

Integrált távérzékelési módszerek alkalmazása nagyerdei Natura 2000 területen

Bozsik Éva¹ – Fórián Tünde¹ – Deák Balázs² – Riczu Péter¹ – Fehér János¹ –
Herman Heilmeier³ – Tamás János¹

¹Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz-és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen

²Magyar Tudományos Akadémia – Debreceni Egyetem, Biodiverzitás Kutatócsoport, Debrecen

³TU Bergakademie Freiberg, Institut für Biowissenschaften, Freiberg, Germany
eva.bozsik@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A térinformatika, távérzékelés technológiájának egyre szélesebb körben történő használata számos hazai és nemzetközi környezet- és természetvédelmi biodiverzitás-monitoring rendszer kiépítéséhez biztosítja a megfelelő adatnyerési, adatfeldolgozási eszközöket. Ilyen nemzetközi projekt a ChangeHabitats 2 is, mely Natura 2000 élőhelyek monitoring rendszerének kiépítését a hagyományos terepi adatfelvételezésen túl, légi hiperspektrális és légi lézerekkel (légi LiDAR) források felhasználásával kívánja megvalósítani. Kutatásunk célja volt egyrészt a Natura 2000 hálózat részét képező Debreceni Nagyerdő Természetvédelmi Területén kijelölt mintaterületen, az erdőrésztelenként legnagyobb borításban megtalálható fajoknak terepi, és légi távérzékelési adatokból, a spektrális és geometriai (magassági) jellemzők alapján, képosztályozással történő elkülönítése. Célunk volt továbbá értékelni a mobilGIS, a légi hiperspektrális és légi LiDAR adatgyűjtési módszerek integrálásának hatékony felhasználását a hagyományos, földi adatfelvételezés kiegészíthetősége, esetleg annak helyettesíthetősége szempontjából. Az adatok értékeléséhez az ArcGIS 10.2 és Exelis 5.0 térinformatikai szoftvereket használtuk, melyekben a mozaikolást, a mintaterületek lehatárolását és a spektrális képfeldolgozás folyamatait végeztük el.

Kulcsszavak: integrált távérzékelési módszerek, NATURA 2000 területek, légi hiperspektrális képfeldolgozás

SUMMARY

The more widely use of GIS, remote sensing technology provides appropriate data acquisition and data processing tools to build several national and international biodiversity monitoring system of environmental protection and nature conservation. The ChangeHabitats 2 is a similar international project, which uses airborne hyperspectral and airborne laser scanning (airborne LiDAR) sources beyond traditional data collection methods to build a monitoring system of Natura 2000 habitats. The goal of our research, on one hand, was to separate the most typical species of trees which can be found in the largest coverage in the research plots of Debreceni Nagyerdő Nature Reserve from field and airborne remote sensing data, use image classification that based on spectral and geometry (height) characteristics of the trees. On the other hand our goal was to evaluate the efficient use of the integration of mobilGIS, airborne hyperspectral and airborne LiDAR data collecting methods to complement or substitute of the traditional, field data collecting methods. We used ArcGIS 10.2 and Exelis 5.0 GIS software for data evaluation, in which the mosaicing, the selection of plots and the spectral image processing were carried out.

Keywords: integrated remote sensing methods, NATURA 2000 sites, airborne hyperspectral image processing

BEVEZETÉS

Az Európai Unióban mind nemzetközi, mind hazai szinten kiemelten kezelik a természet- és környezetvédelem helyzetét. Az Európai Unió természet- és környezetvédelmi szabályozásainak általános célja a biológiai sokféleség megőrzése, a változások detektálása és nyomon követése, aminek egyik módja a Natura 2000 európai ökológiai hálózat létrehozása. Az élőhelyek biodiverzitása szempontjából nélkülözhetetlen azok állapotának és változásainak ismerete és monitoringja. A megfelelő távérzékelési módszerek lehetővé teszik a monitoring naprakész, gyors, pontos, olcsó vizsgálatát, a változások nyomon követését (Lóki, 1996; Demeter et al., 2002). A most bemutatott FP7 Marie Curie Change Habitats 2 (2011–2014) projekt célja egy – a védett fajok és azok élőhelyeinek a természet megőrzésében fontos szerepet játszó – Natura 2000 területekre irányuló nemzetközi élőhelyvédelmi monitoring rendszer kiépítése. Ennek során a mobilGIS terepi, légi hiperspektrális- és légi lézerekkel forrásokból származó adatállományokat integráltan használják. E nemzetközi programnak az egyik hazai résztvevője a Debreceni Egye-

tem MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézete. A projekt keretein belül öt különböző Natura 2000 területről készült légi hiperspektrális és légi LiDAR felmérés. A projektben alkalmazott távérzékelési módszerek közül az elmúlt években egyre nagyobb hangsúlyt kaptak a passzív hiperspektrális, valamint az aktív LiDAR (Lézeres Légi Letapogatás) légi felmérések.

