

UDK: 336.142

MERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA

Branko Radičević, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Mičo Oljača

Poljoprivredni fakultet – Beograd

Sadržaj: Sadržaj vlage u zemljištu je jedan od značajnih faktora koji utiče na optimalan rast biljaka i proizvodnju useva. U radu su prikazane različite tehnike i načini merenja vlažnosti zemljišta. Analizirani su uređaji, senzori i dodatna oprema za merenje vlažnosti zemljišta u zavisnosti od vrsta poljoprivrednih kultura i karakteristika pojedinih zemljišta. Dat je pregled i uporedna analiza senzora različitih proizvođača za merenje vlažnosti zemljišta (analogni i digitalni), analiziran je izbor najpogodnijeg mesta za postavljanje senzora, instalacija i potrebna dubina senzora u zemljištu. Takođe, razmatrane su karakteristike senzora (performanse, način rada, isplativost u poljoprivrednoj proizvodnji), njihovo održavanje i detekcija kvarova tokom rada.

Ključne reči: *vlažnost zemljišta, merni uređaji, senzori i pretvarači u poljoprivredi.*

1. UVOD

U poljoprivrednoj proizvodnji i skladištenju poljoprivrednih proizvoda, merenje vlage ima veliki značaj. Sa stanovišta hemijskog sastava i električne provodnosti osobine zemljišta su promenljive. Uslovi merenja vlažnosti na terenu su složeni i za pravilnu ocenu vlažnosti mora se uzeti u obzir i vlažnost zemljišta na većoj dubini (do 1 m). Proizvođači savremenih senzora za merenje vlažnosti zemljišta danas proizvode efikasne senzore koji zadovoljavaju sledeće uslove: tačnost, pouzdanost, robusnost i jednostavnost praktične primene [1]. Savremeni senzori za merenje vlažnosti zemljišta se povezuju sa računarskim sistemom preko koga se prati i upravlja procesom navodnjavanja [6].

Zemljište se ponaša kao rezervoar u kojem se skladišti voda između dva navodnjavanja ili dve kiše, da bi ta voda bila dostupna biljkama za njihov razvoj. Smisao upotrebe senzora za merenje vlage u zemljištu jeste dobijanje preciznijih informacija o tome koliko brzo se voda potrošila sa različitih nivoa zemljišta, tako da se može bolje rasporediti navodnjavanje i preciznije saznati efekat prirodnih padavina. Očitavanjem senzora 2-3 puta između dva navodnjavanja dobija se precizna i tačna slika ovog procesa u toku vremena i na taj način se dobija obrazac pravilnog navodnjavanja, u skladu sa potrebama biljaka za vodom. Na ovaj način se eliminišu nagađanja, što može prouzrokovati značajne uštede vode, manje troškove za pumpe i smanjenje razvodnjavanje azota zbog prekomernog navodnjavanja.

2. METODE ZA MERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA I TIPOVI SENZORA

Određivanje sadržaja vlage u zemljištu je moguće izvršiti različitim postupcima [8]. Sušenje i merenje uzoraka predstavlja vrlo dugotrajnu i skupu metodu, povrh svega destruktivnu. Metoda provodljivosti: rezultati su manje pouzdani zbog zavisnosti od tipa materijala i saliniteta. Konduktivitet zemljišta: postoji dobra korelacija između konduktiviteta zemljišta i sadržaja vlage u zemljištu kod mnogih povrtarskih vrsta. Kapacitet zemljišta - sličan konduktivitetu zemljišta. Tenziometarska vrednost - meri se snaga održavanja vode u zemljištu. Ova metoda merenja daje dobru procenu koliko je biljci teško da usvoji vodu, koje u zemljištu ima. Na tenziometre ne utiče zaslanjenost zemljišta, čime je obezbeđeno konstantno očitavanje vlažnosti, bez obzira na sadržaj soli u zemljištu. Glavna prednost tenziometara je u tome što zahtevaju samo rutinsko održavanje.

Optičke metode se zasnivaju na snimanju i spektralnoj analizi odziva laserskog izvora ili snimanju spektralne karakteristike terena iz vazduha [3]. Analiza snimka se zasniva na upoređenju boje terena ili biljnog pokrivača. Ova metoda je efikasna na velikim površinama, ali je veoma skupa.

Mikrotalasne metode merenja vlage zasnivaju se na prostiranju mikro talasa kroz materijal [4]. Fazno kašnjenje je osetljivo na prisustvo vode. Slabljenje je osetljivo na provodljivost slojeva. Ova metoda zahteva veoma složeni sistem generisanja, prijema i analize signala i praktično se ne može primeniti u složenim terenskim uslovima. Nedostatak ove metode je u tome što na rezultate merenja utiče samo materijal koji se nalazi u pravcu prostiranja mikrotalasa.

