



Maa- ja mullakasutuse juhtimissüsteem mullastiku teenuste efektiivseks ja jätkusuutlikuks kasutamiseks, elurikkuse kaitseks ja kliimamõju vähendamiseks.
Uurimisprogramm

Mullaseire ja vastupidavuse direktiivi rakendamisega seotud seire- ja hindamiskulude hinnang

ARUANNE



Koostajad:

Elsa Putku, Evelin Pihlap

Mullastiku valdkond

Maaelu Teadmuskeskus

2025



Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Seired muldkatte uurimisel Eestis.....	4
1.1. Metsaseire.....	5
1.1.1. I astme metsaseire.....	5
1.1.1.1. Proovivõtumetoodika	6
1.1.1.2. Määratavad parameetrid ja analüüsimetodid	6
1.1.2. II astme metsaseire ehk intensiivseire	7
1.2. Kompleksseire.....	9
1.3. Mullaseire.....	10
1.3.1. Proovivõtumetoodika.....	13
1.3.2. Määratavad parameetrid ja analüüsimetodid	14
1.4. LUCAS mullaseire	15
1.4.1. Proovivõtumetoodika.....	15
1.4.2. Määratavad parameetrid.....	17
1.5. Kokkuvõte seireprogrammide ja nende võrdlus.....	19
2. Mullaseire direktiivist tulenevad kohustused mullaseirele ja mulla seisundi hindamisele	21
2.1. Mullaseire valikuuringu loomine	21
2.1.1. Mullastikupiirkonnad ja mullastikuüksused	21
2.1.2. Valikuuringu meetodika	25
2.2. Mullaseire direktiiviga rakenduvad parameetrid	25
2.3. Proovivõtukulud ja mullaproovide laboratoorsete analüüside maksumus	34
3. Ettepanekud mullaseire direktiivi rakendamiseks	46
4. Kokkuvõte.....	47
Teaduskirjanduse viited.....	48

Sissejuhatus

2021. aastal Euroopa Komisjoni poolt edastatud Euroopa Liidu (EL) mullastrateegias 2050 nimetati ELi muldade murettekitava seisundi peamiseks põhjuseks keskse muldade head seisundit käsitleva raamistiku, riiklike tegevusplaanide ja üle EL senisest enam harmoniseeritud seisundinäitajate ja toetavate spetsiaalsete ELi õigusaktide puudumist. Selleks, et tagada mulla kaitse samal tasemel kui vee, merekeskkonna ja õhu kaitse ELis, esitas Euroopa Komisjon 5. juulil 2023 mullaseire ja vastupidavuse direktiivi (edaspidi mullaseire direktiiv) ettepaneku. Kavandatava mullaseire direktiivi lõppeesmärk on tagada 2050. aastaks kõigi muldade hea seisund kooskõlas ELi elurikkuse kaitse ja nullsaaste eesmärgiga. Kavandatav mullaseire direktiiv aitab kaasa ka ÜRO kestliku arengu tegevuskava 2030 elluviimisele. Mullaseire direktiiviga kehtestatakse raamistik ja meetmed, mis puudutavad mulla seisundi seiret ja hindamist, maahõive leevendamise põhimõtete kasutuselevõttu, saastatud alade tuvastamist ja vajadusel meetmete võtmist, samuti mitmekülgset tuge maakasutajatele ja tootjatele parimate praktikate, teadus-arendustegevuse, mullaga seotud teabe ja teadlikkuse osas. Liikmesriigid kaardistavad esmajärgus muldade seisundi üle riigi ja sellele tuginedes kehtestavad mulla tunnuste (füüsikalised, keemilised ja bioloogilised parameetrid) ning mulla katmise ja mulla hävitamise näitajate jaoks asjakohasel tasemel seireraamistiku, et tagada mulla seisundi korrapärane, sidus ja täpne seire ja seisundi hindamine. Mullaseire direktiivi rakendusel loodav seireraamistik nõuab seega eelnevat analüüsi, mis hindaks, milliseid mulla tunnuseid riigis juba seiratakse, missugused on direktiiviga kaasnevad kohustuslikud nõuded seirele ja mis on eeldatavad seirekulud. Mullaseire direktiivi jõustumisel tuleb liikmesriigil mullaseire direktiiv üle võtta 3 aasta jooksul, mis tähendab, et liikmesriigil peab selleks ajaks olema siseriiklikult mullaseire täielikult paigas. Käesolev töö sisaldab Maaelu Teadmuskeskuse (edaspidi ka METK) ekspertide eksperthinnangut, kuhu oleme koondanud:

1. ülevaate Eesti praegusest mullaseirest;
2. analüüsi mullaseire direktiivi eelnõu II peatüki rakendamise kohustustest;
3. analüüsi, mil määral kattub mullaseire direktiivi eelnõu seireraamistik ja selle rakendamine Eesti praeguse mullaseirega;
4. eksperthinnangut mulla seisundi seire ja hindamise eeldatavatest kuludest, mis direktiivi jõustumisel rakenduvad;
5. ekspertarvamust senise ja mullaseire direktiivi rakendumise järgse mullaseirega seotud kitsaskohtade kohta ja vastavaid ettepanekuid täiendavateks töödeks.

Ekspertarvamused ja hinnakalkulatsioonid on tehtud teabe alusel, mis on avalikult saadaval ning mis on töö teostamise ajal ELi mullaseire direktiivi osas teada. Maaelu Teadmuskeskus ei võta vastutust mullaseire direktiivi nõuete osas, mille metoodika ei ole lahti kirjutatud ega siseriiklikult läbi töötatud. Analüüsikulu kalkulatsioonid on tehtud 2025. aasta avalike hinnakirjade ja teadaolevate kulude põhjal. Kui sisendhinnad tõusevad (kemikaalid, laboritarvikud, tööjõukulu), siis tõuseb ka analüüsi hind, seega analüüsihind ei saa olla sama aastani 2030.

Aruanne „Mullaseire ja vastupidavuse direktiivi rakendamisega seotud seire- ja hindamiskulude hinnang“ koostati Keskkonnaagentuuri (edaspidi ka KAUR) tellimusel projekti „Maa- ja mullakasutuse juhtimissüsteem mullastiku teenuste efektiivseks ja jätkusuutlikuks kasutamiseks, elurikkuse kaitseks ja kliimamõju vähendamiseks. Uurimisprogramm“ raames. Projekti toetab Eesti riik kasvuhoonegaaside lubatud heitkoguse ühikutega kauplemise tulust. Käesoleva aruande metsaseire kirjeldust koostas Keskkonnaagentuuri metsaosakonna juhtivspetsialist Vladislav Apuhtin ja kompleksseire kirjelduse koostas Keskkonnaagentuuri andmehalduse ja seire osakonna nõunik Martin Maddison.

1. Seired muldkatte uurimisel Eestis

Mullaseire eesmärk on uurida ning hinnata mulla kvaliteeti iseloomustavate näitajate muutumist ajas. Seire käigus uuritavaid mullanäitajaid saab jagada keemilisteks (pH, orgaanilise süsiniku kontsentratsioon, soolsus, raskmetallide sisaldus jne), füüsikalisteks (lasuvustihedus, veemahutavus, poorsus jne) ja bioloogilisteks (bakterite ja seente DNA ribakoodistamine, vihmausside mitmekesisus, fosfolipiidi rasvhappeanalüüs jne), mille seast tehakse valik vastavalt seire püstitatud eesmärkidele.

Eesti riigi siseselt on riiklik seire reguleeritud keskkonnaseire seaduse (vastu võetud 04.05.2016) alusel vastu võetud määrusega „Riikliku keskkonnaseire programmi ja allprogrammide täitmise nõuded ja kord“ (vastu võetud 23.01.2017). Mullaga seotud seiret viiakse läbi kolmes allprogrammis:

- a. Metsaseire – metsade seisundit kahjustavate keskkonnategurite andmetele täiendavalt kogutakse metsamuldade keemiliste näitajate andmeid;
- b. Kompleksseire – metsamuldade andmed on osa terviklikust maismaaökosüsteemide seisundi seirest, kus mullaproovidest määratakse keemilisi näitajaid;
- c. Mullaseire – spetsiaalselt orienteeritud muldade seiramisele, mille käigus määratakse mulla füüsikalisi ja keemilisi näitajaid.

Lisaks riiklikule seirele viiakse Eestis läbi LUCAS maakatte seiret, mille üks osa on mullaseire. Seega saame arvestada nelja suurema muldade seireprogrammiga Eestis, mis kõik toimivad kindla intervalli ja proovivõtumetoodikaga.

Lisaks toimub Eestis ka mitmeid muid muldade uuringuid ja seireid, kuid nende tulemused ei ole erinevalt riiklikust seirest ja LUCASest avalikustatavad. Näiteks, Maaelu Teadmuskeskus kogub ühtsesse 'PANDA' andmebaasi põllumuldade agrookeemilise seire tulemusi 2005. aastast. PANDA andmestik moodustub tootjate põldudel ühtse metoodikaga kogutud proovidest, mille võtmist korratakse 4–5 a intervalliga. Seda seiret tehakse eelkõige toetuste, nagu turvas- ja erodeeritud mulla kaitse toetuse, keskkonnasõbraliku majandamise (KSM) toetuse, happelise mulla lupjamise lisategevuse toetuse nõuete täitmiseks ja väetamissoovituste saamiseks. Saadud andmeid kasutatakse Ühise Põllumajanduspoliitika (ÜPP) toetusmeetmete mõju [hindamiseks](#). Mullaproove kogutakse koondproovina, kus kuni viie hektari toetusõigusliku maa kohta võetakse üks mullaproov mulla happesuse, taimedele omastatava fosfori ja kaaliumi kontsentratsiooni määramiseks ning lupjamise lisategevuse jaoks lisanduvad taimedele omastatava kaltsiumi ja magneesiumi kontsentratsioonid. Mulla orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni määratakse toetusõigusliku maa iga kuni 20 hektari kohta. KSM köögiviljanduse, puuviljanduse ja aianduse toetuse saajad peavad proove võtma iga kuni kolme hektari põllumajandusmaa kohta, kus lisaks eelmainitud mullanäitajatele määratakse taimedele omastatava magneesiumi, kaltsiumi, vase, mangaani ja boori kontsentratsioonid. Kui tootja põllumajanduslikus majapidamises on toetusõiguslikku maad üle kümne hektari, peab mullaproovid võtma mullaproovivõtjate koolituse läbinud isik, mis tagab proovivõtumetoodika ühtsuse ja tulemuste kvaliteeti. Andmebaasis kajastuvad peamised agrookeemilised näitajad: mulla happesus, fosfori (P), kaaliumi (K), kaltsiumi (Ca), magneesiumi (Mg), vase (Cu), mangaani (Mn), boori (B) ja orgaanilise süsiniku (C_{org}) kontsentratsioonid. PANDA andmed ei ole punktandmetena avalikud, sest tootjate eraandmeid ei tohi avalikustada isikuandmete kaitse seaduse tõttu ning analüüsitud mullanäitajate andmed on tellija ehk tootja omand. Lisaks keelab andmeid jagada kolmanda osapoolega labori akrediteerimisstandard ISO 14025. Üldistatuna on andmeid avalikustatud ÜPP toetusmeetmete mõju [hindamise aruannetes](#) ja [METK-i kodulehel](#) infograafikutel Eesti muldade seisundi kirjeldamiseks. PANDA andmebaasi potentsiaalse kasutatavuse hindamiseks mullaseire direktiivi raamistiku või läviväärtuste ülesehitamiseks peab läbi viima detailse juriidilise analüüsi, mis selgitaks, kas ja mis ulatuses võib andmeid direktiivi valguses töödelda ja kasutada. Samal ajal peab silmas pidama, et

mullaseire direktiivis katab PANDA andmebaas ainult orgaanilise süsiniku ja fosfori kontsentratsiooni näitajaid.

Teise näitena on üle-eestiline uurimisalade võrgustik EcoGrid, mis hõlmab rohumaid ja niiduökosüsteeme üle Eesti ([Aruanne](#)). EcoGridi andmed koguti 2021.–2023. aasta vältel 412 uurimisalalt, neist 240 asusid erinevates pärandniidu elupaigatüüpides, 25 kultuurrohumadel, 19 muudes avatud kooslustes, 122 metsades. Uurimisaladelt koguti proovid mulla orgaanilise süsiniku sisalduse, mulla happesuse, P, K, lasuvustiheduse ja mulla DNA määramiseks. Seega, pikemas plaanis võiks EcoGrid muutuda nn seireks ehk iga 5 a möödudes kogutakse samadelt aladelt sama proovivõtumetoodikaga mullaproovid.

1.1. Metsaseire

Metsaseire on 7. alamprogramm riiklikus keskkonnaseires ning see koosneb omakorda kahest allprogrammist:

1. I astme metsaseire
2. II astme metsaseire

Metsaseire ülesanded ja eesmärk on:

1. metsade ja metsamuldade seisundi ja aineringe jälgimine ning toimuvate muutuste selgitamine ja prognoosimine, analüüsides nende põhjuslikke seoseid inimtegevuse ja looduslike protsessidega;
2. kliimamuutuste, õhusaaste ja muu inimtegevuse mõju selgitamine metsaökosüsteemile;
3. metsakahjurite leviku kindlakstegemine, jälgimine ja analüüs.

Eesti metsade seire on üheks osaks:

1. Euroopa metsaseire rahvusvahelisest koostööprogrammist *ICP Forests (International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests* = I astme metsaseire);
2. Pan-Euroopa programmist metsaökosüsteemide intensiivseks seireks (*Pan-European Programme for Intensive and Continuous Monitoring of Forest Ecosystems* = II astme metsaseire).

1.1.1. I astme metsaseire

I astme metsaseire aluseks on alaliste vaatluspunktide võrgustik, mis on projekteeritud ja rajatud Eestis 1988. aastal 16x16 km suuruse võrgusilma baasil. Metsaseire vaatluspunktid asuvad koosseisult, vanuselt ja kasvukohatingimustelt erinevates puistutes juhusliku paiknemise põhimõttel 16x16 km ruudustiku sõlmpunktides. Kokku on I astme metsaseire vaatluspunktide võrgustikus käesoleva seisuga [101 alalist vaatluspunkti](#). Kui vaatluspunkt asub tulundusmetsas, kus mets raiutakse raieküpsuse eas, jätkatakse samas kohas puude hindamisega siis, kui raiutud alal on olemas uus noor mets.

I astme metsaseire üheks allseireks on metsamuldade seire, mille eesmärk on esmalt hinnata mulla keemilist seisundit ja selle muutusi ajas ning teiseks jälgida metsamuldades, peamiselt atmosfääri kaudu maapinnani jõudvate, saasteainete mõjul toimuda võivaid muutuseid. Metsamullaseire tulemused on sisendiks kliimamuutuste ja säästva metsanduse alasteks uuringuteks (nt süsiniku sidumine, toitainete ja vee bilanss). Kolmas oluline eesmärk on hinnata metsamuldade seisundit kogu Euroopas, kasutades ühtseid proovivõtu- ja analüüsimeetodeid andmete võrreldavuse tagamiseks. Metsamuldade seire intervall on 10 (15) aastat:

- 1994–1996 esimene ring,
- 2006–2008 teine ring,
- 2020–2023 kolmas ring.

1.1.1.1. Proovivõtumetoodika

Proovivõtumetoodika on ajas mõnevõrra muutunud. Esimese seireringi käigus rajati proovitüki keskpunkti lähedale sügavkaeve, proovid võeti horisontidest ja muldkatte kirjeldus ning klassifitseerimine toimus sellel ajal Eestis kasutuses oleva metoodika järgi. II seireringi käigus hakati kasutama muldade määramisel ja klassifitseerimisel maailma muldade klassifikatsiooni WRB (*World Reference Base for Soil Resources*). Proovide kogumine, kaeve kirjeldamine ja hilisem analüüs toimus vastavalt ICP Forests programmi mullaseire juhenditele ([Sampling and Analysis of Soil](#) ja [Annex](#)).

I astme metsaseire vaatluspunktide muldkatte uurimiseks ja kirjeldamiseks rajatakse esmalt vaatluspunkti keskosa läheduses sügavkaeve. Sõltuvalt mulla lähtekivimi iseloomust ja lasuvussügavusest, samuti veeoludest, kujuneb uurimissügavus (enamasti kuni 1,5 m). Mullaprofiili kohta koostatakse detailne morfoloogiline kirjeldus ja võetakse proovid laboratoorseks analüüsimiseks geneetiliste horisontide kaupa.

Peale selle rajatakse vaatluspunktil igas neljas ilmakaares vaatluspuude lähedusse neli ca 100 cm sügavust nn abikaevet, kust võetakse samuti mullaproovid laboratoorseks analüüsimiseks, et tagada proovide representatiivsus antud vaatluspunktis. Kaevetest võetakse mullaproovid keemiliseks analüüsimiseks:

- kõdust erinevate allkihtide kaupa;
- mineraalsetest horisontidest fikseeritud sügavustest (0–5, 5–10, 10–20, 20–40, 40–80 cm);
- turvasmuldade puhul turbakihtidest (0–10, 10–20, 20–40 ja 40–80 cm).

Metsakõdu mahu proovid võetakse sügavkaeve ja abikaevete lähedalt 1000 cm² kõduraami abil kõigist kõdu allhorisontidest.

I seireringil tehti 91 vaatluspunkti, II seireringil 95 vaatluspunkti (millest I seireingiga kattus 86), millele lisandus 2010. a. 6 uut proovitükki. III seireringil teostati seire kõikidel samadel aladel, mis II seireringil. III seireringi peamine erinevus II ringist on sügavkaeve puudumine ja lasuvustiheduse proovide mittevõtmine. Mineraalmuldade kõduhorisondi muutuste jälgimiseks mõõdeti III seireringil iga kaeve igast ilmakaarest 6 ja 12 m kauguselt metsakõdu tusedus kõigis kõdu allhorisontides. Seega igal proovitükil, kus metsakõdu esines, mõõdeti metsakõdu 40 erinevast kohast. Metsas toimuvad muutused on aeglasemad kui pidevas harimises olevad põllumullad, seega on ICP Forests programmis kohustuslik kirjeldada mullaprofiili, võtta lasuvustiheduse proove ning määrata lõimist ISO 11277 (pipett) meetodi järgi vaid ühel korral. Lõimise proovid on kõik määratud II seireringil.

