

Eltérő szerkezetű erdőállományok lehatárolása légifelvétel alapján, objektum-alapú módszerekkel

Tanács Eszter

*SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék,
6722 Szeged, Egyetem u. 2.*

email: nadragulya@geo.u-szeged.hu

Összefoglaló: A Haragistya-Lófej erdőrezervátum területén végzett vizsgálat célja az volt, hogy objektum-alapú módszerekkel, távérzékelt adatok segítségével erdőszerkezeti szempontból eltérő területeket határoljak le, illetve a létrejött csoportok létjogosultságát terepi adatokkal igazoljam. A kutatás során egy UltraCam D légifelvétel képi jellemzői alapján eCognition szoftver segítségével heterogén, illetve homogén részleteket különítettem el, és ezeket a terepi mérések alapján statisztikai módszerekkel kialakított csoportokkal vettem össze. A tisztán távérzékelt adatok segítségével az erdőszerkezeti heterogenitás leírása céljából létrehozott két csoport összefüggést mutat a terepi mérések alapján számított szerkezeti jellemzők, illetve az üzemtervi kor, és a termőhely/fafajösszetétel alapján kialakított csoportok között. A csoportokat legjobban elkülönítő változók a nagy fák száma, az állománymagasság, a törzsátmérő szórás és a fajszám, ezek alapján a mintapontok 75,6%-os pontossággal sorolhatóak be a képi jellemzők alapján kapott „homogén” és „heterogén” csoportokba.

Kulcsszavak: erdőszerkezet, erdőállomány-lehatárolás, objektum-alapú képelemzés, távérzékelés

Bevezetés

Az Európai Bizottság 2011-es Biodiverzitás stratégiája célul tűzte ki, hogy 2014-re az EU tagországok feltérképezzék és értékeljék a területükön található ökoszisztémák és szolgáltatásaik állapotát, felmérjék e szolgáltatások gazdasági értékét, és 2020-ig előmozdítsák ezen értékeknek az uniós és a nemzeti szintű számviteli és jelentéstételi rendszerekbe történő beépítését (EC 2011), így nagy jelentősége van a megfelelő felbontású területhasználati térképeknek. A különböző táji szintű vizsgálatoknál (pl. zöldfolyosó-tervezés, területi alapú ökoszisztéma szolgáltatás értékelő rendszerek) az erdőket többnyire egyöntetűen nagy természetességű, homogén területhasználati formaként kezelik (pl. Burkhard *et al.* 2009), fajösszetételüktől, struktúrájuktól, természetességüktől függetlenül. Ugyanakkor egyes nehezen számszerűsíthető szolgáltatások esetében (pl. élőhely funkció) egyértelműen kimutatható, hogy a heterogén szerkezetű, természet-közeli erdők kedvezőbbek (pl. Paillet *et al.* 2010, Bereczki *et al.* 2014, stb.). Más szolgáltatások, például a szén-megkötés esetében pedig a kérdés nyitott, de valószínűsíthető, hogy a differenciálás segítené a pontosabb becslések előállítását.

A faállomány-szerkezet részben, mint könnyen mérhető helyettesítő tényező, részben pedig, mint a biodiverzitás okait és forrásait magyarázó tényező jöhet számba egy erdei ökoszisztémában (Franklin 1988, Spies 1998). A Bartha *et al.* (2005) által kidolgozott, erdőrézlet szintű természetességi érték számításánál például a faállomány (a holtfát is ideértve) sajátosságai teszik ki a pontérték közel felét. Az utólagos regressziós vizsgálat alapján azonban a faállomány összetétele, struktúrája és a holtfa együttesen 97%-ban magyarázta a természetességi mutató varianciáját (Ódor 2005). Bár egy esetleges beavatkozás az erdei ökoszisztéma valamennyi komponensét befolyásolja, elsősorban a szerkezetre irányul (Bartha *et al.* 2006), melyet állomány szintjén közvetlenül és gyorsan képes alakítani. A beavatkozásoknak a szerkezetre gyakorolt hatása könnyebben és gyorsabban felmérhető, esetleg modellezhető, mint az érintett állat-, illetve növénypopulációkra gyakorolt közvetett hatás (McElhinny *et al.* 2005). Ugyanakkor nagy területeken az erdőszerkezet részletes felmérése idő- és forrásigényes feladat, emiatt szükséges lehet távérzékelt adatok bevonása az elemzésbe. Ezek ugyan teljes mértékben soha nem helyettesíthetik a terepi méréseket, azonban bizonyos méréseket kiválthatnak, illetve fontos szerepük lehet a mintázás megtervezésénél.

