

# Légi lézeres, légi hiperspektrális és földi fotogrammetriai faállomány-felmérés első eredményei

*Dr. Czímber Kornél<sup>1</sup>, dr. Tomor Tamás<sup>2</sup>, dr. Burai Péter<sup>3</sup>, dr. Lénárt Csaba<sup>4</sup>,  
Román András<sup>5</sup>, Kovács Zoltán<sup>6</sup>, Bekő László<sup>7</sup>, Nagy Miklós<sup>8</sup>*

**Ebben a cikkben ismertetjük a hiperspektrális légifelvétel alapú fajajterképezés és a légi lézeres letapogatással készült faállomány-felvételezési projekt módszertanát és eddigi eredményeit.**

A hiperspektrális légifelvétel a multispektrális műholdfelvételeknél, az infraszínes ortofotóknál hatékonyabban tudják térképezni a felső lombkoronaszint fafajait. A teljes jelalakos légi lézeres letapogatás voxeles feldolgozása képes közvetlen vagy levezetett erdőleltározási adatokat szolgáltatni, úgymint törzspoziciók, törzsmérő, famagasság, lombkorona-terület és -térfog, záródás és fatérfogat.

A légi módszereket földi fotogrammetriával végzett referenciamérésekkel egészítettük ki. A földi mérésekhez fejlesztett eljárások a körlepősszeg, fafaj, elegyarány és átmérelőslás becslésében segítenek.

A légi felvételezés feldolgozását szerver környezetben, szuperszámítógépekre, a földi fotogrammetriát pedig mobil eszközökre fejlesztettük. A légi és a földi módszer kombinálása után megszülettek az első eredmények, amelyekről e cikk keretében számolunk be.

## Bevezetés

Korábbi földmérő oktatóink állították, hogy a geodéziában mindent kitaláltak, papírra vetettek, nincs már új kutatási terület. Előbb a számítástechnika fejlődése cáfolta meg ezt az állítást, majd a mérés technika gyors fejlődése. Ráadásul ez a fejlődés napjainkban is zajlik.

A számítógépekkel együtt megjelentek a számítást, térképrajzolást segítő programok, később a térbeli elemzést nyújtó geoinformatikai szoftverek. A mérés technikát is átalakította a digitális fejlődés, lézeres letapogatás, digitális képalkotók, és folyamatosan jönnek ki különféle adathordozókhoz (földön, vízben, levegőben, űrben) az egyre hatékonyabb érzékelők, amelyek hatalmas mennyiségű adathalmazt (*big data*) szolgáltatnak, mindez új feldolgozási eljárások, szoftverek fejlesztését indukálja.

Erdőgazdálkodói, tulajdonosi, fakereskedői, tervezési, felületes szempontról az erdő mint megújuló természeti erő-

forrás minél pontosabb ismerete alapvető igény. A távérzékelte adatokat (űrfelvételek, légifelvételek, lézeres letapogatások) egyre gyakrabban használják erdőleltározásra (*Andersen et al., 2011; Barrett et al., 2009*) a dendrológiai (fafaj, elegyarány), valamint dendrometriai (átmérő, magasság, fatérfog, záródás) jellemzők kinyerésére.

Hazánkban is számos kutatás folyik ezzel kapcsolatban (*Király et al., 2012; Kovács et al., 2018*). Több kutatás is foglalkozik lombkorona-elkülönítéssel és ez alapján egyfa-felméréssel, de ezt általában egykorú, túlevelű erdőkben teszik.

A földi távérzékelési eljárások is folyamatosan fejlődnek, például a közel fotogrammetria (*Czímber, 2015*) vagy a földi lézerekkel (Brolly et al., 2013).

A mai mérés technikai, feldolgozási eljárások, az adatmennyiség megteremt a lehetőséget a *precíziós erdőgazdálkodás* kialakítására, hasonlóan a mezőgazdaság más területeihez, itt is centiméteres geometriai pontossággal tudunk adatokat gyűjteni az állományt alkotó faegyedekről. Természetesen vannak eltérések, itt nem tápanyag-utánpótlási tervet, hanem pontos, egyedszintű felmérést, nyomon követést, nevelést, gépvezérlést lehet megvalósítani.

A címben jelzett témában 2016-ban kezdtük meg kutató-fejlesztő tevékenységünket, amelyben pontos menetrend szerint haladtunk, kijelöltünk és felmértünk faállományokat, fejlesztettük a feldolgozó szoftvereket, és kiértékeljük az eredményeket. Tettük mindezt egy kutatás (*GINOP-2.1.1-15-2016-01030*) keretén belül.

