

# Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés  
tézisfüzete



**Digitális domborzatmodellek és pontfelhők  
alkalmazása a terep modellezésében**

Nagy Gábor József

Témavezető:  
Dr. habil. Jancsó Tamás

**Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai  
Doktori Iskola**

Székesfehérvár, 2018. május 18.

## **I. A kutatás előzményei**

2005-től kezdve dolgozom a jelenlegi munkahelyemen (Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet) illetve annak jogelődjénél (Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Kar). Szintén ebben az évben kezdtem először PhD tanulmányokat a Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karán működő Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolában, a Geokörnyezettudományi programban. Témám címe a „Digitális domborzatmodellek alkalmazása a környezeti hatásvizsgálatokban”, a témavezetőm prof. dr. Márkus Béla volt. 2009-ben sikeres doktori szigorlatot tettem.

Időközben figyelmem a lézerszkenneres adatgyűjtés és a pontfelhők feldolgozása felé fordult. Az általános szakmai trendek mellett ennek az is nagy lendületet adott, hogy 2009-ben munkahelyemnek sikerült egy földi lézerszkennert beszereznie, valamint hogy az azt megelőző évben külső vállalkozóval légi (LiDAR) felméréseket is végeztetett.

Amikor 2015-ben ismét PhD hallgatónak jelentkeztem az Óbudai Egyetem Alkalmazott Informatikai és Alkalmazott Matematikai Doktori Iskolájának Alkalmazott Informatikai Programjának Mérnöki Számítások Alprogramjába, a korábbi domborzatmodellekkel kapcsolatos eredményeim mellett a munkám kapcsán végzett egyéb kutatásokra alapoztam a „Digitális domborzatmodellek és pontfelhők alkalmazása a terep modellezésében” című értekezésemet.

Ennek a témának a keretében a korábbi és az újabb kutatásaim eredményeit egyaránt be tudom mutatni.

## **II. Célkitűzések**

Kutatásaim célja, hogy a domborzatmodellekkel és a pontfelhőkkel, mint a terep modellezésében kiemelt szerepet játszó adatokkal, kapcsolatban új számítási és elemzési módszereket dolgozzak ki, és tanulmányozzam azokat más hasonló módszerekkel összehasonlítva.

Kutatásaim témái kissé szerteágazóak, aminek oka elsősorban az, hogy a munkám során is sokféle dologgal kell foglalkoznom.

Az értekezésemben a kutatásaim mellett bemutatom a domborzatmodellekkel és a pontfelhőkkel kapcsolatos alapvető ismereteket, legfontosabb elemzéseket. A domborzatmodellek bemutatásakor elsősorban a [Sárközi1986]-ban alkalmazott jelöléseket és megnevezéseket használom, de más megközelítéseket is bemutatok, mint például az [Elek2004a, Elek2004b, Telbisz2013]-ban leírtakat, vagy a nemzetközi szakirodalomban [Li2004, ElSheimy2005] található ismeretek.

## **III. Vizsgálati módszerek**

Vizsgálataimhoz sokféle adatforrást használtam fel. Domborzatmodellek esetében főként az ingyenesen elérhető adatokra [Telbisz2013], elsősorban az SRTM modellre [Van2001, Tímár2003] támaszkodtam.

Légi lézerszkenneres (LiDAR) adatokat főként munkahelyemen keresztül tudtam beszerezni. (Ilyeneket használtam a 4. tézissel kapcsolatos munka során.) A földi lézerszkennelésből származó pontfelhőket többnyire magam állítottam elő munkatársaimmal, hallgatóinkkal és más egyetemek számára a közös kutatásokban (mint

például a [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]) közreműködő személyeivel együttműködve.

Az elemzési vagy feldolgozási műveletek alapját képező algoritmusokat az elméleti kidolgozás után különféle nyílt forráskódú eszközökkel implementáltam, majd az eredmények megjelenítését illetve ellenőrzését is főként ingyenesen elérhető szoftverekkel oldottam meg.

Mivel a fenti szoftverek futtatására a mindennapi munkám során használt számítógépek elégségesek voltak, ezekkel a megoldásokkal kutatásaimat költséghatékony keretek között tudtam végezni.

