



## ÜLEVAADE: EESTI MULLASTIKU SEISUNDI UURIMUSED, MULLASEIRE SUUNAD JA VÕIMALUSED SEIRE TÕHUSTAMISEKS

### REVIEW: RESEARCHES ON THE STATUS OF ESTONIAN SOILS, DIRECTIONS OF SOIL MONITORING AND THE POSSIBILITIES FOR INTENSIFICATION OF MONITORING

Raimo Kõlli<sup>1</sup>, Tõnu Tõnutare<sup>1</sup>, Laura Eiber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Põllumajandus- ja keskkonnainstituut, Mullateaduse õppetool, Fr. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu

<sup>2</sup>Eesti Keskkonnaagentuur, Keskkonnaanalüüsi osakond, Mustamäe tee 33, 10616 Tallinn

Saabunud: 27.03.2018  
Received:  
Aktsepteeritud: 18.06.2018  
Accepted:  
Avaldatud veebis: 20.06.2018  
Published online:  
Vastutav autor: Raimo Kõlli  
Corresponding author:  
E-mail: raimo.kolli@emu.ee

**Keywords:** soil species and variety, humus cover type, transect method, soil monitoring, soil mapping unit.

doi: 10.15159/jas.18.06

**ABSTRACT.** In the introductory part a short retrospect to the soil survey proceeded in Estonia since fifties of previous century is given. As a result of this survey the large scale (1:10,000) digitized soil map for the whole Estonian territory with soil contours (soil mapping units) related soil species databases was compiled. For valuable legacy data of this survey, which was conducted by the state financed institution Estonian Agri-project, are soil varieties models (totally 50 models of arable and 27 models of forest soils) with statistically elaborated soils' morphometric and physical-chemical properties in relation to all presented in soil profile (in pedon) diagnostic horizons. The main deliberation of the work is connected with methodology of soil monitoring and with the problem – how to integrate the received from soil monitoring data with capacious databases received during soil survey and scientific researches. In the study the following topics are discussed in connection with soil monitoring: methodological problems, used laboratory analyses, possibilities for intensification of soil monitoring and discovered shortcomings in fulfilling of monitoring programme. The most developed direction of Estonian soil monitoring is the monitoring of soils' pollution (contamination) and degradation. Starting from the need of revision and improvement of state soil monitoring programme it is recommended to start monitoring (1) of the processes proceeded in the humus covers (pro humus forms) of natural soils and (2) of the soil type-specific biological diversity of key (or model) soils. It is emphasised the urgent need of realizing such essential tasks as (1) to arrange the integration of newly received monitoring results into the existing soil databases, (2) to do the critical review of published works on soil monitoring with compiling their systematic reference list, and (3) to compile the registers about soil monitoring areas location and about key soil species.

© 2018 Akadeemiline Põllumajanduse Selts. Kõik õigused kaitstud. 2018 Estonian Academic Agricultural Society. All rights reserved.

#### Tagasisaade Eesti muldkatte uurimisele ja seirele

Iga puhast keskkonda väärtustav ja biomajandusele aldis riik vajab aasta-aastalt täpsustatavat ülevaadet oma territooriumi muldkatte kui loodusliku ressursi varudest, mitmekesisusest ja selle muutumise tendentsidest. Põhiline töö Eestimaa mullaressursside arvele võtmisel tehti muldade väliuurimise käigus aastatel 1958–1989,

mille tulemusena koostati suuremõtkavalised (1:10000 ja 1:5000) mullastiku kaardid riiklikult aktsepteeritud Eesti muldade klassifikatsiooni (EMK) järgi (Astover jt, 2012). Nagu taoliste suurtele projektidele omane eelnesid sellele rea aastate jooksul eeluurimised üksikute mullaerimite kirjeldamise ja omaduste analüüsiga, mis aitasid kohandada uurimise meetodeid kohalikele oludele ja luua muldade laialdasemaks uurimiseks sobiv muldade klassifikatsioon. Hiljem on nii muldade kirjeldamise meetodeid kui EMK-i järjepanu täiendatud

ja harmoniseeritud rahvusvaheliselt kasutatavate meetodite ja klassifikatsioonidega. Praegune EMK, kui muldade käsitlemise töövahend, harmoniseerub hästi Euroopas kasutatava World Reference Base for Soil Resources (WRB) süsteemiga (IUSS, 2015). Eestis muldade kaardistamisühikute (MKÜ) nimekiri ja nende koodid või šifrid kaartidel on koostatud EMK mullaliikide põhiselt (MKÜ, 1982).

Kogu Eestit hõlmav 1:10000 mullastiku kaart koos muldade leviku ja omaduste andmekogudega koostati riiklikult finantseeritud organisatsiooni, Eesti Põllumajandusprojekti (EPP) mullastiku uurimise osakonna poolt. See kaart, mis digitaliseeriti aastatel 1997–2001 (Kõlli, 2002b), on interneti kaudu kättesaadav igale soovijale (MUR, 2001). Peale maa-massiivil või põllul levivate mullakontuuride pindala andmete saab sealt kätte ka andmed kontuuris olevate mullaliikide põhiomaduste (lõimis, happesus, huumuskatte tüsedus jt) kohta (MAM, 2001). Mullastiku kaardilt saab välja lugeda ka maakasutuse ja maa-ala reljeefi. Teatavasti eksisteerib oluline erinevus metsa- ja haritavate maade MKÜ kontuuri infos. Selleks on huumuskatte valem metsamuldade ning mulla boniteet põllumajanduslike maade mullastiku kaartidel.

Mullastiku kaardi koostamisega on kaasnenud ka muldade morfoloogiat, muldade talitlemist ja erinevaid omadusi kajastavate andmekogude loomine mullarimite tasemel. Nii on EPP-s andmete läbitöötamise ja statistilise analüüsi tulemusena koostatud 50 põllu- ja 27 metsamulla erimi mudelprofiili, millistes on peale morfomeetriliste andmete olemas ka kõigi horisontide statistiliselt läbitöötatud andmed nende füüsikaliste ja keemiliste omaduste kohta (EMA, 1978, 1983, 1985a, 1985b; EMDK, 2008).

Looduslike komponentide uurimise (ressursside kindlaks tegemine ja mitmesuguse suunitlusega teadusprojektide realiseerimine) hea tava järgi peaks rööbiti andmete kogumisega toimuma ka tulemuste interpreteerimine, üldistamine ja asjaosalistele kättesaadavaks tegemine. EPP-s tehtud üldistustena on publitseeritud (kahjuks vaid nn ametlikuks kasutamiseks) kaheksa väljaannet seeriast "Eesti NSV mullastik arvudes [EMA]", milles sisalduv materjal ei ole oma väärtust kaotanud ka nüüdisajal ning väärub seega digitaliseerimist ning Eesti muldade seire andmebaasidesse integreerimist. Rööbiti EPP-s tehtuga on mullateadusealane teadustöö toimunud veel paljudes muudes Eesti uurimisinstituutides, ülikoolides ja mujal, milliste tulemused peaksid olema samuti integreeritud ühise eesmärgi (saada adekvaatne kaasaja nõuetele vastav ülevaade Eesti muldkatte mitmekesisusest, produktiooni potentsiaalset, regionaalsetest iseärasustest, puuetest, keskkonna hea seisundi tagamisest jms) nimel.

Eesti muldade seisundit kajastava andmestiku üldistamisel ja vormistamisel on eristunud kaks teatavas mõttes vastandlikku suunda. Ühelt poolt vajatakse riigi kohta andmestikku üle-euroopalike üldistuste jaoks ja, teiselt poolt, detailseid kohtpaikseid mullaandmeid kohalikule maa(muldkatte) majandajale-kasutajale, mitte ainult tootmisest johtuvate otsustuste tegemiseks,

vaid ka muldkatte, kui keskkonda kaitsva moodustise, tervisliku seisundi ja talitlemise tõrgete (st normaalsest talitlemisest kõrvale kaldumise) kohta (Kõlli, 1999). Eestimaa muldkatte seisundi kohta on tehtud aeg-ajalt ülevaateid, mis on koostatud kas Euroopa ühisprojekti- de raames või Eesti probleemide tutvustamiseks erinevatel teadusfoorumitel (Kõlli, Kask, 2000; Reintam jt, 2001; Kõlli, 2002a, 2002b; Reintam jt, 2005 jt).

### Mullaseire käivitamine ja edaspidised arendused

Pärast mullaressursside kindlaks tegemist (mullastiku kaardid koos nende kontuuride teabega seostatult maa- kasutusega) ja üldistuste koostamist mudelmuldade näol, kerkis loogiliselt üles vajadus muldade muutuste seiramiseks ja vastavate andmete integreerimiseks Eesti mullastiku andmebaasi. Mullaseire on põhimõtteliselt muldade olulisi omadusi ja talitlemist ning nende muutuste dünaamikat uuriv tegevus, mille meetodika lähtub erinevate mõjude selgitamise seisukohalt. Mullaseire aitab mõista regioonile omaste mullaliikide muutuste määra nii looduslike mullatekkestingimuste (geo-, geomorfo-, meteoro- ja hüdroloogiline foon ning taimkate), kui ka agronoomilis-antropogeensete otse- ja kõrvalmõjude suhtes. Seirega saab teha kindlaks muldade kui maastike põhikomponendi loomulikus arengus ja talitlustes toimuvate muutuste määrad erinevate mulla põhikarakteristikute ja mullaliikide suhtes. Seire kaudu uuritakse ka nii kultuuristamise kui saastumise mõju mulla talitlusele.

Seiresse hõlmatakse muldade leviku ja EMK takso- noomia seisukohalt määrava tähtsusega mullad ehk võtmemullad ja/või võtmemulla kateenad, milliste andmeid saab hiljem kasutada nende geneetiliselt lähedaste muldade iseloomustamiseks. Seire fokuseeritakse muldade seisundit kajastavate indikaatorite muutuste jälgimisele. Mullaseire käigus uuritakse ka muldadele (muldkattele) kahjulikke nähtusi, et selgitada nende mõju vältimise või vähendamise võimalusi. Seirel ja sellele eelnenud ressursside arvele võtmise käigus on Eesti muldkatte kohta kogutud väärtuslikud andmestikud, mis kajastavad meie muldkatte põllu- ja metsamajanduslikku tootmispotentsiaali ning rolli ümbritseva keskkonna hea seisundi tagamisel. See andmestik peaks olema ühildatav nii teiste maismaa ökosüsteemide komponentide uurimisandmetega kui ka rahvusvaheliste mulla-andmebaasidega. Selle Eesti mullastikku kajastava rikkaliku info asjaosalistele kättesaadavaks tegemine ei saa aga toimuda isevoolu teel. Tarvis oleks täita funktsioon, mille eesmärgiks oleks üldistada senini tehtu, leida võimalusi asjakohaste mullaandmebaaside digitaliseerimiseks ja kommunikatiivseks muutmiseks. Tuleks leida mooduseid Eesti muldkatte seisundit ja selle muutusi kajastava usaldusväärse informatsiooni säilitamiseks ja jooksvaks täiendamiseks uute seireandmetega.

