

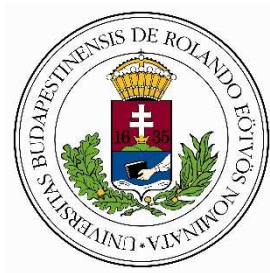
EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

# Holtfa-detektálási eljárások vizsgálata lézerszkennelt adatokon

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK  
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKUS SZAKIRÁNY

*Készítette:*  
**Vassányi Gergely**

*Témavezető:*  
**Dr. Székely Balázs**  
egyetemi docens  
ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék



Budapest, 2019

# Tartalomjegyzék

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Abstract.....                                                     | 3  |
| 1. Bevezetés.....                                                 | 4  |
| 2. A holtfáról .....                                              | 5  |
| 2. 1. A holtfa fogalma .....                                      | 5  |
| 2. 2. A holtfa jelentősége .....                                  | 5  |
| 3. A lézerszkennelésről.....                                      | 7  |
| 3. 1. Működési elv, módszertan .....                              | 7  |
| 3. 2. ALS alkalmazásai holt fa detektálására .....                | 11 |
| 4. Holtfa-detektálás / Adatok és módszerek .....                  | 13 |
| 4. 1. A módszer elméleti háttere .....                            | 13 |
| 4. 2. A felesleges pontok eltávolítása .....                      | 14 |
| 4. 3. Az adatok előkészítése.....                                 | 16 |
| 4. 3. 1. Kiindulási adatok (Ágotapuszta, Aggtelek, Tisza-tó)..... | 16 |
| 4. 3. 2. Szegmentálás.....                                        | 17 |
| 4. 3. 3. Egyenesek létrehozása .....                              | 18 |
| 4. 4. Megvalósítás Python környezetben .....                      | 18 |
| 4. 4. 1. A program felépítése .....                               | 18 |
| 4. 4. 2. Széleffektus .....                                       | 20 |
| 4. 4. 3. Futásidő .....                                           | 22 |
| 4. 5. Kapott eredmények .....                                     | 23 |
| 5. Diskusszió.....                                                | 33 |
| 6. Összefoglalás.....                                             | 34 |
| Felhasznált irodalom .....                                        | 35 |
| Köszönetnyilvánítás .....                                         | 37 |
| Nyilatkozat .....                                                 | 38 |

## Abstract

Dead wood is a key feature in preserving biological diversity in forest ecosystems. Many specialized species depend on it for providing food and shelter, and it also plays a great role in reducing soil erosion and long-term carbon emission. Estimating dead wood quantity on a field survey-basis can be costly and difficult under certain terrain conditions. Airborne Laser Scanning (ALS) is an effective way of getting 3D information about linear off-terrain objects near ground in forests, such as lying large dead wood elements i.e. coarse woody debris (CWD). To identify CDW on ALS data, a point sampling method has been created which is based on distribution of neighbouring points. For each point the neighbouring points in a given radius are categorized based on azimuth, then the count of points in the categories are examined. If the maximum count value exceeds a given threshold, original coordinates, total count of neighbouring points, direction of maximum category (azimuth) and maximum per average count value are stored in an ASCII file. Artificial two-dimensional linear features have been inserted into ALS point clouds of forested areas for modelling purposes, and a Python interpretation of discussed method has been applied onto them. Results show that features could be detected clearly by used algorithm if certain point density criteria are met; in these cases the position of linear features can be identified. Calibration of parameters could be done with artificial data, but testing model efficiency and usability requires further experiments on validated ALS data containing dead wood elements. For ecological applications an estimation of dead wood volume could be essential, which requires further development of used method.

# 1. Bevezetés

A holtfa és a hozzá kötődő biodiverzitás kulcsszerepet játszik az erdőben zajló biológiai folyamatok fenntartásában (pl. anyag- és energiaforgalom, termőhely-stabilizáció, regeneráció, széndioxid-megkötés), amelyek nélkülözhetetlenek az erdő fatermőképességének és környezeti szolgáltatásainak biztosításához. A holtfa a Natura 2000 ökológiai hálózaton belül is kiemelt fontosságú, monitorozására hatéves ciklusokat ír elő az Európai Unió. Anyagának fontos szerepe van a talajerózió megakadályozásában, heves esőzések során lassítja a víz levonulását. Árvizek esetén a nagyméretű fatörzsek kockázatot jelentenek az emberi létesítményekre, ezért a holtfa mennyiségének ismerete az árvízvédelem számára is fontos paraméter. A holtfa mennyiségének becslése azonban hagyományos terepi méréssel nagy befektetett energiát igényel.

Erre kínál alternatív lehetőséget a légi lézerszkennelés (Airborne Laser Scanning - ALS), melynek használatával a nehezen megközelíthető területekről is információt nyerünk, és emellett időbeli változások (pl.: vihkár, jégkár) nyomon követésére is alkalmazható. Szakdolgozatomban egy olyan, lézerszkennelt adatokra épülő eljárást vizsgállok célirányosan a fekvő holtfák detektálására, amely a pontok térbeli eloszlása alapján elősegíti az egyes fák azonosítását és helyzetének meghatározását, ezáltal hozzájárul az erdő struktúrájának átfogóbb ismeretéhez.

Az általam vizsgált módszer elsősorban ökológiai kutatásokhoz segít általános képet kapni az erdőben található fekvő holtfa mennyiségéről. Az eljárás a fekvő fákat, vonalas elemeket azonosítja, melyhez nem szükséges a koordinátákon kívül egyéb információ megléte (pl.: teljes jelalak, impulzus szélesség). Előnye, hogy relatíve egyszerű, és archív adatokra is alkalmazható.

A probléma bemutatásához először – irodalmi adatok alapján – a holtfa jelentőségét tekintem át röviden, majd a lézerszkennelés módszertanát foglalom össze. Ebben a fejezetben kitérek a működési elvre, a teljes jelalak elemzésére, az alkalmazott domborzatmodellek (DTM) és felszínmodellek (DSM) készítésére, valamint ismertetek néhány korábbi munkát a lézerszkennelés holtfa-detektálás céljából történt alkalmazásáról. Ezután az általam alkalmazott módszer elméleti oldalát mutatom be, majd kitérek a megvalósítás konkrét részleteire. Végül értékelem a kapott eredményeket, és összefoglalom a dolgozat következtetéseit.

## **2. A holtfáról**

### **2. 1. A holtfa fogalma**

A holtfa jelenségét és ökológiai jelentőségét ebben a fejezetben DUDLEY és munkatársai (2006), WU (2016), ÓDOR (2018), és néhány más munka alapján foglalom össze.

A holtfa legjellegzetesebb formái a földön fekvő kidőlt fák törzsei, ágai, az álló, elhalt ágakkal és koronával rendelkező holtfák, valamint a fák kidőlése, kivágása után visszamaradt tuskók. Hozzá tartoznak azonban a holtfa mennyiségéhez az élő fák korhadó részei, valamint a földben lévő nagyobb elhalt gyökérdarabok is. Általában elkülönítik a vékony (átmérő: <10cm) (fine woody debris – FWD; átmérő: <10cm); és a vastag holtfát (CWD – coarse woody debris); ezek közül az utóbbi bír nagyobb jelentőséggel (WU, 2016). A korhadtság jellemzésére korhadtsági fázisokat használnak, leggyakrabban 5 stádiumot különböztetnek meg. (ÓDOR, 2018).

Az álló és fekvő holtfa mennyiségét külön erdészeti módszerekkel mérik, melyek terepi felmérésen alapulnak. Álló holtfa esetén terület alapú, míg fekvő holtfák esetén vonal menti mintavételt alkalmaznak. A mintavétel során a mérethatáron felüli egyedek térfogatát számolják közelítő eljárásokkal, az együttes holtfa mennyiségét  $\text{m}^3/\text{ha}$ -ban adják meg. Erdei ökoszisztémák anyagforgalmának leírásánál területegységre vonatkoztatott száraz tömeggel is szokás jellemezni a holtfa-viszonyokat. (BÖLÖNI és ÓDOR., 2014)

### **2. 2. A holtfa jelentősége**

Biológiai jelentőségét tekintve a holtfa jelenléte az erdők élőlényei számára kiemelkedő fontosságú. Számos specializálódott faj használja élőhelyül, amelyek a fa anyagának hasznosítására épülve táplálékláncot alkotnak. Ezek legfontosabb szereplői az elsődleges lebontást végző gombák, melyek a fa test korhadását idézik elő. A rájuk épülő gombaevők közé tartoznak a különböző járatépítő bogárfajok (cincérek és szűfélék), a molyok és a gombaszúnyogok. Ezek a fajok ragadozók táplálékaul szolgálnak (harkályok), amelyek a faanyagba üregeket vájnak, ezáltal a fa fizikai aprózódásához is hozzájárulnak (ÓDOR, 2018).

A holtfa életteret nyújt az elsődleges odúlakó madaraknak (harkályok), amelyek álló holtfákba vájt odút később másodlagos odúlakók használják (pl.: denevérek, cinegék). A kidőlt elhalt fák ugyanakkor aljzatul szolgálnak más növények számára, amelyek nem vesznek részt a faanyag lebontásában (zuzmók, mohák). A kidőlt fák bizonyos fajok esetén az erdő

újulását is elősegíthetik. A vízfolyásokba dőlő fák a vízsebesség lassításával a halak és rovarok számára ívó és ivadéknevelő helyeket biztosítanak, emellett a víz tápanyagtartalmát is növelik (DUDLEY et al., 2006).

A holtfa a Natura2000 ökológiai hálózaton belül is kiemelkedő jelentőséggel bír mint fontos ökológiai indikátor. Az európai veszélyeztetett növény- és állatfajok monitorozására létrejött hálózat jelenleg az Európai Unióhoz tartozó szárazföldi területek 18%-át érinti (788 000 km<sup>2</sup>) (NATURA 2000). A biológiai sokféleség megőrzése, illetve a természetes élőhelyek fenntartása érdekében a monitorozási rendszer 6 éves vizsgálati ciklusokat ír elő ezen a területen, amelybe a holtfa mennyiségének meghatározása is beletartozik. Ekkora területen hagyományos terepi mérésekkel a teljes monitorozás jóformán lehetetlen, a magas költségek, és a nehezen megközelíthető területek miatt. Emiatt van nagy jelentősége a távérzékelés – így a légi lézerszkennelés útján előállított – adatok feldolgozásának. (MÜCKE et al., 2012)

Az erdei ökoszisztémák vizsgálata lehetőséget nyújt a klímaváltozás hatásainak elemzésére is. A holtfa mint szerves anyag, erdei ökoszisztémán belül hosszútávú szénraktárnak tekinthető. Az erdészeti művelés alá vont erdőkben ez a szénmennyiség nagyjából a fele annak, amely egy természetes állapotú erdőben található (RUSSEL et al., 2015). A holtfa mennyiségének növelésével a gazdasági erdőkben ezáltal nagy mértékben csökkenthető a szénkibocsátás, amely a klímaváltozás hatását is képes mérsékelni (DUDLEY et al., 2006). A famennyiség-változások összehasonlítása és időbeli elemzése pontosan és költséghatékonyan végezhető légi lézeres távérzékelés segítségével.

Általánosságban elmondható, hogy a holtfa a kisebb vízfolyásokban eloszlatja a víz energiáját, mellyel lassítja a víz levonulását, így csökkentve a partmenti erózió hatását. A vízsebesség lassulásával mérséklődik a szállított üledék mennyisége, amely szerves anyagban gazdag élőhelyet nyújt a vízi ökoszisztéma tagjainak (WU, 2016).

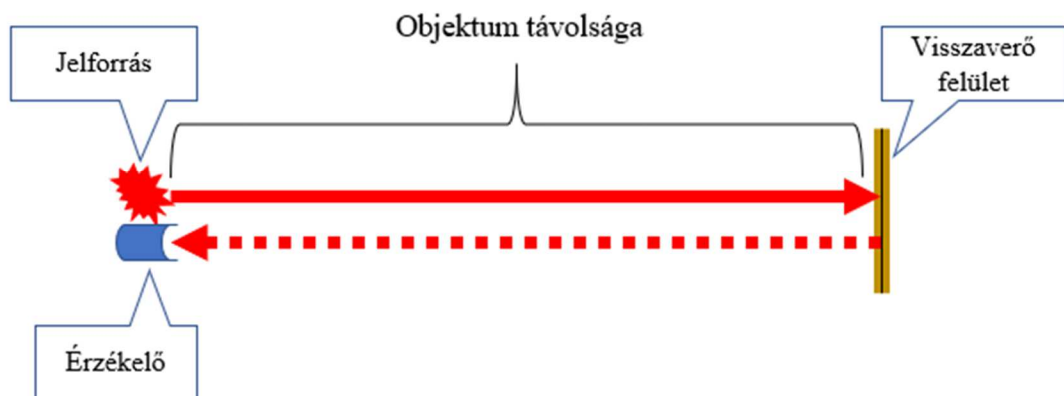
Mérnöki szemmel nézve a nagy méretű, víz által szállított fatörzsek (hossz: >1m; átmérő: >0,1m) árvíz idején magas kockázatot jelentenek az emberi infrastruktúrára. A fő problémát a hidaknál, zsilipeknél feltorlódott fatörzsek jelentik, amelyek leszűkítik, vagy akár teljesen el is zárhatják a folyó medrét. A vízszint ezáltal megemelkedik, amely elősegíti a folyó kiöntését a felsőbb szakaszokon. Továbbá, a fák nekiütődésükkel a hidakban, illetve egyéb létesítményekben is károkat okozhatnak (RICKLI et al., 2018). Az ártereken található holtfa ezért egyúttal olyan kockázati tényező, melynek ismerete fontos az árvízi védekezéshez.

### 3. A lézerszkennelésről

#### 3. 1. Működési elv, módszertan

Ebben a fejezetben lézerszkennelés általános tulajdonságait és módszertanát BARSÍ és munkatársai (2003), SZÉKELY és munkatársai (2007), VERŐNÉ (2010), és néhány egyéb munka alapján mutatom be.

A lézeres távérzékelés, vagy lézerszkennelés (LiDAR – Light Detection and Ranging) az aktív távérzékelő rendszerekhez tartozik, vagyis rendelkezik saját jelforrással és energiával. A jelforrás – a szkennelés és a műszer jellegétől függően – az ultraibolya, látható és infravörös tartományokban bocsájt ki lézerimpulzusokat, melyek visszaverődnek az impulzus terjedési irányába eső objektumokról. Mivel az elektromágneses jel terjedési sebessége ismert, a jel kibocsátásának és a visszavert jel beérkezésének időkülönbségéből meghatározható a visszaverődés érzékelőtől mért távolsága (lézertáv mérő, 1. ábra). Amennyiben ismerjük az érzékelő térbeli pozícióját (koordinátáit), és a kibocsátás irányát, az objektum koordinátáit is meg tudjuk határozni. (VERŐNÉ, 2010).

