

**Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut
Põllumajandusuuringute Keskus**

**Mullastikukaartide- ja andmebaaside rakendused jätkusuutlikuks
maakasutuseks ja põllumajandustootmiseks**

Projekti juht: Alar Astover

Projekti täitjad: Hugo Roostalu
Elsa Suuster
Helis Rossner
Liia Kukk
Endla Reintam
Kadri Krebstein
Priit Penu
Vallid Loide
Tambet Kikas

Tartu 2014

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
1. Suuremõotkavalise digitaalse mullastikukaardi kvaliteedi ja rakendatavuse parandamine.....	4
2. Põllumuldade viljakus ja kasutussobivus	15
3. Mullastikukaardiga seostatavad kasutussobivus- ja rakendusmudelid.....	34
4. Väetistarbe määramise täiendamine	52
5. Elektroonilise lubjatarbekaardi koostamise juurutamine	57
Kokkuvõte.....	61
Kasutatud kirjandus	63

Sissejuhatus

Eestis on muldade omadusi, viljakust, levikut ja kasutussobivust võrdlemisi põhjalikult uuritud. Kogu Eesti maismaad kattev mullastikukaart (mõõtkavas 1:10 000) on digitaliseeritud ja riikliku põllumuldade seire raames kogutakse pidevalt uut teavet. Hoolimata rikkalikust mullastikuinfost on Eestis selle kasutamine olnud suhteliselt kesine kasutajaskonna tagasihoidlike teadmiste tõttu erialainfo tõlgendamisel. Vajadus mullastikuinfo kättesaadavamaks ja asjaosalistele arusaadavamaks tegemise järele on aktuaalne, sest ebasobivad maakasutusviisid põhjustavad looduslike ressursside degradatsiooni, ebaefektiivset majandamist ning pärsivad selle kaudu ka maaelu sotsiaalmajanduslikku jätkusuutlikkust. Olemasolevate digitaalsete mullastikukaartide ja -andmebaaside ning põllumuldade seire spetsiifiline info on võimalik teisendada tavakasutajatele (nii maakasutajale kui ka põllumajandus- ja keskkonnapoliitika kujundajatele Eesti ja EL tasandil) lihtsamini mõistetavamaks ja otsustusprotsessides rakendatavamateks. Muudatuste tõttu põllumuldade seire analüüsimeetodites viimasel kümnendil on vajalik väetistarbegradsioonide ja -soovituste täpsustamine ja arendus. Samuti on senini kaasaegsed infotehnoloogia võimalused (sh GIS rakendused) olemasoleva mullastikuinfo käitlemisel vähe rakendust leidnud.

Projekti peamised eesmärgid olid:

1. Välja töötada suuremõtkavalise mullastikukaardiga ühilduvad rakendusmodelid põllumajandusliku maakasutuse asukohapõhiseks optimeerimiseks.
2. Arendada teabesüsteemi, mis pakuks riikliku põllumuldade seire (sh väetistarbekaartide) andmetele tuginedes teaduslikult põhjendatud soovitusi põllumajanduslikuks maakasutuseks. Selleks täpsustatakse ja arendatakse Mehlich III ekstraheerimislahuste makro- ja mikroelementide väetustarbe gradatsioone ning kaasajastatakse väetussüsteemi planeerimisel kasutatavaid koefitsiente.
3. Välja töötada GIS-põhine põllumajandusmaa kasutussobivusmodel ressursside jätkusuutlikuks kasutamiseks.
4. Muuta mullastikuinfo huvipooltele lihtsamini arusaadavamaks ja otsustusprotsessides hõlpsamalt rakendatavamaks.

1. Suuremõõtkavalise digitaalse mullastikukaardi kvaliteedi ja rakendatavuse parandamine

*Priit Penu, Tambet Kikas – Põllumajandusuuringute Keskus
Alar Astover, Elsa Suuster – Eesti Maaülikool*

Muldade leviku iseloomustamiseks, ülevaate saamiseks muldadest kui loodusvarast ning tootmisressursist kasutatakse mullastikukaarte, mille kontuurid eristatakse reeglina muldade geneetilis-morfoloogilise klassifikatsiooni alusel. Eesti mullastik on täielikult kaardistatud 1:10 000 mõõtkavas ning paberkaartide alusel on loodud staatiline GIS andmebaas, kuid paraku on neid seni otsustusprotsessides vähe kasutatud. Süstemaatiline Eesti suuremõõtkavaline mullastiku kaardistamine sai alguse 1954. aastal (mõõtkavad 1:10 000 ja Kagu-Eestis 1:5000), kui Põllumajandusministeeriumi Maakorralduse Valitsuse alluvusse loodi Igna Rooma juhtimisel mullauurijate töörühm (hilisem Eesti Põllumajandusprojekt mullastiku uurimise osakond). Esialgu teostati kaardistamist üksnes põllumajandusettevõtete maalidel, kuid aastatel 1988–1989 viidi läbi maaparandusobjektide mullastiku kaardi korrektuur ja 1976–1989 teostati riigimetsamaade mullastiku kaardistamine (Piho jt 1960, Kokk jt 1968, Metsamajandite...1978/1983, Põllumajanduslike...1989). Mullastiku kaardi laiema kasutatavuse tagamiseks ja arhiivis paremaks säilitamiseks hakati 1992. aastal erinevaid väliuurimuste tulemusi vormistama ühtsetele kõlviku piiridega varustatud katastrikaardi lehtedele (Maa-amet 2001). Digitaliseerimine ehk traditsioonilisel viisil koostatud mullastikukaartide skaneerimine, kontuuride vektoriseerimine ja elektroonilise andmebaasi seostamine kaardikihiga viidi AS E.O.Map poolt Maa-ameti tellimusel lõpuni 2001. aastaks. Digitaliseeritud mullakaart on vabalt ligipääsetav Maa-ameti Geoportaali veebirakenduse kaudu ja olemas erinevates GIS tarkvara vektor failiformaatides.

Kitsendused kaardi kasutamisel

Kaardi kasutamisel peaks arvestama, et see ei pruugi olla piisava asukohatäpsusega otsustuste jaoks, kus on vaja hinnata mullastiku varieeruvust alla 0,5...1 ha suurustel aladel. Kindlasti on see aga sobilik kõlviku tasandil (põld, metsaeraldis jne) tehtavateks maakasutuse otsustusteks. Mullastikukaardi kasutamisel arvestada, et üks kaardistamisühik hõlmab sageli mitut sarnaste omadustega mulla liiki, mistõttu kaardil võib olla toodud komplekskontuur, mille puhul on näidatud erinevate muldade osatähtsus, kuid puudub info nende kontuurisisesest paiknemisest. Mullakaardi andmebaasis kajastatu on valdavalt kvalitatiivse olemusega ning tähistatud erialaspetsiifiliste tingmärkidega, mis muudab selle tavakasutajale raskesti mõistetavaks.

Iga andmebaasi puhul tarvis hinnata seal talletatud andmestiku ajakohasust. Suuremõõtkavaline kaart pakub detailset infot muldade levikust. Mullakaart sisaldab asukohapõhist informatsiooni mulla nimetuse, lõimise, boniteedi, huumuse ja kivisuse kohta. Seega on mullastikukaardi andmestik püsivate ehk ajas aeglaselt muutuvate näitajate kohta, mistõttu on suurem osa aastakümnete eest kaardistatud mullaandmetest kasutatav ka tänapäeval. Siiski on teatud muldade ja maakasutuse korral vaja kriitiliselt hinnata info ajakohasust. Inimtegevuse mõjutusel on võimalik kaardistatud näitajate suhteliselt kiire muutumine. Näiteks, põllumaalidel võib liigsügava mullaharimisega kaasneda huumuskatte segunemine alumiste horisontidega ja kaardil toodud huumuskihi tüsedus ei pruugi vastata tegelikkusele. Turvasmuldade kuivendamise ja harimise järel võib olla turbakiht mineraliseerunud

õhemaks kui 30 cm ning Eesti muldade klassifikatsiooni alusel ei siis enam tegu turvasmullaga.

Projekti esimeses etapis koostati ülevaade Maa-ameti poolt hallatava suuremõõtkavalise mullastikukaardi ja selle andmebaasi puudustest, mis raskendavad selle andmebaasi kasutamist.

Andmebaasis esinevad vead võib jagada:

1. Stringivead, mis omakorda jagunevad kaheks:
 - Tähemärgivead – vead, mis tulenevad andmete eksportimisest ja importimisest erinevate tarkvarade vahel, sisestamisvigadest jne. Vigased ülakomad ja mitmed teised mullašifrit iseloomustavad märgid ja sümbolid ei ole korrektsed ja põhjustavad seetõttu segadust.
 - Loogikavead – mullakaardi tervikuks liitmise tulemusena esineb sageli situatsioon, kus ühele mullaareaalile, mis paikneb erinevatel kaardi naaberruutudel, on omistatud erinevad atribuutväärtused. Automaatse liitmise tulemusena ei ole teada kas ja millise poolitatud areaali väärtused liidetud areaalile omistati, st et enne liitmist tuleb andmed ühtlustada ja kontrollida.
2. Geomeetrias esinevad vead:
 - Sõltuvalt andmete vanusest esineb areaalide ülekatteid (siinjuures teeb ettevaatlikuks asjaolu, et ülekatetel esinevad atribuutandmete vahelised erinevused, kuidas hilisemate versioonide saamisel andmed liideti).
3. Lõimise valem on toodud raskesti arusaadaval kujul, nt "v__1ls_150-80/r_1ls_1_2" ei ole võimalik päringuga leida ls1 lõimist, sest kuju ls_150-80 tähendab tegelikult, et ls1 ulatub 50-80 cm-ni jne.
4. Teatud kohtades on mullakaart geomeetrilises nihkes võrreldes aluskaardiga, mis suurendab päringute ebatäpsust. Joonisel 1 on toodud näide Põlvamaalt, kus punasega on märgitud mullakontuurid ja ortofoto pealt on näha nihke ulatus, sest suurem areaal peaks tegelikkuses kattuma metsaribaga. Antud situatsioonis on olukord, kus E ehk erodeeritud muld on kaardi järgi D ehk deluviaalmulla paiknemise kohas. Praktiliselt tähendab see seda, et me ei suuda päringuga täpselt hinnata erodeeritud muldade levikut põllumassiividel vms.



Joonis 1.1. Mullakaardi kontuurid ortofoto taustal Põlvamaal

5. Paljudes kohtades on eksitud andmete sisestamisel. Näiteks on kivisuse näitajad lõimise veerus jne. Tavaliselt esineb selline viga kogu mullakaardi ruudu piires ehk korduv kümnetel areaalidel sarnasena.

Projekti käigus tehti vastavalt eelkäsitletud analüüsile ettepanekud tehniliste puuduste kõrvaldamiseks:

- Esmalt parandada esinevad stringivead ja loogikavead.
- Tarbimisväärtuse suurendamiseks lisada andmeveerg lahtikirjutatud šifriga (Sifl=K mullatüüp=rähksed rendsiinad; Sifl=LP mullatüüp=näivleeturud mullad jne).
- Tarbimisväärtuse suurendamiseks lisada andmeveerg lahtikirjutatud lihtlõimisega (lihtlõimis=ls2, lõimistetüüp=keskmine liivsavi jne). Selline lahendus võimaldab teha otsepäringuid erinevate lõimiseklasside osas. Olemasolev lahendus seda ei võimalda, sest kui näiteks teha päring liivalõimise leidmiseks, siis antakse tulemusena ka sl ja ls.

Arendusettepanekud sisulise osa parendamiseks:

- Lisada üldine info mullaliikide omadustest ja kasutussobivusest. See oli ka käesoleva projekti üks peamistest ülesannetest.
- Mida teha boniteedi andmekihiga ehk milline kasutusväärtus sellel on? Mõned toetused on seotud maa boniteediga, paljudel omavalitsustel on juba ehituskeeld seotud boniteediga ja valdavalt toetatakse praegusele boniteedi hindepunktile, mis on aga perspektiivboniteet ja teatud aladel seega mittekasutatav.
- Põllumajandusuuringute Keskuse kogemuste põhjal mullakoolituste läbiviimisest võib öelda, et projekti algaastatel tootjatel puudus enamasti igasugune teave mullakaardi veebiversiooni olemasolust, kuigi huvi selle vastu oli elav. Täna on teadlikkus mullakaardist maakasutajate seas kasvanud. Sellest hoolimata on jätkuv vajadus selle tutvustamiseks ning täiendamiseks mullakaardi tootjatele arusaadavamate (kasutussobivuse hindepunktid jms) infokihtidega.

Lähtuvalt eelpool toodud puudustest ja arvestades digitaalse mullastikukaardi lähteandmete kvalitatiivset olemust, nende kompleksust ja valdavat tekstiformaati, siis andmed pole otseselt mudelites rakendatavad. Seetõttu teostati Tartu ja Saare maakonna andmebaasi korrastamine ja ümberkodeerimine. Andmebaasi korrastamise käigus teostati järgmised tegevused:

- (1) dubleerivate tähistuste ühtlustamine (näiteks tähistati liivalõimist erinevalt „l“, „liiv“ jne),
- (2) ilmselgete sisestusvigade kõrvaldamine,
- (3) tekstiliste näitajate kodeerimine numbrilistele skaaladele,
- (4) erinevate mulla vertikaalkihtide info paigutamine eraldi andmeväljadele.

Näiteks seni ühel andmeväljal paiknenud lõimise andmestiku jaoks loodi 36 uut andmevälja.

Algselt teostati tööd pilootalana Tartu maakonna osas (83 364 mullakontuuri kirjed), mille käigus korrastati ja kirjutati kompleksseid atribuutandmeid eraldi andmeveergudesse lahti, mis omakorda võimaldas sellel väljatöötatud mudeleid MapInfo tarkvaras rakendada. Järgmisena tehti samasugused tegevused Saare maakonnas (50 676 mullakontuuri). Korrastatud andmebaasid võimaldavad küll mudelite senisest automatiseeritumat rakendamist, kuid ei kõrvalda algandmestikus olevaid olemuslikke puuduseid (nt tühjad kirjed, topoloogilised nihked, loogikavead

jne). Korrastatud andmebaasidega ühildati kasutussobivuse ja muid mulla rakendusmudeleid (vt 3 ptk).

2012. aastal jätkati andmebaasi täiendamist ja kitsaskohtade inventeerimist. Täiendav andmebaasi puuduste inventeerimine viis järelduseni, et mullakaardi andmebaasi jäänud mitmed vead on põhjustatud andmete konverteerimisest (Maa-amet) erinevate tarkvarade vahel. Digitaalse Eesti mullakaardi originaalformaad (MicroStation DGN graafikafail), milles objektid on kaudselt seotud Microsoft Access formaadis tärk- ehk tabelandmetega, ei ole tänapäeval levinud GIS programmidega (ESRI ArcGIS, Mapinfo Professional) mõistlikul viisil kasutatavad. "Kaudne seotus" tähendab eelkõige seda, et objekti graafiline pool ja tabelis olevad tekstilised atribuutandmed (tärgandmed) on salvestatud erinevatesse tarkvaraformaatidesse ning sellest tulenevalt on neid raske hallata ja kasutada. Samuti on need ka eraldi muudetavad ning see toob praktikas kaasa ka seoste kadumist graafilise objekti ja sellega seotud tabelandmete vahel. Digitaalse mullakaardi andmebaas oli küll juba kümmekond aastat tagasi viidud tänapäeval levinud ESRI Shape ja Mapinfo formaatidesse, kuid suureks probleemiks on olnud konverteerimisel kaduma läinud või muundunud informatsiooni suur osakaal (eelkõige andmete erisusest tingitud sajad tuhanded erisümbolid tärgandmetes, mis teisendamise käigus olid asendunud eksitavate sümbolitega). Kõige sagedamini on originaalandmed GIS süsteemidesse konverteerimisel sümbolit muutnud erinevate üla- ja alaindeksite puhul, samuti on mitmed originaalandmetes kasutatavad sümbolid GIS-i fontidest üldse puudu või ei ole võimalik teatud tekstifonte originaaliga ühildada, eriti puudutab see MapInfo fondihaldust. Joonistel 1.2-1.4 on esitatud mõningad näited siiani kasutatavatest fontidest ja peale käesolevat konverteerimist tehtud kirjafontidest.

SIFFER	KIVISUS	Siffer	Kivisus
Kr	® ^{1?2?3}	Kr	V ^{1,2,3}
Ko	® ^{1?2?3}	Ko	V ^{1,2,3}
Gk;Go1	® ^{1?2?3}	Gk;Go1	V ^{1,2,3}
Gk;Go	® ^{1?2?3}	Gk;Go	V ^{1,2,3}

Joonis 1.2. Näide Kivisuse andmete sümbolitest enne (vasakul) ja peale (paremal) konverteerimist.

Siffer vana	Siffer
S777	S'''
M77	M''
R777	R'''

Joonis 1.3. Näide mullašifri kirjafondi kujust enne (vasakul) ja peale (paremal) konverteerimist

BONITEET	LOIMIS1	LOIMIS2	LIHTLOIMIS	HUUMUS	KIVISUS
49	v°_1ls_130-50/r_2;_3ls_1	r_1ls_125/r_2;_3ls_1	v1ls/r2ls	20-25	1
Boniteet	Loimis1	Loimis2	Lihtloimis	Huumus	Kivisus
49	v ⁰ _1ls_130-50/r_2;_3ls_1	r_1ls_125/r_2;_3ls_1	v1ls/r2ls	20-25	II ¹

Joonis 1.4. Näide lõimise andmete sümbolitest, enne (üleval) ja peale (all) konverteerimist ESRI fondina.

Eeltoodust tingituna tehti 2012. aastal digitaalse mullakaardi atribuutandmete konverteerimine, mis jagunes järgmisteks tehnilisteks etappideks:

- Digitaalse mullakaardi MicroStation DGN formaadis originaalfailides (2045 graafikafaili) olevate mullaareaalide konverteerimine ja kokkuliitmine ESRI geoandmebaasi ühele kihile.
- Mullakaardi Microsoft Access formaadis originaaltabelites (564-s eraldi tabelis) oleva tärkinformatsiooni kokkuliitmine ühte tabelisse.
- Konverteerimine ja kokkuliitmine teostati veendumusega, et ükski objekt ega tärkinfo atribuudiväärtus konverteerimise käigus kaduma ei läheks ehk kogu informatsioon, mis originaalfailides leidis, ka uude formaati või tabelisse üle kanduks.
- Täiendavaid mullakaardi erisümboleid (peamiselt üla ja alaindekseid) sisaldava true-type kirjafondi loomine (eraldiseisvalt MapInfo ja ESRI tarkvaradele).
- Microsoft Access formaadis kokkuliidetud tärkinfo tabelis 870 000 kirje puhul konverteerimise käigus valesti teisendatud sümbolite asendamine korrektsete sümbolitega (sadu tuhandeid asendamisi, kõige aeganõudvam protseduur, suur käsitöö osatähtsus).
- ESRI geoandmebaasi graafiliste objektide ja Microsoft Access tärkinfo sidumine. Tulemus – kõik andmed on ESRI geoandmebaasis, kus graafiline objekt ja tema muud atribuudid (tärkandmed) on jäigalt seotud.
- Erinevate kontrollide teostamine (mõned näited: erisümbolite otsimine ja objekthaaval parandamine, graafikaobjekti ja selle tabelandmete vahel seose kaotanud juhtudel andmete uuesti sidumine, tabeli andmeveergudes andmete täielikkuse täiendav kontrollimine ja vigade parandamine – lõimise, huumus, boniteet ja kivisus väärtuste puhul originaalgraafika failidest informatsiooni tabelisse lisamine nendel juhtudel, kus informatsioon leidis küll graafikafailis, kuid ei olnud kunagi varem originaaltabelandmetesse jõudnud).
- Andmete konverteerimine ESRI geoandmebaasist täiendavalt Mapinfo TAB formaati.

Sellega loodi täiesti uuel kvalitatiivsel tasemel olev digitaalse mullakaardi nõ parandatud kiht koos rasterkujul vajalike andmetega ning tehti parandatud versioon kättesaadavaks ka Maa-ameti kaardirakenduse kasutajatele. Seega projekti tulemusena sai Maa-ameti geoportaalil kuvatav mullakaardi väljund senisest oluliselt korrastatuma väljundi ning loob eeldused selle veelgi laialdasemaks kasutuseks.

Järgmiseks sammuks digitaalse mullakaardi tehnilise kvaliteedi parandamiseks viidi pilootprojektina Saaremaal ja Muhemaal läbi digitaalse mullakaardi pindobjektide liitmine tervikaladeks neis piirkondades, kus mullaareaal on originaalkaardidel jagatud mitme erineva kaardiruudu vahel lahustükideks. Liitmise käigus kontrolliti andmebaasi kirjade täielikkust ja sisulist õigsust, kirjeid võrreldi nii omavahel, kui ka

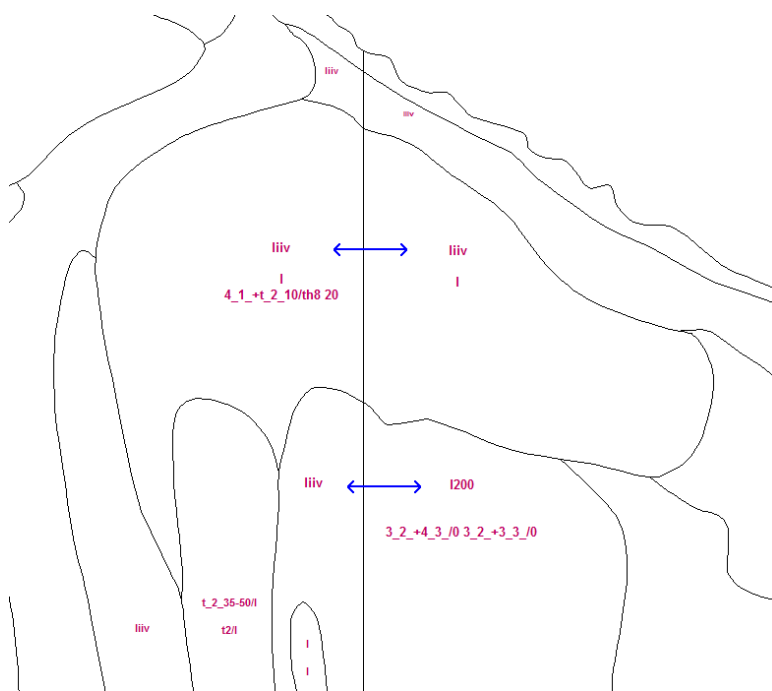
Maa-ameti avalikus WMS teenuses oleva rasteriseeritud mullakaardi originaalkirjetega. Liitmisel võeti aluseks kirjete täielikkus (üldreegel on, et suurima pindalaga areaali kirjed on pikemad ja täielikumad, kuna digitaliseerimise aluseks olnud paberkaardile mahtus rohkem informatsiooni).

Tööd alustades oli Muhu testalal 3 861 pindobjekti, peale liitmist ehk vigade kõrvaldamist oli jääk 3 425 pindobjekti ehk objektide (mullaareaalide) arv vähenes ca 11%. Sõltuvalt olukorrast parandati ja täiendati ka kaardikirjeid, näiteks algselt oli boniteediga väärtustatud 2098 objekti, kogupindalaga 10 312 ha. Peale liitmist kahanes boniteediga väärtustatud objektide arv 1880 objektini, kuid siinjuures sisulise teabega varustatud pindala on suurenenud 822 ha ehk 8%, ulatudes 11134 ha-ni.

Saaremaa testalal oli tööd alustades 46 876 pindobjekti ehk mullaareaali, peale liitmist oli jääk 42 350 pindobjekti, millede arv vähenes seega ca 10%. Samas suurusjärgus on seega ka täpsustatud kirjeid mullaareaalides.

Võrreldes boniteediga väärtustatud kirjeid, oli algseisus >0 boniteediga väärtusega alasid 29 863, koondpindalaga 162 866 ha. Peale parandamist vähenes boniteediga väärtustatud alade arv 27 228 areaalini, kogupindala seejuures kasvas 2 338 ha võrra 165 204 hektarini. Siinjuures tuleb märkida, et Saaremaa testalal ei ole liitmine teostatud hetkeseisus kogu territooriumile. Põhilised vead esinesid kaardilehtede kokkupuutealadel, kus digitaliseerimise käigus olid atribuudid, kas sisestamata või sisestatud valesti. Selle näitlikustamiseks esitame ka mõned joonised.

Joonisel 1.5 on esitatud olukord, kus kaardiruut on näiliselt poolitanud tervikliku mullaareaali ja sama areaali erinevatel osadel on erinevad lõimise valemid, mis on sisulises mõttes identifitseeritav kui kaardi viga.



Joonis 1.5. Näide lõimiste erinevusest mullaareaalil, mis on poolitanud erinevate kaardiruutudega

Joonisel 1.6 on esitatud sama mullaareaal, mis asub nelja kaardilehe kokkupuutekohal ja antud areaalil võib seega olla kuni neli üksteisest erinevat lõimise valemit.



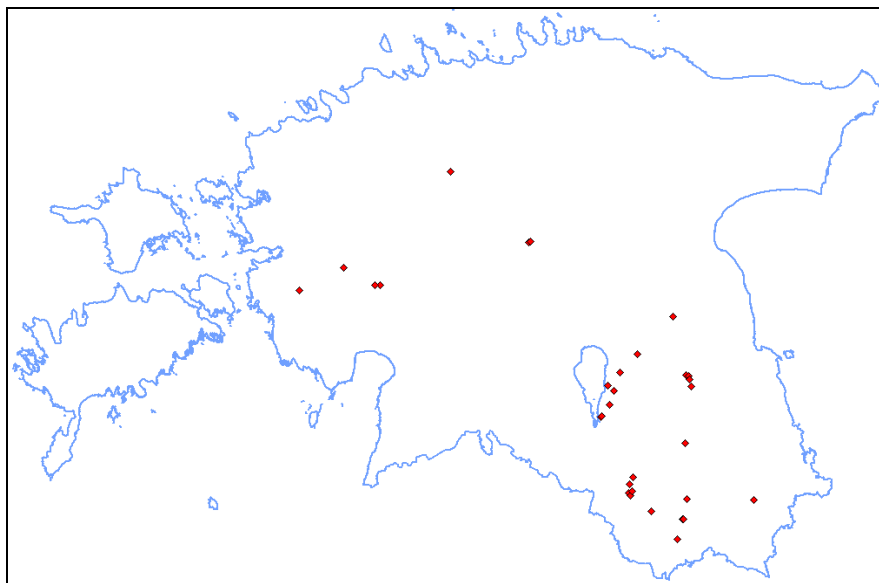
Joonis 1.6. Näide lõimiste erinevusest mullaareaalil, mis on jagatud nelja erineva kaardiruudu vahel

Pilootalade digitaalse mullakaardi kvaliteedi parandamise uuringust selgus, et antud töö on sisuliselt õigustatud ja sellise meetodikaga suudame mullakaardi kvaliteeti oluliselt parandada. Töö käigus selgus, et ligi 10% mullaareaalidest on hetkel väärtustatud ebaõigesti või üldse väärtustamata. Samas on sellisel meetodil töö jätkamine küsitav suure töömahukuse tõttu. Ühel spetsialistil kulus antud ülesande objektipõhiseks lahendamiseks kuu, kusjuures Saaremaa testala ei ole lõpuni viimistletud ning vajaks lisatööd. Antud ülesanne on siiski väga vajalik lahendada juba lähitulevikus, selleks tuleb otsida töö automatiseerimise võimalusi, tõenäoliselt on vajalik mõne lisatöövahendi programmeerimine, kuna standardvahendid sellise ülesande lahendamiseks täna puuduvad.

Turvasmuldade omaduste uurimine ja sellest lähtuv mullakaardi korrigeerimise vajadus

Haritavate turvasmuldade omaduste uurimist teostasime eesmärgiga selgitada välja turvasmuldades toimunud muutused ja sellest lähtuv mullakaardi korrigeerimise vajadus. Töö käigus valiti esmalt välja 1:10 000 digitaalse mullakaardi ja PRIA põllumassiivide registri alusel 31 turvasmulla areaali PRIA massiividel, mis olid 2011. aastal põllumajanduslikus kasutuses. Valitud mullaproovidest määrati laboratoorselt mulla happesus, liikuva P- ja K-sisaldus Mehlich 3 meetodil, orgaaniline aine kuumutuskaona ning orgaaniline süsinik (C_{org}) Dumas'e meetodil elementaaranalüsaatoril ning valitud proovidest täiendavalt huumusesisaldus Tjurini

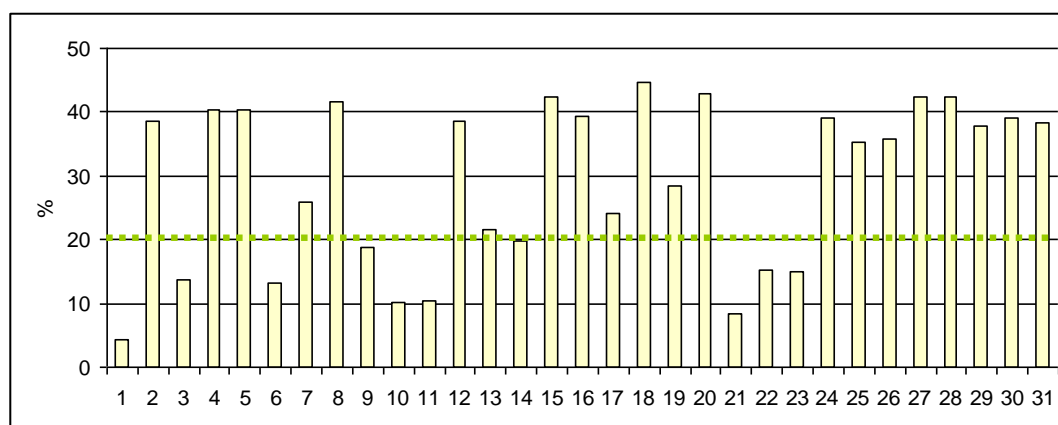
meetodil. Valitud aladest oli mullakaardi alusel 28 uurimisala madalloomullad (mullašiffer M), kaks ala lammi-madalloomullad (mullašiffer AM) ja üks ala leostunud turvastunud muld (Go1) ning maakasutuse järgi oli 19 põldu kasutusel rohumaana, üheksal kasvatati põllukultuure ja kolm ala olid 2011. aastal mitterajandatud ehk söödis. Uurimisalade paiknemisest annab ülevaate joonis 1.7.



