

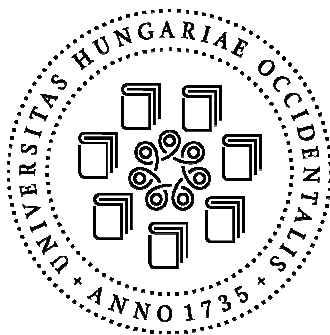
Nyugat-magyarországi Egyetem  
Erdőmérnöki Kar

---

**FAEGYEDEK TÉRKÉPEZÉSE ÉS  
ÁLLAPOTJELLEMZŐIK MEGHATÁROZÁSA  
FÖLDI LÉZERES LETAPOGATÁS ADATAIBÓL**

Doktori értekezés tézisei

Brolly Gábor Béla



---

Sopron, 2013.

Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola  
Erdővagyon-gazdálkodás program  
Témavezető: Dr. Czímber Kornél egyetemi docens

## Az értekezés tárgya

A földi lézeres letapogatás egy aktív távérzékelési eljárás, ami pásztázó lézeres távmérések alapján a céltárgyak felületének térbeli koordinátáit (és opcionálisan a felület reflektanciájának jellemzőit) szolgáltatja földi álláspontból történő felméréssel. A földi lézeres letapogatással gyűjtött adatokból a céltárgyak alakjának, szerkezetének részletes modellje készíthető el. Az erdei környezetben végzett felmérések adataiból előállított törzstérképek és modellek megbízhatóságát, pontosságát az állományjellemzők erőteljesen befolyásolják. A földi lézeres letapogatás a hazai faállományok felmérésének objektív eszköze lehet, de a hatékony alkalmazáshoz olyan automatizált eljárások szükségesek, amelyek a hazai faállományviszonyok figyelembevételével kerültek kifejlesztésre.

Az értekezés a szerző által kifejlesztett algoritmusok leírását tartalmazza, amelyek alkalmasak arra, hogy földi lézeres letapogatás adataiból, magas fokon automatizált módon, egyes fák helyét és egyed szintű, mennyiségi állapotjellemzőit (mellmagassági átmérő, fmagasság, koronavetület) határozzák meg. Az eljárások erdei környezetben készült felmérések feldolgozására készültek, amelyhez a vegetációról nyert ponthalmaz geometriai adattartalmát használják fel.

A közölt eljárások céljai a következők:

1. A térképezés szempontjából lényegtelen növényzeti elemek adatainak eltávolítása.
2. A térképezendő fák pontméréseinek leválogatása, a faegyedek ponthalmazban történő azonosítása.
3. A faegyedek fizikai modelljének létrehozása, amely lehet a törzs keresztmetszetére vonatkozó, síkbeli, parametrikus modell, vagy a fa egészére vonatkozó, térrácsban meghatározott szerkezeti modell.
4. A fizikai modellek alapján a fák térképi pozíciójának meghatározása, és állapotjellemzőik becslése.

A fenti célok vektoros, raszteres, valamint térbeli szabályos (ún. voxel) adatmodelleken valósulnak meg. A bemutatott eljárásokat a szerző ANSI C programnyelven írt, 32 bites, konzolos alkalmazások formájában hozta létre. Az eljárások megbízhatósága és az általuk nyújtott becslések pontossága összetett szerkezetű (természet-szerű), hazai faállományokban végzett felmérések alapján kerültek kiértékelésre.

