

MULLA OMADUSTE UURIMINE TOOTMISPÕLDUDEL ELEKTRILISTE PARAMEETRITE MÕÕTMISE TEEL

Tiit Plakk, Erkki-Gennadi Hannolainen
Eesti Maaviljeluse Instituut

Abstract. *Plakk, T, Hannolainen, E-G. Investigation of Soil Properties on Productive Fields by means of Measurement of Electrical Parameters. – Transactions of Eria No 71, 239-246*

An overview of the spatial variability and time trends of soil dielectric constant E_r and bulk soil conductivity E_{Ca} which are measured on the productive fields in October, 2004 and during the vegetation period of 2005 in conditions of conventional (field P-Lin) and organic farming (field J-28) is given. Values of soil volumetric moisture W_v and salinity E_{Ce} ($\mu S/cm$) calculated from „in situ” measured data are also presented.

The percometer measurements during this study indicate clearly that soil moisture is distributed much more uniformly than the ionic concentration of the soil solution. The ionic concentration can vary over distance of 10 cm even 2 to 3 times whereas variation of soil moisture W_v is less than 2 to 3 %. This result must be taken into consideration at soil sampling and data analyses.

The salinity values E_{Ce20} differ between conventional and organic farming. Soil salinity value in organic farming field (J-28) decreases from spring value of 550-600 to 300-350 in autumn. The same numbers at conventional farming field are from 700-750 to 600. The maximum values of E_{Ce20} ca 1400 $\mu S/cm$ have been measured on 10.11.2004 at field P-Lin.

The experiments showed that the percometer is a suitable instrument for „in situ” measurement of soil dielectric constant E_r and bulk conductivity E_{Ca} . Calculated from these values soil volumetric moisture W_v and salinity E_{Ce20} describe adequately soil state. The spatial resolution of percometer sensor ca 5 cm is sufficient to find out the anomalous regions on the field and the measurement data is accurate enough for application in precision farming.

Keywords: *percometer, soil conductivity, dielectric constant, salinity, variability*

Tiit Plakk, Erkki-Gennadi Hannolainen, *Department of Agroecology, Estonian Research Institute of Agriculture, Teaduse 13 St., 75501 Saku, Estonia*

Sissejuhatus

Mulla niiskus- ja toitainete režiim on taimekasvatuse seisukohalt määravad tegurid. Nende otsene määramine mullaproovide võtmise ja hilisema laboratoorse analüüsi teel on töömahukas ja kallis. Kaasaegse mõõtetehnika areng on teinud võimalikuks lihtsa ja kiire mulla elektrofüüsikaliste omaduste (dielektriline läbitavus, elektrijuhtivus) mõõtmise. Mulla elektriliste omaduste kompleksne analüüs võimaldab anda hinnangu mulla seisundile (*Plakk 2005*).

Mulla elektriliste omaduste mõõtmisel ja interpreteerimisel lähtutakse asjaolust, et mulla suhteline dielektriline läbitavus Er sõltub eelkõige mulla mahulisest niiskusest ning mulla elektrijuhtivus mulla soolsusest (Hilhorst 2000, Plakk 1989). Samas ei ole kummagi elektrilise suuruse mõõtmine mullas „in situ” triviaalne tehniline ülesanne ning nõuab spetsiaalset selleks loodud mõõteaparatuuri.

Käesolevas töös kasutatakse T. Plakki väljatöötatud ja väikeseerias toodetavat (Adek OÜ, adek@neti.ee) dielektrilise läbitavuse ja elektrijuhtivuse mõõtjat PerCoMeter. (*Permittivity and Conductivity meter*), mis mõõdab mulla dielektrilise läbitavuse Er vahelduvvooluga sagedusel 40...50 MHz ning mulla juhtivuse ECa [$\mu\text{S}/\text{cm}$] sagedusel 1 kHz.