1.1.1.2. Määratavad parameetrid ja analüüsimeetodid

Kogutud mullaproovide edaspidine käitlemine ja analüüsimine toimub vastavalt rahvusvahelisele metoodikale ([Sampling and Analysis of Soil](#) ja [Annex](#)) (**Tabel 1**). Metsamullaseire raames analüüsitakse enamik proove Eesti Keskkonnauuringute Keskuse (EKUK) Tartu filiaalis (II seireringis analüüsiti lõimise fraktsioonid Eesti Maaülikoolis (EMÜ), III seireringi kuuel uuel alal tegi lõimiseanalüüsid EKUK). Tartu EKUK labor on ainus labor Eestis, mis osaleb ICPF programmi laborikvaliteedi kontrollis ja vastab selle nõuetele. Lasuvustihedus ja kores on määratud KAUR-i laboris.

1.1.2. II astme metsaseire ehk intensiivseire

Igale II astme metsaseire püsiproovialale on rajatud proovitükid pindalaga 0,25 ha. Selle proovitüki sees on intensiivseire rahvusvahelise programmi kohasteks uuringuteks väiksem, 0,1 ha proovitükk. Väiksemat proovitükki ümbritsev, suurema proovitüki sisse jääv ala (0,15 ha), on intensiivseire ala puhvertsooniks proovitükki ümbritseva puistu suhtes. Selles alas on lubatud teha mõningaid eriuuringuid.

Kokku oli Eestis 2024. a. intensiivseire uuringuteks kuus 0,25-hektarilise pindalaga prooviala: Sagadi, Vihula, Karepa Põhja-Eestis ja Pikasilla, Karula ning Tõravere Lõuna-Eestis.

II astme metsaseire proovitükkidel toimusid metsamulla uuringud viimati aastatel 2010–2011, alljärgnevalt on kirjeldatud II astme seireringi meetoodika, mida on läbi viidud ainult ühel korral. Sarnaselt I astme metsaseirele rajatakse esmalt vaatluspunkti keskosa läheduses sügavkaeve ja tehakse morfoloogiline kirjeldus ning kogutakse proovid genteetilisest horisontidest. Mulla mineraalsetest horisontidest võetakse lasuvustiheduse proovid viies korduses. Lisaks põhikaevele tehakse viies valitud punktis detailsed kõdu-uuringud ning rajatakse 24 abikaevet, millest võetakse mullaproovid fikseeritud sügavuste kaupa. Kõdu jaotatakse kolmeks kihiks, mineraalmullast võetakse proovid viiest erinevast kihist (0–5, 5–10, 10–20, 20–40, 40–80 cm) ([Sampling and Analysis of Soil ja Annex](#)). Kogutud mullaproovide edaspidine käitlemine ja analüüsimine toimub vastavalt eespoolnimetatud meetoodikale ning selles esitatud analüüsiplaanile ja meetoditele.

Intensiivseiret tuleb teha sama intervalliga kui I astme metsaseiret, kuid majanduslike kärbeta tõttu ei olnud võimalik mullaanalüüse intensiivseire kuult alalt koguda peale 2010–2011 aastat. Kuigi rahvusvahelisel tasandil on I astme metsaseire edasi lükatud, peab siiski arvestama *ICP Forests* nõudeid ja seirekohustusi.

Tabel 1. Metsamullaseires määratavad näitajad ja analüüsimeetodite standardid (K – kohustuslik, M – mineraalne mullahorisont. T – turbakiht)

Näitaja	Ühik	Standard/meetod	I aste	II aste	mullakiht
Mulla füüsikalised omadused					
liiv (>0,063 mm)	g/100g	ISO 11277 (pipett)	valikuline	K	M
savi (<0,002 mm)			K (kuni 20 cm)		
tolm (0,002-0,063 mm)			valikuline		
lasuvustihedus	kg/m ³	ISO 11272	K (kuni 40 cm): laboris või arvutuslik	K (kuni 40 cm), ainult laboris	M
korese mass	g/100g	ISO 11277 või hinnang välitöödel	K	K	M
korese maht	%				
turbakihi mass	kg/m ²	välitöö mõõtmise alusel	K	K	T
mulla veehoiuvõime (pF)	m ³ /m ³	ISO 11274	valikuline	K (kuni 80 cm)	M, T, töötlemata mullaproov
Mulla keemilised omadused					
pH (CaCl ₂)	-	ISO 10390	K (kuni 20 cm)	K (kuni 80 cm)	M, T
pH (H ₂ O)	-		valikuline	valikuline	M, T
orgaaniline süsinik	g/kg	ISO 10694	K	K	M, T
üldlämmastik	g/kg	ISO 13878	K	K	M, T
		ISO 11261 (Kjeldahl)	K	K	
karbonaadid (CaCO ₃)	g/kg	II ring: EN13137(A) III ring: ISO 10693, EN 15936	K kui pH(CaCl ₂) > 5.5 või karbonaatne muld (kuni 20 cm)	K kui pH(CaCl ₂) > 5.5 või karbonaatne muld (kuni 20 cm)	M, T
Ekstraheeritud P, Ca, K, Mg, Mn	mg/kg	ISO 11466 (aqua regia)	K turbakihis; valikuline mineraalkihis	K turbakihis; valikuline mineraalkihis	M, T
Ekstraheeritud Cu, Pb, Cd, Zn			K turbakihis ja M 0-10 cm	K turbakihis ja M 0-10 cm	
Ekstraheeritud Al, Fe, Cr, Ni, S, Hg, Na			valikuline	valikuline	
asendushappesus, neeldunud H ⁺	cmol ₍₊₎ /kg	ISO 11254 (1994) modified	K (kuni 20 cm), aga valikuline karbonaatses mullas (CaCO ₃ > 20 g/kg)	K (kuni 20 cm), aga valikuline karbonaatses mullas (CaCO ₃ > 20 g/kg)	M, T
asenduskatioonid Al, Fe, Mn & Ca, Mg, K, Na		ISO 11260			
Ca, Mg, Na, K, Al, Fe, Mn	mg/kg	ISO 14869-1 (2001)	-	valikuline	M
Al _{ox} ja Fe _{ox}	mg/kg	ISRIC, 2002	valikuline	K	M, T
P _{ox}	mg/kg		valikuline	valikuline	M, T

1.2. Kompleksseire

Riiklikku keskkonnaseire programmi kuuluv kompleksseire jälgib pikaajaliselt väikeste terviklike maismaaökosüsteemide seisundit ja muutusi kahel seirealal (Vilsandi ja Saarejärve). Lisaks väävl- ja lämmastiksaastele hinnatakse osooni, raskmetallide ja püsivate orgaaniliste saasteainete mõju õhule, sademetele, pinnaveele, taimestikule ja mullale. Kompleksseire hõlmab üheaegselt toimuvaid mõõtmisi ja analüüse järgmistes valdkondades: meteoroloogia, õhukeemia, avamaa sademed, pinnavee, võravesi, mullakeemia, mullavee keemia, vooluvee keemia, oklakeemia, varisekeemia, taimestik, sammalde, tüve epifüüdid, tüvevoolu veekeemia. Kompleksseire mullaseire võimaldab hinnata kauglevi teel mulda jõudvate saasteainete koguseid ning analüüsida nende mõju nii mulla- kui ka kogu metsaökosüsteemi seisundile.

Vastavalt rahvusvahelisele kompleksseire metoodikale (ICP Integrated Monitoring) võetakse Vilsandi kompleksseirealalt 1994. aastal koostatud mullakaardi alusel mullaproovid keemiliseks analüüsiks väljaspool mulla püsiruutu kahest kaevest. Esimene kaeve tehakse taimkatte püsiruudu ja metsakahjustuse vaatluspuude vahelisele alale. Proovid võetakse kõdukihist ja huumushorisondist. Teine kaeve tehakse taimkatte püsiruudust lõunas. Vilsandi seireala mullad on väga õhukesed ja kivised, mistõttu ei saa kasutada mullapuuri ega teostada kaevet 1 m sügavuseni ning proovid võetakse kõdukihist ja 5–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm ning 40–50 cm sügavuselt.

Saarejärve püsialal kogutakse mullaproovid sügavkaeve 4-st erinevast seinast 0–5, 5–10, 10–20, 20–40 ja 40–80 cm sügavustest mulla lasuvustiheduse ja niiskusesisalduse määramiseks. Lisaks võetakse taimestiku püsiprooviala vahetust lähedusest 1x1 m ruutude sees juhusliku valikuga 4 korduses täiendavad mullaproovid keemilisteks analüüsideks. **Tabel 2** on toodud kompleksseire mullaseire määratavad näitjad ja analüüsimeetodite standardid.

Tabel 2. Kompleksseire mullaseires määratavad näitajad ja analüüsimeetodite standardid

Seirenäitaja iseloomustus	Seirenäitaja nimetus	Ühik	Analüüsimeetodi standard
Mulla füüsikalised omadused	Mullaprofiili diagnostilised horisonidid	kood	
Mullareaktsioon	pH(CaCl ₂), pH(H ₂ O), pH(KCl)		ISO 10390
	Vaba H ⁺ happesus	cmol ⁺ /kg	ISO 11260
Makrotoitained	N _{üld}	mg/kg	ISO 11261
	P _{üld}	mg/kg	STJnrV26B
Mikrotoitained	Cu	mg/kg	EVS-EN ISO 11885
	S _{üld}	mg/kg	
Orgaaniline süsinik	TOC	mg/kg	EVS-EN 13137
Raskmetallid	Cd, Ni, Pb, Zn, Cr	mg/kg	EVS-EN ISO 11885
	Hg		EVS-EN 13806
Katioonid	Al, Ca, K, Fe, Mg, Mn, Na (ex)	cmol ⁺ /kg	ISO 11260

Kompleksseire alade mullaseire kordusmõõtmised teostatakse 5-aastase rotatsiooniga. Vilsandil ja Saarejärvel on toimunud 6 seireringi: 1994, 2000, 2005, 2010, 2015 ja 2020. Järgmine mullaproovide kogumine toimub 2025. aastal. Kompleksseiret korraldab Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ (EKUK).

1.3. Mullaseire

Mullaseire on 11. allprogramm Eesti riiklikust keskkonnaseire programmist, mida rahastab Kliimaministeerium läbi riigieelarve, tellib KAUR ja teostab Maaelu Teadmuskeskus (kuni 31.12.2022 nimega Põllumajandusuuringute Keskus). Kuigi mullaseire nimenähteks hõlmaks justkui kõiki maakasutuskategooriaid, on mullaseire peamine fookus siiski seatud põllumuldadele. Alates 2020. aastast on lisandunud metsaanaloogid, mis asuvad püsivaatlusalaga samal mullaalal või selle lähedal ja kirjeldavad mulla looduslikku seisundit. Vaatamata metsaanaloogide lisandumisele on seirealade valim siiski piiratud, mis ei koonda kokku ega anna terviklikku ülevaadet Eesti muldade seisundist.

Mullaseire allprogrammi ülesanded ja eesmärk vastavalt keskkonnaseire seaduse § 3 lõike 11 alusel kehtestatud keskkonnaministri 23.01.2017 määrusele nr 3 „Riikliku keskkonnaseire programmi ja allprogrammide täitmise nõuded ja kord“ on:

- muldade looduslike ja inimtegevusest tingitud muutuste regionaalsete iseärasuste, muutuste ulatuse ning kultuuristamise ja saastumise mõju mulla talitusele selgitamine;
- muldasid mõjutavate protsesside ja tegurite uurimine ning nende negatiivse mõju vältimise võimaluste selgitamine;
- sisendi andmine rakendatavate kaitsemeetmete väljatöötamiseks ja tõhususe hindamiseks, et oleks tagatud mullastiku hea talitussuundi püsima jäämine.

Tähtis on viljakate muldade säilitamine ning ehituseks ja muuks mulda kahjustavateks tegevuseks sobilike vähemväärtuslike piirkondade valimine. Praegu läbiviidava põllumuldade seire kitsam eesmärk on sõnastatud järgnevalt:

- Eesti põllumuldade keskkonnakaitselise seisundi hindamine;
- Eesti põllumuldade saastehõive ja saastetaluvuse hindamine ning toimunud muutuste analüüs;
- GIS-põhise andmebaasi täiendamine uuritud mullaseire alade andmetikuga.

Mullaseire andmeid kasutatakse Eesti kõrgkoolides uurimis- ja teadustööde ning diplomitööde koostamisel. Eesti mullaseire andmeid on kasutatud näiteks European Joint Program on Soil (EJP SOIL) projektide raames, mis seadsid fookuse Euroopas läbiviidavate mullaseirete harmoniseerimise testimisele ja võimalikkusele (Froger et al., 2024, Meurer et al., 2024). Lisaks kasutab Regionaal- ja Põllumajandusministeeriumi põllumajanduskeskkonnapoliitika osakond riikliku mullaseire andmeid üldise ülevaate saamiseks, põllumuldade suundumuste hindamiseks ja võimalike toetuste ning tegevuste/nõuete planeerimiseks.

Mullaseire aluseks on Eesti Põllumajandusprojekti raames alustatud põllumuldade süstemaatiline seire 1983. aastal, mis kestis 1994. aastani. 2001. aastal tegi Põllumajandusuuringute Keskus (praegune Maaelu Teadmuskeskus) ettevalmistusi põllumuldade seire elustamiseks, koondades varem tehtud seire andmetiku ja teabe seirealade kohta. Põllumuldade seiret otsustati jätkata Eesti Põllumajandusprojekti poolt aastatel 1983–1985 rajatud seirealadel, tehes seal kordusmõõtmisi. Ekspertarvamuste alusel valiti 79 ala seast välja kümme ala, mida on hiljem oluliselt täiendatud. Enamikes 2000. aastate alguses välja valitud kohtades toimub põllumuldade seire tänaseni ja 2020.

aastast on lisandunud ka metsaanaloogid. Seega võib eelnevast lähtuvalt eristada kahte mullaseire perioodi: 1983–1994 ja 2002 kuni tänapäev. Antud töös keskendume viimasele perioodile.

2025. aasta maikuu seisuga on mullaseires 37 püsivaatlusalala (**Tabel 3**), sellest 21 ala olid seires ka esimesel perioodi (1983–1994) ning 10 ala on nn metsaanaloogid, mille abil saab selgitada kultuuristamise mõju muldadele. Võttes arvesse, et Eestis on 122 erinevat mullaliiki, pole tänane mullaseire piisav, et anda üle-eestilist hinnangut muldade seisundi kohta ning luua vastavaid läviväärtuseid. Samuti on katmata ka hulk maakasutuskategooriaid, näiteks ei ole jätkuvalt seireala looduslikul rohumaal ning täiesti katmata on ka linnamullad. Eelarveliselt ei ole olnud võimalik uusi seirealasid rajada, sest kahanev eelarve sunnib niigi palju vangerdusi tegema iga seireaasta sees: näiteks oleme pidanud vähendama huumuskaevete arvu. Tooma ja Keskküla seirealadel on viimastel seireringidel olnud karjatatav püsirohumaa, kuid see ei kata loodusliku rohumaa käsitlust.

Tabel 3. Riikliku mullaseire püsivaatlusalad aastast 2002

Seireala nimetus		KKR kood	Tüüp	Seireaastad	Mullatüüp	Šiffer
1.	Kogeri	SJA8203000	põllumaa	2004;2009;2014;2020	leetjas gleimuld	GI
2.	Pikareinu	SJA6125000	põllumaa	2004;2009;2014;2020	gleistunud deluviaalmuld	Dg
3.	Rannu	SJA1515000	põllumaa	2004;2009;2015;2021	leetjas muld	KI
4.	Pajupuu	SJA9110000	põllumaa	2004;2009;2014;2024	keskmise sügavusega või sügav rähkmuld	K'''/K''''
5.	Söödi	SJA6654000	põllumaa	2004;2009;2014;2020	leostunud muld	Ko
6.	Eametsa	SJA1856000	põllumaa	2004;2009;2014;2020	sügav rähkne gleimuld	Gk''''
7.	Tuuleveski	SJA3605000	põllumaa	2003;2008;2014;2024	keskmise sügavusega rähkmuld	K'''
8.	Abeli	SJA5290000	põllumaa	2002;2008;2013;2018;2023	leetjas muld	KI
9.	Rooma	SJA3734000	põllumaa	2002;2008;2013;2018;2024	gleistunud leostunud muld	Kog
10.	Viruvere	SJA8686000	põllumaa	2003;2008;2013;2018;2023	gleistumistunnustega leostunud muld	Ko(g)
11.	Adavere	SJA1064000	põllumaa	2003;2008;2013;2018;2023	leostunud muld	Ko
12.	Palamuse	SJA1204000	mahe	2003;2008;2013;2018;2023	leetjas muld	KI
13.	Langi	SJA1186000	põllumaa	2003;2008;2013;2018;2020	rähkne gleimuld	Gk
14.	Keskküla	SJA8935000	põllumaa	2003;2008;2013;2018;2023	küllastumata gleimuld	G(I)
15.	Altküla	SJA5177000	deflatsioon	2008;2012;2017;2022	leetjas gleimuld	GI
16.	Võisiku	SJA9940000	põllumaa	2007;2012;2017;2022	leostunud gleimuld	Go
17.	Kiilaspere	SJA3970000	põllumaa	2007;2012;2017;2022	leostunud gleimuld	Go
18.	Naadimetsa	SJA0477000	põllumaa	2002;2007;2012;2017;2022	gleistunud näivleetunud (kahkj) muld	LPg
19.	Rõhu	SJA2319000	põllumaa	2006;2011;2016;2021	gleistunud leetjas muld	Klg
20.	Risti	SJA3519000	põllumaa	2006;2011;2016;2020	rähkne gleimuld	Gk
21.	Ravaküla	SJA5700000	põllumaa	2006;2011;2016;2022	leostunud muld	Ko
22.	Laheva	SJA0414000	põllumaa	2006;2011;2016;2021	gleistunud keskmise sügavusega rähkmuld	K'''g
23.	Laaniste	SJA2005000	põllumaa	2005;2010;2016;2021	pruun näivleetunud muld	LP
24.	Holtsi	SJA8132000	põllumaa	2005;2010;2015;2021	näivleetunud (kahkj) gleimuld	L(P)g
25.	Kiislimõisa	SJA9459000	põllumaa	2005;2010;2015;2021	pruun näivleetunud (kahkj) muld	LP
26.	Kuningamäe	SJA2580000	põllumaa	2005;2011;2015;2021	gleistunud leetjas muld	Klg
27.	Tooma	SJA9697000	soomuld	2013;2018;2023	turvasmuld	
28.	Risti analoog	SJB3741000	mets	2020	leostunud gleimuld	Go
29.	Langi analoog	SJB3740000	mets	2020	leostunud gleimuld	Go
30.	Laheva analoog	SJB4407000	mets	2021	gleistunud keskmise sügavusega rähkmuld	K'''g
31.	Holtsi analoog	SJB4408000	mets	2021	gleistunud tugevalt leetunud muld	Lklllg
32.	Naadimetsa analoog	SJB4405000	mets	2022	leetjas muld	KI
33.	Kiilaspere analoog	SJB4406000	mets	2022	leetjas gleimuld	GI
34.	Keskküla analoog	SJB4716000	mets	2023	leetunud gleimuld	LkG
35.	Viruvere analoog	SJB4718000	mets	2023	keskmise sügavusega rähkmuld	K'''
36.	Abeli analoog	SJB4717000	mets	2023	pruun näivleetunud (kahkj) muld	LP
37.	Pajupuu analoog	SJB4924000	mets	2024	keskmise sügavusega rähkmuld	K'''

1.3.1. Proovivõtumetoodika

Mullaseire välitöid teostatakse 1 kord aastas, augustis või septembris, peale saagikoristust põllul. Igal seirealal teostatakse kordusmõõtmisi 5 a intervalliga, metsaanaloogidel on seiresamm pikem.

