

Uute mullaanalüüside meetodite katsetamine ja evitamine ning erinevate mikroelementide määramiseks sobilike ekstraheerimislahuste kasutusvõimaluste uuringud

Projekti kestus: 2001...2004

Projektijuht: **Valli Loide**, D.Sc. Agr.

Kaastäitjad ja koostöö: EMVI D.Sc. Agr. Heino Kärblane, EMVI teadur Jaan Kanger, TMKK asedirektor, keemiakandidaat Märt Nõges, agronoom Leonhard Kevvai, EPMÜ emeritprofessor Paul Kuldkepp; EPMÜ Taimebiokeemia labori juhataja Mai Olesk.

Taust

Seoses reformidega põllumajanduses ja sellest tulenevatest muudatustest, kus väetustarbe tellijaid on arvuliselt kümneid kordi rohkem kui varem, tekkis vajadus teha ka väetustarbeteenistuses ümberkorraldusi väetustarbe määramises. Muutunud olukorras on vaja leida ja kasutusele võtta sobilikemaid, rahvusvaheliselt tunnustatud ja efektiivsemate tehnoloogiliste lahendustega määramismeetodeid. Maailmas kasutatakse mulla keemiliste elementide sisalduse määramiseks mitmesuguseid ekstraheerimislahuseid. Nende valiku määravad esmalt muldade omadused, teiseks nende sobivus massanalüüside tegemiseks ja tehnilised võimalused. Eesti põllumuldi iseloomustavamaks omaduseks on leeliselisest reaktsioonist kuni happeliseni ulatuv kaltsiumisisaldus, mis tingib vajaduse sellega arvestada ka ekstraheerimislahuste valimisel.

Uurimistöö eesmärgiks:

- on leida lahendid makro- ja mikroelementide väetustarbe määramiseks senisest väiksema arvuga ekstraheerimislahustest kaasaegse ja efektiivse multielemendilist aparatuuri (ICP Plasmaemissiooni-spektromeetri ja automatiseeritud läbivoolu-kolorimeetrit FIA) kasutades.
- on ka senise AL-meetodi sobivuse täiendav kriitiline hindamine Eesti põllumuldade magneesiumitarbe määramiseks.
- uute ekstraheerimislahuste rakendamisel on vajalik leida korrelatsioonid ja ühelt meetodilt teisele üleminekukoefitsiendid ning viia omavahel kooskõlla makro- ja mikroelementide väetustarbe gradatsioonid.

Uurimistöö meetodika

Uurimistöö I etapis koguti algmaterjal (paralleelproovid muld-taim) üle vabariigi enamlevinud mullatüüpidelt. Määratud taimetoiteelementide (P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Co, Mo) sisalduste tulemusi võrreldi määratuna käibelolevatest ekstraheerimislahustest (topeltlaktaat- e. DL-meetod ja ammoonium-laktaatlahus e. AL-meetod ja mikroelementide mitmesugused väljatõmbelahused) määratutega ammoonium-atsetaat- (AMA) ning CaCl₂-lahustest ja Mehlich 3 meetodi (Meh 3) puhul kasutatavast lahusest. Muldadest määratud elementide sisaldusi võrreldi taimede keemilise sisaldusega.

Tulemustest järeldus, et optimaalsemaks lahenduseks on mulla väetistarbe analüüside üleviimine suures osas (P, K, Ca, Mg, Cu, Mn) Mehlich 3 ekstraktsioonile erinevate määramismeetodite puhul. Mulla agrokeemiliste omaduste hindamiseks Mehlich 3 ekstraktsioonilahuse sobivuse selgitamiseks tehti mulla keemilised analüüsid nii seni kasutatud kui ka uue väljatõmbelahusega. Analüüsitud mullaproovide kogum (vähemalt 500 mullaproovi) iseloomustab Eesti valdavaid mullatüüpe (rähkmullad, leostunud ja leetjad mullad, leetunud mullad). Mullaproovides määrati pH_{KCl}, huumusesisaldus Tjurini järgi, orgaaniline süsinik, liikuvate elementide sisaldus (mg kg⁻¹): fosfor ja kaalium topeltlaktaat- ehk DL väljatõmbest, kaltsium ja magneesium ammooniumlaktaat- ehk AL väljatõmbest, vask 1 N HCl ja mangaan 1 N (NH₄)₂SO₄-väljatõmbest.