Mullaseire kaudu (1) rikastub riiklik mullastiku andmebaas, saab võimalikuks aktuaalsete suundade uurimistulemuste liitmine Euroopa ja globaalsetesse andmebaasidesse ning edeneb rahvusvaheline koostöö;

(2) selguvad muldkattes toimunud muutuste iseloom, nende keskkonnaohhtlikkus ning saab prognoosida toimuda võivate muutuste suunda ja nende võimalikke tagajärgi; (3) saab hinnata säästliku arengu printsiipide rakendamise tõhusust muldkatte majandamises ja muldade kaitse korraldamisel ning akumuleerub teave vastavate seadusandlike aktide väljatöötamiseks ja (4) on võimalik ökoloogiliselt põhjendatult hinnata muldkattega tihedais vastastikustes seostes olevate looduslike komponentide nn kaasressursside (taimestik, loomastik, vesi, maastik kui tervik jms) seisundit, et korraldada tasakaalustatud looduslike ressursside majandamist ja kaitset.

Käesoleva töö ülesandeks on (1) näidata varem kogutud andmestiku väärtust praeguse aja muldade seisundi analüüsimisel ning rõhutada aasta-aastalt laekuvate seireandmete rolli mullastikuliste andmebaaside täiendamisel ja nende kohese integreerimise vajadust; (2) selgitada, et mullaseire peaks olema realiseeritud Eesti huvide ja omapära keskselt positsioonilt; (3) tuua esile muldkeskse käsitluse aspektist üleskerkivaid muldade seire probleeme; (4) selgitada, et seireprojekti realiseerimisel peaks võimalikult täies mahus kasutama olemasolevaid instantse, struktuure, projekte, seirealaseid, andmebaase, laboratoorseid baasi jms ja (5) juhtida tähelepanu mõningatele vajakajäämistele Eesti muldkatte seires.

## Metodoloogilised probleemid

### Mullaseire erinevad suunad

Puhtalt mullateaduslikust aspektist lähtuvaks mullaseireks on võtme-mullaerimite ja võtmekateenade kaupa tehtav muldade taksonoomiline seire, mis käsitleb seiret muldkeskelt positsioonilt. Muldade taksonoomilist (kui põhiseiret) ja teisi erinevaid mullaseire suundasid käsitletakse EPMÜ teadustööde kogumikus "Agronoomia 208" (Kõlli, Lemetti, 2000). Põhiseirega kaasnevad seired erinevad üksteisest uuritava nähtuse poolest. Eriotstarbeliste seirete loetelu laieneb vastavalt üleskerkinud vajadustele. Nii näiteks kerkib kliima muutustega seoses teravamalt üles muldade hüdrooloogiliste omaduste seire vajadus. Soovitavalt peaksid eriotstarbelise mullaseire alad olema võimalikult maksimaalselt ühildatud muldade põhiseire aladega.

### Töös kasutatud lühendid ja selgitavad märkused

EMDK – Eesti muldade digitaalne kogu

EMK – Eesti muldade klassifikatsioon

ESTSOTER – Eesti SOTER

IUSS – Rahvusvaheline Mullateaduse Selts

MKÜ – mullastiku kaardistamisühik

MOS/MOA – mulla orgaaniline süsinik/mulla orgaaniline aine

SOTER – muldade (SO = soil) ja nende esinemise maa-ala (TER = maa-ala) ehk mullatekkestingimuste andmebaas

USDA ST – Ameerika Ühendriikide Põllumajandusministeeriumi muldade taksonoomia

WRB – Maailma mulla-ressursside referents baas

Käsitledes erinevaid Eesti muldasid ei ole töös antud liigi nimetus vaid tema kood. Mulla nimetuse meeldetuletuseks peaks käepärast olema Eesti MKÜ nimestik (näiteks Astover jt, 2013). Toome siinjuures näiteks väljavõtte Põllumajandusuuringute Keskuse (PMK) poolt korraldatavas riiklikus mullaseires olevate mullaliikide kohta, mille raames seiratakse (1) parasniisketest muldadest K – rähk-, Ko – leostunud, KI – leetjaid ja LP – kähkjaid muldasid; (2) niisketest muldadest Kg – gleistunud rähk-, Kog – gleistunud leostunud, KIg – gleistunud leetjaid ja LPg – gleistunud kähkjaid muldasid, ning (3) märgadest muldadest Gk – rähkseid, Go – leostunud, GI – leetjaid ja LkG – leetunud gleimuldadest (KAUR, 2018).

Arvestada tuleb muudetud asutuste nimedega: EPP – Eesti Põllumajandusprojekti mullastiku uurimise osakonna praeguseks nimeks on AS Eesti Maa-uuringud; EPA – Eesti Põllumajanduse Akadeemia oli mõnda aega (1991–2005) EPMÜ (Eesti Põllumajandusülikool) ja on praegu EMÜ – Eesti Maaülikool; EKUK – Eesti Keskkonnauuringute Keskus; EGK – Eesti Geoloogiakeskus.

EMA on seeriaväljaanne "Eesti NSV mullastik arvudes", millest on ilmunud kokku kaheksa (I–VIII) osa. Teatavasti olid trükivalmis veel kahe osa käsikirjad (Rein Lehtveer – suuline teave), kuid kahjuks on need kaduma läinud.

### Töös kasutatud mõistetest

Eesti mullastiku andmebaasi koostamisel, mullaseires ja mullastiku seisundist ülevaate tegemisel on kasutatud järgmisi mõisteid.

(1) põhiühikutena **mullaliik** ja **mullaerim** kui EMK taksonid; **mullaliik** on väikseim EMK takson muldade arengu ehk geneesi seisukohalt; **mullaerim** on detailsem EMK takson, mis eristatakse mullaliigi piires mulla lõimise alusel; **võtmemuld (liik või erim)** on mingi piirkonna EMK võtmeaspekti muld olles domineeriv oma leviku poolest selle piirkonna muldkattes.

(2) **võtmekateenad** on muldade tüüpilised arenguread või maastiku pikiprofiilid, mis peegeldavad selle piirkonna muldade leviku seaduspärasusi seoses suhteliselt kiirelt vahelduvate lokaalsete mullatekkestingimustega; **pedoökoton** on kahe kontrastse mullaliigi või mullaerimi üleminekuriba.

(3) **muld** on mullaerim (või mullaliik), mis on mitmekülgset ja põhjalikult (suured kordused) läbi uuritud ning sellele toetudes on leitud mullataksoni keskmised parameetrid koos variatsioon-statistilise andmestikuga.

(4) **muldkate** on maismaa pealmine kiht, mis on muutunud mullatekkestingimuste tagajärjel, hõlmates kihi alates maapinnast kuni muutumatu lähtekivimini; **pedon** on sammas või läbilõige muldkattest, millel on võimalik jälgida mullaprofiili ja seda moodustavaid horisonte ja nende lasuvust ning koostist; **huumuskate** on muldkatte pindmine osa, mis mineraalmuldadel hõlmab orgaanilise aine akumulatsioonihorisonid (v.a huumusilluviaalne horisont), kuid turvasmuldadel võetakse selleks ülemine 30 cm turbakiht; **epipedon** on

monoliit huumuskattest, millel on võimalik jälgida huumuskatte kihilist ehitust, lasuvust, orgaanilise aine muundumise iseloomu ja koostist.

(5) **muldade kooslus** on ala või kontuur, kus esineb kaks või rohkem tunduvalt üksteisest erinevat (keskmiselt kontrastset) mulda, kusjuures nendest igapähe osatähtsus on üle 20%; **dominantmuld** on mullaliik või erim, mis moodustab mullakontuurist üle 50%, kusjuures temaga kaasnevad dominandist vähe erinevad (vähekontrastsed) mullad on vähemuses; dominantmulla kontuuris võib esineda alla 10% keskmiselt ja tugevasti kontrastseid muldasid.

(6) **normaalsed mullad** on need mullad, milliste esinemisala biokliimaatilisele võõrmele omane mullatekkeprotsess ei ole nüüdisajal mõjustatud erosioonist (pindmise mullakihi ära- või pealeuhtest), perioodilisest setete akumulatsioonist üleujutusvete (lammi- ja rannikualad) mõjul, ega ole tegemist inimtegevuse tagajärjel toimuva muldkatte eemaldamise või selle mattumisega; **anormalsed mullad** on aga need, milliste biokliimaatiliste tingimustele omane mullateke on takistatud või varjutatud erosiooni (erodeeritud ja deluviaalmullad), setteid kuhjava tulvavetega üleujutuse (lammimullad), perioodiliselt üleujutava merevee (sooldunud rannikumullad) või inimese muldkatet muutuva tegevuse (tehnogeensed mullad) mõju tõttu.

(7) **mullaseire ala** – on mullakontuur või maa-massiiv, millel toimub muldkatte ja mullatekkestingimuste seire; mullaseire alal rajatakse vajaduse korral huumustransektsid (s.o huumusseisundi uurimise transektsid 10–15 huumuskaevaga) või huumusringid (8–10 huumuskaevaga) ning tehakse nende uurimiseks vajalikke töid; ühel seirealal võib asuda üks või mitu mullaseire punkti või kateenat; **mullaseirepunkt** on mõne ruutmeetri suurune ala, kus toimub võtmemulla profiili kirjeldamine, proovide võtmine ja muu vajaliku info kogumine.

(8) **mullastiku kaardistamisühik (MKÜ)** – on piirkondliku mullaklassifikatsiooni ja muldade leviku järgi koostatud mullaliikide nimekirjas olev muld, mida peetakse vajalikuks eristada suuremõõtkavaliste mullastikukaartide koostamisel.

(9) **mulla huumusseisundi** kui üldistava termini all mõistetakse muldkattes toimuvat orgaanilise aine majandamist, mida saab kvantitatiivselt määratleda mulla orgaanilise aine (MOA), mulla orgaanilise süsiniku (MOS) või MOA-sse talletunud energia hulga, st kontsentratsiooni (% ,  $\text{g kg}^{-1}$ ) või varu ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ,  $\text{g m}^{-2}$ ) kaudu; teisiti öeldes, iseloomustab mulla huumusseisund MOA/MOS voogu (sisend  $\rightarrow$  akumulatsioon  $\rightarrow$  väljund) läbi muldkatte.

