az alábbiak: 2, 26, 49, 55, 62, 78, 83, 90, 98, 114, 122, 138, 166, 201, 215, 272, 285, 293, 301, 327, 350. A módszer automatizálható, ismert bemenő adatként csupán a növénykultúrák ROI adataira van szükségünk. A hiperspektrális felvételek egymás mellett elhelyezkedő csatornái általában közel azonos információkat hordoznak vagyis korrelálnak, ezért a kapott lokális maximumhelyeknél feltételként állítottuk, hogy azokat nem vesszük figyelembe, amelyek legalább két sávköz távolságán belüliek. Megítélésünk szerint ezen csatornák alkalmazása a legcélszerűbb a kiértékelés további szakaszaiban (pl. osztályozás). További alternatív szempontként a 359 csatorna közül kiválasztottunk hatot, melyet elneveztünk minimális optimális csatornáknak. A

SFD ujjlenyomatok alapján a következő hat csatornát ítéltük optimálisnak a legtávolabbi sávok közötti lokális maximumok alapján:

- 2007.05.21-i felvételeken: 33, 72, 122, 179, 255, 321.
- 2007.06.19-i felvételeken: 65, 71, 128, 167, 243, 288.

Kiszámítottuk a szórásösszegeket is azzal a céllal, hogy több egymás mellett lévő csatorna értékeinek egyezősége esetén a legkisebb szóráshoz tartozó csatornát válasszuk ki. Így a módszer teljesen automatizálhatóvá válik.

A fentiek alapján optimálisnak ítélt csatornák információtartalmának megbizonyosodása céljából az így kapott sávokat bemenő adatként használtuk fel a spektrális szögek módszerével történő osztályozás elvégzéséhez. Emellett más adatszám csökkentő eljárások alapján meghatározott csatornákat is mértünk és összehasonlító elemzéseket végeztünk találati pontosság alapján. Az optimális csatorna kiválasztási eljárások összehasonlításához a különböző módszerek során inputként előálló adatokon elvégeztük a felszínkategóriák beazonosítását. Ezt követően értékeltük, hogy melyik dimenziószám csökkentő művelet eredménye jellemzi leginkább a vizsgált növénykultúráinkat. Az osztályozott képek eredményei alapján hibamatrixot készítettünk és kiszámítottuk a találati pontosságokat az egyes növénykultúrákra vonatkozóan, valamint az öt növénykultúra átlagára, azaz hét módszerrel előkészített bemenő adatsorra.

Minden osztály esetében két-két mintaterületet jelöltünk ki úgy, hogy ezeket közel homogén részekről választottuk, ezzel is segítve a hagyományos módszerek pontosságának növelését. A kapott eredmények alapján egyértelműen megállapítható, hogy az SFD értékekre épülő módszerekkel kiválasztott optimális sávok növénykultúrákra összesített találati pontossága a legmagasabb. Megjegyezzük, hogy a gyakorlatban leginkább elfogadott és alkalmazott zajsűrési módszer (MNF) elvégzése utáni bemenő teljes képen a találati pontosság azonos volt a szűrés nélküli kép találati pontosságával. Mindez azzal magyarázható, hogy az MNF zajsűrő hatása az AISA Dual érzékelőnél az általunk vizsgált képen egy-egy sáv esetén vizuálisan látható volt, ugyanakkor a találati pontosság szempontjából invariáns lett. Az eredmények hibamatrix alapján kerültek kiszámításra, melyet az osztályozó program számít valószínűségi értékek alapján. Mindez adott (esetünkben ez közel 90%) valószínűséggel mutatja a várható eredményeket, de nem teljes bizonyossággal. A lényegesen nagyobb valószínűség érdekében olyan osztályozási módszert választottunk, amely már ezen valószínűségi adatoktól független. Itt már külön nem is jelezzük az MNF alapú méréseket, mivel értékei azonosak voltak a 359 sávra végzett mérésekkel.



#### **4.4. Hiperspektrális osztályozó eljárások összehasonlítása**

Hiperspektrális felvételeken alkalmazható osztályozó eljárások vizsgálata során a spektrális fraktálszerkezet alapján történő zajos, minimális optimális, maximális optimális sávok kiválasztásának eredményessége került ellenőrzésre az egyes osztályozási módszerek találati pontosságának meghatározásával, valamint annak diszkussziójával.