# **Az eljárások rövid bemutatása**

## **1. Adatok szűrése**

Az aljnövényzetre és a törzsek oldalágaira történt mérések, valamint a mérési hibákra visszavezethető „szellempontok” lényegtelen adatok a törzsek térképezése szempontjából. Mivel ezek rontják a törzsek alakfelismerésének megbízhatóságát, szűrési eljárással el kell távolítani őket a felmérési adatokból. Két szűrési megoldás került kidolgozásra, mindkettő szabályos adatmodellre történő áttérést igényel. A síkbeli szűrés kettő, párhuzamos, 20–50 cm magasságkülönbségű, raszterizált pontmetszeten vizsgálja a mérések együttes előfordulását az egyes cellákban, valamint a cellák lokális környezetében. A szűrés elve, hogy a lényegtelen adatok a két raszterben eltérő mintázatot mutatnak, míg a térképezendő fatörzsek közel azonosat. A térbeli szűrés egy aszimmetrikus szerkezeti elemmel valósul meg, amely minden cella környezetében a fatörzsről visszaverődött mérések lehetséges előfordulásának mértani helyét definiálja. Az aszimmetrikus alak anizotrop szűrési hatást eredményez, ami a magasságilag kiterjedt testekről (fatörzsekről) nyert mérési adatok megtartásának kedvez. A szűrési eljárások az automatikus törzstérképezések előfeldolgozásánál kerültek tesztelésre. A síkbeli szűrés során a mérési adatokat reprezentáló cellák 86,9%-a került eltávolításra, aminek kulcsfontosságú szerepe volt a későbbi törzstérképezés sikerében. A térbeli szűrés az újulati egyedek kimutatásánál elért 41,2–63,2%-os adatcsökkenéssel szintén hatékonyan bizonyult. A szűrési céllal megalkotott szerkezeti elem nemcsak a lényegtelen adatok eltávolítására, de a törzseket reprezentáló adatok kiemelésére is használható.

## **2. Törzsek kimutatása a pontthalmaz vízszintes metszetében**

A törzsek helyének kimutatása feltételezi, hogy a törzsekről visszaverődött mérések nagyobb adatsűrűségű csoportokban tömörülnek. A potenciális faegyedeket reprezentáló pontcsoportok (klaszterek) lehatárolása a pontthalmaz vízszintes síkmetszetén végzett particionálási eljárással történik. A klasszikus particionálási megoldásokkal ellentétben, a klaszterek száma itt előzetesen nem ismert, ezért az eljárás bemeneti paramétere a maximális klaszterméret, ami a legnagyobb fa átmérőjével becsülhető. A ténylegesen faegyedeket reprezentáló klaszterek a különböző magassági metszetre illesztett körívek

paramétereinek összehasonlításával választhatók ki. A keresztmetszeti körök illesztése a legkisebb négyzetek elve szerint történik egy olyan eljárással, amely nem igényli a feltételi egyenlet linearizálását ezért kevésbé érzékeny a kezdeti adatok pontosságára. Ennek köszönhetően, a kör illesztése aszimmetrikus (pl. félig takarásban lévő) fák esetén is sikerrel alkalmazható. Az eljárás tesztelése egy álláspontból végzett felmérés adatai alapján történt. Az álláspontból látható fák 76,9%-át sikerült azonosítani, 4,6%-os tévesztési arány mellett. Az átmérő-meghatározás torzítása:  $-1,3$  cm, előzetes középhibája  $\pm 2,1$  cm.

### **3. Törzsek kimutatása képi objektumokból a ponthalmaz raszterizált síkmetszetében**

Az eljárás erőssége az adathiányos részeket tartalmazó törzsek kimutatása, valamint az aljnövényzetből és ágakból származó, lényegtelen adatok hatásának kiküszöbölése. A feldolgozás alapegységei a közeli, de érintkező cellát nem tartalmazó képi régiókból létrehozott töredezett képi objektumok. A fatörzseket reprezentáló objektumok leválogatásához egy új alak index került kidolgozásra, ami az objektum alakjának körívhez történő hasonlóságát számszerűsíti. Több álláspontból történt felmérésnél, vagy az ágak kitakarásánál gyakori, hogy egy azonos törzset több (töredezett) képi objektum reprezentál. Az összetartozó objektumok egy magasabb szinten egyesítésre kerülnek, így lehetővé válik a teljes törzskeresztmetszet pontos leírása. Az átmérő pontosabb becsléséhez leválogatásra kerülnek a kéreg felszínét reprezentáló adatok, ami kiküszöböli az oldalágak zavaró hatását. Az eljárás tesztelése 38 álláspontból végzett felmérés, vagyis egy különlegesen nagy minta egységes feldolgozása alapján történt. A felismerési arány: 70,5%, tévesztés: 20,6%. Az átmérő-meghatározás torzítása:  $-0,9$  cm, előzetes középhibája  $\pm 2,5$  cm. A felismerés csak a 25 cm-es mellmagassági átmérőt meghaladó fák esetén bizonyult megbízhatónak.