#### **Kohustuslik teave mullaseirepunkti (pedoni) kohta**

Tundmatust või puudulikult pasporteeritud muldkeskkonnast (pedoni kohta) saadud andmed ei sobi mulla- ja selle seire andmebaasidesse sisestamiseks. Aegade jooksul on kujunenud välja kavad või skeemid, mis tagavad uuritava pedoni identifitseerimise kõigi oluliste väliste ja sisemiste omaduste suhtes, mis on ka eelduseks vastava uurimuse võtmiseks andmebaasi.

Mullaprofiili ülesehitust (pedonit) peegeldav kirjeldus on muldade iseloomustamise klassikaline vahend, mis peaks mullaseires olema tehtud vastavuses kaasaja põhimõtetega (Astover jt, 2012, 2013). Mullaprofiili morfoloogiline uuring peaks hõlmama kõik horisondid ja näitama erinevate mullamaterjalide esinemise ja vastavate kihtide lasuvussügavuse. Mullaprofiili ehitust kajastavate horisontide määramisel on globaalses ulatuses toimunud kriteeriumide ühtlustamine (SSDS, 1993; FAO, 2006).

Mullaseirealal seni tehtud mulla ja mullatekkesteguri kirjeldused võivad olla koostatud erinevate metoodiliste juhendite järgi ja nende täiuslikkuses võivad olla olulised erinevused. Põhiseirealadel ja kateenadel sobiks edaspidi rakendada ESTSOTERis toodud kava (Lemetti, Kõlli, 1998). Üldiselt on muldasid käsitlev andmestik eri projektides võrdlemisi sarnane. Fikseeritav mullainfo koosneb tavaliselt järgmistest osadest (teema järel nurksulgudes on antud maksimaalne näitajate arv ESTSOTERi järgi): (1) Mullavälised ehk seireala ja mullatekkestingimusi iseloomustavad näitajad, selle hulgas seireala üldiseloomustus [16] ja mullakontuuri iseloomustus [15]; (2) Mullaerimi üldiseloomustus [17]; (3) Mullaprofiili ehk pedoni andmed [18] ja (4) horisontide andmed [61].

Tänu viimastel aastakümnetel avanenud võimalusele positsioneerida seirepunkt GPS süsteemi abil osutuvad võimalikuks nn järel-tööd, milleks võivad olla täiendava kirjelduse tegemine, kordusproovide võtmine või mõne muu stabiilse tunnuse mõõtmine. Eestile suunatud info korral tuleks esmane mullaliigi ja lõimise määrang teha EMK järgi. Kui vajatakse ka vastavaid määranguid WRB või USDA ST järgi, siis neid tuleks võtta kui sekundaarseid, millel peaks säilima seos rahvusliku süsteemiga (SSDS, 1993; FAO, 2006).

#### **Mullaseireks vajalikud laboratoorsed analüüsid ja vastavad võimalused**

Mullas toimuvatest protsessidest ja nende ulatusest ülevaate saamiseks on vajalikud mullaseirealalt võetud mullapeenese proovidest järgmiste keemiliste ja füüsikaliste omaduste määramine:

(1) Seoses mulla huumusseisundiga: mulla üld-, labiilne ja vees lahustuv süsinik; MOA ja üldlämmastiku sisaldus.

(2) Makroelementide (Ca, K, Mg, P) üld- ja liikuva ehk ekstraheeruva fraktsiooni sisaldus.

(3) Mikroelementide üld- ja liikuva ehk ekstraheeruva fraktsiooni sisaldus.

(4) Mulla happesuse iseloomustamiseks:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  ja karbonaatide sisaldus.

(5) Katioonide neelamismahutavus ja selle alustega küllastatus.

(6) Mulla eripind.

(7) Mulla lõimis ehk liiva, tolmu ja savi sisaldus.

(8) Erimetoodika alusel võetud rikkumata struktuuriga proovidest määratakse: lasuvustihedus, poorsus ning vee- ja õhuläbilaskvus.

Meetodi valikul peab silmas pidama, et kasutataks usaldusväärset ja laialt levinud meetodeid, mis annab võimaluse tulemuste seostamiseks teistes riikides

saadud uurimistulemustega (SSSA, 1996; Calhoun jt, 1998). Kasutatavate seadmete puhul peab jälgima, et tegemist oleks nüüdisaegse ja antud valdkonnas laialt kasutatava instrumendi tüübiga. Nüüdisaegsete meetodite kasutamine tagab analüüsitulemuste usaldusväärsuse ja võrreldavuse nii varem kui edaspidi teostatavate uuringute tulemustega.

Ostarbekas on kasutada nii MOS kui ka üldsisiniku ja üldlämmastiku sisalduse määramiseks kuivtuhastamist kontrollitud atmosfääris ehk Dumas meetodit. Mulla aineringe ja elutegevuse seisukohalt on oluline määrata ka süsiniku labiilse fraktsiooni osakaal. Ostarbekas oleks määrata nii taimede ja mikroorganismide poolt väga kergesti kasutatav kuumaga ekstraheruv süsinik kui ka lahja  $\text{KMnO}_4$  lahuse toimel oksüdeeruv keemiliselt natuke stabiilsem kuid siiski erinevate organismide poolt kasutatav süsiniku fraktsioon. MOA sisalduse määramiseks on sobiv seni laialt kasutatav gravimeetriline kuumutuskao meetod.

Nii makro- kui ka mikroelementide üldsisalduse määramine sisaldab kahte põhietappi – mullaproovide lahusesse viimist ja erinevate elementide määramist lahusest. Kuna nii makro- kui ka mikroelementide määramised on sarnased, siis määratakse need ühest ja samast lahusest. Üldanalüüsiks tuleb proovide lahustamiseks kasutada mineraliseerumist hapete segus rõhu all, milleks tänapäeval saab kasutada mikrolaine mineralisaatoreid. Elementide sisalduse määramiseks lahusest on sobiv kasutada plasma spektroskoopilist meetodit (ICP).

Mulla liikuvate elementide määramiseks on erinevatel aegadel välja töötatud ja seni kasutusel väga palju meetodeid. Eestis on mulla liikuvate taimetoiteelementide sisalduse määramiseks kasutusel Mehlich 3 meetod. Kuna see on ainus Eestis tunnustatud meetod ja mitmetes maailma regioonides suhteliselt laialt kasutatav, siis on see momendil parim valik liikuvate makro- ja mitmete mikroelementide määramiseks.

Mullaplasma (MOA+savi) mahutavust iseloomustab mulla katioonide neelamismahutavus, kuid selle määramismeetodi valikut raskendab asjaolu, et puudub kõigile muldadele ühtselt sobiv meetod. Koos katioonide neelamismahutavusega määratakse ka aluseliste katioonide (Ca, Mg, K) osatähtsus selles ehk alustega küllastatus.

Mulla lõimise määramine võiks toimuda sedimentatsiooni-analüüsil põhineva pipettmeetodiga.

#### **Nõutav erialane kvalifikatsioon**

Mullaseire on vaid üks osa muldade seisundist ülevaate saamiseks. Nii võivad jooksvad seireandmed (seire read) pakkuda eraldiseisvat metodoloogilist huvi ja jälgitava parameetri paremat mõistmist, kuid mulla-seisundist laiema ülevaate saamiseks ja hindamiseks tuleb seireandmed integreerida laiema tasandil tehtud ressursi uurimistega. Selleks peaks omama üldisi teadmisi EMK ja selle erinevate muldade ülesehitusest ja põhiomadustest. Töövahendina peaks olema käepärast võtta EMK kõrval ka MKÜ ja nende koodide nimestik ning teave erinevate mullaomaduste indikaativsest väärtusest ja kasutatud ühikutest. Õeldu põhjal

võib väita, et nimetatud mullainfo on hästi mõistetav vaid üldmullateaduse põhikursuse ja Eesti mullastiku kursuse läbinuile. Ülevaate tegemine laiemas plaanis eeldab aga juba suuremat erialast kompetentsi ehk magistri- või doktorikraadi omamist, mis eeldab ühtlasi aktuaalse erialalise maailmakirjanduse tundmist, osalemist valdkonna ülemaailmsel foorumitel ja heal tasemel ilmunud erialaseid teadusartikleid. Teisiti öeldes, mullaseire ülevaate tegemine eeldab head erialast kompetentsi. Kahjuks peame tõdema, et Eestis on puudus kõrge kvalifikatsiooniga mullateaduse eriala spetsialistidest.

Nõuded seiretööde, mõõtmiste ja aruande kohta on kättesaadavad uuendatud programmide ja vastavate määruste kaudu (KeSS, 2016; KAUR, 2018).

### **Esiletõstmist vääriavad saavutused Eesti muldade uurimises ja seires**

Meie eelkäijate Eesti mullastiku uurimisele fokuseeritud töö tulemusena on kogutud tähelepanuväärne kogus meie muldade erinevaid omadusi kajastavate andmete kogumeid ja tehtud probleemsetest küsimustest esmaseid ülevaateid. Mõneti üllatav on see, et paljud varasemad uurimistulemused on leidnud liialt vähe kasutust. Meie arvamusel vajab taoline Eesti mullastiku kullafondi kuuluv andmestik taaskasutusele võtmist, kusjuures seda saab teha ennekõike nende kasutuskõlblikumaks muutmise kaudu. Enim arendatuks Eestis on muldade saasteseire, degradatsiooni seire (koos degradeerunud olekust taastumise seirega) ning looduskaitse- ja kompleksseirealadega seotud muldade (kaas)seire (Reintam, 2004; Kumar jt, 2009; KAUR, 2014; Klasen jt, 2017). Järjest suuremat hoogu võtvaks seireks on muldade bioloogiline seire. Viimasel ajal on üles kerkinud vajadus huumuskatete (*pro* huumusvormide) seireks (Kõlli, 2010; Zanella jt, 2010).

Järgevalt loetleme mõningaid saavutusi Eesti muldade uurimises ja seires, nimetades ka vastava instantsi või viidates selle kohta ilmunud kirjandusele. Sealjuures on olnud meile kättesaadavad peamiselt vaid varasematel aegadel EPP-s ja EPA-s ning käesoleval ajal Keskkonnaagentuuri suunitlusel tehtu. Kahjuks jääb muudes asutustes tehtu sellest huvitatud asjaosalistele raskesti kättesaadavaks.

#### **EPP mullastiku uurimise osakonnas tehtud ressursi uurimused ja seire**

EPP mullateadusliku sisuga andmestiku kui pärandmaterjalide hulka kuuluvad:

(1) Kogu Eestit hõlmav interneti kaudu kättesaadav digitaalne mullastiku kaart mõõdus 1:10000 koos MKÜ kontuurides olevate muldade põhiomaduste ja pindalaga (MAM, 2001; MUR, 2001).

