



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tava- ja otsekülvipõldude leovee keemiline koostis ja sellest tulenev potentsiaalne oht ärakaneks veekogudesse

Keskkonnakaitse õppetool

Magistritöö

Juhendaja/õppejõud: Sander Kutti

Üliõpilane Margit Tennokene
153083NAEM

Üliõpilase meiliaadress margit.tennokene@gmail.com

Õppekava nimetus Tööstusökoloogia

Tallinn 2017

Sisukord

Jooniste loetelu	4
Tabelite loetelu	5
1.1 Ajalugu	8
1.2 Põllumajandus: maaharimise erinevad viisid	9
1.3 Otsekülv	11
1.4 Otsekülvi praktiseerimine Eestis ja maailmas	12
1.5 Otsekülvi eelised ja puudused	13
1.6 Mõju keskkonnale.....	14
1.6.1 Eutrofeerumine	14
1.6.2 Erosioon.....	15
1.6.3 Mõju leevendamise meetmed	18
1.7 Leovesi ja selle koostis	19
1.8 Mikro- ja makrotoitained.....	20
1.9 pH ja elektrijuhtivus	24
1.10 Mullad.....	25
1.11 Väetised	26
1.11.1 Mineraalsed väetised	27
1.11.2 Orgaanilised väetised.....	27
2.1 Proovivõtualad.....	28
2.2 Analüüsitavad ained ja elemendid	29
2.3 Analüüside tehniline kirjeldus	29
3.1 Üld-lämmastik	37
3.2 Üld-fosfor	38
3.3 Kaalium	38
3.4 Kaltsium.....	39
3.5 Magneesium.....	39
3.6 Raud.....	40
3.7 Kloriid.....	41
3.8 Ammoonium.....	41
3.9 Nitraadid	42
3.10 Sulfaadid.....	43
3.11 pH	43
3.12 Elektrijuhtivus	44

3.13 Dreeni vee analüüs.....	44
3.14 Statistika	45
Kokkuvõte	49
Summary.....	50

Jooniste loetelu

Joonis 1. Vee erosioon

Joonis 2. Mullatorm Järvamaal

Joonis 3. Proovipõldude asukohad.

Joonis 4. Üld-lämmastiku (N) mõõtmise tulemused.

Joonis 5. Üld-fosfori (P) mõõtmistulemused.

Joonis 6. Kaaliumi (K) mõõtmistulemused.

Joonis 7. Kaltsiumi (Ca^{2+}) mõõtmistulemused.

Joonis 8. Magneesiumi (Mg^{2+}) mõõtmistulemused.

Joonis 9. Rauda (Fe) mõõtmistulemused.

Joonis 10. Kloriidi (Cl^-) mõõtmistulemused.

Joonis 11. Ammooniumi (NH_4^+) mõõtmistulemused.

Joonis 12. Nitraatide (NO_3^-) mõõtmistulemused.

Joonis 13. Sulfaatide (SO_4^{2-}) mõõtmistulemused.

Joonis 14. pH mõõtmise tulemused

Joonis 15. Elektrijuhtivuse mõõtmise tulemused

Tabelite loetelu

Tabel 1. Dreeni vee analüüsi tulemused.

Tabel 2. Keskmised tulemused.

Tabel 3. Korrelatsioon analüüs.

Sissejuhatus

Põllumajandus sh. taimekasvatus on äärmiselt oluline valdkond, mille tähtsust on raske alahinnata. Läbi ajaloo on liikunud käsikäes inimpopulatsiooni kasv ja tehnoloogia areng, mis on viinud põllumajanduse intensiivistumiseni. Praeguseks on jõutud olukorda, kus põllumajanduses hõivatuid on ainult mõni protsent rahvastikust ning see omakorda tähendab, et tegutseda tuleb võimalikult optimaalselt.

Optimaalse tegutsemise alla käib ka maksimaalne saagikus, mille saavutamiseks kasutatakse erinevaid vahendeid. Võetakse kasutusele järjest parem tehnika, kasutatakse taimekasvu soodustamiseks efektiivsemaid väetisi, umbrohtude ja taimekahjurite vastu tõhusamaid vahendeid ning mitmel pool maailmas võetakse kasutusse maad, mis ei ole põllupidamiseks erinevatel põhjustel sobivaid. See omakorda on viinud olukorrani, kus ühelt poolt on maksimeerinud põllumajanduslik väljundi aga teiselt poolt on põllumajandusliku jätkusuutlikkus küsimärgi alla seatud.

Põllumuldade kvaliteet on aegade jooksul degradeerunud ning ka mõju väljapoole on märgatav. Keskkonnale on eriti suureks probleemiks erosioon põllumaadelt ja taimetoitainete leostumine põllumuldadest, mis põhjustavad veekogude eutrofeerumist, liikide väljasuremist ning ohtu inimeste tervisele. Erosiooni ja leostumise põhiliseks suurimaks tekitajaks on erosioonitundlike muldade kündmine, mille tagajärjel liigub vee ja tuule kaasabil mitmeid tonne põllumulda igal aastal ümbritsevasse keskkonda.

On äärmiselt oluline leida viise, kuidas vähendada toitainete leostumist, eriti arvestades, et kliimamudelid näitavad, et tulevikus probleem aina süveneb (Hansen et al., 2010).

Olukorra leevendamiseks ja ka tagasipööramiseks on mitmeid võimalusi ning neid tuleks kasutada kombineeritult lähtuvalt põldude asukohast, ilmastikust ning kasvatatavatest kultuuridest. Välja on töötatud mitmeid regulatsioone, mis tegelevad väetiste ja taimemürkide koostiste ning nende põldudele viimise aja ja tehnoloogiaga. Põldude harimise tehnika on muutunud väga mitmekesiseks ning otsekülvi tehnoloogia on jõudnud levida üle maailma.

Säästlik põllumajandus (sh. otsekülv) muudab mulla omadusi ja protsesse, nii füüsilisi, keemilisi, kui bioloogilisi ja see omakorda mõjutab vee liikumist läbi pinnase (Palm, 2013).

Otsekülvi idee seisneb selles, et seemned viiakse mulda ilma pinnast eelnevalt harimata, ning põldudel kasvavad aasta läbi kas külvi- või vahekultuurid ning tihti lisaks ka allakülv. See tähendab seda, et muld on ilmastikule tunduvalt vastupidavam ning suured vihmahood ja tormid ei kannu ära pinnast ning põld on võimeline paremini niiskusrežiimi säilitama – sarnaselt looduslike rohumaadega.

Töö eesmärgiks on võrrelda otsekülvi- ja künnipõldude keemilisi parameetreid, milleks võeti viielt otsekülvi ja neljalt künnipõllult proovid ning analüüsiti nende erinevate keemiliste ainete ja elementide sisaldust.

Töö hüpoteesiks on väide, et toitainete kogused mullas on otsekülvi põldudel suuremad, kui künnipõhistel põldudel.

1 Kirjanduse ülevaade

1.1 Ajalugu

Tsivilisatsiooni algus sõltus toidu tootmisel põllumajandusest ning ka tsivilisatsiooni tulevik on samuti seotud toidu tootmisega. Põllumajanduslik revolutsioon toimus läbi mitme generatsiooni, kulmineerudes rohelise revolutsiooniga 20. sajandi teises pooles. Põllumajanduslik revolutsioon sisaldab endas geneetiliselt täiustatud sortimenti, vajadusel täiendavat niisutamist, mulla viljakust tõstvaid orgaanilisi lisaneid ja anorgaanilisi väetisi ning künnipõhist põllu ettevalmistamist (Lal et al., 2007).

18.-19. sajandi tööstusrevolutsioon muutis põllumajanduse intensiivsemaks, inimeste arvukus Maal tõusis 400 miljonini ning keskmiste asulate populatsioonid tõusid 200-300 pealt miljoni inimeseni. Põllumajandus revolutsioon muutis maatikku, ökosüsteeme, taimestikku ning mulla ja vee ressursse. Nendel muutustel olid kaugeleulatuvad ning tihti pöördumatud mõjud vee ja teiste elementide (süsinik, lämmastik, fosfor jne) ringele (Lal et al., 2007).

Intensiivne kündmine ja raskete masinate kasutamine lõi vastuolulise olukorra, kus ühelt poolt muutus toidu tootmine üha produktiivsemaks kuid teiselt poolt kerkisid esile mitmed kündmisega seotud keskkonnakaitselikud ja majanduslikud probleemid. Kiirenenud mulla erosioon on olnud probleemiks tsivilisatsiooni algusest alates. Üha kasvav nõudlus parima põllumulla järgi ja aina vähenev põldude arv tihedalt asustatud aladel, on muutnud muldade erosiooni globaalseks probleemiks ning põllumajanduslik jätkusuutlikkus on sattunud küsimärgi alla. Adraga kündmine suurendab nii vee kui tuule erosiooni, kuna lõdvestab mulda ennast, matab maha taimejäägid ning jätab mulla vihma ja tuule eest kaitseta (Lal et al., 2007).

Mulla pinna ettevalmistamine läbi kündmise on traditsioonilises põllumajanduses olnud alati kesksel kohal. Algselt disainiti mitmeid väga eripalgelisi tööriistu, mis varieerusid kõige lihtsamatest kaevamis-pulkadest kuni aerukujuliste labidateni, mida inim- või loomjõul tõmmati. Puidust ader arendati välja Mesopotaamias 4000-6000 a.-eK. Niinimetatud „Rooma ader“ kirjeldati umbes 2000 aastat tagasi ning 8.-10. sajandil muutus ader pinnast pööravaks. Tänapäevase laiadra disainis 1784 Thomas Jefferson ja 1830-tel hakkas seda tootma John Deere (Lal et al., 2007).

1.2 Põllumajandus: maaharimise erinevad viisid

Kõikidel põllumajandusviisidel on üks ühine eesmärk, milleks on toota rikkalikku ja kõrge toiteväärtusega toitu, mõistliku hinnaga, sealjuures koormates minimaalselt ümbritsevat keskkonda ning teha seda kõike jätkusuutlikult. Tavapõllumajanduses on see saavutatud läbi erinevate tehnoloogiate, mida on aja jooksul järjest täiendatud. Vaatamata tehnoloogia jätkuvale arenemisele, võib traditsiooniline põllumajandus tekitada erinevaid keskkonnakahjusid, millest kõige tõsisem on veekogude reostamine põldudel leostuvate toitainetega. Viimastel aastakümnetel on veekogude eutrofeerumisega võitlemiseks hakatud välja töötama erinevaid vastumeetmeid vähendamaks lämmastiku leostumist põldudel ja vähendamaks üldist fosfori kadu. Nendeks meetmeteks on viljavaheldus ning vahekultuuride kasvatamine, uued väetamise süsteemid ja säästev maaharimine (Bergström et al., 2008).

Mullaharimise viisid jaotatakse mullakihi segamise sügavuse järgi kolmeks põhiviisiks:

1. künd - mulla pealmise kihi (umbes 20-30cm) ümberpööramine adraga;
2. vähendatud mullaharimine - mulla pealmist kihti (umbes 5-10 cm) segatakse randaaliga;
3. otsekülv – mulda ei segata enne külvi üldse (Hiie, 2016).

Võrreldes traditsioonilise põllumajandusega muudab säästev maaharimine pinnase omadusi ja protsesse. Need muudatused omakorda mõjutavad ökosüsteemi teenuseid sealhulgas kliimamuutusi läbi süsinuku sidumise ja kasvuhoone gaaside emisiooni ning vee ringlust läbi pinnase füüsiliste, keemiliste ja bioloogiliste omaduste. Selged tõendid on olemas, et säästev maaharimine suurendab mulla orgaanilise aine sisaldust ning koos sellega ka teisi mulla omadusi ja protsesse, mis vähendavad pinnase erosiooni ja äravoolu ning parandavad vee kvaliteeti (Palm et al., 2014).

Intensiivne maaharimine on üle maailma põhjustanud põllumajandus muldade degradatsiooni läbi orgaanika vähenemise, mulla struktuuri vaesumise. Üldtunnustatud on, et madalama intensiivsusega maaviljelus (maaharimine) vähendab põllumajandusest tulenevaid keskkonnamõjusid. Säästev maaharimine vähendab vee ja tuule erosiooni põldudel, hoiab kokku kütusekulused, aega ja tööjõuressurssi (Vogeler et al., 2009).



Joonis 1. Vee erosioon, 2014 aprill.
Põlva vald, Peri. Foto: Taavi Tobreluts



Joonis 2. Mullatorm Järvamaal, 2015 aprill
Foto: Janek Sõõrd

Tavapõllumajanduse puhul kasutatakse põldude harimiseks (küändmiseks) atra, millele järgnevad sekundaarsed põllu harimise tööriistad nagu kettad (inglise keeles – *disks*), äkked ja kultivaatorid. Adra eesmärgiks on mulla pinnase peenestamine ja pööramine, mille tulemusena maetakse taimejäägid, õhutatakse mulda, hävitatakse taimekahjureid, segatakse väetis pinnasesse ning valmistatakse pinnas ette paremaks idanemiseks (Harper, 2017).

Säästev maaharimine hõlmab enda all mitmeid erinevaid tehnoloogiaid, mille abil säästetakse mulda ja vett. Rõhk pannakse võimalikult vähesesse mullaharimisse (mulla pööramine külvi ettevalmistamiseks) ja taimejääkide majandamisse, et kaitsta mulla pealmist kihti. Muuhulgas kuulub säästva maaharimise tehnikate hulka riba-küändmine (inglise keeles – *strip tillage*), vahekultuuride kasvatamine, samakõrgusjoonte järgi maaharimine (ka kontuurküänd) (inglise keeles – *contour farming*), null või keemiline küändmine, multši küändmine ja vähendatud küändmine ning kõige lõpuks ka otsekülv (Lal et al., 2007).

Säästva maaharimise võib jagada ka ainult kahte kategooriasse: 1) Küändmis-praktikad, kus mulda küntakse pealiskaudselt, 5-10 cm sügavuselt või 40 cm sügavuselt vertikaalselt, kummalgi juhul mulla pinda ei pöörata. 2) Otsekülv, kus maaharimise toimingid piirduvad seemnete mulda viimisega (Armand et al., 2009).

Minimaalne küändmine tähendab üldjuhul, et adraga küändmine on asendatud peitelküändmine (inglise keeles – *chisel*) või täiendava ketas-harimisega (inglise keeles – *disking*), mis segab mullapinda vähem. Peitli-laadsed adrad murravad ja purustavad pinnast kuid ei pööra mullapinda tagurpidi. Sellest tulenevalt jääb suurem osa taimejääkidest mulla pinnale (Harper, 2017).

Otsekülvi tehnoloogia puhul viiakse seemned mulda ilma eelneva pinnase ettevalmistuseta, mis tähendab et võrreldes tava- või minimaalse põlluharimise meetodiga käiakse külvamiseks põllul ainult ühe korra (Harper, 2017).

1.3 Otsekülv

Säästev maaharimine on agronoomiliste praktikate süsteem, kuhu kuuluvad vähendatud kündmine ja otsekülv aga ka püsiv taimkate (vahekultuurid) ja viljavaheldus. Olgugi, et säästvat maaharimist tutvustati algselt, kui meedet tuule ja vee erosiooni vähendamiseks, on praeguseks selgumas, et see toetab ka mitmeid ökosüsteemiteenused (Palm et al., 2014).

Otsekülv on süsteem, kus põllukultuuride külvamisel põllupinda segatakse ainult niipalju, kui seda teeb külvimasin kuni 5 cm sügavusel ning 30-100% põllupinnast on kaetud taimsete jääkidega (Soane et al., 2012).

Taimejääkide olemasolu mulla pinnal on otsekülvi puhul universaalseks komponendiks. Kuigi üldjuhul tõstetakse esile ja räägitakse mulla pinnal olevatest taimejääkidest, on mulla pinda jäävatel taimejääkidel sama suur roll. Taimejääkide mõju sõltub, kui palju ja mis vormis taimejäägid põllul on, kui kõrgelt on tehtud lõige, kas taimed on juurte küljes kinni või lahtiselt põllul ning kas taimed on püstises asendis või lamandatud (Soane et al., 2012).

Otsekülvi või kündmise suhtelised eelised sõltuvad suurest hulgast erinevatest aspektidest, mida saab laias laastus grupeerida agronoomilisteks ja keskkonnakaitselisteks (Soane et al., 2012).

Otsekülvi efektiivsus mängib olulist rolli nii põllumajanduse jätkusuutlikkuses kui keskkonnakaitses (Sun et al., 2015).

Vahekultuurid on põllukultuurid, mida kasvatatakse põhikultuuride lisaks, et ka talvel ja põllu söötis olemise perioodil ei oleks mulla pind katmata ning ilmastikunähtuste vastu kaitsmata. Vahekultuurid aitavad tugevalt kaasa mulla säilimisele ning läbi selle ka keskkonna kvaliteedi säilimisele. Nende inkorporeerimine mõjutab mulla mikroobikoosluste dünaamikat ja toitainete kättesaadavust varajases kasvustaadiumis. Vahekultuuride kasvatamine aitab kaasa ka lämmastiku ja süsiniku sidumisele aga ka mulla sidumisele ning mõjutab mulla hüdroloogiat ja aitab ära hoida tuule ja vee erosiooni. Lisaks pakuvad vahekultuurid mulla mikroorganismidele ja taimedele toitaineid ja energiat. Vahekultuuride juured parandavad mulla hüdroloogiat, kui need lagunevad ja kanaleid tekitavad. Lisaks mulla kaitsele, on üheks olulisemaks

vahekultuuride kõrvalmõjaks, et nad piiravad taimetoitainete leostumist veekogudesse. Lämmastikuringes on liblikõielised vahekultuurid olulised lämmastiku fikseerijad ning mõned teised liigid olulised liigse lämmastiku neelamisel (De Baets et al., 2011).

1.4 Otsekülvi praktiseerimine Eestis ja maailmas

Mulla ja vee kaitse tehnoloogiad on olnud kasutused juba pikka aega, et võidelda mulla vaesumise vastu. Eesmärgiks on vähendada nii kohapealset äravoolu ja mullakadu ning toitainete kandumist veekogudesse, veekvaliteedi langemist ning üleujutusvõimalusi. Samamoodi pööratakse viimasel ajal rohkem tähelepanu mulla ökosüsteemi teenustele ja mulla rollile erinevates aineriingetes sh. süsiniku sidumine (Maetens et al., 2012).

Otsekülvisüsteeme hakati arendama Ameerika Ühendriikides 1970-tal aastatel kütusekriisist tingitud vajaduste tõttu kulutada vähem kütust põllutöödele. Kuna künd on tõhus moodus võidelda umbrohtudega, siis otsekülvi kasutamine tõi enamasti kaasa suurema herbitsiidide kasutuse. 1980-tel hakati Brasiilias arendama säästlikumat otsekülvitehnoloogiat, kus umbrohutõrjeks hakati kasutama viljavaheldust ja pinnakattekuultuure (allakülv). Nii saavutati tulemus, kus otsekülvi põldudel oli teravilja saagikus 13-34% kõrgem, kui traditsiooniliselt küntud põldudel ja mulla erosiooni suudeti alandada kuni 90% (Hiie, 2016).