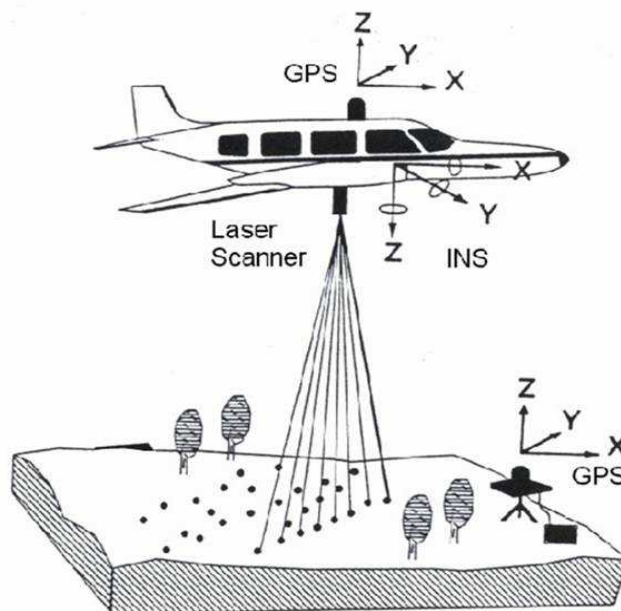


1. ábra A lézeres távmérő működési elve.

A légi lézerszkennelés (ALS - Airborne Laser Scanning) során egy ilyen rendszert repülőgépre vagy egyéb repülő eszközre helyezünk, ezáltal felülről nyerhetünk információt a felszínről. A gyakorlatban a repülőgépről (ritkábban helikopterről) a földfelszín felé kibocsátott lézersugár pásztázza a tájat, miközben a jármű állandó sebességgel halad. Ezt a felmérést egymással átfedő szkennelési sávokban végzik, melyeket utólag összeillesztve egy-

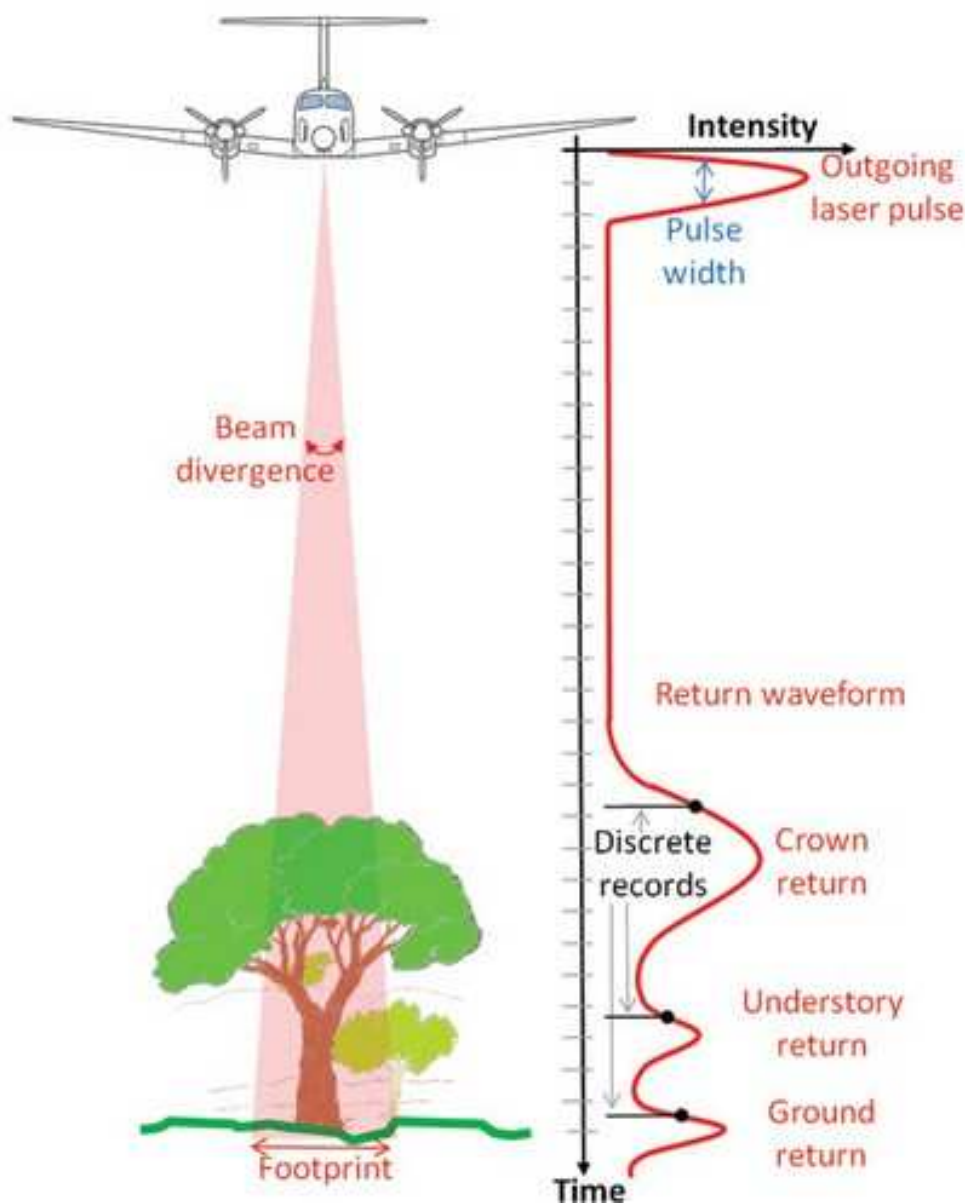
séges adatrendszer jön létre. Ennek feltétele a repülőgép pillanatnyi helyzetének és dőlésének ismerete, amelyet egymáshoz hangolt műholdas helymeghatározó rendszerrel (GPS – Global Positioning System) és a repülőgép dőlését, attitűdjét (pitch, roll, yaw) mérő IMU (Inertial Measurement Unit) műszer adatain alapuló inerciális navigációs rendszerrel (INS) tudunk megadni (2. ábra). A felszíni pontok helyzetmeghatározási pontossága nagy mértékben ettől függ, a lézeres távmérő hibája kevésbé járul hozzá a helyzeti hibáskhoz (BARSÍ et al., 2003).

A lézerimpulzus a felszínen ellipszisként képeződik le, melynek félnagy tengelye a repülési magasság és a jel szóródásának függvényében általában 10 cm és 40 cm között változik. Ha a jel magassági törést (pl.: fát, háztetőt) ér, egy része visszaverődik, egy része tovább halad a felszín felé. Erdős területen például az impulzus egy része a fa koronájáról verődik vissza, egy része eljut a talajig, de lehetnek köztes visszaverődések is, ha bokor vagy fekvő holt fa esik az impulzus útjába (3. ábra). A hagyományos, diszkrét visszaverődést regisztráló LiDAR rendszerek általában 5-8 ilyen visszaverődést képesek rögzíteni, amennyiben a visszavert jel intenzitása átlép egy megadott küszöbértéket. Előfordul azonban az is, hogy csak az első és az utolsó visszaverődést (first echo, last echo), vagy a legszignifikánsabb jelet rögzítik (LOHANI et al., 2008).



**2. ábra** Egy repülőgépre rögzített szkennelési rendszer vázlata (KAO et al., 2005)

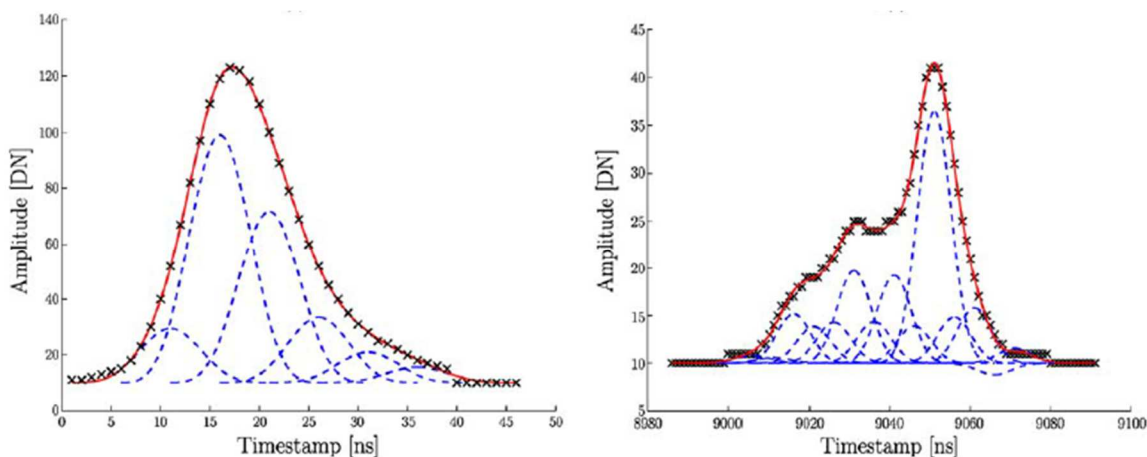




**3. ábra** A lézersugár visszaverődései és az impulzus jelalakja (FERNANDEZ-DIAZ, 2011). A kibocsátott lézersugár nyílásszöge (Beam divergence) és a repülési magasság adja meg a földi leképeződés átmérőjét (Footprint). A jelalak (waveform) az intenzitás-idő tengelyen van ábrázolva, melyből a pontok (Discrete records) kerülnek meghatározásra a visszaverődések (return) helyén. (Outgoing laser pulse: kimenő lézerimpulzus; Pulse width: impulzus szélesség; Return waveform: visszavert jelalak; Crown return: koronaszintű visszaverődés; Understory return: cserjeszintű visszaverődés; Ground return: talajszintű visszaverődés.)

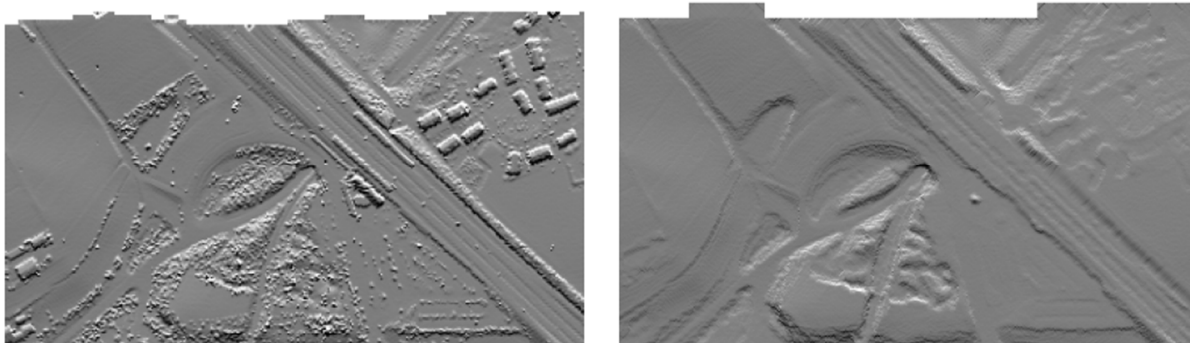
Bizonyos esetekben, pl.: lombhullató erdőknél előfordul, hogy a köztes visszaverődések túl közel vannak egymáshoz, ezért a visszavert jel a várt, egyértelmű maximumot mutató jelalakkal szemben elnyújtott, változó amplitúdójú lesz. (WAGNER et al., 2006). A hagyományos rögzítési technikával ezek a jelek nem különíthetők el, ezért alkalmazzák a teljes jelalakos légerszkennelést (FWF ALS – Full-Waveform Airborne Laser Scanning). A

szkennelés során a teljes visszavert jelalakot rögzítik, erre Gauss-görbéket illesztenek, majd ezekből dekonvolúciós eljárással meghatározzák a pontok helyzetét (4. ábra, RONCAT et al., 2014). Ezzel az eljárással a pontok részletes klasszifikálására, illetve szűrésére is lehetőség nyílik, ugyanis az impulzus szélességére küszöbérték állítható fel. Abban az esetben, ha a fekvő holt fák helyzetére vagyunk kíváncsiak, célszerű a teljes jelalakos lézerszkennelés használata, a felszínhez közeli pontok biztosabb meghatározása miatt. Az eljárást többek között régészeti, ökológiai, és geomorfológiai célra is alkalmazzák.



**4. ábra** A kibocsátott impulzus és a visszavert impulzus jelalakja Gauss-görbékkel modellezve (RONCAT et al., 2014). A függőleges tengely az amplitúdót, a vízszintes tengely az eltelt időt ábrázolja; Piros vonallal a jelalak, szaggatott kékkel a Gauss-görbék vannak feltüntetve.

A légi lézerszkennelés egyik leggyakoribb felhasználási formája a digitális domborzat- (DTM – Digital Terrain Model) és felszínmodellek (DSM – Digital Surface Model) készítése, melyek a pontokra interpolációs módszerekkel illesztett felületeket jelentenek. DSM esetén a felszín kitüremkedéseire vagyunk kíváncsiak, pl.: összeláthatósági elemzés során, melyet az első visszaverődésekből állíthatunk elő (SZÉKELY et al., 2007). DTM készítése során az utolsó visszaverődésekből kell modelleznünk a talajfelszínt, azonban mivel a lézersugár nem minden esetben jut el a felszínig, ezek a visszaverődések érkehetnek tereptárgyról vagy a növényzetről is (pl.: háztető, fatörzs). Az ilyen pontok torzíthatják a DTM-et, ezért ezeket több lépéses robosztus interpolációs módszerrel kiszűrjük, majd a maradék pontokra szabályos rácsban felületet illesztenek (KRAUS és PFEIFER, 2001). A legtöbb emberi tereptárgy, épület és növényzeti elem így eltávolítható a pontfelhőből (5. ábra). Nagy felbontású DTM készítéséhez teljes jelalakos adatokra van szükség, pl.: régészeti kutatások, illetve árterek felmérése esetén.

