



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Beépített terület felszínborítottságának vizsgálata teljes hullámalakos lézerszkenneléssel

Készítette:

Neuberger Hajnalka

Földmérő- és Térinformatikai mérnök mesterszakos hallgató

Konzulensek:

Dr. Barsi Árpád

BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Dr. Juhász Attila

BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Budapest

2014.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	3
2. LiDAR működése elve.....	4
2. 1. Full-waveform digitalizáló (FWD)	6
3. Adatgyűjtés	7
4. Feldolgozás: LAStools.....	8
4.1. Fontosabb modulok	8
4.1.1. <i>las2txt/las2las</i>	8
4.1.2. <i>lasground</i>	9
4.1.3. <i>las2dem</i>	10
4.1.4. <i>lasclassify</i>	11
4.2. Következtetések	11
5. Feldolgozás: MATLAB	12
5.1. Adatok, statisztikák, megjelenítések	12
5.2. Visszaverődési szintek	15
5.3. Full-waveform vizsgálata	16
5.3.1. <i>Küszöbérték alapján hullámok leválogatása</i>	20
5.3.2. <i>Lokális csúcskeresés</i>	20
5.3.3. <i>Gauss-görbe illesztés</i>	21
5.4. A full-waveform és a diszkrét visszaverődések kapcsolata	22
6. Felszínborítottság vizsgálat: MATLAB	24
6.1 Csoportképzési szabályainak definiálása diszkrét visszaverődések esetén.....	24
6.1.1. <i>Magasságok elemzése</i>	24
6.1.2. <i>Intenzitás értékek elemzése</i>	25
6.1.3. <i>Diszkrét visszaverődések elemzése</i>	26
6.1.4. <i>Csoportképzés diszkrét visszaverődések alapján</i>	26
6.1.5. <i>Csoportképzés lehetősége full-waveform alapján</i>	27
6.2. Felügyelt osztályozás	28
6.2.1. <i>Neurális hálózatok</i>	28
6.2.2. <i>RBF</i>	29
6.2.3. <i>RBF: Magasság alapján</i>	30
6.2.4. <i>RBF: Intenzitás értékek alapján</i>	31
6.3. Felügyelet nélküli osztályozás	32
6.3.1. <i>k-means</i>	32
6.3.2. <i>SOM</i>	36
7. Összefoglalás	41
8. Ábrajegyzék	42
9. Irodalomjegyzék	43

1. Bevezetés

Az 1990-es évektől kezdődően a légi lézerekkel (LiDAR - Light Detection and Ranging) óriási fejlődésnek indult. Habár a technológia a '60-as évektől ismert volt, az eszközök rendkívül drágának bizonyultak, illetve a szenzorok direkt tájékozása sem volt megoldott. A hatalmas fejlődésének köszönhetően ezek a problémák ma már nem jelentkeznek, hiszen a lézerek, ha nem is olcsók, de megfizethetőek, emellett a műholdas és inerciális helymeghatározás együtt ki tudja szolgálni a technológia pontossági igényeit (Lovas *et al.* 2011). Szerencsére a LiDAR egyre szélesebb körben terjed el, így a felhasználók köre és hozzáértése is rendkívül változatos.

A legtöbb LiDAR felhasználó számára elegendő különböző igényességű és ár kategóriájú (minél egyszerűbb, gyorsabb, olcsóbb) feldolgozó szoftverek alkalmazása. Például a régészet szempontjából tökéletesen elegendő néhány empirikus paraméter beállításával leválogatni a pontfelhőkből a talajpontokat, majd az így előállított többé-kevésbé pontos terepfelszint megjeleníteni és elemezni. Számukra teljesen irreleváns az egyes szoftverek működése, próbálgatás útján megtanulják, hogy mely paraméterek használatával tudják a legtöbb információt kinyerni az adott állományból.

Azonban, ha valaki ennél többet szeretne elérni, például pontosabb felszínborítottság vizsgálatokat végrehajtani, automatikus és félautomatikus eljárásokat kidolgozni LiDAR állományok magasabb szintű feldolgozásához, illetve egyéb kutatásokat elvégezni, elengedhetetlen az adatok, és főként azok előállítási módjának mélyebb ismerete.

Dolgozatomban egyrészt az adatok átfogó ismertetésére, másrészt azok (így már szilárd alapokon fekvő) különböző feldolgozására teszek kísérletet.

A teljesség kedvéért bemutatok egy nagyon egyszerű, ám mégis látványos eredmények elérése használható ingyenes szoftvert, a LAsTools-t, kiemelve annak előnyeit, de rámutatva az ilyen jellegű szoftverek hibáira is.

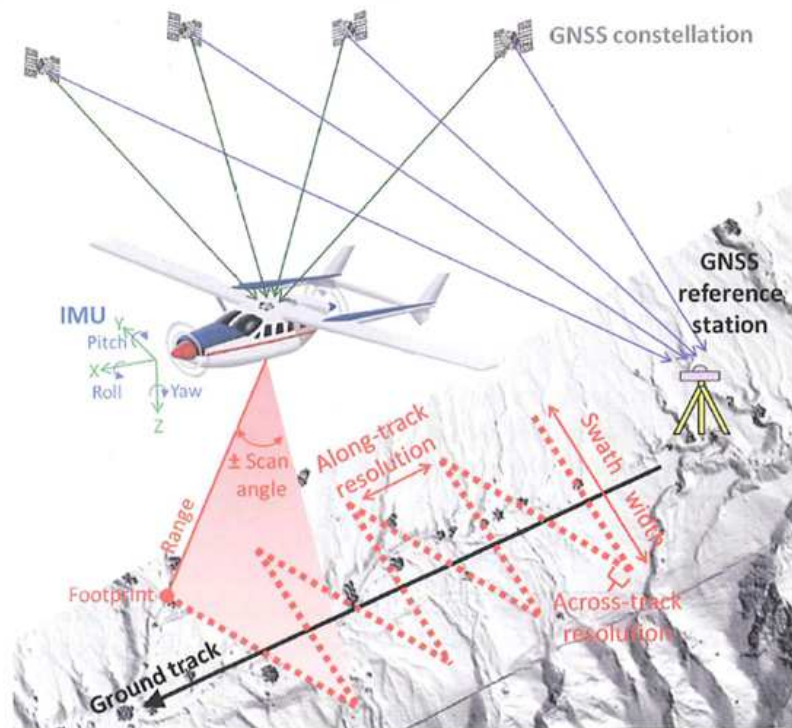
A saját elemzéseimet a MATLAB nevű matematikai szoftver segítségével hajtom végre, ami nem LiDAR állományok feldolgozására készült. A szoftver előnye, hogy nagyméretű mátrixok kezelésére kiválóan alkalmas, beépített, ám jól dokumentált függvényei nagymértékben segíthetik a mátrixként felírható és kezelhető lézerekkel állományok feldolgozását, emellett számos megjelenítő funkcióval is rendelkezik.

A dolgozatom célja kettős: egyrészt a LiDAR technológia és az általa szolgáltatott adatok, tanulmányoszerű bemutatása és elemzése, másrészt a címben ígért felszínborítottság vizsgálat elvégzése különböző osztályozó eljárások (manuális csoportképzés, k-means, neurális hálózatok) felhasználásával.

2. LiDAR működése elve

A LiDAR egy aktív, lézeres távérzékelési módszer, röviden lézerszkennelés. LiDAR fogalma alatt főként a légi lézerszkennelési technológiát értjük, de ez ugyanúgy jelentheti a földi változatát is. A szakirodalomban az ALM (Airborne Laser Mapping) és ALS (Airborne Laser Mapping) kifejezésekkel is találkozhatunk kiemelve a repülőgépes platformot.

Működési elve (1. ábra) a lézeres távmérőkkel egyezik meg: a hordozó eszközön (repülőgép, helikopter) elhelyezett szenzor lézersugarat bocsát ki, majd a visszaverődési időt mérve, a lézer (fény) terjedési sebességét ismerve és felhasználva számolja a távolságokat. Ahhoz, hogy az egyes távolságmérésekből koordinátákat tudjunk meghatározni, szükségünk van a lézernyaláb pontos kibocsátási helyzetére: tudnunk kell a szenzor pillanatnyi koordinátáit, illetve a lézersugár kibocsátási szögét. A szenzor helyzetét globális helymeghatározó rendszerek (GNSS) és inerciális rendszerek (INS) együttes használatával határozzuk meg. A gyakorlatban a repülési irányra merőlegesen lézernyaláb pásztázza a területet, miközben a repülő halad (Barsi et al. 2003).

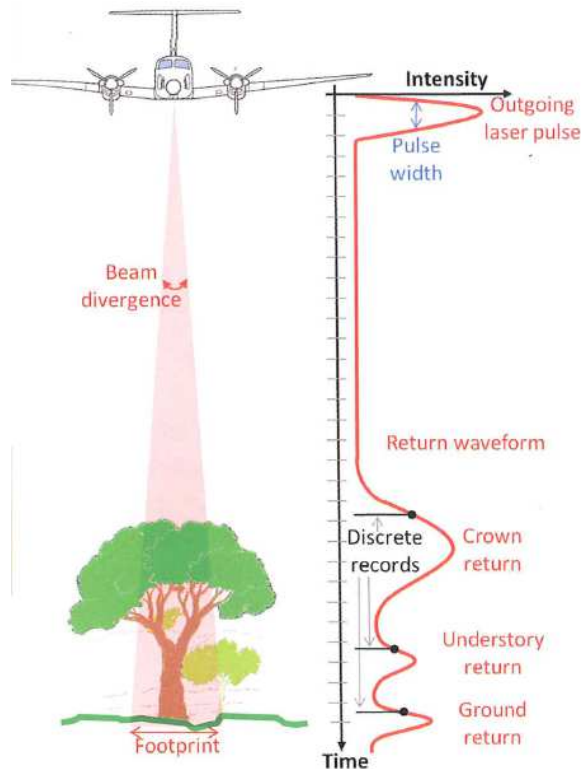


1. ábra: A LiDAR működési elve (Tamás és Flórián 2008)

A lézersugár néhány alapvető tulajdonságának ismerete elengedhetetlen a technológia megértéséhez (Bor 2003):

- monokromatikus,
- koherens,
- kis divergenciájú,
- azonos polarizációjú,
- koncentrált energiájú.

A kis divergenciájú lézersugár, a kibocsátási energia és a távolság függvényében szóródik a felszínre 25-40 cm félnagy tengelyű ellipszisként érkezik, majd innen visszaverődik. Ennek a tulajdonságának köszönhetően egy lézersugár több különböző szintről (pl.: koronaszint, bokorszint, talajszint) is visszaverődhet (2. ábra). Ezt nevezzük többszörös visszaverődésnek. A kezdetleges rendszerek csak egy visszaverődést voltak képesek rögzíteni, később az első (first pulse) és utolsó (last pulse) visszaverődési szintet is. Ma már több, akár 4-6 diszkrét visszaverődés detektálása is lehetséges, ezzel párhuzamosan a visszaérkező lézernyaláb teljes hullámalakját is tudjuk tárolni.



2. ábra: A szkennelés elve (Tamás és Flórián 2008)

Fontos megemlíteni a LiDAR technológia pontossági jellemzőit is. Ekkor a komponensek (táv mérés, GPS, INS), valamint a szenzor és a navigációs rendszer kalibrációjának pontosságát kell vizsgálnunk. Ezek részletezését mellőzve elmondható, hogy magassági értelemben nagyobb pontosság érhető el, kb. 15 cm, míg a vízszintes pontosság ~25 cm-re tehető (Verőné 2011).

2. 1. Full-waveform digitalizáló (FWD)

Teljes hullámalakos szkennelésnél tehát nemcsak a diszkrét visszaverődések kerülnek rögzítésre, hanem ezzel párhuzamosan a kibocsátott lézersugarak visszaverődő teljes képe. Rendkívül fontos, hogy a teljes hullámalakokat, illetve a diszkrét visszaverődéseket két különböző digitalizáló rögzíti (Young 2012), így a két mérési eredmény nem egyezik meg, azok jelenleg nem számolhatók át egymásba, tehát külön kell kezelni őket.

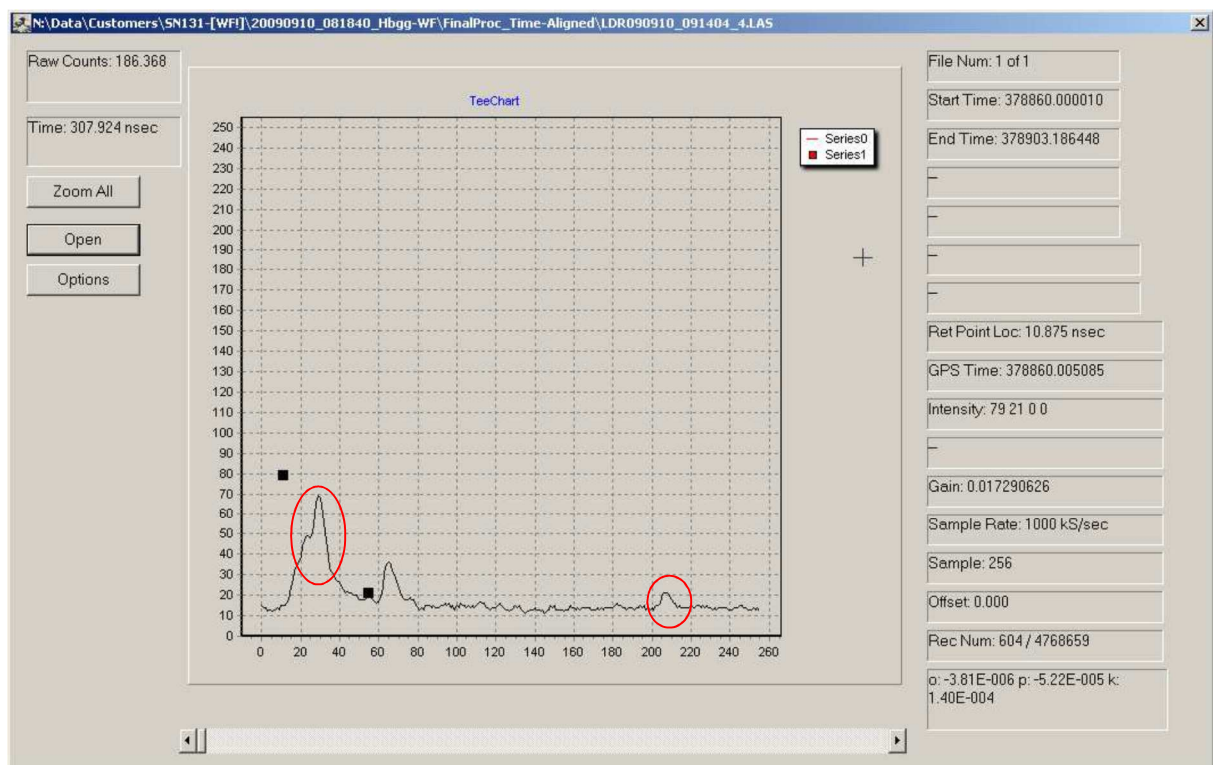
Diszkrét visszaverődések esetén a digitalizáló (*Leica ALS-70 HP*) csak a diszkrét visszaverődések pontos időpontját, illetve a visszaérkező lézerimpulzus intenzitását rögzíti. Az intenzitás értékeknek nincs mértékegységük, 8 biten tárolják őket, tehát 0-255 közötti értékeket vehetnek fel. Ebben az esetben a skála értékek például így alakulnak:

- 0.110 V = 10 intenzitás érték
- 3.7 V = 250 intenzitás érték

Full-waveform rögzítő modul (*Leica WDM65*) a visszaérkező jeleket kvantálja (diszkrét részekre, „sample”-re osztja), esetünkben a teljes hullámalakot 256 mintára, amelyek mindegyike ugyan csak 8 biten van tárolva, de ez eltér a diszkrét visszaverődések skálájától. A waveform digitalizáló skálája:

- 0 V = 0 intenzitás érték
- 4.1 V = 225 intenzitás érték

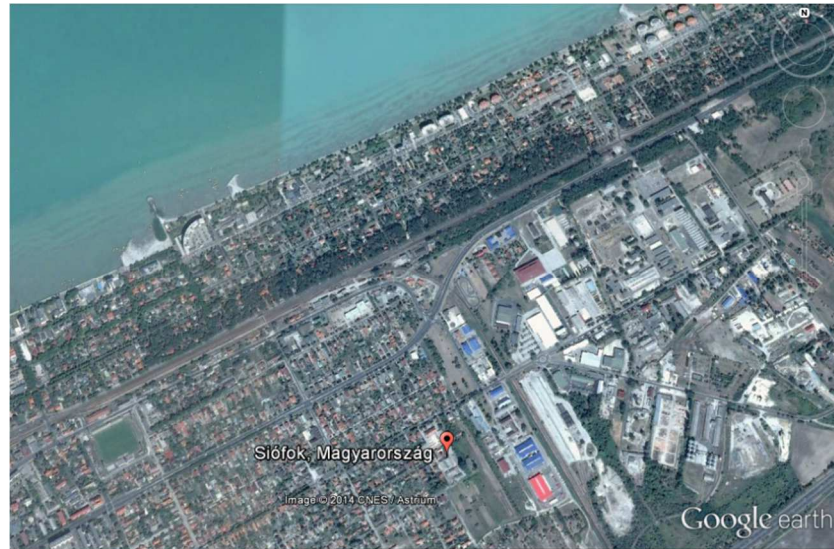
A 3. ábrán látható a diszkrét visszaverődés (fekete négyzet) és a full-waveform különbsége (sötétszürke vonal). Megfigyelhető, hogy ha a két mérést egy képen ábrázoljuk, a diszkrét visszaverődések, és a hullámalakok csúcsai nem esnek egybe, továbbá bizonyos hullámcsúcsokhoz nem tartozik diszkrét visszaverődés. Az első esetben a két visszaverődés túl közel került volna egymáshoz, a második esetben a visszavert jel (piros ellipszisek) intenzitása bizonyult kicsinek.



3. ábra: Diszkrét visszaverődések és teljes hullámalak rögzítése (Young 2012)

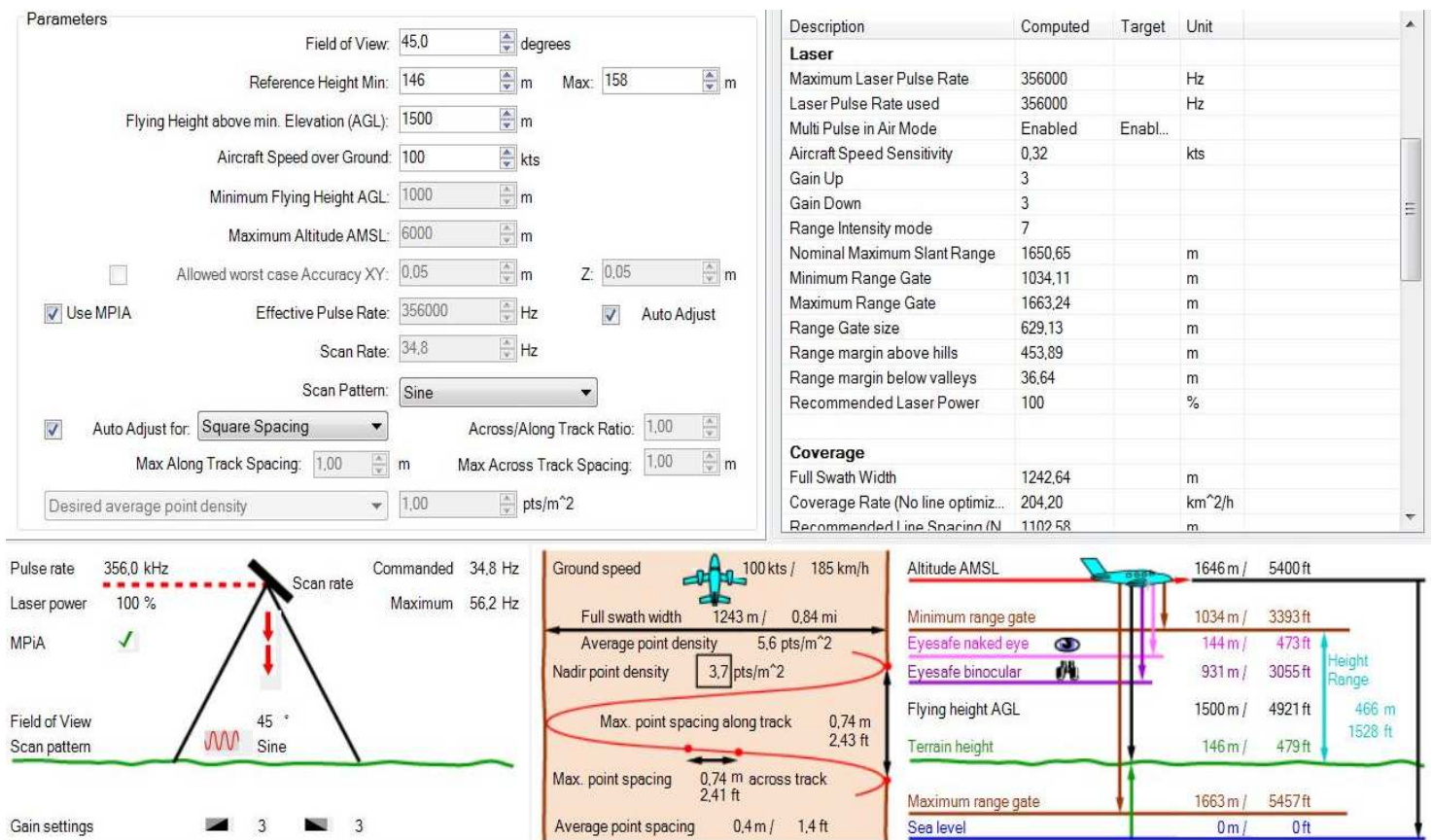
3. Adatgyűjtés

Vizsgálataimhoz a nyers felmérési állományt a Károly Róbert Főiskola Távérzékelési és Vidékfejlesztési Kutatóintézet bocsátotta rendelkezésre, kutatási célokra. Az adatok tartalmazzák Siófok belterület egy részének LiDAR felmérését (diszkrét és full-waveform is rögzítésre került). Sajnos a repülés során ortofotó nem készült, így Google Earth segítségével készítettem a területet jól közelítő kivágatot (4. ábra).