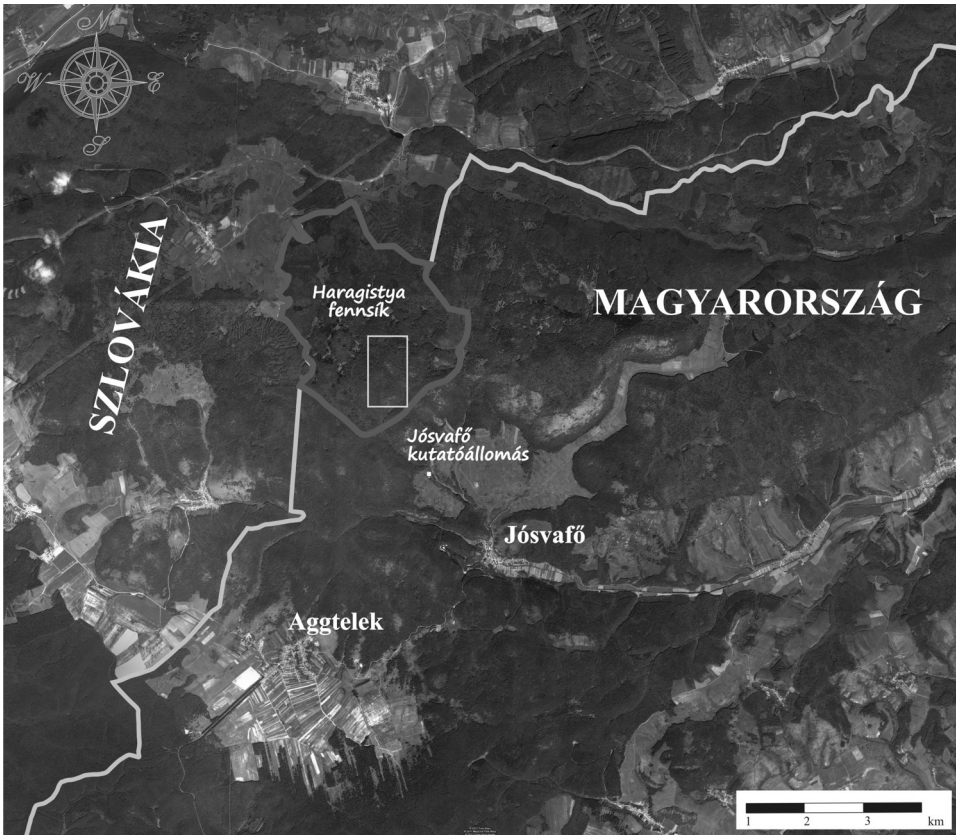
A nagy területre kiterjedő vegetáció-térképezés és monitoring egyik alapfeltétele a távérzékelt adatok használatának egyre szélesebb körben történő elterjedése volt (Blaschke 2011). Mivel az adatok felbontása mára elérte, sőt jelentősen meghaladta a vizsgált objektumok mérettartományát, szükségessé vált az objektum-alapú megközelítés. A pixelek csoportosításával létrejövő szegmensek többletinformációt hordoznak, és lehetővé teszik különböző térléptékű objektumok egyidejű figyelembe vételét (Blaschke 2010). Bár az objektum-alapú elemzés hazánkban is egyre inkább teret nyer (pl. Kristóf 2005, Cserhalmi 2009, László *et al.* 2011, Burai *et al.* 2015), a hazai szakirodalomban még viszonylag kevés példa van erdőterületek szerkezeti jellemzőinek objektum-alapú térképezésére (ilyen pl. Kollár *et al.* 2011). A gyakorlati alkalmazás szempontjából nagy területek vizsgálatakor jelentősége van az elemzés elvégzéséhez szükséges adat elérhetőségének, előállíthatóságának is.

Jelen vizsgálat célja a változatos méretbeli jellemzőkkel rendelkező, változatos fafajösszetételű, vertikálisan tagolt, nagyméretű egyedeket és holtfát is magában foglaló állományok távérzékelt adatok alapján történő lehatárolása, azonosítása volt, illetve ezek elválasztása a szerkezeti szempontból kevésbé változatos erdők-től. Fontos szempont volt, hogy ez egyszerű és viszonylag olcsón hozzáférhető adat felhasználásával történjen. A létrejött csoportok értelmezése, ellenőrzése terepi felmérésből származó adatokon alapul.