Öt tanító alapú osztályozási módszert vizsgáltunk, melyek kiválasztásánál az alapvető cél olyan módszerek vizsgálata volt, amelyek elsősorban multispektrális képek vizsgálatához kerültek kifejlesztésre, ugyanakkor egyedi hiperspektrális adatok osztályozására kifejlesztett módszerekkel történő összehasonlításra is lehetőséget adtak. További szempont volt az is, hogy a leggyakrabban használt hiperspektrális adatfeldolgozó szoftverek módszerei is kerüljenek tanulmányozásra, hiszen a felhasználók, szakemberek elsősorban ezek alkalmazásával találkozhatnak. A fenti szempontok alapján az alábbi öt metrikára épülő osztályozási módszer került kiválasztásra: Parallelepiped (PA), Minimum distance (MD), Mahalanobis (MA), Maximum likelihood (ML), Spectral Angle Mapper (SAM). Az osztályozás bemenő paramétereinek felvétele során, kilenc tábláról vettünk táblánként egy-egy független mintát (ROI-t), melyeket az osztályozás elvégzésekor is független paraméternek tekintettünk. A valóságban a kilenc minta öt osztályt alkotott, mivel négy esetben (1. és 3. tábla kukorica, 2. és 5. tábla tritikálé, 4. és 6. tábla búza, 7. tábla műveletlen terület, 8. és 10. tábla napraforgó) két-két tábla is ugyanazt a növénykultúrát tartalmazta. További három mintát is felvettünk (erdő, aszfaltos műút, földút), melyek ugyan nem képezték vizsgálatunk tárgyát, de a korábbi kilenc minta területei között megtalálhatók voltak. SFD spektrumgörbék alapján 6 minimális és 21 maximális optimális csatorna került meghatározásra. A találati pontosságok az eredményképeken történt mérés alapján kerültek számításra. Az egyes ROI-kon belül, a ROI intenzitás értéke alapján meghatároztuk a helyesen osztályozott pixelek számát, melyet az adott ROI teljes képpontjainak számával elosztva, majd százzal szorozva megkaptuk százalékban a találati pontosságot.

A eredmények elemzése során egyértelműen megállapítható, hogy az általunk javasolt SFD ujjlenyomatok egyes görbéi alapján meghatározott zaj nélküli, minimális és maximális optimális csatornák alapján történő osztályozás bármely metrika választása esetén kukorica, búza, műveletlen terület és napraforgó növénykultúrákra nagyobb találati pontosságot eredményezett, mint a teljes, 359 sáv alapján osztályozott kép. Tritikálé osztályozásánál négy metrika (MA, ML, SAM és MD) esetén kaptunk hasonló eredményt. Egyetlen metrika (PA) esetében tapasztaltunk csak a teljes 359 sáv alapú osztályozásra legnagyobb találati pontosságot, ekkor egyben a teljes osztályozási eredmények legkisebb találati pontosságát is mértük (21,20 % és 32,00 %).

Összességében is a PA adta a legkisebb találati pontosságot (69,91 %) az öt osztályozási eljárás közül, ami egyértelműen magyarázható azzal, hogy a PA nem speciálisan hiperspektrális képek osztályozására került kifejlesztésre. A osztályozások közül egyértelműen az ML teljesített a legjobban (97,61 %), ami egyezik a legtöbb multispektrális képek során kapott irodalmi adatokkal (Chang, 2007; Schowengerdt, 2007), bár hiperspektrális képek esetén a jelentős zaj miatt mindez nem volt egyértelműen várható. Érdekes, hogy a legnagyobb egyedi összesített találati pontosságot a Mahalanobis osztályozás zaj nélküli képe esetén kaptuk (98,61 %). A dolgozat szempontjából további lényeges megállapítás az osztályozások találati pontosságát illetően az, hogy SFD alapján zajosnak minősített sávok eltávolítása után 300 csatorna osztályozása során több mint 2 %-al nagyobb (2,16 %) találati pontosságot mértünk, mint az összes csatorna használata során. Az eredmény kiemelkedő abból a szempontból is, hogy magas találati pontosság esetén kaptuk ezen jelentős pontosság növekedést, ami ismerve a szakirodalmi adatokat jelentős javulásnak nevezhető. A 21 sáv alapú osztályozás ugyanazt az (minimálisan jobb) eredményt adta mint a teljes 359 sáv, ami esetünkben azért jelentős, mivel 21 sáv alapján történő osztályozás lényegesen kisebb futási idővel jár, mint a 359 sáv alapú osztályozás. A hat sáv alapú osztályozás találati pontossága pedig alig maradt el (1,79 %-al) a teljes 359 sáv pontosságától, ami ismerve a futási idők közel két nagyságrendbeli eltérését, nagy számításigényű felvételek osztályozása esetén kiváló eredmény.