(2) Domineerivate mullaerimite mudelprofiilid koos kõigi selle horisontide morfomeetriliste, erinevate füüsikaliste ja keemiliste omaduste kontsentratsiooni aritmeetiliste keskmiste ning kirjeldava statistika näitajatega. Algselt on need publitseeritud seeriaväljaandes "Eesti NSV mullastik arvudes" (EMA, II, III, IV ja VI), hiljem on nad õppetstarbel välja antud brošüüridena

paberandjal ja elektroonilisel kujul "Eesti muldade digitaalse kogu" CD-6-na (EMDK, 2008).

(3) Eesti jaotamine põllumajanduslike maade mullaliikide koosseisu alusel 116 agro-mullastikuliseks mikrorajooniks (EMA, I). Selle andmestiku järgi leiab üles mistahes Eesti agro-mullastikulise mikrorajooni mullaerimite ja kooslustes olevate mullaliikide osatähtsuse andmed, mille alusel saab iseloomustada erinevate maastike paigaste mullastikku ja hinnata meid huvitava kinnistu mullastiku koosseisu ning selle vastavust asukohale ehk pedo-ökoloogilist ekvivalentsust (Arold, 2005).

(4) Määratud on Eesti muldade lähtekivimite ja nendel kujunenud muldade mehhaaniline koostis ehk lõimis mullahorisontide kaupa ning tehtud kokkuvõtted Eesti maakondade muldade lõimistest (EMA, II, IV ja VI).

(5) On uuritud mullaliigi mullatekketingimuste regionaalsete iseärasuste kajastumist mullaprofiili ülesehituses ja omadustes: LP mullad (EMA, VI-4) ning Kr, K, Ko, KI ja LP mullad (EMA, VIII-1-3).

(6) On selgitatud põllumuldade pedoni ülesehituse, elementaarareaali suuruse ja huumushorisondi tuseduse (peamiselt K, Ko ja KI; vähemas osas Kr ja LP) varieeruvust ja nende sõltuvust mulla asukohast reljefil (EMA, V-7). Samuti uuriti huumushorisondi tüsenemist maastiku tüüpide, mullaliikide (K, Ko, KI, LP ja Lk) ja agro-rühmade lõikes (EMA, VII-3).

(7) On määratud põllumulla erimite lasuvustihedused kogu profiili ulatuses. Võrreldavuse huvides on need määratud augustis-septembris peamiselt teravilja kõrrepõldudel (EMA, VI-2).

(8) On uuritud põllumulla tihenemist (EMA, VI-3) ja esitatud esmakordne mullatihese klassifikatsioon (R. Lehtveer; EMA, VII-2 ja VIII-4).

(9) On kogutud andmed ühe ja sama mullaliigi (LP) ülesehituse ja omaduste erinevuste kohta sõltuvalt nende kasutamise põllu- või metsamullana; samas on selgitatud veel ka selle mullaliigi erinevusi geograafilise leviku suhtes (EMA, VI-4).

(10) On koostatud ülevaade Eesti põllumuldade kivisusest (peen- ja suurkivisus) (EMA, VII-1).

(11) Aastatel 1983–1994 rajati ja tehti põllumuldade seiret 79 vaatlusväljakul. Tehti esimesed kokkuvõtted põllumulla omaduste muutumisest statistilise analüüsi alusel. Analüüsi alla oli võetud huumushorisondi tusedus, huumuse sisaldus, huumusvaru ja lasuvustihedus; künnikihi mulla  $pH_{KCl}$  ja taimedele omastatava P ja K sisaldus. Seda kõike tehti koos saagikuse uurimisega (EMA, VII-4). 2002. aastal valiti nende hulgast põllumuldade seire jätkamiseks 30 ala, kuhu rajati selleks otstarbeks huumustransektsid PMK seirerühma poolt (KAUR, 2018).

(12) On olemas andmed Kirde-Eesti muldade leelistumise kohta (EMA, VII-5).

(13) On tehtud ülevaade Eesti liivmuldade keemilisest koostisest (EMA, VII-6 ja VIII-6).

(14) On tehtud ülevaade Eesti rabamuldade saastatusest 6 vaatlusväljaku andmete alusel (EMA, VIII-5).

Väärib märkimist, et Eesti riigi taastamise üleminekuagadel on kaduma läinud andmed Eesti muldade

soojusressurssidest ja Eestit läbiva transektsi sügavaevete kohta kogutud andmestik.

### **Muudes uurimisasutustes mullaressursside uurimise ja seire alal tehtust ja tehtavast**

(1) Eesti Geoloogiakeskuse (EGK) poolt on muldade seisundi jälgimiseks korraldatud üheksakümnendatel aastatel püsivaatlusi reas vaatlusjaamades. Kõlli ja Ellermäe osavõtul (2000) uuriti 12 seirepunkti sobivust mullaseire läbiviimiseks, millistel jätkusid seiretööd alates 2001. aastast. Heaks ülevaateks Eesti põllumuldades esinevate mikroelementide kohta on EGK osavõtul geokeemilise seire tulemusena koostatud büllettään ja geokeemiline atlas (Petersell jt, 1996; Petersell jt, 1997).

(2) Eesti Teaduste Akadeemia Looduskaitse Komisjoni konverentsi kogumikus "Muld ökosüsteemis, seire ja kaitse" (Reintam, 2004) tutvustatakse seirealade valikuprobleeme ja esialgseid tulemusi huumusesisalduse, lasuvustiheduse ja hapestumise kohta; põllumuldade väetustarbe määramise ajalugu ja analüüsimetodeid; ning taasalustatud põllumuldade seiret P. Penu, I. Rooma ja O. Ellermäe koostööna. Peale nimetatute on selles kogumikus veel rida Eesti muldade seisundit käsitlevaid artikleid nagu mõhnastike mullad, tihenend muldade bioloogiline ravi, hooghännalistest põllumuldades, juur-muld suhetest, lämmastikoksiidide ja metaani emissioonist märgadest muldadest jms.

(3) Igati õigustatud on Keskkonnaagentuuri viimaste aastate püüdlused kindlama süsteemsuse loomiseks ja tõhusamate teede (mooduste) leidmiseks mullaseire vallas, eesmärgiga saada võimalikult hea ülevaade Eestimaa muldkatte praegusest seisundist ja selle muldade muutuste suundadest, tehes seda nii asjakohase tagasisaate kui seal käsiloleva inventuuri ja kriitilise hinnangu kaudu (KeSS, 2016; KAUR, 2017, 2018; KKMM, 2017). Keskkonnaagentuuri vastutusalas on laekunud mullaseirega seoses olevad aastaruanded ja mõõtmiste andmestikud ning aeg-ajalt tehtud ülevaated.

(4) Vaadates tagasi EMÜ mullateaduslikes uurimustes tehtule ja hinnates seda muldade seisundi määratlemise seisukohalt selgub, et on olemas soliidne kogus olulise levikuga mullaerimite kohta tehtud süva-uurimusi (režiimid, huumusseisund ja palju muud), millised peaks n.ö taaskasutusse võtma. Omamoodi suur väärtus mudelmulla või etalonina on Balti-Ameerika koostöös uuritud reepermuldadel, mida saab kasutada nii meetoodikate, klassifikatsioonide kui ka mullaomaduste võrdleval analüüsil (Calhoun jt, 1998). Samas on EMÜ-s terve rida jätkuvaid uuringuid, mis on tehtud viimastel aastatel ja pakuvad huvi muldade seire ja olemasoleva seisundi hindamise aspektist.

(5) Muldade seisundi hindamise ja nende seire seisukohalt huvipakkuvaid uurimisi on rohkesti veel ka paljudes teistes Eesti uurimisasutustes: EKUK, Metsakaitse- ja Metsauuenduskeskus jt.

2017. a seisuga oli PMK korraldatud riiklikus mullaseires 30 püsivaatlusalala järgmiste mullaliikidega (arv sulgudes): K (2), Ko (4), KI (4), LP (2), Kg (1), Kog (1), KIg (2), LPg (2), Gk (3), Go (2), GI (3), LkG (1), E-D kompleks (2), turvasmuld (1) (KAUR, 2018).

Kuigi taoline mullaliikide jaotus on seiratavate põllumuldade suhtes küllaltki esinduslik, oleks siiski õigem normaalse arenguga muldadest ennekõike seirata automorfseid parasniiskeid muldasid ja selle järel (või kõrval) alaliselt liigniiskeid glei- ja n.ö viimases järjekorras turvastunud ja turvasmuldasid. Gleistunud muldade vähesem seiresobivus tuleneb nende väiksemast osakaalust põllumuldade hulgas ja veel sellest, et nad on üleminekuala mullad parasniiskete ja gleimuldade vahel.

PMK poolt seiratavate huumustransectide algus- ja lõpp-punktid ning sügavkaevete asukohad on GPS-i abil seostatud geograafiliste koordinaatidega. Graafikujärgse seiraja raames võetakse augustis-septembris proovid sügavkaevete geneetilistest horisontidest ja huumuskaevetest ning eriproovid lasuvustiheduse ja koondproovid raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide määramiseks (Reintam, 2004; Klasen jt, 2017).

Ka muldkesksele seirele alternatiivsed seired võivad oma põhiobjekti mullaga seotuse tõttu uurida mõningaid mullaparameetreid. Samas jäävad nad valdavalt kõik muldasid käsitlevas osas lünklikuks, sest ei ole tehtud nõutaval tasemel muldade määramist ja ei ole fikseeritud kohustuslikke mullaparameetreid. Nii on Eestis kujunenud olukord, kus juhuslikult seiresse sattunud mullad on muldkeskselt positsioonilt lähtuvalt vähe huvipakkuvad. Samal ajal ei ole Eesti seiramist vajavaid domineerivaid mullaerimeid allutatud piisaval hulgal seiresse.

1997. aastal koostatud Riikliku mullaseire projekti järgi (Kõlli, Lemetti, 1997) oleks optimaalne teha mullaseiret 29 mullaerimil, mis hõlmaks kokku 109 seirepunkti (metsas 18 mullal ja 40 punktis, looduslikul rohumaal 17 ja 25 ning haritaval maal 17 ja 44). Lisaks sellele peaks seirele olema allutatud 17 mullakateenat, mis hõlmaks anormaalsetest muldadest erodeeritud, deluviaalsed, lammi- ja rannikumuldade kateenad; normaalsetest muldadest mõhnastike, rannavalli, rähkmoreeni ja veesetete, Kesk-Eesti karbonaatse moreeni ja veesetete, Lõuna-Eesti punakaspruuni moreeni ja veesetete, leede- ja leetunud, glei- ja turvastunud ning paepealsete muldade kompleksid (kateenad); lisaks turvasmuldadest madalsoode ja rabade äärealad ning soostunud lammi- ja lammisoomullad ligemale 60 seirepunktiga.