Módszerek

A mintaterület bemutatása

A Haragistya-Lófej erdőrezervátum az Aggteleki Nemzeti Park szigorúan védett „A” zónájának az országhatár által körbeölelt csücskében található (1. ábra). A terület a nagyobb részben Szlovákiához tartozó Szilicei-fennsík része, 400–600 m tengerszint feletti magasságon, igen változatos mikrodomborzattal. A tetőkön és az északias kitétségű lejtőkön gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (*Carici pilosae-Carpinetum*), az alacsonyabb tetőkön és délies lejtőkön xerotherm tölgyesek találhatóak, a mélyebb talajokon a cseres-kocsánytalan tölgyes (*Quercetum petraea-cerris*), a meredek lejtők felső harmadában a dús cserjeszintű melegkedvelő tölgyes (*Corno-Quercetum pubescenti-petraeae*). Szubmontán bükkösök (*Melitti-Fagetum*) kisebb, extrazonális helyzetű foltokban fordulnak elő, északi



1. ábra. A mintaterület (téglalap) elhelyezkedése.

lejtőkön, völgyek alján. Kisebb foltokban (nagyobb töbrök meredek oldalain) jelennek meg a hársas-kőrisedek (*Tilio-Fraxinetum excelsioris*). A teljes képhez hozzátartoznak a kisebb-nagyobb irtásrétek is. Üzemtervi adatok alapján a mintaterületet lefedő erdőrészeket kora 60-100 év között mozog, felújításuk nagyrészt természetes úton, sarjról történt. Az erdőrészeket egy részében az 1930-as évek óta nincs adat beavatkozásról, a terület nagy részén az 1960-as években végeztek utoljára gyéritéseket.

A vizsgálat alapjául szolgáló részletes faállomány-szerkezeti felmérések egy kisebb, 90 ha-os mintaterületen (EOV: 758950, 353700; 759650, 352550) zajlottak 2006 áprilisától 2007 novemberéig. A terület déli része a rezervátum védőzónájába, északi fele pedig a magterületére esik. A védőzóna erdői fiatalabb, szerkezet szempontjából többnyire kevésbé természetes, sarjeredetű állományok, döntően tölgyesek. Az északi rész erdői jellemzően változatosabbak, mind fafajösszetételüket, mind szerkezetüket tekintve, itt nagyobb arányban találhatóak üde erdők, gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és bükkösök.

Felhasznált adatok

Távérzékelte adatként egy 2007. szeptemberi UltraCam D légi felvételt használtam, amely 4 sávú (látható vörös, zöld, kék és közeli infravörös), terepi felbontása 0,53 cm. A felvételen ránézésre jól elkülöníthetőek nagyobb koronákkal jellemezhető, képi jellemzők szempontjából heterogénebb foltok, főleg a völgyek bükköseiben, és az északi rész idősebb erdőiben. A kép készítésének időpontjában egy aszályos nyarat követően a fák egy részénél már lombkorona-vesztés, illetve elszíneződés következett be.

Referenciaként 361 db 50 m-es rácshálóban 2006–2007-ben felvett terepi mintapont állományszerkezeti adatait alkalmaztam. 10 m sugarú állandósított mintakörben rögzítettük az 5 cm-nél nagyobb mellmagassági átmérőjű fásszárúak pozícióját, fajtát, mellmagassági átmérőjét, szociális helyzetét, és egyéb jellemzőit (Tanács & Keveiné Bárány 2012).

Ezekből az alábbi adatokat, illetve mutatókat használtam fel az elemzés során: a mintapontban felmért összes (élő és álló holt) fára vonatkozó: fajsám (db), Shannon index, mellmagassági átmérő átlag, szórás és relatív szórás, törzsszám (db/ha), legközelebbi szomszéd mutató (NNI); állománymagasság (m); szintek száma (a mintaponton rögzített szociális helyzetek száma alapján a vertikális rétegzettségre utal, a cserjeszint is beleszámít); az élő fák körlapösszege (m^2/ha); az álló holt fák körlapösszege (m^2/ha), aránya a teljes körlapösszegeből; hektáronkénti teljes fatérfogat (álló és fekvő holtfa, élő fák) (m^3/ha); a 30 cm-t meghaladó mellmagassági átmérőjű fák száma a mintapont környezetében (db). 71 mintapontra rendelkezésre álltak halszemoptikás fotón mért záródás értékek is.

