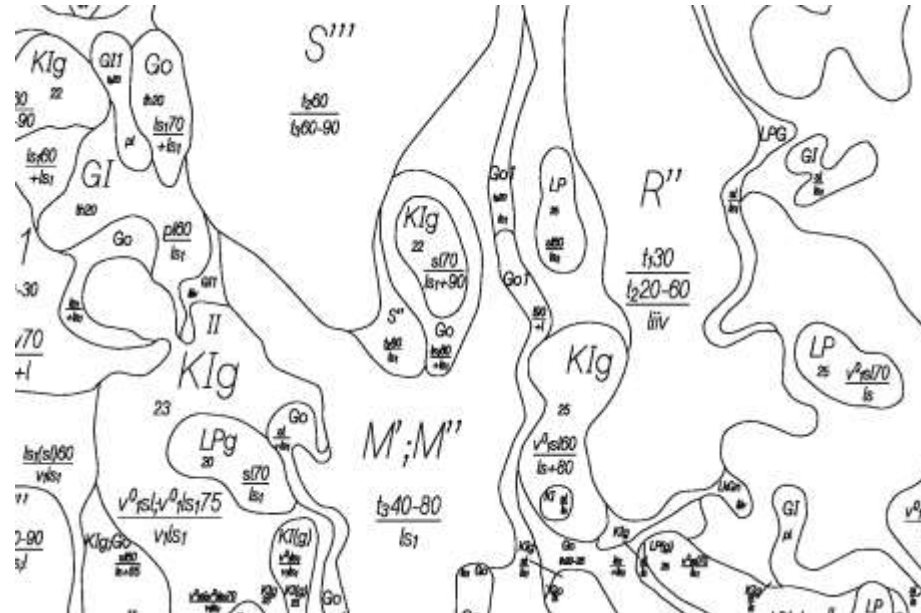


Suuremõõtkavalise digitaalse mullastikukaardi kaasaegse kontseptsiooni loomine ja olemasoleva mullastikukaardi ajakohastamine (MULD2)

Konsortsium: METK, EMÜ, TÜ

Tellijä: KAUR



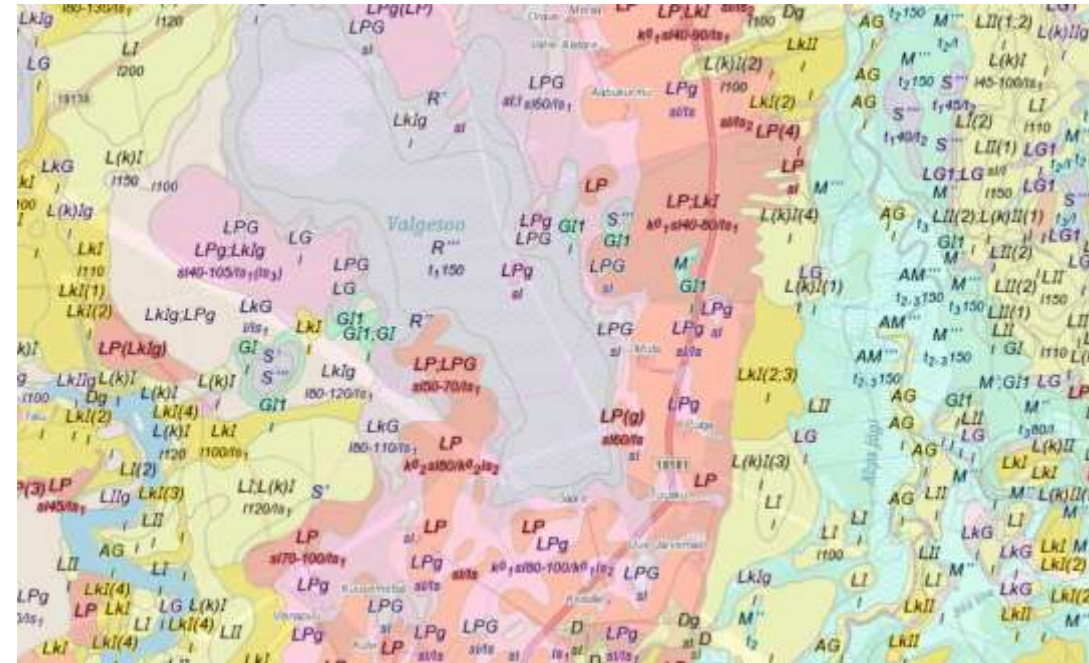
Tambet Kikas
4. detsember 2025

Eesmärgid:

- **Suuremõõtkavalise mullastikukaardi (1:10 000) täielikult masinloetavaks muutmine**
 - Olemasoleva vektorandmestikuna mullastikukaardi tehniliste ja sisuliste vigade parandamine ilma geomeetriat muutmata
 - Olemasoleva vektorandmestikuna mullastikukaardi kaasajastamine muutunud muldade osas (rõhuga turvas- ja turvastunud muldadel, erodeeritud ja deluviaalmuldadel)
 - Olemasoleva vektorandmestikuga mullastikukaardi täiendamine varasemalt katmata või muudetud mullastikuga alade osas (sõjaväepolügonid, asustus, kaevandus jmt)
 - Luua vastavused rahvusvahelise WRB (World Reference Base for Soil Resources) klassifikatsiooni ja lõimise jaotustega.
- **Uue rasterandemete põhise andmehaldussüsteemi (nn. andmekuubil põhinev mullakaardisüsteem) üles ehitamine jätkusuutlikuks pikaajaliseks mullastikukaardi arendamiseks, et jooksvalt lisada seire-ja muude andmekogude infot ning teha konkreetsetele huvirühmadele vajalikke spetsiifilisi päringuid (nt. mulla org C väärtuse alusel väljavõtted vastavalt LULUCF vajadustele, WRB või FAO vajadustele, väetistarbekaartide või täppisviljeluse jaoks)**