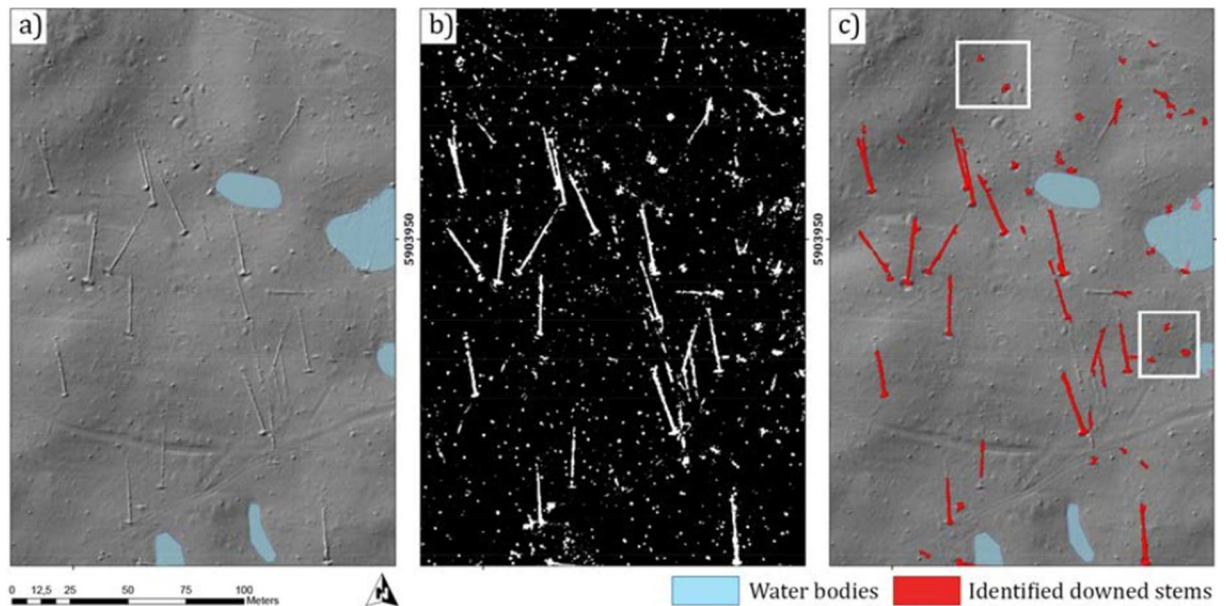


**5. ábra** Szűrés nélküli, illetve szűrt DTM felülnézetben, árnyékolással (KRAUS és PFEIFER, 2001). A jobb oldali képről hiányoznak a növényzeti pontok és az épületek, ezért pontosabb képet ad a domborzatról.

### 3. 2. ALS alkalmazásai holt fa detektálására

Álló holtfák detektálására YAO és munkatársai dolgoztak ki teljes lézerszkennelt adatokon alapuló eljárást (YAO et al., 2012). Munkájuk során 20 pont/m<sup>2</sup>-es sűrűségű adatból indultak ki, melyben watershed algoritmus használatával elkülönítették az egyes fákat tartalmazó területeket, majd 3D-s szegmentálás segítségével a fákhöz tartozó pontokat külön objektumoknak feleltették meg. Végül az egyes fa-objektumok közül vektoros elemzéssel kiemelték a holt fákat, majd eredményeiket erdészeti adatokkal összevetve 73%-os egyezőséget tapasztaltak. Az ő módszerüket használták fel POLEWSKI és munkatársai, akik a holt fák azonosításához infravörös légifelvételeket is felhasználtak. Ezzel a technikával már 89%-os hatékonyságot tudtak elérni (POLEWSKI et al., 2013).

MÜCKE és munkatársai foglalkoztak behatóbban fekvő holtfák lézerszkennelt adatok alapján történő megtalálásával (MÜCKE et al., 2012). Az ő általuk felmért teljes jelalakos adatokból Gauss-dekompozícióval meghatározták a pontok koordinátáit, az utolsó visszaverődésekből DTM-et készítettek (25 centiméteres rácshosszal), majd ebből relatív magasságot is számoltak. Az adat pontsűrűsége kb. 20 pont/m<sup>2</sup> volt; A pontok relatív magasságra 2m-es, a visszavert impulzusok szélességére 4,5 ns-os küszöböt alkalmaztak. A maradék pontokból készített DTM-en egyértelműen látszódtak a fekvő fák, melyeket további módszerekkel vektoros térképen ábrázoltak (6. ábra). A fákat a tesztterületen GPS-szel előzőleg felmérték, majd a kapott eredményekkel összehasonlítva 70%-os hatékonyságot tapasztaltak.



**6. ábra** DTM árnyékolással (a), bináris térkép a kapott fákról (b), és az azonosított fák vektoros térképe (c). A kék szín víztesteket, a piros szín azonosított fákat jelöl (MÜCKE et al., 2012).

Léteznek további módszerek, amelyek nagy biztonsággal képesek kimutatni a fekvő holt-fák helyzetét, azonban ezek általában sok lépésből állnak, alkalmazásuk komolyabb szaktudást, illetve nagy adatsűrűséget igényel, emiatt nagy területre, illetve archív adatokra nem igazán praktikusak. Az általam vizsgált módszer egyszerűbb, kevés paramétert tartalmaz, és könnyen automatizálni lehet. Emellett nem igényli a teljes jelalak meglétét, a paraméterek beállítását követően pusztán a pontok koordinátaiból képes eredményt nyújtani.

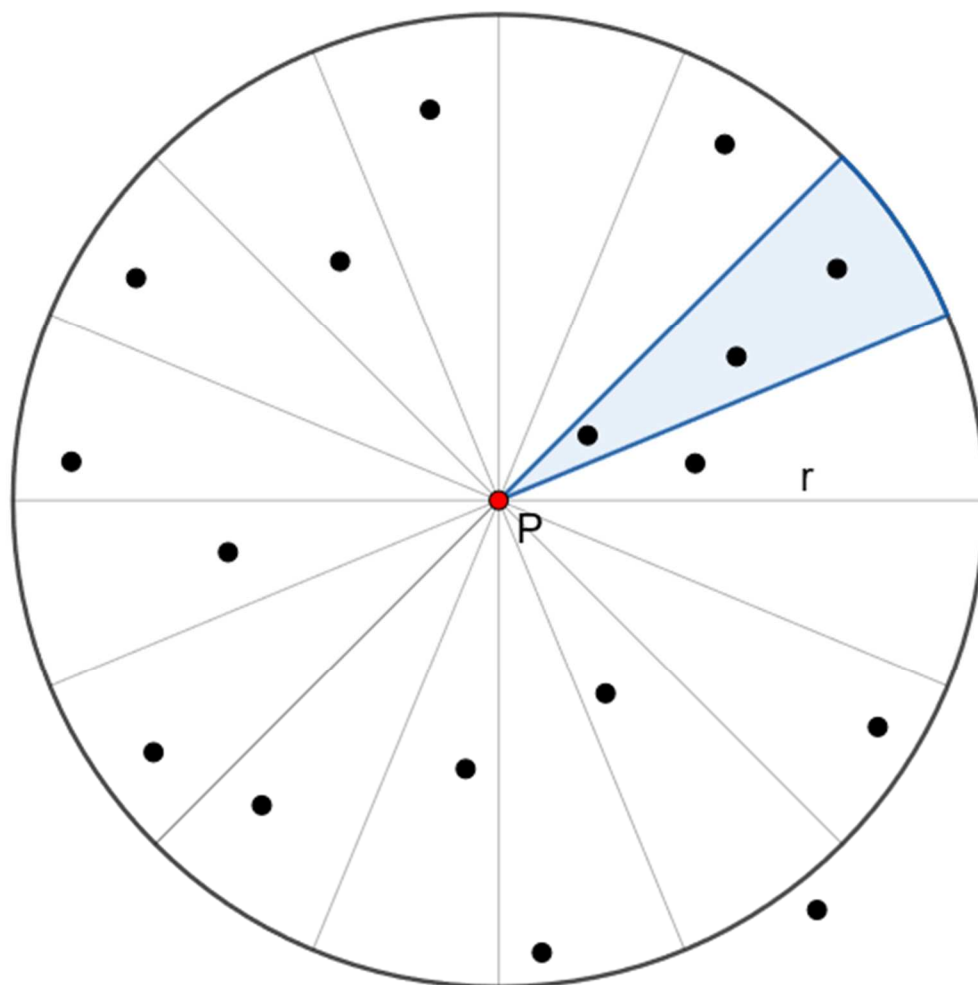
Teljes jelalakos szkennelés esetén kézenfekvő lehet a különböző szűrési eljárásokkal beazonosított, talajról történő visszaverődések kiszűrése, mivel így a holtfákat alkotó pontok egyértelműen elkülöníthetők a pontfelhő többi részétől. Ugyanakkor elképzelhető, hogy a jel a szkennelés során nem jut el a felszínig a fa nagy kiterjedése, vagy az aljnövényzet miatt. Előfordulhat ezért, hogy hibás a klasszifikáció, vagyis a holtfa pontját felszíni pontnak hiszi a rendszer. Ebből adódóan ezen pontok elvetése nem célszerű, mivel így értékes adat is elveszhet.

## 4. Holtfa-detektálás / Adatok és módszerek

### 4. 1. A módszer elméleti háttere

Az általam vizsgált eljárás a fekvő fatörzsekről adódó visszaverődéseket, illetve azok környezetét szűri ki, mely a pontok szomszédságában található többi pont magas száma, vagyis az adat sűrűsödése alapján választja ki ezeket. A keresés irányspecifikus, vagyis egy kitüntetett síktartományra korlátozza a sűrűsödés meglétét, így a fatörzsek, mint vonalas elemek, irányultságuknál fogva könnyen beazonosíthatók. A keresés nem veszi figyelembe a Z koordinátákat, ezért célszerű előre leválogatni a nem releváns pontokat (lásd: A felesleges pontok eltávolítása c. fejezet.) A sűrűsödés meglétét a következő módon állapítja meg az eljárás:

Vegyünk egy tetszőleges  $P$  pont  $r$  sugarú környezetét. Osszuk fel a síkot ezen az  $r$  környezetben belül irány szerint egyenlő sík tartományokra, majd soroljuk be ezekbe  $P$  környező pontjait. Ezután vizsgáljuk meg, mely tartományokban található lényegesen több pont a többihez képest. Ha van legalább egy ilyen tartomány, akkor a pont közelében sűrűsödés található, vagyis joggal feltételezhető róla, hogy valamilyen hosszúkas tárgy, potenciálisan egy fekvő holtfa szomszédságában helyezkedik el. A vizsgált pont adatait ekkor eltávolítjuk, majd az előbbi műveletet az összes további pontra elvégezve egy bináris térképet kapunk a lehetséges fekvő holt fákat és környezetüket alkotó pontokról. Emellett a síktartományok helyzetéből a sűrűsödés irányára vonatkozó információhoz is hozzájutunk (7. ábra).



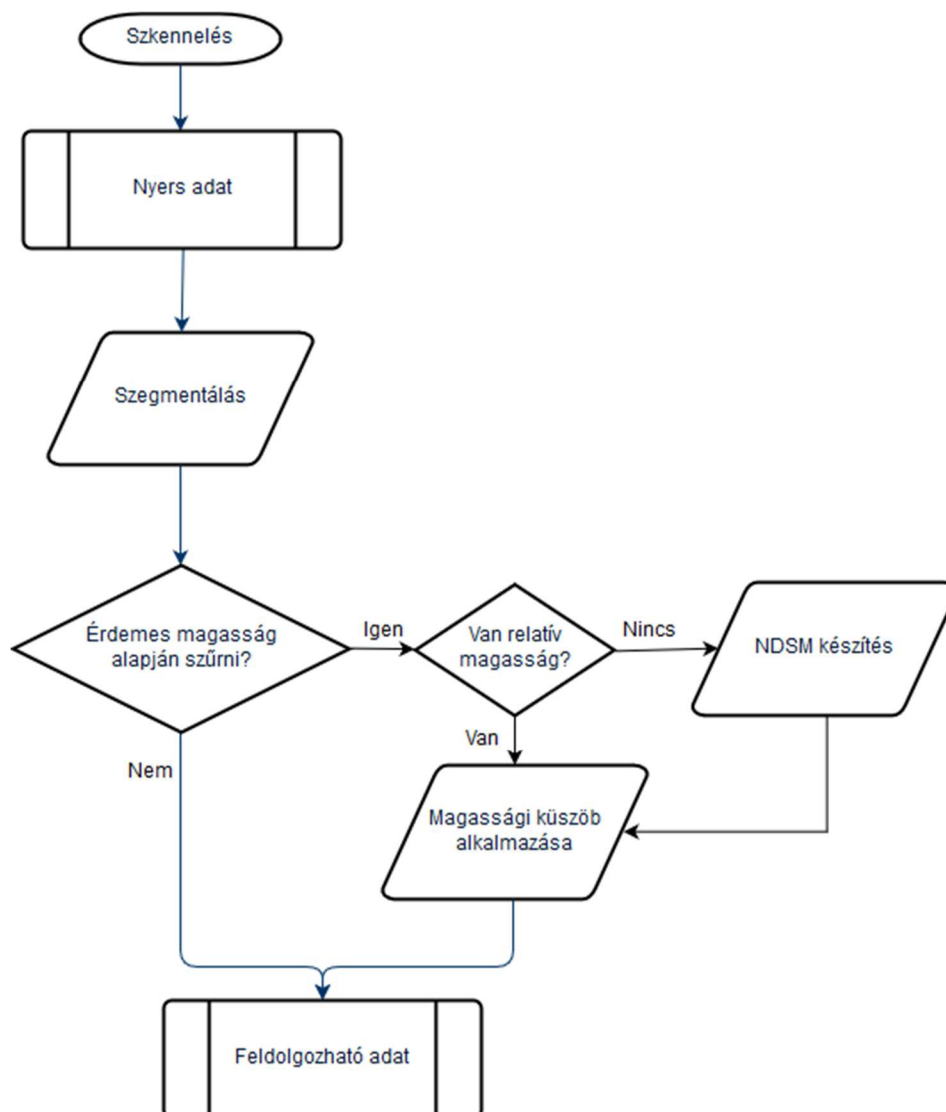
**7. ábra** A sík felosztása a kiválasztott (piros)  $P$  pont  $r$  sugarú környezetén belül. A kézzel jelölt tartományban található (fekete) pontok magas száma miatt feltehetően abban az irányban kell keresnünk a holt fát.

## 4. 2. A felesleges pontok eltávolítása

A kiindulási adat ideális esetben egy olyan pontfelhőt jelent, amely csak a talajszint feletti 2-3 m-es magasságnál alacsonyabb pontokat tartalmazza, illetve az egyéb növényzeti pontok (pl.: álló fák törzse) leválogatása már megtörtént. Holt fák detektálásánál ugyanis a talajszinttől távol eső pontok nagy valószínűséggel nem részei egy fekvő fa törzsének, így zajként befolyásolják az eredményt. Teljes jelalakos adatokból ilyen pontfelhő viszonylag egyszerűen előállítható (lásd.: MÜCKE et al., 2012), azonban a nagy relatív magasságú pontokat máshogy is kiszűrhetjük.