Joonis 1.7. Soomuldade uurimisalade paiknemine

Maailmas tunnustatud WRB klassifikatsiooni järgi loetakse turvasmuldadeks selliseid muldi, mille orgaanilise aine akumulatsioonihorisondis on orgaanilise süsiniku (C_{org}) sisaldus vähemalt 20% ja orgaanilise aine sisaldus kuumutuskaoga (LOI meetod) määratuna 35%.

Joonisel 1.8 toodud andmetest selgub, et C_{org} -sisaldus alla 20% (roheline katkendjoon joonisel) on 10 põllul ehk 32% uuritud aladest. Lisaks on ühel põllul C_{org} -sisaldus ainult veidi suurem kui 20%.



Joonis 1.8. Orgaanilise süsiniku sisaldus uuritud turvasmuldades

Esimesel uurimisalal on C_{org} -sisaldus alla 5% ning alal 21 napilt üle 8%, mis tähendab et antud mullad tuleb Eesti klassifikatsiooni järgi lugeda gleimuldadeks. Neil muldadel on toimunud harimisega väga olulised muutused turbahorisondis ja muldade süstemaatikas tuleb need alad klassifitseerida soomuldadest juba kaks astet erinevaks. Valdav enamus muldade C_{org} -sisaldusi on siiski vahemikus 35–45% ja WRB järgi

seega klassifitseeritavad kui orgaanilised mullad ehk soomullad Eesti muldade klassifikatsiooni mõistes. Orgaanilise aine sisalduse piir orgaanilistes muldades on joonisel esitatud roheline katkendjoonena ning antud tulemuste alusel saame väita, et antud kriteeriumi järgi ei kuulu enam soomuldade hulka seitse uurimisala ning üks ala on vahetult piiri lähedal. Seega ei kvalifitseeru antud kriteeriumi järgi soomuldadeks 22,6 % uuritud muldadest. Erinevused C_{org} kriteeriumiga tulenevad eeskätt erinevustest muldade orgaanilise aine süsiniku sisalduses, mis sõltub peamiselt turba lagunemisastmest ja turba lähtematerjaliks olevast taimekooslusest.

WRB ja Eesti muldade klassifikatsioon erinevad üksteisest väga paljude kriteeriumite poolest, sealhulgas ka soomuldade määramise seisukohast. Kui WRB klassifikatsioonis toimub eristamine peamiselt C_{org} või orgaanilise aine sisalduse põhjal ja teatud juhtudel ka turbahorisoni tuseduse põhjal, siis Eestis käibel oleva klassifikatsiooni turvasmuldade eristamise põhitunnus on turbahorisoni tusedus. Reegel on siinjuures suhteliselt lihtne – mullad turbahorisoniga alla 30 cm on turvastunud mullad ja tusedusega üle 30 cm on juba turvasmullad ehk soomullad. Lisaks liigitatakse viimaseid veel omakorda vastavalt turba lagunemisastmele ja turbahorisoni sügavusele. Uurimisalade mullad on kõik peale ühe (ala nr 17) defineeritud kui madalsoomullad või lammi-madalsoomullad ehk kõigil neil muldadel oli mullakaardi tegemise käigus turbahorisoni tusedus üle 30 cm. Turbahorisoni tusedus arvutati viie mõõtmise keskmisena ja mõõtmistulemustest selgub, et kaheksa ala tulemus jääb kindlasti alla 30 cm ja alal nr 1 on see praktiliselt võrdne ehk vähemalt üheksa ala ei ole käesoleval hetkel enam Eesti muldade klassifikatsioonis määratletavad kui turvasmullad, sest turbahorison neis on muutunud liiga õhukeseks.

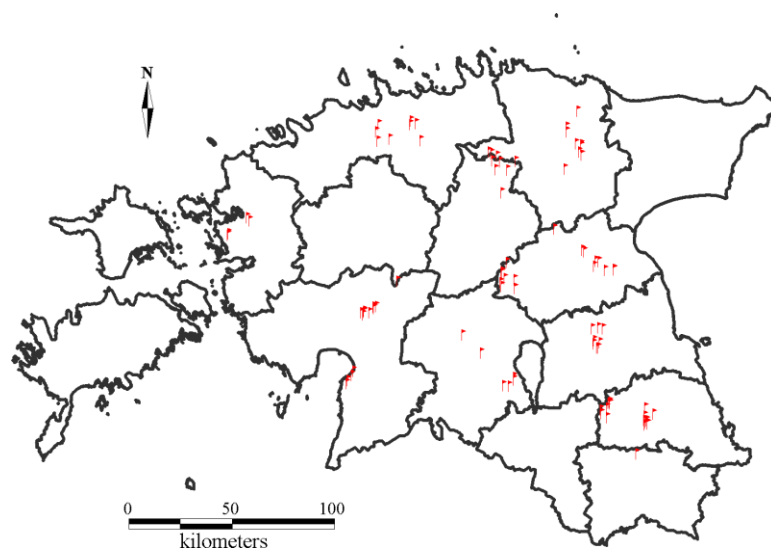
Arvestades mullakaardi tegemise ajast kulunud aega võib seega väita, et ca 25–30 aastaga on umbes 1/3 turvasmuldadest kaotanud (peamiselt siis maaharimise tõttu) oma turbahorisoni tuseduses sedavõrd, et Eesti muldade klassifikatsioonis ei saa neid määratleda enam kui turvasmuldi, vaid enamasti kui turvastunud muldi ja teatud juhtudel (C_{org} sisaldus alla 5%) juba kui gleimuldi. Selliseid muutusi peaks kindlasti arvestama näiteks süsinikubilansi koostamisel, kui see toimub mullaliigi põhiselt. Uuringus käsitletud 31 põllu muldade klassifitseerimisel WRB järgi ei ole 22–32% uuritud muldadest klassifitseeritavad turvasmuldadena, kuigi mullakaardil on nad selliste muldadena määratletud. Kahjuks ei saa enam selgitada nende muldade seisundit mullakaardi välitööde ajal ja kas nad sel hetkel vastasid WRB klassifikatsiooni soomuldade definitsioonile. Eestis on käesoleval hetkel heas põllumajanduslikus korras 98 679 ha soomuldi ja 25 274 ha turvastunud muldi, kokku turbahorisoniga muldi on 123 953 ha. Seega võib uuringu tulemusel väita, et ca 37 000 ha soo- ja turvastunud muldadel tuleks teha mullakaardi täpsustamise huvides kordusmääramised, et mulla tegeliku seisukorra alusel klassifitseerida mullad vastavalt muldade süstemaatikale. Kahjuks ei ole võimalik seda tööd teha ilma väliuuringuteta, mille käigus tuleb mõõta turbahorisoni tusedus, C_{org} sisaldus ja vajadusel ka muud lisaparameetrid.

Põllumuldade seire andmebaasid ja nende digiteerimine

Eestis alustati RPI Eesti Põllumajandusprojekti poolt põllumuldade süstemaatilist seiret 1983. aastal. Seire ei olnud järjepidev ja seetõttu saame eristada kahte perioodi: 1983-1994 ja 2002 kuni tänaseni. Käesoleval ajal teostab seiret Põllumajandusuuringute Keskuse Mullaseire büroo. Seire esimesel perioodil alustati töid 79-l vaatlusväljakul ning selles saab eristada 1) huumuskatte ja 2) sügavkaevete uuringuid. Põllumuldade seire andmestik omab suurt potentsiaali muldadega seotud mudelite väljatöötamiseks ning käesoleva projekti raames alustati paber kandjatel säilitatud andmestiku digiteerimisega.

1. Huumuskatte andmestik.

Kokku rajati 1980ndatel algselt 79 vaatlusväljakut 3160 lapiga. Igal vaatluslapil mõõdeti huumushorisoni tusedus, võeti keskmine mullaproov ning lasuvustiheduse ja niiskussisalduse proovid erinevatest sügavustest. Mullaproovidest määrati huumusesisaldus, pH_{KCl} , liikuv P ja K ning peen kivide sisaldus. Osadest proovidest määrati lisaks üldlämmastiku ja mikroelementide sisaldus. Samuti kaardistati täpselt kõikide vaatluslappide asukohaskeemid. 1983–1994. aastani koguti ja hoiti seireandmeid paberkaartidel. Kaasaegsel infotehnoloogiaajastul tekkis vajadus need andmed digiteerida nende paremaks kasutamiseks teadustöös. Käesoleva projekti raames oleme jõudnud digiteerida täielikult andmed huumushorisoni tuseduse, lasuvustiheduse, orgaanilise süsiniku sisalduse, huumussisalduse, niiskusesisalduse, mullatüübi, pH_{KCl} , korese mahu ja füüsikalise savi sisalduse kohta. Digiteeritud on seirealade asukohad (joonis 1.9) ja osade seirealade transektide ja proovivõtupunktide ruudustik.



Joonis 1.9. Põllumuldade seire asukohad

2. Sügavkaevet

Mullaprofiili paremaks iseloomustamiseks on igal seireala vaatlusväljakul tehtud veel 3–5 sügavkaevet, millest võeti proovid horisontide kaupa. Sügavkaeves määrati lisaks huumuskattes uuritule ka mulla lõimis, eripind, neeldunud alused, hüdrofüüsiline ja asendushappesus ning liikuv alumiinium jm näitajad. Sügavkaevete andmed säilitati Maa-ametis perfokaartidel. Sügavkaevet sisaldavad koos teiste mullaseire andmetega väga väärtuslikku andmestikku, mida saab kasutada rakendusmudelite koostamisel. Seetõttu tegime projekti esimesel aastal sügavkaevete perfokaartidest (444

sügavkaevet perioodist 1983-1994) koopiad ja skaneerisime need. Nii moodustus 6694 kirjega andmebaas 70 vaatluspõllu andmetega aastatest 1983-1994. Sügavkaevete andmebaasi struktuur jaguneb kolmeks: 1) sügavkaeve üldtabel, 2) mullaprofiili horisontide tabel ja 3) mullaproovide tabel. Sügavkaeve üldtabel sisaldab andmeid vaatlusväljaku nime, aasta, maakasutuse, agrorühma, mulla liigi ning samuti kivisuse kohta. Mullaprofiili tabelisse sisestati andmed iga horisondi kohta eraldi (horisondi nimi, sügavus, üleminek, kores, korese aste, lõimis). Mullaproovide tabel koosneb laborianalüüside tulemustest mitmesuguste mulla näitajate kohta ning lisaks info millisel sügavusel proov võeti. Esindatud on 32 erinevat mulla liiki. Kõige rohkem on näivleetunud (68), leetjaid (54), rähk- (51) ja leostunud (40) muldasid. Koostatud andmebaas võimaldab arvestada mulla omaduste vertikaaljaotust.

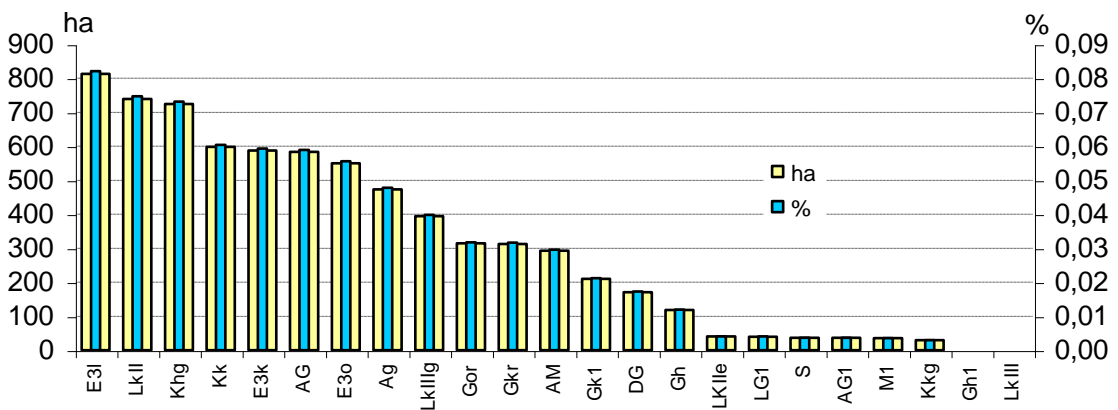
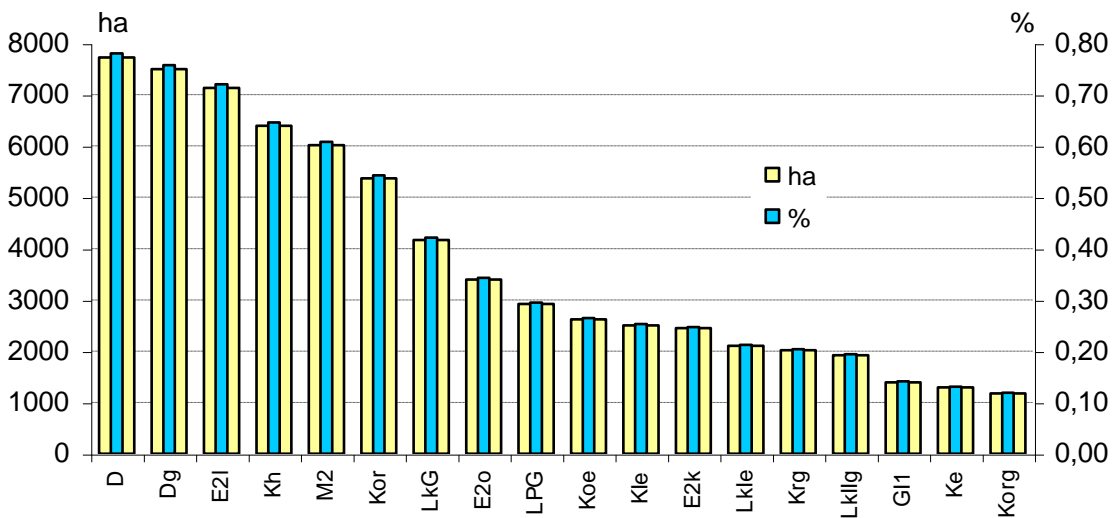
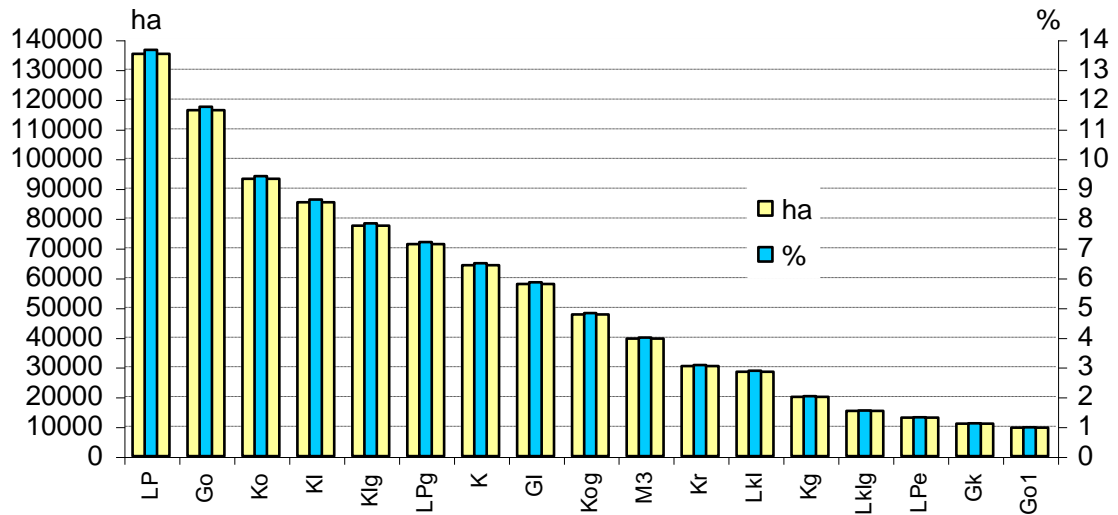
2. Põllumuldade viljakus ja kasutussobivus

Hugo Roostalu, Alar Astover – Eesti Maaülikool

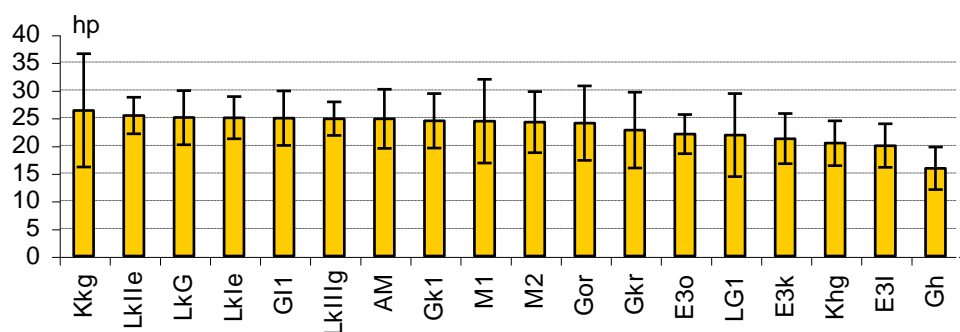
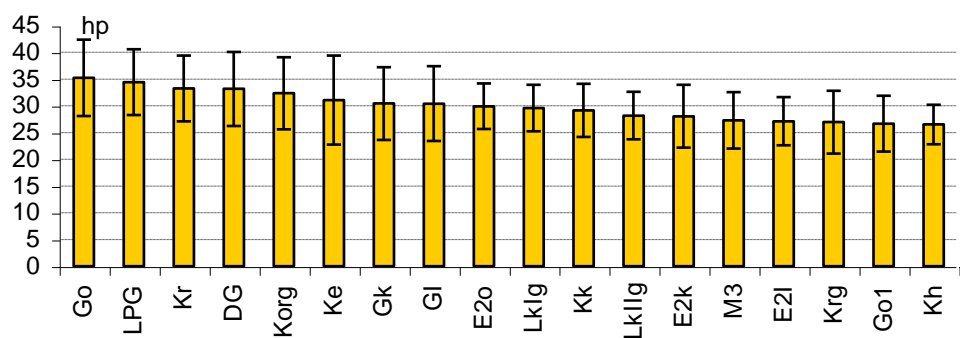
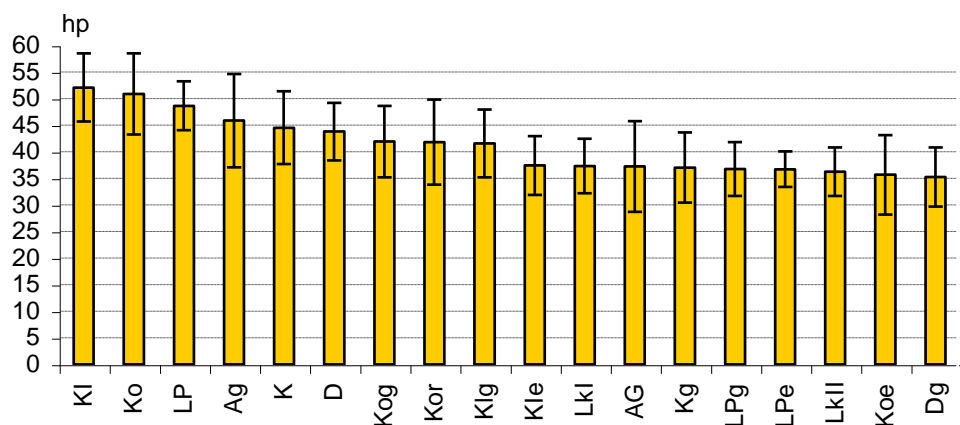
Järgnev ülevaade põllumuldade viljakusest ja kasutussobivusest on koostatud haritava maa hindamise andmebaasi alusel. See andmebaas on koostatud 1990. aastatel Maa-ametis ja sisaldab mullaomadusi 0,99 miljoni hektari haritava maa kasutusüksuste kaupa. Selle väärtust kahandab vananenud kuivendusseisundi hinnang boniteedi arvutamisel, samuti mõnevõrra haritava maa kasutamise muutus võrreldes 1990ndate esimese poolega. Kuna tänaseks on kasutusest väljalangenud põllumaa osatähtsus võrreldes möödunud kümnendiga vähenenud, siis enamikes piirkondades iseloomustab kõnealune andmebaas meie põllumuldade viljakust piisavalt hästi. Andmebaasis on info agronoomiliste allrühmade, mulla inventeerimisüksuste, kallakuse astme, mulla lõimise, peen- ja suurkivisuse, huumushorisoni tüseduse ja huumusesisalduse, loodusliku veerežiimi kontrastsuse, kuivendusseisundi ja boniteedi kohta. Andmestik on *Exceli* tabelitena, selle juurde kuuluv kasutusüksuste süsteemi kajastav kaardistik aga paber kandjal.

Kogu 990 tuhandel hektaril põllumaal levib kõige enam näivleetunud muldi (LP, 135,2 tuhat ha) ja leostunud gleimuldi (Go, 116,2 tuhat ha), milliste osatähtsus on vastavalt 13,7% ja 11,7% (joonis 2.1). Kõigist muldadest (kaardistamisüksustest), 17 puhul on leviku osatähtsus $\geq 1\%$, 18 puhul jääb see 0,1-1% piiridesse ja 23 puhul jääb see alla 0,1%.

Muldade boniteedi alusel on kõige viljakamateks põllumuldadeks leetjad (KI), leostunud (Ko) ja näivleetunud (LP) mullad, keskmine hinne vastavalt 52,1, 50,9 ja 48,6 hindepunkti (joonis 2.2). Rähkmuldade (K) ja nõrgalt (LkI) ning keskmiselt (LkII) leetunud muldade keskmine boniteet on vastavalt 44,5, 37,3 ja 36,3 hindepunkti. Kõige vähemviljakad mullad on aga tugevasti erodeeritud (E3) mullad, koreserikkad (Gor, Gkr) ja paepealsed (Gh) gleimullad, leetunud gleimullad (LkG, LG1) ning halvasti (M1) ja keskmiselt (M2) lagununud turbaga madalloomullad, milliste keskmine boniteet jääb alla 25 hindepunkti.



Joonis 2.1. Muldade levik põllumaad



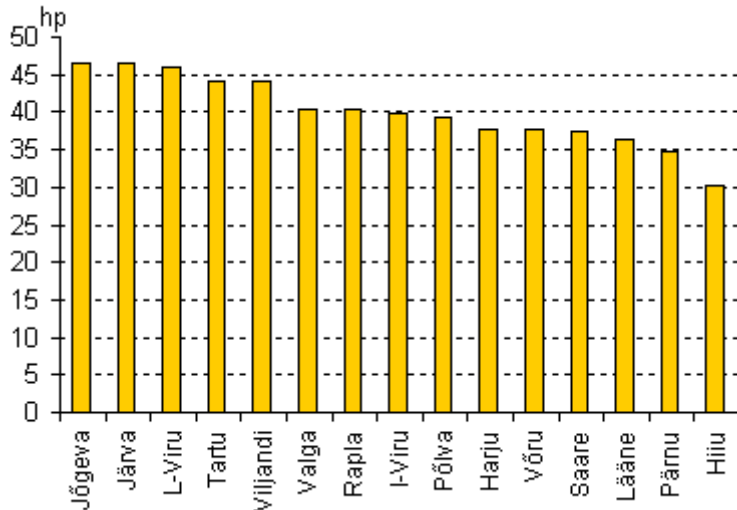
Joonis 2.2. Põllumuldade boniteet hindepunktides. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Ka ühe ja sama mulla boniteet maakondade lõikes varieerub väga suurtes piirides (tabel 2.1). Kui Harjumaal on rähkmuldade (K) keskmine boniteet 46,4 hindepunkti, siis Põlva maakonnas on see vaid 35 hindepunkti. Ka leostunud (Ko) ja leetjate (KI) muldade keskmine boniteet erineb 10-15 hindepunkti võrra. Mõnevõrra väiksemad on erinevused näivleetunud (LP) ja leetunud (Lk) muldade boniteedis.

Tabel 2.1. Olulisemate põllumuldade boniteet maakondade lõikes

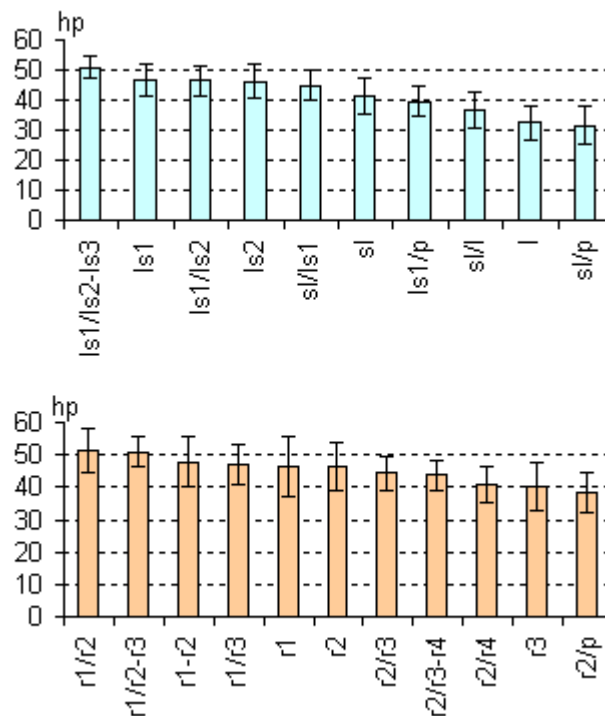
Mulla kood	Harju	Hiiu	I-Viru	Jõgeva	Järva	Lääne	L-Viru	Põlva	Pärnu	Rapla	Saare	Tartu	Valga	Viljandi	Võru
Kh	25,0		27,4	28,3	27,8	29,3	25,8		29,2	26,9	26,4			25,5	
K	46,4	41,8	42,2	44,3	44,3	44,0	44,4	35,0	42,7	45,3	43,7	45,1	41,0	42,9	36,6
Kg	38,9	35,0	28,3	34,5	37,3	37,7	35,1		36,1	38,3	35,4	36,3		41,2	36,8
Gk	31,3	28,7	25,0	30,3	32,3	30,8	31,5		32,5	31,7	27,6	29,3	41,0	27,8	23,0
Gk1	23,9				25,0		21,0		28,8		21,5	23,9			
Ko	52,3	42,2	50,8	53,0	52,4	48,3	52,3	42,7	48,3	51,5	49,5	51,0	45,1	49,8	40,1
Kog	44,1	34,9	37,1	44,6	43,9	39,9	41,3		40,8	42,4	37,0	45,2	37,7	43,3	33,3
Go	35,0	28,2	31,5	39,3	37,0	31,0	34,5	33,8	34,1	34,7	28,4	39,4	36,5	37,4	33,3
G(o)1	25,7	26,2	25,2	27,0	26,9	26,5	24,6	23,8	27,9	27,0	25,6	28,0	25,5	27,5	24,7
KI	50,2	43,5	53,2	54,4	54,5	39,5	52,3	44,9	46,0	49,5	44,8	53,6	51,1	52,1	46,2
KIg	41,3	32,4	39,7	44,6	43,2	34,2	41,3	35,9	39,0	40,4	34,6	43,4	38,7	42,7	35,1
GI	26,6	26,6	28,8	28,8	33,0	28,3	27,5	31,7	30,2	32,3	25,1	32,3	34,0	32,6	29,5
G(I)1	23,0	26,7	23,3	24,7	24,7	25,7	22,8	25,3	24,8	25,2	27,2	25,8	26,7	25,7	25,1
LP	50,8		50,3	51,1	53,0		52,3	46,5	46,0	53,2	46,5	50,2	47,7	50,5	46,2
LPg	40,3		38,6	39,2	41,1	38,3	39,0	34,5	37,7	42,4		37,9	37,6	39,3	34,4
LPG	34,8		35,5	37,4	44,3	32,0	36,3	34,0	32,2	33,8		35,7	40,4	33,8	34,3
LkI	37,1	35,3	38,5	36,0	39,3	37,3	40,4	35,7	37,1	41,4	37,1	37,7	35,9	40,3	36,1
LkII	39,0		37,8	36,9			39,5	34,9	36,9			37,3	38,4	35,9	36,4
LkIg	28,9	30,9	30,2	29,1	30,5	32,3	31,5	27,3	30,7	33,4	31,0	29,6	29,0	32,1	27,7
LkIIg	28,4	29,0	27,7	29,7	29,4	24,0	38,0	24,8	30,1	29,0	28,0	28,8	28,9	31,2	28,1
LkG	21,5	24,1	20,3	21,6	20,9	25,2	24,7	22,2	26,4	26,9	24,3	23,6	23,6	25,4	20,9
M2	24,9		21,3	25,4	25,0	23,5	25,8	28,1	21,8	21,6	23,6	24,4	28,7	24,7	24,1
M3	26,4	24,0	24,8	28,2	27,3	28,9	27,1	26,5	28,1	29,0	28,0	27,4	26,0	27,4	27,2

Põllumuldade kaalutud keskmine boniteet on kõige kõrgem Jõgeva, Järva ja Lääne-Viru maakonnas, kus see ületab 46 hindepunkti (joonis 2.3). Tartu ja Viljandi maakonna põllumaa kaalutud keskmine boniteet on 44 hindepunkti ning Valga-, Rapla- ja Ida-Virumaal 40 hindepunkti. Kõige madalam on põllumaa boniteet Hiiumaal - 30,3 hindepunkti ja Pärnu ning Lääne maakonnas, vastavalt 34,7 ja 36,3 hindepunkti.