Minden, a felszínen megfigyelhető objektum sajátos, egyedi – elnyelési és visszaverődési – spektrummal (spektrum/reflexió görbe) írható le. A hiperspektrális szenzorok a visszaverődő sugárzást több száz (néhány nanométer) csatornára bontják fel, lehetővé téve az anyagi jellemzők vizsgálatát.

Jelen vizsgálatunk szempontjából a vegetáció reflektancia tulajdonságait emelnénk ki. A növényzetben lévő szintestek erősen elnyelik a 450–670 nm közötti hullámhosszokat. A klorofill típusú fényelnyelő pigment a klorofill-a és a klorofill-b a vörös (600–700 nm) és a kék (400–500 nm) színt hasznosítják. A karotinoid típusú fényelnyelő pigment a karotin és a xantofill, melyek a kék tartományban (400–500 nm) nyelik el a fényt. A zöld fényt egyik pigment sem tudja hasznosítani, ezért látjuk zöldnek az egészséges vegetációt. Ha

a növénynek valamilyen betegsége van vagy stresszhatástól szenved, akkor lelassul a normális növekedése, ami a klorofill-tartalmát is befolyásolja. Az alacsonyabb klorofill mennyisége kisebb mértékű kék és vörös abszorpcióhoz vezet, ami gyakran a vörös erősebb visszaverődésének köszönhetően – zöld és a vörös szín kombinációjában – sárga színt ad a növényeknek. Az infravörös tartományt elérve, 700 nm-nél az egészséges növényzet visszaverődési értéke ugrásszerűen megnő. A 700 és 1300 nm között az egészséges növényzet a beérkezett energia 40–50%-át visszaveri, mely a levélzet belső szerkezeti sajátosságából adódik. Összességében a vegetáció a látható tartományban a 380–700 nm közötti, a közeli infravörös tartományban a 720–1300 nm közötti hullámhosszokon hatékonyan tanulmányozható (Berke et al., 1996; Shafeli, 2004b; Tamás és Nagy, 2009).

A különböző vegetációs indexek (VI) segítségével közvetlenül nyerhetünk további információkat a növényzet állapotának kvalitatív és kvantitatív jellemzőiről az egyes tartományokban mért értékekből. Számos vegetációs index használatos, melyek közül néhányat sorolnánk fel – a teljesség igénye nélkül – melyek széleskörűen használhatók a vegetációk elemzése során. Az NDVI (Normalizált Vegetációs Index) egy adott terület vegetációs aktivitását fejezi ki. Az értéke a növényzet által a közeli infravörös (NIR) és a látható vörös (VIS) tartományokban visszavert sugárzási értékek összefüggésében adható meg. A SAVI (Talajjal Korrigált Vegetációs Index) indexet elsősorban inhomogén környezetben érdemes használni, amikor a mérési eredményeket a talaj is befolyásolja. Vizsgálatunk során az eredmények értékelésénél az NDVI által kapott értékeket vettük figyelembe.

NDVI (Normalizált Vegetációs Index)	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
SAVI (Talajjal Korrigált Vegetációs Index)	$SAVI = (1 + L) * \frac{NIR - R}{NIR + R + L}$
WBI (Víztartalom Index)	$WBI = \frac{\rho_{900}}{\rho_{970}}$

A légi LiDAR szkennerek egy ismert pozíciójú és állású szenzor, mely adott szögben, egy bizonyos frekvenciájú lézervényt bocsát ki, majd méri a felszínről visszaverődő hullámok visszatérési idejét és az egyes visszaverődések szögét a teljes hullámformáról – szemben a hiperspektrális szenzor anyagminőségi tulajdonságok vizsgálatával. Ezzel az adatgyűjtéssel a felszín geometriai információinak rögzítése 3D módon válik lehetővé, melyet – számos felhasználási terület mellett – a vegetációtérképezésben, erdészeti alkalmazásokban széleskörűen használnak elegyarány becslésre, fmagasság-, fatérfogat-, koronaméret számításra, termőhelyi tényezők (kitettség, hidrológia) vizsgálatára (Belényesi et al., 2008).