Mehlich 3 ekstraerimislahuse sobivust väetistarbe määramiseks kontrolliti paralleelproovide muld-taim vastavate toiteelementide sisalduste korrelatsioonseoste abil. Uuritavateks taimedeks olid talinisutaimed, mis koguti üle Eesti enamlevinud muldadelt 6. lehe faasis. Samuti võrreldi tulemuste hindamisel DL- ja Mehlich 3 väljatõmbest määratud pikaajaliste NPK-katsete (Kuusiku ja Olustvere) mulla liikuva fosfori ja kaaliumi sisalduse ning saagi regressioonseoseid.

Mehlich 3 meetodi väljatõmbelohus koosneb (Sen Tran, Simard, 1993):

1. 0,2 N CH₃COOH – puhverdab pH 2,5ni ja väldib Ca sadenemist;
2. 0,25 N NH₄NO₃ – ekstraheerib Ca, Mg, K, Na;
3. 0,013 N HNO₃ – ekstraheerib osa Ca-fosfaate);
4. 0,015 N NH₄F – fluoriid ekstraheerib Fe- ja Al-fosfaadid ja NH₄⁺ täiendab ammoniumnitraati;
5. 0,001 M EDTA – viib mikroelemendid kompleksühenditeks ja takistab Ca-väljasadenemist;

Taimsest materjalist määrati fosfor, kaalium, magneesium, vask, mangaan kasutades kuivtuhastust.

Keemilised analüüsid viidi läbi Põllumajandusuuringute Keskuses. Andmete matemaatilisel töölusel kasutati korrelatsioon- ja regressioonanalüüsi MS Exceli keskkonnas.

Väetistarbe hindamise üleviimine Mehlich 3 väljatõmbelohusele Makroelemendid

Fosfor on taimede elus üks tähtsamaid toiteelemente, kuid samas on taimedele kättesaadav fosfor keemiliste omaduste tõttu raskemini määratav. Taimedele kättesaadava fosfori ületoomist mullast väljatõmbelohusesse mõjutavad mitmed tegurid. Fosfor esineb mullas erinevate vormidena (mineraloogilised ja orgaanilised, mis omakorda sisaldavad erinevaid keemilisi vorme e soolasid), millel on erinev transformatsiooni kiirus ja nad lahustuvad väljatõmbelohustes erinevalt (Sallade, Sims, 1997). Eesti mullastikku iseloomustab mulla liigiline paljus, esineb nii karbonaatseid kui ka mittekarbonaatseid muldi, mida tuleb arvestada ka väetistarbe määramiseks sobiva väljatõmbelohuse valikul. Põhjalikke uuringuid erinevate väljatõmbelohuste toime kohta liikuva fosfori sisalduse hindamisel on teinud mitmed uurijad. J. Matula (1999) hinnangul korreleerus võrreldes Mehlich 2, Mehlich 3, CaCl₂-väljatõmbe, mullalahuse, elektroultrafiltratsiooni ja UNIBEST meetodiga taimede fosforisisaldus kõige paremini vesileotisest määratud fosforisisaldusega. Tšehhimaal J. Zbírali (2001) juhtimisel leiti Mehlich 3 ja Egnér-Riehm (DL) väljatõmbest määratud tulemuste võrdlusel, et Mehlich 3 ekstraktsioonil vabaneb fosfor paremini. Eriti suur erinevus avaldus karbonaatmuldadel ja DL väljatõmme hinnati seepärast karbonaatmuldadele mitesobivaks.

Käesolevas töös saadi Egnér-Riehm (DL) ja Mehlich 3 ekstraerimislahuste võrdlushindamisel järgmised tulemused. Vabariigi valdavate mullatüüpide mullaproovidest (karbonaatsed ja mittekarbonaatsed mineraalmullad) koosneva kogumi võrdlusanalüüsi tulemustest ilmses, et kahel meetodil määratud liikuva fosfori sisalduste vahel esines tugev (korrelatsioonikordaja $r=0,809^{**}$) korrelatsioon. Siinjuures ilmses, et antud seosega on haaratud mullad, mille huumusesisaldus oli vahemikus 2...15%. Selgus, et seosed sellest väiksema või suurema huumusesisalduse puhul avaldusid erinevalt, mis võib olla tingitud erinevate fosfori vormide esinemisest antud muldades.