Põhja- ja Lääne Euroopa kliimat saab iseloomustada valdavalt madala intensiivsusega vihmadega, pikkade talvedega, pigem hiliste ja niiskete kevadetega, jahedate suvedega ning varajaste sügiseste vihmadega, mis saabuvad teinekord varem, kui saagikoristus on lõppenud või isegi alanud. Huvi otsekülvi vastu on regioonis tekkinud pigem soovist vähendada kulusid, suurendada haritava maa pinda ja vähendada veekogude saastamist, mitte tulenevalt vajadusest vähendada pinnase erosiooni ja äravoolu (Soane et al., 2012).

Edukad mulla- ja veekaitse tehnoloogiad peavad olema piisavalt tõhusad, et vähendada äravoolu ja mullakadu jätkusuutlikule tasemele, jäädes samal ajal majanduslikult mõistlikuks. Selliste tehnoloogiate rakendamine vajab kõigepealt erinevate mõjude kvalitatiivset hinnangut ning tehnoloogiate kohaldatavust aga samamoodi ka usaldusväärseid kvantitatiivseid andmeid, kuidas erinevaid tehnoloogiad äravoolu ja mullakadu mõjutavad. Mullakao puhul kasutatakse tehnoloogiate hindamiseks enim mullakao suhet ehk omavahel võrreldakse samade karakteristikutega põldusid, kus ühel juhul kasutatakse mulla ja vee kaitse tehnoloogiaid ja teise puhul mitte. Pinnase äravoolu suhet on püütud samamoodi rakendada, kuid fookus on üldjuhul jäänud

mullakao peale. Äravool ei ole saanud sarnast tähelepanu mullakaole, kuid vee kaitse põllul ja selle kättesaadavus taimedele (eriti kuivemates piirkondades) on ülioluline teema ning sellest tulenevalt eeldatakse, et mulla ja vee kaitse tehnoloogiate kasutamine, on ka äravoolu suhtes positiivne (Maetens et al., 2012).

Mulla ja veekaitse tehnoloogiate efektiivsust mõjutavad tugevalt ka keskkonnategurid, mille hulka kuuluvad maakasutus, küllastunud juhtivus (inglise keeles – *saturated conductivity*) ning tormide suurus aga samamoodi ka põllu kalde suurus (Maetens et al., 2012).

1.5 Otsekülvi eelised ja puudused

Praeguseks on laialt levinud teadmine, et otsekülv on hea viis erosiooni vähendamiseks, samas on järjest enam on tekkinud tõendeid, et otsekülv võib olla vähem efektiivne pindmise äravoolu ja efektiivsem pinnase erosiooni suhtes (Sun et al., 2015).

Otsekülvi puhul hakkavad tööle vastandlikud mehhanismid. Ühest küljest suurendab taimejääkide säilitamine mullapinna karedust, hoiab ära tugeva kooriku tekke ja tihenemise ning parandab poorsust, millega suureneb infiltratsioon ja väheneb äravool. Teisest küljest katkematu otsekülvi tehnoloogia kasutamine võib suurendada mulla lasuvustihedust (inglise keeles - *bulk density*) ja vähendada makro poorsust ning selles lähtuvalt võib väheneda imavus (inglise keeles - *sorptivity*) ja veejuhtivus (Sun et al., 2015).

Otsekülvi roll äravoolu vähendamisel eelnevates uurimustes varieerub suuresti, andes märku et otsekülvi efektiivsus võib sõltuda taimejääkide kogusest ja tüübist ja künni režiimist aga ka mulla tüübist ja kalde omadustest. Lisaks tuleb meeles pidada, et mulla omaduste väljakujunemine võtab, peale otsekülviga alustamist, mõned aastad aega. Kuigi mulla keemiliste ja biokeemiliste omadused paranevad, võib otsekülv muuta pinnase füüsilised omadused kehvemaks ning see võib tähendada, et äravool võib hakata aja möödudes taas suurenema (Sun et al., 2015).

Varasemalt Eestis ja ka muudes riikides läbi viidud uuringud on näidanud, et otsekülvi kasutamine parandab muldade omadusi suurendades eeskätt mulla pealmise kihi süsinikusisaldust ja seega ka viljakust. Teisest küljest on aga otsekülvitehnoloogia puuduseks umbrohtude, haiguste ja kahjurite laialdasem levik, kuna neid enam künni ega muude harimisvõtetega ei hävitata. Lahenduseks on laialdasem taimekaitsevahendite kasutamine, millega võib aga kaasneda taimekaitsevahendite jääkide suurem akumulatsioon mulda. 2013. aastal Põllumajandusuuringute Keskuse

Mullaseire büroo ja TTÜ Tartu Kolledži poolt läbi viidud uuringus selgus, et taimekaitsevahendite jääke oli enam otsekülvi põldude muldades ja enamlevinud toimeaineks oli trifluraliin (PMK Mullaseire büroo ja TTÜ Tartu Kolledž 2013).

1.6 Mõju keskkonnale

Magevesi moodustab maailma veevarudest 0,01% ning katab maa pinnast umbes 0,8%. Üle 10000 liigi (6% kõigist kirjeldatud liikidest) sõltuvad mageveest olemasolust. Siseveekogud ja magevee ökosüsteemid on osa väärtuslikust ressursist, mis toetavad nii majandust, kultuuri, esteetikat, teadust ja haridust. Magevee jätkusuutlik ja säästlik majandamine on oluline kõikidele inimestele rahvustele ja riikidele. Magevee ökosüsteemides toimub loodusliku mitmekesisuse vähenemine palju kiiremini, kui maismaa ökosüsteemides, kuna magevee ökosüsteeme ohustavad muuhulgas üleekspluateerimine, reostus, voolu muutmine, elupaikade hävimine ja võõrliigid. Magevee bioloogilise mitmekesisuse kaitse on väga keerukas, kuna arvesse tuleb võtta nt. eesvoolude kraavitus, kogu valgala maastik ja ka veekogu enda läbitavus (Dudgeon et al., 2006).

Puhas, reostamata vesi on erinevatele ökosüsteemidele hädavajalik. Saasteainetel Euroopa pinnaveekogudes on kahjulik mõju vee ökosüsteemidele ja tulemuseks on liigirikkuuse vähenemine, mis omakorda avaldab mõju ka inimeste tervisele. Saasteained jõuavad mageveesüsteemidesse põllumajandusest ja tööstustest, aga ka majapidamistest ning transpordi-sektorist, erinevates hajus-ja punkt-allikatest. Põllumajandus põhjustab laiaulatuslikke probleeme seoses toitainete kandumisega nii siseveekogudesse kui meredesse (EEA report, 2012).

1.6.1 Eutrofeerumine

Veekogude eutrofeerumise tulemusena suureneb veekogudes (fütoplankton ja makrofüütide taimestik, tarbija liikide) biomass, suureneb õisi-moodustavate vetikate osakaal, mis võivad olla mürgised, muutub liigiline koosseis ja mitmekesisus, väheneb vee läbipaistvus ja hapniku sisaldus ning muuhulgas väheneb ka esteetiline väärtus (Smith ja Schindler, 2009).

Eutrofeerumist võib pidada loomulikuks jääajajärgseks protsessiks, kuid inimtegevus on seda sadu kordi kiirendanud. Eutrofeerumine sõltub peamiselt sellest, kui palju satub veekogudesse veetaimedele elutegevuseks vajalikke toitaineid. Taimedel on küll kerge hankida süsinikku, mida nad saavad vees süsihappeks lahustunud süsihappegaasist aga

fosforit ja lämmastikku, mida neil tavaliselt puudu on, saadakse juurde põllumajandusest (Kasak et al., 2016).

Kui toitained on veekogudesse jõudnud, hakkavad vetikad seal pindmistes kihtides vohama, takistades valguse sattumist veekogu sügavamatesse kihtidesse ning vetikate suremisel tekivad nende lagunemisel veekogu põhjades hapnikuvaesed surnud põhjatsoonid, kus taimestik ja loomastik puudub (Kasak et al., 2016).

Pinnaveekogude eutrofeerumine on muutunud endeemiliseks globaalseks probleemiks. Toitainete kandumist veekogudesse põllumajandus-tegevuse tagajärjel peetakse põhiliseks probleemiks, kuid siiani on äärmiselt ebaselge, missuguseid vastumeetmeid tuleks põllumajandusettevõtetes rakendada, et pinnaveekogude kvaliteeti parandada (Withers et al., 2014).

Setted täidavad ojad, jõed, reservuaarid, järved ja kraavid ning viljakas muld veekogudes muutub probleemiks kuna setted tuleks eemaldada, et säilitada veekogude vee vastuvõtuvõime. Lisaks muutub veekogude vee kvaliteet halvemaks. Kui põldude äravool veekogudesse jõuab jääb kergem pinnas hõljuma, plokkides päikesevalgust seda vajavate hapniku tootvate taimede eest ning tumedam vesi soojeneb kiiremini, mis omakorda viib kalavarude vähenemisele (Lal et al., 2007).

1.6.2 Erosioon

Toitainete äravool, nii vee kui tuulega, põllumajandusmaadelt on jätkusuutliku põllumajanduse säilimise ja keskkonnakaitse seisukohalt suure tähtsusega. Toitainete äravoolul on nii objekti-põhised kui ka kaugeleulatuvad mõjud, mis puudutavad pinnase vee kättesaadavust aga ka toitainete ja biotsiidide kadu (Sun et al., 2015).

Tuuleerosioon ehk deflatsioon on kerge lõimisega kuiva pureda mulla ärakanne tuule poolt taimkatteta või nõrgalt taimestatud aladelt. Eriti tuuleerosioonioltlikud on suured lagedad põllumassiivid. Tuuleärakanne on süvenev protsess: mida rohkem mulda ära kantakse, seda süsinikuvaesemaks jääb muld ja seda väiksema vastupidavusega on struktuuriagregaadid; ühtlasi väheneb selle tulemusena mulla veehoiuvõime. Tuul kiirusega 4,5-6,7 meetrit sekundis suudab ära kanda kuni 0,25 mm läbimõduga liivaosakesi. Tuuleerosioon põhjustab (põllu)mulla viljakuse kirjusust. Selliste muldade ühtlasel väetamisel tekib põhjavee reostumise oht (Astover et al., 2012).

Mulla degradeerumine tähendab, lisaks kiirenenud erosioonile, ka süsiniku kadu, toitainete vähenemist, mulla tihenemist, hapestumist, reostumist ja sooldumist. Kuid kõige valdavam on vee erosioon, kus äravool põldudelt viib endaga kaasa pealmise

künnikihi, toitained, pestitsiidid ja orgaanilise materjali ning viib need veekogudesse, kus neist saavad saasteained (Lal et al., 2007).

Vee-erosiooni esineb Euroopas 115 miljonil hektaril ehk 12%-l kogupindalast. Maailmas on vee-erosioonist haaratud üle tuhande miljoni hektari. Eesti aladel on erosiooniohtlikke alasid 105 800 ha ehk 2,7%. Erosiooni tagajärjel tekkinud erodeeritud ja deluviaalmullad (5.5% Eesti haritavast maast) on laialt levinud Lõuna- ja Kagu-Eesti kuppelmaastikul. Neid nimetatakse eraldi erodeeritud muldadeks (Astover et al., 2012).

Põllumajandusuuringute Keskuse muldade erosiooni uuringus suurenes mullakadu Eesti 2014. aastal umbes 1,5 korda. Keskmise mullakadu maakasutuse järgi oli 0,0647 t/ha/a, kusjuures kõrgeima erosiooni intensiivsusega oli Võru maakond, mis moodustab ligi 13%, ja madalaimaga Hiiu maakond, 0,5% Eesti erosioonist tervikuna. Aastane mullakadu kokku oli 273526 tonni ning erosioonist moodustab mullakadu põllumajandusmaadelt 87% (PMK Mullaseire büroo ja TÜ geograafia Osakond 2014).

Vee-erosioon algab nn tilkerosioonist ehk vihmapiiskade lagundavast mõjust mullaagregaatidele. Edasi ummistavad peened mullaosakesed mullaagregaatidevahelisi poore ning halveneb vee imendumine mulda ja mulla õhutatus. Filtratsiooni halvenemine suurendab mullosakeste liikuvust kallakutel ja põhjustab edasist erosiooni (Astover et al., 2012).

Mulla erosioonil võib keskkonnale olla ebasoodne mõju sh. veekogude saastumine, orgaanilise asine kadu, vee hoiustamise võime vähenemine ning see põhjustab ka saagikuse vähenemist. Mulla erosiooni ulatust mõjutavad mitmed tegurid, milleks muuhulgas on reljeef, mulla tüüp, sadamete hulk, majandamis-tehnoloogiad. Kuigi mulla omadused ja reljeef muutuvad aastast aastasse suhteliselt vähe, võib sadamete hulk ja põllumajandustehnoloogiad varieeruda väga palju (Prasuhn, 2012).

Mullamassi edasikannet mullaharimise ja saagikoristusega nimetatakse tehnoloogiliseks ehk agrotehniliseks erosiooniks. Tehnoloogilisel erosioonil on looduslikelt küngastelt või järsakutelt mullaharimisriistadega osaliselt või täielikult ära kantud mulla huumushorisont ning maapinnale avanevad sügavamad mullakihid. Eesti avaldub see selgemini põlluks kasutatavate kupliliste alade lagedatel ja ka Kirde-Eestis langatunud ehk deformeerunud maapinnaga põlevkivikaevanduste järskudel servadel, kus mullaharimise käigus suur osa huumushorisondist pealt ära kantakse. Mulla huumusesisalduse ja –varu suure ebaühtluse tõttu on nende põldude viljakus muutunud väga kirjuks ja selliste muldade kasutamine põlluna on probleemne (Astover et al., 2012).

Nõustatakse, et mulda säästvate tehnoloogiate kasutamine on hea viis pinnase erosiooni vähendamiseks ning selle kohta on ka palju tõendeid kogunenud, kuid tulemused varieeruvad tugevalt, mis puudutab erinevate tehnoloogiliste võtete kvantitatiivseid mõjusid (Prasuhn, 2012).

Pinnase erosioon ja setete eksport jõgedesse ja järvedesse põhjustavad tõsiseid keskkonnaprobleeme. Pinnase erosioon mõjutab pöördumatult mulla kvaliteeti, mis omakorda vähendab põllumaade produktsiooni ja võib isegi viia põllumaade hülgamiseni. Tihtipeale on erodeeritud pinnases taimetoitained, mis kiirendavad looduslike veekogude eutrofeerumist (Palm et al., 2014).

Kuigi erosiooni suurus (inglise keelse - *rates of erosion*) sõltub mullatüübist, topograafiast, kliimast ning valdavate vihmade pikkusest ja intensiivsusest, näitavad korduvad uuringud erosiooni märgatavat vähenemist säästva maaharimise praktiseerimisel. Äravoolu ja erosiooni vähenemine võrreldes tavapõllumajandusega väheneb suurusjärgu võrra (Palm et al., 2014).

Fosfori ärakandumine põllumajandusmaadelt veekogudesse võib kiirendada eutrofeerumist ning põhjustada probleeme, kui veekogu kasutatakse rekreatsiooni, kalastuse või joogivee allikana. Künklike pinnavormidega maastikel on toimub fosfori kadumine keskkonda pinnavoolu kaudu. Tasasematel aladel on pinnaseäravoolul väiksem roll ning domineerima hakkab leostumine läbi mulla struktuuri, mis võib kaasa tuua põhjavee reostumise (Chardon ja Schoumans 2007).

Pinnase erosiooni põhjustab mitteimendunud vesi, mis voolab põldudelt ära. Pinnase erosiooni peetakse tihti vältimatuks põllumajandusega kaasnevaks fenomeniks ja vaatamata teaduslikele ja empiirilistele andmetele, mis erosiooni protsessi selgitavad on paljud veendunud, et pinnast tuleb tingimata kultiveerida, et suurendada pinnase imendumisvõimet. On arvatud, et mulla erosioon on põllumajanduses selle lahutamatu ja vältimatu osa. Tegemist on tõesti osaliselt korrektse väitega, sest erosioon on üks oluline osa mulla kui ökosüsteemi arenguprotsessist. Kuid tegelikult tuleb tõdeda, et erosiooni erinevaid mastaape arvestades on tegemist üsna küünilise väitega ja suuremahuline erosioon põllumajandusmaadel on sümptom pinnase ebaõigest kasutamisest ehk kasutatud on olustikule mittesobivad põllumajanduspraktikaid (Derpsch).

Pinnase äravool ja erosioon algavad vihmatilga kokkupuutest katmata mulla pinnaga. Selle kokkupõrke tulemusena muudavad vihmapiisad põllu pealmise kihi struktuuri, mille tulemusena ummistuvad pinnases olevad poorid ning tekib pinnasekiht, mis

takistab vee imendumist pinnasesse. Kuna pinnase ülemine kiht on muutunud vett pidavaks, siis väga väike kogus vihmavett imendub mulda ning suurem osa sellest voolab mööda põldu alla, tekitades erosiooni kahjustusi. Vett pidava kihi kuivamine toob kaasa pinnase paakumise, mis omakorda võib mõjutada idanemist. Kui aga mulla pind on kaetud kasvavate taimede või taimejääkidega, neelab taimne biomass vihmapiiskade energia ning vihmavesi saab mulda imenduda (Derpsch).

1.6.3 Mõju leevendamise meetmed

Eriti suur oht veereostuse tekkeks on künklikel aladel, kus maapind on suure kaldega, kuna sellisel juhul võib sademe- ja/või sulavesi toitaineid kanda veekogudesse eriti palju (Kasak et al., 2016).

Veekaitsemeetmeid põllumajanduses on mitmeid ning pigem tuleks meetmete hulgast rakendamiseks valida piirkonnale ja majandamisviisile kõige sobivam. Lisaks kohustuslikele meetmetele (väetamine ning silo, sõnniku ja mineraalväetiste hoidmine), mis on riigi tasemel reguleeritud, on lisaks mitmeid toetustega reguleeritud, ärilisel otstarbekaid ning ka vabatahtlikke meetmeid, mida rakendades on võimalik koormust vee ökosüsteemidele vähendada (Kasak et al., 2016).

Kohustuslike nõuete alla, mille täitmist nõutakse kõikidelt põllupidajatelt ja loomakasvatajatelt, kuulub ka väetamine. Üldiselt on väetiste kasutamine keelatud talveperioodil, lumega kaetud, külmunud, üleujutatud või veega küllastunud põllul, suure kaldega maapinnal ja veekaitsevööndis ning allikate ja karstihetrite läheduses. Sõnnikuga väetamisel tuleb jälgida ka lämmastiku- ja fosforinõudeid ning viia sõnnik kiirelt mulda (Kasak et al., 2016).