A ChangeHabitats 2 projektben felmért területek közül jelen írásunkban a Debrecen-hajdúböszörményi tölgyesek (terület kód: HUH20033) elnevezésű, első magyar kiemelt jelentőségű természetmegőrzési területen végzett kutatási eredményeinket mutatjuk be.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatásunk célja volt egyrészt a mintaterületen, erdőrésztelenként a legnagyobb borításban – főfaj esetén legalább 70%, elegyfa esetén 20–30% – megtalálható fafajoknak terepi, és légi távérzékelési adatokból, képosztályozással történő elkülönítése, másrészt értékelni a mobilGIS, a légi hiperspektrális és légi LiDAR adatgyűjtési módszerek integrálásának hatékony felhasználását. A vizsgálat során az adatgyűjtés magába foglalta a terepi felmérést, az egyes fafajok spektrális tulajdonságainak vizsgálatát, illetve a légi hiperspektrális és légi LiDAR felvételek feldolgozását, melyeket a terepi GPS készülékkel felvett tanítóterületek alapján végeztünk. Az adatok integrációját és értékelését ArcGIS 10.2 és Exelis 5.0 térinformatikai szoftverek segítségével végeztük el, amely a mozaikolást, a mintaterületek lehatárolását és a képfeldolgozás folyamatait foglalta magába. A vizsgálati mintaterület a Debreceni Nagyerdő Természetvédelmi Területének egy részén került kijelölésre, mely a Natura 2000 hálózat részeként a ChangeHabitats 2 hazai projekt területeinek a tagja. A légi felmérés területi elhelyezkedését tekintve a Debreceni Egyetem főépületétől, egy közel 5,5 km hosszú és 600 m széles repülési sávban húzódik északi irányba, egészen Debrecen-Pallagig. Ebből a sávból, az általunk felmért rész a Klinikáktól Debrecen-Pallagig terjed.

A légi felmérések

A légi hiperspektrális felvételt a Gödöllői FVM MG Intézet és a Debreceni Egyetem MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézete által 2006-ban közösen beszerzett és telepített AISA Dual rendszerű légi hiperspektrális szenzorral készült. Az AISA Dual ikerszenzor két, hiperspektrális kamerát egyesít, melyek az AISA Eagle és Hawk. Az Eagle a látható fényt (400–700 nm) és a közeli infravörös (700–1300 nm), míg a Hawk a közepes infravörös tartományt (1300–2500 nm) érzékeli. A Dual szenzor a vonal menti, azaz a push-broom szkennerek családjába tartozik. A hiperspektrális szenzorok fő részei: az optika, a spektrográf és a digitális kamera. Az egyik legfontosabb elem a spektrográf, mely az optikai résen beérkező elektromágneses hullámokat prizmák és optikai rács segítségével különböző hullámhosszú sávokra bontja fel (Tamás et al., 2009; Tolner, 2011). A légi hiperspektrális felvétel a 400–2452 nm-es hullámhosszok között, 395 spektrális sávot tartalmaz, térbeli felbontása 1,5 méter. A légi LiDAR felvételt az osztrák székhelyű RIEGL Laser Measurement Systems GmbH készítette, az általuk kifejlesztett RIEGL LMS-Q680i lézerekkel. A légi lézerekkel az 1054 nm hullámhosszon mért, ami a közeli infravörös tartomány része. A felmérést hat repülési sávban végezték el, 33,8 pont/m² mintavételi sűrűséggel.

Terepi felmérés - MobilGIS

A terepi felmérés a Hajdú-Bihar Megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatósága által rendelkezésünkre bocsátott üzemi erdőterkép és annak leíróadatait tartalmazó adatbázisok alapján történt. A felmérést Trimble Juno ST GPS eszközzel végeztük. Az attribútív adat-tábla magába foglalta a homogén borítású erdőrészek, facsoportok, fa egyedek pont és poligon rétegét. Az ArcPad terepi adatgyűjtő szoftver az ArcGIS Desktop 10.2-vel létrehozott geoadatbázisába natív módon feltölthető. Az adatokat az ellenőrzött osztályozás elvégzéséhez szükséges tanítóterületekként adtuk meg. A terepen felvételezett rétegek attribútív táblázatainak, illetve az erdészeti nyilvántartás – mintaterületre vonatkozó részeinek – összesítésével 9 erdőtípust azonosítottuk, melyek különböző területi előfordulásban találhatóak meg a mintaterületen. Az osztályozást, az ezeket a típusokat meghatározó, öt állományalkotó és az általunk leginkább beazonosíthatónak tartott két elegyfajjal végeztük el, melyek az alábbiak:

Állományalkotó fajok:

- kocsányos tölgy (*Quercus robur*),
- vörös tölgy (*Quercus rubra*),
- erdei fenyő (*Pinus sylvestris*),
- fekete dió (*Juglans nigra*),
- hárs (*Tilia sp.*).