Joonis 2.3. Põllumaa kaalutud keskmine boniteet maakondades

Rähkmuldade (K) boniteet sõltub väga suurel määral mulla lõimisest ja rähksuse astmest (joonis 2.4). Rähkmuldade lõimis 15624 põllul on valdavalt kerge liivsavi (63,9%) ja teisele kohale jäävad saviliivmullad (7,5%). Koresesisalduselt domineerivad keskmise kuni tugeva (r2-r3) koresesisaldusega mullad – 31,8% ja keskmise koresesisaldusega mullad (r2) – 14,4%.

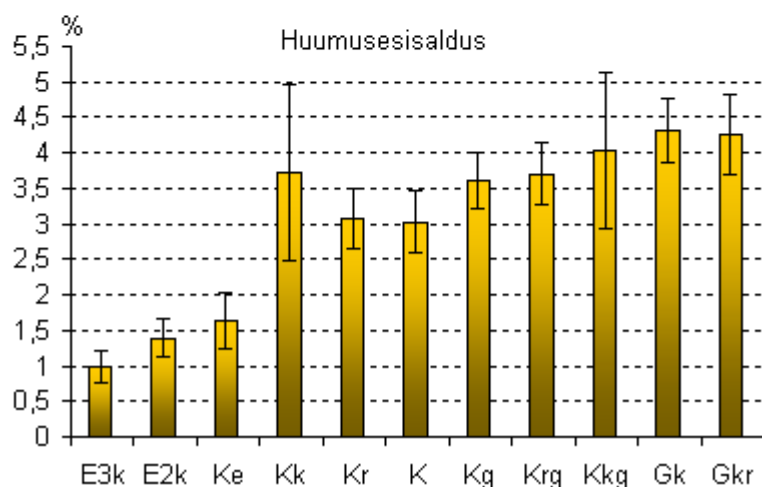
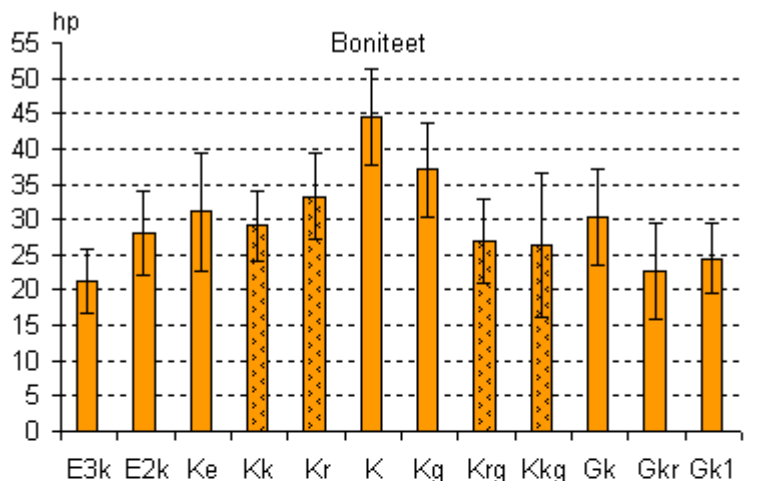


Joonis 2.4. Rähkmuldade boniteet olenevalt lõimisest ja koresesisaldusest. Tulpadel esitatud veerivad näitavad standardhälvet.

Suurkivisuse astmete alusel jaotuvad rähkmullad valdavalt : II – 61,2%, III – 22,6%, I – 7,2%, II-III – 5,1%, I-II – 2,8%. Rähkmuldade boniteedi (y , hp) ja kallakuse (x , kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 43,5 - 0,79x$; $R^2 = 0,88$. Seega kallakuse 1° kohta väheneb mulla boniteet 0,79 hindepunkti võrra. Nende muldade keskmine humuskihi tüsedus on 23,8 cm. Humuskihi tüseduse alusel jagunevad mullad: <20 cm – 8,3% põldudest, 20-24 cm – 52,3% põldudest, 25-26 cm – 26,8% põldudest ja >26cm – 12,6% põldudest. Rähkmuldade humusesisaldus on valdavalt 2,5-3,5% (81,7% põldudest).

Rähkmuldade boniteedi (y , hp) ja humuskihi tüseduse (x_1 , cm) ning humusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab võrrand: $y = 9,5 + 1,07x_1 + 3,19x_2$; $R^2 = 0,22$. Seega 1 cm humuskihi tüseduse kohta ning 1% humusesisalduse kohta suureneb rähkmuldade boniteet vastavalt 1,07 ja 3,19 hindepunkti võrra.

Kui hinnata karbonaatsete muldade viljakust sõltuvalt koresesisalduse ja veerežiimiga, siis keskmine mulla boniteet erineb kuni 20 hindepunkti (joonis 2.5). Suhteliselt vähemviljakad on klibumullad (Kk), koreserikkad rähkmullad (Kr) ja analoogsed gleistunud mullad (Kkg, Krg) ning koreserikkad rähksed gleimullad (Gkr). Mida suurem on muldade erosiooniaste, seda madalam on ka muldade boniteet ja humusesisaldus.



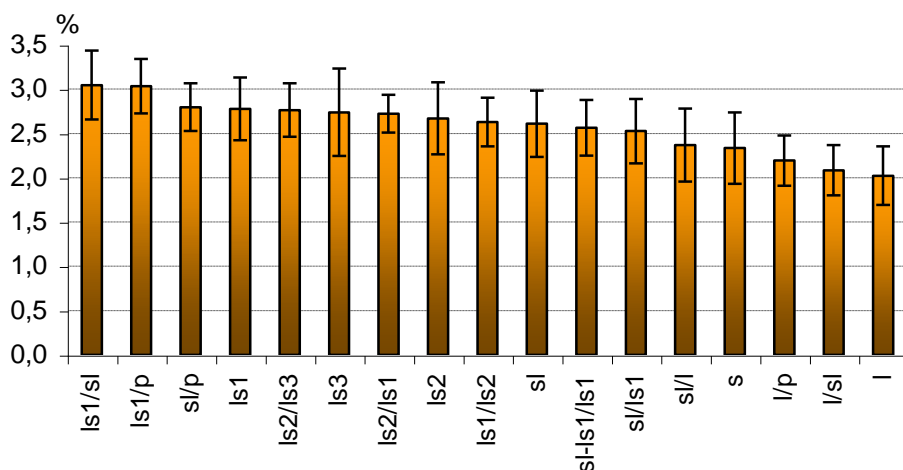
Joonis 2.5. Karbonaatsete muldade boniteet ja humusesisaldus olenevalt muldade koresesisaldusest, erosiooni astmest ja veerežiimist. Tulpadel esitatud veariivad näitavad standardhälvet.

Leostunud muldade (Ko) seas 14486 põllumassiivil domineerivad (72,2%) mullad, milliste boniteet jääb vahemikku 45-60 hindepunkti, kuid üksikutel põldudel (1,2%) jääb see <30 hindepunkti (tabel 2.2)

Tabel 2.2 Leostunud muldade levik boniteedist lähtuvalt

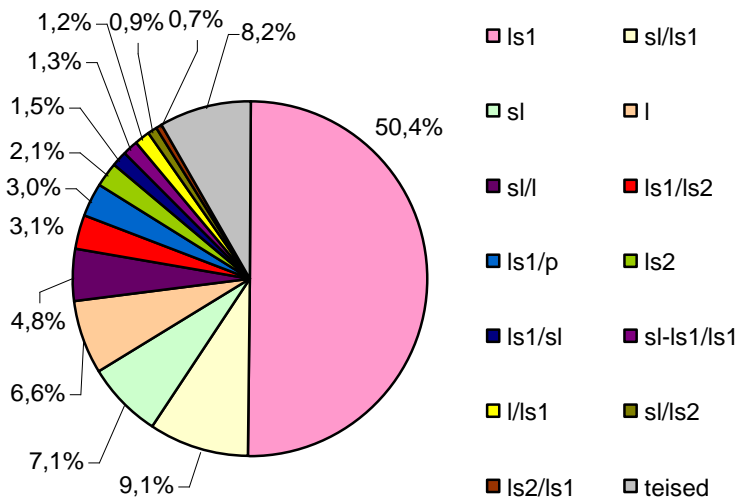
Boniteet, hp	%	Boniteet, hp	%
10<x<=15	0,01	45<x<=50	22,15
15<x<=20	0,06	50<x<=55	27,81
20<x<=25	0,32	55<x<=60	22,25
25<x<=30	0,83	60<x<=65	6,12
30<x<=35	2,95	65<x<=70	0,75
35<x<=40	6,54	70<x<=75	0,03
40<x<=45	10,01		

Leostunud muldade boniteedi (y, hp) ja kallakuse (x, kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 50,95 - 1,00x$; $R^2 = 0,88$. Seega kallakuse 1° kohta väheneb mulla boniteet 1 hindepunkti võrra. Nende muldade keskmine huumuskihi tusedus on 24,6 cm. Huumuskihi tuseduse alusel jagunevad mullad: <20 cm – 4,1% põldudest, 21-25 cm – 65,9% põldudest, 26-30 cm – 28,6% põldudest ja >30cm – 1,4% põldudest. Leostunud muldade keskmine huumusesisaldus on 2,65%, kuid kõige enam (46,5%) on põldusid, kus see jääb vahemikku 2,5-2,9%, 26,6% põldudest on see 2-2,4%, 12,1% põldudest on huumusesisaldus >2,9%, kuid 14,8% põldudest on huumusesisaldus <2%. Leostunud muldade boniteedi (y, hp) ja huumuskihi tuseduse (x_1 , cm) ning huumusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab järgmine võrrand: $y = 8,4 + 0,95x_1 + 7,21x_2$; $R^2 = 0,32$. Seega huumuskihi tuseduse 1cm ja huumusesisalduse 1% kohta suureneb mulla boniteet vastavalt 0,95 ja 7,21 hindepunkti. Leostunud muldade huumusesisaldus sõltub olulisel määral ka mulla lõimisest (joonis 2.6). Kõige madalam on huumusesisaldus liivmuldades.



Joonis 2.6. Leostunud muldade huumusesisaldus olenevalt lõimisest. Tulpadel esitatud veerivad näitavad standardhälvet.

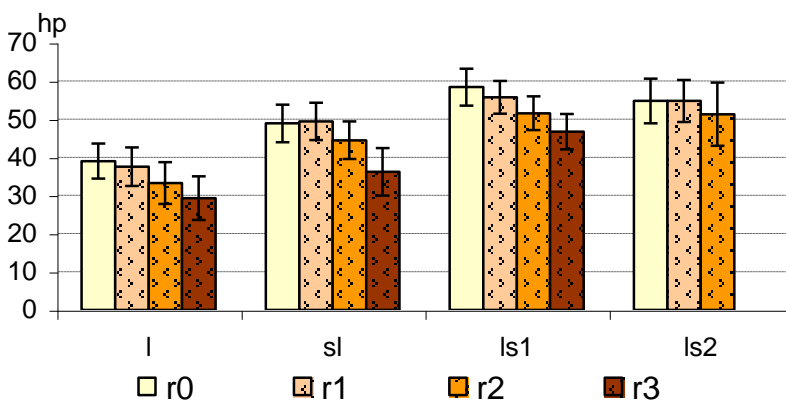
Leostunud muldade seas on kõige enam kergeid liivsavimuldi (50,4%), saviliivmuldi kergel liivsavil (9,1%), saviliivmuldi (7,1%), liivmuldi (6,6%), saviliivmuldi liivadel (4,8%), kergeid liivsavimuldi keskmisel liivsavil (3,1%) ja kergeid liivsavimuldi pael (3,0%) (joonis 2.7).



Joonis 2.7. Leostunud muldade jagunemine lõimise alusel

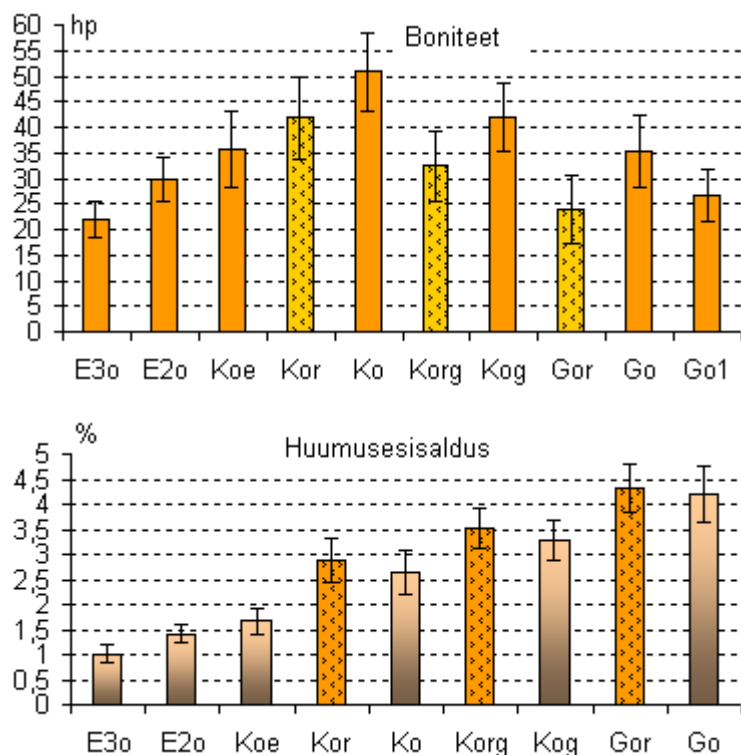
Peenkivisuse astmetest lähtuvalt esineb kõige enam muldi järgmiselt: r1 – 20,9%, r1/r2 – 20,3%, r2 – 14,5%, r1/r3 – 11,4%, r2/r3 – 5,7%, r1/r2-r3 – 3,1%, r2/p – 2,1%, r1/p – 2,1%, r1/r1-r2 – 2,0% ja r0 – 2,0%. Suurkivisuse astmete alusel jaotuvad leostunud mullad: II – 57,0%, I – 22,3%, III – 8,7%, I-II – 6,4%, II-III – 3,4% ja 0 – 1,1%.

Lõimiselt kõige madalama mulla boniteediga on liivmullad ja kõige kõrgema boniteediga on kerged liivsavimullad (joonis 2.8). Saviliivmuldade viljakus jääb kergete liivsavimuldade viljakusest alla ühe hindeklassi võrra ja erinevus kerge ja keskmise liivsavimuldade boniteedis on ligikaudu 0,5 hindeklassi. Korese esinemise korral võib leostunud muldade boniteet langeda 10-12 hindepunkti võrra.



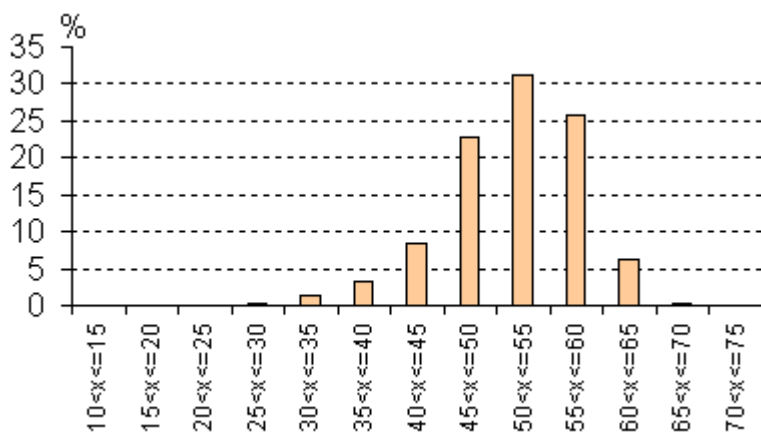
Joonis 2.8. Leostunud muldade boniteet olenevalt lõimisest ja koresesisaldusest. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Võrreldes leostunud muldadega on koreserikaste leostunud muldade (Kor) keskmine boniteet ligikaudu ühe hindeklassi võrra madalam, kuid nende muldade huumusesisaldus on mõnevõrra kõrgem (joonis 2.9). Oluliselt madalam on ka gleistunud koreserikaste leostunud muldade (Korg) ja koreserikaste leostunud gleimuldade (Gor) boniteet ja loomulikult ka erodeeritud leostunud muldade (Koe, E2o, E3o) boniteet. Mida suurem on muldade erosiooniaste, seda madalam on nende muldade huumusesisaldus.



Joonis 2.9. Leostunud muldade boniteet ja huumusesisaldus olenevalt muldade koresesisaldusest, erosiooni astmest ja veerežiimist. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

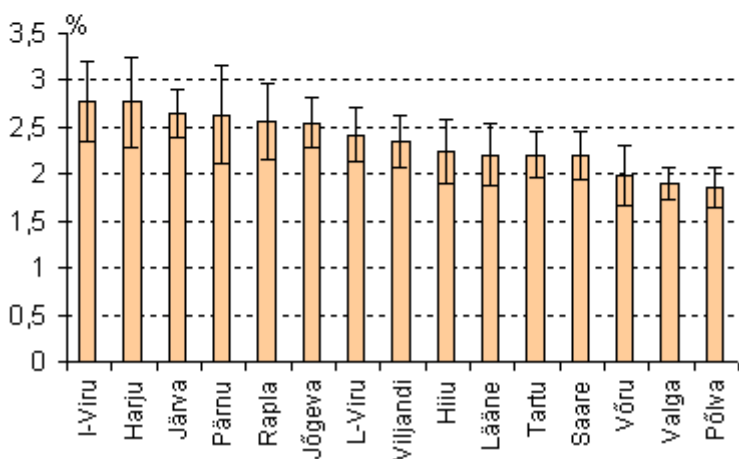
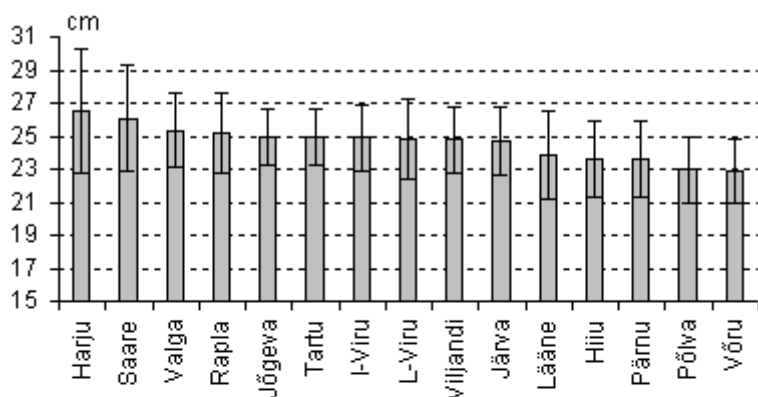
Leetjate muldade (KI) boniteet varieerub 12784 põllul väga suurtes piirides, kuid kõige enam on põldusid, kus mulla boniteet on 50-55 hindepunkti (joonis 2.10).



Joonis 2.10. Leetjate muldade jaotus boniteedi alusel

Nende muldade keskmine huumuskihi tüsedus on 24,8 cm, kuid põldude lõikes varieerub see 13 kuni 60 sentimeetrini. Alla 20 cm tüseduse huumuskihiga leetjaid muldi on siiski vaid 0,6% kõigist põldudest. Põldusid, kus huumuskihi tüsedus on 20-24 cm, on 40,7%, 25-27cm tüseduse huumuskihiga muldasid on 50,3% ja üle 27 cm tüseduse huumuskihiga muldasid on 8,4% kõigist põldudest. Leetjate muldade keskmine huumusesisaldus on 2,34%, kuid kõige enam (44,4%) on põldusid, kus see jääb vahemikku 2,0-2,4%, 24,8% põldudest on see 2,5-2,9%, 2,3% põldudest on huumusesisaldus >2,9%, kuid 27,9% põldudest on huumusesisaldus <2%. Suhteliselt madalama huumusesisaldusega on Lõuna-Eesti leetjad mullad (joonis 2.11). Leetjate muldade boniteedi (y , hp) ja huumuskihi tüseduse (x_1 , cm) ning huumusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab võrrand: $y = 8,4 + 1,06x_1 + 7,27x_2$; $R^2 = 0,36$. Seega 1 cm huumuskihi tüseduse ning 1% huumusesisalduse kohta suureneb nende muldade boniteet vastavalt 1,06 ja 7,27 hindepunkti võrra.

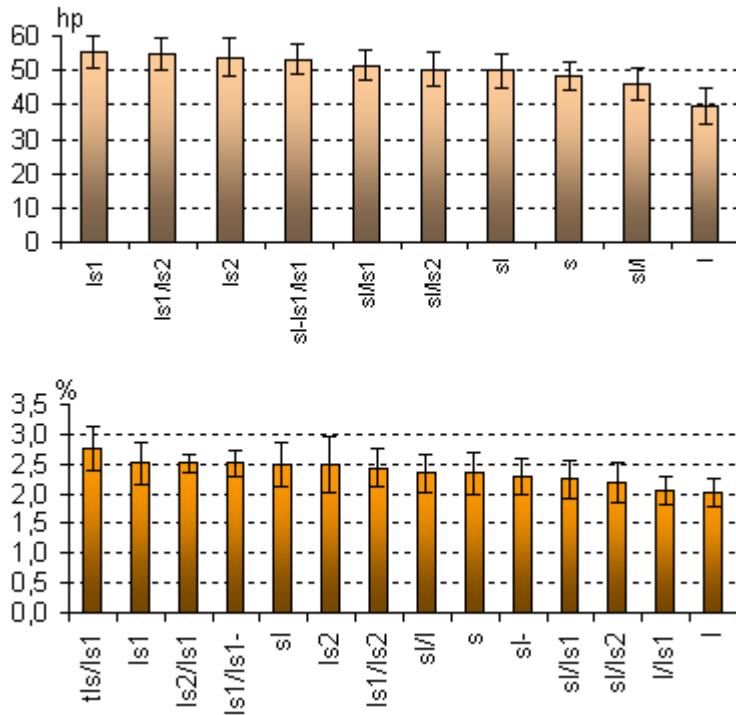
Leetjate muldade boniteedi (y , hp) ja kallakuse (x , kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 52,68 - 1,44x$; $R^2 = 0,93$. Seega kallakuse 1° kohta väheneb mulla boniteet 1,44 hindepunkti võrra.



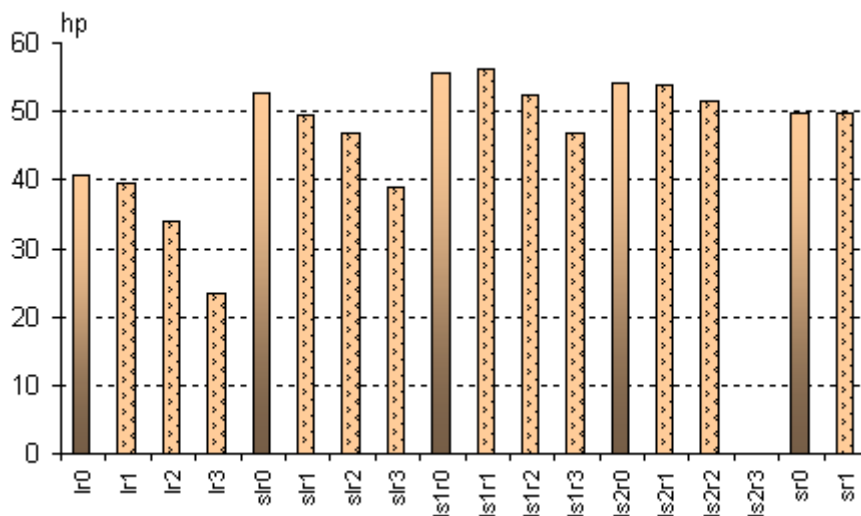
Joonis 2.11. Leetjate muldade huumuskihi tüseduse ja huumusesisaldus. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Mulla lõimisest lähtuvalt domineerivad leetjate muldade seas kerged liivsavimullad, milliseid on 36,4% kõigist põldudest. Leviku alusel järgnevad neile lõimiselt kahekihilised mullad, kus pealmiseks kihiks on saviliiv ja alumiseks kihiks kerge liivsavi – 23,3% kõigist põldudest. Edasi järgnevad ls1/ls2 – 7,1%, 1 – 5,6%, sl/ls2 – 4,4%, sl – 4,1%, sl/l – 3,5%, ls2 – 2,0% jne.

Lõimiselt kõige viljakamateks muldadeks on kerged ja keskmised liivsavimullad, milledele järgnevad saviliivmullad liivsavidel (joonis 2.12 ja 2.13). Suhteliselt kõige madalama viljakusega on nii liiv- kui ka savimullad. Kerge lõimisega muldades on ka huumusesisaldus kõige madalam. Peenkivisuse astmetest lähtuvalt esineb kõige enam muldi järgmiselt: r1 – 56,3%, r2 – 10,0%, r1/r2 – 9,0%, r0– 6,3%, r1/r0 – 4,3%, r2/r1 – 2,8%, r1/r2 –1,9%, r1/r3 – 1,6%, r0/r1 – 1,1% jne. Suurkivisuse astmete alusel jaotuvad leostunud mullad: I – 40,0%, II – 40,0%, I-II – 10,7%, 0 – 3,7% ja III – 2,5%.

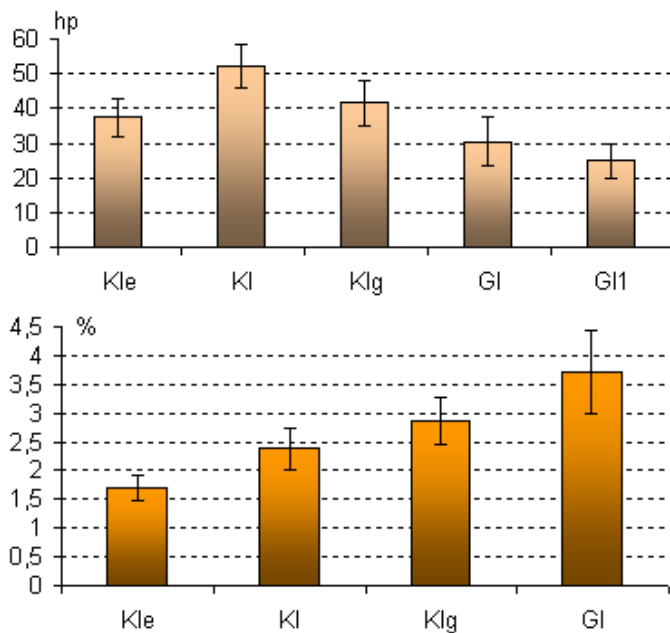


Joonis 2.12. Leetjate muldade boniteet ja huumusesisaldus olenevalt lõimisest. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.



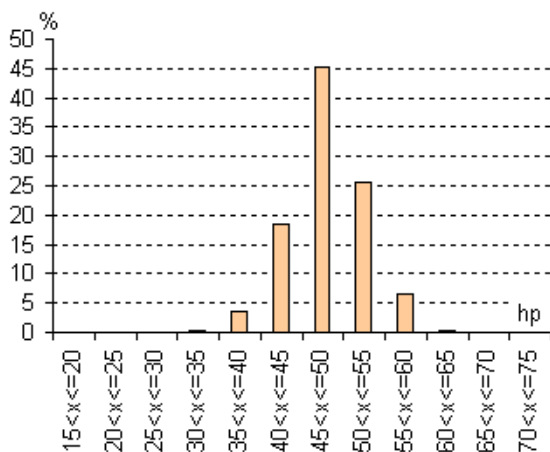
Joonis 2.13. Leetjate muldade boniteet olenevalt lõimisest ja rähksuse astmest

Võrreldes leetjate muldadega on gleistunud leetjate (Klg) muldade keskmine boniteet ligikaudu ühe hindeklassi võrra madalam (joonis 2.14). Leetjate gleimuldade (GI) boniteet on aga gleistunud muldadega võrreldes omakorda ühe hindeklassi võrra madalam. Nõrgalt erodeeritud (Kle) muldade viljakus on ligikaudu 15 hindepunkti võrra madalam. Gleistunud leetjate muldade keskmine huumusesisaldus on 2,86%, leetjates gleimuldades 3,71%, kuid nõrgalt erodeeritud muldades vaid 1,7%. Erodeerimata muldadega võrreldes on huumusesisaldus vähenenud 0,6% võrra.



