

Egy besenyőtelki tábla talajnedvességének monitorozása Sentinel műhold és helyszíni vizsgálatok segítségével

Tolner László¹, Gál Edina¹, Harkányiné Székely Zsuzsa¹, Waltner István¹, Yun Qiu^{1,3},
Tolner Imre Tibor, Vekerdy Zoltán^{1,2}

¹Szent István Egyetem, MKK, Környezettudományi Intézet, 2103 Gödöllő, Páter Károly u. 1., e-mail: tolner.laszlo@gmail.com

²Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár

³Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Enschede the Netherlands

Összefoglalás

Munkánk a talajheterogenitás távérzékeléssel történő meghatározására irányul. A Sentinel műholdak felbocsájtásával lehetővé vált, hogy a talajfelszínről néhány napos gyakorisággal készüljenek felvételek. A távérzékeléssel nyert optikai illetve radar jeleket a talajfelszín fizikai tulajdonságai befolyásolják, amik között kitüntetett szerepet játszik a felszíni réteg nedvességtartalma. A felszíni nedvesség adatok változásából következtetni lehet egyes talajtulajdonságokra, és segítségükkel fel lehet mérni a talaj heterogenitását. Ezek értelmezéséhez kívántunk hozzájárulni egy talajtanilag heterogén mezőgazdasági táblán mért talajnedvesség változás időbeli dinamikájának vizsgálatával és értelmezésével.

Summary

Our work contributes to the assessment of soil heterogeneity by remote sensing. With the launch of the Sentinel satellites, monitoring of the surface became possible with a few-days revisit frequency. Physical properties of the soil influence the optical and radar signals recorded by satellites. One of the most important property is the moisture content of surface layer. The surface moisture data represent a proxy related to the soil heterogeneity. Our analysis of soil moisture dynamics contributes to the understanding of soil heterogeneity at agricultural field level.

Bevezetés

A hagyományos növénytermesztés legkisebb egysége a tábla, amire hagyományos termelési körülmények között meghatározzák a termelendő növényt, és az ahhoz kapcsolódó kezeléseket. A táblán belül eltérő termékenységgű kisebb földterületek lehetnek, amelyek a fizikai, kémiai, topográfiai (pl. mély fekvésű), vagy egyéb (pl. gyomok, kártevők előfordulása) tekintetében különböznek egymástól (GYULAI, 2009). Ezen kisebb egységek figyelembe vétele, a termőhely változatosságát szem előtt tartó (hely-specifikus) technológia, agrotechnikai beavatkozás jelenti a precíziós mezőgazdaság fogalmát (NEMÉNYI et al., 2001; TAMÁS 2001; TAMÁS et al., 2005; CAMBARDELLA 1999).

A termőhelyi viszonyokhoz alkalmazkodó növénytermesztés a termőhelyi viszonyok és a korábbi termések táblaszintnél részletesebb felmérését igényli. Az adatok kezeléséhez térinformatikai módszerek (GIS) szükségesek a megfelelő agrotechnika kidolgozása érdekében (NEMÉNYI et al., 2002; NÉMETH et al., 2007). Az első lépések egyikeként, a precíziós mezőgazdaság alkalmazásához szükség van a talajtulajdonságok hatékony és pontos meghatározására. A helyszíni mintavétel alapuló területi információnyerés nagy munkai igényű, és a precíziós gazdálkodás igényének megfelelő sűrűséggel alkalmazva költségesebb, mint a termés növekedéséből származó gazdasági előny. A távérzékelés gazdaságos megoldást biztosít a szükséges információk megszerzéséhez (GE et al., 2011). Területi információ nyerhető a munkagépekre szerelt mérőszondák segítségével is (CSIBA, 2010; NAGY et al., 2013), de ezek az adatok sokszor nem alkalmasak az időbeli változások sebességéhez alkalmazkodó monitoringra.

A szántóföldi növények fejlődését és a várható terméseredményt a vízellátottság jelentősen befolyásolja. A talajban lévő tartós vízhiány hatására a termés mennyisége csökken. Magyarországon a természetes vízellátottság területenként nagyon változó, így a növények vízigényének csapadékból történő ellátása területileg és időben is jelentős szélsőségeket mutathat. A hiány pótlása csak jól tervezett vízgazdálkodással oldható meg, ezért ismernünk kell a növények vízigényét valamint a talaj vízgazdálkodási sajátosságait. A talaj nedvesedése-száradása a fizikai féleség mellett egyéb talajtulajdonságoktól is, így a talajsavanyúságtól, vagy a szikességtől is függ (TOLNER et al., 2012; FEKETE et al., 2016).