Hinnates mullas ja talinisutaimedes sisalduva fosfori omavahelisi seoseid, ilmses et taimedes sisalduv fosfor oli võrreldes DL väljatõmbest määratuga tugevamas korrelatsioonis Mehlich 3 ekstraerimislahusest määratud fosforisisaldusega (korrelatsioonikordajad vastavalt 0,613^{**} ja 0,849^{**}). Regressioonanalüüsi tulemustest talinisu terasaagi ja mullas sisalduva fosfori vahel ilmses et Mehlich 3 väljatõmbest määratud fosforisisalduse ja terasaagi vahel oli seos mõnevõrra suurema usutavusega kui DL väljatõmbest määratu puhul (korrelatsioonikordajad vastavalt 0,775^{**} ja 0,729^{*}). Seega võib Mehlich 3

ekstraheerimislahusest määratud fosforisisalduse hindamistulemusi pidada rahuldavaks ja mõnevõrra ka objektiivsemaks võrreldes DL väljatõmbest määratutega.

Kaalium esineb mullas ühe osana mineraalide kristallvõres ja on fikseeritud savimineraalide koostises. Mitmete uurijate poolt on ekstraheerimislahuste võrdlemisel esile toodud Mehlich 3 lahus (Went, 1995; Mamo et al, 1996). Antud uurimistöo võrdlusanalüüsist liikuva kaaliumi sisalduste Mehlich 3 ja DL ekstraheerimislahuste vahel selgus järgmist.

Mehlich 3 ja DL ekstraheerimislahusest määratud kaaliumisisalduste tulemuste vahel avaldus tugev, hea usutavusega korrelatsioon, korrelatsioonikordaja $r = 0,955^{**}$. Ka savimulla puhul osutus kahes ekstraheerimislahuses määratud kaaliumisisalduste vahel korrelatsioon väga tugevaks ($r = 0,972^{**}$).

Samuti esines tugev korrelatsioon mulla ja talinisu taimede kaaliumisisalduse vahel. DL ekstraheerimislahuse puhul oli korrelatsioonikordaja $r = 0,829^{**}$ ja praktiliselt samaväärne tulemus ($r = 0,837^{**}$) saadi ka Mehlich 3 ekstraheerimislahuse korral. Enam-vähem samaväärsed usutavad seosed avaldusid ka terasaagi ja mulla kaaliumisisalduste vahel (korrelatsioonikordaja DL väljatõmbe puhul $0,656^{**}$ ja Mehlich 3 puhul $0,637^{**}$) ja sobib väetistarbe hindamiseks.

Magneesiumitarve määrati seni AL väljatõmbest, mis osutus taimede suhtes ebaobjektiivseks, eriti karbonaatmuldadel. Kui mitmete ekstraheerimislahuste ja sealhulgas Mehlich 3 väljatõmbest määratud sisalduste hinnangud liikuva magneesiumi kohta ei korreleerunud mulla magneesiumi üldsisaldusega, siis AL väljatõmbest määratud sisalduse hinnang oli tugevas positiivses korrelatsioonis magneesiumi üldsisaldusega. Järelikult ammoniumatsetaatlahuse iseärasuseks on asjaolu, et see toob kaasa osa taimedele kättesaamatut magneesiumi ja neil muldadel kasvanud taimed kannatasid samasugune magneesiumipuuduse käes kui magneesiumivaestel muldadel kasvanud taimed (Loide, 2001, 2002, 2004). Seega satub AL-väljatõmbesse magneesiumi, mis ei ole taimedele kättesaadav ja tihti osutusid AL-meetodi puhul mullad liikuva magneesiumi sisalduse poolest rikkaks aga teiste, nagu näiteks CaCl_2 meetodi puhul vaeseks. Eesti mullad on kohati üsnagi magneesiumivaesed ja seetõttu on ka magneesiumi sisalduse objektiivne hindamine muldades väga oluline.