4. ábra: A lerepült terület Siófokon

A felvételeket egy CESSNA C-206 „Skywagon” repülőgép segítségével készítették el. A repülés paramétereit az 5. ábra tartalmazza, amit a mérési adatokhoz kaptam.



5. ábra: Repülési paraméterek

4. Feldolgozás: LAStools

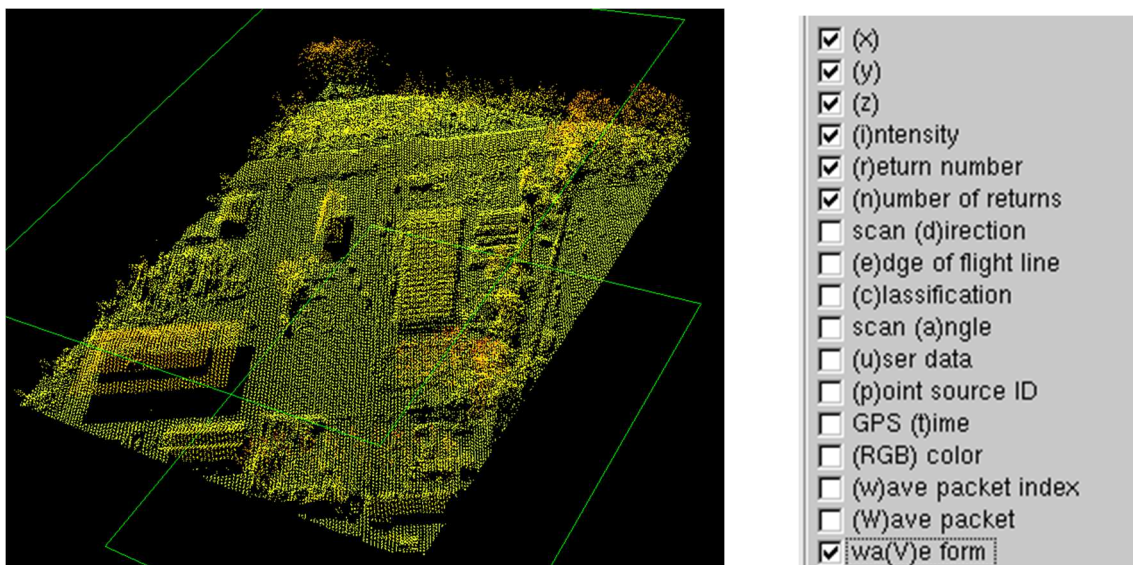
Először a rapidlasso GmbH által fejlesztett LAStools-t, mint hatékony és gyors LiDAR feldolgozó szoftverrel mutatom be, hogy az átlagos felhasználó milyen egyszerű módszerekkel tudják az adataikat kezelni. A szoftver előnye, hogy rendkívül könnyen tanulható, ingyenes verziója az internetről letölthető (<http://rapidlasso.com/>), hátránya, hogy csak kevesebb pontmennyiség feldolgozására alkalmas, illetve korlátozott funkciókkal működik.

4.1. Fontosabb modulok

A LAStools programcsomag része egy komplexebb program a lastool, amely elméletileg az összes kisebb programot tartalmazza. Ezzel szemben a tapasztalat azt mutatja, hogy a külön futtatott modulok több funkcióval rendelkeznek. A lastools több, mint 40 kisebb modult tartalmaz, ezek közül csak a számomra fontosabbakat mutatom be. A programok megismerésében egyrészt a hozzájuk tartozó leíró fájlok (*Lastools readme*), másrészt az online oktató videók (*Lastools tutorials*) segítettek.

4.1.1. las2txt/las2las

A las2txt modul teszi lehetővé, hogy az eredeti las fájlból (ez a LiDAR adatok legelterjedtebb fájlformátuma) az adatokat szöveges állományként exportáljunk ki, hogy később egyéb szoftverekkel (pl. MATLAB) tudjuk a feldolgozást elvégezni. Az eszköz segítségével kisebb területek (kivágatok) adatait menthetjük ki text fájlként, ez megkönnyíti a további munkát, hiszen a lézerekkel felvett állományok meglehetősen nagy adatmennyiséget tartalmaznak. Az exportálás során eldönthetjük, hogy az eredeti fájl mely adataira van szükségünk, így csak a számunkra releváns információkat gyűjthetjük ki. Az eredeti állományból én az alábbi kivágatot készítettem (6. ábra), a számomra fontos információkkal együtt: x, y, z koordináták, intenzitás értékek, visszaverődések száma és a full-waveform adatok. A mintaterület kiválasztásánál ügyeltem rá, hogy olyan jellegzetes részt válasszak, amelyen megtalálható az általam vizsgálni kívánt összes felszínforma: terep, út, növényzet és épületek.



6. ábra: Kivágat és exportált adattípusok

A las2las modullal feldarabolhatjuk az eredeti állományunkat több, kisebb részre. A lastools ingyenes verziója csak 1,5 millió pontig hajlandó tökéletesen kezelni az állományokat. Ennél nagyobb pontmennyiség esetén egyes funkciók egyáltalán nem, mások csak korlátozásokkal működnek, ezért érdemes a rendszerint nagyobb méretű fájlokat kisebbekre felosztani, majd részenként feldolgozni. A modul használata sajnos a full-waveform adatok elvesztésével jár, ezért át kell gondolni, hogy milyen esetekben alkalmazzuk.

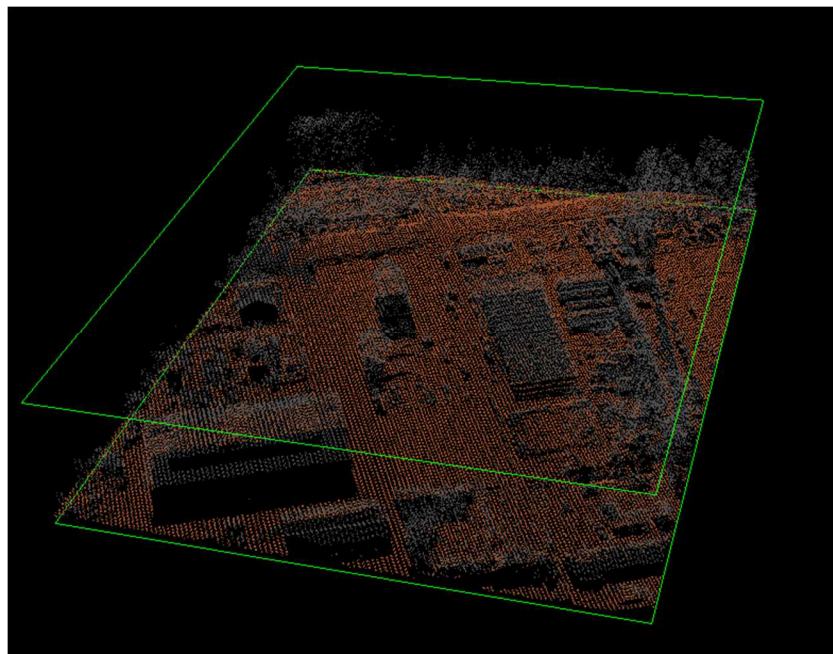
4.1.2. lasground

A lastools-ban végzendő további munkához elengedhetetlen a talajszint (ground) definiálása, erre ad lehetőséget a lasground modul.

A ground szint meghatározásához néhány paraméter állítható be:

- a talajszinthez képest mekkora magasságú elemeket válogasson le,
- milyen kiugró tereprészeket (tűskéket) hagyjon el,
- mit tekintszen síknak (mekkora területen, mekkora magassági értéket fogad el, mint sík).

Amellett, hogy a felhasználó ezeket a paramétereket egyenként megadja, van egy még egyszerűbb lehetőség: ki lehet választani, hogy az osztályozandó területre mi a legjellemzőbb felszínborítottság. Ez alapján definiálható sűrű erdős (wilderness), erdős, ligetes (nature), kisvárosi (town or flats), városi (city or warehouses), illetve nagyvárosi (metropolis) terület. A program ezután a területekhez automatikusan rendel hozzá alapértelmezett értékeket és így értékeli ki a talajszintet. A modul továbbá lehetőséget biztosít arra, hogy minden pont magasságát átszámítsa a meghatározott talajszint feletti magasságra. A 7. ábrán láthatjuk piros színnel a ground pontokat, szürkével a többit.



7. ábra: Ground szint definiálása

4.1.3. las2dem

Talán a legérdekesebb modul a las2dem. Segítségével digitális terepmodellt (DTM) illetve digitális felszínmodellt (DFM) állíthatunk elő pár kattintással. DTM-nek tekinthetjük a ground pontok által meghatározott terepet, DFM-nek pedig az első visszaverődésű pontok által alkotott felszín. A terepmodell tehát nagyban függ a korábban elvégzett tereppont válogatási eljárástól, ezzel szemben a felszínmodell független tőle.

A modul lehetőséget biztosít arra is, hogy az elkészített modelleket Google Earth-ben megjelenítsük, csupán arra van szükség, hogy ismerjük az állományunk UTM szelvénytípusát (ehhez segítséget nyújtanak a különböző online vetület kalkulátorok pl.: <http://www.dmap.co.uk/112tm.htm>).

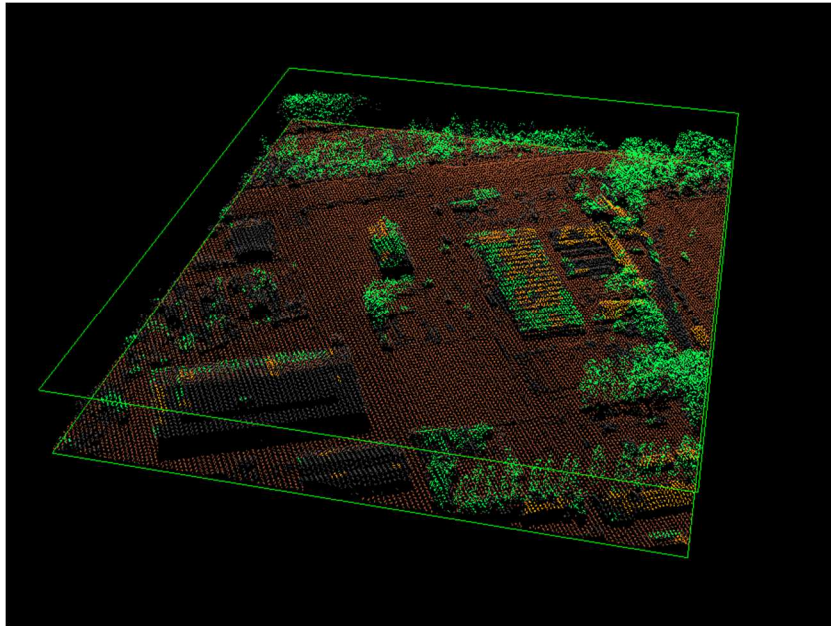
A következő ábrán (8. ábra) a fentebb említett beépített tereppont leválogató algoritmusokat hasonlíthatjuk össze egymással, illetve a felszínmodellel. A kép bal oldalán szerepel a wilderness-nek nevezett eljárás eredménye, ami (ahogy várható is volt) nem hatékony beépített területek esetén terepmodell előállítására, mivel az főként a növényzetet tünteti el. Az ábra középső részén a fennmaradó (nature, town or flats, city or warehouses, metropolis) tereppont leválogató módszer egymáshoz képest hasonló eredményt hoz, nagy hatékonysággal sikerült eltüntetniük a növényzetet és az épületeket, míg az utak továbbra is jól kivehetőek maradtak. Az ábra jobb oldali részén a területről készült felszínmodellt láthatjuk, amin minden terepi elem (növényzet, épület, út) látható. Az ábra egyes részeit összehasonlítva könnyedén bemutathatóak az egyes talajpont leválogató algoritmusok, illetve a különböző DTM-ek és DFM közötti különbségek.



8. ábra: DTM a különböző talajszintképzések alapján (wilderness, nature, town or flats, city or warehouses, metropolis) és DFM

4.1.4. lasclassify

A lasclassify segítségével meglehetősen egyszerű megközelítésekkel lehet az adott terület felszínborítottságát vizsgálni: kísérletet tehetünk arra, hogy megkülönböztessük az épületeket a fáktól (korábban a tereppontok leválogatása már megtörtént). Az osztályozás alapgondolata, hogy a terepszinthez képest egy bizonyos magasság feletti (alapértelmezett 2 méter) szomszédos pontok által alkotott síkok érdekességét vizsgálja. Ha a szomszédos pontok meglehetősen egyenletes síkot alkotnak azokat épületként, míg ha egy síkhoz képest nagyobb szórást mutatnak, akkor azt növényzetként azonosítja. Az alábbi ábrán (9. ábra) a mintaterület felszínborítottságát figyelhetjük meg, a program által felkínált paraméterek felhasználásával. A növényzet elkülönítése meglehetősen jól sikerült (zöld szín), viszont az épületek beazonosítása (narancssárga) közel sem megfelelő (pirossal továbbra is a ground pontok, szürkével az osztályozatlan pontok láthatók).



9. ábra: Mintaterület osztályozása

4.2. Következtetések

Összességében a LAStools-ról elmondhatjuk, hogy az elvárásoknak megfelelően működik. Ingyenes verziója csak korlátozott adatmennyiség esetén használható, de rendkívül egyszerű kezelő felülettel, könnyű betanulással alapműveltek elvégzésére alkalmas. A legtöbb feldolgozó funkciója „black box” jellegű műveleteket hajt végre, tehát egy-két paramétert beállításán kívül, nem tudjuk, hogy pontosan mit csinál a szoftver. Ez bizonyos feldolgozási szintig elegendő, de kutatási munkához sajnos nem kielégítő. A LiDAR adatok megjelenítésére, megismerésére kiválóan alkalmas, sokat lehet belőle tanulni. Ennek ellenére a további vizsgálatokat a MATLAB nevű matematikai szoftverrel hajtom végre, mivel ebben a programban minden parancsot egyénileg lehet megírni, így pontosan követhető, hogy hogyan működnek az egyes eljárások.

5. Feldolgozás: MATLAB

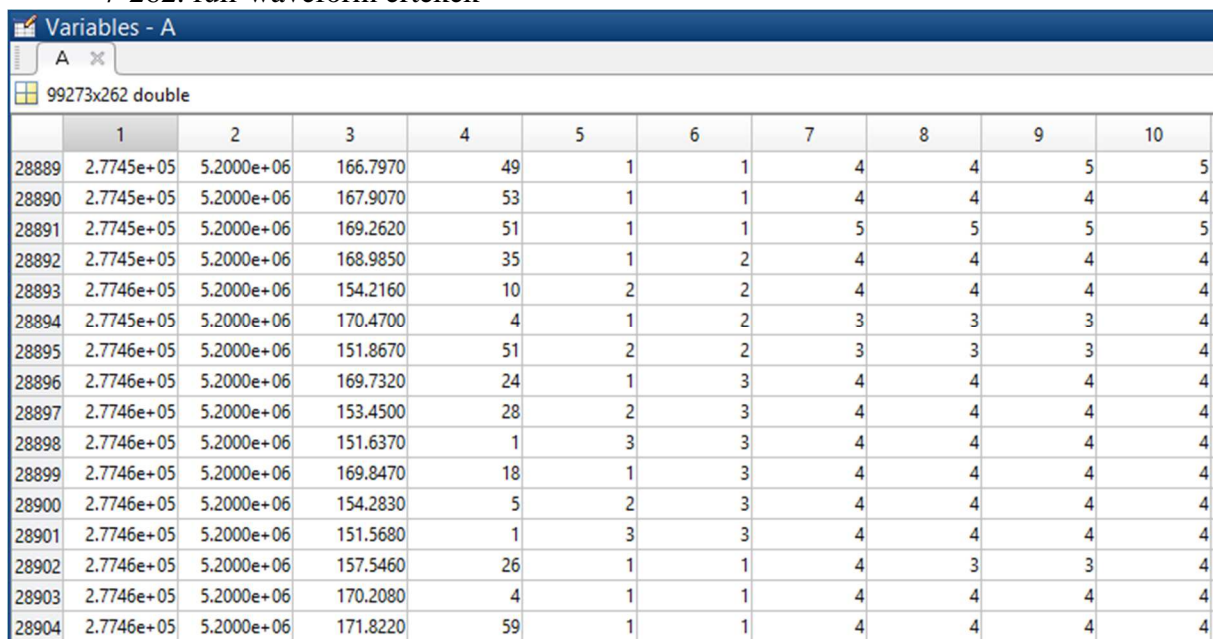
A The MathWorks által fejlesztett MATLAB egy speciális programrendszer, amit numerikus számítások elvégzésére terveztek. Emellett programozási nyelvként is funkcionál. Előnye, hogy képes nagyméretű mátrixok kezelésére, számos beépített függvénnyel rendelkezik a különböző matematikai problémák megoldására, illetve ábrázolási funkciói is meglehetősen fejlettek.

5.1. Adatok, statisztikák, megjelenítések

A MATLAB-os feldolgozáshoz a rendelkezésre álló adatok megértése és fizikai tartalmának ismerete elengedhetetlen. Mivel az eredeti állomány közel 3 millió pontot tartalmazott - ami számítási nehézségekbe ütközött- így a MATLAB vizsgálatokat a korábban említett kivágaton hajtottam végre. A mintaterület ~89 096 m² nagyságú, melyen 99 273 visszaverődést rögzítettek, így 4,5 pont/m²-es pontsűrűségről beszélhetünk.