## **IV. Új tudományos eredmények**

Az értekezésem, annak címével összhangban, a digitális domborzatmodellekkel és pontfelhőkkel kapcsolatos, a terep modellezésében valamilyen formában hasznosítható kutatásaim eredményein alapul. A bemutatott kutatásaim során nyert új eredményeket öt tézisben foglalhatjuk össze a következőképpen:

### **1. tézis: Domborzatmodellek tárolásához használható indexelési módszerek kifejlesztése**

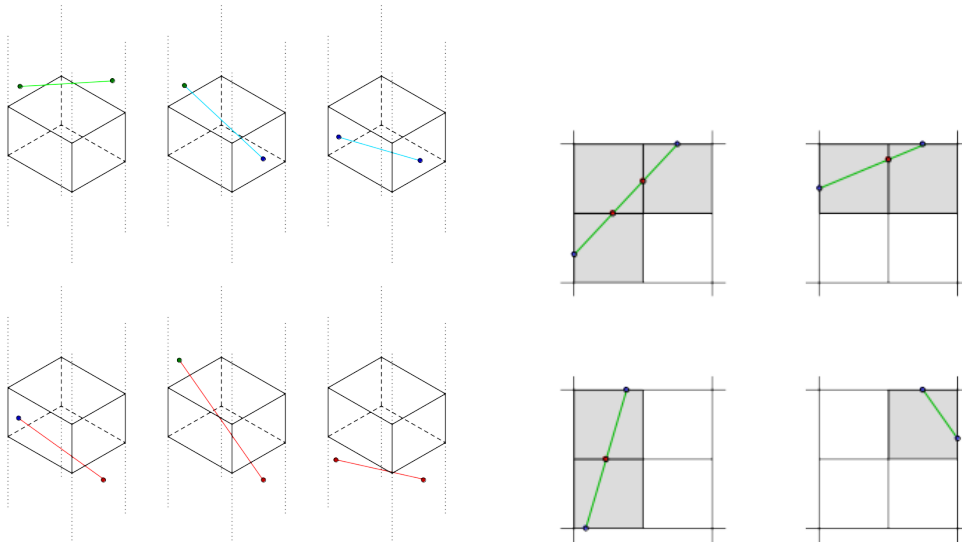
Az értekezésem 4. fejezetében több olyan módszerre is javaslatot teszek, amelyekkel különféle típusú domborzatmodellek tárolása tehető hatékonyabbá.

#### **1/a. altézis: Piramis index alkalmazása szélsőértékekkel GRID típusú domborzatmodellekhez kapcsolódóan**

A piramis indexeket elsősorban nagyméretű raszter állományok megjelenítésekor alkalmazzuk azért, hogy a képnek a kisebb felbontásban történő megjelenítése hatékonyabb legyen a külön

eltárolt  $1/2$ ,  $1/4$ , stb. felbontású képeknek köszönhetően, amelyek raszterei ilyenkor a hozzájuk tartozó terület értékeinek átlagát szokták tartalmazni. [Burt1983, Darrell1988]

Ha egy ilyen piramis indexet egy GRID típusú domborzatmodell esetében (ami ugyanúgy számok kétdimenziós tömbje, mint egy raszter állomány) alkalmazunk úgy, hogy az átlag helyett a legnagyobb és a legkisebb előforduló magasságot tároljuk, akkor az index segítségével az egyes felületdarabok befoglaló téglalapjaihoz jutunk. Ezeket a befoglaló téglalapokat számos, a domborzatmodellel kapcsolatban végezhető művelet során felhasználhatjuk.



Ilyen elemzés lehet a láthatóság vizsgálata, ahol a fentiekben bemutatott index segítségével gyorsan ki lehet választani a takarásban lévő részeket.

Az értekezés 4.1 részében bemutatott témával kapcsolatban 2007-ben [1] és 2016-ban [4] jelentek meg publikációim.

## **1/b. altézis: TIN domborzatmodellek elemeinek indexelése 2+1 dimenziós R-fa index segítségével**

Az R-fa index egy jól bevált és széleskörűen alkalmazott indexelési eljárás többdimenziós térbeli kiterjedéssel rendelkező adatok tárolásakor [Guttman1984]. Az adatszerkezet nevét adó fa minden csomópontjához egy téglalap (térben téglatest) tartozik úgy, hogy az egyes csomópontok téglalapjai tartalmazzák az összes, belőlük származó csomópont téglalapját. Az egy csomópontból közvetlenül származó csomópontok száma limitálja, hogy mennyi pointernek van hely a csomópontban. A fa levelein az indexelendő objektumok befoglaló téglalapjai vannak.

