

VREDNOTENJE DELOVANJA NIZKO CENOVNEGA SENZORJA ZA MERITVE KOLIČINE VODE V TLEH

Boštjan NAGLIČ¹⁹

Izvirni znanstveni članek / original scientific article

Prispelo / received: 12. oktober 2015

Sprejeto / accepted: 20. november 2015

Izvleček

Pri namakanju, predvsem kapljičnem, določamo količino in frekvenco namakanja na osnovi vrednosti dnevne evapotranspiracije, pri čemer je pomembno, da se pravilnost ocene evapotranspiracije kontrolira z merjenjem stanja vode v tleh. Na trgu je dostopnih veliko senzorjev, ki imajo različne tehnike delovanja. V tem članku primerjamo meritve volumske vsebnosti vode v tleh tovarniško kalibriranega Decagonovega 10HS senzorja z gravimetričnimi meritvami v meljasto-glinasto-ilovnatih tleh. Rezultati so pokazali, da se volumski deleži vode v tleh izmerjeni z Decagonovimi senzorji 10HS dobro ujemajo z dejanskimi gravimetričnimi meritvami na dveh lokacijah v talnem profilu meljasto-glinasto-ilovnatih tal. Zaključimo lahko, da se senzor v danih tleh lahko uspešno uporablja za nadzor pravilnosti izvajanja namakanja.

Ključne besede: namakanje / volumska vsebnost vode v tleh / kapacitivni senzorji

EVALUATION OF A LOW-COST SENSOR FOR SOIL MOISTURE MONITORING

Abstract

For irrigation, especially drip irrigation, the frequency and the amount of applied water are determined based on evapotranspiration. Soil moisture measurements are essential for verification of evapotranspiration estimation. There are many types of sensors available on the market, which use different techniques for soil moisture measurements. In this paper, measurements of volumetric water content in the silty clay loam soil using Decagon 10HS factory calibrated sensors are compared with corresponding measurements using gravimetric method. The results showed good agreement of volumetric water content measured with Decagon 10HS sensor and gravimetric method at two depths in silty clay loam soil. Therefore it can be concluded that the sensor can be successfully used for irrigation control in a given soil.

Key words: irrigation / volumetric water content / capacitance sensors

1 UVOD

Prakse, ki povečujejo produktivnost vode za namakanje (definirane kot rastlinski pridelek na enoto porabljene vode), lahko v času podnebnih sprememb predstavljajo pomembne prilagoditvene možnosti za vse svetovne produkcijske sisteme. Hkrati so in bodo potrebne tudi izboljšave učinkovitosti namakanja, ki so nujne za zagotavljanje vode za pridelavo hrane

¹⁹ Dr., univ. dipl. inž. agr., Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije, Cesta Žalskega tabora 2, 3310 Žalec, Slovenija, e-pošta: bostjan.naglic@ihps.si

v navzkrižju interesov med zagotavljanjem prehranske varnosti ljudi in ravnovesju v naravi (Bates in sod., 2008).

Za obe trenutni osnovni tehnologiji namakanja hmelja (kapljično ter z razpršilci oz. bobnastimi namakalniki) velja, da je potrebno za pravilno uravnavanje namakanja poznati potrebe rastlin po vodi v določenih razvojnih stadijih, klimatske dejavnike (evapotranspiracijo) ter podatke o tleh oziroma njihove vodnozadrževalne lastnosti. Pri namakanju, predvsem kapljičnem, določamo količino in frekvenco namakanja na osnovi vrednosti dnevne evapotranspiracije (ET), pri čemer je pomembno in zelo priporočljivo, da se pravilnost ocene ET kontrolira z merjenjem stanja vode v tleh (Knapič, 2002). Namakanje samo na osnovi ocen dnevne ET ni zadovoljivo. Nestrokovno izvajanje namakanja ima lahko negativen vpliv na kakovost in količino pridelka, in lahko posledično poveča stroške delovanja sistema, poveča porabo vode ter njen površinski odtok ter poveča možnost izgub vode v podtalje oziroma pod glavno maso korenin rastlin. To lahko vodi do izpiranja rastlinskih hranil (npr. nitratov) in ostankov sredstev za varstvo rastlin.

