

Térbeliség a gyümölcsültetvényben

Riczu Péter – Tamás János

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma,
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen
riczu@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A helyspecifikus agro-ökológiai és termesztéstechnológiai feladatok megtervezéséhez a gyümölcsstermesztő területeken fontos adatnak számít a gyümölcsfák területi pozíciója, az ágszerkezetének topológiája, a lombzatának térbeli struktúrája. A precíziós gazdálkodásban használható újabb eszközök és az erre épülő technológiák ezeknek az információknak a megszerzésében nyújtanak segítséget. Kísérletünket a Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep jéghálóval védett, csepegtető öntözérendszerrel ellátott, intenzív termesztésű alma gyümölcsösében végeztük. A vizsgálatokhoz a GreenSeeker 505 típusú vegetáció szkennert, az adatgyűjtéshez és -feldolgozáshoz a Trimble AgGPS FmX fedélzeti számítógépet használtunk. Az így szerzett spektrális adatokat a Leica ScanStation C10 lézerszkennelvel gyűjtött 3D pontfelhő adatokkal egészítettük ki. Az adatfeldolgozás során a lézertimpulzus adatokat és a vegetációs index értékeket egy egységes 3D rendszerben egyesítettük. A két speciális adatgyűjtési rendszer integrálása új alkalmazási lehetőségeket biztosít a precíziós termesztéstechnológiai rendszerfejlesztésben. A gyümölcsösökben az eredményeket a fitotechnológiai, vízgazdálkodási, növényvédelmi és betakarítási beavatkozások során lehet közvetlenül felhasználni. Az általunk kidolgozott módszer a munkagépek automatizálási fejlesztéséhez digitális, térben nagy pontosságú vezérlési adatokat képes biztosítani, amely számos új fejlesztési irányt nyithat meg a közeljövőben.

Kulcsszavak: precíziós mezőgazdaság, GreenSeeker 505, AgGPS FmX fedélzeti számítógép, Leica ScanStation C10 lézerszkennel, topológia

SUMMARY

The localization of fruit trees, the topology of the branch structure and the spatial structure of the canopy are important to plan site-specific agro-ecological and production technology projects in an orchard. The currently used instruments and technologies – in the precision agriculture – give opportunities to obtain these informations. The examinations were carried out in the Study and Regional Research Farm of the University of Debrecen near Pallag with the use of a GreenSeeker 505 Hand Held™ Optical Sensor Unit, and its interface the Trimble AgGPS FmX Integrated Display board computer. The collected spectral data were completed with the 3D point cloud by Leica ScanStation C10 laser scanner. The laser impulse data and the vegetation index values were integrated in a unified 3D system. The integration of the two special data collection system provides new opportunities in the development of precision production technology system. The results could be directly used in phytotechnology, water management, plant protection and harvesting in orchards. Our elaborated method can supply digital high spatial accuracy guidance data for development of the automated machines, which could provide some new developmental way in the immediate future.

Keywords: precision agriculture, GreenSeeker 505, AgGPS FmX Integrated Display, Leica ScanStation C10 laser scanner, topology

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Napjainkban a gyors információs technológia 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 területen tudjuk vizsgálni (Burai, 2007). Ez a hármas technológia egyre inkább egységes rendszerbe, egymást kiegészítve, integrált módon jelenik meg és rohamosan fejlődik precíziós mezőgazdasági és kertészeti alkalmazások területén egyaránt. Ennek az információs technológiának, valamint információs társadalomnak mezőgazdasági szakterületen történő leképződését hívjuk precíziós mezőgazdaságnak (Tamás, 2001). 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 (Gyórfy, 2000). A helyspecifikus mezőgazdasági gyakorlat célja a profit növelése, a környezetet terhelő káros hatások csökkentése (Watkins et al., 1998), miközben fenntartja a környezet minőségét (Konopatzki et al., 2012). Ezeket a célokat a termőhely alapos megismerésével – mint minden mezőgazdasági beavatkozás elengedhetetlen feltételeként – lehet hatékonyan elérni, teljesíteni (Tamás, 2001).