Esetemben a LiDAR fájlokat, mint rendkívül nagy mátrixokat lehet kezelni (10. ábra). Láthatjuk, hogy a mintaállomány 99 273 sorból és 262 oszlopból áll. A sorok száma a felmért pontok számával egyezik meg, tehát egy nagyobb állománynál több milliós nagyságrendű mátrixokat kell elképzelnünk és kezelnünk. Az oszlopok az egyes pontok tulajdonságait tartalmazzák. A nyers állományban természetesen jóval több adat szerepel, de a számomra irreleváns információkat kihagytam, megkönnyítve ezzel a megértést és a kezelhetőséget. Az egyes oszlopok az alábbi adatokat tartalmazzák:

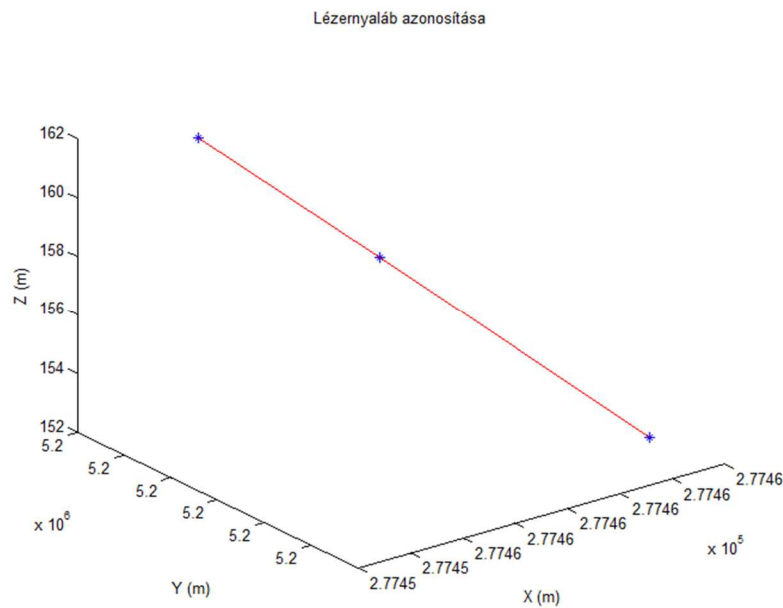
1. X (m) UTM (vízszintes tengely) koordináta
2. Y (m) UTM (függőleges tengely) koordináta
3. Z (m) WGS84 ellipszoid feletti magasság
4. diszkrét visszaverődések intenzitás értékei (mértékegység nélküli arányszám)
5. diszkrét visszaverődés sorszáma az adott lézernyaláb mentén
6. adott lézerek által detektált összes diszkrét visszaverődési szám
- 7-262. full-waveform értékek



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28889	2.7745e+05	5.2000e+06	166.7970	49	1	1	4	4	5	5
28890	2.7745e+05	5.2000e+06	167.9070	53	1	1	4	4	4	4
28891	2.7745e+05	5.2000e+06	169.2620	51	1	1	5	5	5	5
28892	2.7745e+05	5.2000e+06	168.9850	35	1	2	4	4	4	4
28893	2.7746e+05	5.2000e+06	154.2160	10	2	2	4	4	4	4
28894	2.7745e+05	5.2000e+06	170.4700	4	1	2	3	3	3	4
28895	2.7746e+05	5.2000e+06	151.8670	51	2	2	3	3	3	4
28896	2.7746e+05	5.2000e+06	169.7320	24	1	3	4	4	4	4
28897	2.7746e+05	5.2000e+06	153.4500	28	2	3	4	4	4	4
28898	2.7746e+05	5.2000e+06	151.6370	1	3	3	4	4	4	4
28899	2.7746e+05	5.2000e+06	169.8470	18	1	3	4	4	4	4
28900	2.7746e+05	5.2000e+06	154.2830	5	2	3	4	4	4	4
28901	2.7746e+05	5.2000e+06	151.5680	1	3	3	4	4	4	4
28902	2.7746e+05	5.2000e+06	157.5460	26	1	1	4	3	3	4
28903	2.7746e+05	5.2000e+06	170.2080	4	1	1	4	4	4	4
28904	2.7746e+05	5.2000e+06	171.8220	59	1	1	4	4	4	4

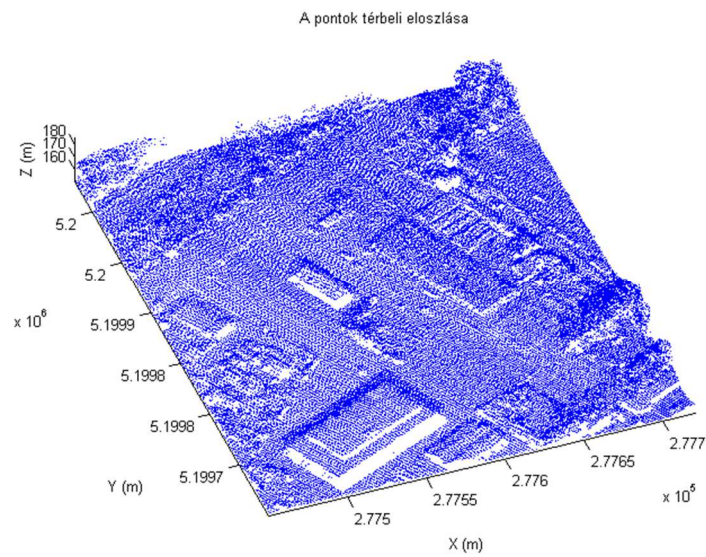
10. ábra: LiDAR adatok mátrixa

Sajnos a nyers MATLAB fájlban közvetlenül nincs rögzítve, hogy mely diszkrét visszaverődések tartoznak egy lézernyalábhoz. Ésszerű a feltevés, hogy az egymást követő sorok tartozhatnak az egyes nyalábokhoz. Ismeretlen okokból és módon a digitalizáló vagy a fedélzeti szoftver bizonyos sorokat, méréseket egyszerűen kihagy, így előfordul olyan eset, amikor a számok alapján három diszkrét visszaverődést várnánk, mégsem rögzít annyit a szoftver. Az összetartozó mérések így is felkutathatók, hiszen egy lézernyalábnak csak egy visszavert teljes hullámalakja lehet. Tehát, ha az egymás alatti sorokban a teljes hullámalak megegyezik, akkor feltételezhetjük, hogy azok egy lézernyalábnak tartoznak. A 11. ábrán ábrázoltam a 22 776: 22 778. diszkrét visszaverődésű pontokat (kék csillagok), illetve az elmélet grafikus igazolását, hogy ezek valóban egy egyenesen, egy lézernyalábnak helyezkednek el (piros vonal).



11. ábra: Lézernyaláb azonosítása diszkrét visszaverődésekből

A MATLAB lehetőséget nyújt 3D-s pontok megjelenítésére is (12. ábra). Ekkor egyszerűen a rendelkezésre álló x, y, z koordinátákkal ábrázoljuk a pontfelhőt.



12. ábra: 3D-s pontok térbeli eloszlása

Az eredeti állomány pontjai nem szabályosan helyezkednek el a térben, így például négyzet rácstra interpolálva sokkal homogénebb, látványosabb ábrákat készíthetünk. A 13. ábrán a továbbiakban használt kivágot Google Earth megjelenítését, illetve az x, y, z koordinátákból rácshálóra interpolált képet láthatjuk.

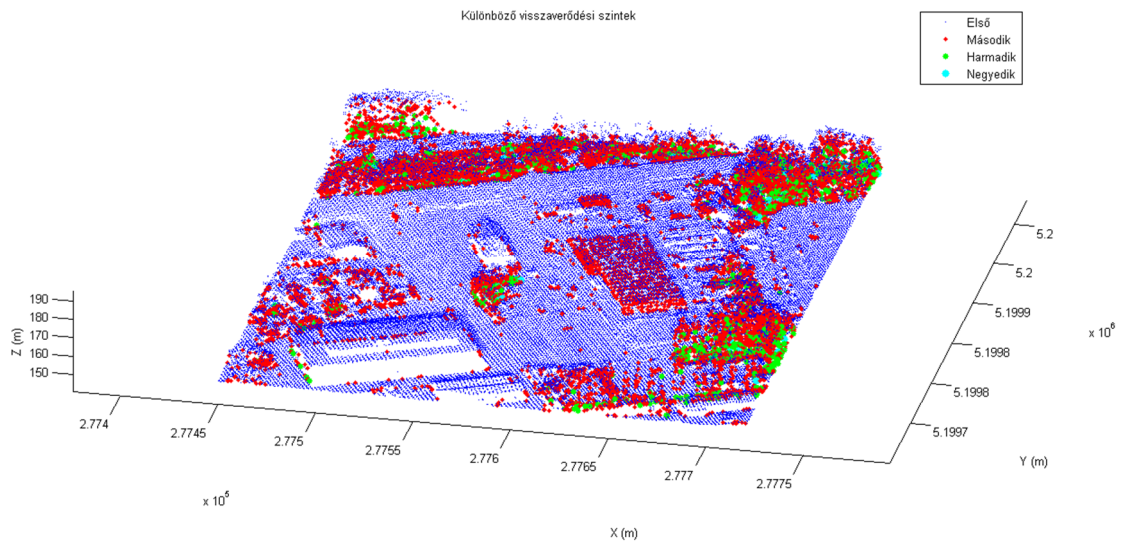


13. ábra: A kivágot Google Earth és MATLAB-os megjelenítése¹

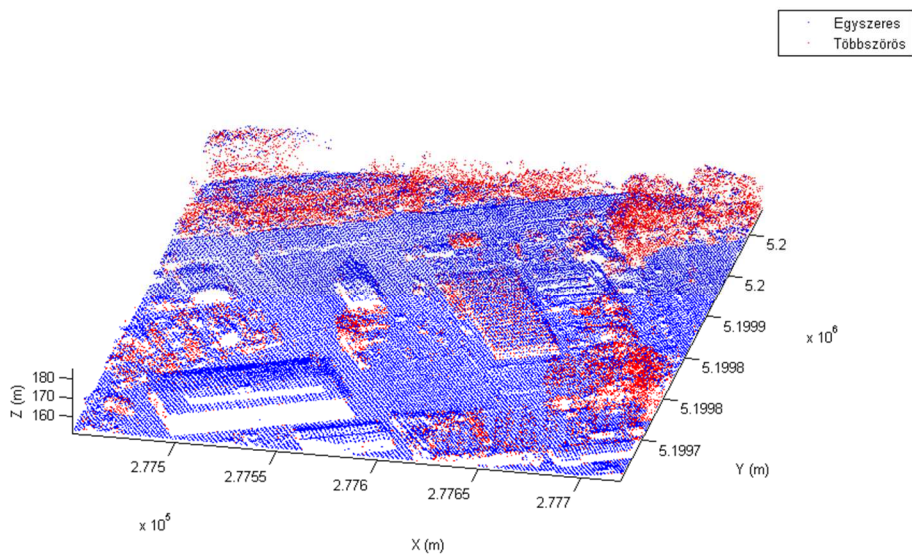
¹ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

5.2. Visszaverődési szintek

Ahogy már a „LiDAR működési elve” című fejezetben említettem, az újabb műszerek képesek több visszaverődési szintről rögzíteni a diszkrét értékeket. A visszaverődési szintek megértésére szolgálnak a következő ábrák. Az elsőn (14. ábra) a különböző visszapattanási szintek különülnek el, az ezt követő 15. ábrán csak az egyszeres és többszörös visszaverődések lettek megkülönböztetve. Láthatjuk, hogy a vártnak megfelelően nagyrészt a növényzetről érkeznek többszörös visszaverődések, míg a terepről, az útról, illetve az épületekről a lézernyaláb csak egyszer pattan vissza.

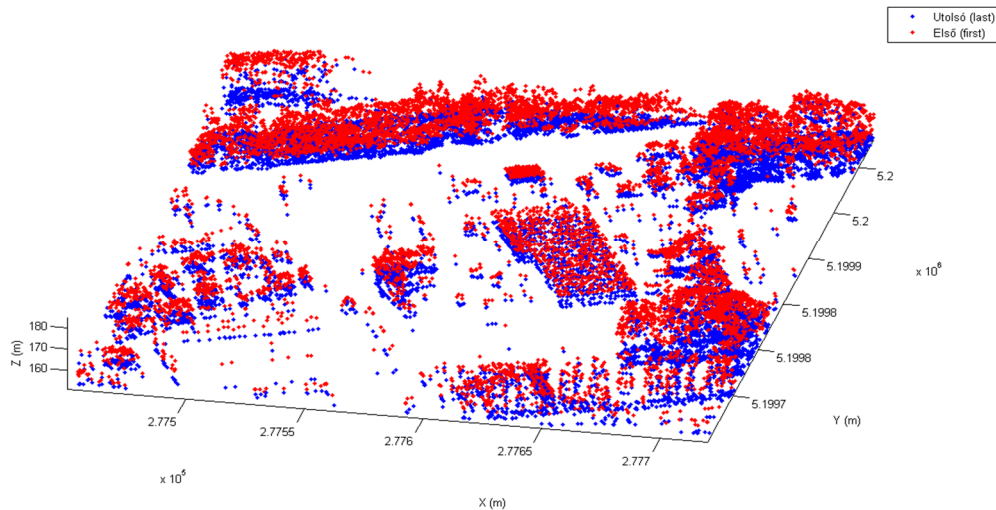


14. ábra: Különböző visszaverődési szintek



15. ábra: Egyszeres és többszörös visszaverődések

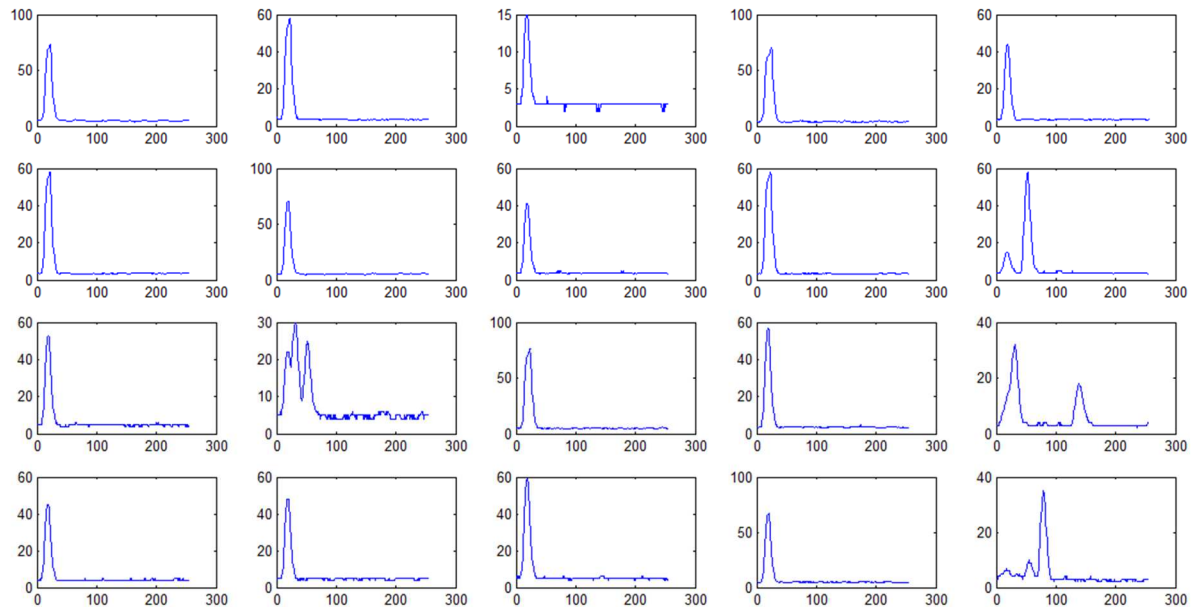
Az első (first pulse) és az utolsó visszaverődés (last pulse) megértésére szolgál a 16. ábra, ahol a többszörös visszaverődés esetén a lézersugár a repülőhöz közelebbi pontról pattan vissza először, majd az attól legtávolabbi utójára. Az első és az utolsó visszaverődések megkülönböztetésére főként a DTM (talajpontokból) és a DFM (első visszaverődések) levezetésénél, illetve egyéb speciális vizsgálatoknál, például fmagasság becslésénél kap nagy szerepet.



16. ábra: Első- és utolsó visszaverődések

5.3. Full-waveform vizsgálata

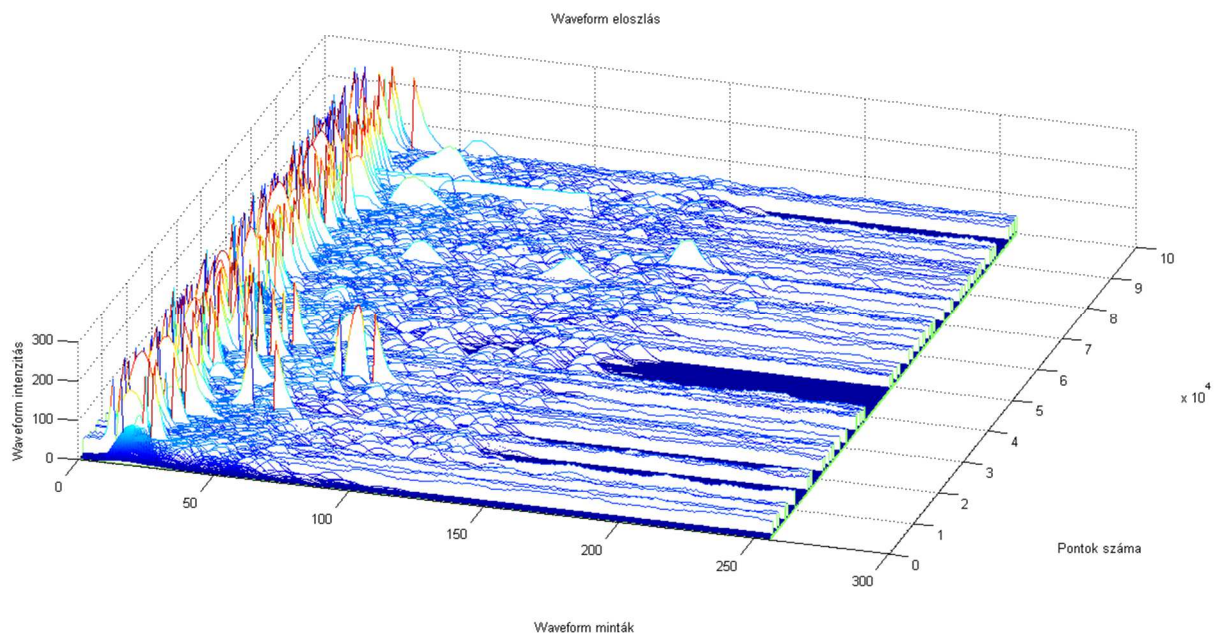
Teljes hullámalak kirajzolásához (17. ábra) a LiDAR mátrixunk egyes soraiból az ennek megfelelő 7:262 értékeket kell ábrázolni. A hullámalakot az oszlopoknak megfelelően 256 diszkrét értékre bontják fel (kvantálás), ezt a skálát látjuk a vízszintes tengelyen, a függőleges tengelyen pedig az FWD által meghatározott intenzitás értékek szerepelnek.



17. ábra: Teljes hullámalakok kirajzolása

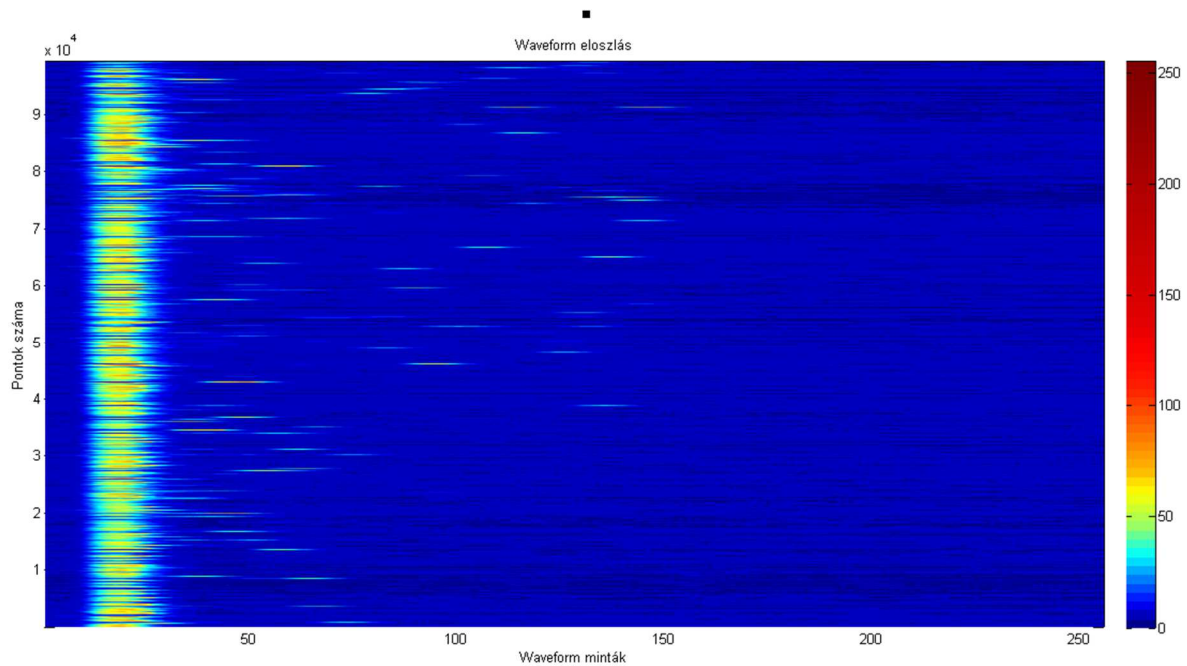
Megfigyelhető, hogy míg egyes képeknél csak egy jól definiálható csúcs található, addig más ábrákon több, kisebb csúcs keletkezett. Ezek a többszörös visszaverődésű hullámok, nagy valószínűséggel növényzet borította terület jelentenek.

A 18. ábrán egy rendkívül látványos MATLAB rajzoló funkciót mutatok be, az úgynevezett vízésés ábrát, ahol mind a 99 273 hullámalakot egymás mellé kirajzoltattam. A megjelenítési mód előnye, hogy a kisebb hullámokat is ábrázolja, így nagymértékben megkönnyíti a hullámalakok értelmezését. Elmondható, hogy a nagyobb csúcsok a hullámalak körülbelül első ötven értékében fordulnak elő, majd később kisebb hullámok, illetve zajok szerepelnek. Lényegében a 200. értéktől a teljes hullámalak nem hordoz érdemi információt, ezért ezeket figyelmen kívül is hagyhatjuk.