Lisaks eeltoodule on vaja magneesiumi puhul arvestada antagonismiga. Antagonistlike taimetoiteelementide puhul nagu magneesium ja kaalium, on väetamisel vaja arvestada mulla kaaliumi ja magneesiumi omavahelise suhtega, mida on parem teha kui mõlemad elemendid määratakse ühest-samast väljatõmbest.

Magneesiumisisalduste määramisel AL ja Mehlich 3 ekstraheerimislahusest selgus hinnangute võrdlusanalüüsis järgmist. Mõlema ekstraheerimislahuse magneesiumi sisalduste hinnangud olid tugevas korrelatsioonis, korrelatsioonikordaja $r = 0,916^{**}$, muldade puhul, mis sisaldasid liikutavat kaltsiumi (AL väljatõmme) alla 2500 mg kg^{-1} . Sellest suurema mulla kaltsiumisisalduse puhul oli korrelatsioon mulla ja taimede magneesiumisisalduste vahel mitteusutav, mis tulenes neile muldadele iseloomulikust suurest üldmagneesiumisisaldusest.

Võrdlusanalüüsi muld-taim tulemustest selgus, et talinisu taimede magneesiumisisaldus oli tugevas korrelatsioonis Mehlich 3 ekstraheerimislahusest määratud mulla magneesiumisisaldusega, samas AL väljatõmbest määratud seos oli keskmise tugevusega, kuid ei ületanud 95% usutavuse nivood, (r vastavalt $0,894^{**}$ ja $0,334$).

Asjaolu, et magneesium ja kaalium määratakse ühest-samast väljatõmbest, võimaldab objektiivsemalt hinnata K/Mg suhet ja seda vajadusel arvestada väetamisel. Samuti oli korrelatsioon hea mulla Mehlich 3 ekstraheerimislahuse ja taimede magneesiumisisalduste vahel.

Kaltsiumisisalduse hinnangud olid Mehlich 3 ja AL ekstraheerimislahustest määratuna omavahel tugevas korrelatsioonis ($r = 0,939^{**}$), v.a väga madalad ($<500 \text{ mg kg}^{-1}$ AL), millede puhul usutav seos erines oluliselt teistest ja väga kõrged ($>5000 \text{ mg kg}^{-1}$ AL) sisaldused, kus korrelatsioon puudus. Seesuguse hälbe põhjuseks võib olla mõõteaparatuuri mõõtmisala täpsusest.

Mikroelementid

Vasesisaldused määratuna Mehlich 3 ja 1 N HCl väljatõmbest korreleerusid omavahel hästi, korrelatsioonikordaja $r = 0,893^{**}$. Mõlemast väljatõmbest määratud mulla vasesisalduse hinnangud olid usutavas korrelatsioonis ka vasesisaldusega taimedes, kuid võrreldes HCl-väljatõmbest määratuga oli Mehlich 3 ekstraheerimislahusest määratud tulemuste seos mõnevõrra tihedam (korrelatsiooni- ja determinatsioonikordajad vastavalt $r = 0,710^{**}$ ja $R^2 = 0,504$ ning $0,838^{**}$ ja $0,702$.

Aktiivse mangaani sisalduse hinnangute võrdlemisel ilmnas 1 N $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ja Mehlich 3 ekstraheerimislahusest määratud tulemuste vahel tugev korrelatsioon ($r = 0,853^{**}$). Kuid esines ka muldi, kus tulemuste lahknevus oli suur. Tihti olid need karbonaadirohked mullad. R. Kalmeti (1979) andmeil on kuivadest muldadest kõige mangaanirikkamad karbonaatmullad. Ilmselt lahustub 1 N $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ väljatõmbes suhteliselt rohkem taimedele kättesaadavat mangaani kui Mehlich 3 ekstraheerimislahuse korral. Sellest tulenevalt avaldus ka taimede ja mulla mangaanisisalduste omavaheline seos tugevamalt Mehlich 3 väljatõmbelahuse puhul kui mangaanisisalduse määramisel 1 N $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ väljatõmbest (korrelatsiooni- ja determinatsioonikordajad vastavalt $0,798^{**}$ ja $0,636$ ning $0,562^{**}$ ja $0,315$).