Stanje vode v tleh se lahko določi z neposrednimi (vzorčenje tal) in posrednimi (zaznavanje vlage v tleh) metodami. Neposrednih metod spremljanja količine vode v tleh se običajno ne uporablja za uravnavanje namakanja. Te namreč posežejo v talni profil, predvsem pa so časovno in tudi fizično zahtevne ter ne omogočajo takojšnje povratne informacije o količini vode v tleh. Senzorji za spremljanje količine vode v tleh so lahko trajno nameščeni na reprezentativnih mestih namakanega zemljišča, s čimer zagotavljajo zvezne meritve količine vode v tleh in so tako bolj primerni za upravljanje namakanja. Posebna pozornost je potrebna pri uporabi tovrstnih naprav v tleh z grobo teksturo ali veliko vsebnostjo skeleta, saj večina naprave zahteva tesne stike s talnimi delci, kar pa je v takšnih tleh težko doseči (Munoz-Carpena, 2005). Posredne metode za spremljanje količine vode v tleh so najbolj uporabne. Obširnejši pregled razpoložljivih metod za meritve stanja vode v tleh so podane v Munoz-Carpena (2004).

Uporaba senzorjev za meritve stanja vode v tleh predstavlja osnovo za strokovno utemeljen in učinkovit način upravljanja z namakalnim sistemom. Senzorji za spremljanje količine vode v tleh, ki so na trgu vedno bolj dostopni, se lahko, na primer v kombinaciji z vremensko postajo, uspešno uporabljajo kot podpora namakanju ter so določenih primerih alternativa tenziometrom.

2 MATERIAL IN METODE DELA

V letih 2014 in 2015 smo na Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo Slovenije (IHPS) na težkih tleh preizkušali delovanje 10HS senzorjev (Decagon Devices, Inc.) za merjenje količine vode v tleh (slika 1). V nenamakanem hmeljišču smo v talni profil v vrstnem prostoru, na začetku rastne sezone hmelja v letu 2014, vstavili dva senzorja v horizontalni smeri, in sicer na globini 20 in 40 cm (slika 2). Senzorja sta bila povezana z vremensko postajo iMetos (Pessl Instruments) (slika 3). V letu 2014 so bile sonde vstavljene v vrstnem prostoru devetletnega nasada hmelja sorte Dana, v letu 2015 pa je bil na preučevani lokaciji vzpostavljen nov nasad hmelja sorte 74/134 (sorta v preizkušanju).

Senzor 10HS deluje na osnovi kapacitivnostne tehnike. Meri dielektrično konstanto tal z namenom, da ugotovi volumsko vsebnost vode v tleh. Ker je dielektrična konstanta vode mnogo višja (80) kot tista od tal ali mineralov v tleh (2-4) in zraka (0), je dielektrična konstanta tal občutljiva mera volumske vsebnosti vode v tleh (vol. %) (Decagon Devices, Inc.).



Slika 1: Senzor Decagon 10 HS
Figure 1: Decagon 10HS soil moisture sensor



Slika 2: Horizontalno vstavljena senzorja Decagon 10HS na globinah 20 in 40 cm

Figure 2: Horizontally inserted Decagon 10HS sensors at the soil depth of 20 and 40 cm

Senzor na podlagi povprečne spremembe dielektrične konstante preko programske opreme poda podatke o količini vode v njeni okolici. 10HS ima majhno porabo energije in zelo visoko resolucijo meritev volumske vsebnosti vode v tleh. To daje možnost izvajanja veliko meritev v daljšem časovnem obdobju z minimalno porabo energije. Senzor 10HS ima dolžino elektrod 10 cm in opravlja meritve s frekvenco 70 MHz, s čimer je zmanjšan vpliv zasoljenosti tal in teksture tal na meritve. 10HS je nadgradnja njene predhodnice EC-5, ki je bila Decagonov prvi in najbolj popularen senzor, ki je prav tako uporabljal frekvenco 70 MHz.

10HS ima v primerjavi z njeno predhodnico dve veliki prednosti, saj omogoča napajanje senzorja s širokim razponom napetosti (3 do 15 V) brez potreb po ponovni kalibraciji in večji obseg zaznavanja (1100 cm³ tal), kar se kaže v bolj robustni oceni stanja vlažnosti tal (Mittelbach, 2011; Decagon Devices, Inc.).

Senzor podaja vsebnost vode v tleh v vol. %. Z uporabo standardne kalibracijske enačbe lahko izvaja meritve volumske vsebnosti vode v tleh z natančnostjo ± 3 vol. %. Z uporabo specifične kalibracije se ta natančnost izboljša na ± 2 vol. %. Senzor meri vsebnost vode v tleh v razponu od 0 do 57 vol. % pri temperaturi od -40 do $+50$ °C.