Az eddigi eredményeket több előadásban ismertettük, de most szeretnénk írásban is az érdekeltek elé tárni. Fejlesztéseink a szakirodalomban megismert módszerek alkalmazásán, továbbfejlesztésén és új eljárások kidolgozásán alapulnak. A kutatás módszerének tesztelésébe számos erdőgazdasággal vettük fel a kapcsolatot. A tesztterületek kiértékelése elkészült.

A kutatás során többféle adatforrást, adatgyűjtési eljárást kipróbáltunk. A műholdas felvételek előnye, hogy nagy területről készítenek homogén adathalmazt, és a felvételek sok esetben ingyenesen hozzáférhetőek, hátránya, hogy a felbontás kisebb és csak bizonyos időközönként készülnek felvételek. A felhőzet korlátozza a műholdképek feldolgozhatóságát.

A légi eljárás előnyei az előbbihez képest a jóval nagyobb felbontás, ami a lézeres letapogatás esetén akár cm-es pontosságú. A légi adatgyűjtés ideje kiválasztható. A légi hordozók a kisrepülőgépek és a drónok (pilóta nélküli légijárművek). A drónok hatékonysága napi néhány 100 hektár, egy kisrepülőgép ezalatt akár több százezer hektárt is fel tud mérni. Minden előbbi eljárás földi referenciaadatokra támaszkodik. A földi eljárások hátránya a nagy élőmunka- és költségigény, az adatgyűjtés nem teljes körű. A földi foto-

<sup>1</sup> egyetemi docens, Soproni Egyetem, EMK, GEVI

<sup>2</sup> tudományos főmunkatárs, Debreceni Egyetem, Távérzékelési Szolgáltató Központ

<sup>3</sup> tudományos főmunkatárs, Debreceni Egyetem, Távérzékelési Szolgáltató Központ

<sup>4</sup> tudományos tanácsadó, Debreceni Egyetem, Távérzékelési Szolgáltató Központ

<sup>5</sup> projekt koordinátor, Pannónia Kft.

<sup>6</sup> fejlesztőmérnök, EnviroSense Hungary Kft.

<sup>7</sup> tudományos segédmunkatárs, Debreceni Egyetem, Távérzékelési Szolgáltató Központ

<sup>8</sup> fejlesztőmérnök, TopoLynx Kft.

grammetriát és földi lézerszkennelést a fatörzsek, az aljnövényzet kitakarása befolyásolja.

Fenti előnyök és hátrányok mérlegelése alapján döntötünk kisrepülőgépes légifelvételezés és légi lézeres letapogatás mellett földi referenciamérésekkel kiegészítve.

### Hiperspektrális fajajtérképezés

A feldolgozási folyamat első része a megfelelő pontosságú fajajtérkép előállítás, amely az uralkodó lombkoronaszint-ről készít 1 méteres felbontású térképet. A hiperspektrális felvevők 100 fölötti spektrális sávban rögzítenek információkat, ezáltal a fafajokat elkülönítő kis különbségeket képesek rögzíteni. Összehasonlításképp az emberi szem a látható fény három sávjában (kék, zöld, vörös) képes érzékelni.

Terepi felbontás tekintetében tapasztalataink szerint nem célszerű 1 méter alá menni a felbontással, mert túl zajos képeket és sok félreosztályozást eredményez. Az általunk használt pixel alapú módszer egy összesített spektrumot rögzít a fák koronájáról. A feldolgozáshoz megfelelő számú földi referenciamérés szükséges, hogy adott földrajzi pozícióban milyen faj lombkoronája található, de földi referenciaspektrumokat nem kell gyűjteni.

A referenciaadatok felét a hiperspektrális képosztályozó tanítására, másik felét az osztályozó tesztelésére használjuk. Minél több tanítóterületet adunk meg, annál hatékonyabb a módszer. A tanítópixelok pozíciói erdőterületen több évtizeden keresztül használhatók.

Az osztályozáshoz Random Forest (RF) vagy Support Vector Machine (SVM) osztályozókat használunk. Az eddigi osztályozások átlagos pontossága a tesztek alapján 80% fölötti eredményt adott (1. táblázat).

1. táblázat. Osztályozásmátrix (általában a sikeres osztályozás, átlón kívül a félreosztályozás %-os értékei) egy gemenci erdőrészletben