Veoma tačne i pouzdane su i neutronske metode koje su osetljive na sadržaj vodonika u slobodnoj ili u vezanoj vodi [1]. Ovi senzori nisu pogodni za ostavljanje na terenu zbog mogućeg neželjenog ozračenja. Takođe, skupa je i korišćena oprema i postoje oštra ograničenja zbog zakonske regulative za radioaktivna zračenja. Ultrazvučne metode su veoma pogodne, jer mogu da mere na kraćim i većim rastojanjima [1]. Pouzdane su i mogu se ostaviti na njivi bez nadzora, jer nisu opasne po život. Razvojem piezoelektričnih senzora i mikroprocesorskom obradom signala ove metode postaju veoma interesantne i imaju sve veću primenu. Nuklearna magnetna rezonanca (NMR) je pogodna merna metoda za detekciju vodonikovih jezgara i osetljiva je na promenu sadržaja kako slobodne vode, tako i vezane vode. Metoda je veoma tačna i osetljiva [1]. Posebno se razvijaju i mobilni tj. portabl uređaji koji su složeni i cena ovih uređaja je dosta visoka.

Laboratorijske metode se zasnivaju na merenju težine vlažnog zemljišta, sušenju i ponovnom merenju težine. Ove metode su tačne, ali su nepraktične za terenske uslove merenja.

Kapacitivni senzori za merenje vlage u zemljištu se takođe često koriste. Obično su u obliku pločastog kondenzatora [2, 7]. Kao elektrode služe bakarne ploče, jer bakar ima dobru električnu provodnost i slabo oksidiše. U primeni su i kapacitivni senzori od gipsanih blokova koji služe kao apsorber vlage. Postoje konstrukcije senzora male zapremine, koji su realizovani u tehnici debelog filma [1]. Ovi senzori se odlikuju velikom pouzdanošću, niskom cenom izrade, a jedini nedostatak im je što mere u maloj zapremini.

Danas se primenjuju i specijalne konstrukcije senzora. Ideja je da se napravi efikasan električni senzor vlage koji će imati dobru vezu sa zemljištem, slobodan pristup vode sa svih strana da obuhvati veliku zapreminu zemljišta, da bude robusne izrade i sa minimalnim utroškom materijala. Ove zahteve zadovoljava cilindrično rešetkasti kapacitivni senzor sa elektrodama načinjenim od provodnih štapova [5]. Ovakva konstrukcija omogućava dobro prijanjanje zemljišta na elektrode senzora i omogućava dobro prodiranje vode u njegovu unutrašnjost (bolji odziv stvarne sredine u zemljištu). Konstrukcija senzora je robusna i pruža veliku uštedu u materijalu u poređenju sa pločastim senzorom, što značajno snižava njegovu cenu koštanja. Zapremina senzora se može menjati prema potrebi.

Senzor se ponaša kao kondenzator promenljivog kapaciteta i povezan je sa oscilatornim elektronskim kolom koje na izlazu daje impulse. Broj impulsa je obrnuto proporcionalan sa vlagom zemljišta. Impulsi se dovode na brojač impulsa koji je povezan sa PC računarnom, koji na osnovu broja impulsa izračunava vlažnost zemljišta, prikazuje je na monitoru i stvara upravljačke signale za kontrolu sistema za navodnjavanje (uključuje i isključuje pumpe za navodnjavanje). Impulsi se mogu prenositi koaksijalnim kablom na rastojanja preko 5 km, direktno do ulaza u merni sistem. U tom slučaju je potrebno izvršiti pojačanje impulsa na ulazu u kabal i izvršiti pojačanje i uobličavanje signala na ulazu u računar. Pošto kod ovog tipa kapacitivnog senzora postoji problem zbog malog otpora zemljišta između elektroda, potrebno je elektrode senzora prevući sa slojem laka (ili nekim drugim izolacionim premazom) kako bi se smanjio uticaj paralelne otpornosti.

Postoji više modela za izračunavanje permitivnosti složenih sistema kao što je vlažno zemljište. Logaritamska formula Lihtenekerova (Lichteneker) daje vezu efektivne permitivnosti zemljišta sa procentom vlage u zemljištu preko eksponencijalne zavisnosti [1]. Za interpretaciju izmerenih rezultata često se koristi upravo Lihtenekerov model za povezivanje kapaciteta senzora, odnosno broja impulsa sa vlažnošću zemljišta (program za određivanje vlažnosti pretvara broj impulsa u sadržaj vlage). Zbog većeg broja faktora koji utiču na električne karakteristike zemljišta (sastav zemljišta, rastresitost, osobine vode) mora se vršiti kalibracija svake vrste zemljišta u kojem se meri vlažnost. Kalibracija se mora vršiti u najmanje dve karakteristične tačke, niske vlažnosti i visoke vlažnosti. Uzorci za ispitivanje se mogu uzimati direktno iz zemljišta pored senzora, kao i iz samog senzora.

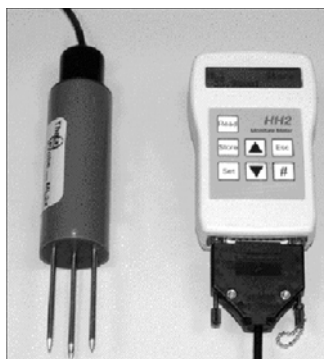
3. PREGLED I ANALIZA RADA SAVREMENIH INSTRUMENTATA I SENZORA ZA MERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA

U Svetu postoji više proizvođača koji prave instrumente i senzore za merenje vlažnosti, [9, 10]. Jedan od vodećih proizvođača savremenih senzora za merenje vlažnosti zemljišta je holandska firma Eijkelkamp [11].