Toetuskeemidega on reguleeritud mahepõllumajandus ja keskkonnasõbraliku majandamise nõuded. Keskkonnasõbraliku majandamise peamiseks eesmärgiks on kaitsta mulda ja vett ning suurendada elurikkust. Kohustuste hulka kuuluvad muuhulgas ka koolitused, väetusplaan ja talvine taimkate 30% ulatuses (Kasak et al., 2016).

Äriliselt otstarbekate meetmete alla käib taimetoiteelementide bilansi arvutamine, mille eesmärgiks on väetamise optimeerimine, säästes kulusid ja loodust, samal ajal parandades saagi kvaliteeti. Ka vedelsõnniku integreerimine mulda, struktuurlupjamine ja seadedrenaažide rajamine on osa tegevusest, millega on võimalik tulusid-kulusid optimeerida. Miniharimise praktikad säästavad nii loodust kui raha, nõudes samas põllumehelt suuremat paindlikkust ning teadmisi ja kogemusi agronoomia vallas. Umbrohtude asemel saaks põhikultuuri kõrvale panna kasvama vahekultuurid, mis

suurendavad põllu tootlikkust, kaitsevad umbrohtude ning ka liigse päikesekiirguse eest ja aitavad niiskusraami tasakaalustada (Kasak et al., 2016).

1.7 Leovesi ja selle koostis

Väetiste kasutamine põllumajanduses on peaaegu vältimatu, kuid taimede poolt omastamata jäänud toitained kanduvad koos sademete ja sulaveega veekogudesse, mis tähendab, et taimedele vajalikud toitained on kadunud põldudel ja muutunud probleemiks ümbritsevas veekogudes. Põllule kantavast lämmastikust umbes kolmandik satub ümbritsevasse keskkonda. Fosfor seondub mullaosakestega paremini aga kandub siiski minema, kui mullaosake ise põllult minema kantakse (Kasak et al., 2016).

Vihmatoitelises põllumajanduses mängib mulla võime vett säilitada olulist rolli, eriti kuivades ja poolkuivades tingimustes. Infiltratsioon ja aurumine on tähtsaimad mulla poolt kontrollitud protsessid, mis määrab ära mulla vee koguse (Lampurlanés ja Cantero-Martinez).

Leostumine on lahustunud toitainete allapoole liikumine mullas perkoleerimis-veega. Toitained, mis on leostunud allapoole juurdumis tsooni on vähemalt ajutiselt süsteemist väljaviidud. Neid saavad ringlusesse tagasi tuua vaid sügavamale kasvavad taimejuured. Leostunud toitained võivad intensiivses põllumajanduspiirkonnas põhjavett saastada. Nitraatide leostumine on oluliseks mulla hapestumise allikaks (Lehmann et al., 2003).

Üldiselt eeldab olukord, kus vesi asub juurdumistsoonist allpool, et vee kogus ületab pinnase vastuvõtu piiri ja vee bilanss on positiivne, mis tähendab et vihmaga sadav vesi ja lisakastmine ületavad aurumise. Seetõttu on toitainete ladu läbi leostumise suurem niiskema kliimaga piirkondades. Teatud tüüpi muldade puhul aga võib vesi imbuda aluspinnasesse läbi vertikaalsete makropooride, kusjuures suurem osa pinnasest jääb kuivaks. Makropoore võivad tekitada nii taimejuured kui ka muu mullaelustik. Need makropoorid juhivad vett läbi pinnase ainult tugeva vihmajärgu või pideva lisakastmise tingimustes, teistes tingimustes täituvad need õhuga (Lehmann et al., 2003).

Põllumajandusuuringute Keskuse 2016. aastal läbiviidud Põllumajandusliku keskkonnatoetuse veeseire hindamise raames veekvaliteediga seotud uurimistöös, kus mõõdeti taimetoiteelementide kontsentratsiooni drenivees, tulemuseks leiti, et nitraatiooni aasta keskmine kontsentratsioon drenivees ulatus 20,8 mg/l mahepõllul, kuni 103,3 mg/l tavatootmis (ÜPT) põldudel ja 6,5-88,4 mg/l keskkonnasõbraliku

majandamise (KSM) põldudel. Kõigist KSM põldudelt kogutud dreniveeproovidest kuulus nitraatiooni sisalduse järgi heasse kvaliteediklassi 57%, keskmisesse 9% ja halba 34% proovidest, ÜPT põllul vastavalt 0; 7 ja 93% ning mahepõllul 85; 15 ja 0%. Dreenivee keskmine fosforisisaldus oli 0,07-0,13 mg/l. Võrreldes eelmise vegetatsiooniperioodi ja perioodi 2006-2013 keskmisega leostus 2016 aastal väga palju lämmastikku just taliviljapõldudelt. Kuna kultuuride väetamine nimetatud perioodidel on jäänud stabiilseks (vahemikus 85-110 kg/ha lämmastikku), siis selle elemendi leostumine sõltub rohkem meteoroloogilistest tingimustest ja põllutööde kvaliteedist. Lämmastikku leostus kõige vähem mahepõllult (4,1 kg/ha), KSM põldudelt 18,3 ja ÜPT põldudelt leostus 53,4 kg/ha (PMK Põllumajandusuuringute büroo 2016).

1.8 Mikro- ja makrotoitained

Taimetoiteelementideks nimetatakse keemilisi elemente, mis on vajalikud taime kasvamiseks ja arenguks ning millest ühtegi pole võimalik asendada talle omaste funktsioonide tõttu mõne teise keemilise elemendiga (Kanger et al. 2014).

Selleks, et taimed saaksid kasvada ja areneda, vajavad nad süsinikku, vesinikku ja hapniku, mida nad saavad õhust ja veest. Lisaks vajavad nad 13 esmatähtsat mineraalset elementi (toitainet), mida tavapäraselt saadakse mullast. Põhitoitaineteks on lämmastik, fosfor ja kaalium, sekundaarseteks väävel, kaltsium ja magneesium ning mikrotoitaineteks raud, mangaan, tsink, boor, vask, molübdeen ja kloor (Yara).

Mineraalsed toidained võivad erinevatel põhjustel muutuda taimedele kättesaadamatuks.

1) Äravool – lahustunud toitainete kadu läbi pinnast mööda liikuvat vett; 2) Erosioon – toitainete kadu, mis on kinnitunud mullaosadele, kui vesi või tuul pinnase põllult eemaldab; 3) Leostumine – lahustunud toitainete kadu, kui vesi nõrgub läbi pinnase põhjavette või drenidesse; 4) Gaasiline kadu atmosfääri – põhiline lämmastiku erinevate vormide kadu läbi lendumise ja denitrifikatsiooni; 5) Saagi eemaldamine – toidained eemaldatakse põllult koos saagiga (Minnesota 2005).

Toitainete ringes mulla orgaanilisel ainel keskne roll. Paljude taimetoitainete ringlus on seotud süsiniku ringega. Taimejäägid ja loomasõnnik viiakse tagasi mulda ning see orgaanilise aine varu süsiniku osadega muutub toiduks bakteritele, seentele ja teistele lagundajatele. Orgaaniline aine lagundatakse lihtsamateks osadeks, misjärel toidained muutuvad taimedele juurte kaudu kättesaadavaks ning kogu ring algab uuesti (Minnesota 2005).

Lämmastik

Keskkonnakaitselised ja majanduslikud probleemid on tõstnud esile vajaduse saada paremini aru lämmastiku rollist põllumajanduslikus kasutuses. Lämmastikväetiste kasutamine põllumajanduses võib olla majanduslikult tulutoov, kuid üleväetamine võib viia nitraatide (NO_3^- -N) leostumiseni põhja või pinnavette (Lamb et al., 2014).

Lämmastik võib olla mullasüsteemis mitmes eri vormis ning tema liikumine ühes teise on suhteliselt lihtne. Lämmastik satub ringesse mitmeid erinevaid teid pidi: Atmosfäärist (bioloogiline fikseerimine, atmosfääri fikseerimine, sadestumine); Mineraalväetistest; Mulla orgaanilisest ainest; Taimejääkidest; Sõnnikust (Lamb et al., 2014).

Kuigi atmosfäär on gaasilise lämmastiku (N_2) suurim reservuaar, on see suuremas osas taimedele kättesaamatu. Liblikõielised taimed on võimelised õhust lämmastikku fikseerima ja oma elutegevuseks kasutama sümbioosis taimede juurestikul elavate *Rhizobium* bakteritega. Lämmastik liigub pinnasesse, kui jätta liblikõieliste taimede jäägid peale saagikogumist põldudele lagunema (Lamb et al., 2014).

Lämmastikväetiste puhul kombineeritakse gaasiline lämmastik vesinikuga, et saada ammoniaak (NH_3), mis on baasiks lämmastikväetiste tootmisel (Lamb et al., 2014).

Pinnasest võib lämmastik kaduda leostumise, denitrifikatsiooni, aurustumise, kasvatatud kultuuride ning erosiooni ja äravooluga (Lamb et al., 2014).

Umbes 75% inimkonna tekitatud aktiivsest lämmastikust kulub põllumajanduse käigushoidmiseks. 70% sellest moodustab sünteetiliste lämmastikväetiste tootmine ja 30% on bioloogilise lämmastiku fikseerimise osa. Enamik agro-ökosüsteemi paisatud reaktiivest lämmastikust kulgeb piki kaskaadi (aktiivse lämmastiku muutumine ühest keemilisest elemendist teiseks ja selle kulgumine läbi biosfääri eri osade, tuues kaasa keskkonna muutuse); vaid suhteliselt väike osa denitrifitseerub. Peamine meede keskkonna säästmiseks on lämmastikukasutuse efektiivsuse tõstmine (Olli, 2010).

Antropogeense reaktiivse lämmastiku leke põhjaveete toimub peamiselt läbi agro-ökosüsteemi. Olulisemaks ühendiks on nitraat. Lämmastik kaob põhjaveest denitrifitseerudes ning reaktiive lämmastik liigub põhjaveest ka pinnavette allikate kaudu. Kõrgendatud nitraat põhjavees on terviserisk, kui seda vett joogiks kasutada. Inimese organismis muudetakse nitraat nitritiks. See põhjustab metahemoglobineemiat – takistab hemoglobiinil hapniku siduda. Lapsed ja neeruhaiged on eriti riskialtid. Teised terviseriskid on respiratoorsed nakkused ja vähk (Olli, 2010).

Pinnaveekogud (jõesed, ojad, järved veehoidlad, märgalad (sood, rabad)) saavad suurema osa reaktiivse lämmastiku voost valgalt ja/või atmosfäärist aga ka bioloogilise lämmastiku fikseerimise kaudu (sinivetikad järvedes). Reaktiivse lämmastiku akumulatsiooni potentsiaal pinnaveekogudes on väga väike. Sarnaselt vee viibeajale on ka reaktiivse lämmastiku viibeag väike. Setetes on viibeag pikem. Paljud järvede ja jõgede ülemjooksud on inimese poolt tugevalt mõjutatud ning liigselt reaktiivse lämmastikuga reostunud. See kiirendab eutrofeerumist, nii lokaalselt kui allavoolu jäävates veekogudes. Akumulatsiooni potentsiaal on madal, kuid kui reostus ühes kohas tekib, levib see kiiresti allavoolu teistesse süsteemidesse (Olli, 2010).

Rannikumere välised reaktiivse lämmastiku allikad on jõgede sissevool, põhjavesi ja atmosfäärne depositsioon. Väline koormus rannikumerre on inimtegevuse tagajärjel suurenenud kordades (Olli, 2010).

Fosfor

Fosfor on taimedele oluline element, mis on klassifitseeritud makrotoitaineks, kuna taimed vajavad seda suhteliselt suurtes kogustes ning ta on üks kolmest toitainest, midagi väetistesse lisatakse. Üks fosfori põhiroll taimedes on energia transportimine. Piisav fosfori kättesaadavus stimuleerib varajast tärkamist ja kiirendab kasvu (Busman et al., 2009).

Kuigi fosfor on looduses laialt levinud, ei leidu seda elemendi endana. Kuna fosfor on väga reageeriv, siis nii pinnases kui õhus on fosfor seotud hapnikuga ja esineb seal fosfaadina, mis on taimetele omastatav (Busman et al., 2009).

Suurem osa taimede poolt kasutatavast fosforist lisatakse orgaaniliste ühendite koosseisu ning kui taimejäägid pinnasesse jäävad, vabastatakse see orgaaniline fosfor kas anorgaanilise fosforina või lisandub see stabiilsema orgaanilise ühendina mulla koosseisu. Anorgaanilise fosfori vabanemist orgaanilisest, nimetatakse mineraliseerumiseks ning see toimub, kui mulla mikroorganismid lagundavad orgaanilisi ühendeid. Mikroorganismide tegevust mõjutab oluliselt pinnase temperatuur ja niiskustase ning kõige kiiremini toimub mineraliseerumine soojadel ja niisketel kuid hästi kuivendatud põldudel (Busman et al., 2009).

Algselt on fosfor väetistes küllalt hästi lahustuv ja kättesaadav. Suurem osa fosforväetistest toodetakse fosforit sisaldavatest kivimitest, misjärel seda töödeldakse hapetega, et muuta fosfor lahustuvaks. Kui fosforväetised puutuvad pinnasega kokku toimub mitmeid reaktsioone, mis muudavad fosfori vähem lahustuvaks ja vähem

kättesaadavaks. Nende reaktsioonide kiirus ja tulemused sõltuvad pinnase happelisusest, niiskustasemest, temperatuurist ja mineraalidest, mis juba on pinnases olemas (Busman et al., 2009).

Kaalium

Kaalium on kolmas baas-taimetoitaineline, mis on klassifitseeritud, kui makrotoitaineline, kuna taimed kaustavad kaaliumit oma eluajal suhteliselt palju (Kaiser et al., 2016).

Kaaliumit seostatakse vee, toitainete ja süsivesikute liikumisega taimekudedes ning ensüümide aktiveerimisega, mis mõjutavad proteiinide, tärklise ja adenosiintrifosfaatide tootmist. Kaalium aitab reguleerida ka õhulõhede tööd, mis omakorda reguleerib veeauru, hapniku ja süsinikdioksiidi vahetust taimes. Kaaliumi vähesus võib tähendada kasvu kängumist ja saagikuse langemist (Kaiser et al., 2016).

Kaalium esineb peamiselt kolmes vormis, mis jaguneb mittekasutatavaks, aeglaselt kasutatavaks ning kasutatavaks. Suurem osa (90-98%) kaaliumist pinnases on mulla mineraalide struktuuris ja ei ole taimedele kättesaadav (Kaiser et al., 2016).

Magneesium

Magneesium on taimekasvuks oluline toitelement ja on taimekudedes klorofüllil põhielemente. Magneesiumi on maapinnas suurtes kogustes ning seda esineb mitmete mineraalide koostises, muutudes taimedele kättesaadavaks, kui need mineraalid lagunevad. Magneesium üldjuhul ei leostu pinnasest välja (Kaiser et al., 2016).

Raud

Rauda on mullas rikkalikult, kuid suurem osa sellest on vormis, mida taimed ei suuda omastada. Raud on mikrotoitainena väikestes kogustes taimedele oluline, mis aitab kaasa klorofüllil arenemisele ja funktsioneerimisele ning osalev terve rea ensüümide ja proteiinide arenemises. Raual on roll ka hingamises, lämmastiku fikseerimises, energia liikumises ja metabolismis (Kaiser et al., 2016).

Ammoonium

Taimed omastavad lämmastikku kas ammooniumi või nitraadina. Ammoonium on mullas positiivse laenguga ning seetõttu hoiab teda paigal negatiivselt laetud muld ja mulla orgaaniline aine. See tähendab, et ammooniumi leostumist läbi mulla ei toimu ja see, mida taimede poolt ära ei tarbita liigub aineringses edasi (Lamb et al., 2014).

Kloriid

Kloriid lisati oluliste toiteelementide hulka hiljuti ning kuigi kloriid on klassifitseeritud kui mikrotoitainet, kasutavad taimed seda oma elutegevuseks palju. Kloriid koostöös kaaliumiga kontrollib taime õhu ja vee tasakaalu ning aitab kaasa fotosünteesi käigule. Avastatud on, et kloriid aitab ära hoida seenhaigusi, kuigi ei ole veel kindlaks tehtud, kuidas see toimub (Spectrum Analytic Inc).

Looduslikult lisandub kloriid pinnasesse vihma, mere piserduse (sea spray), ning tolmu ja õhusaastest. Pinnases esineb kloriid anioonina ja kuna ta ei moodusta komplekse ega liitu kergelt mulla komponentidega on kloriidi liikumine mullas mõjutatud tugevalt vee liikumistest (White ja Broadley 2001).

Suurem osa kloriidist on kergelt lahustuv ning enamjaolt on ta pinnasevees kergesti kättesaadav. Vihmarikastes piirkondades ja hästi drenitud põldudel võib kloriid välja leostuda (Spectrum Analytic Inc).

1.9 pH ja elektrijuhtivus

pH

pH on happelisuse või aluselise kvantitatiivne mõõde veelises või mõnes teises lahuses. Terminit kaustatakse laialdaselt keemias, bioloogias ja põllumajanduses ning see näitab vesinikuiooni kontsentratsiooni. Üldjuhul jäävad näitajad $1-10^{-4}$ gramm-ekvivalendi kohta liitris vahemikku. Puhtas vees on vesinikuiooni kontsentratsioon 10^{-7} gramm-ekvivalenti liitri kohta. Lahuseid, mille pH on väiksem, kui 7 nimetatakse happelisteks ja neid, mille pH on suurem nimetatakse aluselisteks (Editors of Encyclopædia Britannica 2017).

Mulla pH mõjutab mineraalide ja toitainete lahustuvust. Suurem osa (14-17-st) olulistest taimetoitainetest saadakse mullast ning enne, kui taimed saavad toitaineid kasutada, peab see olema mullas lahustunud. Paljud mineraalid ja toitained on paremini lahustuvad ja kättesaadavad happelistes muldades (Bickelhaupt, 2017).

Fosfor pole üldjuhul mullas kergesti lahustuv, kuid muldades, mille pH on umbes 6.5 on ta kõige kergemini kättesaadav. Väga happelistes muldades (pH 4.0-5.0) võivad olla väga kõrged kontsentratsioonid lahustunud alumiiniumit, rauda ja mangaani, mis võivad olla taimedele mürgised. Kõige parem pH vahemik jääb 6 ja 7 vahele, mis tähendab, et taimedele on enamus toitained kõige paremini kättesaadavad (Bickelhaupt, 2017).

Mullad võivad muutuda happeliseks erinevatel põhjustel: 1) vihmad leostavad välja baas ioonid (kaltsium, magneesium, kaalium ja naatrium); 2) süsinikdioksiid, mis tekib orgaanilise aine lagunemisel ja juur hingamisest, lahustub mullavees moodustades nõrga orgaanilise happe; 3) lagunev orgaaniline aine ning ammoonium ja väävel väetiste oksüdeerumine moodustavad lämmastik- ja väävelhappeid (Bickelhaupt, 2017).