Az első precíziós mezőgazdasági alkalmazások a '90-es évek közepétől jelentek meg a nemzetközi gyakorlatban, míg Magyarországon ez valamivel későbbre tehető. Ennek feltétele a gyorsan terjedő globális helymeghatározó rendszerek megjelenése volt. A GPS-rendszerek biztosítják a gyors, pontos és hatékony adatgyűjtést a precíziós mezőgazdasági gyakorlat számos területén, úgymint a termésterképezés (Tumbo et al., 2002; Zhang et al., 2008), robotpilóta rendszerek (Adamchuk et al., 2008; Riczu et al., 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 gazdálkodás elsősorban a szántóföldi kultúrákra fókuszál (Godwin et al., 2003; Lee et al., 2010), ennek ellenére jelentős számú precíziós kutatást folytattak már kertészeti kultúrákban is. Konopatzki et al. (2012) körtefák termésének elem-tartalmát 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 minőségi kertészeti termékek előállítása megfelelő helyspecifikus gazdálkodási technológia hiányában nehezen elképzelhető, ezért egy intenzív gyümölcskertészetben a gyümölcsfák helyzetének és bizonyos paramétereinek megismerése, termesztési adatainak rögzítése elsődleges fontosságú lehet. Az egyes gyümölcsfák (vagy akár az erdőkben lévő faállomány) pozíciójának mérésére hagyományos módszerek és high-tech eszközök segítségével új technológiák is elterjedtek. A gyümölcsfák pozíciójának meghatározására leginkább GPS-rendszerek váltak népszerűvé (Min et al., 2008). Aggelopoulou et al. (2010) a hozam és a termésminőség térbeli változását megfelelő GPS-pozicionálási rendszerekkel tudta elvégezni. Ehsani et al. (2008) a citrusfélét bakteriális úton terjedő Huanglongbing (HLB) megbetegedéseket detektálták GPS segítségével, így lehatárolhatóvá váltak a továbbfertőzést indukáló góccok a területen.

Egyes gyümölcsfák térhelyes pozíciójának meghatározása más szempontokból is fontos lehet. Fórián et al. (2010) földi geodéziai és légi fotogrammetriai úton készítették el a Debreceni Egyetem Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep kísérleti ültetvényének teljes nagyfelbontású digitális adatbázisát, melyben minden egyes fához az attribútumként rendelték hozzá az egyedre vonatkozó adatokat (fajtanév, telepítés éve, metszés, permetezés ideje, kijuttatott tápanyag mennyisége stb.). A Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep valamennyi kísérlet kombinációját szintén fa szinten mérték fel. Az egyedi azonosító lehetővé teszi, hogy minden kezelés és kísérleti eredmény az adatbázisból térhelyesen lekérdezhetővé váljon (Fórián et al., 2009).

A gyümölcsfák helyzetének meghatározására más eszközök és módszerek is rendelkezésre állnak. Az aktív távérzékelés – mint a távérzékelés egyik típusa – során a szenzor maga bocsájt ki elektromágneses sugárzást. A műszerből kisugárzott energiának a vizsgált objektum felszínéről visszaverődött részét mérjük aktív szenzorokkal (Belényesi et al., 2008). Aktív távérzékelési eszközök segítségével egy gyümölcsös gyorsan, pontosan és nagy területen válik felmérhetővé. A fák pozíciójának, illetve a lombzatuk struktúrájának mérésére egy hatékony eszköz a 3D lézerszkennerek (Llorens et al., 2011; Rosell et al., 2009a). Az eszköz mm-es pontossággal határozza meg a gyümölcsfák egyes jellemző paramétereit, úgymint lombzat nagysága, törzsátmérő, egymástól való távolság, stb. (Rosell et al., 2009b).

Egyéb aktív távérzékelési eszközök, a vegetációs indexméterek segítségével is szerezhetünk információt a gyümölcsfák lombzatának strukturális felépítéséről. A GreenSeeker 505 egy, a gyakorlatban könnyen használható földi szenzor, ami az általa kibocsátott sugárzásnak a lombzat által visszavert részéből kalkulálja ki az Normalizált Differenciál Vegetációs Index (NDVI) értéket (Flynn et al., 2008). A gyümölcsös NDVI értékeiből következtethetünk a vegetáció állapotán túl annak térbeliségére is.

