

Geoinformációs adatbázisok elérhető pontosságának vizsgálata lombkorona kataszter szempontjából

Burgundi Borbála^{1,*}

¹ MindaGIS Térinformatikai Iroda Kft.

Index Terms: Orthophoto, forestry, GIS, aerial image interpretation

Kulcsszavak: Ortofotó, erdőgazdálkodás, GIS, légifelvétel kiértékelés

Széles körben, sok mindenre használják manapság a légi- és űrfelvételeket. A távérzékelés mára már meghaladta a csupán adatgyűjtő funkcióját, beletartozik a felvételek kiértékelése mind vizuális, mind digitális interpretációja is. A klímaváltozás ellenőrizhetővé tétele és a fenntartható fejlődés szempontjából talán az egyik legfontosabb terület a vegetációvizsgálat, ahol egyre inkább távérzékeléssel készített felvételeket alkalmaznak. Egyre nagyobb pontosságot elérő távérzékelő berendezésekkel egy olyan naprakész monitoring folyamat állítható be, melynek során a változásokat, a problémákat hatékonyan észlelhetjük, feldolgozhatjuk és számos esetben megoldhatjuk, így nagyon fontos a vizsgálati módszerek szabványainak, irányelveinek megalkotása is. Eppen ezért, és a kiértékelési torzítás, az információ levezetési hibák elkerülése érdekében 2006-ban elindult egy vizsgálat sorozat, amelybe 2013-ban kapcsolódtam be.

Korábban a növényfajok légifelvétel-térképről történő felismerése az állományok kis felbontása miatt nem volt kivitelezhető. Mára azonban elérhetővé és megfizethetővé vált a nagy felbontású (1–20 cm terepi felbontás-tartomány) légifelvétel-térképek készítése, amelyek újszerű, különösen részletes vegetációtérképezést tesznek lehetővé. Mindez a korábban szokásos léptékű, de sokkal pontosabb vegetációs adatbázisok előállítását eredményezi, az eltárolásra kerülő információ mennyisége a legtöbb esetben nem haladja meg jelentősen a korábbi felmérésekben felvett adatok mennyiségét.

A vizsgálatok célja a különböző növényfajok és társulások pontos feltérképezéséhez szükséges geometriai és spektrális felbontás megállapítása, valamint a passzív légi- és űrfelvételezéssel készült állományok minőségi paramétereinek behatárolása (Bakó 2013). Részfeladatomban célja, hogy ellenőrizsem a különböző felbontású légi- és űrfelvételek segítségével létrehozott vegetációs adatbázisok megbízhatóságát a Kékes-tető mintaterület felső lombkoronaszintjére vonatkozóan. Azt a terepi felbontástartományt keresem, amely a legjobb geometriai pontosságot teszi lehetővé vegetációval sűrűn borított területen. Mindemellett megvizsgálom, hogy a Landsat ETM+, és SPOT 4 űrfelvételek spektrális kiterjesztése mérsékli-e a kisebb geometriai felbontásukból adódó kiértékelési hibákat.

1. A felvételek minőségét meghatározó elsődleges tulajdonságok

A távérzékelő rendszerek legfontosabb jellemzői a térbeli felbontás, a spektrális felbontás, az időbeli felbontás és az érzékenység.

Térbeli vagy geometriai felbontás:

A tárgyak geometriai tulajdonságai: elhelyezkedés, méret, alak. Fontos mérőszáma a földi pixelméret, a kép egy pixelének a földön mérhető, valós térbeli kiterjedése.

Spektrális felbontás:

Azt az érzékenységet fejezi ki, amelyben a rendszer az elektromágneses hullámok energiáját képes érzékelni. A spektrális felbontás magába foglalja az érzékelt sávok számát, szélességét, elhelyezkedését és az átfogott elektromágneses hullámtartományt.

Radiometriai felbontás:

A radiometriai felbontás vagy érzékenység a digitális felvételek esetén az elektromágneses sugárzás maximális és minimális értékei között lévő intervallumot egyenlő részekre osztják (kvantálják). Az értékek közti fokozatok száma fejezi ki a radiometriai felbontást.

Időfelbontás:

Az időbeli felbontás azt fejezi ki, hogy milyen időközönként készítünk ugyanarról a területről felvételt, tehát a két felvétel között eltelt időt. (Tikász E.1995.)