A talaj víztartalmának egyik legrégebbi becslési módszere a csupán mérleget és egy hőfokszabályzós kemencét igénylő gravimetria (JOHNSON, 1962). A gravimetriás módszer hátránya, hogy helyszíni mintavétel szükséges hozzá, emiatt költséges és folyamatos regisztrálásra nem alkalmas (VÁRALLYAY, 2002). A mintavételezésen vagy helyszíni mérésen alapuló talajnedvesség meghatározás nélkülözhetetlen a távérzékeléssel kapott talajnedvességgel összefüggő mérési értékek kalibrálásához (CSIBA, 2010). A talaj víztartalma erősen befolyásolja a távérzékeléssel vizsgálható hiperspektrális reflexiók spektrumot is (MILICS et al., 2004; NEMÉNYI et al., 2008; TOLNER et al., 2013). Csupasz talajfelszín esetén, KALIETA (2003) összefüggést bizonyított a talaj felső 6 cm-es rétegének vezetőképesség-mérésével meghatározott nedvességtartalma és a hiperspektrális távérzékelési adatok között. Az összefüggés alkalmas volt a helyszínen mért pontszerű adatok területi kiterjesztésére. A növényborítás a közvetlen fizikai összefüggések felhasználását lehetetlenné teszik a látható és az infravörös tartományban, azonban a növényzet állapotából következtetést lehet levonni a gyökérszóna nedvességére. A mikrohullámú tartományban a növénytakaró nedvességtartalma és szőrözöttsége, a levelek állása zajként jelentkezik a talajnedvesség térképezésekor, de ezt adatintegrációval és modellezéssel részben figyelembe lehet venni (HUTCHINSON, 2003).

A Sentinel műholdak felbocsájtásával lehetővé vált, hogy a talajfelszínről néhány napos gyakorisággal készüljenek felvételek. A Sentinel-1 műholdak C-sávú radar érzékelőjével készített űrfelvételek 2-3 napos gyakorisággal fedik le Magyarországot. Ezen felvételek értelmezéséhez fontosak a helyszíni vizsgálatok alapján nyert eredmények, amik alapján a radar visszaverődési értékei és a talajnedvesség értékek közötti összefüggést fel lehet állítani (pl. PALOSCIA et al., 2013). Munkánkkal a talajnedvesség térképezéséhez szükséges összefüggések feltárásához járulunk hozzá.

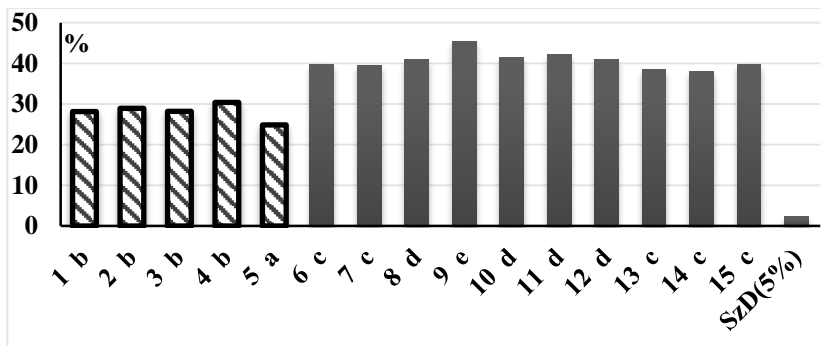
Anyag és módszer

A vizsgálatokat egy családi gazdaság 5,5 ha-os tábláján végeztük Besenyőtelek határában. A heterogén, szikes foltot tartalmazó terület talajának kémiai jellemzőit korábbi publikációnkban vizsgáltuk (TOLNER et al., 2015), míg jelen munkánkban a talajnedvességben jelentkező heterogenitást tesszük górcső alá. A 4. ábrán látható pontokon bolygatatlan mintavető gyűrűvel (100 cm³) felszín-közeli (10-15 cm) talajmintákat vettünk 2016.04.23. és 2016.07.22. között 14 alkalommal. Az így kapott 210 db talajminta nedvességtartalmát a mintavételt követően gravimetriás módszerrel azonnal meghatároztuk (BUZÁS, 1988). Sentinel-1 VV polarizációjú radarfelvételeit az ESA Scientific Data Hub-járól (<https://scihub.copernicus.eu>) töltöttük le.