Amennyiben a szkennelés során rögzítették paraméterként a relatív magasságot, elegendő a szűréshez egy magassági küszöbérték megadása, amely felett az adott pont eltávolításra

kerül. Ha viszont csak X, Y, és Z koordináták állnak rendelkezésre, a magasságkülönbség előállítható úgy, hogy a pontfelhőből készített DTM-et és DSM-et kivonjuk egymásból. Így egy normalizált digitális felszínmodellt kapunk eredményként (nDSM – Normalized DSM), amely a relatív magasságot tartalmazza magassági adatként (pl. HASHEMI, 2008). A modellek használata miatt azonban – a modell típusától függően – az eredeti pontok szabályos rácsba rendeződnek, az így kapott koordináták megváltoznak, így a keresés során a szomszédos pontok irányára és számára vonatkozó információ torzul. Használata ezért csak megfelelően részletes modell és nagy pontsűrűség mellett indokolt. Emellett előfordulhat, hogy a terep jellegéből adódóan alig találhatóak zavaró, magas objektumok (pl.: füves puszta, alacsony síkság esetén), így a pontok száma nem csökkenne jelentősen egy ilyen szűréssel. A 8. ábra szemlélteti az adat összefüggését a pontok szűrésével kapcsolatos döntéshozatallal.



**8. ábra** Az adat előkészítésének folyamatábrája. A felhasználónak a nyers adat tulajdonságaitól függően kell mérlegelnie a magassági szűrés elvégzését illetően.

## 4. 3. Az adatok előkészítése

### 4. 3. 1. Kiindulási adatok (Ágotapuszta, Aggtelek, Tisza-tó)

Tekintve, hogy nem állt rendelkezésemre olyan adat, amely hiteles információt tartalmazott volna a pontfelhőkben esetlegesen előforduló fekvő holt fák helyzetéről, a módszer teszteléséhez saját magam által készített műfákat – helyettesítő egyeneseket – használtam, melyekre elvégeztem a detektálási eljárást. Ezeket az egyeneseket X és Y koordinátájú pontokból táblázatkezelőben megszerkesztettem, majd különböző szerkezetű és sűrűségű, erdős területet ábrázoló pontfelhőkbe illesztettem be. Ezután hosszukat és az őket tartalmazó pontok számát változtatva több esetet is megvizsgáltam.

Munkám során ASCII szöveges fájlban tárolt adatokat használtam fel, amelyek X, Y és Z koordinátákat tartalmaztak. Három különböző forrású adattal dolgoztam, ezek a hortobágyi Ágotapuszta, az Aggteleki-karszt és a Tisza-tó térségéből származnak. Ezekből mintaterületeket vágtam ki, majd beillesztettem az egyeneseket, és elvégeztem a keresést. Igyekeztem erdővel borított terepet választani, azonban Ágotapuszta esetében a növényzeti viszonyokból adódóan erre nem volt lehetőség.

Az ágotapusztai állomány a Hortobágyi Nemzeti Parkban területén található, pontsűrűsége körülbelül 50 pont/m<sup>2</sup>. A felszín borítottságát tekintve majdnem teljesen sík füves puszta, melyen helyenként alacsony növésű cserjék fordulnak elő. A detektálási módszer vizsgálatához 20 négyzetméternyi területet vágtam ki, megközelítőleg 24 000 ponttal.

Az Aggteleki-Karsztról származó adat a magassági adatokat tekintve nagy változékonyságot mutat. Relatív magasság is a rendelkezésemre állt, ezért kézenfekvőnek tűnt a nagy magasságú pontok leválogatása. Mivel azonban az állomány pontsűrűsége a többihez képest lényegesen alacsonyabb (kb. 4 pont/m<sup>2</sup>), a keresési paraméterek beállításához és a teszteléshez ez nem volt szükséges. Ebből adódóan nagyobb, 80 m<sup>2</sup>-es területet választottam, a pontok száma 23 000-nél kicsit több.

A Tisza-tavi adat területe szinte teljesen sík; főként ártéri erdő, vízi növényzet és szabad vízfelszín található rajta. Munkám során az egyik ártéri erdőből vágtam ki egy 20 négyzetméteres területet, amelyen megközelítőleg 28 000 pont szerepel. A három állomány közül ez rendelkezik a legnagyobb pontsűrűséggel (kb. 70 pont/m<sup>2</sup>).



### 4. 3. 2. Szegmentálás

A feldolgozás első lépése a nyers fájlok kezelhető méretűre történő csökkentése volt, melyhez a CloudCompare nevű szabad felhasználású, pontfelhők megjelenítésére alkalmas szoftvert használtam. A program magassági színezés funkciójának használatával azonosítottam az erdőborítottság szélét, a kivágandó területek határainak egész értékű koordinátákat választottam. Ezek kivágása során azonban a beépített szegmentáló funkció az eredetileg 9-10 számjegyű koordinátákat 8 számjegyűre kerekítette. Ez jelentősen torzította az adatot, így egy saját készítésű, Python 2.7-ben írt scriptet használtam helyette (9. ábra).

```
1  import math
2
3  f = open('AP0312_5065243_.xyz', 'r')
4
5  data=[]
6  minx=506600.0
7  maxx=506680.0
8  miny=5243500.0
9  maxy=5243580.0
10 for line in f:
11     line = line.strip()
12     columns = line.split()
13     source = {}
14     source['x'] = float(columns[0])
15     source['y'] = float(columns[1])
16     source['z'] = float(columns[2])
17     if minx<=source['x'] <=maxx:
18         if miny<=source['y'] <=maxy:
19             data.append(source)
20
21 fajlba=open('AP_szegmens.txt','w+')
22 for sor in data:
23     fajlba.write(str(sor['x'])+" "+str(sor['y'])+" "+str(sor['z'])+"\n")
24 fajlba.close()
25 print("kész")
26
27
```

**9. ábra** A szegmentáló program kódja Python 2.7-ben. A beolvasandó és a kimeneti állomány nevét, illetve a koordináta-határokat (minx, maxx, miny, maxy) kell megadni futtatás előtt.

Ez a program egy téglalap alakú területet vág ki a kívánt pontfelhőből, amelyhez előzetesen meg kell adni a koordináta-határokat. A beolvasott fájl minden pontján végig megy, és eldönti, hogy az adott pont kívül esik-e a koordináta-határokon, vagy sem. A kivágandó pontokat egy listába helyezi, majd egy újonnan létrehozott szöveges állományba másolja át. A script futásideje több tízmillió átvizsgálandó pont esetén sem haladja meg az 5 percet.

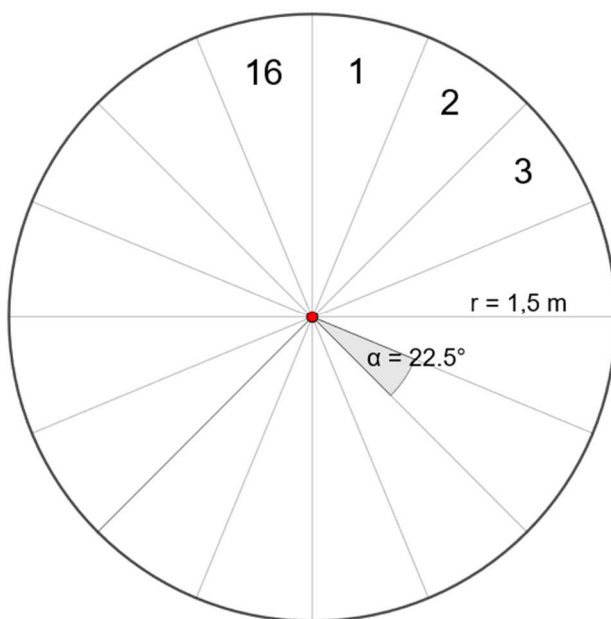
### 4. 3. 3. Egyenesek létrehozása

Az egyeneseket alkotó pontokat táblázatkezelőben készítettem el, majd beillesztettem a kivágott pontfelhőkbe. A pontok távolságának 1 cm-t választottam, hogy a nagy sűrűségű pontfelhőkben is biztosan megtalálja a keresőprogram az egyeneseket. Z koordinátát nem adtam a pontoknak, mivel a módszer ezt nem veszi számításba. A pontok számát később csökkentettem, illetve ferde és egymást metsző egyeneseket is készítettem.

## 4. 4. Megvalósítás Python környezetben

### 4. 4. 1. A program felépítése

A pontfelhők előkészítése után következett a detektálás elvégzése. Erre a célra szintén saját, Python 2.7-ben írt programot használtam, amely az Elméleti háttér című fejezetben ismertetett módon kiválasztja azokat a pontokat, amelyek közelében sűrűsödés tapasztalható (11. ábra) A program beolvassa a szöveges fájlt, majd a pontfelhő minden pontjára megvizsgálja, hogy a keresési sugáron belül milyen irányban látszik hozzá képest az őt körülvevő összes pont. Ezeket azimut alapján 16, egyenként  $22,5^\circ$ -os síkosztályba sorolja, melyek számozása az óramutató járása szerint növekszik (10. ábra) Amennyiben a legtöbb pontot tartalmazó osztály elemszáma nagyobb, mint egy előre megadott küszöbérték, a pont az eredményeket tartalmazó új szöveges állományba kerül. Az itt használt küszöbérték az egy osztályra jutó átlagos elemszám kétszerese.



10. ábra A síkosztályok számozása a programon belül.  $r$ : keresési sugár;  $\alpha$ : középponti szög.

```

1  import time
2  from operator import itemgetter, attrgetter
3  import math
4  import glob
5
6  start_time = time.clock()
7
8  sugarak=[1.5]
9  rad=180.0/math.pi
10 sszam=16.0
11 fok=360.0/sszam #22.5 fok
12
13 for r in sugarak:
14     csempszam=0
15
16     for csemp in glob.glob('*.*xyz'):
17         csempszam+=1
18         print(csempszam)
19         nyitnev=str(csemp)
20         csempnev="r"+str(r)+"m_keresztbe_"+str(csempszam)+"_minden.txt"
21
22         f = open(nyitnev, 'r')
23
24         data=[]
25         count=0
26         r2=r*r
27
28         for line in f:
29             line = line.strip()
30             columns = line.split()
31             source = {}
32             source['x'] = float(columns[0])
33             source['y'] = float(columns[1])
34             source['0'] = -1
35             source['1'] = 0
36             source['2'] = 0
37             source['3'] = 0

```

11. ábra A program kódjának egy részlete.

A program kimeneti adatként a pontok koordinátái mellett eltárolja a környezetükben található pontok összesített számát (*kornyszam*), a legtöbb pontot tartalmazó síkosztály számát (*iranyok[0]*; 1-16-ig, ebből a relatív irány visszafejthető), illetve a legtöbb pontot tartalmazó síkosztály elemszámának és az átlagos pontszám kétszeresének a hányadosát (*arany*). Az elsőből a sűrűsödés helyére, a másodikból az irányára, míg a harmadikból a pontos mértékére kapunk információt (12. ábra).

```

    fajlba.write(str(pont['x'])+" "+str(pont['y'])+" "+str(kornyszam)+" "+str(iranyok[0])+" "+
arany+"\n")

fajlba.close()

```

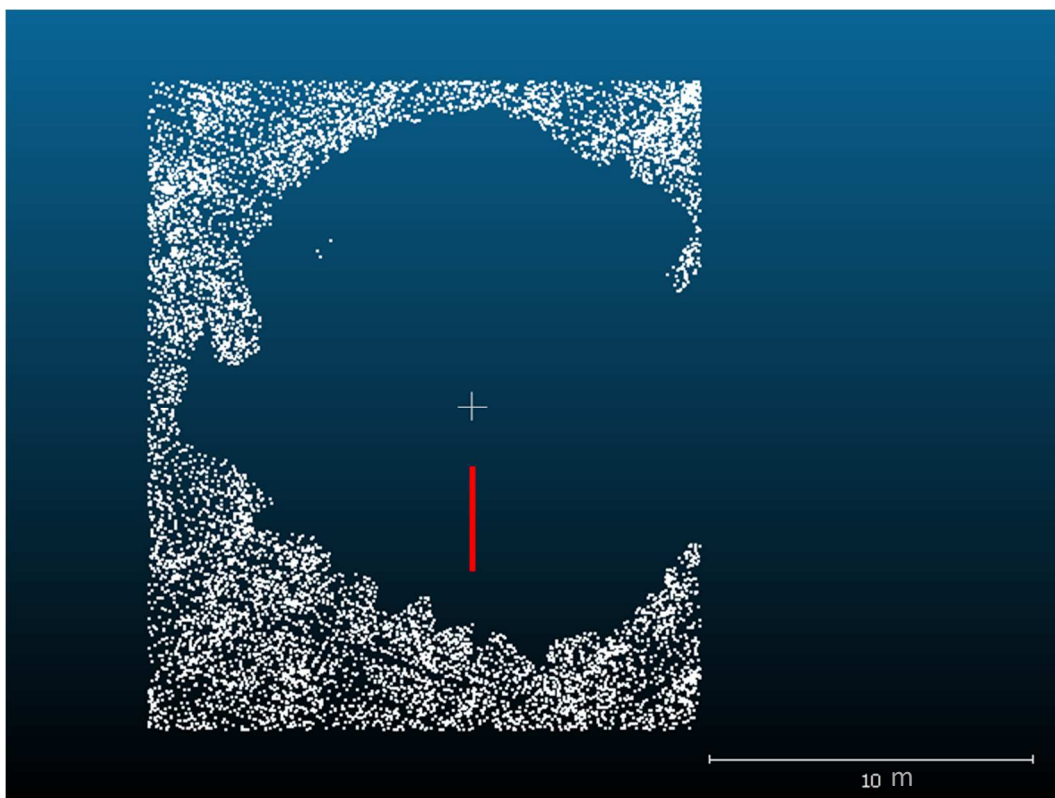
12. ábra A kimeneti adatok pontonként: X, Y (koordináták), környező pontok száma, sűrűsödés iránya, sűrűsödés mértéke.

Léteznek olyan esetek, amikor több síkosztály is van (jellemzően kettő), amelyekben az átlag kétszeresét meghaladó számú pont található. Az algoritmus mégis csak a legtöbb pontot tartalmazó osztály számát tárolja el, mivel egyrészt ez jellemzően kevés pontot érint, másrészt több ilyen, irányra vonatkozó adatnak a megjelenítése a jelen rendszerben problémás lenne.