Sokféle változata létezik (pl. [Beckmann1990]), de mindegyik működésének alapja az, hogy a túltelítődő csomópontokat kettévágva illeszti be a szülő csomópontba. A vágás műveletének számításigénye egyéb tényezők mellett a dimenziószámtól is függ.

A TIN modell [Peucker1978] elemeit alapesetben egy háromdimenziós R-fa index segítségével lehet indexelni, ez viszont pazarló megoldás, mert a háromszögháló kiterjedése vízszintes irányban nagyságrendekkel nagyobb, mint függőlegesen. Nem lenne viszont célravezető az sem, ha a háromszögháló elemeit csak vízszintes helyzetük alapján, két dimenzióban indexelnénk, mert egyes műveleteknél a befoglaló téglatestre is szükségünk lehet. Az általam javasolt 2+1 dimenziós R-fa index lényege, hogy a csomópontok vágásánál csak a vízszintes koordinátákat veszi figyelembe, de ettől függetlenül három dimenzióban számítja a befoglaló téglatesteket. Ezzel a csomópontok vágásának számításigénye is csökken, valamint az így kialakított index szerkezete is kedvezőbb lesz.

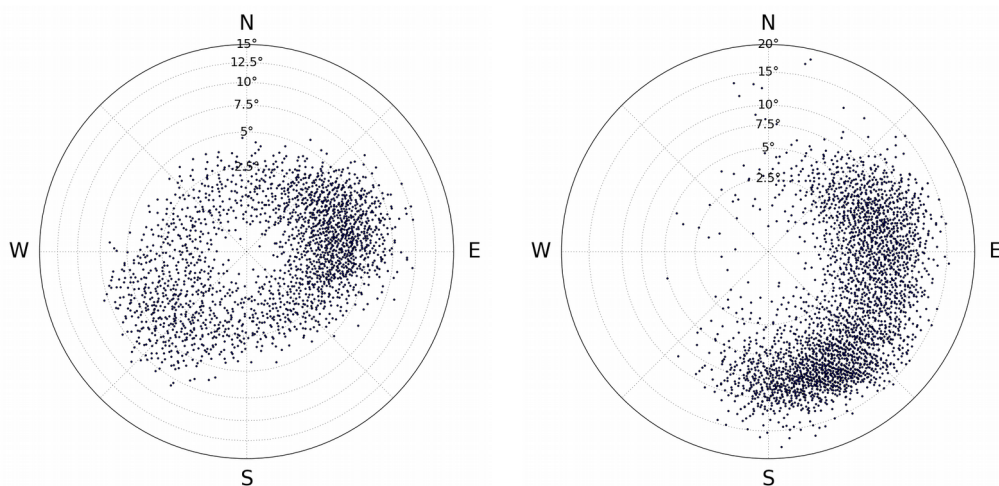
Az értekezés 4.2 részében bemutatott témával kapcsolatban 2007-

ben publikációm jelent meg [1].

## 2. tézis: Egy területen belüli lejtésviszonyok eloszlásának ábrázolása diagram segítségével

Egy terület mezőgazdasági hasznosíthatóságát annak lejtésviszonyai is nagyban befolyásolják, vagyis hogy a terepfelszín milyen irányban és mennyire lejt. Ha egy nagyobb kiterjedésű területről van szó, akkor azon belül különféle lejtésviszonyú részek fordulhatnak elő, melyeknek eloszlását lehetőleg minél szemléletesebben kell ábrázolni.

Az általam javasolt megoldás egy olyan diagramon ábrázolja a területek kitettséget, amelynek alapja egy poláris koordináta-rendszer. Ennek középpontja a vízszintes területet jelenti, a többi pontja esetében pedig az irány az esésvonal irányával egyezik meg, a távolság pedig a lejtéssel arányos. Ezen a diagramon pontsűrűséggel vagy színfokozatokkal jeleníthető meg a lejtésviszonyok eloszlása. A diagram koordináta-rendszerében akár az egyes növények számára optimális lejtésviszonyokat is lehatárolhatjuk.