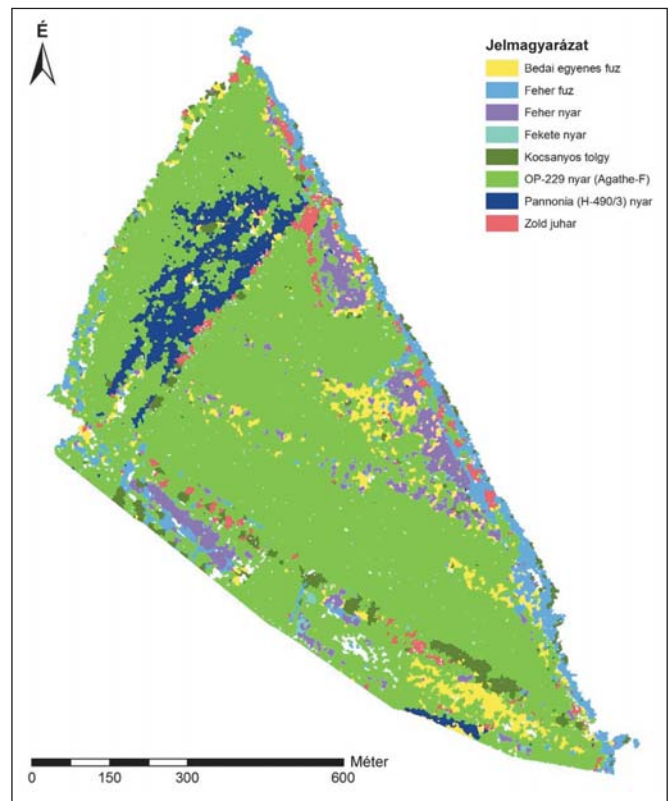
Fajfaj	BEFU	OPNY	FF	FRNY	ZJ	PANY	FTNY	KST	Mind
BEFU	81.48	0.00	0.00	3.70	2.86	0.00	0.00	0.00	8.25
OPNY	12.96	97.18	0.00	35.19	0.00	3.09	75.47	0.00	36.32
FF	1.85	0.00	96.36	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65
FRNY	0.00	0.00	0.00	59.26	0.00	0.00	0.00	0.00	5.61
ZJ	0.00	2.11	0.00	0.00	62.86	0.00	0.00	0.00	4.39
PANY	3.70	0.70	0.00	0.00	34.29	96.91	1.89	0.00	19.30
FTNY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.64	0.00	2.11
KST	0.00	0.00	3.64	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	14.39
Mind	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Az osztályozó szépen teljesít a felső lombkoronában lévő fafajok, az egyes tölgyek és cser szétválasztásában, kevésbé jó a második lombkorona térképezésében, bizonyos nyárfajok elkülönítésében (fehér és fekete nyár). Az osztályozás eredménye egy tematikus térkép, amely az egyes fák lombkoronája alapján összesíthető (1. ábra).

### Légi lézeres letapogatás

A légi lézeres letapogatás során a hordozóra szerelt kibocsátó-érzékelő berendezés egy pásztázó lézersugarat bocsát ki. A másodpercenként több százezer kibocsátott lézersugár a szétartás miatt különböző felületekről (ágak, levelek, törzsek, talajfelszín) eltérő időpontokban verődik vissza, amelyet az érzékelő rögzít.

A repülőgép pontos helyzetéből (GNSS pozíció és repülési irány) valamint az időadatokból a felületek pontjainak



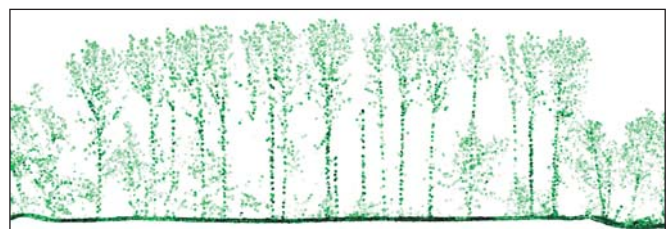
1. ábra. Hiperspektrális képből készült tematikus fajajtérkép

térbeli koordinátái számíthatók. A keletkezett pontok száma több száz millió, ezért pontfelhőről beszélünk. A pontok a pozíción kívül egyéb fontos adatokat is tartalmaznak, úgymint intenzitás, visszaverődés száma, képi adatok. A letapogató berendezést kisrepülőgép hordozza. A letapogató berendezések folyamatosan fejlődnek, időközönként megduplázódik a teljesítményük.