A varianciaanalíziseket a SVÁB (1981) által megadott algoritmus alapján Excel Makróban megírt programmal számítottuk. A klaszteranalízis az „R” statisztikai programcsomaggal készült.

Eredmények és értékelésük

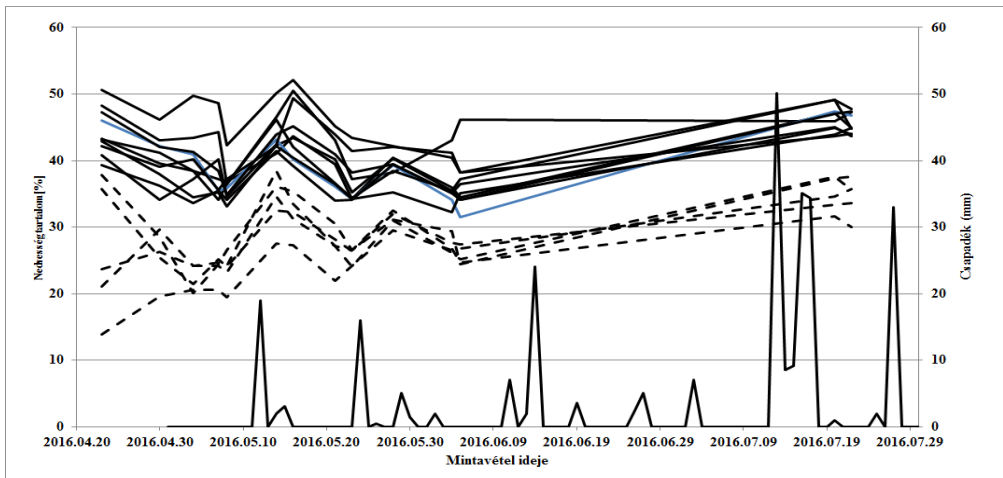
Első lépésben varianciaanalízissel megvizsgáltuk azt, hogy a mintavételi pontokon mért talajnedvesség-tartalom (%) értékek milyen mértékben különböznek egymástól. A számítás során a 14 időpont 14 blokkot (ismétlést) képezett, blokkonként 15 mintavételi hellyel (4. ábra). Az F-próba eredménye azt mutatja, hogy a mintavételi helyek adatainak átlaga több mint 99,9%-os biztonsággal eltérnek egymástól. Ugyanez jellemzi a blokkátlagok eltéréseit (1. ábra). Vagyis a nedvesség adatok mind a táblán belüli elhelyezkedés alapján, mind az időben igazolható eltéréseket mutattak.



1. ábra. A 15 mintavételi helyen, 14 időpontban mért talajnedvesség-tartalom (%) értékek átlagai. A vonalkázott oszlopok a szikes foltról származnak.

A 1. ábrán jól látható az első 5 mintavételi hely elkülönülése. Ezek a szikes foltról vett minták. Látható, hogy a szikes területen jelentősen kisebb a nedvességtartalom átlaga a vizsgált időszakban, mint a nem szikes területeken.

A talajnedvesség-tartalom időbeli változását szemlélteti 2. ábra.

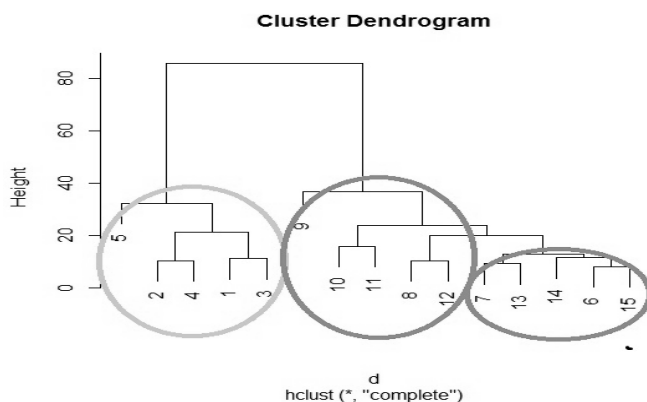


2. ábra. A vizsgált 15 mintavételi helyen 14 időpontban vett talajnedvesség-tartalom (%) értékek (az azonosítás megkönnyítésére vonalakkal összekötve). Az alsó csúcsok a csapadékhullások időpontját és mennyiségét jellemzik mm-ben.