2. A növényzet passzív távérzékeléssel történő vizsgálatának módszere

A növény felületére eső és az onnan adott hullámhosszakon visszavert sugárzás mennyiségét nagyrészt az adott terület vegetációjának három alapvető tulajdonsága határozza meg: a növényzet összetétele, állapota, és mennyisége. A növény faja, fejlődési állapota, egészségügyi állapota, víztartalma egyaránt hatással van az egyed visszaverő képességére. A reflexió azonban nem csak a növény felületéről érkezik vissza, így számolni kell egyéb tényezőkkel, úgy mint:

- Adott helyszínen a növények átbocsátó, elnyelő, kisugárzó, fényt szóró képessége
- Levelek víztartalma
- Klorofill tartalom
- Sugárzás beesési szöge
- Talajreflektancia, növényzet albedója, kopár talaj albedója
- Vegetáció magassága
- Borítottság (cov)
- Levélfelületi index (LAI)
- Zöld növényi részek aránya (GLF)

(Bakó 2013)

Látható fénytartományban (0,4-0,7 μm) a különböző pigmentek, közülük is a klorofillok befolyásolják a legnagyobb mértékben a visszaverődési sajátosságokat. Ebben a tartományban a vegetáció visszaverődési maximuma 540 nm-nél található. A növények állapota nagyban befolyásolja a visszaverést a tartományban, hiszen ez a pigmentek mennyiségi eltérését okozza adott növényen. (Dr. Bácsatyai L. 1992)

A Red Edge Index (Vörös Él) meghatározza, hogy mennyire csúszik el egy jelleggörbe inflexiós pontja a vörös (0.6-0.7 μm) és a közeli infravörös (0.7-1.3 μm) tartomány határán a kék tartomány felé. (Kristóf D.- Belényesi M. 2011)

Közeli infravörös tartományban (Near Infrared, NIR) 0.7-1-3 μm -ig az abszorpciós pigmentek hiánya a jellemző.

Középső infravörös tartomány (Middle Infrared, MIR) 1.3-2.5 μm -ig a sejtek víztartalma általi elnyelés a legjellemzőbb. A víz sugárzás elnyelési maximuma is ebben a tartományban található 1,4-1,9 μm -nél.

Távoli vagy hő infravörös tartományban a levelek nem megfelelő működésére deríthetünk fényt a sztómákon keresztül távozó párologás hűtő hatásának hiánya következtében, de ez a módszer terepi és laboratóriumi szinten működik hatékonyan.

A távérzékelés tehát számos eszközt ad a kezünkbe a vegetáció térbeli ökofiziológiai állapotának megismeréséhez. A növényzet térképezése alapulhat növénybetegségek térképezésén, állapotfelmérésen (amelyben az fent említett indexeket is felhasználhatjuk), vagy a vegetáció társulástani, esetenként faji szintű rögzítésén. Jelen esetben az utóbbi szempontrendszer alkalmaztam. Ennél alapesetben a nagyfelbontású valószínűségi (RGB) csatornák a leghasznosabbak. Fontos meghatározni a vegetáció vizsgálni kívánt legkisebb alapegységét is. A Kékestetőtől észak-északnyugatra mintegy 400 m-re fekvő terület esetében a bükk egyedek lombkoronái képezték a vizsgálat tárgyát, így a legkisebb térképezett egységet egy méter átmérőben állapítottam meg.

3. A kiválasztott mintaterület

A 23852 m² mintaterület közigazgatásilag a pétervásárai és a gyöngyösi járás határán fekszik, nagyobb területe a pétervásárai járáshoz tartozik. A kiválasztott terület sarokpontjainak EOv koordinátái a következők:

-XÉNY: 721708,248

-YÉNY: 282051,057

-XÉK: 721813,415

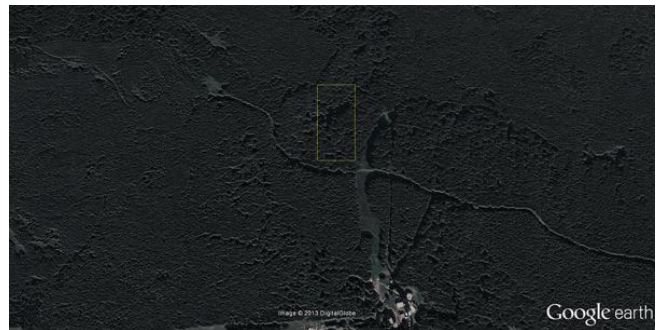
-YÉK: 282051,057

-XDNY: 721708,248

-YDNY: 281824,257

-XDK: 721813,415

-YDK: 281824,257



1. ábra A kiválasztott mintaterület Google Earth szoftverben megjelenítve

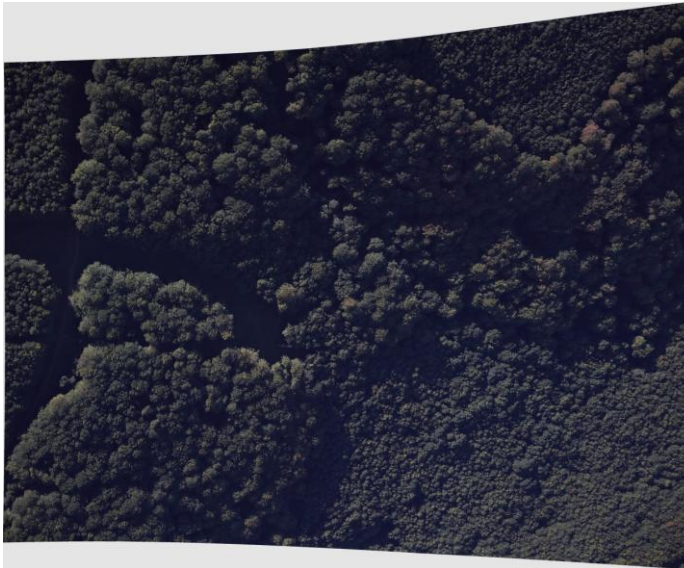
Mintaterületem tengerszint feletti magassága 940 m körüli, így a legjellemzőbb növénytársulása a montán bükkös (Aconito – Fagetum). Mint az az 1. ábrán is jól látszik, a terület vegetációval sűrűn borított, erdőszült, vad és erdőgazdálkodás szempontjából kiemelkedően kedvező térségben található. A terület a Magas-Mátra vagy Központi-Mátra kistájhoz tartozik, flórája montán elemekben kiemelkedően gazdag. Az őshonos fákon kívül a Mátra területén főleg az erdősegek szélén, az utak, villanyvezetékek, irtások mentén megjelentek az adventív vagy jövevényfajok. Ezek a vizsgált területre szándékosan, betelepítés, akaratlan behurcolás által vagy spontán bevándorlás révén bekerült nem őshonos növényfajok.

4. A felhasznált légifelvétel

Vizsgálatomhoz hat különböző felbontásúra redukált légifelvételt használtam: 100 cm, 50 cm, 30, cm, 20 cm, 10 cm és 5 cm. A felvételek az Interspect Kutatócsoport 2011 szeptemberében elvégzett Kékestető légi felméréséből származnak. A felvétel készítő kamera egy Cessna 182 E Skylane repülőgépen elhelyezett, az Interspect kutatócsoport által fejlesztett INTERSPECT IS 4 kalibrált mérőkamera. A mérőkamera RGB (kék 400-600 nm, vörös 600 – 670 nm és zöld 500-570 nm) feje 60 megapixeles képfelbontással dolgozott (Bakó – Molnár 2012).

Az ortofotók eredetileg 5 cm terepi felbontásúak (M=1:600 méretarányúak). Az Interspect Csoport 2006-óta folytatott, „A távérzékelési állományok kiértékelési pontosságának felbontás függése” című kutatási projektjébe kapcsolódtam be. A vizsgálat első fázisa adott mintaterületen, azonos körülmények között, azonos képi minőségben készült ortofotók, különböző terepi felbontással történő interpretálásán alapul az elemzési torzítás, a nem megfelelő képrészletességből adódó kiértékelési hibák, a szubjektív hatások megismerése érdekében (Bakó 2010).

A vizsgálat során arra voltam kíváncsi, hogy különböző terepi felbontásnál mennyivel javul a pontos vegetációtérképezés lehetősége, ezért az elemzést (vizuális interpretációt) a kis felbontású ortofotóktól a nagyobb felbontás felé végeztem el. A mintaterületet lefedő ortofotók alakját a kitettség, a domborzati viszonyok határozzák meg.



2. ábra Az egyik ortofotó a mintaterületről. A domborzat változatossága a felvétel szélein is megfigyelhető.

5. A felhasznált űrfelvételek

A NASA és az Amerikai Belügyminisztérium által közösen indított programot 1967-ben kezdték kidolgozni, 1972-ben pedig már Földkörüli pályára állították első műholdját, az ERST 1-et. Ez volt az első távirányítású műhold, amely a Föld felszínéről szisztematikus, megismételhető és többszori képet szolgáltatott. 1975-ben a második hold indítása előtt változtatták a nevét Landsat-ra (Land Observation Satellite). Jelenleg a programot az Amerikai Földrajzi Kutatóintézet (USGS) és az Amerikai Űrügynökség (NASA) együttesen működteti.