Digitaalne mullastikukaart 1:10 000

- Eesti on üks väheseid riike kus peaaegu kogu territoorium on kaetud nii detailse mullastikukaardiga
- Alus kõigile detailsematele ruumimudelitele ja bilansiarvutustele
- Seadusega kehtestatud piirangud ja toetused seotud mullastikukaardiga
- Majandamisotsused põhinevad mullastikukaardil ja sellega seostatud mullaproovide andmetel



Eestis alustati **suuremõõtkavalist mullastiku kaardistamist (M 1:10 000 ja 1:5000)** 1954. aastal (põllumajanduslik maafond), suurim kaardistamistöde maht vahemikus 1965-1969.a.

- 1954-1960.a. kasutati mullastiku uurimise välikaardina majandi alusplaani valguskoopiat, alates 1961. aastast kasutati välikaardina fotoplaane või nende põhjal loodud aluseid.
- 1988-1990. uuendati kõige vanemad majandite mullastiku andmed, uus **looduslike maade mullastiku kaardistamine** ja koostati uus terviklik mullastiku kaart. 1988-1989 **maaparandusobjektide mullastiku kaardi korrektuur**.
- **Riigimetsamaade mullastiku kaardistamisega** alustati 1976. a. ja lõpetati 1989.aastal.
- Metoodika ja kaardistamisüksuste muutmistest tulenevalt võivad erinevail aegadel tehtud mullastiku kaardistamiste andmed olla vormistatud erinevalt, **sama sisuga mullakontuurid tähistatud erineva mullašifriga**.

Andmete masinloetavuse probleemid ja vead atribuudi väljades

Mullastikukaardil on algselt 766627 šifriga objekti ehk rida atribuutandmete tabelis.

OBJECTID	Siffer	Sif1	Osa1	Sif2	Osa2	Sif3	Osa3	Sif4	Osa4	Boniteet	Loimis1	Loimis2	Lihtloimis	Huumus	huum_txt	Hhor_1	Hhor_2	Kivisus
613483	LPe	LPe		100		0		0		0	47	v ² ;sl/v ² ;ls	v1sl/v1ls			0		0 II
618670	LPe E2l;0 Dg	LPe		40 E2l;o		40 Dg		20		0	46	sl/ls	sl/ls			0		0
619760	LPe;Koe	LPe		70 Koe		30		0		0	46	sl/ls	ls;l			0		0

Mullastikukaardi atribuutandmete tabel ei ole täielikult masinloetav ning atribuutide veerud (valem, šiffer, lõimis jne) sisaldavad jätkuvalt vigaseid kirjeid ning vastuolusid andmete osas.

Vead on enamasti kirjavead, näiteks suurtähed vs väiketähed; puuduvad sümbolid nagu semikoolonid, sulud (nt. LIL(k)IL(k) → LI;L(k)I) või „primid“; valed sümbolid nagu komad või nurksulud (nt. LP[LkI] → LP(LkI)). Sageli on vahetusse läinud kirjapildilt sarnased sümbolid nagu „l“ ja „I“ ja „l“ (nt. Goal → Goal) või „0“ ja „o“ (nt. L0 → Lo)

Mullastikukaardil mulla nimetuste ehk šifrite („siffer“, „sif1“ – „sif4“) parandamiseks loodi arvutiprogramm. EMÜ ja TÜ poolt koostatud õpetusandmete kaudu oleme limiteerinud unikaalsete šifrite arvu 276ni.