Mulla soolsus iseloomustab mullalahuses sisalduvaid lahustunud sooli, sh. toiteelemente. Käesolevas töös esitatakse mulla soolsus küllastunud mullapasta ekstrakti elektrierijuhtivusena ECe [$\mu\text{S}/\text{cm}$] taandatuna 20 °C juurde ECe20 (*Rhoades jt 1999*). Rahvusvaheliselt loetakse tundlikele taimedele muldade soolsuse ohupiiiriks ECe üle 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Katsetingimused ja meetodika

Töö eesmärgiks oli välja selgitada mulla „in situ” mõõdetud dielektrilise läbitavuse Er, elektrijuhtivuse ECa ning neist arvatud mulla mahulise niiskuse Wv ja soolsuse ECe ajaline ja ruumiline varieeruvus eri põldudel vegetatsiooniperioodi vältel ning selgitada percomeetri sobivust mainitud suuruste mõõtmisteks.

2004. aasta sügisperioodil ja 2005. a. vegetatsiooniperioodil mõõdeti Läänemaal Oru vallas OÜ Linnamäe Peekon ja OÜ Jalukse Farmer tootmispõldudel mulla elektrilisi omadusi. OÜ Linnamäe Peekon põllumassiivil 48654468608 kasvas 2004. a. tavaviiljeluse tingimustes talinisu ja võrdluspõlluna samas vahetus naabruses OÜ Jalukse Farmer põllumassiivil 48654489792 (Manni) mahetingimustes ristik. 2005. aastal kasvas tavaviiljeluspõllul (kood P - Lin) raps HEROS ja mahepõllul (kood J-28) talinisu KOSACK. Talinisu mahepõllul väetisi ei kasutatud. Tavaviiljeluse rapsipõllule anti 2005. a. kevadel koos külviga lokaalselt tegevainena N17-P6-K11 kg/ha ning 21.–24. juunil sealäga N43-P13-K15 kg/ha.

Mullastikuliselt asuvad uurimispõllud meresetelisel tasandikul. Mõlemal põllul on mulla lähtekivimiks mitmesuguste staadiumide (Joldiameri, Antsülüsjärvi ja Litoriiinameri) setted. Huumushorisoni (tüsedus 25...30 cm) mullalõimiseks on saviliiv, mis ulatub valdavalt kuni 70 cm sügavuseni. Alates sügavusest 85 cm on lõimiseks sitke, kleepuv sinisavi. Seetõttu on veereziimi reguleerimiseks mõlemad põllud kuivendatud drenkuivendusega. Põldudel esineb vähesel määral väikesi pinnalolevaid kive. Huumushorisoni huumusesisaldus (kohati toorhuumuslik) varieerub 5,2...21,2 % piires. Huumushorisoni pH kõigub vahemikus 6,0...7,3. Väetistarbel on mõlema põllu kaaliumi tarve väike kuni keskmine. Oluline erinevus on fosfori tarbes. OÜ Linnamäe Peekon tavaviiljeluspõllul (P-Lin) on see suur kuni väga suur, kuna aga OÜ Jalukse Farmer mahepõllul (J-28) keskmine kuni suur.

Uuringute läbiviimiseks valiti mõlemal tootmispõllul välja nn mõõtmisväljak suurusega 20 x 40 m ja määrati nende koordinaadid GPS seadmega GeoExplorer 3.

OÜ Linnamäe Peekon tavapõllu (P-Lin) mõõtmisväljaku koordinaadid :

1. N - 59° 02' 21 483; E - 23° 46' 26 144;
2. N - 59° 02' 21 110; E - 23° 46' 27 191;

3. N - 59° 02' 22 415; E - 23° 46' 28 400;

4. N - 59° 02' 22 783 ; E - 23° 46' 27 199;

OÜ Jalukse Farmer mahepõllu (J-28) mõõtmisväljaku koordinaadid:

1. N - 59° 02' 21 483; E - 23° 46' 26 144;

2. N - 59° 02' 21 110; E - 23° 46' 27 191;

3. N - 59° 02' 22 415; E - 23° 46' 28 400;

4. N - 59° 02' 22 783; E - 23° 46' 27 199;

Uuringute käigus mõõdeti muldade elektrilisi omadusi mõõtmisväljakutel diagonaalmeetodil. Iga üksikmõõtmine percomeetriga seisnes anduri soovitud sügavuseni (0...10; 10...20 või 0...20 cm) mulda surumises, ühe nupuvajutusega andurit ümbritseva mulla Er ja ECa automaatseks mõõtmiseks ning tulemuse mällu salvestamises (Plakk 2006). Mõõtmistulemuste edasise töötlemiseks siirdati tulemused arvutisse ning mittelineaarse algoritmi järgi arvutati mulla mahuline niiskus Wv ning soolsus ECe20.