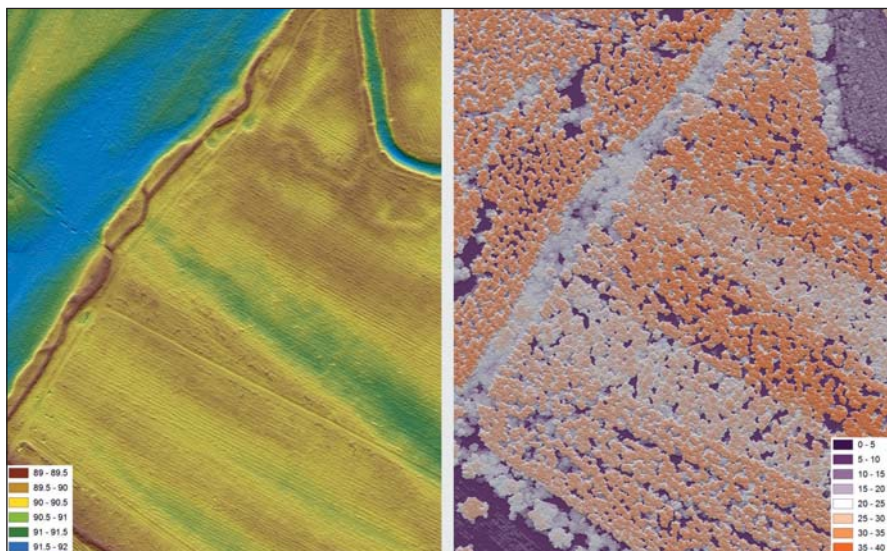
A kutatáshoz felhasznált légi lézeres adatok 12 pont/m<sup>2</sup> sűrűséggel készültek, amely a repülési magasság, sebesség, a szenzor teljesítményének függvénye. A felvételezési sávok átfedése és a többszörös visszaverődés miatt a végleges pontsűrűség ennek 2–4-szerese. Ez a pontsűrűség már elegendő információt nyújt a talajfelszín, törzsek, vastagabb ágak, első és a második lombkoronaszint azonosításához (2. ábra).

A felvételezést lombtalan állapotban végeztük, hogy a pontok a fák törzséről, vastagabb ágairól, és ne a falevelekről verődjenek vissza. A kisrepülőgépre telepített letapogató berendezés naponta több ezer km<sup>2</sup> területet képes felvételezni. Az előállított adatmennyiséget szuperszámítógépen dolgozzuk fel.

A légi lézeres adatok feldolgozása több lépésben valósul meg. Elsőként a pontokat egy rács adatszerkezetbe töltjük be, majd rendezzük a pontokat magasság szerint, hogy



2. ábra. Pontfelhő 4 méter széles sávjának oldalnézeti képe az intenzitás szerint színeve

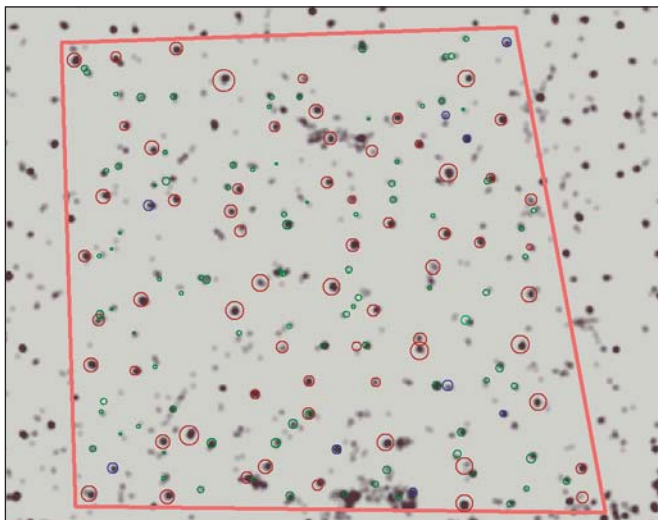


3. ábra. Gemenci terület domborzatmodellje (bal) és lombkorona felszíne (jobb)

gyorsan lehessen belőlük térbeli elemeket, voxeleket (térbeli kockákat) képezni. Betöltés után kiszűrjük a környező pontokhoz képest alacsonyan vagy magasan fekvő zajos pontokat. Ezután kúp (Vosselmann, 2000) és morfológiai szűrőkkel kiválogatjuk a talajpontokat és a felső lombkorona pontjait. A szűrés után mozgó regressziós síkokkal történik a domborzat- és a lombkoronafelszín interpolációja (3. ábra). A domborzatmodell olyan részletességű, hogy kirajzolódik az évtizedekkel ezelőtti talajművelés vagy a fekvő holtfák.

A faállomány a két detektált terület között helyezkedik el. Az algoritmus ezután átvált voxel alapú feldolgozásra. A voxel eljárás előnye, hogy képes kezelni az átfedéseket, valamint könnyen definiálhatók a térbeli kapcsolatok, térbeli elemző módszerek.

10 és 50 cm közötti voxelekkel dolgozunk. Az eljárás 2–20 méteres tartományban több magassági sávban keres voxelcsoportosulásokat. Második lombkorona jelenlétének az alacsonyabb sávokban történik detektálás, magas aljnövényzetnél viszont a 10 méter feletti zónákban. A voxeleket térbeli kernellel és az intenzitással súlyozzuk, amely segít a törzsek felismerésében és a törzsvastagságra is mérőszámot ad (4. ábra).