Jelen kutatásunkban vizsgáljuk a gyümölcsfák struktúrájának és topológiájának meghatározhatóságát fejlett aktív távérzékelési szenzorok segítségével.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A GreenSeeker 505 szenzorral való mérést 2011. november 8-án, 2012. július 5-én és július 25-én végeztük el a Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep jéghálóval védett, csepegtető öntözőrendszerrel ellátott, intenzív termesztésű alma gyümölcsösében. Az NTech Industries Inc. által forgalmazott GreenSeeker 505 vegetációs indexméterrel vizsgáltuk meg gyümölcsös lombzatának NDVI értékét. A műszer az aktív távérzékelők családjába tartozik, mivel saját megvilágítást használ, így bármely napszakban használható. A GreenSeeker két hullámhossz-tartományban (vörös és infravörös) bocsát ki fényt egy téglalap alakú részen. A vörös (RED – 656 nm) és a közeli infravörös (NIR – 774 nm) tartományban a vizsgált objektumról visszaverődött (reflektálódott) fényt egy kör alakú ablakban gyűjti be a műszer, majd a kapott értékekből számolja ki az NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) értéket a következő egyenlet alapján:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{RED + NIR}$$

A szenzorral a koronától számított 60–90 cm-es távolságban végeztük az adatgyűjtést. A GreenSeeker kezelőfelületként működik a Trimble cég által forgalmazott AgGPS FmX fedélzeti számítógép, amely két beépített GNSS vevővel rendelkezik a nagyobb pontosság elérése érdekében. További, ún. EGNOS korrekciót használva a mérési és pozícióbéli csatlakozási (pass-to-pass) pontosság 15–20 cm-re volt csökkenthető. Mind az AgGPS FmX monitort, mind pedig a GreenSeeker 505 szenzort egy traktorra szereltük. A FmX monitor a szélességi és hosszúsági koordináták alapján összegezte a GreenSeeker NDVI adatait. Az NDVI, a magassági és sebességi értékeket másodpercenként rögzítette a fedélzeti számítógép. Az adatok számítógépes feldolgozásra a Surfer 10 térinformatikai szoftvert használtuk. A szoftver a digitális felületképeket interpolálációval hozta létre, amely egy matematikai közelítő eljárás, melynek során a nem ismert értékekre az ismert értékek alapján ad közelítő becslést a program. Valamennyi térbeli adat interpolációját a legközelebbi szomszéd (Nearest Neighbor) analízis elvén végeztük. Ez egy egzakt interpolátor, amely a méretről ismert pontokat (tartópontok) változatlanul hagyja és a köztes térrészekre pedig becslíti az értéket. Ez az egzakt becslő felületkészítő technika azért jobb a simító jellegű interpolátorokhoz képest, mert azok a mért pontokat is torzítják, hogy az általuk számolt felülethez minél jobban illeszkedjenek.

A földi lézerszkennerek felmérést 2011. szeptember 2-án végeztük el. A Leica ScanStation C10 lézerszkennerek mérési elve a lézernyaláb echózási idejének (time-of-flight) mérésén alapszik. Ebben az esetben egy adott közegben monokróm zöld (532 nm-es hullámhosszúságú) lézer fény halad egy véges és konstans sebességgel, ahol a távolságot a vizsgált objektumot elérő, majd visszajutó fény időkülönbségéből lehet kiszámítani. A lézernyaláb eltérítését a Smart X-Mirror™ forgó poligon tükörrendszer biztosítja, így készíti el a műszer a több millió pontból álló pontfelhőt. A lézerszkennerek látószöge horizontálisan 360°, vertikálisan