Elektrijuhtivus

Mulla elektrijuhtivus näitab pinnase soolsust. See on oluline mulla tervise näitaja ning mõjutab viljakust, toitainete kättesaadavust, mulla mikroorganismide aktiivsust. Elektrijuhtivus ei mõõda küll konkreetseid ioone mullas, kuid on korrelatsioonis nitraatide, kaaliumi, naatriumi, kloori, sulfaatide ja ammooniumi kontsentratsiooniga (US Dep. of Agriculture).

1.10 Mullad

Leostunud mullad (Ko) on hea loodusliku drenaažiga parasniisked saviliiv- ja liivsavimullad, mis on kujunenud karbonaatsetel lähtekivimitel. Iseloomulik on struktuurne, vett ja õhku läbilaskev šokolaadipruun, hallikaspruun, punakaspruun või kollakaspruun metamorfne uhtehorisont, mis on savistunud, annab seega mullale taimekasvatuse seisukohalt väga head omadused. Leostunud saviliiv- ja liivsavimullad sobivad kõikide põllukultuuride kasvatamiseks ja on taimekasvatuse seisukohalt Eesti parimad. Viljakust soodustavad kultuurtaimede soodne reaktsioon, suhteliselt kõrge huumusesisaldus, suur vee-mahutavus ning head füüsikalise-keemilised omadused. Miinusteks peetakse peen- ja väikekivisuse kohatist esinemist, võimalikku niiskusdefitsiiti teatud kuudel, vähest toitainetesisaldust puuduliku väetamise korral ja kohatine (Pandivere) põhjavee halb kaitstus (Penu, 2006).

Leetjad mullad (Kl) on karbonaatsel lähtekivimil kujunenud mullad. Toiteelementide sisaldusega neil muldadel üldiselt probleeme ei ole, kuid täheldada võib mitmete mikroelementide (boor, mangaan) sisalduse vähenemist lessiveerumise suurenedes. Lõimiselt on need mullad enamasti kerged liivsavid, lähtekivimiks erinevad moreenid.

Leetjad mullad on väga produktiivsed ja sobivad kõigile põllukultuuridele. Oder, nisu ja kaer kasvavad väga hästi, põldhein ja kartul hästi. Viljakuse tingivad sobiv reaktsioon, optimaalne huumusesisaldus ning sõmerast struktuurist tingitud suur veemahutavus ja veeläbilaskvus. Leetjate muldade saagikus sõltub väetamisest, agrotehnikast ja vegetatsiooniperioode sademetest. Miinusteks peetakse kohatist toitainete puudust, leetjate liiv- ja savimuldade raskesti haritavust ja kohatist loodusliku dreanaži häiritust (Penu, 2006).

Kahkjad ehk näivleetunud mullad (LPg) on kujunenud lainjatele moreentasandikele, kus lähtekivimiks on peamiselt punakaspruun karbonaadi vaene liivsavimoreen, mille ülemine osa on mitmesugustest geoloogilistest ja mullatekkeprotsessidest tingituna kõrgema lõimisega. Näivleetunud põllumulla ülemised horisondid on tavaliselt nõrgalt happelise reaktsiooniga või neutraalsed, sest neid on mitu korda lubjatud, looduslikus olekus mullad happelised. Kultuurmaana kasutamise mõttes on need mullad üle keskmise viljakad. Väga hästi sobivad linale ja talirukkile. Pärast lupjamist sobivad enamikule põllukultuuridele. Näivleetunud muldadel kasvavad metsad on väga tootlikud. Miinusteks peetakse ajuti tekkivad ülavett, vähest huumuse- ja kaltsiumisisaldust, mullatihese tekke ohtu ja aeglast mullapunna tahenemist ja soojenemist kevadel.

Mulla mehaanilise koostise protsentuaalset jaotust, mille aluseks on füüsikalise savi (osakeste suurus <0,02 mm) sisaldus mullas, nimetatakse mulla lõimiseks. Mulla lõimis mõjutab huumuse teket ja sisaldust mullas. Liivmullad on madala viljakusega, toiteainete vaesed, väikese veemahutavusega ja suure veeläbilaskvusega. Sellised mullad soojenevad kiiresti, ei paaku ja neid on kerge harida. Orgaaniline aine laguneb kiiresti tänu heale õhutusele ning mineraalväetiste mõju on lühiajaline. Saviliivmullad on keskmise viljakusega, hästi õhustatud ning sobivad enamike kultuurtaimede kasvuks. Liivsavi-mullad on tänu soodsale vee- ja õhurežiimile taimekasvatuseks kõige optimaalsemad. Savimullad on taimetoitainetepoolt rikkad, kuid tihti liigniisked ja raskesti haritavad (Tamm).

1.11 Väetised

Lisatud väetised asendavad toitaineid, mis eemaldatakse põldudelt koos saagiga, kuid tihtipeale alahinnatakse väetiste rolli toidu tootmisel. Ilma väetisi lisamata väheneks saagikus märgatavalt. Kui väetamine lõpetada, väheneks saagikus Lääne-Euroopas 40-50% (Yara).

1.11.1 Mineraalsed väetised

Mineraalväetised hõlmavad kõiki väetusaineid, mida toodetakse väljaspool taime. Põhiliselt on mineraalväetised kaevandus- ja ehitus-tööstuse keemilised tooted. Mineraalväetisi jagatakse ühekomponendilisteks ja mitmekomponendilisteks väetisteks. Ühekomponendilised sisaldavad ühte peamist komponenti, võivad sisaldada ka ioone ja mikroelemente, ja liigitatakse kas lämmastik-, fosforhappe-, kaalium-, kaltsium- või magneesiumväetisteks. Mitmekomponendilised sisaldavad vähemalt kahe põhikomponenti ning võivad sisaldada kaasnevaid ioone ja mikroelemente. Toitainete järgi liigitatakse neid duaalseteks (sisaldavad kahe põhilist toitaineid – NP, NK, PK), täisväetisteks, väetisteks mikrotoitainetega ning väetisgrupiks mis sisaldab väävlit (Mendel University).

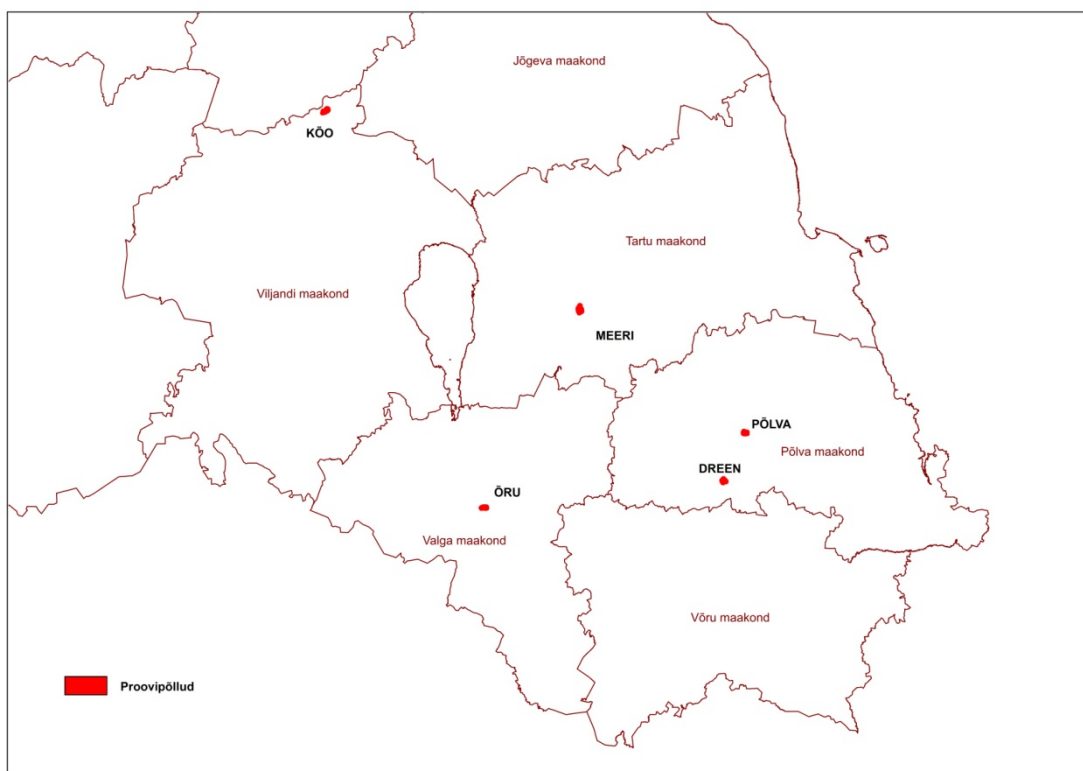
1.11.2 Orgaanilised väetised

Orgaanilised väetised võivad olla taimset, loomset või nende kahe segu päritolu. Sõnniku toitainete sisaldus sõltub selle päritolust, eriti tuleb tähelepanu pöörata loomaliigile, söödale ja hoiustamis-tingimustele. Lisaks toitainetele on sõnnik ka orgaanilise aine allikas, mis aitab mullastruktuuri parandada. Ainult osa toitainetest on sõnnikus taimedele koheselt kasutatav. Ülejäänud tuleb mikroorganismide poolt lagundada. Sõnnikus olevate toitainete efektiivsust mõjutab ka sõnniku laotamise aeg ja viis (Yara).

2 Materjal ja meetoodika

2.1 Proovivõttualad

Uurimistöö eesmärgiks oli võrrelda leovee keemilisi näitajaid otsekülvi ja künnipõldudel. Selleks valiti neli vastavat võrdlusala – kokku kaheksa põldu (Joonis 1). Proovipõldude valik on tehtud eelnevatel aastatel riikliku mullaelustiku seires olnud põldude järgi. Igal alal koguti juhuslikult valitud punktis umbes 100 ml mullaproovi. Proovid on võetud 22.04.2017, ühe päeva jooksul mulla pindmisest kihist 10-15 meetri kauguselt põllu servast.



Joonis 3. Proovipõldude asukohad

Kõo proovipõllud asuvad Viljandi maakonnas Kõo vallas. Otsekülvi põllu proovivõtu paigas on mullakaardi järgi liivsavi gleistunud leostunud muld ning proovivõtu piirkonnas kuivenduskraave ei ole. Künnipõllu proovivõtu kohas on liivsavi gleistunud rähkmuld, kuivenduskraave proovivõtu kohas ei ole ning proovivõtu ajal oli põld kündmata.

Meeri proovipõllud asuvad Tartu maakonnas Nõo vallas. Nii otsekülvi kui künnipõllu proovivõtukoahas on saviliiv kahkjast muld ning kuigi põllud asuvad suurema tee ääres, ei ole proovivõtu piirkonnas kuivenduskraave.

Õru proovipõllud asuvad Valga maakonnas Õru vallas. Nii otsekülvi kui künnipõllu proovivõtukoahas on saviliiv gleistunud kahkjast leetunud muld. Kahe põllu vahelt jookseb läbi kuivenduskraav.

Põlva proovipõllud asuvad Põlva maakonnas Põlva vallas. Otsekülvi põllu proovivõtu paigas on saviliiv gleistunud kahkjast muld ning künnipõllul on liivsavine kahkjast muld. Põldude ümber kuivenduskraave pole. Põlva vallast on võetud üks lisaproov (Põlva O+), mis on olnud pikalt proovipõldude nimekirjas, kuid mida ei ole mitmed aastad traditsioonilise otsekülvipõlluna majandatud. Lisapõllu proovivõtukoahas on saviliiv kahkjast muld.

Lisaks koguti kaks veeproovi, mis võeti nii otsekülvi kui künnipõllul dreeni kaevust, jooksvast veest, mis edasi liigub looduslikku oja. Dreeni vee keemiline koostis näitab otseselt mullast välja leostuvaid aineid ja elemente. Dreeniproovi põllud asuvad Põlva maakonnas Laheda vallas. Mõlemad põllud asuvad saviliiv gleistunud kahkjast leetunud muldadel.

Proovivõtu põldude täpsemad asukohad ja proovivõtu kohad on esitatud lisa 2.

2.2 Analüüsitavad ained ja elemendid

Kogutud mulla ja veeproovide analüüsid tehti TTÜ Tartu Kolledži laboris. Analüüsitavateks aineteks on peamised olulised taimetoitained (lämmastik, fosfor, kaalium) ning üldised toitainete kättesaadavust näitavad näitajad (pH, elektrijuhtivus ja keemiline hapnikutarve) lisaks keskkonnale ohtlikud ained.

2.3 Analüüside tehniline kirjeldus

pH ja elektrijuhtivus

pH mõõtmised teostati WTW Multimeetri Multi 340i ja elektroodiga SenTix41, mille

pH määramisvahemik on 0-14 ja temperatuuri vahemik 0-80 °C. Elektri juhtivust mõõdeti elektroodiga TetraCon 325, mõõtevahemikuga 1microS/cm - 2S/cm ja temperatuurivahemikuga -5- 80 °C.

Ammoonium

Täpsusaste: $\pm 0.5 \text{ mg/l} \pm 5\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 420 nm

Meetod: ASTM juhendi vee ja keskkonna tehnoloogia adaptatsioon, D1426, Nessleri meetod

Protseduur: 1) Kasutada Ammoonium HR meetodit; 2) Kasutades 1 ml süstalt, lisada 1 ml reageerimata proovi küvetti; 3) Kasutada pipetti ja täita küvett HI93733B-0 ammooniumi High Range reaktiiv B-ga kuni 10 ml märgini. Asetada peale kork ja segada lahus; 4) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 5) Vajutada „Zero“ nappu. Ekraan kuvab „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja mõõtmiseks valmis; 6) Eemaldada küvett adapterist; 7) Lisada 4 tilka HI93733A-0 ammooniumi High Range reaktiiv A-d. Asetada peale kork ja keerutada lahtust; 8) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 9) Vajutada nappu „Timer“ ning ekraan loendab aega kuni mõõtmiseni. Kui taimer on lõpetanud, toimub mõõtmine. Ekraan näitab tulemuse ammoonium nitraadi ($\text{NH}_3\text{-N}$) sisalduse mg/l; 10) Vajutades noolenuppe kuvab ekraan „Chem Frm“ funktsiooni, kus lugeda ammoniaagi (NH_3) ja ammooniumi (NH_4^+) tulemid.

Keemiline hapnikutarve

Täpsusaste: $\pm 150 \text{ mg/l}$ või $\pm 2\%$ 25 °C juures, kumb näitaja on suurem

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 610 nm

Meetod: USEPA 410.4 heaks kiidetud meetod keemilise hapnikutarbe mõõtmiseks pinna- ja heitvees adaptatsioon.

Protseduur: 1) Valida homogeenne proov. Proovid, mis sisaldavad tahkiseid, mis võivad sadestuda, tuleb segistiga ühtlustada; 2) Eelsoojenda HANNA® reaktor HI839800 150°C-ni; 3) Eemaldada kork kahel HI93754C-0 High Range reaktiivi viaalil; 4) Lisada 0,2 ml deioniseeritud vett esimesse viaali ja 0,2 ml proovilahust teise viaali, hoides viaale samal ajal 45 kraadise nurga all. Asetada kork tagasi ja pöörata proove mitu

korda pahupidi, et näidised seguneksid; 5) Asetada viaalid reaktorisse ja soojendada neid 2 tundi 150 kraadi juures; 6) Pärast ettenähtud soojendusaja lõppu lülitada reaktor välja. Oodata 20 minutit, et viaalide temperatuur langeks umbes 120 kraadini; 7) Pöörata sooje proove minu korda pahupidi ja asetada need tagasi raamistikule; 8) Lasta proovidel jahtuda toatemperatuurile. Mitte loksuta ega pöörata proove pahupidi, kuna need võivad muutuda sogaseks; 9) Valida mõõtmiseks COD HR (16) meetod; 10) Asetada 16 mm viaalid adapterisse; 11) Asetada esimene proov (deioniseeritud veega) adapterisse; 12) Vajutada „Zero“ nuppu. Ekraanile kuvatakse „-0.0-“, kui masin on mõõtmiseks valmis; 13) Eemaldada viaal; 14) Asetada teine proov (proovilahusega proov) adapterisse; 14) Vajutada „Read“ nuppu, et alustada mõõtmist. Ekraanil kuvatakse tulemuseks hapniku (O₂) mg/l.

Nitritid

Täpsusaste: ± 4 mg/l või ± 4% 25 °C juures

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 575 nm

Meetod: Raudsulfaatheptahüdraat meetodi adaptatsioon.

Protseduur: 1) Valida „Nitrite HR“ meetod; 2) Täita küvett 10 ml määrgini reageerimata prooviga ja sulgeda kork; 3) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 4) Vajutada „Zero“ nuppu. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja mõõtmiseks valmis; 5) Eemaldada küvett; 6) Lisada üks pakk HI93708-0 nitriti High Range reaktiivi. Sulgeda kork ja loksutada õrnalt, kuni kõik on ühtlaselt lahustunud; 6) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 7) Vajutada nuppu „Timer“ ning ekraan loendab aega kuni mõõtmiseni. Kui taimer on lõpetanud, toimub mõõtmine. Ekraan näitab tulemuse nitriti (NO²⁻) sisalduse mg/l; 8) Vajutades noolenuppe kuvab ekraan „Chem Frm“ funktsiooni, kus lugeda nitrit-lämmastiku (NO²⁻-N) ja naatriumnitriti (NaNO₂) tulemid mg/l.

Lämmastik

Täpsusaste: ± 3 mg/l või ± 4% 25 °C juures, kumb näitaja on suurem

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 420 nm

Meetod: Kromotroophappe meetod

Protseduur: 1) Eelsoojenda HANNA® reaktor Hi839800 105°C-ni; 2) Eemaldada kork kahelt HI93767B-B kogulämmastiku High Range Digestion viaalilt; 3) Lisada mõlemasse viaali pakk PERSULFATE/N, kaaliumpesulfaati; 4) Lisada 0,5 ml deioniseeritud vett esimesse viaali ja 0,5 ml proovilahust teise viaali, hoides viaale samal ajal 45 kraadise nurga all; 5) Asetada peale kork ja loksutada tugevalt umbes 30 sekundit, kuni lisatud pulber on täielikult segunenud; 6) Asetada viaalid reaktorisse ja kuumutada 30 minutit 105 kraadi juures (kõige täpsemate tulemuste saamiseks eemaldada viaalid reaktoris, pärast 30 minutit); 7) Asetada viaalid raamile ja lasta jahtuda toatemperatuurini; 8) Valida Nitrogen Total HR (16) meetod; 9) Asetada 16 mm viaal adapterisse, 10) Eemaldada korkid ja lisada üks pakk BISULFITE/N, naatrummetabisulfiit mõlemasse viaali. Asetada peale kork ja loksutada õrnalt 15 sekundit; 11) Vajutada „Timer“ nuppu ja ekraan loendab aega kuni HI93767-0 lisamiseni; 12) Eemaldada kork viaalidelt ning lisada üks pakk HI93767-0 reaktiivi mõlemasse viaali. Sulgeda kork ja loksutada nõrgalt 15 sekundit; 13) Vajutada „Continue“ ning ekraan näitab aega mõõtmiseni; 14) Eemaldada kork kahelt HI93766V-OHR kogulämmastiku High Range reaktiivi viaalilt; 15) Lisada 2 ml reageerinud nullproov reaktiivi esimesse viaali ja 2 ml proovi lahust teise vaali, hoides viaale samal ajal 45 kraadise nurga all; 16) Sulgeda kork tihedalt ja pöörata viaale 10 korda tagurpidi; 17) Asetada esimene viaal adapterisse; 18) Vajutada „Continue“ ning ekraan loendab aega mõõtmiseni; 19) Vajutada „Zero“ nuppu. Ekraanile ilmub „-0.0-“; 20) Eemaldada viaal adapterist; 21) Asetada teine viaal adapterisse; 22) Vajutada „Read“ nuppu. Ekraan näitab tulemuseks lämmastiku (N) mg/l; 23) Vajutades noolenuppe kuvab ekraan „Chem Frm“ funktsiooni, kus saab lugeda tulemused ammoniaagi (NH₃) ja nitraadi (NO₃⁻) kohta.