2004. a. sügisel (10.11.04) mõõdeti tavaviiljeluse (P-Lin) küntud talinisupõllul mulla dielektriline läbitavus Er ja elektrijuhtivus ECa järgnevalt: punktid 1...60 iga 5 m tagant, 61...160 iga 2 m tagant, punktid 161...171 pikaajaliselt väetamata söödil (joonis 1).

2005. a. mõõdeti alates 05.05 kuni 17.10 tavaviiljeluse rapsipõllu (P-Lin) ja maheviljeluse talinisupõllu (J-28) mõõtmisväljakutel percomeetriga diagonaalmeetodil iga 2 meetri tagant, sh. igas mõõtepunktis kahel sügavusel 0...10 cm ja 10...20 cm (v.a. 17.10 kui mõõdeti sügavusel 0...20 cm.). Mulla dielektrilise läbitavuse, elektrijuhtivuse, soolsuse ja mahulise niiskuse ruumilise varieeruvuse uurimiseks mõõdeti 15.05.05 talinisu mahepõllul üle 50 punkti (joonis 3).

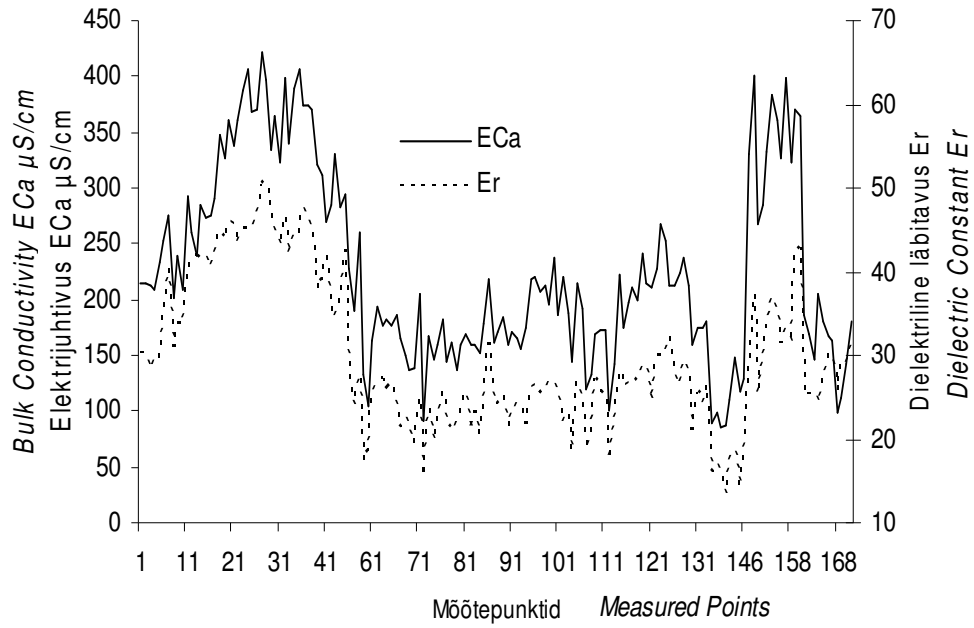
Vegetatsiooniperioodil toimunud ajaliste muutuste graafikutel on iga mõõtmispäeva kohta arvatud keskmised Er ja ECa väärtused erinevate mullakihtide kaupa. Nii näiteks vastab joonistel 4 ja 5 igale mõõtmiskuupäeva punktile 25 üksikmõõtmise keskmine.