Senzorja, uporabljena v tej raziskavi, sta že bila predhodno tovarniško kalibrirana za tipična mineralna tla (tla, ki vsebujejo manj kot 20 % organskega ogljika). S programsko opremo, ki ni znamke Decagon, je uporabljena naslednja kalibracijska enačba:

$$\text{vol. \% (m}^3/\text{m}^3) = 2,97 \times 10^{-9} * \text{mV}^3 - 7,37 \times 10^{-6} * \text{mV}^2 + 6,69 \times 10^{-3} * \text{mV} - 1,92$$

kjer vol. % pomeni volumsko vsebnost vode v tleh, mV pa predstavlja mili volt.



Slika 3: iMetos vremenska postaja (Pessl Instruments) (Foto: B. Naglič)
Figure 3: iMetos weather station (Pessl Instruments)



Slika 4: Vzorčenje tal za kontrolo pravilnosti delovanja vstavljenih Decagon 10HS senzorjev (Foto: B. Naglič)
Figure 4: Soil sampling at a site for the purpose of checking the correct operation of Decagon 10HS sensor

Delovanje senzorjev je bilo primerjano z dejanskimi meritvami vsebnosti vode v tleh dvakrat v rastni sezoni 2014 (22.5. in 10.6.) in trikrat v rastni sezoni 2015 (21.4, 9.6. ter 7.7.) (slika 4). Za namen primerjanja smo količino vode v tleh določili po standardni gravimetrični metodi (Topp and Ferre, 2002). Odvzete vzorce tal smo do tehtanja v laboratoriju hranili v hermetično zaprtih posodah. Vzorčili smo v treh ponovitvah v neposredni bližini vstavljenih senzorjev (v max. razdalji do 2,5 m, kolikor znaša medvrstna razdalja), v vrstnem prostoru, kjer smo predvidevali, da so fizikalne lastnosti tal čim bolj primerljive. Vzorčili smo v sončnem in suhem vremenu, najmanj 3 dni po dežju.

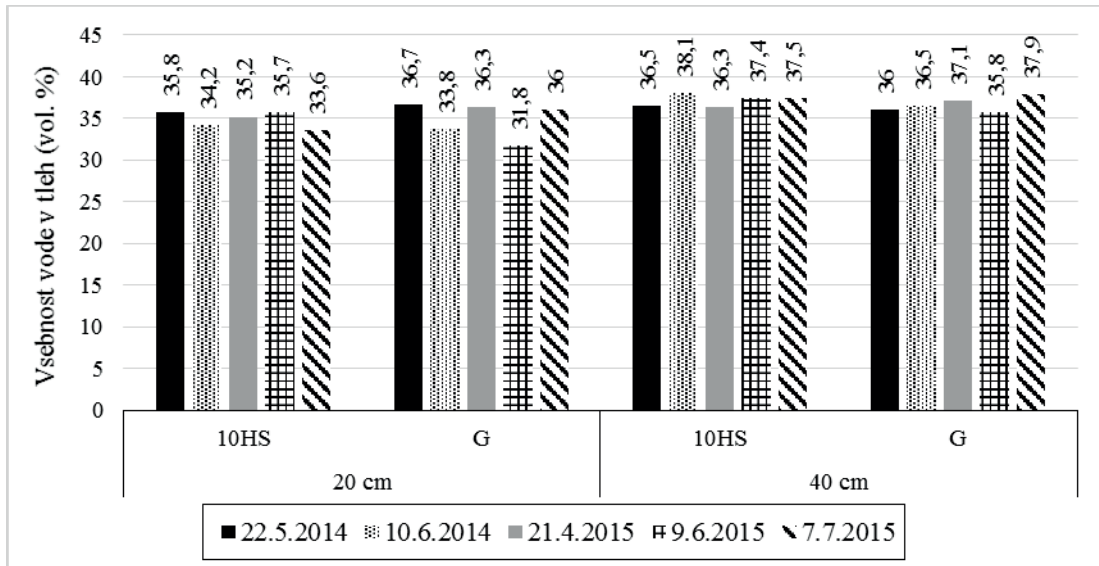
Analiza tal je na mestu vstavljenih senzorjev pokazala, da imajo tla do 30 cm globine 3 % skeleta in spadajo v teksturni razred meljasto-glinasta-ilovica (težka tla) z 18,3 % peska, 46,8 % melja in 34,9 % gline. Na dveh globinah tal, kjer sta bila vstavljena sensorja, je bila določena gostota tal (v petih ponovitvah, s Kopeckijevimi cilindri), ki bila na globini 20 cm $1,51 \text{ g/cm}^3$ in na globini 40 cm $1,46 \text{ g/cm}^3$. Poljska kapaciteta tal za vodo je bila za obe globini tal okoli $0,37 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (37 vol. %), točka venenja pa okoli $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (20 vol. %).