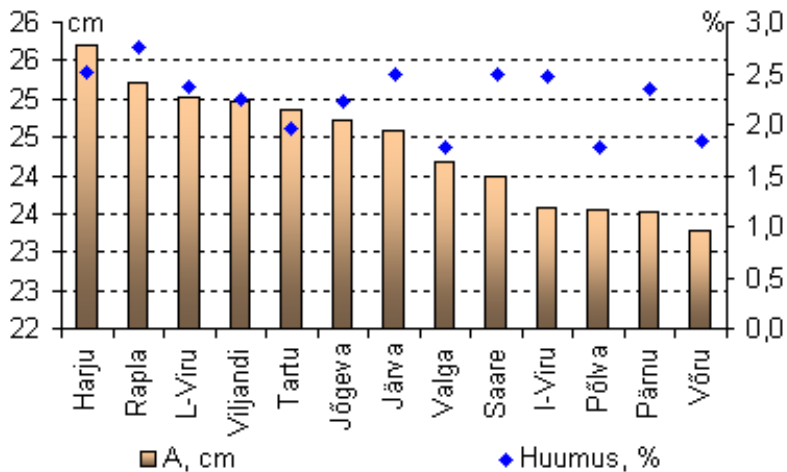
Joonis 2.14. Leetjate muldade boniteet ja huumusesisaldus olenevalt muldade koresesisaldusest, erosiooni astmest ja veerežiimist. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Näivleetunud muldade (LP) boniteet varieerub 19 kuni 71 hindepunktini (joonis 2.15). Kõigist 32256 põllust, kus levivad näivleetunud mullad, 45% jääb nende muldade boniteet 45 kuni 50 hindepunkti vahemikku, kuid 22,4 % põldudest on see väiksem ja 32,5% on see kõrgem.



Joonis 2.15. Näivleetunud muldade levik boniteedist lähtuvalt

Nende muldade keskmine huumuskihi tusedus on 24,2 cm, 4,7% põldudest on see aga 15-19 cm, 71,8% 20-24 cm ja 23,1% põldudest on see 25-29 cm. Näivleetunud muldade keskmine huumusesisaldus on 1,97%, 74,5% põldudest jääb see alla 2%. Suhteliselt õhema huumushorisonidiga ja huumusvaesemad on näivleetunud mullad Valga, Põlva ja Võru maakonnas (joonis 2.16).



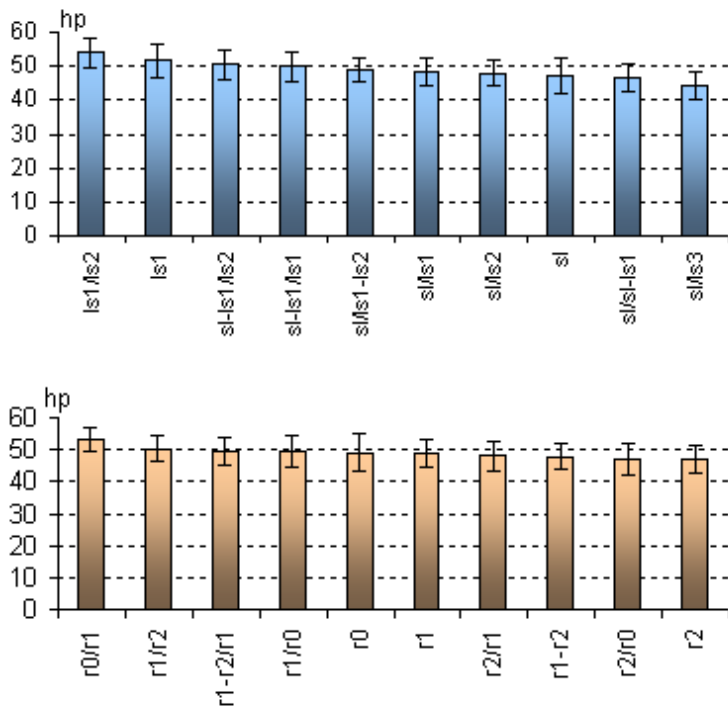
Joonis 2.16. Näivleetunud muldade huumushorisoni tusedus ja huumusesisaldus

Näivleetunud muldade boniteedi (y , hp) ja huumuskihi tuseduse (x_1 , cm) ning huumusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab võrrand: $y = 10,8 + 1,11x_1 + 5,63x_2$; $R^2 = 0,48$. Seega 1 cm huumuskihi tuseduse ning 1% huumusesisalduse kohta suureneb nende muldade boniteet vastavalt 1,11 ja 5,63 hindepunkti võrra. Näivleetunud muldade boniteedi (y , hp) ja kallakuse (x , kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 47,9 - 0,59x$; $R^2 = 0,54$. Seega kallakuse 1° kohta väheneb mulla boniteet 0,59 hindepunkti võrra.

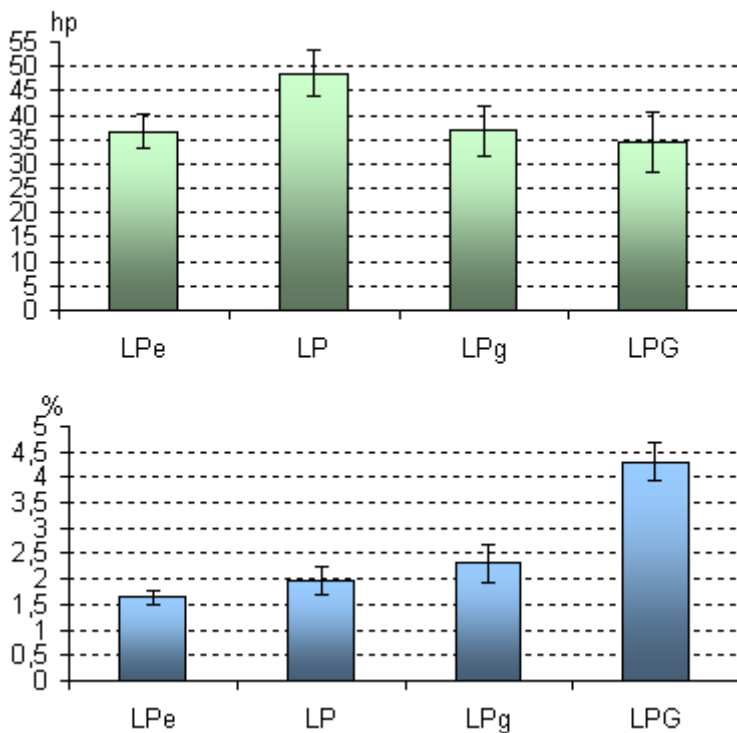
Peenkivisuse astmetest lähtuvalt esineb kõige enam muldi järgmiselt: $r_1 - 75,4\%$, $r_2 - 8,1\%$, $r_1/r_0 - 7,1\%$, $r_0 - 4,3\%$, $r_1/r_2 - 2,2\%$, $r_2/r_1 - 1,0\%$, $r_1/r_2 - 0,6\%$, $r_2/r_0 - 0,5\%$, jne. Suurkivisuse astmete alusel jaotuvad leostunud mullad: I - 62,2%, II - 19,9%, I-II - 10,5%, 0-I - 3,2% ja 0 - 3,0%.

Lõimiselt domineerivad näivleetunud muldade seas saviliivad kergedel liivsavidel - 52,4% kõigist põldudest. Edasi järgnevad saviliivad keskmistel liivsavidel - 21,2%, kerged liivsavimullad - 5,7%, saviliivmullad - 5,6%, kerged liivsavid keskmistel liivsavidel - 3,4%, saviliivad kergedel kuni keskmistel liivsavidel - 1,8% jne. Lõimisest sõltuvalt võib näivleetunud muldade keskmine boniteet erineda kuni ühe hindeklassi võrra, kuid peenkivisuse mõju muldade viljakusele on mõnevõrra väiksem (joonis 2.17).

Kui näivleetunud muldade keskmine boniteet on 48,6 hindepunkti, siis nii nõrgalt erodeeritud (LPe) kui ka gleistunud (LPg) muldadel on see 36,7 hindepunkti ning näivleetunud gleimuldadel (LPG) 34,4 hindepunkti (joonis 2.18). Võrreldes näivleetunud muldadega on nõrgalt erodeeritud muldades keskmine huumusesisaldus 0,33% võrra madalam. Seevastu gleistunud ja gleimuldades on keskmine huumusesisaldus vastavalt 0,35% ja 2,33% võrra suurem.

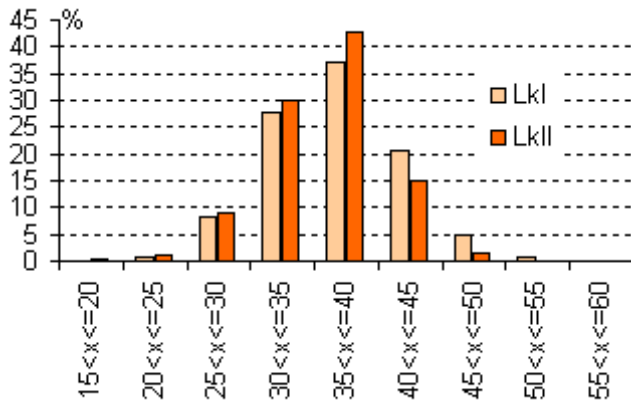


Joonis 2.17. Näivleeturund muldade boniteet olenevalt lõimisest ja rähksusest. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.



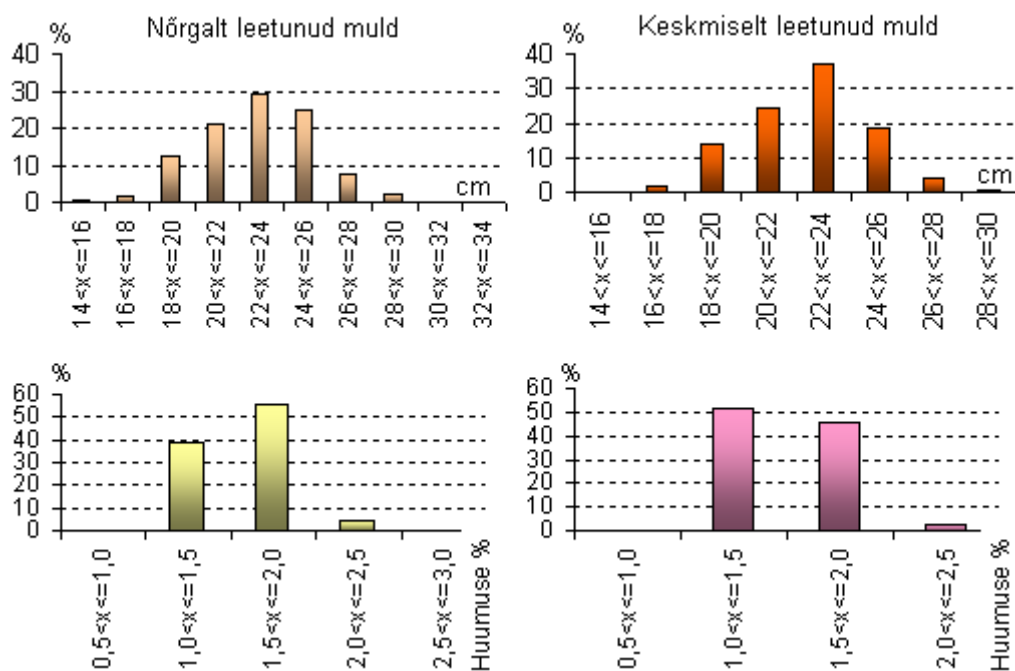
Joonis 2.18. Näivleeturund muldade boniteet ja huumusesisaldus olenevalt muldade koresesisaldusest, erosiooni astmest ja veerežiimist. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Nõrgalt (LkI, 12542 põldu) ja keskmiselt (LkII, 403 põldu) leetunud muldade keskmine boniteet on vastavalt 37,3 ja 36,3 hindepunkti, kuid ka nende muldade viljakus varieerub väga suurtes piirides (joonis 2.19). Suhteliselt viljakamad on need mullad Harju, Lääne-Viru ja Rapla maakonnas ja kõige vähemviljakad Hiiumaa ja Põlva maakonnas.

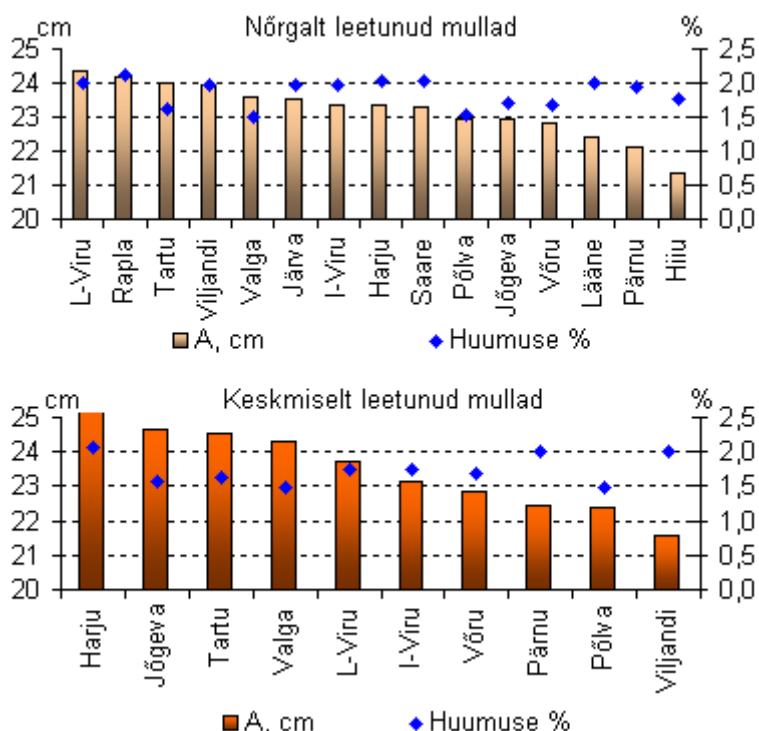


Joonis 2.19. Nõrgalt ja keskmiselt leetunud muldade levik boniteedi alusel

Nõrgalt ja keskmiselt leetunud muldade huumuskihi keskmine tusedus on vastavalt 23,4 ja 22,9 cm ning keskmine huumusesisaldus 1,73% ja 1,64%. Valdavalt jääbki nende muldade huumuskihi tusedus 20-24cm vahemikku, kuid keskmiselt leetunud muldade puhul on õhema huumuskihiga ja huumusvaesemate muldade osatähtsus suurem (joonis 2.20). Leetunud muldade huumuskihi tusedus ja huumusesisaldus on suuresti erinev ka maakondade lõikes (joonis 2.21).



Joonis 2.20. Leetunud muldade jaotus huumuskihi tuseduse ja huumusesisalduse alusel

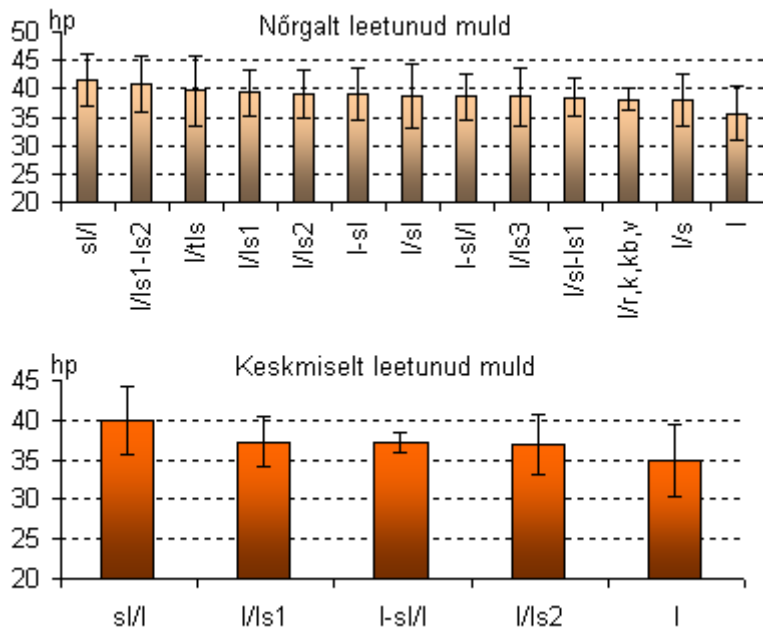


Joonis 2.21. Leetunud muldade keskmine huumuskihi tusedus ja huumusesisaldus maakondades

Nõrgalt leetunud muldade seas 65,9% põldudest on tegemist liivmuldadega. Siis järgnevad saviliivad liivadel –20,3% ja vaid 11,9% põldudel lasuvad liivad kergetel või keskmistel liivsavidel. võrra. Peenkivisuse astmetest lähtuvalt esineb kõige enam muldi järgmiselt: r1 – 55,0%, r0 – 34,0%, r1/r0– 5,1%, r2– 2,8% jne. Suurkivisuse astmete alusel jaotuvad nõrgalt leetunud mullad: I – 56,1%, 0 – 15,3%, II – 14,5%, I-II – 7,6%, 0-I –5,2% jne.

Keskmiselt leetunud muldade seas on samuti ülekaalukalt (57,7%) tegemist liivmuldadega, 17,9% põldudest lasuvad liivad kergetel ja 8,2% põldudest keskmistel liivsavidel ja 14,7% põldudel on saviliivad liivadel. Peenkivisuse astmete alusel jaotuvad mullad: r1 - 55,1%, r0 – 33,0%, r2 – 5,0%, r1/r0 – 4,2%, r0/r1 – 2,7% jne.

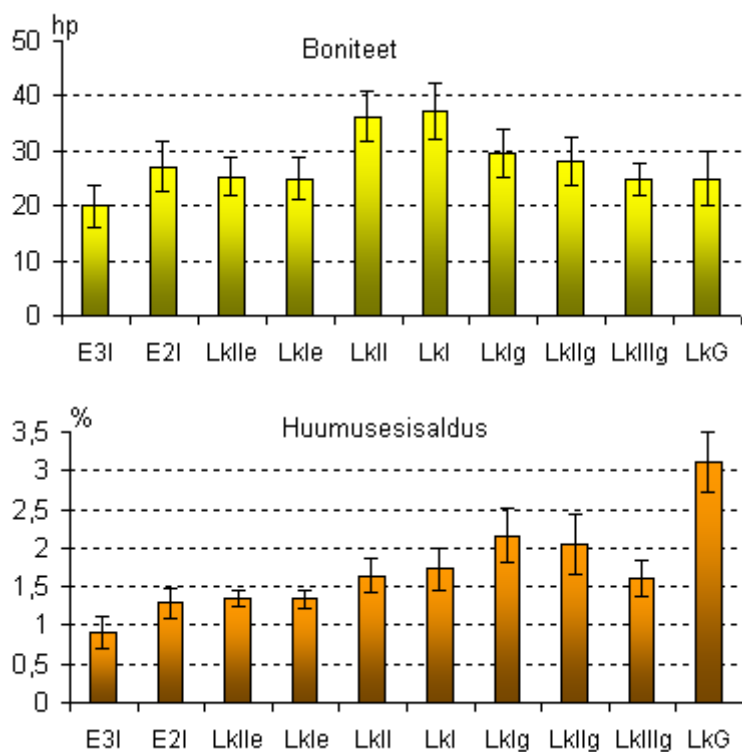
Lõimiselt kõige madalama boniteediga on liivmullad (joonis 2.22). Nõrgalt leetunud muldade boniteedi (y , hp) ja huumuskihi tuseduse (x_1 , cm) ning huumusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab võrrand: $y = 1,29x_1 + 6,74x_2 - 4,56$; $R^2 = 0,62$. Seega 1 cm huumuskihi tuseduse ning 1% huumusesisalduse kohta suureneb nende muldade boniteet vastavalt 1,29 ja 6,74 hindepunkti võrra. Nende muldade boniteedi (y , hp) ja kallakuse (x , kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 37,5 - 0,64x$; $R^2 = 0,98$. Seega kallakuse 1° kohta väheneb mulla boniteet 0,64 hindepunkti võrra.



Joonis 2.22. Nõrgalt ja keskmiselt leetunud muldade boniteet olenevalt lõimisest. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Keskmiselt leetunud muldade boniteedi (y , hp) ja huumuskihi tuseduse (x_1 , cm) ning huumusesisalduse (x_2 , %) vahelist seost kajastab võrrand: $y = 1,28x_1 + 4,46x_2 - 0,47$; $R^2 = 0,46$. Seega 1 cm huumuskihi tuseduse ning 1% huumusesisalduse kohta suureneb nende muldade boniteet vastavalt 1,28 ja 4,46 hindepunkti võrra. Muldade boniteedi (y , hp) ja kallakuse (x , kraadi) vaheline seos on järgmine: $y = 38,8 - 1,99x$; $R^2 = 0,89$.

Gleistunud leetunud muldade (LkI_g, LkII_g, LkIII_g) boniteet pidevalt väheneb seoses leetumise intensiivistumisega (joonis 2.23). Gleistunud tugevasti leetunud muldade (LkIII_g) keskmine boniteet on sarnaselt leetunud gleimuldadega (LkG) alla 25 hindepunkti. Väga madal on ka tugevasti erodeeritud leetunud muldade boniteet, keskmisena vaid 19,9 hindepunkti. Äärmiselt madal on ka nende muldade huumusesisaldus, keskmiselt vaid 0,9%. Kuid suhteliselt madala huumusesisaldusega on nii põuakartlikud leetunud mullad kui ka gleistunud leetunud mullad.

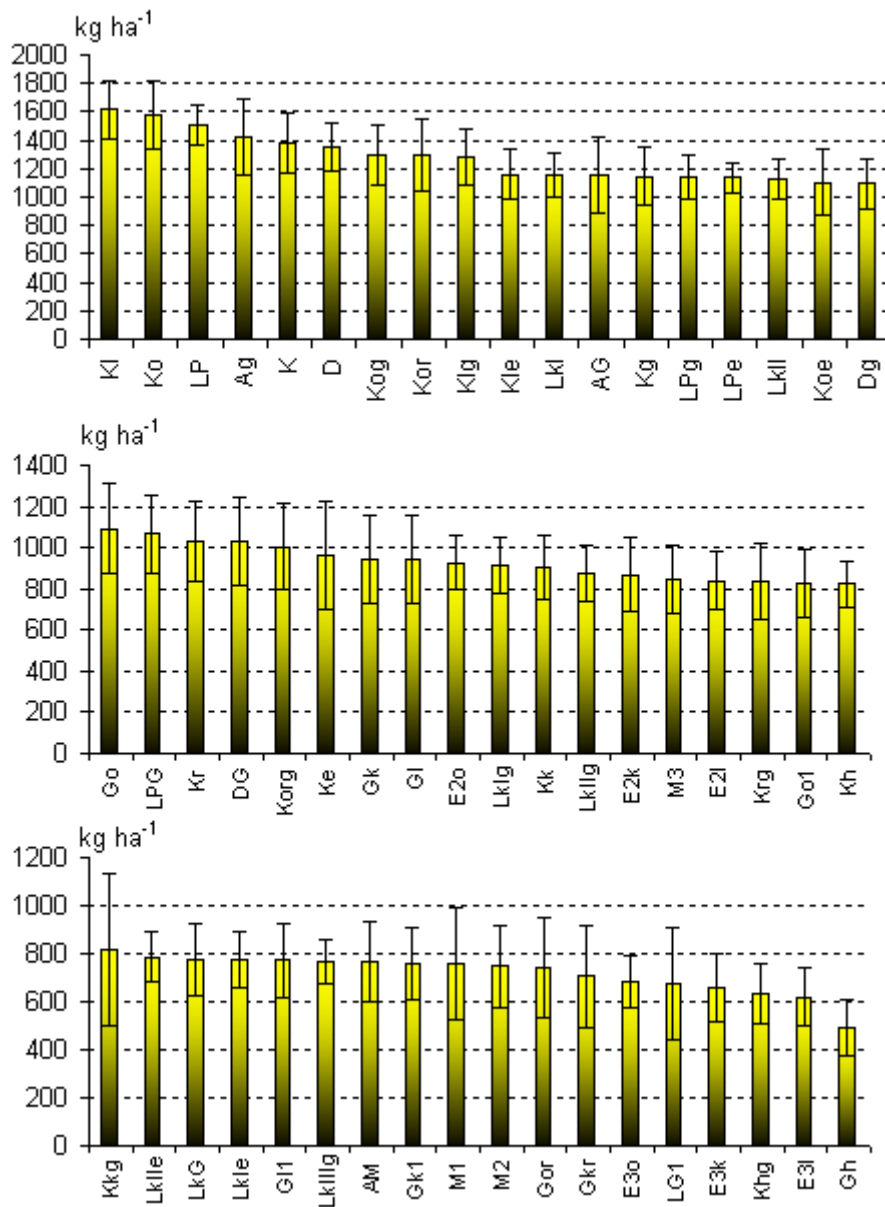


Joonis 2.23. Leetunud muldade boniteet ja huumusesisaldus olenevalt muldade erosiooni astmest ja veerežiimist. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

Mulla efektiivset viljakust, kui mullaviljakuse kvantitatiivset tunnust, väljendatakse taimede saagi suurusena. Meie põllumullad võime odrakasvatuse seisukohalt keskmise efektiivse viljakuse alusel jaotada kolme rühma (joonis 2.24). Esimesse rühma kuuluvad kõige viljakamad mullad, kus mulla arvel saadava teraviljajärgse odra keskmine saak on mullast olenevalt 1100–1600 kg teri ha⁻¹. Mullaomaduste heterogeensusest tingituna varieerub keskmine saak 95%-lise tõenäosuse juures +/- 200–530 kg ha⁻¹. Kõige kõrgema efektiivse viljakusega on leetjad, leostunud ja näivleetunud mullad.

Teise rühma jäävad mullad, milliste keskmine efektiivne viljakus teraviljajärgse odra saagina on 800–1100 kg teri ha⁻¹. Nende muldade puhul mullaomaduste heterogeensusest tingituna varieerub keskmine saak 95%-lise tõenäosuse juures +/- 250–510 kg ha⁻¹. Viljakaimad on selles rühmas leostunud- ja näivleetunud gleimullad.

Kolmandasse ehk odrakasvatuse seisukohalt kõige väiksema efektiivse viljakusega muldade rühma jäävad mullad, kus mullavarude arvel saadav keskmine saak on vaid 500–800 kg teri ha⁻¹. Keskmine saak 95%-lise tõenäosuse juures varieerub siin +/- 180–590 kg ha⁻¹. Kõige madalama efektiivse viljakusega on odrakasvatuse seisukohalt tugevasti erodeeritud mullad, gleistunud paepealsed mullad, paepealsed gleimullad, koreserikkad gleimullad, halvasti ja keskmiselt lagunenenud turbaga madalloomullad aga loomulikult ka turvastunud leede-gleimullad, millised on maaparanduse käigus kultuuristatud.



Joonis 2.24. Põllumuldade efektiivne viljakus väljendatuna teraviljajärgse odra saagikusena. Tulpadel esitatud vearibad näitavad standardhälvet.

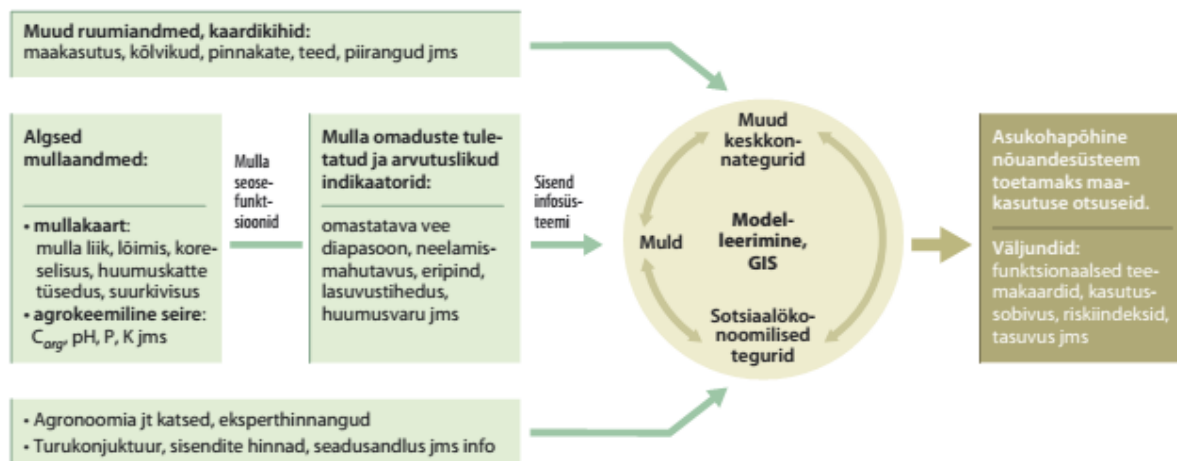
3. Mullastikukaardiga seostatavad kasutussobivus- ja rakendusmudelid

Hugo Roostalu, Elsa Suuster, Alar Astover – Eesti Maaülikool

Mullakaardi rakendusmoodulite (muldade kasutussobivus, viljakus, huumusseisund, agronoomiliselt ja majanduslikult efektiivsed väetisnormid jms) arvutusalgortimide koostamisel võeti kokku Eesti agraarteaduses senitehtu. Projekti teaduslikuks aluseks olid teaduspublikatsioonid ja -aruanded, sajad ühe või teise kultuuriga erinevatel muldadel korraldatud põldkatsed, riiklike sordivõrdluskatsete tulemused ning agrometeopunktide, loodus- ja keskkonnakaitse, EV Statistikaameti, Maa-ameti, Põllumajandusuuringute Keskuse jt. andmebaasid. Teadlased on aastakümnete jooksul korraldanud sadu põldkatseid, mis võimaldavad hinnata maaviljelusviiside mõju põllukultuuride fütoproductiivsusele, mullaviljakusele ja keskkonnaseisundile. Katsetulemuste põhjal koostatavad mudelid ja nende rakendatavus ning asukohapõhise info täpsus, kättesaadavus määravad ära teaduspõhiste nõuandesüsteemide edukuse. Seega peab mudelite arendus lähtuma eelkõige võimalikult täpsete ja tervet Eestit katvate ruumiandmete olemasolust, mis on 1:10 000 mullastikukaardi näol tagatud. Mudelite väljatöötamisel lähtusime, et need oleksid suuremõtkavalisel mullastikukaardil rakendatavad.