Fosfor

Täpsusaste: ± 0.5 mg/l või ± 4% 25 °C juures, kumb näitaja on suurem

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 420 nm

Meetod: Vee ja heitvee uurimise standard meetodi adaptatsioon, 20. väljaanne, 4500-P C, vanadomolübdofosfor-happe meetod.

Protseduur: 1) Valida Phosphorus React. HR (16) meetod; 2) Asetada 16 mm viaal adapterisse; 3) Eemaldada kork kahelt HI93763A-0 fosfori Reactive High Range

reaktiivivi viaalilt; 4) Lisada 5 ml deioniseeritud vett esimesse viaali ja 5 ml proovi teise viaali, hoides viaale samal ajal 45 kraadise nurga all; 5) Asetada kork tagasi ja pöörata segusid mitu korda, et proovid seguneks; 6) Asetada esimene viaal adapterisse ja suruda see täielikult alla; 7) Vajutada „Timer“ nuppu ja ekraan loendab aega kuni mõõtmiseni, siis vajuta „Zero“ nuppu. Ekraan näitab „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmis uueks mõõtmiseks; 8) Eemaldada esimene viaal adapterist; 9) Asetada teine viaal adapterisse; 10) Vajutada „Read“ nuppu, et alustada mõõtmist. Ekraanil kuvatakse fosfori (F) tulemused mg/l; 11) Vajutades noolenuppe kuvab ekraan „Chem Frm“ funktsiooni, kus lugeda fosfaadi (PO_4^{3-}) ja fosforpentoksüüdi (P_2O_5) tulemused.

Üld-fosfor

Täpsusaste: ± 0.5 mg/l või $\pm 5\%$ 25 °C juures, kumb näitaja on suurem

Valgusallikas: LED kitsaribalise häiringufiltriga @ 420 nm

Meetod: Vee ja heitvee uurimise standard meetodi adaptatsioon, 20. väljaanne, 4500-P C, vanadomolübdofosfor-happe meetod.

Protseduur: 1) Eelsoojendada HANNA® reaktor Hi839800 105°C-ni; 2) Eemaldada korgid kahelt HI93758V-OHR Fosfori reaktiivi viaalilt; 3) Lisada 5 ml deioniseeritud vett esimesse viaali ja 5 ml proovi teise viaali, hoides viaale samal-ajal 45 kraadise nurga all; 4) Lisada pakk PERFSULFATE/P Kaalimunpersulfaati mõlemasse viaali. Asetada peale kork ja loksutada õrnalt kuni pulber on täielikult lahustunud; 5) Asetada viaalid reaktorisse ja kuumutada neid 30 minutit 150 kraadi juures; 6) Eemaldada viaalid rektorist ja lasta jahtuda toatemperatuurile; 7) Valida „Phosphorus Total HR (16)“ meetod; 8) Asetada 16 mm viaalid adapterisse; 9) Eemaldada viaalidelt korgid ja lisada 2.0 ml HI93758C-0 NaOH lahust mõlemasse viaali, hoides neid samal-ajal 45 kraadise nurga all. Asetada peale kork ja pöörata viaale mitu korda, et sisu seguneks; 10) Eemaldada kork ja lisada 0.5 ml HI93763B-0 üld-fosfori High Range reaktiiv B-d mõlemasse viaali, hoides neid samal ajal 45 kraadise nurga all. Asetada peale kork ja keerata viaale mitu korda, et sisu seguneks; 11) Asetada esimene (ilma proovita) viaal adapterisse; 12) Vajutada „Timer“ nuppu ning ekraanil loendatakse aega mõõtmiseni, siis vajutada „Zero“. Ekraan näitab „-0.0-“, kui masin on mõõtmiseks valmis; 13) Eemaldada viaal; 14) Asetada teine (prooviga) viaal adapterisse; 15) Vajutada „Read“ nuppu. Ekraanil kuvatakse fosfori (F) tulemused mg/l.

Kaltsium

Täpsusaste: $\pm 10 \text{ mg/l} \pm 5\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 466 nm

Meetod: Oksalaat meetodi adaptatsioon

Protseduur: 1) Valida „Calcium“ meetod; 2) Kasutades 5 ml süstalt lisada täpselt 3.00 ml proovi küvetti; 3) Kaustada pipetti ja täita küvett 10 ml märgini HI 93752A-0 Kaltsiumi puhver reaktiiviga; 4) Lisada 4 tilka puhver reaktiivi; 5) Asetada peale kork ja pöörata küvetti mitu korda, et sisu seguneks; 6) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 7) Vajutada „Zero“ nappu. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja mõõtmiseks valmis; 8) Eemaldada küvett; 9) Kasutades 1 ml süstalt lisada täpselt 1 ml HI 93752B-0 kaltsiumoksalaat reaktiivi. Asetada peale kork ja pöörata küvetti 10 korda (umbes 15 sekundit), et sisu seguneks; 10) Vajutada „Timer“ nappu või oodata 5 minutit. Seejärel pöörata küvetti uuesti 10 korda (umbes 15 sekundit); 11) Asetada küvett uuesti adapterisse; 12) Vajutada „Read“ nappu mõõtmiseks. Ekraanil kuvatakse kaltsiumi tulemused mg/l.

Magneesium

Täpsusaste: $\pm 5 \text{ mg/l} \pm 3\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 466 nm

Meetod: „Calmagite“ meetodi adaptatsioon

Protseduur: 1) Valida „Magnesium“ meetod; 2) Kasutades 1 ml süstalt lisada täpselt 1.00 ml HI 92752A-0 Mg puhver reaktiivi küvetti ja kasutada pipetti, et täita küvett 10 ML märgini HI 93752B-0 indikaator reaktiiviga; 3) Asetada peale kork ja pöörata mitu korda sisu segunemiseks; 4) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 5) Vajutada „Zero“ nappu. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmiks mõõtmiseks; 6) Eemaldada küvett; 7) Kasutades teist 1 ml süstalt lisada küvetti täpselt 0.5 ml proovi; 8) Asetada peale kork pöörata mitu korda, et sisu seguneks; 9) Asetada küvett uuesti adapterisse; 10) Vajutada „Timer“ nappu ja ekraanil loendatakse aega mõõtmiseni; 11) Ekraanil kuvatakse magneesiumi (Mg^{2+}) tulemused mg/l.

Raud

Täpsusaste: $\pm 0.04 \text{ mg/l} \pm 2\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 525 nm

Meetod: EPA fenantroliinkompleksi meetodi 315B adaptatsioon, vee ja hetivee jaoks

Protseduur: 1) Valida „Iron HR“ meetod; 2) Täita küvett 10 ml reageerimata prooviga ja asetada peale kork; 3) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 4) Vajutada „Zero“ nupp. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmis mõõtmiseks; 5) Eemaldada küvett ja lisada HI 93721-0 reaktiivi pakendi sisu. Asetada peale kork ja raputada kuni sisu on täielikult segunenud; 6) Asetada küvett adapterisse; 7) Vajutada „Timer“ nupp ning ekraanil loendatakse aega mõõtmiseni; 8) Ekraanil kuvatakse raua kontsentratsioon mg/l.

Sulfaadid

Täpsusaste: $\pm 5 \text{ mg/l} \pm 3\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 525 nm

Meetod: Sulfaadid sadestatakse baarikumkloriidi kristallidega. Mõõdetakse lahuse valgusneelavust.

Protseduur: 1) Valida „Sulfate“ meetod; 2) Täita küvett 10 ml määrgini reageerimata prooviga ja asetada peale kork; 3) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 4) Vajutada „Zero“ nupp. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmis mõõtmiseks; 5) Eemaldada küvett; 6) Lisada HI 93751-0 reaktiivi paki sisu; 7) Asetada peale kork ja pöörata küvetti õrnalt 1 minut (umbes 30 pööret); 8) Asetada küvett tagasi adapterisse; 9) Vajutada „Timer“ nupp ning ekraan loendatakse aega mõõtmiseni; 10) Ekraanil kuvatakse sulfaatide (SO_4^{2-}) kontsentratsioon mg/l.

Kaalium

Täpsusaste: $\pm 30 \text{ mg/l} \pm 7\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 610 nm

Meetod: Turbidimeetria tetrafenüülboraadi meetodi adaptatsioon. Kaaliumi ja reaktiivi vaheline reaktsioon tekitab proovis hägususe.

Protseduur: 1) Valida „Potassium HR“ meetod; 2) Täita küvett 10 ml märgini prooviga; 3) Lisada 6 tilka HI 93750A-0, asetada peale kork ja keerutada lahust; 4) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 5) Vajutada „Zero“ nuppu. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmis mõõtmiseks; 6) Eemaldada küvett ja lisada HI 93750B-0 paki sisu. Asetada peale kork ja pöörata õrnalt küvetti ühe minuti jooksul; 7) Asetada küvett adapterisse; 8) Vajutada „Timer“ nuppu ning ekraanil kuvatakse aega mõõtmiseni. Teostatakse mõõtmine ja ekraanil kuvatakse kaaliumi tulemused mg/l (ppm).

Kloriid

Täpsusaste: $\pm 0.03 \text{ mg/l} \pm 3\%$ 25 °C juures

Valgusallikas: Volframi lamp kitsaribalise häiringufiltriga @ 610 nm

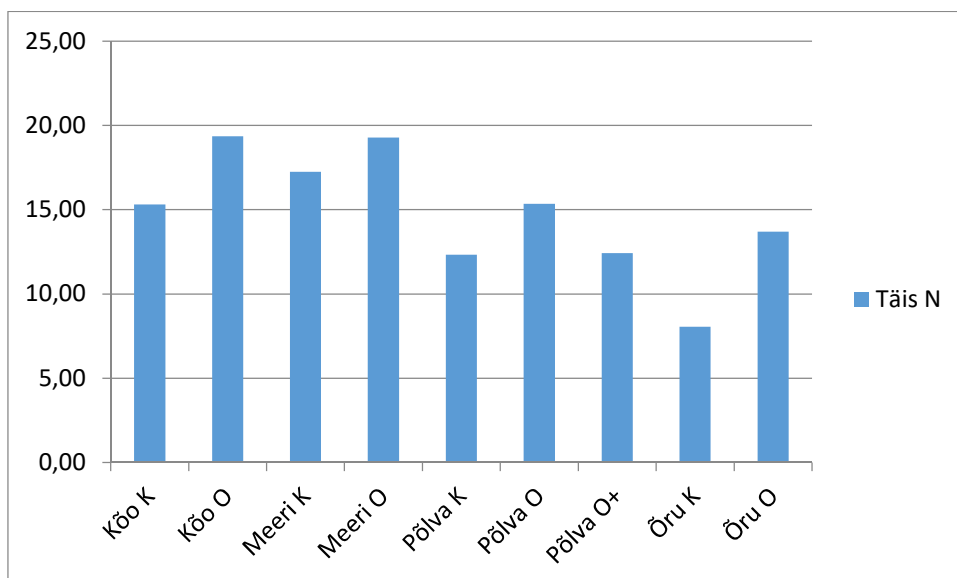
Meetod: EPA DPD meetodi 330.5 adaptatsioon. Kloriidi ja DPD reaktiivi vaheline reaktsioon põhjustab proovi roosakaks värvumise.

Protseduur: 1) Valida „Total Chlorine“ meetod; 2) Täita küvett 10 ML märgini reageerimata prooviga ja asetada peale kork; 3) Asetada küvett adapterisse ja sulgeda kaas; 4) Vajutada „Zero“ nuppu. Ekraanil kuvatakse „-0.0-“, kui mõõdik on nullitud ja valmis mõõtmiseks; 5) Eemaldada küvett; 6) Lisada 1 pakk HI 93711 DPD reaktiivi. Asetada peale kork ja raputada õrnalt 20 sekundit; 7) Asetada küvett adapterisse; 8) Vajutada „Timer“ nuppu ning ekraanil loendatakse aega mõõtmiseni. Toimub mõõtmine ja kuvatakse kloriidi tulemused mg/l.

3 Tulemused

Analüüside tulemused olid läbivalt suhteliselt ebaühtlased ning väga silmatorkavaid mustreid välja ei joonistunud. Üldjuhul ainete ja elementide kontsentratsioonid ei näidanud selgeid erinevusi otsekülvi- ja künnipõldude vahel. Ainete ja elementide kontsentratsioonide poolest erinesid teistes põldudest oluliselt Meeri ja Õru künnipõllud. Meeri künnipõllul on kõige kõrgemad tulemused ammooniumi, kaltsiumi, kloriidi, raua aga ka nitritite ja sulfaatide osas. Õru künnipõld on kõige madalamate näitajatega ammooniumi, magneesiumi, raua, kaaliumi, üld-lämmastiku ja –fosfori ning nitraatide, nitritite ja sulfaatide osas kuid on kõrge keemilise hapnikutarbe näitajatega.

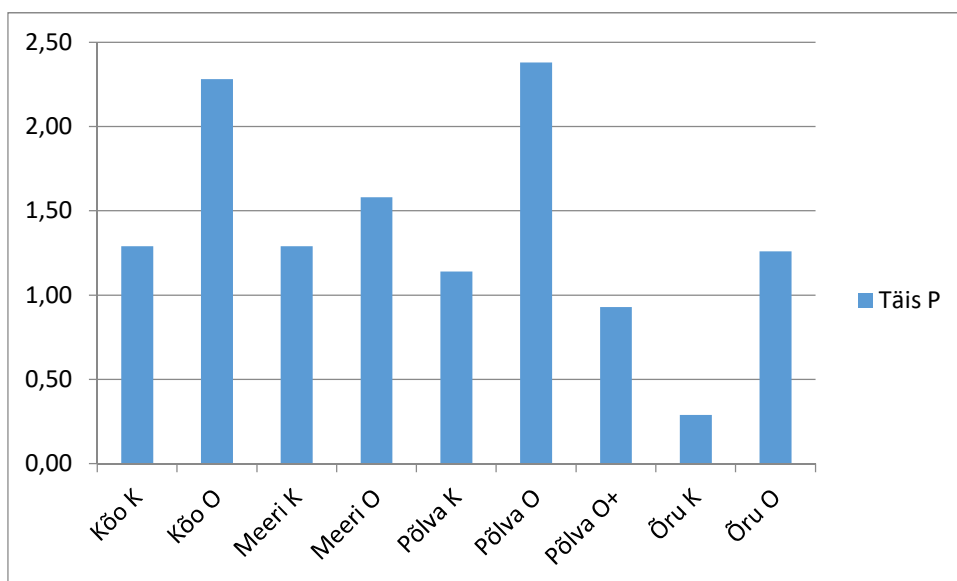
3.1 Üld-lämmastik



Joonis 4. Üld-lämmastiku (N) mõõtmise tulemused.

Kõrgeim kontsentratsioon (19,35 mg/l) on Kõo otsekülvi põllul ja madalaim (8,06 mg/l) Õru künnipõllul. Keskmine kontsentratsioon proovipõldudel on 14,78 mg/l. Üld-lämmastiku mõõtmistulemused näitavad selgelt, et künnipõldude lämmastiku kontsentratsioon on läbivalt madalam, kui otsekülvipõldude oma.

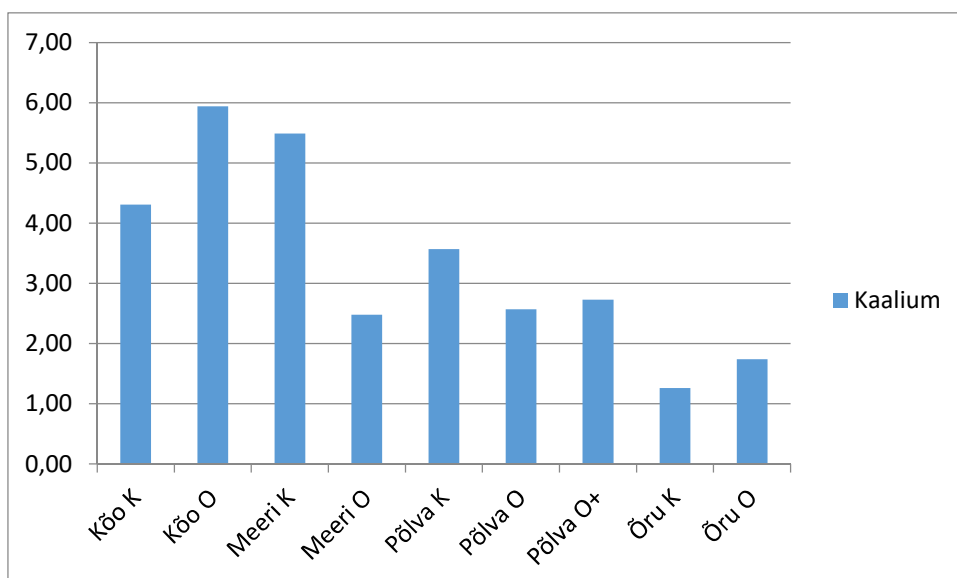
3.2 Üld-fosfor



Joonis 5. Üld-fosfori (P) mõõtmistulemused.

Kõrgeim kontsentratsioon (2,38 mg/l) on Põlva otsekülvi põllul ja madalaim (0,29 mg/l) Öru künnipõllul. Keskmise kontsentratsioon proovipõldudel on 1,38 mg/l. Üld-fosfori mõõtmistulemused näitavad selgelt, et künnipõldude fosfori kontsentratsioon on läbivalt madalam, kui otsekülvipõldude oma.