Za statistično analizo ujemanja merjenih in modeliranih rezultatov je bila uporabljena celotna napaka (RMSE) (Wallach, 2006) in parni t-test. RMSE se uporablja za primerjavo izmerjenih in simuliranih vrednosti vzorca in predstavlja povprečno razdaljo (vrednost) med izmerjenimi in simuliranimi vrednostmi. Nižje RMSE vrednosti predstavljajo boljše prileganje dejanskih in simuliranih vrednosti.

3 REZULTATI Z DISKUSIJO

Rezultati kažejo, da 10HS senzorji v danem tipu tal (meljasto glinasta ilovica) zelo dobro ocenijo dejansko vsebnost vode v tleh (slika 5). Na globini 20 cm je bila povprečna vrednost

vode v tleh 34,9 vol. % za gravimetrično metodo ($n = 5$) in 34,9 % pri meritvah z 10HS senzorjem. Na globini 40 cm je bila povprečna vsebnost vode v tleh 36,7 vol. % za gravimetrično metodo ($n = 5$) in 37,2 za meritve z 10HS senzorjem (preglednica 1).



Slika 5: Volumske vsebnosti vode v tleh (vol. %) na dveh globinah tal, izmerjene z Decagon 10HS senzorji (10HS) in gravimetrično metodo (G)

Figure 5: Volumetric water content (vol. %) at two soil depths measured with Decagon 10HS soil moisture sensor (10HS) and gravimetric method (G)

Preglednica 1: Statistični rezultati in parni t -test za pet parov meritev vsebnosti vode v tleh na dveh globinah z gravimetrično metodo in senzorji 10HS

Table 1: Results of statistics of paired t -tests for the five-pair measurements of soil water content at two soil depths using gravimetric method and decagon 10HS sensor

Globina tal (cm)	Povprečje		Standardna odklon (s_d)		t -test (parni)*	
	Decagon 10HS	Gravimetrično	Decagon 10HS	Gravimetrično		t kritičen
20	34,9	34,92	0,93	4,307	-0,018	2,776
40	37,16	36,66	0,558	0,733	1,008	2,776

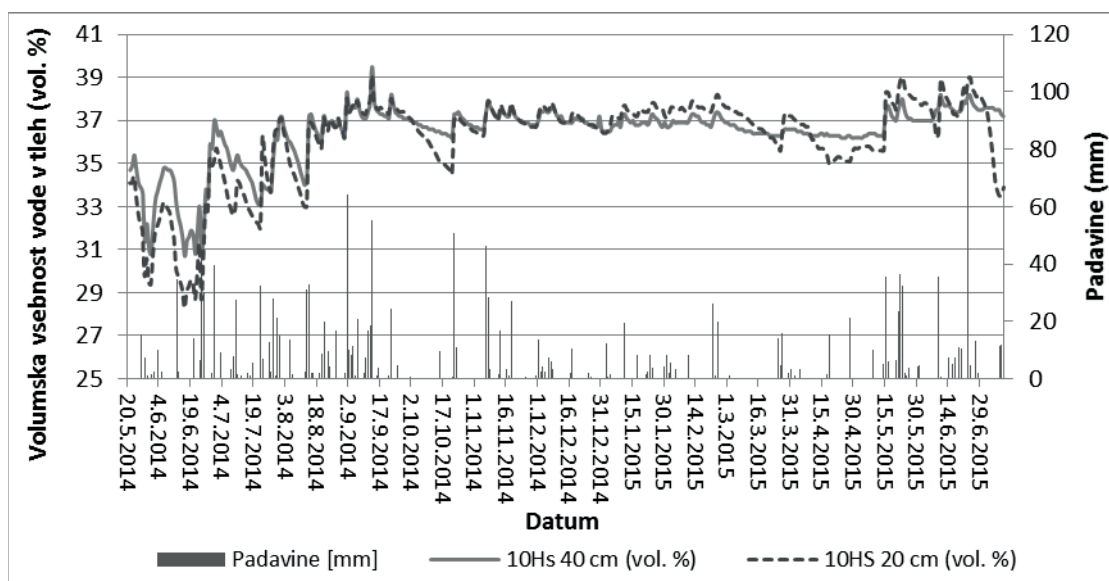
*stopinje prostosti ($n-1 = 4$), $\alpha = 0.05$