18. ábra: Vízésés ábra

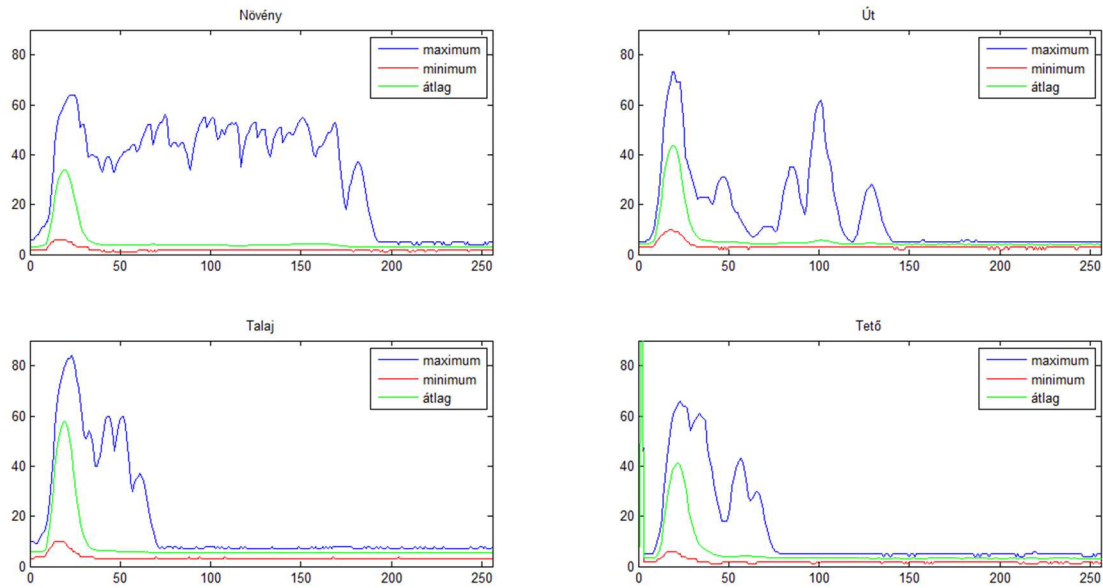
A 19. ábrán hasonló eredményeket tapasztalhatunk, de ezen az ábrán könnyebb megérteni az egyes hullámcsúcsok elhelyezkedését egymáshoz képest, illetve az intenzitás értékeket átgondolni is egyszerűbb. A hullámalakok közötti kisebb különbségek, illetve az apróbb hullámalakok nem látszódnak, de megfigyelhető, hogy a hullámok döntő többsége 25-100 intenzitás érték között helyezkednek el. Vagyis a ~25-nél alacsonyabb intenzitásértékek vagy nagyon kicsi hullámot jelentenek, vagy egyszerűen nem tartalmaznak információt. Ezek zajnak tekinthetők, így elhagyhatóak lennének a további feldolgozás során. Természetesen a küszöbérték meghatározása a későbbiekben numerikusan és nem grafikusán történik meg.



19. ábra: Hullámalakok intenzitása

A 20. ábrán megfigyelhetjük a különböző osztályokat jellemző minimum, maximum és átlag görbéket. Az átlag görbék csúcsait vizsgálva a diszkrét visszaverődésekhez hasonló eredményeket vehetünk észre. Diszkrét visszaverődések esetén is a növényzetről pattantak vissza a legalacsonyabb intenzitás értékek (<15), teljes hullám alak esetén pedig 35 körüli érték látszik. A legnagyobb visszaverő képessége ebben az esetben is a talajnak van (közel 60 az átlagérték, míg diszkrét esetben > 60). Az út és a tető ebben az esetben sem különíthető el markánsan az átlagos hullám csúcsai alapján. Azaz a diszkrét visszaverődések intenzitás értékei és a teljes hullámalak intenzitás értékei között van kapcsolat.

Sajnos az egyes átlagos hullámcsúcsok tágasságai között szemmel látható különbségek nem figyelhetők meg, illetve a hullámok elhelyezkedései sem mutatnak nagy eltéréseket. A minimális hullámalakok arra adnak megerősítést, hogy még a leggyengébb visszaverődések esetében is jól kirajzolódnak a hullámcsúcsok és ezek helye megegyezik az átlagos hullámgörbékével. A maximális görbék a különböző hullámalakok egyediségeit mutatják. Ahogy várható a növényzetnél a legváltozatosabb, mivel ott számíthatunk a legtöbb többszörös visszaverődésre. Ennek szemléltetésére a 21. ábra készült.

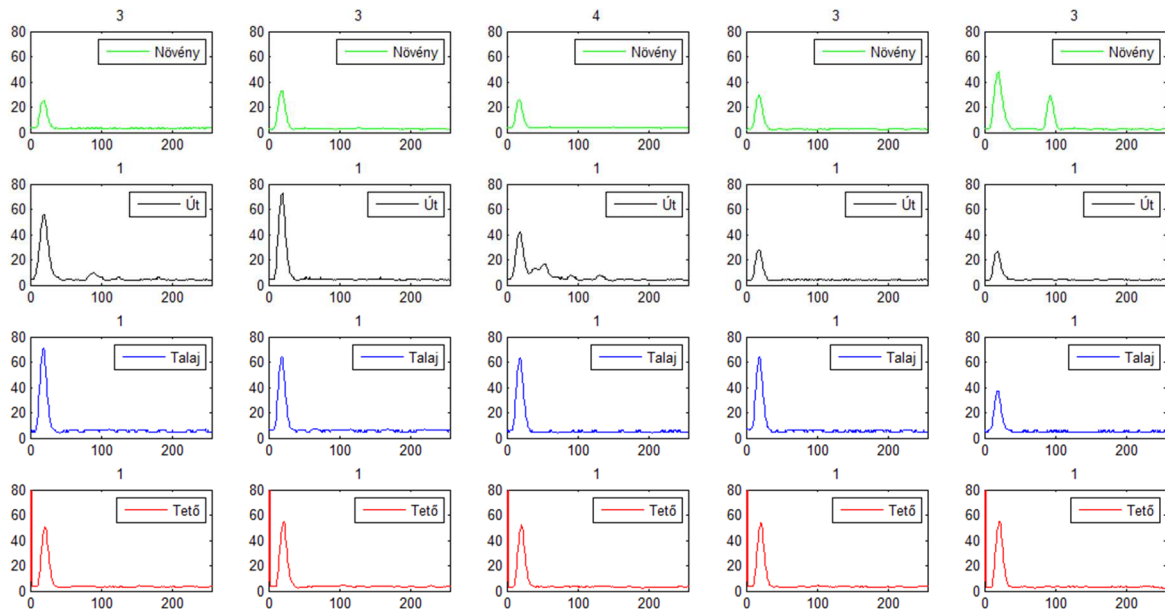


20. ábra: Hullámalakok statisztika²

A 21. ábrán hullámalak mintákat láthatunk az egyes elkülönítendő osztályokra. Sajnos a diszkrét visszaverődések egyes tapasztalatai (többszörös visszaverődés = növény) nem figyelhetők meg, mert

- számos növény hullámalknál csak egy hullámcsúcs látszódik,
- az utak esetén is előfordul több hullámcsúcs,
- a diszkrét visszaverődések száma (hullámformák feletti számok) nem egyezik meg a hullámalakok csúcsainak számával, ha többszörös visszaverődés várható (növényzet).

Problémát jelent az is, hogy az átlagos hullámalakokhoz képest, az egyes hullámformák jelentős eltéréseket mutatnak.



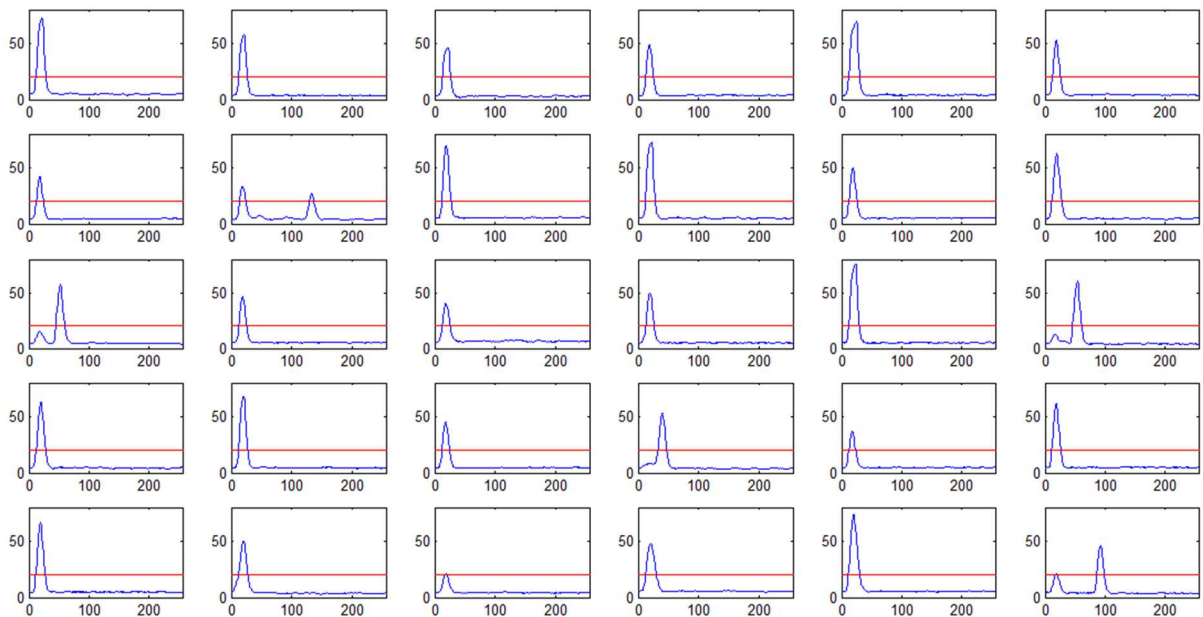
21. ábra: Különböző hullámalakok²

² Vízszintes tengely: full-wave mintavételezés, függőleges tengely: intenzitás értékek

Láthatjuk, hogy a teljes hullámalakok egyszerű statisztikai elemzései nem hoznak eredményt, mivel az átlag-hullámgörbe intenzitás maximumain kívül nincsenek szignifikáns eltérések. A teljes hullámalakok információ, esetleg a diszkrét visszaverődésekhez képest többlet információ tartalmának vizsgálatára, a hullámalakok további elemzése javasolt. A későbbi osztályozások során a nyers hullámalakokat is fel fogom használni input adatként, ez jelentősen megnöveli a program futási idejét, illetve a feleslegesnek nevezhető értékek (előző fejezetben említett intenzitás értékek, sample-k) befolyásolhatják az eredményt. Az osztályozási feladatok hatékonyságának növelésére ezért különböző elemzéseket hajtok végre, megpróbálva kinyerni a hullámalakokból a ténylegesen releváns információkat.

5.3.1. Küszöbérték alapján hullámok leválogatása

Megtehetjük, hogy egy bizonyos küszöbérték (threshold) feletti intenzitás értékeket vesszük csak figyelembe, ezzel kiszűrve azokat az elemeket, amik nem hordoznak különösebb információt (18-19. ábra alapján). A 22. ábrán minden 3 000. hullámalakot rajzoltam ki, küszöbértéknek a 20-at vettem fel, ezt jelöli a piros vízszintes vonal. Az algoritmus lefutását követően csak a vonal feletti hullámok maradnak meg, ezt használom majd bemenő adatként. Sajnos ilyen alacsony küszöb használata mellett is veszünk el értékes adatokat (kis hullámokat), de kisebb küszöbérték esetén a leválogatás értelmét veszti.

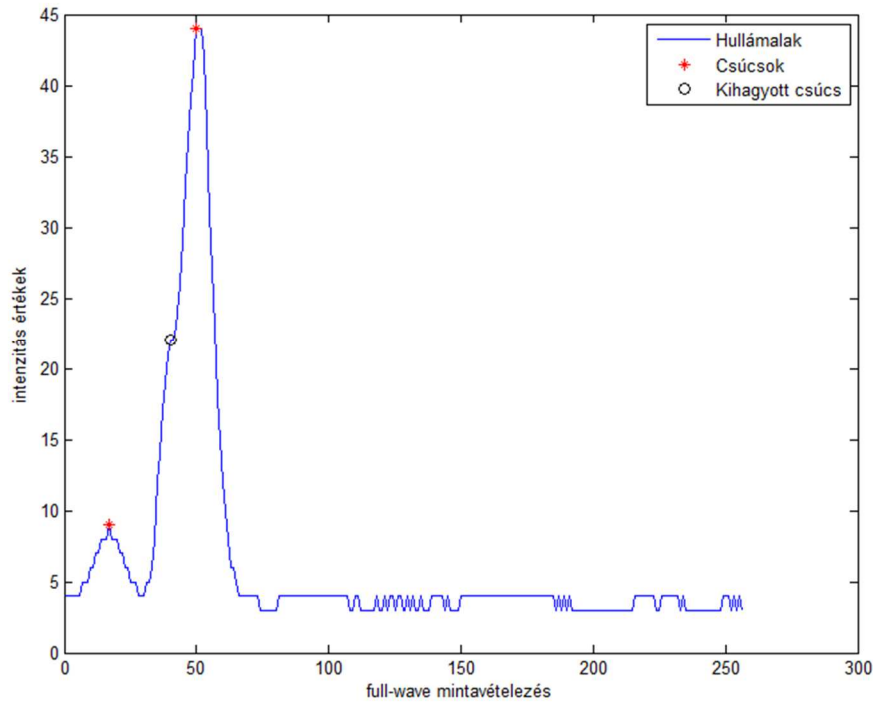


22. ábra: 20-as küszöbérték használata³

5.3.2. Lokális csúcskeresés

A MATLAB beépített függvénye (findpeaks) áll rendelkezésre a lokális csúcsok megtalálására. Az algoritmus lényege, hogy minden értéket megvizsgál (esetünkben mind a 256 intenzitás értéket) és azt tekinti lokális maximumnak, ahol a vizsgált értéknél az előző és a következő is kisebb. Az algoritmus alapértelmezetten megtalálja az összes kis csúcsot, még a zajban is. Ennek kiküszöbölésére megadhatunk egy minimális csúcsmagasságot, (23. ábra). Az eljárás kihagyja azokat a „csúcsokat”, amikről szemmel láthatóan tudjuk, hogy többszörös visszaverődést jelentenek, viszont nem felel meg az algoritmus leírásának, tehát az előtteutána érték nem nagyobb, mint a vizsgált.

³ Vízszintes tengely: full-wave mintavételezés, függőleges tengely: intenzitás értékek



23. ábra: A findpeaks algoritmus eredménye

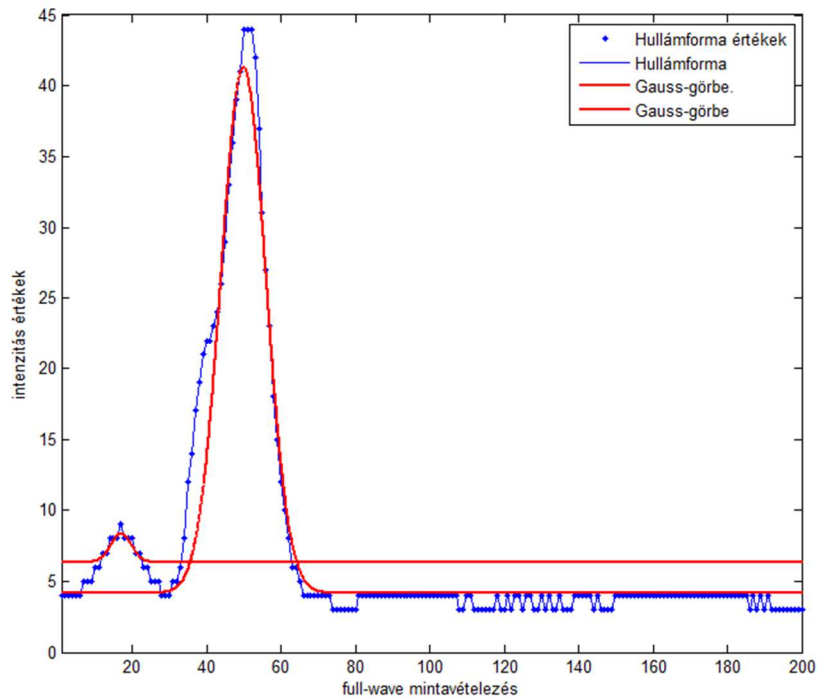
5.3.3. Gauss-görbe illesztés

Számos tanulmány foglalkozik Gauss-görbe illesztéssel különböző adatsorokra, akár LiDAR adatokra is (Kimlei 2013). A módszer lényege, hogy megkeressük az egyes hullámalakok csúcsait valamilyen eljárással, esetemben a fent említett findpeaks-szel, majd a csúcsokra különböző paraméterű Gauss-görbékét illesztünk (24. ábra). Az illesztés, vagyis a görbék paramétereinek meghatározása a legkisebb négyzetek módszerével, II. Kiegyenlítési csoporttal - Kiegyenlítés közvetítő egyenletekkel - történik meg (Detrekői 1991). A meghatározandó paramétereket az általánosított Gauss függvényből (1) ismerhetjük meg,

$$y(x) = a * \exp\left(-\frac{x^2}{b}\right) + c \quad (1)$$

ahol y a kimenet, x a bemenet, az a paraméter a görbe amplitúdója, b a tágassága, c pedig a középpontjának a helye.

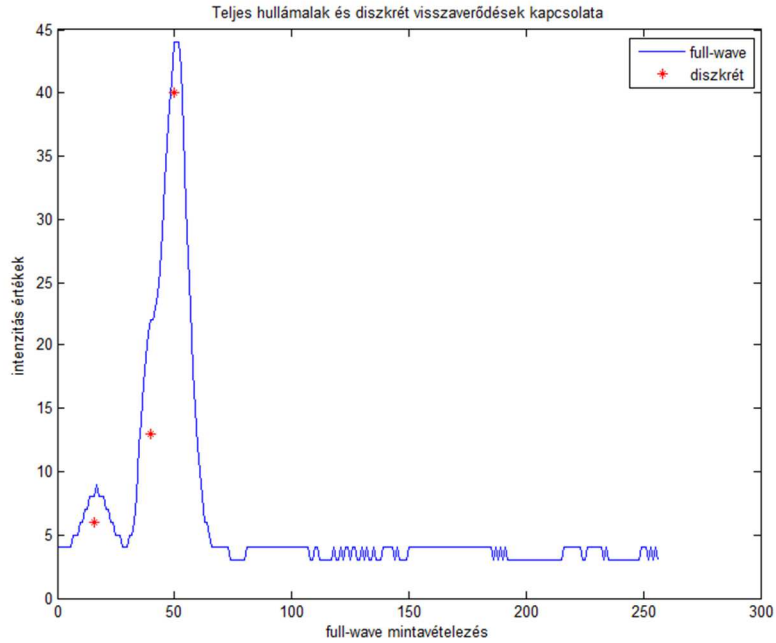
Az egyes hullámokat így a 256 érték helyett, 3 paraméterrel tudjuk jellemezni (a, b, c), ezek a paraméterek lesznek a későbbi feldolgozás bemenő adatai.



24. ábra: Gauss-görbe illesztés

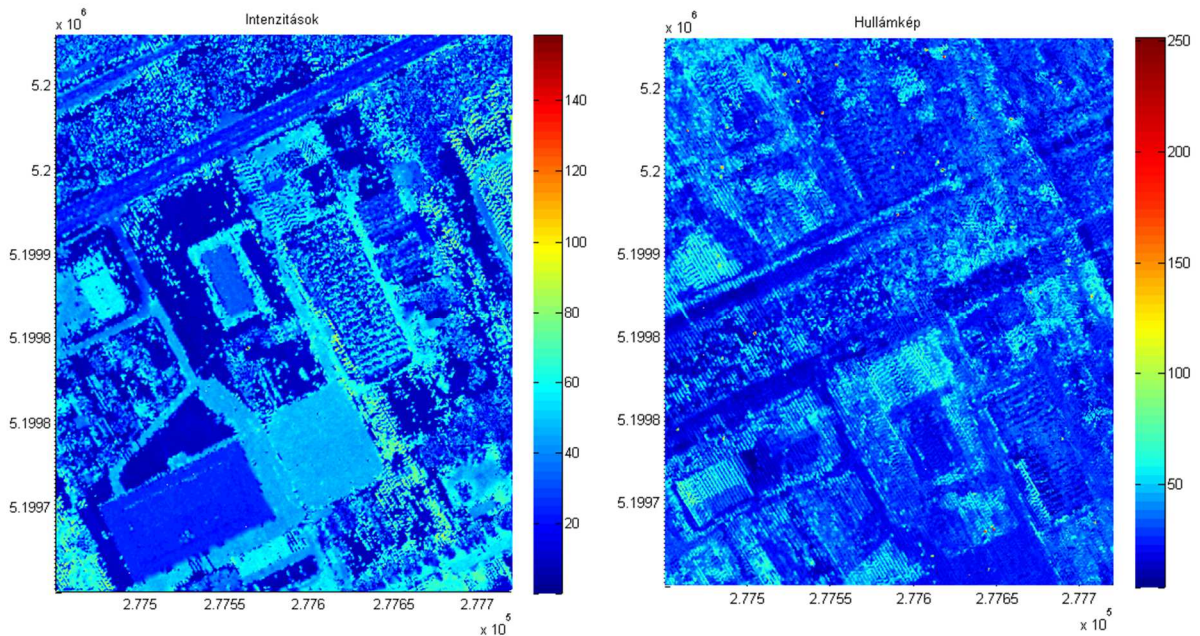
5.4. A full-waveform és a diszkrét visszaverődések kapcsolata

A full-waveform digitalizáló fejezetben már tárgyaltuk, hogy a diszkrét visszaverődések és a teljes hullámalakok rögzítését más egységek végzik. A hullámalak és a diszkrét visszaverődés kapcsolatát, illetve azok kvázi függetlenségét a 25. ábra mutatja be. Mivel a diszkrét visszaverődéseknek nincs a teljes hullámalaknak megfelelő vízszintes tengelyű összetevője, így a könnyebb megérthetőség és ábrázolhatóság kedvéért azokat a látható csúcsok közelében ábrázoltam (függőleges tengelyen továbbra is az intenzitás értékek találhatóak).