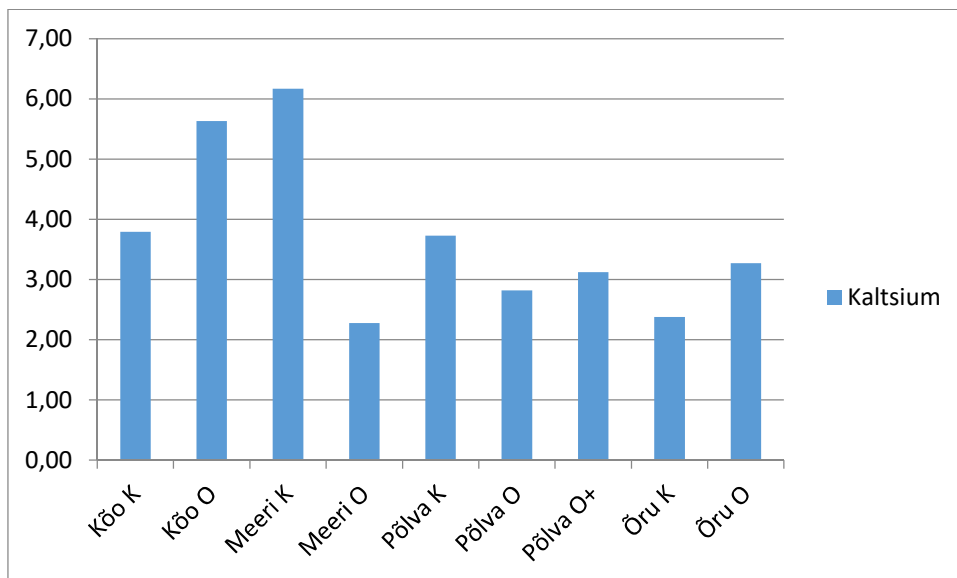
3.3 Kaalium



Joonis 6. Kaaliumi (K) mõõtmistulemused.

Kõrgeim kaaliumi kontsentratsioon (5,94) on Kõo otsekülvi ning madalaim (1,26) Öru künnipõllul. Keskmise kaaliumi kontsentratsioon on 3,34 mg/l.

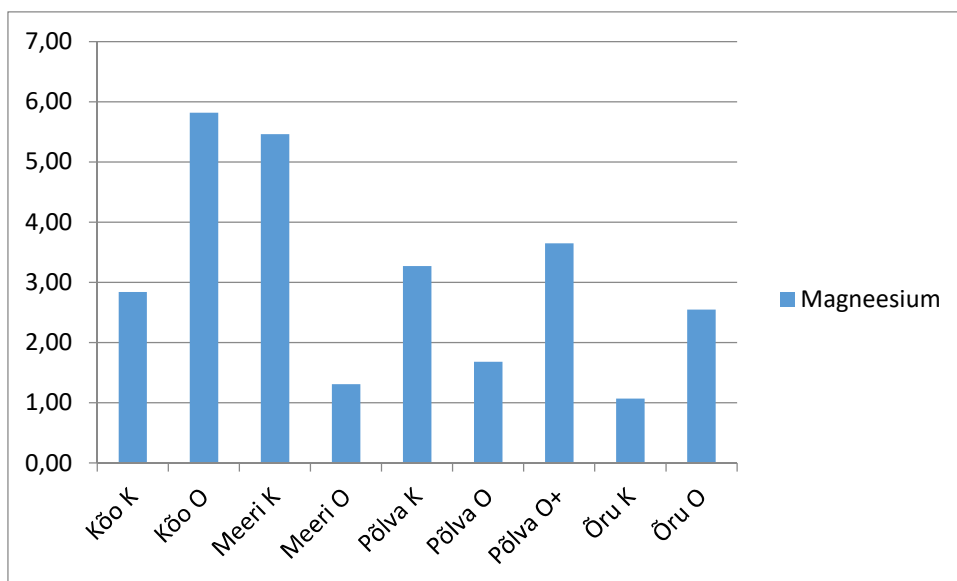
3.4 Kaltsium



Joonis 7. Kaltsiumi (Ca^{2+}) mõõtmistulemused.

Kõrgeim kaltsiumi kontsentratsioon (6,17 mg/l) on Meeri künnipõllul ja madalaim (2,28 mg/l) Meeri otsekülvipõllul. Keskmise kaltsiumi kontsentratsioon on 3,69 mg/l.

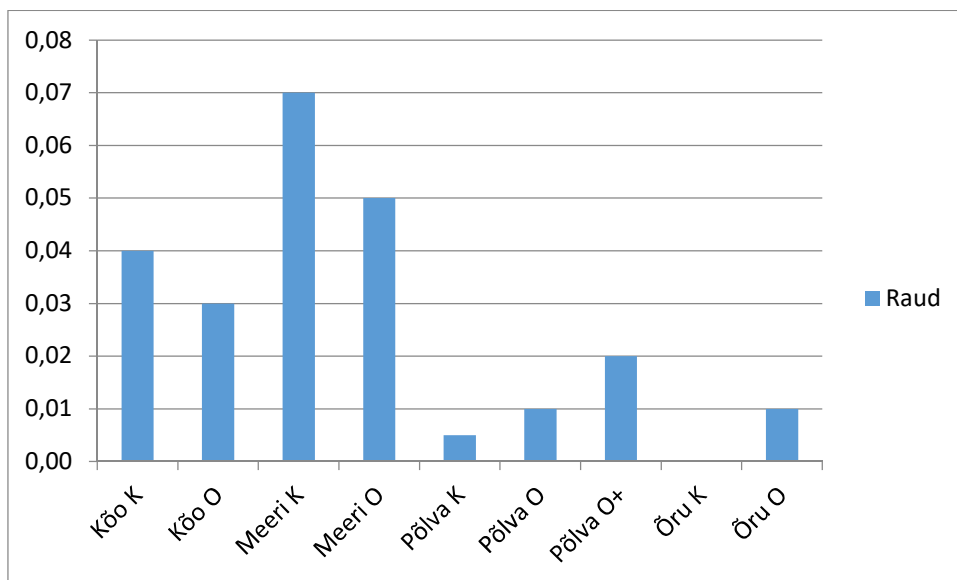
3.5 Magneesium



Joonis 8. Magneesiumi (Mg^{2+}) mõõtmistulemused.

Kõrgeim magneesiumi kontsentratsioon (5,82 mg/l) on Kõo otsekülvi põllul ja madalaim (1,07 mg/l) Õru künnipõllul. Keskmise magneesiumi kontsentratsioon on 3,07 mg/l.

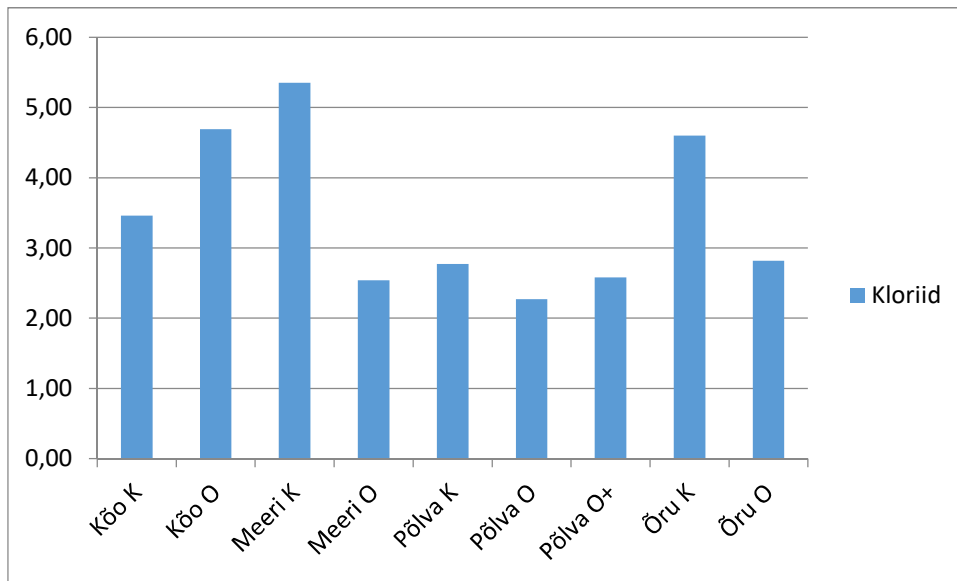
3.6 Raud



Joonis 9. Rauda (Fe) mõõtmistulemused.

Kõrgeim raua kontsentratsioon (0,07 mg/l) on Meeri künnipõllul ja madalaim Õru künnipõllul, kus tasemed jäid nii madalaks, et neid ei olnud võimalik mõõta. Keskmise raua kontsentratsioon on 0,03 mg/l.

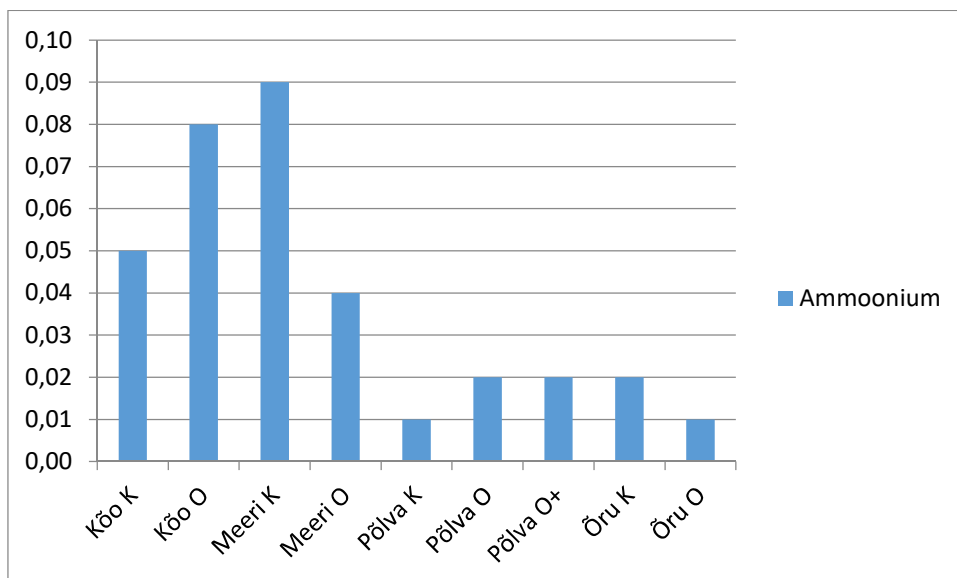
3.7 Kloriid



Joonis 10. Kloriidi (Cl⁻) mõõtmistulemused.

Kõrgeim kloriidi kontsentratsioon (5,35 mg/l) on Meeri künnipõllul ja madalaim (2,27 mg/l) Põlva otsekülvipõllul. Keskmise kloriidi kontsentratsioon on 3,45 mg/l.

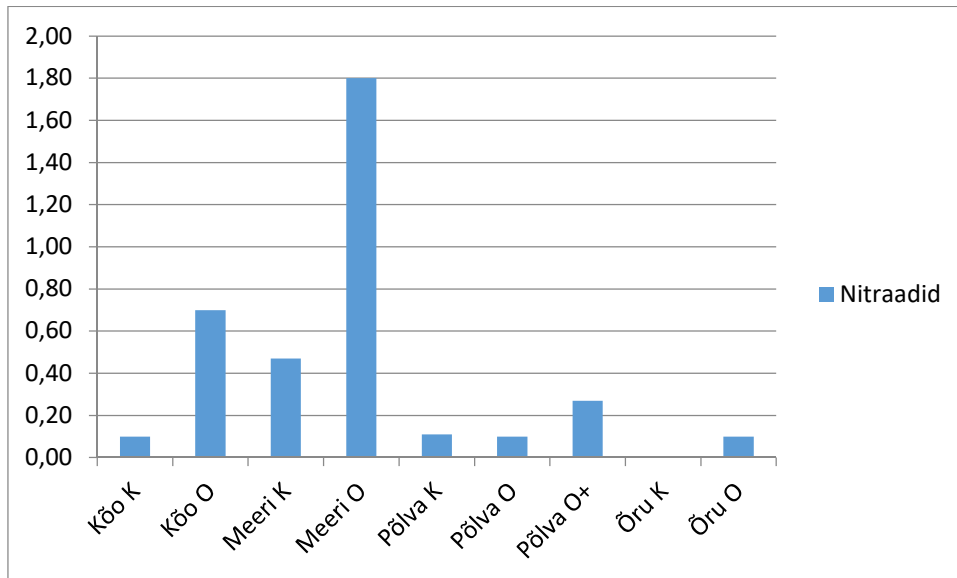
3.8 Ammoonium



Joonis 11. Ammooniumi (NH₄⁺) mõõtmistulemused.

Kõrgeim ammooniumi kontsentratsioon (0,09 mg/l) on Meeri künnipõllul ning madalaim (0,01 mg/l) Põlva künni- ja Õru otsekülvi põllul. Keskmise ammooniumi kontsentratsioon on 0,04 mg/l.

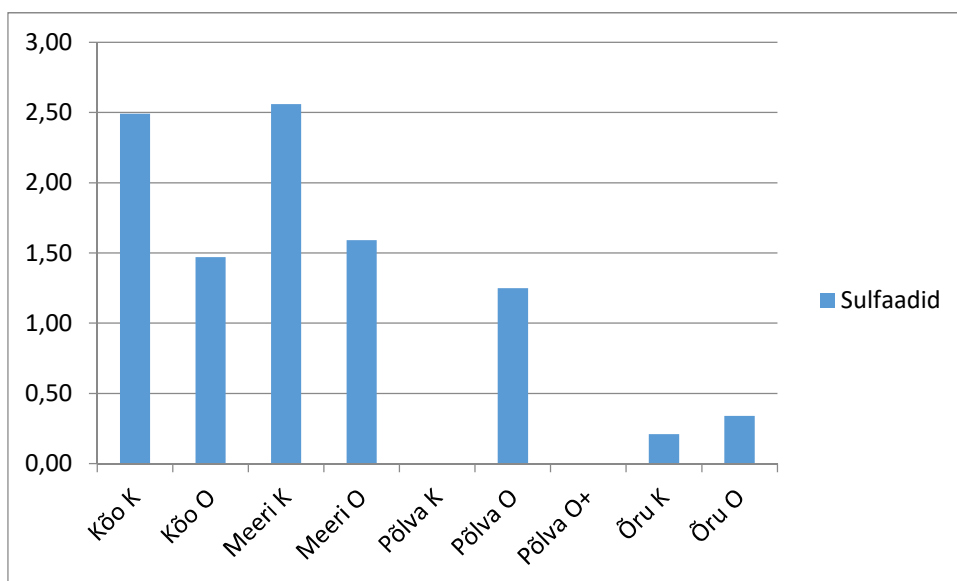
3.9 Nitraadid



Joonis 12. Nitraatide (NO_3^-) mõõtmistulemused.

Kõrgeim nitraatide kontsentratsioon (1,8 mg/l) on Meeri otsekülvi põllul ja madalaim Õru künnipõllul, kus tasemed jäid nii madalaks, et neid ei olnud võimalik mõõta. Keskmise nitraatide kontsentratsioon on 0,41 mg/l.

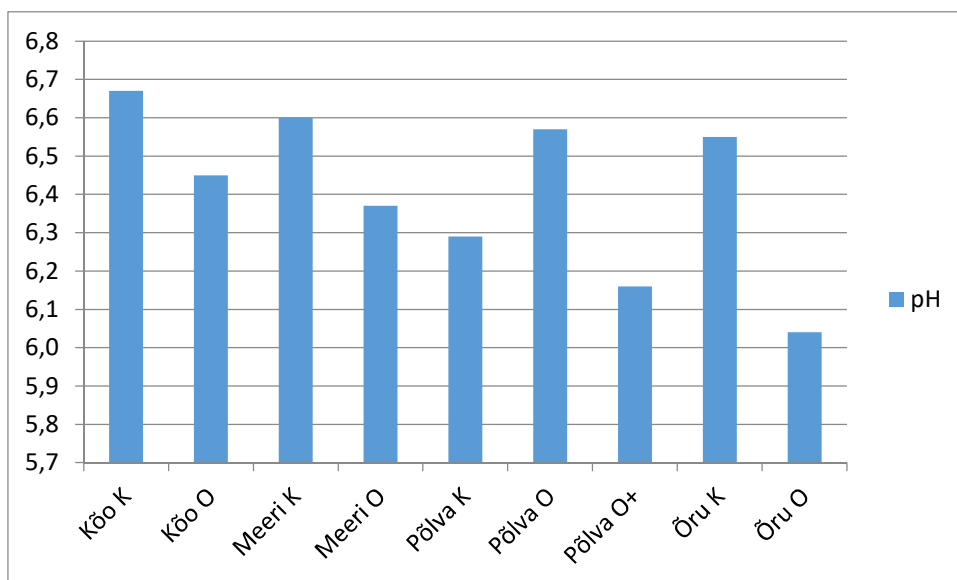
3.10 Sulfaadid



Joonis 13. Sulfaatide (SO_4^{2-}) mõõtmistulemused.

Kõrgeim sulfaatide kontsentratsioon (2,56 mg/l) on Meeri künnipõllul ja madalaim Põlva künnipõllul, kus tasemed jäid nii madalaks, et neid ei olnud võimalik mõõta. Keskmine sulfaatide kontsentratsioon on 1,1 mg/l.

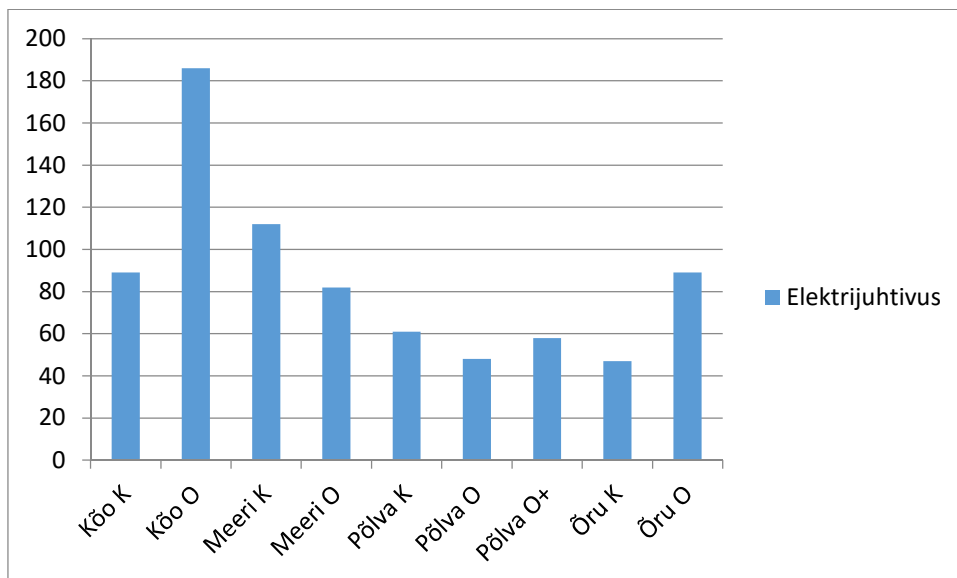
3.11 pH



Joonis 14. pH mõõtmise tulemused

Kõrgeim pH (6,7) on Kõo künnipõllul ning madalaim (6,0) Öru otsekülvi põllul. Keskmise happesus on 6,4.

3.12 Elektri juhtivus



Joonis 15. Elektri juhtivuse mõõtmise tulemused

Kõrgeim elektrijuhtivus on Kõo otsekülvi põllul (186) ning madalaim Öru künni-põllul (47). Keskmise elektrijuhtivus proovipõldudel on 86.