Az 2. ábrán jól láthatók a csapadékokat követő talajnedvesség növekedések, majd az azokat követő száradási periódusok hatásai. (Az összekötő vonalak az összetartozó mérések azonosítását segítik, de a mintavételi sűrűség elégtelensége miatt nem követik a talajnedvesség valós alakulásának minden részletét, így például vannak csapadékok, amiknek hatása nem tükröződik a görbék futásában.) A 15 talajnedvesség görbén a mintavételi helyszínek számait az ábra zsúfoltságának elkerülése miatt nem tüntettük fel, de jól látszik a felső 10 és az alatta levő 5 görbe elkülönülése. Ez utóbbiak (szaggatott vonallal jelölve) a szikes területéről származó minták görbéi.

A vizuálisan megfigyelhető elkülönülést klaszteranalízis segítségével számszerűsíthetjük. Hierarhikus klaszterezést végeztünk az Euklédesszi távolság meghatározása alapján, összevonó algoritmussal, teljes láncmódszerrel. Ekkor a 15 vizsgálati pontra vonatkozó adatok (14 időpontban mért nedvességtartalom) egymástól mért távolsága (az időpontoknak megfelelő 14 dimenziós térben) alapján végezzük el a csoportosítást. Az automatikus számítás során először a legközelebbi pontok kerülnek közös csoportba (klaszterbe): a 2-4, és a 1-3 mintavételi pontok, illetve a 10-11, 8-12, 7-13, 6-15 mintavételi pontok kerültek összevonásra. A következő lépésben az előző lépésben létrejött 6 klaszter, és az előző lépésben kimaradt pontok távolsága alapján történt meg a további összevonás. A folyamat végeredménye a 3. ábrán látható fa struktúra, az úgynevezett dendrogram.

A dendrogram alapján 3 csoportba különíthetjük el a mintavételi helyeinket a nedvességtartalom változás adatai alapján (3. ábrán bekarikázva). A 3. ábra bal oldalán levő sárgával bekarikázott csoportba a szikes mintavételi helyről származó pontok kerültek. A többi pont, azaz a nem szikes területeken elhelyezkedő minták egymástól való elkülönülése nem ilyen egyértelmű. Ezen belül szorosabb hasonlóságot mutatnak a 7, 13, 14, 6, 15 mintavételi pontok. Az elemzés alapján kialakult három klaszterbe sorolt mintavételi pontok elhelyezkedését a vizsgált mezőgazdasági táblán a 4. ábra mutatja.



3. ábra. a klaszteranalízissel készült dendrogram. Bekarikázva a dendrogram alapján elkülöníthető 3 mintavételi hely csoport.



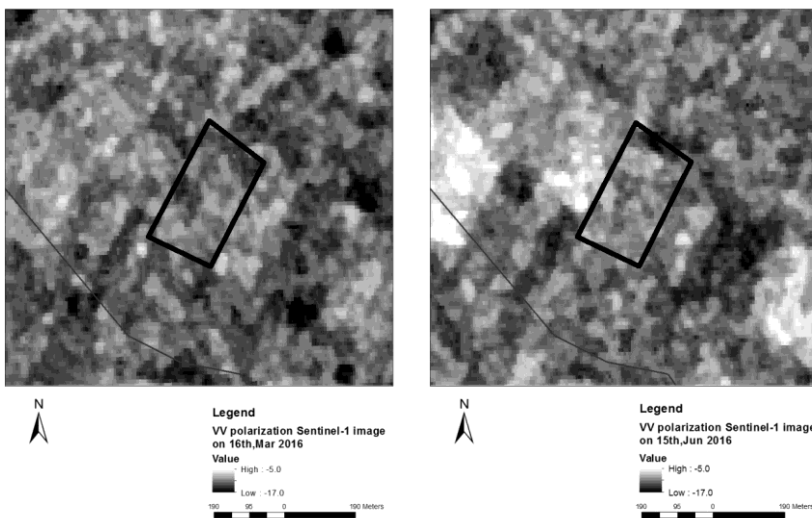
4. ábra. A klaszteranalízis alapján kialakult három klaszterbe sorolt mintavételi pontok elhelyezkedése a vizsgált mezőgazdasági táblán. A háttérképen jól látszik, hogy a szikes terület egy részét, mégha nem is teljesen pontosan, a felvétel időpontjában kihagyták a művelésből.

A 4. ábrán látható, hogy a változó nedvességtartalom alapján számítással elkülönített klaszterek a tábla területén is jól elkülöníthető csoportot képeznek.