Tulemused ja arutelu

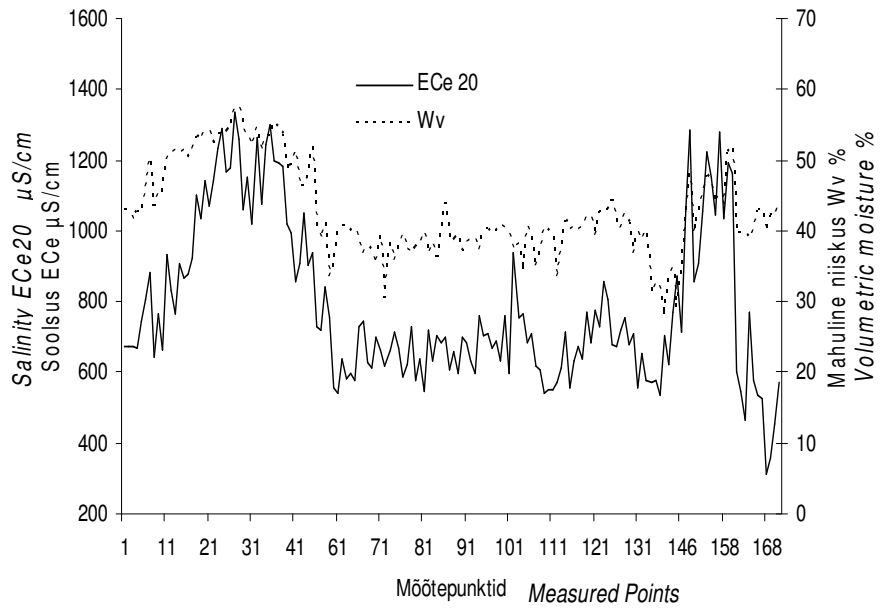
Ruumiline varieerivus.

Joonisel 1 on toodud sügisel küntud tavaviiljeluse põllu (P-Lin) percomeetriga mõõdetud (10.11.04) mulla dielektriline läbitavus Er ja elektrijuhtivus ECe20. Joonisel 2 on toodud nendest tulemustest arvatud mahuline mullaniiskus Wv ja mulla soolsus ECe20. Joonistel 1 ja 2 toodud punktid 1...160 on mõõdetud tavapõllul, punktid 160...171 on mõõdetud tavapõllu kõrval asuval pikaajalisel väetamata rohusöödi alal. Küntud tavapõld oli mõõtmise ajal väga märg, mullaniiskused olid valdavalt Wv 40...50 % piires.

Joonistel on selgelt eristatavad erineva niiskusega alad, mis langevad hästi kokku põllu mikroreljeefiga so punktide 20...40 vahel on põllul madalam osa. Mullaniiskus Wv on kogu põllul va. lohk punktide 20...40 vahel, enamvähem ühesuguselt stabiilne. Samas on juhtivuse ja soolsuse näitude erinevused kuni 2 kordsed ning selgelt on võimalik eristada suurema mulla elektrijuhtivusega piirkondi.



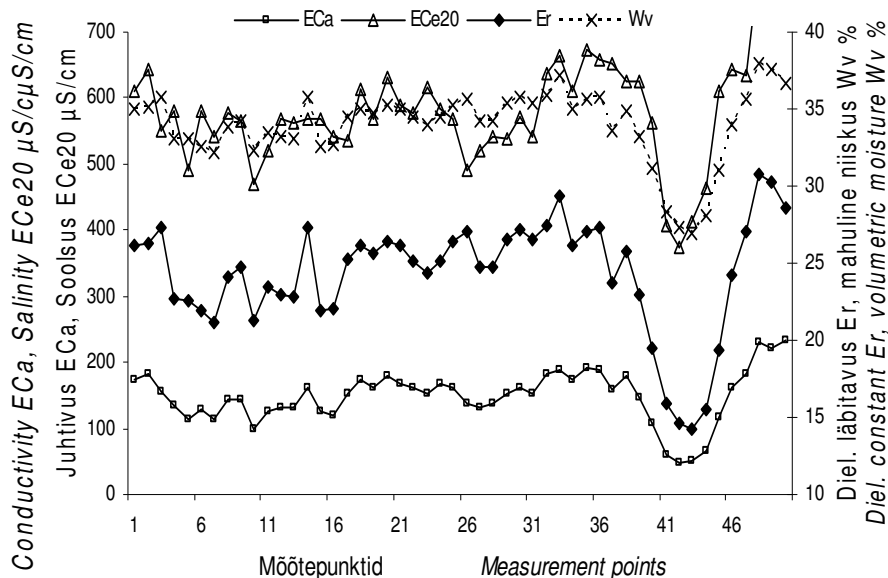
Joonis 1. Põllul P-Lin 10.11.2004 percometriga mõõdetud ECa ja Er väärtused
Figure 1. Measured with percometer values at field P-Lin on 10.11.2004