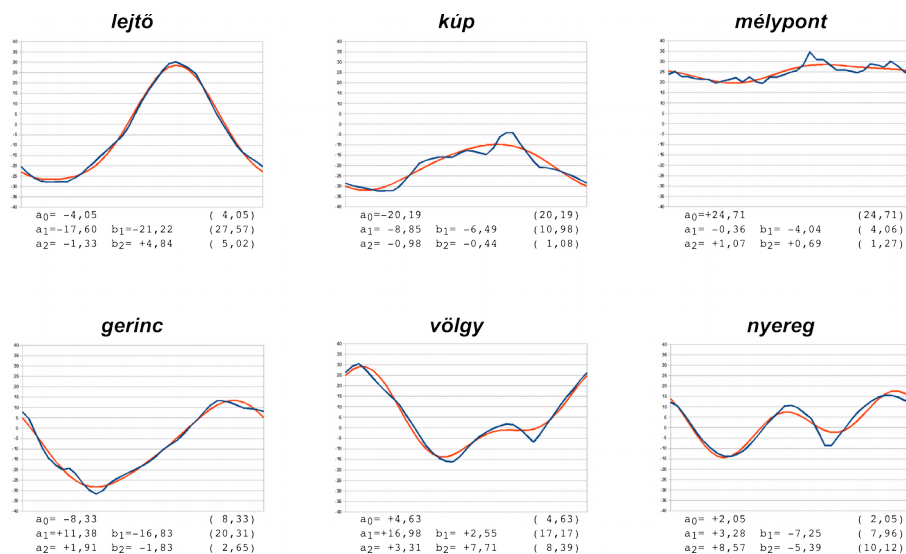


Az értekezés 5. fejezetében bemutatott eredményeimmel kapcsolatban 2016-ban [3] és 2017-ben [5, 7] jelentek meg

publikációim.

### 3. tézis: Terepszerkezeti formák felismerése az irányszög szerinti magasságkülönbségekre illesztett Fourier-sor együtthatóinak vizsgálatával

A terepszerkezeti formák elkülönítésére kidolgozott klasszikus algoritmusok általában azon az elven működnek, hogy a vizsgált ponttól bizonyos távolságban különböző irányokban figyelik a terepfelszín magasságának különbségét a vizsgált ponttól vagy az ellentétes oldalon található ponttól, valamint körbe haladva számolják, hogy ez az érték hányszor vált előjelet. Az általam javasolt módszer az előzőekhez hasonló magasságkülönbségekre az irányszög alapján egy Fourier-sort illeszt, majd ennek paramétereit alapján von le következtetéseket a terepszerkezeti formákra vonatkozóan.



A paraméterek gyors és tömeges számítása érdekében a bilineáris interpoláció tulajdonságait kihasználva kidolgoztam egy módszert, ami szükséges számításokat konvolúciós szűrőkkel végzett műveletekre vezeti vissza. Egy általam írt program a megfelelő



paraméterek alapján meghatározza a Fourier-sor egyes paramétereinek számításához szükséges konvolúciós szűrőket.

A Fourier-sor paramétereiből kiindulva többféle a terepszerkezeti formákkal kapcsolatos mérőszámra tettem javaslatot. A javasolt mérőszámok között vannak olyanok, amelyek fuzzy-alapú [Zadeh1996] elemzésekre is alkalmasak (6.3 rész).

Az értekezés 6. fejezetében bemutatott módszerek alapjait a [2]-ben ismertettem, további kutatási eredményeim publikálása a témában folyamatban van.

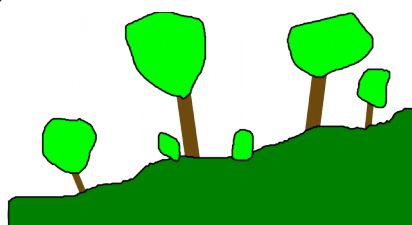
#### **4. tézis: Felületmodell létrehozása pontfelhők alapján az alulról érintő korongok módszerével**

A LiDAR adatok feldolgozása, elsősorban a domborzatmodell előállítására ezekből az adatokból, egy nagyon fontos gyakorlati alkalmazás. Ezt a műveletet nehezíti, hogy terepfelszínen elhelyezkedő objektumokon a pontfelhőnek jelentős számú pontja keletkezik. A probléma megoldására a szakirodalomban sokféle megoldást találunk. [Kraus1998, Pfeifer1999, Vosselman2000, Sithole2001, Zhang2003, Sithole2004, Meng2010, Kang2014, Zhang2016]

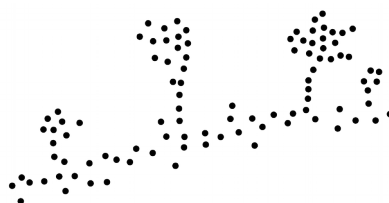
A javasolt módszer lényege, hogy egy (jellemzően LiDAR mérésekből származó) pontfelhőhöz azon az elven rendelünk vízszintes (két koordinátával adott) pozícióban egy síkot (ha figyelembe vesszük, hogy a teljes pontfelhő helyett csak a pozíció adott,  $R$  sugarú környezetét vizsgáljuk, akkor egy korongot), hogy a teret három egyenlő részre osztjuk, majd a síkot úgy helyezzük el, hogy a vizsgált pont adott sugarú környezetében mindhárom harmadban egyenlő, előre meghatározott arányban (az értekezésben  $q$ -val jelölöm) kerüljenek a sík alá a pontfelhő pontjai.

