

DEBRECENI EGYETEM

**KERPÉLY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS
REGIONÁLIS TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:

Prof. Dr. Nagy János
az MTA doktora

Témavezető:

Prof. Dr. Tamás János
Intézetvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora

**SPEKTRÁLIS INFORMÁCIÓK ALKALMAZÁSA A PRECÍZIÓS
GYÜMÖLCSTERMESZTÉSBEN**

Készítette:

Riczu Péter
doktorjelölt

Debrecen

2015

SPEKTRÁLIS INFORMÁCIÓK ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA A PRECÍZIÓS GYÜMÖLCSÖNTÖZÉSBN

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományok tudományágban készült

Írta: Riczu Péter okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem **Kerpely Kálmán Doktori Iskolája**
Növénytermesztés és kertészeti tudományok doktori programja keretében

Témavezető: Dr. habil Tamás János DSc., egyetemi tanár

A doktori szigorlati bizottság:

	név	tud. fokozat
elnök:	Dr. Blaskó Lajos	DSc
tagok:	Dr. Nyéki József	DSc
	Dr. Szabó József	PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2014. május 21.

Az értekezés bírálói:

név	tud. fokozat	aláírás
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

	név	tud. fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
			
			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja: 20... ..

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	2
1.1.	A téma jelentősége, aktualitása	2
1.2.	A kutatás célkitűzései	3
2.	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1.	GPS alapú precíziós gazdálkodás	5
2.2.	A precíziós mezőgazdasági helymeghatározás informatikai háttere	7
2.3.	Távérzékelési adatok gyűjtése, feldolgozása.....	8
2.4.	A növénytermesztési tér minőségének leírása távérzékelési műszerekkel.....	10
2.4.1.	Szenzorok típusai és a spektrális felbontás	14
2.5.	A lézeres letapogatás jelenlegi helyzete	17
2.5.1.	A lézerszkennerek alkalmazási területei	20
2.5.2.	Távolságmérés lézerszkennerral	23
2.5.3.	A pontfelhő utófeldolgozása, mérési korlátok	30
3.	Anyag és módszer	39
3.1.	Kísérleti helyszínek bemutatása	39
3.2.	Helymeghatározási és vezérlési vizsgálatok bemutatása.....	41
3.3.	Spektrális mérések	42
3.3.1.	Terepi vegetációs indexméter	42
3.3.2.	Multispektrális képalkotó rendszer	45
3.3.3.	Laboratóriumi spektrométer	46
3.3.4.	Földi 3D lézerszkennerek	47
3.4.	Talajfelszín túlnedvesedésének vizsgálata lézerszkennerral	50
4.	Vizsgálati eredmények és azok értékelése	53
4.1.	Helymeghatározás pontossági vizsgálata	53
4.2.	A vizsgált gyümölcsültetvényben végzett földközeli távérzékelés értékelése .	56
4.2.1.	Spektrális alapú vegetációelemzés.....	56
4.2.2.	Biomassza topológiai modellezése	63
4.2.3.	Távérzékelésre alapozott termésvizsgálatok értékelése.....	67
4.3.	Az almaültetvény gyomborítottságának vizsgálata	75
4.4.	Távérzékelési adatokra alapozott talajtani vizsgálatok értékelése	85
4.4.1.	Az almaültetvény mikrodomborzati vizsgálatainak eredményei.....	85
4.4.2.	Felszíni talajnedvességi vizsgálatok	88
5.	Következtetések, javaslatok.....	93
6.	Új tudományos eredmények	96
7.	Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága	97
8.	Összefoglalás	98
9.	Összefoglalás (angol nyelven)	101
10.	Felhasznált irodalom jegyzéke	104
11.	Publikációk az értekezés témakörében.....	129
12.	Nyilatkozat	138
13.	Mellékletek	139
14.	Köszönetnyilvánítás.....	141

1. Bevezetés

1.1. A téma jelentősége, aktualitása

Hazánk területi elhelyezkedéséből adódóan kiváló agroökológiai feltételek biztosítják a megfelelő minőségű és mennyiségű kertészeti termékek előállítását. Magyarországon a gyümölcsültetvények kb. 1,5%-át teszik ki a mezőgazdaságra alkalmas területeknek. A hazánkban termesztett gyümölcsfajok közül az alma foglalja el a legnagyobb területet, amely termelési értékét tekintve a legjelentősebb gyümölcsfajunk. A 80-as évek közepétől folyamatosan csökkent a magyarországi almaültetvények területe, a 2000-es évektől kezdődően a területcsökkenés mérséklődött, illetve stagnált, melynek oka az új, intenzív telepítések létrehozása. Jelenleg 32 000 hektár a hazánkban található összes almaültetvény területe (FAOSTAT, 2014). Az újonnan telepített ültetvények jellemzően intenzív gazdálkodásra berendezettek.

A minőségi gyümölcstermesztés hazánkban nehezen megvalósítható szakszerű termesztéstechnológia hiányában. Ennek ellenére számos kertészetben a hagyományos fajtaszerkezet alkalmazása mellett, termesztéstechnológiai és piaci információhiány is megfigyelhető. Az almatermesztés versenyképességének fokozásához, az újabb precíziós kertészeti rendszerek hatékonyságának növeléséhez, valamint a víz- és energiatakarékosság biztosítása érdekében számos új információt kell felhasználni. Az információk az ültetvényben zajló folyamatok egyre részletesebb tér- és időbeli ismeretét szolgáltatják, így biztosítanak alapadatokat a gyümölcsfák növekedésdinamikai változásainak nyomonkövetéséhez és a termesztéstechnológia optimalizálásához.

Napjainkban az informatikai rendszerek gyors fejlődésével egyre tágul azon eszközök és szolgáltatások köre, amelyek eddig sebességük és/vagy áruk miatt nem voltak elérhetők. Az információs technológia, illetve információs társadalom valamennyi vívmánya folyamatosan épül be a modern termesztési rendszerekbe. Így integrálja a precíziós mezőgazdaság egységes, egymást kiegészítő rendszerbe a globális helymeghatározást, térinformatikát, és távérzékelést, hozzájárulva egy modern és hatékony termesztéstechnológia kialakításához. A precíziós gazdálkodás szemszögéből vizsgált technológiai elemek fejlődése lehetővé teszi az ültetvények környezetállapotának felmérését, vegetációelemzést, biomassza változás nyomon követését, összességében valamennyi természeti folyamatot. Az újabb szenzorok egyre gyorsabb, pontosabb méréseket biztosítanak; a nagyobb terepi felbontásnak

köszönhetően pedig az adatok információtartalma is megnövekszik, melyek feldolgozásához új eljárásokat szükséges bevezetni. Az adott feladatok elvégzéséhez – az adatgyűjtéstől az eredmények értelmezéséig – gyakran komoly számítástechnikai hardver- és szoftverkörnyezet szükséges.

Az első precíziós mezőgazdasági alkalmazások a 90-es évek közepétől jelentek meg a nemzetközi gyakorlatban, míg Magyarországon ez valamivel későbbre tehető. Az „új” gazdálkodási forma révén elsősorban a szántóföldi növénytermesztés, majd később az állattenyésztés, illetve a kertészet területén alakult át a termesztési/termelési rendszer.

1.2. A kutatás célkitűzései

Kutatásom általános célja, intenzív almaültetvényekben – elsősorban aktív és passzív távérzékelési eszközökre alapozott – spektrális és strukturális tulajdonságok vizsgálata volt; az ültetvény jellemzőiben bekövetkező tér- és időbeli változások hatékony elkülönítése és azonosítása a teljes vegetációs időszakban. Céljaim között szerepelt, hogy részletes vizsgálatokat végezzek az ültetvény vízfogyasztását befolyásoló tényezők, mint a gyomborítottság alakulásának és osztályozásának értékelésére, valamint a gyümölcsös talajfelszínének nedvesség viszonyainak vizsgálatára.

Részletes kutatási célkitűzések:

- Referencia helymeghatározási vizsgálatok elvégzése.
- A vizsgált almaültetvény – mint növénytermesztési tér – anyagi minőségének és térszerkezetének leírása távérzékelési eszközökkel.
- Az ökológiai környezet pontosabb leírása.
- Földközeli távérzékelési eljárások kertészeti alkalmazhatóságának vizsgálata.
- Távérzékelésre alapozott termésvizsgálatok értékelése, elsősorban gyümölcsérés és gyümölcstömeg-becslés területén.
- Gyomdetektálási és fajszintű gyomszegmentálási feladatok végrehajtása.
- A gyümölcsös talajnedvesség viszonyainak valamint mikrodomborzati sajátosságainak értékelése.

2. Szakirodalmi áttekintés

Napjainkban az információs technológia gyors fejlődése olyan módszereket ad a kezünkbe, mint a globális helymeghatározás (GPS), térinformatika (GIS), távérzékelés (RS), amelyekkel a földfelszín élő- és élettelen részeit gyorsan, pontosan, olcsón és nagy területeken tudjuk vizsgálni (BURAI, 2007). Ez a hármas technológia egyre inkább egységes rendszerbe, egymást kiegészítve, integrált módon jelenik meg és rohamosan fejlődik a precíziós alkalmazások területén. Ennek az információs technológiának, valamint információs társadalomnak mezőgazdasági szakterületen történő leképződését hívjuk precíziós mezőgazdaságnak (TAMÁS, 2001). Ezek a technológiák biztosítják a precíziós mezőgazdasági és kertészeti alkalmazások számára a helyet, az anyagvizsgálat és a térszerkezeti értékelések újabb irányait. A precíziós gazdálkodási formák magába foglalják a termőhelyhez alkalmazkodó termesztést, a táblán belüli változó technológiát, az integrált növényvédelmet, a geostatistikát, a növénytermesztés gépesítésének változását és az információs technológia vívmányainak behatolását a növénytermesztésbe (GYÖRFFY, 2000).

Az agroökológiai hatótényezők és az alkalmazott kertészeti termesztéstechnológia következményei a hatótényezők táblán belüli tér- és időbeli mintázatát alakítják ki. Ezek az ökológiai hatótényezők – és az általuk befolyásolt vegetatív és generatív jellemzők – helyhez kötött adatok, melyek feldolgozása GIS környezetben végezhető el (SZABÓ et al., 2007).

A termőhely-specifikus mezőgazdasági gyakorlat célja a profit növelése, a környezetet terhelő káros hatások csökkentése (WATKINS et al., 1998), miközben fenntartja a környezet minőségét (SÁGI, 1996; SRINIVASAN, 2008). Ezeket a célokat a termőhely alapos megismerésével – mint minden mezőgazdasági beavatkozás elengedhetetlen feltételeként – lehet hatékonyan elérni, teljesíteni (TAMÁS, 2001). A szántóföldi és kertészeti növénytermesztési gyakorlatban régóta ismert tény a mezőgazdasági táblákon, illetve kertészeti ültetvényekben a talajtani heterogenitás (fizikai féleség, tápanyag-ellátottság, mikrodomborzat, stb.) (VÁRALLYAY, 2002), valamint a kártevők, a kórokozók foltszerű megjelenése (NAGY, 2004). SÁGI (1996) hangsúlyozza, hogy minél változatosabb valamely földterületen belül a talajszerkezet, vagy a növények fejlődése, annál nagyobb a precíziós gazdálkodás hatékonysága.

2.1. GPS alapú precíziós gazdálkodás

A precíziós gazdálkodás feltétele a gyorsan terjedő GPS rendszerek megjelenése volt, melyek fejlődésükkel a terepen végzett mérnöki munka nélkülözhetetlen helyzetmeghatározó eszközévé váltak (TAMÁS és LÉNÁRT 2003). A globális helymeghatározó rendszerek kiépítését – a számítástechnika rohamos fejlődése mellett – a rádiótechnika fejlődése, a műholdak pályáját zavaró (perturbációs) erők pontosabb megismerése, illetve az atomórák megjelenése tette lehetővé (ÁDÁM et al., 2004). A műholdas helymeghatározó rendszerek előtt rádiótechnikai megoldásokkal, földi háromszögelési módszerrel oldották meg a pozicionálást, ami viszonylag pontos (± 15 cm) helymeghatározást tett lehetővé, de egyrészt drága volt a technológia, másrészt a munkagépek áthelyezése után a rádióadókat is szükséges volt telepíteni. A műholdas helymeghatározás előnye, hogy a technológia olcsóbb és pontosabb is, nem kell jeladókat telepíteni, csak vevőket, így pontosan meghatározhatjuk pozíciónkat.

A pontosság több műhold sugárzásának vételével növelhető. A helymeghatározás pontossága ugyanakkor nemcsak a műholdak számától, hanem azok konstellációjától is függ (LEMMON és GERDAN 1999). E geometriai hatás figyelembe vételére a GPS-szel foglalkozó szakterület a PDOP (*Position Dilution of Precision*) nevű mennyiséget használja (TARJÁN, 2002; BELÉNYESI et al., 2008). Ez egy középhibát szorzó tényező, amely fordítva arányos az álláspontból az észlelt műholdak felé mutató egységvektorok csúcspontjaiból kialakított test térfogatával (TAMÁS és LÉNÁRT 2003). Vagyis minél nagyobb a PDOP értéke annál nagyobb a műholdak geometriai elhelyezkedéséből várható hiba mértéke is (DIGITERRA, 2008). A műholdas helymeghatározás biztosítása érdekében az alábbi feltétel rendszerek szükségesek:

- a rendszer alapja a műholdas háromszögelés (trilateráció),
- a műholdtól való távolság ismerete,
- pontos időmérés,
- műhold helyzetének ismerete az űrben,
- a troposzféra és az ionoszféra okozta késések korrekciója.

A pontos földrajzi pozíció ismeretéhez legalább négy műhold jelének vételére van szükség, így határozhatók meg a szélességi, hosszúsági koordináták, a magassági értékek, valamint idő (TAMÁS és LÉNÁRT 2003). Az első műholdas helymeghatározásra tett kísérleteteket az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma (*US. Department of*

Defense, DoD) végezte az 1960-as évek elején (RAJU, 2004). A pozicionálás lassúsága, mozgó objektumok navigációjára való alkalmatlansága és más nehézségek miatt kezdték fejleszteni a NAVSTAR GPS (*Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*) rendszert. A műholdas helymeghatározás pontossága korábban a valós idejű (*real-time*) üzemnél általában 50-150 méteres volt (MILICS és TAMÁS 2007) az ún. szelektív elérhetőség miatt, amely korlátozta a teljes rendszer használatát (TARJÁN, 2002). Ennek a hátránya az volt, hogy ez a pontosság részben volt alkalmas a mezőgazdaságban a közvetlen beavatkozásra (pl. műtrágyázás, növényvédelmi feladatok ellátása, stb.). 2000-től azonban ezt a gyakorlatot megszüntették, így a polgári felhasználók számára is elfogadhatóvá vált a helymeghatározás pontossága (HUTSI et al., 2000; ADRADOS et al., 2002). A zavarás kikapcsolása után a helymeghatározás hibája tizedére csökkent, ami a horizontális értelemben 5-6 m-t, vertikális értelemben pedig 8-10 m-t jelent (KRAUTER, 2004), de különböző differenciás korrekciót biztosító, ún. kiegészítő rendszerekkel akár centiméternél pontosabb helymeghatározás is elérhető (ABIDINE et al., 2002; BOZA, 2004b). A kiegészítő rendszerek lehetnek műhold alapú (*Satellite Based Augmentation System – SBAS*) és földi telepítésű (*Ground Based Augmentation System – GBAS*) rendszerek. A műhold alapú kiegészítő rendszerek folyamatos sugárzással biztosítják a differenciális korrekciókat. Bizonyos rendszerek (EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN, BEIDOU) egy meghatározott pontosságú korrekciót szolgáltatnak ingyenesen a felhasználók számára, míg más műhold alapú kiegészítő rendszerek (OmniStar, LandStar) nagyobb pontossággal, de fizetős módon állnak a felhasználók rendelkezésére. A geodéziai pontosságú mérések elvégzése földi telepítésű kiegészítő rendszerekkel végezhető el. Ezek a technológiai megoldások viszonylag kis területre biztosítják a differenciális korrekciókat. A hatékony helymeghatározás biztosításához egy referenciarendszer megfelelő kiépítése szolgáltatja az alapot. Európa számos országában vannak jól működő permanens hálózatok, melyek alapja, hogy a bázisállomások képesek legyenek kiszolgálni a felhasználókat az egész ország területén (BOZA, 2004a). Hazánkban az állami földmérés keretében a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) Kozmikus Geodéziai Obszervatóriuma (KGO) 2000-től kezdve fejleszti a hazai országos földi GNSS kiegészítő rendszert (KGO, 2007). A permanens GPS-állomások kialakításának fontos szabálya az optimális sűrűség megválasztása, úgy hogy az állomások távolsága ne haladja meg a 100 km-t

(BOZA, 2004a). Így alakították ki a hazai aktív GNSS hálózat jelenleg működő rendszerét. A hálózat valamennyi pontján olyan vevőberendezések működnek, melyek az orosz GLONASS navigációs műholdak jeleit is feldolgozzák. Bizonyos esetekben (pl. nem megfelelő térbeli lefedettség, távolság a bázisállomástól, stb.) a GNSS infrastruktúra helyzetmeghatározási pontossága romolhat. A lokális referenciahálózatok ezeket a hátrányokat regionálisan szüntetik meg (TAMÁS, 2001). Ezek az önálló, ún. trónkölt rádiótechnikai megoldások pontos, háromdimenziós helymeghatározást, sebességmérést és terepi adatgyűjtést tesznek lehetővé valós időben (*real time*). A rendszer korlátlan számú felhasználót képes kiszolgálni passzív rádiótechnikai eszközökkel, időjárástól függetlenül (TAMÁS és LÉNÁRT 2003).

2.2. A precíziós mezőgazdasági helymeghatározás informatikai háttere

Az első precíziós mezőgazdasági alkalmazások a 90-es évek közepétől jelentek meg a nemzetközi gyakorlatban, míg Magyarországon ez valamivel későbbre tehető (TAMÁS et al., 2008). A precíziós gazdálkodás elsősorban a szántóföldi területekre fókuszál (GODWIN et al., 2003; LEE et al., 2010), emellett azonban jelentős számú precíziós kutatást folytattak már kertészeti kultúrákban is. A minőségi kertészeti termékek előállítása megfelelő ültetvényismeret hiányában nehezen képzelhető el. A gyümölcsstermesztésben alkalmazott összetett fitotechnológiák következtében létrejött helyspecifikus gazdálkodás számos gazdasági előnnyel járhat. A gyümölcsfák ágszerkezetének és további térbeli és spektrális paramétereinek, egészségi állapotának megismerése, termesztési adatainak rögzítése csak napjainkban, speciális térinformatikai eszközök segítségével vált megvalósíthatóvá.

A különböző gazdálkodási beavatkozások, az egyes műveleteknek megfelelően más-más pontosságot igényelnek. A műtrágyázásnál a méteres pontosság, míg a vetésnél, vagy a mechanikai gyomirtásnál maximum 1-2 cm a megengedhető (TAMÁS, 2004). A precíziós mezőgazdasági alkalmazások szempontjából pontosabb a valós idejű kinematikus (RTK) módszer, amely $\pm 2-2,5$ cm-es pontosságot biztosít; telepített antennával akár a tized centiméteres pontosság is elérhetővé válik (MILICS és TAMÁS 2007), ami a helyspecifikus növénytermesztési beavatkozások elengedhetetlen korrekciós feltétele. A GPS-rendszerek biztosítják a gyors, pontos és hatékony adatgyűjtést a precíziós mezőgazdasági gyakorlat számos területén, úgymint a terméstérképezés (TUMBO et al., 2002; ZHANG et al., 2008), robotpilóta rendszerek

(ADAMCHUK et al., 2008; HUDSON et al., 2007; BAIO, 2012), precíziós tápanyag-visszapótlás (REETZ et al., 2001), növényvédelem (REYES et al., 2012) és számos egyéb – pozicionálási szempontból érzékeny – növény-specifikus alkalmazás során. A precíziós beavatkozások mezőgazdasági területen való használhatósága szélesebb körben terjedt el a kertészeti alkalmazásokkal szemben, ugyanakkor gyümölcsültetvények térbeli változékonyságának felmérési hatékonyságát is több kutatás igazolta.

KONOPATZKI et al. (2012) körtefák terméseinek elemtartalmát hasonlították össze a talaj makro-, mezo- és mikroelem-tartalmának térbeli változékonyságának összefüggésében. AGGELOPOULOU et al. (2010) alma gyümölcsösben vizsgálták a termésmennyiség és –minőség kapcsolatának térbeli eloszlását. A gyümölcsfák pozíciójának meghatározására leginkább GPS-rendszerek váltak népszerűvé (MIN et al., 2008). EHSANI et al. (2008) a citrusféléket bakteriális úton terjedő Huanglongbing (HLB) megbetegedéseket detektálták GPS segítségével, így lehatárolhatóvá váltak a továbbfertőzést indukáló gócok a területen.

A GPS rendszerek teszik lehetővé a precíziós kertészeti beavatkozások és gépesítés fejlesztésének lehetőségét. A jelenlegi gépesítési trendeket tekintve vezető nélküli légi jármű-rendszerek (*Unmanned Aerial System* – UAS) a gyümölcsösökről hatékonyabb, pontosabb és gyorsabb adatgyűjtést tehetnek lehetővé (VERBEKE, 2014). Mindemellett további perspektívák nyílhatnak meg a robotizált kertészeti műveletek területén (BAETEN et al., 2007; LI et al., 2011; CHIU et al., 2013).

Összefoglalóan megállapítható, hogy a kertészeti gyakorlat hatékonysága, illetve a minőségi kertészeti termékek előállítása megfelelő helyspecifikus gazdálkodási technológiai elemekkel növelhető, így a jövő egyik kihívása a megfelelő eszközök és módszerek kertészeti területen történő fejlesztése és vizsgálata lesz.

2.3. Távérzékelési adatok gyűjtése, feldolgozása

BLACKMORE (1999) szerint a precíziós gazdálkodás nemcsak egy technológia, sokkal inkább egy menedzsment folyamat része. Több példát említ, miszerint a precíziós mezőgazdaság megvalósításához nincs szükség új technikák, vagy technológiai elemek beszerzéséhez. Azonban az intenzív szántóföldi gazdálkodás alapját a nagy hatékonyságú, fejlett informatikai rendszerekre alapozott, high-tech berendezések beruházása jelenti. Hasonló véleményt formáltak NEMÉNYI et al. (1998) és GYÖRRFY

(2000), akik szerint a precíziós gazdálkodás a mezőgazdasági gépek fejlesztését, vagy azok kiegészítését jelenti.

A helyspecifikus termesztési feladatok mellett a precíziós mezőgazdasági gyakorlat fontos feladata az anyagminőség vizsgálata, amely a talajtani (fizikai, kémiai, biológiai), valamint a növényi állományban fellelhető heterogenitás meghatározásában nyilvánul meg. A környezeti változatosság leggyakrabban távérzékelési eszközökkel és módszerekkel gyűjthetők és elemezhetők. A távérzékelés egy olyan robbanásszerűen fejlődő tudományterület, amely magába foglalja azon technikák, módszerek és eszközök összességét, amelyekkel a földfelszín, vagy egy felszíni objektum megfigyelése anélkül történik, hogy a vizsgált objektum és az érzékelő között közvetlen fizikai kapcsolat alakulna ki (COLWEL, 1983; BÁCSATYAI és MÁRKUS 2001). A földfelszín viszonylag nagy területen történő megfigyelése már az 1800-as évek közepén, korai fotográfiai rendszerek segítségével, hőlégballonokról megtörtént (MIKE, 1976), majd a repülőgépek szélesebb körben való megjelenésével, illetve a fotogrammetriai műszerek és térképezési eljárások fejlődésének eredményeként, az 1920-as években már hazánkban is végeztek légifelvétel alapú topográfiai térképezési felméréseket (BÁBONYI, 1920; HAJDÚ, 1925). A távérzékelés fogalomrendszere viszont csak az 1960-as évek elején, az első katonai célú technológiai berendezések (rakétákról történő fényképezés, illetve „kémműholdak”) megjelenésével alakult ki. A XX. század második felében készültek csak el az első, nagy földfelszíni területet felmérő űrfelvételek (CRACKNELL és HAYES 1991).

A távérzékelés a beérkező fény és a vizsgált objektum anyagi kölcsönhatásain alapszik. Ezeket a gondolatokat Krinov orosz tudós már az 1930-as években megfogalmazta. A beérkező elektromágneses sugarak (E_I), hullámok formájában érik el az objektum felszínét (BUITEN és CLEVERS 1993; LILLESAND és KIEFER 1994). Ezen elektromágneses hullámok egy része visszaverődik (E_R), egy része elnyelődik (E_A), egy része pedig áthalad a tárgyon (E_T). Minden elektromágneses hullám jellemezhető egy hullámhosszal (λ), amplitúdóval és fázis értékkel. Mindezek alapján felírható a következő egyenletet:

$$E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) = E_I(\lambda)$$

Az egyenletből kitűnik, hogy adott hullámhosszon a visszaverődés, az elnyelődés és az objektumon való áthaladás értékeinek összege egyenlő a teljes beeső sugárzás (E_1) mennyiségével. Ezen mennyiségek értéke mindig az adott objektum fizikai jellemzőitől, geometriai szerkezetétől függ, valamint az objektumot elérő sugárzás tulajdonságaitól (CAMPBELL és WYNNE 2011).

A távérzékelési technikáknak két típusát különböztethetjük meg, úgymint passzív és aktív távérzékelés. A passzív távérzékelési eszközökkel a felszínről visszaverődött természetes szoláris, vagy az objektumok által kibocsátott sugárzás mennyiségét mérjük (LEVIN, 1999). A távérzékelési eszközök által mért érték alapján tehát közvetve következtethetünk a megfigyelt tárgy fizikai, esetleg kémiai jellemzőire (MOLENAAR, 1993). A passzív szenzorrendszerekkel végzett felvételezések időpontja szigorú szabályok által determinált. Az időjárási körülményeket (felhőzet, napállás, erős szél, stb.) úgy kell megválasztani, hogy az elkészült felvételen a vizsgált objektumok, illetve jelenségek nagy spektrális különbségeket mutassanak a kiértékelés során (BÁCSATYAI és MÁRKUS 2001).

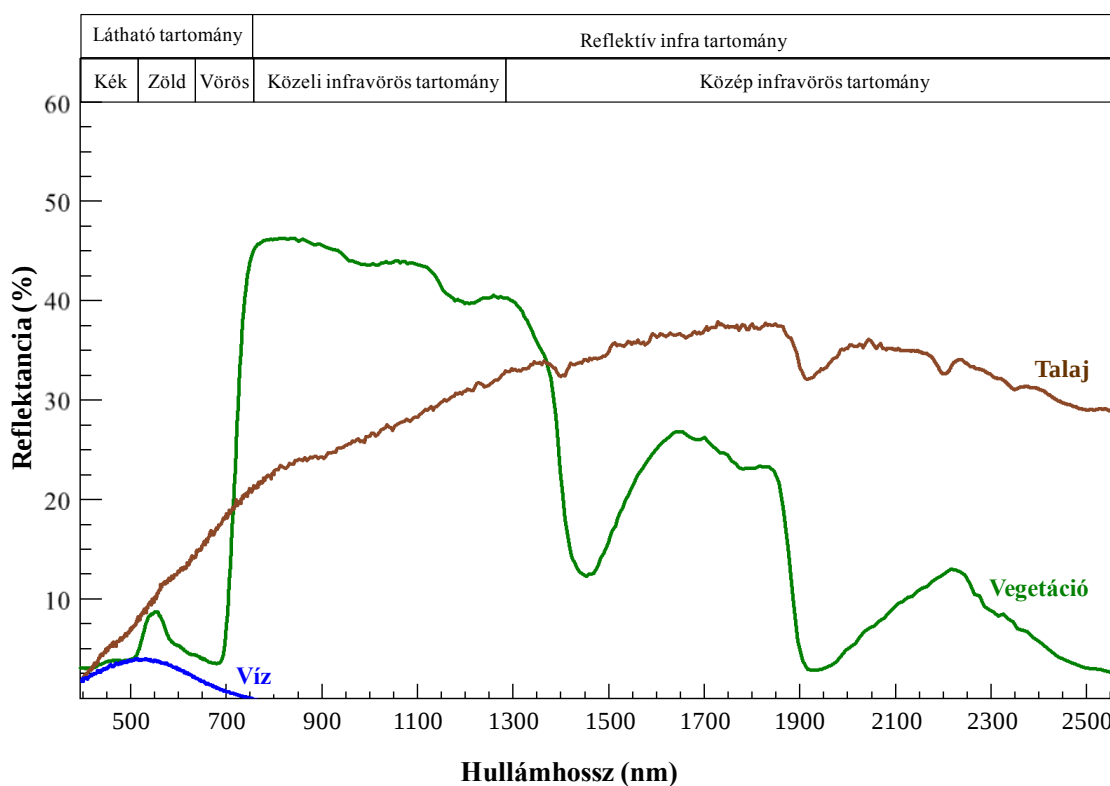
A távérzékelés másik típusa az aktív távérzékelés, melynek során a szenzor maga bocsát ki elektromágneses sugárzást, majd a műszerből kisugárzott energiának a vizsgált objektum felszínéről visszaverődött részét mérjük aktív szenzorokkal. Az aktív távérzékelési vizsgálatokat napszaktól függetlenül tudjuk elvégezni (CAMPBELL és WYNNE 2011).

2.4. A növénytermesztési tér minőségének leírása távérzékelési műszerekkel

A légkörben található egyes anyagok a napból érkező sugárzást különböző mértékben nyelik el, melyek közül a jelentős abszorbeáló tulajdonsággal rendelkezik a vízgőz, szén-dioxid, ózon, nitogén-oxidok és metán (BENEDICT et al., 1952). Mivel ezek a gázok bizonyos hullámhossztartományokban az elektromágneses energia nagy részét, vagy akár teljes egészét elnyelik, így döntően befolyásolják, hogy mely spektrális sávokban végezhető távérzékelés. Azokat a spektrális tartományokat, amelyben a légkör részben, vagy teljesen átengedi az elektromágneses energiát, atmoszférikus ablakoknak nevezzük (MUCSI, 1995).

A napból származó elektromágneses sugárzás abszorpciója és reflexiója a különböző növényi anyagok számos kölcsönhatásának eredménye, ami számottevően különbözik a hullámhossz szerint (BERKE et al., 2004). A víz, a pigmentek, a tápanyagok, és a szén

mind a 400 nm és 2500 nm közötti reflektált optikai spektrumban kerülnek kifejezésre, gyakran átfedéssel, de spektrálisan különböző reflektancia viselkedéssel (1. ábra).



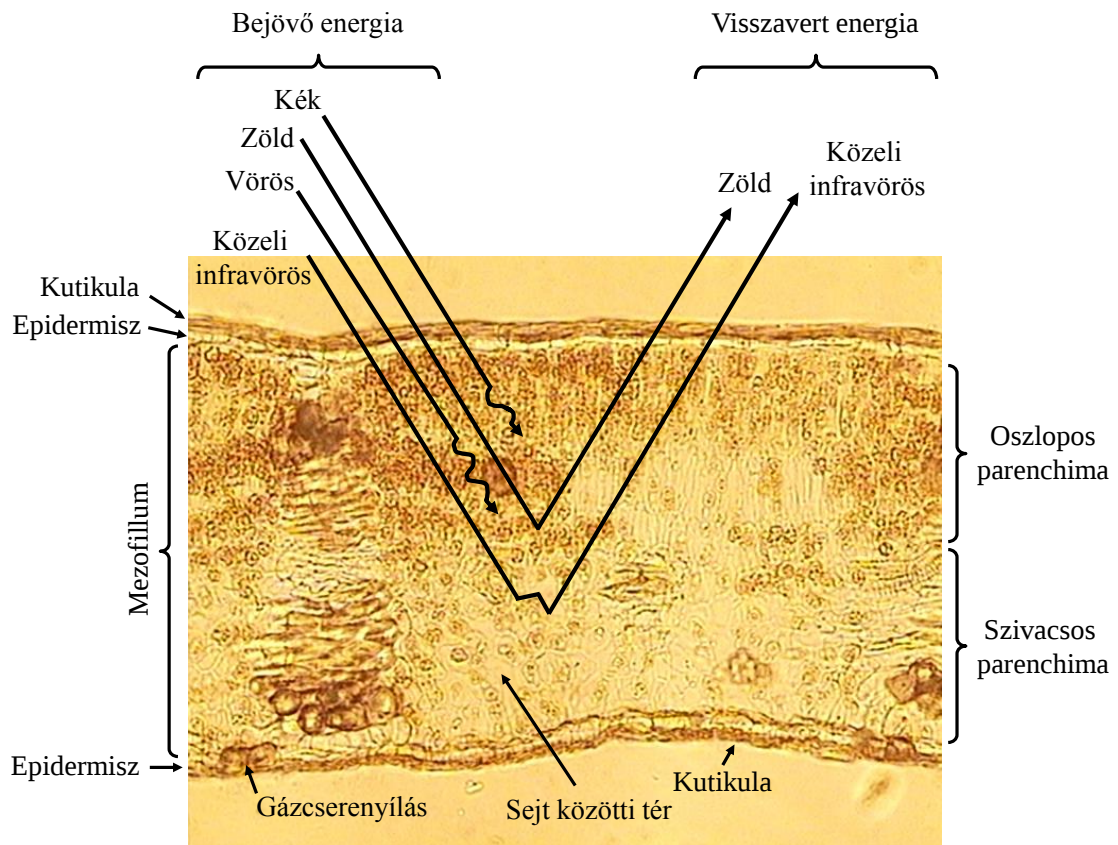
1. ábra: A talaj, a növény, illetve a víz spektrális viselkedése a 400-2500 nm-es régióban

Forrás: Az ENVI 5.0 spektrális könyvtárának adatai felhasználása alapján saját szerk.

A távérzékelési vizsgálatok során fontos ismerni, hogy geometriai értelemben milyen az adott tárgy visszaverődési jellemzője, ami elsősorban a tárgy érdességétől függ. Ennek értelmében a tárgy visszaverődése lehet szabályos és diffúz, valamint ezek átmenetei. Szabályos visszaverődéskor a felszín érdessége kisebb, mint a beérkező sugárzás hullámhossza (BENNETT és PORTEU 1961). Szabályos visszaverődést okozó tükröző felületekkel a természetben viszonylag ritkán találkozunk (nem hullámzó állóvizek, jégről történő visszaverődések). Diffúz visszaverődéskor a reflektálódó felszín „színe” hordozza a spektrális információt, míg ideális visszaverődéskor nem, ezért fontos a vizsgált objektum felszínének diffúz reflektív tulajdonságainak ismerete (MUCSI, 1995).

Vegetáció spektrális felvételezésekor a levél felszínére beeső sugárzás egy kis része közvetlenül visszaverődik a kutikuláris viaszról, míg nagyobb része bejut a levél belsejébe. Az alsó és felső epidermisz közötti mezofillumban (paliszád és szivacsos

parenchima) a sugárzás szétszóródik. Ennek a sugárzásnak nagy része a sejtbeli összetevők által közvetlenül reflektált sugárzással együtt visszaverődik (2. ábra). A megmaradó sugárzás keresztül hatol a levélen, ahol már átalakult sugárzásnak kell felfogni (BÁCSATYAI és MÁRKUS 2001).



2. ábra: A levélszerkezet és a reflektancia összefüggései

Forrás: Saját szerkesztés a DE MÉK Növénytudományi Intézet almalevél metszete alapján

A reflektált optikai spektrum változik a különböző fenológiai fázisokban és a növény morfológiájától függően. A spektrum látható tartományában jelentkező minimum a növényi levelekben található klorofill molekulákhoz köthető, melyek a beérkező sugárzásból közvetlenül energiát nyelnek el. A klorofill erősen abszorbeálja a 460 és 670 nm körüli hullámhossztartományokat, ezért látható az egészséges levél spektrális profiljának kék és vörös tartományában egy-egy „spektrális völgy” (CHAPPELLE et al., 1992). A közeli infravörös tartomány felé haladva 700 nm-nél az egészséges növényzet visszaverődése ugrásszerűen megnő. A 700 – 1300 nm közötti sávban az egészséges növényzet a beérkezett energia 40-50%-át visszaveri (LILLESAND és KIEFER 1994). A növényzet visszaverő képessége a 700 – 1300 nm közötti sávban főleg a levélzet belső

szerkezeti sajátosságából következik (BERKE et al., 2004; JONES és VAUGHAN 2010), melyet elsősorban a sejtfal lignintartalma és a parenchima szövet szerkezete határoz meg (GATES et al., 1965). A visszaverődés tehát azoktól a refraktív index-folytonossági hiányoktól függ, amelyek a levélen belül és a levélmorfológiában mutatkoznak (BÁCSATYAI és MÁRKUS 2001).

A közép-infravörös (1300 nm – 2500 nm) hullámhossz-tartományban a növényzet víztartalmára vonatkozóan gyűjthetünk információkat. Elsősorban az 1450, az 1940 és 2500 nm-es tartományokban találhatók a víz elnyelési spektrumai, de kisebb mértékben a 970 és az 1200 nm-es – közeli infravörös – csatornák is érzékenyek a növényzet víztartalmára (KNIPLING, 1970; CLEVERS et al., 2008). A vizsgálandó felszín kibocsátott hőenergiájának mérése a távoli infravörös (*FIR – Far infrared*) atmoszférikus ablakokon végezhető el (EASTES, 1991). A termikus távérzékelés fő hullámhossztartománya a 8000-14000 nm-es régió, de hasonló vizsgálatok végezhetők a 3000-5000 nm-es tartományokban is (PRAKASH, 2000).

A növények lombozatának hőmérséklete azok vízgazdálkodási állapotának egyik kiváló indikátora (BLAD et al., 1981; JACKSON et al., 1981; HATFIELD et al., 1984; FERNANDEZ et al., 1999; TÓKEI és DUNKEL 2005). A transzspiráció hőt von el a levelektől, így biztosított, hogy a növény ne melegedjen túl. A vízhiányból fakadó stressz hatására a növények bezárják a gázcsere nyílásait, így a párologtatás megszűnik, melynek eredményeként a levélfelület felmelegszik (PETHŐ, 2002). A megszűnt hőszabályzó mechanizmus hatására a távoli infravörös tartományban működő távérzékelő rendszerekkel a növények vízellátottsági tulajdonságai, valamint a biotikus és abiotikus stressz jelenségek nyomon követhetővé válnak (JONES et al., 2009; WANG és GARTUNG 2010; BALLESTER et al., 2013).

A távérzékelés a biomassza-előállítás nyomonkövetésének egyik hatékony eszköze, mivel a reflexió értéke jellemző a növényfajra, a növény fenológiai állapotára, annak vitalitására, így a távérzékelési eszközök és módszerek igen széles palettája lehetőséget biztosít a gyümölcskertészeti kultúrák elemzésére is. Az infravörös spektroszkópia hatékony megoldásokat kínál a növényi stressz, a sérülések, vagy akár a fertőzések kimutatására (NAIDU et al., 2009; SANKARAN et al., 2011), de az ültetvényekben megjelenő gyomfoltok kiterjedésének vizsgálatára is hatékonyan elemezhető távérzékelésre alapozott módszerekkel (MENGENS et al., 1985). Egy egészséges növényi állományt tekintve a fajok közötti különbségek a látható tartomány reflektancia

értékeiben alig érzékelhetők, azonban az infravörös tartományban szembetűnőbbek. A növény egészségügyi állapotának változásakor is hasonló módon figyelhetők meg a reflektív jelenségek (KNIPLING, 1967).

2.4.1. Szenzorok típusai és a spektrális felbontás

A távérzékelés során az objektumról visszavert sugárzást különböző szenzorrendszerekkel tudjuk mérni. Sok esetben megfelelő szenzorok alkalmazásával biztosítható a precíziós mezőgazdasági gyakorlat. Az adatgyűjtő rendszer fontos mérőszáma a spektrális felbontás, amit az határoz meg, hogy a szenzor az elektromágneses spektrum hány, illetve milyen szűk spektrális tartományát érzékeli (PURKIS és KLEMAS 2011). A spektrális csatornák száma határozza meg a felvételek információtartalmát. A digitális képalkotó technika fejlődésével az érzékelők csatornaszáma folyamatosan emelkedett, ezzel együtt a hullámhossz-sávok szélessége csökkent, melynek eredményeként a távérzékelési műszerek spektrális felbontása is egyre javult. Az információtartalom iránti felhasználói igény céljára dolgozták ki a multispektrális rendszereket, melyek viszonylag kis számú csatornával, de relatíve pontos adatok nyerhetők a vizsgált objektumról. A multispektrális képek alkalmazása során csupán anyagcsoportok közötti különbségek meghatározására van lehetőség, viszont a felszín részletes tanulmányozása több csatornát, nagyobb spektrális felbontást igényel (KRUSE et al., 2003).

A hiperspektrális szenzorok nagy spektrális felbontást biztosítanak úgy, hogy a nagyszámú, akár több mint száz keskenysávú (20 nm vagy még kisebb szélességű) csatorna fedi le a spektrális görbét (SMITH, 2006; ZHENG et al., 2001). A hiperspektrális szenzorok legfontosabb elemei a spektrográfok, melyek az optikai résen beérkező elektromágneses hullámokat prizmák és optikai rács segítségével bontják fel különböző hullámhosszú sávokra (AIKIO, 2001). Az ilyen fajta részletes pixel színek sokkal több információt nyújt a felszínről, mint egy multispektrális felvétel, ezáltal potenciálisan sokkal pontosabb és részletesebb információhoz juthatunk ezen technológia alkalmazásával (TUPIN et al., 2014).

A vegetációelemzés egyik széles körben elterjedt eszközei az ún. vegetációs indexek (VI), melyek a növénytakaró mennyiségi és minőségi jellemzőit képesek kinyerni közvetlenül a spektrumgörbékből (TUCKER, 1979; BANNARI et al., 1995; ZILINYI, 1995). Több olyan vegetációs index ismert, amelyek a vizsgált növények által a fotoszintézis

során előállított biomasszával – vagyis a termelt klorofillal – állnak összefüggésben. A növényzet a látható fényt (VIS) csak kis mértékben veri vissza, míg a közeli infravörös (NIR) tartományban (760-900 nm) a visszaverődés a növényzet klorofill-tartalmával, a termelt biomasszával arányos mértékben változik. A termelt növényi tömeg úgy mutatható ki, hogy a látható (ezen belül a vörös (RED) tartományt használjuk: 630-690 nm) és a közeli infravörös tartományban visszavert hullámok intenzitásának különbségével számolunk (TUCKER, 1979). A felszínborítás, illetve növényi biomassza vizsgálatára a leggyakrabban használt vegetációs index a Normalizált Differenciál Vegetációs Index (NDVI) (ROUSE et al., 1973). A különböző- földi, légi és űr távérzékelő műszerek az elektromágneses spektrum vörös és közeli infravörös csatornáiban mért reflektancia értékekből határozzák meg a NDVI értéket (NEMÉNYI et al., 2010). Az, hogy milyen hullámhossztartományokban történik a mintázás, függ a műszer spektrális felbontásától, valamint a számítási módszertől. A kis felbontású multispektrális szenzorok széles sávban készítik el a felvételeket, míg a nagy csatornaszámú hiperspektrális rendszerek pontosabb felszín- és vegetációérzékelést biztosítanak. A VI számítását tekintve a növényi vegetáció analízise esetében több információt nyújt a vörös-él spektrumszakasz, amelyet a spektrális görbe inflexiós pontja jellemez (HORLER et al., 1983; VOGELMANN et al., 1993; JU et al., 2010); ehhez viszont hiperspektrális technológiára van szükség. A távérzékelő rendszerek és szoftverkörnyezet folyamatos fejlődésével, valamint a vegetációs indexek finomításával pontosabb elemzések hajthatók végre, így a növényi állományok monitorozása szofisztikáltabb módon végezhető el. Az NDVI értéken kívül a NIR és a VIS tartományok más-más sávját használva a zöld biomassza mennyiségen, a klorofiltartalmon kívül egyéb fontos információt is gyűjthetünk a vizsgált növényről. Ilyen meghatározható paraméter többek közt a levélfelület (QUAN et al., 2005), a nitrogénellátottság (YODER és PETTIGREW-CROSBY, 2005; CABRERA-BOSQUET et al., 2011), vagy akár a növényi szövet víztartalma (PEÑUELAS et al., 1997; GAMON és QIU 1999; CHAMPAGNE et al., 2001; NAGY et al. 2010), míg a kártevők, betegségek és egyéb stressz hatások is vizsgálhatók különböző csatornák és indexek segítségével. JACKSON et al. (1977) a lombozat és a léghőmérséklet ismeretének figyelembe vételével határozták meg a Növényi Vízstressz Indexet (*Crop Water Stress Index* – CWSI), amely segítségével a növényi vízigény következtethető. A CWSI „felfedezését” követően néhány éven belül módosításra került. IDSO (1982) javaslatára olyan környezeti

faktorokkal, mint a levegő vízgőz telítettségi hiányával (*Vapour Pressure Deficit – VPD*), a nettó sugárzással, valamint a szélesebbeséggel egészült ki a számítási módszer. MORAN et al. (1994) egy, a vízhiányra érzékeny indexszel (*Water Deficit Index – WDI*), valamint az NDVI értékkel fejlesztette tovább az egyenletet, hogy még pontosabban becsülje meg a növények vízellátottsági viszonyait.

A termés érése és fiziológiai változásai is előjelezhetők megfelelő csatornákon előállított vegetációs indexek segítségével. MERZLYAK et al. (1999) különböző gyümölcsfajták reflektancia tulajdonágainak változását vizsgálták a gyümölcserés folyamán. Ma már több terepi eszköz is elérhető, amelyekkel a gyümölcs minősége és érési tulajdonságai hatékonyan vizsgálhatók. A DA-méterrel – az NDVI index számításához hasonló analógiával – a vörös (670 nm) és infravörös (720 nm) csatornák megfelelő matematikai kombinációival, a betakarítás optimalizálható (ZIOSI et al., 2008), ugyanakkor a gyümölcs tárolása során bizonyos minőségi paraméterek változása is mérhető (NYASORDZI et al., 2013). CHIVKUNOVA et al. (2001) a gyümölcs felületi perzselését követően, a héj színváltozásának folyamatát értékelték a tárolás folyamán a BRI (*Browning Reflectance Index*) vegetációs index segítségével. UPCHURCH et al. (1990) széles spektrális csatornán (400-1000 nm) vizsgálták a gyümölcsök sérülését *Red Delicious* almákon.

Az almaültetvényekben végzett spektrális távérzékelési vizsgálatok eddig relatív széles kutatási területet ölelnek fel. SHARMA és PANIGRAHY (2007) vizsgálatai bizonyították, hogy a nagyobb területekre kiterjedő űrtávérzékelésre alapozott módszerek segítségével az almaültetvények termőterületi becslésével, komplex adatbázis rendszerek építhetők ki. A nagyobb terepi, illetve spektrális felbontású légi távérzékelési adatokból részletesebb információk állnak rendelkezésünkre, így akár ültetvény szinten térképezhető a gyümölcsfák bizonyos kórokozók általi fertőzöttsége (XU et al., 2007), vagy vízellátottsága (SUÁREZ et al., 2010; NAGY és TAMÁS 2013). A földközeli felmérések további lehetőségekkel bővítik az almaültetvények vizsgálatát, melyek a fa-, illetve gyümölcsszintig elemzik és modellezik az ültetvényeket (MERZLYAK et al., 2003; MÉNDEZ et al., 2013; PAPAGEORGIOU et al., 2013).

A kutatások széles spektruma ellenére azonban bizonyos kérdések még nyitottak a kertészettudomány számára (pl. optimális koronaforma kialakítása, minél pontosabb termésbecslés és -osztályozás, részletes fenológiai térképezés, stb.).

2.5. A lézeres letapogatás jelenlegi helyzete

Az ültetvények 3D-s térszerkezetének meghatározásában hatékonyan használható a lézeres távolságmérési elven működő lézerszkennelés. A technológiát a kertészetben eddig igen kis számban alkalmazták, viszont számos műszaki tudományterületen gyorsaságával, pontosságával és hatékonyságával már bizonyított (ROTTENSTEINER és BRIESE 2002; LOVAS et al., 2007). Bár kertészeti szakterületen a vizsgálatok elsősorban a levélfelület becslésére terjedtek ki (SANZ-CORTIELLA et al., 2011b) – amely egy hatékony vegetációs mutató –, ugyanakkor az ágszerkezet komplex 3D-s rekonstrukciója, illetve termésbecslési feladok kidolgozása a hiánypótló kutatások között szerepel. A nagy sűrűségű és felbontású adatok révén az ültetvényekben akár fa szintű adatbázis kiépítése is lehetővé válik, ami a helyspecifikus gazdálkodás alapadataként szolgálhat.

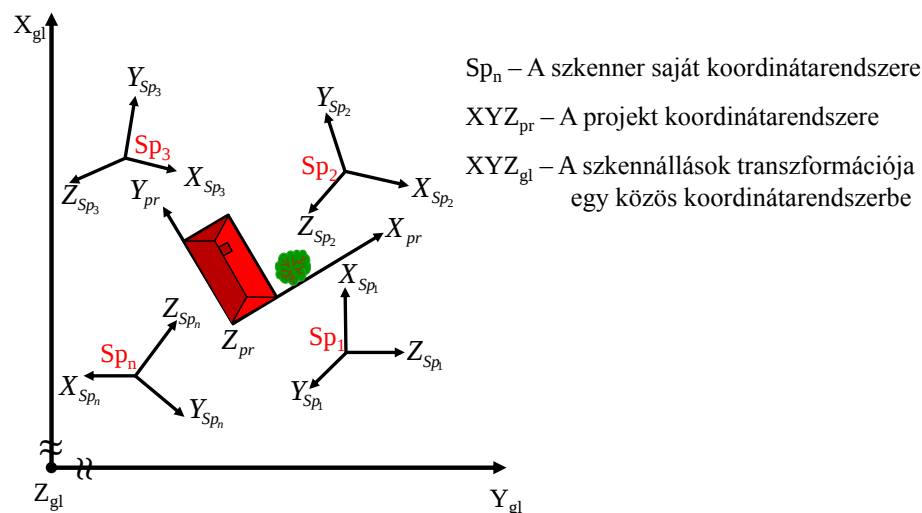
Az aktív távérzékelési technikák – ma már egyre szélesebb területen való – alkalmazásának egyik típusa a vizsgált terület lézeres letapogatása (*Light Detection And Ranging* – LIDAR), amely során lézervfény pásztázza a felszínt (SMITH-VOYSEY 2006; VOSSELMAN és HANS-GERD 2010), miközben a rendszer nagy sebességgel gyűjt adatokat a vizsgált tárgy alakjáról, formájáról, az objektum távolságáról és részben a fizikai tulajdonságáról.