Joonis 2. Mõõtmistest 10.11.2004 põllul P-Lin arvatatud mulla soolsus ja niiskus
Figure 2. Calculated from measurements on 10.11.2004 soil salinity ECe20 and moisture Wv of the field P-Lin

Ka on joonisel 2 selgelt näha söödimulla madal soolsus, kusjuures (punktid 161...171) niiskusesisaldus on samaväärne küntud tavapõlluga. Juhtivuse ja soolsuse kõikumine punktist punkti on oluliselt suurem (20...25 % väärtusest), kui Er ja niiskuse Wv korral. Percomeetri ruumiline eraldusvõime on ca 5 cm ning ECa ja ECe suhteliselt suur kõikumine on tingitud soolade ebahütlasest jaotusest mullas. Mullas võib 10 cm ulatuses lahustunud soolade kontsentratsioon erineda 2...3 korda. Mulla niiskus on seevastu jaotunud tunduvalt ühtlasemalt, sest erinevus naaberpunktide vahel on vaid mõni protsent.

Ka joonisel 3 ilmneb Wv suhtelise stabiilsuse juures (punktid 1...36) juhtivuse ja soolsuse suurem kõikumine kui niiskusel. Siiski on talinisu mahepõllul mulla soolsuse varieerumine oluliselt väiksem (ca 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), kui tavaviljeluse rapsipõllul ning kõikumine naaberpunktide vahel on veelgi väiksem. Samuti kõigub mulla soolsus pikemate lõikude kaupa, näiteks punktid 26...32 või siis 33...37. Siit võib järeldada, et maheviljeluse tingimustes, kus mineraalväetisi ei ole kasutatud, on mulla soolsuse jaotumine ühtlasem. See on ka ilmselt loogiline, sest mullalahuses puudub mineraalväetiste andmisest ja nende erinevast lahustumisprotsessist tingitud ebahütlus. Mõõtmispunkti 43 ümbruses eristub selgelt kuivem põlluala. Seega võib järeldada, et mõõtmised kajastavad mullaseisundit põllul ja selle muutusi ning percomeetri ruumiline eraldusvõime 5 cm on piisav avastamiseks erineva niiskuse ja soolsusega piirkondi.



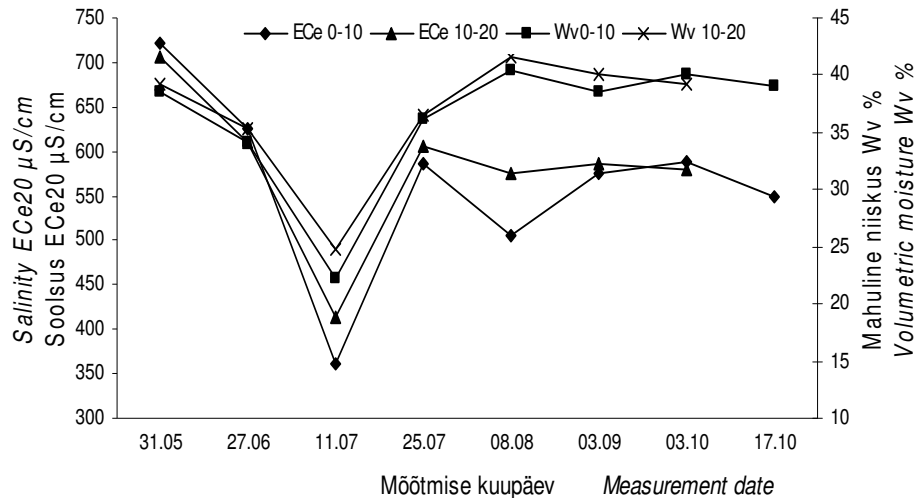
Joonis 3. Põllul J-28 15.05.2005 mõõdetud ECa ja Er ning arvatud soolsus ECe20 ja niiskus Wv, intervall 2 m
Figure 3. Measured with percometer values ECa and Er and calculated salinity ECe20 and moisture Wv at field J-28 on 15.05.2005, interval 2 m

Tuleb märkida, et kuigi eesti muldadel üldiselt liigsoolsuse probleeme ei ole, viitavad mõõtmistulemused üle 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ suurenenud ionide kontsentratsioonile mullas mis lähenevad ohtliku soolsuse piirile. Võib oletada, et tavaviljeluse rapsipõllul mõõdetud suuremad mulla soolsused võrreldes talinisu mahepõlluga on tingitud põldude erinevast väetamisest.