Kuna loodusobjektide kõikne uurimine mitmekesisel ajalis-ruumilisel skaalal pole piiratud ressursside tingimustes võimalik, siis tõstatub vajadus välja töötada muldade omadusi, protsesse ja levikut väljendavad seosed ja mudelid. Kvantitatiivsete seoste abil on võimalik teisendada olemasolevad andmed vajalikuks informatsiooniks, mis toetaksid objektiivset otsustamist. Kvantitatiivsed seosed lihtsamini määratavate, reeglina kaartidel kajastatud või seires kogutavate ning komplekssemate mulla näitajate vahel ehk mulla seosefunktsioonid (ingl. k. *pedotransfer functions*) võimaldavad näiteks mullastikukaardidel olevate andmete põhjal koostada uusi rakenduslikke infokihte ja tekitada sisendandmeid keerukamate mudelite jaoks.

Jätkusuutlikuks maakasutuseks ei piisa ainult mullapõhisest teabest, vaid arvestama peab muld-taim-keskkond jm vastastikuseid seoseid ning sotsiaal-majanduslikke tegureid. Nii tekib vajadus veelgi komplekssemate infosüsteemide järele. Põllumajanduse, mis on üheks peamiseks mullaressursi intensiivseks kasutajaks, näitel oleks selle temaatiliseks arenduseks agro-majanduslik geoinfosüsteem. Selle väljunditeks võivad olla asjaosalistele huvipakkuvad ja arusaadavad teemakaardid, mis kajastavad kasutussobivuse erinevaid aspekte ja tootmisega kaasnevaid riske (joonis 3.1). Nii võivad taimekasvatuse rakendusliku teemakaardi näiteks olla asukohapõhised väetussoovitused, mis arvestavad samaaegselt mulla omadusi, kultuurtaime vajadusi ja turukonjunkturi. Arvukate katse- ja tootmistulemuste üldistustena Eestis välja töötatud muldade kasutussobivuse indekse (10-punktilisel skaalal) seostamine mullastikukaardi algandmetega võimaldab leida iga põllu, talu või regiooni tasandil optimaalseid lahendeid agronoomiliselt põhjendatud maakasutuse osas.



Joonis 3.1. Mullaandmete infovoog ja selle rakendamine agromajandusliku geoinfosüsteemi osana

Projekti raames töötasime Eestis läbiviidud arvukate põldkatsete ja mullauuringute tulemuste metaanalüüsiga välja seosefunktsioonid järgmiste mulla omaduste kohta: lasuvustihedus, eripind ja eripinna indeks, väliveemahutavus, närbumispunkti niiskus, omastatava vee diapaseon, huumusesisaldus (orgaaniline süsinik*1,72), huumusvaru, lämmastikisisaldus ja –varu, agronoomiliselt ja majanduslikult efektiivsed väetiskogused odra näitel. Saagikuse prognoosimudelite seostamist mullakaardi andmebaasiga testiti odra ja päideroo näitel.

Mulla omadusi iseloomustavaid näitajaid on otstarbekas võrrelda mingi kindla hüdrofüüsikalise seisundi juures. Käesoleva projekti puhul on kõik arvutused tehtud muldade väliveemahutavusele vastava veesisalduse juures, mis iseloomustab muldade varakevadist niiskusežiiimi.

Mulla lasuvustihedus on harva määratav, kuid samas väga oluline mulla kvaliteedi näitaja ning vajalik näiteks mulla huumus-, toiteainete- ja veevarude arvutamisel. Mulla lasuvustihedus on teatavasti seda väiksem, mida suurem on mulla veesisaldus ja mida enam on mullas huumust. Põllumuldade künnikihis on mulla lasuvustiheduse ja huumusesisalduse (x , %) vaheline seos liiv-, saviliiv- ja kergetes liivsavimuldades järgmine:

$$Dm_{l-ls1} = 1,63 - 0,068x \quad R^2 = 0,68; \sigma = 0,08$$

Veesisalduse suurenedes savid paisuvad ja kuivades nende ruumala väheneb üle 20–30%. Sellest tulenevalt lähtuti keskmise- ja raske liivsavimulla ning savide lasuvustiheduse arvutamisel järgmistest seostest:

$$Dm_{ls2} = 1,601 - 0,066x$$

$$Dm_{ls3} = 1,549 - 0,062x$$

$$Dm_s = 1,41 - 0,060x$$

Mineraalmuldade huumuskihi lasuvustiheduse arvutamiseks töötati põllumuldade seire andmebaasi põhjal välja ka segamudelil põhinev prognoosimudel, mille kohta avaldati teadusartikkel Suuster jt 2011: *Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. Geoderma, 163(1-2), 74 - 82.*

Sügavamate mullakihtide puhul lõimiselt ühesuguse mullaprofiili korral arvutati lasuvustihedus olenevalt sügavusest (x_1 , cm) ja füüsikalise savi sisaldusest (x_2 , %) järgmise võrrandi alusel:

$$Dm_{B,C} = 1,45 + 0,00172x_1 + 0,00293x_2 \quad R^2 = 0,36; \sigma = 0,06$$

Lõimiselt mitmekihilistes mullaprofiilides leiti lasuvustihedus eelneva kihi (x_1 , cm) ja järgneva kihi (x_2 , cm) tuseduse ja järgneva kihi füüsikalise savi sisalduse (x_3 , %) alusel:

$$Dm_{B,C} = 1,25 + 0,00345x_1 + 0,00218x_2 + 0,0166x_3 - 0,00017x_3^2 - 0,000038(x_1 + x_2) * x_3 \quad R^2 = 0,83; \sigma = 0,05$$

Turvasmuldade lasuvustihedus oleneb turba lagunemisastmest. Turba lasuvustihedus varieerub halvasti lagunenu turba puhul 0,07–0,17 Mg m⁻³ piires, keskmiselt lagunenu turbas 0,11–0,19 Mg m⁻³ piires ja hästi lagunenu turvasmullas 0,15–0,24 Mg m⁻³ piires. Turba lasuvustiheduse ja lagunemisastme (x , %) vahel on lineaarne positiivne seos, mida enam on turvas lagunenu, seda suurem on turba lasuvustihedus. Seda seost kajastab võrrand:

$$Dm = 0,06 + 0,002x \quad R^2 = 0,37; \sigma = 0,04$$

Mulla eripinna (Ep , m² g⁻¹) all mõistetakse massi- või ruumalaühiku mulla tahkete mullaosakeste summaarset välispinda. Mulla huumuskihis leiti eripind mulla füüsikalise savi- (x_1 , %) ja huumusesisalduse (x_2 , %) alusel:

$$Ep_{A:AT} = -20 + 1,25x_1 + 11,6x_2 + \frac{12}{x_2}; \quad R^2 = 0,79, \sigma = 6,8$$

Huumuskihile järgnevates geneetilistes horisontides leiti mulla eripind füüsikalise savisisalduse (x_1 , %) alusel:

$$Ep_{B,C} = 2 + 1,30x_1; \quad R^2 = 0,86, \sigma = 6,2$$

Eripinna indeks (I_{Ep}) näitab mingi kindla mullakihi tahkete osakeste summaarse eripinna suhet mulla pinnasse:

$$I_{Ep} = Ep * Dm * a * 10^4, \text{ kus}$$

Ep – mulla eripind, m² g⁻¹;

Dm – mulla lasuvustihedus, Mg m⁻³;

a – mullakihi tusedus, cm.

Väliveemahutavus (Wv) näitab suurimat seotud ja rippuva kapillaarvee hulka, mida muld suudab kinni pidada ning see on üks olulisemaid mulla hüdrofüüsikalisi näitajaid. Mulla väliveemahutavust, protsentides absoluutkuiva mulla kohta, sõltuvalt füüsikalise savi- (x_1) ja huumusesisaldusest (x_2) ning mulla lasuvustihedusest (x_3) võime arvutada järgmiste võrrandite alusel:

$$Wv_{(A:AT),\%} = 63,3 - \frac{129,6}{x_1} + 2,30x_2 + \frac{4,66}{x_2} - 29,66x_3; \quad R^2 = 0,94; \sigma = 1,94$$

$$Wv_{(E:B,C),\%} = 40,7 + 0,10x_1 - \frac{65,9}{x_1} - 14,58x_3; \quad R^2 = 0,89; \sigma = 1,66$$

Turvasmuldade väliveemahutavus sõltub turba liigist ja lasuvustihedusest. Madalsoo turba väliveemahutavuse ja lasuvustiheduse (Dm , Mg m⁻³) vaheline seos on:

$$Wv = 67 - 16 * Dm, \quad (R^2 = 0,34; \sigma = 2,6)$$

kus W_v – väliveemahutavus %-des turba mahust.

Taimede närbumisniiskus ($W_{närb}$) piiritleb mullas veesisaldust, mida taimed ei suuda omastada. Mida raskema lõimisega ja huumusrikkam on muld, seda suurem on ka selle mulla taimede närbumisniiskus. Mineraalmuldade närbumisniiskuse ja mulla füüsikalise savi- (x_1 , %) ja huumusesisalduse (x_2 , %) vaheline seos on järgmine:

$$W_{närb_{A:AT}}, \% = -1,16 + 0,211x_1 + 0,879x_2; \quad R^2 = 0,82, \sigma = 1,31$$

$$W_{närb_{E:B:C}}, \% = 0,38 + 0,189x_1; \quad R^2 = 0,90, \sigma = 1,23$$

Turvasmuldade närbumisniiskus on oluliselt suurem kui seda mineraalmuldades, varieerudes normaaltuhasusega (<25%) turvasmuldades 33–103% (keskmiselt 66%) piires absoluutkuiva turba kohta. Turba närbumisniiskuse skaala oleks järgmine:

<55% – madal

55-80 – keskmine

>80% – kõrge

Normaaltuhasusega turba närbumisniiskuse ja maksimaalse hügroskoopsuse suhtarv varieerub turba koostisest sõltuvalt 0,99–3,44-ni, keskmiselt aga võime arvestada:

$$W_{närb} = 1,77 * W_{mh}$$

Taimede veega varustatuse seisukohast on oluline teada, milline on konkreetse mulla omastatava vee diapsoon (OVD) ehk aktiivveemahutavus. See näitaja kajastab taimede poolt omastatava vee hulka, mida muld suudab varakevadel pärast lume sulamist või rohkeid sademeid kinni hoida. Parasniisketes ja põuakartlikes muldades on see väliveemahutavuse ja taimede närbumisniiskuse vahe ($W_v - W_{närb}$), liigniisketes muldades aga kapillaarveemahutavuse ja taimede närbumisniiskuse vahe ($W_k - W_{närb}$).

Seega gleistunud ja gleimuldades aktiivveemahutavus ei olene ainult rippuvast kapillaarvest vaid siin tuleb arvestada ka toetuvat kapillaarvest. Väliveemahutavuse ja taimede närbumisniiskuse vahet tähistavat OVD väärtust tuleb füüsikalise savi sisaldusest (x , %) olenevalt suurendada vastavalt järgnevatele koefitsientidele:

1) gleistumistunnustega mullad: $W_{k_{koef}} = 1,033 + \frac{0,93619}{x}$

2) gleistunud mullad: $W_{k_{koef}} = 1,070 + \frac{1,86619}{x}$

3) gleimullad: $W_{k_{koef}} = 1,141 + \frac{2,55609}{x}$

4) turvastunud gleimullad: $W_{k_{koef}} = 1,208 + \frac{2,66081}{x}$

Korese esinemise korral vähendati mulla ja seega ka vee- ning toitainete varusid vastavalt rähksuse astmele järgmiselt: $r_1 = 8\%$, $r_2 = 15\%$, $r_3 = 25\%$, $r_4 = 35\%$, $r_5 = 60\%$ ja $r = 75\%$.

Mulla neelamismahutavus arvutati mulla huumusesisalduse (x_1 , %) ja füüsikalise savi sisalduse (x_2 , %) alusel: $T_{cmol_C} = 3,32x_1 + 0,092x_2$

Mineraalmuldade süsinikuvaru arvutamisel lähtuti muldade huumusesisaldusest, sest huumuses on 58% süsinikku. Mulla lämmastikusisaldus leiti huumusesisalduse (x , %) alusel:

$$N, \% = 0,0366 + 0,047x; \quad R^2 = 0,87$$

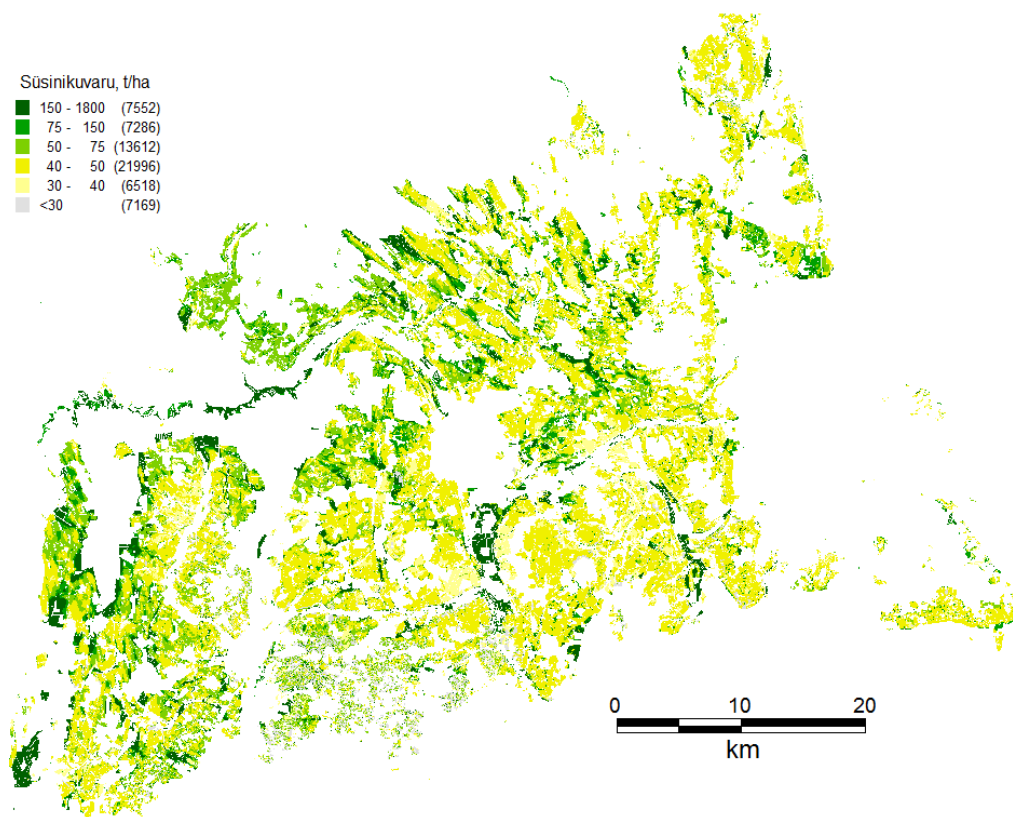
Mulla efektiivne viljakus odra saagina (y , Mg ha⁻¹) arvutati mulla boniteedi (x , hp) alusel järgmise valemi alusel: $y = 0,155 + 0,0363x$.

Agronoomiliselt efektiivne lämmastikvæetisnorm (y , kg N ha⁻¹) odrale leiti mulla huumusesisaldusest (x ,%) sõltuvalt järgmise võrrandi alusel:
 $y = 176 - 52,26x + 8,73x^2 - 0,49x^3$

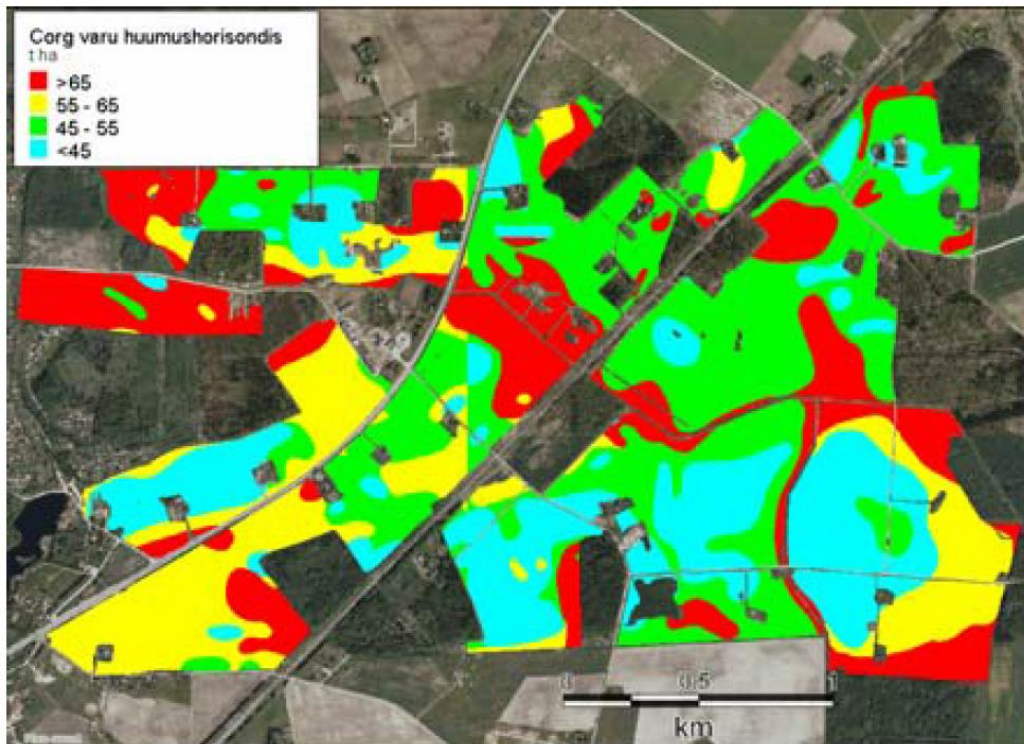
Suuremõõtkavalise mullastikukaardiga seostatud rakendusmodelite näited

Põllumuldade orgaanilise süsiniku sisalduse modelleerimiseks kasutasime erinevaid meetodeid. Mullastikukaardi algandmetest lähtuvalt leiti igale mullakontuurile koostatud prognoosimodeli (Suuster jt 2011) abil lasuvustihedus ning orgaanilise süsiniku sisaldus saadi haritava maa andmebaasist mullaerimite mediaanväärtusena. See võimaldas koostada orgaanilise süsiniku (huumuse) varude teemakaarte, mis on kasutatavad nii regionaalse (joonis 3.2) kui ka lokaalse (joonis 3.3) tasandi otsusteks. Mulla orgaanilise süsiniku varu (joonis 4) leidmiseks modelleeriti esmalt igale mullakontuurile orgaanilise süsiniku kontsentratsioon ja lasuvustihedus ning arvesse võeti huumus- või turbakihi tusedus. Väga suure süsinikuvarudega aladel domineerivad turvastunud ja turvasmullad.

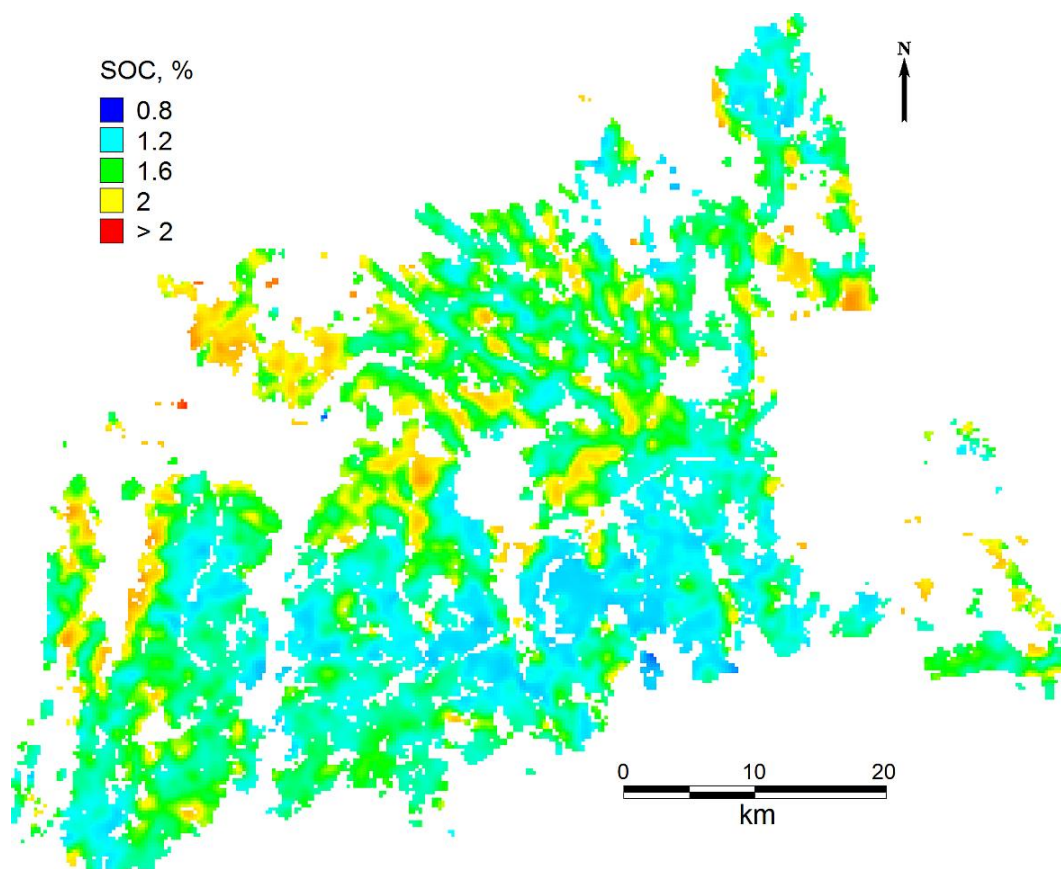
Erinevate meetodite võrdluses andis parima orgaanilise süsiniku sisalduse prognoosi segamudel, mille koostasime põllumuldade seire andmebaasile tuginedes (Suuster jt 2012). Tartu maakonna mullastikukaardi korrastatud algandmetest lähtuvalt leiti igale mullakontuurile segamodeli abil mulla orgaanilise süsiniku kontsentratsioon (joonis 3.4).



Joonis 3.2. Orgaanilise süsiniku varu (t/ha) Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)



Joonis 3.3. Põllumuldade humuskatte orgaanilise süsiniku varud (t/ha) suuremõtkavalise mullastikukaardi kontuuridel

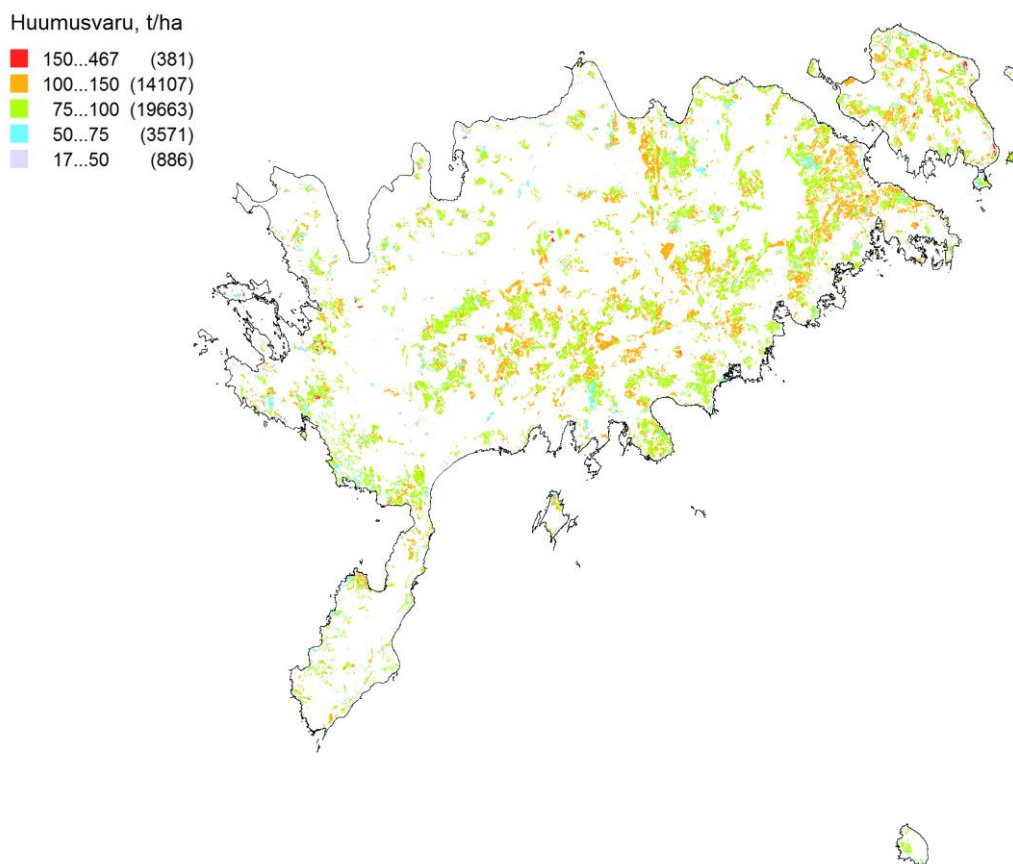


Joonis 3.4. Modelleeritud orgaanilise süsiniku kontsentratsioon (SOC, %) Tartu maakonna põllumajandusmaal (v.a turvastunud ja turvasmullad)

Saare maakonna põllumuldade huumusvaru teemakaart on toodud joonisel 3.5. Varu on leitud mullaerimi keskmisest huumusesisaldusest lähtuvalt ning arvestatud on mullaspetsiifilist lasuvustihedust (joonis 3.6), huumuskatte түsedust ning mahaarvamist koresesisalduse arvelt. Väga suure orgaanilise aine varu korral (>150 t/ha) on tegu turvastunud ja turvasmuldadega.

Omastatava vee diapasooni arvutused tehti ühe meetri түseduse mullakihi kohta. Omastatava vee diapasoон ehk aktiivveemahutavus iseloomustab taimede poolt omastatava vee hulka, mida muld suudab varakevadel pärast lume sulamist või rohkeid sademeid kinni hoida. Ühemeetrise mullaprofiili omastatava vee diapasoон jääb põuakartlikes muldades alla 120–160 mm, parasniisketes muldades on see tavaliselt 190–220 mm ning võib liigniisketes kuivendamata muldades ulatuda üle 300–350 mm. Loodud kaardikiht võimaldab hinnata auskohapõhiselt taimedega veega varustatuse potentsiaali ning arvestada sadamete puudujäägi või ülekülluse mõju põllukultuuride saagile. Tartu maakonna põllumuldade omastatava vee diapasooni teemakaart on toodud joonisel 3.7.