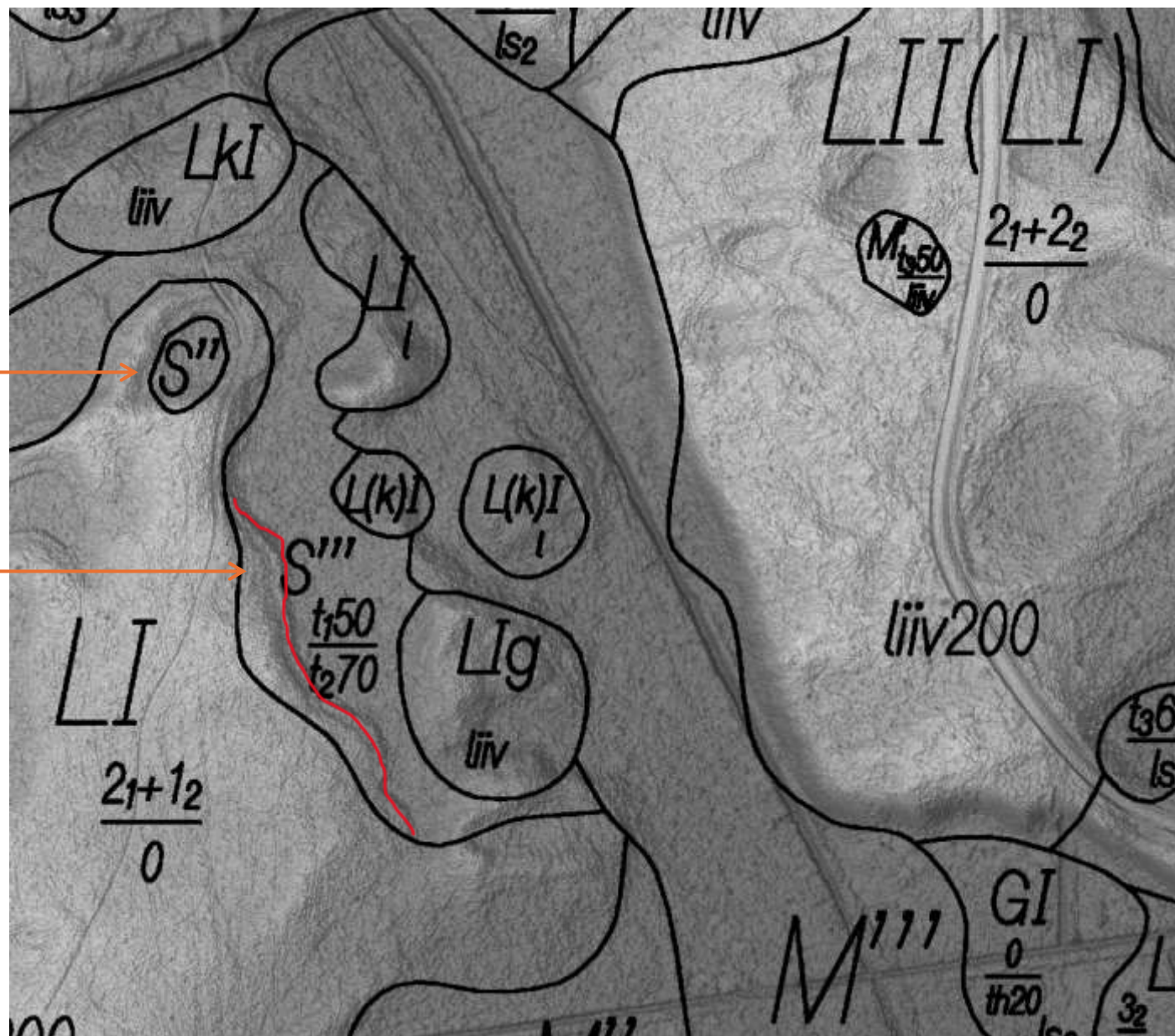
Enamus praeguses etapis automaatselt parandamata jäänud vigaste šifritega kirjeid vajab parandamist konkreetse mullastikupolügooni asukoha ja teiste mullastikunäitajate (atribuutide) alusel, enamasti käsitööna. Sarnast tööprotsessi planeeritakse kasutada ka lõimiste ha huumuse andmeväljade korrigeerimiseks.