Muldade seisundit kajastava olemasoleva (st varem kogutud) teabe kohta kehtib väljend, et see ei ole "varnast võtta", sest selle uuskasutusse võtmine nõuab rohket eeltööd. Parima kättesaadavuse huvides tuleks selleks koostada kõigepealt vastava suunitlusega bibliograafiline nimekiri, millesse on sisestatud vaid tööd, kus muld on dokumenteeritud või on fikseeritud olulised muldkatte parameetrid. Siinjuures saab erandjuhtudel arvestada sellega, et puuduv info hangitakse nn järeltöö korras. Bibliograafia koostamisega peaks kaasnema süsteemne märksõnade register, mis annab võimaluse meid huvitava töö kergesti üles leida.

Soovida jätab mulla kui olulise loodusressursi kajastamine riigi seadusandluses. Peamiselt on tähelepanu

pööratud vaid muldkatte kaitsele erinevatest aspektidest lähtudes (1) saastekahju hüvitamise seadus (1993); kaitstavate loodusobjektide seadus (1994); maapõue-seadus (1994); ranna ja kalda kaitse seadus (1995) ja veel mõned teised. Vaja oleks täielikult muldkeskselt positsioonilt lähtuvat seadusandlikku akti.

### Mullaseire olulistest külgedest

Mullaseiret peaks kõigepealt tegema võtmemullaerimisel, mille tulemustele toetudes saab iseloomustada nendele arenguastmelt, lõimiselt, veerežiimilt ja kasutuse iseloomult sarnaseid muldasid. Representatiivsuse tagamisel on olulisem ühe võtmemullaerimi suurem seirealade arv, kui suur erimite mitmekesisus. Eesti muldade taksonoomilise seire võtmemullaerimite nimestik on kokkuleppe asi, sõltudes muldkatte mitmekesisusest, muldade osatähtsusest ja rahalistest võimalustest. Võtmemullaerimid võiks jaotada nende osatähtsuse järgi kolme (I–III) kategooriasse (Kõlli, Lemetti, 1997), eelistades seiramisel I kategooria võtmemuldadeid. Valdavalt kõigi anormaalsete muldade, aga ka mõningate normaalse arenguga mineraal- ja turvasmuldade seiret oleks otstarbekas teha võtmekateenade lõikes, mis annab hea ülevaate muldkatte mitmekesisusest (pedoökotonide rikkusest). Ka lähtekivimist päritavate omaduste ja muld-taim süsteemi lõimisele vastava adekvaatsuse selgitamist on mõttekas teha võtmekateenade abil.

Põhimõttelise tähtsusega muldade seires on muldkatte kihilise ülesehituse, talitluslikult aktiivsete kihtide tuseduste ja mullatekkest puutumatu kihtide paiknemise fikseerimine. Üldiselt on mullaprofiili koosseisus olevate horisontide määratlemisel globaalses ulatuses toimunud diagnostiliste kriteeriumide ühtlustamine ning erinevate riikide mullauurijate vahel üksteise mõistmisel probleeme ei teki. Arusaamatusi võib tekkida eri maade mullaandmete võrdlemisel muldade kaupa, sest et erinevate maade ja koolkondade klassifikatsioonide põhiprintsiibid, kasutatavad kriteeriumid, taksonite maht ja mullanimed lahnevad suures ulatuses. Ka kohalike mullanimetuste tõlge teistesse keeltesse ja eelnev kasutatavate nimetuste konverteerimine ei lahenda seda probleemi, sest diagnostikaga hõlmatavad "mullamahud", klassifikatsioonide paindlikkus ja piirkondade mullastikulis-kliimaatilised tingimused võivad olla erinevad. Selle kõige tõttu kontuuride eralduspiirid mullastiku kaardil ei kattu ning alternatiivseid vasteid teise maa mullaklassifikatsioonis on valdavalt rohkem kui üks.

Mullaseirepunkti iseloomustuseks valitud pedon ei pruugi alati kokku langeda mullakontuuri nimetusega, mis on sisuliselt polüpedon. Mullaseire adekvaatsuse tagamiseks peaks mulla seireandmete baasis olema seirealade ja seirepunktide register. Tähtis on, et oleks tagatud domineerivate võtmemuldade seire ja nende optimaalne geograafiline paiknemine ning oleks välditud liigsed kordamised.

Mullaseirel on oluline jälgida muldkatte aktiivseima osa s.o huumuskatte ülesehitust ja talitlemist. Mulla ja taime vastastikune seos on enam märgata maapinnale

lähemal lasuvates mullakihtides. Huumuskattes peegeldub taimkatte tagasimõju (iga-aastase varise ja moodustunud orgaanilise aine poolt rikaste horisontide akumulatsiooni näol) mullale. Huumuskate (epipedon), mis lasub taim- ja muldkatte piirimail, väljendab huumusprofiili kaudu kõige selgemalt nii looduskeskkonna kui ka inimtegevuse mõjutuste iseloomu mullale. Rohkete uurimistega on selgunud looduslike mullakoosluste väga suur mosaiiksus ja koos sellega ka epipedonite (eriti selle ülemise osa – metsa või rohumaa koduskihtide) mosaiiksus, mis nõuab põhimõtteliselt erilist seiret. See on, ühelt poolt, seotud suurema arvu mõõtmistega, et tabada suurest loomupärasest varieerumisest tingitud nähteid ning, teiselt poolt, vajadusega uurida morfoloogiat pealtvaates (avades järjest uusi kihte), mitte aga külgsuurt kirjeldades, nagu seda tehakse tüsedate mullahorisontide puhul. Eesti kohta on välja töötatud huumuskatte klassifikatsioonid nii metsa- kui haritava maa muldade kohta (Kõlli, 1994, 2003).

Eestimaa paiknemise tõttu metsavööndi pedokliimaatilistes tingimustes on eriline indikaativne roll taim-muld süsteemi talitluste mõistmisel just huumuskatte pindmisel osal ehk metsakõdul. Meist põhjapool asuvatel aladel suureneb metsakõdude uurimise vajadus veelgi enam, meist lõunapool suundudes aga selle komponendi roll väheneb. Seega on erinevate mullaliikide ja piirkondade seire puhul huvide fookus erinevatel muldkatte komponentidel. Teisiti öeldes ei ole muldade tasakaalulise oleku püsijäämise, ökoloogiliselt õige kasutamise ja kaitse võtmed universaalsed, vaid erinevad põhjalikult, minnes põuakartlikelt muldadelt märgadele muldadele, kergetelt lõimistelt rasketele, mineraalmuldadelt turvastele, happelistelt karbonaatsetele jms.

### Mullaseire problemaatilised aspektid

Maakera eri piirkondade muldkatetele on iseloomulik märgatav unikaalsus (pedoökoloogiliselt ekvivalentsete alade vähesus või puudumine), muldade suur regioonisisene mitmekesisus ja nende omaduste suured erinevused (mineraal- ja turvasmuld, karbonaatne ja happeline muld, veerežiimilt põuakartlik kuni üleujutatud muld, lõimiselt liivad, kruusad kuni savid jms), mis eeldab detailsel taksonoomilisel tasemel (meil liigi või erimi tasemel) tehtavat seiret. Muldade mitmekesisus teeb mullaseire mahukaks võrreldes vee või õhu seiretega. Üldjuhul on muldade uurimise meetodid, klassifikatsioonid ja ka seire oma algsel arengul lähtunud põllumajanduse huvidest. Seoses sellega on looduslike alade muldade ökoloogiline iseloomustamine ja seire erisused õigustamatult vähem tähelepanu ja uurimist leidnud. Sootuks vähe tähelepanu on pälvinud nii looduslike kui kultuuristatud muldade keskkonnaseisundit määravad aspektid

(Kõlli, 1999; Blum, 2002), mida käsitleme põgusalt töö viimases osas (Kõlli, 1999).

Eestis peaks mullaseire planeerimisel ja registreerimisel korraldamisel rakendama ametlikult kinnitatud MKÜ nimestikku, mis rahuldab täielikult mullaseire vajadused (MKÜ, 1982). EMK ja MKÜ nimestik tagavad võimaluse konverteerida seiresse võetud võtmemulla nimetused nii WRB mullaklassifikatsiooni, kui ka USDA Soil Taxonomy süsteemidesse (SSS, 2014; IUSS, 2015). Rahvusvahelises suhtlemises kerkib üles ka mulla lõimise konverteerimise vajadus. Selles osas on esialgu vältimatu kahe süsteemi paralleelne kasutamine. Samas on erijuhendite alusel võimalik konverteerida Katšinski (vene süsteemi) järgi määratud lõimis WRB süsteemi, kuid mulla korese puhul on vältimatu EMK jaotuste kasutamine (Astover jt 2013; Rannik jt, 2016).

Perspektiivne mullaseire peaks lahendama ka uue adekvaatse mullainfo laekumise, mille kaudu täienevad muldkatet käsitlevad andmebaasid ja toimub mulla, kui tähtsa loodusliku ressursi ökoloogiliste aspektide arvestus. Üheks mullaseire tõhustamise asjaoluks on varasemate soliidse andmestikuga uurimisalade kasutamine. Samuti võiks arvestada nn järel-töödega mulla kirjeldamise osas, mis on eriti aktuaalne aladel, kus muld on olnud kaasseire objektiks.

Muldade käsitlemisel ja seirealade valikul on vaja tähelepanu pöörata regiooni nn ideaalsele mullale (Kõlli, 1994; Kõlli, Tamm, 2012). Selleks on antud piirkonna maksimaalse produktiivsusvõimega ja samas tasakaalustunud olekus olev muld. Igas regioonis võib eristada oma ideaalmullad, millised ületavad ülejäänuid oma produktiivsuse ja talitluse aktiivsusest. Võrreldes nn ideaalmullaga on teistel muldadel rohkem puudeid, mis peaksid saama muldade seires fikseeritud, kusjuures mõningatest puuetest taastumine või puude progresseerumine väärrib seiramist.

Aladel, kus muldade seire on kaasseire staatuses, peaks karakteristikuid olema sellises mahus, et saaks määrata mullaerimi, selle põhiomadused ning seostada mullaandmed taimestiku, kliima, pinnakatte, loomastiku jms andmestikuga. Kõigil mullaseiresse võetud aladel tuleks tagada kavandatavate mõõtmistulemuste säilitamine ja nende liitmine olemasolevasse mullastiku andmebaasi (Jones, Buckley, 1996).