Esimesel seireperioodil (1983–1994) rajati põllule vaatlusväljak suurusega 60x180 m, mille piiridesse on rajatud uue seireperioodi seirealade huumustrass ja sügavkaeve. Uued seirealad on rajatud lähtuvalt maastikust. Huumustrassi algus- ja lõpp-punkt ning sügavkaeve asukoht positsioneeritakse GPS-i abil ja seostatakse geograafiliste koordinaatidega.

Mullaseire raames võetakse järgnevad proovid:

1. Sügavkaevete geneetiliste horisontide proovid;
2. Huumuskaevete proovid;
3. Proovid lasuvustiheduse, üld- ja aeratsioonipoorsuse määramiseks;
4. Raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide määramiseks võetavad proovid.

Sügavkaevet rajatakse aladele mullaliigi- ja erimi määramiseks. Tavaliselt tehakse üks sügavkaeve iga vaatlusala kohta igal seireaastal. Sügavkaeve rajatakse kuni 1 meetri sügavuseni ja huumustrassi lähedale sõltuvalt eelmiste sügavkaevete lähedusest, et vaatlusala saaks kaetud sügavkaevetega. Peale kaeve kirjeldamist alustatakse proovide kogumist alati kõige alumisest horisondist ja liigutakse ülespoole. Proove kogutakse terve horisondi ulatuses noa, kühvli või lusikaga kaeve seinast. Sügavkaevet fotografeeritakse ja mullaprofiili kirjeldamisel kasutatakse FAO WRB (*World Reference Base for Soil Resources*) ning Eesti Põllumajandusprojektis kasutusel olnud muldade kirjeldamise metoodikaid. Eraldi karpidesse kogutakse iga horisondi proovid lõimise analüüsimiseks.

Huumuskaevet paigutatakse põllumulla uurimisalale sirge trassina, kaevete vaheline kaugus on 10–20 meetrit. Kaeve seina laiuseks on 1,5–2 labida laiust ning kaeve ulatub huumushorisondile järgneva geneetilise horisondini. Proovid kogutakse kõigist neljast kaeve seinast ja ühildatakse koondprooviks. 2002.–2017. a rajati aladele kaks paralleelset huumustrassi. Alates 2018. a on igal alal üks huumustrass, mille kaevete arv on tavaliselt 10 (mõningatel aastatel 5). Erieesmärgiga aladel nagu Pikareinu on kaks huumustrassi.

Metsaanaloogidele rajatakse huumusring ehk ringi keskel on sügavkaeve ja ümber sügavkaeve on 8 uurimispunkti koosnev prooviala, kuhu rajatakse huumuskaevet. Huumuskaevet on püütud rajada ilmakaarte (N, S, E, W) suunas kui loodus on võimaldanud (ei ole takistavaid puid, kivisid jms), kus esimene ring on 4 m ja teine ring 8 m kaugusel sügavkaevest (igal ringil 4 kaevet).

Mahukaalu määramise proovide jaoks kasutatakse ca 50 cm³ või 100 cm³ ruumalaga standardseid silindreid. Proovid kogutakse reeglina iga huumuskaeve trassi teise ja eelviimase kaeve asukohast kahes korduses. Silindrid surutakse mulda kahes erinevas sügavuses 5 cm ja 20 cm, millest ülemine näitab haritava kihi lasuvustihedust ja alumine selle all oleva mullakihi lasuvustihedust. Metsaanaloogi huumusringist võetakse kahest kaevest mahukaalu proovid (2020.–2023. a üks proov kahes korduses 10–15 cm kohta huumuskaevest; alates 2024. a 2 proovi kahes korduses, et iseloomustada sügavusi 5–10 cm ja 20–25 cm huumuskaeves). Metsaanaloogi täpne proovide arv sügavuste lõikes sõltub otseselt huumuskaeve profiilist.

Raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide määramise proovid võetakse koondproovi meetodil. Proov kogutakse kühvli või mullapuuriga 10–15 cm sügavuselt huumuskaevete trassi lähedusest 10–15 proovikohast 5–10 meetrise vahega. Koondproov kajastab seireala tervikuna. Peale proovi kogumist proov külmutatakse võimalikult kiiresti, et minimeerida taimekaitsevahendite jääkide edasist lagunemist.

1.3.2. Määratavad parameetrid ja analüüsimeetodid

Mulla füüsikalise-keemiliste näitajate analüüsimisel järgitakse asjakohaseid EVS-EN/ISO standardeid või muid antud valdkonnas üldtunnustatud meetodeid, mis tagavad samaväärse teadusliku kvaliteedi ja andmete võrreldavuse (Tabel 3). Mullaseire raames teostatakse füüsikalised ja lõimise analüüsid EMÜ laboris ning ülejäänud agrookeemilised analüüsid Maaelu Teadmuskeskuse laboris. Taimekaitsevahendite jääke analüüsitakse Riigi Laboriuuringute ja Riskihindamise Keskuses (LABRIS) ja EKUKis.

Sügavkaevest:

- Kirjeldatakse mullaprofiili morfoloogilised tunnused
- mullaproovid igast geneetilisest horisondist, et määrata:
 - pH, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, B, Zn (alates 2024. a), S (alates 2024. a)
 - mulla lõimise fraktsioonid (>0,063 mm; <0,02 mm; 0,02 - 0,063 mm)
 - mulla värvus Munselli skaalal, nii kuiv kui märg muld
- mullaproovid huumushorisondist, et määrata:
 - orgaanilise süsiniku sisaldus
 - üldlämmastiku sisaldus

Huumustrassi ja –ringi huumuskaevest:

- Igast kaevest:
 - Huumushorisondi tusedus, cm
 - pH, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, B, Zn (alates 2024. a), S (alates 2024. a), orgaanilise süsiniku sisaldus
- kahest kaevest:
 - lasuvustihedus, üldpoorsus, aeratsioonipoorsus

Koondproov põllul:

- raskmetallide sisaldused – Hg, Cd, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn
- taimekaitsevahendi toimeainete jäägid

Tabel 4. Mullaseires määratavad näitajad ja analüüsimeetodite standardid

Mulla tunnus	Näitaja	Ühik	Standard/meetod	Labor
mulla happesus	pH (KCl), pH (H ₂ O) – 2024. a		ISO 10390	METK agrookeemia labor (AKL)
taimetoiteelemendid	P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, B, Zn	mg/kg	Mehlich III (ICP-OES)	
	väävel	mg/kg	vees (ICP-OES)	
	üldlämmastik	%	ISO 13878	
mulla orgaaniline aine	mulla orgaanilise süsiniku sisaldus	%	ISO 10694	
raskmetallid	Zn, Cu	mg/kg	EVS-EN 16170	
	Cd, Hg, Pb, Cr, Ni	mg/kg	EVS-EN 16171	
Taimekaitsevahendite jäägid	multimeetodiga analüüsitavad	mg/kg	KT-JT-6, var.6, EVS-EN 15662:2018; SANTE/11312/2021 v2	LABRIS

	toimeained- (QuEChERS-meetodil)			
	glüfosaat, AMPA	µg/kg KA	STJnrU93A	EKUK
mulla füüsikalised omadused ¹	mulla lasuvustihedus, Dm	g/cm ³	silindrite meetod	EMÜ
	üldpoorsus, P _{üld} ³	%	arvutuslik [(De ² -Dm)/De*100]	
	aeratsioonipoorsus	%	arvutuslik [P _{üld} -Mahuline veesisaldus pärast liivatünni (pF1.8)]	
huumushorisoni tusedus	Horisoni tusedus	cm	möödulint	
huumushorisoni orgaanilise süsiniku varu	C _{org} varu	t/ha	arvutuslik	
Lõimis FAO järgi	liiv (>0,063 mm)	%	ISO 11277 (pipett)	EMÜ
	savi (<0,002 mm)	%		
	tolm (0,002–0,063 mm)	%		

¹ – mulla üldfüüsikalised omadused ei ole määratud vastavalt ISO standardile, kuigi lasuvustiheduse määramine järgib standardit ISO 11272; Tahke faasi tiheduse ISO 11508, mille abil kasutades lasuvustihedust, on võimalik leida poorsus.

² De – tahke faasi tihedus

³ – arvutuslik meetod on Kitse järgi: https://www.vanaraamat.ee/Endel_Kitse_Mullavesi_Valgus_1978_9984-49.htm

1.4. LUCAS mullaseire

Euroopa tasandil toimub süstemaatiline muldade seire (kõikides maakasutusklassides) alates 2009. aastast koostöös Euroopa Komisjoni ja Euroopa Teadusuuringute Ühiskeskuse (*Joint Research Centre*) vahel. Euroopa mullaseire kasvas välja EUROSTATi maakasutuse ja maapinna statistilisest raamuringust nimega LUCAS (Land Use/Land Cover Area Frame Survey), kui uuringut laiendati muldade seisundi täpsustamiseks läbi mullamooduli (LUCAS muld). LUCAS muld käigus on seni seiret läbi viidud neli korda: 2009, 2015, 2018 ja 2022. Peamiselt on püütud üle-euroopalist mullaseiret läbi viia alati sama meetodikaga, kuid aastate võrdluses on siiski toimunud olulisi muutusi nii kasutatavate laborimeetodite kui ka proovivõtusügavuse vahel (perioodil 2009.–2018. a 20 cm ja alates 2022. a 30 cm).

LUCAS muld seirealad asuvad LUCAS maakasutuse ja maapinna seirealadel (Tóth et al., 2013). Seirealad põhinevad võrgustikupõhisel süsteemil ehk kogu Euroopat katab 2x2 km võrgustik, mille keskpunktid ongi nn seirealad. Kõik keskpunktid on klassifitseeritud kaheksa maakatte klassi alusel kasutades ortofotosid või satelliidipilte. [LUCAS maakatte põhigrupid on](#): tehismaa, põllumaa, metsamaa, põõsastik, rohumaa, taimestikuta maa ja samblikud ning sammal, veeala, märgalad. Kokku on LUCASE maakatte uuringus ~1 miljon seireala, kuid mullaseires on neid oluliselt vähem: 1 seireringil 20 000. LUCAS muld seireprogrammi tugevus on ühtne proovivõtumetoodika ja analüüside tegemine ühes laboris kasutades ISO meetodeid (Orgiazzi et al., 2018).

Kui valdavalt on Euroopa riikide siseriiklike mullaseirete alade arvu oluliselt suurem kui LUCAS muld seires, siis Eestis on LUCAS muld seirealasid kordades rohkem kui riiklikus seires (Froger et al., 2024, Putku & Penu, 2025).

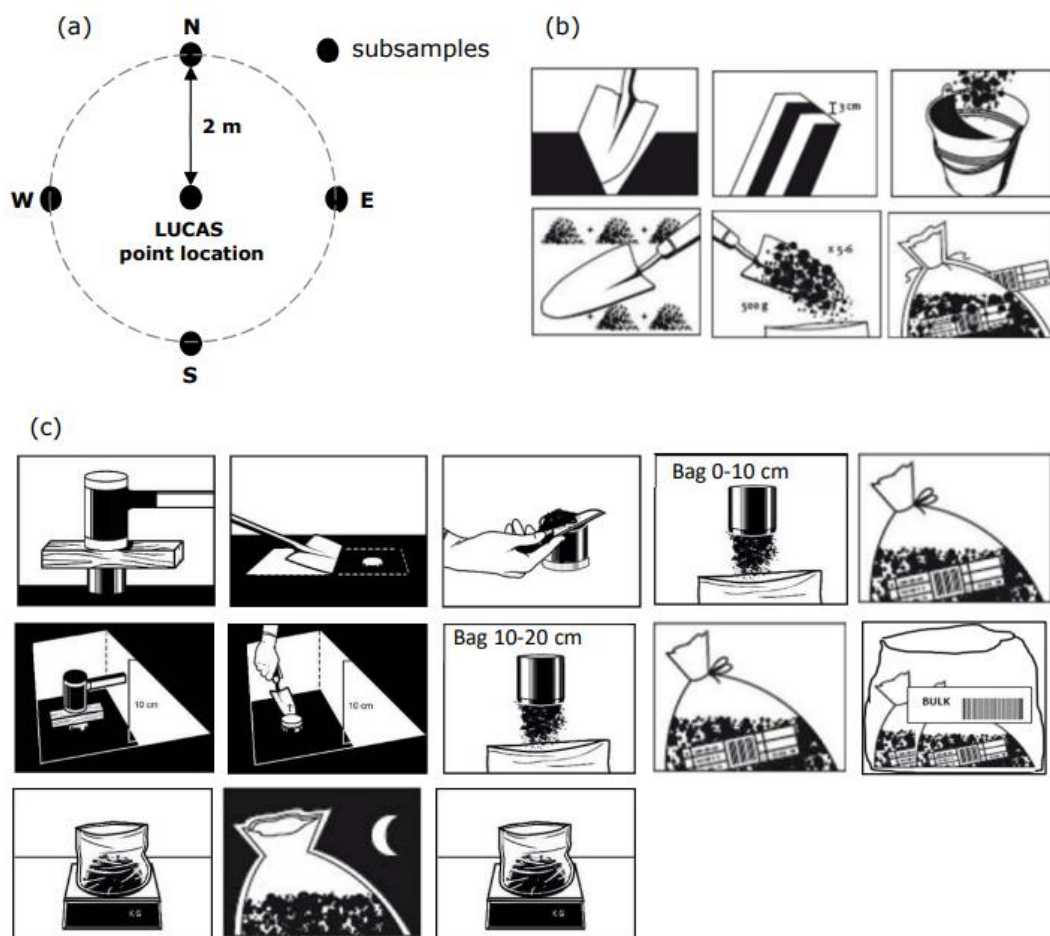
1.4.1. Proovivõtumetoodika

Mullaproove kogutakse aprillist oktoobrini. Mullaproovid kogutakse koondproovi meetodil, kus igale alale tehakse 5 kaevet (**Joonis 1**). Esimene kaeve tehakse prooviaala keskele ning neli ülejäänut kaevet

põhiilmakaarte suunas 2 m kaugusele keskmisest kaevest. Labidaga kaevatakse V-kujuline kaeve ning igast kaevest võetakse 3 cm tusedune mullaproov, mis pannakse ämbrisse. Kõik 5 kaeve proovid segatakse ämbris ja analüüsimiseks võetakse 500 g proov. Taimejäänused ja kivid eemaldatakse enne lõplikku proovi võtmist ja proovidel lastakse kuivada kotis enne lõplikku sulgemist. 2018. a võeti lisaks veel 500 g mulda, mis külmutati ja analüüsiti mulla elurikkuse näitajate osas. Lasuvustiheduse proovid kogutakse silindrite meetodil. Kõikidel seireaastatel on analüüsitud põhilisi mulla füüsikalisi-keemilisi tunnuseid (**Tabel 5**). Uuendusena lisandusid 2018. aastal mulla lasuvustiheduse ja elurikkuse proovid, erosiooni hindamine ning turbakihi tuseduse mõõtmine.

Viimase, 2022. a LUCAS seire käigus viidi läbi veel mitmeid uuendusi ([Jones et al., 2024](#)):

- suurendati seirealade arvu üle Euroopa 41 000 alani, et oleks parem alade esindatus orgaanilise süsiniku sisalduse hindamiseks põllumuldades NUTS2 tasandil ning rohu- ja metsamaadel NUTS0 tasandil;
- korrigeeriti proovivõtumetoodikat metsas ja ka kõduproovide võtmist;
- seirealade kaasamine ka kõrgematelt aladelt ehk >1500 m maapinnast;
- kordusuuringu lasuvustihedusele valitud kohtadest;
- proovivõtusügavust suurendati 30 cm-ni; 2009, 2015 ja 2018 oli 0–20 cm;
- elurikkuse proovide arvu kahekordistamine proovialal, et DNA analüüse teha;
- ovraagistumise hindamine;
- suurenes raskmetallide ja taimekaitsevahendite jääkide proovide arv;
- EJP Soil alla koondunud asutuste kaasamine ning liikmesriiklike seiretega võrdluste tegemine, millest võttis osa ka Eesti (METK-i osalus).



Joonis 1. LUCASE proovivõtuskeem (a), V-kujuline labidakaev ja proovide segamine (b), lasuvustiheduse proovikogumine (c)

1.4.2. Määratavad parameetrid

LUCAS muld raames on mitmeid mulla tunnuseid määratud läbivalt kõikidel aastatel, näiteks orgaanilise süsiniku sisaldus, happesus, P, üldlämmastik (**Tabel 5**). Samas on ka seireaastate vahel olnud mõningate mulla tunnuste osas erisusi: mõnda on analüüsitud ainult üks kord, nt. mulla elurikkuse näitajad on lisandunud viimasel kahel ringil. Andmete võrreldavuse tagamiseks on oluline samade laborimeetodite kasutamine seireaastatel, kuid kahjuks pole see alati võimalik olnud, näiteks mulla lõimist määratu algul pipett meetodil, hiljem lasermeetodil. Lisaks määratavatele parameetritele ja laborimeetoditele avaldab tulemustele mõju ka proovivõtu sügavus. 2009.–2018. a oli see 0–20 cm, kusjuures juba 2018 katsetati osadel seirealadel ka proovi võtmist 20–30 cm sügavusel (Eestis mitte). Alates 2022. aasta seirest võetakse koondproov kõigilt aladel 0–30 cm sügavuselt, et suurendada kooskõla IPCC juhendiga kasvuhoonegaaside inventuuris, võimaldades andmete riskasutust (Jones et al., 2022). Põhjuslikult on see seotud sellega, et enamik muutustest orgaanilise süsiniku ringes toimub juurtetsoonis, mis ulatub peamiselt kuni 30 cm sügavuseni.