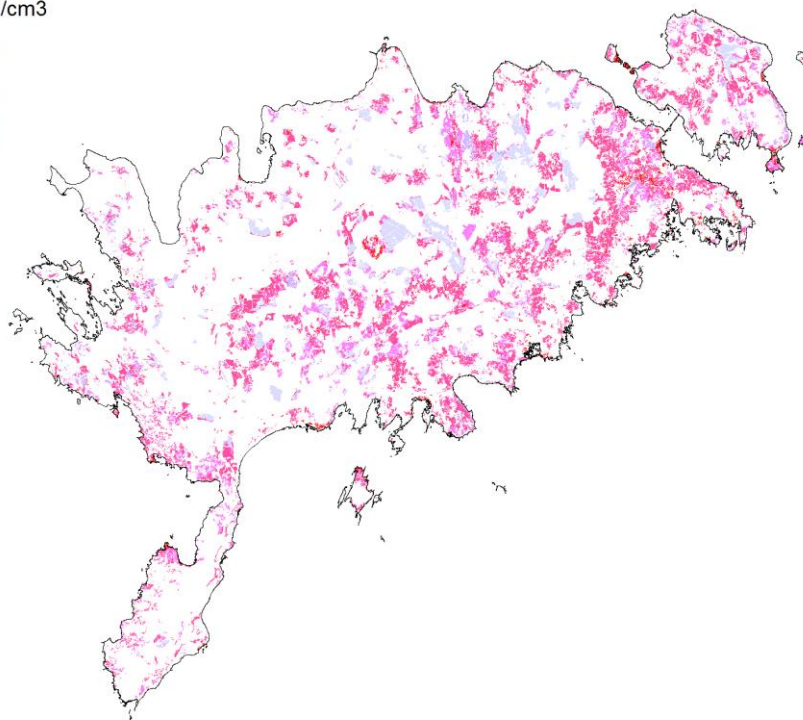
Eripinna indeks näitab teatud mullakihi tahkete osakeste summaarse eripinna suhet mulla pindalasse. Esmalt leiti lõimiseklassid kaupa eristatud mulla füüsikalise savi sisalduse alusel eripind (m^2/g), mille kohta on toodud Saare maakonna näitlikustav teemakaart (joonis 3.8). See on üks olulisemaid mulla näitajad, mida saab kasutada mulla keskkonnahoiu- ja produktsioonivõime modelleerimisel. Tartu maakonna põllumajandusmaadel varieerub eripinna indeks suurtes piirides ($0,4...15 \cdot 10^7$). Käesolevas näites on tulemused arvutatud ühe meetri түseduse mullakihi kohta (joonis 3.9). Neelamismahtuvuse näitlikustav teemakaart on toodud joonisel 3.10.



Joonis 3.5. Põllumuldade huumusvaru (t/ha) Saare maakonnas (sulgudes mullakontuuride arv)

Lasuvustihedus, g/cm³

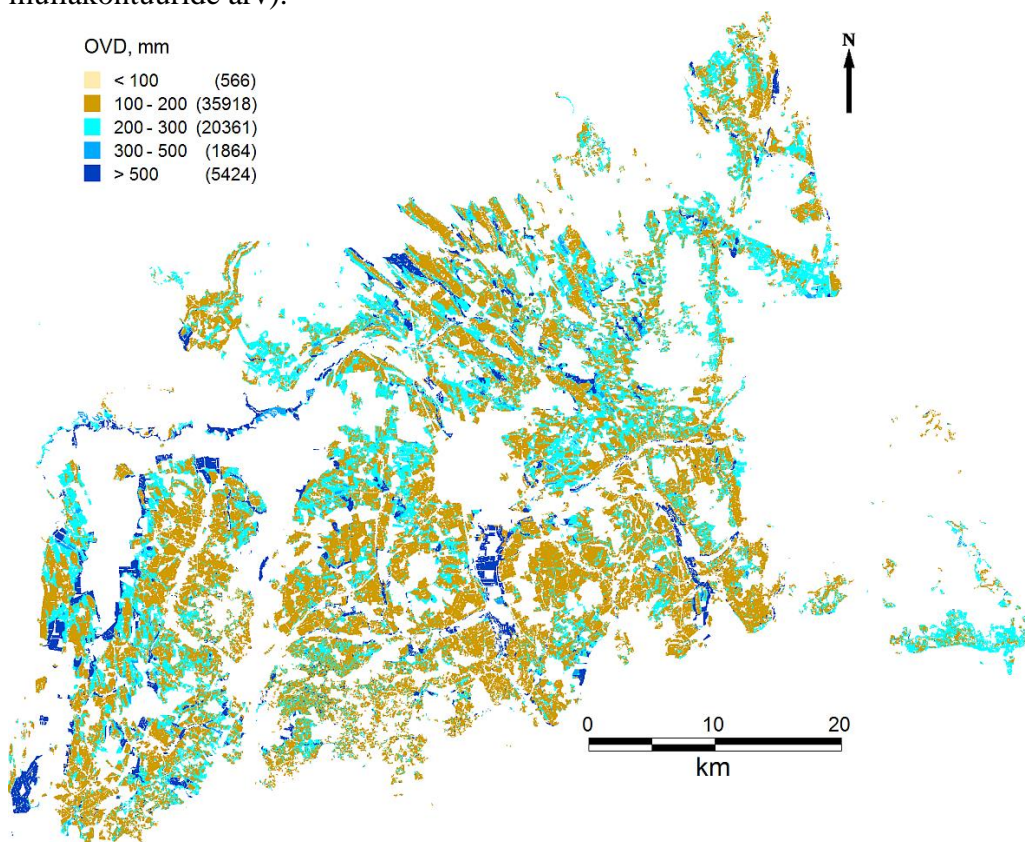
- 1,5...1,7 (1420)
- 1,4...1,5 (24794)
- 1,3...1,4 (11477)
- 0,3...1,3 (2508)
- 0,1...0,3 (3851)



Joonis 3.6. Lasuvustihedus (g/cm³) Saare maakonna põllumuldadel (sulgudes mullakontuuride arv).

OVD, mm

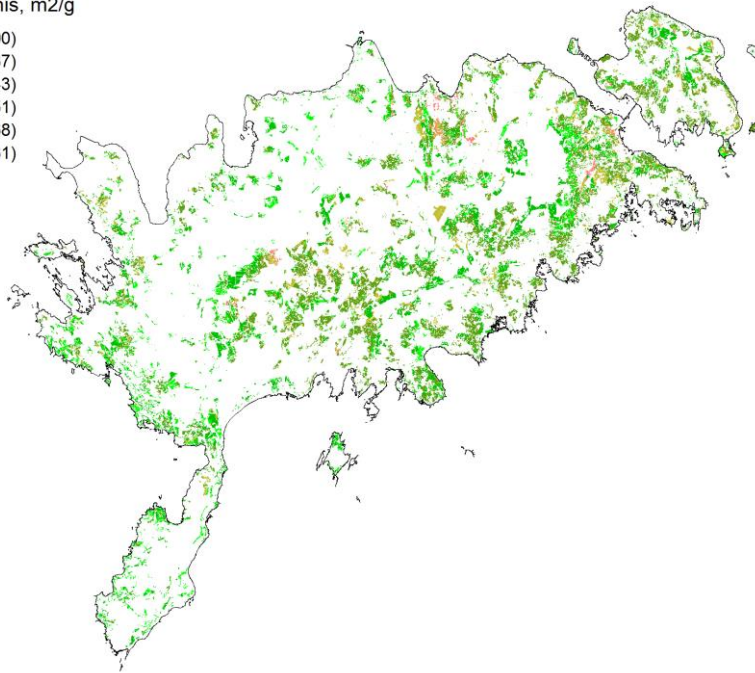
- < 100 (566)
- 100 - 200 (35918)
- 200 - 300 (20361)
- 300 - 500 (1864)
- > 500 (5424)



Joonis 3.7. Modelleeritud omastatava vee diapsoon Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

Eripind huumuskihis, m²/g

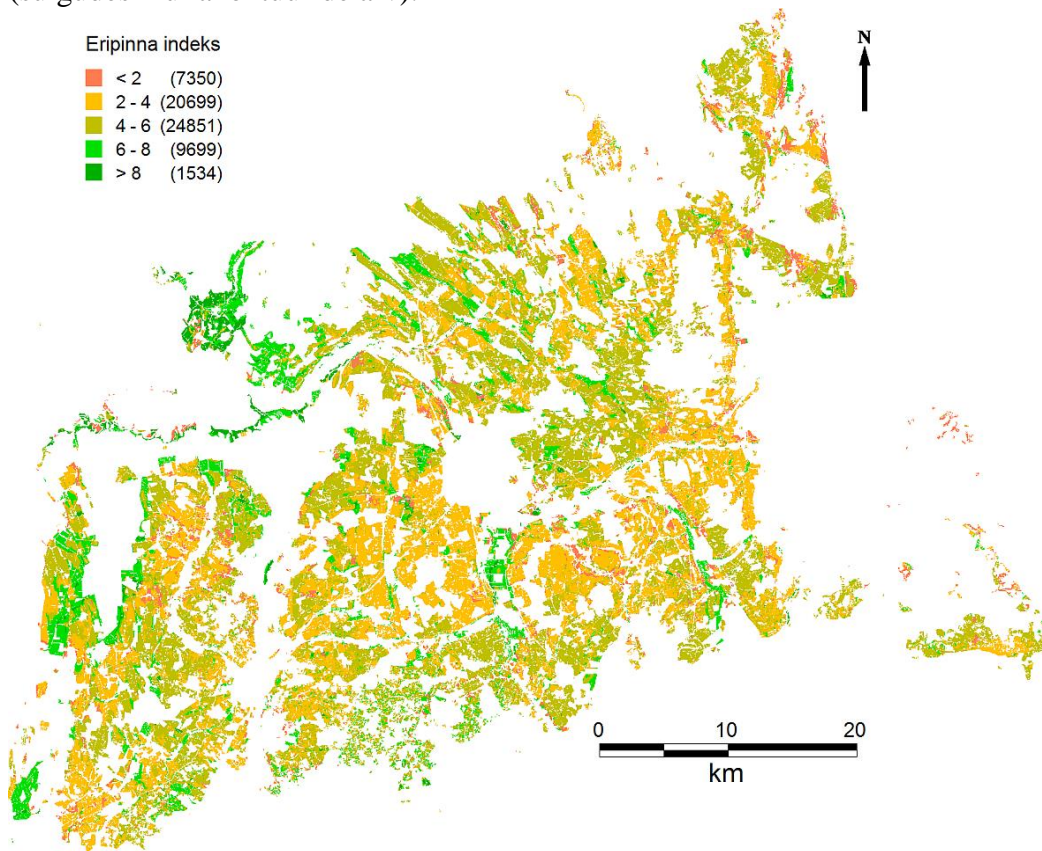
- 110 to 136 (400)
- 90 to 110 (537)
- 70 to 90 (2543)
- 50 to 70 (16151)
- 30 to 50 (11368)
- 13 to 30 (8131)



Joonis 3.8. Eripind (m²/g) Saare maakonna põllumuldade minreaalmuldade huumuskihis (sulgudes mullakontuuride arv).

Eripinna indeks

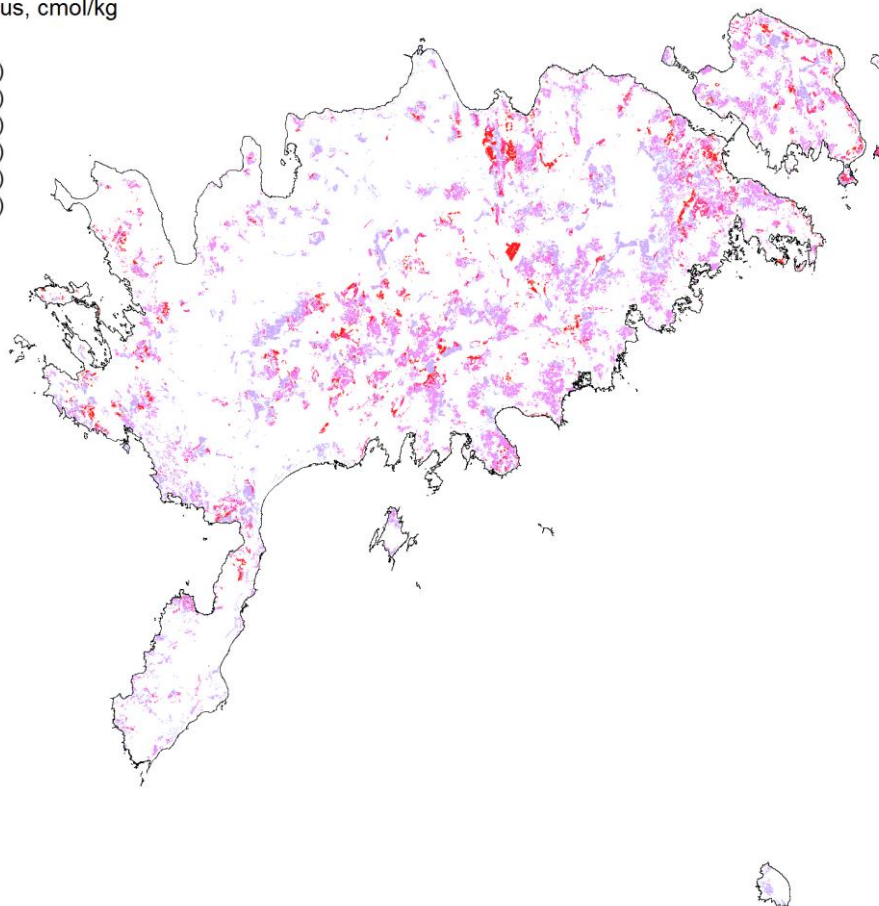
- < 2 (7350)
- 2-4 (20699)
- 4-6 (24851)
- 6-8 (9699)
- > 8 (1534)



Joonis 3.9. Modelleeritud eripinna indeks Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

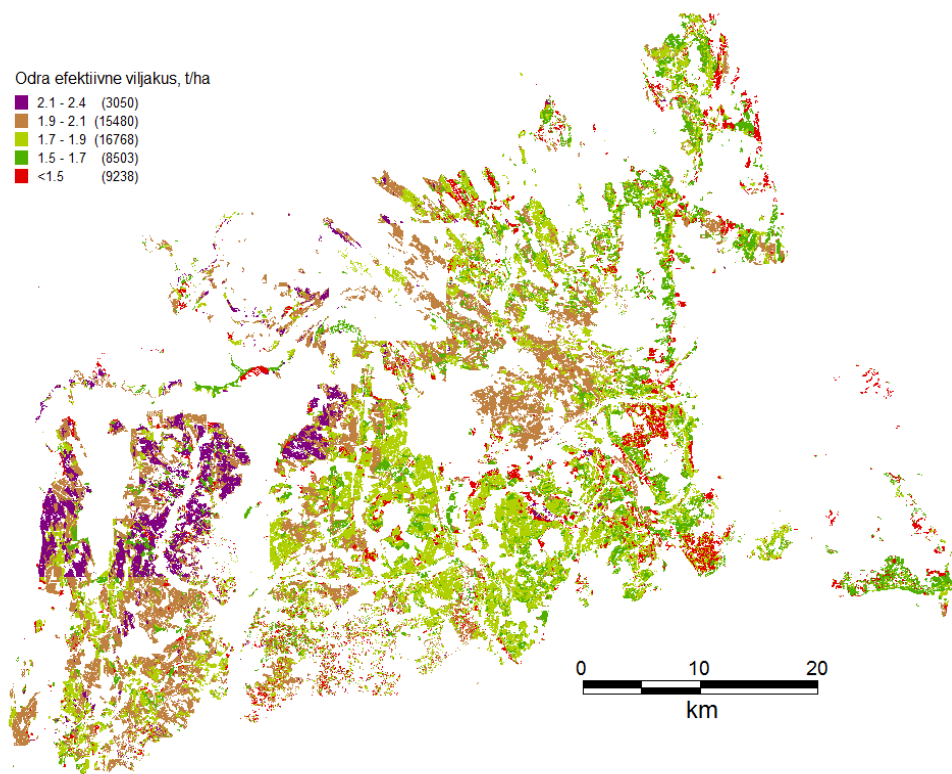
Neelamismahutavus, cmol/kg
mineraalmullad

■	>18	(3268)
■	16...18	(3001)
■	14...16	(2604)
■	12...14	(16321)
■	10...12	(9077)
■	7,3...10	(4859)

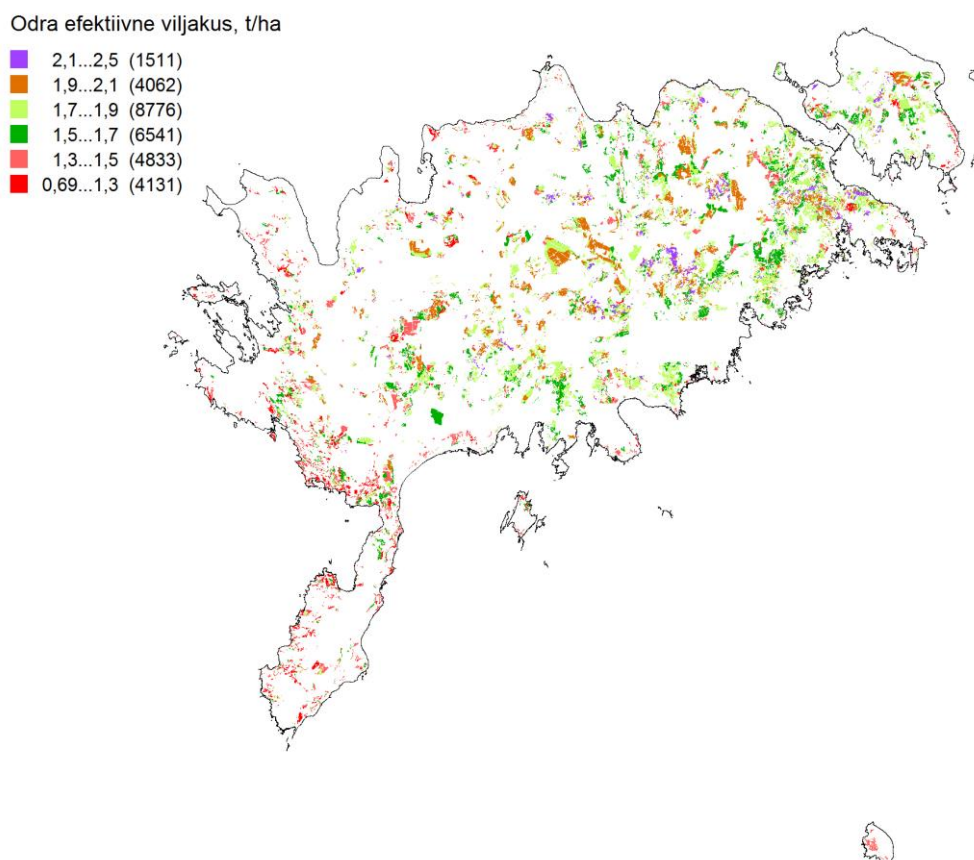


Joonis 3.10. Neelamismahutavus (cmol/kg) Saare maakonna mineraalsete põllumuldade huumuskihis (sulgudes mullakontuuride arv).

Mulla boniteedist lähtuvalt on võimalik leida efektiivset viljakust, mida väljendatakse mulla arvelt, st väetise kasutamata saadava saagikusena. Joonisel 3.11 on esitletud teemakaart odra efektiivsest viljakusest Tartumaa näitel. Valdaval osal Tartu maakonna põllumajandusmaal jääb ilma väetamata odra saagikus alla 2 t/ha. Saare maakonnas jääb valdaval osal põllumajandusmaast efektiivne mullaviljakus odra saagis väljendutuna vahemikku 1,3–1,9 t/ha. Boniteedist sõltuvate saagimudelite rakendamist pärsib asjaolu, et mullastikukaardi andmebaasis pole kõik põllumuldade kirjed boniteediga väärtustatud (vt arutelu 1. ptk-s). Boniteet väljendab mulla ja maa kvaliteeti eelkõige viljakuse ja põllumajanduse tootlikkuse aspektist. Maa boniteedi määramine tugineb tootmis- ja katseandmete põhjal välja töötatud hindamistabelitel, kust leitakse esmalt alghindepunkt, mis sõltub enamike muldade puhul liigist, lõimisest, huumushorisoni tusedusest ja huumusesisaldusest. Eesti suuremõtkavalise digiteeritud mullastikukaardi andmebaasis on kajastatud põllumuldade perspektiivboniteet, mis näitab mulla viljakuse suhtelist taset pärast vajalike maaparandustööde läbiviimist. See fikseeritakse ainult nendel maadel, mis vajavad kuivendamist, lupjamist või kivikoristust. Automorfsetel kivikoristus- ja lupjamisvajaduseta muldadel langeb see üldiselt kokku olemasoleva seisundi hindepunktiga. Liigniisketil muldadel on vaja korrigeerida hindepunkti vastavalt kuivendusseisundile ning see eeldab regulaarset välitöödel maa hindamist, et tagada andmete ajakohasus.



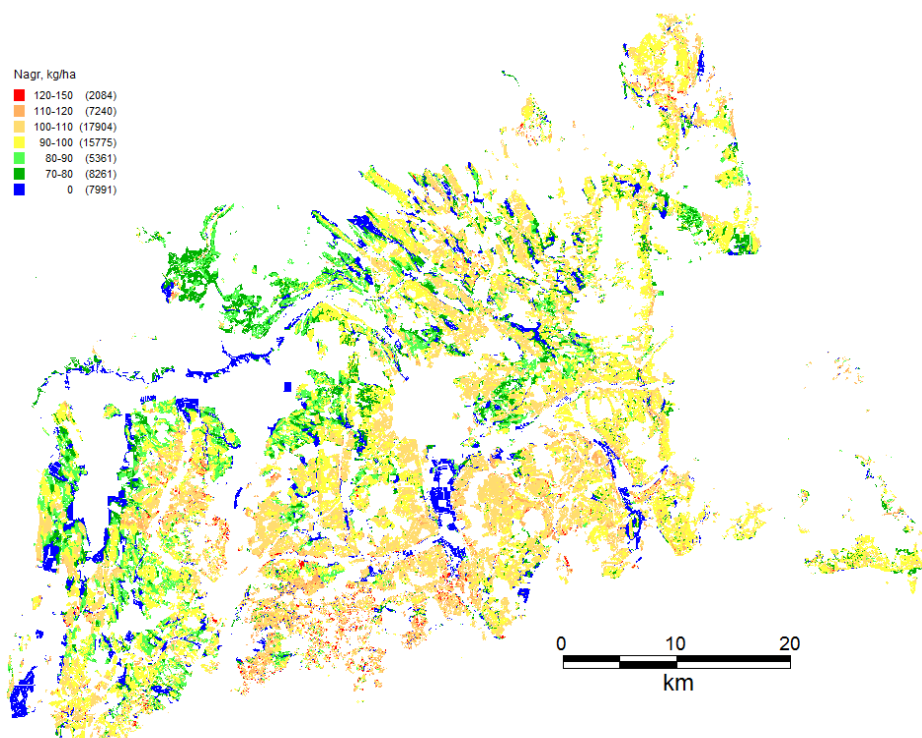
Joonis 3.11. Odra efektiivne viljakus (t/ha) Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)



Joonis 3.11. Odra efektiivne viljakus (t/ha) Saare maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

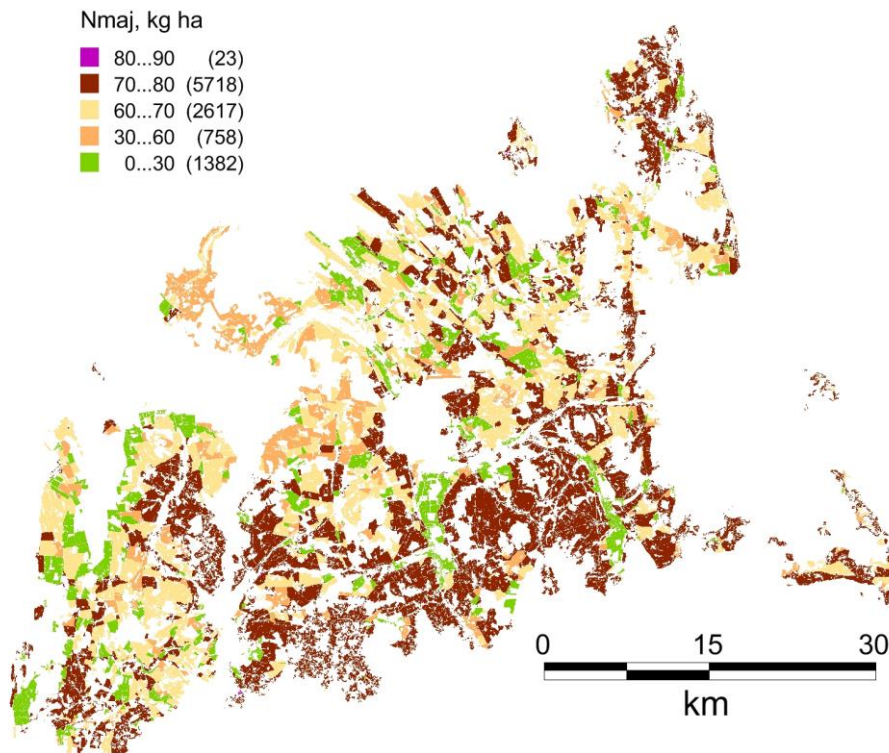
Põllukultuuride saagikus sõltub lisaks mulla omadustele suures ulatuses väetamisest. Väetiste efektiivsus ja agronoomiliselt efektiivne väetisnorm, mis tagab suurima saagikuse, sõltub kasvatatavast kultuurist, sordist, kasvuaasta ilmast, eelviljast, rakendatud agrotehnoloogiast ja mullast. Mida toitainetevaesem on muld, seda suurem on mulla väetistarve ja seda enam tuleb mulda viia väetistega toitaineid, et tagada planeeritav saagi tase. Väetise efektiivsus on seda suurem, mida väiksem on mullas vastava toiteelemendi sisaldus. Lämmastikväetiste efektiivsus ja tarve on suurem huumusvaestel muldadel. Joonisel 3.12 on toodud Tartu maakonna näitel asukohapõhised soovitusel odra väetamiseks mineraalse lämmastikuga. Soovituslik väetisnorm on leitud vastavalt mulla huumusesisaldusele.

Tänapäeval, turumajanduse tingimustes, ei ole ettevõttes majanduslikult otstarbekas lähtuda kultuuride väetamisel agronoomiliselt efektiivsetest väetiskogustest, sest teatud väetiskogusest alates on väetise arvel saadav täiendav tulu väiksem väetamisega tehtud kulutustest. Seega majanduslikult põhjendatud on see väetiskogus, mis tagab maksimaalse kasumi, seda nimetatakse ka majanduslikult efektiivseks väetiskoguseks. Võttes aluseks praegu kehtivad väetise ja söödaodra hinnad, kus vilja hind on 160 eur/t, lämmastikväetise ja selle muldaviimise kulu on 0,85 eur/kg N ning enamsaagi koristamise kulu oleks näiteks 22 eur/t, siis Tartu maakonna põllumuldade kohta tehtud analüüs näitab, et 9,9% põllumaast, mis paiknevad turvasmuldadel, ei ole lämmastikväetiste kasutamine majanduslikult tulus (joonis 3.13). Praeguste hindade juures on majanduslikult efektiivne lämmastikväetisnorm 35,7% põllumaast 71–75 kg N/ha ja 21,5% põllumaast 66–70 kg N/ha. Kui mulla huumusesisaldus on 2%, siis taolisel mullal on agronoomiliselt efektiivne lämmastikväetisnorm 99 kg N/ha ja sellest kõrgema huumusesisalduse korral väheneb see kogus 7,2 kg N võrra iga huumuseprotsendi kohta. Majanduslikult efektiivne lämmastikväetisnorm on samal mullal praeguste hindade juures 73 kg N/ha ja see väheneb kõrgema huumusesisalduse korral 9,6 kg N võrra iga huumuseprotsendi kohta.



Joonis 3.12. Agronoomiliselt efektiivne mineraalse lämmastiku väetiskogus odrale Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

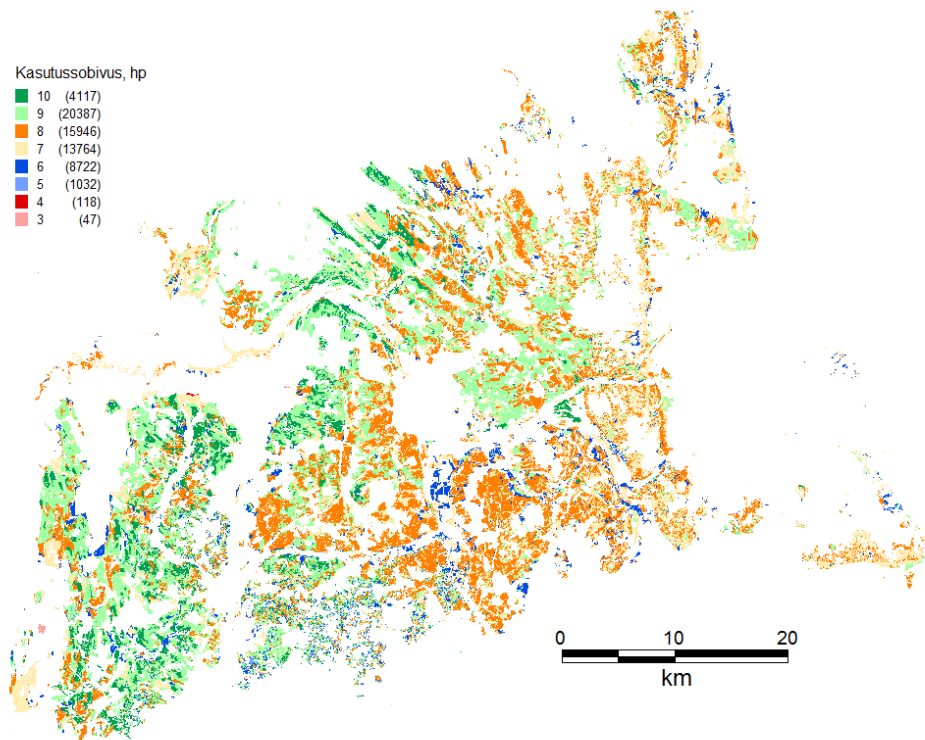
Sõltuvalt hinnatasemest jäävad majanduslikult efektiivsed väetisnormid tavaliselt 10–30% väiksemaks kui see on vajalik maksimaalse saagi saamiseks. Kõige suuremat mõju väetamise tasuvusele avaldab väetise hinna ja saagi kokkuostuhinna suhte muutus. Mida odavam on väetis ja mida paremat hinda saab toodangu eest, seda suuremaks kujunevad väetamise tasuvus ning soovituslikud väetisnormid. Väljatöötatud väetissoovituste optimeerimise meetodikat on võimalik laiendada ka teistele toitelementidele ning kultuuridele.