Ennek az arálynak a medián általánosításaként adódó 50 százaléknál ( $q=0.5$ ) jóval kisebb értéket célszerű felvenni, mert a pontfelhőnek rengeteg pontja képződik a terepfelszín felett (fákon, bokrokon, stb.), ellenben csak mérési hiba folytán kerülhetnek pontok a terepfelszín alá. Ezért hívom az eljárást alulról érintő korongok módszerének.

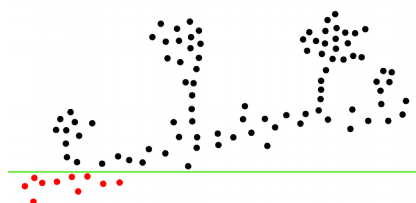
Ezzel, az angolul Fitting Disc Method-nak (rövidítve FitDisc-nek) elnevezett módszerrel nem csupán egy magasságot kapunk, hanem, az illesztett sík lejtése alapján, a terep lejtésére is rendelkezésre fog állni adat. További lehetőség a pontfelhők eloszlásának vizsgálata, aminek egyik módszere lehet a különféle  $q$  értékek mellett kapott síkok adatainak összevetése. A javasolt módszerekre programokat fejlesztettem, majd a LiDAR adatok feldolgozásával nyert magassági adatokat geodéziai ellenőrző mérésekkel összevetve vizsgáltam az eljárás megbízhatóságát, amit azután más módszerekkel kapott eredményekkel is összevettem.



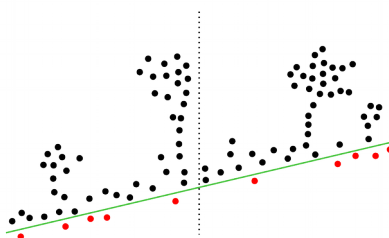
a terep



a LiDAR pontfelhő pontjai



a pontok 10%-a a (vízszintes) sík alatt



a pontok 10%-a a sík alatt mindkét szektorban

Az értekezés 7. fejezetében bemutatott módszert 2017-ben

publikáltam [8].

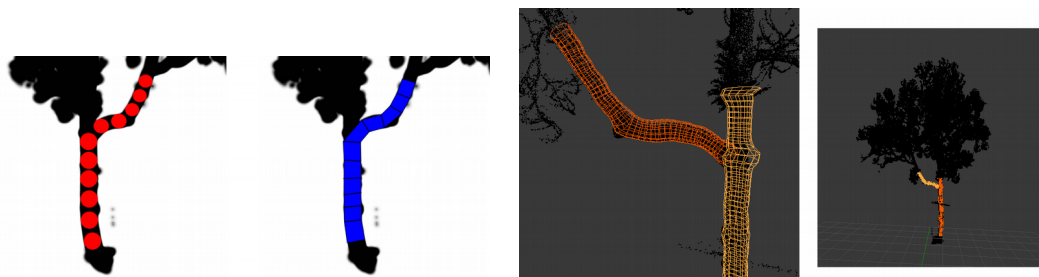
További kutatások témáját képezheti az eljárás paramétereinek ( $R$  és  $q$ ) optimális megválasztása a felszín és a terepviszonyok függvényében, amivel lehetőség nyílna egy gyakorlati szempontból is versenyképes feldolgozóprogram fejlesztésére.

A LiDAR mérések feldolgozásához kidolgozott módszer matematikai háttérét általánosítottam tetszőleges dimenziószámú térre, amivel a lineáris regresszió egy robusztus változatához jutottam. Ez hasonló például a RANSAC módszerhez [Fischler1981], de tetszőleges kvantilissal is számítható, tetszőleges dimenziószámú térben. Ezzel kapcsolatos eredményeimet 2018-ban publikáltam [9].