Aastatel 2009 kuni 2018 oli LUCAS muld seirealasid Eestis ca 200, kuid seire uuendamise käigus suurenes nende arv kahekordselt aastal 2022. 2022. a oli planeeritud külastada 461 ala, millest tegelikult seirati 356 ala. Lasuvustiheduse proove võeti 37 alalt, elurikkuse proove 16 alalt ja kõduproove 109 alalt (Jones et al., 2024). Esimesed vastused peaks laekuma 2026. aasta I kvartalis.

Tabel 5. LUCAS mullaseires määratavad näitajad ja analüüsimeetodite standardid

Mulla näitaja	Analüüsimeetodid				Millistes proovides analüüsiti (alade arv Eestis)		
	2009	2015	2018	2022	2009 (220)	2015 (194)	2018 (201)
lasuvustihedus	-	-	ISO 11272:2017 (kohandatud)		-	-	78 ala
mulla kores	ISO 11464:2006				kõik	kõik	ei
lõimise fraktsioonid	ISO 11277:1998	ISO 13320:2009			188 ala	12 ala*	Eestis ei olnud ühtegi ala
pH (CaCl ₂ , H ₂ O)	ISO 10390:1994	ISO 10390:2005			kõik	kõik	kõik
elektrijuhtivus	-	ISO 11265:1994			-	kõik	kõik
mulla orgaanilise süsiniku sisaldus	ISO 10694:1995				kõik	kõik	0–20 cm ainult
karbonaadid (CaCO ₃)	ISO 10693:1995				kõik	kõik	0–20 cm ainult
fosforisisaldus	ISO 11263:1194				kõik	kõik	kõik
üldlämmastik	ISO 11261:1995				kõik	kõik	kõik
Ekstraheeruv kaalium	USDA–NRCS, 2004				kõik	kõik	kõik
üldfosfor	ekstraheerimine vees	-	-	-	kõik	-	-
kationide neelamismahutavus	ISO 11260:1994		-	ISO 11260:2018	kõik	kõik	-
multispektraalanalüüs	FOSS manual 2009	mulla spektroskoopia			kõik	kõik	-
Saviosakeste mineraloogia	-	röntgendifraktsioonanalüüs	-	-	-	Eestis kolm proovi; 383 proovi analüüsiti kokku	-
Fe _{ox} , P _{ox} , Al _{ox} , As _{ox}	-	-	Ross and Wang (1993)	ISO 12782-3:2012	-	-	18 ala Eestis; 2510 proovi analüüsiti kokku
Eeltöötlus metallide analüüsiks	-	-	-	ISO 11466:1995 ISO 17586:2016 ISO 11260:2018	-	-	-
Raskmetallid ¹	ISO 11466:1995				Punktandmed ei ole kättesaadavad. As, Cd, Cu, Zn, Hg – olemas		

					kaardid Euroopa kohta erinevate resolutsioonidega		
Mulla elurikkus	-	-	DNA analüüs Orgiazzi et al (2022)	DNA analüüs	-	-	5 ala Eestis: bakterid ja arhed (16S rDNA); seemed (ITS); eukarüootid (18S rDNA)
Taimkaitsevahendite jäägid	-	-	erinevad meetodid	erinevad meetodid	-	-	37 ala Eestis
Turbakihi tusedus	-	-	välitöödel mõõtmine	-	-	-	36 ala Eesti
Nähtava ja lähinfrapuna piirkonna spektroskoopia	-	-	-	kiirgus	-	-	-

¹ – Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Ag, Na, Sr, S, Te, Tl, Sn, Ti, V, Zn

1.5. Kokkuvõtte seireprogrammide ja nende võrdlus

- Eestis viiakse süsteemselt läbi 3 erinevat muldkatte seiret: metsaseire, mullaseire ja LUCAS muld seire.
- Metsaseires on 101, mullaseires 37 ja LUCAS muld seires ~200 ala (2022 a. 367 ala).
- Seireintervallid on erinevad varieerudes 3–15 aastat sõltuvalt seireprogrammist.
- Proovivõtumetoodikad erinevad seireprogrammide vahel:
 - võrgustikupõhised on metsaseire ja LUCAS;
 - proovivõtusügavus on kõikide seireprogrammide vahel erinev;
 - üksikproovid mullaseires, koondproovid metsaseires ja LUCAS muld seires;
 - sügavkaevad rajatakse metsa- ja mullaseires.
- Peamised mulla füüsikalised-keemilised näitajad kattuvad seireprogrammide vahel, ent laborianalüüside meetodid erinevad paljudel mulla näitajate puhul, mistõttu üks-ühele võrdlus on väga piiratud.
- Laborimeetodite erinevus on oluline nüanss, sest näiteks pH erinevus KCl ja H₂O lahuste vahel on 1 ühik.
- LUCAS-e puhul on paika pandud nn. teoreetilised proovivõtukohad, kuhu proovivõtja peaks minema. Alati pole proovivõtjatel võimalik täpselt samast asukohast proove koguda ning seetõttu on aastate vaheline võrdlus mõningate alade puhul keeruline. LUCAS asukohtade puhul tuleb alati need seostada reaalse koordinaatidega, mis on leitavad lisaandmetest LUCAS maakatte seire lehel (*LUCAS microdata*). Eesti mullastik on väga heterogeenne, mis tähendab, et LUCASe proovipunktile vastavaid tulemusi peab vaatama kriitiliselt.

- Maakatte kategooriate puhul peab väga täpselt jälgima, mida mõeldakse rohumaade, põllumaade jne all, sest definitsioonid võivad olla erinevad nii seireprogrammide vahel kui ka andmete kasutamisel teiste eesmärkide nimel, nagu mullaseire direktiivi maakasutus, mis lähtub kasvuhoonegaaside (KHG) inventuuris olevatest kategooriatest. Mullaseire direktiivi preambula 24a kirjutab ette, et EL liikmesriikide vahel peab mullastikuüksuste loomist metoodiliselt ja sisendandmete alusel harmoniseerima, mille miinimumkriteeriumiks on kasutada ühtseid mullatüübi ja maakatte kategooriate klassifikatsioone. Maakatte kategooriate klassifitseerimise EL üleseks harmoniseerimiseks soovitatakse kasutada definitsioone, mis on lahti kirjutatud EL määruses (EL) 2018/841 (LULUCF määrus) ja IPCC juhendites. Mullaseire direktiivi mullastikupiirkonna ja mullastikuüksuse loomise nõudeid kirjeldame lähemalt järgmises peatükis. Kuid juba täna teostatavate seiretööde käigus näeme, et oleks vajalik tekitada seosetabel erinevate klassifikatsioonide lõikes, mis võimaldaks maakatte kategooriaid ka siseriiklikult harmoniseerida.
- Eesti mullaseire katab ja kirjeldab väga väikese osa Eesti mullastikust. Riikliku mullaseire 37 püsivaatlusalaga ei ole võimalik luua mullaseire direktiivis käsitletud siht- ja läviväärtuseid. Mullaseire uurimisalade arvu valimisel on eesmärk luua esinduslik valim, kus seiretööde käigus oleks võimalik saada ülevaade uuritavas maakasutuskategoorias oleva mullaliigi uuritavate mullanäitajate ruumilise varieeruvuse kohta ning samal ajal koguda põhjalik andmestik, mille abil on võimalik ennustada mullanäitaja keskmist väärtust 80–90% usaldusintervalli sees (Domburg ja Gruijter, 1992; Pennock, Yates ja Braidek, 2007). Lisaks on igal mullanäitajal oma variatsioonikoefitsient (Pennock, Yates ja Braidek, 2007), mis kõrge koefitsiendi väärtuse korral tõstab seirataavate mullaproovide arvu. Näitena võib tuua küllastunud mulla veejuhtivuse, mille variatsioonikordaja on kõrge mulla ruumilise heterogeensuse tõttu ja selle mullanäitaja keskmise väärtuse välja selgitamine nõuab suuremat proovide koguhulka. Proovivõtu valimi koostamisel soovitame lugeda eelpool väljatoodud viiteid: Domburg ja Gruijter, 1992; Pennock, Yates ja Braidek, 2007. Võttes arvesse, et Eestis on meil 122 erinevat mullaliiki, siis 37 seirealaga ei ole meil täna andmebaasi, mille alusel hinnata mullatunnuse keskmist väärtust ja mille alusel luua siht- ja läviväärtuseid. Mullaseire direktiiviga ettenähtud siht- ja läviväärtuste loomiseks oleks vaja eelnevalt välja selgitada, missugused saavad olema mullastikupiirkonnad ja mullastikuüksused ning seejärel statistiliste mudelitega hinnata, missugune peaks olema proovide arv, mis võimaldaks usaldusväärselt ja kaalutletult luua siht- ja läviväärtuseid.
- Mullas toimuvad protsessid ja muutused pika aja möödudes. See loobki kriteeriumi, et mullaseire peab olema harmoniseeritud, pidev ja seiremetoodikad ei tohi muutuda. Kui metoodikas toimuvad muutused, siis seirealade tulemustes me ei saa väita, kas toimunud mullanäitaja tõus või langus on tingitud muudetud metoodikast või meil ongi mulla degradeerumise probleem. Seega on võtmetähtsusega, et eri metoodikad ka olemasolevate andmete abil parimal võimalikul kujul sidustada.

2. Mullaseire direktiivist tulenevad kohustused mullaseirele ja mulla seisundi hindamisele

Euroopa Liidus liigutakse ühtsete õigusaktide poole, sest enamikes riikides puudub mullaseadus, mis aitaks kaasa muldade seisundi hindamisele ning võtaks arvesse vajadust hoida muldi degradatsiooni eest, nende seisundit parandada ning ka hinnata, kuna muld on inimtegevuse ajal taastumatu ja elutähtis ressurss. Eesti õigusruumis tuleb kaaluda mullaseaduse loomist.

Mullaseire direktiivi eesmärk on püüdluspõhiselt (*aspirational*) saavutada muldade hea seisund aastaks 2050. Selleks on esiteks vajalik üleriigiline muldade seisundi tuvastamine enam harmoniseeritud kujul ja üha süvenevaid keskkonna- ja kliimariske ning muldade degradeerumise trende arvestavalt. Esimese muldade seisundi hindamise järel vaatab Euroopa Komisjon tulemused üle ja annab soovitusi, kuidas eesmärgini jõuda (preambula 23). Muldade seisundi hindamiseks peab iga liikmesriik looma valikuuringu, mis peab vastavama erinevatele kriteeriumitele, võimaldades hinnata muldade seisundit võimalikult laiaulatuslikult erinevates maakasutusklassides ja mullastiku eripärasid arvestades. Lisaks ühtse mullaseire raamistiku loomisele on direktiivi fookuses ka potentsiaalselt saastatud alade hindamine ja nendest tulenevate riskide maandamine ning maahõive ohjamise põhimõtete juurutamine.

2.1. Mullaseire valikuuringu loomine

2.1.1. Mullastikupiirkonnad ja mullastikuüksused

Direktiivis on mullaseire valikuuringu kavandamiseks ette nähtud miinimumkriteeriumid. Enne valikuuringu ja uuringu- ehk seirealade täpset paika panemist tuleb riigis otsustada mullastikupiirkondade ja -üksuste jaotus. Direktiivi definitsiooni järgi on:

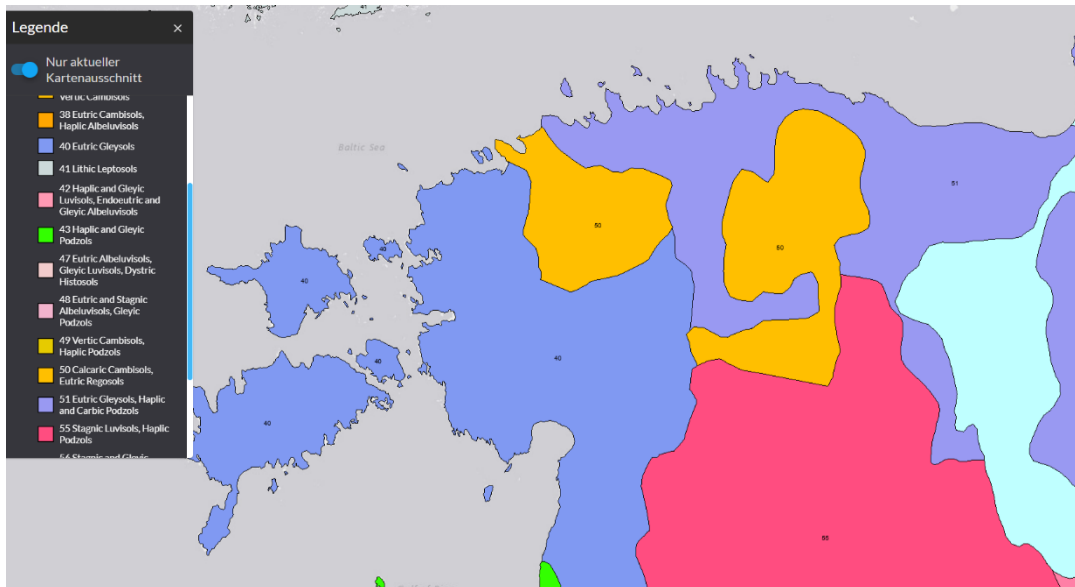
- mullastikupiirkond (*soil district*) – liikmesriigi territooriumi osa, mille liikmesriik on käesoleva direktiivi kohaselt piiritlenud;
- mullastikuüksus (*soil unit*) – mullastikupiirkonna ruumiliselt eraldiseisev ala, mis tekib ruumiandmete ühisosast, mida kasutatakse selles mullastikupiirkonnas statistilise homogeensuse kriteeriumina;

Direktiivi artikkel 4 selgitab täpsed nõuded mullastikupiirkondade ja -üksuste koostamiseks, kuid selgitavat teksti leidub ka preambulas. Mullastikupiirkonna eesmärk on lihtsustada mullaseire administratiivset poolt, mistõttu liikmesriik peab riigi jagama üheks või mitmeks mullastikupiirkonnaks, kus iga mullastikupiirkonna juures on pädev asutus, mis vastutab mullastikupiirkonnas toimuva seire eest. Seega mullastikupiirkondade hulga üle otsustab iga liikmesriik ise. Samuti otsustab riik ka mullastikuüksuste arvu üle, kuid mullastikuüksused peavad vastama teatud kriteeriumidele ja nad võivad olla terviklikult ühe või mitme mullastikupiirkonna sees. Seega mullastikupiirkondade määratlemise põhimõtted on veidi segased: kuidas otsustada, milline asutus vastutab millise piirkonna eest või piirduda Eesti puhul ühe piirkonnaga, mis on jaotatud vastavalt mullastikuüksustele. Meie näeme, et Eestis ei ole mitme mullastikupiirkonna loomine vajalik ega ka jõukohane.

Mullastikuüksuste planeerimisel tuleb arvesse võtta vähemalt kolme aspekti, kuid neid võib täpsustada täpsemate kättesaadavate andmete olemasolul. Kolm peamist aspekti mullastikuüksuste määramisel on:

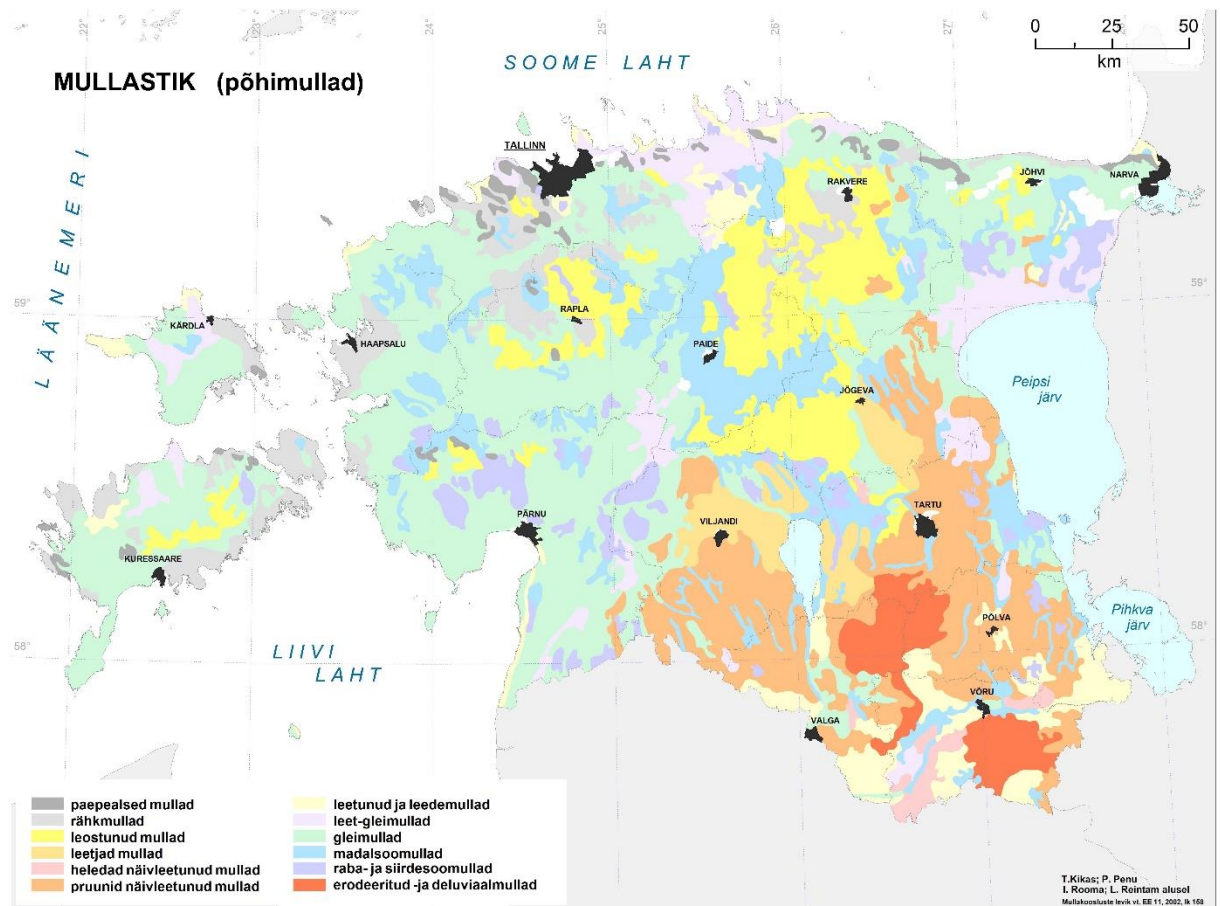
1. kindlaksmääratud mullastikupiirkonna geograafiline ulatus;

2. mullatüüp – miinimumnõudena vastavalt Euroopa Liidu ja piirnevate riikide mullaregioonide kaardile ([Mullaregioonide kaart](#)) (**Joonis 2**). Sellel kaardil on väga väike resolutsioon (1: 5 000 000), detailide tase on madal ja kaart on väga üldistav ehk arvestades Eesti riigi suurst ei ole see piisava detailsusega Eesti mullastikuüksuste määratlemise kasutamiseks. Mullaregioonide kaardi järgi on Eesti ainult 4 erinevat regiooni, kuid arvestades Eesti mullastiku kirjusest on see ebaadekvaatne jaotus.