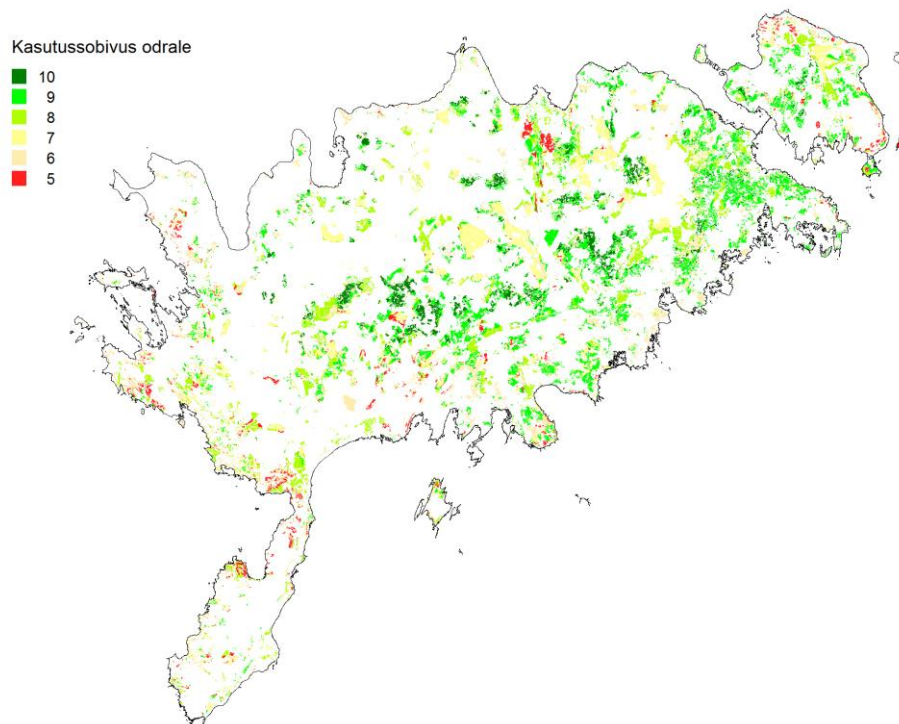
Joonis 3.13. Majanduslikult efektiivne mineraalse lämmastiku väetiskogus odrale Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes põllumassiivide arv)

Kultuurtaimede bioloogilistest iseärasustest tulenevalt on nende nõuded mulla omaduste suhtes on küllalt erinevad. Ühe kultuuri jaoks viljakas muld ei pruugi olla seda teise jaoks. Mulla boniteet iseloomustab hästi mulla viljakuse suhtelist taset, ent ei arvesta kultuuride erisusi. Enamlevinud kultuurtaimedele on katse- ja tootmisandmete alusel välja töötatud kasutussobivuse hindepunktid mullaerimite (mulla liigid jaotatud lõimise alusel) kaupa (Kõlli 1994). Liigniiskete muldade sobivuse hindamisel arvestatakse lisaks kuivendusastet. Kasutussobivuse hindepunkte väljendatakse põllukultuuridele enamasti skaalal 0...10, kus kõrgeim punkt näitab mullaerimi parimat sobivust, või siis heintaimedele kolmeastmelisel skaalal (halb, rahuldav, hea). Olemasolevate kasutussobivustabelite alusel koostati mullaerimi tasemel vastavused mullakaardi andmebaasi kirjetega. Nii sai igale kaardil paiknevale mullakontuurile omistatud enamlevinud põllukultuuride kasutussobivuse hindepunktid. Joonisel 3.14 on koostatud Tartu maakonna põllumaade näitel odra kasutussobivuse teemakaart. Selline lähenemine võimaldab asukohapõhiselt väärtustada olemasolevat mullakaarti rakenduslike soovitustena. Näitlikustamiseks on toodud Saare maakonna kohta teemakaardid odra, rukki ja põldheina kasutussobivusest (joonis 3.15–3.17). Töö käigus ilmsel ka mitmeid kitsaskohti – olemasolevates kasutussobivuste tabelites ei ole kõik huvipakkuvad mulla liigi, lõimise ja korese kombinatsioonid esindatud ning mitmete tänapäeval oluliste kultuuride (nt raps, mais) kohta väärtused puuduvad. Lisaks tuleb

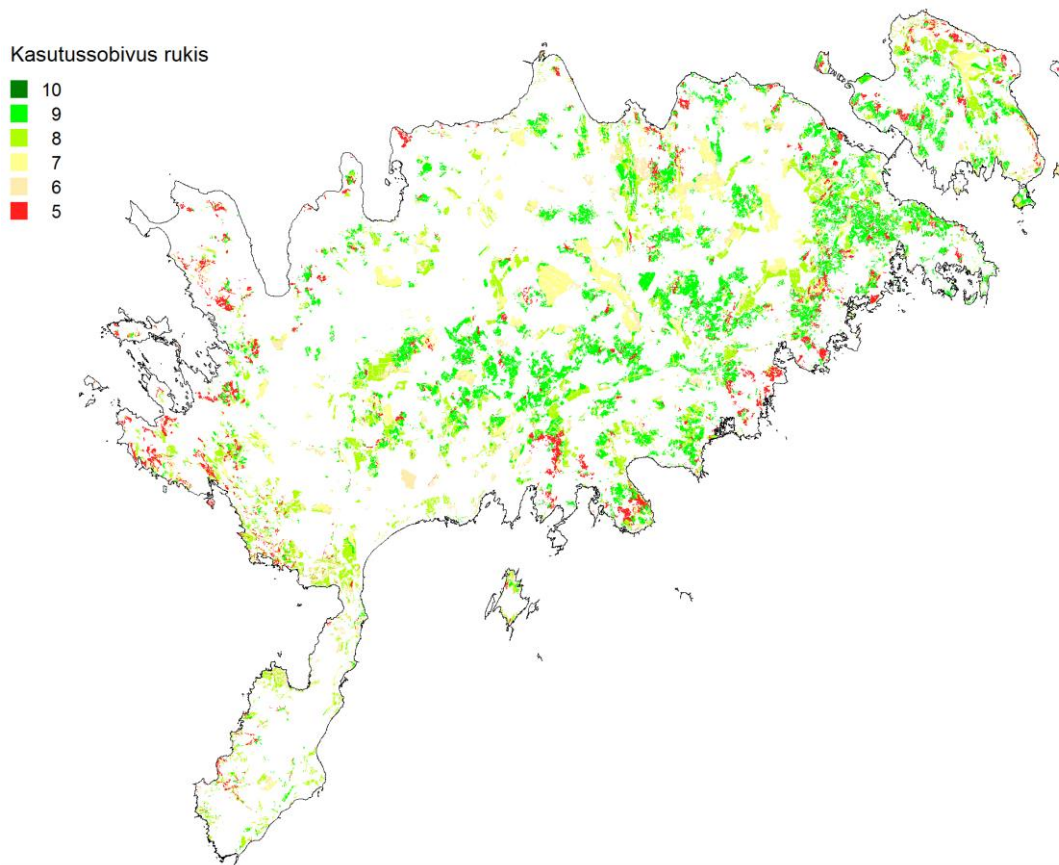
arvestada, et kasutussobivuse hindepunktid on välja töötatud peamiselt 1970–1980ndatel ning vajadus on nende hinnangute kohandamiseks ja valideerimiseks tänapäevastes tootmistingimustes.



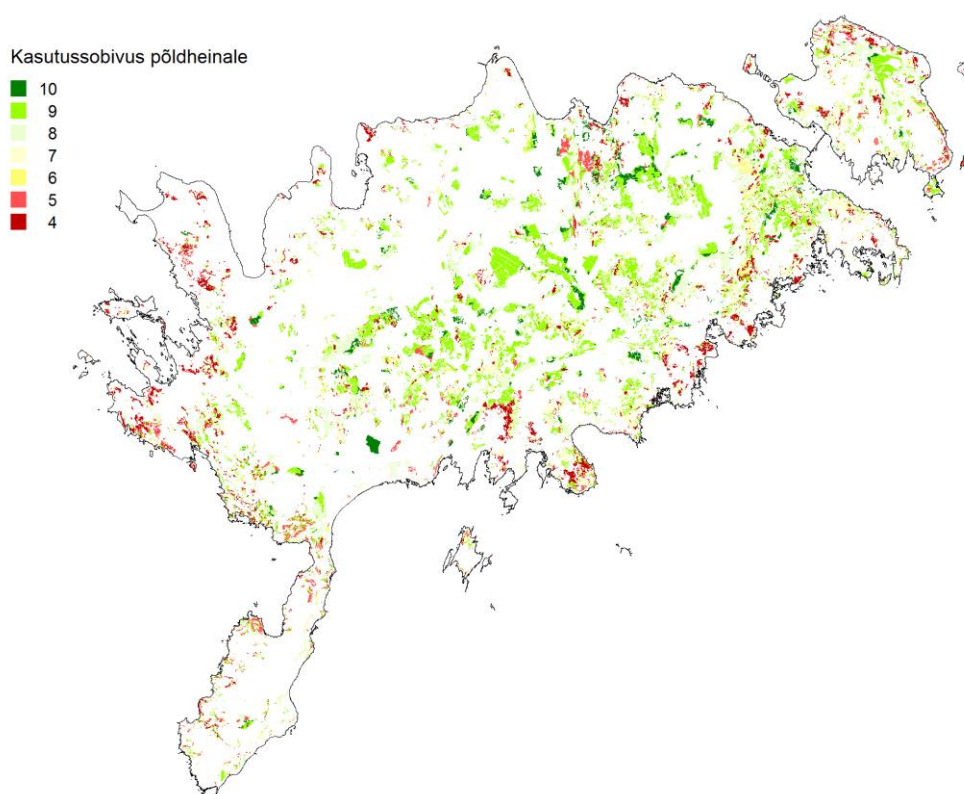
Joonis 3.14. Kasutussobivuse hindepunktid odrale Tartu maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)



Joonis 3.15. Kasutussobivuse hindepunktid odrale Saare maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

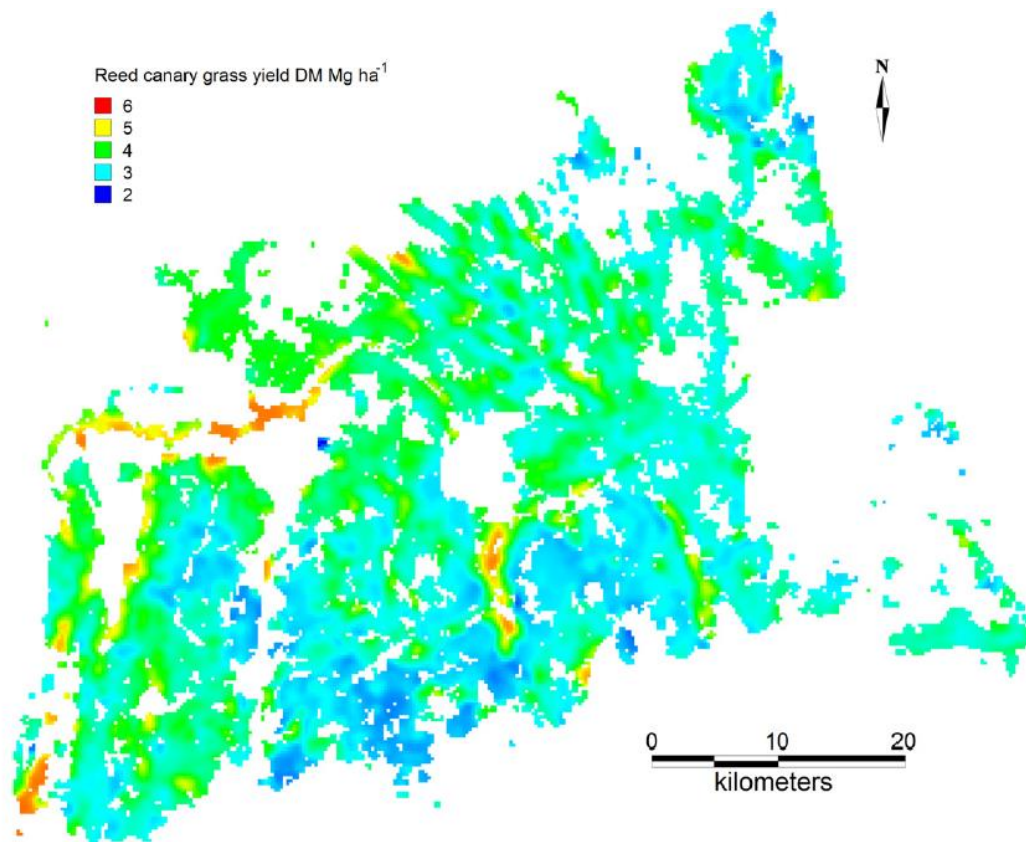


Joonis 3.16. Kasutussobivuse hindepunktid rukkile Saare maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)



Joonis 3.17. Kasutussobivuse hindepunktid põldheinale Saare maakonna põllumajandusmaal (sulgudes mullakontuuride arv)

Päideroo saagipotentsiaali hindamiseks koostasime saagimudeli (Kukk jt 2011), mida rakendasime Eesti suuremõtkavalisel digitaalsel mullastikukaardil (Kukk jt 2013). Saagimudeli koostamiseks kasutati varasemaid päideroo katseandmeid. Koostatud mudel võimaldab hinnata päideroo saagikuse asukohapõhist varieerumist sõltuvalt mulla üldlämmastiku sisaldusest arvestades aasta mõju. Kuna Eesti suuremõtkavaline mullastikukaart ei sisalda informatsiooni mulla lämmastikusisalduse kohta, kasutasime esmalt selle leidmiseks mulla seosefunktsiooni lämmastiku ja huumusesisalduse vahel. Väetamata mullal varieerub päideroo saagikus sõltuvalt mulla lämmastikuga varustatusest ja aastast vahemikus 0,9–6,9 t/ha. Lämmastikuvaesel mineraalmullal võib saagikus jääda alla 1 t/ha, soodsatel aastatel küündida üle 3 t/ha. Turvastunud ja madaloo turvasmuldadel on päideroo saagikus 4–7 t/ha. Päideroo potentsiaalne aastate keskmine (tõenäosus 50%) saagikus sõltuvalt mulla üldlämmastiku sisaldusest Tartumaa põllumajandusmaadel on esitatud teemakaartidena joonisel 3.18. Umbes 81% Tartu põllumajandusmaadest tagab väetamata mulla potentsiaalse keskmise kuivaine saagikuse alla 4 t/ha.



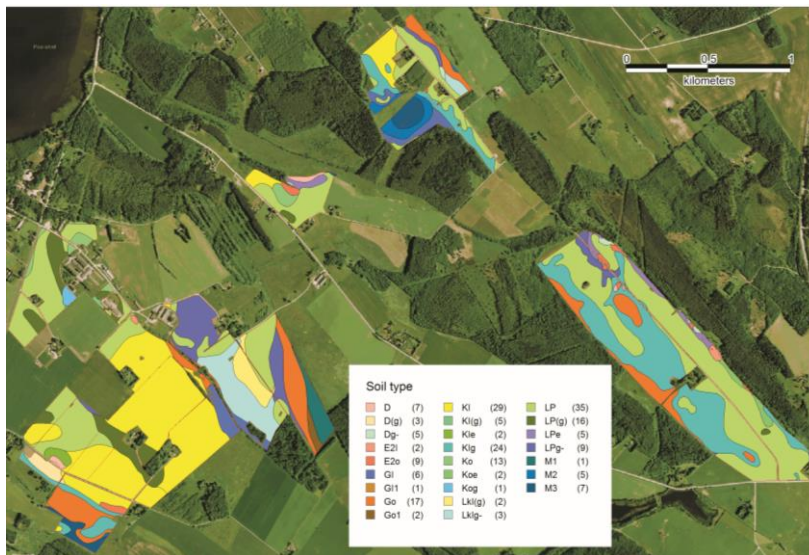
Joonis 3.18. Modelleeritud väetamata päideroo kuivaine saagikus (t/ha) Tartu maakonna põllumajandusmaadel paljude aastate keskmisena (tõenäosus 50%)

Mullastikukaardi rakendused piloottalu näitel

Arendatavate mudelite näitlikustamiseks ja mullastikukaardi rakendatavuse hindamiseks oli projektis kavandatud koostöö teravilja- ja rapsikasvatusele orienteeritud tootjatega. Piisava andmestiku saame projekti raames koostada ühe Tartumaal paikneva teravilja ja rapsikasvatusele spetsialiseerunud põllumajandustootja kohta (edaspidi piloottalu). Ettevõtete põlluraamatu andmete kogumine ja kandmine analüüsi võimaldavasse andmebaasi on kujunes

planeeritust tömahukamaks ja raskemaks. Kuigi algselt oli plaanis rohkemate piloottalude kaasamine, siis eelnevalt suulise kokkulepe alusel oma põlluraamatuid kasutada lubanud tootjatelt ei õnnestunud kahjuks analüüsiks piisavalt andmeid kätte saada. Kõige suuremaks kitsaskohaks on põllupõhiste saagikusandmete puudumine.

Koostasime piloottalu kohta põllupõhise andmebaasi kuhu koondasime nelja aasta (2010–2013) andmed rakendatud agrotehnikast (mullaharimine, väetamine, taimekaitse jne), digiteerisime külvikorraväljade piirid, teostasime päringud mullakaardilt. Väljavõtte mullakaardil kajastatud mulla liikidest on esitatud joonisel 3.19 ja mulla lõimistest joonisel 3.20. See ilmestab väga ilmekalt, et isegi ühe tootja lähestikku asuvatel põldudel võib mullastik suurtes piirides erineda. Valitud põldudelt transekt-meetodil võetud täiendavad mullaproovid näitasid, et mulla omaduste ja väetistarbe ruumiline varieeruvus võib põllu siseselt veelgi suuremal määral erineda kui seda mullakaardi põhjal võiks eeldada. Mulla Corg sisaldus (Dumas meetod) varieerus sõltuvalt põllust vahemikus 0,9–2,3% (keskmine 1,53%) ja 1,2–2,4% (1,51%).

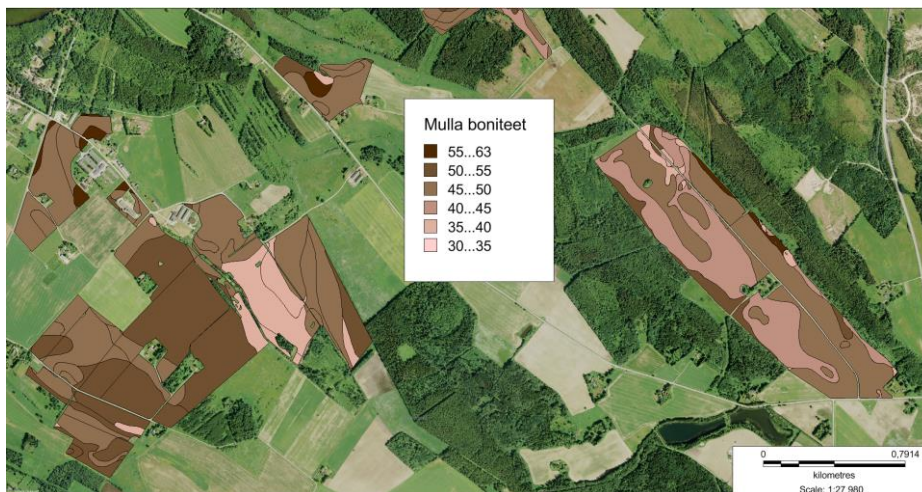


Joonis 3.19. Piloottalude valitud põldude kaart ja sellega ühildatud mullastikukaart (*soil type* – muldade liigiline jaotus)

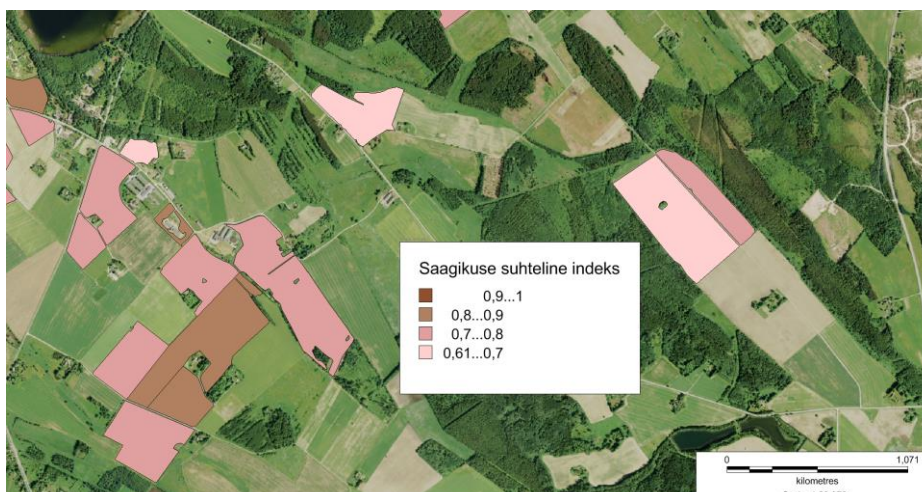


Joonis 3.20. Piloottalu valitud põldude kaart ja sellega ühildatud mullastikukaardilt humuskihi lõimis.

Kogutud andmestiku alusel ei ilmnenud statistiliselt usutavaid seoseid mullaviljakust iseloomustavate näitajate (nt boniteet) ja saagikuse vahel. Piloottalus oli 2010–2013 keskmisena järgmised saagikused: oder 3,8 t/ha, kaer 2,48 t/ha, suvinisu 3,68 t/ha, talinisu 4,5 t/ha, rukis 4,4 t/ha, suviraps 2,2 t/ha, taliraps 1,59 t/ha. Joonisel 3.21 on toodud väljavõte boniteedist ja joonisel 3.22 põldude keskmisest saagikuse indeksist. Saagikuse indeksi leidsime igale aastale ühe kultuuri erinevatel põldudel saadud saagikuse suhte (st konkreetsel aastal sai suurima saagikusega põld indeksi väärtuseks 1 ja teistele sama kultuuriga põldudel leiti sellest lähtuvalt suhtarv). Selline lähenemine võimaldas järjestada põlde talu parima saagitaseme suhtes. Kogunenud nelja aasta andmestik polnud veel siiski piisav mulla näitajatega usaldusväärsete seoste tuvastamiseks. Odra kohta oli analüüsiks 33 kasutada andmepunkti (st unikaalset põllu omaduste ja konkreetse aasta saagikuse kombinatsiooni), suvirapsil 27, suvinisul 25 ja talinisel 23 andmepunkti. Enamikel juhtudel on olemas iga põllu ja kultuuri vastuses ainult 1–2 aasta andmestik. Seega on vajalik usaldusväärsemaks analüüsiks andmete kogumist jätkata ning võimalusel laiendada tootjate valimit Eesti teistes mullastik-kliimaatilistes piirkondades.



Joonis 3.21. Piloottalu valitud põldude boniteet.



Joonis 3.22. Piloottalu valitud põldude suhteline saagikuse indeks.

4. Väetistarbe määramise täiendamine

Valli Loide – Põllumajandusuuringute Keskus, Eesti Taimakasvatuse Instituut

Antud uurimistöo eesmärgiks oli 1) seoses praktilises töökäigus ilmnenud probleemidega korrigeerida P-tarbe hindamise parameetreid; 2) juurutada elektroonilise lubjatarbekaardi koostamine; ja 3) hinnata mikroelemendi tsingitarvet vabariigi põllumuldades Mehlich 3 väljatõmbest ja koostada gradatsioon hindamiseks.

Metoodika. Uuringus kasutati erinevaid muldi, mis olid kogutud üle vabariigi. Mehlich 3 väljatõmbest määratud P-tulemuste interpreteerimiseks määrati samast väljatõmbest lisaks pH ja Ca sisaldusele täiendavalt erinevate muldade Al- ja Fe-sisaldus ning DL P-sisaldus. Täiendavalt määrati osadest muldadest nende lõimise fraktsiooniline koostis. Mulla pH muutuse mõju P-sisaldusele selgitamiseks lubjatud mullal kasutati lupjamiskatse muldi (4 varianti, 4 kordust).

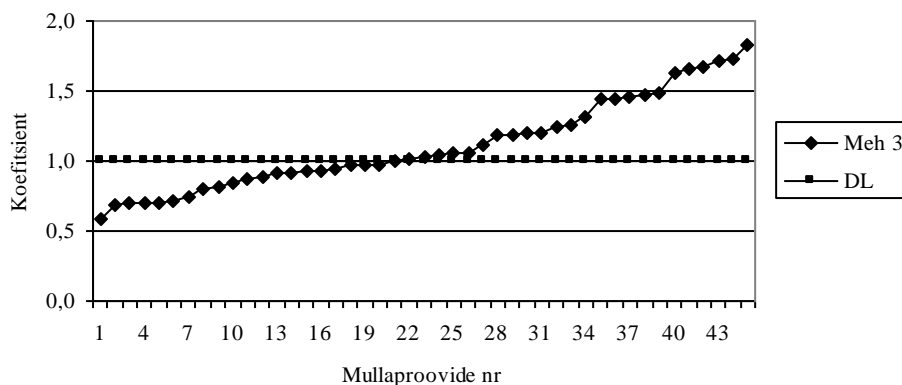
P-tarbe gradatsiooni korrigeerimine

Väetistarbe määramise üleminekul DL-lt Mehlich 3 väljatõmbele 1. etapil otsustati esialgselt eristada P-sisalduste hindamisel muldi huumusesisalduse, mitte pH järgi, mis tundus saadud andmete põhjal loogilisem. Erisuse hindamine mulla reaktsiooni põhjal langes ära põhjusel, et muldade lupjamisega pH muutub, huumusesisaldus aga mitte. Huumuse e C_{org} määramine kavandati NIRSil, kuid see ei sobinud siiski mineraalmuldadele ega kasutamiseks P-sisalduste hindamisel. NIRSiga mõõdetud C_{org} tulemuste põhjal osutusid mullad võrreldes varasemaga rohkem kui >1 huumuseprotsendi võrra huumuserikkamaiks, mille tulemusel hinnati ka vastava kriteeriumi põhjal P-tase tegelikkusest kõrgemaks. Täiendaval uuringul selgus ka, et Mehlich 3 P-sisalduse tulemused (joonis 4.1) võrreldes DL-ga avalduvad kahesuunaliselt, mida esialgselt peeti ekslikult laboriveaks.

Muldade grupis koefitsiendiga ≤ 1 , kus Meh 3 tulemused olid võrreldes DL-tulemustega väiksemad, oli mullade pH 6,2–7,4. Teises muldade grupis koefitsiendiga ≥ 1 , kus Meh 3 tulemused olid võrreldes DL-tulemustega suuremad, oli muldade pH 4,7–7,5.

Uuringus Al, Fe ja Ca mõjust P-tulemustele erinevates väljatõmmetes (n=123) ilmnes, et Al- ja Fe-sisaldus avaldus positiivses ning Ca-sisaldus negatiivses korrelatsioonis P-Me3-sisaldusega. P-DL sisalduste seosed Al, Fe ja Ca avaldusid aga vastupidiselt P-Meh3 tulemustele (r vastavalt 0,707**, 0,293**, -0,594** ja -0,206*, -0,207*, 0,254**). Kuna muldade Al, Fe ja Ca-sisaldus oli muldades väga varieeruv ja fosfori sidumisvõime Al, Fe ning Ca-ga erinev – Al ja Fe-ga nõrgem, Ca-ga tugevam (Johansson 1997), siis see annab ka seletuse P-Me3 ja P-DL tulemuste varieeruvusele.

Lupjamiskatse mullaproovide tulemustest selgus (tabel 4.1), et lupjamise mõjul vähenes liikuva Al ja Fe sisaldus ja suurenesid Ca-sisaldus ning mõlemad P-sisaldused. Seega leidis kinnitust väide, et pH jt lupjamisega seoses muutuvad näitajad liikuva P sisalduse hindamiseks ei sobi. Ka ilmnes, et erinevast väljatõmbest määratud P-sisalduse muutuse ulatus oli erinev: Meh 3 P-sisaldus muutus lupjamise mõjul 3,7%, DL puhul aga 20%.



Joonis 4.1. Mehlich 3 väljatõmbes määratud P-tulemuste erinevus (koef) erinevates muldades võrreldes DL-väljatõmbest määratutega.

Tabel 4.1. Lupjamise mõju mulla agrokeemilistele näitajatele (mg kg^{-1})

Var. nr	pH	Al	Fe	Ca	P Meh 3	P DL
1	4,7	1516	344	826	135	35
2	5,1	1385	334	1059	139	41
3	5,8	1384	317	1581	139	42
4	5,8	1390	317	1548	140	42
PD 95%	0,87	103,2	21,2	591,5	3,5	5,4

Valdav osa kõrgema Meh 3 P-sisaldusega mullad asuvad Lõuna- ja Edela-Eestis, kus mullas happelised ja ka lupjamisvajadus suurem. P-väetiste kasutamine happelistel muldadel on aga ebamajanduslik, sest P seotuna Al ja Fe-fosfaatidena on taimedele suure osas kättesaamatu. Seetõttu ei ole ka otstarbekas niisugustele muldadele kavandada P-väetiste kasutamist, mida gradatsiooni korrigeerimisel silmas peeti.