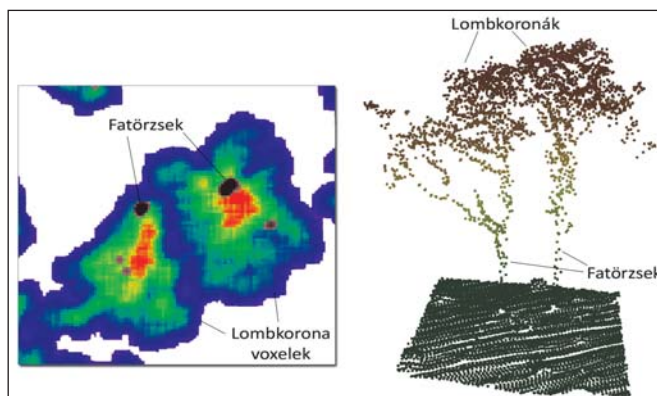


4. ábra. 1–4 méteres magasságban felismert törzsek voxeltérképe (barna) és a referencia átmérők (zöld és vörös körök)

A vastag törzseket nagy pontossággal (90% fölött), a vékony törzseket 12–15 cm-től ismeri fel az eljárás, amely a jövőben a pontsűrűség növelésével tovább javulhat. A felismerésben gondot okozhatnak a fafajfüggő sűrű oldalágak vagy a törzsekhez közeli cserjék, fiatal egyedek.

Az algoritmus következő lépése a korona voxeltömeg előállítás. Itt is egy kernellel súlyozzuk a koronavoxeleket és függőlegesen összesítjük a magasság felső harmadában. A lombkorona-összesítés történhet a felső lombkoronaszinten kívül a második lombkorona magassági sávjában is. Az összegfelület kirajzolja az egyes fák koronáit, maximumpontja a fakorona csúcsa (5. ábra).

Ez a módszer eredményesen tudja elkülöníteni lombos fák összeérő koronáit, ahol a szakirodalomban eddig ismertetett elkülönítési eljárások egyként ismernek fel (például inverz vízgyűjtő vagy távolság alapú szegmentálás). A nagyobb fák összetett

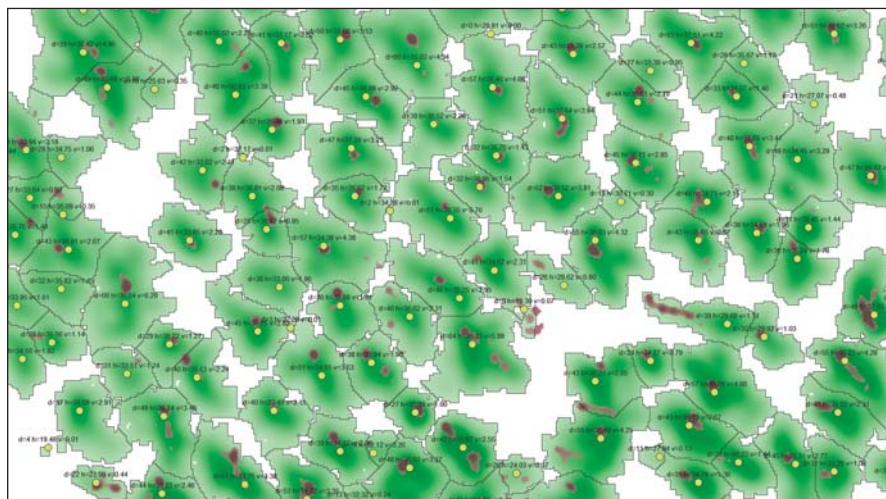


5. ábra. Lombkorona-elkülönítés voxelek egyesítésével (bal) a térbeli pontfelhőből (jobb)

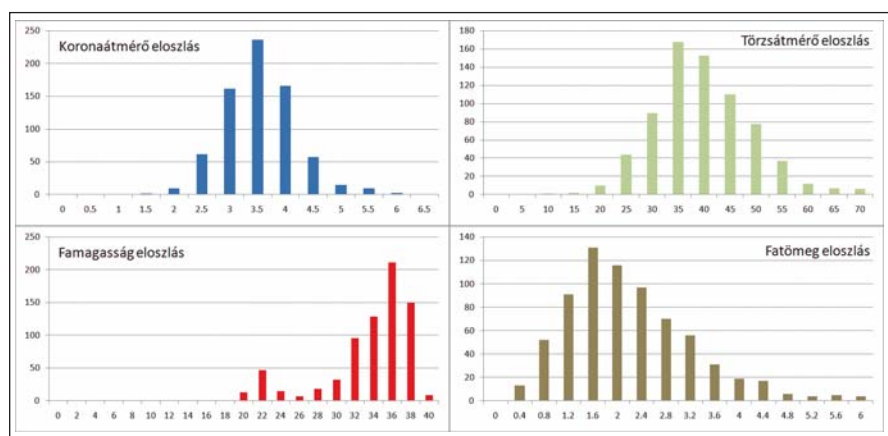
koronáját ugyanezek az eljárások több részkoronára bontják, ez az eljárás azonban az egy törzshöz kapcsolódó lokális maximumpontokat összekapcsolja. Az új algoritmus nem alkalmaz erőtlen simítást (például inverz vízgyűjtő módszer), mellyel az egymástól viszonylag távol álló koronákat összemossa, és ezáltal jelentősen növeli az egyes fák lombkoronaméretét, amely hamis térfogatadatokat eredményez. A csúcspont és a közeli törzspozíció összekapcsolásával pontos ferde famagasságot lehet számítani. A voxeleket ezután egy iteratív algoritmussal soroljuk a maximumpontokhoz, így megkapjuk a koronát felépítő voxeleket.