Joonis 2. Euroopa Liidu ja piirnevate riikide mullaregioonide kaardi väljavõte Eestis (1: 5 000 000)

Eestis on 22 erinevat mullarühma, milles on kokku 122 erinevat mullaliiki (Astover et al., 2012). Eesti on olemas ka suuremõõtkavaline digitaalne mullastikukaart (1: 10 000), mis võimaldab mullaliike rühmitades saada oluliselt kvaliteetsema alusmaterjali mullatüüpide arvestamiseks mullastikuüksuste planeerimisel. 22 mullarühma on võimalik koondada veelgi suuremateks rühmadeks, mille tulemusena moodustuks 12 põhimullarühma Eestis (**Joonis 3**).



Joonis 3. Eesti mullastiku põhimullad

3. Maakasutuse kategooriad (välja arvatud veekogud) vastavalt Euroopa Parlamendi ja nõukogu [määrusele \(EL\) 2018/841](#) ehk LULUCF maakasutuskategooriatele, lihtsustamaks KHG inventuuriga seotud raporteerimisi. LULUCF maa-aruandluskategooriad, millega peaks mullastikuüksuste puhul arvestama on:
 - a. metsamaa
 - b. põllumaa
 - c. rohumaa
 - d. märgalad
 - e. asulad
 - f. muu maa

Lisaks jaotatakse KHG inventuuris veel iga maakategooria majandatavaks/mittemajandatavaks (Eesti inventuuris on mittemajandatav osa ainult märgalade kategoorias). Mullastikuüksuste moodustamise eelduseks oleks maakasutuskategooriate ruumiline andmekiht, mida Eestis kahjuks ei ole.

Lisaks nimetatud kolmele kohustuslikule aspektile (mullastikupiirkond, mullatüüp ja maakasutus) võivad liikmesriigid arvestada ka teiste ruumiliste andmekihtidega mullastikuüksuste määramiseks. Näiteks Alterra aruandes 2281 (Metzger et al., 2013) kirjeldatud keskkonnavööndid või valglad. Mullateaduse poole pealt lisaks kindlasti siia nimekirja juurde mullastiku valdkonnad või mulla lähtekivimi. Mulla lähtekivimi võtmenäitaja Eestis on karbonaatsus, mis on mulla tüüpide, alltüüpide ja liikide eristamise aluseks. Karbonaatsuse järgi jagunevad mullad viieks rühmaks: karbonaatsed, leostunud, leetjad, näivleetunud ja leetunud mullad. Mullastiku valdkondade jaotuse töötas 1950. a välja Alfred Lillema ning hiljem on seda täiendanud Loit Reintam (Lõuna-Eesti kohta) (Joonis 4). Vajadus

piiritleda mullastiku valdkonnad oli tingitud sellest, et kaardimaterjali ei olnud, kuid maa praktiliseks kasutamiseks oli vajalik sarnaste looduslike ja mullastikuga aladeks jaotamine. Valdkondade piiritlemisel võeti arvesse looduslikud olud (geoloogiline ehitus, mulla lähtekivimid, pinnamood, veeolud, taimkate), mullastik ning maa põllu- ja metsamajanduslik kasutamine. Seega hõlmavad mullastiku valdkonnad juba mitmed muldade iseloomulikke aspekte koondades erinevaid homogeenseid rühmi. Lillema eristas 8 mullastiku valdkonda ja 20 allvaldkonda. Arvestades, et võrreldes 1950. a on olemas mullastiku kaart, siis saaks neid valdkondade piire paremini täpsustada ja see võiks olla üheks võimalikuks sisendiks mullastikuüksuste loomisel. Lisaks uuendatakse Eestis suuremõotkavalist mullastikukaarti teadus- ja arendusprojekti „Suuremõotkavalise digitaalse mullastikukaardi kaasaegse kontseptsiooni loomine ja olemasoleva mullastikukaardi ajakohastamine“ (MULD2) raames, mis võimaldab mullastikuüksuste loomisel kasutada uuendatud andmeid.



Joonis 4. Eesti mullastiku 8 valdkonda A. Lillema järgi (Lõuna-Eesti kohta täiendanud L. Reintam)

2.1.2. Valikuuringu metoodika

Mullaseire direktiivi lisa II A osas selgitatakse, kuidas määratleda mullaseire proovivõtupunktid mulla seisundi hindamiseks. Mulla seisundit tuleb hinnata iga mullastikupiirkonna igas mullastikuüksuses. Seirealade asukohad peavad põhinema juhusliku kihtvalimi põhimõttel, mida on optimeeritud parima olemasoleva teabe põhjal mulla tervise näitajate varieeruvuse kohta. Seirealade stratifitseerimine tehakse lähtuvalt mullastikuüksustest. Täpne seirealade arv ja asukoht peab olema esinduslik uuritava mulla tunnuse varieeruvuse suhtes mullastikuüksuse sees, kusjuures lubatud maksimaalne veaprotsent või variatsioonikoefitsient on 5%. Seega peab enne täpse seirealade arvu ja asukohtade paikapanemist olema teada mulla tunnuse potentsiaalne varieeruvus mullaüksuse sees. Praktikas on see üsna keeruline, mõnede mulla tunnuste puhul teostatav (rohkete andmete olemasolul), kuid kuna eesmärk võiks olla ühel seirealalt hinnata kõik mulla tunnused kulude optimeerimiseks, siis saab väga keeruline olema seda teha, kui kõiki statistilisi nõudeid järgida. Direktiivis on soovitus kasutada kohaseid geostatistilisi meetodeid valimi suuruse ja paiknemise määramiseks, ühe näitena on välja toodud Betheli algoritm, mida 2024. aastal ka edukalt proovitööna Eesti rakendati. Seirevõrgustik peab olema piisavalt tihe, et anda hinnang degradeerunud mulla pindalale liikmesriigi territooriumil, kusjuures mullastikuüksuse tasandil ei tohi veahinnang/määramatus ületada 5% (preambula 31).

Vajadusel võib valimisse kaasata ka artikli 8 lõike 2a kohaselt varasemaid mõõtmispunkte, sõltumata nende algsest valimiskeemist. Preambula 31 täiendab, et kuna valikuuring peab olema ülesehitatud, kasutades parimat võimalikku teavet mullaomaduste jaotuse kohta, tuleks valikuuringusse kaasata ka varasemad riikliku uuringu teadmised, LUCAS muld seire ja ICP metsaseire andmed. Bethel algoritmi on võimalik seadistada nii, et see genereerib kas täiesti uue seirevõrgustiku või sundima teda arvestama olemasolevate seirepunktidega.

2.2. Mullaseire direktiiviga rakenduvad parameetrid

Mullaseire direktiivi I lisa alusel on mulla seisundit kirjeldavad näitajad (mulla degradeerumise aspektid) jagatud neljaks:

- I. A osa—Mulla tunnused, mille kohta on kehtestatud heas seisundis mulla kriteeriumid liidu tasandil:
 1. Souldumine
 2. Mulla orgaanilise süsiniku kadu
 3. Alusmulla tihenemine
- II. B osa—Mulla tunnused, mille kohta kehtestatakse heas seisundis mulla kriteeriumid liikmesriikide tasandil:
 1. Mulla ülemäärane toitainesisaldus
 2. Mullaerosioon
 3. Mulla saastatus
 4. Mulla veesäilitamis- ja infiltreerimisvõime vähenemine
 5. Mulla orgaanilise süsiniku kadu
- III. C osa—Mulla tunnused, millel ei ole kriteeriume
 1. Mulla ülemäärane toitainesisaldus
 2. Hapestumine
 3. Huumushorisondi tihenemine
 4. Mulla elurikkuse vähenemine
 5. Mulla saastatus
- IV. D osa— Mulla katmise ja mulla eemaldamise näitajad
 1. Mulla katmine ja mulla eemaldamine

Mulla seisundit tuleb hinnata igas mullastikupiirkonnas igas mullastikuüksuses, kasutades I lisa A ja B osas välja toodud mulla degradeerumise aspektide mulla tunnuseid (**Tabel 6**). Mulla tunnuste alusel, mis on loetletud I lisa C osas, on eesmärk hinnata ökosüsteemiteenuste vähenemist, kuid direktiivis jääb selgusetuks, kui suur peaks olema antud proovipunktide valim ja missuguseid mullastikupiirkondi või mullastikuüksuseid katma peaksime. D osa keskendub näitajatele, mis hindavad mulla katmist ja mulla eemaldamist ning eeldab ruumiandmete kogumist ja andmetöötlust. **Tabel 6** võtab kokku I lisa A, B, C ja D osas välja toodud mulla tunnused ning informatsiooni, kas antud mullatunnus on juba täna mullaseires ja metsamullaseires uurimisel. I lisa A, B, C ja D osas loetletud nimistust kõiki näitajaid analüüsima ei pea ning tabelis on välja toodud, kas mulla tunnuse analüüsimine on kohustuslik, valikuline või rakendatakse erandjuhte. Kui tegemist on degradatsiooni näitajaga, mis on mullastikuüksuse spetsiifikast ja looduslikust keskkonnatingimustest sõltuvad, rakenduvad erijuhtude tingimused. Näiteks ei pea soolsust hindama looduslikult kõrge soolsusega aladel või fosfori kontsentratsiooni ei pea nendel aladel hindama, kus on looduslikult kõrge fosfori sisaldus. Erandite loomine on mullaseires igati adekvaatne, kuna mulla seisundit parandavad meetmed looduslikke protsesse muuta ei saa. Seetõttu peab proovipunktide valimite koostamisel erijuhtudega arvestama, mille valimi suuruse nõuded ja juhised on kirjeldatud mullaseire direktiivi II lisa A 1 osas. Saasteainete määramisel on liikmesriigil kohustus luua eelnevalt raamistik, mille käigus hinnatakse ja luuakse nimekiri saasteainetest, mis ohustavad liikmesriigi siseselt inimeste tervist ja keskkonda ning nõuab nende näitajate seiramist. Sellega tagatakse, et mullaseire oleks asjakohane ning analüüsitakse proove, mis annavad adekvaatselt hinnangut muldade seisundi kohta. Orgaanilise saasteaine valikul lisa I B-osas võivad liikmesriigid aluseks võtta nimekirja, mida on loetletud artikkel 7-s. Saasteainete valikul lisa I C-osas (PFAS ja taimekaitsevahendi jäägid) peab lisaks indikatiivsele nimekirjale vaatama ka saasteaine ohtlikkust, püsivust, edasikannet, saasteallikaid ning läbiviidud rahvatervise ja keskkonna uuringuid.

Mullaseire direktiivis üles loetletud 43st mullatunnustest (**Tabel 6**) kaetakse täna mullaseire raames 11 mullatunnust (direktiivi alusel nendest 10 kohustuslikku ja 1 valikuline) ja metsamullaseires 9 mullatunnust (direktiivi alusel nendest 7 kohustuslikku ja 2 valikulist). Tänapäevaks on nii mullaseires kui ka metsamullaseires täiesti katmata mullelustiku seiramine ning mulla katmise ja mulla eemaldamise hindamine.

Tabelis tooksime välja, et täna mullaseiretes rakendatavad meetodid ja standardid alati ei ühti direktiivi poolt etteantud standardiga, nagu näiteks raskmetallide määramise meetod. Mullaseire direktiivi rakendamisel on oluline välja selgitada, kas täna kasutatavad meetodid on sobilikud seire läbiviimiseks, kas laboritele tuleb nõue taodelda uusi standardeid, läbida meetodikate akrediteerimisi või kas peame hakkama uusi labori teenusepakkujaid leidma, kelle meetodid vastavad direktiivis etteantud standarditele. Mullaseire direktiivi preambula 35 ja 35a kirjutavad ette, et liikmesriikide vahel peab mullaseireid harmoniseerima, mis võimaldab liikmesriikide vahel tulemusi adekvaatselt ja sarnastel alustel võrrelda. See loob nõude, et laboriteenusepakkujad peavad vastama teatud kvaliteedinõuetele ja omama vähemalt ühte mullatunnuse analüüsi meetodikat, mis oleks akrediteeritud. Laborianalüüsi meetodikad peavad vastama EN ISO/IEC-17025 või temaga samaväärsetele standarditele. Kui kasutatakse teisi meetodikaid, siis labor peab tõestama, et määratud tulemus annab identseid ja korratavaid tulemusi (koefitsiendiga 0,95).

Hinnatavad mullatunnused (**Tabel 6**) on mulla seisundi hindamise aluseks. Mulla seisundi hindamiseks peavad liikmesriigid rakendama heas seisundis mulla kriteeriume, mis hõlmavad järgmist:

- a. I lisa A ja B osades loetletud mittesiduvad kestlikud sihtväärtused—kajastavad käesoleva direktiivi püüeldavat pikaajalist eesmärki ega kohusta tegutsema
- b. tegevusega seotud läviväärtused—väärtused, mis käivitavad asjakohased meetmed mulla seisundi säilitamiseks või taastamiseks.

Sihtväärtuse nõuded on mullaseire direktiivis mitmetahulised ja võivad tekitada ebakõla, mistõttu on oluline sihtväärtuse loomise nõuded detailselt läbi analüüsida. Mullaseire direktiivi A osas on toodud mittesiduvad kestlikud sihtväärtused, mis võiksid kõikides liikmesriikides olla sellised nagu direktiiv on välja toonud. Samas tuuakse ka välja, et liikmesriigid võivad kasutada korrigeerivaid faktoreid SOC/savi suhtarvu ja alusmulla tihenemise puhul kasutada teisi lõimise klasse või väärtuseid, mis peegeldaksid hetkeolukorda paremini. B osa puhul antakse liikmesriikidele sihtväärtuse loomisel vabad käed. Sellised nüansid A osa puhul viitavad, et kui meil on vajadust muuta direktiivis välja toodud väärtuseid, siis peaksime selgelt põhjendama, miks me läheme mööda direktiivi nõuetest.

Sihtväärtuste ja läviväärtuste nõue sisaldab lisaks kriteeriume, mida on kirjeldatud artiklis 7, nagu B-osa kohaselt peab kehtestama mittesiduvad kestlikud sihtväärtused või I lisa A ja B osa kohaselt peab kehtestama läviväärtusi, mis kajastavad mulla degradeerumise tasemeid, mille puhul on vaja võtta meetmeid mulla seisundi parandamiseks kooskõlas direktiivi artikli 9 lõikega 4. Siht- ja läviväärtuste loomisel on vaja välja töötada ka gradatsioonide vahemik, millal mulla seisund on heas, keskmises või halvas seisundis.

Selleks, et riiklikke läviväärtuseid ja sihtväärtuseid luua, on vajalik teha põhjalik eeltöö, mille käigus töötatakse läbi direktiiviga rakenduvad nõuded ning kogutakse täiendavaid andmeid, mis võimaldaksid väärtuseid luua. Siht- ja läviväärtustel määramisel peab kindlasti aluseks võtma mullanäitaja variatsioonikoefitsienti, loodusliku fooni ja mullageneesi, mis kirjeldab mullas toimuvaid keemilisi ja füüsikalisi protsesse. Näiteks, kui WRB vähemarenenud mullaliik Cambisol läheb mullageneesi tõttu üle teiseks mullaliigiks, millele viitab näiteks karbonaatide eemaldumine, siis looduslikus keskkonnas ilma inimtekkelise mõjuta pole tegemist mulla degradeerumise protsessiga, vaid loodusliku mullageneesi protsessiga. Sellega seoses kerkib lauale ka küsimus, millal mullanäitaja sihtväärtus läheb üle läviväärtuseks ja vastupidi ning mis kriteeriumite alusel me väärtuseid loome. Selline siht- ja läviväärtuse loomine nõuab pikaaegset projekti ja mudelite loomist, kus hinnatakse keskkonda kui tervikut: aluskivimit, mullaliiki, inimtekkelist mõju, taimefüsioloogiat, ökosüsteemi funktsioone, mulla elustikku, leostumist, toitainete kättesaadavust jne.