Elegyfajok:

- fehér nyár (*Populus alba*),
- fehér akác (*Robinia pseudoacacia*).

Az elegyfajoknál azért csak a fehér nyarat és a fehér akácot választottuk ki, mert a többi egyedről nem tudtunk megfelelő, spektrálisan tiszta terepi pontot felvenni. Az erdészeti nyilvántartásban számos más faj is szerepel elegyfaként – pl. kései meggy (*Padus serotina*), zöld juhar (*Acer negundo*), mezei juhar (*Acer campestre*), nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) stb. –, de ezek többnyire a közép- és alsó lombkoronaszintben helyezkednek el, így a felvételen történő beazonosításuk és tiszta pixeleiknek a megjelölése pontatlannak bizonyult.

A légi felvételek értékelése

Az Exelis 5.0-ban a digitális képfeldolgozás célja, hogy a vizsgálati területről készített felvétel adatait számszerűsíthető formába hozzuk, aminek az eszköze a képosztályozás. A légi felvétel 395 spektrális sávja közül a „zajos”, hibával terhelt sávok kiszűrését követően 340 spektrális csatornával folytattuk a munkát. A felvételezés során nem minden sávban készült értékelhető információt hordozó felvétel, melyek kiszűrésével növeltük az osztályozás eredményeinek pontosságát. A spektrális profil segítségével a hét faj reflektancia görbéjét vizsgáltuk, majd kiválasztottuk azokat a hullámhossztartományokat a teljes felvételi spektrumból, ahol a fajok visszaverődési értékei között a legnagyobb különbség található. Az általunk kijelölt képrészleten az erdőrészek spektrális eltéréseit/hasonlóságait előzetesen két hullámhossz függvényében a 2D szóródási diagramban értékeltük.

A légi hiperspektrális felvételen a hét faj vonatkozásában az ellenőrzött képosztályozás lefuttatásához szükséges tanítóterületeket a terepi felmérés során, GPS segítségével felvett terepi pontok alapján határoztuk meg. Az osztályozás elvégzéséhez a spektrális szögek térképezése (Spectral Angle Mapper – SAM) típusú módszert választottuk. A Kruse et al. (1993) által kidolgozott algoritmus az egyes anyagok referencia spektrumait egy n-dimenziós vektorként kezeli, ahol az n megegyezik a spektrális sávok számával. Az adott spektrumot egy pontnak tekintjük, amelynek koordinátáit az egyes csatornában mért értékek határozzák meg. Az origóból kiindulva, erre a pontra állított egyenes minden pontja megegyezik a spektrummal, csak más az intenzitás mértéke. A sikeresség szempontjából egyrészt a spektrálisan homogén, általában a denzitási tér végálló pixeleinek (endmemberek) megfelelő lehatárolása szükséges, másrészt növelhető a pontosság, ha megfelelő vizsgálati szöget – 0-tól 0,1 radián-ig – állítunk be. A SAM osztályozásnál először egységes értéként (Single Value) az egész területre vonatkozóan használtuk a különböző szögbeállításokat, melyek a 0,03; 0,04; 0,05 és a 0,1 radián voltak. Mind a négyféle szöggel történő osztályozásnál térbeli maszkot készítettünk, a hét fajnak kijelölt ellenőrző parcellára és megvizsgáltuk az osztályozás helyességét. Az erdészeti területi arányok segítségével kiszűrtük azokat a vizsgálati szögeket, ahol az egyes fajok borítottsága azonos/közel azonos eloszlást mutat a valóságos állapottal. Ennek megfelelően a differenciált értékű (Multiple Values) beállításnál az alapértelmezett szögértékeket már a fajonként kiválasztott radián értékekre megváltoztatva futattuk le az osztályozást.