A legújabb Landsat 7 műhold érzékelője az ún. ETC+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) berendezés, amely már nyolc színképsávban érzékel, illetve a pánkromatikus felvételek geometriai felbontása 15x15 méter, a hat látható és közeli infravörös képeké 30x30 méter, míg a hőinfravörös képek felbontása 60x60 méter. A rendelkezésemre álló űrfelvétel készítési időpontja 2005. szeptember 3.

A TM 321 (RGB) sávkombináció olyan valós színes sávkompozíció, amely természetű képet ad.

A TM 453 sávkombináció úgynevezett hamis színes kompozíció a közeli infravörös, a középső infravörös, és a látható vörös fény segítségével állítható elő. Tavak, folyók pontos lehatárolása, a nedvességtartalom meghatározása, talaj és vegetáció állapotának vizsgálatára kiválóan alkalmazható (Mucci L. 1995).

A Landsat műholdprogram előretöréseit látva a francia kormány 1978-ban határozta el az önálló erőforráskutató műhold kifejlesztését, amely programba később Svédország és Belgium is csatlakozott. Az első SPOT (Systeme Probatoire de l'Observation de la Terre) mesterséges holdat 1986-ban indították útjára. Legújabb jelentős fejlesztéseket magába foglaló tagja a SPOT 5, melyet 2002 májusában került pályára. A rendszer működtetője a Francia Űrügynökség (CNES). 832 km-es, közel poláris pályán keringő műhold időbeli felbontása 26 nap.

A SPOT 4 műhold által, 2002 augusztusában készített felvételek álltak rendelkezésemre. A műholdon elhelyezett HRVIR (High Resolution Visible and InfraRed) szkennel multispektrális módban 20x20 méter terepi felbontással rendelkezik (Lóki J. 1996).

6. Eredmények

A vizsgálat során az egyedek külső lombkoronájának kiterjedését tanulmányoztam. A területen lévő fafajok és a velük szoros kapcsolatban álló vegetáció típusainak elkülönítését a köztük lévő különbségek határozzák meg (Bácsatyai L. 1992).

Például:

- fakorona alakja
- fakorona mérete
- viszonylagos mérete
- fakorona durva és finomszerkezete
- mintázat, textúra
- árnyékok
- szín

A vizuális interpretációt ArcMap szoftverrel végeztem. A szubjektívítés csökkentése érdekében a vizsgálathoz elengedhetetlen, hogy a legkisebb részletességű felvétellel kezdjük a kiértékelést, így én a 100 cm-es felbontással kezdtem a vizsgálatot. A különböző felbontású felvételeken végzett vektorizálás eredményeként a következő megállapításra jutottam:

Első felbontási szint – 100 cm:

Már a legnagyobb kiterjedésű lombkoronák meghatározásánál nehézségekbe ütköztem. Nehezen elkülöníthető a fák lombkoronája, a vizuális kiértékelést nagyban befolyásolja a kiértékelő szubjektív döntése. Az egyedek elkülönítése illetve a növényzeti meghatározása nem lehetséges, csupán facsoportok ismerhetők fel ennél a részletességnél.

Második felbontási szint – 50 cm:

Ezen felbontási szinten az egyedek már jobban lehatárolhatóak, de a vegetációval sűrűn borított területen, ott ahol az egyedek borítása nagyobb, jobban záródik a felső lombkoronaszint, az egyedek lehatárolása még mindig nem biztosítható.

Harmadik felbontási szint - 30 cm:

Az egyedek külső lombkoronájának lehatárolása már könnyebb feladat a 30 cm-es felbontás mellett. Az egyedek színének eltérései már jól láthatóak a felvételeken, de azok még mindig nem különíthetők el egymástól biztonságosan, hiszen nagyobb felbontásnál újabb egyedek bontakoznak ki a felső lombkoronaszintben.

Negyedik felbontási szint - 20 cm:

A felbontás növekedésével, a terület részletes megismerésével fokozatosan javul a kapott eredmény. Az árnyékok okozta tévedések már

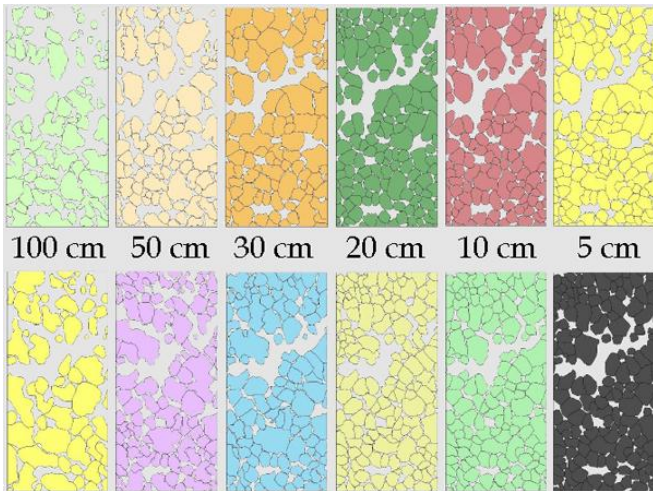
jobban kiszűrhetőek, ennél a felbontásnál már jelentősen csökken a tévesen megrajzolt vektorelemek száma.