A lézer az elektromágneses sugárzás egyik speciális fajtája; egy külső energia hatására olyan impulzust bocsát ki, amely egyetlen hullámhosszúságú összetevőből áll (monokromatikus), keskeny, kis széttartású nyaláb, a fázis minden keresztmetszetében azonos (koherens), koncentrált energiájú (ROUNDY, 2000). Az első nagy intenzitású monokróm, nagy távolságra eljutó lézernyalábot már az 1950-es évek elején előállították, majd az 1960-70-es években a lézertechnológia nagy fejlődésen ment keresztül. Ekkor alkották meg az első lézeres elven működő távmérőket, amelyek a forgalomban lévő lézerszkennerek működési alapjait tartalmazták (HUGHES, 1985; PRICE és UREN 1989). Az elektromágneses energia alapú távolságmérés elvén (*Electronic Distance Measuring* – EDM) működő eszközök a mérnöki alkalmazásokban széles körben elterjedtek, melyek oka a gyors és pontos távolságmérés (LARGE és HERITAGE 2009). A LiDAR rendszerek olyan távolságmérésre alkalmas eszközök, amelyek belső memóriájukban folyamatosan tárolják a lézernyaláb által mért pontok X, Y és Z koordinátáit, valamint egy adott felszínről visszaverődött intenzitási értékeket,

opcionálisan pedig lézerszkennelt adatokkal összeillesztett valószínűsített fotók R, G, B értékeit.

A jelenlegi technológiai fejlettségi szint egy terület lézeres letapogatását statikus és dinamikus módon teszi lehetővé. A légi járművekkel és űreszközökkel (*Shuttle Laser Altimeter* – SLA; *Mars Observer Laser Altimeter* – MOLA) történő lézerszkennelés dinamikus technikai megoldásokkal gyűjt térbeli információkat a valós világról. A földi eszközökkel (5 m alatti magasságban) történő felmérés elvégezhető fix pozícióban elhelyezett szkennerek segítségével, vagy valamilyen mobil platformra építve. A statikus lézerek nagyobb pontossággal és általában nagyobb pontsűrűséggel mérik fel a vizsgálandó objektumot, vagy területet. Ezzel szemben a dinamikus lézerszkennerek sajátossága a kisebb pontsűrűség mellett az inerciális rendszer (*Inertial measurement unit* – IMU) megléte (LERMA GARCÍA et al., 2008). Az IMU rendszer egyfajta tehetetlenségi navigáció, amely a műszerbe épített giroszkópon keresztül érzékelt szögváltozás hármását, az orsózást (*Roll*), a bólintást (*Pitch*) és az oldalazást (*Yaw*) rögzíti, majd meghatározza a mozgó jármű pályáját (LOVAS et al., 2012). A mozgó járművekre szerelt lézerszkennerek GPS rendszerekkel is kiegészülnek. A mérés pontosságát további földi referenciahálózatok biztosítják, melyek segítségével az atmoszférikus zavaró hatások nagymértékben csökkennek. A GPS, az IMU és a lézeres adatok térbeli szinkronizálása, valamint a mérések előtti kalibráció biztosítja a felmérés deciméteres pontosságát (BERALDIN et al., 2010).

A statikus kialakítású földi lézerszkennerek rendszerint a geodéziában alkalmazott műszerállványra vannak felszerelve. Mivel a műszer a mérés teljes időtartama alatt fix pozícióban áll, így IMU rendszer meglétére nincs szükség (3. ábra). A felméréendő objektum teljes térbeli felmérése érdekében a műszert több mérési álláspontba szükséges helyezni.



3. ábra: A vizsgált objektumok földi lézerszkennerekkel való felmérésének sematikus ábrázolása a használt koordinátarendszerekkel

Forrás: LOVAS et al., 2012 alapján saját szerk.

A lézerszkennerek fejlődése

Az első kereskedelmi forgalomban is kapható lézerszkennerek légi platformra installálható készülékek voltak, így a megjelenésük, illetve elterjedésük szorosan kapcsolódott a GPS rendszerek és a számítógépes technika fejlődéséhez egyaránt. A 90-es évek elején jelentek meg az első légi lézerszkennerek (ALTM 1020 – Optech) különféle mérnöki alkalmazásokban. A légi lézerszkennerek fejlődésében nagy fordulatot vett a felszíntől visszatérő lézernyaláb elemzését végző műszerek fejlesztése, illetve tökéletesítése. Több cég is megjelent a piacon, de lézerszkennereik konstrukciós alapját elsősorban a RIEGL LMS Q140 és LMS Q280, kis és nagy magasságban működő szkennerei adták (PETRIE és TOTH 2009; PETRIE, 2011).

A légi rendszerekhez képest, a földi lézerszkennerek megjelenése későbbre tehető. Az első kereskedelmi forgalomban elérhető statikus földi lézerszkennerek a 90-es évek végén jelentek meg a piacon, két cég (Leica-Cyra és RIEGL) egy-egy termékével. A Leica első generációs (TOF) lézerszkennere (Cyrax 2400) 100 pontmérést végzett egy másodperc alatt, látószöge mindössze $40^\circ \times 40^\circ$ volt. Annak ellenére, hogy a cég első szkennere volt a piacon, már a hőmérséklet és a légköri nyomás hatását figyelembe vevő távolságmérési korrekciók is helyet kaptak a szoftveres távmérésben (GORDON et al., 2001). A RIEGL által forgalmazott első földi lézerszkennerek (LMS-Z210) specifikációi hatékonyabb felmérést tettek lehetővé. A szkennerek horizontális látószöge 170° volt, míg a vertikális felbontása a Cyrax 2400-zal megegyező. A szkennelési

sebessége viszont jelentősen nagyobb volt, mint a konkurenciáé, átlagosan hatvanszor több pontmérést végzett másodpercenként (TAKASE et al., 2003). A földi lézerszkennerek folyamatos fejlődésen mentek keresztül, melyek során a szkennelési sebesség, a felbontás, a szoftveres feldolgozás hatékonysága növekedett, a műszerek mérete és áruk pedig csökkent. A hatékonyság növekedésének kulcsa az volt, hogy több gyártó változtatott az eredeti távmérési mechanizmuson.

A 2000-es évek közepétől a földi LiDAR rendszerek mozgó platformra kerültek át (HARNIG, 2005). A kinematikus mérések alkalmával a speciálisabb alkalmazási területek nyíltak meg (GRÄFE, 2008). Az első kereskedelmi forgalomban is elérhető mobil lézerszkennert a RIEGL cég mutatta be a 2009-es INTERGEO kiállításon. A VMX-250 névre keresztelt mobil térképező rendszert két darab 360°-ban pásztázó VQ-250-es típusú szkennerral és 6 darab digitális kamerával építették egy rendszerbe. A mobil lézerszkenneres felmérések a szárazföldről a vízfelszínre is átkerültek (STUDNICKA és ZACH 2011).

2.5.1. A lézerszkennerek alkalmazási területei

A statikus és mobil, földi és légi lézerszkennerek a technika fejlődésével egyre szélesebb körben jelennek meg a téradatgyűjtés számos területén. A légi lézerszkennerek első alkalmazási területe a földfelszín felmérésére irányultak, majd környezeti megfigyeléseket végeztek (HICKMAN és HOGG 1969; KRABILL et al., 1980; ACKERMANN et al., 1994). A környezeti felmérésekhez szorosan kapcsolódtak az első erdészeti alkalmazások (KRABILL és MACLEAN 1984), amelyek a természetes és mesterséges vegetáció komplex 3D struktúrájának megismerését biztosították (DANSON et al., 2009). A hullámforma-elemzés (teljes jelalakos lézerszkennelés) fejlődésével tovább bővült az erdészeti alkalmazások száma, így mára a komplex erdőmérnöki alkalmazások (KIRÁLY et al., 2007), élőhely változása (MÜCKE et al., 2012b), biodiverzitási (ØRKA et al., 2007), erdőgazdálkodási (WULDER et al., 2008), szénmegkötés-modellezési (MASCARO et al., 2011), erdőtűz-megelőzési (UTKIN et al., 2003) kérdésekben is segítséget nyújtanak a légi lézerszkennerek. A lézerszkennerek város- és épületmodellezési alkalmazásai (*city engineering*) a 90-es évek végén kezdtek megjelenni (HAALA és BRENNER 1999; MASAHARU és HASEGAWA 2000), melynek feltétele az alakzatfelismerő algoritmusok szoftveres fejlesztése volt (JUTZI és STILLA 2003).

A földi lézerszkennerek pontosabb felmérésének köszönhetően részletesebb térbeli adathalmaz áll a felhasználó rendelkezésére. Az első földi lézerszkenneres alkalmazások elsősorban kulturális örökségek digitalizálására, illetve archeológiai felmérésekre szolgált (TAKASE et al., 2003), de az építészeti alkalmazások száma is jelentős volt már a kezdeti lézerszkenneres alkalmazások során. A CAD szoftverek közötti átjárhatóság az építészek munkáját megkönnyítette a rekonstrukciós feladatoktól a tervezésig. A földi lézeres felmérés lehetőséget teremtett az első ipari környezetek digitalizálására és 3D modellezésére (RABBANI et al., 2006).

A lézernyaláb és a vegetáció lombzatának interakciója

A légi lézerszkenneres technológia megjelenésétől számított rövid időn belül kezdtek a technikát alkalmazni erdészeti gyakorlatban. Ezzel szemben a földi lézerszkennerek kertészetben való használata kevésbé terjedt el (VOSSELMAN és HANS-GERD 2010). A vegetáció szkennelés során – legyen az erdészeti, kertészeti, vagy mezőgazdasági alkalmazás – a lézerszkenneres technológia segítségével megismerhetővé válik a növényzet struktúrája, lombzat nagysága, kiterjedése (LOVELL et al., 2003; TANAKA et al., 2004), amivel számos biofizikai folyamatot képesek vagyunk nyomon követni, a változásokat detektálni (ROSELL et al., 2009). A lombzat megismerésével pontos képet alkothatunk a fotoszintézisről, a CO₂-fluxusról, a növekedés üteméről, a párologtatásról (LI et al., 2002; PEREIRA et al., 2006; ROSELL et al., 2009).

Mivel az egyes objektumok detektálásának minősége függ azok visszaverődési tulajdonságaitól, így a felszín reflektív sajátosságai és a lézernyaláb hullámhossza is meghatározza a növényi állomány felmérhetőségét (DANSON et al., 2009), egyáltalán a lézerszkennerek gyakorlati alkalmazhatóságát (LICHTI et al., 2002). A légi és földi lézerszkennert gyártó cégek más-más hullámhosszúságú lézereket építenek be a műszerházba, így egyes objektumok különböző minőségben mérhetők fel. A légi lézerszkennerekben közeli infra tartományban működő lézereket használnak (pl. Optech ALTM – 1064 nm, TopoSys Falcon II. – 1560 nm, Riegl LMS-Q680i – 1550 nm), ezzel szemben a földi lézerszkennerek szélesebb hullámhossz-palettán üzemelnek (~500-1500 nm). A hosszabb hullámhossztartományban működő lézerek kevésbé érzékenyek az atmoszférikus hatásokra, míg a rövidebb hullámhosszok kisebb divergenciával rendelkeznek, így az ún. „footprint” mérete is kisebb (PFEIFER és BRIESE 2007), valamint a látható tartományban szemegészségügyi, illetve sugárbiztonsági természetű

problémákkal is számolni kell (DANSON et al., 2009). Akár rövid, vagy hosszú hullámhosszúságú lézerpulzussal vizsgálva a vegetációt, más-más típusú információk nyerhetők a növényzetről. A nagyobb hullámhosszúságú lézerfény nagyobb divergenciája révén járul hozzá a lombkorona színtezettségének azonosításához (SUN és RANSON 2000), míg a rövidebb – látható hullámhossztartományban – működő lézerszkennerekkel pontosabb vegetációs szerkezeti mérések végezhetők el (WAGNER et al., 2008; DANSON et al., 2009). A vegetáció reflektanciájának alakulása az elektromágneses spektrumban az adott hullámhossz függvényében jellemezhető (2.4. fejezet), így a lézernyaláb hullámhossza is befolyásolja a tárgyról visszaérkező sugárzás intenzitását. A közeli infravörös tartományban működő szkennerekkel (pl. Riegl LMZ210 – 900 nm; FARO Focus^{3D} – 905 nm) könnyebb az ágrendszer osztályozása, mint a látható tartományban működőkkel (pl. Leica ScanStation C10 – 532 nm, Z+F Imager 5003 – 780 nm). Ennek az oka, hogy a közeli infravörös tartományban működő lézernyalábok közel maximális reflektált fényt vernek vissza a lombzatról, míg a fakéreg kb. fele annyit, mint a levelek. A látható tartományban ezek a spektrális különbségek kisebbek. Az 1550-1560 nm-es régióban a visszaverődés az objektum víztartalmával is kapcsolatban van (DANSON és BOWYER 2004), így akár egy állomány vízstressz-vizsgálata is elvégezhető (GAULTON et al., 2013).

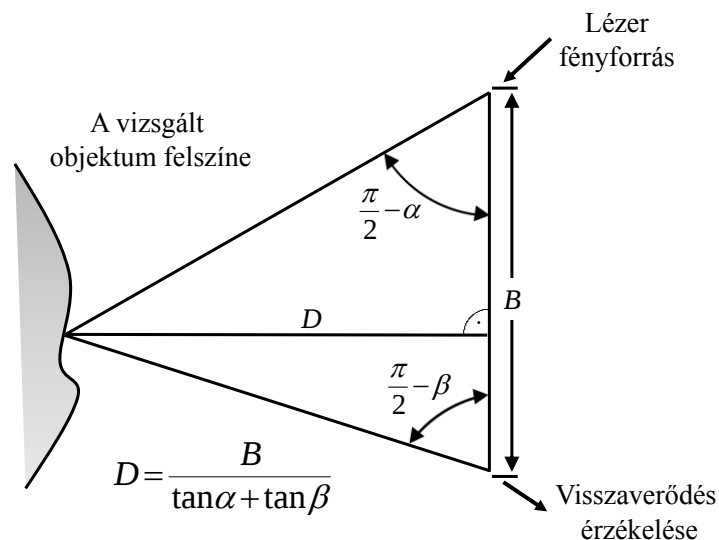
A növényi állományokról nyerhető strukturális információk begyűjthetők a hullámalak elemzésével is. A légi lézeres felmérések esetében a vegetáció és a tárgy közötti nagyobb távolságnak köszönhetően nagyobb a lézerfény footprint mérete, így az egy lézernyaláb felszínről való többszörös visszaverődésének detektálása könnyebben végezhető el. A földi lézerszkennerek esetében a lombkorona strukturáltságának elkülönítésére hatékonyabb megoldás lehet a reflektált impulzus idő alapú visszaverődési kategorizálása. Míg a légi lézeres technológia esetében 10 ns-onként történik a hullámforma elemzése, addig a földi lézerszkennerek esetében a minimálisan elkülöníthető távolságok 0,1 ns-onként (kb. 15 mm-enként) válogathatók szét (DANSON et al., 2009). Több kutatás foglalkozik a földi lézeres adatok hullámalakjának digitalizálásával (PFENNIGBAUER és ULLRICH 2008; DONEUS et al., 2009). Több objektum egyidejű felvételezésekor – hasonló módon a légi hullámforma elemzéséhez – külön értelmezhetővé válnak az egyes elemek (pl. háztető, a lombkorona vertikális és horizontális színtezettsége, stb.). A légi lézeres hullámforma elemzéséhez hasonlóan a földi lézerszkenneres adatok szűrése válhat egyszerűbbé. A technológiát jelenleg

vegetációval benőtt kulturális örökségek digitalizálásakor használják szélesebb körben (ÖZTÜRK, 2013).

2.5.2. Távolságmérés lézerszkennerral

A lézerszkennerek két alapvető mérési elv alapján határozzák meg egy adott objektum térbeli tulajdonságait: háromszögelési módszerrel és a lézernyaláb terjedési iránya alapján.

A háromszögelési eljárás segítségével történő távolságmérés alapjait már az i.e. 6. században, az ókori Görögországban lefektették (SINGER et al., 1954). Az első, háromszögelési elven történő lézeres pontmérést FORSEN (1968) publikálta. KANADE (1987) felismerte, hogy a valós világ 3D-s grafikus primitívekkel írható le, mely automatikus érzékelése egy mesterséges intelligencia alapú jövőkép leképzésében nyújthat segítséget. Munkájában részletesen vizsgálta a lézerfény segítségével történő háromszögelési rendszereket, a felmérési határokat. A háromszögelési elven működő szkennerek esetében egy lézer kibocsátó kijuttatja a nyalábot, amely eléri az objektum felszínét. Majd a visszaverődés során a szórt fény egy detektorban fókuszálódik. A lézer kibocsátó és a detektor szögének, valamint távolságának ismeretében – a háromszögelés elve alapján – kiszámítható annak a pontnak a távolsága, amit „eltalált” a lézernyaláb (FOREST, 2004) (4. ábra).



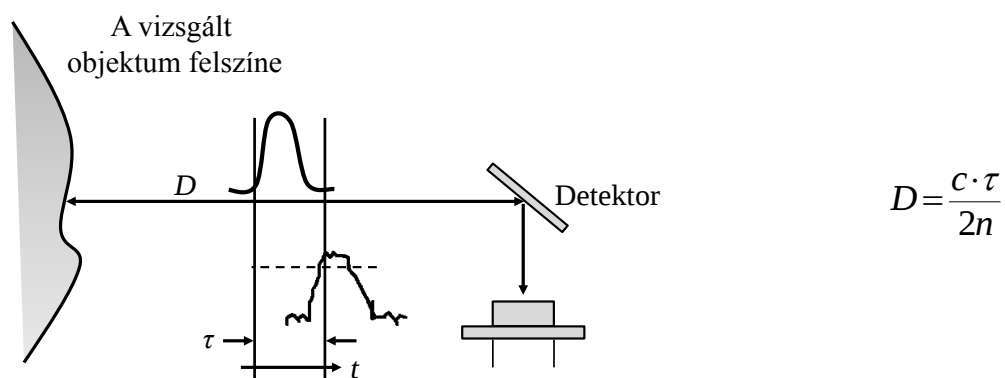
4. ábra: Az optikai háromszögelés elméleti háttere

Forrás: BERARDIN et al., 2010 alapján saját szerk.

A mérés fizikai korlátai miatt a háromszögelési elven működő szkennerek látószöge igen limitált, így a műszer és a vizsgálandó objektum közötti távolság sem lehet nagyobb néhány méternél. Ezzel szemben a mérési pontosság akár mikrométeres is lehet (FRANCA et al., 2005; LERMA GARCÍA et al., 2008; BERALDIN et al., 2010).

A lézernyaláb terjedési irányának elvén alapuló távolságmérésnek két típusa terjedt el. Az egyik a lézernyaláb repülési idején alapuló (*Time of Flight* – TOF) távmérés, a másik a lézerfény fázisának változását (*Phase based* – PB) detektáló eljárás.

Az első TOF elven működő távmérő rendszerek rádióhullámokat használtak (SKOLNIK, 1990), majd az alapelv felhasználását építették át a lézeres rendszerekbe. A lézer alapú rendszerek hatékonyabban végeznek távmérést, mint a rádióhullámos rendszerek, mivel a kibocsátott sugárzás több mint háromszor kisebb divergenciájú, így az objektumok elkülönítése is nagyobb hatékonysággal biztosítható (HERITAGE és LARGE 2009). A fény, mint hullámtermészetű jelenség, alapvető jellemzője a terjedési sebesség (HERTZ, 1888), ami a TOF szkennerek működési elvének megalapozója. A lézerfény egy véges és konstans sebességgel áthalad egy adott közegben. A vizsgált objektumot elérő, majd visszajutó fény utazási idejének különbségéből lehet kiszámítani az objektum távolságát. A kibocsátás és a visszaverődés közt eltelt idő (τ) pontos időmérő szerkezetekkel számítható. A vivőjel terjedési sebességének (c) ismeretében pedig kiszámítható az adott pont és a szkennerek közti távolság (D), amely alapján az objektum pozíciója is meghatározható (5. ábra).



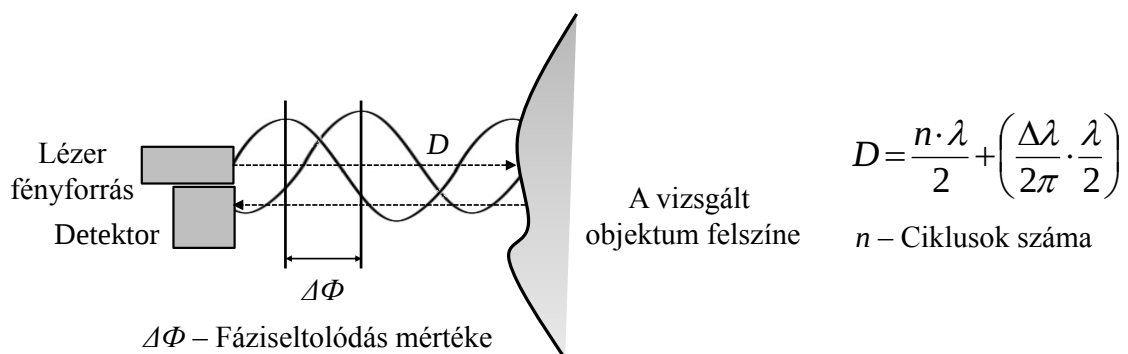
5. ábra: A TOF lézerszkennerek működési elve

Forrás: BERALDIN et al., 2010 alapján saját szerk.

A fény sebességének (c) jelenleg elfogadott értéke vákuumban: 299 792 458 m/s. Mivel a lézernyaláb terjedése nem vákuumban történik, ezért a korrekciós tényezővel

(n) kell módosítani az egyenletet. A lézernyaláb terjedése függ a levegő hőmérsékletétől és a páratartalomtól is. A korrekciós tényező értéke $\approx 1,00025$ (VOSSELMAN és HANSGERD 2010). Mivel a fény sebessége viszonylag pontosan ismert, így a távolságméréshez egy pontos időmérő szerkezetre van szükség (SHAN és TOTH 2009). A TOF elven működő lézerszkennerek akár több száz méter távolságra lévő objektumok felmérését is lehetővé teszik, miközben 5-10 milliméter pontossággal dolgozik a műszer.

A fázismérési rendszerek általában folyamatos hullámot (*Continuous Wave – CW*) használnak a távméréshez. A lézersugarak hullámhossza kicsi, ezért a nyalábot szinuszhullámmal modulálják. A távolságmérés során a kibocsátott és visszaérkezett amplitúdó modulált hullámnak méri a fáziskülönbségét (6. ábra).



6. ábra: A fázismérési lézerszkennerek működési elve

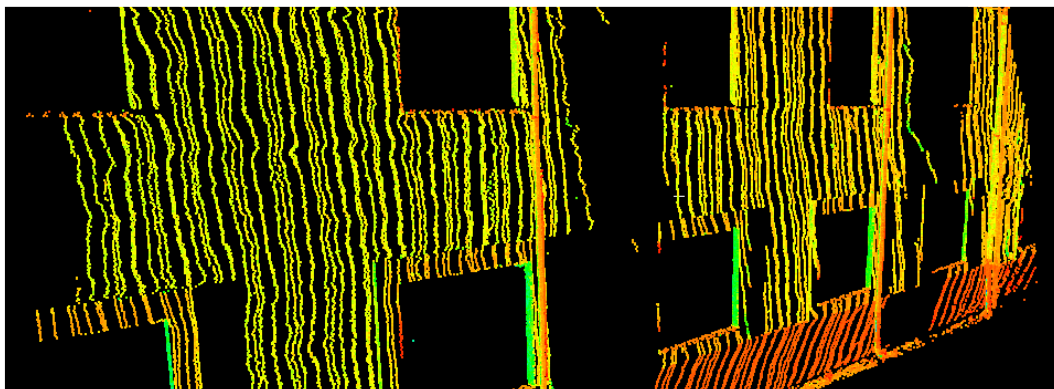
Forrás: BERALDIN et al., 2010 alapján saját szerk.

Az amplitúdó modulált rendszerek rendkívül nagy szkennelési aránnyal dolgoznak (akár több mint egymillió pontmérés másodpercenként), de a működési távolságuk kisebb, mint a TOF elven működő szkennereknek (BERALDIN et al., 2010).

A fent felsorolt alapelvek szerint a különböző típusú lézerszkennerek egyetlen visszatérő lézernyaláb pontos térbeli (X, Y, Z) pozícióját képesek meghatározni. Ahhoz, hogy a műszerek rövid idő alatt több mérést is végezzenek, a lézernyaláb eltérítésére van szükség. Ezt a feladatot speciális tükörrendszerek látják el, amelyek könnyűek, így azok szkenneren belüli mozgása gyors, az eltérítés pedig nagy pontosságú. A forgalomban lévő lézerszkennerek különböző tükörrendszerrel felszereltek, a mérési elvtől függően (LERMA GARCÍA et al., 2008). A lézeres letapogatási gyakorlatban négy fő eltérítési mechanizmus terjedt el.

Az oszcilláló tükrös módszer esetében a lézernyalábot egy nagy sebességgel mozgó tükrör törli meg, illetve téríti el. A rendszer egyik problémája, hogy a szkennelt terület cikk-cakk vonalú mintát eredményez, valamint, hogy a pontok távolsága egy szkennelési vonalban nem egyenletes. Ez annak köszönhető, hogy a tükrör mozgásának lassulása nagyobb pontsűrűséget eredményez, melynek eredményeként a nagyobb pontsűrűségű területek a szkennelt sáv szélein helyezkednek el. A hiba kiküszöbölése érdekében a tükrör mozgását kompenzálni szükséges. A nem-lineáris tükrörmozgás létrehozása után homogén ponteloszlás generálható a szkennelrel. Mivel a nyílásszög könnyen változtatható, így a módszer földi és légi műszerekben egyaránt széles körben elterjedt (VOSSELMAN és HANS-GERD 2010).

A forgó poligon szkennerek esetében általában egy hatszög alakú tükrörrendszer található, mely egyirányú és állandó sebességű forgásával biztosítja a szkennelt minta pontjainak egyöntetű mintázatát (7. ábra). A szkennelési vonalak párhuzamosak, a sávokon belül a pontok ugyanolyan távolságra helyezkednek el egymástól (WEHR és LOHR 1999).

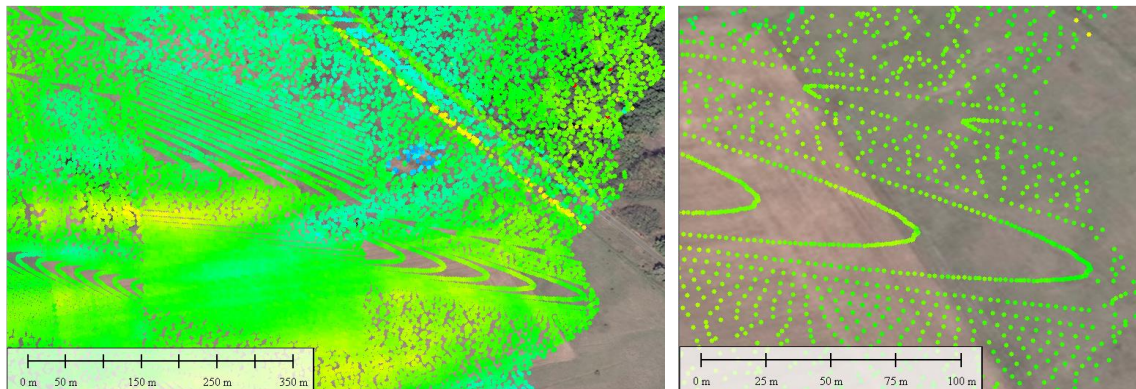


7. ábra: A Leica ScanStation C10 lézerszkennelr által létrehozott pontfelhő mintázata

Forrás: Leica Cyclone 7.1 szoftverben készített saját ábra

A nutáló tükrös szkennerek (Palmer szkennerek) felépítésére jellemző, hogy a tükrör és annak forgási síkja egy bizonyos szöget (közel 90°) zárnak be egymással. A fény törésszögét a tükrör és a forgástengelyre merőleges sík által bezárt szög növeli meg és okozza a fény irányának nutációját (BARSÍ et al., 2003). A szkennelr működési mechanizmusa által az objektumok szkennelése duplán történik meg. Először a tükrör által előre irányított nyaláb szkennel az objektumot, majd – légi felvételezés esetében –

egy bizonyos idő után a hátrafelé irányuló mozgás ismét pásztázza az objektumot (8. ábra). A mérés során ellipszis alakú mintát készít a szkennер (SHAN és TOTH 2009).



8. ábra: A Riegl LMS-Q680i hullámalakos légi lézerszkennер által létrehozott pontfelhő mintázata a püspökladányi Erdészeti Tudományos Intézet egyik mintaterületén

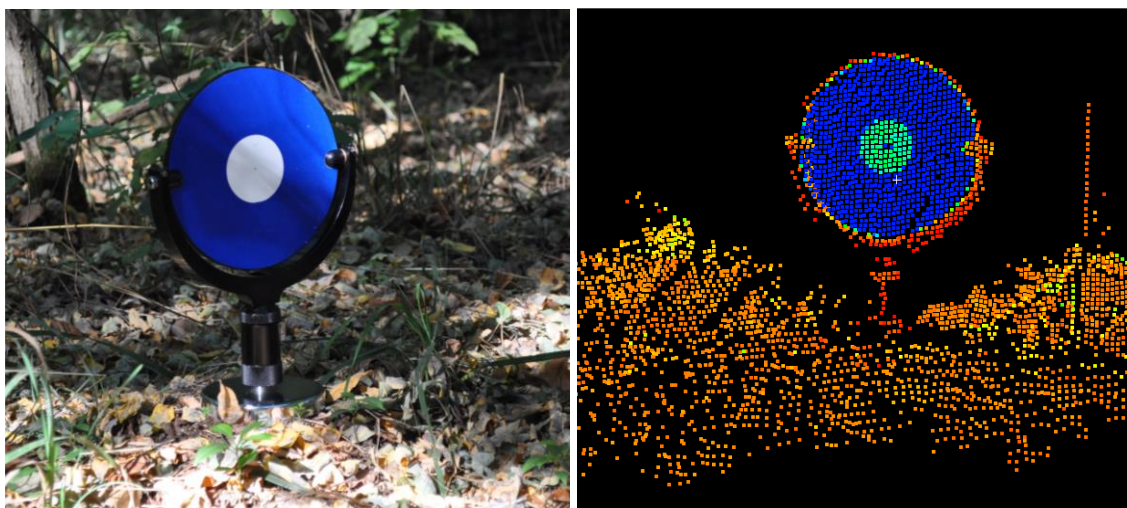
Forrás: Global Mapper 15.0 szoftverben készített saját ábra

Az optikai szálaskennerek esetében sorba rendezett optikai szálak bocsátják ki a lézernyalábot és gyűjtik össze az objektumról visszaverődött részt. A lézernyalábot ebben az esetben is nutáló mozgást végző tükrök irányítják a felszínre (LOHR, 2003). Minden optikai szálból érkező impulzus egy-egy ellipszis alakú mintát képez a felszínen. Minél több optikai szál van egy szkennерben, annál nagyobb területet és annál gyorsabban képes a műszer felmérni (LOHR és EIBERT 1995; PETRIE és TOTH 2009). Az üvegszálaskészítéssel működő LiDAR rendszerek viszonylag kevésbé elterjedtek.

A lézerekészítéssel tudományában viszonylag kisebb mértékben van jelen az ún. Flash LiDAR technika, amely gyakorlatilag a lézerekészítéssel és a radartechnika egyfajta kombinációja (LADAR) (ANDERSON et al., 2005). A műszer egyszerre bocsát ki több modulált lézerekugarat a felszínre, vagy az objektumra, majd a reflektált részt megfelelő detektorok gyűjtik össze. Ezeknek a műszereknek a látószöge viszonylag nagy, így nagyobb területekről készülhetnek a felvételek (SUN et al., 2013), ennek köszönhetően a felbontásuk limitált (VOSSELMAN és HANS-GERD 2010). A technológia alkalmas arra, hogy több mint 10 km távolságból is meghatározza a célterület távolságát, így elsősorban valós idejű urbélie felmérésekre, dokkolásra, földetérési alkalmazásokra, felszíni navigációra, nagy területekre kiterjedő veszélyelemzésekre használható (WEINBERG et al., 2007).

A lézernyaláb eltérítésének eredményeként a lézerszkennerek elkészítik a több millió pontmérésből álló 3D pontfelhőt. A statikus földi felmérés esetében egyetlen álláspontból történő mérés, a légi szkennelés esetében egyetlen repülési sávban elvégzett pásztázás gyakran nem hoz megfelelő eredményt, mivel számos egyéb zavaró objektum lehet, amely a célterület kitakarását eredményezi. A földi felmérések során több álláspontból történik az objektum szkennelése, majd a pontfelhők összeillesztése (egy koordináta-rendszerbe történő transzformálása) szoftveres úton végezhető el. Az összeillesztés kapcsolópontokon vagy illesztőpontokon keresztül történhet. Az illesztőpontok annyiban különböznek a kapcsolópontoktól, hogy fix geodéziai koordinátával rendelkeznek, így az adott geometriai rendszerben pontosan meghatározható a pontfelhő térbeli pozíciója. A kapcsolópontok a két (vagy több) álláspontban készült pontfelhőben jól detektálható olyan felületek (sarkok, tornyok, megfelelő illesztőtárcsák, stb.) amelyek megadásával a pontfelhők összeilleszthetők lesznek (LOVAS et al., 2012). A pontfelhők összeillesztésben további hatékony megoldást jelenthet az iteratív legközelebbi pont (*Iterative Closest Point* – ICP) algoritmus. Az illesztési eljárás előnye, hogy az algoritmus az átfedésekben lévő pontfelhők közötti pontpárokat keresi (RUSINKIEWICZ és LEVOY 2001; GUO et al., 2012).

Az illesztőtárcsák típusa és mérete sok esetben az adott gyártó cégre jellemző sajátosságokkal bír. Általánosságban elmondható, hogy ezek a tárcsák nagy visszaverő képességű anyaggal bevont eszközök, így a visszavert lézernyaláb nagyobb intenzitással reflektálódik. Ennek ellenére a kereskedelmi forgalomban találhatók más típusú, pl. papír alapú, vagy gömb alakú illesztők. Az elkészült pontfelhőn az illesztőpontok élénkebb színekkel mutatkoznak (9. ábra). Több lézerszkennerek kezelőfelületében megadható a szkennelni kívánt illesztőtárcsa típusának kiválasztása. Egyes pontfelhő-feldolgozó szoftverek külön illesztőtárcsa-felismerő algoritmussal rendelkeznek (VALANIS és TSAKIRI 2004), más cégek esetében a tárcsákat külön munkafolyamatban szükséges beszkenyelni (LOVAS et al., 2012). A Leica cég által forgalmazott tárcsák nagy visszaverő képességű kör és négyzet alakú illesztőtárcsák, de kaphatók fekete-fehér színű tárcsák is. Egy terület vagy objektum felmérése során figyelni kell arra, hogy az álláspontokon több közös illesztőtárcsa beszkenyelése is megtörténjen, így biztosítható az egyes szkennelési pozíciókban a pontos koordináta transzformáció.



9. ábra: A Leica által gyártott egyik kör alakú illesztőtárcsa és annak intenzitásértékei szerint kiszínezett pontfelhője

Forrás: Saját fotó és pontfelhő kivágat

Egyes szkennelési felmérések elvégzésekor (pl. kulturális örökségek, szobrok, vegetáció, stb. szkennelés) gyakran részletes adatokra van szükség. A szkennelés során ezért a mérés pontosságán túl, fontos beállítani a felmérés felbontását (LICHTI, 2006), melyet általában szögfelbontásban szükséges megadni, mivel a lézerszkennerek minden kibocsátott lézerimpulzusához egy vízszintes és egy magassági szög is tartozik (HERITAGE és LARGE 2009). Egyes gyártók (Leica, Optech) a könnyebb kezelhetőség érdekében a pontok egymáshoz viszonyított függőleges és vízszintes távolságát méri, amit a szkennerek ugyancsak szögfelbontásba számol át (LICHTI, 2004).

A szkennelés megkezdése előtt megadható a szkennelési tartomány beállítása. A szkennerek maximális látószöge nagyban függ a műszer konstrukciójától. A tripodra szerelhető szkennerek körbe tudnak fordulni a saját tengelyükön, vagyis azok horizontális látószöge 360°. Vertikális irányban már nagyobb különbségek vannak az egyes gyártók, sőt az egyes termékek között is. A RIEGL termékpalettáján található szkennerek látószöge 60° (VZ-4000, VZ-6000), illetve 100° (VZ-400, VZ-1000) (RIEGL, 2014), míg a Leica cég által forgalmazott szkennereké nagyobb, függően a pontmérés elvétől. A TOF típusú szkennerek (C5, C10, P20) vertikális látószöge 270°, míg a fázismérés elven működő szkennereké (HDS 6000 és 6100, valamint HDS 7000) nagyobb (310°, illetve 320°) (LEICA GEOSYSTEMS AG, 2014). Napjainkban egyre több cég található a lézerszkennerek piacon, de többségük igen csekély termékpalettával.

2.5.3. A pontfelhő utófeldolgozása, mérési korlátok

A lézeres felmérés során elkészült 3D pontfelhő feldolgozására különböző térinformatikai szoftverek állnak rendelkezésünkre. A szkennerekből lementhető munkaprojekteket, illetve a nyers pontfelhőket általában a gyártók által kifejlesztett szoftverekben kezelhetők (Leica – Cyclone; RIEGL – RiSCAN, RiMINING, RiANALYZE, RiPROCESS; Faro – Scene, stb.). Ezekben a szoftverekben alapvető pontfelhő tisztítási, szegmentálási, modellezési alkalmazások is helyet kaptak, de egyes szofisztikáltabb műveletek elvégzéséhez más szoftverkörnyezetre van szükség. A szoftverek közti átjárhatóságot az exportálási formátumok nagy száma teremti meg.

A földi lézerszkenneres adatok fájlformátuma nem olyan egységes, mint a légi lézeres adatoké. A légi LiDAR felmérés során különböző magasságokból érkezik vissza (*echo*) a lézerpulsus a detektorba, melyek a visszatérés ideje alapján (az objektum magassága szerint) kategorizálhatók (MÜCKE et al., 2012a). Tipikusan elkülöníthető a lombzat a talajfelszíntől, de akár a lombkorona szintezettsége is könnyen azonosíthatóvá válik (WAGNER et al., 2004; WAGNER et al., 2006; DONEUS et al., 2010). A detektorba visszaérkező lézernyaláb többszörös visszaverődésnek köszönhetően az *echo* hullámformájának (*full waveform*) elemzéséhez (CHAUVE et al., 2007; MALLET és BRETAR 2009) megfelelő CAD szoftverháttér megléte szükséges, mely segítségével további objektumok (épületek, hidak, villanyvezetékek, stb.) is detektálhatók a lézerpontok szűrése után (VOSSELMAN és DIJKMAN 2002; ALHARTHY és BETHEL 2004; BRENNER, 2005; TÓVÁRI és PFEIFER 2005). A légi lézeres adatok nagyfokú – a technika fejlődésével egyre bővülő – információtartalma és széles körű alkalmazhatósága igényelte a LiDAR állományok egységes fájlformátumban történő tárolását. Ennek ellenére a légi lézeres adatok tárolására sokáig nem volt egységes. A korábban általánosan használt ASCII formátum szoftverek közötti átjárhatósága problematikus volt. Egyrészt az ASCII adatok beolvasása rendkívül időigényes folyamat még kis mennyiségű adat használatakor is, másrészt a specifikus LiDAR adatok nagy része elveszett (ASPRS, 2009). A probléma megoldása érdekében 2001-ben az Amerikai Fotogrammetriai és Távérzékelési Társaság (*American Society of Photogrammetry and Remote Sensing* – ASPRS) kezdeményezésével elkészítette a LAS 1.0 formátumot. A speciális bináris formátum előnye, hogy egyesíti a GPS, az IMU, valamint az X, Y és Z koordinátákat. A nyílt formátumtípus által biztosítható, hogy az egyes gyártók különböző szoftvereiben történjen meg az egységes formátumba alakítás

(ASPRS, 2003). A lézeres pontfelhőből minél több adat kinyeréséhez a LAS fájltypus fejlődésen ment át. Jelenleg az 1.4-es verzió biztosítja a felhasználó számára a legtöbb információt (ASPRS, 2013).

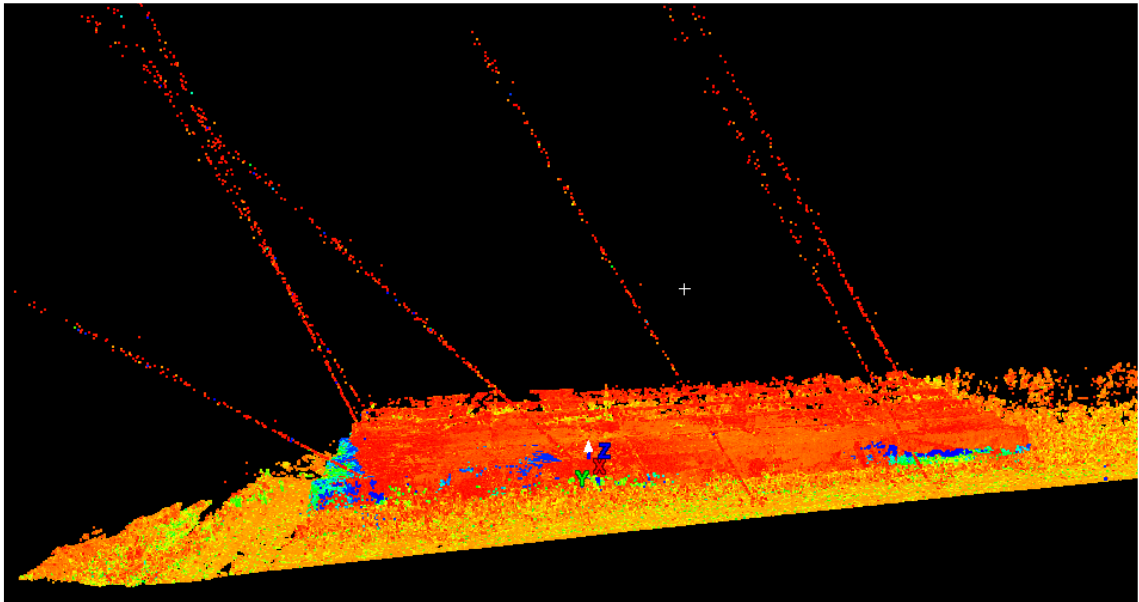
A földi lézeres adatok esetében is szükséges lenne a standard adatformátum bevezetése, így a különböző szkennerekből származó adatok rendszerezése, archiválása, feldolgozása is szakszerűbben lenne elvégezhető, valamint a szoftvergyártó cégek általi fejlesztések is hatékonyabban követhetnék a lézerszkenneres technológia fejlődésének – jelenleg még kiaknázatlan – lehetőségeit (BARBER et al., 2003). A földi lézerszkenneres adatok, egységes formátumban való tárolására is megindultak a kezdeményezések. A 2006-ban megalakult Amerikai Anyagvizsgáló Társaság (*American Society for Testing and Materials* – ASTM) tette az első igazán fontos lépéseket – az addig még nem egységes – 3D földi lézeres adatok standardizálására. A fejlesztések eredményeként készült el az E57-es fájlformátum, amely nemcsak a 3D lézerszkennerekben alkalmazható, hanem az egyéb 3D képalkotó rendszerekben, illetve szoftverekben kimeneti adatformátumaként is helyet kap (HUBER, 2011).

A pontfelhő utófeldolgozása, az eredmények kiértékelése a szkennerek gyártói által készített speciális szoftvereken túl más szoftverekben is megtörténhet. A földi lézeres adatok feldolgozásának első lépése már a terepen elkezdődik, ahol a szkennerekbe épített pontfelhő-megjelenítő szoftver segítségével objektív módon értékeljük a mérést. A nyers, zajos adatokat is tartalmazó pontfelhő tényleges feldolgozása elkülönül a mérés helyszínétől és a feladatot gyakran más személyek végzik (LOVAS et al., 2012).

A műszerből kiolvasott pontfelhő feldolgozásának első lépése a különböző műszerállások pontfelhőinek közös koordinátarendszerbe történő transzformálása (regisztráció), melyek illesztőpontok vagy kapcsolópontokon keresztül (2.5.2. fejezet), automatikusan vagy manuálisan történhet. A regisztráció alkalmával numerikusan vizsgálható, hogy az illesztőtárcsák, vagy a szkennállások pontfelhőiben azonosítható közös pontok által milyen középhiba értékkel (*Root Mean Square* – RMS) transzformálhatók egybe a pontfelhők.

A regisztrált pontfelhő a legtöbb esetben különböző mérési hibákkal terhelt. A hibák forrása mindig függ a mérési helyszíntől. Épületek földi felmérésekor nagy valószínűséggel történik gyalogosok, különböző járművek szkennelése, légi LiDAR-os felmérés esetében többek között madarak okozhatnak problémát. További mérési anomáliát eredményez, ha a szkennerből kibocsátott lézernyaláb nagy visszaverő

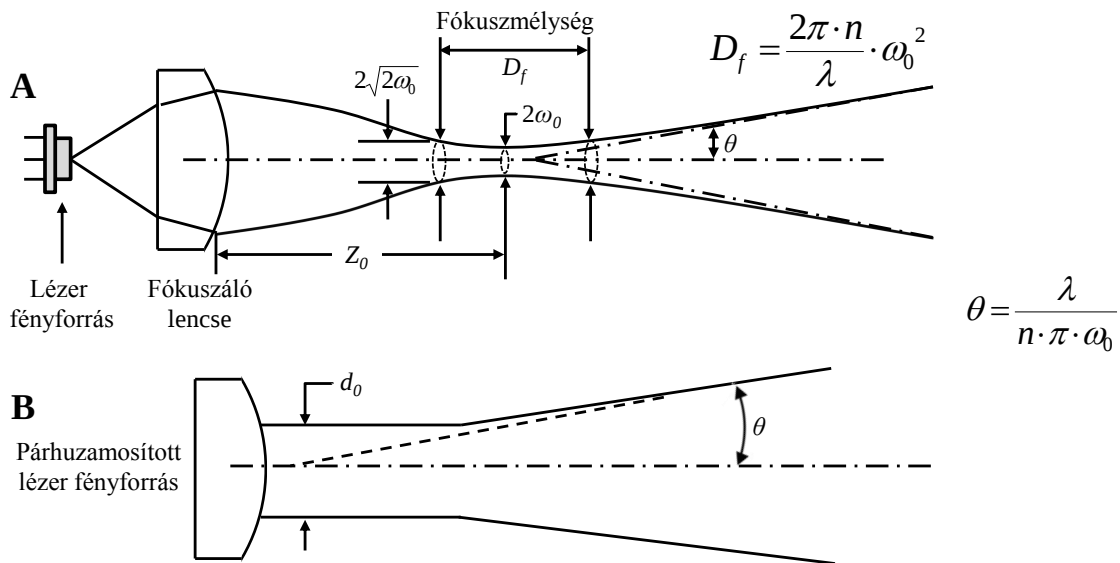
képességű felületeket ér el (RUNNE et al., 2001; LICHTI és BARVEY 2002). Ezekről a felületekről a lézersugár ismét eltérítődik, így a reflektált fény hosszabb utat bejárva kerül vissza detektorba (10. ábra). Ilyen jellegű hibát okozó tárgy lehet pl. a terepi fotódokumentáció során használt fényképezőgép lencserendszere.



10. ábra: Fotódokumentáció során alkalmazott fényképezőgép lencserendszerének eltérítéséből származó tükröződési hiba

Forrás: Saját pontfelhő kivágat

További hibát eredményezhet a lézernyaláb széttartása. Attól függetlenül, hogy a lézer egy nagy koherenciájú fényforrás ugyan, viszont a távolság növekedésével a lézernyaláb divergenciája is egyre nagyobb. A nyaláb szélesedésével a lézerpont átmérője (lábnyom) is egyre nagyobb lesz, amely a pontfelhő felbontásának csökkenését és pozicionálásbeli bizonytalanságát is eredményezheti (WEICHEL, 1990; LICHTI és GORDON 2004; ANDREWS és PHILLIPS 2005). A távoltéri nyalábszéttartás szabad szemmel is érzékelhető, de az ebből származó hiba számszerűsíthető (BORN és WOLF 1999) (11. ábra). A transzverzális profilú Gauss lézernyaláb számos optikai rendszer, így a lézerszkennerek alapját is képezi, azok mérési korlátaival.



11. ábra: A fókuszált (A) és párhuzamosított (B) lézernyaláb divergenciájának számszerűsítése

Forrás: BERARDIN et al., 2010 alapján saját szerk.

ahol,

θ – a lézernyaláb nyílásszögének fele (divergenciaszög)

λ – a lézersugár hullámhossza

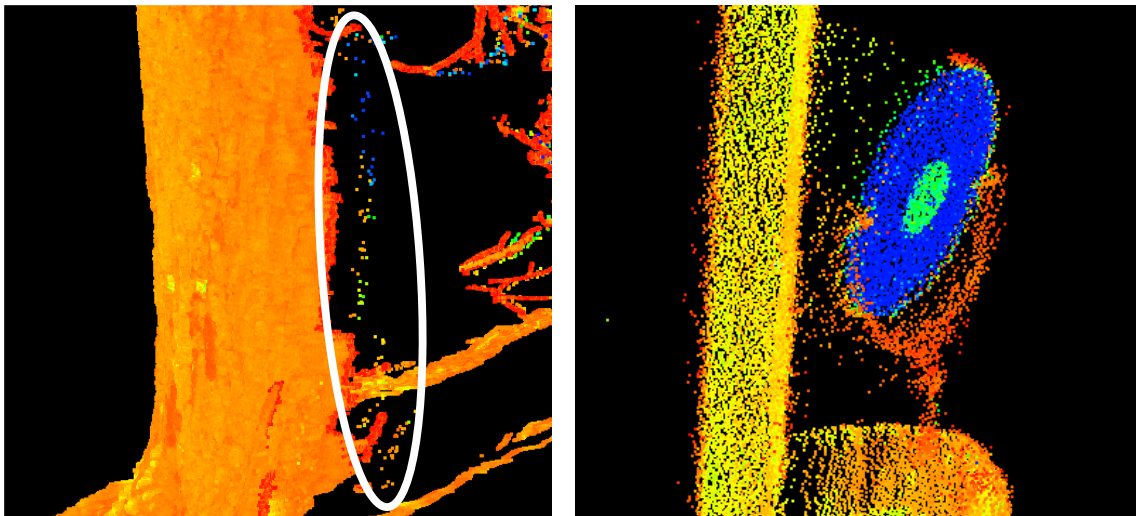
ω_0 – a lézer nyaláb nyakának sugara

n – a közeg törésmutatójának értéke (vákuumban, $n=1$)

Az egyenlet abban az esetben bővíthet egy nyalábszéttartási faktorról (M^2), ha a lézerfény nem közelíti meg a Gauss-nyalábot (ISO-11146-1, 2005). Minél kevésbé közelíti az ideális nyalábot, annál nagyobb ennek a módosító faktornak az értéke, amely akár 2-nél nagyobb értéket is felvehet (SHIMODA, 1986; ALMÁSI et al., 2013).