Tetasonda, senzor za merenje vlažnosti zemljišta, meri zapreminski procenat vlažnosti zemljišta primenom FDR (Frequency Domain) tehnike (slika 1), tj. merenjem razlika u dielektričnoj konstanti. Ove promene se pretvaraju u milivoltni signal proporcionalan sadržaju vlage u zemljištu. Ovaj senzor se sastoji od čvrstog zaptivenog plastičnog kućišta u kome se nalazi elektronika. Kućište je na jednom kraju opremljeno sa 4 merne sonde od nerđajućeg čelika koje se mogu jednostavno utisnuti u zemljište (ili drugi materijal). Ovaj senzor je u stanju da meri vlažnost u opsegu od 5-55%

zapreminskog sadržaja vlage sa tačnošću od 5% sa kalibracijom za standardno ili 2% sa kalibracijom za specifično zemljište i ima izlazni signal od 0-1 V jednosmerne struje.

Senzor je standardno opremljen kablom od 5 m i utikačem za priključivanje na instrument za merenje vlažnosti ili sa kablom za povezivanje na datalogger. Merene vrednosti se prikazuju na displeju instrumenta i mogu se čuvati u memoriji (uključujući vreme i lokaciju senzora). Ovi podaci se mogu očitati na PC-u. Instrument se isporučuje sa ugrađenim pretvaranjem za mineralna i organska zemljišta. Softver omogućava uvođenje dodatnih 5 kalibracija za specifična zemljišta. Ako je sadržaj vlage meren u drugim materijalima instrument će dati izlazni signal u milivoltima. Međutim, ako se traže serije merenja sadržaja vlažnosti u zemljištu, ovaj senzor se lako može povezati na datalogger.



Slika 1. Merač vlažnosti u zemljištu sa sondom za merenje vlažnosti – Tetasonda



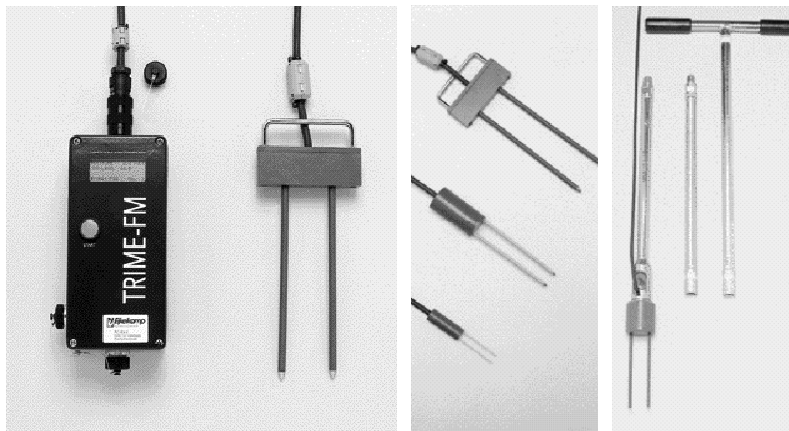
Slika 2. Instrument za merenje vlažnosti Watermark i senzor za merenje vlažnosti

Senzori za merenje vlažnosti zemljišta koji mere napon vlage u zemljištu se očitavaju uređajem za merenje vlage u zemljištu *Watermark* (slika 2). Princip merenja je sličan onom koji se koristi kod gipsanih blokova. Ovi specijalni senzori se ne rastvaraju u zemlji i imaju konzistentniji raspored pora tako da su moguća tačnija merenja. Senzor za vlažnost zemljišta koji ima raspon merenja od 0 do 200 kPa (0-200 cbar) može se primenjivati pojedinačno, ili u kombinaciji sa PVC cevi (različitim dužina) za merenje napona vlage. Uslov za pouzdana merenja je optimalan kontakt između senzora i zemljišta. Primenom specijalnog svrdla izbuše se rupe tako da se senzor za vlagu može postaviti na raznim dubinama. Ovi senzori ukopavaju se za stalno i imaju prosečan vek trajanja od 3 do 5 godina. Temperatura izmerena pomoću termometra za zemljište može se uneti u instrument za merenje vlage omogućavajući temperaturnu korekciju.

Električna otpornost se u instrumentu za vlagu konvertuje u pritisak vlage u kPa. Ovaj senzor za vlažnost zemljišta se može koristiti kao zamena za tenziometre u većini poljoprivrednih i irigacionih namena. Ako se traži serija merenja vlažnosti zemljišta ovaj senzor se može lako povezati sa datalogerom. Prednosti ovog senzora su: primenljiv u skoro svim zemljištima, precizan indikativni merni sistem, laka upotreba bez održavanja, jedan instrument očitava sve senzore i na njega ne utiču niske temperature mržnjenja.