Ötödik felbontási szint - 10 cm:

Ez a felbontási szint már alkalmas a területen lévő felső lombkoronaszinti fajok meghatározására. A legfelső lombkoronaszint már jobban elkülönül az alsó lombkorona szintektől, így az egyedek legfelső lombkorona kerülete jól rögzíthető.

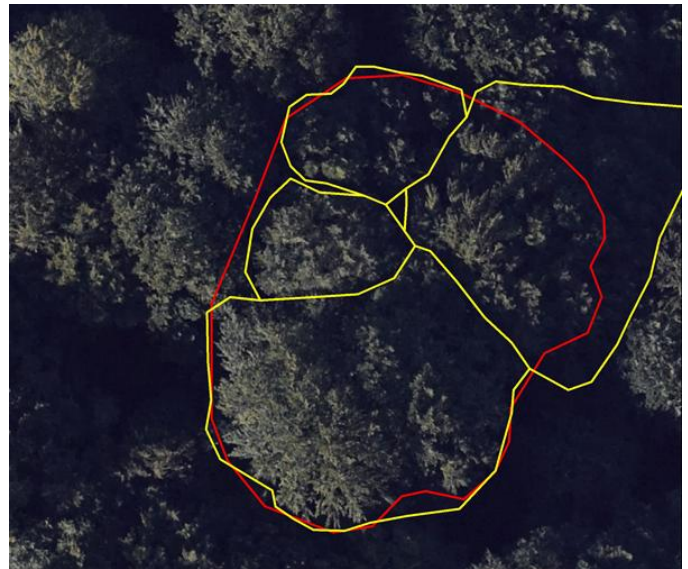
Hatodik felbontási szint - 5 cm:

Az egyedeket pontosan és problémamentesen le lehet határolni. A leveleken mutatkozó eltéréseket, mint például a szín elváltozását, levelek, ágak leszáradását már jól nyomon lehet követni. A nagyobb lombkoronák lehatárolásának pontossága nem javul jelentős mértékben az előző szinthez képest.

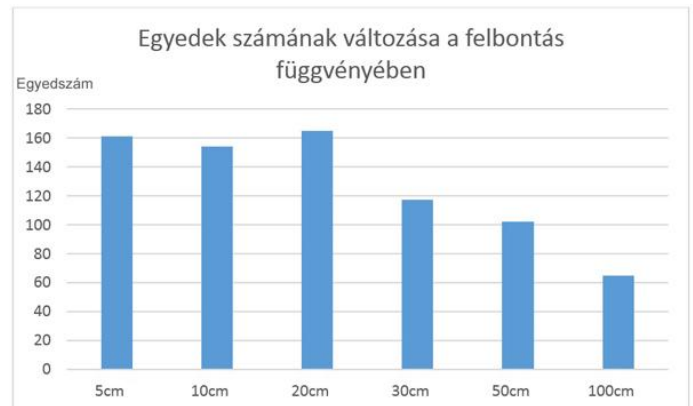


3. ábra Két ortofotó elemzési eredménye közönséges bükk (*Fagus sylvatica*) lombkoronáira, az ortofotók különböző terepi felbontású változatairól

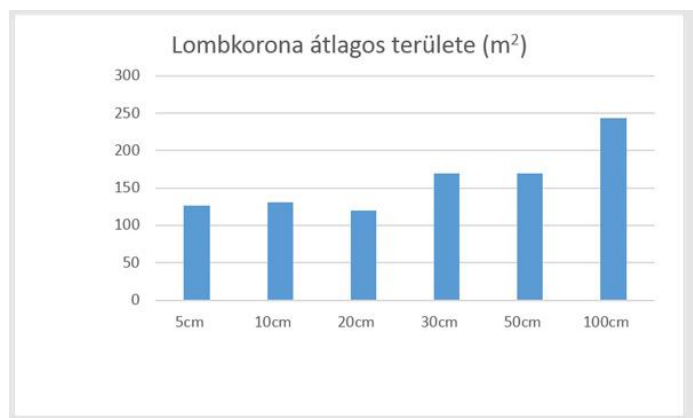
Mint a harmadik ábrán is jól látható, az egyedek felismerhetősége és pontos térképezése a felbontás növekedésével jelentősen javul. A legkisebb felbontáson az egyedek több mint fele egy másik egyedhez került besorolásra. Egyértelműen megállapítható, hogy a fás szárú vegetációtérképezés számára a felbontási szintek közül a 20 cm terepi felbontású ortofotó az, amely a leggazdaságosabban elkészíthető, és még elegendő a felbontása a pontos felső lombkoronaszinti erdőgazdasági adatbázis levezetéséhez.