Tabel 6. Mullaseire direktiivi I lisa A, B, C ja D osa mulla tunnused ja täna läbiviidavad meetodid mullaseires ja metsamullaseires. SR - seirering

	Mulla degradatsiooni näitaja	Mulla tunnus	Ühik	Etteantud standard/ meetod	Rakendamine	Erandid	Kas juba seiratakse?	Mullaseire	Metsamullaseire
A	Sooldumine	Elektrijuhtivus	dS/m	ISO 11265	kohustuslik piirkondades, mis on sooldumisest ohustatud	Looduslikult sooldunud maa-alad, alad, kus maismaa jääb regulaarselt merevee alla, ja alad, mis jäävad mereveepriitsmete alla	Ei		
	mulla orgaanilise süsiniku kadu	mulla orgaanilise süsiniku kontsentratsioon	g/kg	ISO 10694	kohustuslik		Jah	ISO 10694:1995 (huumushorisont)	ISO 10694:1995
	Alusmulla tihenemine	alusmulla lasuvustihedus	g/cm ³	ISO 11272	kohustuslik	Majandamata muld looduslikel maa-aladel ja looduslikult tihenenud muldadel	Ei/Jah		ISO 11272:1993 (kohustuslik kuni 40 cm, valikuline 40-80 cm)
		Küllastunud mulla veejuhtivus – Ksat	cm/päev		valikuline		Ei		
		areatsioonipoorsus	%		valikuline		Ei		
B	Mulla ülemäärane toitainesisaldus	ekstraheeruv fosfor	mg/kg	Eelistatud ISO 11263 (Olsen), kuid teised meetodid on ka lubatud	kohustuslik	Majandamata muld looduslikel maa-aladel	Jah	Mehlich III (huumushorisondis ja sügavkaevetes)	ISO 11466 (kohustuslik turbakihis; valikuline mineraalkihis)
	Mullaerosioon	mulla ärakanne	t/ha/aasta		kohustuslik	Badland ja looduslikud maa-alad, välja arvatud juhul, kui need põhjustavad märkimisväärset katastroofiohtu	Ei		
	Mulla saastatus	raskmetallide kontsentratsioon mullas: As, Sb, Cd, Co, Cr (kokku), [...]	mg/kg	ISO 54321 (Aqua Regia) Valikuline: saasteainete biosaadavad	Kohustuslik, kuid proovipunkte arvu võib valida		Jah, kuid mitte kõik elemendid	Cd, Hg, Pb, Cr, Ni – EVS-EN 16171:2016; Zn, Cu – EVS-EN 16170:2016 (huumushorisont)	ISO 11466:1995 - Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Zn (II SR määrati rohkem elemente kui III SR, II seirering tehti analüüsid kõikides

		Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn		fraktsioonid, näiteks ISO 17586, kasutades lahjendatud lämmastikhapet	vastavalt juhendile, mis on kirjeldatud artiklis 8(1)				kihtides kuni 80 cm, III SR ainult kohustuslikud kihid)
		liikmesriigi poolt valitud orgaaniliste saasteainete kontsentratsioon, mille puhul võetakse arvesse liidu õigusaktides sätestatud kontsentratsiooni piirmäärasid, näiteks vee kvaliteedi või õhusaasteainete heite kohta					Ei		
	Mulla veesäilitamis- ja infiltreerimis- võime vähenemine	mulla veemahutavus	%	Valik 1: ISO 11274 Valik 2: hinnangu andmine läbi lõimise, lasuvustiheduse, orgaanilise süsiniku sisalduse jm alusel	kohustuslik		Ei		
		küllastunud mulla veejuhtivus – Ksat	cm/päev	Valik 1: ISO 17313 Valik 2: ülemineku-funktsioon (sisendandmed lõimis, lasuvustihedus,	kohustuslik		Ei		

			orgaanilise süsiniku sisaldus					
		aeratsioonipoorsus	%		kohustuslik		Jah/Ei	Huumushorisondis aeratsioonipoorsus väliveemahutavuse (pF1,8; 60 hPa) juures
	Mulla orgaanilise süsiniku kadu	mulla orgaanilise süsiniku varu	tC/ha	Annex V of Regulation 2018/1999 in accordance to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories	kohustuslik		Jah/Ei	Corg varu t/ha
		mulla orgaanilise süsiniku kontsentratsioon	g/kg		valikuline		Jah	ISO 10694:1995 (huumushorisont)
C	Mulla ülemäärane toitainesisaldus	üldlämmastik	mg/g	Valik 1: ISO 11261 (muudetud Kjeldahl) Valik 2: ISO 13878 (EA)	kohustuslik		Jah	ISO 13878 (esimest korda määratud 2024. aastal, huumushorisont)
		C/N suhe		Metoodikat pole, arvutatakse eelpool määratavate orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni ja üldlämmastiku				ISO 13878; ISO 11261 kasutati III SR-s

			tulemuste suhtena.					
Hapestumine	mulla happesus (pH)		ISO 10390 (H ₂ O, KCl, CaCl ₂)	kohustuslik		Jah	ISO 10390, pH KCl lahuses, suhe 1:5	ISO 10390, valikuline on pH(H ₂ O); kohustuslik pH(CaCl ₂); suhe 1:5
	küllastusaste ((Ca + Mg + K)/CEC)	%	ISO 11260 (BaCl ₂)	valikuline		Ei/Jah		ISO 11260 & ISO 14254 (II SR tehti kõigis kihtides, III SR metsakõdus ja turbas kõik kihid kuni 80 cm ja mineraalmulla kihtides kuni 20 cm)
Huumushorisoni tihenemine	lasuvustihedus huumushorisonis	g/cm ³	ISO 11272	kohustuslik		Jah	Huumushorisonis	ISO 11272:1993 (II SR mõõdeti, III SR mitte, kohustus on mõõta vaid üks kord)
	Küllastunud mulla veejuhtivus- Ksat	cm/päev		valikuline		Ei		
	aeratsioonipoorsus	%		valikuline		Jah/Ei	Huumushorisonis aeratsioonipoorsus väliveemahutavuse (pF _{1,8} ; 60 hPa) juures	
Mulla elurikkuse vähenemine	bakterite ja seente DNA ribakoodistamine			kohustuslik 5% proovialades		Ei		
	Arhede, protistide ja loomade ribakoodistamine			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
	fosfolipiidi rasvhappeanalüüs (PLFA)			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
	Nematoodide arvukus ja mitmekesisus			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
	Vihmausside arvukus ja mitmekesisus			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
	Hooghännaliste arvukus ja mitmekesisus			Valikuline, 5% proovialades		Ei		

		pärismaiste sipelgate arvukus ja mitmekesisus			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
		Mulla bioloogiline kvaliteet lüljalgsete alusel (QBS-ar)			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
		invasiivsete võõrliikide ja taimekahjurite esinemine			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
		mulla basaalne hingamine			Valikuline, 5% proovialades		Ei		
	Mulla saastatus	PFAS-21, PFAS-43 või liikmesriigi poolt valitud PFAS ühend			Kohustuslik, kuid analüüsitavad saasteained ja proovipunktid valitakse liikmesriigi koostatud raamistiku alusel		Ei		
		Taimekaitsevahendite ja metaboliitide jäägid					Jah/Ei	TKV multimeetod ja üksikmeetod (huumushorisondis)	
		uued mulla saasteained (näiteks mikro- ja nanoplast)			Valikuline, analüüsitavad saasteained valitakse liikmesriigi raamistiku alusel		Ei		
	D	Mulla katmine ja mulla eemaldamine	Kaetud ja eemaldatud muld kokku	km ² ja % liikmesriigi pindalast	Vajab väljakujundamist	kohustuslik	Ei		
			Mulla katmine ja mulla eemaldamine,	keskmiselt aastas – km ² ja %	Vajab väljakujundamist	kohustuslik	Ei		

	tehiskatte eemaldamine ja netokatmine	liikmesriigi pindalast						
	Asulapiirkonnad kokku	km ² ja % liikmesriigi pindalast	Vajab välja-kujundamist	kohustuslik		Ei		
	Maakasutuse muutumine asulapiirkonna suunas ja vastupidi	aasta keskmine – km ² ja % liikmesriigi pindalast	Vajab välja-kujundamist	kohustuslik		Ei		
	mulla kunstlikuks muutmine		Vajab välja-kujundamist	valikuline		Ei		
	maa killustatus		Vajab välja-kujundamist	valikuline		Ei		
	maa ringlussevõtu määr		Vajab välja-kujundamist	valikuline		Ei		
	äritegevuse, logistikakeskuste, taastuvenergia ning näiteks lennujaamade, maanteed ja kaevanduste jaoks hõivatud maa		Vajab välja-kujundamist	valikuline		Ei		
	mulla katmise ja eemaldamise tagajärjed, nagu ökosüsteemiteenus te vähenemise, üleujutuste intensiivsuse muutuse kvantifitseerimine		Vajab välja-kujundamist	valikuline		Ei		

2.3. Proovivõtukulud ja mullaproovide laboratoorsete analüüside maksumus

Mullaproovide laboratoorsete analüüside maksumuse välja selgitamiseks käisime läbi Eestis teadaolevad teenusepakkujad, kes osutavad täna mullaseire ja metsamullaseirete laboriteenuseid, nagu METK, EKUK, LABRIS ja EMÜ põllumajandus- ja keskkonnainstituudi mullateaduse õppetool. Kui laboriteenuste pakkujatel on hinnakirjas samasuguse analüüsi teenus, siis kajastasime need kõik **Tabel 8**. Avalike hinnakirjadega on võimalik tutvuda [METK-i kodulehel](#), [EKUK-i kodulehel](#) ja [LABRIS-e kodulehel](#). Eestis pakuvad laboriteenuseid ka TFTAK ja Eurofins, kuid nende ettevõtete hinnakirjad pole avalikud ja kliendile rakendub konfidentsiaalsuse nõue, mis keelab hindu kolmanda osapoollega jagada. Selletõttu me ei saanud tabelis kajastada näiteks Eurofinsi poolt pakutava mikroplasti määramise laboriteenuse hinda.

Mullaseire läbiviimisega kaasnevad lisakulud (**Tabel 7**), mis hõlmavad endast välitööde tööjõukulu, proovivõtjate koolitamist, sõidukulu, tarvikute kulu jpm. Proovivõtu meetodika tingib mullaproovivõtu hinna, näiteks silindriproovide võtt on ajamahukam kui koond- või üksikproovi võtmine. Mullaseire direktiivis rakendub alusmulla tihenemise uurimine, mis kohustab mullaproove võtma ka sügavamast mullakihist. Sõltuvalt meetodikast, kui sügavalt ja missuguse sammuga proove koguma peab, suureneb ka alusmullast silindriproovi võtmise maksumus. Põhjus on selles, et alumised mullakihid on tihenened ja nendest kihtidest on vaearikas esinduslikku silindriproovi saada, mis tõstab proovikogumiseks kuluvat tööaega. Hetkel kogutakse enamik silindriproove huumuskihist, mille tõttu puudub EMÜ hinnakirjas erisus silindriproovide kogumise sügavuse kohta. Mullaproovide kogumise peamiseks kuluks on ka sõidukulud ning tarvikud, nagu silindrid, haamrid, silindri tõukurid ja proovikarbid. Suuremahulise mullaseire jaoks on silindreid vaja sadades, sest silindriproove peab võtma nii lasuvustiheduse, mulla veejuhtivuse kui ka mulla veemahutavuse proovi analüüsimiseks. Ühe mulla veemahutavuse proovi analüüsimiseks võib kuluda ligi 35 päeva, mis tähendab, et silindri uuesti ringlusse võtmiseks kulub pikk aeg. Selleks, et proovivõtt seisma ei jääks, nõuab mullaseire läbiviimine suurt silindrite kogust.

Mullaproovivõtu hind on sõltuvuses ka mullaproovide arvust, mida ühel seirealal võtma peab. Proovivõttude arvu ühel seirealal saab arvutada, kui on teada, mis mullanäitajaid missuguses mullastikuüksuses määrama peame. Üldjuhul peab mullakeemilisteks, mullafüüsikalisteks ja mullamikrobioloogilisteks analüüsideks võtma eraldiseisvad mullaproovid, sest mullaproovide hoiustamise tingimused (õhkuivatamine vs sügavkülmutamine) või proovivõtumetoodika (koondproov vs silindriproov) loovad eritingimusi. Kuigi mullakeemilisi näitajaid saab enamjaolt määrata samast mullaproovist, siis taimekaitsevahendi jääkide ja teatud saasteainete määramine nõuab proovide spetsiaalset hoiustamist (nt sügavkülmutamist), mis tingib, et selle jaoks on vaja iseseisvat mullaproovi.

Iga analüüsiga kaasneb ka proovide ettevalmistamine, mis sisaldab endast mullaproovide kuivatamist, purustamist, sõelumist (<2 mm) ja jahvatamist. Sõltuvalt laborianalüüside teenusepakkuja hinnakirjast on kas eeltötlus analüüsikuludesse juba arvestatud või lisanduvad analüüsile lisakuluna juurde. Näiteks LABRISes puudub infrastruktuur mullaproovide eeltöötlemiseks, mistõttu on taimekaitsevahendi jääkide määramisel vajalik tellida proovide eeltötlus teiselt teenusepakkujalt. Mullaseires hinnatavad mullatunnused nõuavad ka erinevat proovide hoiustamise tingimusi. Kui saasteainetes on uurimise all glüfosaat ja AMPA, peab proove hoiustama sügavkülmas, et pärssida mikrobioloogilist tegevust ja vältida toimeaine lagunemist. Sarnaselt kirjutab mullamikrobioloogia analüüsimeetodika ette, kas proove peab eelnevalt hoiustama -80 °C juures, -21 °C juures või piisab kohesest kuivatamisest silikageelis.

Mullaseire direktiiv annab ette ka reeglid, et laboriteenuse pakkuja peab vastama teatud kvaliteedinõuetele, mis tagatakse akrediteerituse ja analüüsistandarditega. Tegemist võib olla üsna suure lisakuluga, kuna standardid on tasulised ning uue meetodi akrediteerimine on aja- ja ressursimahukas töö, mille kulusid ja mahte me hetkel ei tea. Kui laboriteenuse pakkuja peab direktiivi nõuete jaoks täiesti uue meetodi juurutama, tähendab see täiendavaid kulusid ka laborimasinate soetamisel ja laborantide väljakoolitamisel. Juhul, kui me ei leia mullaseire direktiivi nõuetele vastavat laboriteenusepakkujat, peame otsima teenusepakkujaid väljastpoolt. Sellega rakenduvad saatmiskulud. Kaasnevaks kuluallikaks on ka seire käigus kogutav andmekogu ja aruannete esitamise nõue, mis tekitab nii andmebaasi üleval hoidmisega seonduvaid kulusid kui ka andmetöötluse tööjõukulusid.

Kuigi seireandmeid planeeritakse hoiustada ühtses Euroopa andmebaasis EU Soil Observatory, on seiretööde käigus vaja andmeid koguda ja hoiustada ka siseriiklikult. MUL2 projekti käigus arendatakse andmekuup, kus iga mullanäitaja on eraldi kihina talletatav ja päritav, mis võimaldab teha operatiivseid ja konkreetsele vajadusele vastavaid, sh ruumiandmelisi päringuid. Teoorias oleks loodav andmekuup platvormiks, kus oleks võimalik säilitada ka mullaseire andmeid, kuid arvestama peab, et ilmnedavad võivad andmekuubile omased piirangud, mis vajavad eelnevat välja selgitamist. Lahendust vajavad küsimused nagu, kas meil on siseriiklikult olemas tehniline võimekus andmekuupi üleval hoida ning kas andmekuubis on võimalik hoiustada aegrea andmeid.

Tabel 7. Lisanduvad kulud mullaseire läbiviimiseks

Lisanduvad kulud		Kommentaariid	Ühik	Hind km-ta 2025. aastal (EUR)
Proovivõtt	Mullaprofiil (1 m)	Lisanduv kulu, kui sügavkaeveid kirjeldatakse	Sügavkaeve	250
	Standardne mullaproovi võtmine	Koond- või üksikproovi võtmine	Proov	12
	Silindriproovi võtmine (mulla füüsikalised analüüsid)	Huumuskiht	Proov	16
		Alusmuld	Proov	Vajab selgitamist
	Sõidukulud		km	0,5 EUR/km
	Proovivõtjate koolitamine	Direktiivi seiremetoodika loomisel on vaja meeskond eelnevalt välja koolitada	Vajab selgitamist, kes on ametlik mullaseire läbiviimise vastutaja, seeläbi ka proovivõtjate koolitaja ja missugused on tööjõukulud	
Varustus	Proovikarbid	Pappkarp	tk	0,1
	Silindrid mulla füüsikaliste proovide võtmiseks	Võimalik eritellimusega ka metallitöökojast tellida (hind ca 5.80 EUR/tk)	tk	25
	Haamer silindriproovi võtmiseks	Spetsiaalne haamer silindriproovide võtmiseks	tk	150
	Tõukur silindrite jaoks	Võimalik tellida metallitöökojast	tk	200
Proovide ettevalmistus	Proovi ettevalmistus (kuivatamine, purustamine, sõelumine)	Proovidega kaasneb ettevalmistus	Proov	10
	Proovi peenestamine ja sõelumine	Proovidega kaasneb ettevalmistus	Proov	4
	Proovi kuivatamine	Proovidega kaasneb ettevalmistus	Proov	2
	Proovi sõelumine ja kuivatamine	Proovidega kaasneb ettevalmistus	Proov	4,25
Laborite meetodikate arendus		Direktiivi ettekirjutustega vastavusse viimiseks		Vajab selgitamist

Proovide saatmiskulud	Kui Eestis puudub laborianalüüsile teenusepakkuja, peame tellima analüüsid sisse väljastpoolt	Vajab selgitamist, mis analüüse peame väljastpoolt sisse tellima ja kas meile rakenduvad saatmiskulud	
Proovide hoiustamine	Mikrobioloogilised proovid ja taimekaitsevahendi jääkide proovid vajavad erihoiustamist	Vajab selgitamist, kuna proovide hoiustamine sõltub teenusepakkujast ja rakenduvast laborimeetodist	
Andmete hoiustamine	Seirega tekib mahukas andmebaas	Vajab selgitamist, mis andmebaasi kasutada ja kes andmebaasi haldab	
Mullaseire andmetöötlus ja aruannete koostamine	Vajab selgitamist, kes on mullaseire läbiviija	Tööjõu- kulu	Vajab selgitamist

Mullaseire direktiivi I lisa alusel on mulla seisundit kirjeldavad näitajad (**Tabel 6**) võimalik mullaanalüüsides põhjal jagada neljaks kategooriaks (**Tabel 8**):

1. mullakeemia
2. mullafüüsika
3. mulla mikrobioloogia
4. ruumiandmete andmetöötlus ja modelleerimine

Mullaseire direktiivis loetletud mullatunnused (**Tabel 6**) sisaldavad endas kõiki etteantud parameetreid, mida saab vastavalt nõuetele jagada kas kohustuslikuks või valikuliseks mullatunnusteks, mida analüüsima peaksime. Ülevaate saamiseks koondasime nii valikuliste kui ka kohustuslike mullatunnuste analüüsikulud. Eestis on väga hästi kaetud mullakeemilised analüüsid, kus teenusepakkujateks on nii METK kui ka EKUK. Mulla füüsikalisi analüüse pakub põhiliselt EMÜ ja mulla mikrobioloogilisi analüüse on LUCASe jaoks teostanud Tartu Ülikoolis Leho Tedersoo. Oluline on mees pidada, et ülikoolide poolt analüüsides teostamise maht on piiratud, sest ülikoolide laborid pole ülesse ehitatud mass-analüüsides ja teadlaste peamine tööülesanne on teadustööde läbiviimine. Seetõttu analüüsides tegemise võimekus ja analüüsi hind sõltuvad proovide kogustest ning kaasautorlusest, kui seiretööd publitseeritakse. Kui mullaseire direktiiv nõuab suuremas koguses mullaanalüüse, mida ülikoolid kanda ei suuda, tuleb kaaluda siseriiklikult laborivõimekuse tõstmist või väljaspool Eestist pakutavate teenusepakkujate kasutamist.