270°. A lézer kibocsátó mellett egy integrált digitális kamera is segíti a mérést a pontfelhő kiszínezésében. A beépített 4 megapixeles (1920×1920 pixel) kamera látószöge 17°, így a kupola-szerű, automatikusan térben kiigazított, színes panoráma felvétel 260 képből épül fel. A mérés során 7 szkenelésből mértük fel a vizsgált terület egy sorát. A szkenelési területek közötti átfedés biztosította a pontfelhők összeillesztését, valamint a pontosság növelését. A felbontás 10 m-en 8 mm volt, így az átfedéseket tekintve maximum 1 cm-es hibával dolgozott a szkennerek. A pontfelhő feldolgozása a Leica Cyclone 7.1 nevű szoftverrel történt. A szkennerek saját szoftveres környezetében tisztítottuk a pontfelhőt, modellezést és mérnöki számításokat is végeztünk, majd a további kifinomultabb modellezés érdekében a 3DReshaper szoftvert alkalmaztuk.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A GreenSeeker 505 típusú szenzorral a vegetációs fejlődés három különböző fázisában végeztünk felmérést a Pallagi Kertészeti Kísérleti Telep jéghálóval védett alma gyümölcsösében. 2011. november 8-án a lombzat öregedési fázisában a teljes vizsgált területen alacsonyabb NDVI értékeket figyeltünk meg, mint a következő évi biológiai ciklus hajtásnövekedési szakaszában (1. ábra). Ez annak volt köszönhető, hogy vegetációs időszak későbbi szakaszaiban a szenescencia során a lombzat fiziológiai változásokon is keresztül megy, melynek egyik eredménye a levelek klorofill tartalmának csökkenése.

1. ábra: A vizsgált almaültetvény lombzatának NDVI térképe a különböző vegetációs időszakban

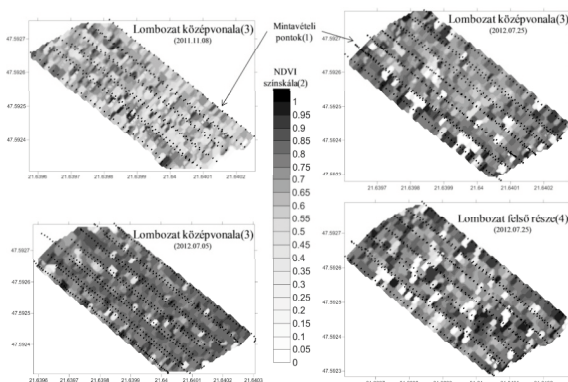


Figure 1: Canopy's NDVI values of the investigated apple plantation in different phenological stages

Sampling points(1), NDVI color scale(2), Middle part of canopy(3), Upper part of canopy(4)

2012. július 25-én két mérést végeztünk, ahol a lombzat középvonalának, valamint attól 60–70 cm-rel magasabban, a lombkorona felső részének NDVI értékeit vizsgáltuk (1. ábra). Mindkét mérés esetében az alacsony NDVI értékek azokat a területeket mutatták, ahol „lombzathiány”, vagy a levelek klorofill tartalmának csökkenése, bizonyos esetekben annak teljes lebomlása volt megfigyelhető.

A július 5-i mérés alapján elkészített vegetációs index térképen az alacsonyabb, valamint a július 25-i térképek nulla NDVI-értékhez közelítő egyes területei

között átfedéseket tapasztaltunk. Az alacsonyabb NDVI érték a gyümölcsfák fiziológiai változásait jelezték előre, majd a 20 nap múlva (július 25-én) megismételt méréssorozat bizonyította az egyes gyümölcsfák betegség általi teljes kipusztulását.

A 2011. szeptember 2-án végzett lézerszkenneres felmérés pontosabb eredményeket adott a gyümölcsfák térbeliségének meghatározására a GreenSeeker szenzorhoz képest. A Leica ScanStation C10 lézerszkennerekkel a fahiányos helyek detektálásán, valamint a pozicionáláson túl a gyümölcsfák geometriája és főbb jellemző tulajdonságai is megismerhetővé váltak. Az adatfeldolgozást a szkennerek saját szoftverében a Leica Cyclone-ban kezdtük meg (2. ábra/a), majd további információk kinyerésére a 3DReshaper szoftvert használtuk. A Leica Cyclone-ban végeztük a 7 szkennelés pontfelhőinek összeforgatását, annak letisztítását, az almafák és a lombkorona magasságának, a törzsátmérőnek meghatározását (2. ábra/b).