## 5. tézis: Fák modellezése pontfelhőkre illeszkedő gömbök módszerével

Fák adatainak (akár egy teljes modell, akár valamilyen kiválasztott jellemző) pontfelhők alapján történő kiértékelésére sokféle eljárás létezik. [Bienert2007, Király2007, Király2008, Guan2015]

Az általam javasolt módszer egy fáról készült pontfelhő alapján a fa ágainak geometriáját olyan módon értékeli ki, hogy a fa ágaihoz illeszkedő (a pontfelhőnek a felületük mentén minél több, belsejükben minél kevesebb pontját tartalmazó) gömböket keresi. Az egymást követő illeszkedő gömbök középpontjai meghatározzák egy ág alakját, átmérőik pedig az ág átmérőjét ez egyes helyeken.



A módszer alapján programot fejlesztettem, a javasolt algoritmust

ennek segítségével teszteltem. Az értekezés 8. fejezetében bemutatott eredményeket 2015-ben publikáltam [6].

A gömbök illeszkedésére kapott mérőszámok a bemutatotton túl sokféle más elemzés alapját is képezhetik.

## **V. Az eredmények hasznosítási lehetősége**

A bemutatott eredményeket azok sokféleségéből adódóan sokféle területen lehet a jövőben hasznosítani. Valamennyi esetben elmondható, hogy a kutatásaim során létrehozott programok még csak a kidolgozott algoritmusok és egyéb eljárások tanulmányozására alkalmasak, a mindennapi gyakorlatban legfeljebb korlátozottan használhatóak.

A kidolgozott eljárásokat a jövőben a gyakorlati alkalmazásoknak megfelelő módon is implementálni kell. Ez elsősorban felhasználóbarát felület kialakítását jelenti, ami történhet önálló grafikus felület kialakításával vagy valamilyen térinformatikai rendszer keretein belül történő implementációval. Sok esetben a program optimalizálásra is szorul a hatékonyabb működés érdekében.

Az 1. tézis gyakorlati hasznosítása térinformatikai (vagy más, domborzati adatokat kezelő) programokba szervesen beépítve lenne megoldható. A 2. és 3. tézisek már egyszerűbben, beépülő alkalmazásokként (modul, plugin, stb.) is megvalósíthatóak lennének.

A 4. tézis az egyszerű domborzatmodell előállításán túl sokféle egyéb LiDAR feldolgozási művelet alapját képezheti. Az 5. tézisben bemutatott módszer a precíziós mezőgazdaság [13, 14, 15, 16, 17, 18] mellett erdészeti [Bienert2007, Király2007, Király2008] szempontból is jelentős lehet.

A 4. tézis matematikai háttérének tetszőleges dimenziószámú térre való általánosítása sokféle jövőbeli hasznosíthatósági lehetőséget rejt. Használható lenne minden olyan esetben, amikor nagy hibatűréssel (robosztusan) kell egy tetszőleges dimenziójú térben lineáris regressziót meghatározni.

## VI. Irodalmi hivatkozások listája

- [Beckmann1990] Norbert Beckmann, Hans-Peter Kriegel, Ralf Schneider, and Bernhard Seeger: *The R\*-tree: an efficient and robust access method for points and rectangles*, ACM SIGMOD Record, 19, 322–331. Acm, 1990.
- [Bienert2007] Bienert, A and Scheller, S and Keane, E and Mohan, F and Nugent, C: *Tree detection and diameter estimations by analysis of forest terrestrial laserscanner point clouds* ISPRS workshop on laser scanning 50 – 55., 2007
- [Burt1983] Burt, Peter and Adelson, Edward: *The Laplacian pyramid as a compact image code*, IEEE Transactions on communications 31, 4, 532 – 540., 1983
- [Darrell1988] Trevor Darrell and Kwangyoen Wohn: *Pyramid based depth from focus*, Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings CVPR'88., 504–509., IEEE, 1988.
- [Elek2004a] Elek I: *Domborzati modellek és a mintavételi tétel (I. rész)*, Geodézia és Kartográfia 10/2004, 21 – 24.
- [Elek2004b] Elek I: *Domborzati modellek és a mintavételi tétel (II. rész)*, Geodézia és Kartográfia 11/2004, 21 – 24.