25. ábra: Teljes hullámalak és diszkrét visszaverődések kapcsolata

A 21. ábrán egy meghatározó jelenségre lehetünk figyelmesek. A diszkrét visszaverődésekhez tartozó intenzitás képhez (bal oldal) képest a full-waveformból képzett intenzitás kép (jobb oldal) vízszintes értelemben el van „csúsztatva”. Ennek pontos magyarázata még nem ismert, nagy valószínűséggel abból fakadhat, hogy a diszkrét visszaverődések és a teljes hullámalakból képzett hullámcsúcsok egymáshoz képest el vannak tolódva (26. ábra).



26. ábra: Diszkrét intenzitás- és full-wave intenzitás képek⁴

⁴ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

6. Felszínborítottság vizsgálat: MATLAB

A LAsTools szoftverrel a felszínborítottság vizsgálat, ahogy a 4. fejezetben láthattuk rendkívül egyszerűen, pár kattintással elvégezhető. Eredményeként a kivágoton sikerült elkülöníteni az talajpontokat, az épületeket és a növényzetet. Ahogy korábban kifejtettem, nagy hátránya, hogy a felszínborítottság - vizsgálat minden paramétere nem ismert, azok a szoftverbe beépítve állnak rendelkezésünkre.

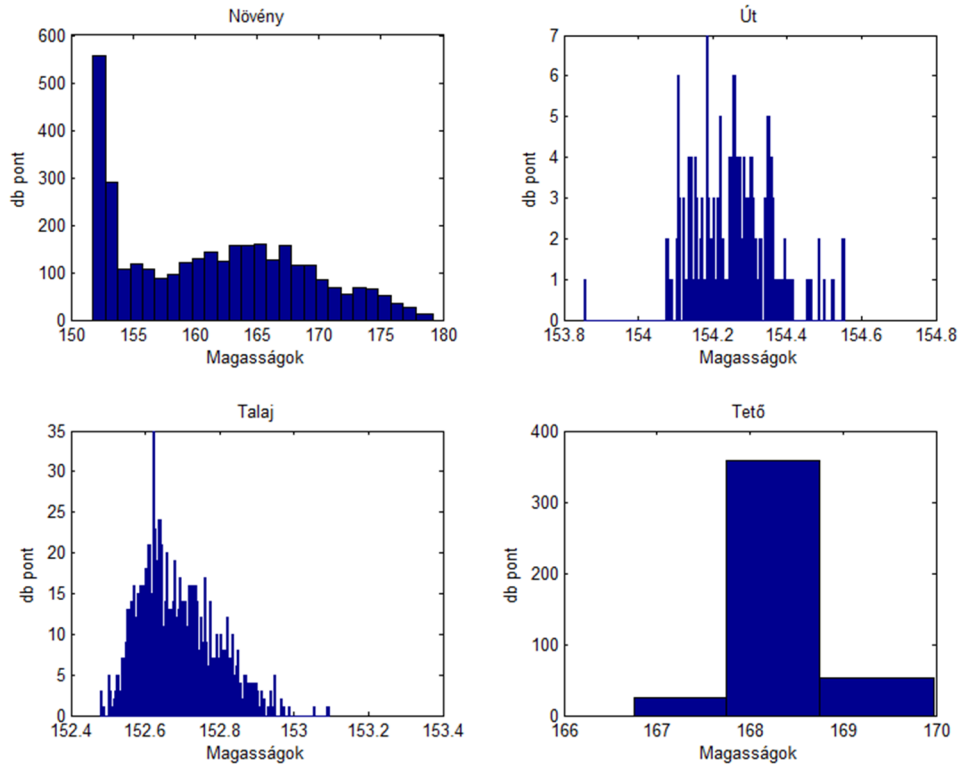
A vizsgálatokat ezután, a rendelkezésre álló adatok immár pontos ismerete után MATLAB segítségével végzem el, ahol pontosan követhető, hogy az egyes elemzések milyen adatokra épülnek és hogyan hajtódnak végre.

6.1 Csoportképzési szabályainak definiálása diszkrét visszaverődések esetén

Felszínborítottság vizsgálatot elvégezhetünk a különböző tulajdonságok manuális elemzésével. Csoportképző attribútumként a már korábban említett jellemzőket (magasság, intenzitás, visszaverődési szintek) vizsgáltam. Az elemzés során azt figyeltem, hogy vannak-e az egyes csoportokra szignifikánsan jellemző tulajdonságok, illetve konkrét értékek, amik nagy valószínűséggel megkülönböztetik az egyes csoportokat egymástól.

6.1.1. Magasságok elemzése

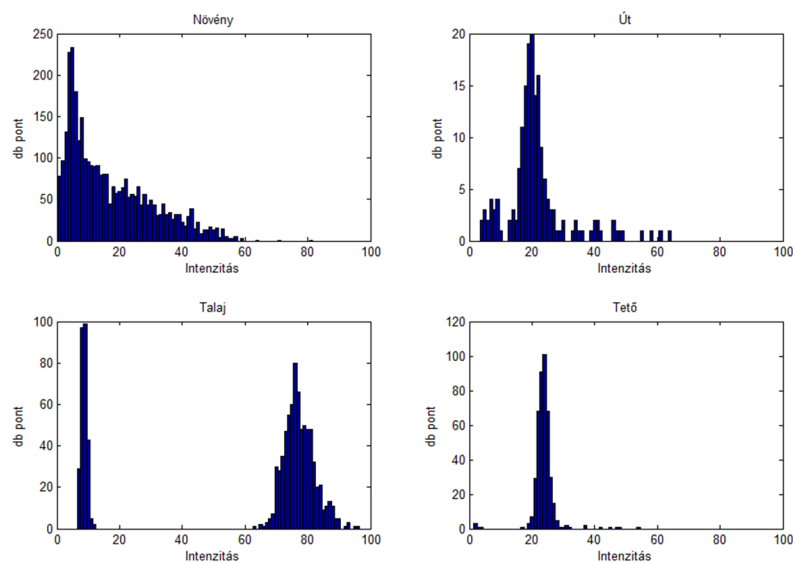
A 27. ábrán jól látszik, hogy a vizsgált területen a talajszint van legalacsonyabban ~152,5-153 m között, majd ezután következik az út szintje ~153,8-154,5 m között. A tető ugyancsak jól elhatárolódik ~166,8-170 m-es magasságon. A várakozásnak megfelelően a növényzet nem különíthető el közvetlenül az ábra alapján, mivel a fás területeken több szintről is visszapattannak lézersugarak. Az növényzet magasság eloszlási ábrájának első pár kiemelkedő oszlopa nagy valószínűséggel a talajról visszapattanó értékeket mutatja (mivel fák esetén a lézersugár több szintről is visszaverődhet), ezektől elvonatkoztatva megkaphatjuk, hogy az átlagos növénymagasság 155-179 m közé esik. Az ábra is szemlélteti, hogy a talaj és az út jól elkülöníthető magasság alapján a növényzettől és az épületektől, viszont csupán magasság alapján a növényzet és az épületek sok esetben nem (mivel különböző magasságú házak, ipari létesítmények és ugyan csak eltérő magasságú fák vannak).



27. ábra: Magasságok eloszlása a mintaterületeken

6.1.2. Intenzitás értékek elemzése

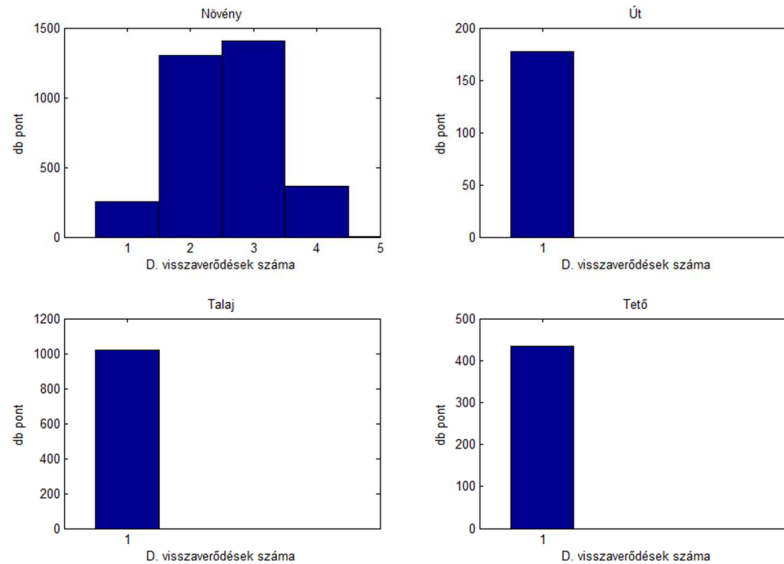
A 28. ábrán az intenzitás értékek eloszlása szerepel. Az ábra alapján a talaj különíthető el markánsan, mivel csak a talaj esetében lesz az értékek döntő többsége ~65 felett (a 10-es intenzitás érték körüli kiugrás nagy valószínűséggel a talajon lévő növényzet miatt alakult ki). Az út és a tető nem különíthető el intenzitás értékek alapján egymástól (ahogy ezt a későbbi elemzésekben is láthatjuk), mindkettő értékei főként a ~15-30 közötti szerepelnek. A növényzetet pedig az alacsonyabb intenzitások (<15) jellemzik.



28. ábra: Intenzitás értékek eloszlása a mintaterületeken

6.1.3. Diszkrét visszaverődések elemzése

A 29. ábra alapján egyértelműen elmondható, hogy többszörös visszaverődés a diszkrét pontok alapján, a mintaterületen csak növényzet esetén figyelhető meg (ahogy ez várható is volt). Azaz elméletileg, leválogatva a többszörös visszaverődésű pontokat, megkapjuk a növényzetet.



29. ábra: Visszaverődések eloszlása a mintaterületeken

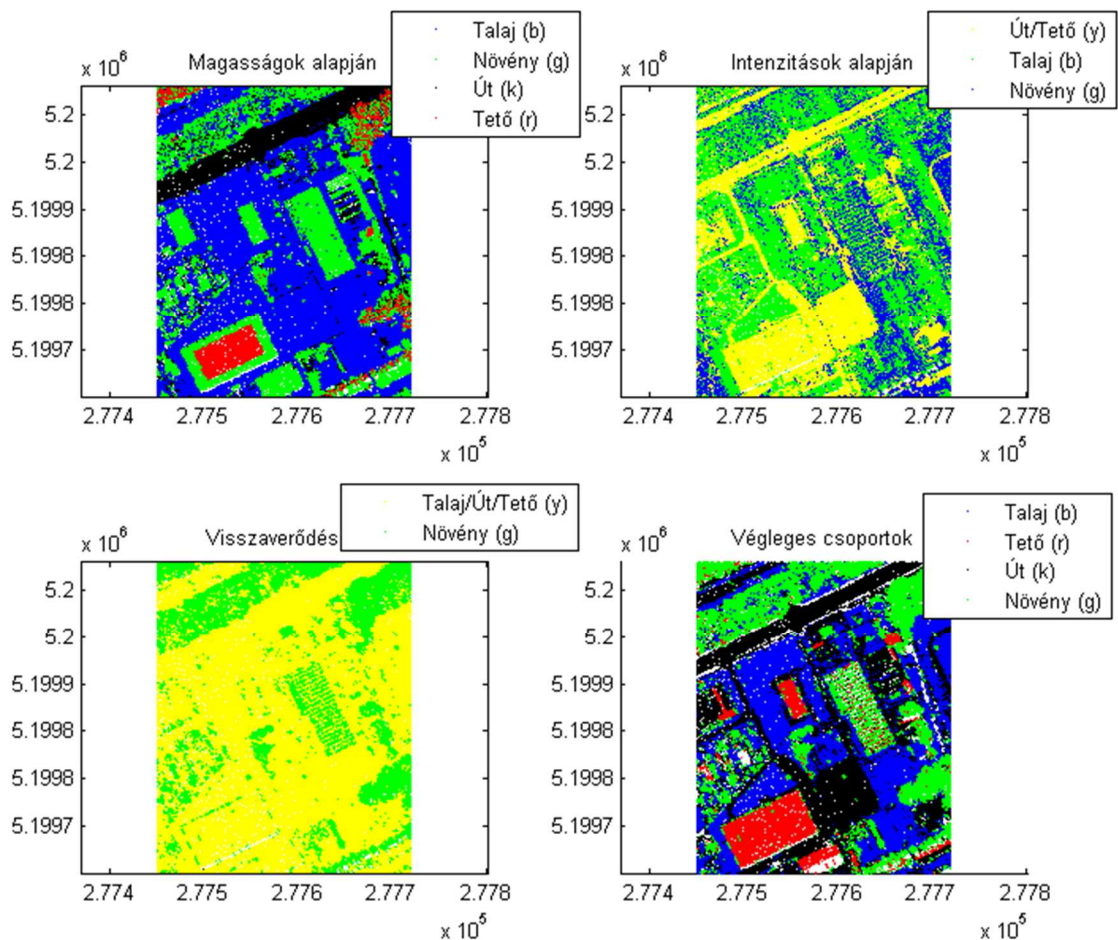
6.1.4. Csoportképzés diszkrét visszaverődések alapján

Diszkrét visszaverődések végleges csoportképzési szabályait az (1) táblázat tartalmazza, mely alapján a csoportképzés a 30. ábrán látható.

	Magasság (m)	Intenzitás	Visszaverődések sz.
Növény (g)	>154,5	<15	≠1
Út (k)	153,8-154,5	15-60	1
Talaj (b)	<153,8	>60	1
Tető (r)	166,8-170	15-60	1

1. táblázat: Csoportképzési szabályok diszkrét visszaverődések esetén

A 30. ábra első három képe az (1) táblázat alapján elkülönített osztályokat mutatja. Magasságok szerinti elkülönítés lehetőséget ad, hogy a talaj/út szintet egyértelműen elválasszuk a növény/tető szinttől. Az intenzitás értékek lehetőséget adnak, hogy az út/tető objektumokat nagy valószínűséggel elkülönítsük a talaj/növény objektumoktól. A diszkrét visszaverődések számából ebben az esetben egyértelműen meghatározhatók a növények. Ezek a tapasztalatok alapján végeztem el a végleges csoportosítást, amely az utolsó képen látszódik. Növényként azonosított minden olyan pontot, ahol többszörös visszaverődés volt tapasztalható, talajpontként, amiknek magasságuk a minimális út szint alatt (153,8 m) helyezkednek el. Az út/tető elemeket intenzitás alapján különítettem el a többi ponttól, majd egy magassági küszöbvel (ház nem lehet alacsonyabb, mint a talajszint + 3 m) választottam el egymástól. Megállapítható, hogy ez az összetettebb csoportképzés rendkívül jól működik, mivel a növényzet, az úthálózat, a tetők és a talajszint jól láthatóan elkülönülnek egymástól.



30. ábra: Osztályozás diszkrét jellemzők kombinációi alapján⁵

A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a diszkrét visszaverődéseket alaposan megvizsgálva az osztályozás nagy hatékonysággal elvégezhető, melyeket számos LiDAR feldolgozó szoftver különböző módszerekkel használ fel.

6.1.5. Csoportképzés lehetősége full-waveform alapján

Teljes hullámalakok szerinti csoportképzés alapját képezhetné maga a teljes hullámalak, a minimális, maximális, átlagos hullámalakok, illetve ezek módosított görbéi (küszöbérték feletti értékek, hullámcsúcsok, illesztett Gauss-görbe jellemzői). Az ilyen jellegű csoportképzéssel azonban a probléma az, hogy az egyes osztályokhoz tartozó görbék (növényzet, út, talaj, tető) nem kellően homogének, főként a növényzet hullámképei (így az azokból levezett jellemzők) rendkívül változatosak. Ebből következik, hogy amennyiben a növényzetet, mint mintaterületet kijelölöm, mindent növényzetként fog detektálni. A számos kísérlet során nem sikerült egzakt hullámalak alapú csoportosító szabályokat létrehozni, ahogy a diszkrét pontok esetén. Viszont a problémára megoldást jelenthet későbbiekben a felügyelet nélküli osztályozás. Ebben az esetben nincsenek előre definiált osztályok, hanem az egyes hullámalakok és azok jellemzői közötti hasonlóságok és különbségek alapján megy végbe az osztályozás, elkerülve, hogy egy túl inhomogén csoportjellemző alapján az osztályozás sikertelen legyen.

⁵ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

6.2. Felügyelt osztályozás

Osztályozásról (klaszterezés, klasszifikáció) akkor beszélünk, ha a rendelkezésünkre álló adatokat egy vagy több tulajdonságuk alapján homogén csoportokba szeretnénk besorolni. A klaszterképzés alapját a távolság vagy a hasonlóságmérték képezi. Esetemben a feladat az, hogy a rendelkezésre álló LiDAR adatok bizonyos jellemzői (magasság, intenzitás, full-waveform) alapján meghatározzam, hogy az egyes pontok mit ábrázolnak (talaj, út, növény, épület), ezzel vizsgálva a felszínborítottságot.

Annak érdekében, hogy az egyes osztályozási paramétereket ne nekem kelljen meghatározni, felügyelt osztályozókat fogok tesztelni. Felügyelt osztályozás esetén, előre jól definiált tanuló halmazokkal végezzük az osztályozást, tehát megmondhatjuk, hogy bizonyos elemek konkrétan mit ábrázolnak, viszont az osztályozás alapját képező paramétereket nem. Létrehoztam kisebb mintaterületeket (növény, út, talaj és tető), amelyek 1/3 részével a tanítást végeztem el, 2/3 részével pedig a tanítás ellenőrzését.

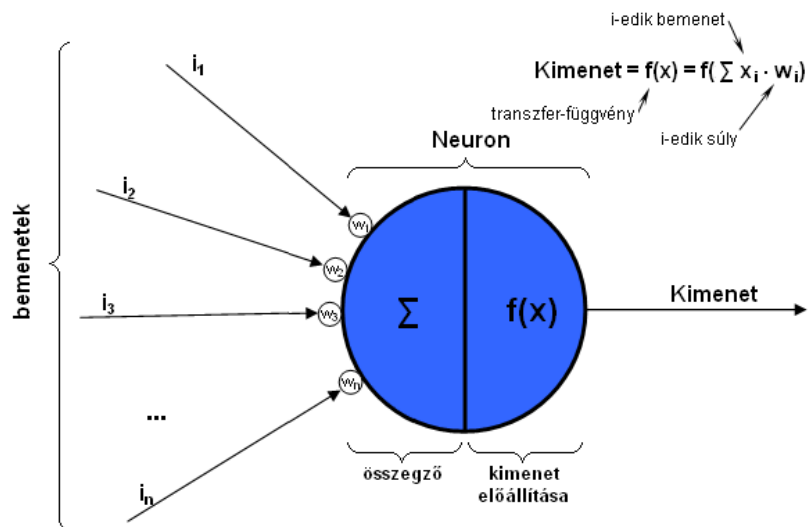
6.2.1. Neurális hálózatok

Neurális hálózatok az emberi agy működését igyekeznek szimulálni számítógépes környezetben. Az idegsejtek kapcsolatait használják fel, mint modell-struktúrát, ezzel megteremtve az általános összefüggéseket a bemeneti és a kimeneti adatpárok között.

Neurális hálózatnak tehát azokat a hardver vagy szoftver megvalósítású párhuzamos, elosztott működésű információ feldolgozó eszközöket tekintjük, amelyek (*Altrichter et al. 2006*):

- azonos, vagy hasonló típusú, rendszerint nagyszámú, lokális feldolgozást végző műveleti elemből (neuron) állnak, amelyek többnyire rendezett topológiájú, nagymértékű rendszert alkotnak
- rendelkeznek tanulási algoritmussal
- rendelkeznek előhívási algoritmussal

A neuronok hálózata csomópontokból és az ezeket összekötő irányított élekből tevődik össze. Az élekhez különböző súlyokat rendelünk (*31. ábra*), a szomszédos neuronok kapcsolatának függvényében. A neurális hálózatok lényegében irányított, súlyozott gráfként képzelhetőek el. Az egyes csomópontok rétegekben helyezkednek el: az első a bemeneti, az utolsó a kimeneti és közöttük helyezkednek el az ún. rejtett rétegek (*Paláncz 2011*).