A kiértékelés során integráltan vettük figyelembe a mobilGIS (saját terepi adatok, erdészeti adatbázis), a légi hiperspektrális elemzés eredményeit, valamint a légi LiDAR felvételből kinyerhető geometriai (magassági) információkat. Az ellenőrzéssel egyrészt vizsgáltuk az osztályozott felvétel és erdészeti nyilvántartásban feltüntetett, fajonkénti borítottság arányának, azaz a területi eloszlásának azonosságát, a fajonként meghatározott egy-egy ellenőrző területen. Másrészt a tanítóterületek alapján validáltuk az osztályok és az élőhely térképezési helyességét. Az ellenőrzéssel párhuzamosan számítottuk az NDVI-t azoknál a parcelláknál, ahol az osztályozott borítás mértéke meghaladta, illetve elérte a 70%-os területi arányt, valamint annál a hársas parcellánál, amelyet az erdészet nem megfelelő záródású erdőnek minősített.

EREDMÉNYEK

A spektrális tulajdonságok vizsgálata

Erdőterületek távérzékeléssel történő vizsgálata esetén spektrálisan leginkább elkülöníthetők egymástól a tülevelű és lombhullató fák. A mintaterületen két nagyobb kiterjedésű parcellán található erdei fenyő (*Pinus sylvestris*), amit, a döntő hányadban jelen lévő kocsányos tölgy (*Quercus robur*) vetettünk össze. A látható tartományban (400–700 nm) az erdei fenyőnek a visszaverődési értékei jellemzően még magasabbak, mint a tölgyé. Ez azonban megváltozik az infravörös tartományokban, ahol a lombhullató fák vissza-

verődési értékei jóval nagyobbak, mint a tűlevelű fáké, ami elsősorban a levélzet alaktani és szerkezeti felépítéséből adódik (1. ábra/1). A lombhullató fajok egymástól történő elkülönítése már egy többlépcsős feladat a nagyfokú morfológiai hasonlóság miatt. A hét osztályozott faj teljes tartományra felvett reflexiós görbéinek futása alapján meghatároztuk azokat a hullámhossztartományokat, ahol a legjelentősebb variancia tapasztalható köztük. Ennek alapján a növényzetet a 380–720 nm, azaz a látható-, illetve a 720–1300 nm, azaz a közeli

infravörös tartományokban távérzékelési módszerekkel hatékonyan tanulmányozható (1. ábra/2). A felvétel egy olyan részletét választottuk a szóródási diagram (2D Scatter Plot) elkészítéséhez, ahol a tűlevelűek, lombhullatók, a növényzettel ritkán fedett és az irtás-területek spektrális értékei közti markáns különbségek, hasonlóságok megmutatkoznak. Az egyik hullámhossz – 630 nm – a vörös tartományból, a másikat pedig – 908 nm – a közeli infravörös tartományból választottuk (1. ábra/3–4).

1. ábra: 1. A lombhullató és tűlevelű fák spektrális görbéje, 2. A hét faj spektrális profilja, 3. A mintaterület egy részlete, 4. A részlet 2D Scatter Plot ábrázolása