A klaszteranalízissel elkülönített 3 csoport adatainak eltérését varianciaanalízissel is értékeltük. Az 3 klaszterbe sorolt talajnedvesség-tartalom értékek átlagai: 28,1%, 39,1%,

42,2 %. Az F- próba alapján és az SzD5% értékhez viszonyított különbség értékek alapján is látható, hogy a talajnedvesség átlag értékek jelentősen eltérnek egymástól. Jelentősen mintegy 30%-al kisebb a szikes talajfolton levő adatok átlaga (28,1%), míg a klaszteranalízissel elkülönített két nem szikes foltra jellemző átlagértékek csak kisebb, de igazolható eltérést mutatott (SzD(5%)=1,0).

A Sentinel-1 műhold radarfelvételeit összevetettük klaszteranalízis eredményeivel (5. ábra). A felvételek készítésekor a területen ritkás lucernaborítás volt, ami a radar képeket a nem teljes fedettség miatt csak részben befolyásolta. Jelen tanulmányunk terjedelmi okokból csak az első, vizuális interpretáción alapuló megállapításokra terjedhet ki. Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy belvízborítás megjelenik-e a képeken, és ez mennyiben függhet össze a mintavételek alapján meghatározott heterogeneitással.



5. ábra: A teszterület (képek közepén ferde négyszögonnal körülkerített terület) Sentinel-1 VV polarizációjú radarfelvételei. A bal oldali kép a 2016.03.16., a jobb oldali a 2016.06.15.-i állapotot mutatja.

Az 5. ábrán látható Sentinel-1 A képek VV polarizációval készültek. Az előfeldolgozásban a geometriai korrekciók és kalibráció mellett 'speckle' szűrést végeztünk. Habár ez utóbbi nem tünteti el teljes mértékben az interferenciából származó intenzitáskülönbségeket és a térbeli felbontást is részben lerontja (ULABY et al., 1996), a terület talajának heterogeneitása jól megfigyelhető. A különbségek főként a víztartalomtól függően különböző dielektromos tulajdonságokkal rendelkező felszíni rétegek változatosságában nyilvánulnak meg. Például a 2016. március 16-ai felvételen a terület NY-i részén nagyon alacsony a visszaverődés, ami vízborítás jelenlétére enged következtetni. Ez a helyszíni bejárások alkalmával is látható volt, illetve egy szikes mélyebb folt jelenléte is alátámasztja ezt. A 2016. június 16-án készült felvételen ugyanez a terület világosabb tónusú. Ennek oka, hogy a terület ekkor nedvesebb környezeténél, ezért intenzívebb a visszaverődés. Mivel a radarképekhez csak a helyszíni mintavételezést követően jutottunk, így sajnos erre a területre nem esett helyszíni vizsgálati pont. Eredetileg a helyszíni vizsgálatok során a D-részen levő szikes foltra koncentráltunk. Az ettől eltérő területeket, nem szikes kontrol területnek tekintettük, így a helyszíni mintavételi hely

Egy besenyőtelki tábla talajnedvességének monitorozása Sentinel műhold és helyszíni vizsgálatok segítségével

kijelölésénél elkerültük az 5. ábra képeinek a Ny-i részén látható, márciusban belvízzel borított kisebb szikes foltot. A nagyobbik, általunk mintázott szikes foltot nem borította belvíz, ami a terület mikrodomborzatából következik.

A 10-11-12-es mintavételi pontok környékének a szikes területeknél világosabb tónusa a júniusi felvételen magasabb talajnedvességre utal, ami jó egyezésben áll a helyszíni mintavételezésen alapuló mérések eredményeivel.

A radar képek itt felvázolt kvalitatív elemzését a további kutatásainkban számszerűsített talajnedvesség meghatározás fogja követni.

Összefoglalás

A helyszíni talajmintavételen alapuló talajnedvesség vizsgálatok alapján a korábban kémiai vizsgálattal is kimutatott szikes terület eredményesen elkülöníthető volt. A Sentinel-1 műhold felvételei alapján a szikes és a nem szikes területek nedvességviszonyaiban mutatkozó különbség megfigyelhető volt. Ezt a további kutatásokban kvantitatív elemzésnek kívánjuk majd alávetni.

Irodalomjegyzék

BUZÁS I. (1988): Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

CAMBARDELLA C. A. & KARLEN, D. L. (1999): Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters, Precision Agriculture

CSIBA, M. (2010): Mérési módszerek fejlesztése precíziós növénytermesztési technológiáknál. Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Mosonmagyaróvár, 141 p.