A szabályos háló miatt a mintakörök egy része adott csoportosítás szempontjából nem besorolható, mivel részlet, vagy társuláshatárra esik.

Módszer

A légifotó alapján eCognition szoftver segítségével objektum-orientált eljárással hoztam létre kettős osztályozást (ld. Eredmények fejezet). Az értékelés során a terepi mintavételi pontok adatai alapján kontingenciatáblák és X^2 próba segítségével vizsgáltam meg az így létrehozott „homogén” és „heterogén” elnevezésű kategóriák kapcsolatát egyéb kategória-változókkal: az állományok üzemtervi korával (80 évnél fiatalabb, illetve idősebb), az erdőtípussal (száraz és üde tölgyesek, bükkösök), és végül a hierarchikus klaszteranalízissel létrehozott szerkezeti csoportokkal. Diszkriminancia analízis segítségével azt is kielemeztem, hogy a faállományok terepen felvett adatai segítségével mennyire jól választható szét a két kategória, és melyek azok a jellemzők, amik a leginkább összefüggésbe hozhatóak ezekkel. Mann-Whitney U teszt segítségével vizsgáltam, hogy kimutatható-e a terepen készített halszemoptikás fotón mért záródás értékeiben különbség a „homogén” (38 pont) és a „heterogén” (33 pont) kategóriák között.

A referencia szerkezeti csoportok előállítását a következőképpen történt. Az adatok transzformációja (Blom-féle normal score transzformáció) után egy faktoranalízis eredményeképpen 7 faktor állt elő, amelyek a variancia 92,9 %-át írják le. Kiszámításuk az Anderson-Rubin módszerrel történt, ami normál eloszlású, korrelálatlan változókat hoz létre. Ezután a faktorokra elvégzett hierarchikus klaszteranalízissel 3 csoportra bontottam a mintapontokat (módszer: average linkage between groups távolságmérték: cosinus). A csoportok szétválaszthatósága a faktorokkal elvégzett diszkriminancia analízis alapján 85,6%-os, és a következőképpen írhatóak le:

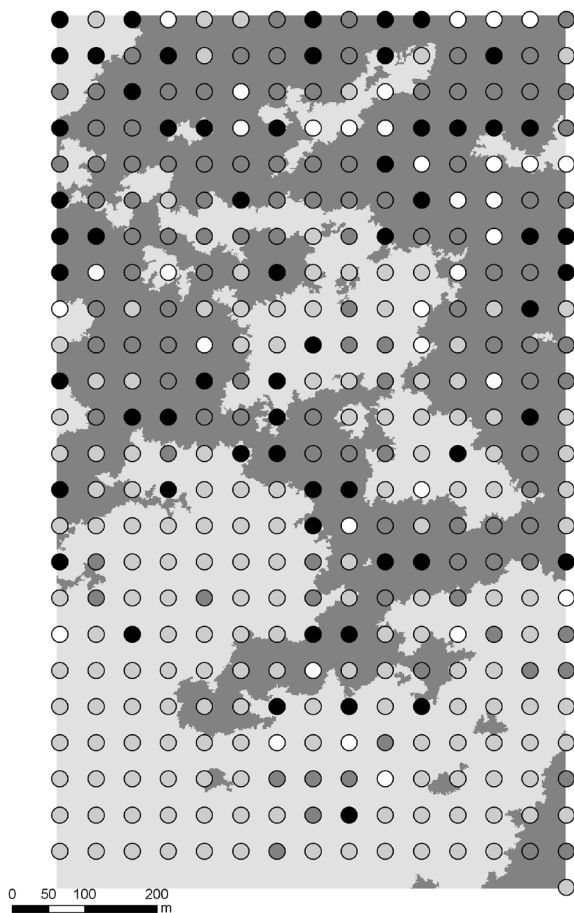
1-es: fiatal erdők, főleg (száraz) tölgyesek, fajösszetétel szempontjából kevésbé változatosak, a többi csoporthoz képest magas törzsszámmal (átlag 1212 db/ha) jellemezhetőek, színtezetek (különösen a fejlett cserjeszint miatt), a jellemző körlepősszeg a másik két csoporthoz viszonyítva közepes (28,5 m²/ha), a sarjcsokrok miatt a leginkább aggregáltak. Az átmérő szórás (7,2) és az állománymagasság (15 m) alacsony értékekkel jellemezhető.