- [ElSheimy2005] N El-Sheimy, C Valeo, and A Habib: *Digital terrain modeling. Acquisition, manipulation and applications*. Artech House. Inc., ISBN 1-58053-921-1, 2005.
- [Fischler1981] Martin A Fischler and Robert C Bolles: *Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*, Communications of the ACM, 24(6):381–395, 1981.
- [Guan2015] Haiyan Guan, Yongtao Yu, Zheng Ji, Jonathan Li, and Qi Zhang: *Deep learning-based tree classification using mobile LiDAR data*, Remote Sensing Letters, 6(11):864–873, 2015.
- [Guttman1984] Guttman, Antonin: *R-trees: A dynamic index structure for spatial searching*, ACM 14/2, 1984.
- [Kang2014] Xiaochen Kang, Jiping Liu, and Xiangguo Lin: *Streaming progressive tin densification filter for airborne lidar point clouds using multi-core architectures*, Remote Sensing, 6(8):7212–7232, 2014.
- [Király2007] Király, G and Brolly, G: *Tree height estimation methods for terrestrial laser scanning in a forest reserve*" Proceedings of the ISPRS Workshop Laser Scanning 12 – 14, 2007.
- [Király2008] Király Géza, Brolly Gábor: *Modelling single trees from terrestrial laser scanning data in a forest reserve*, Photogrammetric Journal of Finland 21(1), 37 – 50, 2008.
- [Kraus1998] Kraus, K. and Pfeifer, N.: *Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 53(4) 193 – 203, 1998.

- [Li2004] Zhilin Li, Christopher Zhu, and Chris Gold: *Digital terrain modeling: principles and methodology*, CRC press, ISBN 9780415324625, 2004.
- [Meng2010] Meng, Xuelian and Currit, Nate and Zhao, Kaiguang: *Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues*, Remote Sensing 2(3), 833 – 860, 2010.
- [Peucker1978] Peucker, Thomas K and Fowler, Robert J and Little, James J and Mark, David M: *The triangulated irregular network*, Amer. Soc. Photogrammetry Proc. Digital Terrain Models Symposium, 516 – 532, 1978.
- [Pfeifer1999] Pfeifer, N and Reiter, T and Briese, C and Rieger, W: *Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 32, 3/W14, 31 – 36, 1999.
- [Sárközi1986] Sárközy Ferenc, Márkus Béla: *Geodéziai AMT*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1986.
- [Sithole2001] George Sithole: *Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter*, International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/W4), 203–210, 2001.
- [Sithole2004] George Sithole, George Vosselman: *Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 59(1-2), 85–101, 2004.

- [Telbisz2013] Telbisz Tamás, Székely Gábor, Timár Gábor: *Digitális terepmodellek; adat, látvány, elemzés*, ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, ISBN 978 963 284 372 8, 2013.
- [Tímár2003] Timár G., Telbisz T., Székely B.: *Úrtechnológia a digitális domborzati modellezésben: az SRTM adatbázis*, Geodézia és Kartográfia, 55(12), 11 – 15, 2003.
- [Van2001] Van Zyl, Jakob J: *The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography*, Acta Astronautica 48(5), 559 – 565, 2001.
- [Vosselman2000] Vosselman, George: *Slope based filtering of laser altimetry data*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33, B3/2; PART 3, 935 – 942, 2000.
- [Zadeh1996] Lotfi A Zadeh: *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, And Fuzzy Systems*. Selected Papers by Lotfi A Zadeh, 394-432, 1996.
- [Zhang2003] Zhang, Keqi and Chen, Shu-Ching and Whitman, Dean and Shyu, Mei-Ling and Yan, Jianhua and Zhang, Chengcui: *A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data*, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, 41(4), 872 – 882, 2003.
- [Zhang2016] Wuming Zhang, Jianbo Qi, Peng Wan, Hongtao Wang, Donghui Xie, Xiaoyan Wang, Guangjian Yan: *An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation*, Remote Sensing, 8(6), 501, 2016.



## VII. A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

- [1] Nagy Gábor: *Digitális domborzatmodellek tárolásának hatékony módszerei*, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK X., 25 – 27, 2007.
- [2] Nagy Gábor: *A terepfelszín mint függvény elemzésének lehetőségei*, Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában: Térinfomatikai Konferencia és Szakkiállítás VI., Debreceni Egyetemi Kiadó, 285 – 292, 2015.
- [3] G. Nagy.: *A diagram to illustrate the distribution of slope and aspect of an area*, 11th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2016), 24 – 27, 2016.
- [4] G. Nagy: *Analysing the pyramid representation in one arc-second SRTM model*, 11th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2016), 79 – 83, 2016.
- [5] Nagy Gábor: *Egy terület lejtésviszonyainak ábrázolása*, Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában VIII., Debreceni Egyetemi Kiadó, 253 – 258, 2017.
- [6] Gábor Nagy, Zou Jie, Tamás Jancsó and Chen Chongcheng: *Modeling Tree Branches from Point Clouds by Sphere Fitting Method*, IGIT 2015 International Conference: Integrated Geospatial Information Technology and Its Application to Resource and Environmental Management Towards GEOSS., Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 147 – 152, 2015.
- [7] G. Nagy: *Matplotlib in the geospatial analysis*, 12th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas (AIS 2017), 90 – 93, 2017.