Võttes kokku eelpool käsitletud analüüsi tulemusi jõuti järeldusele, et Mehlich 3 ekstraheerimislahus sobib Eesti muldade taimetoitelementide sisalduste hindamiseks. Seniste tulemuste põhjal võimaldab Mehlich 3 ekstraheerimislahuse rakendamisel määrata 6 elemendisaldus ühest väljatõmbest endise nelja väljatõmbelahuse asemel ja sellega vähenes töömaht mullaanalüüside tegemisel ja väetistarbemääramine muutus tervikuna operatiivsemaks. Korrelatsioon Mehlich 3 ekstraheerimislahusest määratud toiteelementide hinnangute ja taimede keemilise koostise vahel oli parem või vähemalt samaväärne kui varem kasutatud hinnangute puhul. Hea korrelatsioon Mehlich 3 ja varem kasutatud väljatõmmetest määratud tulemuste vahel võimaldas leida uued väetistarbe gradatsioonid ühelt ekstraheerimislahuselt teisele ülemineku koefitsientide abil. Ilmnud erinevuste korral nagu fosfori puhul, tuli gradatsioon diferentseerida mulla huumusesisalduse järgi. Huumusvaeste muldade (huumusesisaldus alla 2%) puhul erines DL ja Mehlich 3 väljatõmbest saadud tulemuste regressioonseos suurema huumusesisaldusega muldade seosest oluliselt. Mullad huumusesisaldusega alla 2% moodustavad vabariigi haritava maa bilansist küll alla 20%, kuid on maakondi, kus on väikese huumusesisaldusega muldade osakaal suur. Nii on Põlvamaal huumusvaeseid muldi 69%, Võrumaal 67%, Valgamaal 58% ja Tartumaal 37%. Seetõttu peeti vajalikuks diferentseerida fosforitarbe hindamine ja gradatsioon töötati välja vastavalt mulla huumuse sisaldusele.

Kaaliumi- ja magneesiumisisaldus mullas ning toiteelementide kättesaadavus taimede poolt sõltub lõimisest. Seda arvestati gradatsiooni väljatõttamisel, mis võimaldab kasutada väetisi taimede väetamisel täpsemini.

Mulla vasesisaldus korreleerus hästi vasesisaldusega taimedes. Optimaalseks vasesisalduseks talinisu taimedes võrsumisfaasis peetakse $5...10 \text{ mg kg}^{-1}$ (Bergmann, Neubert, 1976). Taimede vasevajadus on rahuldatud kui kasvukohas on vasesisaldus üle $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Kuigi kõrge vasesisaldusega taimi ei leidunud võib mulla optimaalseks vasesisalduseks pidada vahemikku $1,5...2,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

Ka mangaani puhul ilmnas erinevusi $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ja Mehlich 3 väljatõmbest määratud tulemuste vahel. Kuigi enamuse kahest väljatõmbest määratud mulla mangaanisisaldused korreleerusid omavahel hästi, esines ka muldi, kus nimetatud korrelatsioon osutus nõrgaks või puudus. Niisugusteks muldadeks olid mullad, mille puhul saadi kõrged sisaldused $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ väljatõmbest, kuid Mehlich 3 väljatõmbe puhul mitte. Võrreldes kahest väljatõmbest saadud tulemusi koos taimede mangaanisisaldusega, ilmnas et taimede mangaanisisaldus oli tihedamas korrelatsioonis Mehlich 3 väljatõmbest määratud mangaanisisalduse hinnanguga. Talinisu taimedes peetakse optimaalseks mangaanisisalduseks võrsumisfaasis $34...65 \text{ mg kg}^{-1}$ (Bergmann, und Neubert, 1976). Lisaks mulla ja taimede mangaanisisalduste heale korrelatsioonile ühtisid hindamisel hästi ka taimede ja mulla gradatsioonid mangaani sisalduse määramisel Mehlich 3 väljatõmbest. Uurimistöös kasutatavatest kontrollproovide taimedest

sisaldasid mangaani optimaalsel tasemel taimed, mis pärinesid keskmise (optimaalse) mangaanisisaldusega kasvukohast. Mangaanisisalduse määramisel $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ väljatõmbest kasutati paranduskoefitsienti taimedele kättesaadava mangaanisisalduse leidmiseks, mis arvestab mulla reaktsiooni (Kanger jt, 2000). Käesolevas uurimistöös aga ilmnes, et paranduskoefitsiendi kasutamisel saadud tulemused olid märgatavalt halvemas korrelatsioonis taimede mangaanisisaldusega nii Mehlich 3 kui ka $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ väljatõmbe korral. Mõningasel määral küll avaldus mulla reaktsiooni mõju mangaani omastatavusele taimede poolt ka Mehlich 3 väljatõmbe korral, kuid need erinevused jäid enamasti gradatsiooni laia vahemikku ($75 \dots 150 \text{ mg kg}^{-1}$), mistõttu detailsem jaotus üldjoontes ei osutunud vajalikuks.