2-es: idősebb, jellemzően üde erdők, főleg bükkösök, a fajösszetételük kevésbé változatos, a törzsszám alacsony (804 db/ha), az átlagos mellmagassági átmérő (21 cm) és az átmérő szórása (11,4) nagy. A színtezettség közepes, az élő fák körlepősszege a legmagasabb (31,7 m²/ha), az álló holtfák aránya alacsony (4,45%), és jellemzően magas állományok (átlag 19,6 m).

3-as: vegyes korú, inkább üde erdők, a 2-es csoporthoz hasonló jellemzőkkel, de változatosabb fajösszetétellel, és több álló holtfával (az arány 14,1%). A legin-

kább természetesnek, illetve heterogénnek tekinthető csoport, de kevés mintapont esik ebbe a kategóriába, és a területen elszórtan helyezkednek el (2. ábra).

Azok a pontok, ahol egyáltalán nem esett a mintakörbe álló holtfa, az elemzésben nem kerültek besorolásra, részben technikai, részben koncepcionális okokból.



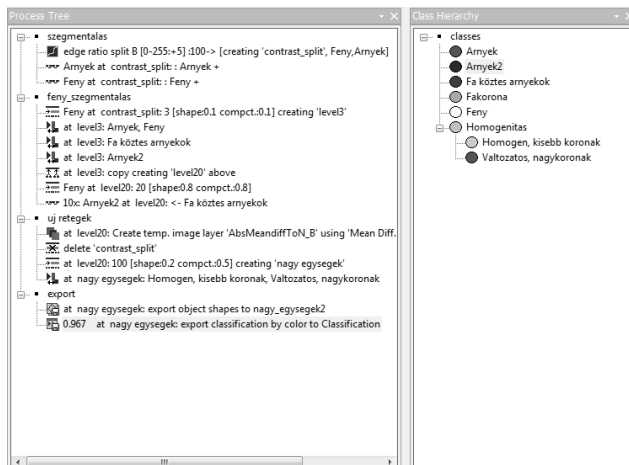
2. ábra. A faállomány-szerkezeti jellemzőkön végzett hierarchikus klaszteranalízissel létrehozott csoportok (1. Sűrű, homogén, főleg fiatalabb tölgyes állományok: világosszürke, 2. Idősebb, változatosabb, de fajban szegényebb főleg üde erdők: szürke, 3. Változatos fajösszetételű és szerkezetű foltok: fekete; a fehér szín a nem besorolható pontokat jelzi) térbeli elhelyezkedése. Háttérben a képi jellemzők alapján létrehozott csoportok (világosszürke: homogén, kisebb koronák; szürke: változatos, nagyobb koronák).

Eredmények

Az árnyékos („Árnyék”) és napsütötte („Fény”) foltok elkülönítése a látható vörös sávban pixel szinten 100-as felbontású chessboard alapon contrast split szegmentáció segítségével történt, a két osztályt utána összevontam, és a Fény osztályt továbbszegmentáltam (scale = 3, shape: 0,1 compactness: 0,1). A lombkoronák közötti árnyékokat ezen a szinten egy, az NDVI-hez hasonló módon számított, de a látható kék tartományt felhasználó mutató segítségével, küszöbértékkel különítettem el. Ezt követően a Fény objektumokat egy magasabb szinten újraszegmentáltam, az alak és a kompaktság előtérbe helyezésével (scale: 20 shape: 0,8 compactness: 0,8) így hozzávetőleges fakoronákat, illetve koronarészeket kaptam.

Ez a szint már alkalmas volt arra, hogy olyan tulajdonságot állítsak elő, aminek segítségével megkülönböztethetőek a heterogénebb foltok. A leginkább alkalmasnak a látható vörös sávban a szomszédos objektumokhoz való átlagos különbség abszolút értéke bizonyult, mivel a heterogén foltokban az árnyékoság miatt magasabb értékeket ad. Ebből létrehoztam egy ideiglenes réteget, amit a legfelső szint (scale: 100, shape: 0,2 compactness: 0,5) objektumainak előállításához használtam fel.