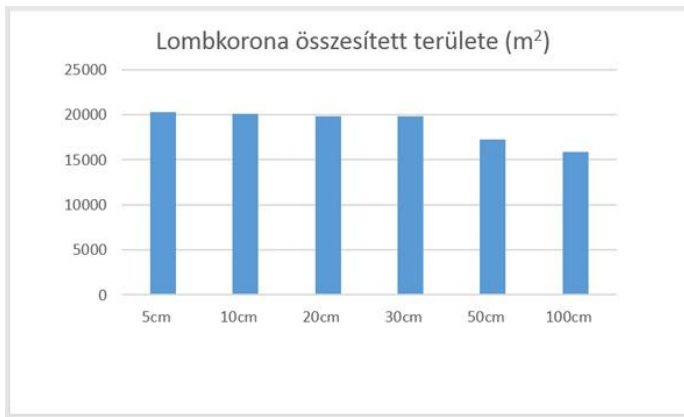
4. ábra A legkisebb, 100 cm-es felbontás mellett (piros határoló vonal) a több egyedből álló fát egy faként digitalizáltam, míg 5 cm-es felbontás mellett (sárga határoló vonal) kiderült, hogy valójában ezt a területet legalább négy különálló egyed fedi le.



5. ábra Egyedek számának változása a felbontás függvényében



6. ábra Az átlagos lombkorona területét a fák egyenkénti lombkorona területének átlagolása után kaptam meg.



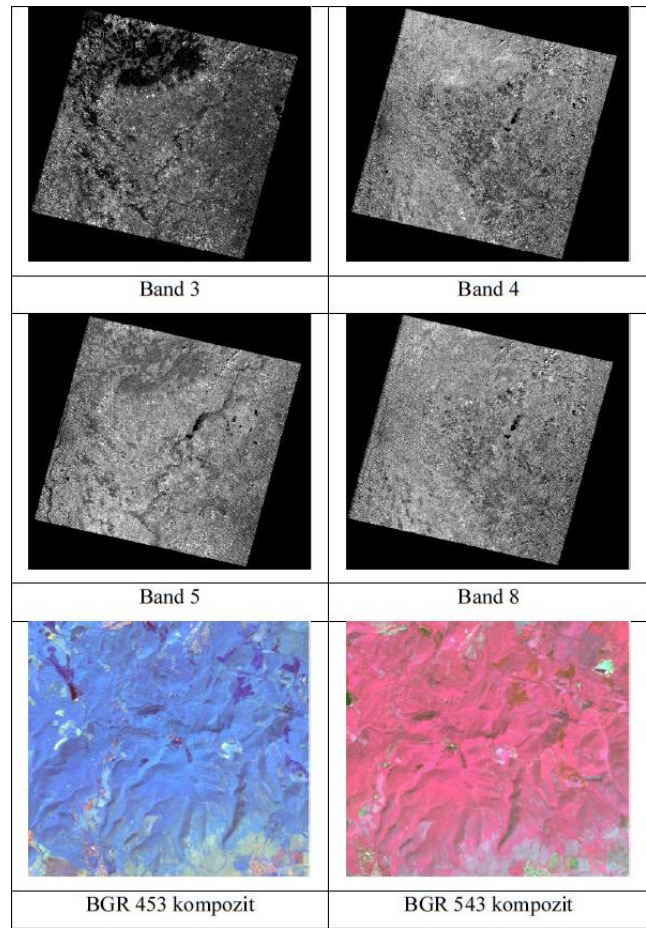
7. ábra Az összesített lombkorona terület az összes egyed lombkoronájának területi kiterjedése.

Egyértelműen látszik, hogy az egyedek területi kiterjedése egyenes arányosságban áll a területen felismert egyedek számával. Emellett szembetűnő az is, hogy a felbontás növelésével fokozatosan növekszik az egyedek által lehatárolt terület a kiértékelési térképen. Ez származhat abból is, hogy a kisebb felbontásnál az fához tartozó ágat tévesen árnyéknak interpretáltam, így nem került digitalizálásra. Ennek a mintaterületnek az esetében 30 cm terepi részletesség is elegendő lehet a számunkra, amennyiben a faji összetétel és az egyes egyedek pontos borítása nem releváns információ a számunkra.