A mérési távolság függvényében szélesedő átmérőjű lézernyaláb egyre nagyobb valószínűséggel ütközhet a vizsgált tárgy szélébe. Ekkor a lézernyaláb kettéhasad, a lézerjel egyik része az elülső, másik része a hátulsó objektumról, tehát két különböző távolságról érkezik vissza a detektorba (HEBERT és KROTKOV 1992; BOEHLER et al., 2001). Abban az esetben, ha hullámforma-elemző nincs a lézerszkennerekbe építve, úgy az adott pont pozíciójának számítási módszere alapján a felvételezett pont helyzete a tárgy, illetve a háttérrel visszajutó lézernyaláb távolságának átlaga lesz. Ezek a lézerpontok – bizonyos esetekben – eltávolítandó zajként találhatók a pontfelhőben. A várható hiba milliméterestől akár deciméteres nagyságrendű is lehet (BOEHLER és

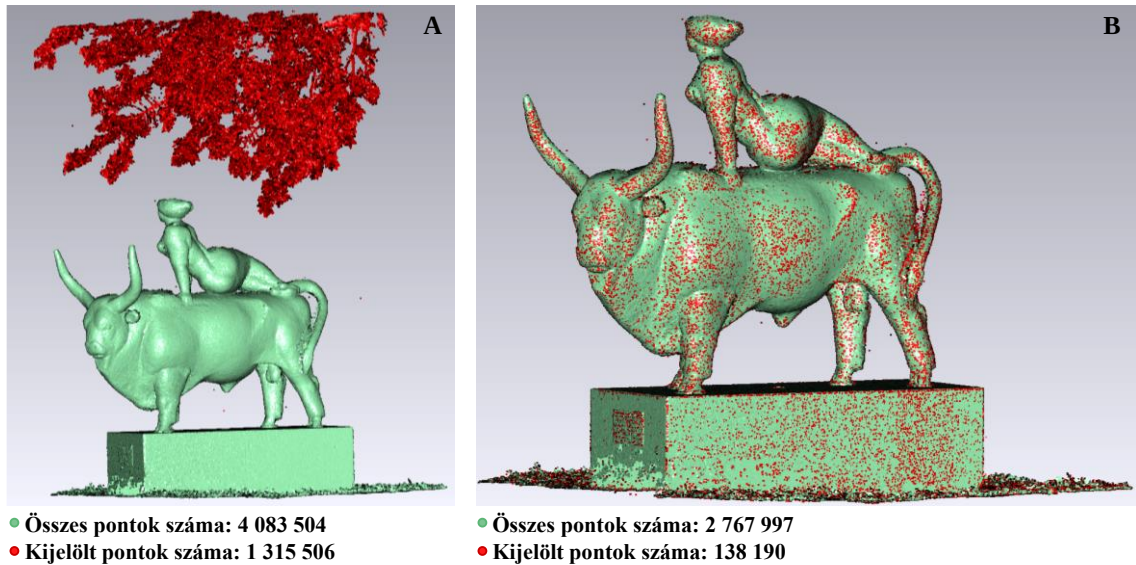
MARBS 2005). Ez az ún. kevert szélek (*mixed pixel, mixed points, edge effect*) problémája (SANZ-CORTIELLA et al., 2011a), aminek eredménye lehet a távolság meghatározásának pontatlansága (12. ábra). A földi lézerszkennelés során bekövetkező ún. többszörös visszaverődés problémáira már korai tanulmányok is felhívják a figyelmet (LICHTI et al., 2000; LICHTI et al., 2002), ami a széthasadó lézernyaláb által okozott „átlagolt” távolságmérés egyik eredménye. Nagy felbontású felmérésnél, vagy az illesztőtárcsák, illetve vegetáció szkennelésénél ez a hiba fokozódik, ugyanis a növényi részek meglehetősen kevesebb síkfelülettel rendelkeznek, mint pl. az épületek.



12. ábra: Nagy felbontású szkennelés eredményeként megjelenő kevert szélek hibái

Forrás: Saját pontfelhő kivágat

A műszergyártók által fejlesztett legtöbb szoftverben csak pontfelhő regisztrációs, alapvető tisztítási, illesztési, illetve szűrési feladatainak elvégzése lehetséges, ezért a szofisztikáltabb feladatok elvégzéséhez egy megfelelő formátumú végtermék előállítása szükséges. Utófeldolgozó szoftverekben az egyes szűrési feladatok nagyobb hatékonysággal végezhetők el, mint a műszergyártók gyári szoftvereiben. A nem kapcsolódó pontok, illetve pontthalmazok eltávolítása automatikus módon, szomszédsági kapcsolatrendszer alapján történik (13. ábra), ahol a filterezés érzékenysége a pontfelhő struktúrája alapján változtatható.



13. ábra: Nem kapcsolódó komponensek (A) és nem kapcsolódó pontok (B)

automatikus eltávolítása Geomagic Studio 12 szoftverkörnyezetben

Forrás: Saját pontfelhő kivágat

Az utófeldolgozó és modellező 3D szoftverek drágábbak, mint a műszergyártók szoftverei. A szoftverek közös tulajdonságai, hogy az egyes munkafolyamatok, matematikai algoritmusok a felhasználók számára gyakorlatilag ismeretlenek maradnak (PFLIPSEN, 2006; LOVAS et al., 2012).

A pontfelhő kiszínezése – mint a felhasználót támogató lehetőség – a vizuális kiértékelést segíti. A pontfelhő színei más-más algoritmus által generáltak. Az objektumról visszaérkező lézernyaláb intenzitási értékei szerint minden egyes lézerpont egy RGB színkódot kap, melyből az objektum színére, anyagi tulajdonságaira is lehet következtetni (BERÉNYI et al., 2010). Az intenzitási színértékek alapján vizuális szegmentáció végezhető. Normál esetben az intenzitásértékek 0 és 1 közé eső számok. Az utófeldolgozási folyamatot megelőzően a pontfelhőt szükséges exportálni. A Leica Cyclone a pontfelhő exportálása során az intenzitási értékek automatikus átkonvertálásra kerülnek, függően az exportálási formátumtól. Bizonyos formátumokban (*.PTX) az intenzitásértékek egy normalizált szürkeárnyaltos tartomány értékeit veszik fel (0-255). Más formátumok esetében (*.PTS) további módosítások történnek az intenzitásértékekkel, melynek eredményeként -2047 és 2048 közötti numerikus skálatartományba kerülnek az értékek. A valós intenzitásértékek az átskálázott intenzitásértékekből visszaszámolhatók:

$$INT_{valós} = \frac{INT_{konvetrált}}{255}$$

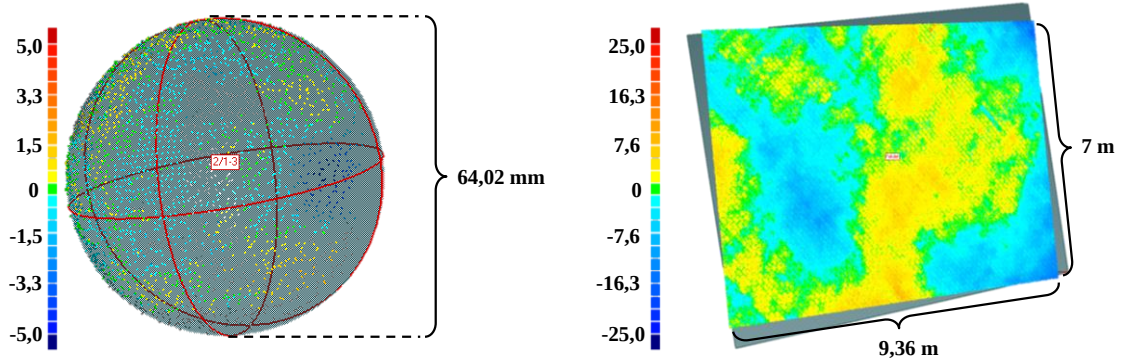
$$INT_{valós} = \frac{INT_{konvetrált} + 2047}{4095}$$

Több utófeldolgozó szoftver közvetlenül nem képes értelmezni egyes lézerszkennergyártó cégek által fejlesztett pontfelhő feldolgozó szoftverekből kinyerhető pontadatok intenzitásértékeit.

A pontfelhő kiszínezhető a magassági értékek szerint, amely többszínű, illetve szürkeárnyalatos színskálát is jelenthet. A szürkeárnyalatos színkulcs az egyik legegyszerűbb módja a színezésnek. Az algoritmus meghatározza a pontfelhő legalacsonyabb és legmagasabb pontját, majd a szürke szín árnyalatait interpolálja minden magassági pont között. A magasabb pontok világosabb, míg az alacsonyabb pontok sötétebb színértékeket vesznek fel, viszont fordított színskála alapján is megjeleníthető a pontfelhő. Ennek a megjelenítési technikának köszönhetően könnyebben elkülöníthetők a talajfelszíntől az egyes objektumok. Bizonyos esetekben érdemes a színes, illetve szürketónusú kép kontrasztján javítani (VOSSELMAN és KLEIN 2010). A felhasználót, illetve magát a 3D pontfelhő feldolgozását, valamint a vizuális értékelést színes fotók is támogathatják. A fényképező szerkezet lehet a műszerbe épített, vagy arra installálható. A beépített fényképezőrendszerek esetében a kamera látószöge limitált, így relatíve több (akár több száz) felvétel mozaikozásával készül el a panorámafotó, amely térben kiigazított, a pontfelhővel összekapcsolható. A beépített fényképezőgéppel rendelkező lézerszkennerek geometriai és radiometriai felbontása korlátozott, így az objektív torzítása is jelentős (LOVAS et al., 2012). A fotók a pontfelhőre illeszthetők, így az egyes pontok koordinátái, valamint intenzitásértékei mellett a fénykép(ek) RGB értékei is exportálhatók, segítve ezzel a szűrés, az utófeldolgozás és a vizualizáció lehetőségeit (CALLIERI et al., 2002; ARAYICI, 2007).

A pontfelhő feldolgozásakor egyik leggyakrabban használt feldolgozási művelet a pontfelhőre való sík-, vagy térbeli felület illesztése. Már az 1970-es évek elején több kutatás bemutatta a szórt pontokra történő matematikai felületillesztés lehetőségét (COX, 1971; HAYES és HALLIDAY 1974), miközben azok nehézségeire és problémáira is különös figyelmet szenteltek (FARIN, 1990; DIERCKX, 1995). A görbe- és felületillesztés egyik leghatékonyabb módszere a legkisebb négyzetek minimalizálásának elve, ami egy analitikus függvényillesztés. A számítógépes háttér és grafikus elemek fejlődésével a térbeli felületillesztés is folyamatosan fejlődött (GOSHTASBY, 2000; SAUX és DANIEL

2003). A legtöbb pontfelhő feldolgozó szoftverben – így az adott műszergyártó által készített alapszoftverekben is – különböző sík- és térbeli illesztési és modellezési algoritmusok használhatók (SCHNABEL et al., 2007). A pontfelhőre szinte bármilyen illesztési algoritmus „rákényszeríthető”. Az illesztés minősége vizsgálható a korrelációs együttható segítségével, de egyes szoftverekben az illesztett alakzat körül elhelyezkedő pontok felülettől való eltérése is, egyfajta hibatérképpel vizsgálható (14. ábra).

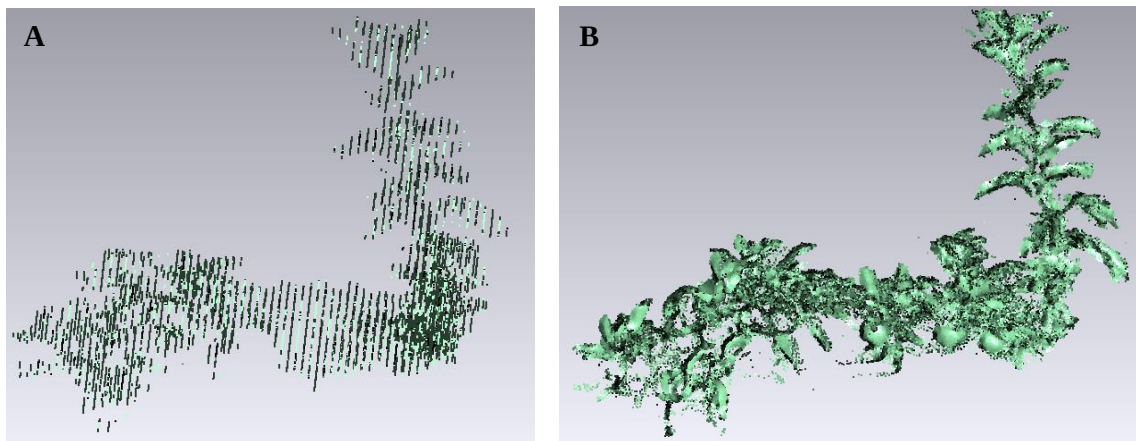


14. ábra: Pontfelhő alapú gömb-, illetve síkillesztés hibatérképe (mm-ben) Geomagic Studio 12 szoftverben

Forrás: Saját szerkesztésű hibatérkép

A feldolgozás egyik leghatékonyabb módja a térbeli felületháló (*mesh*) feszítése a pontfelhőre. A feldolgozó szoftverekben található algoritmus a pontfelhőben található összes pontot felhasználja, hogy szabálytalan háromszögekből (*Triangulated Irregular Network* – TIN) elkészítse az összefüggő felületmodell. A felületháló csomópontjait a térbeli pontok adják. A TIN háló felépítésére a Delaunay háromszögelési eljárás használatos, ami az egyik leggyakoribb háromszögelési módszer (OKABE et al., 1992). A módszer lényege, hogy olyan módon történik három lézerpont térbeli összekötése, hogy a (húr)háromszög köré írt kör, illetve gömb kerületén, vagy területén további pontok nem tartózkodnak (DEVROYE et al., 1998; HANS, 2000). Annak ellenére, hogy a Delaunay háromszögelési szabályok adottak, az egyes szoftverekben a felületháló elkészítése különböző séma szerint történhet. Az elkészült háromszögek viszont szerkeszthetők, finomíthatók, simíthatók, új csúcsok, töréspontok, vonalláncok helyezhetők el a modellben. A háromszögelési eljárás eredményeként egy zárt felület generálható, így térfogat és felszín számítása is lehetségessé válik (LIN et al., 2004; KERN, 2005; PFLIPSEN, 2006).

Annak ellenére, hogy az utófeldolgozó szoftverek bejövő és kimenő fájlformátumának palettája igen széles és a feldolgozási műveletek számos lehetőséget biztosítanak a felhasználók számára, bizonyos pontfelhő-beolvasási hibák előfordulhatnak. A 2.5.2. fejezetben leírtak szerint, a lézerszkenneres felmérés során minden lézerimpulzushoz egy vízszintes és egy magassági szög is tartozik. Ezekből az adatokból kiszámíthatók a pontfelhő pontjainak térbeli koordinátái, akár a műszer saját koordinátarendszerében, akár földrajzi vagy vetületi rendszerben. A legtöbb feldolgozó szoftverben a koordináta transzformáció véghezvihető, de egy földrajzi vagy vetületi rendszerbe transzformált pontfelhő másik szoftverbe történő importálása bizonyos megjelenítési hibákat eredményezhet (15. ábra).



15. ábra: EOVS vetületi (és HD72 vonatkoztatási) rendszerbe (A) és a szkennelés saját koordináta rendszerébe (B) importált pontfelhők Geomagic Studio 12 szoftverkörnyezetben

Forrás: Saját pontfelhő kivágat

3. Anyag és módszer

3.1. Kísérleti helyszínek bemutatása

Kutatásaim során két különböző helyszínen folytattam méréseket. A gyümölcsfák spektrális és 3D lézeres vizsgálataihoz a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Debreceni Tangazdasága és Tájkutató Intézete, Pallagi Génbank és Gyakorlóléhelye biztosította a helyszínt, míg a GPS korrekciókkal végzett vizsgálatokat a Helianthus Növénytermelő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. egyik mezőgazdasági területén hajtottam végre.

A Pallagi Génbank és Gyakorlóléhely bemutatása

A Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Debreceni Tangazdasága és Tájkutató Intézete, Pallagi Génbank és Gyakorlóléhelyen létesített fajtagyűjteményt számos alma, cseresznye, meggy, kajszli, őszibarack és szilva fajta alkotja, ahol különböző korú és térállású alanyokon végeznek metszési, öntözési, hozam, agrometeorológiai és jégvédelmi kísérleteket (GONDA et al., 2001; HOLB et al., 2009; LAKATOS et al., 2011; SZABÓ et al., 2011).

A földközeli távérzékelte adatok begyűjtésének helye a Kísérleti Telep északi részén található csepegtető öntözőrendszerrel ellátott intenzív almagyümölcsöse volt. Vizsgálataim túlnyomó többsége a 2006-ban telepített (0,6 ha) ültetvény egy kisebb (0,1 ha) részletét kitevő, jégvédővel védett területére koncentrálódott. A jégvédővel védett vizsgálati rész 6 sorból áll, a sorok hosszúsága 50 m. Az ültetvény térállását 4 méteres sortáv és 1 méteres tőtáv jellemzi. A vizsgált területen elhelyezkedő M9 alanyú almafajták területi megoszlása a következő: két sor *Golden Reinders*, két sor *Early Gold*, egy sor *Gala Galaxy*, egy sor pedig *Gala Must*.

FÓRIÁN et al. (2010) földi geodéziai és légi fotogrammetriai úton készítették el a Kísérleti Telep kísérleti gyümölcsültetvényeinek teljes nagyfelbontású digitális adatbázisát, így az általam vizsgált jégvédő terület is felmérésre és digitalizálásra került (16. ábra).

DEBRECENI EGYETEM
Pallagi Kertészeti
Kísérleti Telep

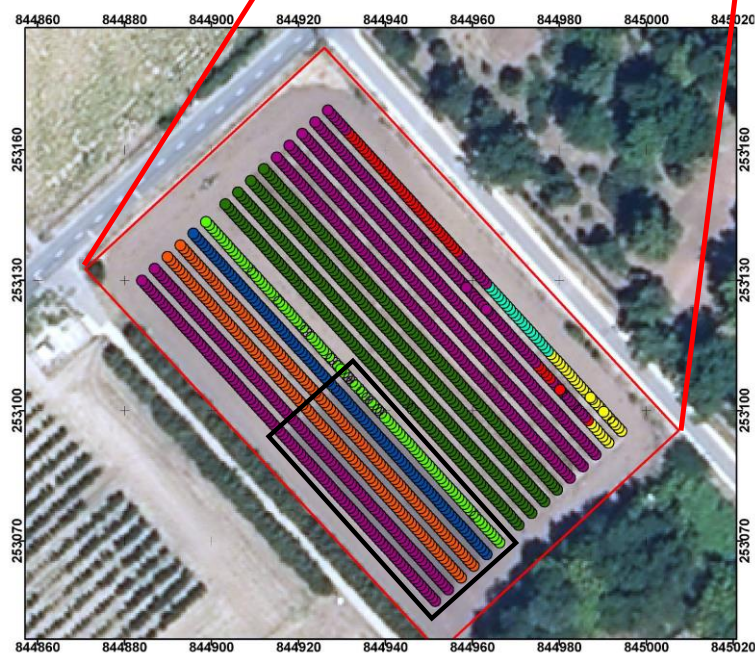
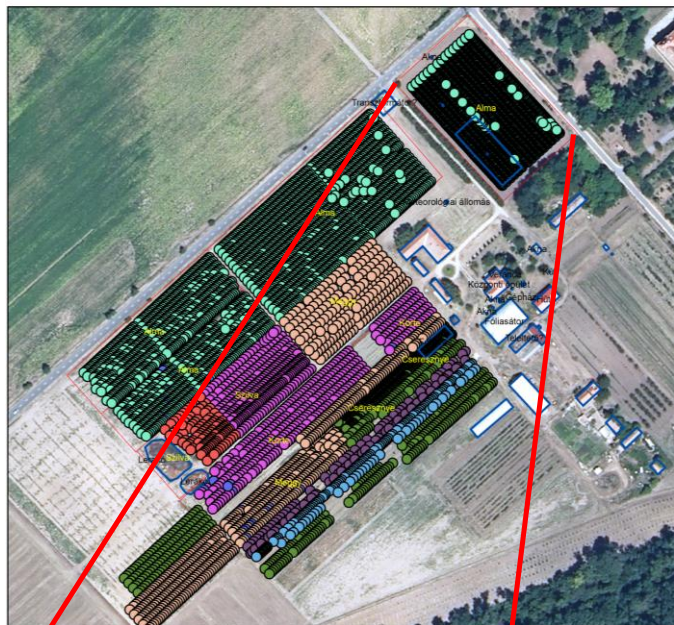
Jelkulcs

GYÜMÖLCSFÁK

-
- Alma
- Cseresznye
- Japán szilva
- Kajsziarack
- Meggy
- Szilva
- Őszibarack



0 25 50 100
Méter



Jelkulcs

Fajták

- Bucheye Gála
- Early Gold
- Golden B
- Golden Reinders
- Gála Annaglo
- Gála Galaxy
- Gála Must
- Pinova

16. ábra: A Pallagi Génbank és Gyakorlólhely jéghálós gyümölcstüftvény helyzetének bemutatása és a terület fajtaösszetétele.

Forrás: FÓRIÁN et al., 2009, 2010 alapján saját szerk.

Az általuk létrehozott térinformatikai adatbank minden egyes fájához attribútumként rendelték hozzá az egyedre vonatkozó adatokat (fajtanév, telepítés éve, metszés, permetezés ideje, kijuttatott tápanyag mennyisége, stb.). Valamennyi kísérleti kombinációt szintén fa szinten mérték fel. Az egyedi azonosító lehetővé tette, hogy minden kezelés és kísérleti eredmény az adatbázisból térhelyesen lekérdezhetővé váljon

(FÓRIÁN et al., 2009), továbbá biztosítja annak szerkesztését a jövőre vetített kutatási adatok, illetve eredmények tárolása érdekében.

3.2. Helymeghatározási és vezérlési vizsgálatok bemutatása

A helymeghatározási és automatikus kormányzási pontossági vizsgálatokat az adonyi székhelyű Helianthus Növénytermelő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. egyik szántóföldi területén (blokkazonosító: JJRDJ-5-09) végeztük el. A méréssorozatra 2011. augusztus 11-17-e között került sor. A mérések alkalmával egy Trimble Autopilot (Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA, USA) hidraulikus robotpilóta rendszerrel felszerelt és egy FmX (Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, CA, USA) fedélzeti számítógép által működtetett New Holland T 6030 traktor kormányzási pontosságát vizsgáltuk. A traktorba két vevőkészüléket helyeztünk el, így az egyik (FmX_1) a pozicionálási adatokat rögzítette, a másik (FmX_2) a vezérlési feladatokat látta el. A tesztávok kb. 130 m hosszú, geodéziailag kitűzött egyenes szakaszok voltak. Az automatikus kormányzás pontosságát 10 ismétlésben végeztem el: észak-dél (É-D), dél-észak (D-É), kelet-nyugat (K-Ny) és nyugat-kelet (Ny-K) irányokban. Az ismétléseket minden irányból elvégeztük, különböző GPS korrekciós jeleket használva: korrekció nélküli mérés (No CORR), EGNOS, OmniStar VBS, OmniStar HP, valamint saját bázisú RTK és GNSS hálózat. Értékeltem, hogy mely korrekciók esetén biztosítható pontosabban az automatizált munkagépvezérlés.

A bázisállomást (Trimble AgGPS 450 RTK bázisállomás beépített rádióval) 20-23 m magasságba telepítették egy silótorony tetejére, melynek rádiója 450 MHz-en, 12,5 kHz-es csatorna kiosztással és 2 W kimeneti teljesítménnyel üzemelt. A mérést az RTK bázisállomástól kb. 600 m-re végeztük el. A GNSS RTK hálózat használatkor a korrekció a hálózat budai bázisállomásáról érkeztek, egy Trimble AG3000 GPRS modem és Telenor SIM kártya segítségével. A tesztterület lejtő- és növényzetmentes volt, sem természetes, sem mesterséges objektum nem befolyásolta a GPS jelek vételét. A traktor 9. sebességfokozatban a 1520 motorfordulat/perc mellett, átlagosan 6,4 km/h sebességgel haladt. Az FmX_1 fedélzeti számítógép vezérelte az automatikus kormányzási rendszert és egy ún. „Track 3D” fájlban gyűjtötte a mérés adatait, többek közt az aktuális pozíciót, a mérési pontok idejét, a HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) értéket, a VDOP (*Vertical Dilution of Precision*) értéket, valamint az „Offline distance” értékeket, ami az aktuális AB-vonaltól való eltérését (letérési

távolság) fejezi ki centiméterben, valamint esetlegesen csatlakoztatható szenzorok által mért adatokat. Ugyanezen adatok kerültek rögzítésre állandó saját bázisos RTK jel vétellel a másik fedélzeti számítógép (FmX_2) által. Ennek a dupla mérésnek a célja az volt, hogy csökkentsük a GPS jelek pontatlanságából eredő mérési hibákat. Ugyanazt a korrekciót használva robotpilóta vezérlésre és adatrögzítésre, a kevésbé pontos korrekcióból adódó helymeghatározási hiba terhelné mindkét folyamatot, és így a kormányzás és helymeghatározás hibája nem lenne elkülöníthető. Különösen, hogy a különböző pontosságú GPS korrekciók különböző mértékben befolyásolnák a méréseket. Mivel az adatrögzítés azonos, és feltételezett legpontosabb RTK jel, használatával történt, ennek hatása az egyes mérések során azonosnak tekinthető.

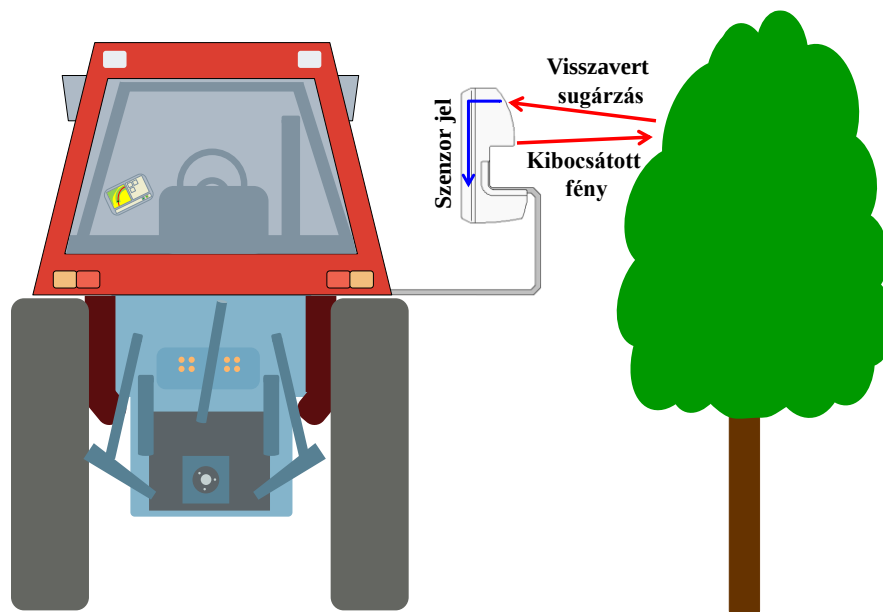
A robotpilótát a gyári előírásoknak megfelelően kalibráltuk. Az adatgyűjtést akkor kezdtük el, amikor a traktor kormányhidraulika olaj hőmérséklete elérte az üzemi hőfokot, valamint az adott korrekciós jelek teljes mértékben konvergáltak. A konvergencia állapotát a Trimble AgRemote alkalmazáson követtük nyomon. A mérés során az adatok feldolgozását Microsoft Excel 2007 alkalmazással végeztük el.

3.3. Spektrális mérések

A spektrális mérések célja az ültetvény és a sorközök gyomborításának tér- és időbeli változás vizsgálata volt, így a növénytermesztési tér monitorozása, valamint a spektrális változások matematikai összefüggéseinek leírása válik elvégezhetővé.

3.3.1. Terepi vegetációs indexméter

A lombzat és a gyomborítottság terepi spektrális vizsgálatait földi távérzékelési eszközökkel hajtottuk végre. A vegetációelemzést a GreenSeeker 505 szenzorral (NTech Industries, Inc., Ukiah, CA, USA) végeztük el (17. ábra). A műszer az aktív távérzékelők családjába tartozik, mivel saját megvilágítást használ, így napszaktól függetlenül használható. A GreenSeeker két hullámhossz-tartományban bocsát ki fényt egy téglalap alakú résen minden 100 ms-ban, ám az adatrögzítés intervallumát a kapcsolt szinkronizáló rendszer teljesítménye szabja meg.



17. ábra: A GreenSeeker 505 vegetációs indexméter működési elve

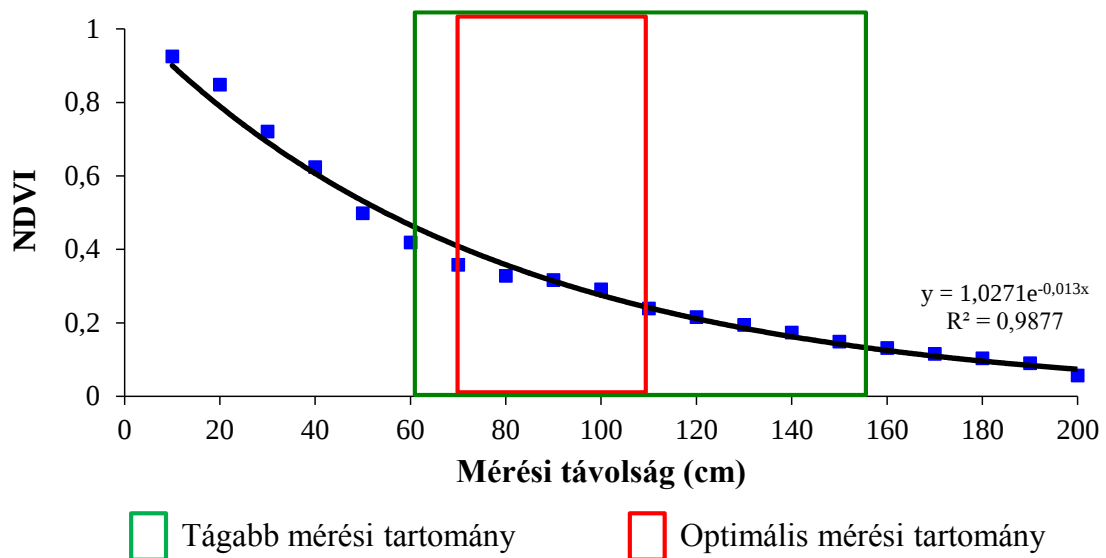
Forrás: Saját szerkesztés

A műszer a vörös (RED) fényt 656 nm-es, míg a közeli infravörös (NIR) sugárzást 774 nm-es hullámhossztartományban bocsátja ki. Az emittált fényt nem konstans módon sugározza ki a műszer, hanem egy unimodális (egycsúcsú) szimmetrikus görbe eloszlása szerint. A félmagasságban mért csúcsszélesség, azaz a félértékszélesség (*Full Width at Half Maximum – FWHM*) mind a RED, mind pedig a NIR tartományban kb. 25 nm. A lombzat felületéről visszaverődött fényt egy kör alakú ablak fókuszálja a detektorba, ahol a műszer 5 különböző – bár egymással szorosan korreláló – vegetációs indexet kalkulál ki, melyből az NDVI értékeket használtam a vegetáció elemzésére.

A szenzor gyári adatai alapján az optimális üzemelési távolság a vizsgált objektumtól 70-110 cm, ugyanakkor tágabb mérései tartományban (61-157 cm között) is mindössze $\pm 0,04$ az NDVI-értékbeli potenciálisan felmerülő hiba értéke (NTECH INDUSTRIES INC., 2006). Az – elsősorban szántóföldi felmérésekhez tervezett – eszközt 90°-kal elforgattuk, így a fasorokkal párhuzamosan haladva tudtuk végrehajtani a méréseket. Mivel ilyen eltérő alkalmazáshoz nem állt rendelkezésünkre gyári távolság beállítási ajánlás, így azokat saját terepi és labormérésekkel határoztuk meg.

A vegetációs indexméter maximális mérési távolságáról a gyártó cégnél nem volt információnk. Mivel a hiba kismértékű, így saját méréseinkkel meghatároztuk, hogy melyik az a legtávolabbi pont, ahonnan még adatokat gyűjt a műszer (18. ábra). Zárt laboratóriumban egy gyümölcsfa csemete NDVI értékeit vizsgáltuk meg 3 ismételtsben,

10 cm-es távolságonként. A távolság és az NDVI index változása közti exponenciális összefüggést 2 m-ig tudtuk meghatározni, ugyanis az ennél távolabbról visszaérkező jelek a szóródás miatt olyan mértékben gyengülnek, hogy a detektor már nem tudta a beérkező jeleket feldolgozni.



18. ábra: A GreenSeeker 505 szenzor távolsága és a mért NDVI érték közötti összefüggés

Forrás: Saját szerkesztés

A laboratóriumi mérések és a forgalmazó cég adatai alapján törekedtünk arra, hogy a felmérni kívánt felülettől egyenletes távolságban, kb. 0,8-1 m-re végezzük vizsgálatainkat. Méréseink alkalmával egy, a 3.2. fejezetben említett Trimble cég által forgalmazott AgGPS FmX fedélzeti számítógépet használtunk a GreenSeeker kezelőfelületeként. Vizsgálataink során az ültetvény és a sorközök részletes vegetációanalízisét kívántunk végezni, így a fedélzeti számítógép másodpercenként rögzítette GPS koordinátákat, illetve egyéb pozicionálási szempontból fontos adatokat. Ezekhez az értékeket csatolta a fedélzeti számítógép a mért vegetációs indexekhez. Mind az AgGPS FmX monitort, mind pedig a GreenSeeker 505 típusú szenzort egy traktorra szereltük. A traktor haladása a mérések során egyenletesnek volt mondható, amit a sebességi adatokból számolt kis értékű szórás bizonyított.

Az adatok számítógépes feldolgozását a Surfer 11 (Golden Software, Inc., Golden, CO, USA) térinformatikai szoftverkörnyezetben végeztük. A lombozatról gyűjtött NDVI értékek térképezéséhez a legközelebbi szomszéd (*Nearest Neighbor*)

interpolációs technikát alkalmaztam. A gyakorlatban ezt az interpolációs eljárást ritkán alkalmazzák annak robusztussága miatt, ugyanis a térbeli becslés során az interpolálandó rácspont NDVI értéke felveszi a legkisebb távolságra lévő szomszéd NDVI értékét. Ugyanakkor a lombozat térképezéséhez ez a technika bizonyult megfelelőnek. A sorközök gyomborításának térképezéséhez Krigelési technikát alkalmaztunk.

3.3.2. Multispektrális képalkotó rendszer

A gyom, illetve kultúrnövény elemzése érdekében a Tetracam ADC (Tetracam, Inc., Chatsworth, CA, USA) szélessávú multispektrális digitális képalkotó rendszerrel földi felvételezést végeztünk (19. ábra), melynek további célja a lombozat és a gyomfelmérések validálása volt. A képalkotó rendszerrel történő vizsgálat statikus pontmérésként kezelhető, ugyanakkor a kamera felbontásának köszönhetően nagyobb területek vizsgálatát is lehetővé tette.

A kamera három spektrális csatornájának – zöld (520 és 600 nm), vörös (650-750 nm) és közeli infravörös hullámhossz (750-950 nm) – megfelelő kombinálásával szoftveresen vegetációs indexek számíthatók, mellyel a vizsgált terület vegetációs aktivitását elemezhetjük. A készülék digitális felbontása 1280x1024 pixel és 1,3 megapixeles (Motorola CMOS) érzékelővel rendelkezik. A CMOS szenzort egy Bayer RGB szűrő fedi le. A kék sáv érzékenységeinek csökkentését egy sárga színű üvegszűrő végzi.



19. ábra: Multispektrális képalkotó rendszer

Forrás: Saját fotó

A kamera passzív távérzékelő, így a felvétel készítése előtt, valamint az időjárás megváltozása esetén (pl. felhősödés) a műszert kalibrálni szükséges. A kalibráció a kamerához gyártott speciális fehér teflon lemezzel végezhető el (TETRACAM INC., 2002). A digitális képelemzés a PixelWrench2 (Tetracam, Inc., Chatsworth, CA, USA) szoftverben történt. A készülék vörös, zöld és infravörös tartományban készült felvételei külön kezelhetők, így lehetőség nyílt további szoftveres utófeldolgozásra, mely során az IDRISI Taiga-t (Clark Labs, Clark University, Worcester, MA, USA) használtunk.

3.3.3. Laboratóriumi spektrométer

A gyümölcsök érésének nyomonkövetését laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk és értékeltük az Avantes AvaSpec 2048 spektrofotométerrel. A hiperspektrális szenzor mérési intervalluma 400-1000 nm, spektrális felbontása 0,566 nm, pontossága pedig 1 nm-es. A spektrométerhez tartozik egy deutérium-halogén fényforrás (AvaLight-HAL), illetve egy 8 µm magátmérőjű száloptika. A halogén fényforrás szerepe, hogy állandó fényintenzitású energiát (1 µWatt) biztosít a teljes mérés során. A pontosabb spektrális méréshez egy speciális zárt laborszekrényt használtunk, kizárva a napfényt és bizonyos mesterséges fényforrások zavaró jelhatásait. A mintáról reflektált fény az optikai kábelben keresztül és egy optikai rácson át jut a spektrométerbe. Az optikai rácson által felbontott fény egy 2048 pixelből álló CCD detektorra kerül (a pixelek mérete 14x56 µm).

A gyümölcsérési vizsgálatok két almafajtára terjedtek ki (*Early Gold* és *Gála Must*), melyek spektrális vizsgálata a betakarítás időpontjától függően, 6, illetve 7 időpontban történt. A nagy felbontás eredményeként kapható spektrális görbék bizonyos pontjai, illetve az azokból számolható vegetációs indexek (BRI – *Browning Reflectance Index* és PSRI – *Plant Senescence Reflectance Index*) alkalmasak az érés vizsgálatára.

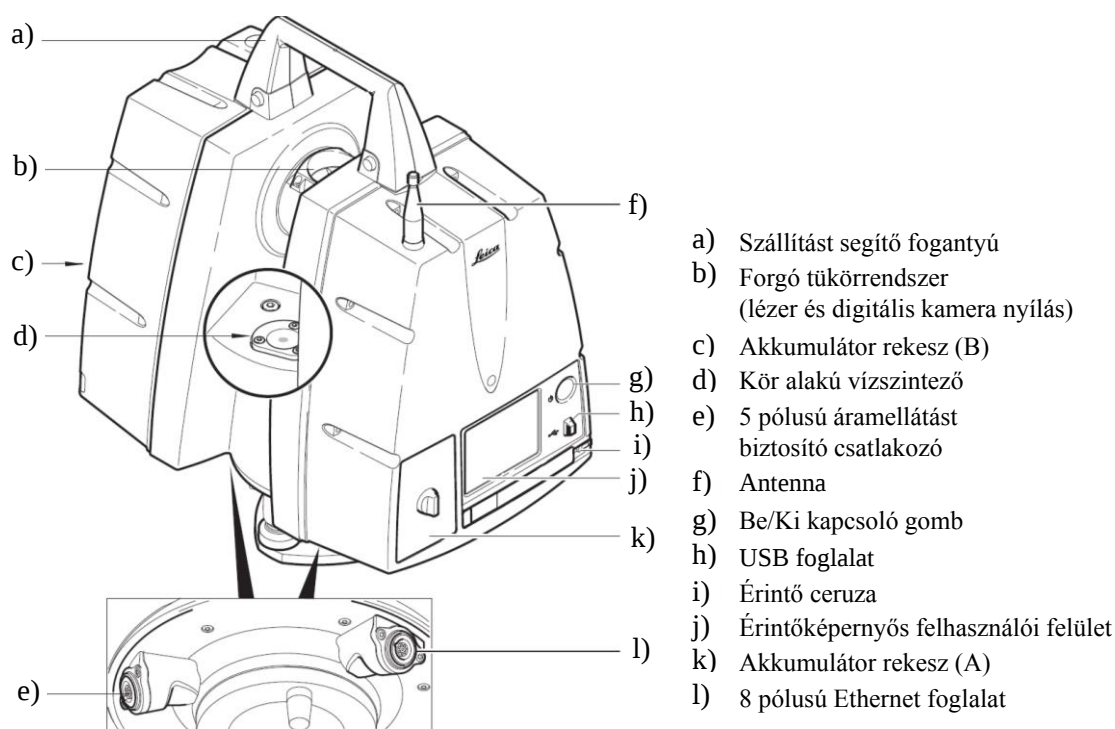
$$BRI = \frac{\left(\frac{1}{\lambda_{550nm}} - \frac{1}{\lambda_{700nm}} \right)}{\lambda_{750nm}} \quad PSRI = (\lambda_{678nm} - \lambda_{480nm}) \cdot \frac{1}{\lambda_{800nm}}$$

A mérés előtt a műszer fekete és fehér kalibrációját el kell végezni. A fehér referencia anyaga speciális, nagy visszaverő képességű WS-2 teflon

(polytetrafluoroethylene – PTFE). A készülék oldatok spektrális vizsgálatára is alkalmas, a száloptika végén található speciális szenzor teszi lehetővé a vizsgálandó oldatba való merítést.

3.3.4. Földi 3D lézerszkennerek

A gyümölcsfák és a vizsgált területen elhelyezkedő gyomok térszerkezeti vizsgálatát a Leica ScanStation C10 (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Svájc) földi lézerszkennerral végeztük el (20. ábra). Mivel a kertészeti ültetvények környezetének 3D földi lézerszkennelése korábbi hazai vizsgálatok során nem történt meg, illetve a nemzetközi szakirodalomban is főleg erdészeti példákat találunk (PFEIFER et al., 2004; DASSOT et al., 2011; SEIDEL et al., 2011), így a módszer technikai hátterét részletesen taglalom.



20. ábra: A Leica ScanStation C10 3D lézerszkennerek felépítése

Forrás: Leica Geosystems AG, 2011 alapján saját szerk.

A műszer mérési elve a lézernyaláb terjedési idején (*Time-of-flight* – TOF) alapszik (2.5.2. fejezet): egy adott közegben – bizonyos hullámhosszúságú – fény halad egy véges és konstans sebességgel. A vizsgált objektumot elérő, majd visszajutó fény időkülönbségéből lehet kiszámítani a távolságot.

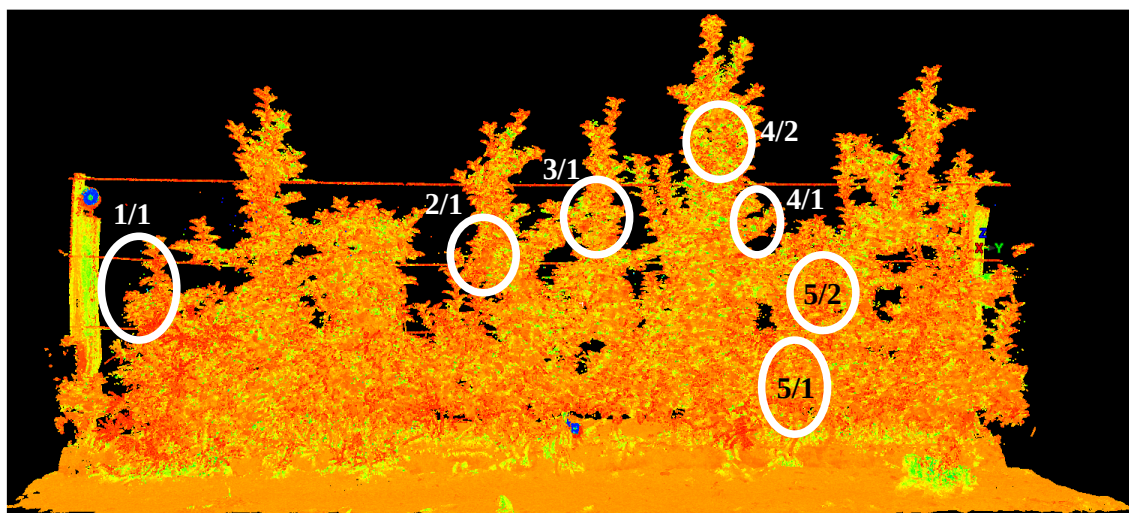
A mért objektumok pozícióját, valamint 3D-s strukturális tulajdonságainak gyors meghatározását az akár 50 000 pontmérés biztosítja másodpercenként. A szkennerek egy zöld (532 nm hullámhosszúságú) lézertárcsával pásztázza a vizsgált objektumot. A lézertárcsák eltérítését egy Smart X-Mirror™ forgó poligon tükörrendszer biztosítja, így lehetővé válik a több millió pontból álló pontfelhő elkészítése, akár egyetlen szkennelésből is. A gyümölcsfák, és az azokon található gyümölcsök tényleges térbeli, geometriai, topológiai rekonstrukciójának feltétele, hogy azokat a műszer több szkennelésből mérje fel. A műszer látószöge horizontálisan 360°, vertikálisan 270°. A lézertárcsák mellett egy integrált digitális kamera is segíti a mérést a pontfelhő kiszínezésében. A beépített 4 megapixeles (1920x1920 pixel) kamera látószöge 17°, így a kupola-szerű, automatikusan térben kiigazított, színes panoráma felvétel 260 képből épül fel. A lézerszkennerek maximum 300 m-es távolságig képesek szkennelési végrehajtást végezni (LEICA GEOSYSTEMS AG, 2014), ugyanakkor minél távolabbi pontot akarunk felmérni, annál nagyobb szkennelési hibával kell számolnunk (CUARTERO et al., 2010). Ennek az oka, hogy a lézertárcsák koherenciája ugyan nagy, viszont a távolság növekedésével a lézertárcsák széttartása is egyre nagyobb. A szélesebb átmérőjű lézertárcsák egyre nagyobb valószínűséggel ütközhetnek a vizsgált tárgy szélébe (kevert szél problémája).

A lézertárcsák széttartása 0,1 mrad (milirad); ami azt jelenti, hogy 100 m-en 10 mm a lézertárcsák átmérője. Ez az érték – a maximális mérési távolság – 300 m esetén is csupán 30 mm. Méréseink során igyekeztünk figyelembe venni ezt a hibaforrást, így a felmérés során 7, illetve 8 szkennelésből mértük fel a vizsgált területet egyetlen sorát. A szkennelési területek közötti átfedés biztosította a pontfelhők összeillesztését, így a pontatlanságból eredő hibák is kisebbek voltak. A felbontás 10 m-en 8 mm volt (kb. 2,75 szögperc), ami azt jelenti, hogy maximum 1 cm-es hibával dolgozott a szkennerek.

A lézerszkenneléses adatok alapján az ültetvény, valamint a gyümölcsök strukturális paramétereinek vizsgálatát végeztük el. Hagyományos tolómérővel történt az almafák törzsátmérőjének, valamint a kiválasztott gyümölcsök legnagyobb szélességének és magasságának meghatározása. A törzsátmérő a gyümölcsfák gyökérszárti része és az alsó elágazás közötti törzshosszúság felénél történt. A lézeres adatokból történő törzsátmérő meghatározása is hasonló magasságban történt, mint a tolómérővel végzett mérés esetében. A pontfelhő előfeldolgozása a Leica Cyclone 7.1 nevű szoftverrel (Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Svájc), majd a pontfelhő megfelelő formátumú exportálása további szoftveres utófeldolgozással, a 3DReshaper (TECHNODIGIT – Hexagon

csoport, Genay, Franciaország) és a Geomagic Studio 12 (Geomagic, Inc., Raleigh, NC, USA) szoftveres környezetben történt.

Méréseink során lézerszkenneres adatokból történő termésvizsgálatot végeztem el. A mérések az intenzív almaültetvény egy sorában lévő almafákon folytak (21. ábra), ahol összesen 52 gyümölcsöt választottunk ki az elemzések céljából.



21. ábra: A szoftveres termésdetektáláshoz kiválasztott gyümölcsök térbeli elhelyezkedése

Forrás: Saját pontfelhő kivágat

Elsősorban olyan gyümölcsök kerültek kiválasztásra, amelyek kisebb-nagyobb csoportokban helyezkedtek el. A gyümölcsök legnagyobb szélességét és magasságát digitális tolómérő segítségével a helyszínen határoztuk meg, majd laboratóriumi körülmények között mértem meg az almák tömegét és sűrűségét. A sűrűség meghatározása a vízkiszorítás elve alapján történt. A gyümölcsöket egy 2 liter űrtartalmú mérőhengerbe helyeztem, majd törekedtem arra, hogy a víz teljesen ellepje a gyümölcsöt. A mérőhengerben megemelkedett vízszint alapján meghatároztam a gyümölcsök sűrűségét.

A digitális úton reprodukált gyümölcsök tömegének meghatározása az utófeldolgozó szoftverekben használható illesztési algoritmus – a legkisebb négyzetek – módszerével történik. Ez a módszer az adott geometriai alak rekonstrukciója során az eltérések négyzetösszegét minimalizálja. A gömb, mint a pontfelhő görbületére legjobban illeszkedő alakzat segítségével meghatároztam a gyümölcsöket szimuláló gömbi térfogatot, majd a számított sűrűségi értékek alapján számítottam ki a tömeget. Több

esetben a pontfelhő térsűrűsége jelentősen eltért a levelek és az ágak takarása miatt. Ennek ellenére a pontfelhő görbülete alapján is képesek az alkalmazott programok (Leica Cyclone, Geomagic, 3DReshaper, CloudCompare) az alakzatillesztést elvégezni, még akkor is ha a pontfelhő nagy része hiányos.