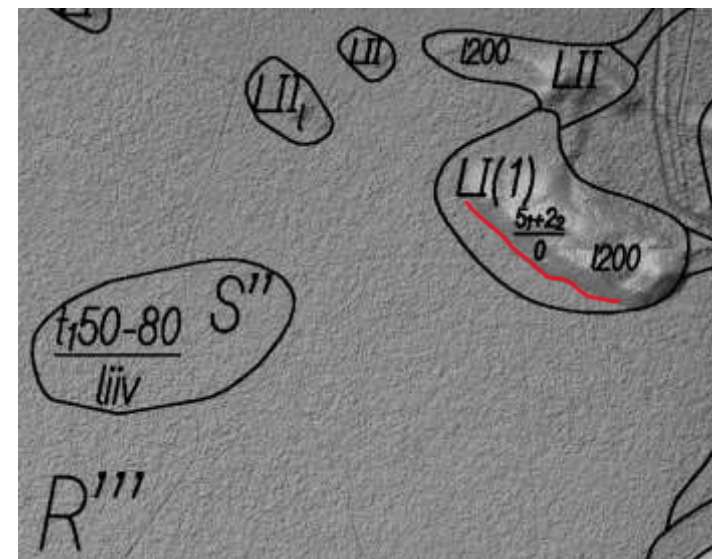
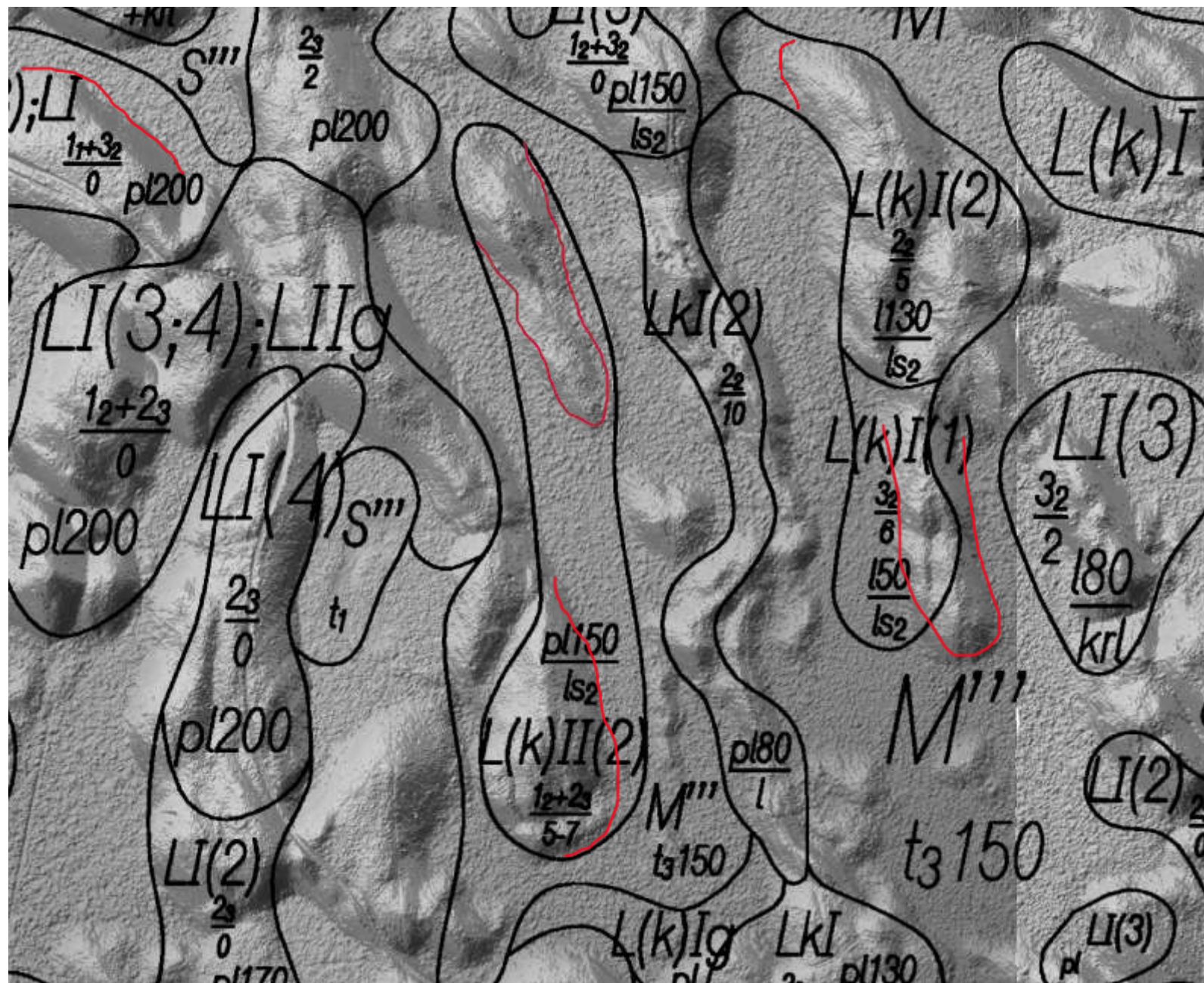
Asukohatäpsuse probleemid

- Sisulised vead, vale muld vales kohas
- Kaardistusvead, piirid valesti kujutatud, moonutused, aluskaartide ebatäpsus
- Mõõtkavas 1:5000 kaardistatud põllumajanduslike ettevõtete mullastiku kaardid esmalt vähendati mõõtkavasse 1:10 000 ning seejärel tehti vähendustel vajalik mullakontuuride generaliseerimine.
- Paberaluskaartide digitaliseerimisel tekkinud vead
- Ajas toimunud muutused