Az osztályozás a Fény és Árnyék alobjektumok aránya alapján, egyszerű küszöbértékkel történt; ahol a Fény (tehát a napsütötte koronák) területi aránya meghaladta a 70%-ot, azok egy homogénebb, kisebb koronákkal leírható csoportba kerültek, a többi objektum pedig egy heterogénebb, jellemzően nagyobb koronákkal leírható csoportba (3. ábra).



3. ábra. A légifotó felhasználásával objektum-alapú módszerrel létrehozott csoportok és a szabályrendszer.

Az osztályozás a vizuális ellenőrzés és a terület ismerete alapján is valóságghú eredményt ad. A hibák (pl. a déli részen jelentkező kisebb foltok) elsősorban az irtásrétegekhez kötődnek, amelyek külön osztályozása lehet szükséges az elemzés kezdeti szakaszában.

A X^2 próbák alapján valamennyi vizsgált kategóriaváltozó szignifikáns összefüggést (minden esetben $p = 0,00$) mutat a képi jellemzők alapján létrehozott csoportokkal. Az erdőtípusokkal való kapcsolat egyértelmű, a vertikálisan homogén, kisebb koronákkal jellemezhető csoport főleg a száraz tölgyeseket foglalja magába, azokon belül is elsősorban a terület déli részén elhelyezkedő fiatal, jellemzően egykorú, sűrű, sarjcsokros állományokat. A bükkösök a faj jellegzetességei, és a jobb termőhely miatti nagyobb méreteknek köszönhetően szinte mind a heterogénebb kategóriába kerültek, míg az üde tölgyesek megoszlanak, valószínűleg kor alapján. Érdekes módon a főbb állományalkotó fajok (bükk, gyertyán, kocsánytalan tölgy és molyhos tölgy) átlagos relatív gyakoriságaiban ennek ellenére nem tapasztalható jelentős különbség a „homogén” és „heterogén” kategóriák között.

Az üzemtervi kor alapján kialakított korcsoportokkal (80 év alatti vs. 80 év feletti állományok) is szignifikáns a kapcsolat, de nem független az erdőtípustól. A száraz tölgyesek fiatalon szinte mind a homogénebb, kisebb koronákkal jellemezhető csoportba kerültek, idősebb korban fele-fele arányban. Az üde tölgyesek fordítva, fiatalon fele-fele, idősebb korban inkább a heterogénebb csoportba kerültek. A szerkezeti csoportokkal való összefüggés is kimutatható az adatokon (1. táblázat), a fiatal, kevésbé változatos szerkezetű erdők döntően a „homogén” kategóriába, míg a másik két csoport pontjai inkább a „heterogén” kategóriába sorolódtak, 70,0%-os pontossággal.

1. táblázat. A terepi adatok alapján hierarchikus klaszteranalízissel létrehozott csoportok kapcsolata a képi jellemzők alapján létrehozott csoportokkal (kontingenciatábla).

		Kép alapján létrehozott csoportok			
		Homogén, kisebb koronák	Változatos, nagykoronák	Össz	
Szerkezeti csoportok	Sűrű, főleg fiatalabb tölgyes állományok	Db	110	48	158
		Várható	77,3	80,7	158,0
	Idősebb, változatosabb, de fájban szegényebb főleg üde erdők	Db	32	77	109
		Várható	53,3	55,7	109,0
	Változatos fajösszetételű és szerkezetű foltok	Db	18	42	60
		Várható	29,4	30,6	60,0
	Összesen	Db	160	167	327
		Várható	160,0	167,0	327,0

A faállomány-szerkezeti változókra közvetlenül elvégzett lépésenkénti diszkriminancia analízis eredményeképpen azt kaptam, hogy a legfontosabb változók a nagy fák száma, az állománymagasság, a mellmagassági átmérő szórás és a fajszám, ezek alapján a mintapontok 75,6%-os pontossággal sorolhatóak be a képi jellemzők alapján kapott „homogén” és „heterogén” csoportokba. Az átlagos záródás szignifikánsan magasabb a heterogén csoportban.