Rezultati so pokazali, da se volumski deleži vode v tleh, izmerjeni z Decagonovimi senzorji 10HS, dobro ujemajo z dejanskimi gravimetričnimi meritvami na dveh globinah v talnem profilu. Vrednosti RMSE vsebnosti vode v tleh so za primerjane podatke na globini tal 20 cm znašale 2,15 vol. % in na globini 40 cm 1,11 vol. %.

Test preizkusa parov (t -test) smo uporabili za primerjavo razlik med vsakim parom meritev na dveh posameznih globinah tal za dva različna načina določanja vlage v tleh (gravimetrično in

s senzorji 10HS). Sprejeta je bila ničelna domneva, ki pravi, da je povprečje razlik vsebnosti vode v tleh določene z gravimetrično metodo in z Decagon 10HS senzorji enako 0. Z drugimi besedami, rezultati so pokazali, da vrednosti vsebnosti vode v tleh določenih z 10HS senzorji pri stopnji značilnosti 0,05 niso bistveno drugačne od vrednosti določenih z gravimetrično metodo (preglednica 1). Zato je bila sprejeta ničelna domneva, kar pomeni, obe metodi za določanje vsebnosti vode v tleh ne dajeta statistično različnih rezultatov.

Ker so rezultati pokazali, da so Decagon 10HS senzorji primerni za spremljanje dinamike vode v meljasto-glinasto-ilovnatih tleh, na sliki 6 predstavljamo njihove meritve na dveh globinah v meljasto-glinasto-ilovnatih tal (20 in 40 cm) in padavine v obdobju od 20. 5. 2014 do 10. 7. 2015. V letu 2014, ki je bilo nadpovprečno deževno (v celem letu 2014 je na lokaciji Celje-Medlog padlo 1436 mm dežja, povprečje letnih padavin v obdobju 1971-2000 pa znaša 1129 mm), je bila vodna bilanca na celjskem in v osrednji Sloveniji negativna le v prvi polovici meseca maja. V drugi dekadi maja so se tla zopet dobro založila z vodo, a se je stanje v zadnji dekadi maja zopet poslabšalo. V začetku meseca junija je vročinski val rastline potisnil v sušni stres, stanje vode v tleh na globini 20 cm pa je padlo pod 29 vol. %. Stanje vlažnosti tal se je izboljšalo v drugi polovici meseca junija, ko so nastopile nižje temperature zraka in pogoste padavine. Sledilo je dokaj nestanovitno vreme s pogostimi plohami in nevihtami ter z zadovoljivim (nad 33 vol. %) stanjem vode v tleh (slika 6).



Slika 6: Padavine (mm) in nihanje količine vode v tleh (vol. %) izmerjene z Decagon 10HS na dani (nenamakani) lokaciji na globinah 20 in 40 cm v obdobju od 20.5.2014 do 10.7.2015

Figure 6: Percipitation (mm) and soil water content variation (vol. %) measured with Decagon 10HS for given (non-irrigated) location at two soil depths at 20 and 40 cm for a period from 20.5.2014 to 10.7.2015

Zaradi manjšega odvzema vode prvoletnih rastlin hmelja (manjše evapotranspiracije) se stanje vode v tleh, v vegetacijskem obdobju 2015, na dani lokaciji ni kritično znižalo (v primerjavi s stanjem vode v tleh v začetku vegetacijskega obdobja 2014) ter se je večino časa gibalo nad

35 vol. %. Izrazit padec vsebnosti vode v tleh (na okoli 33 vol. %) se je na globini 20 cm zaradi ekstremno visokih temperatur zraka pojavil edino v začetku meseca julija (slika 6).