Üheks eriliseks nähtuseks Eesti muldade degradatsiooni alal on kaevandusmaastiku rikutud mullad, kus kuni 1959. aastani kaevandati põlevkivi maa all. Nendel aladel on maa-aluste kaevanduskäikude sisselangemise tõttu maapind vajunud kohati isegi üle kahe meetri. Üldiselt on muldade produktiivsus nendel ebahühtlastel aladel langenud, liigniisked mineraalmulla langatuslohud on alluvad soostumisele ja kogu ala muutunud raskesti majandatavaks, mida on keeruline ja kulukas taastada (KAUR, 2018). Mõningane seire kuluks ka nende alade parema kasutamise huvides ära.



### **Arutelu mõningate mulla omadustest ja talitlemisest tulenevate seirevajaduste üle, mida tasuks arvestada riikliku mullaseire programmi revideerimisel**

Maa ja mulla hoidmine on suuremas ulatuses riigisisene asi võrreldes vee ja eriti õhu kaitse ja seirega, mis on valdavalt riigiüleised ressursid. Kahjuks on Eestis mullaandmebaaside läbitöötamine ja täiendamine muutunud mõneski osas mittepiisavaks või puudub hoopiski. Arhiivis seisvast andmebaasist ei ole kasu kellelegi. Mullaseire, mis on väga tihedalt seotud riigis olemasoleva mullainfoga, põhiülesandeks on jälgida muldkatte talitlemist. Toetudes varem kogutud infole saab otsustada – kas seire toimub kestlikult ja normaalses piirides. Siinjuures on väga oluline arvestada regionaalset aspekti ning muldkatte seotust ümbritseva looduse teiste komponentidega ja nendes toimuvate muutustega.

Eesti muldade seire heal (kaasaja nõuetele vastaval) tasemel mittekäivitumist, võrreldes teiste looduse komponentide seirega, seostub adekvaatse riikliku mullateenistuse puudumisega, millise üheks ülesandeks oleks olnud ka olemasoleva mullastikulise info pidev läbitöötamine, selle täiendamine ja sealhulgas ka mullaseire korraldamine. Tõsiseks puuduseks on mahajäämus kommunikatiivsete digiandmebaaside loomises ja mullateadust põhjalikult tundvate spetsialistide vähesus.

Vaadeldes Euroopa mullakaitsestrateegias välja toodud kaheksat olulist mullakaitse teemat (Blum, 2002): erosioon, orgaanilise aine vähenemine, saastumine, sooldumine, tallamine, bioloogilise mitmekesisuse vähenemine, mulla katmine ehitiste ja muude rajatistega, maalihked ja üleujutused nn mullaseire võtmes, võib tõdeda, et nendest sooldumine ja maalihked on Eesti puhul lokaalse tähtsusega. Valdavad üleujutused esinevad vooluveekogude lammidel kevadperioodil, olles looduslike rohumaamuldade tekketingimuseks, kuid oma vähese leviku tõttu nad olulist seiret ei vaja. Mullaseire ressursi ei oleks vaja kulutada ka muldade tehnoarajatistega katmise uurimisele, kuna see on maakasutuse arvestuse asi. Kuid siinjuures võiks olla nõue, et peetaks arvestust kaetud muldade pindala ja liigilise koostise ning mulla kvaliteedi üle. Mis puutub muldade erosiooni ja deflatsiooni, siis need on enamasti regionaalse tähtsusega ja esinevad taimkatteta (sh haritavatel) maadel. Kuna vee-erosiooni kõrval võib kallaklikel põldudel esineda ka tehnoloogilist erosiooni, vajab seda sorti degradatsioon seiramist mõne erinevale E-D kateenale rajatud transektiga. Enam seiramist vajab orgaanilise aine kadu muldkattest ja muldade saastumine. Teatavasti on põllumuldadele iseloomulik intensiivne ja aasta-aastalt muutuv mulla orgaanilise aine aastakäive. Tasakaalus sisendi ja väljundi korral püsib mulla huumusesisund paljuaastase keskmisena muldkatte huumushoiuvõime ehk optimaalsel tasemel (Astover jt, 2012). Üleekspluaateerimisel ja mitteküllaldase kompenseerimise korral võib mullas tekkida aga huumuse vajak. Küll aga tekivad hüppelised muutused maade kuivendamisel ja

põllumulla muutmisel püsirohumaaks, mille alal seni kindlaks tehtu vajaks edasiarendamist seire abil (Kõlli jt, 2004; Astover jt, 2012).

Enne täiel käigul muldade saastatuse seire alustamist oleks vaja teha nn rekognos- või eeluurimisi endisaegse ja praeguse aja saasteriskiga aladel. Saastatuse seire on laboratoorse analüüside osas väga mitmekülgne ja mahukas. Aruannete järgi otsustades on selles vallas olnud võrdlemisi edukad, kuid mulla järjepideva saasteseire alla oleks mõistlik võtta vaid kriitilises seisus olevad mullad ja keskkonnaohtlikud saasteained (Klasen jt, 2017).

Laialdaselt tunduvad olevat kaasajal levinud arvamus ja hoiatused, et muldade bioloogiline mitmekesisus väheneb kõikjal drastiliselt. Juhime seoses sellega tähelepanu kahele olulisele asjaolule (1) et mullaelustiku koosseis sõltub mullaliigist ja on suuremal või vähemal määral erinev erinevates muldades ja erineva maakasutuse korral ning (2) et mullaelustiku arvukusele ja mitmekesisusele hinnangu andmine ja nende seire peaks toimuma ikkagi muldkeskselt st mullaliigi põhiselt. Seega tuleks kõigepealt kindlaks teha mullaelustiku koosseis ja talitlemine ning elupaik erinevates mullaliikides ning selle erinevate horisontide ja struktuuriagregaatide suhtes ning alles siis saab uurida põhjalikumalt elustiku adekvaatsust mullale ja selle muutumise dünaamikat.

Üldiselt ei peaks põllumuldade seireprogramm enda kanda võtma taimetoiteelementide sisalduse dünaamika jälgimist, sest see ei ole mullaliigi põhine, vaid peamiselt ikkagi muldade majandamise (kasvatatavate kultuuride vajaduse ja mullast eemaldatud varude) põhine, seega on see ka vaid konkreetse põllu (või põllumassiivi) põhine. Meie arvates ei ole mõistlik kulutada mullaseirele määratud vahendeid väetistarbe jms määramiseks ehk siis, seiret ei tehta selleks, et anda soovitusi väetiste ja taimekaitsevahendite kasutamiseks. Need asjad peaksid olema teise suunitlusega ettevõtmiste või uurimisprogrammide ülesandeks. Arvesse võiks tulla ehk vaid mulla kaltsiumi- ja huumusesisundi seire, mille tulemuste alusel saab korrigeerida mulla taimekasvatustlike omadusi mulla-parandajate (lupjamine, orgaanilised ained) kasutamise abil. Hoopiski olematu või vähearvukas on Eestis andmestik looduslike (metsa- ja rohuma-) mineraalmuldade huumuskatte ja alusmulla taimelele omastatava P, K, Mg ja Ca kohta. Taolisi andmeid on olemas vaid mõningate mullaliikide metsakõdude kohta (EMA, IV ja V) ja üksikutes teadusartiklites. Metsamaade metsakasvatustlike omaduste hindamise seisukohalt oleks vaja teada kõigi nimetatud elementide seisundit, et selgitada välja esineda võiv defitsiitsus teatud elemendi suhtes ning nende sisalduse taksonoomilised ja piirkondlikud erinevused.

Viimastel aastakümnetel on muldkatet käsitletud mitte ainult kui tootmisvahendit põllu- ja metsamajanduses, vaid ka kui ümbritseva keskkonna head seisundit hoidvat või seda parandavat looduslikku moodustist, mis toimib tänu muldkatte ja tema koosseisus olevate

muldade talitlemisele või nendes toimuvatele protsessidele ning on suuresti erinev sõltuvalt mullaliigi omadustest (Kõlli, 1999; Blum, 2002; Kõlli jt, 2004). See muldade roll oleneb peale temas elunevate organismide veel ka muldkatte all olevate pinnakatte kihtide iseloomust.

Peamised mulla talitlused (ka funktsioonid, teenused), millistest sõltub ühe või teise mullaliigi keskkonda hoidev võime, on (1) mulla talitlemine taimedele ja MOA lagundajatele sobiva keskkonnana, (2) talitlemine taimedele omastatavate toiteelementide ja vee akumulaatorina ning vett puhastava membraanina, ja (3) mullaliigile omase mullakliima loomine mullaliigipõhise tsüklilise ja tasakaalustatud vee-, õhu-, soojus- ja hapendus-taandusrežiimide kaudu. Muldkatte keskkonnakaitse võime on kvantitatiivselt hinnatav ja majandusliku tegevusega reguleeritav. Nii determineerib muldkatte (1) temast alguse saavate aineriingete koostise ja mahu ning (2) talitluste iseloomu, millega töödeldakse ümber mulda sattunud aineid ja puhastatakse mullas olevat või mulda läbivat vett. Erinevate mullaliikide keskkonnanõuetest saab peale võrdleva hindamise ka majandamisvõtete abil tõhusamaks muuta. Taolise hindamise ja vastava aktiivsuse korregeerimise võimaluste üle otsustamisel on aluseks sellised seirataavad mulla karakteristikud nagu mullahorisontide tüsedus, lõimised ja nende lasumise iseloom, mullaplasma seisundit näitavad eripinna indeks ja neelamismahutavus, muldkatte elustiku koosseis ja bioloogiline aktiivsus, küllastusaste ja selle vastastikune seos happesuse ja/või kaltsiumi seisundiga jms.

Õigustatud tundub olevat ettepanek muldade süsinikusisalduse diferentseeritud või süvitsi minevaks seiramiseks, et jälgida ja võrdlevalt hinnata labiilse ja stabiilse süsiniku hulka ja nende vahetava muldade (KAUR, 2017, 2018). Olulise tähtsusega ja eriti vajalik on see põllumuldade puhul. Metsamuldade puhul taoline seirevajadus puudub, kuna siin selgub süsiniku käibega seotud toime huumuskatte seire kaudu. Mis puutub Eesti muldade huumuskatte (sh mulla orgaanilise süsiniku) seisundisse, siis need on leidnud kokkuvõtvat käsitlust nii teoreetilisest aspektist (Astover jt, 2012; Köster, Kõlli, 2013), kui ka MOS ja/või huumuse kontsentratsioonina mudelmuldade geneetilistes horisontides erineva maakasutuse korral (EMA, II, III, IV ja V; Kõlli jt, 2009; Kõlli jt, 2010), ning ka kokkuvõtvate artiklitena Eesti metsamaa- (Kõlli jt, 2004), haritava maa (Kõlli, Ellermäe, 2003) ja rohumaamuldade (Kõlli jt, 2007) kohta. Eestis on kogutud olulisel hulgal andmestikku, et teha esialgseid kokkuvõtteid muldade omaduste muutuste kohta seoses maakasutuse muutustega taksonoomilisel alusel. Seega ei oleks esialgu otstarbekas rajada uusi paralleelseid kohtpaikseid seirealasid haritava ja metsamaa muldadele nende erisuste hindamiseks.