Értékelés

Mivel a légifotó készítésének időpontjában a nap délkeleti irányból világította be a területet, a domborzat jellemzői miatt az eredeti kép valamennyi sávján megfigyelhető az értékek fokozatos csökkenése DK–ÉNy-i irányban, illetve árnyékos foltok jelenléte a koronák északnyugati oldalán. Az eredeti sávokra nagyobb léptékben végzett szegmentáció valószínűleg emiatt nem adott használható eredményt. Az árnyékosság nehezíti a koronák lehatárolását, mivel a fa napsütötte és árnyékos oldala eltérő spektrális tulajdonságokkal rendelkezik. A fák közötti árnyékok ugyanakkor magassági adat híján felhasználhatónak bizonyultak a felső szint vertikális heterogenitásának (kimagasló fák, lécek) leírására, és a koronák szétválasztására. A koronalehatárolási eljárásokban általában jelentős szerepet játszik a magassági adat, ami ebben az esetben nem állt rendelkezésre, de valószínűsíthető, hogy segítségével pontosítani lehetne a homogén és heterogén kategóriák meghatározását (például az irtásrétek leválogatásával, vagy a koronák pontosabb lehatárolásával).

A kor, a fajösszetétel és a szerkezet alapján a terepi mintapontokból felállítható csoportok nem függetlenek egymástól, és a távérzékelt adatban tapasztalható különbségek kialakulásában is mindhárom tényező szerepet játszik. Ez okozhatja azt, hogy míg mindegyik csoportosítás szignifikáns összefüggést mutat a képi jellemzők alapján létrehozott csoportokkal, mégis teljes átfedés. A szerkezeti csoportokkal való összefüggés esetében az eltérést részben az is okozhatja, hogy e csoportok kialakításában olyan tényezők is szerepet játszottak, amelyek a képi jellemzőkben nem, vagy csak közvetve jelenhetnek meg, mint pl. a holtfa jelenléte.

A 75,6%-os pontosság, amivel a terepi mérések adataival a képi jellemzők alapján létrehozott kategóriák szétválaszthatóak, azt jelzi, hogy a távérzékelt adat alapján kialakított osztályok között valós szerkezeti különbségek mutatkoznak. A 70,0%-os pontosság, amivel az osztályozás a terepi jellemzők alapján létrehozott szerkezeti csoportokat adja vissza, a nemzetközi szakirodalmi példákhoz hasonló eredmény (vö. pl. Johansen *et al.* 2007, Hájek 2008). A bemutatott módszer ennél fogva hasznos lehet terepi mintavétel (pl. mintavételi sűrűség) előzetes megterve-

zése során, vagy táji szintű elemzéseknél az erdőállományok egyszerű és gyors differenciálását teheti lehetővé.

Köszönetnyilvánítás – A kutatás a Svájci Hozzájárulás által támogatott, az „Erdei életközösségek védelmét megalapozó többcélú állapotértékelés a magyar Kárpátokban” című projekt keretében zajlott.

Irodalomjegyzék

- Bartha, D., Bodonczai, L., Szmorad, F., Aszalós, R., Bölöni, J., Kenderes, K. & Ódor, P., Standovár, T. & Timár, G. (2005): A magyarországi erdők természetességének vizsgálata II. Az erdők természetességének elemzése tájak és erdőtülsulások szerint. – *Erdészeti Lapok*, **140**(6): 198–201.
- Bartha, D., Ódor, P., Horváth, T., Timár, G., Kenderes, K., Standovár, T., Bölöni, J., Szmorad, F., Bodonczai, L. & Aszalós, R. (2006): Relationship of Tree Stand Heterogeneity and Forest Naturalness. – *Acta Silv. et Lign. Hung.* **2**: 7–22.
- Berezki, K., Ódor, P., Csóka, Gy., Mag, Zs., & Báldi, A. (2014): Effects of forest heterogeneity on the efficiency of caterpillar control service provided by birds in temperate oak forests. – *Forest Ecol. Manag.* **327**: 96–105.
- Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS – J. Photogramm. Remote Sens.* **65**: 2–16.
- Blaschke, T., Johansen, K., & Tiede, D. (2011): Object based image analysis for vegetation mapping and monitoring. – In Q. Weng: *Advances in Environmental Remote Sensing: Sensors, Algorithms, and Applications*. CRC Press, Taylor and Francis, pp. 241–271.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F. & Windhorst, W. (2009): Landscapes' Capacities to Provide Ecosystem Services - a Concept for Land-Cover Based Assessments. – *Landscape Online*. **15**: 1 – 22.
- Burai, P.; Deák, B.; Valkó, V.; Tomor, T (2015): Classification of herbaceous vegetation using airborne hyperspectral imagery. – *Remote Sensing* **7**: 2046–2066.
- Cserhalmi, D. (2009): Pánkromatikus felvételekre és képszegmentációra alapozott vegetációrekonstrukciós vizsgálatok az észak-alföldi lápok példáján. – PhD értekezés, SZIE Gödöllő. Kézirat. 78 pp.
- European Commission (2011): Our life insurance, our natural capital: an EU biodiversity strategy to 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regios. – COM (2011) 244 final, Brussels, pp. 1–16.
- Franklin, J. F. (1988): Structural and functional diversity in temperate forests. – In: Wilson, E. O. & Peters, F. M. (szerk.): *Biodiversity*. National Academy Press, Washington DC, pp. 166–175.
- Hájek, P. (2008): Process-based approach to automated classification of forest structures using medium format digital aerial photos and ancillary GIS information. – *Eur. J. For. Res.* **127**: 115–124
- Johansen, K., Coops, N. C., Gergel, S. E. & Stange, Y. (2007): Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. – *Remote Sens. Environ.* **110**: 29–44
- Kollár, Sz., Vekerdy, Z. & Márkus, B. (2011): Forest habitat change dynamics in a riparian wetland. *Procedia Environmental Sciences* **7**: 371–376.
- Kristóf, D. (2005): Távérzékelési Módszerek a Környezetgazdálkodásban. – PhD dolgozat, SZIE KTI Gödöllő. Kézirat. 146 pp.