31. ábra: Neuron működési elve (*Neuron*)

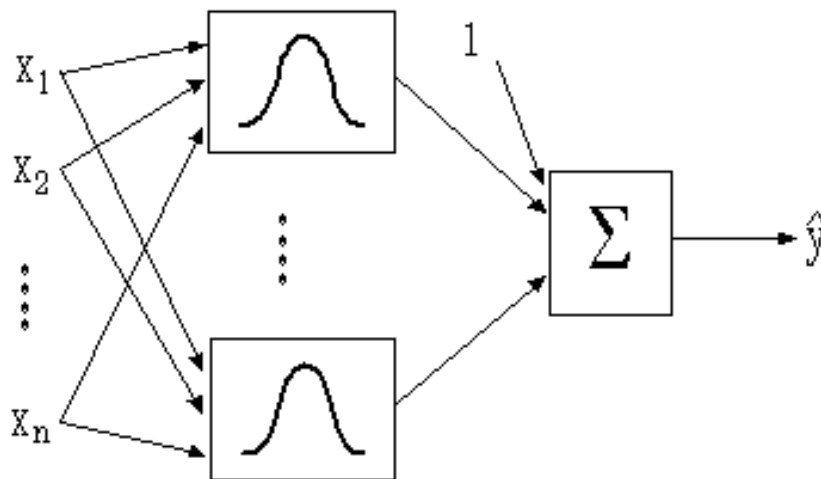
6.2.2. RBF

Radiális Bázis Függvény (RBF) olyan neurális hálózat, amelynek bázisfüggvénye radiálisan szimmetrikus pl.: B-spline- vagy Gauss függvények. Legegyszerűbb változatban az aktivációs függvényként Gauss harang-függvényt (2) használhatunk (*Paláncz 2011*),

$$y(x) = e^{-\lambda(x-c)^2} \quad (2)$$

ahol λ a harang nyílásának mérőszáma, c pedig a középpont koordinátája.

A hálózat működését a 32. ábra szemlélteti:



32. ábra: RBF működési elve (*Paláncz 2011*)

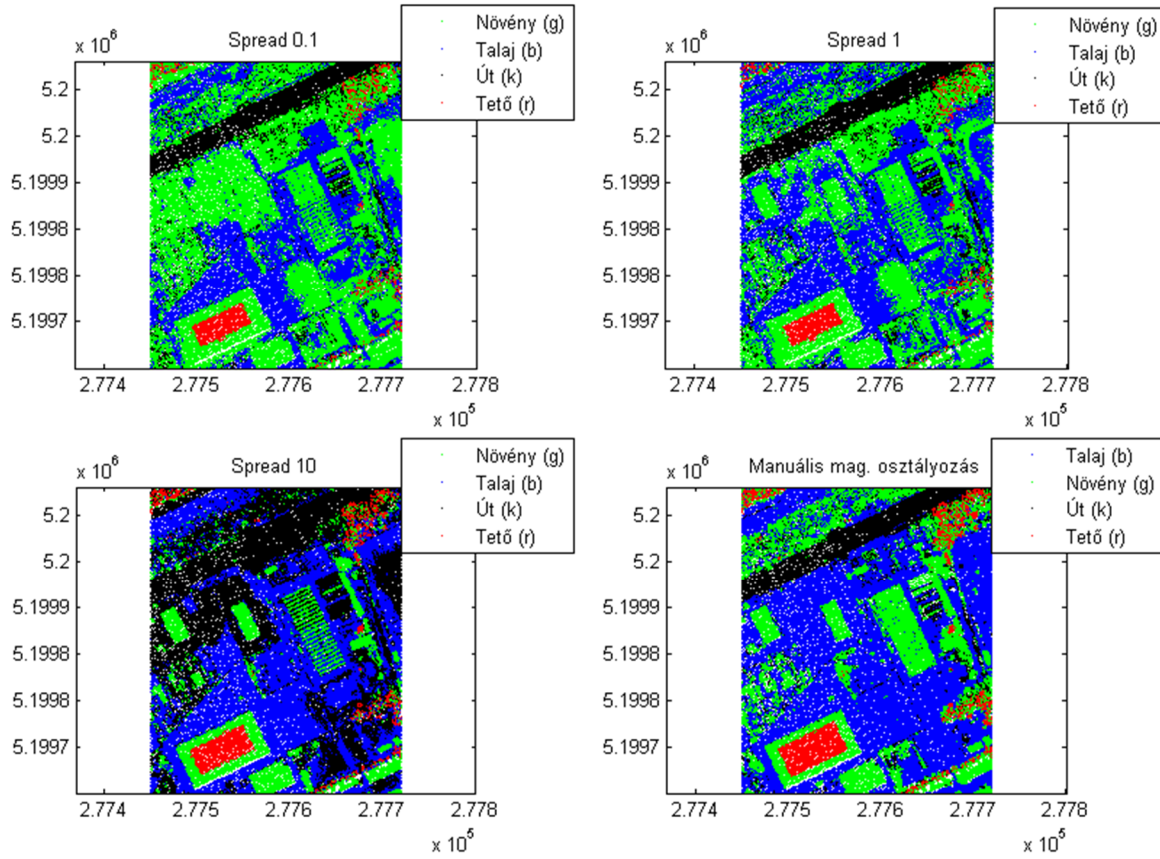
A MATLAB-ban beépített függvény áll rendelkezésre (3) az RBF használatára:

$$\text{newrb}(X,T,GOAL,SPREAD,MN,DF) \quad (3)$$

ahol X a tanuló halmaz bemenete, T a tanuló halmaz kimenetele, $GOAL$ leállási feltétel (középhiba), $SPREAD$ az alkalmazott Gauss-függvény nyílása, MN a neuronok maximális száma, DF a rejtett rétegben a neuronok száma.

6.2.3. RBF: Magasság alapján

Az RBF alkalmazását az 33. ábrán láthatjuk. Bemenő paraméterként a négy tanuló halmaz magassági adatai szerepelnek. A (3) képlet alapján, a legfontosabb állítandó paraméter a *SPREAD*, melynek különböző értékeit (0.1, 1 és 10) próbáltam ki. A legjobb eredményt az alapértelmezett, 1-es nyílás hozta, ezen a talajpontok és a főútvonat jól elkülöníthető, a keresett épület felismerhető, a manuális osztályozáshoz hasonló eredményt adott.

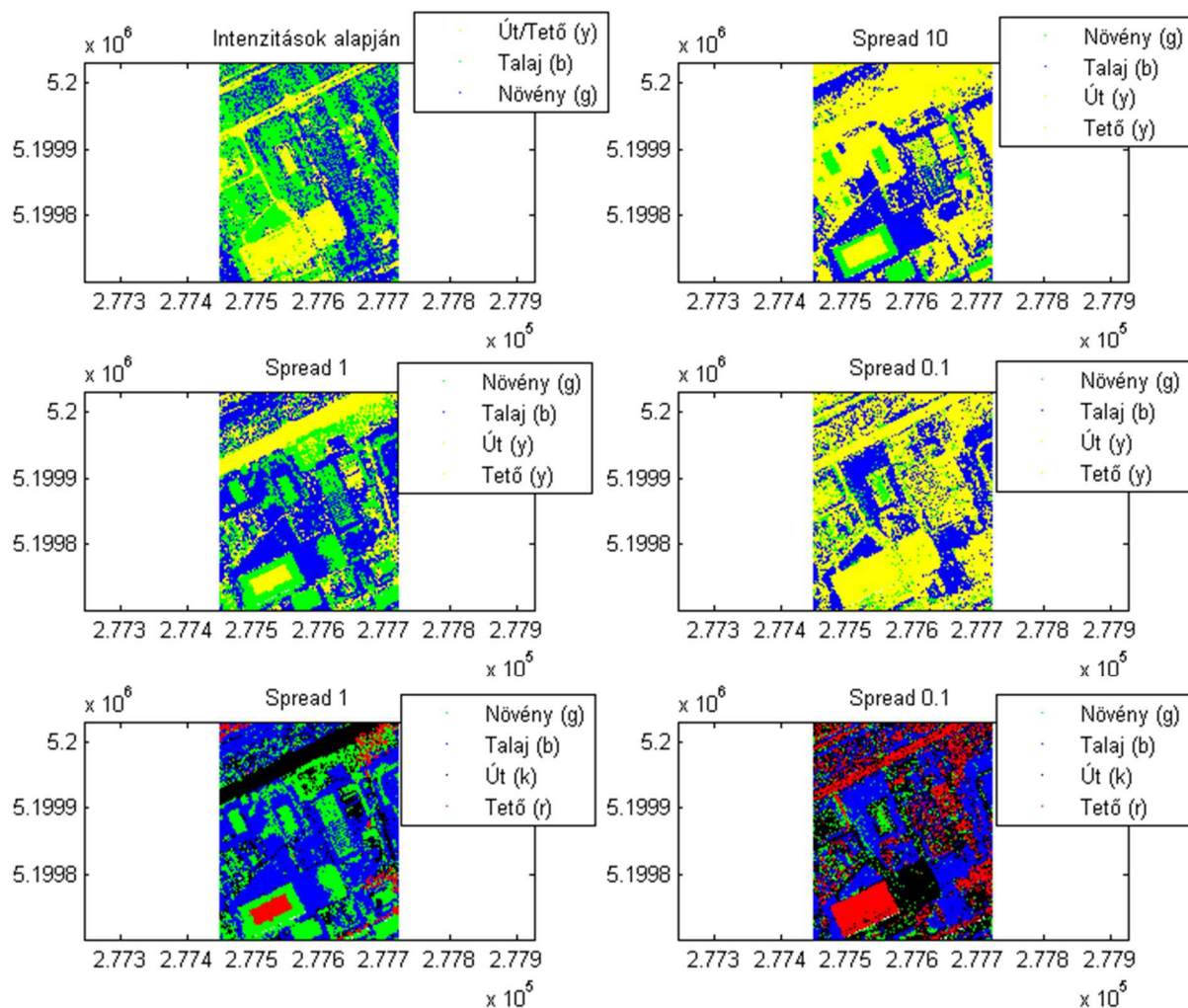


33. ábra: RBF magasságok alapján⁶

⁶ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

6.2.4. RBF: Intenzitás értékek alapján

Az RBF alkalmazását az intenzitás értékekre a 34. ábra szemlélteti. Ahogy azt a diszkrét intenzitás értékek vizsgálatánál (28. ábra) említettem, az utat és a tetőt nehéz intenzitás értékek alapján megkülönböztetni, így először az RBF lefuttatása során, azokat szintén egy színnel ábrázoltam, majd a jól osztályozott ábrákon megpróbáltam elkülöníteni azokat. A magasságokra alkalmazott RBF-hez hasonlóan ebben az esetben is több SPREAD értéket próbáltam ki, a legjobb eredményt a 0.1 SPREAD hozta, a manuális ábrához hasonló képet sikerült létrehoznom. Az 1-es nyílás esetén az út és az épület is megkülönböztethető, tehát az RBF képes a tanuló területek felhasználásával kisebb intenzitás különbségeket felhasználásával az osztályképzést javítani, az egyszerű szabályalkotással szemben.



34. ábra: RBF intenzitás értékek alapján⁷

⁷ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

6.3. Felügyelet nélküli osztályozás

Felügyelet nélküli osztályozáskor az adatok közötti hasonlóságokat használjuk ki és ezek alapján rendeljük azokat automatikusan csoportokba. A felügyelt osztályozással szemben ebben az esetben nincs megerősítés, az algoritmus maga keres kohéziót az adatok között. Eleinte az algoritmusok véletlenszerű osztályjellemzők (pl. középpont) alapján kezdik meg az klaszterezést, majd egy iterációs folyamat során az összes elemet különböző osztályokba sorolják. Az iteráció addig folytatódik, amíg az el nem éri a maximális lépésszámot vagy az adatpontok egy bizonyos mennyisége már nem vált csoportot. A módszer előnye, hogy nem kell előre csoportokat definiálnunk, hátránya, hogy a képzett csoportok nem mindig rendelkeznek fizikai jelentéssel. (Barsi 2004).

6.3.1. k-means

A k-közép (k-means) algoritmus az egyik legnépszerűbb nem hierarchikus klaszterező algoritmus. Lényege, hogy minden pontot ahhoz a csoporthoz sorol, amelynek a középpontja a legközelebb van az adott elemhez (Klaszteranalízis).

Az algoritmus működése:

- mintavételezés,
- véletlenszerűen létrehoz k darab klasztert, majd meghatározza ezek középpontját,
- minden elemet abba a klaszterbe sorol, aminek a középpontjához a legközelebb van,
- újraszámolja a klaszterközéppontokat,
- utolsó két lépést addig ismétli, amíg valamilyen konvergencia kritérium nem teljesül (maximális lépésszám elérése, besorolás nem változik).

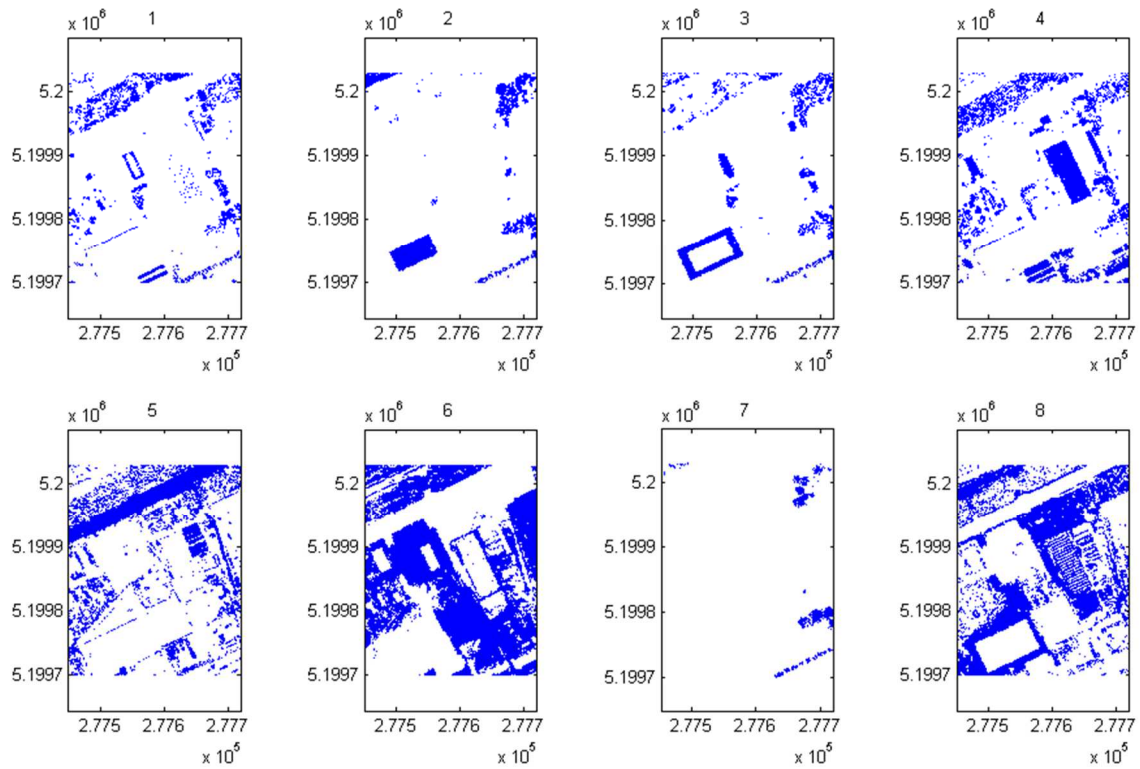
A MATLAB-nak beépített függvénye van a k-means elvégzésére (4),

$$IDX = kmeans(X, K) \quad (4)$$

ahol IDX a kimenet (klaszterazonosító), X a bemeneti mátrix, K a létrehozandó osztályok száma.

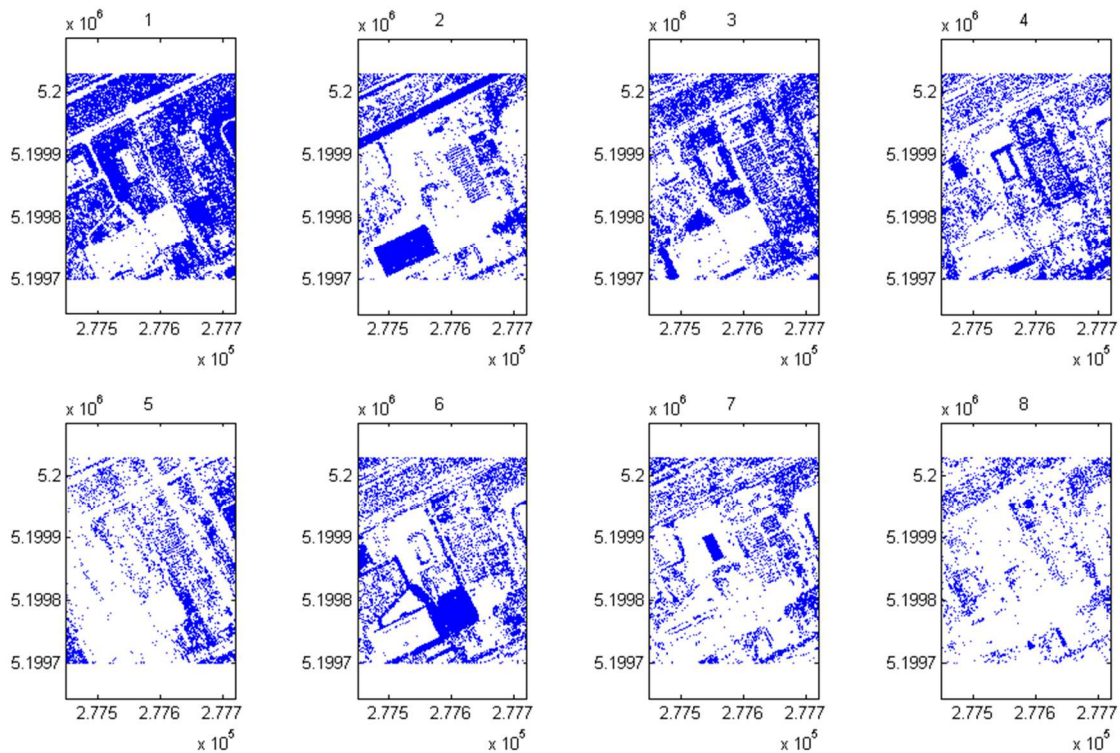
A 35-40. ábrákon a különböző paraméterekkel elvégzett k-means osztályok láthatók. Mivel ez felügyelet nélküli osztályozás, nem lehet manuálisan módosítani az egyes osztályokat vagy azok paramétereit, ezért érdekesebb a kívántál nagyobb számú osztály létrehozása, így minden esetben a keresett dupláját, nyolc osztályt különböztettem meg.

Magassági osztályozáskor – ahogy várható volt – a területet nyolc magassági szintre válogatta szét az algoritmus (35. ábra). Az eljárás az utat és a talajt jól elkülöníti a növényzettől és az épületektől, viszont az egyes ábrák nagyon „zavarosak” lesznek, mivel az osztályképzés nem a jól definiált abszolút magassági sávokon (pl. talajszint 153,8 m alatt), hanem az egyes osztályok középpontjától vett távolságokon alapul. Például az utat és a talajt esetenként nem sikerült megkülönböztetnie, pedig az bizonyítottan jól elkülöníthető a 27. ábra alapján.



35. ábra: k-means magasságok alapján⁸

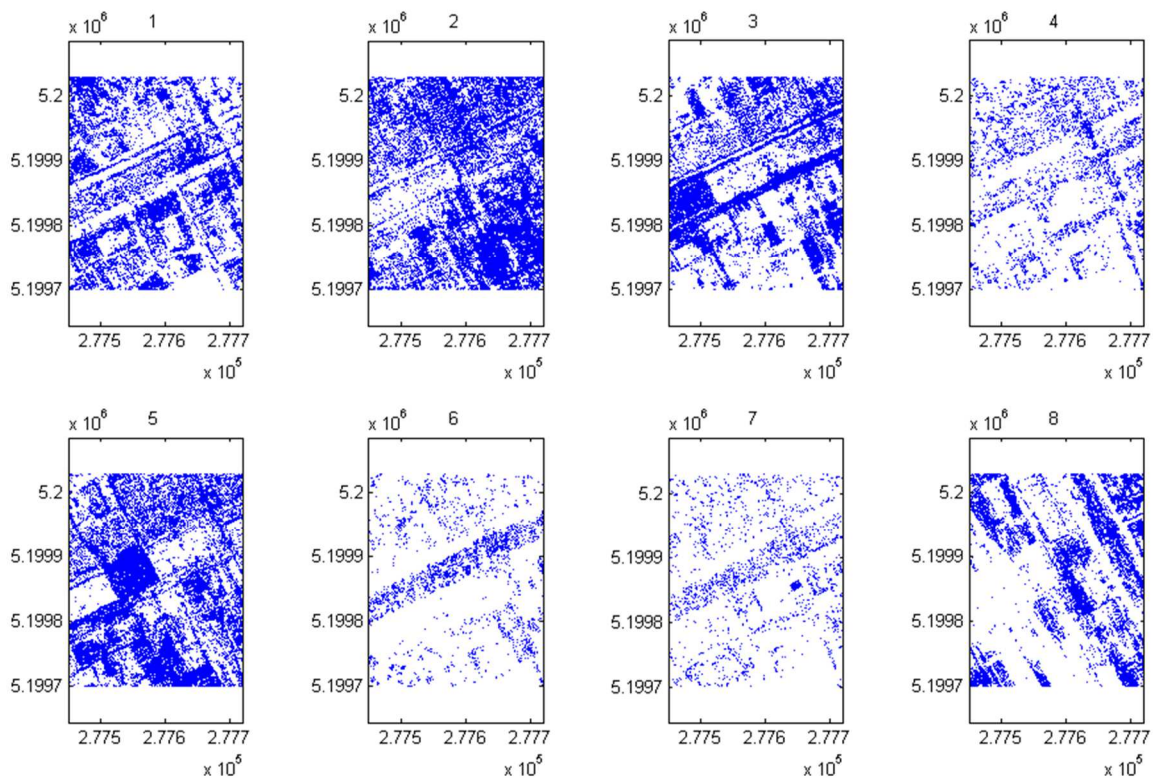
Intenzitás értékek estén, ahogy várható volt, az úthálózat és az épületek nagyon markánsan kivehetők a környezetből, illetve a talajpontok is jól láthatóan elkülönülnek (36. ábra). Emellett sajnálatos módon az ábrák a magassági ábrákhoz hasonlóan „zavarosak” lesznek, azonos okokból kifolyólag.