- [8] Gábor Nagy, Tamás Jancsó and Chen Chongcheng: *The fitting disc method, a new robust algorithm of the point cloud processing*, ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA, 14(6): 59–73, 2017.
- [9] Gábor Nagy: *Sector based linear regression, a new robust method for the multiple linear regression*, ACTA CYBERNETICA, Megjelenés alatt

### **VIII. További tudományos közlemények**

- [10] Nagy Gábor: *Korszerű grafikus eszközök lehetőségei a domborzatmodellek térhatású megjelenítésében*, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XII., 335–338, 2009.
- [11] Nagy Gábor: *Lézerszkenneres mérések Székesfehérvár belvárosában*, GEOMATIKAI KÖZLEMÉNYEK XIV/1., 149–156, 2011.
- [12] Nagy, Gábor: *Interpolation methods for digital elevation models*, 9th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas - AIS2014, 72–74, 2014.
- [13] Riczu Péter, Tamás János, Nagy Gábor, Nagy Attila, Fórián Tünde, Jancsó Tamás: *A 3D lézerszkennér kertészeti alkalmazhatósága*, AGRÁRTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK = ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS 46, 75 – 79, 2012.
- [14] Riczu Péter, Tamás János, Mesterházi Ákos Péter, Nagy Gábor: *Precíziós almatermesztési technológiák fejlesztése a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetben*, AGRÁRTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK = ACTA AGRARIA DEBRECENIENSIS, 97 – 103, 2012.

- [15] Riczu Péter, Nagy Gábor, Nagy Attila, Tamás, János: "3D lézerszkenneres gyomdetektálás gyümölcsültetvényekben", XIX. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, 2013.04.25, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, 1x – 6x., 2013.
- [16] Riczu P., Csihon Á., Nagy A., Nagy G., Ahmed M. E., Tamás J., Gonda I.: *Intenzív almaültetvény strukturális paramétereinek vizsgálata 3D lézerszkenneres adatok alapján*, Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia, Kecskemét, 2013. szeptember 5., Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, 198 – 202, 2013.
- [17] Riczu Péter, Csihon Ádám, Nagy Gábor, Nagy Attila, Tamás János: *Lézerszkennér alapú almadetektálás*, GRADUS 3(1), 263 – 267, 2016.
- [18] Tamás János, Riczu Péter, Nagy Gábor, Nagy Attila, Jancsó Tamás, Nyéki József: *Applicability of 3D laser scanning in precision horticulture*, INTERNATIONAL JOURNAL OF HORTICULTURAL SCIENCE 17, 55 – 58, 2011.
- [19] Gede M., Petters C. Nagy G., Nagy A., Mészáros J., Kovács B., Egri Cs: *Laser Scanning Survey in the Pál-völgy Cave, Budapest*, Proceedings of the 26th International Cartographic Conference, Dresden, 2013.08.25-2013.08.30., International Cartographic Association, 905, 2013.
- [20] Gede, Mátyás and Ungvári, Zsuzsanna and Kiss, Klaudia and Nagy, Gábor: *Open-source Web-based Viewer Application for TLS Surveys in Caves*, Proceedings of the 1st ICA European Symposium on Cartography., Bécs, 2015.11.10-2015.11.12., International Cartographic Association, 321 – 328, 2015.

- [21] Gede Mátyás, Ungvári Zsuzsanna, Nagy Gábor: *Assessing the accuracy of photogrammetric reconstruction by comparison to laser scanned data*, 12th Conference on Digital Approaches to Cartographic Heritage, 343 – 347, 2017.
- [22] Bertalan László, Tóth Csaba Albert, Szabó Gergely, Nagy Gábor, František Kuda, Szabó Szilárd: *Confirmation of a theory: reconstruction of an alluvial plain development in a flume experiment*, ERDKUNDE 70(3), 271 – 285, 2016.