### **4. Újulati egyedek térképezése**

A fiatalos és sűrűség korú állományokat alkotó faegyedek kimutatása a szálfák esetében alkalmazottaktól eltérő alakfelismerési eljárást igényel. A térbeli, szabályos rácsban, az ún. voxel térben található, folytonos régiók generalizálása Dijkstra algoritmusával történik, amelynek során az ágak eltávolításra kerülnek és a faegyedek törzsét az objektum vertikális tengelye reprezentálja. Az újulati foltokban

jellemző magas törzsszám részleges kitakarásokat okoz, ami szükségessé teszi az azonos fához tartozó vertikális tengelyek (fragmentumok) összekapcsolását. Az összetartozó fragmentumok kiválasztása egy optimalizációs eljárással történik, amelynek során az objektumpárok alakja, mérete és távolsága három, véges értékészletű paraméterrel kerül leírásra. Az egyesítési eljárás a legkisebb mértékű töredezettség elérésével, a legnagyobb méretű és az egyeneshez legközelebb álló modell létrehozását eredményezi, amely szoros egyezést mutat a fiatal törzsek alakjával. Az eljárás tesztelése három, különböző szerkezetű újulati folt adatainak feldolgozásával történt. A vizuális interpretáció eredményével összehasonlítva, a felismerések aránya 79,3–90,2%. A téves detektálások aránya a helyesen azonosított fák számának 9,8–25,7%-a. A vizsgált állományjellemzők közül a felismerés sikerességét leginkább a törzsszám befolyásolja, míg az ágszerkezet sűrűségének hatása nem volt számottevő.

## **5. Faegyedek modelljének létrehozása voxel térben**

Az eljárás a faegyedek teljes térbeli szerkezetét voxel alapú, összetett objektumokkal írja le, ami a fa magasságának és koronavetületének közvetlen meghatározását teszi lehetővé. A modell létrehozásának kezdőpontjai a cserjeszint és a koronaszint közötti magasságában kerülnek kiválasztásra, minimalizálva ezzel az ágak zavaró hatását. A törzset alkotó voxelek kiemelése a lényegtelen adatok szűrése céljából létrehozott szerkezeti elemmel történik. A voxel objektumok létrehozása a kezdőpontokból indított, párhuzamosított régiónöveléssel valósul meg, amely során az összeérő koronájú egyedek is lehatárolhatók. A korona adathiányos részeiben az ágakat reprezentáló objektumok elszigetelődnek. Az eljárás ezeket az ág eredési helye szerinti legközelebbi törzshöz rendeli hozzá. A korona legmagasabb voxele alapján a fa magassága közvetlenül meghatározható, míg a koronavetület számítása a korona voxeleinek burkolópoligonja alapján történik. Az eljárás tesztelés négy álláspontról végzett felmérés egyesített adatai alapján történt. A vizuális interpretáció eredményeivel összehasonlítva, a magasságbecslés torzítása:  $-0,1-0,5$  m, előzetes középhibája:  $\pm 0,2-0,6$  m. A becsült koronavetületek relatív torzítása:  $-2,5-12,3\%$ , relatív előzetes középhibája:  $\pm 32,0-44,3\%$ .