3.13 Dreeni vee analüüs

Töö käigus analüüsiti ka ühe otsekülvi ja ühe künnipõllu dreni vett. Tulemused on sarnased ülejäänud proovidega, kuid kuna kontsentratsioonid on kordades kõrgemad, siis statistika arvutustes drenivee tulemusi ei sisaldu.

Tabel 1. Dreeni vee analüüsi tulemused.

	pH	Elektrijuhtivus	Ammoonium	Kaltsium	Magneesium	Kloriid	Raud	Nitraadid	Nitritid	Sulfaadid	Kaalium	Täis N	Täis P
Dreen O	6,75	416	0,23	12,45	14,29	13,52	0,07	46,37	0,1	88,96	90,26	59,27	4,59
Dreen K	7	465	0,04	25,25	12,16	7,89	0,29	50,1	0,38	59	10,26	49,85	3,27

3.14 Statistika

Tabel 2. Keskmised tulemused.

	Künd	Otsekülv		Künd	Otsekülv
pH	6,52(±0,14)	6,31(±0,19)	Nitraadid	0,17(±0,17)	0,59(±0,64)
Elektrijuhtivus	77,25(±25,12)	92,6(±49,06)	Nitritid	0,003(±0,004)	0,002(±0,004)
Ammoonium	0,04(±0,03)	0,03(±0,02)	Sulfaadid	1,32(±1,21)	0,93(±0,64)
Kaltsium	4,01(±1,36)	3,42(±1,15)	Kaalium	3,66(±1,54)	3,09(±1,46)
Magneesium	3,16(±1,56)	3,0(±1,62)	COD*	101,02(±80,72)	0,17(±0,34)
Kloriid	4,04(±0,99)	2,98(±0,87)	Üld N	13,23(±3,46)	16,01(±2,84)
Raud	0,03(±0,03)	0,02(±0,01)	Üld P	1,0(±0,42)	1,69(±0,57)

Teostati ka ühefaktoriline ANOVA analüüs kõikide analüüsitud ainete ja elementide kohta, mille tulemusena statistiliselt olulisi erinevusi kahe grupi, otsekülvi- ja künnipõldude, vahel ühegi näitaja osas ei näidanud.

Tabel 3. Korrelatsioon analüüs.

	pH	EJ	Ammoonium	Kaltsium	Magneesium	Kloriid	Raud	Nitraadid	Nitritid	Sulfaadid	Kaalium	COD	Üld N	Üld P
pH	1													
Elektrijuhtivus	0,6927	1												
Ammoonium	0,4438	0,6297	1											
Kaltsium	0,7283	0,9244	0,334	1										
Magneesium	0,6252	0,9586	0,7515	0,8443	1									
Kloriid	0,6276	0,8588	0,885	0,6622	0,9155	1								
Raud	0,709	0,805	0,1558	0,9511	0,6829	0,4701	1							
Nitraadid	0,6928	0,9668	0,591	0,9084	0,9265	0,8579	0,7872	1						
Nitritid	0,6903	0,8477	0,1607	0,9752	0,7234	0,5312	0,9694	0,8607	1					
Sulfaadid	0,6377	0,9256	0,7587	0,7798	0,9363	0,9405	0,613	0,9642	0,6962	1				
Kaalium	0,3736	0,6604	0,9242	0,3719	0,7685	0,9028	0,1494	0,6964	0,2356	0,8609	1			
COD	0,1946	-0,302	-0,129	-0,245	-0,328	-0,056	-0,211	-0,261	-0,213	-0,244	-0,194	1		
Üld N	0,6636	0,9618	0,74	0,8305	0,9503	0,9034	0,6974	0,9691	0,7486	0,9799	0,8005	-0,351	1	
Üld P	0,585	0,8574	0,7508	0,679	0,8618	0,8069	0,522	0,8387	0,5776	0,8847	0,7931	-0,511	0,9254	1

Kogu andmestiku korrelatsiooni analüüsi tulemused näitasid, et kõige tugevamalt on omavahel seotud üld-lämmastiku ja sulfaatide sisaldus. Elektrijuhtivus, mis näitab soolade sisaldust mullas, on tugevas seoses kaltsiumi, magneesiumi, nitraatide,

sulfaatide ja üld-lämmastikuga. Korrelatsiooni-tabelis negatiivset korrelatsiooni ei esinenud, mis tähendab et ühelgi juhul ei tähendanud mõne aine või elemendi suurenemine mõne teise vähenemist. Analüüsis, kus korreleeriti eraldi otsekülvi ja kündi, näitas künnipõldudel, erinevate ainete ja elementide vahel mitmeid, tugevaid seoseid, kuid otsekülvi põldudel analüüsitud ainete ja elementide vahel tugevad seosed puudusid.

4 Arutelu

Toitainete kontsentratsiooni põldudel mõjutavad paljud tegurid. Proovide võtmine pärast sooja ja sademeterikast talve tähendab, et pealmisest mullakihist võib suurem osa toitaineid olla välja leostunud. Otsekülvi põldude puhul võiks eeldada, et kuna mulla struktuur on terviklikum ning mulla pind pole otseselt ilmastikule avatud, on toitainete kontsentratsioon suurem (Palm et al., 2014). Seda väidet toetasid ka üld-lämmastiku ja üld-fosfori analüüsid, kus nelja põllupaari analüüsid selge vahe otsekülvi- ja künnipõldude vahel välja tuli (Joonis 2 ja Joonis 3), kuid ülejäänud analüüsitulemused seda otseselt ei toetanud.

Lisatud väetisekogused avaldavad samamoodi mõju toitainete kontsentratsioonile. Selles osas võib välja tuua teistest erineva Kõo otsekülvi põllu, mis oli mitmete näitajate poolest esikohal. Kõo otsekülvi põld asub ainsana proovipõldudest leostunud muldadel, mis on head põllumullad ja sobivad hästi intensiivseks kasutamiseks. Viljakust tõstab ka nende muldade suur veemahutavus (Kõlli ja Lemetti, 1999). Kõo otsekülvi põllul kasvatati 2015/2016 talinisu, mida külvati 185 kg/ha ning mille saagikus oli 3,3 t/ha. Kokku lisati lämmastikväetist 171 kg/ha, fosforväetist 6 kg/ha, kaaliumväetist 28 kg/ha ning väävelväetist 25 kg/ha. Õru künnipõllu puhul, mis oli teises äärmuses (paljud näitajad väikseima kontsentratsiooniga), ei ole võimalik muud välja tuua, kui et proovivõru koht ei pruukinud olla kõige sobivam.

Proovipõllud on valdavalt saviliiv muldadel, mis tähendab, et toitained ei püsi pinnases niihästi, kui liivsavi muldade puhul. Samas vajaliku efekti (piisavas koguses toitained mullas) saavutamiseks on toitained vaja mulda viia vähem. Seda võib võrrelda väikesemahutavusega akuga, kus aku laadimiseks on vaja vähe energiat, samas saab aku kiiremini tühjaks. Seega on oht, väetamise tulemusena mulda viidud toitainete jõudmine veekogudesse (leostumise ja erosiooni teel) saviliiv muldade puhul, suurem ning nendes piirkondades tuleb eriti täpselt arvestada väetuskooormusega.

Kuna proovipõldude valim (kokku 9 põldu) oli väga väike ja proove võeti vaid ühel korral, siis väga laiapõhjalist statistikat ei ole võimalik selle baasilt teha. Töö jätkuks peaks proovipõldude valimit suurendama. Põldudel peaks olema töötavad drenid, et oleks võimalik mullaproove ja dreniproove omavahel võrrelda. Mullaproov tuleks kombineerida kokku põllu erinevatest osadest ja proove tuleks võtta vähemalt kaks korda aastas (vegetatsiooni perioodi alguses ja lõpus).

Dreenivee ainete ja elementide kontsentratsioonid olid kordades kõrgemad, kui mullaproovid, kuid üld-lämmastiku ja –fosfori tulemused näitasid sarnast mustrit. Samas, kui eelduseks on, et otsekülvi põldude mullas on toitained rohkem, kui künnipõldudes ning otsekülvi drenivees on toitaineid vähem, kui künnipõldudes, siis seda eeldust analüüside tulemused ei toetanud. Põllumajandusuuringute keskuse poolt läbi viidud analüüside tulemuste poolest jäävad antud töös analüüsitud nitritid samasse vahemikku. Samas (PMK) töös analüüsitud fosfori kontsentratsioon on suurem antud töös. Lämmastiku puhul ilmnes, et otsekülvi tulemus antud töös kõrgem ning külvipõllu tulemus jääb samasse vahemikku.

Korrelatsioonianalüüs näitas mitmeid tugevaid seoseid erinevate taimetoitainete vahel, mis tõenäoliselt tulenevad väetamisest, sest proovipõllud on olnud aktiivses kasutuses mitmeid aastaid. Korrelatsioonianalüüsi tulemusena selgus, et analüüsitud ainete ja elementide vahel puudus negatiivne korrelatsioon. See võib tuleneda mulla üldisest seisundist või lisatud väetiste foonist. Lisaks ei ole päris selged need protsessid, mis hakkavad tööle, kui minnakse üle otsekülvi tehnoloogiate kasutamisele. Künnipõhiste põldude suurimaks mõjutajaks on kündmine ise ning sinna lisanduvad lisatud väetiste koostis ja kogused, põllumulla profiil ja kasvatavad kultuurid. Otsekülvi puhul muutub võrrand palju keerukamas. Protsessid muutuvad ühelt poolt looduslähedasemaks, kuid samas toitained lisatakse ja viiakse saagiga välja. Lisaks ei saa tähelepanuta jätta ka vahekultuuride ja allkülvi mõju mullale.

Töö eesmärgiks olnud otsekülvi ja künnipõllu toitainete ja teiste elementide võrdluses tuli välja, et kuigi mõnedel juhtudel kujunevad välja kindlad mustrid, siis kogu protsessis on mõjutegurid nii palju, et üheseid järeldusi ei ole võimalik teha. Reaalsete tulemuste ning muutuste nägemiseks, minnes üle otsekülvi tehnoloogiate kasutamisele, kulub mitmeid aastaid ning protsesside ja nende mõjude uurimiseks on vaja pikaajalisi uuringuid.

Kokkuvõte

Töö eesmärgiks oli võrrelda omavahel otsekülvi ja künnipõldude toitainete ja muude näitajate kontsentratsioone ning hüpoteesiks, et otsekülvi tehnoloogiat kasutades on toitainete kontsentratsioon põllumuldades kõrgem, kui kündmisega haritavatel põldudel ning otsekülvi põldude drenivees on toitainete kontsentratsioon väiksem võrreldes künnipõldudega. Hüpotees leidis kinnitust osaliselt.

Otsekülvi tehnoloogiat hakati välja arendama 1970-del tõenäoliselt kahe mõjuri koosmõjul. Üheltpoolt kütusekriis ja teiselt poolt hakkas ilmema väga suurel skaalal kündmise mõju põllumuldadele. Otsekülvi tehnoloogia kasutamine, lisaks kütuse kokkuhoiule, aitab ära hoida toitainete ärakannet põllumudadest erosiooni ja leostumise teel ning läbi selle väheneb surve siseveekogusele ja ka rannikumerele, mille halva seisundi peamiseks põhjuseks peetakse põllumajandusreostust.

Töö käigus võeti 9 põllult (5 otsekülvi ja 4 künnipõldu) ja kahe põllu drenivee proovid ning analüüsiti nende toitainete ja muude elementide sisaldust.

Algset hüpoteesi toetasid põlluproovide üld-lämmastiku ja üld-fosfori näitajad, mille puhul tuli selgelt välja, et otsekülvi põldude kontsentratsioon oli kõrgem, kui künnipõldude oma. Samas, kui eelduseks oli, et otsekülvipõllu drenivees on vähem toitaineid, siis seda analüüside tulemused ei toetanud. Ülejäänud elementide analüüside tulemused nii selgeid mustreid välja ei andnud.

Kindlasti oleks vajalik edaspidi uurida just drenivett, kuna see on kõige otsesemalt seotud põllumajandusreostuse liikumisega looduslikesse veekogudesse. Selle töö raames tehtud analüüs näitas, et otsekülvi drenivee üld-lämmastiku ja üld-fosfori kontsentratsioonid olid kõrgemad, kui künnipõllul. Selleks võib olla mitmeid põhjuseid ning need olekski vaja välja selgitada.

Summary

The aim of this paper was to compare the effects of no-till technologies and traditional tillage farming on the concentrations of nutrients and other elements in the soil. Hypothesis was that using no-till technologies the concentration of nutrients in the soil is higher than in the fields that are tilled but the nutrient concentration in drainage water is lower with no-till. Hypothesis was confirmed partly.

Development of no-till technologies started in the 1970-es because of combination of fuel crisis and the noticeable effect that tillage had on soils. No-till technologies have a great effect on saving the fuel but also help reduce erosion of topsoil and leaching of nutrients. Through this it has an positive effect on waterbodies and costal seas that are under great pressure because of farming.

9 soil samples were taken of which 5 were from no-till fields and 4 from tillage based fields. Also two samples of drainage water were analyzed. Different nutrient and ohter element concentrations were analysed.

The original hypothesis was confirmed with total-nitrogen and total-phosphorus indicators that showed clear patterns between two field types where concentrations in no-till fields were higher than in tilled fields. At the same time drainage water analysis was expected to show reversed results but that was not confirmed in this case. The rest of the analysis did not support the hypothesis but did not disprove it either.

Further analysis of drainage water is necessary because drainage water and its content is directly connected to eutrophication of waterbodies.

Viidatud kirjanduse loetelu

Armand, R., Bockstaller, C., Auzat, A.-V., Van Dijk, P., 2007. Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability Application to conservation tillage context. *Soil & Tillage Research* 102 (2009) 27-37.

Astover A., Kõlli R., Roostalu H., Reintam E., Leedu E. 2012. Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele. Eesti Maaülikool, Tartu, 486 lk.

Bergström, L., Kirchmann, H., Aronsson, H., Torstensson, G., Mattsson, L. 2008. Use Efficiency and Leaching of Nutrients in Organic and Conventional Cropping Systems in Sweden. *Organic Crop Production – Ambitions and Limitations*, p. 143-159.

Bickelhaupt, D. Soil pH: What it Means. *Environmental Information Series*. <http://www.esf.edu/pubprog/brochure/soilph/soilph.htm> 18.04.2017

Busman, L., Lamb, J., Randall, G., Rehm, G., Schmitt, M. 2009. The nature of phosphorus in soils. University of Minnesota.

Chardon, W.J., Schoumans, O.F. 2007. *British Society of Soil Science*, 23 (Suppl. 1), 16-24.

De Baets, S., Poesen, J., Meersmans, J., Serlet, L. 2010. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena* 85 (2011) 237-244.

Derpsch, R. Understanding The Process of Water Infiltration. <http://notill.org/sites/default/files/understanding-the-process-of-water-infiltration-by-rolf-derpsch.pdf> 23.02.2017

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabta, Z.-I. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* (Volume 81, Issue 2). May 2006 pp. 163-182

The Editors of Encyclopædia Britannica. 2017. PH chemistry. *Encyclopædia Britannica*.

EEA report. 2012. European waters – assessment of status and pressures. No 8/2012

Hansen, E.M., Munkholm, L.J., Melander, B., Olesen, J.E. 2009. Can non-inversion tillage and straw retention reduce N leaching in cereal-based crop rotations? *Soil & Tillage Research* 109 (2010) 1-8.

Harper, J.K. Economics of Conservation Tillage. <http://extension.psu.edu/plants/crops/soil-management/conservation-tillage/economics-of-conservation-tillage> 22.02.2017

Hiie, E. 2016. Maaviljelusviisi mõju mullaelustiku arvukusele ja mitmekesisusele. Magistritöö tööstusökoloogia erialal.

Kaiser, D.E., Rose, C.J., Lamb, J.A. 2016. Magnesium for crop production. University of Minnesota

Kaiser, D.E., Rose, C.J., Lamb, J.A. 2016. Potassium for crop production. University of Minnesota

Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., Lauringson, E., Loide, V., Penu, P., Rooma, L., Sepp, K., Talgre, L., Tamm, U. 2014. Väetamise ABC. Põllumajandusuuringute Keskus. http://pmk.agri.ee/wp-content/uploads/2017/01/vaetamise_ABC.pdf

Kasak, K., Piirimäe, K., Vahtrus, S. 2016. Veekaitsemeetmed põllumajanduses – käsiraamat tootjale.

Kõlli, R., Lemetti, I. 1999. Eesti muldade lühiiseloostus I. Normaalsed mineraalmullad. Eesti Põllumajandusülikool Mullateaduse ja agronoomia instituut. Tartu, 122 lk.

Lal, R., Reicosky, D.C., Hanson, J.D. 2007. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil & Tillage Research* 93 (2007) 1-12.

Lamb, J.A., Fernandez, F.G., Kaiser, E. 2014. Understanding nitrogen in soils. University of Minnesota.

Lampurlanés, J., Cantero-Martinez, C. Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage. In-preparation article 02.05.2017

Lehmann, J., Schroth, C. 2003. Nutrient leaching. Trees, CAB International 2003. Crops and Soil Fertility. Chapter 7.

Maetens, W., Poesen, J. and Vanmaercke, M. 2012. How effective are soil conservation techniques in reducing plot runoff and soil loss in Europe and the Mediterranean? Earth-Science Reviews 115(1-2): 21-36.

Mendel University in Brno. Classification of fertilizers. https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=71716 08.05.2017

Olli, K. 2010. Lämmastikuringe. TÜ Ökoloogia ja maateaduste instituut. <http://moritz.botany.ut.ee/~olli/eutrdoc/RingeN.pdf>

Palm, C., Blanco-Canqui, H., CeClerck, F., Gatere, L., Grace, P. 2013. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. Agriculture, Ecosystems and Environment 187 (2014) 87-105.

Penu, P. 2006. Eesti Muldadest Põllumehele. Ökoloogiliste tehnoloogiate keskus. 33 lk.

Prasuhn, V. 2011. On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. Soil & Tillage Research 120 (2012) 137-146.

Põllumajandusuuringute Keskus Mullaseire büroo ja TTÜ Tartu Kolledž. 2013. Minimeeritud harimise mõju muldade omadustele ja keskkonna seisundile. http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/otsek%C3%BClv_2013.pdf

Põllumajandusuuringute Keskus Mullaseire büroo ja TÜ Geograafia Osakond. 2014. Muldade erosioon Eestis modelleerituna USLE mudeliga, täpsustamine LIDAR andmete põhiste reljeefiandmetega. <http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/erosioon2014.pdf>

Põllumajandusuuringute Keskus Põllumajandusuuringute büroo. 2016. Minimeeritud harimise mõju muldade omadustele ja keskkonna seisundile. http://pmk.agri.ee/mak/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/otsek%C3%BClv_2013.pdf

Smith, V.H., Schindler, D.W. 2009. Eutrophication science; where do we go from here? Trends in Ecology and Evolution Vol. 24 No.4 p. 201-207

Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J. 2010. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118 (2012) 66-87.