Eestis senini tehtud riikliku loodusressursside seire alusel saab väita, et mullaseire vajadust on selgelt alahinnatud. Selleks tööks eraldatud väheste rahaliste vahendite kõrval ei ole täitunud lootus, et mullaseire

saab lahendada nn kaasseire korras. Negatiivseks näiteks selles osas on kasvõi rahvusvaheline (piiride ülene) metsade seisundi seire, millega loodeti lahendada ka metsamuldade seire. Kuid kahjuks on siinjuures muldkatet käsitlenud kui vaid taustsüsteemi, mis ei vasta üldsegi mitte mullaseire kaanonitele. Kõige suurem vasturääkivus esineb siin muldkatte käsitlemisel etteantud lasuvussügavusega mullakihtide kaudu, ignoreerides mullahorisontide tegelikke lasumise sügavusi ja huumuskatte (ehk huumusvormide) esinemist, mis on mullaseire põhifookuse asi. Selle kõige kaasnab mitteadekvaatsete proovide võtmine, millele analüüsitulemused ei oma mullaomaduste üldistamise seisukohalt olulist väärtust. Taoline mullaseire staatus – olla teenuste osutajaks kõrvalseisvate loodusobjektide seirele – ei lahenda mullaseire ülesandeid. Nn ühisseire tuleks juba algselt planeerida kokkuleppeiliselt nii, et toimuks pariteetne käsitlus ühisosade või -huvide suhtes. Peaks kehtestama nõude, et kõigil mullaga seotud seiretel peaks toimuma mulla määratlemine ka mullaseire nõuete kohaselt.

Oleme nõus arvamusega (KAUR, 2018), et mullaseire peaks hõlmama peale senini kavas olevate vaatluste veel ka mulla lämmastiku, eripinna ja neelamismahutavuse määramise ning kuivendatud põllu-, rohumaa- ja metsamulla dreeni- või kuivenduskraavivee analüüsi. Nii makrokliima mullakliimaks kujunemise huvides, kui ka mullaliigipõhise elusorganismide koosseisu ja talitlemise uurimise huvides on vaja teada ühe või teise mullaliigi õhu-, soojus-, niiskus- ja hapendus-taandusrežiime. Praeguseks ajaks on säilinud vaid väheses koguses uurimisanalüüsi EPA ja mõnede teiste uurimisametite teaduslike tööde kogumikes, mis vajaksid esmajärjekorras mullaliikide lõikes digitaliseerimist. Mullakliima jälgimist põllumaadel on Eestis tehtud Jõgeval aastatel 1965–1990 (Raudsepp jt, 2017). Sellealane pärandmaterjal vääraks arhiivide üles otsimist ja digitaliseerimist ning mullaseire reeglite kohaselt süstematiseerimist, kusjuures erilist huvi pakuksid erinevate mullaliikide soojusressursside andmed.

Mullaseire probleemide üle arutlemisel paistavad silma "käärid" Euroopa tasandile esitatavate võrdlusandmete või üldistuste ja kohalikuks majanduseks vajavate andmetöötluste vahel. Esimesed vajavad heade alatundjate poolt tehtud üldistusi, teised konkreetseid andmeid kasutusüksuste (maamassiivide) või geograafiliselt positsioneeritud punktide kohta. Need kaks erisuunalist aruandlust ei kattu omavahel ja vajavad seega erinevat lähenemist ja üldistuse astet. Mõlema vajaduse kataks otstarbekalt koostatud süsteemne riiklik mullastiku andmebaas.

Üheks mullaseire probleemiks seirealade sobivuse kõrval on nende säilimine seirekõlblikena pikemas ajalisel perspektiivis. Selles osas tuleks eelistada looduskaitse all olevaid alasid. Haritavate maade seirealadel peaks säilima riigi keskmisele tasemele vastav agrotehnoloogia ja väetuskorraldus. Mullaliigi (erimi) seirealaks võivad sobida hästi ka mahealad, sest seal peegelduvad kasutatava tehnoloogia kõrval tunduvalt

paremini mulla sisemistest omadustest tingitud nähtused. Eesti mullaseire võrgustiku loomisega seotud probleeme on käsitlenud ka EV KKM Seirenõukogu poolt sõlmitud lepingulise töö aruandes (Kõlli, Ellermäe, 2000b).

### Kokkuvõte

Eesti mullaseire tõhustamisel on olulise tähtsusega järgmised asjaolud.

(1) Muldkatte talitlusliku seisundi hindamine ja hea seisundi kestmise nõuavad võrratult rohkem kui seire aegriade fikseerimine; iga seireperioodi uued andmed tuleks võimalikult koheselt integreerida varasemate ressursi uurimustega ja jooksvalt kogutud seire andmetega.

(2) Esimese kokkuvõtva teabena mullaseire alal tuleks koostada nii trüki ilmunud kui käsikirjadena arhiivides oleva Eesti muldade seiret käsitleva materjali bibliograafiline nimestik, mis sisaldaks peale seire andmete veel ka varasemaid aruandeid, artikleid, ülevaateid, kogumikke jms., mis käsitlevad mullaseire meetodilisi aluseid, mullaseire andmete interpreteerimiseks vajalike ressursi- või algandmete kogusid ja läbiviidud seoste uurimusi. Hea kättesaadavuse huvides tuleks see nimestik varustada seire sisu käsitlevate oskussõnade süstematiseeritud loendiga, mis näitab käte meid huvitava kirjutise teema ja asukoha.

(3) Mullaseirealad (senised ja rajatavad) peaks seostama GPS süsteemi abil olemasoleva keskkonnaseire võrgustikuga, tehes nad selle läbi georefereeritavaks, mis võimaldab seostada mullastiku andmeid teiste seiratavate looduse komponentide andmebaasidega.

(4) Vaja on kokku koguda varemalt laekunud andmestikud põllu- ja metsamuldade mudelite kohta (tehes vajaduse korral eksperthinnangu ja digitaliseerides andmed); kogu aktuaalse seire käigus laekunud andmestiku kasutusväärtus tõuseb kordades vaid juhul, kui see on integreeritud varem tehtud ressursi uurimustega.

(5) Asjakohaste dokumentide kogu bibliograafia nimestiku loomise kõrval on oluliselt tähtis (1) luua mullaliikide kaupa (taksonoomiline) register, mis on jaotatud maakasutusviiside kaupa, ja (2) kohtpaiksel fikseeritud seirepunktide koordinaatide register koos selle mulla kohta kogutud andmestikuga. Koos eeltoodud aasta-aastalt täiendatavate registritega on vajalik arhiivis säilitada nii aastaaruanded, kui ka perioodiliselt koostatud ülevaated.

(6) Metsamuldade talitlemisest ja omadustest põhjalikuma ülevaate saamiseks tuleks algust teha nende huumuskatete kui suhteliselt kiiresti muutuva muldkatte osa, kuid samas ka kui väga hea ökoloogilise indikaatori, süstemaatilise seirega.

(7) Aeg on küps ka alustamaks mulla-elustiku seiramist lähtuvalt muld-kesksest aspektist. Mulla-elustiku seireandmed vajavad seostamist mitte ainult mullaliigi või -erimiga, vaid ennekõike huumuskatte tüüpide (*pro* huumusvormide) ja nende eriilmeliste kihtide ja/või struktuuriagregaatidega. Üheks töövahendiks selles on eraldi Eesti haritavate ja metsamuldade kohta

koostatud huumuskatete klassifikatsioonid. Esimese lähendina on vaja mullatüübi põhiselt kindlaks teha elustiku funktsionaalsed grupid või domineerivad liigid, mille alusel saab hiljem seirata toimuda võivaid muutusi.

(8) Mullaseire eesmärgid ja nomenklatuur vajavad täpsemat fokuseerimist: mullaseirena saab võtta vaid neid uurimusi, mis on tihedalt seotud mullaga ja vajalikud tema seisundi hindamisel ning milliste puhul muld on määratletud mullaseire heale tavale vastavalt.

### Huvide konflikt / Conflict of interest

Autorid kinnitavad antud tööga seotud huvide konflikti puudumist.

*The authors declare the absence of any conflict of interest in relation to this paper.*

### Autorite panus / Author contributions

RK, TT, LE – planeerimine/analüüs;

RK, TT – kirjutamine;

RK, TT, LE – toimetamine ja heaks kiitmine.

RK, TT, LE – design/analyse;

RK, TT – writing;

RK, TT, LE – editing and approving.

### Kasutatud kirjandus

- American Society of Soil Science [SSSA] 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3 – Chemical Methods. SSSA Book Series 5. SSSA, ASA: Madison, Wisconsin.
- Arold, I. 2005. Eesti maastikud. – Tartu Ülikooli Kirjastus: Tartu, 433 pp.
- Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E. 2012. Mullateadus. Õpik kõrgkoolidele. – EMÜ: Tartu, 486 lk.
- Astover, A., Reintam, E., Leedu, E., Kõlli, R. 2013. Muldade väliuurimine. – Eesti Loodusfoto: Tartu, 70 lk.
- Blum, W.E.H. 2002. The role of soils in sustaining society and the environment: realities and challenges for the 21st century. – In: Keynote Lectures, 17th World Congress of Soil Science, 14–21 August 2002. IUSS: Bangkok, pp. 66–86.
- Calhoun, T.E., Ellermäe, O., Kõlli, R., Lemetti, I., Penu, P., Smith, C.W. 1998. Ameerika-Balti koostööna uuritud Eesti reepermullad. – EPMÜ tead. tööde kogumik 198, 76–114.
- Eesti muldade digitaalne kogu [EMDK] 2008. Eesti muldade omadused graafikutel: põllumullad, metsamullad ja maakondade mullastik. – CD-6. EMÜ. <http://mullad.emu.ee/cd-d/CD-6/mullad6.html>
- Eesti NSV muldade inventeerimisühikute nimestik [MKÜ] 1982. Kaardistamisühikute lühidiagnostika. – Eesti Põllumajandusprojekt. Käsikiri, 19 lk.
- Eesti NSV mullastik arvudes [EMA] 1974–1989. Osad: I-1974, II-1978, III-1983, IV-1985a, V-1985b, VI-1987, VII-1988 ja VIII-1989. – Eesti Põllumajandusprojekt: Tallinn.
- FAO 2006. Guidelines for soil description. 4th ed. – FAO, Rome, 97 pp.