A szoftver lehetőséget nyújtott az előfeldolgozott pontfelhő exportálására, így biztosítva speciális pontfelhő-kezelő és -feldolgozó szoftverek számára a további adatkinyerés finomabb és cizelláltabb elemzéseinek lehetőségét. Az immár letisztított pontfelhőt a 3DReshaper szoftverbe importálva, az almák detektálását a legkisebb négyzetek módszerével végezte el a program (2. ábra/c). Ez a módszer a szoftverben használt illesztési algoritmus, amely az adott geometriai alak rekonstrukciója során az eltérések négyzetösszegét minimalizálja. A gömb, mint a pontfelhő görbülete legjobban illeszkedő alakzat segítségével pontos adatokat kaphattunk a gyümölcsök méretéről. Több esetben a pontfelhő nagy része hiányos volt a levelek és az ágak takarása miatt. Ennek ellenére a pontfelhő görbülete alapján is képes volt a program az alakzat-illesztést elvégezni.

2. ábra: Térbeli kivágat az elkészült pontfelhőről (A), egy kiválasztott almafa néhány fontosabb paraméterének meghatározása Leica Cyclone-ban (B), valamint a gyümölcsök detektálása a 3DReshaper szoftverkörnyezetben (C)

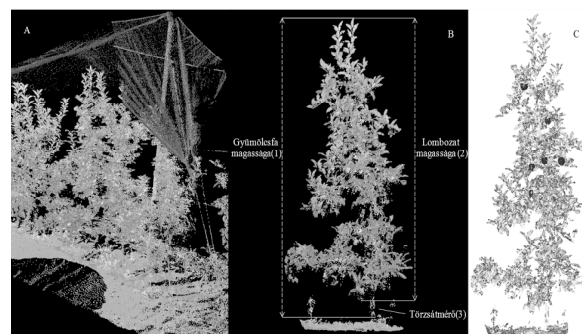


Figure 2: Spatial subset of the point cloud (A) and some important parameters of a selected apple tree in Leica Cyclone (B) and detection of the fruits in the 3DReshaper software environment (C)

Height of the fruit tree(1), Height of the canopy(2), Stem diameter(3)

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A precíziós mezőgazdasági eszközök biztosítják a termőhely alapos megismerését, amely elsődleges alapvető feltétele a mezőgazdasági és kertészeti beavat-

kozásoknak, ugyanis a növényzet heterogenitása miatt a fenntartható mezőgazdasági szemlélet nem biztosítható egységes agrotechnikai műveletekkel.

A GreenSeeker 505 vegetációs indexméterrel folytatott mérés eredményei alapján megállapítható az eszköz kertészeti alkalmazhatósága. A lombzat NDVI értékei alapján pontos becslést adhatunk a gyümölcsfák vegetatív állapotára vonatkozóan, a klorofill tartalom és a lombzat NDVI értékeinek szoros korrelációja alapján. Az eredmények szerint az alacsonyabb normalizált differenciál vegetációs index értékek a levelek valamilyen megbetegedését, vagy azok klorofill tartalmának csökkenését jelezték előre; míg a nulla NDVI értékek a lombkorona térbeli hiányát, illetve a gyümölcsfa kipusztulását jelezték. A különböző időpontokban végzett mérések eredményei alapján a GreenSeeker 505 vegetációs indexméter az almafák precíziós vegyszeres növényvédelmében is segítséget nyújthatnak. További komplex mérések szükségesek olyan vizsgálatok elvégzéséhez, amellyel nagy bizonyossággal válnának kimutathatóvá a fertőzések első jeleit indikáló NDVI értékek. Az adott NDVI érték arányában történő precíziós vegyszerkijuttatás csökkentheti a környezet terhelését.

A lézerszkenneres mérés első eredményei alapján igazolható, hogy a 3D-s felmérés gyorsan, megbízhatóan, nem destruktív módon megbecsülhetővé teszi a vizsgált növény struktúráját, azok térbeli elhelyezkedésének meghatározására pedig sokkal pontosabb és szofisztikáltabb lehetőséget biztosít, mint a GreenSeeker. A továbbiakban mérési módszereket kell

kidolgozni a lombzat pontos leírására, mivel ha ismerjük a lombzat nagyságát, illetve a levek felületét, úgy meghatározhatóvá válik a párolgató felület. A 3D-s modell tovább bővíthető és kombinálható légi, vagy kézi hiperspektrális kamerákkal, hőkamerás felvételekkel. Ezen felvételek segítségével további információt nyerhetünk a gyümölcsfák párolgási értékeiről, dinamikájáról. Mivel a vizsgált pallagi intenzív almaültetvény csepegtető mikroöntöző rendszerrel ellátott, így a továbbiakban lehetőség nyílt egy víz- és energiatakarékos öntözési rendszer kiépítésére. A 3D lézerszkennner adatai alapján speciális szoftveres környezetben a gyümölcsfán elhelyezkedő almák detektálása is biztosítva volt. A rendszer továbbfejlesztésével pedig egy robotizált betakarítás is elképzelhetővé válhat.