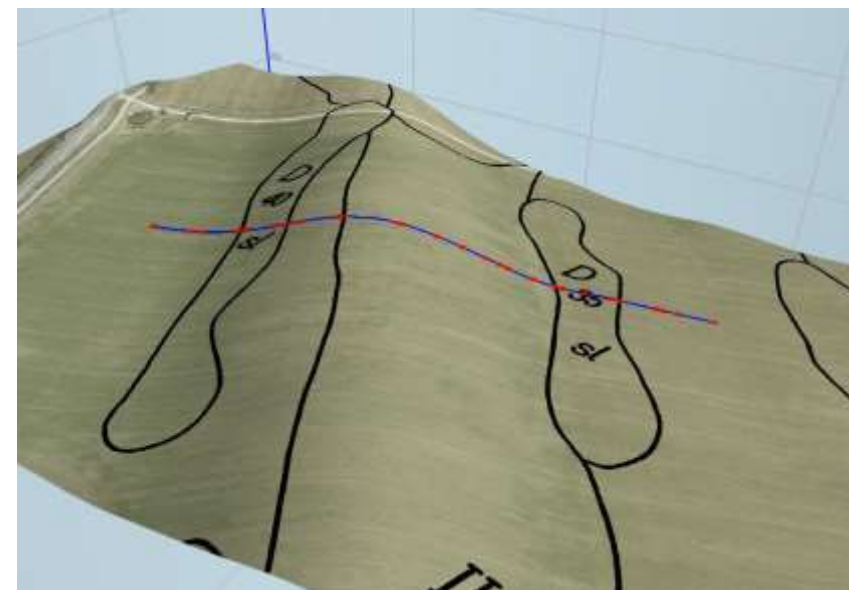
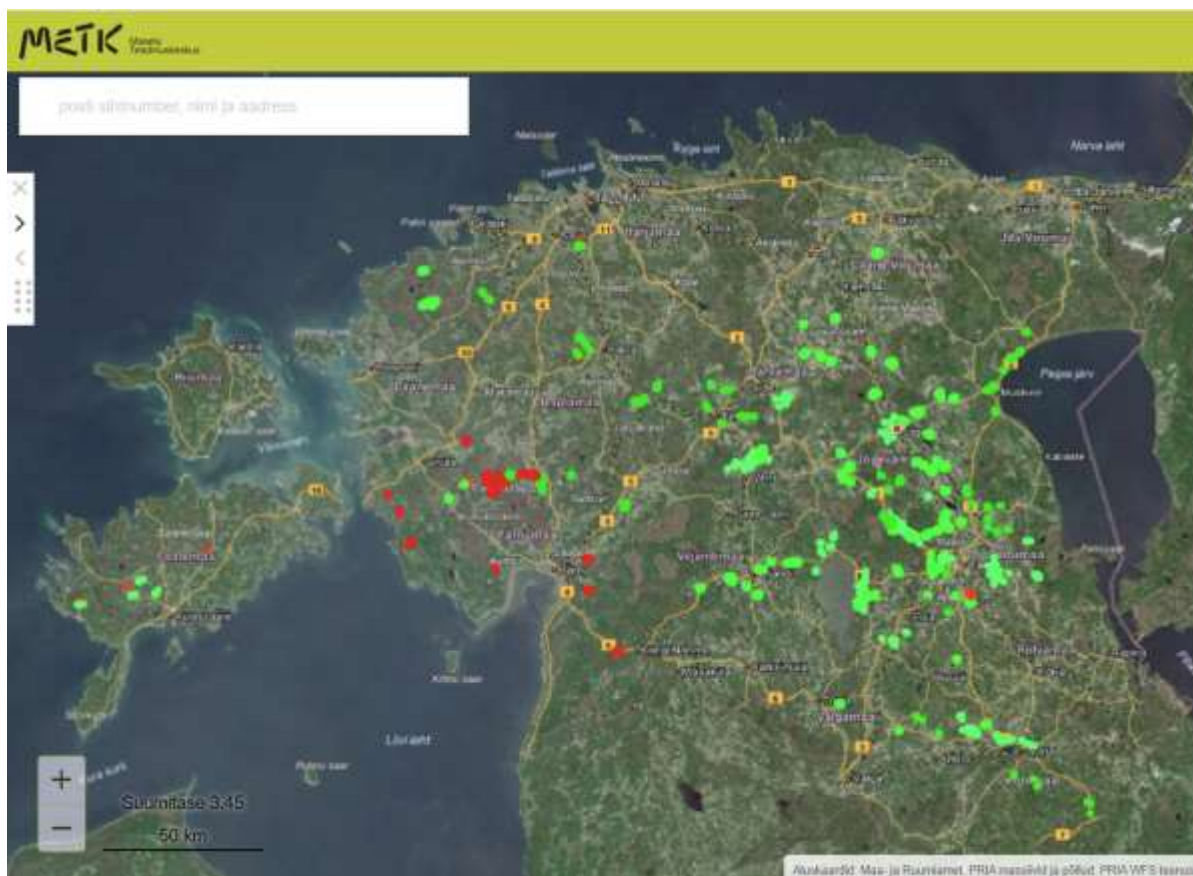
Nihe puudub

Nihe 30+ meetrit





Mudelite loomiseks välitööde transektidelt kogutud andmed

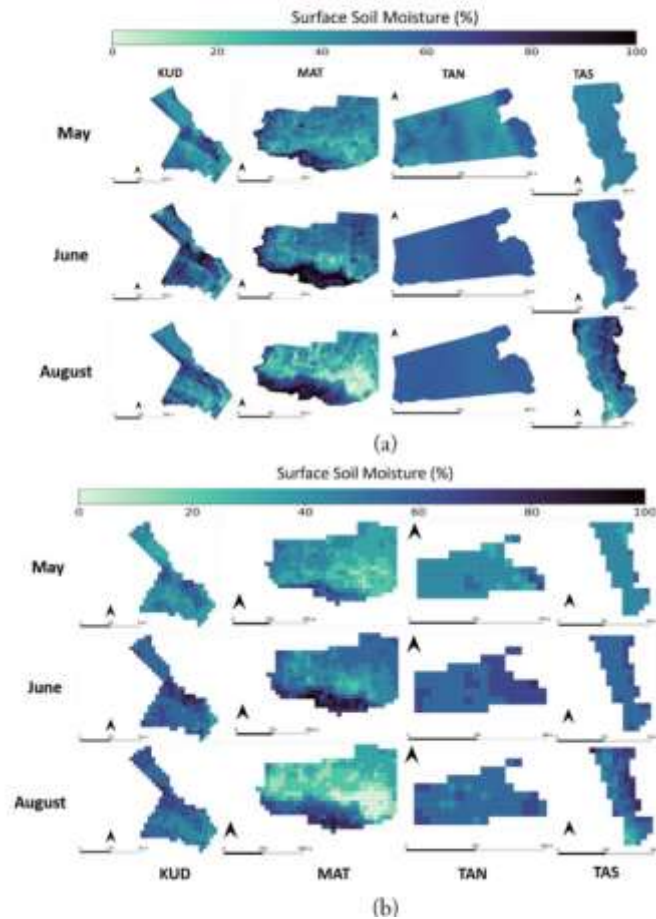


Kokku oli 2025. aasta septembriks sondeeritud või kaeved tehtud 6254 punktis, neist 3170 erodeeritud ja deluviaalmullaga transektidel, 1229 turvasmulla sondeerimist ning 1669 turvastunud mulla sondeerimist. Statistilise metsainventuuri muutuvprooviala punktide kordusmääranguid tehti 186 alal. Laboratoorseks lõimise määranguks koguti proove 210 alalt.