#### ***4.5. Vörös él inflexió pont meghatározása***

Vörös-él inflexió pontjának tapasztalati úton történő meghatározásához összehasonlító elemzéseket végeztünk. Az elemzésekhez felhasználtuk Clevers és munkatársai (Clevers et al., 2002) valamint Mutanga és Skidmore (Mutanga és Skidmore, 2004) által javasolt összefüggéseket, ezek SFD és reflektancia alapú számítási egyenleteit. A számítások során bemenő adatként a korábbi esetekben is alkalmazott, geometriailag és radiometriailag korrigált AISA Dual felvételek reflektancia értékeit használtuk. A REIP értékektől elvárható, hogy adott időpontban készített felvétel esetén a különböző mintaterületről, egészséges növénykultúrák esetén a reflektancia adatok alapján számított értékek ugyanazon pontot határozzák meg, azaz a számított REIP értékek szórása lehetőleg minimális legyen. A szakirodalomban használt és vizsgálatainkba bevont összefüggések ezen feltételt kevésbé, vagy egyáltalán nem teljesítik. Megpróbáltunk a fenti feltételnek megfelelő, SFD értékekre épülő tapasztalati összefüggést létrehozni. Így összesen hét különböző számítási módszer alapján meghatározott REIP érték áll rendelkezésünkre az összehasonlítóhoz. AISA Dual felvételeken történő növényi vegetációt érintő

méréseink során, két olyan a szakirodalomban leginkább elterjedt spektrális tartományt is külön-külön megvizsgáltunk (640-770 nm valamint a 690-720 nm közötti tartományok), ahol az SFD alapú ujjlenyomatokon történő lokális minimum keresésével közvetlenül is megállapítható a vörös-él inflexiós pont (Kozma-Bognár és Berke, 2010).

Vizsgálataink alátámasztották azon megállapítást, hogy a spektrális tartomány szűkítése jelentősen csökkenti a REIP értékek bizonytalanságát, amennyiben megfelelően magas a felvétel spektrális felbontása, azaz a lehető legtöbb felvétel áll rendelkezésünkre. A jelenleg forgalomban lévő légi hiperspektrális felvételező eszközök közül az AISA Dual érzékelő ezen szempont alapján az egyik legjobb választásnak tekinthető.

Elkülönítettük a kultúrnövényeket az erdőtől (facsoport) és külön-külön elvégeztük a szórások számítását. A szerkezetvizsgálat alapú módszerek közül az SFD lok. min. 640-770 nm, az SFD lok. min. 690-720 nm, az SFD-Mutanga-Skidmore és az SFD-Clevers REIP értékek szórása általában nagyobb, mint az irodalmi Mutanga-Skidmore és a Clevers alap összefüggések alapján számított értékek akkor, ha az erdő REIP értékeivel is számolunk. Amennyiben az erdőt nem tekintjük, a legstabilabb értékeket az SFD lok. min. 690-720 nm produkálta. Az összes növény REIP adatait megvizsgálva (nem csak a kultúrnövényeket) az általunk tapasztalati mérések alapján javasolt összefüggés (1) adta a legstabilabb értéket úgy, hogy az egyébként is alacsony szórása tovább csökken, míg a legtöbb egyéb módszer (Clevers kivételével) esetén a szórás nőtt.

Javasoljuk, hogy AISA Dual, vagy AISA Eagle légifelvételek alapján számított SFD hiperspektrális spektrumgörbéken a 690-720 nm közötti spektrális tartomány szélső pontjaiban vett SFD értékek számtani átlaga alapján, az alábbi összefüggés (Kozma-Bognár és Berke, 2010) segítségével történjen a vörös-él inflexiós pont meghatározása:

$$\lambda_{re} = 690 + 30x\{(SFD_{690}+SFD_{720})/2\} \quad (1)$$

A javasolt összefüggés megbízhatóbb REIP meghatározást tesz lehetővé. Megtakarítható a korábbi mérésekhez szükséges radiometriai, geometriai előfeldolgozás és a zajszűrés (amelyek a korábbi feldolgozások jelentős részét kitöltötték) egy része is, mivel az SFD alapú ujjlenyomatok és a javasolt összefüggés ezekre kevésbé érzékenyek. Segítségével költségtakarékosabb és hatékonyabb feldolgozási eljáráshoz juthatunk.