## Az eredmények gyakorlati jelentősége

A leírt eljárásokból egy olyan feldolgozási lánc állítható össze, amely mind a faállományok, mind felvételi módok széles körében lehetővé teszi a földi lézeres letapogatással végzett felmérésekből az egyes fák helyének és egyed szintű állapotjellemzőinek (mellmagassági átmérő, famagasság, koronavetület) meghatározását. Az eljárások alkalmasak az egy és több álláspontból, illetve különböző pontsűrűséggel készült mintavételes vagy teljes területre kiterjedő felmérések magas fokon automatizált, ezért objektív és megismételhető feldolgozására. Az eljárások által nyert, mennyiségi jellegű leíró adatok pontossága összevethető a klasszikus dendrometriai eszközök által nyújtott pontossággal. A közölt eljárások a klasszikus erdőleíró állapotjellemzők mellett pontos helyzeti adatokat (törzstérképeket) és mérethű modelleket is szolgáltatnak. Az algoritmusok tervezésénél külön figyelmet kapott a természetszerű erdők leírása. Az eljárások megoldást nyújtanak az aljnövényzet kedvezőtlen hatásának kiküszöbölésére, valamint a fiatalok egyedek térképezésére, továbbá alkalmasak a változatos szerkezetű faállományok felmérésére, vagyis fenyőelegyes, többkorú, több lombkoronaszintes állományokban is használhatók. A szerző az eljárások lehetséges felhasználási területeit a következőkben látja:

1. Távérzékeléssel támogatott, több fázisú erdőleltározások, amelyek során a mintavételi pontokon, földi lézerszkeneléssel szerzett adatok a kisebb geometriai felbontású felvételek, pl. légi lézeres letapogatás vagy űrfelvételek kalibrációjához használhatók.
2. Ökológiai vizsgálatok, erdődinamikai szimulációk, amelyek a különböző méretű faegyedek pontos helyzeti adatait és a koronára is kiterjedő valós méreteket igényelnek.
3. Erdei környezetben végzett mérnöki feladatok, amelyek a faegyedek pontos helyzeti adatait és térbeli, vizualizációra alkalmas szerkezeti modelljeit igénylik.

## Az értekezés tézisei

1. Eljárásokat fejlesztettem ki a fák térképezése és modellezése szempontjából lényegtelen mérési adatok szűrésére. Az eljárás aljnövényzet vagy újulat jelenlétében hatékonyan segíti a fás vegetáció térképezését.
2. A mérési ponthalmaz particionálásával új eljárást dolgoztam ki faegyedek helyének kimutatására és átmérőjük meghatározására. Az eljárás aljnövényzettel nem rendelkező, egykorú faállományok térképezésének gyors és pontos módszere.
3. Kifejlesztettem egy raszteres eljárást, amely töredezett képi objektumok hierarchikus egyesítésével aljnövényzet jelenlétében is alkalmas a törzsek helyének kimutatására és átmérőjük meghatározására. Az eljárás az átmérőbecslés pontosságát a törzsfelszínről visszaverődött pontok geometriai úton történő leválogatásával javítja.
4. Térbeli, szabályos adatmodellen alapuló eljárást dolgoztam ki fiatalkorú faegyedek kimutatására. Az eljárás a törzs részleteit generalizált objektumokkal írja le, amiket egy paraméteres optimalizáció során egyesítve, a törzs tengelyének modelljét és a faegyed pozícióját szolgáltatja.
5. Faegyedek térbeli, szabályos adatmodellben történő szegmentálásával fenyő és lombhullató egyedek szerkezeti modelljeit állítottam elő. A faegyedek elkülönítése párhuzamos régiónöveléssel valósul meg, így zárt lombkoronaszintben vagy ikertörzsek esetén is biztosítja a fák egyértelmű lehatárolását. A modellek figyelembe veszik a lombkorona adathiányos részeit, így többszintes állományban is felhasználhatók a famagasság és koronavetület becslésére.



## **Publikációk**

### **Diplomatervek, TDK munkák**

BROLLY, G. (2004): Termőhelyfeltárás támogatása távérzékelési módszerekkel az Állami Erdészeti Szolgálat Szombathelyi Igazgatóságának területén. Diplomaterv, NYME, Erdőmérnöki Kar, Sopron. 65 p.

BROLLY, G. (2004): Térlátási nehézségek leküzdése az erdészeti szakképzésben. Diplomaterv, NYME, Faipari Mérnöki Kar, Sopron. 52 p.