Az egyedek lombkoronájának ortofotónkénti átlagos területe fordítottan arányos az egyedek számával, és értéke folyamatos csökkenést mutat a felbontási szint növelésével. Ez az információ szintén fontos egy erdővédelmi, gazdálkodási, környezetinformációs rendszer elkészítésekor, így ismét megállapítás nyer a 20 cm terepi felbontás határterület jellege.

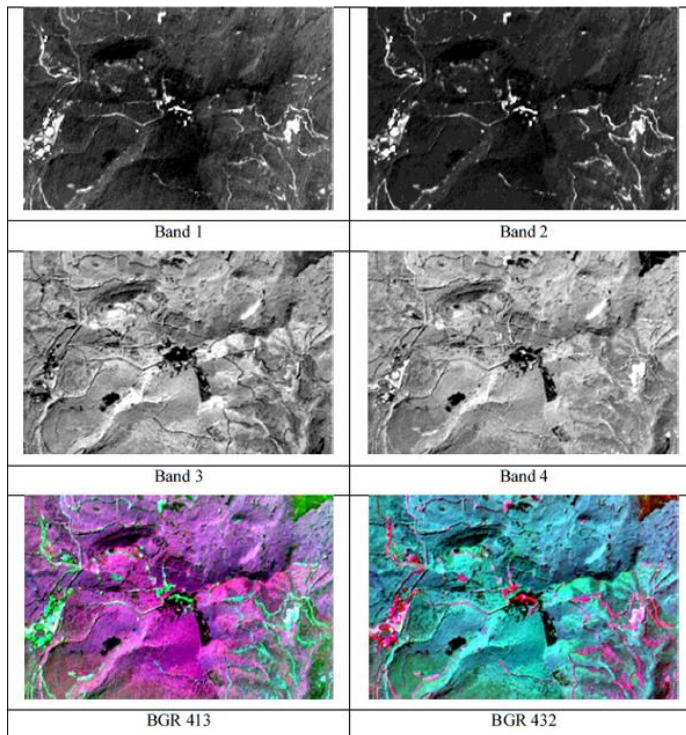
A vizsgálat elvégzése során voltak kiugró eltérések, például egy egyed lombkorona területének meghatározása során. Ez különösen a két különböző képállásból rögzített felvételek perspektív nézőpontjából adódik, de a lombkorona terület felvételen belül is változatos képet mutat.

Az űrfelvételek elemzése során az Idrisi 15.0 The Andes Edition szoftverrel dolgoztam. A következő ábrán a 1998-ban készült Landsat ETM+ színekészítékében készült felvétel szürkeárnyalatos megjelenítését, és két kompozit, a BGR 453 és BGR 543 összehasonlítását szemléltetem. A BGR 453 hamis színes kompozit, mely legjobban alkalmas a vegetációvizsgálatra. A képen jól látszik, hogy a felvétel geometriai felbontása jóval kisebb az eddig tárgyalt légfelvételeknél, mindössze 30 m.



8. ábra Landsat 7 színekészítékében készült felvételek és kompozitok összehasonlítása

Hasonló elemzést végeztem a SPOT 4 műhold által készített felvételekkel. A felvételek felbontása már jobb a Landsat felvételnél, 20x20 m terepi felbontást jelent. Megállapítható, hogy a BGR 413 kompozit ebben az ideális esetben alkalmas a vegetációban az eltérő fajok vizsgálatára, a Kékestetőtől délre eső fenyő társulás jól különbözik az őt körülvevő montán bükkfőtől. A BGR 432 kompozit is legjobban vegetációtérképezésre, illetve mesterségesen létrehozott utak, építmények elkülönítésére alkalmas.



9. ábra A SPOT 4 műhold színeképsávjai

Megállapítható, hogy minél kisebb felbontással dolgozunk, annál több hibaforrást kell kiköszöböltünk a vizsgálatunk elvégzése során. Amennyiben a fajok meghatározására is szükség van, a 10 és az 5 cm-es terepi felbontású felmérést javasolom.

Vizsgálataim során arra voltam kíváncsi, hogy az eltérő részletességű ortofotók hogyan befolyásolják a vegetációtérképezés eredményét, illetve megpróbáltam választ találni arra a kérdésre, hogy milyen pontosságú ortofotó szükséges egy vegetációval sűrűn borított területen a fajok minél pontosabb felismeréséhez és az adott terület vegetációs adatbázisának létrehozásához. Végeredményként elmondható, hogy egy ökológiailag pontos térképezés szempontjából a 10 cm-es vagy annál nagyobb légifelvételekre van szükség. Az erdőgazdasági feladatokat leggyakrabban a 20 cm terepi felbontás segíti elő, mert itt már elég pontosan elkülönülnek a lombkoronák, amennyibe a felvétel minősége ezt megengedi.