Katse gammakiirguse mõõtmisel põhineva SoilOptixi skänneriga

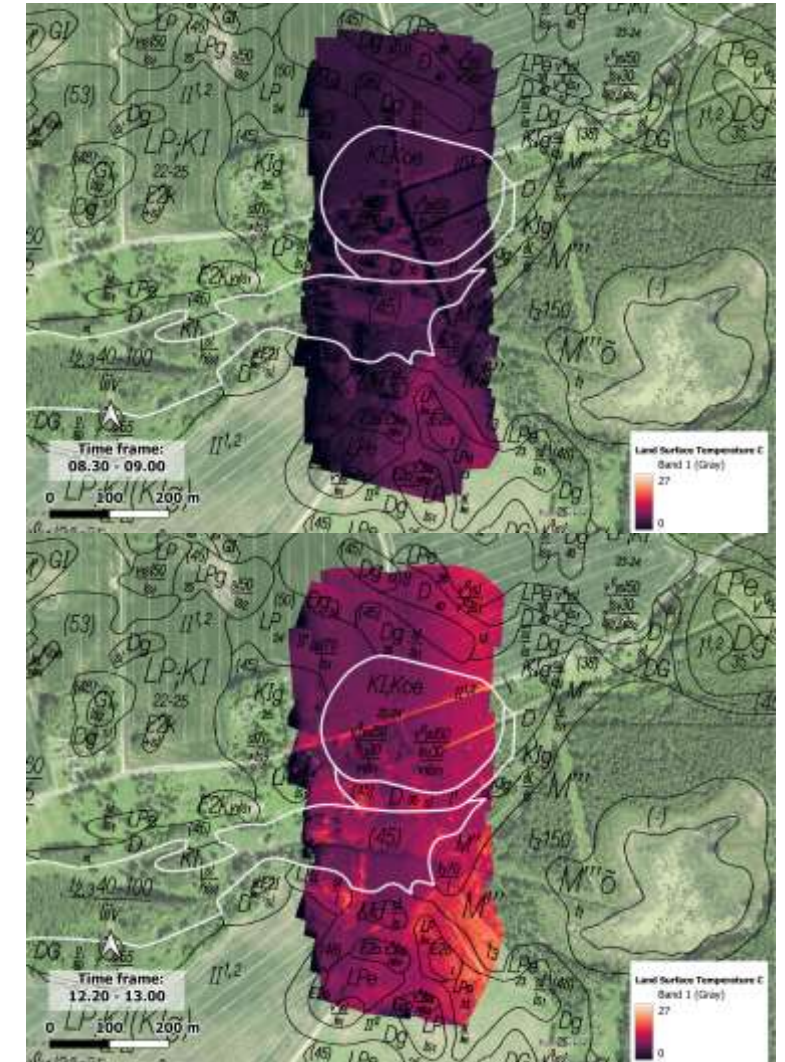
Mudelite loomiseks droon, kaugseire

Vahetult rannikuvööndis kaardistamata ala mulla määratlemiseks ning olemasolevate areaalide täpsustamiseks metsavabal looduslikul alal saab kasutada drooni- ning satelliidi multispektraalandmestiku alusel klassifitseerimist (mulla niiskuse ja taimkatte indeksite tuletisena) vastavalt Maaülikooli tööruhmas välja töötatud metoodikale (Prentice, 2025; joonis 18)