BROLLY, G. (2003): Flavonoidok szerepe a bükk (*Fagus sylvatica*) álgesztenyésedésében. Tudományos diákköri kutatás, NYME Erdőmérnöki Kar, Sopron. 19 p.

### **Jegyzetek, segédletek**

BROLLY, G. (2011): Számítási útmutató a Geomatika és Földmérés tantárgyak gyakorlati feladatainak megoldásához. Kézirat, Sopron. 28 p.

### **Könyv, könyvrészlet**

KOVÁCS, G. – HEIL, B. – KAKNICS, P. – OLÁH, G. – BROLLY G. (2010): A Baktai-erdő talajviszonyai: Talaj- és termőhelylancok - Termőhelytérképezés a Baktai-erdőben - Termőhelytérképezés eredményei. In: Bartha D (szerk.) A Baktai-erdő. Debrecen: Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. (ISBN:9789630803205) 118-132

KOVÁCS, G. – HEIL, B. – KAKNICS, P. – OLÁH, G. – BROLLY G. (2010): A Baktai-erdő talajviszonyai: A Nyírség talajviszonyai - Talajképző kőzet - Talajképződési folyamatok - A Baktai-erdő jellemző talajai. In: Bartha D (szerk.) A Baktai-erdő. Debrecen: Nyírerdő Nyírségi Erdészeti Zrt. (ISBN:9789630803205) 85-102

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. – ATTWENGER, M. (2008): Transformation of Coordinates into a Common European Reference System. In Csaplovics E. - Wagenknecht S. - Seiler U. (Ed.) Spatial Information Systems for Transnational Environmental Management of Protected Areas and Regions in the Central European Space. Rhombos-Verlag, Berlin, Germany. (ISBN:978-3-941216-01-3) 15-27

## **Lektorált folyóiratcikkek**

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2011): Törzstérképezés földi lézerszkennelés adatainak objektum-orientált feldolgozásával. *Geomatikai Közlemények*. 14 (1): 139-149

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2009): Algorithms for stem mapping by means of Terrestrial Laser Scanning. *Acta Sylvatica et Lignaria Hungarica*. 5: 119-130

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. – MÁRKUS, I. (2009): Magassági modellek előállítására távérzékelési eljárásokkal. *Geomatikai közlemények*. 12: 291-301

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. (2008): Modelling single trees from terrestrial laser scanning data in a forest reserve. *The Photogrammetric Journal of Finland*. 21 (1): 37-50

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. – MÁRKUS, I. (2007): Légi lézerszkennés és QuickBird ürfelvétel integrált elemzése határon átnyúló területeken. *Geomatikai közlemények*. 10: 251-257

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. – MÁRKUS, I. (2007): Földi lézerszkennés alkalmazása egyesfák vizsgálatára. *Geomatikai közlemények*. 10: 241-251

BROLLY, G. ( ): Lézeres letapogatásból származó koordináták hasonlósági transzformációja Egységes Országos Vetületi Rendszerbe. *ELFOGADVA: Nyugati műhely*

BROLLY, G. ( ): Domborzatmodellek előállítására légi lézeres letapogatás adataiból. *ELKÜLDVE: Geomatikai Közlemények*

## **Konferenciakidaványban megjelent cikkek**

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. – BURAI, P. (2012): Tree Height and Species Estimation Methods for Airborne Laser Scanning in a Forest Reserve. *Full Proceedings of SilviLaser 2012: 12th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems*. Vancouver, Canada, 2012.09.16-2012.09.19. 260-270

CZAJLIK, Z. – KIRÁLY, G. – CZÖVEK, A. – PUSZTA, S. – HOLL, B. – BROLLY, G. (2012): The Application of Remote Sensing Technology and Geophysical Methods in the Topographic Survey of Early Iron Age Burial Tumuli in Transdanubia. Iron age rites and rituals in the carpathian basin. *Proceedings of the International Colloquium from Targu Mures, 7–9 October 2011*, Editura MEGA, Targu Mures, 65-77