A kutatásom során úgy tapasztaltam, hogy további spektrális csatornák bevonása az űrfelvételek esetében a kellő felbontás hiányában nem javította a lombkoronák elválaszthatóságát. A spektrális kiterjesztés a közel egységes vegetációfoltok indexeinek kiszámítását segíti, információt nyújt a területet borító össz növényzet bizonyos ökofiziológiai paramétereire, tömegességére, sűrűségére, életképességére vonatkozóan, de a vegetációtérképezést nem teszi részletesebbé.

A vizsgálatom nem terjedt ki a légi felmérés spektrális felbontás vizsgálatára, a légifelvétel infravörös csatornáit nem alkalmaztam. A terület részletes megismerése után a következő feladat a felvételek különböző spektrumú csatornáinak vizsgálata, ugyanazon területről, ugyanolyan szempontok alapján. Az így kapott különböző spektrális felbontású statisztikai eredmény összevetése, kiértékelése további kutatási feladat.

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, dr. Szabó Gergely adjunktusnak a Debreceni Egyetemen töltött éveim alatti folyamatos segítőkészségét, bátorítását és építő jellegű kritikáját. Köszönöm Bakó Gábornak, és az Interspect.Kft-nek, hogy a kutatásban részt vehettem. Köszönettel tartozom Standavár Tibornak (ELTE Biológia Doktori Iskola), hogy a rendelkezésünkre bocsátotta terepi vizsgálatainak eredményét a mintaterület vonatkozásában, amely segítségemre volt az egyedek faji szintű beazonosításában.

Ajánlott irodalom:

Bakó G. 2010: Multispektrális felvételek alapján készülő tematikus térképek minősége, a terepi felbontás és a képminőség függvényében - Tájökológiai Lapok 8 (3): 1–00 (2010) pp. 507-522

Bakó G. 2013: Vegetációtérképezés nagyfelbontású valószínűségi- és multispektrális légifelvételek alapján – Kitaibelia XVIII. évf. 1-2. szám pp.: 152–160. Debrecen 2013.

Bakó G., Molnár Zs. 2012: Új magyar fejlesztésű szenzorok a légi földmegfigyelés szolgálatában – Egy légi tesztsorozat fázisai - AERO XIV. 2012/2. február pp. 20-21

Balla Cs. et al. 1998: Magyarország légi felmérése, Budapest, Országos műszaki fejlettségi bizottság, p. 123

Baráz Cs. – Dudás Gy. – Holló S. – Szuromi L. – Vojtkó A. 2010: A Mátrai Tájvédelmi Körzet, Bükk Nemzeti Park Igazgatóság, Eger, p. 150-153

Bán I. 2003: Remote sensing in nature, Budapest Letter-Print, p. 174

Detrekői Á.- Szabó Gy. 1995: Bevezetés a térinformatikába, Nemzeti Tankönyvkiadó, p. 250

Detrekői Á.- Szabó Gy. 2007: Térinformatika, Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt., p. 380

Dr. Bácsatyai L.- Márkus I. 1992: Fotogrammetria és távérzékelés, Jegyzet az Erdőmérnöki Kar hallgatói számára. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, p. 163

Dr. Lóki J. 1996: Távérzékelés. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, p. 113

Kristóf D. – Belényesi M. 2011: Monitoring távérzékeléssel alapok, Szent István Egyetem Kiadó, p. 95

Licskó B.: Útmutató a távérzékelési módszerek alkalmazására a meliorációs kiviteli tervezésben. FÖMI, Budapest, 1990.

Martonné Erdős K.2006: Magyarország természeti földrajza 1, Debreceni Egyetem Kossuth Egyetemi Kiadója, pp. 70-75

Mihály B. – Dukát Z. 2004: Özönnövények, Biológiai inváziók Magyarországon, Természetbúvár Alapítvány K., p. 408

Mucsi L. 1995: Műholdas távérzékelés és digitális képfeldolgozás I., Szeged JATE Press, p. 172

Szabó G. 2006: Kartográfiai és térinformatikai módszerek pontosságának földrajzi szempontú vizsgálata, Debrecen p. 143

Tikász E. - Dr. Krauter A. - Dr. Ugrin N. - Csornai G. 1995: A digitális térkép geometriai alapjai. Szakközépiskolai jegyzet. Bp.