A besorolás egyedileg azonosít minden fakoronát, ezáltal a törzsszámot, és faegyedenként a voxeltömegeből koronaterület, koronaterület és átlagos koronaátmérő számítható. A koronajellemzők és a törzsátmérő között szoros összefüggés van, amelynek levezetése fatermési táblákból vagy a később bemutatott terepi módszerekkel lehetséges.

Az egyes fák térfogata a fafaj ismeretében a magasságból, és a négy lehetséges módszerből (famagasság, koronaterület, törzsvoxelek) közvetetten számított törzsátmérőből lehetséges. Ha a törzs nem látható, vagy nem megfelelő törzsátmérő számítható a törzsvoxelekből, akkor a koronaterületet és a famagasságot használjuk.



6. ábra. Lombkorona összesített voxeltérképe (zöld), törzsek összesített voxeltérképe (barna) és az egyes fák meghatározott törzsméző-, fmagasság-, fatérfogatadatai (feliratok)



7. ábra. Voxel összesítéséből levezetett dendrometriai jellemzők eloszlása egy erdő-részletben

A fakoronák csúcspontját és poligonjait a voxelek alapján digitalizáljuk és a dendrometriai jellemzőkkel együtt vektoros térinformatikai állományba írjuk, amelyet akár faegyedenként vagy erdőrézletre összesítve is vizsgálhatunk (6. ábra). Összesítés után a koronaátmérő, törzsméző, fmagasság, fatérfogat eloszlása előállítható és grafikonokon megjeleníthető (7. ábra).

### Földi referenciamérések

A földi referenciaméréseknek több célja van, információt nyújt a faállomány térbeli szerkezetéről, az aljnövényzet, a második lombkoronaszint jelenlétéről, a lombkoronaszintet alkotó fafajokról, azok elegyarányáról és körlapösszegekről, szükség esetén az átlagátmérőről, átmérő eloszlásáról (utóbbi száralás, vegyeskorú állomány esetén fontos).

A referenciamérések helyszínét a légi adatgyűjtés után, a fafajterkép és a lézeres adatokból előállított fmagasság modell után jelöltük ki. A képi és magassági adatokból területnövesztő szegmentálással (Czímber, 2018) homogén csoportokat képeztünk, és középpontjukban jelöltük ki a felvételi pontokat.

A terepi méréseknél a felkeresett helyszíni pontokon körben digitális fényképeket készítettünk. A felvételeket először kalibráltuk, mely a radiális irányú torzulásokat csökkenti. A kalibrált fényképekhez egy algoritmust fejlesztettünk, mely a szín és textúra leíró jellemzőinek változása alapján határozza meg automatikusan a törzseket (8. ábra).

A jellemzők kinyerése alkalmassá teszi az algoritmust tanulásra, ezáltal fafajok meghatározására is. Előfordul magas aljnövényzetű állományban, hogy az algoritmus nem ismeri fel egyértelműen a törzseket, ilyenkor lehetőség van a manuális javításra. Az alapján, hogy a detektált törzsek milyen szög alatt látszanak, az eljárás fafajonként tudja számolni a hektáronkénti körlapösszeget és körlappal súlyozott elegyarányt tud meghatározni. Minden  $\arctan(1/50)$  foknál vastagabb törzs 1 m<sup>2</sup>/ha körlapot képvisel. A mai fényképezőgépek (mobiltelefonos és kompakt digitális kamerák) szögfelbontása nagyon magas, 1 fokpercnél is jobb, a hagyományos optikai eszközöknél pontosabban lehet eldönteni, hogy egy törzs a határszélességnél vastagabb vagy sem.