Vrlo tačna metoda koja se lako može primeniti za određivanje sadržaja vlage je TDR, Time Domain Reflektometrija - vremenski definisana reflektometrija. TDR metoda omogućava tačne rezultate merenja koji su odmah raspoloživi (nije

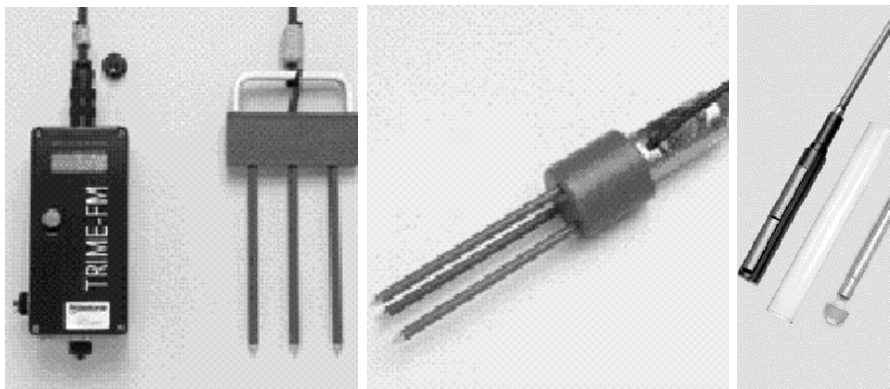
destruktivna). Princip TDR tehnike zasnovan je na merenju vremena širenja elektromagnetnog pulsa uzduž mernih pinova u uzorku. Vreme širenja zavisi od sadržaja vlage u sredini u kojem se vrši merenje.



Slika 3. Trime FM-2 instrument za merenje vlage sa dva pina, sonde sa dva pina i sonda za utiskivanje u bušotinu sa dva pina i adapterom

Sistem Trime je posebno dizajnirana TDR tehnika za merenje sadržaja vlage u različitim materijalima. Sistem Trime FM-2 se sastoji iz uređaja za očitavanje i različitih sondi sa dva pina (slika 3). Sonde imaju raspon merenja od 0 do 95 zapreminskih procenata vlage. Prenosni uređaj za očitavanje je kompaktan i smešten u robusno kućište sa IP65 zaštitom od vlaženja i LCD ekranom za očitavanje. Displej prikazuje rezultat merenja, TDR nivo, kapacitet baterije i status. Instrument ima malu potrošnju energije i koristeći aku-baterije može se izvršiti oko 300 merenja. Instrument je opremljen analognim izlazom 0-1 V i standardnim RS232/V24 interfejsom i zato se može povezati na PC radi programiranja, kalibracije, očitavanja i dalje obrade izmerenih vrednosti. Jedan instrument se može upotrebiti za očitavanje nekoliko dvopinskih sondi zato što su specifične karakteristike svake sonde (dužina kabla, broj sonde, tip i sl.) upamćeni u svakoj sondi. Instrument se isporučuje u prenosnom koferu sa punjačem baterija, kablovima i mernim vrhovima.

U zavisnosti od namene, na Trime FM-2 se mogu priključiti dvopinske sonde različitih tipova. Takođe je moguće izvršiti specijalnu kalibraciju za posebne materijale ili tipove zemljišta. Minijaturna sonda P2M ima vrlo tanke i kratke pinove (50 mm) i zato u sredini u kojoj meri izaziva samo minimalne poremećaje. Sonda je posebno pogodna za merenje na površini, na primer kod biljaka u saksijama ili u neporemećenim uzorcima zemljišta. Ručna sonda P2 sa pinovima dugim 110 mm izaziva samo male poremećaje u sredini koja se meri. Ova sonda je vodootporna i može se ukopati, što omogućava merenja na različitim dubinama zemljišta. Sonda P2G sa pinovima dugim 160 mm je napravljena specijalno za merenja u gornjim slojevima zemljišta. Sonda je takođe pogodna za merenje u profilnim bušotinama ili u neporemećenom uzorku zemljišta. Za potrebe merenja u bušotinama razvijena je sonda P2Z sa vrhovima od 160 mm. Posle pravljenja bušotine željene dubine ova sonda se može utisnuti u dno bušotine pomoću produžnih osovina i specijalnog adaptera.

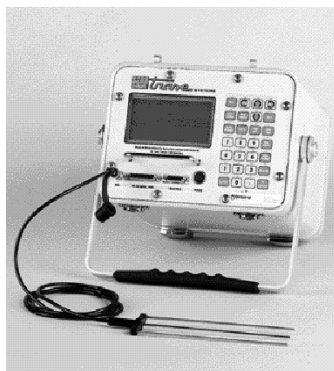


Slika 4. Trime FM-3 tropinska sonda, sonda za bušotine sa tri pina i adapterom i cevna sonda, tankozidna cev i čep

Sistem Trime FM-3 se sastoji od jedinice za očitavanje i raznih sondi među kojima je jedinstvena cevna sonda (slika 4). Jedinica za očitavanje ili instrument za merenje vlage ima iste specifikacije kao i uređaj FM-2. Moguće je da se na nju priključe tropinske sonde i cevna sonda. Sve sonde imaju vrhove presvučene PVC-om (plastikom) kako bi se dobili najbolji rezultati merenja čak i u slanim materijalima (opšta električna provodljivost zemljišta do 2 dS/m). Za veliki salinitet postoje specijalne visokoprovodljive sonde (C-verzije). Tropinske sonde P3S i P3 sa dužinama vrhova od 110 i 160 mm, namenjene su za površinska merenja. Za merenja u bušotinama koristi se P3Z tropinska sonda. Ova sonda se utiskuje u dno bušotine korišćenjem adaptera. Cevna sonda sa rasponom merenja od 0 do 60 zapreminskih procenata vlage se koristi za merenja u tankozidnim cevima dužine do 2 metra. Pošto se sondom u zemljištu instalira, tankozidna cev se hermetički zaptiva gumenim čepom. Sonda se povezuje sa uređajem FM-3 i spušta u ovu cev. Merenja se mogu vršiti u cevi na bilo kojoj, željenoj dubini. Samo jednom cevnom sondom moguće je vršiti merenja na nekoliko lokacija i na raznim dubinama. Metoda sa cevnom sondom se može primeniti umesto skupe neutronске metode koja je takođe nedestruktivna, ali osim visoke cene ima, kao što je već napomenuto, i nedostatke u oštrim zakonskim ograničenjima zbog radijacije. Ove različite sonde se mogu, pomoću modula, opciono povezati u mrežu.