KÖSZÖNETNYILVÁNYÍTÁS

Köszönetünket fejezzük ki a Nyugat-magyarországi Egyetem, Geoinformatikai Karának, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a Leica ScanStation C10 3D lézerszkennert, mellyel hozzájárult a méréshez; Váradi Attilának a Leica Geosystems Hungary Kft. dolgozójának, aki a Leica Cyclone szoftverhez biztosított elérhetőséget, és munkánk során segítette a 3D pontfelhő feldolgozását, valamint Hatala Zoltán, környezetgazdálkodási agrármérnök hallgatónak az adatgyűjtésben és az adatok feldolgozásában nyújtott segítségével. A kutatást a FP7 –Marie Curie CHANGEHABITAT2; TECH_08-A3/2-2008-0373 és a TECH_08-A4/2-2008-0138 projektek támogatták.

IRODALOM

- 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.
- 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.
- Belényesi M.–Kristóf D.–Skutai J. (2008): Távérzékelés a környezetgazdálkodásban. Elméleti jegyzet. Szent István Egyetem. Környezetgazdálkodási Intézet. Gödöllő. 78.
- Burai P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági területeken. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 143.
- Ehsani, R.–Buchanon, S.–Salyani, M. (2008): GPS accuracy for tree scouting and other horticultural uses. EDIS Publication No. AE438. <http://edis.ifas.ufl.edu/ae438>.
- Flynn, E. S.–Dougherty, C. T.–Wendroth, O. (2008): Assessment of pasture biomass with normalised difference vegetation index from active ground-based sensors. *Agronomy Journal*. 100. 1: 114–121.
- Fórián T.–Nagy A.–Tamás J. (2009): Intenzív fajtakisérlet 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 gyümölcsstermesztés térinformatikai rendszerének kiépítése. VIII. Alkalmazott Informatika Konferencia. Acta Agraria Kaposváriensis. 14. 3: 313–321.
- 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.
- Györfly B. (2000): A biogazdálkodástól a precíziós mezőgazdaságig. *Agrofórum*. 11. 2: 1–4.
- 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.
- 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.
- Llorens, J.–Gil, E.–Llop, J.–Escolà, A. (2011): Ultrasonic and LIDAR Sensors for Electronic Canopy Characterization in Vineyards: Advances to Improve Pesticide Application Methods. *Sensors*. 11. 2: 2177–2194.
- 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.
- 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.

- Riczu, P.–Mesterházi, P. Á.–Fórián, T.–Fehér, G.–Bíró, J.–Tamás, J. (2012): Evaluation of different GPS signal corrections to improve field accuracy of the autopilot system. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Foot-Print: The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies*. Sopron. 3. 7: 1–6.
- Rosell, J. R.–Llorens, J.–Sanz, R.–Arnó, J.–Ribes-Dasi, M.–Masip, J.–Escolà, A.–Camp, F.–Solanelles, F.–Gràcia, F.–Gil, E.–Val, L.–Planas, S.–Palacín, J. (2009)a: Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149. 9: 1505–1515.
- Rosell, J. R.–Sanz, R.–Llorens, J.–Arnó, J.–Escolà, A.–Ribes-Dasi, M.–Masip, J.–Camp, F.–Gràcia, F.–Solanelles, F.–Pallejá, T.–Val, L.–Planas, S.–Gil, E.–Palacín, J. (2009)b: A Tractor-Mounted Scanning LIDAR for the Non-Destructive Measurement of Vegetative Volume and Surface Area of Tree-Row Plantations: A Comparison with Conventional Destructive Measurements. *Biosystem Engineering*. 102. 2: 128–134.
- Tamás J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*. Budapest. 144.
- 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.
- 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.
- 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.