## 5. Új tudományos eredmények

### 1. tézis

Teljes hiperspektrális kép spektrális fraktáldimenziójának számításával, majd a kapott értékek sávorszám vagy hullámhossz függvényében történő ábrázolásával létrehozott SFD görbék (ujjlenyomatok) jellegének (görbületben, meredekségben bekövetkező hirtelen változások, oszcillációk) elemzésével a sávkorlátos zajos sávok megkereshetők.

### 2. tézis

Vizuális interpretáció során gyakran alkalmazott, a vizuális megjelenítést segítő előfeldolgozások megbízhatóságának eldöntésére javaslom, hogy a bemenő adatokon történjen az eredeti adatok sávonkénti színmélységét elérő vagy meghaladó, SFD alapú szerkezetvizsgálat, amely kiterjed a teljes spektrális tartomány sávonkénti és a hiperspektrális adatkocka együttes elemzésére.

### 3. tézis

Hiperspektrális képi adatokon található felszíni objektumok jellemző SFD görbéinek lokális maximumhelyeihez tartozó sávok nagy pontossággal reprezentálják a képi adat össz-információtartalmát, esetenként megbízhatóbb adatszelekciót jelentenek a sajátérték számításokra épülő más matematikai módszereknél.

### 4. tézis

Az általam javasolt SFD ujjlenyomatok görbéi alapján meghatározott zaj nélküli sávok alapján történő osztályozás, öt metrika (PA, MA, ML, SAM és MD) választása esetén kukorica, búza, műveletlen terület és napraforgó növénykultúrákra nagyobb találati pontosságot eredményezett, mint a teljes 359 sáv alapján osztályozott kép.

### 5. tézis

Az SFD alapján kiválasztott zaj nélküli, optimális csatornák adatai alapján végzett osztályozás szinte minden vizsgált metrika (PA, MA, ML, SAM és MD) esetén nagyobb találati pontosságot eredményez, mint a teljes sáv alapján, jelentősen kisebb számítási kapacitás felhasználásával.

### 6. tézis

AISA Dual vagy AISA Eagle légifelvételek alapján számított SFD hiperspektrális spektrumgörbéken a 690-720nm közötti spektrális tartomány szélső pontjaiban vett SFD értékek alapján az alábbi összefüggés segítségével történő vörös-él inflexiós pont meghatározása az ismert módszereknél megbízhatóbb eredményt ad:

$$\lambda_{re} = 690 + 30 \times \{(SFD_{690} + SFD_{720}) / 2\}$$

## **6. Az értekezés témakörében megjelent tudományos közlemények**

### **Könyvfejezet:**

- Kozma-Bognár, V. 2010. Hiperspektrális adatfeldolgozás. In: Berke, J. (szerk.) Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (DIGKEP v7.0). Elektronikus és nyomtatott tankönyv. KvarK Számítástechnikai Bt., Keszthely. ISBN:978-963-06-7825-4.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V. 2010. Távérzékelés alapjai. In: Berke, J. (szerk.) Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (DIGKEP v7.0). Elektronikus és nyomtatott tankönyv. KvarK Számítástechnikai Bt., Keszthely. ISBN:978-963-06-7825-4.
- Berke, J., Kozma-Bognár, V. 2010. Terepi mérés – interaktív jegyzőkönyv. In: Berke, J. (szerk.) Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai (DIGKEP v7.0). Elektronikus és nyomtatott tankönyv. KvarK Számítástechnikai Bt., Keszthely. ISBN:978-963-06-7825-4.

### **Tanulmány:**

- Kozma-Bognár, V. 2010. Hiperspektrális felvételek új képfeldolgozási módszereinek alkalmazási lehetőségei. Agrárinformatikai tanulmányok I. Magyar Agrárinformatikai Szövetség. Elektronikus változat. pp. 41-70. ISBN 978-615-5094-01-9.  
<http://tamop.magisz.org/poldoc/docstore/tanulmany/AT-I.pdf>.

### **Lektorált szakfolyóiratok:**

#### ***Magyar nyelvű:***

- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Kovács, Zs. 2009. Képi információk spektrális szerkezetének vizsgálata. Informatika. XI. évfolyam 2. szám 2009. pp. 14-18. ISSN: 1419-2527.