A másik módszer ismert bázistávolságú és tájékozású felvételpárból az átmérőket tudja meghatározni az előbbi eljárás törzsdetektálási algoritmusával. Ennek kivitelezése nagyobb odafigyelést igényel, itt 60 cm távolságú kameráinkat használtunk a felvételek készítéséhez. A törzsek képenkénti detektálása után a törzsek bázis irányú eltéréseinek mérésével az átmérő a fotogrammetriai alapegyenletekből számítható. A két algoritmust előbb prototípus szoftverként használtuk, azóta beépítettük az Android és Windows platformon futó topoXpress szoftver erdészeti moduljába.

### Eredmények

A hiperspektrális képosztályozáshoz, a légi lézeres letapogatáshoz kidolgoztunk egy teljes feldolgozási sort, amely előállítja a fafajterképet, domborzatmodellt, lombkoronafel-szint, lombkorona-térfogatot, törzsterképet. Az algoritmus voxel alapokon dolgozik és a paraméterek megadása után automatikusan fut multiprocesszoros környezetben.

Elkészült két közel fotogrammetriai módszer. Az egyik- pes automatizált eljárás felismeri a fatörzseket, tanítás után képes a fafajokra is becslést adni. A kétképes módszer az átlagátmérő számításában és átmérőeloszlás becslésében segít. A földi felméréssel pontosítható a légi eljárás, a fel nem ismert vagy vékony törzsek, valamint a fafaj és elegyarány pontosabb megadásában.



8. ábra. Közel fotogrammetria egyképes körlap meghatározáshoz

2. táblázat. A mintaterület élőfakészletének fatérfogat adatai

Mintaterület	Erdőállomány Adattár	Törzsenkénti felvétel	Csak légi eljárás	Földivel korrigált	Eltérés	Mértékegység
Szenyér 18D	849	1 302	1 143	1 235	-5%	m <sup>3</sup>
Erdősmecske 12B	288	408	361	378	-7%	m <sup>3</sup> /ha
Pilisszentlélek 22A	513	–	397	438	–	m <sup>3</sup> /ha
Terem 140A	167	367	347	376	+2%	m <sup>3</sup> /ha
Ibrány 1C	294	421	366	–	-13%	m <sup>3</sup> /ha
Fenyőfő 7E	193	283	251	292	+4%	m <sup>3</sup> /ha
Baja 58E	249	401	328	375	-7%	m <sup>3</sup> /ha

A táblázatból látható, hogy nagy eltérés (közel 40%-os) van az Erdőállomány Adattár és a törzsenkénti felvételek között. Az is látható, hogy a csak légi eljárás (regressziós koronaméret – törzsátmérő összefüggés alapján) szisztematikusan alulbecsült a fatérfogatot, ami érthető, mert nem ismer fel minden faegyedet. A földi referenciamérés ezért fontos, ezekkel lehet a hiányzó faegyedek arányát, a koronaterfogot-törzsátmérő közötti összefüggést javítani. Az egyes teszterületekhez kapcsolódó részletesebb leírás és tapasztalat a következő:

- **Szenyér 18D:** ezüsthárs elegyes kocsányos tölgyes, második lombkoronaszintben jelentős gyertyán állomány. A fahasználat tarvágás volt. Kitermelés után a tuskókat GNSS vevővel mértük be, ez alapján lehetett vizsgálni a törzsfelismerés pontosságát. Az adattár és a törzsenkénti felvétel között 40%-os az eltérés. A légi felmérés, majd a földi körlapozással javított becslés 7%-kal maradt el a törzsenkénti becsléshez képest.
- **Erdősmecske 12B:** bükkös-kocsánytalan tölgyes, részlegesen érintett terület.
- **Pilisszentlélek 22A:** bükkös-kocsánytalan tölgyes-cseres. Itt először az adattár többet mutatott, azóta kiderült, hogy az adattár átvette az erdőgazdaság korábbi becslését, de azóta jelentős szeldöntés volt a részletben. Egyelőre törzsenkénti felvétel nem készült, ezért az összehasonlítás nem teljes.
- **Terem 140A:** nemesnyár ültetvény, jelentős fatérfogattal, közel 100%-os törzsfelismerés.
- **Ibrány 1C:** óriás nyár, jelentős aljnövényzet. A lézeres felvételezés már lombfakadás után készült, ezért az intenzitás felhasználása elengedhetetlen volt a feldolgozáshoz. A földi körlapösszeg-felvétel a magas aljnövényzet miatt alulbecsülte az állományt, emiatt csak a légi eljárásból közvetlenül levezetett fatömeg adatát tüntettük fel, amely az eddigi tapasztalatok alapján alulról közelíti a törzsenkénti felvétel adatait (-13%).
- **Fenyőfő 7E:** erdeifenyves főállomány, második lombkoronaszintben cser. A körlapozás itt is kihívás volt, manuális kiértékeléssel kellett segíteni. A kiértékelésen az erdeifenyő törzsek szépen látszanak.
- **Baja 58E:** OP-229 nemesnyár, második lombkoronaszintben vénic szil, zöld juhar és egyéb elegyfajok találhatóak. A kiértékelés a teljes területre történt, az erdőgazdaság viszont egy kisebb területen készített törzsenkénti felvételt. A légi módszer és a körlappal javított módszer is többet becsült az egész területre. A későbbi terület szűkítésével az eltérés a két módszer között 10% alá csökkent.