Seega on käesoleva projekti raames üle viidud 6 taimetootelemendi määramine Mehlich 3 ekstraheerimislahusele. Põhimõtteliselt on võimalik anda väetistarbelist hinnangut veel teistegi elementide kohta. Esmalt on Mehlich 3 väljatõmbest määramiseks lootustandvad väävel ja koobalt. Väävlisisalduse määramise koheseks üleviimiseks Mehlich 3 väljatõmbest jäi takistuseks asjaolu, et Mehlich 3 väljatõmbest määratud väävlisisaldus on sõltuvuses mulla lõimisega, vesileotises määratud väävel aga mitte. Seega selleks, et määrata väävli Mehlich 3 väljatõmbest, on vaja uusi andmeid, mis võimaldaks sisaldustele hinnanguid anda.

Arvestades asjaolu, et väävli määramine ja sisalduse hindamine on aktuaalne ning osa vajalikust tööst on ka juba tehtud, siis peame otstarbekaks jätkata ja finantseerida projekti 2005.aastal vähemalt projekti maksumusest seni säästetud 155 000 krooni ulatuses. See võimaldab koguda erineva lõimise ja väävlisisaldusega muldi koos taimedega (vastavad põldkatsed), saada lähteandmeid gradatsiooni väljatõtamiseks.

Teema raames ilmunud publikatsioonid:

1. Loide, V., 2001. Liikuva magneesiumi sisaldusest ning kaaliumi ja magneesiumi suhtest Eesti põllumuldades. // *Agraarteadus*, 1, lk 51...55.//
2. Loide, V., 2001. Magneesiumitarbest Eesti põllumuldades. // *Agraarteadus*, 3, lk 182...188.//
3. Loide, V., 2002. Põllukultuuride magneesiumivajadusest Eesti muldadel. // *Agraarteadus*, XIII, 4, lk 237...241.//
4. Loide, V. 2002. Põllumuldade toitainete sisaldusest. *Hüva Nõu*, Nr. 4 (26), lk 1...2.
5. Loide, V. 2002. Eesti põllumuldade liikuva magneesiumi sisaldusest, vahekorra kaaliumi ja kaltsiumiga ning mõjust kultuuride saagile. Väitekiri pm.teaduste doktori teaduskraadi taotlemiseks. Tartu, 118 lk.
6. Loide, V., 2002. Väetistarbest. *Hüva Nõu*, Nr. 11 (33), lk 4...5.
7. Loide, V., 2003. Mida tuleb arvestada muldade lupjamisel. Veebilehel www.tmkk.ee, Kirjutised, 4 lk.
8. Loide, V., 2003. Test-uuring eesti põllumuldade agrokeemiliste omaduste seisundist ja täiendavaid andmeid väetistarbest. Veebilehel www.tmkk.ee, Kirjutised, 12 lk.
9. Loide, V., 2003. Väetistarbe määramise vajalikkusest. *Hüva Nõu*, 10 (44), lk 6.
10. Loide, V., 2004. About the effect of the contents and ratios of soil's available calcium, potassium and magnesium in liming of acid soils. *Agronomy Research* 2 (1), 71-82.
11. Loide, V., Nõges, M., Rebane, 2004. Väetistarbe hindamisest Mehlich 3 väljatõmbest. *Agraarteadus* XV, 4, lk 206...215.
12. Loide, V., Nõges, M., Rebane, J., 2005. Assessment of the agrochemical properties of the soil using the extraction solution Mehlich 3 in Estonia. *Agronomy Research* 3 (1), 73-80.

Esitati ettekandeid APS-I aastakonverentsil, seminaridel.

08.05.08.a.

Valli Loide, D.sc. Agr., projektijuht