Glede na dobro ujemanje meritev vsebnosti vode v tleh med gravimetrično metodo in Decagon 10HS senzorji, lahko predvidevamo, da bi, v primeru sušnih razmer oz. znižanja količine vode v tleh pod kritično točko, kjer je potrebno pričeti z namakanjem z razpršilci (28 vol. %), le-ti ustrezno sprožili namakanje. Podobno lahko predvidevamo za upravljanje kapljičnega namakanja, kjer je potrebno vsebnost vode v tleh vzdrževati pri točki poljske kapacitete (38 vol. %). Naj še enkrat poudarimo, da lokacija, kjer so bile vstavljene sonde ni bila namakana, ter da je namen članka le ovrednotenje natančnosti delovanja nekalibriranih Decagon 10HS senzorjev v danem tipu tal, ne pa preverjanje njihovega delovanja za namen uravnavanja namakanja (v tem primeru bi morale biti sonde vstavljene v namakan starejši nasad hmelja, ki ima večje potrebe po vodi oz. večji odvzem vode iz tal).

4 ZAKLJUČEK

Rezultati so pokazali, da so Decagon 10HS senzorji primerni za spremljanje dinamike vode v težkih glinasto-meljasto-ilovnatih tleh, kljub temu da je bila uporabljena tovarniška kalibracija za tipična mineralna tla. Na osnovi enega testiranja Decagon 10HS sonde v enem tipu tal sicer ne moremo sklepati, da sonda s tovarniško kalibracijo dobro deluje tudi v drugih talnih tipih v Sloveniji, zato bi bila smiselna testiranja še na drugih talnih tipih. Raziskave so namreč pokazale, da prav tako pogosto uporabljena tehnologija za meritev stanja vode v tleh TDR (Time Domain Reflectometry) metoda, katerih senzorji delujejo na višjih frekvencah, omogoča doseganje večje natančnosti kot tehnologije, ki delujejo na osnovi kapacitivnostne tehnike (Decagon 10HS) (npr. Robinson in sod., 2008). Senzorji, ki delujejo na osnovi kapacitivnostne tehnike, so manj natančni kot TDR, a so tudi bistveno cenejši, kar poveča dostopnost tehnike in omogoča uporabo več senzorjev in s tem gostejšo mrežo spremljanja količine vode v tleh v prostoru. Za ustrezno verifikacijo bi bilo potrebno poskus ponoviti ter senzorje preveriti na več lokacijah z različnimi talnimi tipi in podnebnimi značilnostmi ter po potrebi izvesti specifično kalibracijo senzorjev. Natančne in neprekinjene meritve nihanja vsebnosti vode v tleh so bistvenega pomena za pomoč pri ustreznem upravljanju namakanja, s čimer se lahko doseže visoka učinkovitost porabe vode.

Zahvala

Za omogočanje izvajanja poskusa se zahvaljujemo podjetju Efos d. o. o.

5 VIRI

- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J. P. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 2008; 210 s.
- Decagon Devices, Inc – user manual. Version: May 21.2014 – 1:55:30.
- Knapič M. Namakanje hmeljskih nasadov. V: Priročnik za hmeljarje. Majer D. (eds). Žalec, Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec, 2002; 169-179.
- Mittelbach H., Casini F., Lehner I., Teuling A. J., Seneviratne S. I. Soil moisture monitoring for climate research: Evaluation of a low-cost sensor in the framework of the Swiss Soil Moisture Experiment (SwissSMEX) campaign, J. Geophys. Res., 2011, 116, D05111, doi:10.1029/2010JD014907.
- Munoz-Carpena R, Dukes M.D. Automatic irrigation based on soil moisture for vegetable crops IFAS extension. University of Florida, 2005.

- Munoz-Carpena, R. Field Devices for Monitoring Soil Water Content. Extension Bul. 343 of the Dept. of Agr. and Bio. Engineering, University of Florida, 2004.
- Robinson D. A., Campbell C. S., Hopmans J. W., Hornbuckle B. K., Jones S. B., Knight R., Ogden F., Selker J., Wendroth O. Soil moisture measurements for ecological and hydrological watershed scale observatories: A review, *Vadose Zone J.*, 2008, 7(1): 358–389.
- Topp G.C. Ferre P.A. Methods for Measurement of Soil Water Content: Thermogravimetric Using Convective Oven-Drying, 2002, p. 422-424. In J.H.Dane, and G.C.Topp(ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc.
- Wallach D. Working with dynamic crop models - evaluation, analysis, parameterization and applications. Elsevier B.V, 2006; 462 s.