*Sok helyütt találtunk ellentmondást az adattár körlap, átmérő, törzsszám, magasság, fatérfogat értékei valamint a terepi mérések és a légi felvételezés között.*

## Összefoglalás

A hiperspektrális térképezés a felső lombkoronaszint fafajainak hatékony térképezési eljárása. A kutatás-fejlesztési projekt és a teszterületek feldolgozása alapján kijelenthetjük, hogy a faállományokról készült légi lézeres letapogatással előállított pontfelhőből számos dendrometriai jellemzőt lehet kinyerni.

A földi fotogrammetriával támogatott földi referenciamérések a hagyományos méréseknel gyorsabbak és nélkülözhetetlen adatokat szolgáltatnak a légi eljárásokhoz. A cikkben bemutatott eljárás az ismert paramétereken túl további jellemzők kinyerését is biztosítja, úgymint a törzs elágazási magassága, a kidőlt fák helye, átmérője, hossza, a cserjeszint jelenléte és magassága, valamint a pontos záródás.

A légi lézeres letapogatás eddig nem látott domborzati és talajfelszíni részleteket mutatott meg az erdőterületeken. A korábbi szintvonalas térképeink, elérhető domborzati adatbázisok pontossága vitatható, akár többméteres eltérést is mutathat domb- és hegyvidéki erdeinkben. A lézeres letapogatás nemcsak a pontos domborzat és famagasság meghatározását teszi lehetővé, hanem a nyiladékok határát, erdei földutak, patakok, vízmosások, árkok helyét nagy pontossággal képes megmutatni, ezáltal a hatékony erdőterképezést a következő szintre emelheti. A fatörzsek pontos térképezése a modern erdőszeti gépek, a fahasználat automatizálását, a precíziós erdőgazdálkodás kialakulását segítheti.

A kutatás-fejlesztés befejeztével az algoritmus finomhangolása, továbbfejlesztése a mai napig nem állt le. Párhuzamosan különböző faállomány-viszonyú erdőterületeken, jelenleg erdőtümbökön teszteljük. Ezen túl igyekszünk egy felhő alapú, webes szolgáltatást felállítani a feldolgozott adatok publikálására.

## Köszönetnyilvánítás

*Köszönetet mondunk Széchenyi 2020 alap GINOP 2.1.1-15 projektjének a kutatás és fejlesztések támogatásáért.*

## Felhasznált irodalom

- Andersen, H.-E. – Strunk, J. – Temesgen, H. (2011): Using Airborne Light Detection and Ranging as a Sampling Tool for Estimating Forest Biomass Resources in the Upper Tanana Valley of Interior Alaska. *West. J. Appl. For.* 26(4) 2011, pp. 157–164.
- Barrett, T.M. – Andersen, H.-E. – Winterberger, K. C. (2009): Integrating field and lidar data to monitor Alaska's boreal forests. *Extending Forest Inventory in Space and Time*, May 19–22, 2009, Quebec City, Canada.
- Brolly G. – Király G. – Czímber K. (2013): Mapping Forest Regeneration from Terrestrial Laser Scans, *Acta Silvatica Et Lignaria Hungarica* 9: 135–146.
- Czímber K. (2018): Távérzékeléssel és mobil térinformatikával segített erdőszeti adatgyűjtés. In: Molnár Vanda (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX. Theory meets practice in GIS*. Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetemi Kiadó, pp. 63–69.
- Kovács Z. – Bekő L. – Burai P. (2018): Voxel alapú fapozíció-meghatározás pontfelhőből. In: Molnár Vanda (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX. Theory meets practice in GIS*. Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetemi Kiadó, pp. 171–178.
- Király G. – Brolly G. – Burai P. (2012): Tree Height and Species Estimation Methods for Airborne Laser Scanning in a Forest Reserve. In: Nicholas Coops – Mike Wulder (eds.): *Full Proceedings of Silviculture 2012. 12th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*. 492 p. Konferencia helye, ideje: Vancouver, Kanada, 2012. 9. 16–19. Vancouver: pp. 260–270.
- Vosselman, G. (2000): Slope based filtering of laser altimetry data. *IAPRS. XXXIII.* ❁