Ajalised trendid.

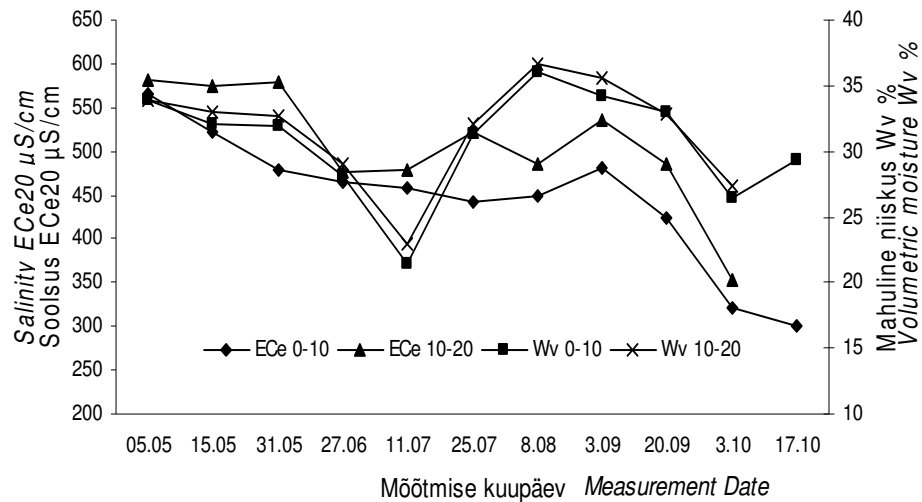
2005. aasta vegetatsiooniperioodi kestel määratud mahulise niiskuse ja soolsuse ajalised muutused mullakihtides 0...10 cm ja 10...20 cm kaupa tavaviljeluse rapsipõllul P-Lin on toodud joonisel 4 ja samad suurused talinisu mahepõllul J-28 joonisel 5. Igale punktile graafikul vastab 25 üksikmõõtmise keskmine iseloomustamiseks tervet mõõteväljakut. Mai lõpust kuni juuli esimese dekaadini kestnud põua mõju on näha mullaniiskuse miinimumina 11.07.05, mil mulla minimaalne niiskus oli $\approx 22\%$.

Mõõtmisperioodil on mulla alg- ja lõppniiskused tavaviljeluse rapsipõllul $\approx 40\%$ ning ei muutu oluliselt kuni sügiseni (17.10.06). Maheviljeluse talinisu põllul J-28 on mulla algniiskus mõnevõrra väiksem (35%), peale suvist põuda saavutab mullaniiskus maksimumi augustis (8.08) ning erinevalt tavaviljeluse rapsipõllust P-Lin väheneb oktoobrikuu alguseks (3.10) $\approx 26\%$ -ni. Joonistel 4 ja 5 on näha ka niiskuse sarnane jaotumine mullakihtides 0...10 ja 10...20 cm. Suuremad erinevused mullaniiskuses eri kihtides on 11. juulil, peale sademeid on 25.07 mõõtmiste alusel mullaniiskused 0...10 ja 10...20 cm kihtides, aga võrdsed.



Joonis 4. Mullas soolsuse ECe20 ja niiskuse Wv dünaamika põllul P-Lin kihtides 0...10 ja 10...20 cm 2005. a. vegetatsiooniperioodil, arvatatud percomeetriga teostatud mõõtmistest

Figure 4. Dynamics of soil salinity ECe20 and moisture Wv of the field P-Lin in layers 0-10 and 10-20cm during 2005, calculated from percometer measurements.