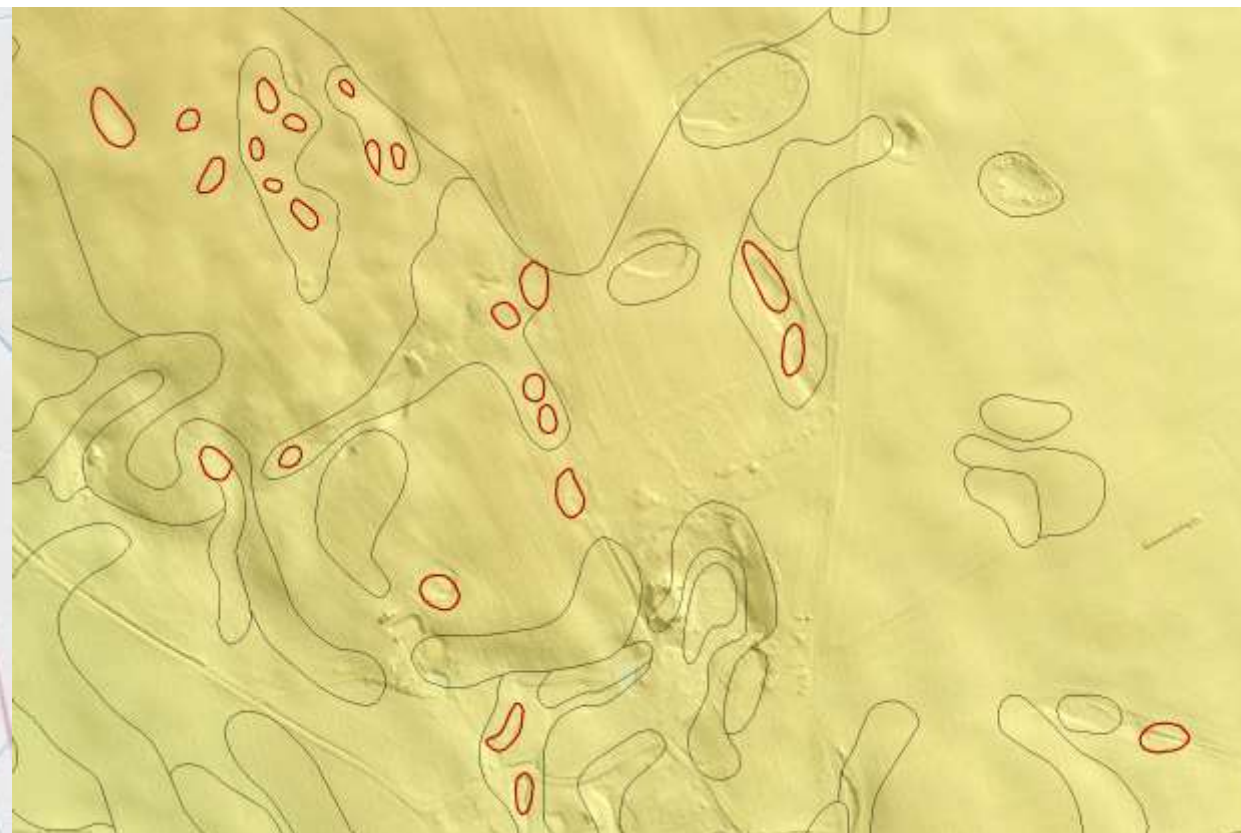
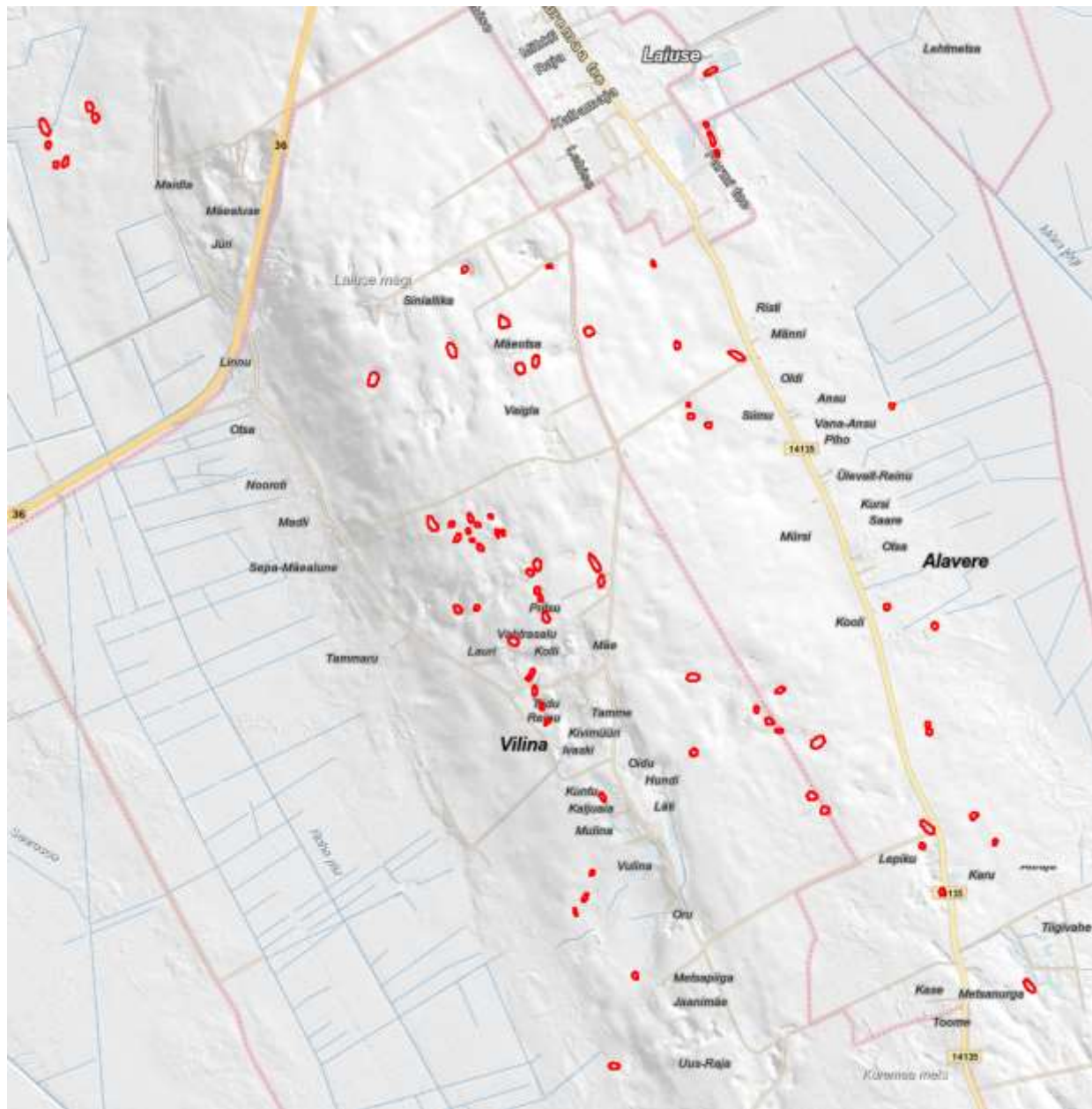