3.4. Talajfelszín túlnedvesedésének vizsgálata lézerszkennelrel

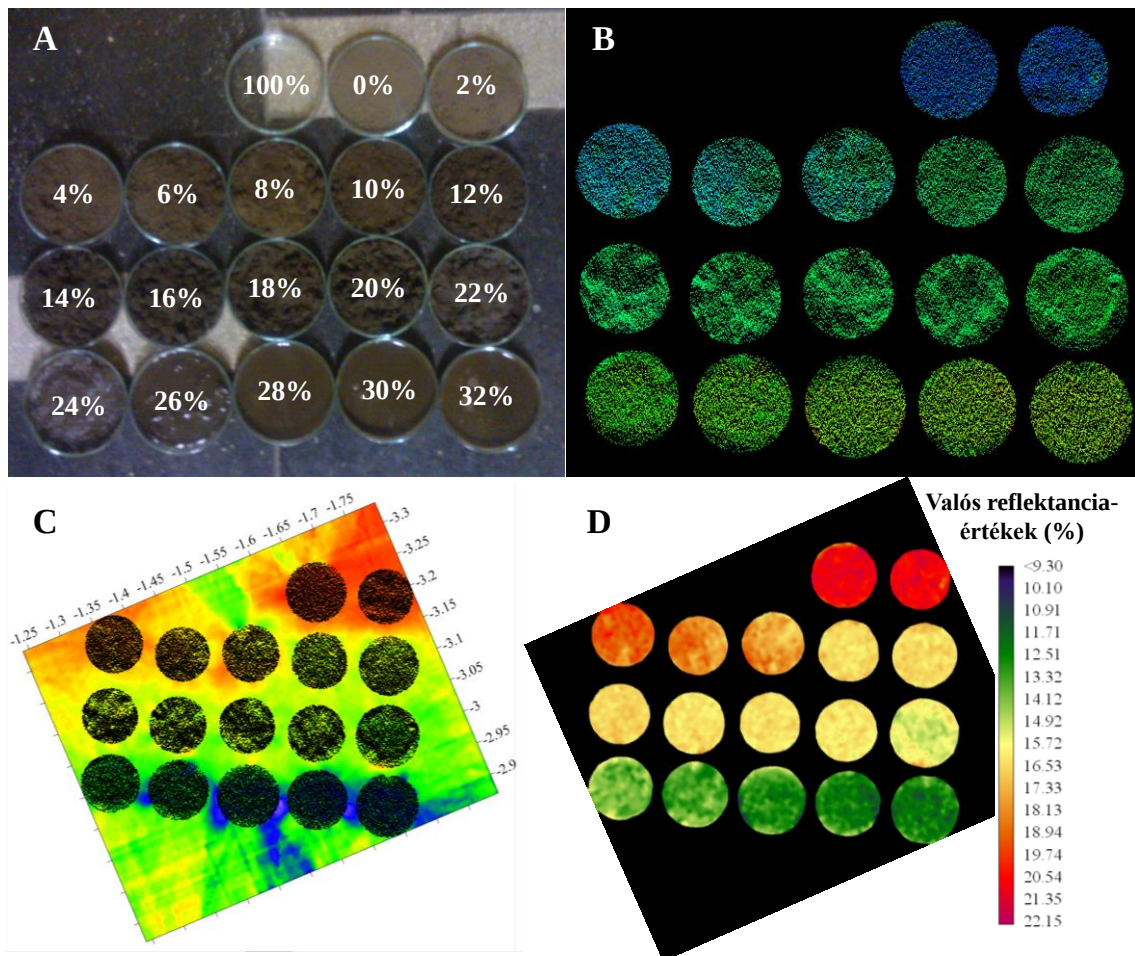
A talaj nedvességviszonyainak alakulása hagyományos (RICHARDS, 1942; UNDERWOOD et al., 1954; GURR, 1962; TOPP és DAVIS 1985; VÁRALLYAY, 2002) és fejlett távérzékelési eszközök segítségével (WALKER és HOUSER 2005; FANG és LAKSHMI 2014) egyaránt meghatározható. A hagyományos elven működő talajnedvesség mérő műszerek csak pontszerű adatokat és eredményeket szolgáltatnak, így a részletesebb talajnedvesség-térképek előállítása több pontmérést igényel; ez viszont időigényes feladat. További problémát jelent a talajok térbeli heterogenitása (BARRETT és PETROPOULOS 2013), így megfelelő mintavételi és mérési stratégia szükséges a heterogén foltok lehatárolásához, térképezéséhez (SZABÓ et al., 2007). Távérzékelési technikákkal nagyobb területről, viszonylag gyorsan gyűjthetünk információt a talaj nedvességviszonyairól (ADEGOKE és CARLETON 2001; LOBELL és ASNER 2002).

Vizsgálataink során, a felszín nedvességviszonyainak alakulását – hazánkban eddig nem alkalmazott – lézerszkennel segítségével értékeltük, illetve vizsgáltuk egyáltalán a műszer ilyen célú alkalmazhatóságát. A lézerfény a vízfelületen a hullámhossz függvényében elnyelődhet. A rövidebb hullámhosszúságú kék és zöld fény a vízen áteresztődik, míg az infravörös fény visszaverődik a vízfelületről (HECKMAN és HODGSON 1967; FUNK et al., 1972; MOORE et al., 2000). A talaj telítődésének növekedésével a lézernyaláb reflektanciája szintén változik, viszont a lézerszkennel és a talajfelszín távolsága is befolyásolja a visszavert lézernyaláb intenzitási sajátosságait. A folyamat értékeléséhez laboratóriumi és terepi mérések segítségével határoztam meg, hogy milyen mértékben befolyásolja a távolság a reflektált lézerintenzitás értékét. A laboratóriumban különböző távolságokban és változó szögfelbontással vizsgáltuk a lézerszkennel alkalmazhatóságát a talajfelszín nedvességtartalmának detektálása érdekében. A gyümölcsös területéről – a felső 10 cm-es rétegből – gyűjtött talajt 105°C-on kiszárítottuk, majd a különböző nedvességtartalomra visszanedvesítettem, melyeket perticsészébe helyeztem. A visszanedvesítés 2 tömegszázalékonként (m/m%) történt

32%-ig. A nedvesítés során törekedtem a víz egyenletes hozzáadására és keverésére. A lézerszkennér optikája és a földfelszín közötti távolság 2,016 m volt. A petricsészéket három különböző távolságra (4 m – 26,47°, 6,5 m – 17,23° és 9 m – 12,63°) helyeztük el a lézerszkennertől. A szögfelbontás beállításakor törekedtünk arra, hogy az egyes távolságokban hasonló szkennelési felbontással végezzük a felmérést. Ennek megfelelően két felbontást (milliméteres és centiméteres) használtunk. A lézeres pontfelhőből az egyes petricsészéket izoláltam, majd a lézerimpulzus adatokból varianciaát számoltam. A páronkénti vizsgálatokhoz a Tukey-tesztet használtam, ami az egyforma minta elemszámú adatcsoportok átlagainak különbségét tesztelte (HUZSAI, 2000). A Post Hoc analízis segítségével megvizsgáltam, hogy statisztikailag elkülöníthetők-e egymástól az egyes talajnedvesítési minták.

Az egyes petricsészék felületéről visszatérő lézersugarak száma a távolság és a felbontás függvényében is egyaránt csökkent. A milliméteres felbontás esetében az átlagos pontfelhő-méret a szkennertől 4 m-re átlagosan több mint 3200 pont/petricsésze volt, a 6,5 m-re elhelyezett minták már 25%-kal kevesebb pontot tartalmaztak. A centiméteres felbontás esetében már olyan mértékben romlott (kb. 32 pont/petricsésze) a pontfelhő felbontása, hogy vizuális szeparációval nem tudtam elkülöníteni egymástól az egyes petricsészéket, így egy másik technikát alkalmaztam az adatok kiértékeléséhez. A módszer lényege, hogy a nagy felbontású pontfelhő alapján vágófelületeket hoztam létre, majd a cm-es felbontással elkészült pontfelhőből Krigelési technikával térhálós modellt készítettem (Surfer 11), amit aztán szeparáltam és elemeztem.

Ezt követően több szoftver (Global Mapper 15.0, IDRISI Taiga) együttes használata révén az egyes talajnedvesítési kategóriákat – mint spektrális tanítóterületeket – felhasználva, a lézeres talajfelszínadatok egy részét osztályoztam (22. *ábra*).



22. ábra: Szoftveres folyamatára a 4-m távolságra elhelyezett, mm-es felbontású laborméréstől az interpolált intenzitásértékekig

A – Fotódokumentáció a nedvesítési arányok feltüntetésével

B – Elkészült és kivágott pontfelhők (Leica Cyclone 7.1)

C – Intenzitásértékek alapján interpolált térhálós felszín (Surfer 11)

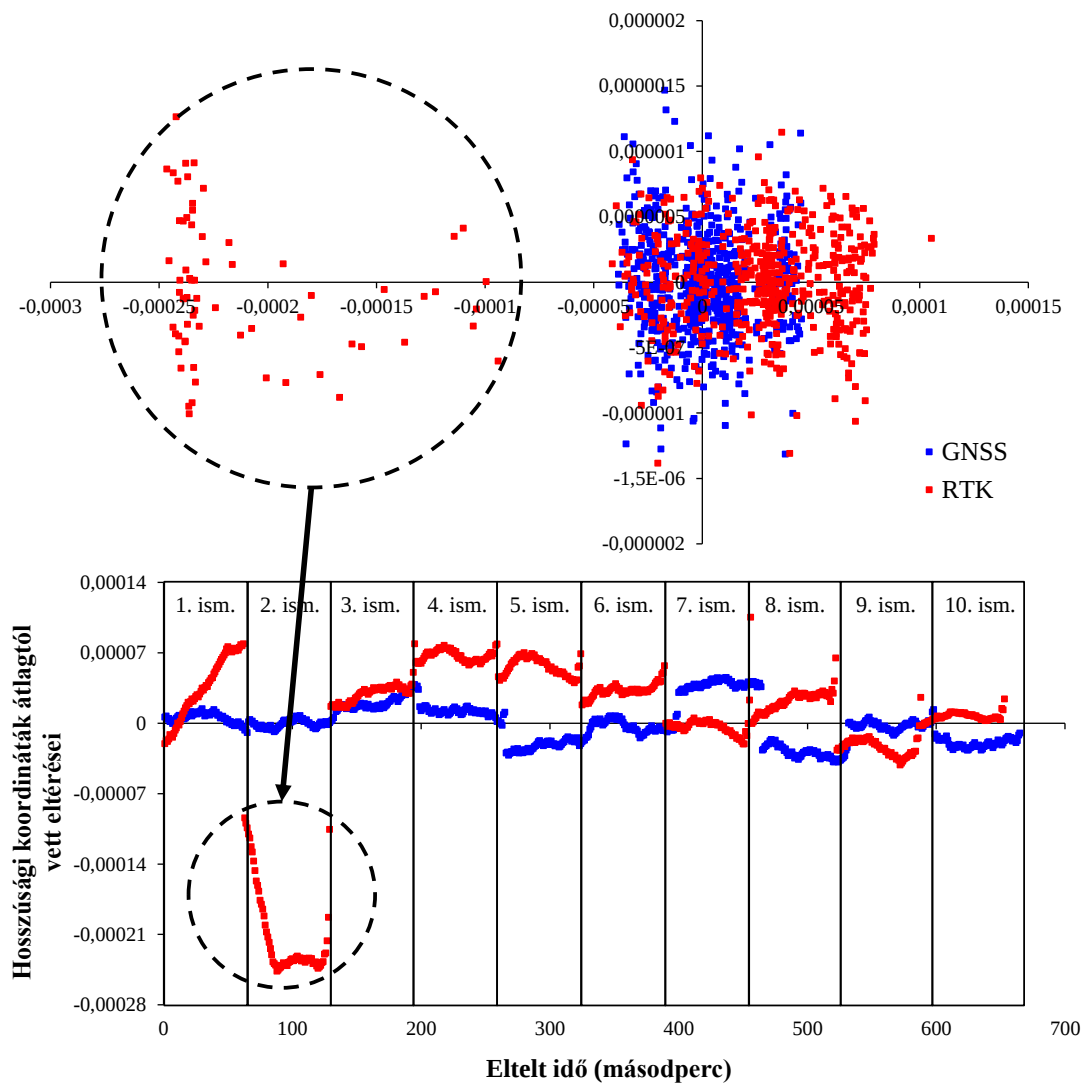
D – Osztályozás előtt álló intenzitásfelszínek (IDRISI Taiga)

Forrás: Saját szerkesztés

4. Vizsgálati eredmények és azok értékelése

4.1. Helymeghatározás pontossági vizsgálata

Kutatásunkban a Helianthus Növénytermelő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. egyik mezőgazdasági területén (MePAR blokkazonosító: JJRDJ-Y-1; É: 47,103320°, K: 18,863264°) vizsgáltuk a Trimble Autopilot hidraulikus robotpilóta rendszer által vezérelt munkagépek precíziós automata kormányzását, valamint értékeltem az iránytartás pontosságát, négy vizsgálati irányban, hat korrekció típus és tíz ismétlés esetén. Az FmX monitor által gyűjtött ismétlések adatait szétválogattam, így kezelhetővé és elemezhetővé váltak az egyes ismétlések, valamint a GPS jelek vételekor fellépő hibák is kifejezésre juttathatók.



23. ábra: A GNSS és a saját bázisú RTK átlagolt koordinátaértékeitől való eltérés szórásdiagramjai Ny-K-i irányban

Először a különböző korrekciókkal történő navigálás eredményeinek összehasonlító vizuális kiértékelést végeztem. Ennek során az egyes ismétlések szélességi és hosszúsági koordinátáit átlagoltuk, majd az „átlagos” XY koordináta értékeket kivontam valamennyi forduló szélességi és hosszúsági értékeiből, ami egyfajta „átlagtól való eltérést” eredményezett (23. ábra). Az átlagolt koordinátaértékektől való eltérés a négy fő égtáj, illetve a másod- és harmadrendű égtájak irányába lehetséges. A pontosabb korrekciós jelek hatékonyabban navigálták a traktort az adott A-B egyenes mentén, így a feldolgozott mért pontok koordinátarendszer origója körül helyezkedtek el. Ezek az eredmények előzetes értékelést nyújtottak a korrekciós jelek által biztosított vonalvezetés pontosságának meghatározásához. A szóródási diagramok egy összehasonlítási módot eredményeztek az egyes korrekciók között. A diagramok visszafejtésével az is kimutatható volt, hogy mely ismétlések voltak a pontatlanabbak. A 23. ábra bemutatja, hogy mely korrekciók vezérelték pontosabban a vevőegységet.

Az ábra alapján látható a Ny-K-i irányú mérésorozat két legpontosabb korrekciós jele által képzett szórásdiagram. A piros színnel jelzett saját bázisú RTK szórása a második ismétlés során jelentősebben változott a többi fordulóhoz képest. Megvizsgálva a műholdakról gyűjtött, pozicionálási pontosságot kifejező DOP (VDOP és HDOP) alapadatokat, megállapítható, hogy az RTK korrekció esetében, a HDOP értékek szórása több mint 4,5-szer nagyobb volt, mint az ismétlések során az átlagos HDOP érték. A VDOP értékek esetében ezt az arány több mint 6-szoros volt (2. táblázat), míg a „látott” műholdak száma relatíve kicsi volt a további ismétlésekhez viszonyítva.

2. táblázat: A Ny-K irányba, RTK korrekcióval végzett felmérés átlagos műholdadatai

Ismétlések	Műholdak száma (átlag)	Átlag		Szórás		Relatív szórás	
		HDOP	VDOP	HDOP	VDOP	CV _{HDOP}	CV _{VDOP}
1	5,00	2,68	4,00	0,05	0,00	1,76%	0,00%
2	5,59	1,86	2,69	0,55	0,96	29,80%	35,55%
3	6,21	1,92	1,99	0,23	0,14	11,97%	7,23%
4	6,73	1,34	1,70	0,00	0,14	0,00%	8,02%
5	6,99	1,30	1,70	0,00	0,00	0,00%	0,00%
6	6,70	1,51	1,88	0,34	0,29	22,75%	15,66%
7	7,00	1,30	1,70	0,00	0,00	0,00%	0,00%
8	7,00	1,30	1,70	0,00	0,00	0,00%	0,00%
9	7,00	1,30	1,80	0,00	0,00	0,00%	0,00%
10	7,00	1,30	1,80	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Összes átlagos értékek	6,47	1,58	2,10	0,12	0,15		

Az alacsony számú műhold és az ehhez kapcsolódó konstellációs problémák okozhattak ilyen jellegű pozicionálási és vezérlési problémákat, akár RTK korrekció esetén is.

Az adatok numerikus kiértékelése érdekében a Trimble FmX monitor által gyűjtött automatikus kormányzási hibasáv (*Offline distance*) értékeket használtam. Az „*Offline distance*” értékek az előzetesen kijelölt, aktuális A-B vonal pillanatnyi hibáit adták meg. Az egyes korrekciók Offline értékeinek szórásával megállapítottam a traktor A-B vonalon történő automatikus navigálásának pontosságát. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a saját RTK bázisállomás, a GNSS hálózati és az XP-HP korrekció esetében, K-Ny és a Ny-K irányban a szórás értékek alacsonyabbak voltak, mint D-É és É-D irányokba, míg a korrekció nélküli mérés (No CORR) esetében ez épp fordítva alakult (3. táblázat).

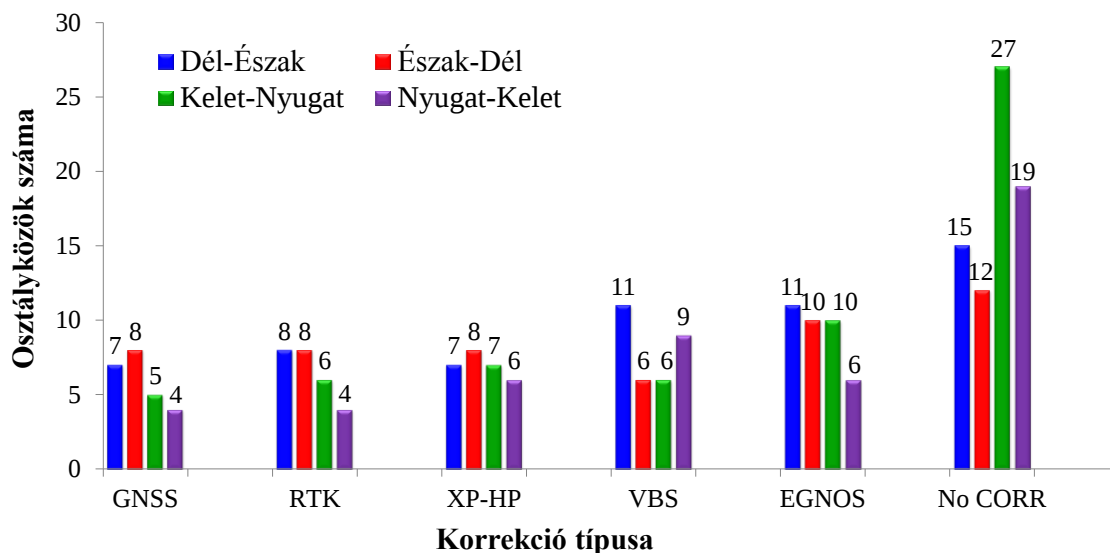
3. táblázat: Az ismétlések „*Offline distance*” értékeinek szórása az egyes korrekciók esetén

Korrekciós jel	Haladási irány			
	Kelet-Nyugat	Nyugat-Kelet	Észak-Dél	Dél-Észak
GNSS	4,09	5,24	9,56	9,46
RTK	5,80	5,13	8,70	10,67
XP-HP	7,67	6,84	7,95	8,67
EGNOS*	17,12	11,39	10,79	16,07
VBS	9,27	13,67	9,24	15,90
No CORR*	53,69	44,81	18,95	27,85

A *-gal jelölt korrekciók ingyenesen állnak a felhasználók rendelkezésére.

Az OmniStar VBS korrekció esetében a K-Ny irányú mérések szórása volt a kisebb, míg az EGNOS korrekciónál K-Ny irányba mértük a legnagyobb átlagos eltérési értékeket. A GNSS mérések szórása É-D és D-É irányban a nagyobb (közel dupla olyan mértékű) eltéréseket mutattak a K-NY, valamint NY-K irányokhoz képest.

Továbbá deciméteres osztályközöket képezve meghatároztam, hogy hány mérési tartományba esnek a GPS mérések, bizonyítva ezzel az egyre pontosabb jel általi hatékonyabb sorvezetést. Megállapítható, hogy minél pontosabb volt a korrekciós jel, annál kevesebb osztályközben találhatunk mért „*Offline distance*” értéket (24. ábra).



24. ábra: Az osztályközök száma a különböző korrekciós források esetében

A varianciaanalízis eredménye kimutatta, hogy a korrekció nélküli mérés (No CORR) eredménye szignifikánsan különbözik a többi méréstől, a haladási égtájak tekintetében viszont nem volt statisztikailag igazolható különbség ($P=0,05$).

Amennyiben az egyes égtájak szerinti osztályközök értékeit összesítjük, úgy megállapítható, hogy a GNSS korrekciós jel általi mérés volt a legpontosabb, amit az RTK, Omnistar XP-HP, Omnistar VBS, EGNOS, majd pedig a korrekció nélküli mérés követett.

4.2. A vizsgált gyümölcsültetvényben végzett földközeli távérzékelés értékelése

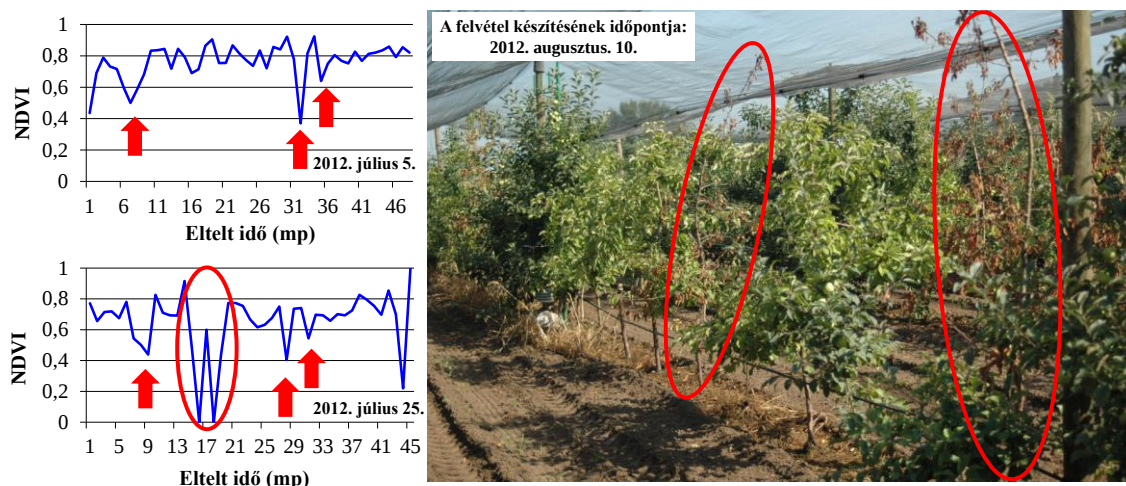
4.2.1. Spektrális alapú vegetációelemzés

A Pallagi Génbank és Gyakorlóhely jéghálóval védett alma gyümölcsösében a gyümölcsfák különböző fenológiai stádiumában végeztünk földközeli távérzékelési felvételezést.

A GreenSeeker 505 típusú NDVI szenzorral komplex vegetációtérképezést hajtottunk végre a teljes teszterületen. A mérések előtt szükséges volt megtervezni a műszer adatrögzítési intervallumát, valamint a traktor haladási sebességét. Ehhez a gyümölcsös térállását, illetve a gyümölcsfák közti térközoeket vettük figyelembe. Az AgGPS FmX fedélzeti számítógép az NDVI-adatokat másodpercenként rögzítette, illetve szinkronizálta a műholdas adatokkal. Így a munkagép átlagos haladási sebességét

3,6 km/h-ra terveztük. A lombzat spektrális állapotáról történő adatgyűjtési magasság kb. 170 cm volt, a koronától való távolság pedig kb. 80-100 cm.

A GreenSeeker 505 vegetációs szenzor kertészetben való használata jelenleg kevésbé elterjedt, ezért vizsgálatunk elején vizuális összehasonlítással értékeltem az NDVI értékeket a fotódokumentációkkal (25. ábra).



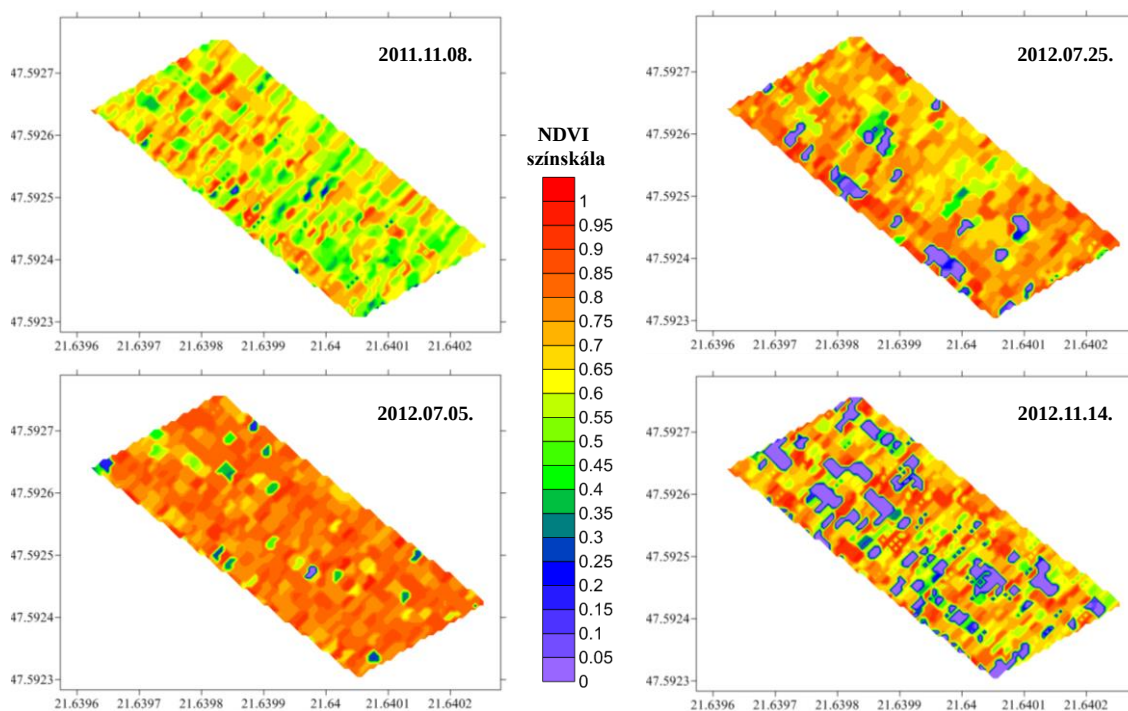
25. ábra: Az intenzív gyümölcsültetvény harmadik sorának spektrális metszetgörbéje az időben markánsan változó pontok kiemelésével

A gyűjtött NDVI értékek soronkénti visszafejtésével a vegetáció pontos profilját ismerhettem meg, továbbá egyes szakaszokon kimutatható a vegetáció spektrális tulajdonságaiban bekövetkező változás.

Az ábrából kiderül, hogy a két különböző időpontban végzett felmérés esetén a lombzat spektrális jellemzői bizonyos pozíciók esetében jelentős változást is mutattak a 20 nap alatt. Több olyan gyümölcsfa is volt a vizsgált területen, melyeknek a vegetációs állapota hanyatlani kezdett, egyes almafák pedig kipusztultak. A fapusztulások oka egy, az almaültetvényeket súlyosan károsító bakteriális fertőzés, a tűzelhalás (*Erwinia amylovora*) volt. A 25. ábrán látható a harmadik sor spektrális tulajdonságának időbeli változása. A július 5-i mérés NDVI görbéjén vannak ugyan alacsonyabb értékek, de szabad szemmel ezeken a fákon még nem lehetett észlelni a bakteriális fertőzés jeleit. A GreenSeeker az NDVI értékeket a vörös és az infravörös csatornák egy-egy spektrumtartományából kalkulálja; az emberi szem pedig nem érzékeli a klorofill bomlásával járó, NIR tartomány változásait. A július 25-i mérés

eredményei során már az emberi szem számára is láthatók a klorotikus, illetve a nekrotikus változások is.

A vegetáció, a fentiekben jelzett, tér- és időbeli változását térinformatikai szoftverkörnyezetben értékeltük ki. Mivel a spektrális adatok gyűjtése másodpercenként történt a gyümölcsösök sorközeiben, így a teljes ültetvényre vonatkoztatva térbeli becslő eljárásokat alkalmaztam a GIS alapú NDVI-térképek készítéséhez. A térképek elkészítését Surfer 11 szoftverben hajtottam végre, ahol a – 3.3.1. fejezetben bemutatott és ismertetett – legközelebbi szomszéd (*Nearest Neighbor*) interpolációs technikát alkalmaztam. Mivel az ültetvény felmérése során olyan adatok álltak rendelkezésemre, amelyek az egyes sorokat bőségesen mintázták, így az interpoláció után az adott pontokhoz tartozó értékek relatíve nagy pontossággal határozták meg az egyes gyümölcsfák spektrális jellemzőit, így ez a térképezési eljárás bizonyult hatékonynak a valós világ leképezésében. A legközelebbi szomszéd eljárás jellemzőjeként nem kellett túlinterpolálással számolni, így az adott koordinátaérték alatt becsült NDVI-felszín kizárólag a vizsgált egyed spektrális tulajdonságait reprezentálta (26. ábra).



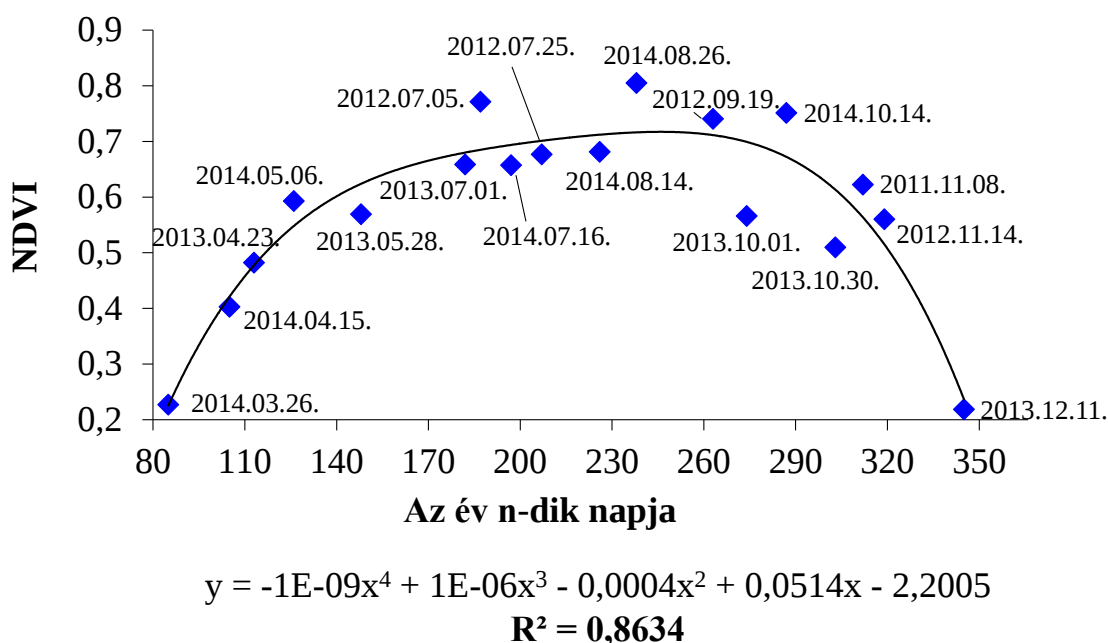
26. ábra: A vizsgált almaültetvény lombzatának NDVI térképe a különböző vegetációs időszakban 2011-es és 2012-es években

Az ábrából megfigyelhető, hogy a gyümölcsös vegetációs aktivitása az egyes fenológiai stádiumokban jelentős változásokon megy keresztül. A 2011. novemberi és az egy évvel későbbi novemberi felmérésen jól látszanak az alapvető spektrális különbségek. Ez két fő tényezőnek köszönhető. Az egyik az időjárás alakulása, a másik pedig a tüzelhalás által okozott fapusztulás. Az időjárási körülmények közül az első fagyok nagymértékben meghatározzák a fenológiai fázisok hosszát, illetve kezdetét és végét. Abban az esetben, amikor korábban és több napon keresztül jelentkezik az első őszi fagyok, úgy a klorofill lebomlása is intenzívvé válik. Ilyen volt a 2011-es ősz is, ugyanis október közepén három, október végén pedig négy egymást követő napon is hajnali faggyal kellett számolni, míg 2012-ben az első korai fagyok (átlagosan $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$) csak december elején jelentkeztek, majd a komolyabb fagyok (átlagosan $-8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) is csak december közepén alakultak ki. Átlaghőmérséklet tekintetében elmondható, hogy a 2012-es őszi hónapokban átlagosan közel $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal volt magasabb a hőmérséklet, mint 2011-ben; különösen a novemberben – a mélynyugalmat közvetlenül megelőző időszakban – volt jelentős – több mint $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os – az átlaghőmérséklet különbsége.

A 2011-es felmérés során az ültetvény területének $0,48\%$ -án volt fahiány ($\text{NDVI}_{\text{átlag}}=0,62$), addig a következő év novemberében már 63 fa pusztult ki a tüzelhalás következtében, így a terület átlagos NDVI értéke is kisebb ($0,56$) volt.

A tüzelhalás által elpusztult gyümölcsfák jól elkülöníthetők az egyes felméréseken. A 2012. július eleji felmérések adataiból interpolált térképeken a kórokozó által okozott fapusztulás még nem figyelhető meg; az egyes lila foltok ($\text{NDVI}\approx 0$) csupán korábbi fahiányok helyeit mutatják. Ennek ellenére a július 5-i térképen már láthatók olyan, az átlagosnál ($\text{NDVI}_{\text{átlag}}=0,78$) kisebb NDVI-értékű területek ($0,5<\text{NDVI}<0,7$), amelyek egybeesnek a 20 nappal későbbi fapusztulások helyzetével. 2012-ben a terület átlagos NDVI-értéke azért volt alacsonyabb, mint az előző években, mert 2012 novemberében már elég nagy volt a fapusztulás mértéke, több foltban az NDVI-érték 0 volt, ami csökkentette a terület átlagos NDVI-értéket.

A gyümölcsös fenológiai stádiumának statisztikai leírása érdekében 2011-es és 2014-es években további méréseket végeztem. Az ültetvény területéről gyűjtött átlagos NDVI-értékeinek egy koordinátarendszerben való ábrázolásával, a vegetáció fejlődése leírható (27. ábra).



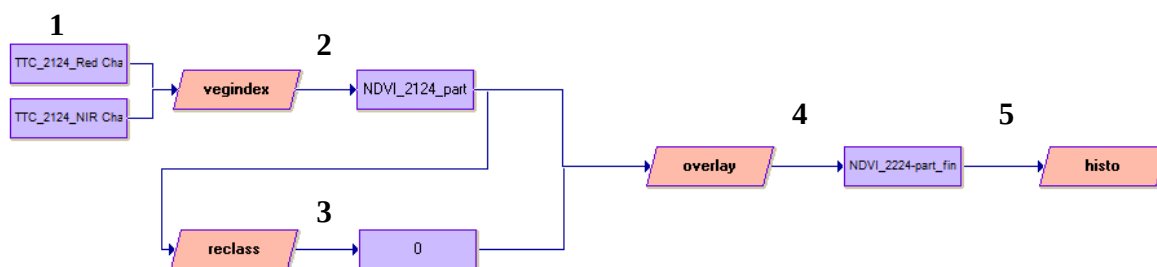
27. ábra: Az alma egyes fenológiai stádiumaiban mért NDVI értékek

A lombzat fejlődését tekintve megfigyelhető, hogy a rügypattanás, illetve az egérfüles fejlődési állapot idejében az ültetvény NDVI-értéke nagyon alacsony, nullához közelít. A lombfejlődés további fázisaiban, egészen a generatív szakasz végéig a lombzat folyamatosan fejlődik, majd megkezdődik a klorofill lebomlása és ezzel együtt az NDVI-értékek csökkenése is. A 27. ábrán az egyes időpontokban végzett felmérést aszerint ábrázoltam, hogy az év hányadik napján történt a vizsgálat. Az elkészített pontdiagram, illetve a ráillesztett trendvonal időbeli alakulása hasonló lefutást eredményezett, mint a FAO öntözésszimulációs szoftvereiben leírt növényi fejlődés. RAES et al. (2010) a lombfejlődést paraméterezték, ahol kiemelt jelentőséggel bír a rügypattanás, a maximális lombzat elérésének időpontja, a lombzat öregedésének kezdete, valamint a termésérés időpontja is. Hasonló, bár robusztusabb grafikus ábrázolást alkalmaztak ALLEN et al. (1998), akik a növényi párologtatás egyik alapadatának számító K_c (*crop coefficient*) tényezőt ábrázolták az idő függvényében. Az általam – NDVI-értékekből – előállított a lombfejlődést bemutató pontdiagram szintén hasonló lefutással volt jellemezhető. Ez annak köszönhető, hogy az NDVI-értékek és a K_c tényező között szoros korreláció áll fenn (KAMBLE et al., 2013).

A felmérések során kapott átlagos NDVI-értékek alapján a vegetáció fejlődése szoros polinomiális összefüggést ($r=0,929$) mutatott. Amennyiben 2013-as évben vizsgáltuk az almaültetvény vegetációs állapotának változását, úgy még szorosabb kapcsolat

($r=0,986$) figyelhető meg. Az ültetvényt megtámadó tűzelhalás jelei a pontdiagramom is észlelhető változásokat eredményeztek. Amennyiben a gyümölcsös fejlődésére illesztett trendvonal egyenletét is felhasználjuk, úgy kiszámítható, hogy az év n -edik napján milyen vegetációs aktivitás „várható” a vizsgált területre, melynek valószínűségét az R^2 érték százalékos formában történő felírása adja meg. A kapott eredmények felhasználhatók a távérzékelte adatok kalibrációjára.

A vegetációs aktivitás értékelése céljából további terepi spektrális vizsgálatokat is végeztem a vegetációs indexméter validálása érdekében. A GreenSeeker 505 készülékkel párhuzamosan – abszorbancia elven működő – SPAD 502 kézi klorofill mérő eszköz segítségével is vizsgáltam a lombzat optikai sajátosságait. Különböző időpontokban végzett pontszerű felmérések alkalmával helyspecifikusan jól elkülöníthető a vegetáció időbeli változása. Míg a GreenSeeker a mérési távolságtól függően egy bizonyos sávban átlagolja a reflektancia értékeket, addig a SPAD 502 pontszerű mérések elvégzésére képes. Így az utóbbi műszerrel az egyes időpontokban 10-10 mérést végeztem. Párhuzamosan a mérésekkel egy harmadik, képalkotó műszerrel is vizsgáltam a vegetációt. A Tetracam ADC nemcsak az adott gyümölcsfáról, hanem annak közvetlen környezetéről is biztosított információkat. A Tetracam ADC hasonló elven kalkulálta ki az adott gyümölcsfáról készített kép NDVI értékét, mint a GreenSeeker. A fő különbség, hogy a multispektrális kamera szélesebb csatornákból gyűjtötte a reflektív adatokat. A kamera által készített képek kombinált szoftverkörnyezetben kerültek feldolgozásra. A lombzat értékelése során egy kisebb sávot választottam ki, amely a GreenSeeker által is pásztázott területtel fedésben volt. Ezzel kizártuk a talaj, a jégfaló, vagy az égbolt egyes pixeleinek zavaró hatását. A nyers adatok előfeldolgozása, az NDVI-értékek kiszámítása, valamint a felvételek megfelelő formátumban való exportálása PixelWrench2 (PW2) szoftverben történt, ami a Tetracam elsődleges feldolgozó szoftvere. Az előfeldolgozott képek további értékelését IDRISI Taiga szoftverben végeztem. Mind a PW2, mind pedig az IDRISI Taiga szoftverben elkészítettük az NDVI képeket is. Míg a Tetracam ADC szoftvere beépített algoritmus segítségével készíti el a spektrális pixelek alapján az NDVI képet, addig az IDRISI Taiga-ban több lépésen keresztül történik a feladat elvégzése (28. ábra).



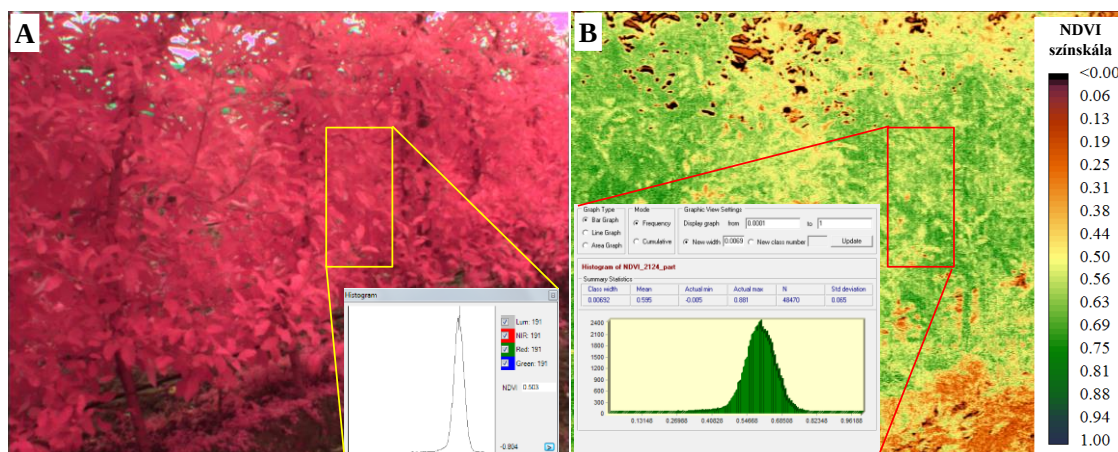
28. ábra: NDVI kép elkészítésének folyamatábrája IDRISI Taiga Macro Modeler-ben

1. A vörös és infravörös csatornák importálása a Macro Modeler-be.
2. A Normalizált Differenciál Vegetációs Index pixelszintű kiszámítása.
3. Újra osztályozás: a háttér éles elkülönítése (10-es jelzőérték) az informatív lombzattól.
4. A két réteg egyesítése összeadással.
5. Az elkészült vegetációs index kép pixel-szintű statisztikai eredménytáblázatának elkészítése.

Összehasonlító vizsgálatunk azt az eredményt mutatta ki, hogy a két szoftverben való számítási mód kis mértékben különbözik, ugyanis az átlagos különbség az NDVI értékek között 0,106 volt. Az IDRISI Taiga-ban létrehozott NDVI pixeleknél magasabbak voltak az értékei, mint a PW2 szoftverben elkészített képeké.

Az viszont mindenképpen megállapítható, hogy a két szoftver egyező számítási módszerének köszönhetően igen erős pozitív lineáris kapcsolat ($r=0,994$) áll fenn, vagyis a különbség szisztematikusnak tekinthető. A különbség abból adódik, hogy a PW2 tényleges reflektancia értékekből számolja az NDVI értéket, míg az IDRISI a kiexportált PW2-képfájlt egy 8 bites képpé alakítja, így a pixelérték egy 0-255-ös skálán helyezkednek el. Az NDVI kép tehát nem valós reflektancia értékekből, hanem a 8 bites képadatok felhasználásával készülnek (29. ábra).

Összehasonlítva az október eleji és az október végi, GreenSeeker 505 adatai alapján interpolált NDVI-térképet a Tetracam ADC-vel készített pontszerű felvételekkel, megállapítható a mérések közötti erős a korrelációs együttható értéke ($r=0,766$). Szintén szoros korrelációt ($r=0,856$) tapasztaltunk a különböző időpontban mért Tetracam ADC és a SPAD-502 műszerek eredményei között.

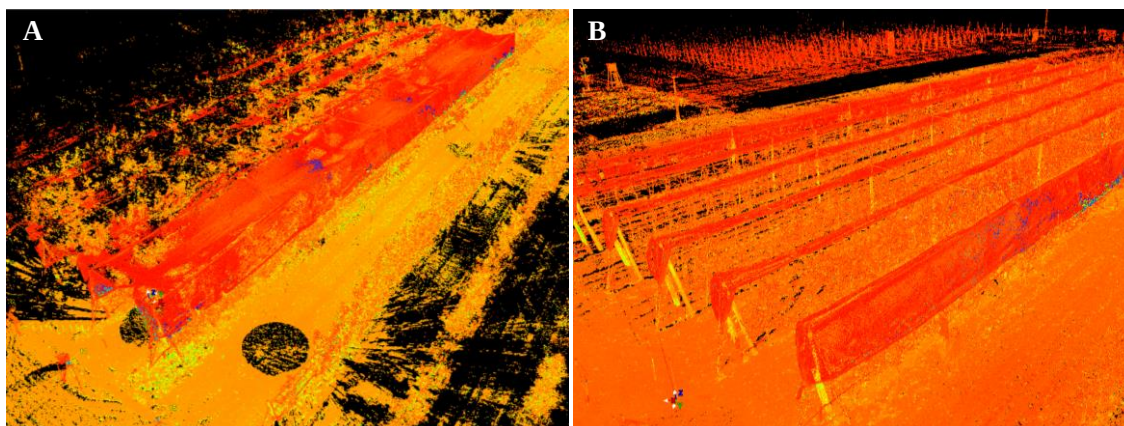


29. ábra: Egy példa a PixelWrench2 szoftverben előfeldolgozott hamisszínes multispektrális felvételre (A), valamint az IDRISI Taiga-ban elkészített NDVI képre, valamint a vizsgált kisebb területek NDVI-hisztogramja

Összefoglalóan megállapítható, hogy a három műszeres mérés (GreenSeeker 505, Tetracam ADC és SPAD 502) közül a GreenSeeker használható a leghatékonyabban nagyobb területű vegetációtérképezésre. Az adatgyűjtés és -feldolgozás gyorsasága miatt, a precíziós kertészeti gyakorlat számára perspektivikusan hasznosítható. A multispektrális kamera előnye a képalkotás, mellyel felületeket mérhetünk fel, így légi felmérések során szintén hatékony segítséget nyújthat a vegetációtérképezésben. A SPAD 502 pontszerű mérések révén kaphatunk információt az ültetvények vegetációs állapotról. Reprezentatív térképezési feladatok ellátására kevésbé alkalmas. Az eszközök mérési jellemzőinek tekintetében TREMBLAY (2013) hasonló megállapításokra jutott, továbbá perspektivikusnak ítéli ezen – kereskedelmi forgalomban is kapható – eszközök, kertészeti területen való elterjedését, mivel ezek az infrastruktúrák hatékonyan biztosíthatják a térbeli változatosság térképezését, valamint hozzájárulhatnak a fenntarthatóbb kertészeti termeléshez.

4.2.2. Biomassza topológiai modellezése

Az intenzív almaültetvény strukturális paramétereinek vizsgálata érdekében 3D lézershakkenneres technológiával mértük fel a gyümölcsös egy kisebb részét (30. ábra). Méréseink során az ültetvény két sorára koncentráltunk, így késő nyári, kora őszi lombos állapotban a felmérést 7 szkennállással végeztük, míg a tavaszi lombnélküli állapotban ugyanazt a területet 8 álláspontból mértük fel.



30. ábra: Az intenzív almaültetvényben végzett felmérések nyers pontfelhői lombos (A) és lombnélküli (B) állapotban

A 30. ábrán látható, hogy a lombnélküli állapotban – a lombzat kisebb takarásának köszönhetően – a gyümölcsös nagyobb részét tudtuk felmérni, bár a szkennertől távolabb eső almafák kisebb pontsűrűséggel rendelkeztek, így az információgyűjtés az egyes fákról nagyobb hibákkal volt elvégezhető. Míg a 6. sorban egy almafára jutó lézerpontok átlagos száma 33 838 volt, addig az 1. sor almafái – a szkennállásoktól kb. 20 m-es távolságban – átlagosan mindössze 1 540 pontból épültek fel, vagyis a sorok általi takarás következtében, valamint a felbontás változásával kb. 95 %-kal kevesebb pont állt rendelkezésünkre az adatfeldolgozás során. Az egyes sorokban az almafákat felépítő pontok és a lézerszkennertől való távolság között exponenciális kapcsolat ($R^2=0,94$) volt megfigyelhető.

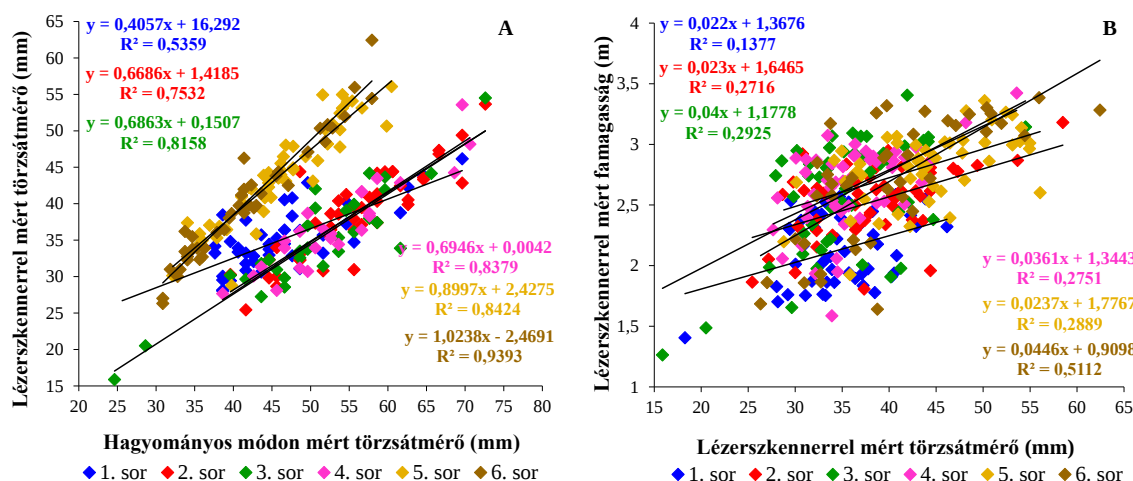
Mivel a műszer kertészeti alkalmazása a gyakorlatban még nem terjedt el, így a legtöbb mérést hagyományos úton is elvégeztük, validálva a lézerszkennertől számított paraméterek megfelelőségét. Tolómérő segítségével és a lézerszkenneres adatokból meghatároztuk a gyümölcsfák törzskörméretét (31. ábra/A), amely a gyümölcsfák gyökérnyaki része és az alsó elágazás közötti törzshosszúság felénél történt. A 3D lézerszkenneres és a hagyományos felmérések közt szoros korrelációt tapasztaltam. A jéghálós gyümölcsös 6. sorát két, az 5. sorát pedig egy oldalról vételeztük fel, míg a többi sort kizárólag az oda eljutó lézersugarakból építettük fel, vizsgálva a pontfelhő felbontásának hatását a mérésre. Az ötödik sorban 51 gyümölcsfa átmérőjét és magasságát, míg a hatodik sorban a fahiányok miatt 41 almafa ugyanazon térbeli tulajdonságait határoztuk meg (4. táblázat). Az ötödik sorban, a hagyományos felmérés során az átlagos törzsátmérő 46,22 mm, míg a lézeres mérés esetében

55,48 mm volt. A hatodik, szélső sorban, a szegélyhatásnak köszönhetően mind a hagyományos, mind a lézeres mérés során (átlagosan kb. 4,7 mm-rel) kisebb törzsátmérőt mértem. Továbbá megfigyelhető, hogy a több oldalról történő felmérésnek (6. sor) köszönhetőn, ha minimálisan is, de kisebb volt a hagyományos és a lézeres mérés közti különbség a törzsátmérő tekintetében, és nagyobb a korrelációs kapcsolat. A többi vizsgált során, a takarásból adódó egyre kevesebb pont következtében a hagyományos és lézeres mérések között nagyobb különbségeket tapasztaltam, ami a korrelációs értékekben is megmutatkozott (31. ábra/A).