Sistem Trejs (trase) je kompletan (modularni) merni instrument za merenje i memorisanje podataka o vlažnosti primenom TDR tehnike. Ovaj otvoreni sistem omogućava ugradnju različitih kartica čineći ovaj instrument pogodnim da zadovolji buduće zahteve (slika 5). Instrument se proizvodi u dve različite verzije, sa ili bez ugrađene multiplekser kontrolne kartice. Instrument ima raspon merenja od 0 do 100% zapreminskog procenta vlažnosti i isporučuje se sa biračem talasa, konektorom, baterijom i uređajem za punjenje. Instrument je smešten u čvrsto aluminijumsko vodonepropusno kućište sa kontrolnim komandama na dodir. Na velikom ekranu visoke rezolucije moguće je u toku merenja prikazati izmerene vrednosti grafički u obliku talasa. Grafički prikaz u obliku talasa daje sve vrste informacija u vezi sa osobinama materijala u kojem se vrši merenje.

Instrument može da radi sa brojnim tipovima ekrana (setap, autolog, help i sl.) kako bi omogućio korisniku lako upravljanje. Takođe, instrument ima memoriju kapaciteta od 200 grafova ili 6300 merenja. Akubaterija omogućava oko 770 manualnih ili 1500 automatskih merenja. Instrument je opremljen RS232 ulazom za povezivanje na PC, štampač ili modem, priključkom za punjenje baterije ili povezivanje na spoljni izvor napajanja, multiplekser priključkom i BNC utičnicom. Za različite primene na raspolaganju su razne komande talasa. Standardna kutija za zaštitu multipleksera predstavlja kućište otporno na vremenske uticaje koje omogućava ugradnju različitih multiplekser kartica radi povezivanja na različite sonde (najviše 76 kanala, veće kutije po posebnom zahtevu). Ove multiplekser kartice su samokonfigurišuće, što čini da se lako uklapaju u sistem. Tu je i Mini Trejs komplet koji zadržava sve superiorne mogućnosti sistema Trejs uz znatno smanjenu težinu, dimenzije i cenu.



Slika 5. Trejs sistem za merenje vlažnosti

4. IZBOR MESTA I DUBINA POSTAVLJANJA SENZORA

Obično je potrebno postaviti više od jednog senzora na jednoj lokaciji, na različitim dubinama. Na primer, jedan senzor u gornjem delu efektivnog korenovog sistema biljke, a drugi senzor dublje, u zonu korenovog sistema. Na ovaj način se dobija tzv. senzorska stanica i ona može dati bolji prikaz korišćenja vode od strane biljke. Preporuka je da se koristi adekvatan broj "stanica" na manjoj oblasti da bi se dobila što tačnija i preciznija slika, kao i redovno očitavanje tokom sezone da bi se usvojile šeme koje se normalno razvijaju.

Kod navodnjavanja brazdama ili potapanjem potrebno je postaviti senzorsku stanicu na oko 2/3 od toka brazde, ispred kraja i pozadinske vode. Ovo je oblast gde je najčešće najmanje vode. Kod stabala voća, senzore je potrebno postaviti na jugozapadnu stranu stabla (na severnoj hemisferi) pošto ova strana dobija najviše toplog popodnevnog sunca. Kod navodnjavanja rasprskivačima, iako je kod rasprskivača ujednačenost distribucije vode veća od brazdi, može biti bitnih razlika u kapacitetu zadržane vode usled različitih tipova zemljišta i površina zemljišta. Ova mesta sa jasnom varijacijom su dobre lokacije za senzorske stanice. Kod stabala voća, senzori se postavljaju na kapajuću liniju kupole, obezbeđujući da ih ne naruši rasprskivanje. Kod povrća i sličnih biljnih kultura, senzori se postavljaju tačno u redove biljaka. Kod navodnjavanja "Center Pivot" (centralna obrtna tačka) senzori se postavljaju na 4-5 lokacija duž obrtne tačke (između vrhova -

kula), napred od startne tačke. Dodatne lokacije na važnim mestima ili mestima dobre produktivnosti na zemljištu mogu pomoći boljem celovitom razumevanju situacije na njivi. Poželjno je koristiti dovoljno senzorskih stanica, preporučljivo jednu na svakih 10-15 jutara zemljišta. Kod "kap po kap" ili mikronavodnjavanja senzori se moraju postaviti na vlažnu oblast. Kod "kap po kap" emitora, ovo je otprilike 30-45 cm od emitora. Kod mikro-rasprskivača, najbolje je oko 60-90 cm. Neophodno je dovoljno često proveravanje da bi se stekla prava celovita slika cele površine ili bloka koji se navodnjava i potrebno je uzeti u obzir eventualne varijacije tipa zemljišta. Treba imati u vidu da se laka zemljišta brže isušuju od težih.