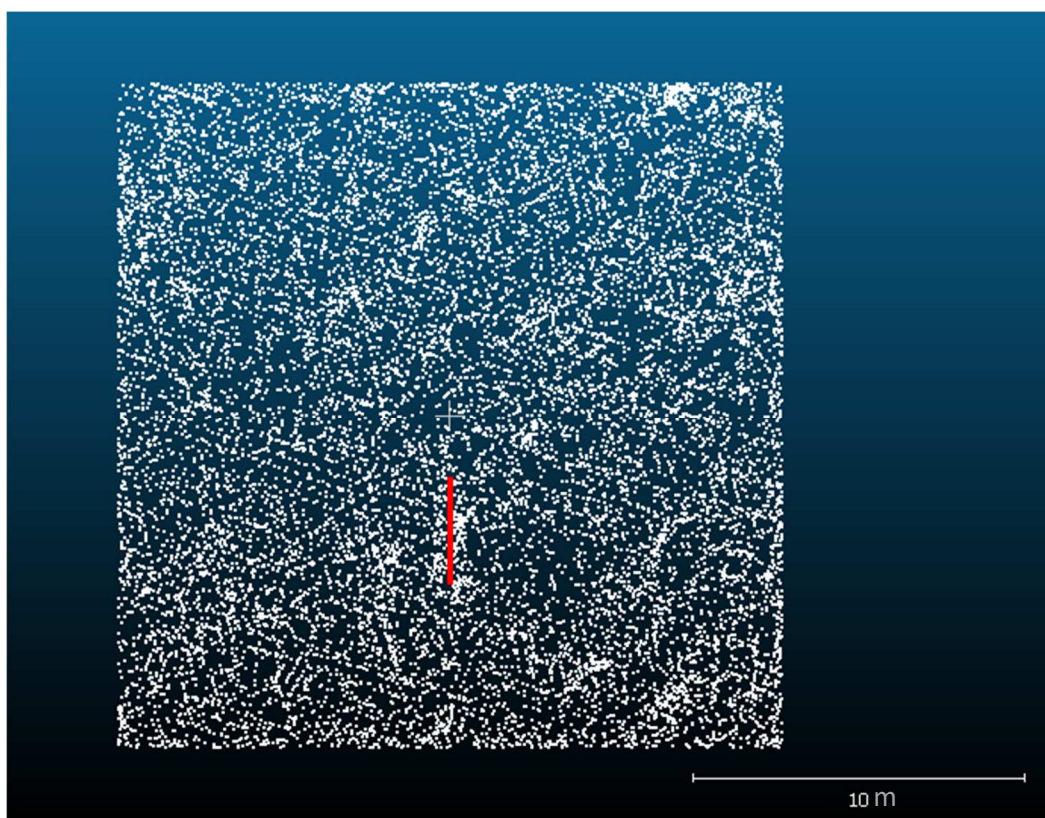
A program futtatása előtt a legfontosabb előre megadandó paraméter a keresési sugár, amely az egyes pontok vizsgálandó környezetét definiálja. Ennek a megválasztását körültekintően kell végezni, ugyanis, ha túl nagy értéket adunk meg, az eredmény szinte egyáltalán nem fog pontokat tartalmazni (13. ábra), ha pedig túl kicsinek választjuk, alig változik az eredmény a kiindulási adathoz képest (14. ábra). A programnak több keresési sugárérték is megadható, így a különböző változatok összevetésével eldönthető, hogy melyiket célszerű használni egy adott típusú adat esetén. Az ábrákon fehér színnel a kapott pontok, piros színnel a keresett egyenes van feltüntetve.

#### **4. 4. 2. Széleffektus**

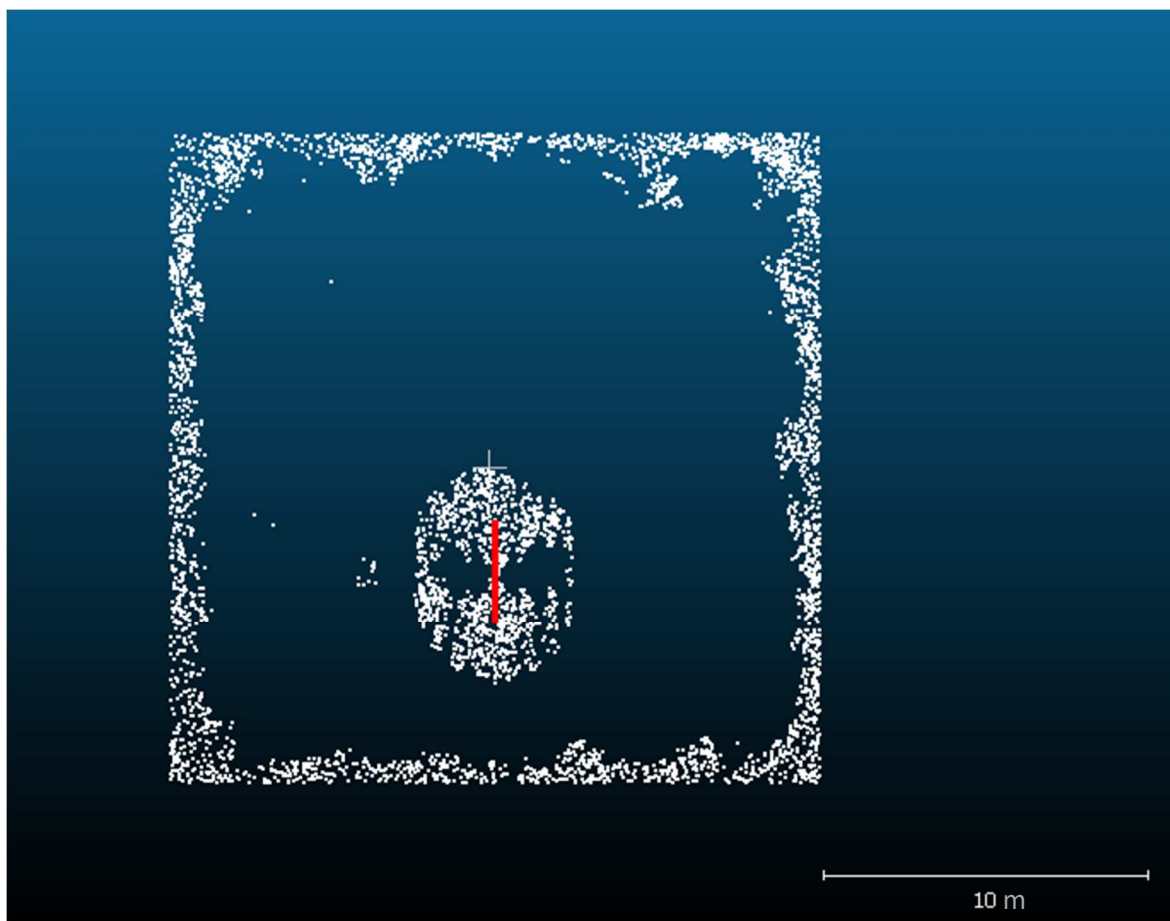
Az algoritmus a vizsgált terület szélein elhelyezkedő pontok nagy többségét leválogatja, tekintet nélkül a tényleges sűrűsödésekre. Ennek a magyarázata az, hogy az adat szélein elhelyezkedő pontokból nézve a síktartományok felében (a sarkoknál háromnegyedében) alig vannak, vagy egyáltalán nincsenek pontok. A keresés során így sok síkosztály lesz 0 elemű, ami lehúzza a leválogatási küszöböt (kétszeres átlag). Ez a széleffektus legfeljebb az adott keresési sugárral egyenlő szélességű sávban jelentkezhet minden oldalon, amely általában 1,5m és 5m között mozog (15. ábra). Ebből adódóan néhány száz m<sup>2</sup>-nél nagyobb területen már nem jelentős a hatása, a nem kívánt rész pedig utólagosan levágható.



**13. ábra** A keresés eredménye túl nagy keresési sugárral. A keresett egyenes pirossal, a kapott pontok fehérrel vannak feltüntetve.



**14. ábra** A keresés eredménye túl kicsi keresési sugárral. A keresett egyenes pirossal van feltüntetve.



**15. ábra** Széleffektus fellépése 2,5 m-es keresési sugár használatával. Mértékét a pontfelhő inhomogenitása is befolyásolja. Pirossal a keresett egyenes, fehérrel a kapott pontok vannak feltüntetve.

#### **4. 4. 3. Futásidő**

A programnak pontonként az összes pontra el kell döntenie, hogy belesik-e a környezetébe, vagy sem. Ez a pontok számával négyzetesen arányos számú Pithagorasz-tétel elvégzését jelenti, amely jelentősen lassítja a script futásidejét. Ennek csökkentése érdekében előzetesen a pontokat X, azon belül Y koordináta szerint növekvő sorrendben rendeztem, majd olyan feltételeket adtam meg a programnak, hogy ugorja át a biztosan távol eső pontok vizsgálatát. Ezzel a műveletszám nagy mértékben csökkent (16. ábra).



```

54 rend2=sorted(data, key=itemgetter('y'))
55 rend1=sorted(rend2, key=itemgetter('x')) #x-szerint, azon belül y-szerint
56
57 szam=0.0
58 fajlba=open(csempnev, "w+")
59
60 csucsszam=0
61 for pont in rend1:
62     x0=pont['x']
63     y0=pont['y']
64     kornyszam=-1
65
66     iranyok=[]
67
68     for ponty in rend1:
69         x1=ponty['x']
70         y1=ponty['y']
71         if x0-x1>r:
72             continue
73         if y0-y1>r:
74             continue
75         if x0-x1<-r:
76             break
77         if y0-y1<-r:
78             continue

```

**16. ábra** A pontok rendezése és a futást meggyorsító szűrési feltételek a programkódban.

Adattsűrűségtől és számítási kapacitástól függ az, hogy mekkora területre érdemes egyszerre a keresést lefuttatni. Saját táblagépen futtatva (Intel(R) Celeron(R) CPU 1,60GHz, 4,00 GB RAM) nagyjából 30 000 pont felelt meg 20 perc futásidőnek, ennél nagyobb pontszámnál már jelentősen belassul a program. Sűrűbb, 50 pont/m<sup>2</sup>-es adatnál ez 20×30 m-es, míg egy kevésbé sűrű, 10 pont/m<sup>2</sup>-es pontfelhőnél 50×60 m-es területet jelent.

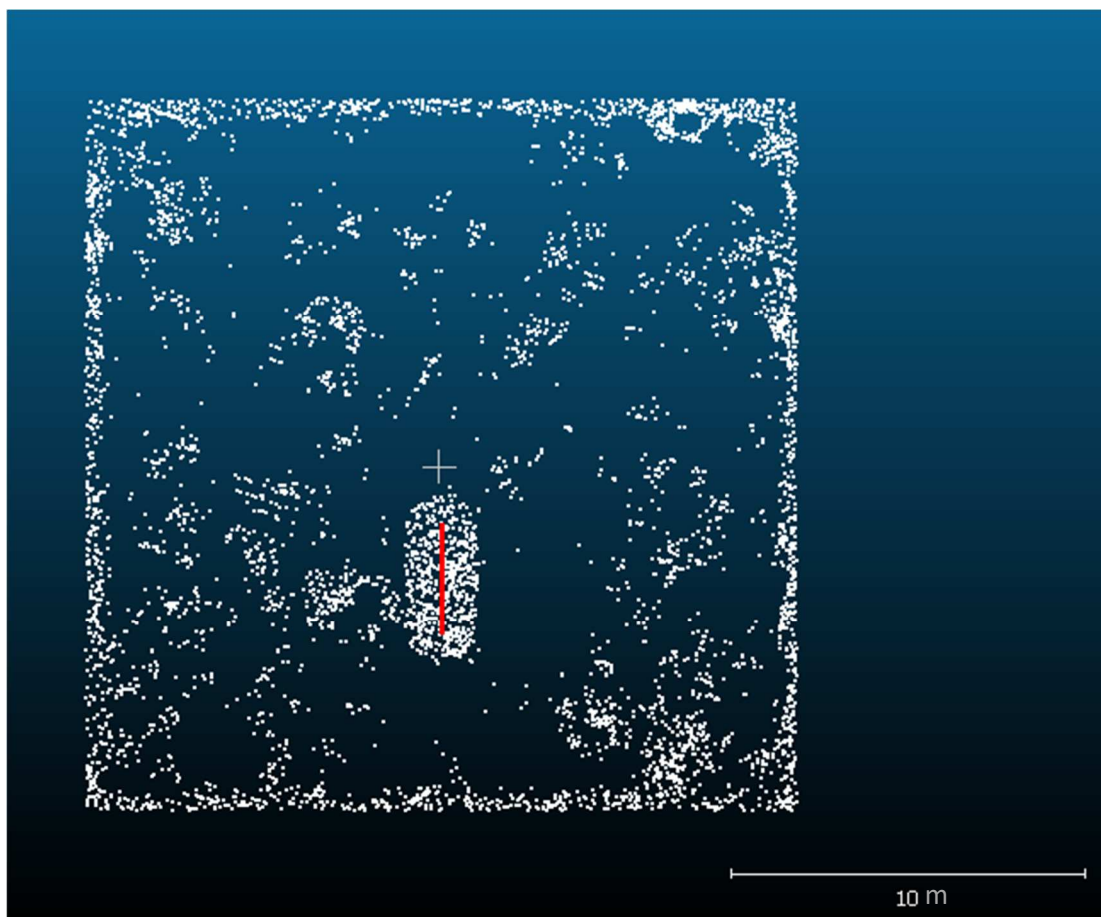
## 4. 5. Kapott eredmények

A kezdeti, egységesen 3 m-es keresési sugarat alkalmazva a program az aggteleki adatnál alig csökkentette a pontok számát, a tiszta-tavi és ágotapusztai adatoknál pedig egyik egyenes sem volt felismerhető az eredményen. Több változatot kipróbálva arra jutottam, hogy a sugár beállítását a pontsűrűséghez kell igazítani, ami a tapasztalatok alapján 50 pont/m<sup>2</sup>-es sűrűségnél 1,5 métert, 5 pont/m<sup>2</sup>-nél 10 métert jelent.