#### ***Idegen nyelvű:***

- V. Kozma-Bognár, J. Berke. 2010. New Evaluation Techniques of Hyperspectral Data. Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. Number 5. Volume 8. pp. 49-53. ISSN: 1690-4524.  
<http://www.iiisci.org/journal/sci/Contents.asp?var=&next=ISS8805>.
- V. Kozma-Bognár, J. Berke. 2009. New Applied Techniques in Evaluation of Hyperspectral Data. Georgikon for Agriculture. Number 1. Volume 12. pp. 25-48. ISSN: 0239 1260.

- V. Kozma-Bognár. 2007. The application of Apple systems, Journal of Applied Multimedia. Number 3. Volume 2. pp. 61-70. ISSN:1789-6967. [http://www.jampaper.eu/Jampaper\\_E-ARC/No.3\\_II\\_2007\\_files/JAM070302e.pdf](http://www.jampaper.eu/Jampaper_E-ARC/No.3_II_2007_files/JAM070302e.pdf).

### **Konferencia kiadványok (teljes terjedelemben megjelent):**

#### ***Magyar nyelvű:***

- Berke, J., Kozma-Bognár, V., Tomor, T. 2012. Entrópia alkalmazása a térinformatikában. Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás „Az elmélet és gyakorlat találkozása”. In: Lóki J. (szerk.) konferencia kiadvány. Debrecen, 2012. május 24–25. pp. 61-66. ISBN: 978-963-318-218-5.
- Kozma-Bognár, V., Berke, J. 2009. Új értékelési módszerek fejlesztése és alkalmazása multi- és hiperspektrális adatokon. 7. KÉPAF 2009 Konferencia. In: Csetverikov D, Szirányi T (szerk.) konferencia kiadvány. Budapest, 2009. január 28-30. [http://vision.sztaki.hu/~kepaf/kepaf2009\\_CD/files/118-3-Cikk\\_KEPAF2008\\_Kozma-Bognar\\_Berke\\_vegleges.pdf](http://vision.sztaki.hu/~kepaf/kepaf2009_CD/files/118-3-Cikk_KEPAF2008_Kozma-Bognar_Berke_vegleges.pdf).
- Kozma-Bognár V. 2008. Hiperspektrális felvételek mezőgazdasági és környezetvédelmi célú felhasználásának lehetőségei a Keszthelyi térségben. Informatika a felsőoktatásban 2008 Konferencia. In: Pethő, A., Herdon, M. (szerk.) konferencia kiadvány. Debrecen, 2008. augusztus 27-29. pp. 166. teljes terjedelemben a CD kiadványban. ISBN 978-963-473-129-0. <http://www.agr.unideb.hu/if2008/dok/absztrakt.pdf>.
- Kozma-Bognár, V. 2008. Többsávós légifelvételezés gyakorlati megvalósításának lehetőségei, különös tekintettel a hiperspektrális felvételek készítésére és feldolgozására. XIV. Ifjúsági Tudományos Fórum. CD kiadvány. Keszthely, 2008. április 3. ISBN: 978-963-9639-24-9.
- Kozma-Bognár, V. 2006. Hiperspektrális adatok fraktálszerkezetének alkalmazása különböző vegetációkra. XII. Ifjúsági Tudományos Fórum. CD kiadvány. Keszthely, 2006. április 20.

#### **Idegnyelvű:**

- V. Kozma-Bognár, J. Berke. 2009. New Evaluation Techniques of Hyperspectral Data. In: Proceedings of the 13th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics.. Callaos, N., Chu, H.S., Eshraghian, K., Lesso, W., Zinn, C.D. (ed.). Orlando. Florida, USA, 10-13 July 2009. pp. 143-147. ISBN: 978-1-934272-62-6.

**Konferencia kiadványok (absztrakt kötetben megjelent):**

***Idegen nyelvű:***

Kozma-Bognár, V., Berke, J., Martin, G. 2012. Application possibilities of aerial and terrain data evaluation in particulate pollution effects. In: Abstracts volumes of the European Geosciences Union General Assembly 2012. Vienna, Austria, 22 – 27 April 2012. Vol. 14, EGU2012-3063.

**Konferencia előadások:**

***Magyar nyelvű:***

Tomor, T., Berke, J., Kozma-Bognár, V., Enyedi, P. 2011. Bioenergetikai térinformatikai fejlesztés a gyöngyösi kistérség területén. 9. Fény-Tér-Kép 2011 Konferencia. Gyöngyös, 2011. október 13-14.

Berke, J., Kovács, L.D., Kozma-Bognár, V., Nagy, T. 2011. A vörösiszap katasztrófa termális, közeli infravörös és látható tartományú felméréseinek eredményei. 9. Fény-Tér-Kép 2011 Konferencia. Gyöngyös, 2011. október 13-14.