4. táblázat: A hagyományos és lézersházkenneres felmérés során gyűjtött adatok összehasonító táblázata

	Hagyományos mérés		Lézeres mérés		Hagyományos mérés		Lézeres mérés	
	Törzs-körméret (cm)	Törzs-átmérő (mm)	Törzs-átmérő (mm)	Famagasság (m)	Törzs-körméret (cm)	Törzs-átmérő (mm)	Törzs-átmérő (mm)	Famagasság (m)
	1. sor (Golden Reinders)				2. sor (Golden Reinders)			
Átlag	14,43	45,93	34,73	2,13	17,37	55,29	38,52	2,53
Szórás	2,62	8,34	4,89	0,29	2,45	7,79	6,63	0,29
MIN	8,05	25,62	18,28	1,41	12,45	39,62	25,44	1,81
MAX	21,87	69,62	46,16	2,59	22,81	72,62	58,49	3,18
	3. sor (Early Gold)				4. sor (Early Gold)			
Átlag	15,72	50,02	35,34	2,59	16,78	53,42	36,09	2,65
Szórás	3,19	10,15	6,39	0,47	2,58	8,22	5,00	0,34
MIN	7,73	24,62	15,89	1,26	12,13	38,62	27,66	1,59
MAX	22,81	72,62	54,52	3,41	22,19	70,62	53,57	3,42
	5. sor (Gala Galaxy)				6. sor (Gala Must)			
Átlag	14,52	46,23	44,08	2,82	13,07	41,60	40,12	2,70
Szórás	2,12	6,74	6,66	0,29	2,46	7,82	8,26	0,51
MIN	10,10	32,15	28,79	1,93	9,70	30,88	26,32	1,64
MAX	19,00	60,48	56,07	3,36	18,20	57,93	62,43	3,38

Összehasonlításra került a törzsvastagság és a famagasság alakulása is (31. ábra/B). A fák törzskörmérete komplex vegetatív mutatónak tekinthető, azonban az azonos törzsátmérők nem feltétlen jelentenek ugyanolyan faméreteket. A vizsgált fajták egyedi habitusa mellett számos anomália (fertőzés, mechanikai sérülés) okozhat eltéréseket a fák magasságában, szélességében, egyáltalán a termőfelület nagyságában, amelyek hatása nem azonnal érzékelhető a törzsvastagság alakulásában. A kapott közepes pozitív korrelációs ($r=0,589$) érték vélhetően ennek tulajdonítható, ugyanakkor megfigyelhető volt az is, hogy a sűrűbben mintázott sorok korrelációs értéke magasabb.

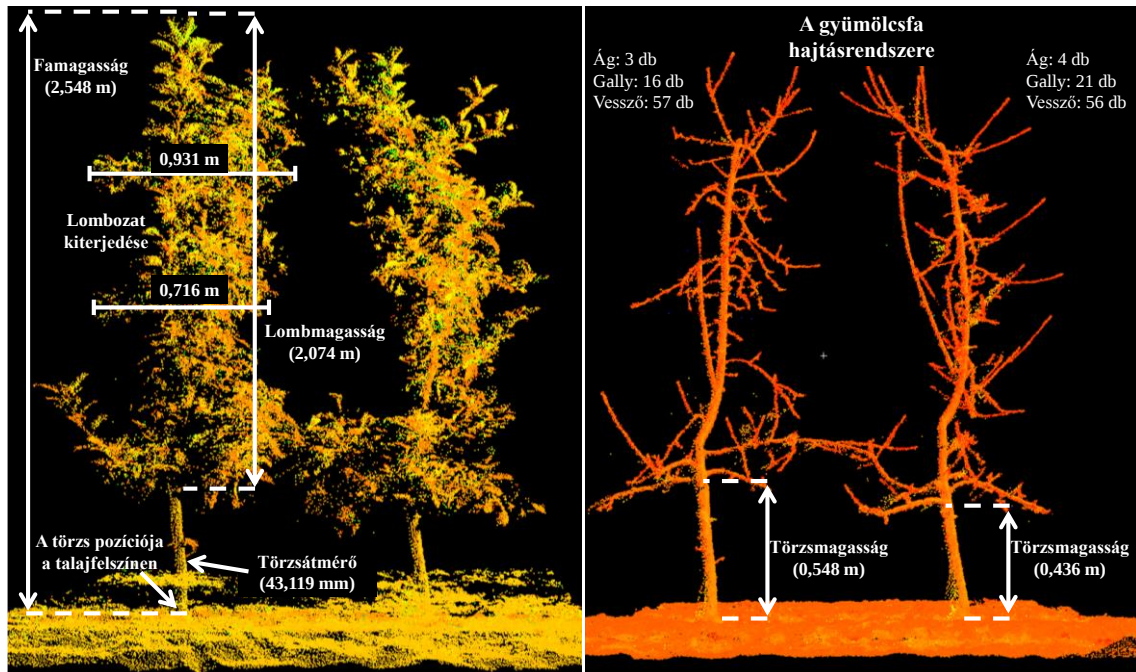


31. ábra: A gyümölcsfák törzsátmérőjének összehasonlítása a hagyományos és a lézerszenneres felmérés adatai alapján (A), valamint a famagasság és a törzsátmérő közötti összefüggés (B)

A gyümölcsfák lombzatának bizonyos paraméterei fontos mérőszámai mind az ültetvény, mind pedig az egyedi fák produktivitásának. A koronaforma határozza meg a lombzat szerkezetét és az ágrendszer sajátosságait, ami befolyásolja az asszimilációt és a párologást is, így a gyümölcsfák kondícióját (ZATYKÓ, 1980). Az almafák ágszerkezetét, a fajta mellett a fitotechnológia, ezen belül a metszési gyakorlat jelentősen befolyásolja (GYÚRÓ, 1990; GONDA, 2003), a metszés mértékével, időpontjával, kivitelével pedig befolyásolható a hajtásnövekedés, a termőrész-berakódás és a termés hozás is (GYÚRÓ, 1980). A gyümölcsfák ágszerkezetének parametrizálása érdekében lomb nélküli és teljes lombborítás mellett is elvégeztük az almaültetvény 3D lézeres felmérését (32. ábra). A szüret utáni (nyár végi – őszi eleji) felmérés eredményeként a lombzat strukturális jellemzői, míg a rügypattanás előtti (tavaszi) felmérés esetén a gyümölcsfák ágrendszerének vizsgálatát végeztük el. Eredményeimhez hasonlóan BUCKSCH és FLECK (2011) is hatékony felmérési technikának vélik a gyümölcsfák lomb nélküli állapotában történő lézerszenneres felmérést, mellyel az ágszerkezet geometriája leírhatóvá válik. BUCKSCH és FLECK (2011) a lézeres felmérés terepi validálásaként az ágak hosszát határozták meg és vetették össze a virtuális adatokkal; mérési eredményeimhez hasonlóan, szoros korrelációt kimutatva a lézeres és hagyományos felmérések között.

A gyümölcsfák teljes magasságát a pontfelhő legalsó pontja, valamint a lombzat legmagasabb pontja közti vertikális távolsággal fejeztük ki. A lombmagasság a

talajfelszín feletti első elágazás és a legfelső levél közti távolsággal, míg a törzsmagasság a földfelszín és a lombkorona első elágazása közti távolsággal jellemeztük.



32. ábra: A két fenológiai állapotban készült 3D lézerszkenneres felmérés egy térbeli kivágata a gyümölcsfák meghatározható strukturális paramétereivel Leica Cyclone 7.1 szoftverkörnyezetben

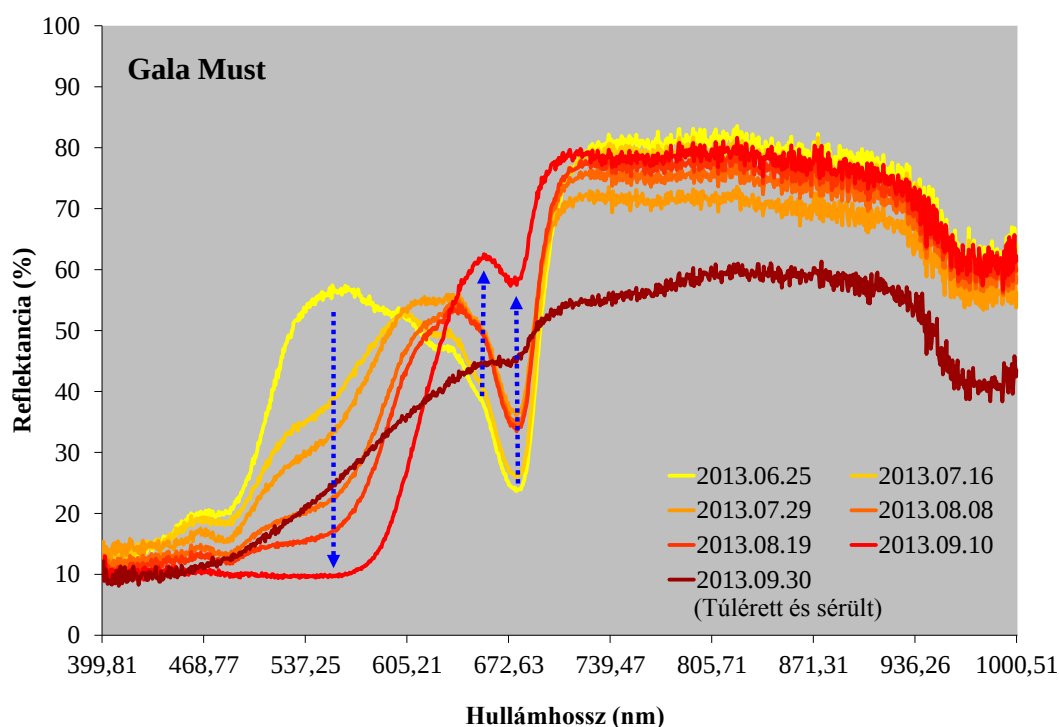
Eredményeim alapján megállapítható, hogy a lézerszkenneres mérések biztosították az ültetvény komplex, milliméteres pontossággal történő strukturális és topológiai felmérésére, melyeket terepi validálással ellenőriztünk. A lézeres technológia biztosította lombos és lomb nélküli állapotban az almafák más-más típusú morfológiai tulajdonságainak gyors és nagy területen történő begyűjtését, ami a kertészeti szakemberek, illetve termelők számára fontos vegetatív mutató. A lézerszkenneres mérések által begyűjthető lombkorona-szerkezeti adatokat növényvédőszer kijuttatás optimalizálás céljára is felhasználhatók (WALKLATE et al., 2002).

4.2.3. Távérzékelésre alapozott termésvizsgálatok értékelése

A minőségi almatermesztés – élelmiszeripari szempontból – fontos technológiai eleme a gyümölcs betakarítás előtti, illetve utáni tulajdonságainak ismerete. Az almapiacon jelenlegi fogyasztói attitűdök tekintetében elmondható, hogy a

termékpiacon a vásárlók körében először a szín és az alak bírnak nagyobb befolyással (FELFÖLDI et al., 2008). A generatív szakasz végéhez érve az érett gyümölcs a fajtára jellemző színbeli tulajdonságokat vesz fel. Spektrális távérzékelési eszközök alkalmazásával a gyümölcsök érési folyamata nyomon követhető, így a betakarítás időpontja is optimalizálható. Gyümölcserési vizsgálatom két almafajtára terjedt ki; az aranyárga színezetű *Early Gold*, valamint világospiros mosott fedőszínű *Gála Must* fajtákra. Az almafák generatív szakaszában 6, illetve 7 kijelölt időpontban végeztem a gyümölcsök laboratóriumi spektrális vizsgálatát, függően a betakarítás tervezett időpontjától. Az *Early Gold* és a *Gála Must* fajták betakarítása két-két menetben történt meg 2013-ban. Az *Early Gold* betakarítása 08.05-én és 08.12-én, míg a *Gála Must* fajtájé 08.27 és 09.10-én történt.

A 33. és 35. ábrákon látható a gyümölcsök spektrális tulajdonságainak változása az érés előrehaladtával.

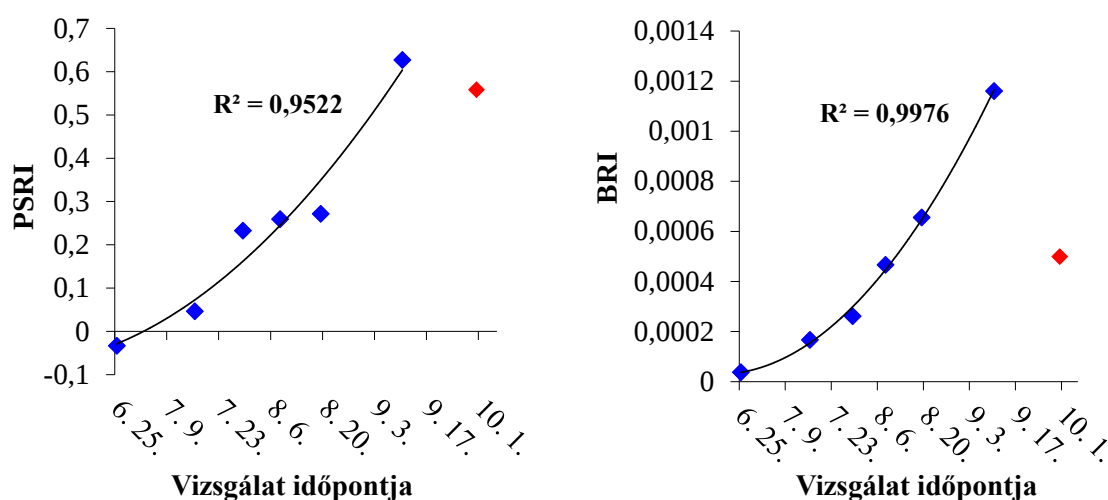


33. ábra: A *Gála Must* gyümölcsminták optikai tulajdonságainak változása az érés során

A különböző színeződésű gyümölcsök spektrális vizsgálata egy időpontban kezdődött meg, majd az érés, illetve a betakarítás időpontjához közeledve, módosultak a mintavételek. A világospiros fedőszínű *Gála Must* almafajta görbéin jól látszik, hogy – a látható hullámhossztartományok (kb. 420–700 nm) tekintetében – az első mérés során,

a zöld színtartományában (490-570 nm) lokális csúcs fedezhető fel, amely az érés során a narancssárgás, vörös szín spektrumtartományába helyeződik át. Az érés során a 675-680 nm-es hullámhossztartományban a realizálható spektrális völgy egyre inkább „feltöltődik”, melynek oka a héjban történő klorofill lebomlás, valamint a karotinoidok szintézise. Az alma piros színeződése a gyümölcs epidermiszének sejtnedveiben, oldott formában lévő antocianinoknak köszönhető (KÁLLAY, 2010). Továbbá szembetűnő változások figyelhetők meg az infravörös tartományban, ugyanis a NIR tartományban a visszaverődési értékek a legtöbb esetben csökkentek.

A gyümölcserés vizsgálatára különböző indexeket készítettem, melyek segítségével a színanyagok beépülését, illetve a klorofill tartalom csökkenését detektáltam. Míg CHIVKUNOVA et al. (2001) a sérült gyümölcsök tárolás során történő barnulását vizsgálta a BRI (*Browning Reflectance Index*) segítségével, addig a növények öregedése, de a termés érése is vizsgálható a BRI és a PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) indexek használatával (34. ábra).

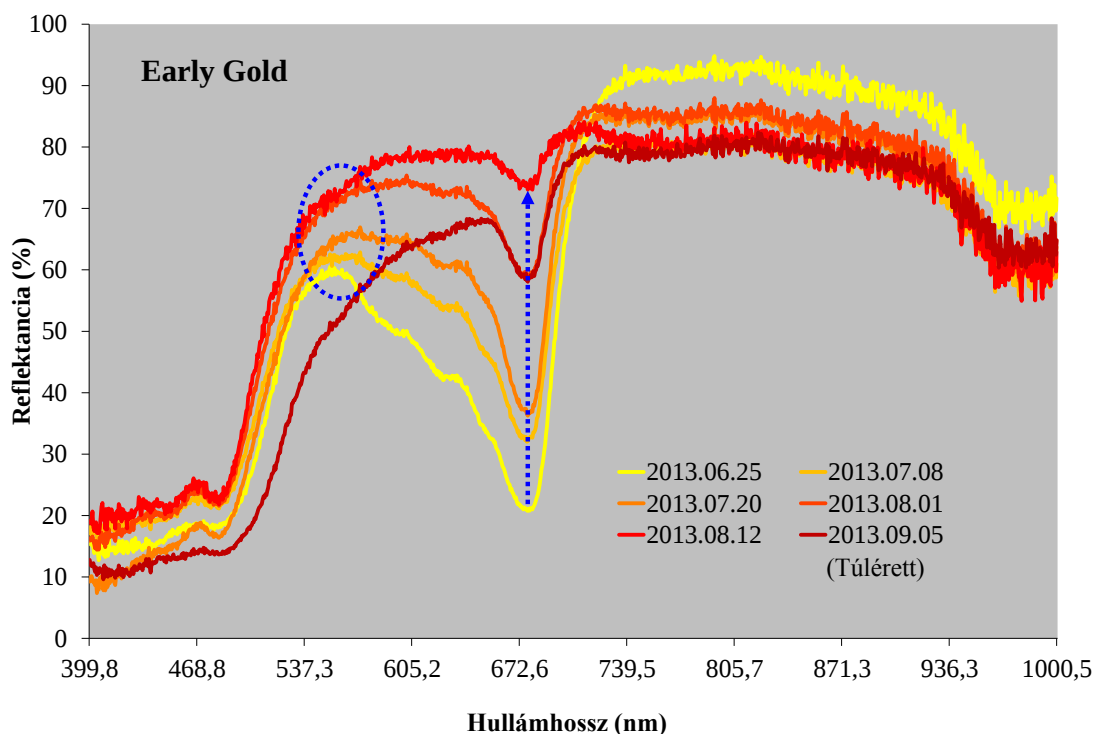


34. ábra: A *Gala Must* almafajta érését jelző PSRI és BRI indexek

A különböző időpontokban készített indexértékek alapján elmondható, hogy az érés egy-egy parabolikus függvénnyel írható le. A 34. ábrán piros jelölőszínnel tüntetésre került, a fajta betakarítása után is az almafán hagyott gyümölcsök reflektancia értékéből kalkulált indexek, mellyel a gyümölcsök túlérését szimuláltam. A túlertt gyümölcs felületén már a gyümölcsminőség romlás jelei is megfigyelhetők voltak. A polinomiális függvényillesztés során a túlertt gyümölcs értékeit nem vettem figyelembe; a 34. ábrán is jól elkülönülnek ezek az értékek. Továbbá megállapítható,

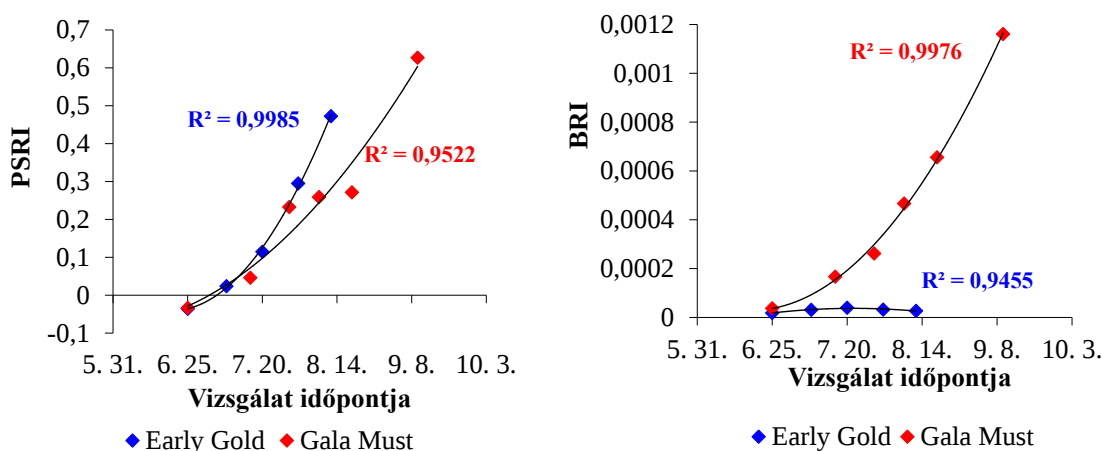
hogy a BRI esetében nagyobb valószínűséggel végezhető el a spektrális módszereken alapuló optimális betakarítási időpont kiválasztása, valamint a túlrett gyümölcsök elkülönítése. Az érési folyamat során vizsgáltam a klorofill tartalommal szoros kapcsolatban lévő NDVI és mNDVI értékek időbeli változását. Az NDVI-értéket a GreenSeeker 505 eszközben használt RED és NIR csatornáinak megfelelő reflektancia értékekből számoltam, míg a mNDVI értékek kalkulálásánál figyelembe vettem a vörös él pozíció értékét is (az „m” betű a módosított jelzőre utal). Ezek az indexek is fontos értékszámok, ugyanis a fejlődő gyümölcsök is szerepet játszanak az asszimilációban, majd fokozatosan egyre kevesebb zöld színtest lesz jelen a gyümölcs héjában (KÁLLAY, 2010). Vizsgálataim kimutatták, hogy gyümölcsök fejlődésével egyre csökkenő lineáris trend figyelhető meg az NDVI ($r=-0,905$), illetve mNDVI ($r=-0,926$) értékek tekintetében egyaránt.

A sárguló *Early Gold* almafajta gyümölcsének érését is *Gala Must* fajtánál használt indexek segítségével értékeltem. Az egyes hullámhossztartományokban szintén megfigyelhető az érés során bekövetkező változás (35. ábra).



35. ábra: Az *Early Gold* gyümölcsminták optikai tulajdonságainak változása az érés során

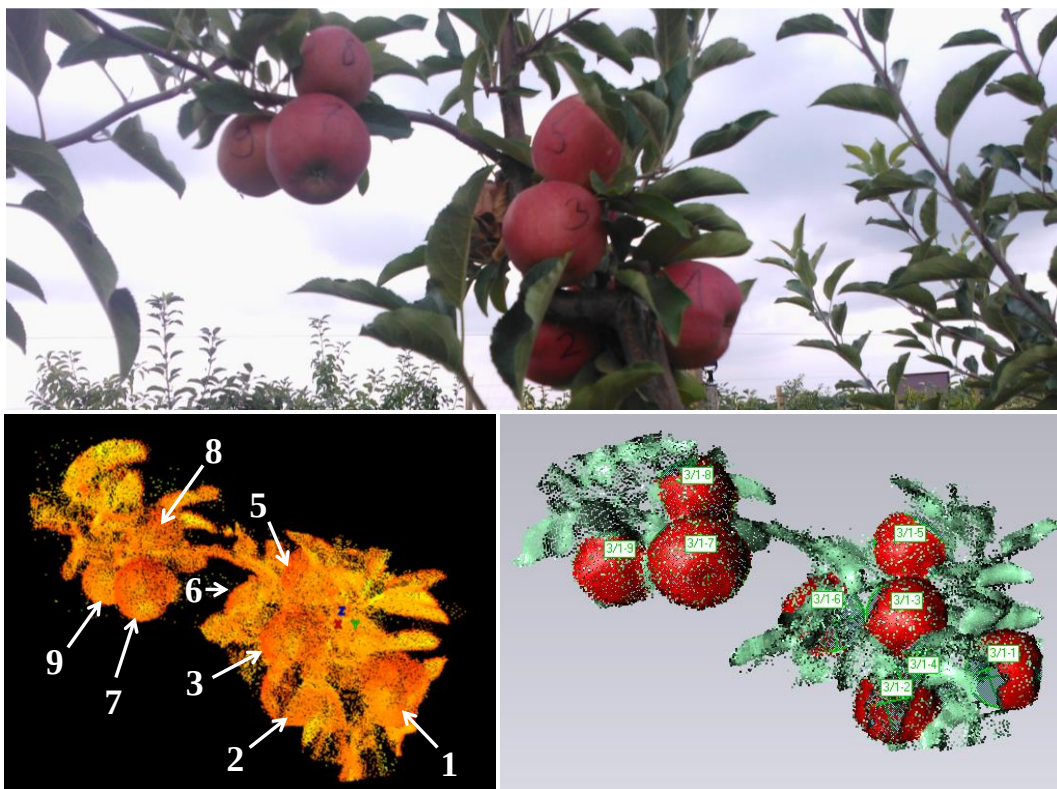
Vizsgálataim kimutatták, hogy a sárga fedőszínű *Early Gold* fajta gyümölcsének színváltozása nem következik be olyan gyors ütemben, mint a vörös színeződésű *Gala Must* fajta esetében, így tovább folyik a gyümölcshéjban az asszimiláció is. A PSRI és a BRI indexeket elemezve kiderül, hogy az érés folyamatát – csakúgy, mint a *Gala Must* esetében – hiperbolikus függvényillesztéssel lehet leginkább közelíteni. Ugyanakkor arra az eredményre jutottam, hogy sárga héjú *Early Gold* fajta esetében a PSRI-értékek nagyobb biztonsággal használhatók érés-előrejelzésre ($r=0,999$), mint a BRI-értékek ($r=0,972$) (36. ábra).



36. ábra: A reflektancia értékekből számított PSRI és BRI indexek összehasonlítása az *Early Gold* és a *Gala Must* fajták érése esetében

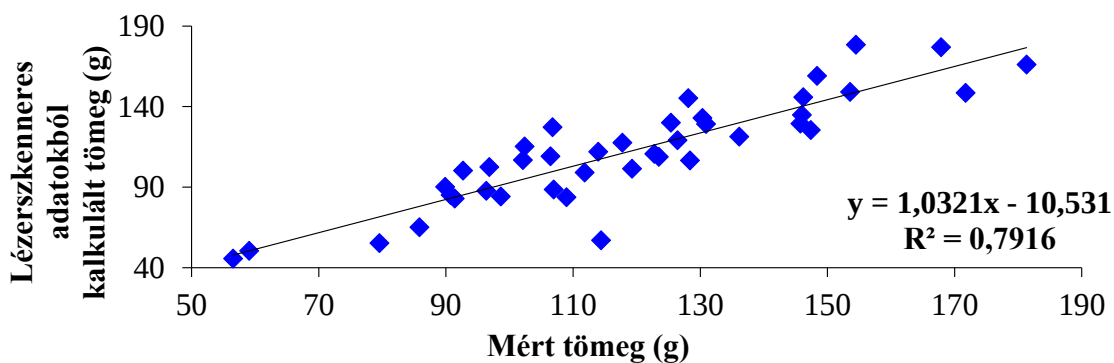
Összefoglalóan megállapítható, hogy a gyümölcsök érése során végbemenő kémiai és fiziológiai változások a gyümölcsök spektrális tulajdonságainak változását is eredményezi. A spektrális görbék jellemző pontjaiból kalkulált vegetációs indexek (BRI és PSRI) alkalmasak voltak az érés folyamatának vizsgálatára.

A gyümölcsök betakarítását követő, ún. post harvest tevékenységek (pl. tárolás, logisztika, marketing) fontos szerepet játszanak a termék fogyasztóhoz való eljutásban. A tárolás és a szállítmányozási kapacitások optimális kihasználásának érdekében fontos feladat lehet a termésbecslés, ami a mai kertészeti gyakorlatban sokszor igen nagy hibákkal terhelt. Vizsgálataink során hagyományos és lézerszenneres adatok felhasználásával végeztem el a begyűjtött 52 gyümölcsminta tömegének, illetve térfogatának meghatározását, majd 3D lézerszenneres adatokkal vettem össze az eredményeket (37. ábra).



37. ábra: A 3/1-es mintacsoport gyümölcsjeinek jelölése, és a szoftveres feldolgozás eredményei

A terepi mérés során kiválasztott gyümölcsöket a lézeres pontfelhőből manuális úton különítettem el Leica Cyclone 7.1 szoftverkörnyezetben, majd a további alakzatillesztési feladatok elvégzését a Geomagic Studio 12 és a 3DReshaper utófeldolgozó szoftverekben hajtottam végre. A szoftverekben egy-egy gömböt illeszttem a gyümölcsökre, melyek térfogatát kiszámoltam, majd összehasonlítottam az analitikai mérlegen lemerített gyümölcsök tömegével (38. ábra).



38. ábra: A laboratóriumban mért tömeg és a lézERSZKENNERES adatokból számított tömeg összehasonlító elemzése

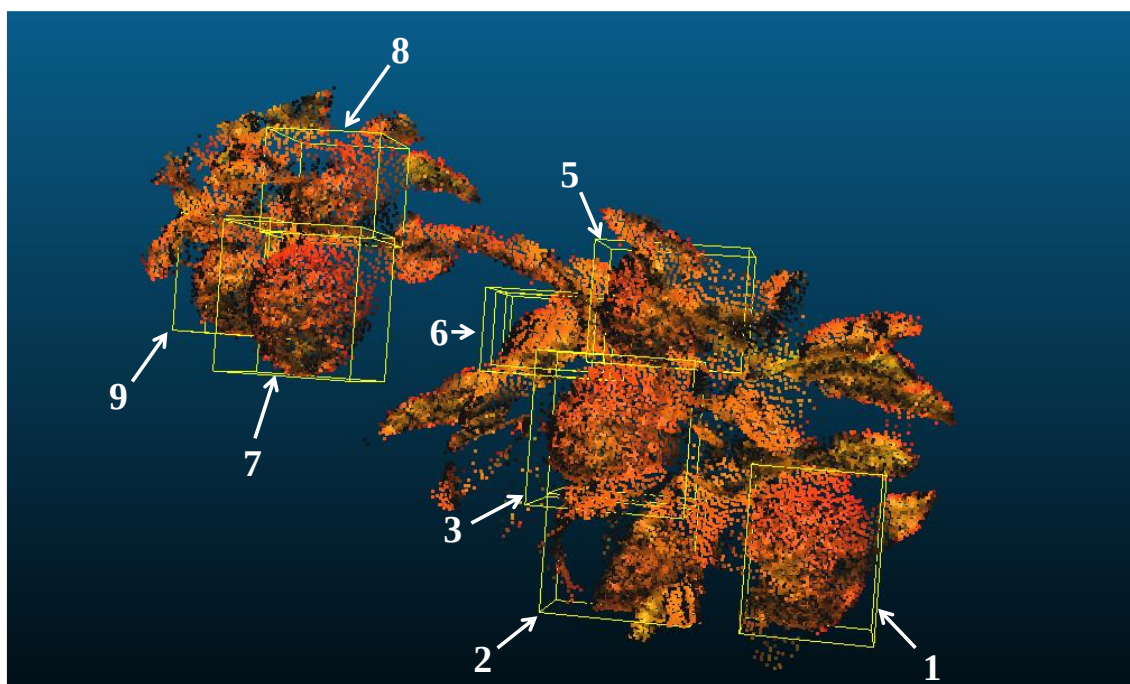
Az eredményekből megállapítható, hogy hagyományosan mért tömeg és a lézerszkennertől meghatározott tömeg között szoros ($r=0,890$) korreláció áll fenn. A két mérés közötti kapcsolat szorossága függ a gyümölcsök alakjától, amiről az alakindex ad felvilágosítást. Minél inkább közelít az alakindex értéke az 1-hez, annál gömbölydedebb a gyümölcs, minél kisebb az érték, annál lapítottabb. Az általam vizsgált *Gala Galaxy* fajta alakindex 52 gyümölcs alapján 0,87 volt.

Az alakzatillesztés azokban az esetekben volt a legpontosabb, amikor több oldalról történt a lézernyalábbal való pásztázás, így a levelek, illetve ágak általi takarás minimalizálódott. Ennek ellenére voltak olyan esetek, ahol csak nagyobb bizonytalansággal, vagy egyáltalán nem tudtam a lézerszkennelt adatokból meghatározni a tömeget, illetve a térfogatot (39. ábra). A hagyományos úton megmért 52 gyümölcsből mindössze 41-et tudtam a pontfelhőből detektálni. A 41 alma mért tömege 4862,64 g volt, ami 5,67%-kal (275,54 grammal) volt nagyobb, mint a lézeres pontfelhő adatai alapján kalkulált „virtuális gyümölcsöké”.



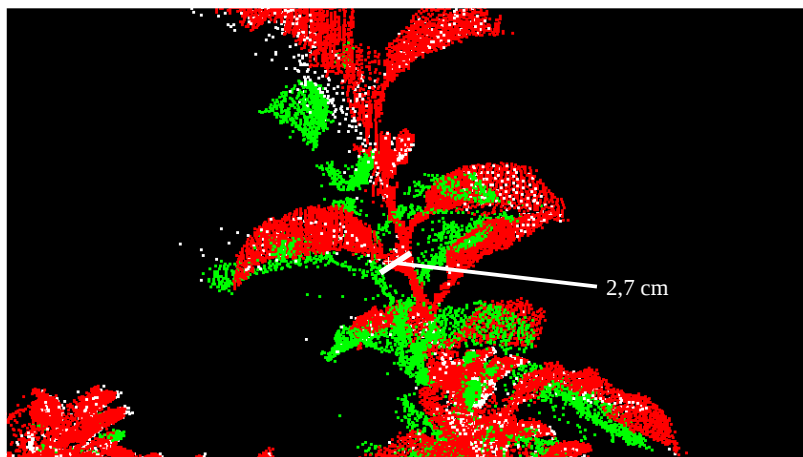
39. ábra: A levelek általi túl nagy takarás hatása a 4/1-es mintacsoport feldolgozása során

Kísérleteim során automatikus gömbillesztési algoritmusok használhatóságát is vizsgáltam a Cloud Compare, nyílt forráskódú szoftver segítségével. A szoftverbe épített RANSAC (*Random Sample Consensus*) algoritmus parametrizálásával, egy iteratív robosztus becslési eljáráson keresztül hajtottam végre a gyümölcsök automatikus detektálását. A módszer egy olyan matematikai modellt használ, amely nagy zajjal terhelt adatok, így pontfelhők bizonyos részeinek térillesztését is lehetővé teszi (40. ábra). Az illesztési, illetve automatizálási művelet nem tökéletes, ha a pontfelhő bizonyos részei kitakarják a felismerni kívánt objektumot.



40. ábra: A 3/1-es mintacsoport gyümölcsjeinek automatikus detektálása RANSAC becslési eljárással

További problémát jelentett az adatok feldolgozásakor, hogy a mérés során a szél hatására a gyümölcsfák ágvégei kissé kilengtek. Bár a szél mozgása relatíve alacsony volt a mérés során (2,2 m/s), ennek ellenére is számolni kellett a hatással. A szkenner viszonylag gyors működése révén az egyes szkennálásokban a szél hatása nem jelentett problémát, de bizonyos esetekben két különböző álláspontban már láthatóvá váltak az egyes ágak elmozdulásai a pontfelhő összeillesztése során (41. ábra).



41. ábra: Az 1/1-es mintacsoport egyik külső ágának elmozdulása 3 szkennállásból történő felmérés során

Az elmozdulás által okozott hibák elsősorban a lombkorona szélén elhelyezkedő ágak esetében voltak jelentősebbek. Az elmozdulás mérséklődött, ha az ágon gyümölcsök is voltak. A 41. ábrán az egyes színekkel a különböző szkennállásokban egy közös koordináta-rendszerben való összeillesztett pontfelhői láthatók. Ezt a típusú hibát úgy minimalizáltam a szél hatásának leginkább kitett ágak pontfelhőjének feldolgozásakor, hogy a nagyobb hibát okozó szkennállások adatait mellőztem.

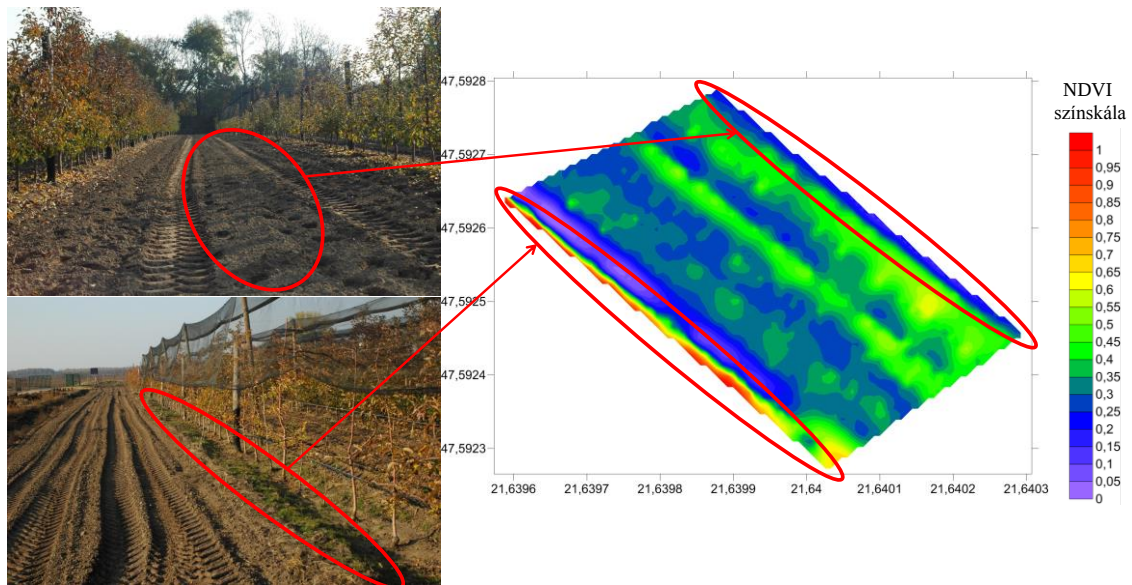
A lézerszkennert alapú gyümölcstömeg mérés hazánkban eddig nem használt technológia volt. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a gyümölcsök térbeli modellezésén túl a fák lombszerkezeti sajátosságainak gyors és pontos megismerése akár termésbecslési alapinformációként szolgálhat a termelők számára.

4.3. Az almaültetvény gyomborítottságának vizsgálata

Egy kertészeti állomány gyomborítottságának pontos térbeli és fajszerű ismerete a precíziós gazdálkodás és a gyomszabályozási gyakorlat fontos eleme. A gyümölcsös gyomflórájának felmérését különböző távérzékelési eszközökkel és módszerekkel több időpontban végeztük el, majd kapcsolt szoftverek segítségével történt az adatok feldolgozása és kiértékelése. Így a gyomfoltok tér- és időbeli változása vált detektálhatóvá.

A 2011. november 8-án végzett felmérést a gyümölcsös sorközeinek mechanikai gyomirtása után 4 nappal végeztük el. Az alacsonyabb NDVI értékek a terület gyommentességét mutatta; a felszín átlagos NDVI értéke 0,27 volt. Ezzel szemben a

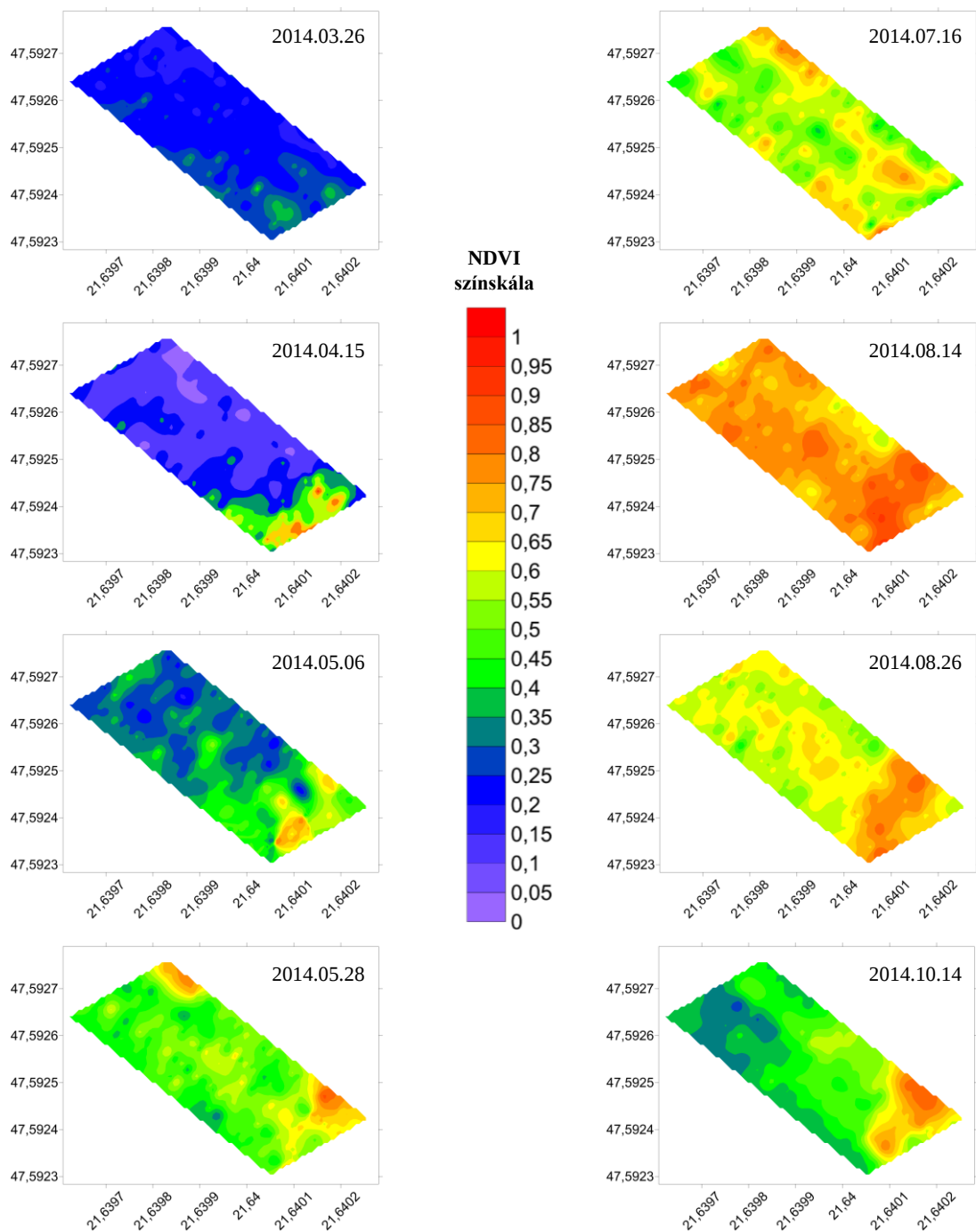
vizsgált gyümölcsös bal oldali sorának magas NDVI értékei az erős gyomborítottságnak voltak köszönhetőek (átlagos NDVI=0,67) (42. ábra).



42. ábra: A 2011.11.08-i gyomfelvételezés NDVI-térképe a gyomos és a gyommentes szakaszok fényképeivel.

A felmérés során a jobb oldali utolsó két sor esetében közepes NDVI értékeket mértünk, ami nem a gyomborítottságot, hanem a vegetációs időszak vége felé közelítő gyümölcsfák lehullott leveleinek klorofill tartalmát jellemezte és nem bizonyos gyomfoltokat. A távérzékelte adatok elemzése, illetve kiértékelése mellett éppen ezért fontos a vegetáció szerkezetének és környezetének pontos ismerte, ami párhuzamos terepi felvételezésekkel, illetve fotódokumentációval biztosítható.

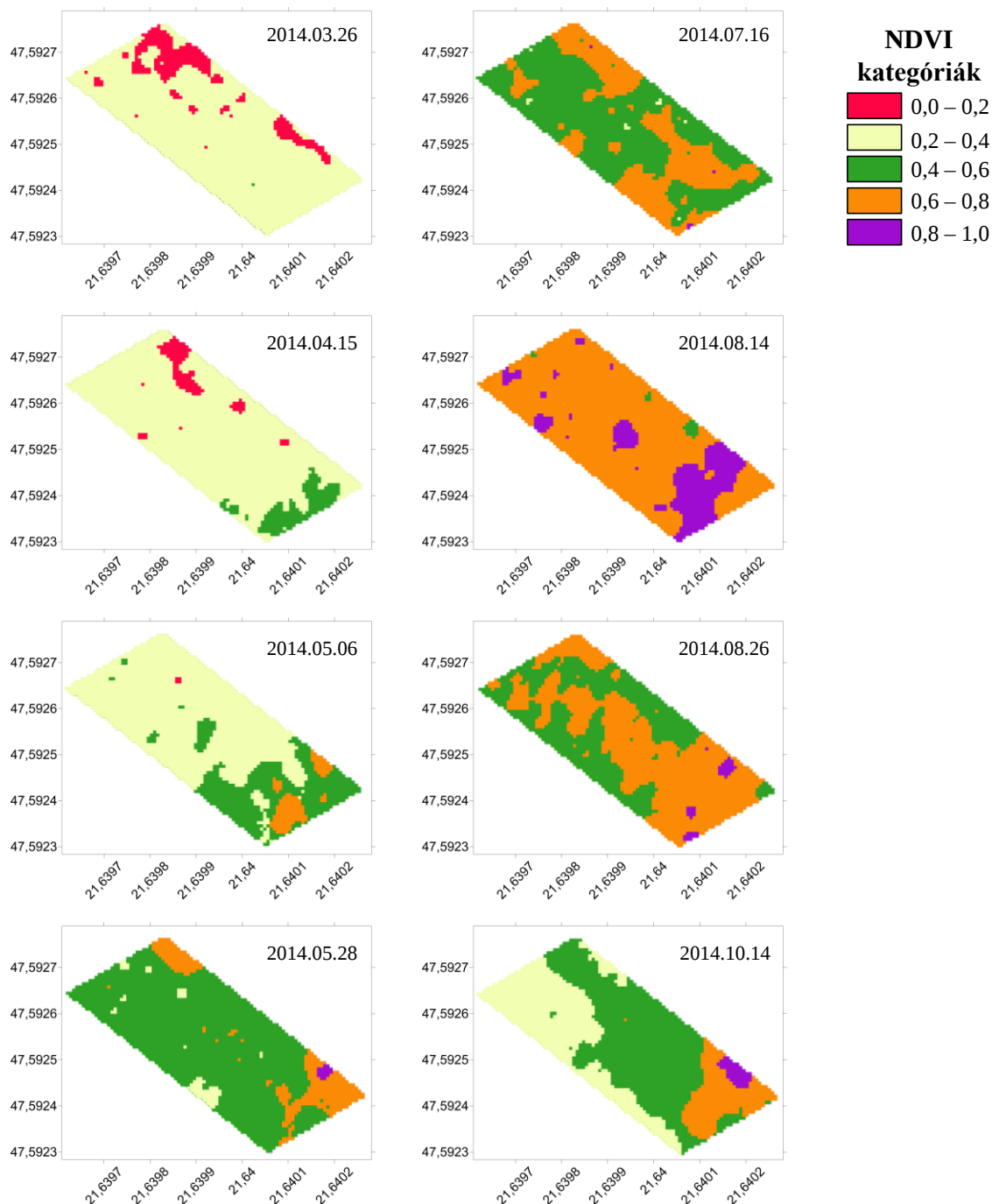
A gyümölcsös aktív gyomflórájának minél pontosabb felmérése érdekében az ültetvény sorközeit több időpontban mértük fel a GreenSeeker 505 vegetációs indexméterrel, valamint a Tetracam ADC multispektrális kamerával. A gyomok időbeli fejlődését, valamint térbeli eloszlását térinformatikai szoftverekben értékeltem, valamint az adatokat összehasonlítottam (43. ábra).



43. ábra: A vizsgált gyümölcsös gyomborítottságának tér- és időbeli változása

A sorközök gyomflórájának eloszlását reprezentáló NDVI-térképek elkészítéséhez Krigelést, mint interpolációs eljárást alkalmaztam. A terület aktívabb gyomborítását a nagyobb NDVI-értékek jelzik. Az ültetvény átlagos gyomborítottsági értékeiből látható a gyomflóra időbeli alakulása. A tavaszi első felmérés (2014.03.26) a terület mechanikus gyomirtása után egy héttel készült, amit a terület alacsony átlagos NDVI-értéke (NDVI=0,06) is mutat. 20 nappal később (2014.04.15) a terület átlagos NDVI-

értéke 0,13-ra emelkedett. A terület gyomborítottsága az év során folyamatosan nagyobb lett, majd augusztus 14-én érte el a maximumot (NDVI=0,76). Ezt követően a vegetációs aktivitás csökkenni kezdett. A gyomok fejlődése – hasonlóan a lomboszat időbeli alakulásához – szintén egy parabolikus függvénnyel jellemezhető.



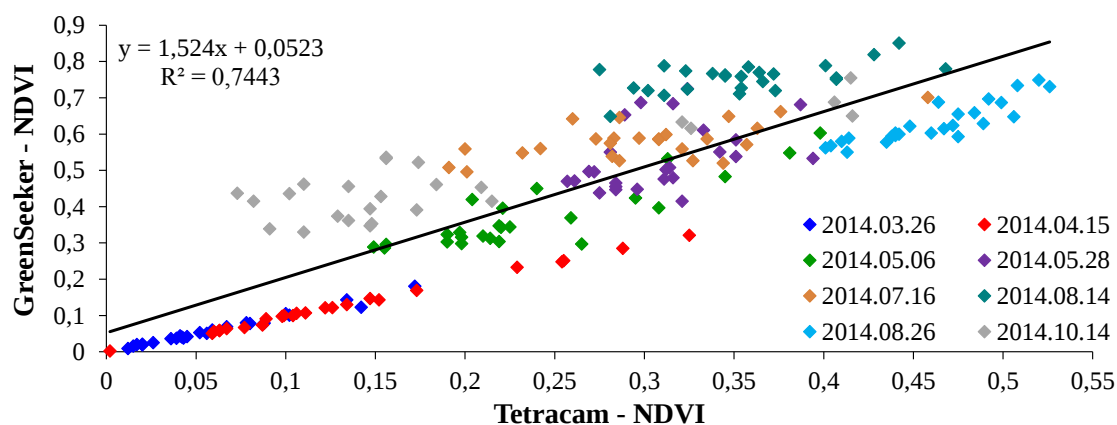
44. ábra: A vizsgált terület gyomflórájának térbeli alakulása, valamint a gyomeloszlásról készült hisztogramok a két vizsgálati időpontban

A teszterületet gyomborítottságát IDRISI Taiga szoftverben – 0,2-es NDVI osztályközöket használva – újraosztályoztam a gyomflóra vegetációs sajátosságai alapján. Öt kategóriát készítettem a gyomeloszlás értékelésére (44. ábra), majd az aktív flóra hisztogramjának elkészítéséhez 0,001-es NDVI osztályközöket alkalmaztam. A gyomflóra időbeli alakulását jól szemléltetik az egyes NDVI-kategóriákban bekövetkező változások (5. táblázat).