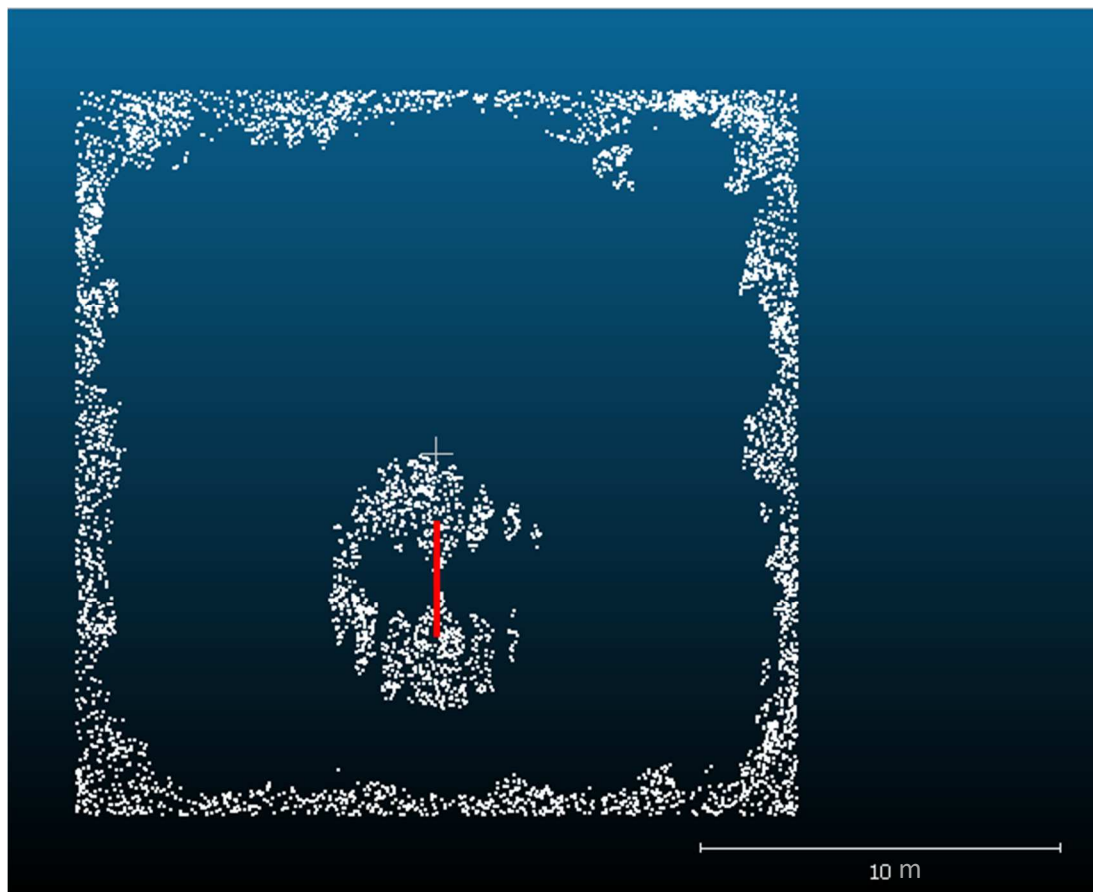
Az első vizsgált egyenes 3 méter hosszú, 303 pontból áll, azonos X koordinátákkal, és 1cm-ként növekvő Y koordinátákkal rendelkezik. Az egyenest alkotó pontok magas számát az ágotapusztai adat sűrűsége indokolta (50 pont/m<sup>2</sup>). A fél méterenként növekvő keresési sugárral elkészített eredményeken jól látható ovális forma rajzolódik ki az egyenes mentén, amely a keresési sugárral együtt nő. A zaj, vagyis az egyéb, elszórt pontok száma csökken a sugár növekedésével, a szélhatás mértéke azonban egyre nagyobb (17. és 18. ábra). Erről a bináris térképről az egyenes pontos helye nem állapítható meg biztosan. Hasonló eredményt

kaptam az aggteleki adatokból is; Ennél két 3m hosszú egyenest vizsgáltam, azonos paraméterekkel.

**17. ábra** A keresés eredménye az ágotapusztai adaton, 1,5 m-es sugárral. A piros vonallal jelölt egyenes körül ovális forma vehető ki.

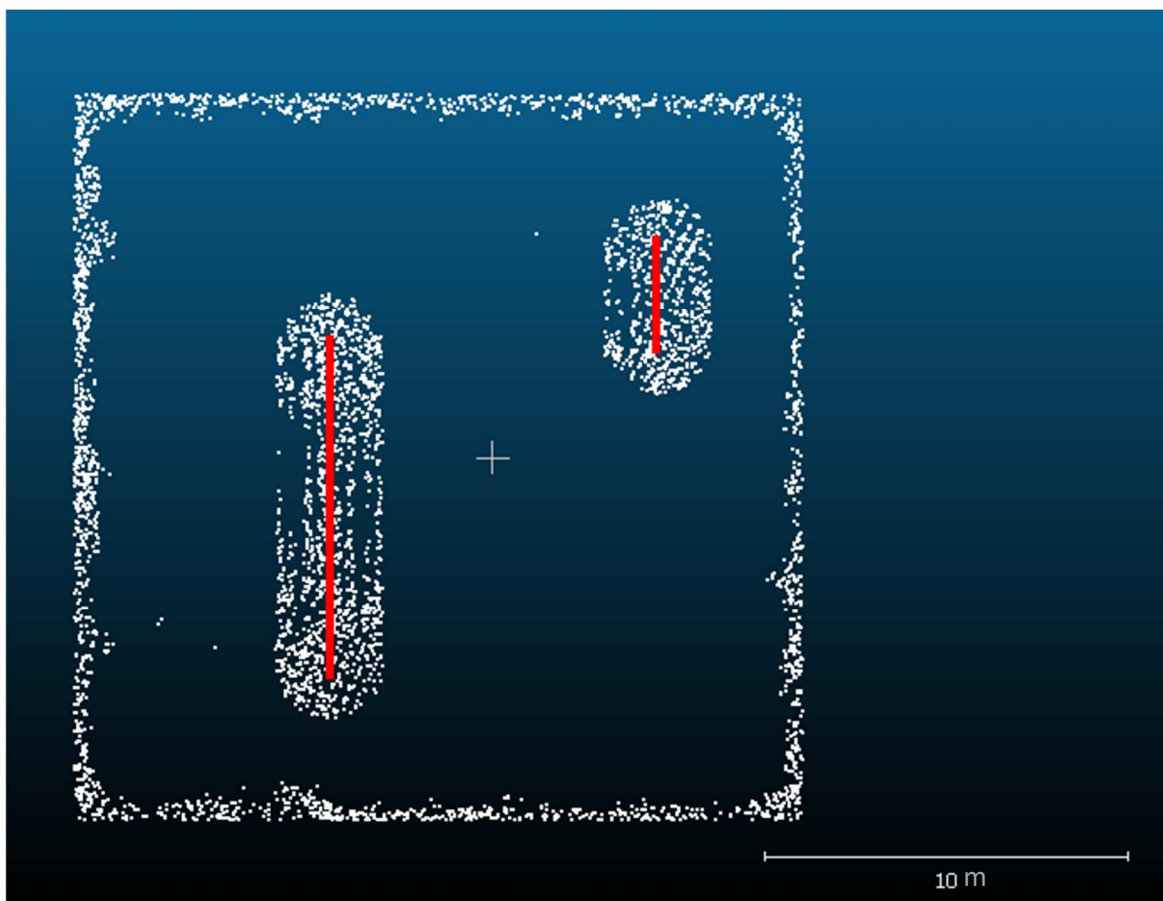




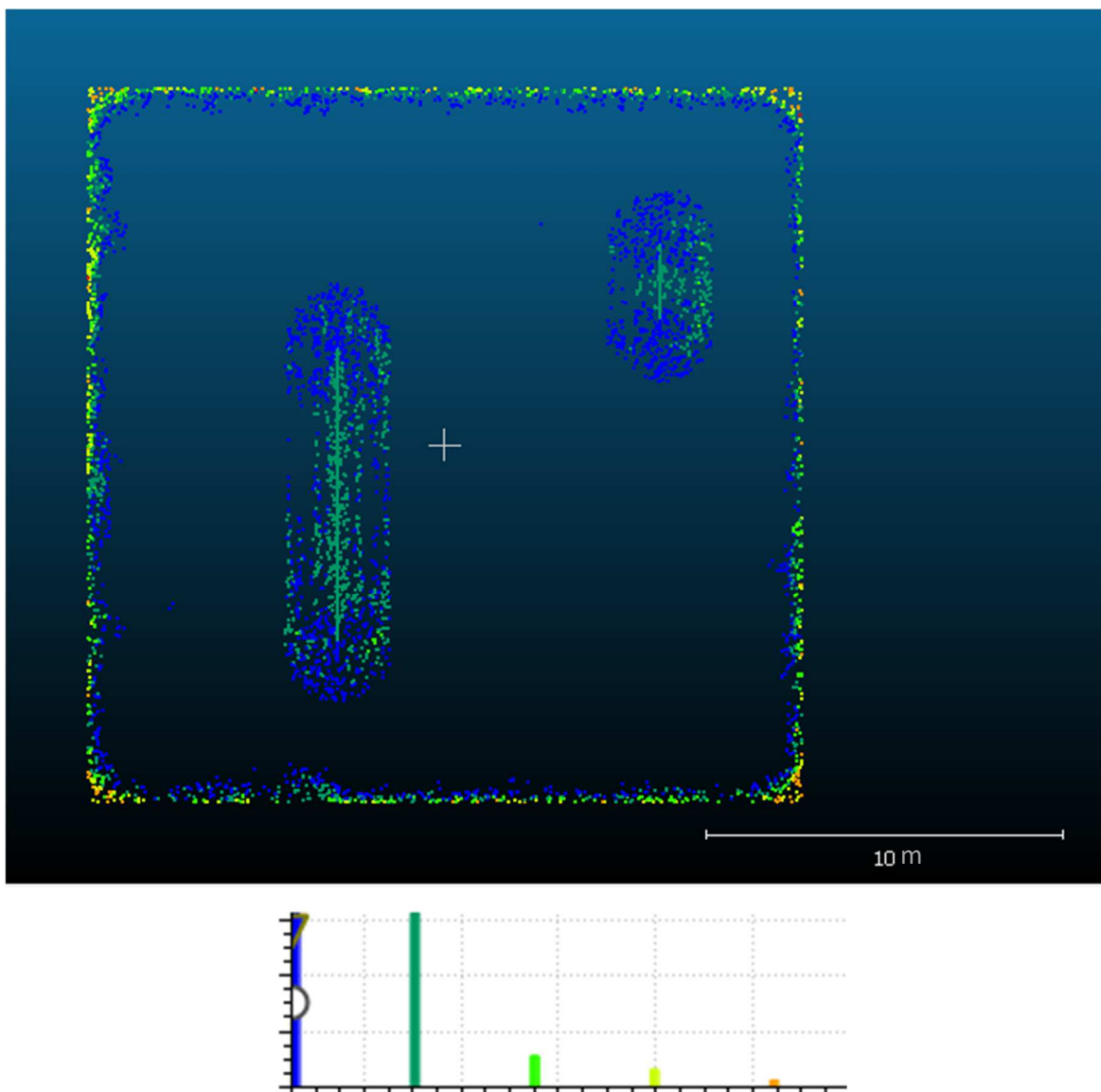


**18. ábra** A keresés eredménye az ágotapusztai adaton, 3 m-es sugárral. Az ovális forma és a szélhatás mértéke megnő. Pirossal a keresett egyenes, fehérrel a kapott pontok vannak feltüntetve.

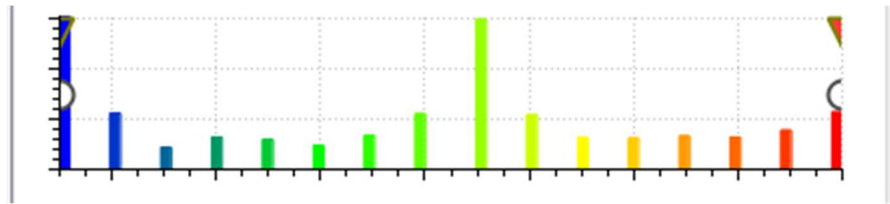
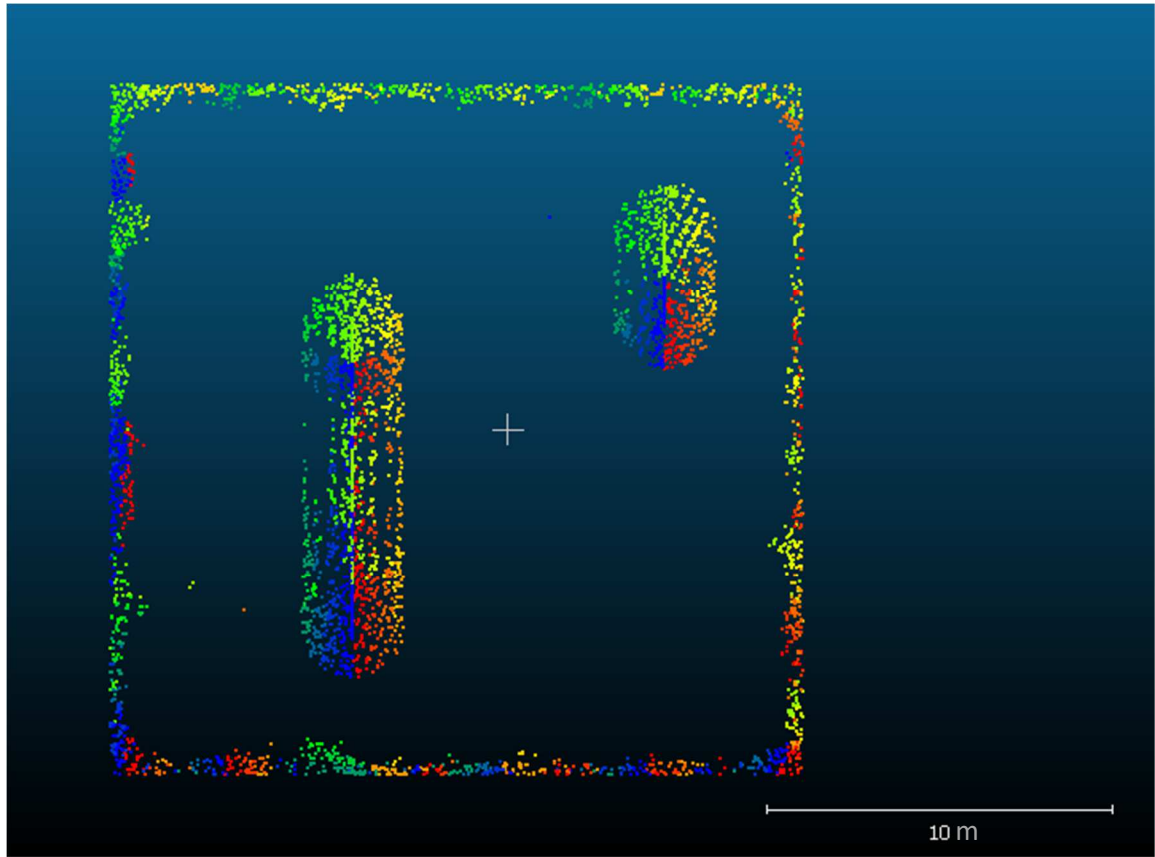
Ezután a Tisza-tavi adaton dolgoztam tovább, melyeken két egymással párhuzamos, 3m és 9m hosszú, az előzővel megegyező sűrűségű egyenest helyeztem el. A két egyenes azonos X koordinátájú pontokból áll, így ezek észak-déli irányúak. A keresést 1,5 méteres sugárral futtatva itt is előjöttek az ovális formák (19. ábra). Első megközelítésben minden, ponthoz tartozó (és a feltételeknek megfelelő) síkosztály irányát eltároltattam, azonban kiderült, hogy ezek száma pontonként változik, ezért megjelenítésük és értelmezésük problémát jelent. A pontok többségénél egy, de jelentős számuknál két olyan osztály van, amelyben a pontok száma nagyobb a kétszeres átlagál. Mivel ezek magas számát főleg a szélhatás okozza (20. ábra), a programot úgy módosítottam, hogy csak a maximális elemszámú osztályt tárolja el közülük. Az pontokat ezek alapján színezve kivehető az irányok változása az egyenesek körül (21. ábra).