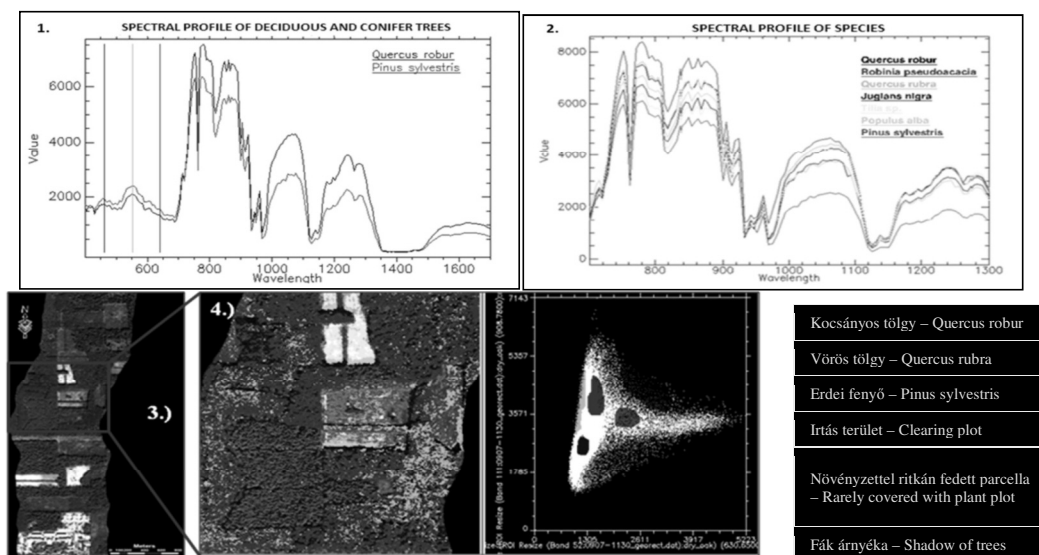


Figure 1: 1. Spectral profile of deciduous és conifer trees, 2. Spectral profile of the seven species, 3. One part of the plot, 4. The 2D Scatter Plot of one part of the plot

A légi hiperspektrális felvétel osztályozásának eredményei

Az egyedi szögbeállítások mellett végzett osztályozás eredményeként a valósághoz közel azonos területi eloszlási arányokat mutatnak. Az egész területet vizsgálva egyértelműen beazonosítható a terület döntő hányadát (36%) elfoglaló kocsányos tölgyes, majd a vörös tölgyes és az erdei fenyves követik egymást az eloszlási arányok sorában. A hárs (3%) és a fekete dió (2%) aránya reális az egész mintaterület összetételéhez viszonyítva, mert e két fajnak mindössze egy-egy erdő-részlete van nyilvántartva, ugyanakkor, leggyakrabban a kocsányos- és vörös tölgy elegyként, számos helyen megtalálhatóak. Az akác és a fehér nyár elegyként különösen a vörös tölgyesben és az erdei fenyvesben figyelhető meg, de az akác invazív fajként mindenhol megtalálható (2. ábra).

A fajonkénti osztályozás eredményei

A hét faj osztályozása közül a leginkább és legkevesbé sikeresnek mondható eredményeket mutatjuk be. A vörös tölgy (*Quercus rubra*) ellenőrző területén, az erdészet által meghatározott legalább 70%-os borítási mértéket több mint 5%-kal haladtuk meg, amivel az első helyen szerepel az osztályozás sikerességében.

2. ábra: A fajonként eltérő szögbeállítással végzett SAM osztályozás eredménye

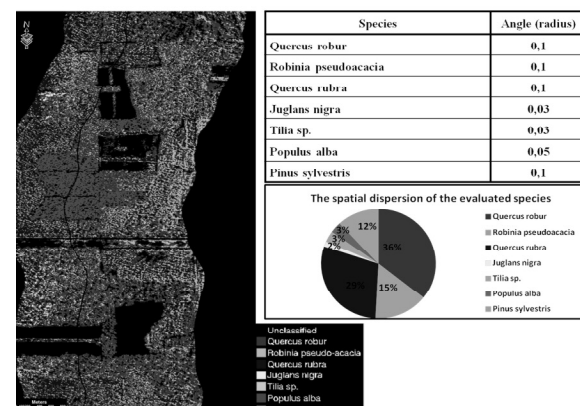


Figure 2: Results of the SAM type classification use different angles of species

A tanítóterületek kijelölését nagyban megkönnyítette a sűrű, zárt lombkorona és a többnyire homogén parcella, ezt mutatja a tanítóterületek kijelölésének 88,4%-os pontossága, a magas, 0,7–0,8 NDVI érték, illetve a LiDAR adatokból kapott átlag magassági értékek alacsony relatív szórása (1. táblázat).

A vörös tölgy (*Quercus rubra*) ellenőrző területének borítási arányai és magassági értéke

Erdőtípus(1)	Főfaj területi aránya (%) (3)		Tanítóterület pontossága az ellenőrző területen(6)	Átlagmagasság (m)(7)	Relatív szórás (%) (8)
	Osztályozás szerint(4)	Erdészeti érték(5)			
Vörös tölgyes(2)	75,2	≥ 70	88,4	20,6	13

Table 1: The coverage rate and height values of *Quercus rubra* on the control plot

Type of forest(1), Red oak forest(2), Area rate of the main species(3), On the basis of the classification(4), On the basis of the value of the forestry(5), Accuracy of the training site on the control plot(6), Average height(7), Relative standard deviation(8)

A vörös tölgy legjellemzőbb elegyfaja az akác, ami leginkább a szegélyzónában jellemző, de az erdő bármely foltjában képes felverődni, ahol egy kis lék van a fák közt. A parcella szélén a kocsányos tölgy (piros) elegy, mint egy keretet adva szegélyezi a területet (3. ábra).