5. táblázat: Az almaültetvény gyomborítottság kategóriáinak változása a vizsgált időszakban

NDVI kategóriák	2014.03.26	2014.04.15	2014.05.06	2014.05.28	2014.07.16	2014.08.14	2014.08.26	2014.10.14
0 - 0,2	12,60%	4,93%	0,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,2 - 0,4	87,37%	86,97%	69,33%	3,10%	0,44%	0,00%	0,00%	33,88%
0,4 - 0,6	0,04%	8,11%	25,16%	82,40%	61,23%	1,02%	39,76%	49,95%
0,6 - 0,8	0,00%	0,00%	5,37%	13,84%	38,15%	79,88%	58,53%	14,06%
0,8 - 1	0,00%	0,00%	0,00%	0,66%	0,18%	19,09%	1,72%	2,12%

A GreenSeeker 505 adataiból készített NDVI-térképeket összehasonlítottam a Tetracam ADC képalkotó rendszer felvételeivel. A multispektrális felvételek készítésekor a gyümölcsös minden sorában 5-5 felvételt készítettem. A GreenSeeker adataiból interpolált térképet sorközönként 5, azaz összesen 25 kisebb területre bontottam (1. melléklet). Így összehasonlíthatóvá váltak a Tetracam ADC és a GreenSeeker 505 általi felmérések adatai (45. ábra). A Tetracam felvételek a sorközökön kívül nagyobb területeket is tartalmaztak (lombkorona, törzs, jégháló, égbolt, stb.), így a feldolgozás során törekedtem a sorközi területek analizálására.



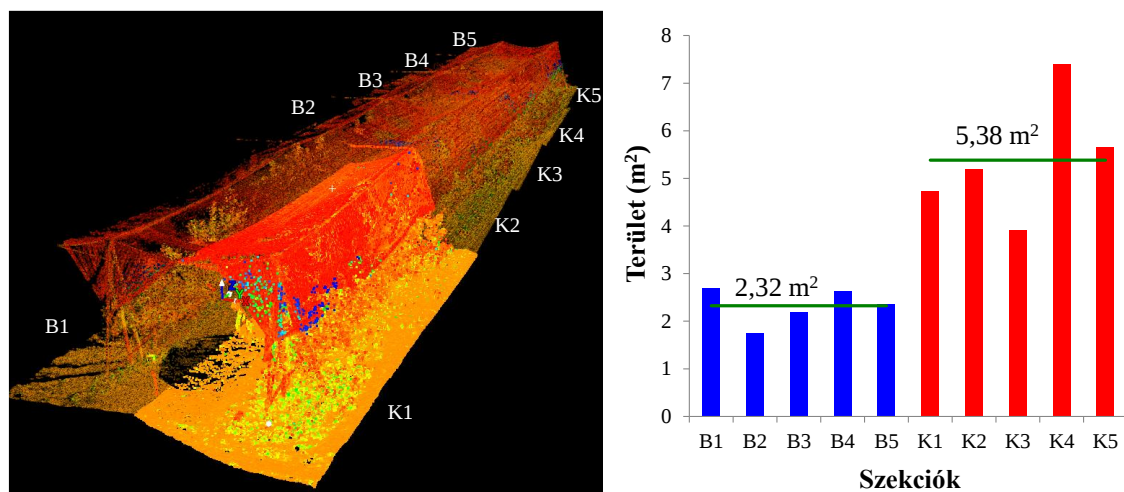
45. ábra: A GreenSeeker 505 és a Tetracam közötti összefüggés vizsgálat eredménye

A diagram színei jelzik az egyes időpontokban való mérések összefüggéseit, amely alapján szintén jól elkülöníthető a kisebb és a nagyobb vegetációs aktivitású gyomflóra. A Tetracam-NDVI és a GreenSeeker-NDVI között szoros lineáris kapcsolatot detektáltam ($r=0,863$).

Vizsgálataink során valószínűs fotók alapján pixelszintű gyomborítottságot is számoltam, melyet 1x1 m-es parcellás kísérletekkel is validáltunk. A képelemzés során a valószínűs felvétel vörös és zöld csatornáit felhasználva, az NDVI analógiájának készítettem vegetációs indexet (GRVI – *Green-Red Vegetation Index*), így a zöld növényi felület leválogatható lett (2. melléklet). A felmérés lehetőséget teremtett akár egy egyszerű fényképezőgép spektrális csatornáinak szétválogatásával a terület gyomborítottságának meghatározására.

Eredményeim alapján megállapítható, hogy mind a Greenseeker vegetációs indexméterrel, mind pedig a képalkotó rendszerekkel végzett mérések alkalmasak a gyomok tér- és időbeli eloszlásának vizsgálatára. Hasonló következtetéseket vontak le kutatásaik során GOVAERTS et al. (2007) és MEROTTO et al. (2012) is.

Kutatásaim során vizsgáltam a Leica ScanStation C10 3D lézerszkennert aktív gyomeloszlás-vizsgálatában való hatékonyságát, amelyhez a műszer által kibocsátott, majd a gyomok felületéről visszatérő lézernyaláb intenzitásértékeit használtam fel. A jégfalós terület két szélső sorát 5-5 részre osztottam fel.

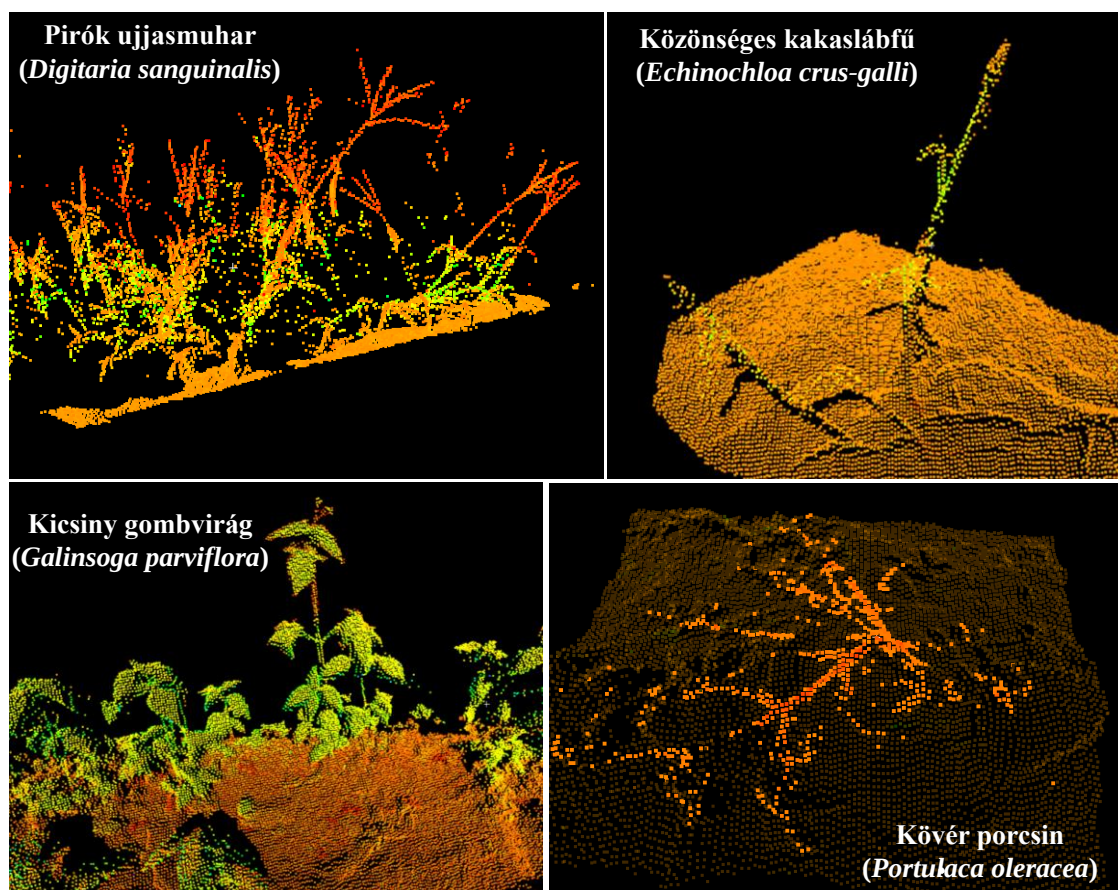


46. ábra: A vizsgált gyümölcsös két szélső sorának digitális feldarabolása és az egyes részek gyomborítottsága

(B_n – belső szekciók, K_n – külső szekciók)

Az ültetvény szélső sorának gyomossága nagyobb volt (46. ábra), mint a beljebb eső részeké, ami elsősorban a megvilágításnak volt köszönhető. A lézernyaláb visszatérési intenzitása az objektum fizikai tulajdonságainak függvényében változott. Az egészséges növényi vegetáció – klorofill tartalmának köszönhetően – nagyobb mértékben reflektálta a műszer által kibocsátott, zöld (532 nm hullámhosszúságú) fényt, mint a talaj, így a nagyobb intenzitási értékek leválogatásával pontosan meghatározhatóvá vált a vizsgált terület gyomborítottsága.

A GreenSeeker csupán a gyomok területi eloszlását, illetve a gyomborítottság intenzitását mutatja. A Leica ScanStation C10 3D lézerszenkenneres felmérés a terület gyomborítottságának meghatározása mellett a gyomok talajtól való lehatárolását is biztosította. A gyomnövényekről elkészült 3D-s pontfelhő térbeli alakja lehetőséget nyújtott a gyomok fajszerű azonosítására (47. ábra).



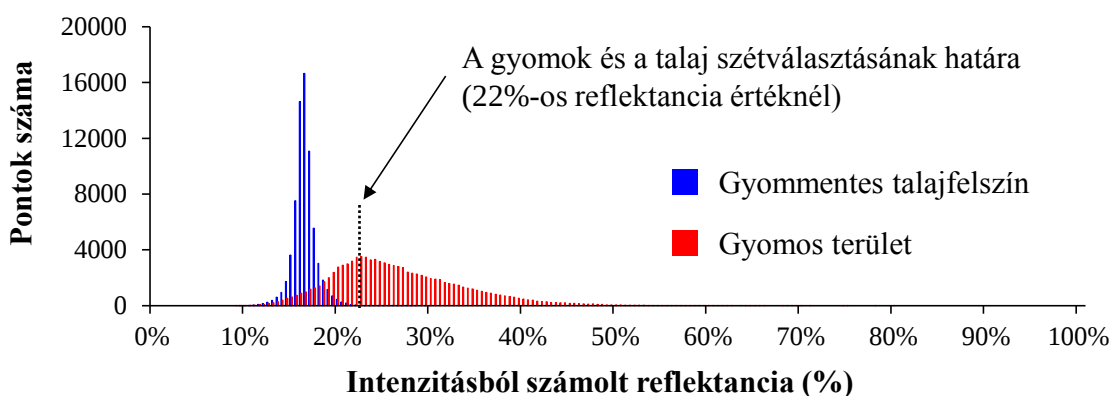
47. ábra: Az őszi felmérés során a 3D pontfelhőből elkülönített gyomfajok

A kísérleti területen két egyszikű (pirók ujjasmuhar – *Digitaria sanguinalis* és közönséges kakaslábfű – *Echinochloa crus-galli*), valamint két kétszikű (kicsiny

gombvirág – *Galinsoga parviflora* és kövér porcsin – *Portulaca oleracea*) gyomfajt detektáltam.

Összehasonlítottam a gyomnövények és a talajfelszín automatikus elkülöníthetőségét, melyet három szegmentálási módszerrel hajtottam végre, Leica Cyclone szoftverkörnyezetben. A szegmentálási algoritmusok alkalmazásával a két pontfelhő két kisebb részhalmazra lett felosztva.

Az első osztályozási technika a zöld lézerefény reflektált intenzitása alapján választotta ketté a talajt és a vegetációt (49. ábra/A). Mivel az egészséges növényi vegetáció kisebb mennyiséget abszorbeált, illetve transzmittált a lézernyaláb fényéből, így a „tanítóterületként” alkalmazott nagyobb intenzitású pontok képezték a szegmentálás alapját. Az intenzitásalapú szegmentálás a 22%-os reflektancia értéknél történt, melyet a gyomos és gyommentes felszín histogramjai alapján adtam meg (48. ábra). Az ábrán látható, hogy a histogramok között van átfedés, melynek a magyarázata, hogy a gyomos terület nem volt teljes borítottságú, így a talajfelszínről is érkezett vissza lézerjel.



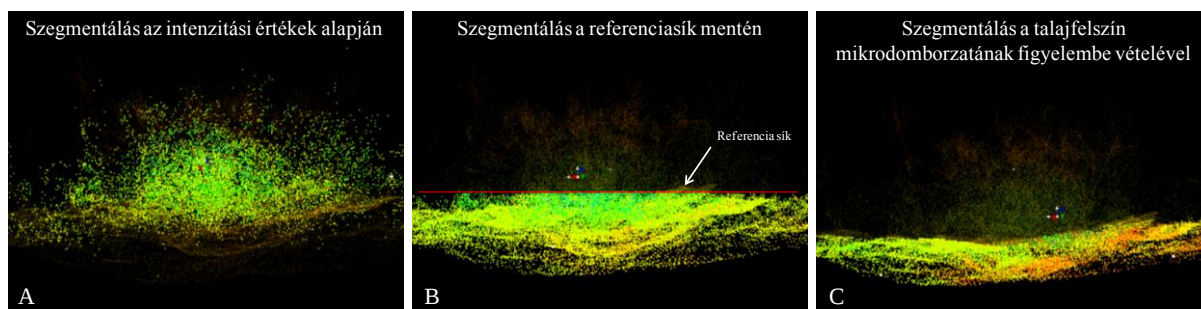
48. ábra: Gyomos és gyommentes talajfelszínről visszaérkező lézerefény reflektanciájának histogramja

További problémát jelentett az, hogy a legtöbb esetben a virágzat és a talaj intenzitásértékei közel azonosak voltak, így azok közös kategóriába kerültek. A vizsgált növények szárainak és leveleinek intenzitásértékeit összehasonlítva megállapítható, hogy az egyszikű növények nagyobb mértékben verték vissza a konstans zöld fényt, mint a kétszikű növények, amely a növényi szövetek anatómiai tulajdonságaival magyarázható, mivel az egyszikű növények szivacsos parenchima sejtjei kevesebb légüregget tartalmaznak, mint a kétszikű növény leveleinek sejtjei, valamint

sejtfalszerkezetük is eltérő (HOFFER és JOHANNSEN 1969; DE BOER, 1993). Ennek köszönhetően, az egyszikű növények könnyebben elkülöníthetőek a talajfelszíntől, míg a kétszikűek esetében a szeparálás nem volt egyértelmű.

A talaj-növényzet elválasztására hatékonyabb eredményt kaptam, ha egy referenciasík mentén (*Near the reference plane*) történt a szegmentálás (49. ábra/B). Ebben az esetben a virágzat nem került a talaj osztályba, ugyanakkor az algoritmus nem vette figyelembe a domborzatot. A talaj kisebb egyenetlensége is hasonló problémát eredményezett, mint az intenzitás alapján történő szeparálás, vagyis az akár néhány centiméteres szinteltérés esetében is volt olyan növényi rész, ami a talaj kategóriába került.

A domborzathatás figyelembevétele érdekében egy harmadik szegmentálási módszert alkalmaztam. A *Smooth Surface* algoritmus a felszíni „zaj” – jelen esetben a gyomflóra – kiszűrését végezte el a talaj és a gyomok szétválogatását (49. ábra/C). Ez a félautomata technika még akkor is hatékony módon különítette el a növényzetet a talajfelszíntől, ha viszonylag kis területen futtattam le az algoritmust, illetve ha a domborzatot alkotó pontfelhő nem volt komplex (pl. több pont „hiányzott” a felszínből a kitakarás hatására). Elterülő gyomok (pl. kövér porcsin – *Portulaca oleracea*) esetében a „felszíni zaj” elszeparálása csak nagyobb hibákkal volt lehetséges.



49. ábra: A Leica Cyclone-ban alkalmazott szegmentálási algoritmusok összehasonlításának eredménye egy pirók ujjasmuhar (*Digitaria sanguinalis*) gyomfolt példáján szimulálva

A különböző szegmentálási algoritmusokat statisztikai vizsgálatnak vetettük alá. Minden esetben szignifikáns különbséget tapasztaltam a talaj és vegetáció pontjai között, bármelyik szegmentálási algoritmust alkalmaztam (6. táblázat). Az eredmények numerikus kiértékelése kizárólag az intenzitási értékek alapján történhetett.

6. táblázat: A szegmentálási algoritmusok varianciaanalízisének eredménye*

Vizsgált gyomfaj	Digitaria sanguinalis			Echinochloa crus-galli		
Szegmentációs algoritmus	INT	REF	SMOOTH	INT	REF	SMOOTH
Szegmentált alaj	-1193,22 ^a	-1133,47 ^a	-1171,02 ^a	-1192,20 ^a	-1184,07 ^a	-1183,99 ^a
Szegmentált vegetáció	-703,93 ^b	-1031,69 ^b	-1063,43 ^b	-1128,03 ^b	-1076,09 ^b	-1105,79 ^b
Referencia talaj	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a
Referencia vegetáció	-1039,33 ^c	-1039,33 ^b	-1039,33 ^b	-1129,10 ^a	-1129,10 ^a	-1129,10 ^a

Vizsgált gyomfaj	Galinsoga parviflora			Portulaca oleracea		
Szegmentációs algoritmus	INT	REF	SMOOTH	INT	REF	SMOOTH
Szegmentált talaj	-1183,26 ^a	-1162,03 ^a	-1162,50 ^a	-1155,67 ^a	-1155,26 ^a	-1166,71 ^a
Szegmentált vegetáció	-1056,88 ^b	-1075,44 ^{ab}	-1090,18 ^{ab}	-1277,58 ^b	-1173,81 ^b	-1164,52 ^a
Referencia talaj	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^a	-1170,20 ^b	-1170,20 ^a
Referencia vegetáció	-1055,49 ^b	-1055,49 ^c	-1055,49 ^c	-1291,62 ^b	-1291,62 ^c	-1291,62 ^b

* az „a, b, c” indexek jelölik a szignifikáns különbséget a szegmentált talaj, a szegmentált vegetáció, a referencia talaj és a referencia vegetáció között az adott szegmentációs algoritmusok és növényfajok között.

INT – Intenzitás alapján végzett szegmentálás

REF – Referenciasík mentén végzett szegmentálás

SMOOTH – A mikrodomborzat figyelembevételével történt szegmentálás

A vizsgált gyomfajok azonosításában használt szegmentációs eljárásokat is összehasonlítottam, melyet a 7. táblázat mutat be. A legjobb eredményt az intenzitási értékek általi szegmentálás biztosította. Az intenzitási értékek nemcsak a gyomok és a talaj szétválasztására voltak alkalmasak, hanem a gyomfajok egyedi azonosítására is, ami hasznos precíziós gyomirtási feladatokban nyújthat segítséget.

7. táblázat: A különböző gyomfajok azonosítása*

	Intenzitási érték alapján	Referencia sík által	„Smooth surface”
<i>Digitaria sanguinalis</i>	-703,93 ^a	-1031,69 ^a	-1063,43 ^a
<i>Galinsoga parviflora</i>	-1056,88 ^b	-1075,44 ^a	-1090,18 ^{ab}
<i>Echinochloa crus-galli</i>	-1128,03 ^c	-1076,09 ^a	-1105,79 ^b
<i>Portulaca oleracea</i>	-1277,58 ^d	-1173,81 ^b	-1164,52 ^b

* az „a, b, c, d” indexek jelölik a szignifikáns különbséget a gyomfajok között

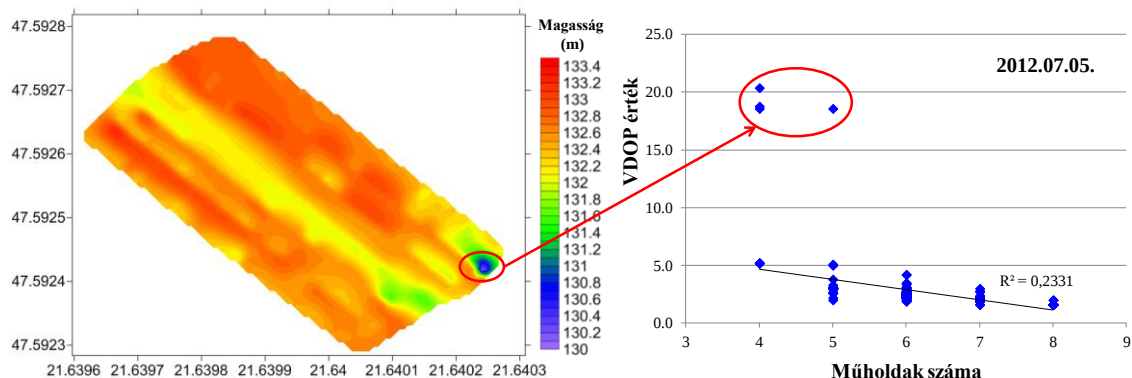
Összefoglalóan megállapítható, hogy az általunk végzett lézerszenneres mérések alkalmasak voltak a gyomok területi eloszlásának vizsgálatára, ugyanakkor fajsztű gyomdetektálás is elvégezhetővé vált.

4.4. Távérzékelési adatokra alapozott talajtani vizsgálatok értékelése

4.4.1. Az almaültetvény mikrodomborzati vizsgálatának eredményei

Egy intenzív gyümölcsösben az átmeneti vízborítás a vegetációs aktivitás csökkenését, termés kiesét, bizonyos esetekben akár a gyümölcsfák hamarabbi pusztulását is előidézhetik. Ilyen környezeti viszonyok általában rövid idő alatt lehulló, nagy intenzitású csapadék, többnapos nagycsapadék, nagy intenzitású hóolvadás következtében alakulhatnak ki, melyet a talaj vízgazdálkodási viszonyai nagymértékben befolyásolnak (VERMES, 1997).

Az intenzív gyümölcsültetvény AgGPS-szel történő valós idejű felmérése 6 különböző időpontban történt 2011 és 2013 között, melynek lényege az ingyenesen elérhető EGNOS korrekcióból, valamint műhold konstellációból adódó egyes hibák kiküszöbölése volt. A mérések során maximálisan 9 műhold adatait összegezte a jobcomputer. A mérések átlagában szoros kapcsolatban álló ($r=0,74$) horizontális (HDOP) és vertikális (VDOP) pontosság hígulási értéke a „látott” műholdszám függvényében változott. A műholdak pályakonstellációs adatai, a mérés során a változó időjárás (felhősödés) hatására, valamint a mérések során a 8°-os domborzati maszk alkalmazása mellett, az AgGPS FmX készülék csak a legerősebb jelek adatait gyűjtötte össze, így egyes esetekben kevés számú műholdadat állt rendelkezésre a pontos helymeghatározás kiszámításához (50. ábra).

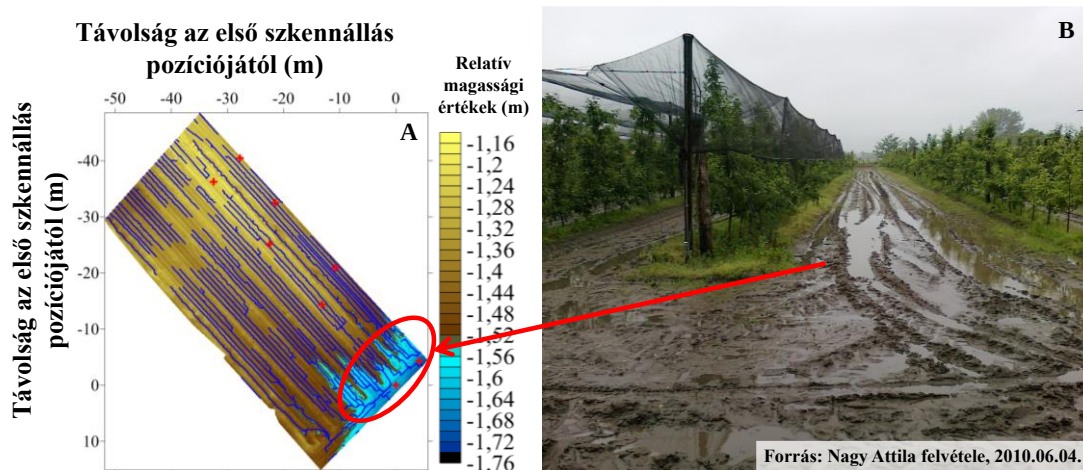


50. ábra: A műholdak száma és a VDOP értékek közti negatív korreláció a 2012.07.05. mérés során és a vertikális magasságsökkenés térképi ábrázolása

Az ábra szemlélteti a 2012.07.05-i mérés során a műholdak száma és vertikális precízió közti összefüggést, valamint a konstellációs hibák térképi felületen való megjelenését. Az ábrán kiemelt részek magasabb VDOP értékeket mutatnak, melyek a műholdak száma és egyéb, nem vizsgált konstellációs problémákból eredő hibákból adódnak. A 2012.07.05-i mérés során azokban az esetekben, ahol mindössze 4 műholdtól származtak az adatok, ott az átlagostól kb. 4-szer nagyobb VDOP értéket tapasztaltam. Ez, a valós idejű magassági értékben is tükröződik, mivel átlagosan 2,5 m-rel kaptunk alacsonyabb értéket a környező magassági pontokhoz képest. Ezen hibák torzíthatják a mikrodomborzati elemzést. A mikrodomborzat alacsonyabb és magasabb részeinek „kiemelése” érdekében az egyes mérések rácsértékeit összeszoroztam.

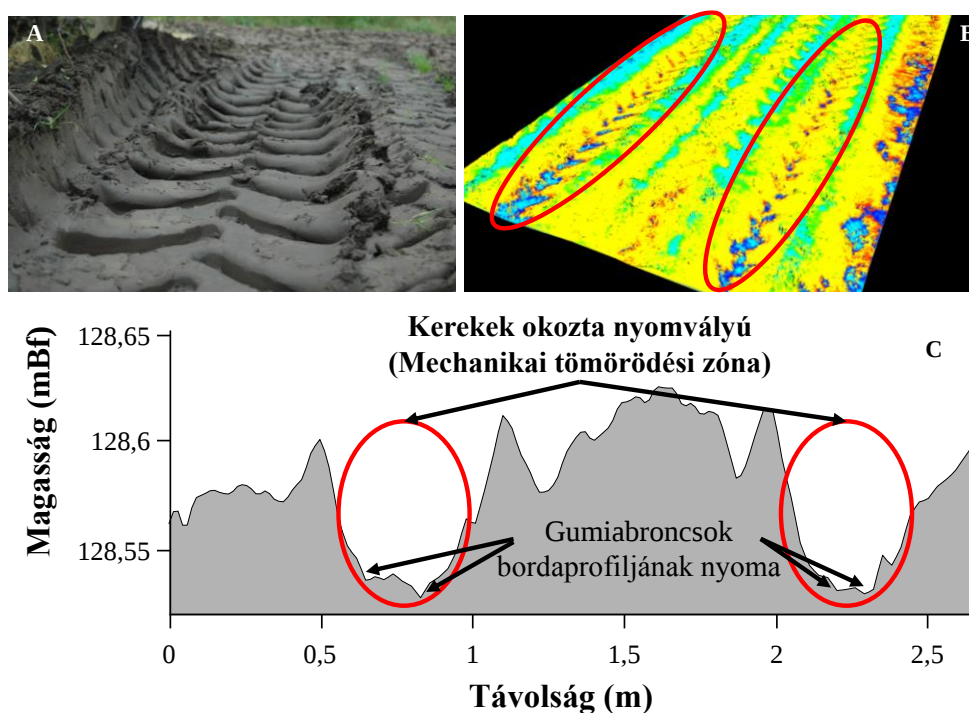
A Leica ScanStation C10 lézerszkennerral történő felmérés adatainak felhasználásával is megvizsgáltam a terület domborzati sajátosságait. A közel 75 millió pontból álló pontfelhő, a domborzatmodellezés szempontjából zavaró elemeket (gyomok, gyümölcsfák, jégháló, stb.) is tartalmazott, melyeket eltávolítottam, így egy közel 40 millió pontból álló adathalmazmal végeztem a domborzatmodellezést (51. ábra/A). A lézeres adatokból képzett domborzatmodell is alátámasztja azt a tényt, miszerint a 4.3. fejezetben értékelt gyomfejlődés azokon a területeken volt intenzívebb a vizsgált időszakban, ahol a mélyebb területek voltak, így a víz összefolyása is azokra a régiókra koncentrált.

NAGY et al. (2011) komplex vízgazdálkodási kutatásai kimutatták, hogy az intenzív gyümölcsös mely területein alakulhatnak ki időszakos vízállások – a belvíz kialakulásának szempontjából – kedvezőtlen talajtani adottságok miatt. Kutatásuk nem terjedt ki a terület domborzatának vizsgálatára, méréseinkkel kiegészítve ugyanakkor megfigyelhető, hogy a mélyebb fekvésű területeken alakultak ki nagyobb valószínűséggel a felszíni vízborítások, amelyet a felszíni lefolyási viszonyok is alátámasztanak (51. ábra/B).



51. ábra: A 3D lézeres felmérés során elkészült domborzatmodell (A) és a 2010-es jelentősebb belvízfoltok (B) térbeli elhelyezkedése.

A Leica Cyclone-ban egy szabálytalan háromszöghálót (*Triangulated Irregular Network – TIN*) feszítettem a talajt alkotó pontfelhőre. A DEM-et szintén TIN technikájával, valamint a tömörödési profil is Surfer 11 szoftverben készítettem el. Az így előállított domborzatmodell a milliméteres szintkülönbségek érzékelését is lehetővé teszi (52. ábra), ami fontos alapadatként szolgálhat. Ugyanis a munkagépek gumiabroncsai és a talaj közötti kapcsolat (nyomás és talajdeformáció) vizsgálata igen problematikus (KORMANEK, 2009).



52. ábra: A kertészeti munkagépek által okozott tömörödési profil ábrázolása

Eredményeim alapján megállapítható, hogy az alkalmazott munkagépek művelést segítő fedélzeti GPS-ének adatai kizárólag a traktor haladási sávjában (a sorközökben) gyűjtik a műholdadatokat. Bizonyos műhold-konstellációs hibák következtében a vertikális pontosság, így a megfelelő minőségű domborzatmodell valós idejű meghatározása csak nagyobb hibák révén biztosítható.

A földi lézerszkennerek gyorsaságának köszönhetően, nagy sebességgel, viszonylag rövid idő alatt, nagy területen, nagy felbontású domborzatmodellt állítottunk elő, melynek segítségével nemcsak a terület lefolyási viszonyait tudtuk meghatározni, hanem a mezőgazdasági vagy kertészeti munkagépek kerekei által okozott tömörödési zónáját is vizsgálhatjuk.

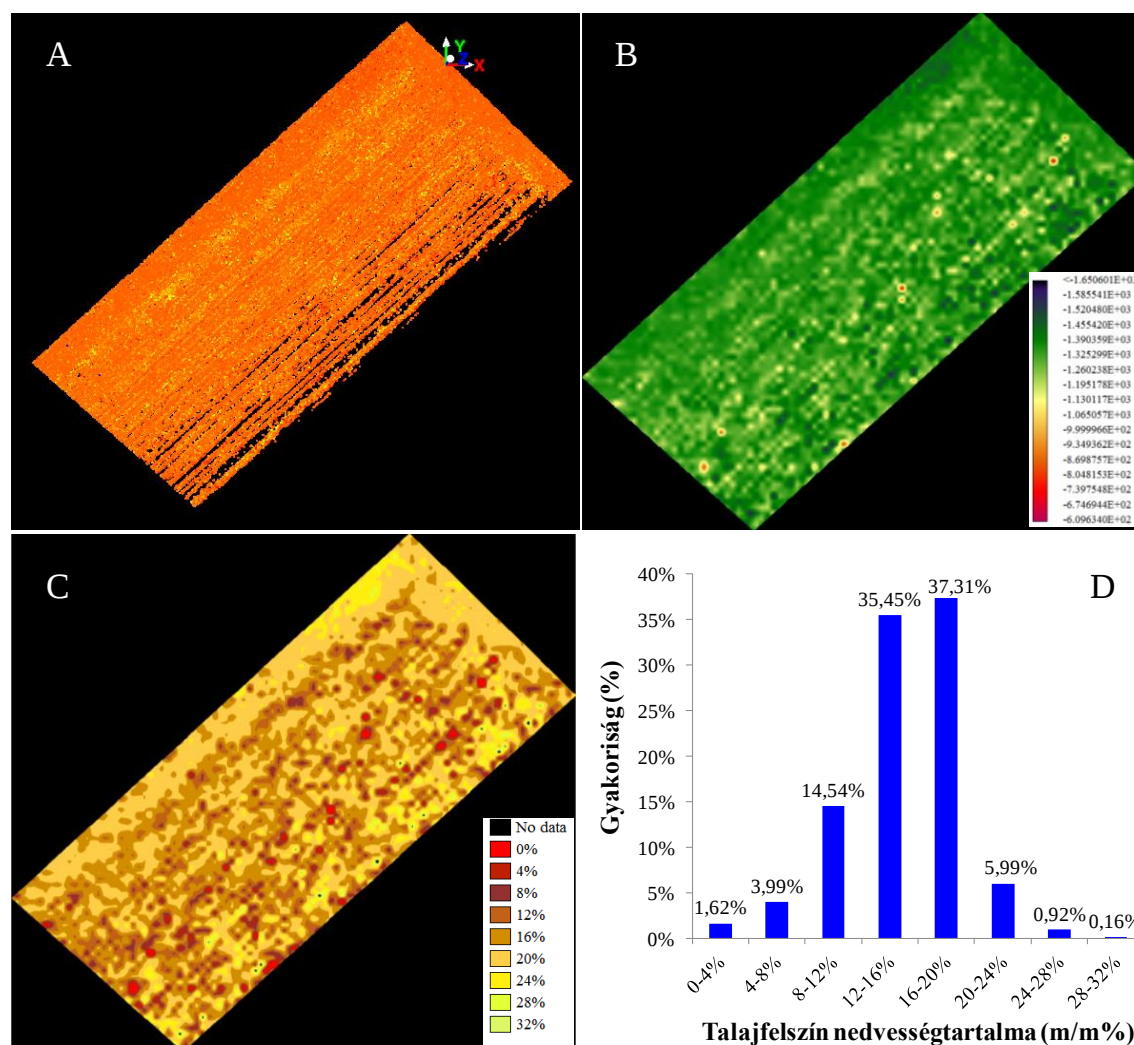
4.4.2. Felszíni talajnedvességi vizsgálatok

A gyümölcsösök vízforgalma, valamint öntözése szempontjából fontos információval szolgálhat a talaj nedvességtartalmának alakulása, melyet hagyományos és távérzékelési eszközök segítségével egyaránt lehet vizsgálni. Méréseink során megvizsgáltuk, hogy a 3D lézerszkennerek által kibocsátott lézernyaláb milyen módon verődik vissza a különböző nedvességállapotú talajfelszínről. Így a terület horizontális nedvességviszonyai váltak vizsgálhatóvá.

Méréseinket laboratóriumi körülmények között teszteltem, ahol különböző nedvességtartalmi állapotokat szimuláltam, majd a lézerszkennerek segítségével vizsgáltam a talajminták intenzitási sajátosságait a nedvesítés függvényében. A 3D lézerszkennerek reflektancián alapuló intenzitásértékeit a távolság függvényében értékeltem. A vizsgálat eredménye igazolta, hogy a talajminták fokozatos nedvesítése révén megváltozik azok visszaverődési tulajdonsága. A víz hatására a talajok nagyobb mértékben nyelték el a zöld lézert, így a kísérleti sorozat nedvesebb talajmintái felé haladva egyre kisebb intenzitási értékeket detektáltam. Az egyes nedvesítések intenzitási értékeit varianciaanalízisnek vettem alá, amely eredménye alapján megállapítható, hogy a legjobb statisztikai elkülönítést a 4 m-es távolságban lévő minták esetében tapasztaltam, ám a 16% és 18% nedvességtartalmú talajminták esetében statisztikai különbség nem volt detektálható. Több esetben a két legszárazabb és legnedvesebb minta statisztikai csoportosítása is problematikus volt, a távolság növelésével a csoportosítás bizonytalansága pedig még nagyobb lett. Amennyiben a nedvesített talajmintákat 4%-onként összevontam, úgy a statisztikai csoportosítás a

távolság növekedésével is megbízhatóbbá vált, viszont ebben az esetben is 9 m-es távolságban már bizonyos csoportok átlagai, illetve szórásai közötti eltérések alapján a Tukey-B teszt nem talált statisztikai különbséget (3. melléklet). A laboratóriumi mérések biztosították azokat a tanítóterületeket, amelyek a terepi mérések kiértékelését szolgálták.

A terepi mérések során a gyümölcsös felmérését több álláspontból végzett szkennelési adatok egy koordinátarendszerben történő összegezésével hajtottam végre.

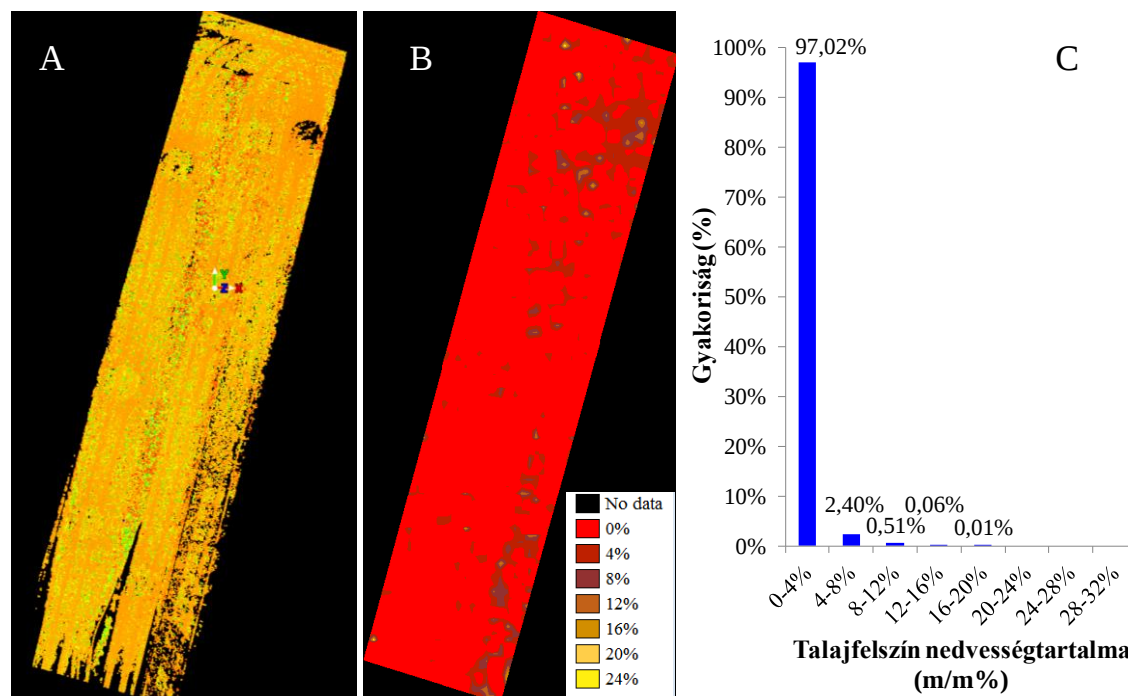


53. ábra: A 2012. március 9-i lézeres felmérés a talajfelszín nedvességviszonyairól (A – Nyers pontfelhő; B – Interpolált intenzitásértékek; C – Újraosztályozott talajfelszín; D – A felszíni nedvességviszonyok hisztogramja)

Az egyes műszerállások pozícióinak létrehozásakor törekedtem arra, hogy az egyes szkennelések bizonyos mértékű átfedésben legyenek egymással. Ennek eredményeként a teljes talajfelszínt több pozícióból (eltérő távolságokból) is pásztázták a lézernyalábok.

A pontfelhő exportálását követően a vizsgált terület adathiányos (ponthiányos) részeire térbeli becslési eljárás segítségével adtam közelítést. Mivel egy adott szkennállásról kibocsátott lézerimpulzus sűrűsége az álláspont közelében nagyobb volt, így az interpolációs eljárás során a távolabbról érkező lézersugarak intenzitásértékei kevésbé voltak hangsúlyosak.

A talajfelszín nedvességviszonyainak térképezése céljából a labormérés eredményeit (3.4. fejezet), mint spektrális tanítótérületeket használtam fel a talaj osztályozására. Két időpontban végzett lézeres felmérés adatait dolgoztam fel annak érdekében, hogy meghatározható legyen a talajfelszín nedvességtartalmának térbeli alakulása (53. és 54. ábra).



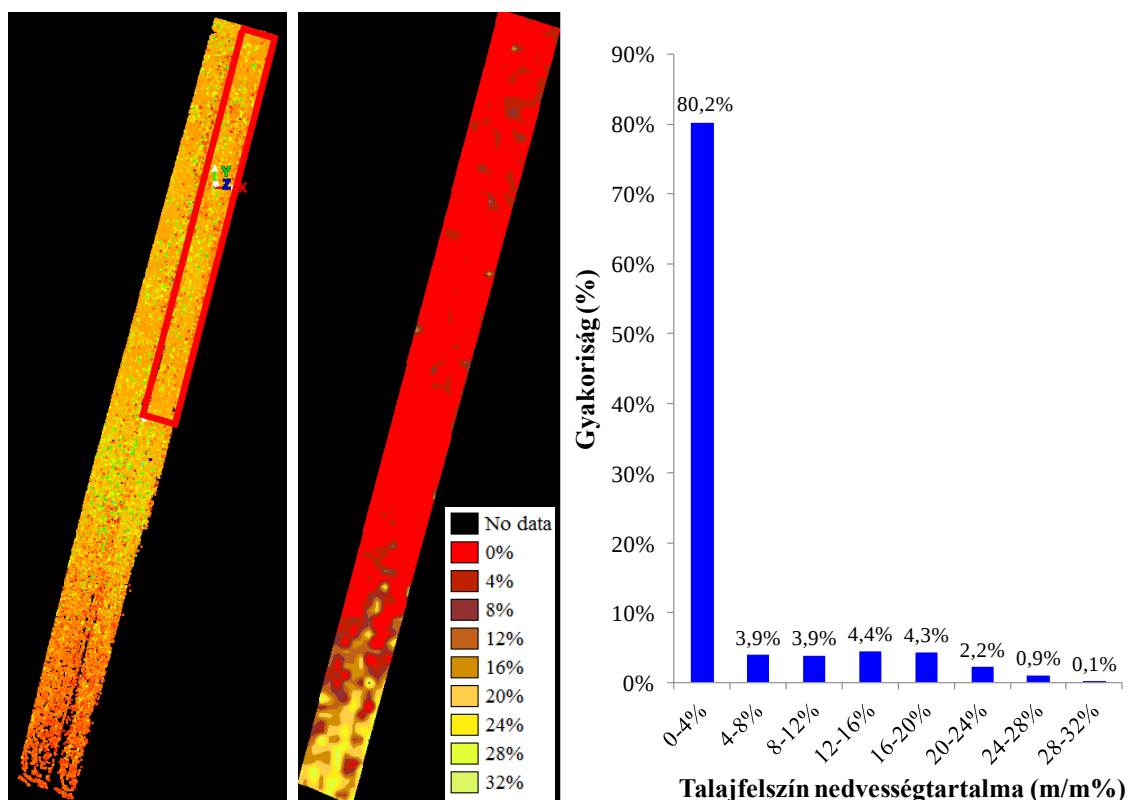
54. ábra: A 2013. június 19-i lézeres felmérés a talajfelszín nedvességviszonyairól (A – Nyers pontfelhő; B – Újraosztályozott talajfelszín; C – A felszíni nedvességviszonyok histogramja)

A tavaszi mérés eredményei alapján megállapítható, hogy a beosztályozott talajfelszín több mint 70%-a a 12-20% nedvesítési kategóriába tartozott. A helyi meteorológiai adatok alapján elmondható, hogy a 2011 telén és 2012 tavaszán (a mérés időpontjáig összesen) 163,3 mm csapadék hullott, elsősorban hó formájában. Március elején egy meleg frontnak köszönhetően a hőmérséklet emelkedni kezdett, melynek hatására az olvadt hó a talajba szivárgott, majd a mérés előtt 5 nappal ismét negatív

hőmérsékleti értékek voltak jellemzők, így a párolgás minimalizálódott, a talaj megőrizte nedvességtartalmát.

A nyári felmérés egy kisebb területre (kb. 800 m²) koncentrálódott, melynek az oka a gyümölcsfák lombjának nagyobb mértékű takarása volt (54. ábra). A nyári időpontban végzett szkennelés adatfeldolgozásának eredménye alapján megállapítható, hogy talajfelszín nagyobb része (97,02%-a) a 0-4 m/m%-os osztályba esett. A meteorológiai adatok tekintetében megfigyelhető, hogy a felmérés előtt közvetlenül nem volt csapadék. A mérés előtt 10 nappal több, mint 9 mm csapadék hullott ugyan a területre, viszont a klimatikus és edafikus tényezők hozzájárultak a felszín kiszáradásához. A rossz vízháztartású, kis humusztartalmú (Hu<1%), nagy porozitású talaj vízleadása a mérést megelőzően detektált relatíve magas (21°C felett) átlaghőmérsékleti napokban gyorsabban megtörtént.

A lézersugarak visszatérő intenzitásának, a távolság, illetve a mérési szög függvényében való változását már a laborkísérletek is igazolták, de a hatás a szabadföldi kísérletek során is megfigyelhető (55. ábra).



55. ábra: A távolság hatása az intenzitásértékekre

A nyári felmérés száraz talajfelszínén az intenzitásérték alapú kategorizálás jobban szemléltethető, mint egy nedvesebb talajállapot esetében. Az 55. ábrán piros téglalappal jelöltem a jégghálós terület látható szegmensét (a terület mellett a művelőút, illetve jégvédő hálózattal nem védett terület található). A jégghálózattal fedett gyümölcsös talajának vége az utolsó szkennállástól kb. 10 m-re helyezkedett el. A jégghálós terület, valamint a mellette található művelő út alkották az elsődleges felmérési helyszíneket, ahol a talajfelszín intenzitásértékeinek szórása 59,66 volt, míg a jégghálózattal nem védett területen a talaj intenzitásértékeinek szórása magasabb volt (202,63).

A hisztogram alakulásából látható, hogy nagyobb nedvességtartalmat jelző talajfelszín-kategóriák is megjelentek, ugyanakkor ezek az eredmények hibásak, mivel ugyanolyan környezeti viszonyok alatt álltak a szkennerektől messzebb elhelyezkedő területek is. Ez azzal magyarázható, hogy a mérés szöge komoly hatással van az intenzitásértékekre a mérés során.

Összességében megállapítható, hogy a zöld lézernyalábot kibocsátó 3D lézerszkennerek alkalmasak a talajfelszín nedvességviszonyainak gyors és hatékony meghatározására. A mérés eredményességét a lézerszkennerek és a talaj közötti távolság, illetve a mérés szöge határozza meg. Az adatok topográfiai információkkal való kiegészítése vízrendezési célokat szolgálhat. A lézernyaláb reflektanciájának és a talajfelszín nedvességviszonyainak kapcsolatát vizsgálva, hasonló eredményeket kaptak NIELD et al. (2014) eolikus környezetben végrehajtott méréseik során.

5. Következtetések, javaslatok

A minőségi kertészeti termékek előállítása egyre inkább megköveteli a gazdálkodók számára a helyspecifikus termesztéstechnológia meglétét, melynek megvalósítása fejlett információs technológiai eszközök révén biztosítható. A kertészeti területen eddig kevésbé alkalmazott távérzékelési és térinformatikai rendszerek révén lehetőségem nyílt egy intenzív almaültetvény spektrális és strukturális tulajdonságainak vizsgálatára.

Kutatásaim első lépéseként a helymeghatározási vizsgálatokat végeztem el, melyek célja a műholdra alapozott, táblán belüli pozicionálás valós idejű elemzése. Ingyenes és előfizetési díj mellett igénybe vehető automatikus korrekciókkal javított, illetve korrekció nélküli navigálási feladatokat hajtottunk végre a haladási irány figyelembe vételével, majd kiértékeltem a kapott eredményeket. A helymeghatározást segítő AgGPS FmX fedélzeti számítógép másodpercenként rögzítette az automatikus kormányzási hibasáv (*Offline distance*) értékét. Ezeket az értékeket tizedméteres osztályközökre bontva, meghatároztam a rögzített koordináták mérési tartományának számát, így számszerűsíthetővé vált az egyes korrekciók navigálási pontossága. Összehasonlító vizsgálatom révén megállapítható, hogy a korrekció nélküli mérési eredmények adták a legpontatlanabb navigálást. További vizsgálatok szükségesek annak érdekében, hogy megvizsgáljam a gyümölcsös lombozata és/vagy jégfű, illetve korrekció szempontjából zavaró egyéb tényezők milyen mértékben gyakorolnak hatást a navigáció pontosságára.

Az intenzív gyümölcsültetvényben végzett spektrális vizsgálatokat a gyümölcsfák fejlődésének különböző fenológiai stádiumaiban végeztük el. A terepi méréseket megelőzően, elkészítettem a – kertészeti gyakorlatban kevésbé elterjedt – GreenSeeker 505 vegetációs indexméter laboratóriumi kalibrációs görbéjét. Értékeltem az interpolált NDVI-térképek közti tér- és időbeli változásokat. Az NDVI-térképek alapján meghatározhatóvá vált a megbetegedett gyümölcsfák elkülönítés már a klorotikus, illetve nekrotikus tünetek megjelenése előtt.

Elkészítettem a vizsgált terület átlagos NDVI-értékei alapján gyümölcsfák növekedésdinamikai változását, melynek alapján meghatároztam a folyamatot leíró polinomiális összefüggést. A GreenSeeker 505 műszer mellett további távérzékelési elven működő eszközökkel pontszerű méréseket végeztem, így validáltam a terepi mérés-kombinációk eredményeit. Az alkalmazott eszközkombinációkon kívül vizsgáltam az egyes térinformatikai szoftverek közötti átjárhatóságot is.

A gyümölcsfák egyedi struktúrájának vizsgálatát – először a magyar kertészeti gyakorlatban – a 3D-s lézerszkennerral végeztem el. A gyümölcsfák törzskörméretét, valamint azok magasságát a lézeres mérések mellett hagyományos eszközökkel is elvégeztük. A lombos és lomb nélküli állapotban elvégzett felmérések hozzájárultak ahhoz, hogy újabb információkat gyűjtsünk a gyümölcsfákról. Míg a nyári időszakban készített felvételek elemzése során a fa és a lombzat magassága, a lombzat kiterjedése, a törzsátmérő pontos értékei számíthatók, addig a nyugalmi időszakban a gyümölcsfák ágrendszere számszerűsíthető. További vizsgálatok szükségesek annak érdekében, hogy a lombzat ágrendszerének automatikus parametrizálása megtörténjen, így nagyobb hatékonysággal lenne elvégezhető a koronaforma kialakítása. A 3D-s adatok feldolgozásához használt szoftvereket a gyártók elsősorban műszaki (gépészeti, építészeti, stb.) célokra fejlesztették ki. A szoftverek mezőgazdasági és kertészeti célra történő adaptációja a szoftverfejlesztők számára is újszerű tartalommal bír.