**19. ábra**      Ovális formák a Tisza-tavi adaton; A piros vonal az egyeneseket jelöli.

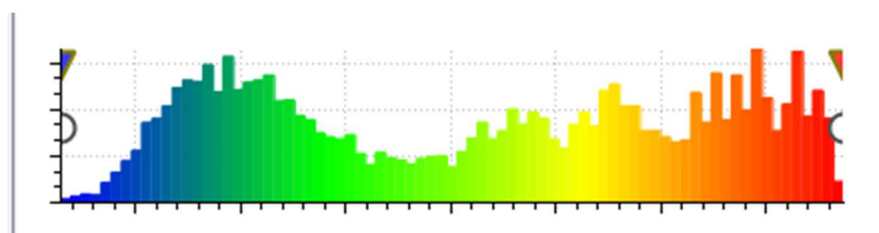
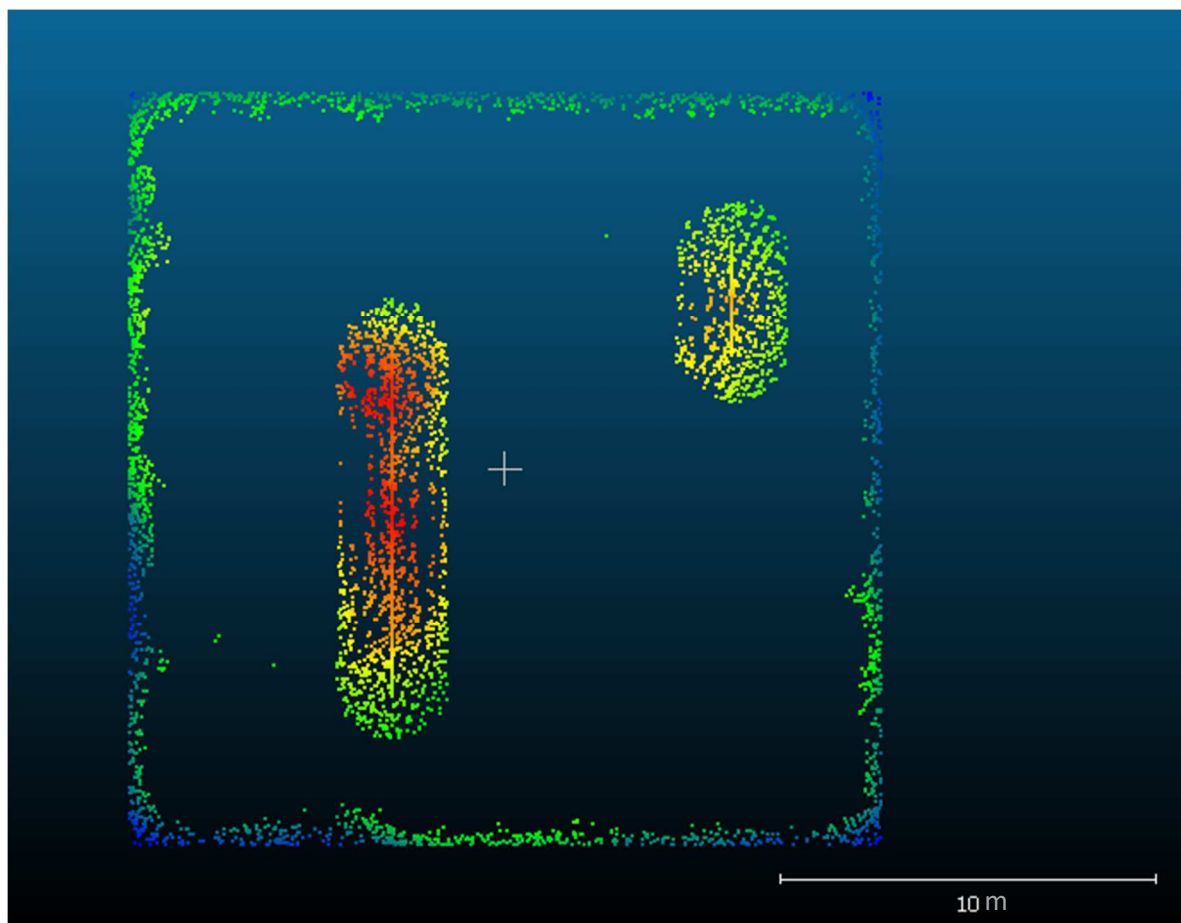


**20. ábra** A síkosztályok száma pontonként. A sötétkék szín egy, a kékeszöld kettő, a világoszöld három, a citromsárga és a narancs négy, illetve öt síkosztály meglétét mutatja az adott pontnál. Az oszlopok magassága a pontok számával arányos.

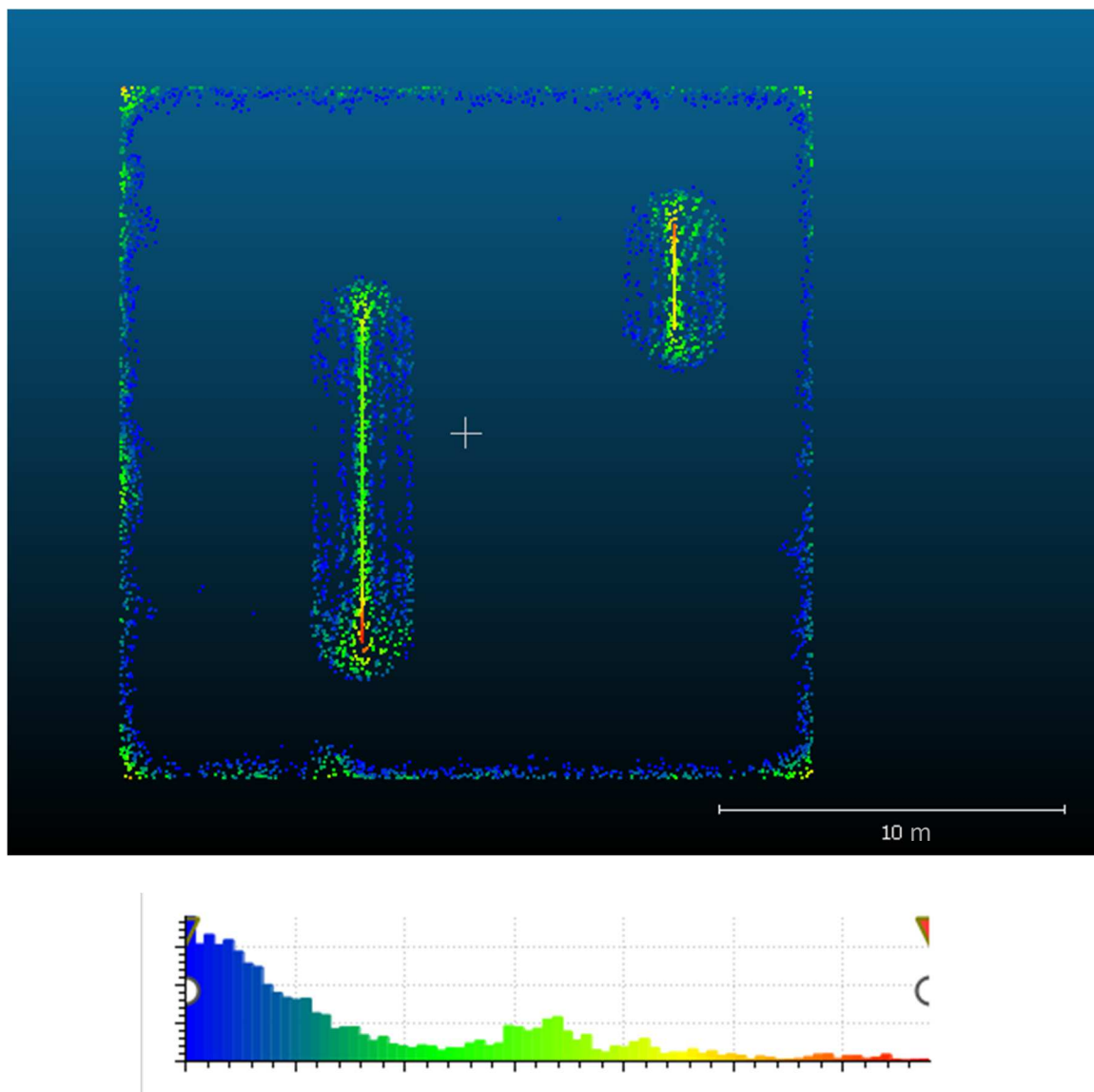


**21. ábra** A sűrűsödés iránya pontonként. A sötétkék szín 0-22,5°-os, a sötétpiros 337,5-360° irányt jelöl (1-es, illetve 16-os osztály); a beosztás a színskálán látható. Az oszlopok magassága a pontok számával arányos, azonban a szélső pontok jelentősen befolyásolják.

A sűrűsödés mértékének érzékeltetésére kimeneti paraméterként állítottam be a környező pontok összesített számát. Ezt ábrázolva azonban nem válik egyértelművé az egyenesek pontos helyzete (22. ábra), ezért egy származtatott mennyiséget vezettem be, ami az osztály elemszámának és az átlag kétszeresének a hányadosa. Ez az arány már valóban az egyenesek helyén a legmagasabb, így ezek pontosan kirajzolódnak (23. ábra).

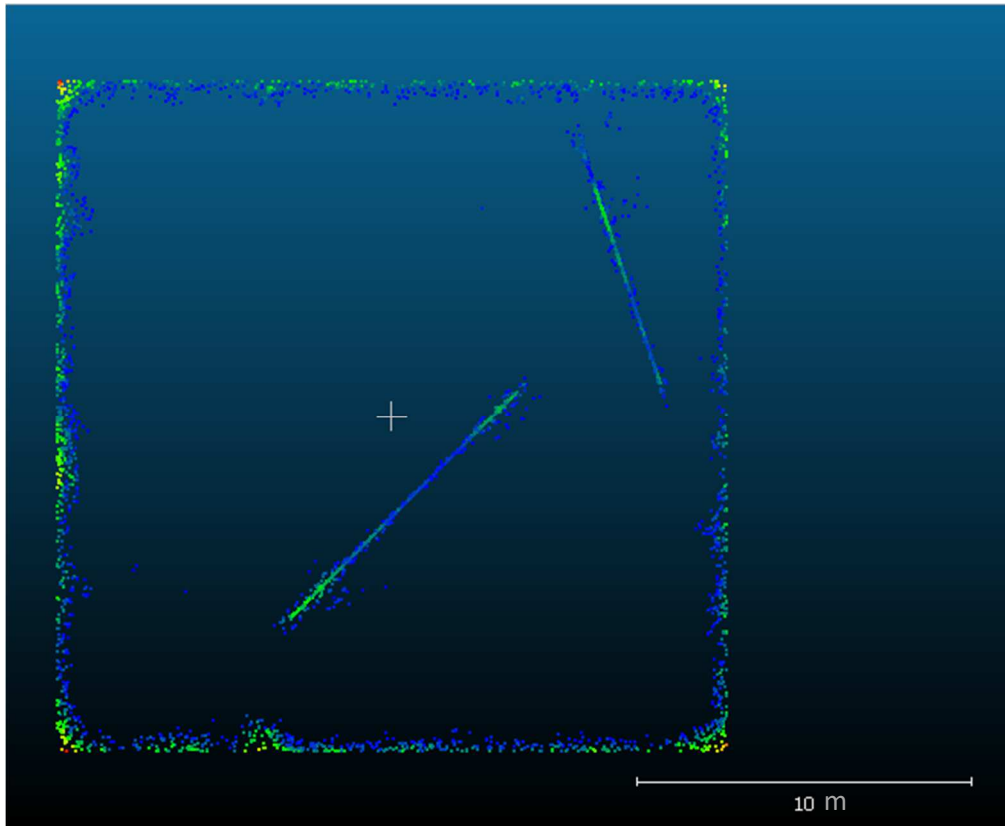


**22. ábra** A környező pontok összesített száma pontonként. A kék szín alacsony, a piros szín magas pontszámot jelent (lásd: színskála). Látható, hogy szélső pontok esetében alacsonyabb ez az érték, de az egyesek pontos helyzete nem látszik.

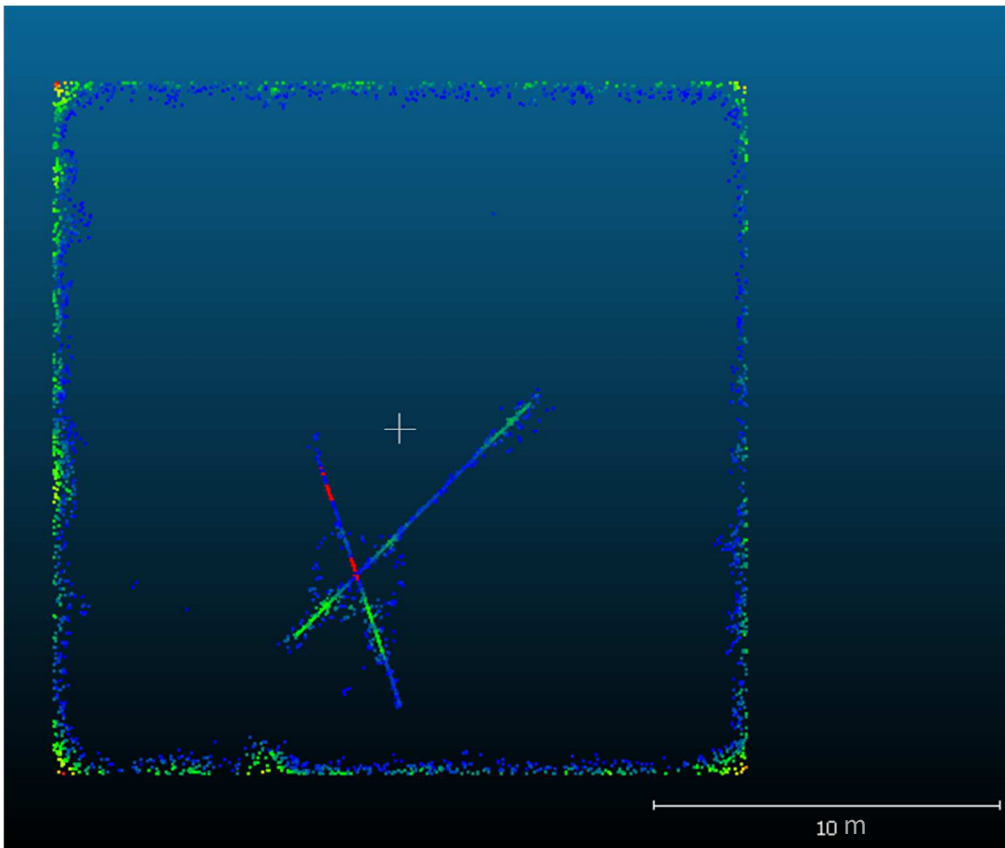


**23. ábra** A maximális elemszám és az átlagos elemszám kétszeresének aránya pontonként. A sűrűsödés mértéke a kéktől a piros felé nő, az egyenesek helyzete egyértelműen kivehető (zöld, illetve sárga színekkel).