BROLLY, G. – CZIMBER, K. – KIRÁLY, G. (2011): Fiatalkorú faállományok voxel alapú térképezése földi lézeres letapogatás adatai alapján. NYME, EMK Tudományos konferencia. Sopron, 2011.10.05. 40-45

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2011): Supporting the survey of ecosystem services by means of geomorphological analysis of digital terrain model from airborne laser scanning. NYME, EMK Tudományos konferencia. Sopron, 2011.10.05. 66-71

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2010): Algorithm for individual stem mapping from terrestrial laser scanning. Proceedings of 10th International SilviLaser Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems. Freiburg, Germany, 2010.09.14-2010.09.17. 641-657

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. (2010): Volume calculations of single trees based on terrestrial laser scanning. Proceedings of 10th International SilviLaser Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems. Freiburg, Germany, 2010.09.14-2010.09.17. 629-640

KIRÁLY, G. – CSÉPÁNYI, P. – BROLLY, G. – KÁLMÁN, M. (2010): Spatial Monitoring of a Complex Forest - Inventory of a Pro Silva Demonstrational Forest by Means of Terrestrial Laser Scanning. XXIII IUFRO world congress Seoul, Korea, 2010.08.23-2010.08.28. unpaginated CD-ROM

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2009): Lézeres letapogatás feldolgozása erdei környezetben. Erdészeti, Környezettudományi, Természetvédelmi és Vadgazdálkodási Tudományos Konferencia. Sopron, 2009.10.12. 29-34

BROLLY G. - KIRÁLY G. (2007): Erdészeti és természetvédelmi célú földi lézeres letapogatás feldolgozása a Hidegvíz-völgy erdőrezervátumban. Erdészeti Tudományos Konferencia. Sopron, 2007.12.11. 28-30

KIRÁLY G. – BROLLY G. (2007): Tree height estimation methods for terrestrial laser scanning in a forest reserve. IAPRS 36 (3/W52): 211-215

KIRÁLY G. – BROLLY G. (2006): Estimating forest stand parameters applying airborne laser scanning and Quickbird image. Proceedings of the Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Vienna, 2006.02.14-2006.02.15. 79-91

## **Előadások**

BROLLY G. (2012): Földi és légi lézeres letapogatás alkalmazása az erdők felméréseiben. Előadás, Országos Erdészeti Egyesület, Veszprémi FVM Csoport. Veszprém, 2012.11.16.

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. (2011): 3D lézerszkenneres felmérés és feldolgozása. Országos Erdészeti Egyesület, Közép-Magyarországi Helyi Csoport rendezvénye (Erdőgazdálkodási kutatás-fejlesztések a Pilisben). Budapest, 2011.06.09.

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. – MÁRKUS, I. (2009): A lézeres letapogatás és erdészeti vonatkozásai. METESZ, FTTT évnyitó ülés. Sopron, 2009.01.13.

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. (2009): Lézeres letapogatások az erdőben. Tér-fény-kép konferencia. Dobogókő, 2009.11.12-13.

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2006): ALS data fusion with Quickbird imagery in the crossborder area. SISTEMaPARC project workshop. Sarród, 2006.03.29.

BROLLY G. (2006): Coordinate transformation in Fertő-Hanság National Park. SISTEMaPARC project workshop. Trenta, Slovenia, 2006.09.21.

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. (2006): Faállomány-paraméterek becslése QuickBird űrfelvétel és légi lézeres letapogatás (ALS) együttes elemzésével. Tér-Fény-Kép konferencia. Dobogókő, 2006.10.13.

## **Egyéb publikációk**

KIRÁLY, G. – BROLLY, G. – HÁZAS, G. – TRIMMEL, W. (2012): Légi lézeres letapogatással felmért halomsírmező a Várhely környékén. Soproni Szemle, 66 (1) 76-82

BROLLY, G. – KIRÁLY, G. (2011): Légi lézeres letapogatás erdei környezetben. Elektronikus publikáció ([www.terinformatika-online.hu](http://www.terinformatika-online.hu))