Dubina postavljanja senzora zavisi od dubine korenovog sistema biljaka, ali i tip i tekstura zemljišta mogu imati značajan uticaj. Sa povrtarskim kulturama manjih korena, jedna dubina može biti adekvatna (korenov sistem manji od 30 cm). Kod dubljih korenovih sistema (manjih žitarica, vinove loze i stabala), trebalo bi meriti vlažnost na najmanje dve dubine. Sa dubokim zemljištima sa dobrim odvodom vode, razvijace se i jači i dublji koren. Kod grubih, plitkih zemljišta, koren može biti manji. Uopšte govoreći, senzori za merenje vlažnosti zemljišta treba da budu tamo gde je efikasna i delotvorna zona korenovog sistema biljke.

5. INSTALACIJA SENZORA ZA MERENJE VLAŽNOSTI ZEMLJIŠTA

Senzori se utapaju u vodu za navodnjavanje tokom noći. Uvek je potrebno ukopati mokar senzor. Ukoliko je moguće, potrebno je navlažiti senzor 30 minuta ujutru i pustiti ga da se osuši do večeri, onda ga opet vlažiti 30 minuta, pa pustiti da se osuši tokom noći, navlažiti ponovo 30 minuta sledećeg jutra i ponovo pustiti da se osuši do večeri. Potrebno ga je utopiti u vodu tokom sledeće noći i instalirati uvek mokrog. Ovo će poboljšati reakciju senzora u nekoliko prvih navodnjavanja.

Neophodno je napraviti rupu za spuštanje senzora na željenoj dubini sa aparatom za instalaciju Irrometer-a ili štapom od 18-20 cm. Rupu je potrebno napuniti vodom i potom gurnuti senzor dole u rupu, i ostaviti kraj (žice) napolju. Klasična 315 PVC cev će se lako spojiti sa vrhom senzora i može se koristiti da bi postavili senzor. Veoma je važno da senzor ima tesnu vezu sa zemljištem. PVC cev može biti zavarena uz vrh senzora. Ako nema PVC cevi, onda je neophodno zakopati rupu tako da senzor ostane ukopan. Žice od senzora se mogu lako staviti na kolac radi lakšeg pristupa.

Ako su postavljene na PVC cev, onda je potrebno sabiti zemlju oko površine tako da se potpuno zapuši rupa, pri čemu PVC cev služi kao cevovod za žice. Obavezno je potrebno zatvoriti ili prelepiti vrh cevi tako da površinska voda ne ulazi u cev i u senzor, i time daje pogrešna očitavanja.

Za veoma gruba ili šljunkovita zemljišta, biće potrebna veća rupa da bi se sprečila abrazija i oštećenja na membrani senzora. U ovom slučaju neophodno je izbušiti rupu i dodati blatnjavo zemljište okolo da bi se rupa popunila. Ovim će se obezbediti da senzor bude tesno u zemljištu, što je ključno. Drugi metod instalacije senzora na ovako teška zemljišta jeste instalaciona mašina. Ovim se pravi veća rupa za gornji deo, ali tačna rupa kod senzora. Rupa se mora pažljivo dopuniti da bi se izbegli džepovi vazduha preko kojih se opet voda može slivati do senzora. Kada se senzori sklanjaju potrebno ih je očistiti i osušiti. Mogu stajati neograničeno na čistoj, suvoj lokaciji.

Ukoliko je potrebna veća dužina žice, potrebno je spojiti dodatnu žicu na postojeću. Spoj mora biti u potpunosti otporan na vodu. Žica se može i produžiti. Potrebno je izbegavati dugačke žice u blizini strujnih kablova, pošto ta struja može uticati na merač. Ovo se može lako proveriti očitavanjem senzora na oba kraja.

Kao što je već rečeno, za merenje vlažnosti zemljišta danas se najčešće koristi Watermark klasa senzora. Prvo je potrebno povezati krajeve merača sa žicama senzora sa aligatorskim štipaljka, tako da ne dodiruju dva kraja. Posle klika na READ merač se uključuje i na displeju se pojavljuje "- -". Merač će ostati "budan" 5 sekundi (da bi merač ostao uključen 60 sekundi, potrebno je kliknuti na TEMP pre nego što se "- -" ugasi). Klikće se READ ponovo dok je "- -" na displeju. Vlažnost zemljišta će se odmah pojaviti na displeju i tu će ostati oko 60 sekundi, da bi se pribeležila. Merač će se onda sam isključiti.

Kod očitavanja, treba uneti temperaturu zemljišta kao što je jutarnja temperatura. Ovim se kompenzuju sezonske varijacije u temperaturi zemljišta, koje mogu uticati na očitavanja za 1% po jednom stepenu Farenhajta. Dakle, unos temperaturne kompenzacije može uticati na preciznost očitavanja. Za proveru podešavanja za temperaturu klikće se TEMP. Pokazaće se nameštena temperatura i skala (stepeni Farenhajta ili Celzijusa) će se smenjivati na displeju. Da bi se promenila temperaturna skala, potrebno je stisnuti i držati READ i onda stisnuti TEMP dok se željena skala (stepen °F ili °C) ne pojavi na displeju i onda pustiti READ dugme. Da bi se promenila unesena temperatura, neophodno je stisnuti i držati TEMP i onda kliknuti READ da bi se promenila dotadašnja temperatura. Ona će početi da raste dok se željena temperatura ne pojavi. Puna skala je od 50°C do 400°C. Kada temperatura poraste do 400°C, vratiće se na 50°C i početi da raste opet. Može se obrnuti i pravac tog rasta u svakom trenutku puštajući READ dugme i ponovo ga stiskajući (sve dok se drži TEMP). Podešena temperatura će ostati takva dok je manuelno ne promenimo. Merač je u početku namešten na 240°C.