Spectrum Analytic In. Agronomic Library. Chloride (Cl-).
https://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Cl_Basics.htm 24.04.2017

Sun, Y., Zeng, Y., Shi, Q., Pan, X., Huang, S. 2014. No-tillage controls on runoff: A meta-analysis. *Soil & Tillage research* 153 (2015) 1-6.

Tamm, I. Mulliteadus (loengumaterjal). EMÜ Põllumajandus- ja keskkonnainstituut.
04.05.2017

United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Electrical Conductivity.
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053280.pdf
24.04.2017

University of Minnesota. Nutrient cycling and maintaining soil fertility in fruit and vegetable crop systems. <https://www.extension.umn.edu/garden/fruit-vegetable/nutrient-cycling-and-fertility/> 16.03.2017

Vogler, I., Rogasik, J., Funder, U., Panten, K., Schnug, E., 2008. Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties, crop yield and nutrient uptake. *Soil & Tillage Research* 103 (2009) 137-143.

White, P.J., Broadley, M.R., 2001. Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A Review. *Annals of Botany* 88: 967-988.

Withers, P.J.A., Neal, C., Jarvie, H.P., Doody, D.G. 2014. Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability* 2014, 6, 5853-5875.

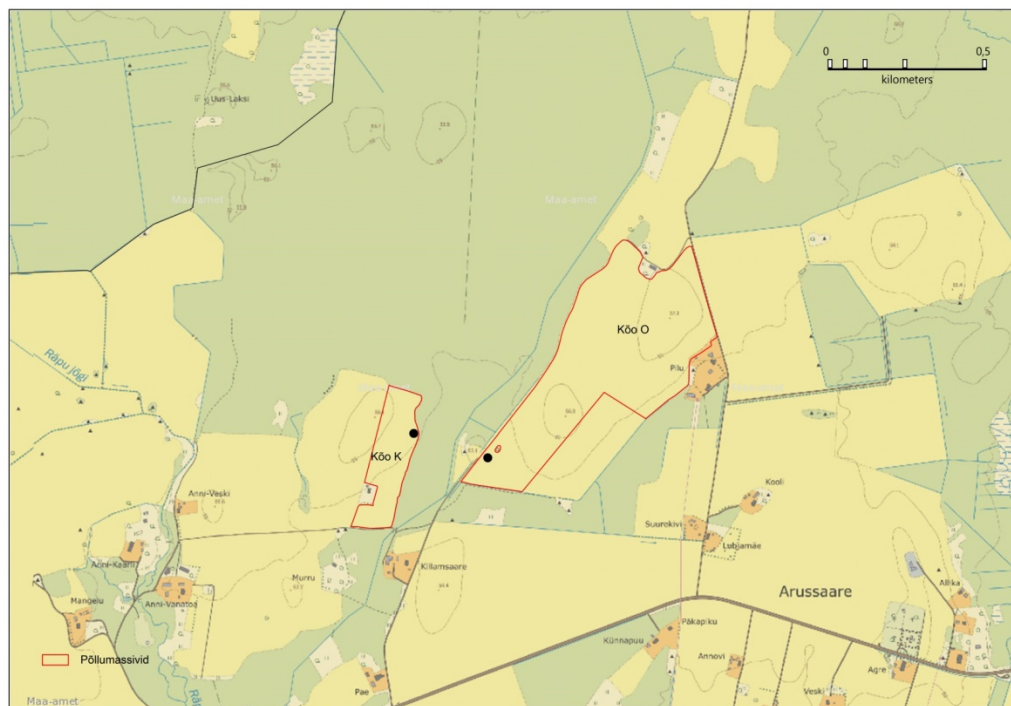
Yara International ASA. ABC Guide to Mineral Fertilizers - A basic handbook on fertilizers and their use. http://yara.com/doc/3733_abc_of_mineral_fertilizers.pdf
20.03.2017

Lisa 1

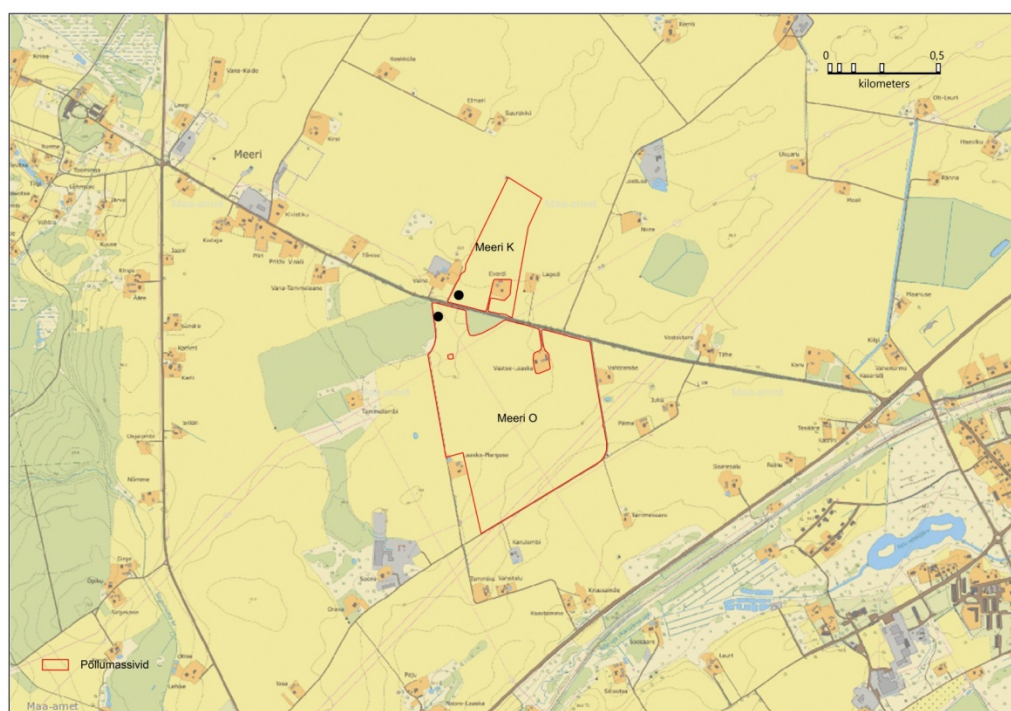
Põld	Tehnoloogia	Maakond	Põlumassiivi nr.	Mullatüüp/Lõimis
Põlva O	otsekülv	Põlvamaa	67843897753	Gleistunud kahkjask muld/sl
Põlva K	künd	Põlvamaa	67843848834	Kahkjask muld/l
Õru O	otsekülv	Valgamaa	62742431066	Gleistunud kahkjask muld /sl
Õru K	künd	Valgamaa	62742481776	Gleistunud kahkjask muld /sl
Meeri O	otsekülv	Tartumaa	64546285939	Kahkjask muld/sl
Meeri K	künd	Tartumaa	64646334167	Kahkjask muld/sl
Kõo O	otsekülv	Viljandimaa	59650178859	Gleistunud leostunud muld/l
Kõo K	künd	Viljandimaa	59650116208	Gleistunud leostunud muld /sl
Põlva O+	otsekülv	Põlvamaa	67843866386	Kahkjask muld/l
Dreen O	otsekülv	Põlvamaa	67442962223	Gleistunud kahkjask muld/sl
Dreen K	künd	Põlvamaa	67442953590	Gleistunud kahkjask muld/sl

Lisa 1. Proovipõldude andmed

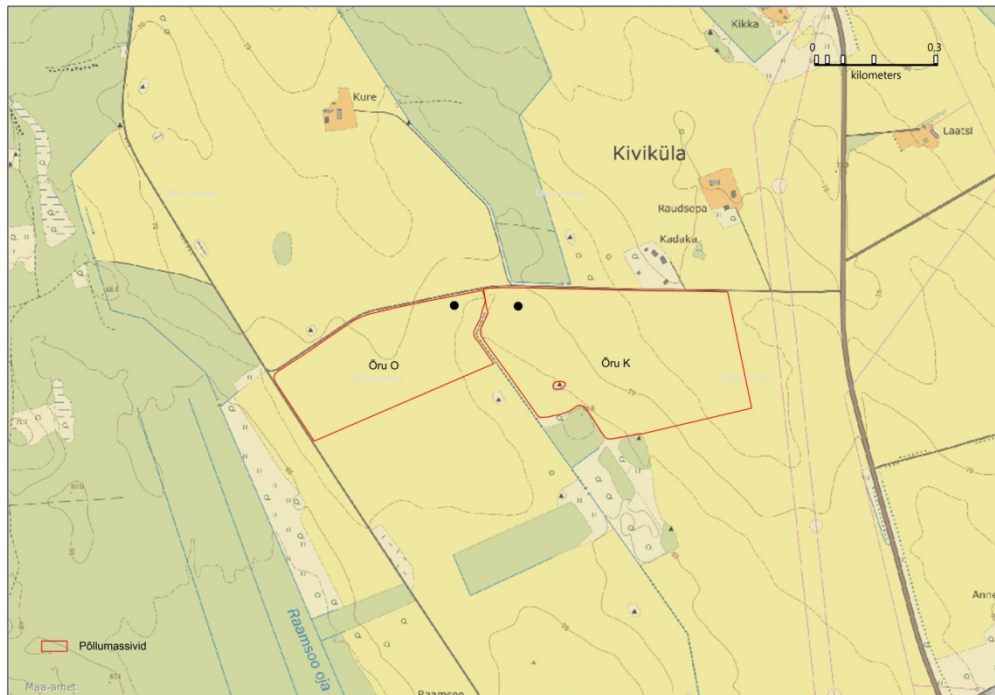
Lisa 2



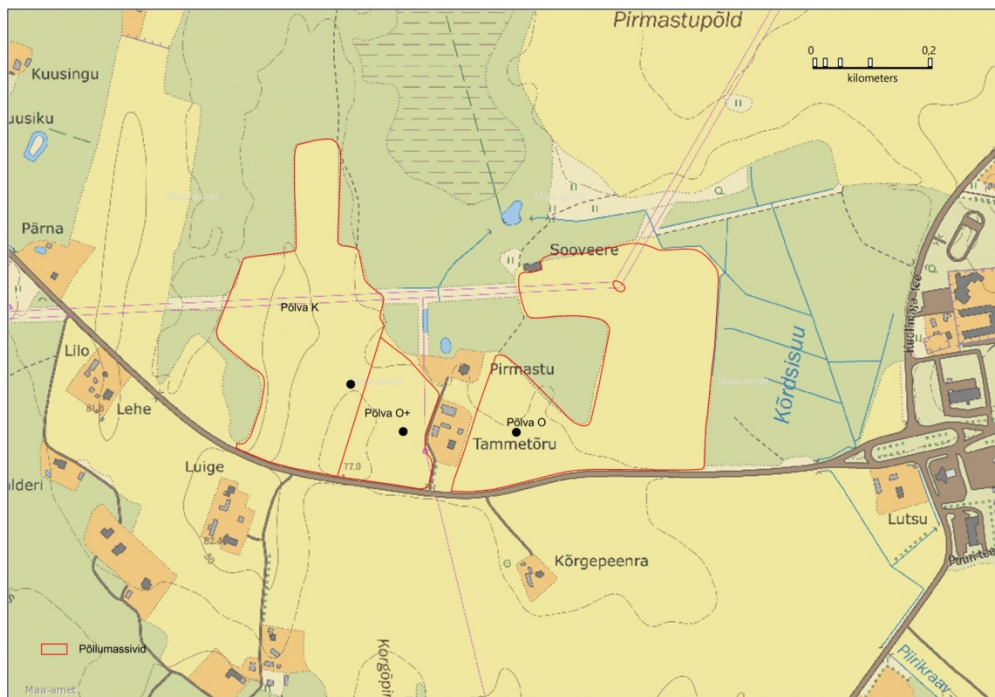
Lisa 2.1 Kõo proovipõldude asukoht ja proovivõtukohtad



Lisa 2.2 Meeri proovipõldude asukoht ja proovivõtukohtad



Lisa 2.3 Öru proovipõldude asukoht ja proovivõtukohtad



Lisa 2.4 Põlva proovipõldude asukoht ja proovivõtukohtad

Lisa 3

O1 - KÕO O	2014	2015	2016
Kultuur	suvinisu	suvinisu+suviuder	taliniisu
Saak	4 t/ha	3 t/ha nisu ja 3,5 t/ha otra	3,3 t/ha
Min. ja org. väetised	NPK 515-30+3S, 160 kg/ha (N8, P24, K48, S4,8 kg/ha)	NPK 17-10-14+8S, 190 kg/ha (mõlemad nisu ja oder) (N34, P9, K35, S16 kg/ha)	NPK 15-15-15+S11, 230 kg/ha (N34, P15, K28 kg/ha)
	Am. Supleeter N34, 120 kg/ha (N41 kg/ha)	CAN 27+4S, 78 kg/ha (N21 kg/ha)	Am. Salpeeter N34, 100 kg/ha (N34 kg/ha)
		Am. Salpeeter N34, 150 kg/ha (N51 kg/ha)	N30 S7, 245 kg/ha (N73 kg/ha)
		Am. Salpeeter N34, 100 kg/ha (N34 kg/ha)	N30 S7, 100 kg/ha (N30 kg/ha)
Taimkaitsevahendid	Banvel 4S 0,17 l/ha	Agro Glyfo 2,5 l/ha	Tomigan 0,6 l/ha
	MCPA 0,8 l/ha	MCPA 1 l/ha	Trimmer 15 g/ha
	Folicur 1,0 l/ha	Banvel 4S 0,15 l/ha	Cycocel 1 l/ha
		Albit 0,04 l/ha	Albit 0,04 l/ha
		Folicur 1 l/ha	Folicur 1 l/ha
		Falcon Forte 0,75 l/ha	Albit 0,04 l/ha
			Glüfosaat 3 l/ha
Mullaharimine			
Põhk	purustatud põllule	purustatud põllule	purustatud põllule
K1 - KÕO K	2014	2015	2016
Kultuur	taliniisu (külv 2013)	suviuder	suvinisu
Saak t/ha	3,1 t/ha	4,2 t/ha	2,2 t/ha
Min. ja org. väetised	NP 33-3; 132 kg/ha (N43,6, P1,7 kg/ha)	NPK 16-16-16, 250 kg/ha (N40, P17,6, K33,2 kg/ha)	NPK 21-6-11+3S; 250 kg/ha (N52,5, P6,6, K22,8 kg/ha)
		Am. Nitraat 34,4, 113 kg/ha (N38,9 kg/ha)	Am. Nitraat 34,5, 123 kg/ha (N42,4 kg/ha)
Taimkaitsevahendid	Mustang Forte 1 l/ha	Mustang Forte 0,8 l/ha	MCPA 1 l/ha
	Ranger XL 3,35 l/ha		Banvel 4S; 0,24 l/ha
			Mustang Forte 0,8 l/ha
Mullaharimine	randaalimine	randaalimine	randaalimine
		randaalimine	randaalimine
Põhk	purustatud põllule	purustatud põllule	purustatud põllule
O3 - ÕRU O3	2014	2015	2016
Kultuur	taliniisu (külv 2013)	ristik	taliniisu (külv 2015)
Saak t/ha	4 t põllult		3 t põllult
Min. ja org. väetised	NPK 7-12-15, 320 kg/ha	lubjatud lubjakivi ja dolomiidi seguga 4-1	KCl 100kg/ha

	NS27, 200 kg/ha		CAN 27; 50 kg/ha
	Am. salpeeter 200kg/ha		NS27; 250 kg/ha
			NS30; 150 kg/ha
Taimekaitsevahendid	Sekator OD; 0,15 l/ha	Lograni 20 gr/ha ja Prosaro 0,3 l/ha segu	Cerone 0,5 l/ha
	Tilt 250EC; 0,5 l/ha		Sekator OD; 0,15 l/ha
			Axial 50EC; 0,6 l/ha
			Orius 250EW; 1 l/ha
			Viverda 1,6 l/ha
			Danadim 40EC; 0,5 l/ha
			Rosate 360; 4 l/ha
Mullaharimine		pindmine harimine	
Põhk			purustatud põllule
K3 - ÖRU K3	2014	2015	2016
Kultuur	suviraps	suviuder	tritikale
Saak t/ha	2,3 t/ha	4 t/ha	plaanitav 4,5 t/ha
Min. ja org. väetised	YaraMila21-612+s; 300 kg/ha (N63, P7, K30 kg/ha)	NPK 21-6-11+s; 200 kg/ha (N42, P5, K18 kg/ha)	YaraMilaNPK7-12-25+SB; 150 kg/ha (N10, P7, K31 kg/ha)
	Ruter AA 2,0 l/ha	NP 33-3; 200 kg/ha (N66, P2 kg/ha)	Am. nitraat 200 kg/ha (N68 kg/ha)
	YaraBela Axan; 100 kg/ha (N27 kg/ha)	Krista MgS 1,5 kg/ha	Ruter AA 1,0 l/ha
			NS30+7S; 250 kg/ha (N75 kg/ha)
			Delfan Plus 0,5 l/ha
Taimekaitsevahendid	Butisan Star 2,0 l/ha	Biathlon 4D; 0,06 g/ha	Cycocel 750; 0,5l/ha
	Galera 14; 0,35 l/ha	CCC 0,5 l/ha	Granstar Premia 0,3kg 0,15 g/ha
	Pyrinex Supereme 0,75 l/ha	Kemiwett s 0,1 l/ha	PrimusXL15l; 0,75 l/ha
	Fastac50; 0,2 l/ha	Bumper 0,4 l/ha	Danadim 40EC; 0,5 l/ha
	Proteus OD 0,65 l/ha		Falcon Forte 0,6 l/ha
	Orius250EW 14; 1,0 l/ha		Medax Top 0,5 l/ha
			Zantara 1 l/ha
Mullaharimine	kultiveermine	kultiveermine	
	kivikorje	kivikorje	
	kündmine	randaalimine	
Põhk		põhk koristatud	
Põlva O10	2013	2014	2015
Kultuur	taliraps	oder Jyva/ristik	oder Jyva/ristik
Saak t/ha	3	5	4,6
Min. ja org. väetised	N13S10 (1000 kg/ha)	N21S24 (400 kg/ha)	N21S24 (400 kg/ha)

	MgSO (200 kg/ha)	N27S4 (100 kg/ha)	N27S13 (130 kg/ha)
	Solubor; 0,75 l/ha		ZnSO; 1 kg/ha
			põlevkivi tolmtuhk (1 t/ha)
			Razormin; 0,2 l/ha
Taimkaitsevahendid	Galera; 0,3 l/ha	glüfosaat 360; 2 l/ha	glüfosaat 360; 2 l/ha
	Decis; 0,15 kg/ha	MCPA; 1 l/ha	Tomigan; 0,4 l/ha
		Axial; 0,5 l/ha	MCPA; 1 l/ha
		Folicur; 0,3 l/ha	Folicur; 0,33 l/ha
			Input; 0,5 kg/ha
Mullaharimine		otsekülv	otsekülv

Lisa 3. Kõo, Õru ja Põlva otsekülvi põlluraamatu andmed