Vizsgálataim kitértek a távérzékelési eszközökkel végzett termésvizsgálatra is. Laboratóriumi spektrométer segítségével, két almafajta (*Gála Must* és *Early Gold*) érésének spektrális alapú távérzékelési vizsgálatát különböző időpontokban végeztem el. A reflektancia görbék elemzésekor a növényi levelekben található pigment molekulákhoz kötött hullámhossztartományokra, illetve az azokból számolható vegetációs indexekre (PSRI, BRI) koncentráltam. A gyümölcsök fedőszínének időbeli változását egy-egy parabolikus függvénnyel reprezentáltam. A mérések során a betakarítást követően a gyümölcsfákon hagyott gyümölcsökkel a túlérését szimuláltuk. A gyümölcs felületén ekkor már megjelentek a gyümölcsminőség romlásának jelei is, ami spektrálisan elkülöníthetővé vált. A spektrális mérések hozzájárulhatnak a gyümölcsök optimális érésének nyomon követéséhez.

A 3D lézerszkenneres pontfelhő alapján gyümölcstömeg-bebecsléseket végeztem. Térbeli gömbfelület-illesztési algoritmusok alkalmazásával detektáltam a gyümölcsöket, majd az illesztett gömb térfogatából és a laboratóriumban mért gyümölcssűrűségi adatokból kiszámoltam a „virtuális” gyümölcsök tömegét, amelyet korreláltattam a valós minták tömegével. Az így kidolgozott félautomata technológia további kalibrációval termésbecslési eljárásokra is alkalmas.

Kutatásaim során elvégeztem a gyümölcstüvelvény gyomborítottságának és fajsintű gyomszegmentálásának vizsgálatát. A vizsgált területről a GreenSeeker 505 műszerrel gyűjtött adatokból elkészített NDVI-térképek lehetőséget teremtettek a gyomok tér- és

A 3D lézeres intenzitásértékeinek újraosztályozásával kiszámoltam a vizsgált terület két sorának gyomborítottságát, illetve elvégeztem a területen lévő gyomok fajsztíntú elkülönítést is. A gyomszegmentálást speciális algoritmusok segítségével hatottam végre, majd az eredményeket varianciaanalízissel értékeltem. A kapott eredmények jövőbeli vizsgálatok alapjául szolgálhatnak, melyek segítségével az egy- és kétszikú gyomok elkülönítése, helyspecifikus és vegyszertakarékos gazdálkodási feladatokat alapozhat meg.

A gyümölcsösök öntözése szempontjából fontos információval szolgálhat a talaj nedvességtartalmának térbeli alakulása. Laboratóriumi kísérleteim során a vizsgált gyümölcsös talajának nedvesítési sora tanítótérületekként szolgált a 3D lézeres terepi mérésekhez. A lézeres intenzitásértékek változása jól követte a talaj nedvességváltozásának alakulását a vizsgált időpontokban. Elkészítettem az újraosztályozott terület felszíni nedvességviszonyainak hisztogramját. Vizsgálataim kimutatták, hogy a Leica ScanStation C10 lézerszkennerek intenzitásértékeit a távolság, illetve a mérés szöge befolyásolja.

6. Új tudományos eredmények

1. Szántóföldi körülmények között számszerűsítettem a különböző GPS korrekciós rendszerek (EGNOS, OMNISTAR, RTK, FÖMI hálózat) által elérhető navigációs irányszög (BRG) szerinti pontossági értékeket.
2. Meghatároztam a vegetációs időszakban egy intenzív alma ültetvény lombzatának tér- és időbeli spektrális változásait és ennek alapján elkészítettem a lombfejlődési folyamatot leíró spektrális polinomiális matematikai összefüggést.
3. Bizonyítottam, hogy a kidolgozott intenzív almaültetvény spektrális tereinek szegmentálási módszere alkalmas a gyümölcsfa-pusztulás korai előrejelzésére.
4. Bizonyítottam, hogy a világossárga (*Early Gold*) és világos piros (*Gala Must*) fedőszínű almafajták spektrométeres spot méréssorozata alapján meghatározott vegetációs indexek alkalmasak a gyümölcserési folyamat számszerűsítésére.
5. Hazánkban elsőként dolgoztam ki a lézeres pontfelhő számítás alapján az alma gyümölcsfák 3D-s térbeli modelljét, amely alkalmas a fák topológiai struktúrájának numerikus leírására és a szüret előtti gyümölcstömeg-becslésre.
6. Bizonyítottam, hogy a lézeres pontfelhő szegmentálási algoritmusaim alkalmasak a gyomflóra térszerkezetének értékelésére. Az eredményeket különböző távérzékelési technikákkal validáltam.
7. Az almaültetvény lefolyási viszonyait digitális mikrodomborzati modell alapján értékeltem és bizonyítottam, hogy a zöld (532 nm) lézer reflektancia intenzitási értékei alkalmasak a felszíni nedvességi viszonyok értékelésére.

7. Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

1. Az általam használt spektrális eszközök és térinformatikai módszerek lehetőséget nyújtanak a növényvédőszer-takarékos, hely- és fajspecifikus, gyomirtási precíziós kertészeti rendszerek továbbfejlesztésére.
2. A korai kórtani detektálás segíti a termelőt a preventív növényvédelmi beavatkozások optimalizálásában.
3. A vegetációs indexek segítségével, illetve a kidolgozott gyümölcstömeg becslési módszerrel optimalizálható a betakarítás időpontja és a kapcsolódó post harvest technológia.
4. A domborzatmodell lehetővé teszi a lefolyási és összegyülekezési viszonyok optimalizálását és a mikrovízgyűjtők lehatárolását, amely segítségével akár a belvíz- és aszálykárok csökkenthetőek.

8. Összefoglalás

Magyarország agroökológiai potenciálja biztosítja a kiváló termesztési feltételeket a hazai almatermesztés számára, melynek célja a megfelelő minőségű és mennyiségű termés előállítása. A minőségi kertészeti termékek előállítása megfelelő precíziós gazdálkodás hiányában nehezen megvalósítható. Az információs technológia fejlődése tette lehetővé a táblán belüli változások meghatározására szolgáló szenzorok folyamatos fejlesztését. Az alkalmazott eszközök, módszerek és szoftverkombinációk lehetővé teszik a vegetáció pontos megismerését, ami a helyspecifikus gazdálkodási gyakorlat egyik meghatározó eleme.

Az általam végzett kutatások célja az volt, hogy egy intenzív almaültetvény spektrális és strukturális vizsgálatát végezzem el, így az ültetvény optikai tulajdonságaiban bekövetkező tér- és időbeli változások váltak nyomonkövethetővé. Kutatásaim kiterjedtek termés és a növénytermesztési tér vizsgálatára is, így gyomdetektálás, spektrális talajvizsgálatok és mikrodomborzat-elemzések is elvégzésre kerültek.

A referencia helymeghatározási vizsgálatok helyszíne a Helianthus Növénytermelő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. egyik mezőgazdasági területe volt. A vizsgálatokat a Trimble AgGPS FmX fedélzeti számítógéppel végeztük. Vizsgálataim során hat korrekciótípus pozicionálási pontosságát, illetve az egyes GPS korrekciós jelek automatikus navigációs hatását értékeltem. A vizsgálat eredményeit tekintve megállapítható, hogy a K-Ny és Ny-K irányban detektált „*Offline distance*” értékek szórása alacsonyabb volt, mint a D-É, illetve É-D irányokba, a nagyobb pontosságot biztosító korrekciók esetében (GNSS, RTK, XP-HP), a korrekció nélküli mérések esetén ez épp fordítva alakult. Elkészítve az égtájként és korrekciónként az „*Offline distance*” értékek szórásának hisztogramját, statisztikailag megállapítható, hogy a korrekció nélküli mérés szignifikánsan különbözik az alkalmazott korrekciós jelek méréseitől.

A növénytermesztési tér vizsgálatai elsősorban a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Debreceni Tangazdasága és Tájkutató Intézete, Pallagi Génbank és Gyakorlólhelyén folytak. A földi távérzékelte vizsgálatok helyszíne a kísérleti telep északi részén található csepegtető öntözőrendszerrel ellátott intenzív

almagyümölcsöse volt. A kb. 0,1 ha-os, hat sorból álló, jégfalóval védett, 4x1 m-es térállású ültetvény 300 almafát tartalmaz.

A távérzékelési vizsgálatokat passzív és aktív távérzékelési műszerekkel végeztük. A gyümölcsös és gyomborítottságának felmérésére spektrális információk begyűjtésére a GreenSeeker 505 vegetációs indexmért, valamint a Tetracam ADC multispektrális kamerát használtuk. Az almafák és a gyomok strukturális felmérését a Leica ScanStation C10 3D lézerszkennelvel végeztük. A spektrális szenzorok segítségével az almafák lombzatának időbeli változásait követhettem nyomon, valamint a 2011-ben a területen súlyos károkat okozó tűzelhalás (*Erwinia amylovora*) állományszintű kártételeit is vizsgáltam. Ugyanakkor a távérzékelési vizsgálatok segítségével az ültetvény optikai jellemzőiben bekövetkező tér- és időbeli változások elkülöníthetővé válnak a teljes vegetációs időszakban.

A vizsgált gyümölcsösben termésvizsgálatokra is sor került. Két almafajta gyümölcserésének vizsgálatát különböző időpontokban az Avantes AvaSpec2048 spektrométerrel végeztük el. A spektrális görbék egy-egy jellemző hullámhosszaiból készített vegetációs indexek jellemezték az érés folyamatát. Az eltérő fedőszíni gyümölcsök érésének vizsgálatára a PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) és a BRI (*Browning Reflectance Index*) vegetációs indexeket használtam. Az érési időszak különböző fázisaiban a PSRI értékek közel hasonlóak voltak a két fajta tekintetében, addig az *Early Gold* fajta esetében az érés során a BRI értékei egyre nagyobb mértékben különböztek a *Gala Must* fajtaétól. Továbbá, a vegetációs indexek lehetőséget teremtettek a túlérett gyümölcsök, illetve gyümölcsminőség romlás jeleinek azonosítására is.

A gyümölcstömeg-bebecslési vizsgálatok alapjául a lézeres pontfelhő adatai szolgáltak információt, majd manuális gömbillesztési szoftveres algoritmust használva értékeltük és hasonlítottuk össze az eredményeket a hagyományos tömegmérési adatokkal ($r=0,89$).

A növénytermesztési tér vizsgálata során különböző időpontokban gyomfelvételezéseket végeztünk. A GreenSeeker 505 vegetációs indexméter segítségével a terület gyomflóra-fejlődését vizsgáltuk, az adatokat pedig képalkotó rendszerekkel vetettük össze. A gyomok fajsztintú elkülönítését a 3D lézerszkennelvel végeztük, ahol automatikus gyomszegmentálás lehetőségeit értékeltem. Vizsgálataink

során kiderült, hogy az egyszikű gyomok elkülönítése nagyobb pontossággal végezhető el az általunk használt műszerrel, mint a kétszikű gyomoké.

Vizsgálataim kiterjedtek az ültetvény talajtani tulajdonságainak vizsgálatára is. A magassági adatokat az FmX GPS-rendszer, valamint a 3D-s lézerszkennerek biztosították. Egyrészt vizsgáltam a műholdjelek és a vertikális pontosság-meghatározás közötti kapcsolatot, másrészt a káros felszíni víztöbbletek kialakulásának potenciális helyeit. Méréseim összekapcsolhatók a területen kialakuló gyomfoltok megjelenésével.

A lézerszkennerek nagy pontsűrűsége tette lehetővé az ültetvény talajának mikrodomborzat modellezését, valamint a nagy pontosságú adatok révén a kertészeti munkagépek taposási profiljának vizsgálata is lehetővé vált.

A lézeres pontfelhő által hordozott intenzitásértékek biztosították a talajfelszín nedvességviszonyok alakulásának vizsgálatát. A szabadföldi mérések eredményeit megelőző, laboratóriumi tesztekkel kalibráltam. A tavaszi és nyári mérés során állítottam elő a térben változó nedvességtartalmú felszínt.

9. Összefoglalás (angol nyelven)

Appropriate growing conditions for the apple production are provided by the Hungarian agro-ecological potential. Production of marketable horticulture products can be difficult without employing advanced and high quality horticulture practices. Development of information technology enable to design sensors, which are ideal to determine the vegetation changing in the field or in a horticulture area. The applied instruments, methods and software combinations provide the exact identification of the vegetation, which is one of the most important elements of the site-specific management.

The goals of my researches were, to carry out spectral and structural investigations of an intensive apple orchard, thus the spatial and temporal variability of the plantation can be followed up. I have examined the yield and the whole fruit production area, thus weed detection, spectral soil investigations and microrelief analysis were carried out.

Reference localization investigations was executed in an arable land at the Helianthus Növénytermelő, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. I have examined the accuracy of six GPS correction signals and automatic navigation and steering were evaluated. GPS data was stored by the Trimble AgGPS FmX integrated display. It could be established that in the case of more accurate GPS signals, the “*Offline distance*” standard deviation values at East-West and West-East directions were lower than South-North and North-South directions. Without correction (NO CORR) have occurred reverse. Based on the “*Offline distance*” standard deviation histogram of compass points and corrections too, NO CORR values are statistically differ from the other correction measurements.

The investigations of the fruit production area were carried out at the Study and Regional Research Farm of the University of Debrecen, near Pallag. The study area, where were the remote sensing examinations, was an intensive apple orchard with a drip irrigation system. The hail net protected plantation consists of six rows in 4x1 m tree spacing. 300 apple trees with four varieties are planted in the ca. 1000 m² area.

Remote sensing investigations were carried out by passive and active instruments. In order to acquire the spectral information about the fruit plantation and its weed coverage, GreenSeeker 505 vegetation indexmeter and Tetracam ADC multispectral

camera were used. Structural survey of the apple trees and weeds were executed by the Leica ScanStation 10 3D laser scanner. Temporal changing of apple trees' canopy was followed up using spectral sensors, and we have investigated the damage of the Fire blight (*Erwinia amylovora*) in 2011, which has caused serious infection in the whole plantation. Spatial and temporal changing of the orchard's optical properties were distinguished in the phenological development.

Yield examination were carried out in the orchard. Ripening investigations of two apple varieties (*Early Gold*, *Gala Must*) were performed in different date with Avantes AvaSpec2048 spectrometer. Vegetation indices, created by typical wavelength values of spectral curves, characterized the ripening process. In order to examine the fruits with different covering color, PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) and BRI (*Browning Reflectance Index*) vegetation indices were used. PSRI values of the two apple varieties were similar in the phenological stage, but the BRI values were more and more differ from each other in the ripening. Furthermore, used vegetation indices were appropriate for detecting the signs of fruit quality decay and overripening.

Laser point cloud have provided information for the fruit mass estimation, than manually software based sphere fitting algorithm was used to compare the results with the traditional measurements ($r=0.89$).

Weed surveys were carried out in different dates. Weed developing was examined by GreenSeeker 505 vegetation indexmeter, then the results were compared with imaging technologies. Species-level identification of weeds were executed by 3D laser scanner and we have evaluated the automatically weed segmentation results. Based on the results it could be established that better segmentation was available in the case of monocotyledonous weeds then in case of dicotyledonous weeds.

We have examined the soil properties of the orchard. Elevation data was derived from the AgGPS FmX and from the 3D laser scanner. Correlation between GPS satellite signals and vertical accuracy (VDOP) were investigated, and we have evaluated the potential location of surplus water. Based on the DEM, it could be combine the deeper points of the area and occurring the denser vegetation.

Based on the high density point cloud, microrelief modelling of the plantation were performed. Due to the high precision measurement, even the trampling profile caused by horticulture machine can be investigated also.

Soil surface moisture conditions were defined by laser intensity values. Before the field measurements, the results were calibrated by laboratory tests. Spatial variable moisture maps were performed by spring and summer laser data.

10. Felhasznált irodalom jegyzéke

- Abidine, A. Z. – Heidman, B. C. – Upadhyaya, S. K. – Hills, D. J.:** 2002. Application of RTK GPS based auto-guidance system in agricultural production. Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, Minneapolis, MN, USA, 1205-1214.
- Ackermann, F. – English, M. – Kilian, J.:** 1994. Die Laser-Profil-Befliegung „Gammertingen 1992“. *Zeitschrift für Vermessungswesen*. 119 (5): 264-277.
- Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B.:** 2004. Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó. Budapest. 458 p.
- Adamchuk, V. I. – Stombaugh, T. S. – Price, R. R.:** 2008. GNSS-based auto-guidance in agriculture. Site-Specific Management Guidelines SSMG-46. International Plant Nutrition Institute. Norcross, Georgia. 08/08.
- Adegoke, J. O. – Carleton, A. M.:** 2001. Relations between soil moisture and satellite vegetation indices in the U. S. Corn Belt. *American Meteorological Society*. 3 (4): 395-405.
- Adradosa, C. – Girardb, I. – Gendnerc, J-P. – Janeaua, G.:** 2002. Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to Selective Availability removal. *Comptes Rendus Biologies*. 325 (2): 165-170.
- Aggarwal, S.:** 2004. Principles of remote sensing. [In. Sivakumar, M.V.K. – Roy, P. S. – Harsen, K. – Saha, S. K. (szerk.): Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology.] World Meteorological Organisation, Geneva. 23-38.
- Aggelopoulou, D. K. – Wulfsohn, D. – Fountas, S. – Gemtos, T. A. – Nanos, G. D. – Blackmore, S.:** 2010. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. *Precision Agriculture*. 11 (5): 538-556.
- Aikio, M.:** 2001. Hyperspectral prism-grating-prism imaging spectrograph. VTT Electronics. Technical Research Center of Finland. Espoo. 125 p.
- Alharthy, A. – Bethel, J.:** 2004. Detailed building reconstruction from airborne laser data using a moving surface method. [In. Altan, O. (szerk.): Proceeding of XX. ISPRS Congress – Technical Commission III., XXXV: B3, Istanbul, Turkey. 213-218.
- Allen, R. G. – Pereira, L. S. – Raes D. – Smith M.:** 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper no. 56. FAO. Rome, Olaszország, 300 p.

- Almási G. – Erdélyi M. – Fülöp J. A. – Hebling J. – Horváth Z. – Kovács A. P. – Rácz B. – Smausz K. T.:** 2013. Lézerfizika – Elektronikus tankönyv. <http://titan.physx.u-szeged.hu/~bubo/Lezerfizika/book.html>. (A honlap megtekintve: 2014.01.31.)
- Anderson, D. – Herman, H. – Kelly, A.:** 2005. Experimental characterization of commercial flash lidar devices. International Conference of Sensing and Technology. Palmerston North, New Zeland. 1-6.
- Andrews, L. C. – Phillips, R. L.:** 2005. Laser beam propagation through random media. SPIE Optical Engineering Press. Bellingham, Washington. 782 p.
- Arayici, Y.:** 2007. An approach for real world data modelling with the 3D terrestrial laser scanner for built environment. *Automation in Construction*. 16 (6): 816-829.
- Arun, K. S. – Huang, T. S. – Blostein, S. D.:** 1987. Least-squares fitting of two 3D point sets. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 9 (5): 698-700.
- ASPRS.:** 2003. ASPRS LIDAR data exchange format standard version 1.0. ASPRS, Bethesda, Maryland. 9 p.
- ASPRS.:** 2009. Common Lidar data exchange format - .LAS industry initiative. Bethesda, Maryland. http://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/lidar_format.html (A honlap megtekintve: 2014.05.08.)
- ASPRS.:** 2013. LAS specification version 1.4 – R13. ASPRS, Bethesda, Maryland. 28 p.
- Bábonyi, E.:** 1920. Repülőgépek a térképfelvétel, a mezőgazdaság és az erdővédelem szolgálatában. *Természettudományi Közöny*. 47: 402-403.
- Bácsatyai L. – Márkus I.:** 2001. Fotogrammetria és távérzékelés. Tankönyvpótló segédlet az erdőmérnök hallgatók részére. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. 189 p.
- Baeten, J. – Donné, K. – Boedrij, S. – Beckers, W – Claesen, E.:** 2008. Autonomous fruit picking machine: A robotic apple harvester. [In. Laugier, C. – Siegwart, R. (szerk.): Field and service robotics. Results of the 6th International Conference]. Springer Verlag. STAR 42: 531-539.
- Baio, F. H. R.:** 2012. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. *Precision Agriculture*. 13 (1): 141-147.

- Ballester, C. – Castel, J. – Jiménez-Bello, M. A. – Castel, J. R. – Intrigliolo, D. S.:** 2013. Thermographic measurement of canopy temperature is a useful tool for predicting water deficit effects on fruit weight in citrus trees. *Agricultural Water Management*. 122: 1-6.
- Bannari, D. – Morin, D. – Bonn, F. – Huete, A. R.:** 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*. 13 (1-2): 95-120.
- Barber, D. M. – Mills, J. P. – Bryan, P. G.:** 2003. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 34 (5/C15): 619-624.
- Barrett, B. W. – Petropoulos, G. P.:** 2013. Satellite remote sensing of surface soil moisture. [In. Petropoulos, G. P. (szerk.): Remote sensing of energy fluxes and soil moisture content.] Taylor and Francis Group, CRC Press. 85-120.
- Barsi Á. – Detrekői Á. – Lovas T. – Tóvári D.:** 2003. Adatgyűjtés légi lézerletapogatással. *Geodézia és Kartográfia*. 55 (7): 10-17.
- Belényesi M. – Kristóf D. – Skutai J.:** 2008. Térinformatika elméleti jegyzet. Gödöllő. 93 p.
- Benedict, W. S. – Claassen, H. H. – Shaw, J. H.:** 1952. Absorption spectrum of water vapor between 4.5 and 13 microns. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. 49 (2): 91-132.
- Bennett, H. E. – Porteu, J. O.:** 1961. Relation between surface roughness and specular reflectance at normal incidence. *Journal of the Optical of Society America*. 51 (2): 123-129.
- Beraldin, J.-A. – Blais, F. – Lohr, U.:** 2010. Laser scanning technology. [In. Vosselman, G. – Hans-Gerd, M. (szerk.): Airborne and terrestrial laser scanning.] Whittles Publishing, CRC Press. 1-42.
- Berényi A. – Lovas T. – Barsi Á.:** 2010. Földi lézerszkennér laboratóriumi vizsgálata. *Geodézia és Kartográfia*. 62 (4): 11-16.
- Berke J. – Kelemen D. – Szabó J.:** 2004. Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai. PICTRON Kft., Keszthely. 80 p.
- Blackmore, S.:** 1999. Developing the principles of precision farming. Proceedings of Agrotech 99. Barretos Institute of Technology. Barretos, Brazil. 75-77.
- Blad, B. L. – Gardner, B. R. – Watts, D. G. – Rosenberg, N. J.:** 1981. Remote sensing of crop moisture status. *Remote Sensing*. 3: 4-20.

- Boccardo, P. – Comoglio, G.:** 2000. New methodologies for architectural photogrammetric survey. [In: Chikatsu, H. – van den Heuvel, F. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Workshop – Technical Commission V: Close-Range Techniques and Machine Vision]. XXXIII: B5/1+2. Amsterdam, The Netherlands. 70-75.
- Boehler, W. – Heinz, G. – Marbs, A.:** 2001. The potential of non-contact close-range laser scanners for cultural heritage recording. Proceedings of 18th International Symposium CIPA 2001. Potsdam, Germany. 430-436.
- Boehler, W. – Marbs, A.:** 2005. Investigating laser scanner accuracy. <http://scanning.fh-mainz.de/scannertest/results300305.pdf>. (A honlap megtekintve: 2014.04.29.)
- Boer, T. A.:** 1993. Botanical characteristics of vegetation and their influence on remote sensing. [In: Buiten, H. J., Clevers, J. G. P. W. (szerk.): Land Observation by Remote Sensing – Theory and Applications.] CRC Press. 89-104.
- Born, M. – Wolf, E.:** 1999. Principles of optics: Electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light. Cambridge University Press. 986 p.
- Boza T.:** 2004a. A magyarországi GNSS-infrastruktúra. [In: Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk.): Műholdas helymeghatározás.] Műegyetemi Kiadó. Budapest. 292-297.
- Boza T.:** 2004b. A műholdas helymeghatározás kialakulása. [In: Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk.): Műholdas helymeghatározás.] Műegyetemi Kiadó. Budapest. 19-23.
- Brenner, C.:** 2005. Building reconstruction from images and laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 6: 187-198.
- Bucksch, A. – Fleck, S.:** 2011. Automated detection of branch dimensions in woody skeletons of fruit tree canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 77 (3): 229-240.
- Buiten, H. J., Clevers, J. G. P. W.:** 1993. Land observation by remote sensing – theory and applications. CRC Press. 642 p.
- Burai P.:** 2007. Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági területeken. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 143. p.

- Cabrera-Bosquet, L. – Molero, G. – Stellacci, A. M. – Bort, J. – Nogués, S. – Araus, J. L.:** 2011. NDVI as a potential tool for predicting biomass, plant nitrogen content and growth in wheat genotypes subjected to different water and nitrogen conditions. *Cereal Research Communications*. 39 (1): 147-159.
- Callieri, M. – Cignoni, P. – Scopigno, R.:** 2002. Reconstructing textured meshes from multiple range+rgb maps. 7th Internaional Fall Workshop on Vision, Modeling, and Visualization. Erlangen, Germany. 419-426.
- Campbell, J. B. – Wynne, R. H.:** 2011. Introduction to remote sensing. 5th edition. The Guilford Press. 667 p.
- Champagne, C. – Pattey, E. – Bannari, A. – Stratchan, I. B.:** 2001. Mapping crop water status: Issues of scale in the detection of crop water stress using hyperspectral indices. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Aussois, France. 79-84.
- Chappelle, E. W. – Kim, M. S. – McMurtry, J. E.:** 1992. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for the remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. *Remote Sensing of Environment*. 39:239-247.
- Chauve, A. – Mallet, C. – Bretar, F. – Durrieu, S. – Pierrot-Deseilligny, M. – Puech, W.:** 2007. Processing fullwaveform lidar data: modellig raw signals. [In. Rönnholm, P. – Hyypä, H – Hyypä, J. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Workshop – Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007]. Espoo, Finland. 36 (3/W52): 102-107.
- Chiu, Y. C. – Chen, S. – Lin, J. F.:** 2013. Study of an autonomous fruit picking robot system in greenhouses. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 6 (3): 92-98.
- Chivkunova, O. B. – Solovchenko, A. E. – Sokolova, S. G. – Merzlyak, M. N. – Reshetnikova, I. V. – Gitelson, A. A.:** 2001. Reflectance spectral features and detection of superficial scald-induced browning in storing apple fruit. *Journal of Russian Phytopathological Society*. 2: 73-77.
- Clevers, J. G. P. W. – Kooistra, L. – Schaepman, M. E.:** 2008. Using spectral information from the NIR water absorption features for the retrieval of canopy water content. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 10 (3): 388-397.

- Colwell, R. N.:** 1983. Manual of remote sensing. 2nd edition. Vol I: Theory, instruments and techniques. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing ASPRS, Falls Church. 2440 p.
- Cox, M. G.:** 1971. Curve fitting with piecewise polynomials. *IMA Journal of Applied Mathematics*. 8 (1): 36-52.
- Cracknell, A. P. – Hayes, L. W.:** 1993. Introduction to remote sensing, Taylor and Francis, London, UK. 273 p.
- Cuartero, A. – Armesto, J. – Rodríguez, P. G. – Arias, P.:** 2010. Error analysis of terrestrial laser scanning data by means of spherical statistics and 3D graphs. *Sensors*. 10 (11): 10128-10145.
- Danson, F. M. – Bowyer, P.:** 2004. Estimating live fuel moisture content for moisture content from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 92 (3): 309-321.
- Danson, F. M. – Morsdorf, F. – Koetz, B.:** 2009. Airborne and terrestrial laser scanning for measuring vegetation canopy structure. [In: Heritage, G. L. – Large, A. R. G. (szerk.): Laser scanning for the environmental sciences.] Wiley-Blackwell. 201-219.
- Dassot, M. – Constant, T. – Fournier, M.:** 2011. The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges. *Annals of Forest Science*. 68 (5): 959-974.
- Devroye, L. – Mücke, E. P. – Zhu, B.:** 1998. A note on point location in Delaunay triangulations of random points. *Algorithmica*. 22: 477-482.
- Dierckx, P.:** 1995. Curve and surface fitting with splines. Oxford University Press. New York, NY, USA. 285 p.
- DigiTerra:** 2008. Felhasználói kézikönyv – DigiTerra Explorer verzió 5.5.3.26. DigiTerra Informatikai Szolgáltató Kft. Budapest. 72 p. http://www.digiterra.hu/wiki/hu/downloads/User_Manual_HUN.pdf (A honlap megtekintve: 2013.01.08.)
- Doneus, M. – Briese, C. – Studnicka, N.:** 2010. Analysis of full-waveform ALS data by simultaneously acquired TLS data: Towards an advanced DTM generation in wooded areas. [In: Wagner, W. – Székely, B. (szerk.): ISPRS Technical Commission VII. Symposium – 100 Years ISPRS Advancing Remote Sensing Science.] XXXVIII: 7B. Vienna, Austria. 193-198.

- Doneus, M. – Pfennigbauer, M. – Studnicka, N. – Ullrich, A.:** 2009. Terrestrial waveform laser scanning for documentation of cultural heritage. Proceeding of XXII. CIPA Symposium. WG VI/4, Kyoto, Japan 1-6.
- Eastes, J. W.:** 1991. Thermal infrared spectra of natural and manmade materials: Implications for remote sensing. U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Topographic Laboratories. 256 p.
- Fang, B. – Lakshmi, V.:** 2014. Soil moisture at watershed scale: Remote sensing techniques. *Journal of Hydrology*. 516: 258-272.
- FAOSTAT:** 2014. Food and agriculture organization of the United Nations for a world without hunger. <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>. (A honlap megtekintve: 2014.04.29.)
- Farin, G. E.:** 1990. Curves and surfaces for computer aided geometric design. Academic Press. 384 p.
- Felföldi J. – Apáti F. – Szabó V. – Nábrádi A.:** 2008. Fogyasztói attitűdök az almapiacon. *Élelmiszer, Táplálkozás és Marketing*. 5 (2-3): 87-91.
- Forest, J.:** 2004. New methods for triangulation-based shaped acquisition using laser scanners. Doctoral thesis. University of Girona, Spain. 160 p.
- Fórián T. – Nagy A. – Tamás J.:** 2009. Intenzív fajtakísérlet térinformatikai rendszerének értékelése. Lippai János – Ormós Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak. Budapesti Corvinus Egyetem. Kertészettudományi Kar. 154-155.
- Fórián T. – Nagy A. – Tamás J.:** 2010. Precíziós gyümölcstermesztés térinformatikai rendszerének kiépítése. VIII. Alkalmazott Informatika Konferencia. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 14 (3): 313-321.
- Forsen, G. E.:** 1968. Processing visual data with an automaton eye. [In. Cheng, G. C. – Ledley, R. S. – Pollock, D. K. – Rosenfeld, A. (szerk.): Pictorial Pattern Recognition.] Thomson Book Co., Washington DC., 471-502.
- Franca, J. G. D. M. – Gazziro, M. A. – Ide, A. N. – Saito, J. H.:** 2005. A 3D scanning system based on laser triangulation and variable field of view. *IEEE International Conference on Image Processing*. 1: 425-428.
- Funk, C. J. – Bryant, S. B. – Heckman, P. J.:** 1972. Handbook of underwater imaging system design. Naval Undersea Center. 303 p.

- Gamon, J. A. – Qiu, H. L.:** 1999. Ecological applications of remote sensing at multiple scales. [In: Pugnaire, F., Valladares, F. (szerk.): Handbook of functional plant ecology.] Marcel Dekker, New York. 805-845.
- Gates, D. M. – Keegan, H. J. – Schleter, J. C. – Weidner, V. R.:** 1965. Spectral properties of plants. *Applied Optics*. 4. 11-20.
- Gaulton, R. – Danson, F. M. – Ramirez, F. A. – Gunawan, O.:** 2013. The potential of dual-wavelength laser scanning for estimating vegetation moisture content. *Remote Sensing of Environment*. 132: 32-39.
- Godwin, R. J. – Wood, G. A. – Taylor, J. C. – Knight, S. M. – Welsh, J. P.:** 2003. Precision farming of cereal crops: A review of a six year experiment to develop management guidelines. *Biosystems Engineering*. 84 (4): 375-391.
- Gonda I.:** 2003. Metszés. Metszést kiegészítő eljárások. [In: Papp J. (szerk.): Gyümölcstermesztési alapismeretek. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 292-305.
- Gonda I. – Holb I. J. – Bitskey K.:** 2001. Előzetes adatok a metszés erőssége és a károsítás mértéke közötti összefüggésekről integrált és ökológiai almatermesztési technológiákban. *Agrártudományi Közlemények*. 1: 47-52.
- Gordon, S. J. – Lichti, D. D. – Stewart, M. P.:** 2001. Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements. Proceeding of the 10th international FIG symposium on deformation measurements. Orange, California, USA. 23-32.
- Goshtasby, A. A.:** 2000. Grouping and parameterizing irregularly spaced points for curve fitting. *ACM Transactions on Graphics*. 19 (3): 185-203.
- Govaerts, B. – Verhulst, N. – Sayre, K. D. – De Corte, P. – Goudeseune, B. – Lichter, K.:** 2007. Evaluating spatial within plot crop variability for different management practices with an optical sensor. *Plant & Soil*. 299 (1-2): 29-42.
- Gower S. T. – Kucharik C. J. – Normann J. M.:** 1999. Direct and indirect estimation of leaf area index, f_{apar} , and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*. 70 (1): 29-51.
- Gräfe, G.:** 2008. Kinematic 3D laser scanning for road or railway construction surveys. Proceeding of 1st International Conference on Machine Control & Guidance. Zürich, Switzerland. 1-10.
- Gruen, A. – Acka, D.:** 2005. Least squares 3D surface and curve matching. *Photogrammetry and Remote Sensing*. 59 (3): 151-174.

- Guo W. – Du T. – Zhu X. – Hu T.:** 2012. Kinect-based real-time RGB-D image fusion method. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 39 (B3): 275-279.
- Gurr, C. G.:** 1962. Use of gamma rays in measuring water content and permeability in unsaturated column of soil. *Soil Science*. 94 (4): 224-229.
- Győrffy B.:** 2000. A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. *Agrofórum*. 11 (2): 1-4.
- Gyúró F.:** 1990. Gyümölcsstermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 594 p.
- Gyúró F.:** 1980. Művelési rendszerek és metszésmódok a modern gyümölcsstermesztésben. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 356 p.
- Haala, N. – Brenner, C.:** 1999. Virtual city models from laser altimeter and 2D map data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 65 (7): 787-795.
- Hajdú, Gy.:** 1925. Repülőgépek az erdőgazdálkodás szolgálatában. *Erdészeti Lapok*. 64: 98-104.
- Hans, F.:** 2000. Wer und was verbergen sich hinter einer Delaunay-Triangulation? *Der Vermessungsingenieur*. 51 (6): 360-361.
- Haring, A.:** 2005. Vehicle-borne acquisition of urban street space by combined use of 3D laser scanning and close-range photogrammetry. Proceeding of Optical 3-D Measurement Techniques VII. Vienna, Austria. 1: 275-284.
- Hatfield, J. L. – Reginato, R. J. – Idso, S. B.:** 1984. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. *Agricultural and Forest Meteorology*. 32 (1): 41-53.
- Hayes, J. G. – Halliday, J.:** 1974. The least-squares fitting of cubic spline surface to general data sets. *IMA Journal of Applied Mathematics*. 14 (1): 89-103.
- Hebert, M. – Krotkov, E.:** 1992. 3D measurements from imaging laser radars: how good are they? *Image and Vision Computing*. 10 (3): 170-178.
- Heckman, P. – Hodgson, K. T.:** 1967. Underwater optical range gating. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 3 (11): 445-448.
- Heritage G. L. – Large, A. R. G.:** 2009. Principles of 3D laser scanning. [In. Heritage, G. L. – Large, A. R. G. (szerk.): Laser scanning for the environmental sciences.] Wiley-Blackwell. 21-34.
- Hertz, H.:** 1888. Über die Einwirkung einer geradlinigen elektrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn. *Annalen der Physik*. 270 (5): 155-170.

- Hickman, G. D. – Hogg, J. E.:** 1969. Application of an Airborne Pulsed Laser for Near Shore Bathymetric Measurements. *Remote Sensing of Environment*. 1: 47-58
- Hoffer, R. M. – Johannsen, C. J.:** 1969. Ecological potentials in spectral signature analysis, using laboratory leaf and soil spectral reflectance data. [In. Jonson, P. (szerk.): *Remote Sensing in Ecology*]. University of Georgia Press. 1-16.
- Holb, I. J. – Gonda, I. – Vágó, I. – Nagy, P. T.:** 2009. Seasonal dynamics of nitrogen, phosphorus, and potassium contents of leaf and soil in environmental friendly apple orchards. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 40 (1-6): 694-705.
- Horler, D. N. H. – Dockray, M. – Barber, J.:** 1983. The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*. 4 (2): 273-288.
- Huber, D.:** 2011. The ASTM E57 file format for 3D imaging data exchange. Proceeding of SPIE, Electronics Imaging Science and Technology Conference, 3D Imaging Metrology, 7864: 1-9. DOI: 10.1117/12.876555.
- Hudson, G. – Shofner, R. – Wardlow, G. – Johnson, D.:** 2007. Evaluation of three tractor-guidance methods for parallel swathing at two field speeds. *The Student Journal of the Dale Bumpers College of Agricultural, Food and Life Sciences Discovery*. 8: 61-66.
- Hughes, A. J.:** 1985. Laser beam scanning: Opto-mechanical devices, systems and data storage optics. CRC Press. 448 p.
- Husti Gy. – Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Krauter A.:** 2000. Globális helymeghatározó rendszer (bevezetés). Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron. 145 p.
- Huzsvai L.:** 2000. A talaj és a környezeti kölcsönhatások értékelésének módszerei. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 96 p.
- Idso, S. B.:** 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*. 27 (1-2): 59-70.
- ISO 11146-1:** 2005. Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios – Part 1. Stigmatic and simple astigmatic beams. International Organization for Standardization. 16 p.
- Jackson, R. D. – Reginato, R. J. – Idso, S. B.:** 1977a. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*. 13: 651-656.

- Jackson, R. D. – Idso, S. B. – Reginato, R. J. – Pinter, J. R.:** 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*. 17 (4): 1133-1138.
- Jones, H. G. – Serraj, R. – Loveys, B. R. – Xiong, L. – Wheaton, A. – Price, A. H.:** 2009. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*. 36 (11): 978-989.
- Jones, H. G. – Vaughan, R. A.:** 2010. Remote sensing of vegetation. Oxford University Press. 384 p.
- Ju, C. H. – Tian, Y. C. – Yao, X. – Cao, W. X. – Zhu, Y. – Hannaway, D.:** 2010. Estimating Leaf Chlorophyll Content Using Red Edge Parameters. *Pedosphere*. 20 (5): 633-644.
- Jutzi, B. – Stilla, U.:** 2003. Laser pulse analysis for reconstruction and classification of urban objects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 34 (3/8W): 151-156.
- Kállay T.:** 2010. Az almatárolás biológiai alapjai. Mezőgazda Kiadó. 207 p.
- Kamble, B. – Irmak, A. – Hubbard, K.:** 2013. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote sensing*. 5 (4): 1588-1602.
- Kanade, T.:** 1987. Three-dimensional machine vision. The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science. Robotics: Vision, Manipulation and Sensor. The Springer International Series in Engineering and Computer Science. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, The Netherlands. 609 p.
- Kern, F.:** 2002. Precise determination of volume with terrestrial 3D-laser scanner. Proceeding of Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering II. 531-534.
- KGO:** 2007. Tájékoztató az OGPSH és a GNSSnet.hu koordináta-rendszerének pontosításáról, felújításáról. <http://www.gnssnet.hu/downloads/tajekoztato.pdf>. (A honlap megtekintve: 2013.01.08.)
- Király G. – Brolly G. – Márkus I.:** 2007. Földi lézerszkennelés alkalmazása egyes fák vizsgálatára. *Geomatikai Közlemények*. 10: 241-250.
- Knipling, E. B.:** 1967. Physical and physiological basis for differences in reflectance of healthy and diseased plants. Proceeding of Workshop on Infrared Color Photography in the Plant Sciences. Florida Department of Agriculture. Division of Plant Industry. Winter Haven, Florida. 26 p.

- Knipling, E. B.:** 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1 (3): 155-159.
- Kormanek, M.:** 2009. Determination of rut parameters made by pneumatic tyre Wheel in laboratory conditions. Mobilne energeticke prostriedky – hydraulika – zivotne prostriede – ergonomia mobilnych strojov. Technická Univerzita vo Zvolene. 55-63.
- Konopatzki, M. R. S. – Souza, E. G. – Nobrega, L. H. P. – Uribe-Opazo, M. A. – Suszek, G.:** 2012. Spatial variability of yield and other parameters associated with pear trees. *Engenharia Agrícola*. 32 (2): 381-392.
- Krabill, W. B. – Collins, J. G. – Swift, R. N. – Butler, M. L.:** 1980. Airborne laser topographic mapping results from initial joint NASA/US Army Corps of Engineers experiment. NASA Technical Memorandum 73287. Wallops Flight Center, Wallops Island, Virginia. 33 p.
- Krabill, W. B. – MacLean, G.:** 1984. Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment*. 15 (3): 201-212.
- Krauter A.:** 2004. A műholdak alrendszere. [In. Ádám J. – Bányai L. – Borza T. – Busics Gy. – Kenyeres A. – Krauter A. – Takács B. (szerk.): Műholdas helymeghatározás.] Műegyetemi Kiadó. Budapest. 28-35.
- Kruse, F. A. – Boardman, J. W. – Huntington, J. F.:** 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 41 (6): 1388-1400.
- Lakatos L. – Gonda I. – Soltész M. – Szabó Z. – Sun, Z. F. – Nyéki J.:** 2011. Mikroklíma-vizsgálatok őszibarack- és szilvaállományban. „*Klíma-21*” Füzetek. 64: 45-53.
- Large, A. R. G. – Heritage, G. L.:** 2009. Laser Scanning – Evolution of the Discipline. [In. Heritage, G. L. – Large, A. R. G. (szerk.): Laser Scanning for the Environmental Sciences.] Wiley-Blackwell. 1-20.
- Lee, W. S. – Alchanatis, V. – Yang, C. – Hirafuji, M. – Moshou, D. – Li, C.:** 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 74 (1): 2-33.
- Leica Geosystems AG:** 2011. Leica ScanStation C10/C5 User Manual. Version 3.0. Heerbrugg, Switzerland. 152 p.

- Leica Geosystems AG:** 2014. HDS Laser Scanners & SW. http://hds.leica-geosystems.com/en/HDS-Laser-Scanners-SW_5570.htm. A honlap megtekintve: 2014.01.21.
- Lemmon, T. R. – Gerdan, G. P.:** 1999. The influence of the number of satellites on the accuracy of RTK GPS positions. *Australian Surveyor*. 44 (1): 64-70.
- Lerma García, J. L. – Van Genechten, B. – Heine, E. – Santana Quintero, M.:** 2008. Theory and practice on terrestrial laser scanning. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, Spain. 261 p.
- Levin, N.:** 1999. Fundamentals of remote sensing. 1st Hydrographic Data Management course, IMO - International Maritime Academy, Trieste, Italy. 225 p.
- Li, P. – Lee, S.-H. – Hsu, H.-Y.:** 2011. Review on fruit harvesting method for potential use of automatic fruit harvesting systems. *Procedia Engineering*. 23: 351-366.
- Li, F. – Cohen, S. – Naor, A. – Shaozong, K. – Erez, A.:** 2002. Studies of canopy structure and water use of apple trees on three rootstocks. *Agricultural Water Management* 55. 1-14.
- Lichti, D. D.:** 2004. A resolution measure for terrestrial laser scanners. Proceedings of XX. ISPRS Congress, Istanbul, Turkey. 1-6.
- Lichti D. D.:** 2006. Angular resolution of terrestrial laser scanners. *Photogrammetric*. 21 (14): 141-160.
- Lichti, D. D. – Gordon, S. J.:** 2004. Error propagation in directly georeferenced terrestrial laser scanner point clouds for cultural heritage recording. Proceeding of FIG Working Week – The Olympic Surveying Spirit. Athens, Greece. 22-27.
- Lichti, D. D. – Harvey, B. R. – Stewart, M. P.:** 2002. Ground-based laser scanners: operation, systems and applications. *Geomatica*. 56 (1): 21-33.
- Lichti, D. D. – Harvey, B. R.:** 2002. The effects of reflecting surface material properties on time-of-flight laser scanner measurements. Proceeding of Symposium of Geospatial Theory, Processing and Applications. Ottawa, Canada.
- Lichti, D. D. – Stewart, M. P. – Tsakiri, M. – Snow, A. J.:** 2000. Calibration and testing of a terrestrial laser scanner. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33 (B5): 485-492.
- Lillesand, T. – Kiefer, R. W.:** 1994. Remote sensing and image interpretation. John Willey & Sons. 3rd edition. 768 p.

- Lin, H. W. – Tai, C. L. – Wang, G. J.:** 2004. A mesh reconstruction algorithm driven by an intrinsic property of a point cloud. *Computer-Aided Design*. 36 (1): 1-9.
- Lobell, D. B. – Asner, G. P.:** 2002. Moisture effects on soil reflectance. *Soil Science Society of America Journal*. 66 (3): 722-727.
- Lohr, U.:** 2003. Precision LIDAR data and true-ortho images. Map Asia Conference 2003. 111-115.
- Lóki J.:** 1996. Távérzékelés. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen. 113 p.
- Lovas T. – Barsi Á. – Polgár A. – Kibédy Z. – Detrekői Á. – Dunai L.:** 2007. A dunaújvárosi Pentele híd terhelésvizsgálatának támogatása földi lézerszkenneléssel. *Geodézia és Kartográfia*. 59 (10-11): 32-39.
- Lovas T. – Berényi A. – Barsi Á.:** 2012. Lézerszkennelés. Monográfia. TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. Budapest. 166 p.
- Lovell, J. L. – Jupp, D. L. B. – Culvenor, D. S. – Coops, N. C.:** 2003. Using airborne and ground-based ranging LiDAR to measure canopy structure in Australian forests. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 29 (5): 607-622.
- Mahlein, A. K. – Oerke, E. C. – Steiner, U. – Dehne, H. W.:** 2012. Recent advances in sensing plant diseases for precision crop protection. *European Journal of Plant Pathology*. 133 (1): 197-209.
- Mallet, C. – Bretar, F.:** 2009. Full-waveform topographic LiDAR: State-of-the-art. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64 (1): 1-16.
- Mascaro, J. – Detto, M. – Asner, G. P. – Muller-Landau, H. C.:** 2011. Evaluating uncertainty in mapping forest carbon with airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment*. 115 (12): 3770-3774.
- Masaharu, H. – Hasegawa, H.:** 2000. Three-dimensional city modeling from laser scanner data by extracting building polygons using region segmentation method. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33: 556-562.
- Méndez, V. – Catalán, H. – Rosell-Polo, J. R. – Arnó, J. – Sanz, R.:** 2013. LiDAR simulation in modelled orchards to optimise the use of terrestrial laser scanners and derived vegetative measures. *Biosystems Engineering*. 115 (1): 7-19.
- Menges, R. M. – Nixon P. R. – Richardson, A. J.:** 1985. Light reflectance and remote sensing of weeds in agronomic and horticultural crops. *Weed Science*. 33 (4): 569-581.

- Merotto JR. A. – Bredemeier, C. – Vidal, R. A. – Goulart, I. C. G. R. – Bortoli, E. D. – Anderson, N. L.:** 2012. Reflectance indices as a diagnostic tool for weed control performed by multipurpose equipment in precision agriculture. *Planta Daninha*. 30 (2): 437-447.
- Merzlyak, M. N. – Gitelson, A. A. – Chivkunova, O. B. – Rakitin, V. Y.:** 1999. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*. 106 (1): 135-141.
- Merzlyak, M. N. – Solovchenko, A. E. – Gitelson, A. A.:** 2003. Reflectance spectral features and non-destructive estimation of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin content in apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 27 (2): 197-211.
- Mike, Zs.:** 1976. Légifénykép-interpretálás és a természeti erőforrások feltárása. Akadémiai Kiadó. Budapest. 159 p.
- Milics G. – Tamás J.:** 2007. Helymeghatározás. [In. Németh T., Neményi M., Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATE Press, MTA TAKI. Szeged. 15-37.
- Milics G. – Virág I. – Farouk M. – Burai P. – Lénárt Cs.:** 2010. Airborne hyperspectral imaging for data collection for resilient agro-ecosystems. *Növénytermelés*. 59 (6): 593-597.
- Min, M. – Ehsani, M. R. – Salyani, M.:** 2008. Dynamic accuracy of GPS receivers in citrus orchards. *Journal of the Applied Engineering in Agriculture*. 24 (6): 861-868.
- Molenaar, M.:** 1993. Remote sensing as an earth viewing system. [In: Buiten, H. J., Clevers, J. G. P. W. (szerk.): Land observation by remote sensing – theory and applications.] CRC Press. 27-36.
- Moore, K. D. – Jaffe, J. S. – Ochoa, B. L.:** 2000. Development of a new underwater bathymetric laser imaging system: L-Bath. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 17 (8): 1106-1117.
- Moran, M. S. – Clarke, T. R. – Inoue, Y. – Vida, A.:** 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. 46 (3): 246-263.
- Mücke, W. – Hollaus, M. – Pfeifer, N.:** 2012a. Identification of dead trees using small footprint full-waveform airborne laser scanning data. SilviLaser Conference, Vancouver, Canada. 1-9.