Mulla keemilistes analüüsides pakub METK ka kompleksanalüüse, kus hinna sisse on koondatud mitmed mullaparametrid (põhianalüüs- pH, P, K, Ca, Mg, täisanalüüs- pH, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Mn, Zn), mis võimaldaks määrata soodsama hinnaga rohkem näitajaid. Täisanalüüsi valik tuleks mullaseire direktiivis sellisel juhul soodne, kui valida põhianalüüs, millega saaks samaaegselt kaetud mulla happesus, fosfori sisaldus, raskmetallide Cu ja Zn sisaldused. Sellise valiku tegemisel on vajalik eelnevalt kooskõlastada, kas Mehlich III on direktiivi mõistes sobiv meetodika saasteainete määramiseks.

Raskmetallide analüüsi kulu koosneb kahest etapist: eeltöötlus ja elemendi sisalduse määramine. Raskmetallide analüüsi meetodika oluliseks ja kõige kallimaks komponendiks on eeltöötlus, millega metallid mullasuspensioonist eraldatakse. Sellele lisanduvad seadme ICP-OES ja ICP-MS analüüsikulud, kus iga elemendi kohta hind suureneb. Mullaseire direktiiv kirjutab ette, et liikmesriigid peavad looma raamistiku, mille alusel valitakse välja siseriiklikud saasteained, mis ohustavad keskkonda ja inimeste tervist. Kuna täna puudub Eestis prioriteetsete saasteainete nimekiri, siis saasteainete määramise lõpphinda on raske määratleda. **Tabel 8** välja toodud saasteainete määramise koguhind on arvutatud vastavalt direktiivis välja toodud nimistule (**Tabel 6**), mida peab siseriiklikult asjakohastama.

Taimekaitsevahendi jääkide määramist teostavad Eestis EKUK ja LABRIS. LABRIS-e poolt pakutav QuEChERS meetod ei suuda mullast eraldada glüfosaati ja tema laguprodukti AMPA-t, seetõttu on

glüfosaadi ja AMPA määramiseks vaja eraldi metoodikat, mida pakub EKUK. QuEChERS meetodi kasutamisel ekstraheeritakse kõik taimekaitsevahendi toimeainete ühendid samaaegselt, mistõttu 5 toimeaine määramine (ca 42 EUR/toimeaine) pole lõppkokkuvõttes odavam kui 334 toimeaine määramine (ca 1,44 EUR/toimeaine). Taimekaitsevahendi toimeainete määramisel on kasulikum valida terviklik toimeainete nimistu, sest analüüs tuleb suurema kasuteguriga ja LABRIS uuendab pidevalt oma metoodikat, mis võimaldab hinnata uusi toimeaineid.

PFAS sisalduse osas annab direktiiv ette nimekirja ühenditest, mida määrata võime. Liikmesriigile on antud luba teha valikuid, mille nõudeid on kirjeldatud artikkel 7(3a) osas. Hetkel suutsime tuvastada, et EKUK pakub PFOS ühendi määramist, mis on ka mullaseire direktiivis välja toodud, mistõttu selle ka hinnakirjas kajastasime. Sobilikult PFAS ühendi valikul on vajalik teha eelnev uuring, missugustele PFAS ühenditele Eestis keskenduma peaksime.

Mullamikrobioloogiliste parameetrite määramisel pole Eestis hetkel mass-analüüsile spetsialiseerunud laborit. Hetkel on mullamikrobioloogia teenust arendamas METK, kus täna ollakse valmis pakkuma bakterite ja seente DNA-analüüse. Arhede, protistide, loomade, vihmausside, hooghännaliste ja lüliljalgsete analüüsi on võimalik poole aasta etteteatamisega testida ning juurutada. Oluline on ära märkida, et hetkel on mikrobioloogiliste analüüsihinnad arvatud ühe mullaproovi kohta. Mikrobioloogilised analüüsid muutuvad soodsamaks proovide arvu kasvuga, sest analüüs võimaldab samaaegselt töötada mitmekümne prooviga ning sellega lüheneb töö aeg ühe proovi kohta ja väheneb laboritarvikute kulu. Lisaks iga analüüsi juurde käivad kontrollid (positiivsed, negatiivsed, kvaliteedi kontrollid) ning nende maksumus jaguneb suurema arvu proovide juures kõikide korraga analüüsitud proovide vahel. Fosfolipiidi rasvhappeanalüüsi (PLFA) suudab METK juba täna läbi viia, kuid seade on mõeldud teadusalaselt kasutamiseks. Mass-analüüsi tegemine nõuab uue seadme ja labori tööjõu suurendamist. Lisaks pakub vihmausside ja hooghännaliste määramist ka EMÜ, kuid meil puuduvad hetkel andmed, kas nad pakuvad seda teenust ka suuremamahulise seire jaoks. Tänapäevaks me ei suutnud leida teenusepakkujat, kes suudaks Eestis analüüsida pärismaiseid sipelgaid ja mulla basaalselt hingamist. Mulla basaalse hingamise tunnuse all sooviksime etteantud metoodikat, mis aitaks paremini mõista, mida on selle mullatunnuse all mõeldud. TalTechi tööstusökoloogia laboris on võimalik määrata mikroobikoosluse biomassi ja mikroobset hingamisaktiivsust substraadist, kasutades OxiTop® manomeetrilist mõõtmisüsteemi.

Mulla ärakande hindamist suudame hetkel toetada ainult vee-erosiooni puhul, kuna teised mudelid hetkel puuduvad. METK-i mullastiku valdkond on koostöös Tartu Ülikooli geograafia osakonnaga Eesti konteksti arendanud USLE erosioonimudelit, mis võimaldab hinnata vee-erosiooni ulatust t/ha/aastas. Antud mudeli tulemusi on võimalik jälgida ja tutvuda [mullaerosiooni kaardirakendusest](#). Direktiivi jaoks on vee-erosioonimudel rakendatav, kuid peame eelnevalt läbi vaatama ja analüüsima direktiivist rakenduvad nõuded ning mudelit vastavalt kohandama. Selleks, et suudaksime täita mullaseire direktiivi nõudeid ka teiste erosiooniprotsesside hindamiseks, on vaja luua vastavad erosioonimudelid ka tuule, saagikoristuse ja mullaharimise kohta.

Keemilistest analüüsides tooks esile CaCO_3 või anorgaanilise süsiniku kontsentratsiooni määramise. Eestis on mullad karbonaadirikkad, mistõttu muldade hapestumise seiramiseks ja anorgaanilise CO_2 emissiooni kindlakstegemiseks, mida võimaldab üleväetamine, ning korrektse orgaanilise süsiniku sisalduse määramiseks oleks vaja siseriiklikult määrata ka anorgaanilise süsiniku kontsentratsiooni mullas. Kuigi see parameeter on direktiivis valikulisel kohal, on see siseriiklikult oluline mullatunnus mulla seisundi hindamiseks. Anorgaanilise süsiniku määramiseks on erinevaid analüsaatoreid, näiteks kaltsimeeter või süsiniku analüsaator, millele on lisatud juurde anorgaanilise süsiniku määramise metoodika. Hetkel pakub teenusena karbonaatide määramist EMÜ, kuid tehniline võimekus oleks olemas ka METK-is.

Mullaseire direktiivi D-osa täitmiseks on eelnevalt vaja läbi töötada direktiivi poolt antud definitsioonid (direktiivis artikkel 3 ja lisa I), mille alusel saab luua meetodikad, valideerida algandmestiku olemasolu ning otsida võimalikud teenusepakkujad. Kuna tänasel hetkel pole meil ettekirjutatud meetodikat, siis me ei oska teha kalkulatsioone võimalike kulude kohta. Eesti topograafia andmekogu (ETAK) baasil on maahõivet analüüsinud KAUR ([Eesti maahõive kaardistus 2023 | Keskkonnaportaal](#)), ETAK andmeid haldab aga Eestis Maa- ja Ruumiamet (MARU). Lisaks on KAUR tellinud või osalenud mitmes maahõive (maa katmise) uurimisega seonduvas uuringus, sh 2024–2025 läbi viidud piloottöös loodusliku maakatte muutuste tuvastamiseks kaldakaitsevööndites ja rohevõrgustikus (aruande esitamise hetkel avaldamata) ning koostööprojektides Statistikaametiga ökosüsteemide arvepidamise arendamisel (sisaldab maa katmisega seonduvaid indikaatoreid). Samuti on olemas mitmeid kaugelepihiseid potentsiaalselt kasutatavaid Copernicuse maaseireprogrammi ([Copernicus Land Monitoring Service](#))produkte, mida haldab Euroopa Keskkonnaamet ja mille riiklikuks kontaktiks on KAUR. Seetõttu on meetodika loomisse ja algandmestiku valideerimisse vajalik kaasata nii KAUR kui ka MARU ja teiste asjakohaste asutuste eksperdid ja töörühmad ning kindlasti ka teadlased.

Tabel 9 koondasime kokku mullatunnused, mida on kohustuslik mullaseire direktiivi raames hinnata, koos odavaima teenusepakkuja hinnaga. Oluline on tabelit lugedes meeles pidada, et kõiki mullatunnuseid ei pea igas proovipunktis määrama, sest teatud tingimustel rakendatakse proovipunktides analüüsi osas erandeid. Kokkuvõttes tabelis tuleb ka esile, mis tunnused on meil direktiivi kohustuslikust programmist katmata ja mis takistavad meil täna mullaseire kogukulu arvutamist. Vaatamata puudulikule lõpphinnale annab **Tabel 9** ülevaate, millele oleks vaja fookus seada, et suudaksime mullaseiret edukalt läbi viia:

- luua mullaseire valikuuring, välja tuua erandjuhud ja panna vastavusse neile proovipunktidele rakenduvad tingimused ja mullanäitajad. Kui see eeltöö on tehtud, alles siis saame anda mullaseirele kogumaksumuse;
- selgitada, missugune on mullaseire direktiivis C-osa proovivõtu meetodika ja valimi suurus;
- luua raamistik, mille alusel saame valida siseriiklikult olulised saasteained, mida mullaseire raames määrama peaksime, ja luua proovipunktide valimi;
- töötada välja erosioonimudelid tuule, saagikoristuse ja mullaharimise mulla ärakande hindamiseks;
- töötada läbi mullaseire direktiivi D-osa mulla katmise ja mulla eemaldamise definitsioonid ja luua direktiivi nõuetele vastav meetodika.
- Teha kindlaks, kas täna Eestis pakutavad laboriteenused vastavad direktiivi nõuetele ja kas on vaja ette võtta täiendavaid tegevusi, nagu ISO sertifikaatide juurutamist või meetodikate akrediteerimist.

Tabel 8. Laborianalüüside teenusepakkujad ja hinnad 2025. aastal (käibemaksuta)

Mullatunnused		Rakendumine	Ettekirjutatud meetod	Teenusepakkuja	Meetod	Standard/ kirjeldus	Ühe proovi või ühendi analüüsihind 2025. aastal (KM-ta) EUR
Mullakeemia	Elektrijuhtivus	kohustuslik A osas, kuid rakenduvad eritingimused	ISO 11265	METK		EVS-EN 13038	11,55
	Orgaaniline süsinik	kohustuslik A osas, valikuline B osas	ISO 10694	METK	EA	ISO 10694:1995	29
				EKUK		EVS-EN 15936	45
	Üldlämmastik	kohustuslik B osas	Valik 1: ISO 11261 (muudetud Kjeldahl) Valik 2: ISO 13878 (EA)	METK	EA	ISO 13878	25,4
				EKUK	muudetud Kjeldahl	ISO 11261	24
	Ekstraheeruv fosfor	kohustuslik B osas, kuid rakenduvad erandid	Eelistatud ISO 11263 (Olsen), kuid teised meetodid on ka lubatud	METK	Üksikelemendina	Mehlich III	8
					Põhianalüüs (pH, P, K, Ca, Mg)	Mehlich III	16
					Täisanalüüs (pH, P, K, Ca, Mg, Cu, B, Mn, Zn)	Mehlich III	27
				EKUK	Üldfosfor	EVS-EN 16170	23
	Happesus (pH)	kohustuslik C osas	ISO 10390 (H ₂ O, KCl, CaCl ₂)	METK	pH KCl lahuses suhe 1:5	ISO 10390	7,5
				EKUK	pH vesilahuses	ISO 10390	8
	küllastusaste ((Ca + Mg + K)/CEC)	valikuline C osas	ISO 11260 (BaCl ₂)	EKUK	Ekstraheerimine BaCl ₂ lahusega	ISO 11260 & ISO 14254	10
					K analüüs		20
					Ca analüüs		20
					Mg analüüs		20
					Na ja K koosanalüüs proovis		30
					Ca ja Mg koosanalüüs proovis		30
	Raskmetallide kontsentratsioon mullas:	kohustuslik B osas, kuid nõuab eelnevat	ISO 54321 (Aqua Regia) Valikuline: saasteainete	METK	Raskmetalli ekstraheerimise		41,6

	As, Sb, Cd, Co, Cr (kokku), [...] Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn	raamistiku loomist liikmesriigi poolt	biosaadavad fraktsioonid, näiteks ISO 17586, kasutades lahjendatud lämmastikhapet		eeltöötlus (vajalik enne ICP-OES ja ICP- MS analüüsi)		
					ICP-OES: ühe elemendi sisalduse analüüs (Ca, K, Mg, Na, NaCl (arvutuslikult Na kaudu), P, S, Al, B, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn, V)	EVS-EN 16170:2016	8,05 EUR/element
					ICP-MS: ühe elemendi sisalduse analüüs (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Se)	EVS-EN 16171:2016;	17,3 EUR/element
				EKUK	Tahkete roovide eeltöötlus konts. HNO ₃ -ga ühest proovist (vajalik enne ICP- OES ja ICP-MS analüüsi)	ISO 11466:1995	20
					Elavhõbe (Hg)	ISO 11466:1995	27
					ICP-OES: ühe metalli analüüs (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, Se, Ag, Tl, Ti, V, Zn)	ISO 11466:1995	23
					ICP-OES: iga järgnev metall samast proovist	ISO 11466:1995	10 EUR/element
					ICP-MS: ühe metalli analüüs (Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Mo, Ni, Se, Ag, Tl, V, Zn, Sn)	ISO 11466:1995	30

					ICP-MS: iga järgnev metall samast proovist	ISO 11466:1995	13 EUR/element
	Orgaanilise saasteaine kontsentratsioon	kohustuslik B osas, kuid nõuab eelnevat raamistiku loomist liikmesriigi poolt.		EKUK	orgaanilised ühendid		hind sõltub määratavast saasteainest (71-260 EUR/saasteaine/proov)
	PFAS-21, PFAS-43 või liikmesriigi poolt valitud PFAS ühend	kohustuslik C osas		EKUK	PFOS		180
	taimekaitsevahendi jääkide kontsentratsioonid	kohustuslik C osas, kuid raamistiku alusel valitakse määratavad toimeained		EKUK	Taimekaitsevahendi jäägid- glüfosaat ja AMPA		140
				LABRIS	Taimekaitsevahendi jäägid QuEChERS-meetodil (analüüs annab ca 334 ühendit)	QuEChERS	479,81
					Kuni viie (5 tk) taimekaitsevahendi jäägi määramine QuEChERS meetodil	QuEChERS	210
	Uued mulla saasteained: näiteks mikroplast	valikuline C osas		Eurofins	Mikroplasti analüüs		konfidentsiaalsusnõue
	CaCO ₃ või anorgaanilise süsiniku kontsentratsioon	valikuline, kuid Eesti mõistes oluline parameeter	ISO 10693	EMÜ			11
Mullafüüsika	Lõimis	kohustuslik A osas, et arvutada orgaanilise süsiniku ja savi suhet	ISO 11277	EMÜ	lõimis, 3 fraktsiooni		26
	Lasuvustihedus	kohustuslik A osas, kuid rakenduvad eritingimused, kohustuslik C osas	ISO 11272	EMÜ	lasuvustihedus		6
	mulla veemahutavus	Kohustuslik B osas	Valik 1: ISO 11274 Valik 2: hinnangu andmine läbi lõimise, lasuvustiheduse,	EMÜ	Poorsus (pF 1,8-4,2 juures)	Imamisplaadid ja rõhupotid	28

			orgaanilise süsiniku sisalduse jm alusel				
	Küllastunud mulla veejuhtivus– Ksat	valikuline A osas, kohustuslik B osas, valikuline C osas	Valik 1: ISO 17313 Valik 2: üleminekufunktsioon (sisendandmed lõimis, lasuvustiheus, orgaanilise süsiniku sisaldus	EMÜ	veeläbilaskvus	Haubeni meetod	10
	Aeratsioonipoorsus	valikuline A osas, kohustuslik B osas, valikuline C osas		EMÜ	Poorsus (pF 1,8)	Imamisplaat	14
Mulla mikrobioloogia	bakterite ja seente DNA ribakoodistamine	kohustuslik C osas, kuid 5% proovialadest		METK			110 ¹
	Arhede, protistide ja loomade ribakoodistamine	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK ²			110 ¹
	fosfolipiidi rasvhappeanalüüs (PLFA)	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK ³			55
	Nematoodide arvukus ja mitmekesisus	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK	Vabalt elavate nematoodide määramine		75
	Vihmausside arvukus ja mitmekesisus	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK ²			110 ¹
	Hooghännaliste arvukus ja mitmekesisus	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK ²			110 ¹
	pärismaiste sipelgate arvukus ja mitmekesisus	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		Vajab selgitamist			Vajab selgitamist
	Mulla bioloogiline kvaliteet lüljalgsete alusel (QBS-ar)	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK ²			110 ¹
	invasiivsete võõrliikide ja taimekahjurite esinemine	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		METK	Umbrohuseemnete määramine (sh võõrliigid)		50
				METK	taimekahjustajate määramine		110
	mulla basaalne hingamine	valikuline C osas, kuid 5% proovialadest		Vajab selgitamist			Vajab selgitamist

Ruumiandmete andmetöötlus ja modelleerimine	Mullaerosioon	Kohustuslik C osas, kuid rakenduvad erandid	Mulla ärakande hindamine peab hõlmama kõiki asjakohaseid erosiooniprotsesse (tuul, vesi, saagikoristus, mullaharimine) ja arvesse võtma direktiivis välja toodud tegureid	METK	USLE (vee-erosioon)	USLE	Ühikuhind 50€/h, eeldatav USLE mudeli töö maht 2-3 tööpäeva
				Puudub	Tuule-, saagikoristuse ja mullaharimise hindamine mulla ärakandele	Eestis puudub vastav mudel	
	Kaetud ja eemaldatud muld kokku	kohustuslik D osas		Vajab täiendavat selgitamist			
	Mulla katmine ja mulla eemaldamine, tehiskatte eemaldamine ja netokatmine	kohustuslik D osas					
	Asulapiirkonnad kokku	kohustuslik D osas					
	Maakasutuse muutumine asulapiirkonna suunas ja vastupidi	kohustuslik D osas					
	mulla kunstlikuks muutmine	valikuline D osas					
	maa killustatus	valikuline D osas					
	maa ringlussevõtu määr	valikuline D osas					
	äritegevuse, logistikakeskuste, taastuvenergia ning näiteks lennujaamade, maanteed ja kaevanduste jaoks hõivatud maa	valikuline D osas					
	mulla katmise ja eemaldamise tagajärjed, nagu ökosüsteemiteenuste vähenemise, üleujutuste intensiivsuse muutuse kvantifitseerimine	valikuline D osas					

1 – kui analüüs muutub massanalüüsiks, võib hind minna odavamaks

2 – METK saab teenust pakkuda umbes pooleaastase etteteatamisega, kuna eelnevalt on vaja primereid testida

3 – nõuab uue seadme soetamist, sest praegust seadet on ainult lubatud kasutada teadustöös. Metoodika on METK-is toimiv ja juurutatud.