Watermark merači imaju ugrađenu test funkciju. Da bi se proverila preciznost merača sa temperaturom nameštenom na 240°C, potrebno je stisnuti i držati READ i TEST istovremeno. Očitavanje između 95 i 105 se mora pojaviti na displeju. Ovo znači da merač pravilno radi. Tokom testa žice ne smeju biti povezane sa sensorima. Digitalni merač ima punu ugrađenu skalu od 0 do 199 centibara. Digitalni merač koristi elektroniku u čvrstom stanju i osetljiv je na ekstremnu toplotu. Merač se ne sme stavljati na vozačku tablu, niti na bilo koju drugu veoma toplu površinu. Bateriju od 9V koja napaja senzor je potrebno menjati najmanje jednom godišnje. Merač ima indikator slabe baterije i baterija treba da se menja kada se "LO" pokaže na displeju.

Irrrometer takođe nudi i Watermark Monitor, uređaj za beleženje i čuvanje podataka (data-loggers) koji može automatski očitavati do 8 senzora - Watermark merače vlage, senzore temperature zemljišta, Irrrometer tenziometre modela RSU, i senzore od 4-20 mA. Snimljena očitavanja se mogu prebaciti (daunloudovati) sa Watermark Monitora preko kompjutera ili radio telemetrije. Kada se prebace, očitavanja se grafički prikazuju na kompjuteru, dajući živu sliku o promenama u vlazi zemljišta tokom vremena. Posebnu pažnju treba obratiti kada se koriste Watermark merači sa nekim uređajima za beleženje podataka drugih kompanija zbog kompatibilnosti.

6. DETEKCIJA KVAROVA I ODRŽAVANJE SENZORA

U slučaju da senzor ne radi dobro potrebno je pratiti sledeće korake kako bi proverili u čemu je kvar i da li treba izvršiti određene modifikacije.

1. *Prvo je potrebno proveriti merač.* a) Da li baterija radi? Treba je menjati najmanje jednom godišnje, češće ako se češće koristi. Potrebno je proveriti da li su kontakti na bateriji čisti i dobro povezani. b) Zatim je potrebno pokrenuti proceduru testa na meraču, i njegovo testiranje. c) Ako je bilo oštećenja na žici, moguće je da neće očitavati. Da bi se ovo proverilo, potrebno je povezati žice jednu sa drugom i kliknuti READ. Broj 0 bi trebao da se pojavi na displeju. Ako se pojavi, onda su žice u redu. Kablovi za zamenu su mogući kao rezervni deo. d) LCD displej na meraču ima tri broja. Ako se pojavljuje samo poneki broj, LCD displej je možda u kvaru i treba ga vratiti na proveru ili popravku.

2. *Zatim je potrebno proveriti senzor.* a) Kada se senzor potopi u vodu, očitavanja bi trebala da budu od 0 do 5. Ako senzor prođe ovaj test ide se na sledeći korak. b) Potrebno je pustiti senzor da se osuši na vazduhu oko 30 do 48 sati. U zavisnosti od temperature, vlažnosti i vetra, trebalo bi da očitavanja krenu od 0 do 150 i više (LCD će očitavati 199 i kad je više od 199 cb). c) Zatim je potrebno vratiti senzor u vodu sa spojenim žicama na meraču. Očitavanje bi trebalo da se vrati na između 0 do 5 za 2 minuta. Ako senzor prođe ove testove, onda je ispravan.

3. *Sledeći korak je provera uslova na zemljištu.* a) Senzor nije tesno postavljen u zemljište. Ovo se često događa ako je napravljena velika rupa u zemljištu, a nije dobro dopunjena zemljom. U ovom slučaju potrebno je ponovo instalirati senzor, pažljivo popunjavajući rupu. b) Senzor se ne nalazi u aktivnom delu korenovog sistema, ili navodnjavanje ne dolazi do oblasti senzora. Ovo se može desiti ako je senzor na vrhu nekog kamena ili slično što može ometati protok vode. Ponovna instalacija bi trebala da reši problem. c) Ako se zemljište osuši do tačke gde su očitavanja veća od 80 centibara, kontakt između senzora i zemljišta se možda izgubio. Zemljište se počinje skupljati. Ako navodnjavanje samo delimično navlaži zemljište (iznad 40 centibara), neće u potpunosti navlažiti senzor i on može nastaviti sa visokim očitavanjima. Ovo se često dešava na težim zemljištima tokom velikih zahteva za vodom i kada nema dovoljno navodnjavanja. Beleženje očitavanja u tabeli može biti najbolja indikacija ovog tipa ponašanja.