- IUSS Working Group WRB [IUSS] 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. – World Soil Resources Reports No. 106. FAO: Rome, 192 pp.
- Jones, R.J.A., Buckley, B. 1996. European Soil Database Information Access and Data Distribution Procedures. – JRC EC, 35 p.
- Keskkonnaagentuur [KAUR] 2014. Loodusvarad ja nende kasutamine, osa 2.6. Muldkate (koostaja R. Kölli). – Keskkonnaülevaade 2013. Tallinn, lk 75–79.
- Keskkonnaagentuur [KAUR] 2017. Riiklikku keskkonnaseire programmi kompleksseire allprogramm ning kasutajate ja kasutusvalade analüüs (koostaja K. Auväärt). – Tallinn, 52 lk.
- Keskkonnaagentuur [KAUR] 2018. Riikliku keskkonnaseire programmi mullaseire allprogramm. – Tallinn, 16 lk.
- Keskkonnaministri määrus [KKMM] 2017. Riikliku keskkonnaseire programmi allprogrammide täitmise nõuded ja kord. EV KKM, RT I, 25.01.2017, 9. – Tallinn, 4 lk.
- Keskkonnaseire seadus [KeSS] 2016. EV Riigikogu, RT I, 05.07.2017, 27. – Tallinn, 6 lk.
- Klasen, H., Linder, M., Kaukver, K. (toimetajad) 2017. Keskkonnaseire. Eesti keskkonnaseire 2011–2015. – Keskkonnaagentuur: Tallinn, 130 lk.
- Kumar, K.S., Priya, M., Sajwan, K.S., Kölli, R., Roots, O. 2009. Residues of persistent organic pollutants in Estonian soils (1964–2006). – *Estonian J. Earth Sci.*, 58:109–123.
- Kölli, R. 1994. Ideaalmuld ja muldkatte puuded. – *EPMÜ tead. tööde kogumik*, 179:9–12.
- Kölli, R. 1994. Põllumuldade huumuskatte klassifitseerimine. – *EPMÜ tead. tööde kogumik*, 178:82–86.
- Kölli, R. 1999. Muldkate kui keskkonnaseisundit stabiliseeriv meedium. – *EPMÜ tead. tööde kogumik*, 203:62–68.
- Kölli, R. 2002a. Estonian society's perception of soil at the post-soviet period. In: *Man and Soil at the Third Millennium*. Vol I. J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins, V. Andreu (Eds.). – ESSC, Geofoma Ediciones, Logrono, pp. 287–298.
- Kölli, R. 2002b. Large-scale digital soil map of Estonia and its application for soil conservation purposes. – *European Society for Soil Conservation, Newsletter*, 2:7–9.
- Kölli, R. 2003. Eesti metsamuldade huumuskatete maatrikstabel. CD-3. – *EPMÜ*, ISBN 9985-816-58-7.
- Kölli, R. 2010. Euroopa huumusvormide klassifikatsiooni väljatöötamisest. – *Agronoomia* 2010/2011, lk 37–44.
- Kölli, R., Asi, E., Köster, T. 2004. Organic carbon pools in Estonian forest soils. – *Baltic Forestry*, 10:19–26.
- Kölli, R., Ellermae, O. 2000a. Eksperthinnangud Eesti riikliku mullaseire programmi rakendamise kohta. I osa. EGK seirealade mullad ja nende sobivushinnang mullaseire aspektist. – EV KKM Seireõukogu. Tartu, 23 lk.
- Kölli, R., Ellermae, O. 2000b. Eksperthinnangud Eesti riikliku mullaseire programmi rakendamise kohta. II osa. Eesti mullaseire võrgustiku loomise probleemalistest aspektidest. – EV KKM Seireõukogu. Tartu, 41 lk.
- Kölli, R., Ellermae, O. 2003. Humus status of postlithogenic arable mineral soils. – *Agronomy Research*, 1:161–174.
- Kölli, R., Ellermae, O., Köster, T., Lemetti, I., Asi, E., Kauer, K. 2009. Stocks of organic carbon in Estonian soils. – *Estonian J. Earth Sci.*, 58:95–108.
- Kölli, R., Ellermae, O., Soosaar, K. 2004. Soil cover as a factor influencing the status of the environment. – *Polish J. Soil Sci.*, 37:65–75.
- Kölli, R., Kask, I. 2000. Soils and soil survey in Estonia: current state and future perspectives. Present situation and future prospects in Central European Countries, New Independent States, Central Asian Countries and Mongolia. – Prague, 69–78.
- Kölli, R., Köster, T., Kauer, K. 2007. Organic matter of Estonian grassland soils. – *Agronomy Research*, 5:109–122.
- Kölli, R., Köster, T., Kauer, K., Lemetti, I. 2010. Pedoecological regularities of organic carbon retention in Estonian mineral soils. – *Int. J. Geosci.*, 1:139–148.
- Kölli, R., Lemetti, I. 1997. Eesti Riikliku Mullaseire Programm (projekt). – Tartu, 34 lk. Käsikiri EV KKM.
- Kölli, R., Lemetti, I. 2000. Mullaseire erinevad suunad. – *EPMÜ tead. tööde kogumik, Agronoomia* 208:90–98.
- Kölli, R., Lemetti, I., Penu, P. 2004. The influence of land-use change to soil cover properties and functioning. – 4th International Congress of ESSC. Proceedings Volume, Budapest, pp. 9–12.
- Kölli, R., Tamm, I. 2012. Eesti parimate põllumuldade levik, rühmitamine ja huumus seisund. – *Agronoomia*, 15–22.
- Köster, T., Kölli, R. 2013. Interrelationships between soil cover and plant cover depending on land use. – *Estonian J. Earth Sci.*, 62:93–112.
- Lemetti, I., Kölli, R. 1998. Mulla karakteristikud. ESTSOTER. – *EPMÜ tead. tööde kogumik* 198, 67–75.
- Maa-amet [MAM] 2001. Vabariigi digitaalse suuremõõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. – Tallinn, 46 lk.
- Maa-uuringud [MUR] 2001. Mullastiku kaart. – <http://geoportaal.maaamet.ee>
- Petersell, V., Möttus, V., Täht, K., Unt, L. 1996. Mulla geokeemilise seire bulletin 1992–1994. – EGK, Tallinn, 84 lk.
- Petersell, V., Ressar, H., Carlsson, M., Möttus, V., Enel, M., Mardla, A., Täht, K. 1997. The Geochemical Atlas of the Humus Horizon of Estonian Soils (with 39 maps). – GSE, GSS. Tallinn, Uppsala.
- Rannik, K., Kölli, R., Kukk, L., Fullen, M. 2016. Pedodiversity of three experimental stations in Estonia. – *Geoderma Regional*, 7:293–299.

- Raudsepp, H.-M., Järvet, A., Keppart, L. 2017. 50 aastat ulatusliku agrokliima vaatlusvõrgu algusest Eestis. – EGS aastaraamat, 42. köide. Toim. A. Järvet. Tallinn, lk 119–141.
- Reintam, L. (toimetaja) 2004. Muld ökosüsteemis, seire ja kaitse. – ETA LK komisjon: Tartu-Tallinn, 207 lk.
- Reintam, L., Rooma, I., Kull, A. 2001. Map of Soil Vulnerability and Degradation in Estonia. – In: Sustaining the Global Farm. D.E. Stott, R.H. Mohtar, G.C. Steinhardt (Eds.). Selected papers from the 10th ISCO meeting held at Purdue University and USDA-ARS NSERL, 1068–1074.
- Reintam, L., Rooma, I., Kull, A., Kõlli, R. 2005. Soil information and its application in Estonia. – In: Soil Resources of Europe. 2nd ed. R.J.A. Jones, B. Houskova, P. Bullock, L. Montanarella (Eds.). ESB, OOP, EC: Luxembourg, pp. 121–132.
- Soil Survey Division Staff [SSDS] 1993. Soil Survey Manual. Handbook No 18. USDA, Washington, 437 pp.
- Soil Survey Staff [SSS] 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA, NRCS, 360 pp.
- Zanella, A., Jabiol, B., Ponge, J.F., Sartori, G., de Waal, R., Van Delft, B., Graefe, U., Cools, N., Katzensteiner, K., Hager, H., Englisch, M., Brêthes, A., Broll, G., Gobat, J.M., Brun, J.J., Milbert, G., Kolb, E., Wolf, U., Frizzera, L., Galvan, P., Kõlli, R., Baritz, R., Kemmers, R., Vacca, A., Serra, G., Banas, D., Garlato, A., Chersich, S., Klimo, E., Langohr, R. 2010. A European Reference Base for Humus Forms: Proposal for a morpho-functional classification. – [http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/14/96/PDF/Humus\\_-Forms\\_ERB.pdf](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/14/96/PDF/Humus_-Forms_ERB.pdf)

## Review: Researches on the status of Estonian soils, directions of soil monitoring and the possibilities for intensification of monitoring

Raimo Kõlli<sup>1</sup>, Tõnu Tõnutare<sup>1</sup>, Laura Eiber<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estonian University of Life Sciences, Institute of Agricultural and Environmental Sciences, Chair of Soil Science, Fr. R. Kreutzwaldi Str. 5, 51006 Tartu

<sup>2</sup>Estonian Environmental Agency, Environmental Analysis Department, Mustamäe Rd. 33, 10616 Tallinn

### Summary

In the introductory part the importance of the large scale (1:10,000) digitized soil map of Estonia with soil contours related soil species databases and soil varieties models (totally 50 models about arable and 27 models about forest soils) with statistically elaborated soils' morphometric and physical-chemical properties in relation to all presented in soil profile diagnostic horizons are emphasised in receiving sound overview about actual status and changing tendencies in soil cover. The main deliberation of the work is connected with methodology of soil monitoring and with the problem – how to integrate the received from soil monitoring data with capacious databases received previously during soil survey and by scientific researches.

In the study, there are discussed about methodological problems, used terms, opportunities for laboratory analyses, possibilities for intensification of soil monitoring and about discovered shortcomings in this area. The most developed direction of Estonian soil monitoring is the monitoring of soils' pollution and of degradation. Starting from the need of the revision and improvement of governmental soil monitoring programme it is recommended to start the monitoring of forest's soils humus covers (pro humus forms) and the soil type-specific biological diversity of key (or model) soils.

It is emphasised the urgent need of realizing following tasks: (1) the newly received monitoring results should be integrated as soon as possible into the existing soil databases; (2) the published on relation Estonian soils monitoring articles, reports, overviews and others should be critically reviewed judging their importance in further soil monitoring with compiling the systematic reference list for their better availability and use, and (3) to compile the registers about location of soil monitoring areas and about key soil species and their properties.