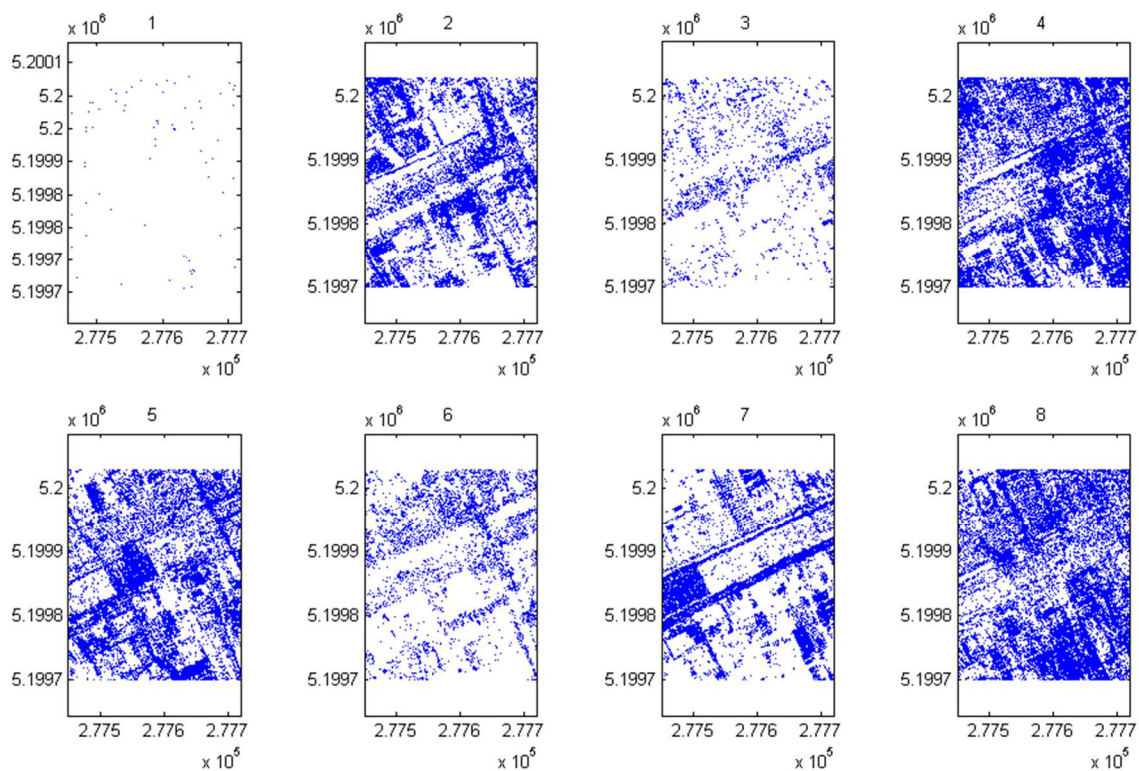
36. ábra: k-means intenzitás értékek alapján⁸

A 37-40. ábrákon a hullámalakokból képzett ábrákat láthatjuk. Sajnos ezek az eljárások nem mondhatóak sikeresnek. Minden esetben sikerült a terület közepén látható párhuzamos két vonal, az utak megtalálására. Emellett néhány épület halvány körvonala is megfigyelhető, viszont számos olyan ábra is keletkezett, ami láthatóan nem tartalmaz érdemi információt.

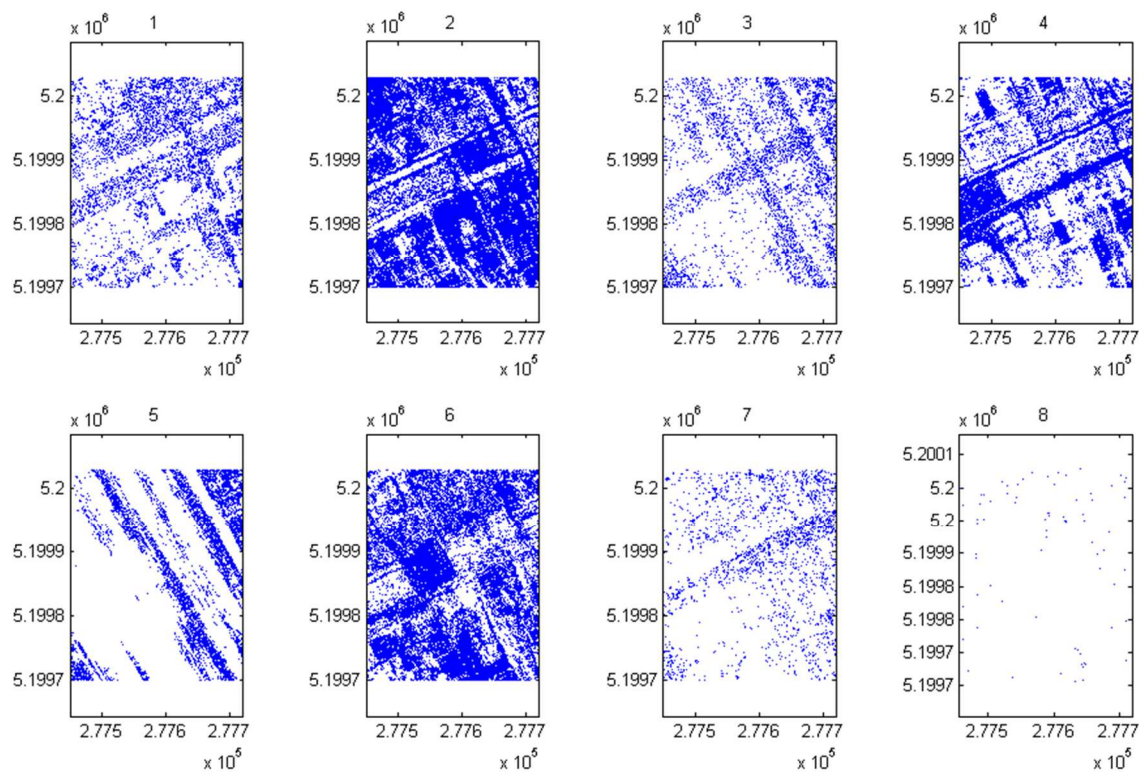
Teljes hullámalakok esetén a 21. ábra alapján nem is várhattunk ennél nagyobb eredményt. Bár az egyes hullámalakok intenzitás értékei mellett a görbék további jellemzőit is figyelembe vettük (tágasság, hullámok helyzete), ahogy a 26. ábrán megfigyelhető, ezek sem mutatnak szignifikáns eltéréseket. Továbbá bebizonyosodott, hogy a hullámalakok különböző feldolgozása (küszöbértékek alkalmazása, csúcskeresések, Gauss-görbe illesztés) sem hoz jobb eredményt a kmeans algoritmus felhasználása során.



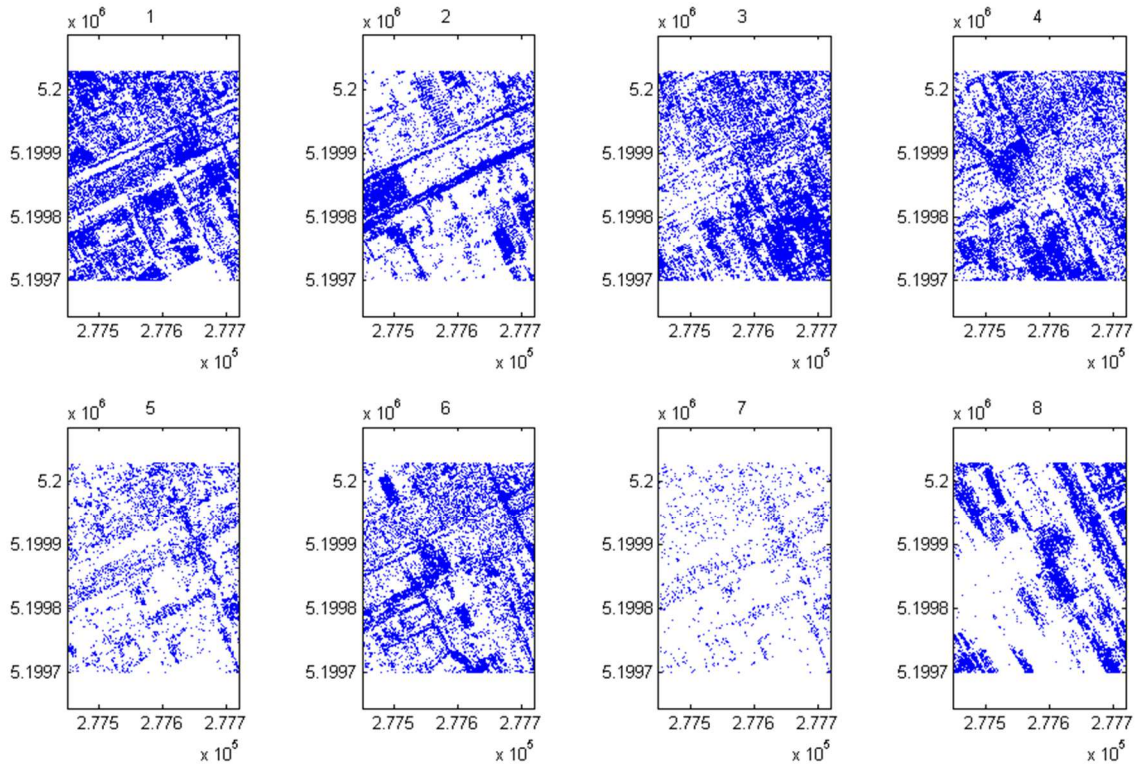
37. ábra: k-means teljes hullámalakok alapján⁸



38. ábra: k-means hullámalakokra küszöbérték figyelembevételével⁸



39. ábra: k-means hullámcsúcsokra⁸



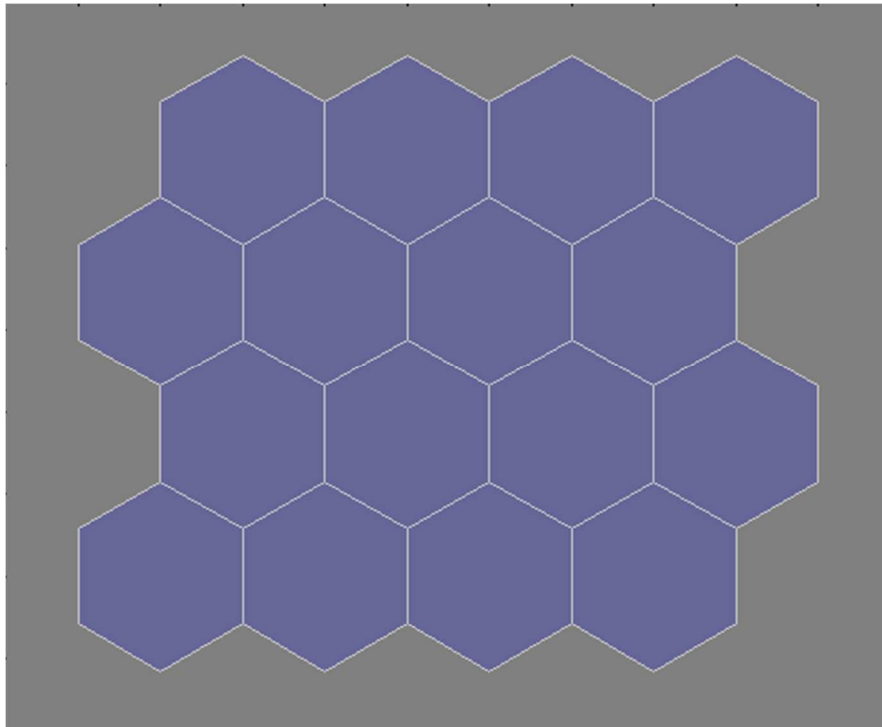
40. ábra: k-means hullámokra illesztett Gauss-görbékre⁸

6.3.2. SOM

Az önszerveződő térkép (Self-organizing maps, SOM) Teuvo Kohonen finn professzortól származik, aki felügyelet nélküli klaszterező módszer számára dolgozta ki a róla elnevezett, Kohonen rétegtípust.

Jelenlegi ismereteink alapján elmondható, hogy az agyunk komplex adatstruktúrák belső modellezésére térbeli leképezéseket alkalmaz. Az agykéreg nagy része egymással összekötött, egy síkban sorakozó neuronokból áll, mégis képes arra, hogy többdimenziós, komplex adatokat feldolgozzon. Ezt a gondolatot használja fel Kohonen, amikor n dimenziós mintákat egy alacsonyabb dimenziós kimeneti réteg egy-egy elemére képezi le (*Altrichter et al. 2006*). A Kohonen háló alapját az egy síkba rendeződő processzáló elemek képezik, amelyek lineáris összegző funkciókat látnak el. Minden bemenet az összes processzáló elemmel kapcsolatban áll, sőt az egyes elemek a közvetlenül szomszédos csomópontokkal is. A 41. ábra a magassági SOM osztályozáshoz használt Kohonen réteg látható, illetve megfigyelhetjük, hogy az egyes neuronok hány értéket vonzott magukhoz.

⁸ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)



41. ábra: Kohonen réteg felépítése

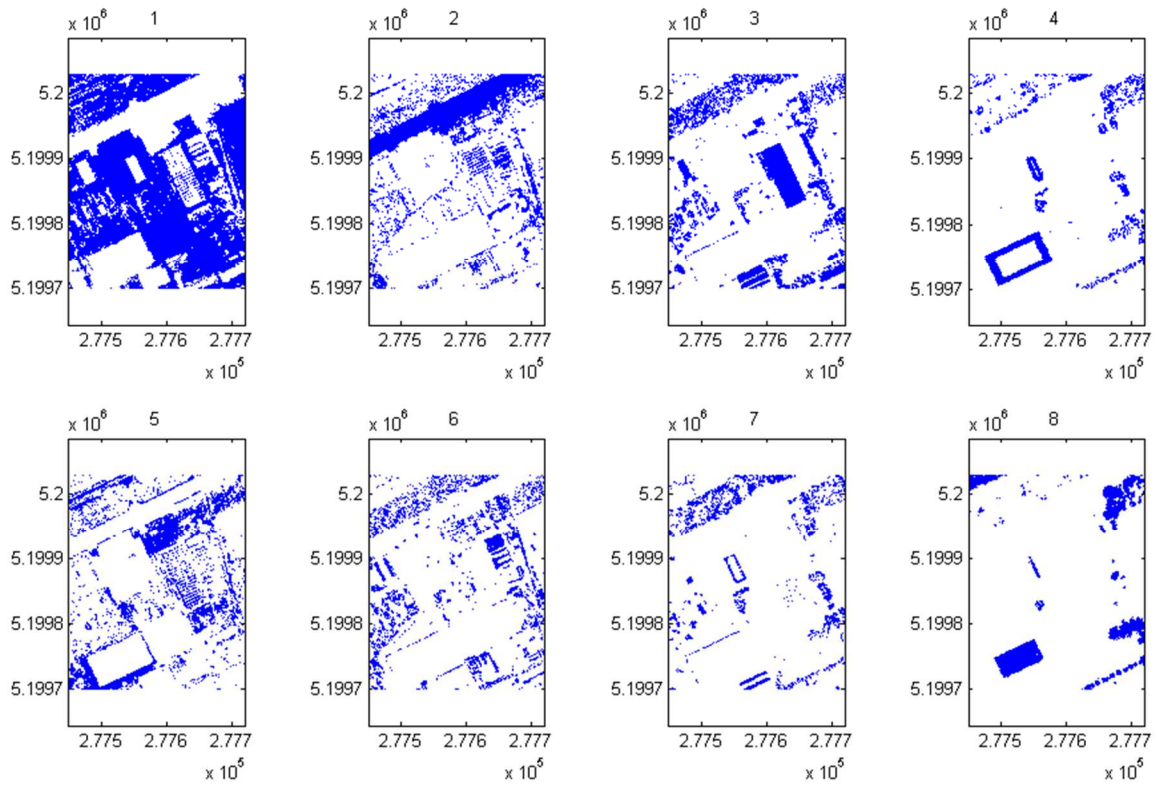
A SOM neurális hálózat használatára beépített függvénye áll rendelkezésre a MATLAB-ban (5),

$$NET = newsom(P,[D1,D2,...],TFCN,DFCN) \quad (5)$$

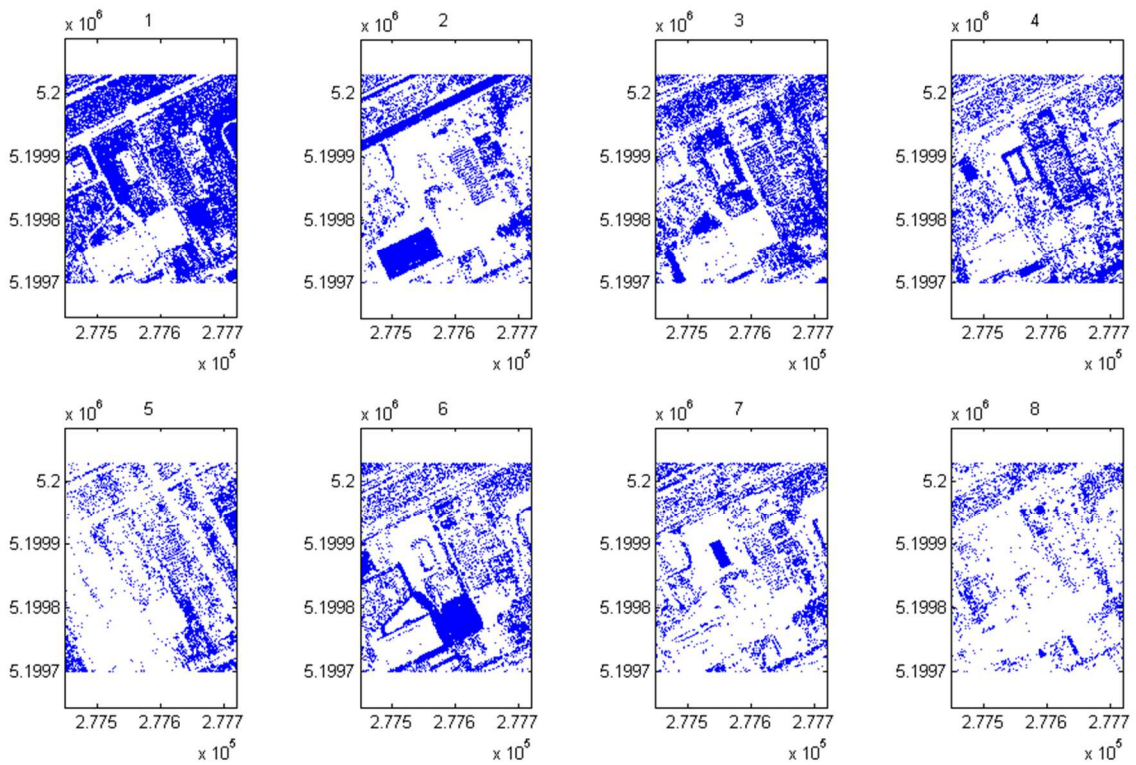
ahol NET a létrehozott hálózat, P a bemenet, $D1-D2$ a Kohonen réteg méretét adja meg, $TFCN$ a topológiát illetve $DFCN$ a távolság képzés módját.

A SOM neurális hálózat használata diszkrét pontok esetén hasonló, hullámalakok esetén kicsit jobb eredményt szolgáltatott, mint a k-means algoritmus (42-47. ábra).