FEKETE GY., ISSA I., TOLNER L., CZINKOTA I. & TOLNER I.T. (2016): Investigation on the indirect correlation and synergistic effects of soil pH and moisture content detected by remote sensing. *Növénytermelés* 65 Suppl. 203-206.

GE Y., THOMASSON J. A. & SUI R. (2011): Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review. *Frontiers of Earth Science* 5.(3) 229-238.

GYULAI I. (2009): A precíziós mezőgazdaság segítése távérzékelte adatokkal. Doktori értekezés, Mosonmagyaróvár, 110 p.

HUTCHINSON J. M. S. (2003): Estimating near-surface soil moisture using active microwave satellite imagery and optical sensor inputs. *Transactions of the ASAE*, 46.(2), 225.

JOHNSON A.I. (1962): Methods of Measuring Soil Moisture in the Field, Denver, Department of the Interior, Geological Survey, 26 p.

KALEITA A. L., TIAN L. & YAO H. (2003): Soil moisture estimation from remotely sensed hyperspectral data. In 2003 ASAE Annual Meeting (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

MILICS G., NAGY V. & ŠTEKAUEROVÁ, V. (2004): GIS applications for groundwater and soil moisture data presentations. - 12. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň

otvorených dverí na UH SAV. Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra, 25. november 2004. Ústav hydrológie SAV, Račianska 75. Bratislava, Slovenská Republika, Konferenčné CD. ISBN 80-89139-05-1

NAGY V., MILICS G., SMUK N., KOVÁCS A.J., BALLA I., JOLÁNKAI M., DEÁKVÁRI J., SZALAY D.K., FENYVESI L., ŠTEKAUEROVÁ V., WILHELM Z., RAJKAI K., NÉMETH T. & NEMÉNYI M. (2013): Continuous field soil moisture content mapping by means of apparent electrical conductivity (EC_a) measurement. *J. Hydrol. Hydromech.*, 61. (4) p. 305-312.

NEMÉNYI M., PECZE ZS., MESTERHÁZI P. Á. & NÉMETH T. (2001): A precíziós-helyspecifikus növénytermesztés műszaki és térinformatikai feltételrendszere. *Növénytermelés*, 50. (4) 419 - 430

NEMÉNYI M., MESTERHÁZI P.Á., PERCZE ZS. & STÉPÁN ZS. (2002): The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 40. pp. 45-55.

NEMENYI M., MILICS, G. & MESTERHÁZI, P. Á. (2008): The role of the frequency of soil parameter database collection with special regard to on-line soil compaction measurement. In: Andrea Formato: *Advence in Soil & Tillage Research*. 125–140. ISBN 978-81-7895-353-3

NÉMETH T., NEMÉNYI M. & HARNOS ZS. (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. MTA TAKI. Szeged.

PALOSCIA, S., PETTINATO, S., SANTI, E., NOTARNICOLA, C., PASOLLI, L., & REPPUCCI, A. (2013). Soil moisture mapping using Sentinel-1 images: Algorithm and preliminary validation. *Remote Sensing of Environment*, 134. 234-248. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.02.027>

SVÁB J. (1981): *Biometriai módszerek a kutatásban*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest

TAMÁS J. (2001): *Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

TAMÁS J. & NÉMETH T. szerk. (2005): *Agrárkörnyezetvédelmi indikátorok elmélete és gyakorlati alkalmazásai*, Debreceni Egyetem, Debrecen

TOLNER I. T., SZALAY K. D., CSORBA Á., FENYVESI L. & NEMÉNYI M. (2012): Evaluating the effect of acidity and humidity on the optical characteristic of a soil sample. *Növénytermelés*. 61. 287–290.

TOLNER I.T., TOLNER L., FENYVESI L. & NEMÉNYI M. (2013): Nedvszívó anyagok hatása a talaj reflektancia spektrumára. *Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában. Talajvédelem (Különszám)*. 505–512.

TOLNER I.T., GÁL E. & TOLNER L. (2015): Talajheterogenitás vizsgálata egy besenyőtelki tábla talajmintáin. *Talajvédelem 2015 - Különszám (ISBN 978-963-9639-80-5)* 349-355.

ULABY, F. T., DUBOIS, P. C., & VAN ZYL, J. (1996). Radar mapping of surface soil moisture. *Journal of Hydrology*, 184(1–2). 57–84. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02968-0](http://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02968-0)

VÁRALLYAY GY. (2002): *A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai*. Budapest Kiadó.