Joonis 5. Mulla soolsuse ECe_{20} ja niiskuse Wv dünaamika põllul J-28 mullakihtides 0...10 ja 10...20 cm 2005. a. vegetatsiooniperioodil, arvatud percomeetri mõõtmistest *Figure 5. Dynamics of soil salinity ECe_{20} and moisture Wv of the field J-28 in layers 0-10 and 10-20cm during 2005, calculated from percometer measurements.*

Sellele järgnenud mõõtmised näitavad, et pindmine 0...10 cm mullakiht on taas veidi kuivem, kui sügavamal asuv 10...20 cm kiht. Tulemused näitavad percomeetriga teostatud mõõtmiste head eraldusvõimet ja korratavust. Mõõtmistel saadi oluline erinevus mulla soolsuse trendis. Talinisu mahepõllul J-28 (joonis 5) väheneb soolsus ühtlaselt kevadest sügiseni ning lahustunud soolade (toitainete) sisaldus on selgelt suurem sügavamas 10...20 cm kihis. Seejuures on sügisesed soolsuse väärtused väga madalad (300...350 $\mu\text{S}/\text{cm}$), viidates taimetoitainete vähesusele. Tavaviljeluse rapsipõllul P-Lin (joonis 4) saavutab soolsus ja mullaniiskus selge miinimumi juulis (11.07), peale sademeid taastuvad põuaeelsed väärtused ning stabiliseerub sügiseni väärtusel 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mis vastab eesti muldade keskmisele väetisetasemele. Mulla elektrijuhtivuse ECe_{20} erinev käitumine põua perioodil viitab mulla enda mineraalide ja muldaviidud väetiste erinevale lahustuvusele mullalahuses. Mõõtmised näitavad selgelt soolsuse absoluutväärtuste ja dünaamika erinevust väetatud ja mahepõllu vahel.

Järeldused:

1. Percomeeter on sobiv mõõteriist mulla dielektrilise läbitavuse Er ja juhtivuse ECa mõõtmiseks *in situ*. Viimastest arvatud mahuline niiskus Wv ja mulla soolsus ECe_{20} [$\mu\text{S}/\text{cm}$] kirjeldavad adekvaatsel põllumulla seisundit.

2. Mõõtmised näitavad, et mulla niiskus on jaotunud põldudel ühtlasemalt võrreldes mullalahuses sisalduvate lahustunud ionidega. Viimaste hulk võib muutuda isegi 10 cm ulatuses 2...3 korda; mullaniiskus Wv muutub aga vaid ca 2...3 %. See on oluline tulemus, mida tuleks silmas pidada mullaproovide võtmisel ja analüüside töötlemisel.

3. Mulla soolsuse ECe20 näitajad olid erinevad tava- ja mahepõllul. Mulla elektrijuhtivuse ECe20 väärtus väheneb mahepõllul (J-28) kevadisest väärtusest 550...600 sügiseks 300...350-ni; tavaviiljeluspõllul (P-Lin) muutub ECe20 700...750-st kevadel kuni 600-ni sügisel. Seejuures määrati 10.11.04 ECe20 suurimaks väärtuseks talinisu tavapõllul (P-Lin) 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Kasutatud kirjandus:

Hilhorst, M.A. 2000. A pore Water Conductivity Sensor. *Soil Sci. Am. J.* 64:1922-1925

Rhoades, J.D, Chanduvi, F, Lesch, S. 1999. Soil Salinity Assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *FAO Irrigation and Drainage paper 57. Rome, Italy. ISSN 0254-5284.*

Plakk T. 1989. Dielektritseskoje izmerenije vlažnosti potšv. *Nautš. Tr. ESTNIIZM, LXV, c. 39-58.*

Plakk T. Meetod mulla soolsuse määramiseks elektrilise mõõtmise teel. *Eesti kasuliku mudeli tunnistus nr. 00518 välja antud 18.07.2005*

Plakk T. 2005. Muldade elektrofüüsikalised omadused. *EMVI Infoleht nr. 175/2005*, Eesti Maaviiljeluse Instituut, Saku, URL: http://www.eria.ee/public/files/Infoleht_175.pdf

Plakk T. 2006. Percomeetri kasutamine mullauuringutes. *EMVI Infoleht nr 183/2006*, Eesti Maaviiljeluse Instituut, Saku, URL: http://www.eria.ee/public/files/Infoleht_183.pdf