Lõimise fraktsioonide analüüsitulemustest ilmnes, et P-tulemused korreleerusid lõimise fraktsiooniga sel juhul, kui mullal oli usutav korrelatsioon Al-, Fe-, Ca-sisaldustega. Enim esines seoseid lõimise fraktsioonil 0,063–0,01 mm. Uuritud muldade valim (36 proovi) oli antud uuringus suhteliselt väike (36), mille põhjal P-sisaldust lõimisega seostada ei saa tulemuste suure varieeruvuse tõttu.

Seega jättes ära P-sisalduse hindamisel muldade eristuse huumusesisalduse järgi ja võttes arvesse, et Meh 3 ja DL väljatõmme käitub Al- ja Fe- ning Ca-rikaste muldade puhul vastupidiselt: DL väljatõmme annab kaltsiumirikas lahuses kõrgema P-tulemuse Meh 3st ja Al ning Fe-rikas lahuses annab DL väiksema tulemuse Meh 3st, siis tuli muuta gradatsiooni piirväärtusi ja lihtsuse mõttes koostada endise kahe gradatsiooni asemele üks gradatsioon. Sisseeviidud muutused gradatsioonis on näha alljärgnevas. Võrdluseks on toodud ka sama meetodit kasutatavate maade P-gradatsioonid (Fotyma jt 2008). Nii nagu Eesti DL gradatsioon on võrreldes näiteks Saksamaaga madalam, nii on ka Eesti Meh 3 gradatsioon madalam teistest omasugustest, mis on tingitud meie mullastik-kliimatilistest tingimustest ja keskkonnakaitselisest aspektist ja neis tingimustes ei ole kõrgemad sisaldused põhjendatud (dr. H. Kärblase kommentaar, 2003).

2004.a. Meh 3 P-gradatsioon, mg kg⁻¹

	<u>Corg <1,5%</u>	<u>Corg 1,5–9%</u>
Väga suur	<15	<10
Suur	15–40	10–25
Keskmine	41–95	26–60
Väike	96–205	61–125
Väga väike	>205	>125

2013.a. Meh 3 P-gradatsioon

Väga suur	<20
Suur	20–45
Keskmine	46–90
Väike	91–145
Väga väike	>145

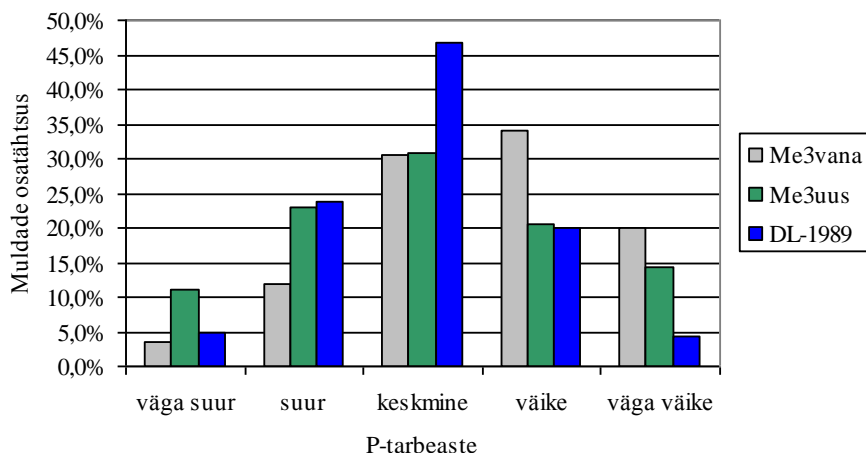
Meh 3-P-gradatsioonid teistest riikidest

	<u>Tšehhi</u>	<u>Slovakkia</u>
Väga suur	<50	<50 - keskmine lõimis
Suur	51–80	51–85
Keskmine	81–115	86–125
Väike	116–185	126–165
Väga väike	>185	>165; (kerge >200; raske >135)

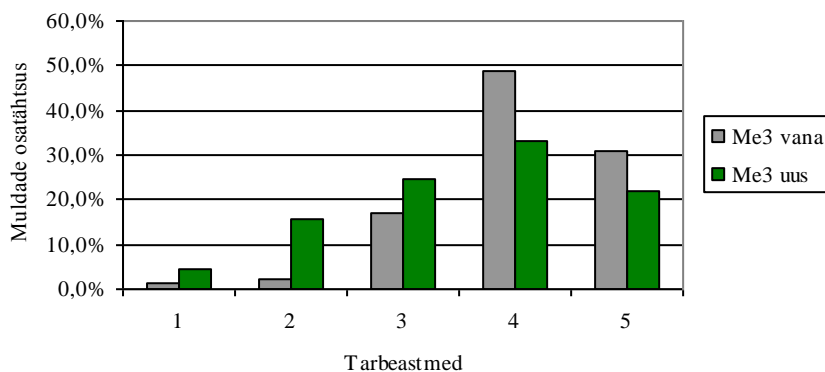
DL P-gradatsioon erinevates riikides, mg kg⁻¹

	<u>Eesti</u>	<u>Saksamaa</u>	<u>Poola</u>	<u>Läti</u>
Väga suur	<7	<31	<20	<10
Suur	7–19	32–55	23–44	11–35
Keskmine	20–48	56–80	45–65	22–70
Väike	49–105	81–120	66–88	61–117
Väga väike	>105	>120	>88	>117

Korrigeeritud gradatsiooniga vabariigi põllumuldade P-tarve võrdlus varem kehtinud gradatsioonidega on toodud joonisel 4.2. Lisaks joonisel 4.3 näeme Põlvamaa P-tarvet muudetud gradatsiooni järgi.



Joonis 4.2. Eesti põllumuldade P-tarve eelmise ja uue gradatsiooni järgi 2010.a. võetud 27 tuh mullaproovi alusel.



Joonis 4.3. Põlvamaa P-tarve eelmise ja uue gradatsiooni järgi (1900 mullaproovi).

Põlvamaa mullad vajavad enamuses lupjamist, mida teatud määral ka tehakse, siis taimede P-varustus sõltub paljugi liikuva kaltsiumi sisaldusest mullas.

Eeltoodu põhjal võib öelda, et liikuva P tulemused ja nende hindamine on seotud paljude teguritega, mis avalduvad erinevate väljatõmmete kasutamisel erinevalt. Liikuva P sisaldust mullas mõjutab suuresti peale mullaomaduste ja väetamise ka ilmastik, millest sõltub saagiga äraviidav toitainete kogus. Seega on hinnang toiteelemendi sisalduse kohta orientiiriks ja annab suunise saagiga eeldatavate toitelementide tagastamiseks ja keskmise taseme säilitamiseks vastavate paranduskoefitsientide kasutamisel. Kuigi gradatsiooni piirid on seatud nii, et võimalikult palju muldi kattuks DL-gradatsiooniga, on aga paratamatult paljude erinevate omadustega muldade hulgas teatud osa muldi, mis oma omaduste poolest ei mahu antud raamidesse. Kuna seni ei ole kõigile muldade sobivat meetodit leitud, siis kerkib iga meetodi võrdlusel teisega üles küsimusi, mille lahendamiseks tuleb leida ka kompromisse.

Põhjalikke uuringuid erinevate väljatõmbelohuste toime kohta liikuva fosfori sisalduse hindamisel on teinud mitmed uurijad. Matula (1999) hinnangul korreleerus võrreldes Mehlich 2, Mehlich 3, CaCl_2 -väljatõmbe, mullalahuse, elektroultrafiltratsiooni ja UNIBEST meetodiga taimede fosforisisaldus kõige paremini vesileotisest määratud fosforisisaldusega. Tšehhimaal Zbírali (2001) juhtimisel leiti Mehlich 3 ja Egnér-Riehm (DL) väljatõmbest määratud tulemuste võrdlusel, et Mehlich 3 ekstraktatsioonil vabaneb fosfor paremini. Eriti suur erinevus avaldus karbonaatmuldadel ja DL väljatõmme hinnati seepärast karbonaatmuldadele mittesobivaks.

Mikroelementide määramisest Mehlich 3 väljatõmbest

Mikroelementidest määratakse Mehlich 3 väljatõmbest praegu Cu ja Mn ning gradatsioonid korrigeerimist ei vaja. Tsingi kohta varasemate uuringute (Kalmet 1979) tulemused määrati 1N KCl väljatõmbest. KCl-väljatõmbest saadud tulemuste põhjal leiti, et mida happelisem muld seda suurem osa mulla üldisest tsingivarust on lahustunud 1N KCl-lahuses. Leeliselises mullas aga moodustuvad mittelahustuvad kaltsiumtsinkaate. Seetõttu on muldades, mille pH on >7, on väga vähe liikuvat Zn.

Käesolevas töös (tabel 4.3) määrati Mehlich 3 väljatõmbest esmakordselt Zn-sisaldust üle vabariigi paiknevatest erinevatest muldadest. Gradatsioon Zn-tarbe hindamiseks on kasutusele võetud Tšehhis väljatõttatud gradatsioon (Zbíral 2001), kus võeti juba varem kasutusele

Mehlich 3 väljatõmme. Nii nagu enamike mikroelementide puhul on ka Zn poolest mullad suhteliselt vaesed. Ainult maisipõldudelt kogutud mullaproovidest olid ilmselt tänu Zn-väetise kasutamisele 80% põldude varustus Zn-ga keskmine. Peale maisi, mis on eriti Zn-lembene, on mõnevõrra tundlikumad Zn-puuduse suhtes ka kartul, kaer ja liblikõielised.

Tabel 4.3. Ülevaade liikuva tsingi sisaldusest põllumuldades

<i>Uuritav ala</i>	Sisaldus, % - proovidest		
	madal	keskmine	kõrge
Mineraalmullad, n=87	53	38	9
Turvasmullad, n=20	20	30	50
Maisipõllud, n=19	16	80	5

Zn-tarbe gradatsioon Meh 3, mg kg⁻¹

Suur	<2,2
Keskmine	2,21–5,0
Väike	>5,0

Seega lisandus Mehlich 3 väljatõmbest määratavate mikroelementide Cu ja Mn kõrvale Zn, mille määramiseks varem kasutati KCl-väljatõmme, mida aga viimase aja praktikas ei kasutatud.

5. Elektroonilise lubjatarbekaardi koostamise juurutamine

Priit Penu, Tambet Kikas – Põllumajandusuuringute Keskus
Valli Loide – Põllumajandusuuringute Keskus, Eesti Taimekasvatuse Instituut

Eestis ei ole viimastel aastatel koostatud lubjatarbekaarte, mis baseeruksid mitmel olulisel näitajal, vaid on piiratud paraku lihtsustatud lubjatarbe määramisega. Selline lähenemine ei saa olla siiski optimaalse lubjatarbe selgitamise alus, vaid selleks tuleb kasutada Eestis juba ajalooliselt väljakujunenud lubjatarbe määramise meetodikat, mis baseerub mitme erineva mullaparameetri samaaegsel arvestamisel vastava algoritmi alusel. Lubjatarbe määramise tabel (tabel 5.1) on aluseks lubjatarbekaartidele lubjatarbe kandmiseks. Käesoleval aastal loodi vastav tarkvararakendus Mapinfo tarkvara baasil ja integreeriti vastav alamprogramm Mapinfo tarkvara menüüsse.

Lubjatarbe arvutamisel lähtutakse põllumuldade lubjatarbe määramise tabelist (tabel 5.1).

Tabel 1. Põllumuldade lubjatarbe määramine

Mullad	pH _{KCl}	CaCO ₃ t ha ⁻¹																												Värvile vastav aste ja t ha-le
		3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0*							
Parasniisked (E ₁ , E _{III} , Lk ₁ , LkII, LkIII, KI, K0)	<2,1/ <1,20	6,5	6,4	6,3	6,2	6,0	5,8	5,7	5,5	5,3	5,2	5,0	4,8	4,7	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8	3,7	3,5	3,3	3,2	0 1 3 4 5 6						
	2,1-3,0/ 1,21-1,70	7,0	7,0	6,9	6,8	6,6	6,4	6,3	6,1	6,0	5,8	5,6	5,5	5,3	5,1	5,0	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8							
	3,1-5,0/ 1,71-2,90	8,5	8,3	8,1	8,0	7,8	7,6	7,5	7,3	7,2	7,0	6,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,1	5,9	5,8	5,6	5,5	5,3	5,1							
Niisked (K _{1p} , K _{2p} , L _{1p} , Dg)	<2,1/ <1,20	8,0	7,9	7,8	7,5	7,2	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6	5,2	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,3	3,0	2,7	2,4	2,1	1,7	7 8 9 10						
	2,1-3,0/ 1,21-1,70	9,0	8,8	8,7	8,4	8,1	7,7	7,4	7,1	6,8	6,5	6,2	5,9	5,6	5,3	4,9	4,6	4,3	4,0	3,7	3,4	3,1	2,8							
	3,1-4,0/ 1,71-2,30	10,0	9,9	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9	7,6	7,2	6,9	6,7	6,3	6,0	5,7	5,6	5,1	4,8	4,5	4,2	3,9							
	4,1-5,0/ 2,31-2,90	11,0	10,8	10,5	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,4	8,1	7,8	7,5	7,2	6,9	6,6	6,3	6,0	5,7	5,4	5,1	4,8							
	5,1-6,0/ 1,91-3,50	11,5	11,4	11,3	11,0	10,7	10,5	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0	8,7	8,4	8,2	7,7	7,6	7,3	7,0	6,7	6,4	6,1	5,9							
Märjad (G ₀ , G ₁ , LG)	<3,1/ <1,71	12,5	12,5	12,4	11,9	11,5	11,0	10,5	10,0	9,5	9,1	8,6	8,2	7,7	7,2	6,8	6,3	5,8	5,3	4,9	4,4	4,0	3,5	11 12						
	3,1-9,0/ 1,72-5,25	12,5	12,5	12,4	12,0	11,6	11,2	10,7	10,3	9,9	9,5	9,1	8,6	8,2	7,8	7,4	7,0	6,5	6,1	5,7	5,3	4,9	4,5							
Turvasmullad, H ₂ O>5,3		12,0	11,3	10,3	9,4	8,6	7,9	7,2	6,7	6,2	5,5	5,0	4,6	4,1	3,6	3,2	2,9	2,4	2,2	1,7	1,4	1,0	0,7							

Lubjatarbe arvutatakse kõikidele mullaseire proovipunktile, põllu (või terve PRIA põllumassiivi) kaupa tingimusel, et iga põllu vähemalt ühest proovist on määratud Ca ja C_{org}. Lubjatarbe väärtuste arvutamiseks vajab vastav programm-algoritm muldade niiskusrežiimi kirjeldavat ja mullareaktsioonile vastavat nn õpetustabelit.

Niiskusrežiimi õpetustabel tuletati 1: 10 000 digitaalse mullakaardi ruumikujude ja muldade šifrite põhised. Niiskusrežiimi põhised jagati muldad kolmeks alamrühmaks – parasniisked, niisked ja märjad muldad. Kuna põllumaadele jäävate turvas- ja turvastunud muldadel on toimunud mineraliseerumine, lisati ka need mullatüübid märgade muldade hulka. Turvasmuldade lubjatarbe leitakse mullaproovi C_{org} väärtuste kaudu tingimusel, et C_{org} väärtused on suuremad kui 5,3. Arvutusprotsessi käigus omistatakse kõikidele mullaseire proovipunktile niiskusrežiimi kood vastavalt proovipunkti ümbritseva mullaareali niiskusrežiimile.

Mullareaktsiooni ja niiskusrežiimi algoritmis arvestamiseks sisestati vastavasse MapInfo andmetabelisse põllumuldade lubjatarbe määramise tabeli andmestik sellises formaadis, mida programm suudab töödelda.

Kui ühel põllul (PRIA põllumassiivil) ei ole Ca ja C_{org} väärtuseid kõikidel proovipunktidel, siis omistatakse kõikidele selle põllu sees olevatele Ca ja C_{org} väärtust mitte omavatele punktidele antud põllu vastav keskmine väärtus. Ca ja C_{org} väärtust algselt omanud punktide vastavaid väärtuseid ei keskmistata, originaalväärtused säilivad.

Lisaks väärtustatakse eraldiseisvalt proovipunktid, mis asuvad mineraalmullal ja mille pH tase on vahemikus 5,5–6,5 ning Ca sisaldus <1500 , nende proovipunktide lubjatarve on vastavalt 3,8 t/ha (omistatakse vahemiku 3,1 – 4,5 t/ha keskmine). Eraldiseisvalt väärtustatakse ka proovipunktid, mille C_{org} väärtus on $>5,3$, pH väärtused jäävad vahemikku 5,0–5,5 t/ha ning Ca sisaldus <5500 , nende proovipunktide lubjatarve on vastavalt 3,8 t/ha (omistatakse vahemiku 3,1–4,5 t/ha keskmine).

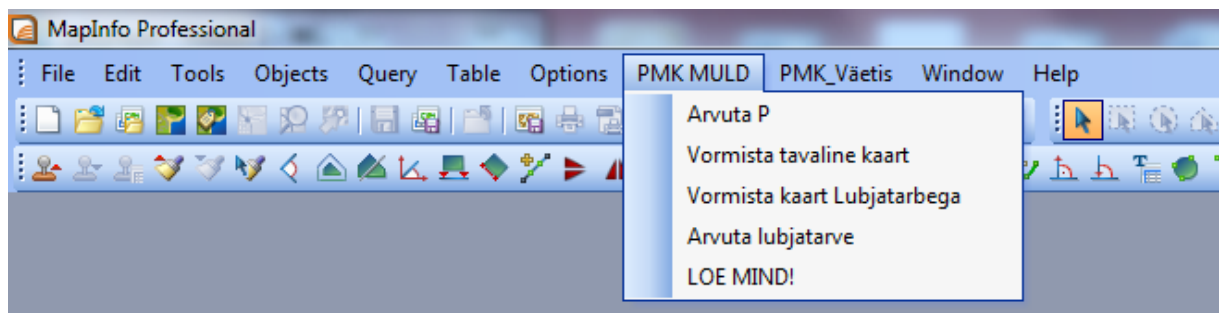
Peale mullaseire andmepunktidele lubjatarbe väärtuste omistamist andmestik interpoleeritakse spetsiaalselt MapInfo baastarkvarale mullaseire tarbeks programmeeritud väetistarbe kaartide koostamise alamprogrammiga. Lubjatarbe kaartide interpoleerimiseks muudeti väetistarbe alamprogrammi definitsioonifaili vastavate parameetritega.

Järgnevalt esitame visualiseeritud näited (joonised 5.1, 5.2) projekti raames koostatud ja programmeeritud alamprogrammi tööpõhimõtte kohta:



Joonis 5.1. Näide lubjatarbe määramise alamprogrammi tööpõhimõtete kohta

Väljatöötatud algoritmil baseeruv arvutamisprotsess ja hilisem vormistamine on integreeritud Mapinfo tegumiribale lisamenüüna (joonis 5.4), mis võimaldab kogu rakenduse lihtsa ja loogilise kasutamise lubjatarbekaartide tegemiseks.



Joonis 5.4. Mapinfo tarkvarale integreeritud alammenüü väetustarve- ja lubjatarbekaartide automatiseeritud koostamiseks

Projekti raames välja töötatud lubjatarve arvutamise programm võimaldab esmakordselt Eestis automatiseeritult kasutada mitme faktoriga algoritmi olulise agrokeemilise näitaja arvutamiseks, mille alusel valmib ruumiline GIS-põhine resultaats lubjatarbekaardi kujul.

Kokkuvõte

Suuremõõtkavaline 1:10 000 mõõtkavas mullastikukaart on juba 2001. aastast digitaliseeritud ning tänapäeval Maa-ameti geoportaali kaudu kõigile vabalt kättesaadav. Sellest hoolimata on selle kasutus jäänud tagasihoidlikuks. Käesoleva projekti raames tööme esile kitsendused ja puudused, mis on limiteerinud mullakaardi tõhusamat rakendamist maakasutusotsustes. Algse kaardi ja selle andmestiku digiteerimisel on tekkinud mitmeid puudujääke, millest osade kõrvaldamiseks töötasime välja meetoodika ning tegime vajalikke parandusi. Osa mullakaardi informatsioonist on esitatud kujul, mis raskendab päringute teostamist, mudelite rakendamist ning on enamikele maakasutajatele raskesti arusaadav. Kitsendustest hoolimata on tegu maailma kontekstis ainulaadse kogu riigi maismaad katva mullastikukaardiga.

Tegime digitaalse mullakaardi atribuutandmete uue konverteerimise, sest varasemal konverteerimisel oli kaduma läinud või muundunud informatsiooni osakaal suur. Sellega loodi täiesti uuel kvalitatiivsel tasemel olev digitaalse mullakaardi nõ parandatud kiht koos rasterkujul vajalike andmetega ning parandatud versioon tehti kättesaadavaks ka Maa-ameti kaardirakenduse kasutajatele. Seega projekti tulemusena sai Maa-ameti geoportaalis kuvatav mullakaart senisest oluliselt korrastatuma väljundi ning loob eeldused selle veelgi laialdasemaks kasutuseks.

Saaremaa pilootaladel testiti andmebaasi sisuliste puudujääkide kõrvaldamist. Uuringust selgus, et antud töö on sisuliselt õigustatud ja sellise meetoodikaga suudame mullakaardi kvaliteeti oluliselt parandada. Pilootalade näitel on digiteerimisel ligi 10% mullaerialidest valesti väärtustatud või üldse väärtustamata. Kõnealune parendustöö on mahukas, ent antud ülesanne on siiski väga vajalik lahendada juba lähitulevikus, selleks tuleb otsida automatiseerimise võimalusi ning tõenäoliselt on vajalik mõne lisatöövahendi programmeerimine.

Tartu ja Saare maakonna näitel teostasime mullakaardi andmebaasi ümberkodeerimise ja korrastamise, mis võimaldas rakendada mitmeid mudeleid ning koostada funktsionaalseid teemakaarte mulla kasutussobivusest ja viljakust määratavates näitajatest. Pilootmaakondadele korrastatud andmebaasid võimaldavad küll mudelite senisest automatiseeritumat rakendamist, kuid ei kõrvalda algandmestikus olevaid olemuslikke puuduseid.

Haritavate turvasmuldade omaduste uurimist teostasime eesmärgiga selgitada välja neis toimunud muutused ja sellest lähtuv mullakaardi korrigeerimise vajadus. Uuringust selgus, et u 37 000 ha soo- ja turvastunud muldadel tuleks teha mullakaardi täpsustamiseks kordusmääramised, et tegeliku seisukorra alusel mullad ümber klassifitseerida ja viia parandused ka mullakaardile. See eeldab täiendavaid väliuuringuid, mille käigus tuleb mõõta turbahorisondi tusedus, C_{org} sisaldus ja vajadusel ka muud lisanäitajad.

Mullakaardiga seostavate rakendusmudelite väljatöötamiseks alustasime põllumuldade seire andmebaaside digiteerimisega ning täiendasime mullauuringute ja põldkatsetega seotud andmebaase. Haritava maa hindamise andmebaasi põhjal koostasime ülevaate olulisemate põllumuldade viljakuse ja kasutussobivuse regionaalsetest eripäradest. Muldade boniteedi alusel on kõige viljakamateks põllumuldadeks leetjad (KI), leostunud (Ko) ja näivleetunud (LP) mullad.

Mullakaardi rakendusmodelite (muldade kasutussobivus, viljakus, huumusesisund, optimaalsed väetisnormid jms) arvutusalgortimide koostamisel võeti kokku Eesti agraarteaduses senitehtu. Pakkusime välja metoodilise kontseptsiooni mullainfo rakendamiseks agromajandusliku geoinfosüsteemi osana. Projekti raames töötasime Eestis läbiviidud arvukate põldkatsete ja mullauuringute tulemuste metaanalüüsiga välja seosefunktsioonid lasuvustiheduse, eripinna ja selle indeksi, väliveemahutavuse, närbumispunkti niiskuse, omastatava vee diapasoni, huumusesisalduse, huumusvaru, lämmastikusisalduse ja -varu, optimaalsete väetisnormide kohta. Saagikuse prognoosimudelite seostamist mullakaardiga testiti odra ja päideroo näitel.

Mullakaardi rakendusmodelite ja kasutussobivushinnangute valideerimine tootmistingimustes ja kaasajastamine eeldab pikemaajalise usaldusväärse põllupõhise andmestiku moodustamist. Kõige suuremaks kitsaskohaks on põllupõhise saagikusandmete puudumine. Mullastikukaart ja selle alusel koostatud teemakaardid pakuvad tuge põllupõhisteks otsusteks. Piloottalu isegi ühe tootja lähestikku asuvatel põldudel võib mullastik suurtes piirides erineda.

Väetistarbe määramise täiendamisel olid eesmärkideks korrigeerida P-tarbe ja mikroelementide tarbe hindamise gradatsioonid ning juurutada elektroonilise lubjatarbekaardi koostamine. Uuringu tulemuste alusel koostati uus P-tarbe gradatsioon Mehlich 3 väljatõmbele. Cu- ja Mn-tarbe gradatsioonid korrigeerimist ei vajanud. Mehlich 3 väljatõmbest määrati esmakordselt Zn-sisaldust Eesti erinevatest muldadest ning kasutusse soovitati Tšehhis väljatöötatud gradatsioon. Projekti raames töötati välja lubjatarbe arvutamise programm Mapinfo tarkvarale, mis võimaldab esmakordselt Eestis automatiseeritult kasutada mitme faktoriga algoritmi, mille alusel valmib ruumiline GIS-põhine lubjatarbekaart. Põllumajandustootjatele koostab ja teeb lubjatarbekaardid kättesaadavaks Põllumajandusuuringute Keskus.

Kasutatud kirjandus

- Fotyma M., Dobers, S., co-authors Breitschuh, G., Loide, V., Timbare, R., Staugaitis, G., Spiegel H., Pikuła, D., Kotvas, F., Ceh, B., Cermak, P., Loch, J. 2008. Soil testing methods and fertilizer recommendations in Central–Eastern European countries. *Fertilizers and Fertilization*, 2008, Nr 30/2008, 109 p.
- Johansson, L. 1997. Phosphorus sorption to filter substrates potential benefits for on-site wastewater treatment. Doctoral Thesis, Royal Institute of Tehnology. Sweden.
- Kalmet, R. 1979. Mikroelemendid. Tallinn „Valgus“, 172 lk.
- Kokk, R., Rooma, I., Valler, V. 1968. Mullastiku kaardistamise välitööde metoodika. Tartu.
- Kukk, Liia; Roostalu, Hugo; Suuster, Elsa; Rossner, Helis; Shanskiy, Merrit; Astover, Alar (2011). Reed canary grass biomass yield and energy use efficiency in Northern European pedoclimatic conditions. *Biomass & Bioenergy*, 35(10), 4407 - 4416.
- Kukk, Liia; Suuster, Elsa; Shanskiy, Merrit; Roostalu, Hugo; Astover, Alar (2013). Mullakaardi rakendusmudel päideroo saagipotentsiaali asukohapõhiseks hindamiseks. Kangor, T.; Tamm, S.; Lindepuu, R. (Toim.). *Agronoomia* 2013 (28 - 33). Jõgeva: AS Rebellis
- Kõlli, R. 1994. Muldade kasutussobivus ja agrorühmad. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool
- Maa-amet. 2001. Vabariigi digitaalse suuremõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. Tallinn, 46 lk.
- Matula, J. 2000. Correlation between multinutrient soil test and phytoavailability of potassium, phosphorus, magnesium, manganese and sulphur from soil. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.* – 31, No 11-14, 1462-1463.
- Metsamajandite maade mullastiku kaardistamise välitööde juhend. 1978/1983. Tallinn.
- Piho, A., Rooma, I., Rõds, O. 1960. Maafondi mullastiku kaardistamise välitööde juhend. Tartu.
- Põllumajanduslike ettevõtete looduslike maade mullastiku kaardistamine. 1989. Tallinn.
- Suuster, E.; Astover, A.; Roostalu, H.; Penu, P. (2011). Suuremõtkavalisest mullastikukaardist maakasutuse otsusteni. Kadaja, Jüri (Toim.). *Agronoomia* 2010/2011 (223 - 230). Saku: Eesti Maaviljeluse Instituut
- Suuster, Elsa; Ritz, Christian; Roostalu, Hugo; Kõlli, Raimo; Astover, Alar (2012). Modelling soil organic carbon concentration of mineral soils in arable land using legacy soil data. *European Journal of Soil Science*, 63, 351 - 359.
- Suuster, Elsa; Ritz, Christian; Roostalu, Hugo; Reintam, Endla; Kõlli, Raimo; Astover, Alar (2011). Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. *Geoderma*, 163(1-2), 74 - 82.
- Zbiral, J. 2001. Porovnání extrakčních postupů pro stanovení základních živin v půdách ČR. Brně, 205 pp