A programot, amely végül három paramétert, a környező pontok számát, a síkosztály számát és az előbb említett arányt tárolja el, ezután a Tisza-tavi adaton, ferde, és egymást metsző egyenesekkel is lefuttattam. A két ferde egyenes kb. 10 méter hosszú, előbbi É-ÉNY – D-DK-i, utóbbi ÉK – DNY-i irányú. Az egyenesek pontsűrűségét az előzőekhez képest negyedére, illetve harmadára vettem (236 és 336 pontból állnak). Az ezekről kapott eredményen nincsenek ovális formák az egyenesek mentén, pontjaik viszont mind rajta vannak. (24. ábra) Ugyanezen két egyenes metsző helyzetbe állítása esetén azonban már vannak olyan pontok, amelyek kimaradtak az eredményből (25. ábra). Az egyenesek metszéspontjánál kör alakú mintázat figyelhető meg.



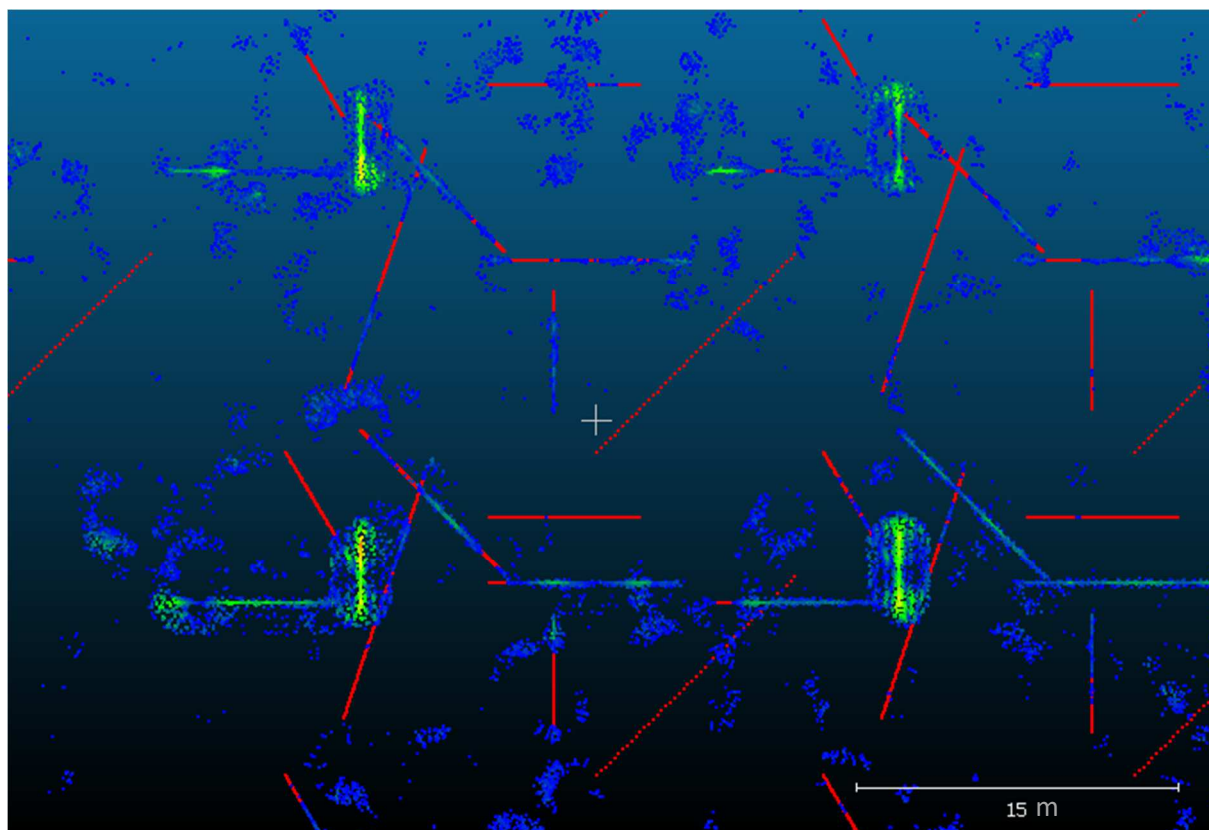
**24. ábra** A két ferde egyenes a maximális elemszám és az átlagos elemszám kétszeresének arányával.



**25. ábra** A két ferde egyenes metsző helyzetben. A hiányzó pontok pirossal vannak feltüntetve.



Annak érdekében, hogy a módszert nagyobb területen is kipróbáljam, a Tisza-tavi adat egy 100m×300m-es kiválasztott szegmensén is lefuttattam a keresést. Ezen először több különböző irányú, hosszú és pontsűrűségű egyeneseket helyeztem el ismétlődő mintázatban, majd a LAStools ingyenesen használható szoftver LAStile eszközével 20m×20m-es négyzetes csempékre bontottam. Ezután módosítottam a programot, hogy egymás után végezze el a keresést a csempéken, majd a kimeneti adatokat illessze egy fájlba. Az ismétlődő mintázatból egyforma tulajdonságú egyenesek jöttek létre, azonban a program ezeket nem egyforma hatékonysággal detektálta, amely a terep változékonyságára vezethető vissza (26. ábra).



**26. ábra** A 100m×300m-es területre kapott eredmény részlete, a maximális elemszám és az átlagos elemszám kétszeresének arányával ábrázolva. Piros szín jelöli a nem detektált egyeneseket, illetve azok pontjait. A négy ovális formán látszik, hogy azonos tulajdonságú egyenesek megtalálását mennyire képes befolyásolni a pontfelhő inhomogenitása.



## 5. Diszkusszió

A kapott eredményeken látszik, hogy a vizsgált eljárás képes egyszerű egyenesek valós pontfelhőben történő detektálására, emellett egyéb paramétereket is rögzít. A módszer előnyét képezi a kevés felhasznált paraméter, illetve a relatíve egyszerű alkalmazhatóság. Nem szükséges hozzá a teljes jelalakos adatok megléte, ezért olyan adatok elemzésére is használható, ahol csak a koordináták hozzáférhetőek.

A módszer tesztelése során az egyenesek használatával az alapvető keresési paraméterek beállítását el tudtam végezni, illetve meggyőződtem a program működéséről. Azonban mivel a tesztelést nem valódi fákon végeztem, indokolt további, azonosított helyzetű fákat tartalmazó adatrendszeren végzett vizsgálatok elvégzése. Ezzel a módszer valódi hatékonyságára is fény derülne, illetve a vizsgálat hozzájárulna a keresési sugár és a pontfelhő sűrűsége közötti összefüggés meghatározásához.

Nagy mennyiségű adat esetén a magas futásidőből adódóan célszerű egymást átfedő, hasonló számú pontot tartalmazó csempékre bontani a területet, és ezeken külön-külön lefuttatni a programot. Ebben az esetben az összes kimeneti adat egy fájlba kerül, így az eredmény nagy területre is áttekinthető lesz. Az átfedés mértéke nagyobb kell, hogy legyen, mint a keresési sugár, mivel így kiküszöbölhető a csempék összeillesztésekor jelentkező szélhatás.

A módszer egyik fejlesztési iránya lehet azon pontok kiszűrése, melyek két síkosztállyal rendelkeznek, és ezek ellentétes (vagy közel ellentétes) irányúak. Ezzel a fák közepén elhelyezkedő pontokat lehetne beazonosítani, amely hozzájárulna a fa vonalas jellegének meghatározásához. További előnyt jelentene, ha a futtatás automatizáltan történne, és a felhasznált paramétereket a program meg tudná becsülni a vizsgált pontfelhő tulajdonságai alapján. A csempékre bontás során alkalmazott LAsTools szoftver LAsTile eszköze a kevés támogatott formátum miatt nem praktikus, ezért a keresőprogramba épített csempézési eljárás – esetleg a Szegmentálás című fejezetben említett program felhasználásával – megnövelné a módszer hatékonyságát.

## 6. Összefoglalás

A dolgozatban igyekeztem rávilágítani a holtfa jelentőségére, illetve a lézerszkennelés nagyfokú alkalmazhatóságára az ezzel kapcsolatos kutatásokban. Mivel hasonló témával idáig viszonylag kevesen foglalkoznak, nincs egy általánosan alkalmazott eljárás a fekvő fák detektálására. Emellett rengeteg olyan feldolgozatlan archív adat van, amelyekből információt lehetne nyerni a holtfa mennyiségét illetően; Ezeket összevetve hosszútávú elemzések készíthetők az adott terület holtfa-viszonyairól.

Az alkalmazott módszer célja volt, hogy pusztán a pontok térbeli elhelyezkedése alapján képes legyen eredményt nyújtani, így archív és alacsonyabb felbontású adatrendszerek esetében is felhasználható. A keresőprogramot Python nyelven írtam, ezért kompatibilis létező és alkalmazott, szintén Python-t használó, lézerszkennelt adatok elemzésére szolgáló szoftverekkel, mint a Bécsi Műszaki Egyetem által fejlesztett OPALS. További, ökológiai kutatásokban történő felhasználását – a fák helyzetének meghatározását követően – a famennyiség, illetve a fatérfogat becslésével lehetne elősegíteni.

## Felhasznált irodalom

- BARSI, Á., DETREKŐI, Á., LOVAS, T., és TÓVÁRI, D. (2003) *Adatgyűjtés légi lézertapogatással*. Geodézia és Kartográfia 55(7), pp. 10-17.
- BÖLÖNI, J. és ÓDOR, P. (2014) *21.1. A holtfa mennyisége a mérsékelt övi erdőkben*. In: A holtfa. Silva naturalis - A folyamatos erdőborítás elméleti alapjainak és gyakorlati megvalósításának sorozata (Vol. 5). Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 203-217. ISBN 978-963-334-207-7
- DUDLEY, N., VALLAURI, D., GADÓ GY. P., és BILLO, N. (2006) *Holtfa-az élő erdőkért: az öreg fák és a holtfa természetvédelmi és erdészeti szerepe*. WWF Magyarország, Budapest, pp. 1-17.
- FERNANDEZ-DIAZ, J. C. (2011) *Lifting the Canopy Veil - Airborne LiDAR for Archeology of Forested Areas*. Imaging Notes, pp. 30-33.
- HASHEMI, S. A. M. (2008) *Automatic peaks extraction from normalized digital surface model (nDSM)*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, pp. 3-11.
- KAO D. L., KRAMER, M. G., LOVE, A. L., DUNGAN, J. L., és PANG, A. T. (2005) *Visualizing distributions from multi-return lidar data to understand forest structure*. The Cartographic Journal 42.1, p. 37., 1. ábra.
- KRAUS, K. és PFEIFER, N. (2001) *Advanced DTM generation from LiDAR data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis, pp. 23-30, illetve p.27, 3. ábra.
- LOHANI, B. (2008) *Airborne altimetric LIDAR: Principle, data collection, processing and applications*. URL: [http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR\\_Tutorial/Airborne\\_AltimetricLidar\\_Tutorial.htm](http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm) Utolsó elérés: 2019 május 3.
- MALTAMO, M., KALLIO, E., BOLLANDSÅS, O. M., NÆSSET, E., GOBAKKEN, T., PESONEN, A. (2014): *Assessing Dead Wood by Airborne Laser Scanning*. In: MALTAMO M., NÆSSET E., VAUHKONEN J. (eds): *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning. Managing Forest Ecosystems*, vol. 27, Springer, Dordrecht, pp. 375-395. ISBN: 978-94-017-8662-1
- MÜCKE, W., HOLLAUS, M., PFEIFER, N. (2012): *Identification of dead trees using small footprint full-waveform airborne laser scanning data*. SilviLaser 2012, Szept. 16-19 – Vancouver, Kanada, pp. 1-9., illetve p. 5, 2. ábra.
- NATURA 2000 (Európai Bizottság hivatalos honlapja) URL: [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm) Utolsó elérés: 2019 április 29.
- ÓDOR, P. (2018) *Az álló és fekvő holtfa*. In: Erdőgazdálkodás és erdőkezelés Natura 2000 területeken. Rosalia kézikönyvek (4). Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, pp. 137-155. ISBN 9786155241284

POLEWSKI, P., YAO, W., HEURICH, M., KRZYTEK, P., STILLA, U. (2013): *Active learning approach to detecting standing dead trees from ALS point clouds combined with aerial infrared imagery*. IEEE/ISPRS Workshop Looking from above: When Earth observation meets vision - EARTHVISION 2015 in conjunction with CVPR2015, Boston, USA.

RICKLI, C., BADOUX, A., RICKENMANN, D., STEEB, N. és WALDNER, P. (2018): *Large wood potential, piece characteristics, and flood effects in Swiss mountain streams*. Physical Geography 39.6, pp. 542-564.

RONCAT, A., BRIESE, C., JANSÁ, J., és PFEIFER, N. (2014): *Radiometrically calibrated features of full-waveform lidar point clouds based on statistical moments*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 11.2, pp. 549-553., illetve p. 550, 1. ábra.

RUSSELL, M. B., FRAVER, S., AAKALA, T., GOVE, J. H., WOODALL, C. W., D'AMATO, A. W. és DUCEY, M. J. (2015): *Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review*. Forest Ecology and Management 350, pp. 107-128.

SZÉKELY, B., MOLNÁR G. és RONCAT, A. (2007): *Domborzat- és felületmodellek teljes jelalakos légi lézerszkenneléssel* [Digital terrain and surface models by full-waveform laser scanning]. Geodézia és Kartográfia. 59, pp. 8 - 13.

VERŐNÉ, W. M. (2010): "Fotointerpretáció és távérzékelés 3." *Távérzékeléssel szerzett adatok számítógépes kiértékelése*. Nyugat-magyarországi Egyetem, pp. 1-32.

WU, C. (2016): *Dead Wood Is Not Dead: The Ecological Functions and Management of Dead Wood*. Partnership for Action Learning in Sustainability (PALS), pp. 1-10.

YAO, W., KRZYTEK, P. és HEURICH, M. (2012) *Identifying standing dead trees in forest areas based on 3D single tree detection from full waveform lidar data*. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, volume 1-7, pp. 359-364.

## Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni a témavezetőmnek, Dr. Székely Baláznak az ötletet, a megvalósításban nyújtott sok segítséget és adatot. Emellett hálás vagyok neki a folyamatos támogatásért, amit a nehéz pillanatokban nyújtott.

Köszönöm Dr. Barsi Árpádnak, aki a 2016-ban felkeltette az érdeklődésemet a lézerszkennelés iránt. Végül köszönöm a családomnak, hogy a dolgozat írása alatti időszakban segítettek kikapcsolódni.

## Nyilatkozat

Alulírott, Vassányi Gergely nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus

publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2019. május 20.

.....  
a hallgató aláírása