Pravilnim očitavanjem senzora dobićemo jasnu sliku stanja vlažnosti zemljišta u zoni korenovog sistema. Najčešće su dovoljna 2-3 očitavanja između navodnjavanja. Podaci očitavanja se unose u tabelu za svaku senzorsku stanicu na osnovu kojih se dobijaju krive vlažnosti zemljišta, odnosno informacije koliko brzo ili sporo voda otiče iz zemljišta. Potrebno je koristiti sledeća očitavanja kao osnovni obrazac:

- 0-10 centibara. Zasićeno zemljište (kapacitet njive);
- 10-30 centibara. Zemljište je adekvatno vlažno (osim grubih peskovitih zemljišta, koja ovde počinju da gube vodu);
- 30-60 centibara. Najčešći trenutak kada treba navodnjavati (osim teških glinenih zemljišta);
- 60-100 centibara. Treba početi sa navodnjavanjem za teška glinena zemljišta;
- 100-200 centibara. Zemljište postaje prilično suvo i ako se žele maksimalni prinosi potrebno je nastaviti sa velikim oprezom.

Situacija može biti jedinstvena zbog razlika od kulture do kulture, tipa zemljišta i klime. Najvažnije je detektovati razliku između tekućeg očitavanja i onog od pre 3-5 dana. Važno je uočiti koliko brzo se očitavanje povećava. Ako se uvećalo za mali broj,

to znači da se zemljište sporo isušuje, a veliki skok bi značio da zemljište brzo gubi vodu. Ovo nam govori kada treba da se počne sa navodnjavanjem.

Koristeći senzore na dve ili više dubina u zoni korenovog sistema, može se tačno proceniti i koliko je potrebno da se navodnjava. Ako plići senzor pokazuje jako uvećana očitavanja, ali duboki pokazuje adekvatnu vlagu, onda treba samo kratko navodnjavati da bi se dopunila zona korenovog sistema pri površini. Ako i duboki senzor pokaže suve uslove, onda treba više navodnjavati da bi se potpuno navodnjavala cela zona korenovog sistema. Očitavanja koja se dobijaju nakon padanja kiše pokazuju nam koji je zapravo pravi efekat te kiše na zemljište.

ZAKLJUČAK

Sadržaj vlage određuje različite karakteristike raznih materijala (energetski bilans, uslovi, sastav). Vлага prisutna u zemljištu naročito utiče na transport i nakupljanje čvrstih i rastvorenih nutrijenata i polutanata. U radu su analizirane različite tehnike za određivanje sadržaja vlage u zemljištu. Prikazane su nove i aktuelne metode i savremeni analogni i digitalni instrumenti i senzori za merenje vlažnosti zemljišta. Zbog toga što sadržaj vlage u zemljištu igra važnu ulogu u istraživanju životne sredine radi kiselosti i zagađenja i pošto je sadržaj vlage jedan od važnih činilaca koji određuje optimalan rast biljaka i proizvodnju useva, ovoj temi se mora posvetiti dodatna pažnja u budućnosti, kako bi se omogućila što optimalnija primena novih tehnika i senzora za merenje vlažnosti zemljišta u poljoprivredi Srbije.

LITERATURA

- [1] Webster J., *Instrumentation and Sensors Handbook*, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA, 1998.
- [2] Vukić Đ., *Osnovi elektrotehnike i električnih merenja*, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 2004.
- [3] Shropshire G.J., A. DeShazer, *Optical Sensors aid Agriculture*, Laser Focus World, Vol.29, No.5, pp.79, 1993.
- [4] Kavgić P., *Automatizacija tehnoloških procesa prehrambene industrije*, udžbenik, Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek, 1984.
- [5] Živanov M., Živanov Q., Petrović D., *Cilindrični rešetkasti senzor za merenje vlage zemljišta*, Primena električne energije, elektronike i automatike u poljoprivredi, pp.211-215, Novi Sad, 1995.
- [6] Stanković D., *Fizičko-tehnička merenja*, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1997.
- [7] Posuda J. F., Liou J.J. and Miller R.N., *An Automated Data Acquisition System for Modeling the Characteristics of a Soil Moisture Sensor*, IEEE Trans. on Instr. And Measur, Vol. 40, pp. 836, 1991.
- [8] <http://www.sowacs.com>
- [9] <http://www.imko.de/ENG/>
- [10] http://www.decagon.com/ag_research/soil/soil.php
- [11] <http://www.eijkelkamp.com>

Ovaj rad je rezultat istraživanja koja se sprovode u okviru realizacije projekta "Efekti primene i optimizacije novih tehnologija, oruđa i mašina za uređenje i obradu zemljišta u biljnoj proizvodnji", evidencionog broja TR 20092, koga finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

THE MEASUREMENT OF SOIL HUMIDITY

Branko Radičević, Đukan Vukić, Đuro Ercegović, Mićo Oljača

Faculty of Agriculture – Belgrade

Abstract: Because the humidity of soil is one of the essential factors that determine the optimal plant growth and crop production, this paper discusses in detail various techniques, methods and modes of the measurement of soil humidity. Devices, sensors and additional equipment for the measurement of humidity are analyzed depending on the different types of the agricultural crops and characteristics of the soil. In this paper is given a review and a comparative analysis of sensors as the parts of the various products which measure a soil humidity (analog and digital). The selection of the most suitable location for sensors, their installation, placement and necessary depth is also presented. In this paper are analyzed the characteristics of sensors (performances, cost-effectiveness in the agricultural production), their maintenance and the timely detection of failures while in operation.

Key words: *humidity of soil, measurement devices, sensors and transducers in agriculture.*