3. ábra: A vörös tölgy (*Quercus rubra*) ellenőrző területének a. osztályozott, b. NDVI, c.–d. légi LiDAR felvétélből készített 3D térbeli metszete

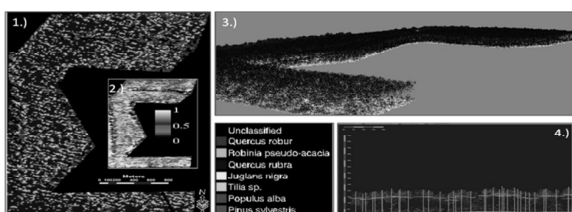


Figure 3: Spatial sections of the 1. classified, 2) NDVI, 3–4. the 3D airborne LiDAR image of the red oak (*Quercus rubra*) on the control plot

A leggyengébb osztályozási eredményeket a hárs (*Tilia sp.*) esetén kaptuk. Az egyetlen egy hársas erdő-

részlet esetén 61%-kal maradtunk el az erdészeti nyilvántartásban feltüntetett legalább 70%-os főfaj borítási mértékétől. Ennek oka a parcella nagymértékű, hiányos záródása, mely a középső részére koncentrálnak, ott, ahol az NDVI értékek is csak 0,2–0,5 között mozognak (2. táblázat). Az erdészeti adatok és terepi tapasztalatok is megerősítik azt, hogy a hársasnak gazdálkodási hibából eredően nem megfelelő a záródása. A hársak kisebb csoportokban vannak jelen, azok átmérője körülbelül 5 méter, átlagmagasságuk 9,8 méter. Ezek a parcella szélein helyezkednek el, bentebb csak néhány, idősebb egyed, illetve a kocsányos tölgyek és gyomtársulások vannak. Erre az igen heterogén összetételre utal a relatív szórás magas értéke (30%), ami a heterogén vörös tölgy (*Quercus rubra*) állomány relatív szórásától 23%-kal nagyobb. A szegélyzónára jellemző a vörös tölgy és az akác is, ami a szomszédos területekről került át, csakúgy, mint az erdei fenyő. A tanítóterületek pontossága szintén alacsony, 11,8%, aminek az lehet az oka, hogy hárs minden elegyénél alacsonyabb lombkoronaszinten helyezkedik el, ami csökkenti a tiszta pixelek arányát (4. ábra).

A hárs (*Tilia sp.*) ellenőrző területének borítási arányai és magassági értéke

Erdőtípus(1)	Főfaj területi aránya (%) (3)		Tanítóterület pontossága az ellenőrző területen(6)	Átlagmagasság (m)(7)	Relatív szórás (%) (8)
	Osztályozás szerint(4)	Erdészeti érték(5)			
Hárs(2)	9,4	≥ 70	11,8	9,8	30

Table 2: The coverage rate and height values of *Tilia sp.* on the control plot

Type of forest(1), *Tilia sp.* forest(2), Area rate of the main species(3), On the basis of the classification(4), On the basis of the value of the forestry(5), Accuracy of the training site on the control plot(6), Average height(7), Relative standard deviation(8)

4. ábra: A hárs (*Tilia sp.*) ellenőrző területének a. osztályozott, b. NDVI, c.–d. légi LiDAR felvétélből készített 3D térbeli metszete

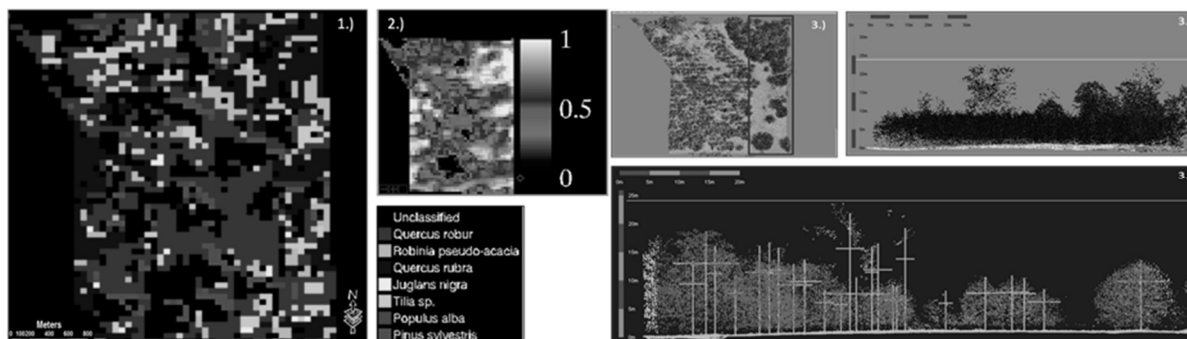


Figure 4: Spatial sections of the 1. classified, 2) NDVI and 3–4. the 3D airborne LiDAR image of *Tilia sp.* on the control plot