- Mücke, W. – Zlinszky, A. – Hollaus, M. – Pfeifer, N.:** 2012b. Towards operative habitat mapping using airborne laser scanning - The ChangeHabitats2 project. Proceeding of ForestSat 2012 Conference. Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA. 1-4.
- Micsi, L.:** 1995. Műholdas távérzékelés és digitális képfeldolgozás I. JATEPress. 173 p.
- Nagy, S.:** 2004. A gyomfelvételezési módszerek fejlesztése a precíziós gyomszabályozás tervezéséhez. Doktori (PhD) értekezés. Mosonmagyaróvár. 222 p.
- Nagy A. – Nyéki J. – Szabó Z. – Soltész M. – Tamás J.:** 2011. Pallagi gyümölcsös talaj és vízgazdálkodási tulajdonságainak térbeli értékelése. „*Klíma-21*” Füzetek. 64: 115-122.
- Nagy A. – Tamás J. – Szabó Z. – Soltész J. – Nyéki J.:** 2010. Fejlett nem invazív technológiák alkalmazása almatermésűek vízkészlet-gazdálkodásának értékelésére. [In: Kovács Gy. – Gelencsér G. (szerk.): Élhető vidékért 2010. Környezetgazdálkodási Konferencia Természeti Erőforrásaink a Globális Környezeti Folyamatok Tükrében, Siófok. 325-331.
- Nagy, A. – Tamás, J.:** 2013. Noninvasive water stress assessment methods in orchards. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 44 (1-4): 366-376.
- Naidu, R. A. – Perry, E. M. – Pierce, F. J. – Mekuri, T.:** 2009. The potential of spectral reflectance technique for the detection of *Grapevine leafroll-associated virus-3* in two red-berried wine grape cultivars. *Computers and Electronics in Agriculture*. 66 (1): 38-45.
- Neményi M. – Pecze Zs. – Petróczki F.:** 1998. Agrárműszaki feladatok a térinformatikai adatbázis felvételénél illetve annak bővítésénél. VII. Térinformatika a felsőoktatásban szimpózium előadások összefoglalói. Budapest. 94-98.
- Neményi M. – Tamás J. – Fenyvesi L. – Milics G.:** 2010. A távérzékelés alkalmazása a biomassza és a vízkészletek mennyiségének, valamint minőségének megállapításánál. [In: Csete L. (szerk.): *Klíma-21* Füzetek.] 59. Klímaváltozás-Hatások-Válaszok. MTA-KSZI Klímavédelmi Kutatások Koordinációs Iroda, Budapest, 51-60.
- Nield, J. M. – King, J. – Jacobs, B.:** 2014. Detecting surface moisture in aeolian environments using terrestrial laser scanning. *Aeolian Research*. 12: 9-17.
- NTech Industries Inc.:** 2006. Model 505 GreenSeeker Hand Held™ Optical Sensor Unit Operating Manual. South State Street Ukiah. 19 p.

- Nyasordzi, J. – Friedmana, H. – Schmilovitch, Z. – Ignát, T. – Weksler, A. – Rot, I. – Lurie, S.:** 2013. Utilizing the I_{AD} index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biology and Technology*. 77: 80-86.
- Okabe, A. – Boots, B. N. – Sugihara, K.:** 1992. Spatial tessellations: concepts and applications of voronoi diagrams. John Wiley & Sons. New York, NY, USA. 532 p.
- Ørka, H. – Næsset, E. – Bollandsås, O.:** 2007. Utilizing airborne laser intensity for tree species classification. [In. Rönnholm, P. – Hyypä, H – Hyypä, J. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Workshop 'Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007']. Espoo, Finland. 36 (3/W52): 300-304.
- Öztürk, D.:** 2013. Terrestrial laser scanning for 3D documentation of historical and cultural artifacts. [In. Tonta, Y. – Kurbanoglu, S. – Gathegi, J. N. – Al, U. – Taşkın, Z. (szerk.): Beyond the cloud: information...innovation...collaboration...] 4th International Symposium on Information Management in a Changing World. Ankara, Turkey. 39-43.
- Peñuelas, J. – Pinol, J. – Ogaya, R. – Filella, I.:** 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance water index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*. 18 (13): 2869-2875.
- Papageorgiou, E. I. – Aggelopoulou, K. D. – Gemtos, T. A. – Nanos, G. D.:** 2013. Yield prediction in apples using Fuzzy Cognitive Map learning approach. *Computers and Electronics in Agriculture*. 91: 19-29.
- Pereira, A. – Green, S. – Villa Nova, N.:** 2006. Penman–Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. *Agricultural Water Management*. 83. 153-161.
- Pethő M.:** 2002. Mezőgazdasági növények élettana. Budapest. Akadémiai Kiadó. 508 p.
- Petrie, G. – Toth, C. K.:** 2009. Airborne and spaceborne laser profilers and scanner. [In. Shan, J. – Toth, C. K. (szerk.): Topographic laser ranging and scanning: Principles and Processing.] CRC Press. Boca Raton, USA. 30-85.
- Petrie, G.:** 2011. Current developments in the technology: Airborne topographic laser scanning. *GEO Informatics*. 1: 34-44.
- Pfeifer, N. – Briese, C.:** 2007. Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning. [In. Rönnholm, P. – Hyypä, H – Hyypä, J. (szerk.):

Proceedings of the ISPRS Workshop 'Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007']. Espoo, Finland. 36 (3/W52): 102-107.

- Pfeifer, N. – Gorte, B. – Winterhalder, D.:** 2004. Automatic reconstruction of single trees from terrestrial laser scanner data. Proceedings of 20th ISPRS Congress. 114-119.
- Pfennigbauer, M. – Ullrich, A.:** 2008. Three-dimensional laser scanners with echo digitization. [In: Turner, M. D. – Kamerman, G. W. (szerk.): Proceeding of SPIE Laser Radar Technology and Applications XIII.] Orlando, USA.
- Pflipsen, B.:** 2006. Volume Computation – a comparison of total station versus laser scanner and different software. Master's Thesis in Geomatics. University of Gävle. Sweden. 77 p.
- Prakash, A.:** 2000. Thermal remote sensing: concepts, issues and applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33 (B1): 239-243.
- Price, W. F. – Uren, J.:** 1989. Laser surveying. Van Nostrand Reinhold (International). London. 256 p.
- Purkis, S. J. – Klemas, V. V.:** 2011. Remote sensing and global environmental change. John Willey & Sons. 384 p.
- Quan, W. – Adikua, S. – Tenhunena, J. – Granierb, A.:** 2005. On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment* 94 (2): 244-255.
- Rabbani, T. – van den Heuvel, F. – Vosselman, G.:** 2006. Segmentation of point clouds using smoothness constraints. [In: Maas, H.-G. – Schneider, D. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Commission V. Symposium. 'Image Engineering and Vision Metrology']. Dresden, Germany. 36 (5): 248-253.
- Raes, D. – Steduto, P. – Hsiao, T. C. – Fereres, E.:** 2010. AquaCrop reference manual – Chapter 3: Calculation Procedures. FAO. Rome, Olaszország, 83 p.
- Raju, P. L. N.:** 2004. Fundamentals of GPS. [In: Sivakumar, M. V. K. – Roy, P. S. – Harmsen, K. – Saha, S. K. (szerk.): Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology.] AGM-8, WMO/TD No. 1182, WMO, Geneva. 121-150.
- Reetz, H. F. Jr. – Murrell, T. S. – Murrell, L. J.:** 2001. Site-specific nutrient management: Production examples. *Better Crops* 85 (1): 12-17.

- Reyes, J. F. – Correa, C. – Esquivel, W. – Ortega, R.:** 2012. Development and field testing of a data acquisition system to assess the quality of spraying in fruit orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*. 84: 62-67.
- RIEGL Laser Measurement Systems GmbH:** 2014. Terrestrial laser scanning. <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/>. (A honlap megtekintve: 2014.01.21.)
- Rosell, J. R. – Llorens, J. – Sanz, R. – Arno, J. – Ribes-Dasi, M. – Masip, J. – Escola, A. – Camp, F. – Solanelles, F. – Gracia, F. – Gil, E. – Val, L.:** 2009. Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2d terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149 (9): 1505-1515.
- Rottensteiner, F. – Briese, C.:** 2002. A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 34 (3A): 295-301.
- Roundy, C. B.** 2000. Current technology of laser beam profile measurements. [In: Dickey, F. M. – Holswade, S. C. (szerk.): *Laser Beam Shaping: Theory and Techniques*. CRC Press. 349-422.
- Rouse, J. W. – Haas, R. H. – Schell, J. A. – Deering, D.W.:** 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 1: 309-317.
- Runne, H. – Niemeier, W. – Kern, F.:** 2001. Application of laser scanners to determine geometry of buildings. 5th Conference on Optical 3D Measurement Techniques. Vienna, Austria. 41-48.
- Rusinkiewicz, S. – Levoy, M.:** 2001. Efficient Variants of the ICP Algorithm. 3rd International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling. 145-152.
- Sági F.:** 1996. Precíziós gazdálkodás az EU-ban, különös tekintettel a termés biológiai értékének növelésére. Tématanulmány Országos Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ, Budapest.
- Sankaran, S. – Mishra, A. – Maja, J. M. Ehsani, R.:** 2011. Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*. 77 (2): 127-134.
- Sanz-Cortiella, R. – Llorens-Calveras, J. – Escolà, A. – Arnó-Satorra, J. – Ribes-Dasi, M. – Masip-Vilalta, J., – Camp, F. – Gràcia-Aguilá, F. – Solanelles-Battle,**

- F. – Planas-DeMartí, S. – Pallejà-Cabré, T. – Palacin-Roca, J. – Gregorio-Lopez, E. – Del-Moral-Martínez, I. – R. Rosell-Pol, J.:** 2011a. Innovative LIDAR 3D Dynamic Measurement System to Estimate Fruit-Tree Leaf Area. *Sensors*. 11 (6): 5769-5791.
- Sanz-Cortiella, R. – Llorens-Calveras, J. – Rosell-Polo, J. R. – Gregorio-Lopez, E. – Palacin-Roca, J.:** 2011b. Characterisation of the LMS200 laser beam under the influence of blockage surfaces. Influence on 3D scanning of tree orchards. *Sensors*. 11 (3): 2751-2772.
- Saux, E. – Daniel, M.:** 2003. An improved Hoschek intrinsic parametrization. *Computer Aided Geometric Design*. 20 (8-9): 513-521.
- Schnabel, R. – Wahl, R. – Klein, R.:** 2007. Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection. *Computer Graphics Forum*. 26 (2): 214-226.
- Seidel, D. – Leuschner, C. – Müller, A. – Krause, B.:** 2011. Crown plasticity in mixed forests – Quantifying asymmetry as a measure of competition using terrestrial laser scanning. *Forest Ecology and Management*. 261 (11): 2123-2132.
- Shan, J. – Toth, C. K.:** 2009. Topographic laser ranging and scanning: Principles and Processing. CRC Press. Boca Raton, USA. 590 p.
- Sharma, A. – Panigrahy, S.:** 2007. Apple orchard characterization using remote sensing and GIS in Shimla district of Himachal Pradesh. Proceedings of Remote Sensing and Photogrammetry Annual Conference, Newcastle, UK. 1-4.
- Shimoda, K.:** 1986. Introduction to Laser Physics. 2nd edition. Springer Series in Optical Sciences. Springer Verlag. 234 p.
- Singer, C. – Holmyard, E. J. – Hall, A. R. – Williams T. I.:** 1954. A History of technology. Oxford University Press. Oxford, UK. 884 p.
- Skolnik, M. L.:** 1990. Radar Handbook. 2nd edition. McGraw Hill Companies, New York, USA. 846 p.
- Smith, R. B.:** 2006. Introduction to hyperspectral imaging with TNTmips®. MicroImages Tutorial. Lincoln, Nebraska. 24 p.
<http://www.iro.umontreal.ca/~mignotte/IFT6150/ComplementCours/HyperspectralImageryIntroduction.pdf> (A honlap megtekintve: 2013.01.11.)
- Smith-Voysey, S.:** 2006. Laser Scanning (LiDAR); a tool for future data collection? Ordnance Survey Research Labs Annual Review 2005-06. Southampton.

- Srinivasan, A.:** 2008. Handbook of Precision Agriculture: Principles and Applications. CRC Press. 833 p.
- Studnicka, N. – Zach, G.:** 2011. Mobile Laser Scanning in Venice. *GIM International*. 25 (4): 20-23.
- Suárez, L., – Zarco-Tejada, P. J. – González-Dugo, V. – Berni, J. A. J. – Sagardoy, R. – Morales, F. – Fereres, E.:** 2010. Detecting water stress effects on fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery. *Remote Sensing of Environment*. 114 (2): 286-298.
- Sun, J. – Liu, J. – Wang, Q.:** 2013. A multiple-slit streak tube imaging lidar and its detection ability analysis by flash lidar equation. *Optik*. 124 (3): 204-208.
- Sun, G. – Ranson, K. J.:** 2000. Modeling lidar returns from forest canopies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 38 (6): 2617-2626.
- Szabó J. – Milics G. – Tamás J. – Pásztor L.:** 2007. Térinformatika a precíziós mezőgazdaságban (GIS). [In Németh T. – Neményi M. – Harnos Zs. (szerk.): A precíziós mezőgazdaság módszertana.] JATE Press – MTA TAKI. 39-62.
- Szabó Z. – Veres E. – Soltész M. – Gonda I. – Nyéki J.:** 2011. A virágrügysűrűség és a fagykárosodás szerepe kajszi- és őszibarackfajták termésbiztonságában. „*Klíma-21*” Füzetek. 64: 38-44.
- Takase, Y. – Sasaki, Y. – Nakagawa, M. – Shimizu, M. – Yamada, O. – Izumi, T. – Shibasaki, R.:** 2003. Reconstruction with laser scanning and 3D visualization of Roman monuments and remains in tyre, Lebanon. [In. Fangi, G. – Malinverni, E. S. (szerk.): Proceedings of the ISPRS Workshop 'Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives ']. 34: 5/W12. Portonovo - Ancona, Italy. 325-329.
- Tamás J.:** 2001. Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest. 144 p.
- Tamás J.:** 2004. Mezőgazdasági alkalmazások. . [In. Ádám J., Bányai L., Borza T., Busics Gy., Kenyeres A., Krauter A., Takács B. (szerk.): Műholdas helymeghatározás.] Műegyetemi Kiadó. Budapest. 381-387.
- Tamás J. – Lénárt Cs.:** 2003. Terepi térinformatika és a GPS gyakorlati alkalmazása. Litográfia Kft. Debrecen. 199 p.
- Tamás J. – Németh M. – Milics, G.:** 2008. Precíziós mezőgazdaság. Az Észak-alföldi Régióért Kht. Debrecen. 183 p.

- Tanaka, T. – Park, H. – Hattori S.:** 2004. Measurement of forest canopy structure by a laser plane range-finding method: Improvement of radiative resolution and examples of its application. *Agricultural and Forest Meteorology*. 125 (1-2): 129-142.
- Tarján I.:** 2002. Térinformatikai és GPS alapú pontossági és alkalmazhatósági vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Miskolc. 159 p.
- Tetracam Inc.:** 2002. Agricultural camera user's guide. Documentation and camera software copyright. Chatsworth, CA, USA. 45. p
- Tókei L. – Dunkel Z.:** 2005. Investigation of crop canopy temperature in apple orchard. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 30 (1-3): 249-253.
- Topp, G. C. – Davis, J. L.:** 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): a field evaluation. *Soil Science Society of America Journal*. 49 (1): 19-24.
- Tóvári, D. – Pfeifer, N.:** 2005. Segmentation based robust interpolation - a new approach to laser data filtering. Proceedings of the ISPRS Workshop "Laser Scanning 2005". Enschede, The Netherlands. 79-84.
- Tremblay, N.:** 2013. Sensing technologies in horticulture: Options and challenges. *Chronica Horticulturae*. 53 (3): 10-13.
- Tupin, F. – Inglada, J. – Nicolas, J.-M.:** 2014. Remote sensing imagery. John Wiley & Sons and ISTE. 368 p.
- Tucker, C. J.:** 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8: 127-150.
- Tumbo, S. D. – Whitney, J. D. – Miller, W. M. – Wheaton, T. A.:** 2002. Development and testing of a citrus yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*. 18 (4): 399-403.
- Underwood, N. – van Bavel, C. H. M. – Swanson, R. W.:** 1954. A portable slow neutron flux meter for measuring soil moisture. *Soil Science*. 77 (4): 339-340.
- Upchurch, B. L. – Affeldt, H. A. – Hruschka, W. R. – Norris, K. H. – Throop, J. A.:** 1990. Spectrophotometric study of bruises on whole 'Red Delicious' apples. *Transactions of the ASAE*. 33 (2): 585-589.
- Utkin, A. B. – Fernandes, A. – Simoes, F. – Lavrõv, A. – Vilar, R.:** 2003. Feasibility of forest-fire smoke detection using LiDAR. *International Journal of Wildland Fire*. 12 (2): 159-166.

- Valanis, A. – Tsakiri, M.:** 2004. Automatic target identification for laser scanners. Proceedings of XX. ISPRS Congress, Istanbul, Turkey. 1-7.
- Várallyay Gy.:** 2002. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest. 171. p.
- Verbeke, J.:** 2014. The design and construction of a high endurance hexacopter suited for narrow corridors. Proceeding of The 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, Orlando, Florida, USA. 1-9.
- Vermes L.:** 1997. Vízgazdálkodás: mezőgazdasági, kertész-, tájépítész- és erdőmérnök-hallgatók részére. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. 395 p.
- Vogelmann, J. E. – Rock, B. N. – Moss, D. M.:** 1993. Red edge spectral measurements from sugar maple leaves. *International Journal of Remote Sensing*. 14 (8): 1563-1575.
- Vosselman, G. – Dijkman, S.:** 2002. 3D building model reconstruction from point clouds and ground plans. [In. Hofton, M. A. (szerk.): Land surface mapping and characterization using laser altimetry.] *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33 (3/W4): 37-43.
- Vosselman, G. – Hans-Gerd, M.:** 2010. Airborne and terrestrial laser scanning. Whittles Publishing, CRC Press. 336 p.
- Vosselman, G. – Klein, R.:** 2010. Visualisation and structuring of point clouds. [In. Vosselman, G. – Hans-Gerd, M. (szerk.): Airborne and terrestrial laser scanning.] Whittles Publishing, CRC Press. 45-81.
- Wagner, W. – Hollaus, M. – Briese, C. – Ducic, V.:** 2008. 3D vegetation mapping using small-footprint full-waveform airborne laser scanners. *International Journal of Remote Sensing*. 29 (5): 1433-1452.
- Wagner, W. – Ullrich, A. – Melzer, T. – Briese, C. – Kraus, K.:** 2004. From single-pulse to full-waveform Airborne Laser Scanner: Potential and Partial Challenges. Proceedings of XX. ISPRS Congress, Istanbul, Turkey. 201-206.
- Wagner, W. – Ullrich, A. – Ducic, V. – Melzer, T. – Studnicka, N.:** 2006. Gaussian decomposition and calibration of a novel small footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 60 (2): 100-112.

- Walker J. P. – Houser, P. R.:** 2005. Hydrologic data assimilation. [In: Aswathanarayana, U. (szerk.): *Advances in Water Science Methodologies*.] Taylor and Francis, London, UK. 25-48.
- Walklate, P. J. – Cross, J. V. – Richardson, G. M. – Murray, R. A. – Baker D. E.:** 2002. Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. *Biosystems Engineering*. 82 (3): 253-267.
- Wang, D. – Gartung, J.:** 2010. Infrared canopy temperature of early ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 97 (11): 1787-1794.
- Watkins, K. B. – Lu, Y. C. – Huang, W. Y.:** 1998. Economic and environmental feasibility of variable rate nitrogen fertilizer application with carry-over effects. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 23 (2): 401-426.
- Wehr, A. – Lohr, U.:** 1999. Airborne laser scanning: An introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 54 (2-3): 68-82.
- Weichel, H.:** 1990. Laser beam propagation in the atmosphere. SPIE Optical Engineering Press. Bellingham, WA. 98 p.
- Weinberg, J. D. – Craig, R. – Earhart, P. – Gravseth, I. – Miller, K. L.:** 2007. Flash LIDAR systems for hazard detection, surface navigation and autonomous rendezvous and docking. LEAG Workshop on Enabling Exploration: The Lunar Outpost and Beyond. No. 1371.
- White M. A. – Asner G. P. – Nemani R. R. – Privette J. L. – Running S. W.:** 2000. Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment*. 74 (1): 45-57.
- Wulder, M. A. – Bater, C. W. – Coops, N. C. – Hilker, T. – Whitel, J. C.:** 2008. The role of LiDAR in sustainable forest management. *The Forestry Chronicle*. 84 (6): 807-826.
- Xu, X. M. – Butt, D. J. – Ridout, U. S.:** 2007. Temporal patterns of airborne conidia of *Podosphaera leucotricha*, causal agent of apple powdery mildew. *Plant Pathology*. 44 (6): 944-955.
- Yoder, B. J. – Pettigrew-Crosby, R. E.:** 1995. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. *Remote Sensing of Environment*. 53 (3): 199-211.

- Zatykó I.:** 1980. A gyümölcskötődés környezeti és agrotechnikai tényezői. [In. Nyéki J. (szerk.): Gyümölcsfajták virágzásbiológiája és termékenyülése.] Mezőgazdasági Kiadó. 138-150.
- Zhang, M. – Li, M. Z. – Liu, G. – Wang, M. H.:** 2008. Yield mapping in precision farming. *Computer and Computing Technologies in Agriculture*. 2 (259): 1407-1410.
- Zheng, L. – Tong, Q. – Zhang, B. – Li, X. – Liu, J.:** 2001. Urban sensing by hyperspectral data. Proceeding of ACRS 2001 – 22nd Asian Conference on Remote Sensing. Singapore. 1: 754-759.
- Zilinyi V.:** 1995. Természetes felszínek spektrális reflexiós tulajdonságai, és hasznosításuk az optikai távérzékelés interpretációjában. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 130 p.
- Ziosi, V. – Noferini, M. – Fiori, G. – Tadiello, A. – Trainotti, L. – Casadoro, G. – Costa, G.:** 2008. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 49 (3): 319-329.

11. Publikációk az értekezés témakörében



DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR



Nyilvántartási szám: DEENK/61/2015.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Riczu Péter

Neptun kód: M5NAES

Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Növénytermesztési- és Kertészeti Tudományok Doktori Iskola

MTMT azonosító: 10037399

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (2)

1. **Riczu P.**, Tamás J.: Térbeliség a gyümölcsültetvényben.
Agrártud. Közl. 49, 253-257, 2012. ISSN: 1587-1282.
2. **Riczu P.**, Tamás J., Mesterházi P.Á., Nagy G.: Precíziós almatermesztési technológiák fejlesztése a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetben.
Agrártud. Közl. 47, 97-101, 2012. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) hazai folyóiratban (3)

3. **Riczu, P.**, Bozsik, É., Gálya, B., Rásó, J., Csiha, I., Ahmed Mohamed El Shal, Nyéki, J., Tamás, J.: Volumetric estimation of an intensive apple orchard with GIS.
Int. J. Hortic. Sci. 19 (3-4), 7-10, 2013. ISSN: 1585-0404.
4. **Riczu, P.**, Nagy, A., Bozsik, É., Gálya, B., Mesterházi, P.Á., Tamás, J.: Complex vegetation survey in a fruit plantation by spectral instruments.
J. Agricult. Inf. 4 (2), 37-42, 2013. ISSN: 2061-862X.
5. Tamás, J., **Riczu, P.**, Nagy, A., Nyéki, J., Gonda, I., Szabó, Z.: Integration of terrestrial laser scanning and spectral canopy scanner in horticulture applications.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (1), 15-18, 2012. ISSN: 1585-0404.



Cím: 4032 Debrecen, Egyetem tér 1. □ Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 39. □ Tel.: (52) 410-443
E-mail: publikaciok@lib.unideb.hu □ Honlap: www.lib.unideb.hu



Idegen nyelvű tudományos közlemény(ek) külföldi folyóiratban (2)

6. **Riczu, P.**, Nagy, A., Lehoczy, É., Tamás, J.: Precision Weed Detection using Terrestrial Laser Scanning Techniques.
Commun. Soil Sci. Plant Anal. 46 (Supplement 1), 309-316, 2015. ISSN: 0010-3624.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2014.989053>
IF:0.423 (2013)

7. **Riczu, P.**, Nagy, A., Fórián, T., Bozsik, É., Gálya, B., Lehoczy, É., Tamás, J.: Weed biomass evaluation in an intensive apple orchard by remote sensing instruments.
Anal. Univ. Oradea Fac. Pretext. Med. 21 (18), 269-273, 2013. ISSN: 1224-6255.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (7)

8. **Riczu P.**, Csihon Á., Nagy A., Nagy G., Elshal A.M., Tamás J., Gonda I.: Intenzív almaültetvény strukturális paramétereinek vizsgálata 3D lézerekkel szerkesztett adatok alapján.
In: Gazdálkodás és menedzsment Tudományos konferencia I. köt. Környezettudatos gazdálkodás és menedzsment. Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 198-202, 2013. ISBN: 9786155192203
9. **Riczu P.**, Tamás J.: Intenzív almaültetvény mikrodomborzat-vizsgálata precíziós eszközök alkalmazásával.
In: A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XXXI. Országos Vándorgyűlés dolgozatai. Magyar Hidrológiai Társaság, Gödöllő, 1-9, 2013. ISBN: 9789638172310
10. **Riczu P.**, Nagy G., Nagy A., Tamás J.: 3D lézerekkel szerkesztett gyomdetektálás gyümölcsültetvényekben.
In: XIX. Ifjúsági Tudományos Fórum. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 1-6, 2013. ISBN: 9789639639515
11. **Riczu P.**, Tamás J., Mesterházi P.Á.: A GreenSeeker 505 vegetációs indexméter kertészeti alkalmazhatósága.
In: Határokon átvágó tudományos és kulturális kapcsolatok - Konferenciák. Szerk.: Vári Enikő, Debreceni Egyetem, Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Tórnay Béla Szakkollégium, Debrecen, 172-178, 2012. ISBN: 9789630842105



12. **Riczu P.**, Mesterházi P.Á., Fórián T., Fehér G., Bíró J., Tamás J.: Mezőgazdasági erőgépek automatikus kormányzásának pontossági vizsgálata.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III. : Térinformatikai Konferencia és Szakkiállítás. Szerk.: Lóki József, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 337-344, 2012. ISBN: 9789633182185
13. **Riczu P.**, Tamás J., Kandra L.: A 3D lézerszkennelés és a spektrális felmérési technikák bemutatása és alkalmazhatóságuk.
In: Informatika a felsőoktatásban 2011 konferencia [elektronikus dokumentum] : konferencia kiadvány. Szerk.: Cser László, Herdon Miklós, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 443-450, 2011. ISBN: 9789634734611
14. **Riczu P.**, Nagy A., Tamás J.: Hiperspektrális és laboratóriumi spektrometria alkalmazási lehetőségei a kertészetben.
In: XVII. Ifjúsági Tudományos Fórum [elektronikus dokumentum]. Georgikon Kar, Pannon Egyetem, Keszthely, 1-6, 2011. ISBN: 9789639639423

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (4)

15. **Riczu, P.**, Mesterházi, P.Á., Nagy, G., Tamás, J.: Topology in a fruit plantation.
In: Science for Sustainability : International Scientific Conference for PhD Students the University of West Hungary : Proceedings. Ed.: by Miklós Neményi, László Varga, Ferenc Facskó, Ildikó Lőrincz, University of West Hungary Press, Sopron, 193-199, 2014. ISBN: 9789633341032
16. Nagy, A., **Riczu, P.**, Fórián, T., Tamás, J., Lehoczky, É.: Early detection of microbiological disease of apple trees by non-invasive methods.
In: 13th International Symposium on Soil and Plant Analysis. Ed.: Roger Hill, ISSPA, Queenstown, 87, 2013.
17. Tamás, J., **Riczu, P.**, Mesterházi, P.Á., Nagy, A., Nyéki, J., Szabó, Z.: Real time canopy mapping of an apple orchard with new applied sensors.
In: International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint : The impact of urbanization, industrial and agricultural technologies on the natural environment [elektronikus dokumentum]. Ed.: Neményi Miklós, Heil Bálint, University of West Hungary, Sopron, [6], 2012. ISBN: 9789633340479



18. **Riczu, P.**, Mesterházi, P.Á., Fórián, T., Fehér, G., Bíró, J., Tamás, J.: Evaluation of different GPS signal corrections to improve field accuracy of the autopilot system.
In: International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint : The impact of urbanization, industrial and agricultural technologies on the natural environment [elektronikus dokumentum]. Ed.: Neményi Miklós, Heil Bálint, University of West Hungary, Sopron, [6], 2012. ISBN: 9789633340479

További Közlemények

Magyar nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (9)

19. Bozsik É., **Riczu P.**, Gálya B., Tamás J., Deák B., Burriel C., Heilmeier H.: Fásítási lehetőségek modellezése.
Agrártud. Közl. 63, 35-41, 2015. ISSN: 1587-1282.
20. Nagy A., **Riczu P.**, Tamás J.: Alma gyümölcsérésének és pigment tartalom változásának spektrális vizsgálata.
Kertgazdaság. 46 (2), 13-26, 2014. ISSN: 1419-2713.
21. Nagy A., **Riczu P.**, Tamás J.: Almafa lisztharmat (*Podosphaera leucotricha*) okozta stressz tüneteinek spektrális értékelése.
Agrártud. Közl. 55, 83-88, 2014. ISSN: 1587-1282.
22. Bozsik É., Fórián T., Deák B., **Riczu P.**, Fehér J., Heilmeier H., Tamás J.: Integrált távérzékelési módszerek alkalmazása nagyterdei NATURA 2000 területen.
Agrártud. Közl. 55, 19-24, 2014. ISSN: 1587-1282.
23. **Riczu P.**, Tamás J.: Precíziós gyomdetektálási technológiák gyakorlati alkalmazhatósága.
Agrártud. Közl. 51, 163-168, 2013. ISSN: 1587-1282.
24. Tamás J., Nagy A., **Riczu P.**, Nyéki J., Szabó Z.: Siófoki őszibarack ültetvény állományának öntözéstervezése.
AGTC E-Journal. 1 (1), 1-13, 2012. ISSN: 2063-6423.
25. **Riczu P.**, Tamás J.: Alma- és körtefák levélfelületi indexeinek számítási lehetőségei.
Agrártud. Közl. 50, 229-233, 2012. ISSN: 1587-1282.



26. Nagy A., **Riczu P.**, Tamás J.: A kajsziarack öntözéstervezése.
Debr. szle. 20 (1-2), 16-26, 2012. ISSN: 1218-022X.
27. **Riczu P.**, Tamás J., Nagy G., Nagy A., Fórián T., Jancsó T.: A 3D lézerskenner kertészeti alkalmazhatósága.
Agrártud. Közl. 46, 75-78, 2012. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű közlemény(ek) hazai folyóiratban (14)

28. Nagy, A., **Riczu, P.**, Tamás, J.: Drought stress monitoring by laboratory and satellite spectral methods in an apple orchard.
Int. J. Hortic. Sci. 20 (1-2), 7-9, 2014. ISSN: 1585-0404.
29. Nagy, A., **Riczu, P.**, Juhász, C., Tamás, J.: Evaluability of apple orchard water balance parameters based on the spectral and thermographic parameters of the canopy.
Hung. Agric. Res. 1, 14-17, 2014. ISSN: 1216-4526.
30. Tamás, J., Bozsik, É., **Riczu, P.**, Gálya, B., Herdon, M., Nistor, S., Fehér, J., Burriel, C., Heilmeier, H.: Integrated HS and ALS Remote Sensing Data Sources to Develop Green Corridors in Sopron Mountains.
J. Agricult. Inf. 5 (2), 19-25, 2014. ISSN: 2061-862X.
31. Bozsik, É., Fórián, T., Deák, B., **Riczu, P.**, Fehér, J., Tamás, J., Heilmeier, H.: Application of integrated remote sensing methods in a nature conservation area.
Hung. Agric. Res. 1, 33-37, 2014. ISSN: 1216-4526.
32. **Riczu, P.**, Nagy, A., Tamás, J.: Evaluation of fruit tree transpiration with heat flux sensor.
Int. J. Hortic. Sci. 20 (1-2), 11-13, 2014. ISSN: 1585-0404.
33. **Riczu, P.**, Nagy, A., Tamás, J.: Hyperspectral data in water stress detection.
Int. J. Hortic. Sci. 20 (3-4), 15-17, 2014. ISSN: 1585-0404.
34. El Shal, A.M., **Riczu, P.**, Nagy, A., Sulyok, E., Tamás, J., Szabó, Z., Nyéki, J.: The effect of storage to optical properties in case of two apple fruit varieties.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (2), 33-36, 2012. ISSN: 1585-0404.
35. Nagy, A., **Riczu, P.**, Tamás, J., Szabó, Z., Soltész, M., Nyéki, J.: Evaluation of fruit tree water stress condition and transpiration with heat flux sensors.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (2), 53-56, 2012. ISSN: 1585-0404.



36. **Riczu, P.**, Biró, G., Sulyok, E., Nagy, A., Tamás, J., Szabó, Z.: Determination of chlorophyll content in case of peach leaf curl disease (*Taphrina deformans*) with spectral analysis.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (2), 49-52, 2012. ISSN: 1585-0404.
37. Fórián, T., Nagy, A., **Riczu, P.**, Mézes, L., Tamás, J.: Vineyards characteristic by using GIS and reflectance measurements on the Nagy-Eged hill in Hungary.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (2), 57-60, 2012. ISSN: 1585-0404.
38. Nagy, A., **Riczu, P.**, Tamás, J., Szabó, Z., Nyéki, J., Soltész, M.: Irrigation management of a peach orchard.
Int. J. Hortic. Sci. 18 (1), 19-24, 2012. ISSN: 1585-0404.
39. **Riczu, P.**, Zsembeli, J., Tamás, J.: Assessment of water balance in apple and pear trees based on a lysimeter experiment.
Növénytermelés. 61 (Suppl.), 207-210, 2012. ISSN: 0546-8191.
40. Tamás, J., **Riczu, P.**, Nagy, G., Nagy, A., Jancsó, T., Nyéki, J., Szabó, Z.: Applicability of 3D laser scanning in precision horticulture.
Int. J. Hortic. Sci. 17 (4-5), 55-58, 2011. ISSN: 1585-0404.
41. **Riczu, P.**, Szöllősi, N., Tamás, J., Zsembeli, J.: Water managed properties of apple and pear trees based on lysimeters.
Agrártud. Közl. [Debrecen]. 44, 129-132, 2011. ISSN: 1587-1282.
- Idegen nyelvű közlemény(ek) külföldi folyóiratban (4)
42. Nagy, A., **Riczu, P.**, Gálya, B., Tamás, J.: Spectral estimation of soil water content in visible and near infra-red range.
Eurasian J. Soil Sci. 3 (3), 163-171, 2014. ISSN: 2147-4249.
43. Fórián, T., Bozsik, É., **Riczu, P.**, Hunyadi, G., Deák, B., Tamás, J., Heilmeyer, H.: Evaluation of Environmental Indicators at Natura2000 Habitat Sites.
Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med. 21 (18), 546-553, 2013. ISSN: 1224-6255.
44. Nagy, A., **Riczu, P.**, Juhász, C., Tamás, J.: Evaluation of drought stress detection possibilities by spectral methods in an apple orchard.
Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med. 21, 257-264, 2013. ISSN: 1224-6255.



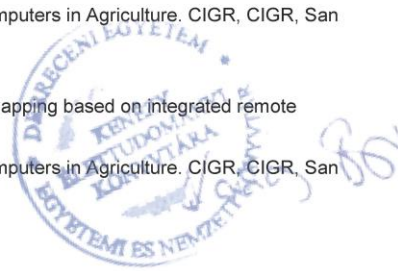
45. **Riczu, P.**, Tamás, J., Nagy, A., Fórián, T., Nagy, G., Jancsó, T., Nyéki, J.: 3D laser scanning and modeling of single trees in Karcag Research Center.
Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med. 17 (16), 318-325, 2011. ISSN: 1224-6255.

Magyar nyelvű konferencia közlemény(ek) (3)

46. Gálya B., Bozsik É., Szöllősi N., **Riczu P.**, Blaskó L., Tamás J., Deák B., Heilmeier H., Burriel C.:
Sótartalom területi modellezése LiDAR adatok alapján egy NATURA 2000-es területen.
In: VII. Magyar Földrajzi Konferencia Kiadványa. Szerk.: Kóródi Tibor, Sansumné Molnár Judit, Siskáné Szilasi Beáta, Dobos Endre, Miskolci Egyetem, Földrajz-Geoinformatika Intézet, Miskolc, 139-145, 2014. ISBN: 9789633580639
47. Nagy A., **Riczu P.**, Tamás J.: Vízhány okozta stressz spektrális módszerekkel történő vizsgálata gyümölcsfákon =Investigation of drought stress on fruit trees by spectral methods.
In: Gazdákodás és Menedzsment Tudományos Konferencia. 1. köt., "Környezettudatos gazdálkodás és menedzsment". Szerk.: Ferencz Árpád, Kecskeméti Főiskola KIK Nyomda, 2013, 371-375, 2013. ISBN: 9786155192203(1.köt.)
48. **Riczu P.**, Zsembeli J., Tamás J.: Alma és körtefajták vízháztartásának értékelése liziméteres kísérletek alapján.
In: XVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum [elektronikus dokumentum]. Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 1-6, 2012. ISBN: 9789639639454

Idegen nyelvű konferencia közlemény(ek) (11)

49. Tamás, J., Bozsik, É., **Riczu, P.**, Gálya, B., Herdon, M., Burriel, C., Heilmeier, H.: The Modelling of Agroforestry Site Selection to Develop Green Corridor.
In: CIGR Proceedings, 2014 World Congress on Computers in Agriculture. CIGR, CIGR, San Jose, [1-8], 2014.
50. Lehoczky, É., Tamás, J., **Riczu, P.**, Herdon, M.: Weed mapping based on integrated remote sensing method.
In: CIGR Proceedings, 2014 World Congress on Computers in Agriculture. CIGR, CIGR, San Jose, 1-8, 2014.





51. Gálya, B., Bozsik, É., Szöllősi, N., **Riczu, P.**, Blaskó, L., Tamás, J., Deák, B., Bökfí, K., Heilmeier, H.: Modelling of soil properties in a NATURA 2000 habitat site in the Carpathian Basin.
In: Proceedings of the International Workshop on Remote Sensing and GIS for Monitoring of Habitat Quality. Ed.: Norbert Pfeifer, Zlinszky András, Department of Geodesy and Geoinformation, Vienna University of Technology, [Vienna], 113-116, 2014. ISBN: 9783200037274
52. Gálya, B., Bozsik, É., **Riczu, P.**, Tamás, J., Blaskó, L., Herdon, M., Keserű, Z., Csiha, I., Rásó, J., Burriel, C., Heilmeier, H.: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) - an invasive alien species or potentially species plantation of agroforestry in Pannonian ecoregion.
In: 2nd European Agroforestry Conference : Integrating Science and Policy to Promote Agroforestry in Practice : Book of Abstracts. Ed.: João H. N. Palma, European Agroforestry Federation (EURAF), [s.l.], 127-130, 2014. ISBN: 9789729787447
53. Bozsik, É., Gálya, B., **Riczu, P.**, Tamás, J., Herdon, M., Burriel, C., Heilmeier, H.: Modeling of agroforestry in Natura 2000 habitat site in Hungary.
In: 2nd European Agroforestry Conference : Integrating Science and Policy to Promote Agroforestry in Practice : book of abstracts. Ed.: João H. N. Palma, European Agroforestry Federation (EURAF), [s.l.], 44-47, 2014. ISBN: 9789729787447
54. Fórián, T., Nagy, A., **Riczu, P.**, Tamás, J., Heilmeier, H.: LIDAR based digital elevation modelling at NATURA 2000 site.
In: Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System : 20th International Poster Day, Bratislava, 15. 11. 2012 . Ed.: A. Čelková, Institute of Hydrology SAS, Bratislava, 165-170, 2012. ISBN: 9788089139286
55. Kovács, E., **Riczu, P.**: Assessment of different scenarios for possible point source contaminant flows, in arable lands.
Növénytermelés. 60 (Suppl.), 415-418, 2011. ISSN: 0546-8191.
56. Tamás, J., **Riczu, P.**, Nagy, G., Fórián, T., Jancsó, T.: 3D habitat modeling in case of Natura 2000 site.
Anal. Univ. Oradea Fac. Protect. Med. 17 (16), 326-329, 2011. ISSN: 1224-6255.
57. Szöllősi, N., Fórián, T., Nagy, A., Fehér, J., Rahner, S., Heilmeier, H., Nagy, G., Jancsó, T., **Riczu, P.**, Tamás, J.: Advanced monitoring technology development in NATURA 2000 forest sites of Pannonian Biogeographic Region.
In: Book of abstracts - Steppe Oak Woods and Pannonic Sand Steppes Conference. ford. Gáspár-Papnek Zsófia, lekt. Sixsmith, Mark, Duna-Ipoly National Park Directorate and WWF Hungary, Budapest, 85-86, 2011. ISBN: 9789638470225



58. Tamás, J., **Riczu, P.**, Nagy, G., Nagy, A., Fórián, T., Szöllősi, N., Fehér, J., Rahner, S., Heilmeier, H., Hunyadi, G., Jancsó, T.: Integrated hyperspectral and LIDAR technology to evaluate the condition of the 'Debrecen-hajdúböszörményi tölgyesek' (Debrecen-hajdúböszörményi oak forests) NATURA 2000 site.
In: Steppe Oak Woods and Pannonic Sand Steppes Conference : abstract book. ford. Gáspár-Papnek Zsófia, lekt. Mark Sixsmith, Duna-Ipoly National Park Directorate and WWF Hungary, Budapest, 77-78, 2011. ISBN: 9789638470225
59. Tamás, J., Zsembeli, J., **Riczu, P.**: Evaluation of water balance in apple and pear trees.
J. Agric. Sci. Supplement, 193-198, 2010. ISSN: 1588-8363.

Idegen nyelvű absztrakt kiadvány(ok) (2)

60. Tamás, J., Nistor, S., Fehér, J., Fórián, T., Nagy, A., Bozsik, É., Gálya, B., **Riczu, P.**: Surface runoff evaluation on a flat salt NATURA 2000 habitat site.
Geophysical Research Abstracts. 16, 1, 2014. ISSN: 1029-7006.
61. Tamás, J., Lehoczky, É., Fehér, J., Fórián, T., Nagy, A., Bozsik, É., Gálya, B., **Riczu, P.**: Airborne hyperspectral and LiDAR data integration for weed detection.
Geophysical Research Abstracts. 16, 1, 2014. ISSN: 1029-7006.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 0,423

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapján szolgáló közleményekre):
0,423

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2015.03.18.



NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetemen, a Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Riczu Péter doktorjelölt 2010-2013 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

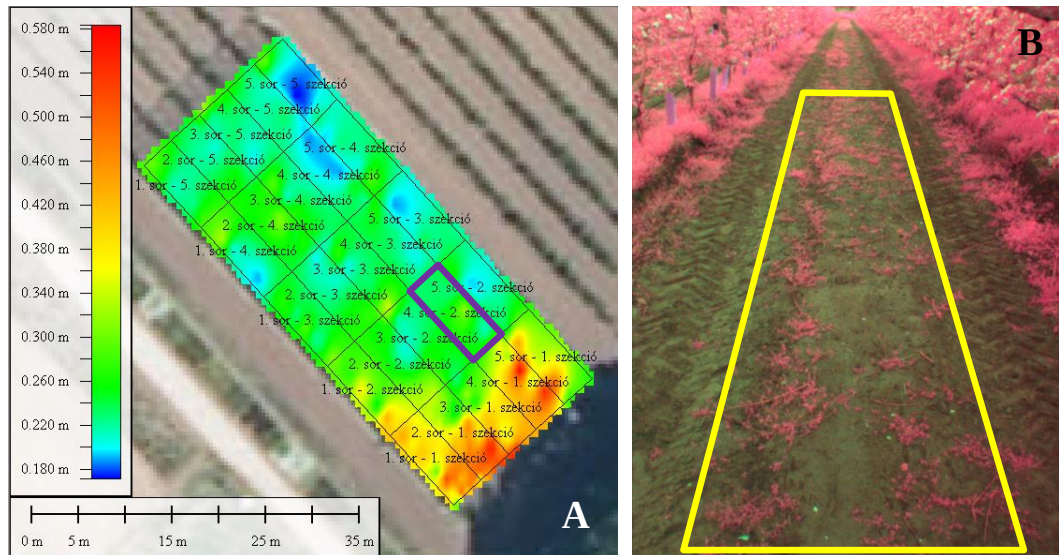
Debrecen, 20.....

.....

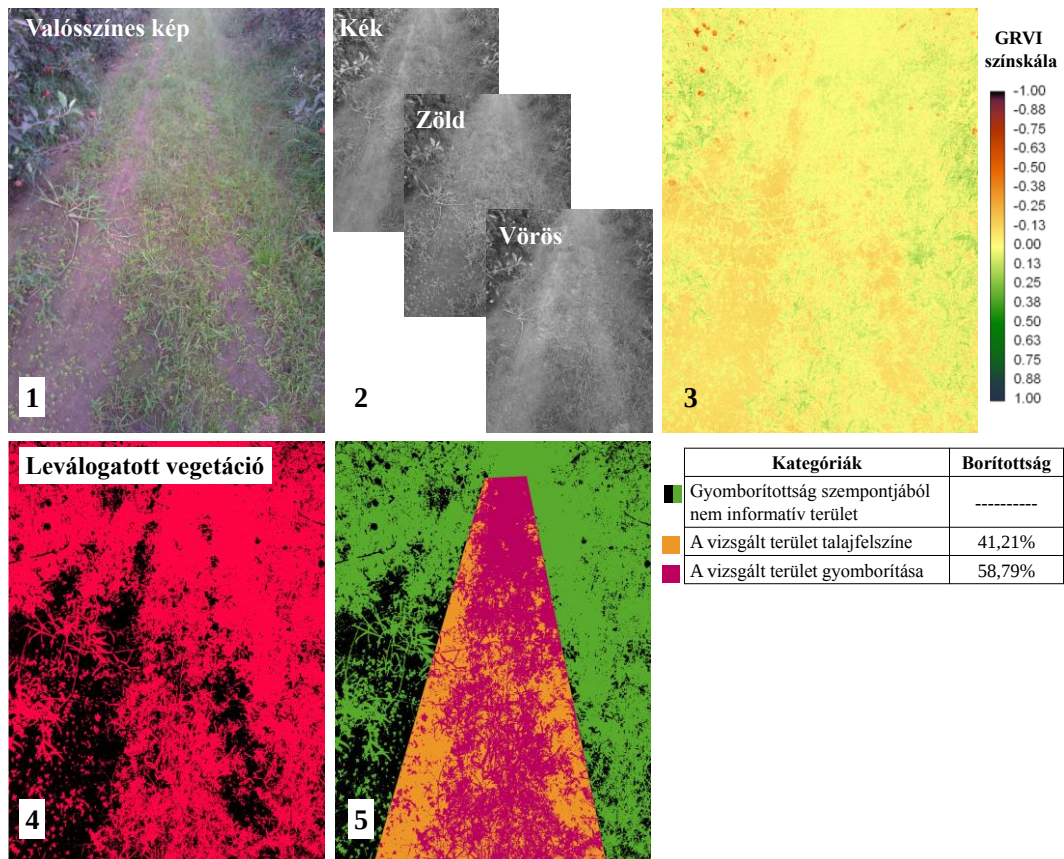
a témavezető(k) aláírása

13. Mellékletek

1. melléklet: A GreenSeeker által gyűjtött NDVI értékeiből készített vegetációs térkép (A) és a multispektrális kamera felvételének (B) összehasonlító elemzése a 2014.04.15-i felmérésének alapján



2. melléklet: Valószínűsítő fotó alapján történő gyomszegmentálás folyamata



3. melléklet: Az összevont talajnedvesítési állapotok lézeres intenzitásának értékelése
varianciaanalízis segítségével, a távolság figyelembevételével

4 m									
Nedvesítés	N	Szignifikancia szint = 5 %							
		1	2	3	4	5	6	7	8
30-32%	5458	-1476,30							
26-28%	5458		-1453,08						
22-24%	5458			-1399,58					
18-20%	5458				-1354,92				
14-16%	5458					-1351,71			
10-12%	5458						-1336,53		
6-8%	5458							-1302,16	
2-4%	5458								-1234,52
0%	5458								-1207,85

6,5 m									
Nedvesítés	N	Szignifikancia szint = 5 %							
		1	2	3	4	5	6	7	8
30-32%	2974	-1522,31							
26-28%	2974		-1508,71						
22-24%	2974			-1402,38					
18-20%	2974				-1343,94				
14-16%	2974					-1339,3			
10-12%	2974						-1318,64		
6-8%	2974							-1273,35	
2-4%	2974								-1238,09
0%	2974								-1208,04

9 m							
Nedvesítés	N	Szignifikancia szint = 5 %					
		1	2	3	4	5	6
26-28%	1590	-1503,08					
30-32%	1590	-1501,48					
22-24%	1590		-1408,44				
18-20%	1590			-1341,74			
14-16%	1590			-1338,87			
10-12%	1590				-1323,03		
6-8%	1590					-1287,25	
2-4%	1590						-1252,86
0%	1590						-1208,18

14. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Tamás János professzor úrnak, aki lehetőséget biztosított számomra és mindvégig támogatott a doktori kutatásom lefolytatása során, továbbá hasznos tanácsaival, valamint meglátásaival segítette munkámat.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Holb Imre és Dr. Szabó József opponensi észrevételeit és segítő szakmai javaslatait mellyel hozzájárultak a doktori értekezés végleges formájának elkészítéséhez.

Köszönettel tartozom Lisku Gábor agrármérnöknek, a Debreceni Egyetem, Agrártudományi Központ, Debreceni Tangazdasága és Tájkutató Intézete, Pallagi Génbank és Gyakorlóhely telepvezetőjének, aki a szakmai segítségen túl infrastrukturális háttérrel is biztosított méréseim elvégzéséhez.

Megköszönöm Dr. Mesterházi Péter Ákos és OmniStar (Trimble Navigation Limited) segítségét, hogy az OmniStar GPS korrekciós jelek tesztelés célú hozzáférhetőségét biztosította számomra.

Köszönetemet fejezem ki a Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Karának, különös tekintettel Dr. Jancsó Tamásnak és Nagy Gábornak, akik kutatási célokra rendelkezésemre bocsátották a Leica ScanStation C10 3D lézerszkennert, tanácsaikkal segítették munkámat.

Köszönöm Váradi Attilának, a Leica Geosystems Hungary Kft. dolgozójának, hogy a Leica Cyclone szoftverhez biztosított elérhetőséget és számos szoftveres háttérismerettel segítette munkámat a 3D lézeres pontfelhő feldolgozása során. Továbbá köszönetemet fejezem ki a Geomagic INC-nek és a Technodigit INC-nek, aki a Geomagic Studio és 3DReshaper szoftverek demo verzióit biztosították számomra.

A kutatást a TECH_08-A3/2-2008-0373, a TECH_08-A4/2-2008-0138 és az OTKA K 105789 projektek támogatták. A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program* című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Köszönettel tartozom Oláhné Tóth Ibolyának, Csihon Ádámnak, valamint a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet valamennyi dolgozójának, akik a kutatás és a dolgozat elkészítése alatt nyújtottak segítséget és támogatták munkámat.

Szeretnék köszönetet mondani azoknak a szakdolgozó és diplomadolgozó hallgatóimnak, akik aktívan részt vettek kutatásom különböző fázisaiban.

Hálás köszönetem fejezem ki családom önzetlen támogatásáért, türelméért és megértéséért; biztató szavaik mindig előrébb vittek értekezésem elkészítésében.