Tabel 9. Kokkuvõte kohustuslikest mullaseire direktiivi analüüsikuludest proovi kohta

Mullanäitaja		Teenusepakkuja	EUR/proov	Kommentaar
Kohustuslik A-osas	Elektrijuhtivus	METK	11.55	NB! Rakendub erand – ei pea igas proovis määrama
	Orgaaniline süsinik	METK	29	
	Lõimis	EMÜ	26	kohustuslik, et arvutada orgaanilise süsiniku ja savi suhet
	Lasuvustihedus	EMÜ	6	NB! Rakendub erand – ei pea igas proovis määrama
VAHESUMMA A-OSAS			Kuni 72.55 EUR	
Kohustuslik B-osas	Ekstraheeruv fosfor	METK	8	NB! Rakendub erand – ei pea igas proovis määrama
	Raskmetallide kontsentratsioon mullas: As, Sb, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn	EKUK	170	NB! Rakendub erand. Direktiiv nõuab eelnevat raamistiku loomist liikmesriigi poolt, mille käigus selgitatakse, missuguseid saasteaineid määratakse
	Orgaanilise saasteaine kontsentratsioon	EKUK	Vajab selgitamist	NB! Rakendub erand. Direktiiv nõuab eelnevat raamistiku loomist liikmesriigi poolt, mille käigus selgitatakse, missuguseid saasteaineid määratakse
	mulla veemahutavus	EMÜ	28	
	Küllastunud mulla veejuhtivus– Ksat	EMÜ	10	
	Areatsioonipoorsus	EMÜ	14	
VAHESUMMA B-OSAS			Alates +230 EUR	NB! Ei ole lõplik hind
Kohustuslik C-osas	Üldlämmastik	EKUK	24	NB! Rakendub erand – ei pea igas proovis määrama
	Happesus (pH)	METK	7.5	
	PFOS	EKUK	180	NB! Rakendub erand – direktiiv nõuab eelnevat raamistiku loomist liikmesriigi poolt, mille käigus selgitatakse, missuguseid saasteaineid määratakse
	taimekaitsevahendi jääkide kontsentratsioonid	EKUK (glüfosaat ja AMPA)	140	NB! Rakendub erand – direktiiv nõuab eelnevat raamistiku loomist liikmesriigi poolt, mille käigus selgitatakse, missuguseid saasteaineid määratakse
		LABRIS (334 ühendit)	479.81	
	bakterite ja seente DNA ribakoodistamine	METK	110	NB! Rakendub erand – määratakse 5% proovialadest
	Mulla ärakanne	Vajab selgitamist	Vajab selgitamist	Eestis suudab katta ainult vee-erosiooni hindamise, kuid lõpphinna jaoks on oluline ka tuule, saagikoristuse ja mullaharimise mudeli rakendamise kulud, mida me täna ei tea.
VAHESUMMA C-OSAS			Alates +941.31 EUR	NB! Ei ole lõplik hind

Kohustuslik D-osas	Kaetud ja eemaldatud muld kokku	Vajab selgitamist	Vajab selgitamist	Teenusepakkuja ja hinna kujunemiseks on vaja läbi töötada direktiivi poolt antud definitsioonid (direktiivis artikkel 3 ja lisa I), selle alusel luua meetodikad, valideerida algandmestiku olemasolu ning seejärel otsida võimalikud teenusepakkujad ja teha kuluanalüüs.
	Mulla katmine ja mulla eemaldamine, tehiskatte eemaldamine ja netokatmine	Vajab selgitamist	Vajab selgitamist	
	Asulapiirkonnad kokku	Vajab selgitamist	Vajab selgitamist	
	Maakasutuse muutumine asulapiirkonna suunas ja vastupidi	Vajab selgitamist	Vajab selgitamist	
VAHESUMMA D-OSAS			Vajab selgitamist	
KOGUSUMMA			alates 1133.86+	Lõpphind sõltub erandite rakendamisest ja puuduolevate mullatunnuste hinna välja selgitamisest

3. Ettepanekud mullaseire direktiivi rakendamiseks

Mullaseire direktiivi jõustumisel tuleb liikmesriigil mullaseire direktiiv üle võtta 3 aasta jooksul, mis tähendab, et liikmesriigil peab selleks ajaks olema siseriiklikult mullaseire täielikult paigas (rahastus, regulatsioonid jm). Mullaseire direktiiviga rakendub 6-aastane seireperiood ja esimene seirearuanne tuleb esitada mullaseire direktiivi jõustumisel 6 aasta ja 6 kuu pärast. Liikmesriigil on kohustus viia läbi esimesed mullaproovide analüüsid hiljemalt 5 aastat pärast direktiivi jõustumist. Artikkel 8 lõige 5a kirjutab ette, et mulla katmise ja eemaldamise indikaatorväärtused tuleb uuendada iga 3 aasta tagant. Mullaseire direktiivi jõustumisel tuleb 4 aasta jooksul teha ülevaade saastunud aladest ja koostada riskianalüüs ning registrisse kanda 10 aastat pärast mullaseire direktiivi jõustumist. Saastunud aladele rakenduvad nõuded on detailselt kirjeldatud mullaseire direktiivi peatükis IV. Mullaseire direktiivi analüüsides ja hinnakalkulatsioone koostades leiame, et enne direktiivi rakendumist on vaja teha järgnevaid töid ja otsuseid:

- Mullastikupiirkonna ja mullastikuüksuse defineerimine ja loomine Eestis—see on mullaseire direktiivi proovipunktide valimi koostamise aluseks I lisa A- ja B-osades. Direktiivi jõustumisel on liikmesriigil kohustus edastada mullastikupiirkond ja mullastikuüksused 3 aasta ja 3 kuu pärast. Leiame, et selle punktiga peaks kõige esimesena tegelema hakkama.
- Maakasutuskategooriate ühtlustamine siseriiklikult, mullaseire direktiivi ja muude kasutuskohtade tarbeks. Ideaalis võiks olla ruumilised maakasutuskategooriate kihid, mida seirajad saavad sisendina kasutada. Kuna maakasutuskategooria on mullaseire proovipunktide valimi koostamisel sisendandmeks, nõuab ka see punkt esmast prioriteeti.
- Direktiivi C osas proovipunktide valimi suuruse ja jaotuse välja selgitamine—käesoleval hetkel puudub mullaseire direktiivis C-osa proovipunktide meetodika selgitus.
- Proovipunktide valimi koostamine ning erandjuhtude, mille juhul mulla seisundi näitajat hindama ei pea, arvestamine.
- Riiklikult saasteainete raamistiku välja töötamine ja proovipunktide valimi koostamine.
- Mullaseire direktiivi rakendumisel on oluline välja selgitada, kas täna analüüsitavad meetodid on sobilikud seire läbiviimiseks, kas laboritele tuleb nõue taotleda uusi standardeid ja juurutada uusi meetodeid või peame hakkama uusi labori teenusepakkujaid leidma, kelle meetodikad vastavad direktiivis etteantud nõuetele.
- Puuduolevate erosioonimudelite loomine ja testimine (mulla ärakanne)—täna suudame siseriiklikult hinnata ainult vee-erosiooni USLE mudeli kaudu. Selleks, et suudaksime täita mullaseire direktiivi nõudeid ka teiste erosiooniprotsesside hindamiseks, on vaja luua vastavad erosioonimudelid ka tuule, saagikoristuse ja mullaharimise kohta. Uute mudelite arendamine ja testimine nõuab eraldiseisvat projekti.
- Andmebaaside arendamine – *soil portal*. Selgitada, kas mullastikukaardi uuendamisel loodav andmekuup võimaldab ka mullaseire direktiivi andmeid hoiustada.
- Eestikeelsete tõlgete kohendamine ja vastavusse viimine eriala terminitega.
- Sihtväärtuste ja läviväärtuste loomine ja analüüs—mulla seisundi hindamiseks on vaja luua siseriiklikud sihtväärtused ja läviväärtused, mis vastaksid seiredirektiivis etteantud nõuetele ning samal ajal nii Eesti mullastikupiirkonna ja mullastikuüksuse kui ka hinnatavatele mullatunnuste erisustele. Läviväärtuste loomisest on oluline:
 - sõnastada, mida me mõtleme läviväärtuse ja sihtväärtuse all, mis näitavad head mulla seisundit. Mis hetkest muutub sihtväärtus läviväärtuseks ja vastupidi;
 - defineerida ja teaduslikult põhjendada, miks üks või teine mullatunnuse sihtväärtus ja läviväärtus kirjeldab Eestis head või halba mulla seisundit;

- suurendada mullaandmestiku valimi mitmekesisust, sest täna katame mullaseires väga kitsast ala, mis ei esinda kogu Eesti piirkonda ja mullastikku, mis võimaldaks siht- ja läviväärtuseid luua. Tänapäevane mullaseire ei hõlma looduslikke alasid. Oluline on siht- ja läviväärtuste loomisel eristada maakasutuse klasse, sest ökosüsteemi funktsioonid on igas maakasutuse klassis erinevad, mis võivad tingida ka neile isemased siht- ja läviväärtuste loomise nõude. Hetkel on Eestis mulla happesuse osas ühene arusaam, mis väärtustele me ei tahaks jõuda, kuid jällegi peab silmas pidama, et meil on hea ülevaade ja arusaam ainult põllumaade kohta. Kui luua siht- ja läviväärtuseid, siis meil peab olema tugev ülevaade ka loodusliku fooni kohta;
- siht- ja läviväärtuste loomine nõuab pikaaegset projekti, kus hinnatakse keskkonda kui tervikut: aluskivimit, mullaliiki, taimefüsioloogiat, ökosüsteemi funktsioone, leostumist, toitainete kättesaadavust jne.

4. Kokkuvõte

Maa ja muld on kriitiline ressurss, mis on aluseks toidu, energia ja tooraine tootmisel. Mullas leidub rohkem kui 50% kogu planeedi elurikkusest, heas seisundis muld on planeedi maismaaosa suurim süsinikureservuaar. Globaalse rahvastiku kasvuga suureneb toidu tootmise vajadus, mis paneb suurema surve põllumajandusmaadele. Intensiivne toidutootmine ja kliimamuutustest tingitud keskkonnaprobleemid tõstavad esile probleeme, nagu muldade kiirenev vaesumine, kõrbestumine, mulla elurikkuse vähenemine, orgaanilise süsiniku varu ja toitainete sisalduse vähenemine. Mulla seisundi halvenemise tulemuseks on näiteks:

- kuna taimed on toiduahela algus, sõltub kogu ökosüsteem mulla olemasolust. Seetõttu mulla degradatsiooniga väheneb ka elurikkus maa peal,
- nõrgemad kasvukultuurid ja seega väiksem vastupidavus kahjuritele,
- vajadus täiendavaks väetamiseks ja taimekaitsevahendite intensiivsemaks kasutamiseks ning sellest tuleneva saaste kasv,
- turvasmuldade harimisel turvasmuldade kadu ja suurenenud KHG emissioonid,
- toidust saadavate elutähtsate toitainete sisalduse vähenemine ja kahju inimestele,
- sademevee filtreerimisvõimekuse vähenemine, mis hoiaks ära saasteainete jõudmise põhjavette.

Muldade hea seisund on seega vahetu mõjuga ökosüsteemide toimimisele, aga elutähtis ka mitmetele majanduslikele ja sotsiaalmajanduslikele valdkondadele, nagu põllumajandus, metsandus, toidutootmine, veemajandus, LULUCF, elurikkuse kaitse, infrastruktuur ja maa hõivamine (asulad, energeetika, transport jt), planeeringud.

Muldade seire tagab, et me oskaksime hinnata muldades toimuvaid muutusi ja pakkuda õigel ajal parimaid lahendusi, kuidas muldade seisundit hoida ja parandada. Sõltumata direktiivi menetlusest oleks oluline suurendada mullaseirealade valimit, mis kataks Eesti mullastikku ja maakasutuskategooriaid laiemalt, kui me täna seda teeme. Oluline on rõhuasetus panna ka mullaseire järjepidevusele, mis on iga seire puhul võtmepunktiks — kui meil puudub aegrida, siis meil puudub ka hinnang, kuidas muldade seisund on muutunud. See võimaldab hoida Eesti muldade head seisundit ja toob kasu nii maakasutajatele, tootjatele kui ka ühiskonnale tervikuna. Soovitame aruandes välja toodud ettepanekutega tegeleda sõltumata, kas mullaseire direktiiv jõustub või mitte. Vaatamata direktiivi jõustumisele on meil tänapäevane toimuv mullaseires puuduseid, mis vajaksid kiiremas korras lahendamist. Direktiivi jõustumisel aga on kiire tegutsemine ja esmajärjekorras lahendamist vajavate väljatoodud küsimuste lahendamine kiirkorras juba vältimatu.

Teaduskirjanduse viited

- Astover, A., Kölli, R., Roostalu, H., Reintam, E. (2012) Mullateadus. Tartu. Eesti Maaülikool, 16-21, 166-171, 168, 199-213.
- Froger, C., Tondini, E., Arrouays, D., Oorts, K., Poeplau, C., Wetterlind, J., Putku, E., Saby, N.P.A., Fantappiè, M., Styc, Q., Chenu, C., Salomez, J., Callewaert, S., Vanwindekens, F.M., Huyghebaert, B., Herinckx, J., Heilek, S., Sofie Harbo, L., De Carvalho Gomes, L., Lázaro-López, A., Antonio Rodriguez, J., Pindral, S., Smreczak, B., Benš, A., Bakacsi, Z., Teuling, K., van Egmond, F., Hutár, V., Pálka, B., Abrahám, D., Bispo, A. (2024). Comparing LUCAS Soil and national systems: Towards a harmonized European Soil monitoring network. *Geoderma* 449, 117027. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117027>
- Domburg, P. and J.J. de Gruijter, 1992. A framework of concepts for soil survey using probability sampling. Wageningen (The Netherlands), DLO The Winand Staring Centre. Report 55. 32 pp. ; 4 Figs; 16 Refs.
- Jones, A., Fernandez Ugalde, O., Scarpa, S. and Eiselt, B., (2021) LUCAS Soil 2022, EUR 30331 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-21079-5, doi:10.2760/74624, JRC121253.
- Jones, A., Orgiazzi, A., Panagos, P., Scarpa S., Havenga, C., Van Eynde, E. (2024) LUCAS 2022 Soil Module. D2.1 Overview of soil sampling
- M.J. Metzger, A.D. Shkaruba, R.H.G. Jongman and R.G.H. Bunce (2012) Descriptions of the European Environmental Zones and Strata, Alterra Report 2281 ISSN 1566-7197.
- Meurer, K.H.E., Hendriks, C.M.J., Faber, J.H., Kuikman, P.J., van Egmond, F., Garland, G., Putku, E., Barancikova, G., Makovníková, J., Chenu, C., Herrmann, A.M., Bispo, A. (2024). How does national SOC monitoring on agricultural soils align with the EU strategies? An example using five case studies. *European Journal of Soil Science* 75, e13477. <https://doi.org/10.1111/ejss.13477>
- Orgiazzi, A., Ballabio, C., Panagos, P., Jones, A., Fernández-Ugalde, O. (2018). LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. *European Journal of Soil Science* 69, 140–153. <https://doi.org/10.1111/ejss.12499>
- Orgiazzi, A., Panagos, P., Fernández-Ugalde, O., Wojda, P., Labouyrie, M., Ballabio, C., Franco, A., Pistocchi, A., Montanarella, L., Jones, A., 2022. LUCAS Soil Biodiversity and LUCAS Soil Pesticides, new tools for research and policy development. *European Journal of Soil Science* 73, e13299. <https://doi.org/10.1111/ejss.13299>
- Pennock, D., Yates, T., Braidek, J. (2007) Soil Sampling Designs. Soil Sampling and Methods of Analysis. Edited by Carter, M.R., Gregorich, E.G. Canadian Society of Soil Science. CRC Press.
- Putku, E., Penu, P. (2025) Eesti riikliku ja LUCAS mullaseireprogrammide võrdlus, *Agronoomia* 2025, https://metk.agri.ee/sites/default/files/documents/2025-03/Agronoomia_2025_1.pdf
- Tóth, G., Jones, A., Montanarella, L. (2013) LUCAS topsoil survey – methodology, data and results, EUR 26102 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2013), p. 141, https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR26102EN.pdf