- László, I., Ócsai, K., Gera D., Giachetta, R. & Fekete, I. (2011): Object-based Image Analysis of Pasture with Trees and Red Mud Spill. – In: *Proceedings of the 31th EARSeL Symposium, Prague*.
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C. & Bauhus, J. (2005): Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. – *Forest Ecol. Manag.* **218**: 1–24.
- Ódor, P., Bölöni, J., Bartha, D., Kenderes, K., Szmorad, F., Tímár, G., Standovár, T., Aszalós, R. & Bodoncz, L. (2005): A magyarországi erdők természetességének vizsgálata III. A faállomány és a holtfa természetességének értékelése. – *Erdészeti Lapok* **140**(7-8): 226–229.
- Paillet, Y., *et al.* (2010): Biodiversity Differences between Managed and Unmanaged Forests: Meta-Analysis of Species Richness in Europe. – *Cons. Biol.* **24**(1): 101–112
- Spies, T.A. (1998): Forest Structure: A Key to the Ecosystem. – *Northwest science*. Proceedings of a workshop on Structure, Process, and Diversity in Successional Forests of Coastal British Columbia, February 17–19, 1998, Special issue, **2**(72): 34–39.
- Tanács, E. & Keveiné Bárány, I. (2012): Az erdőszerkezet tér- és időbeli mintázatainak vizsgálata a Haragistya-Lófej erdőrezervátum (Aggteleki-karszt) területén – In: Unger, J. & Pál-Molnár, E. (szerk.): *Geoszférák 2011: A Szegedi Tudományegyetem Földtudományok Doktori Iskola és a Környezettudományi Doktori Iskola (Környezeti geográfia program) eredményei*. SZTE TTIK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged. pp. 171–202.

Classification of forest stands according to structure heterogeneity using aerial photography and object-based methods

Eszter Tanács

*Department of Climatology and Landscape Ecology, University of Szeged,
H-6722 Szeged, Egyetem u. 2, Hungary
e-mail: nadragulya@geo.u-szeged.hu*

The aim of the presented work carried out in the Haragistya-Lófej forest reserve (Aggtelek Mts) area was to classify structurally different forest stands using object-based image analysis methods, and to validate the classes using ground truth data. I used eCognition software and an UltraCam D aerial photo from 2007 in order to differentiate between structurally homogeneous and heterogeneous stands. The resulting two classes were compared with groups created on the basis of multivariate statistical analysis carried out on stand structural data and with some background variables like age and forest type. The two classes created solely on the basis of object-based image analysis showed a significant relation to structural, age and species composition groups as well. When I used measured field variables and indicators to test the separability of the two classes, I got an accuracy of 75,6%. The most significant variables in separating the classes were the number of trees with a dbh>30 cm, stand height, standard variation of the dbh and species number.

Keywords: forest structure, stand delineation, OBIA, remote sensing