Berke, J., Bíró, T., Burai, P., Kovács, L.D., Kozma-Bognár, V., Nagy, T., Németh, T., Tomor, T. 2011. A vörösiszap katasztrófa légifelvételzése /tervezés, kivitelezés és hasznosulás/, Nemzetközi Báthory–Brassai Gazdasági, Műszaki és Természettudományi Konferencia. Balatonlelle, 2011. július 1-2.

Kozma-Bognár, V., Kovács, Zs., Berke, J. 2009. Interaktív gondolatok a bitek árnyékában. 7. Fény-Tér-Kép Konferencia. Dobogókő, 2009. november 12-13.

Kozma-Bognár, V., Kovács, Zs., Berke, J. 2008. 8 bit vagy 16 bit /Mit nézzünk és mit értékeljünk?/. 6. Fény-Tér-Kép Konferencia. Dobogókő, szeptember 18-19.

***Idegen nyelvű:***

Berke, J., Kozma-Bognár, V. 2008. Fernerkundung und Feldmessungen im Gebiet des Kis-Balaton I. Moorschutz im Wald / Renaturierung von Braunmoosmooren. Lübben, 22.-23. Mai 2008.

Berke, J., Kozma-Bognár, V., Kovács, L.D., Nagy, T. 2011. Results of the Thermal, Near Infrared and Visible Remote Sensing Data Investigation of Red Sludge Catastrophe, International Conference on Emergency Management Technology. Budapest-Veszprém-Szekszárd, 23-25 May 2011.

## 7. Felhasznált irodalom

- Berke, J. 2007. Measuring of Spectral Fractal Dimension. *Journal of New Mathematics and Natural Computation*. Print ISSN: 1793-0057, Online ISSN: 1793-7027, 3/3: 409-418, DOI: 10.1142/S1793005707000872.
- Chang, C.-I. 2007. *Hyperspectral data exploitation theory and applications*. John Wiley and Sons. Hoboken. New Jersey. ISBN: 978-0-471-74697-3.
- Clevers, J.G.P.W., De Jong, S.M., Epema, G.F., Van Der Meer, F.D., Bakker, W.H., Skidmore, A.K., Scholte, K.H. 2002. Derivation of the red edge index using the MERIS standard band setting. *International Journal of Remote Sensing*. 23 (16). pp. 3169-3184.
- Congalton, R.G., Green, K. 1993. A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 59. pp. 529-537.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. 1992. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Hay, A.M. 1988. The derivation of global estimates from a confusion matrix. *International Journal of Remote Sensing*. 9. pp. 1395-1398.
- Jain, A. 1989. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice-Hall Inc. London. ISBN: 0-13-336165-9.
- Kozma-Bognár, V. 2010. Hiperspektrális felvételek új képfeldolgozási módszereinek alkalmazási lehetőségei. In: Herdon, M., Kapronczai, I. (szerk.): *Agrárinformatikai tanulmányok I*. pp. 41-70. Elektronikus változat: ISBN 978-615-5094-00-2 Ö, ISBN 978-615-5094-01-9.
- Kozma-Bognár, V., Berke, J. 2010. New Evaluation Techniques of Hyperspectral Data. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*. Number 5. Volume 8. pp. 49-53. ISSN: 1690-4524.
- Kozma-Bognár, V., Kovács, Zs., Berke, J. 2008. 8 bit vagy 16 bit /Mit nézzünk és mit értékeljünk?/. 6. Fény-Tér-Kép Konferencia. Dobogókő, szeptember 18-19.
- Mandelbrot, B. B. 1983. *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman and Company. New York.
- Mutanga, O., Skidmore, A.K. 2004. Integrating imaging spectroscopy and neural networks to map grass quality in the Kruger National Park. *South Africa. Remote Sensing of Environment*. 90. pp. 104-115.
- Nixon, M., Aguado, A. 2008. *Feature Extraction and Image Processing*. Elsevier. ISBN: 978-0-1237-2538-7.
- Richards, J.A. 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
- Sabins, F.F. 1987. *Remote Sensing. Principles and Interpretation*. W. H. Freeman and Co. Los Angeles. ISBN 0-7167-1793-X.
- Schowengerdt, R.A. 2007. *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*. Elsevier. ISBN 13: 978-0-12-369407-2.
- Van der Meer, F.D., De Jong, S.M. 2001. *Imaging Spectrometry-Basic Principles and Prospective Applications*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht. ISBN:1-4020-0194-0.