KÖVETKEZTETÉS

A fajok osztályozása során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a légi hiperspektrális felvételezés alkalmas nagyterjedésű, homogén, kissé elegyes területek, erdőrészek vegetáció-összetétel vizsgálatára, faj meghatározásra. A jobb minőségű osztályozást abban a homogén (>70% felüli borítású) parcellában értük el, ahol az uralkodó fajnak zárt a lombkoronája, közel azonos korúak és egészségesek (vörös tölgy – *Quercus rubra*; erdei fenyő – *Pinus sylvestris*). Azonban egy-egy monitoring rendszer kiépítése, az állományokban történő változások nyomon követése széles körű adatellátottságot igényel, mely több adatforrásból elégíthető ki hatékonyan.

Az adatfelvételezések számának, időtartamának csökkentésére, valamint a spektrális és geometriai többletinformáció nyeresére a terepi felmérés, légi hiperspektrális és légi LiDAR technológiák integrációja – a vizsgálati céltól függően – megfelelő alapot biztosítanak vegetációk, élőhelyek elemzéséhez.

További kutatásokat kívánunk folytatni a légi LiDAR felvételek adattartalmának felhasználhatóságára vonatkozóan. Különös tekintettel a már korábbi években fásításra került erdőterületek biomassza produkciójának minőségi és mennyiségi jellemzőinek meghatározása, valamint a termőhelyi adottságok és a fajok közti összefüggések távérzékelési eszközökkel történő elemzésére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a ChangeHabitats2 projekt (Marie Curie - FP7- PEOPLE-2009-IAPP - Grant Agreement Number 251234) támogatásával valósult meg.

Továbbá szeretnénk megköszönni a Hajdú-Bihar Megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatóságának, hogy rendelkezésünkre bocsátották a kutatáshoz szükséges adatokat.

IRODALOM

- Belényesi M.–Kristóf D.–Skutai J. (2008): Térinformatika Elméleti Jegyzet. Egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem Mezőgazdaság és Környezettudományi Kar Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet. Gödöllő.
- Berke J.–Hegedűs Gy. Cs.–Kelemen D.–Szabó J. (1996): Digitális képfeldolgozás és alkalmazási. Keszthelyi Akadémia Alapítvány. Keszthely.
- Demeter A.–Gergely E.–Magyar G.–Outi A. (2002): Természetvédelem az Európai Unióban [In: Demeter A. (szerk.) Magyarország és a Natura 2000 – I. Natura 2000 – Európai hálózat a természeti értékek megőrzésére.] ÓKO Rt. Budapest. 12–30.
- Kruse, F. A.–Lefkoff, A. B.–Boardman, J. B.–Heidebrecht, K. B.–Shapiro, A. T.–Barloon, P. J.–Goetz, A. F. H. (1993): The Spectral Image Processing System (SIPS). Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data. Remote Sensing of Environment. 44: 145–163.
- Lóki J. (1996): Távérzékelés. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen.
- Shefali, A. (2004b): Principles of Remote Sensing. [In: Sivakumar et al. (eds.) Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. Proceedings of the Training Workshop. 7–11 July, 2003. Dehra Dun. India. 23–38.
- Tamás, J.–Lénárt, Cs.–Burai, P. (2009): Evaluation of applicability of airborne AISA DUAL hyperspectral imaging system to map environment conditions in orchards. International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V. Conference. Rosario. Argentina. 1–4. September, 2009. 1–13.
- Tamás J.–Nagy I. (2009): Őszibarack-ültetvény lombzatának vizsgálata hiperspektrális adatok alapján. „Klíma-21” Füzetek. Klímaváltozás – Hatások – Válaszok. 58.
- Tolner I. T. (2011): Hazai tanulmányok az AISA Dual hiperspektrális légi rendszer alkalmazásához. [In: Bitay E. (szerk.) Műszaki Tudományos Füzetek.] XVI. Fial Műszaki Tudományos Ülésszaka. 2011. március 24–25. Erdélyi Múzeum-Egyesület. Kolozsvár. 345–348.