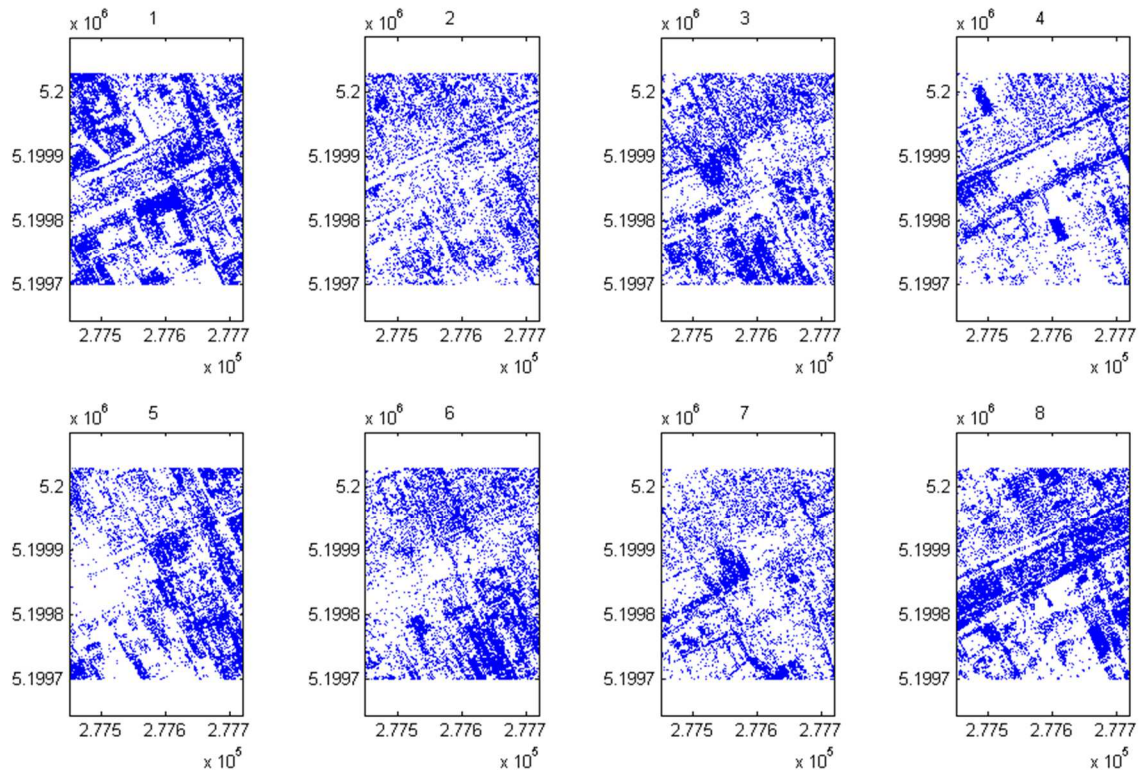
Teljes hullámalakok esetén eltűnnek az abszolút rossz, teljesen értelmezhetetlen ábrák és már megjelennek a 26. ábra alapján elvárható alakzatok. Sajnos a különböző hullámalak javító eljárások sem hoztak áttörő eredményeket. Jobban megfigyelve az 44-47. ábrákat, a küszöbértékek bevezetése, illetve a csúcskeresés nagyon kis mértékben, de javította az osztályozást (az út élesebben kivehető), míg a Gauss-görbék illesztése rontott a teljes hullámalakokhoz képesti osztályozáson.



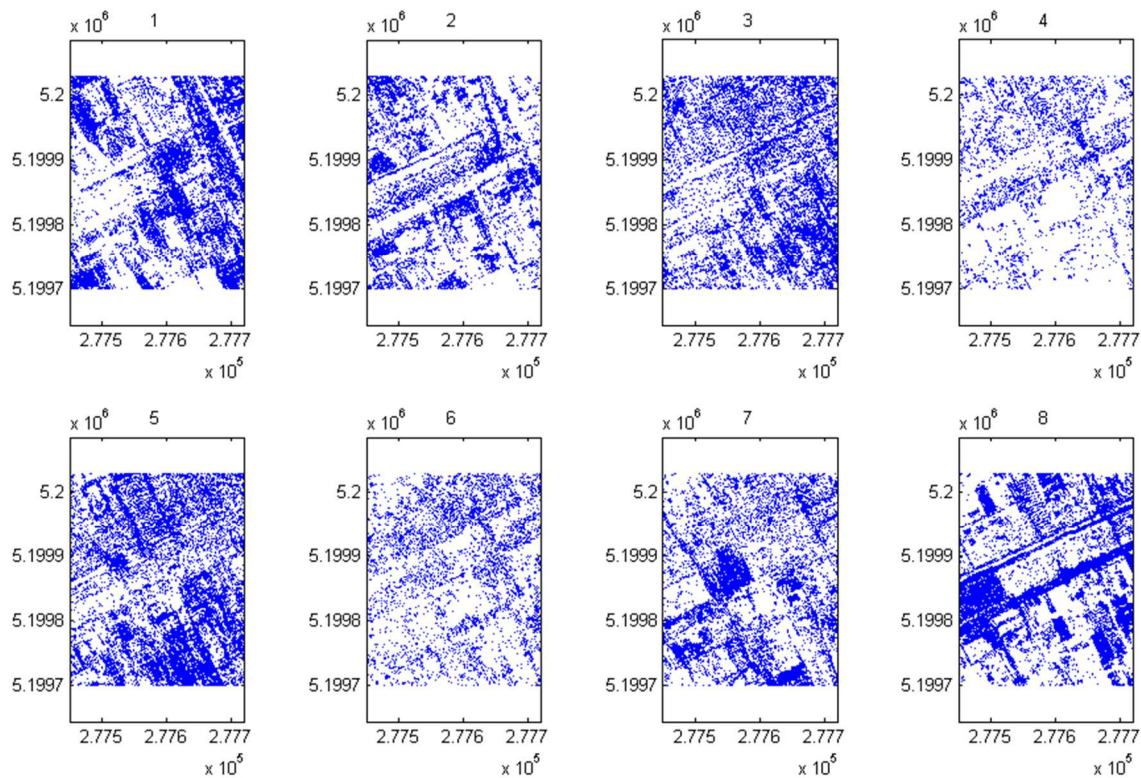
42. ábra: SOM magasságok alapján⁹



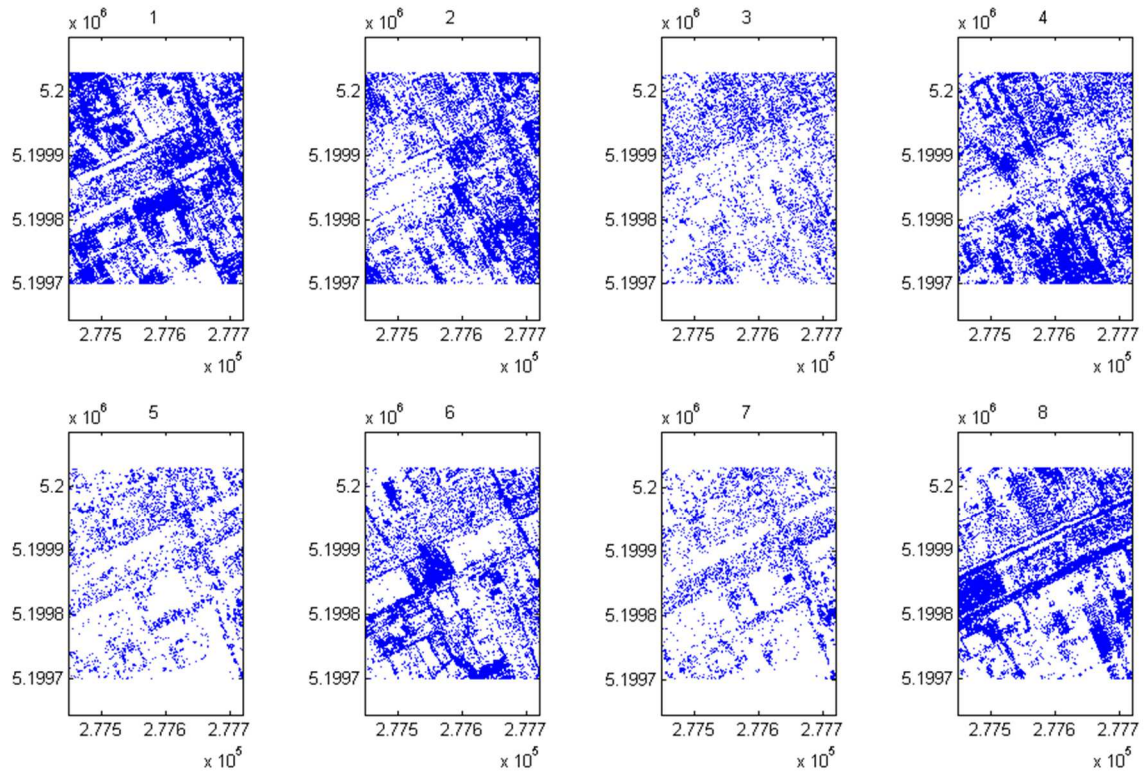
43. ábra: SOM intenzitás értékek alapján⁹



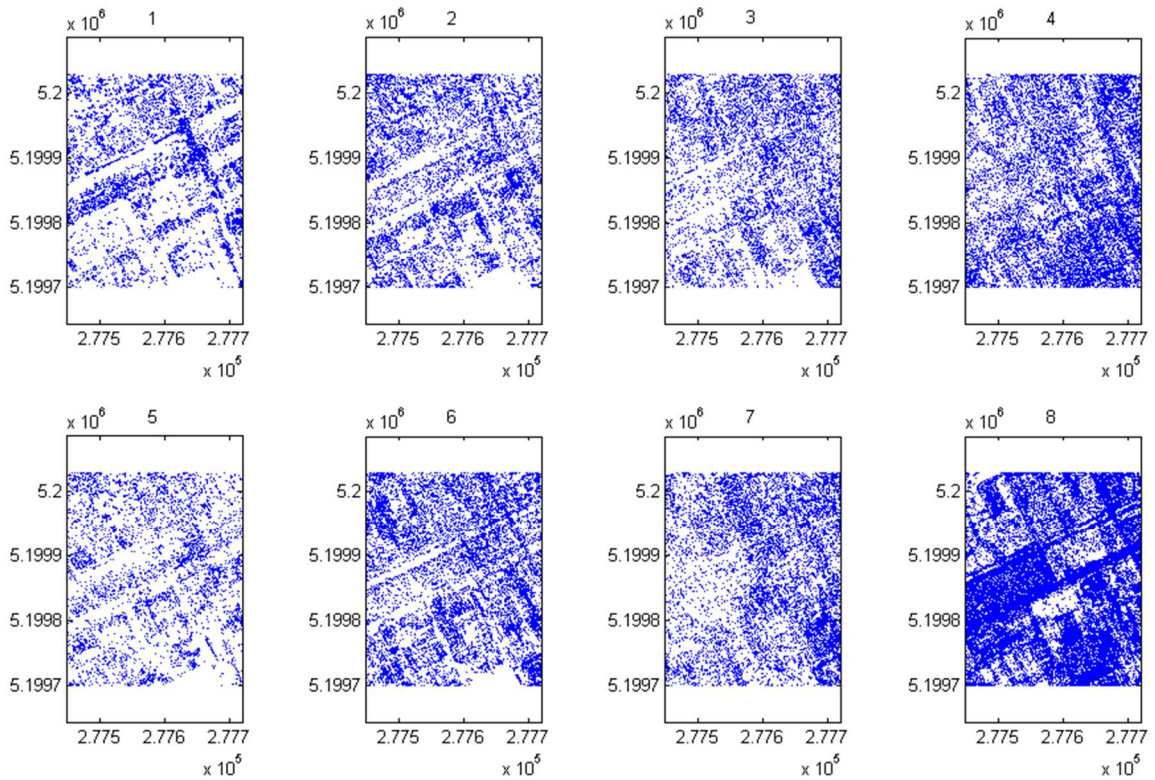
44. ábra: SOM teljes hullámalakok alapján⁹



45. ábra: SOM küszöbérték feletti hullámok alapján⁹



46. ábra: SOM hullámcsúcsok alapján⁹



47. ábra: SOM illesztett Gauss-görbék alapján⁹

⁹ Vízszintes tengely: X (m), függőleges tengely: Y (m)

7. Összefoglalás

A dolgozatom során bemutattam a LiDAR technológiát, illetve az általa szolgáltatott adattípusokat és azok fizikai jelentését is. Az elemzéseket két különböző szoftverrel végeztem: a LAStools-t, mint általános LiDAR feldolgozó szoftvert használtam fel, illetve a MATLAB segítségével matematikai elemzéseket és különböző felszínborítottsági vizsgálatokra tettem kísérletet, több-kevesebb sikerrel.

A különböző adatok (koordináták, intenzitások, visszaverődések, full-waveform) széles körű elemzése során vizsgáltam, hogy a teljes hullámalak milyen információkat tartalmaz, illetve van-e többlet információ tartalma a diszkrét visszaverődésekhez képest, továbbá kerestem a választ a full-waveform és a diszkrét visszaverődések kapcsolatára is.

A full-waveform-ról végül elmondhatjuk, hogy a várt többletinformáció tartalom nem figyelhető meg a diszkrét visszaverődésekhez képest. Önmagában felszínborítottság vizsgálatra az általam használt módszerekkel nem sikerült elérni az elvárt eredményt, de további vizsgálatok elvégzése ajánlott, illetve a jövőbeli céljaim között szerepel:

- o full-waveform csúcsok abszolút koordinátáinak meghatározása, majd ezzel végzett felszínborítottság vizsgálat,
- o nem az egyes hullámalakok, hanem a hullámalakok egy kis környezetében vett több visszaverődés együttes vizsgálata, mivel egyes hullámokra nem, viszont ezekre már lehet statisztikai elemzések végezni.

A teljes hullámalak és a diszkrét visszaverődések között a kapcsolatot egyértelműen az azonos kibocsátott lézernyaláb teremti meg, de két különböző digitalizáló dolgozza fel a visszaérkező lézersugarakat. Az eltérő digitalizálásnak „köszönhetően” a végtermékek között (a diszkrét visszaverődések és a teljes hullámalakok) nagy eltérések figyelhetők meg. További kutatás témáját képezheti a két módszer közötti összefüggések megteremtése is.

Eredményként elmondható, hogy a felszínborítottság vizsgálat diszkrét visszaverődések esetén hatékonyan elvégezhető, mind a LAStools, mind a MATLAB felhasználásával, de csupán a teljes hullámalakokra épülő osztályozást, illetve a full-waveform többlet adatmennyiségének kihasználása még várat magára.

8. Ábrajegyzék

1. ábra: A LiDAR működési elve (<i>Tamás és Flórián 2008</i>).....	4
2. ábra: A szkennelés elve (<i>Tamás és Flórián 2008</i>).....	5
3. ábra: Diszkrét visszaverődések és teljes hullámalak rögzítése (<i>Young 2012</i>).....	6
4. ábra: A lerepült terület Siófokon.....	7
5. ábra: Repülési paraméterek.....	7
6. ábra: Kivágot és exportált adattípusok.....	8
7. ábra: Ground szint definiálása.....	9
8. ábra: DTM a különböző talajszintképzések alapján (wilderness, nature, town or flats, city or warehouses, metropolis) és DFM.....	10
9. ábra: Mintaterület osztályozása.....	11
10. ábra: LiDAR adatok mátrixa.....	12
11. ábra: Lézernyaláb azonosítása diszkrét visszaverődésekből.....	13
12. ábra: 3D-s pontok térbeli eloszlása.....	14
13. ábra: A kivágot Google Earth és MATLAB-os megjelenítése.....	14
14. ábra: Különböző visszaverődési szintek.....	15
15. ábra: Egyszeres és többszörös visszaverődések.....	15
16. ábra: Első- és utolsó visszaverődések.....	16
17. ábra: Teljes hullámalakok kirajzolása.....	16
18. ábra: Vízesés ábra.....	17
19. ábra: Hullámalakok intenzitása.....	18
20. ábra: Hullámalak statisztika.....	19
21. ábra: Különböző hullámalakok.....	19
22. ábra: 20-as küszöbérték használata.....	20
23. ábra: A findpeaks algoritmus eredménye.....	21
24. ábra: Gauss-görbe illesztés.....	22
25. ábra: Teljes hullámalak és diszkrét visszaverődések kapcsolata.....	23
26. ábra: Diszkrét intenzitás- és full-wave intenzitás képek.....	23
27. ábra: Magasságok eloszlása a mintaterületeken.....	25
28. ábra: Intenzitás értékek eloszlása a mintaterületeken.....	25
29. ábra: Visszaverődések eloszlása a mintaterületeken.....	26
30. ábra: Osztályozás diszkrét jellemzők kombinációi alapján.....	27
31. ábra: Neuron működési elve (<i>Neuron</i>).....	29
32. ábra: RBF működési elve (<i>Paláncz 2011</i>).....	29
33. ábra: RBF magasságok alapján.....	30
34. ábra: RBF intenzitás értékek alapján.....	31
35. ábra: k-means magasságok alapján.....	33
36. ábra: k-means intenzitás értékek alapján.....	33
37. ábra: k-means teljes hullámalakok alapján.....	34
38. ábra: k-means hullámalakokra küszöbérték figyelembevételével.....	35
39. ábra: k-means hullámcsúcsokra.....	35
40. ábra: k-means hullámokra illesztett Gauss-görbékre.....	36
41. ábra: Kohonen réteg felépítése.....	37
42. ábra: SOM magasságok alapján.....	38
43. ábra: SOM intenzitás értékek alapján.....	38
44. ábra: SOM teljes hullámalakok alapján.....	39
45. ábra: SOM küszöbérték feletti hullámok alapján.....	39
46. ábra: SOM hullámcsúcsok alapján.....	40
47. ábra: SOM illesztett Gauss-görbék alapján.....	40

9. Irodalomjegyzék

- Altrichter, M. - Horváth, G. – Pataki, B. – Strausz, Gy. – Takács, G. – Valyon, J.** (2006): Neurális hálózatok, Tankönyvtár, p. 1-2.; 270-279
http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0CDQQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.tankonyvtar.hu%2Fhu%2Ftartalom%2Ftamop425%2F0026_neuralis_4_4%2F0026_neuralis_4_4.pdf&ei=HgsVLb1NuLVygOPy4DoCA&usg=AFQjCNH-GoYBIfXVKetyZiYNLJuqmoidIg&sig2=IMs2DObbIUHZ_mh8IfY0dw&bvm=bv.76477589.d.bGQ (2014.10.02.)
- Barsi, Á.** (2014): Digitális képanalízis jegyzetek és előadás diák
http://www.fmt.bme.hu/fmt/htdocs/oktatas/tantargy.php?tantargy_azon=BMEEOFTASJ5 (2014.10.12.)
- Barsi, Á.** (2004): Térinformatikai elemzések jegyzet, p. 63-65.
<http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTASJ1/asj1segedlet.pdf> (2014.10.10.)
- Barsi, Á. – Detrekői, Á. – Lovas, T. – Tóvári, D.** (2003): Adatgyűjtés légi lézerletapogatással
<http://www.fomi.hu/honlap/magyar/szaklap/2003/07/2.pdf> (2014.09.29.)
- Bor, Zs.** (2003): A mindentudó fénysugár: a lézer, Mindentudás egyeteme előadás, II. szemeszter
<http://mindentudas.hu/elodasok-cikkek/item/8-a-mindentud%C3%B3-f%C3%A9ny%C3%A9ny%C3%A9ny-sug%C3%A1r-a-l%C3%A9zer.html> (2014.10.11.)
- Detrekői, Á.** (1991): Kiegyenlítő számítások, TANKÖNYVKIADÓ, p. 132-172.
- Kimlei, A.** (2013) : Teljes alakos légi lézerszkennelt adatok térinformatikai hasznosítása, Diplomamunka
- Lovas, T. - Berény, A. – Barsi, Á.:** Lézerszekennelés (2012), TERC
- Paláncz, B.** (2011): Mesterséges intelligencia építőmérnököknek jegyzetek
http://www.fmt.bme.hu/fmt/htdocs/oktatas/tantargy.php?tantargy_azon=BMEEOFTMFT1
- Tamás, J. - Fórián, T.** (2008): Geoinformatics, Digitális Tankönyvtár, p. 61-70.
http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0032_terinformatika/ch05.html (2014.10.11.)
- Verőné Wojtaszek, M.** (2010): A lézer alapú távérzékelés
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI3/ch01.html (2014.09.29.)
- Young, J.** (2012): Full Waveform LiDAR – Understanding full waveform and how it works
http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2FblogLiDAR.files.wordpress.com%2F2012%2F04%2FAerometric_waveform_presentation.pps&ei=dVg4VK-QNei6ygPgt4H4BQ&usg=AFQjCNEzgkpOinGU8xQmEluqR66Ah-jf2A&sig2=vNwNyclCcbHzNbwXHIDTUQ&bvm=bv.77161500.d.bGQ (2014.10.10.)

Klaszteranalízis - Wikipédia

<http://hu.wikipedia.org/wiki/Klaszteranal%C3%ADzis> (2014.10.12).

Lastools oktató anyagok

<http://rapidlasso.com/lastools/> (2014.10.02.)

Lastools readme

Leica ALS70-HP High-Pulse-Rate Airborne LIDAR Product Specifications

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/ALS70/product-specification/ALS70_HP_ProductSpecs_en.pdf (2014.10.13.)

Leica WDM65 Waveform Digitizer Moule Product Specifications

http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/wdm65/product-specification/WDM65_Product_Specs_en.pdf (2014.10.13.)

Neuron működési elve (kép)

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hu/3/30/M-neuron.PNG>