Kombineerides eri kuude mullaniiskuse ja taimkatte kaarte õpetusandmetega (sh. mullaprofiilid ja mullakeemia), saab piisava ruumilise lahutuse ja täpsusega eristada lageda rannaala mullaareaale.

eBeeX flights



Sensor : Duet T dual sensor (Thermal, SODA), parrot Sequoia
Output units orthomosaics: Degrees Celsius, Reflectance

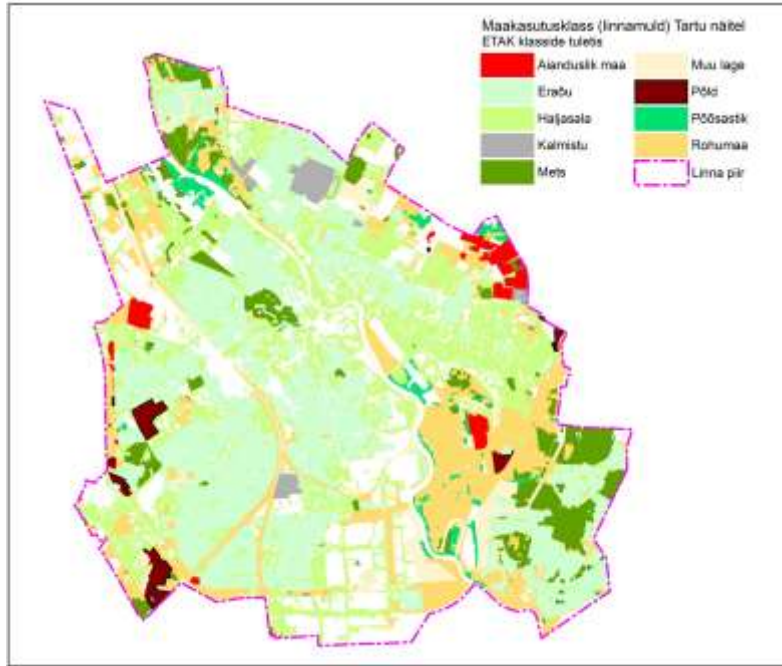
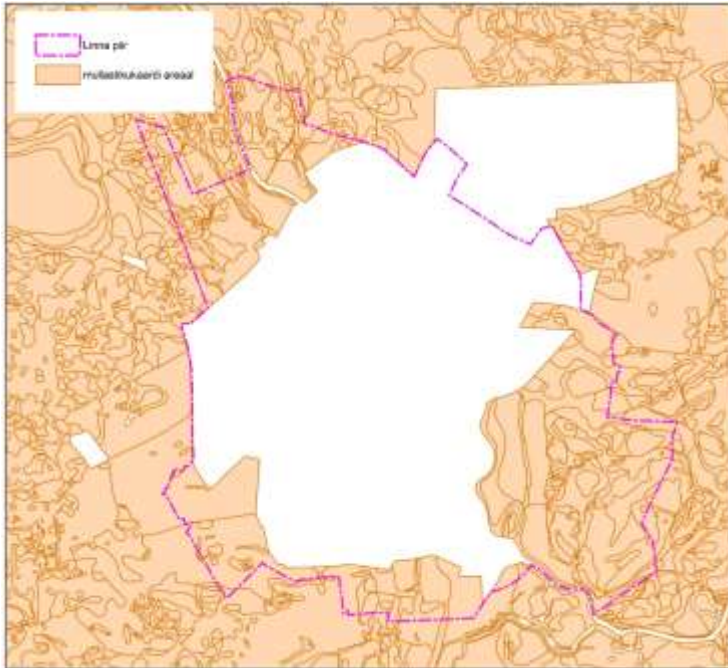


Laiuse voor ja sõlled
pindalad väikesed aga olulised
Sageli suur sügavus, orgaanilised setted.

Automaatne otsustamine võib olla keeruline

Linna mullad

Linnastunud alade piiritlemisel kasutatakse ELME ökosüsteemide baaskaardi (Helm jt, 2023) linnaliste alade kihti ning see sisustakse mullastikuinfoga peamiselt maakasutusklasside (joonis 23) ja kaugseire andmete klassifitseerimise teel eksperthinnangute abil.



Linnalisel alal saab mulda klassifitseerida erinevate olemasolevate ruumiandmete alusel (nt. ETAK, üldplaneeringu maakasutusklassid) see ei osutunud siiski esmasel hinnangul otstarbekaks kuna nende generaliseerimine (ETAK) mullastikukaardi 1:10 000 mõõtkavasse ei taga ühtlast kvaliteeti ja üldplaneeringu klassid ei ole erinevates piirkondades ühetaoliselt sisustatud.



Ettepanek lisada Uus tähis U (urban) ja C (covered)

Optimaalsem on kasutada kaugseire andmestikku

Näidises on kujutatud linnamullad Ur (tumeroheline), Us (heleroheline) ja C (roosa) erinevat tüüpi linnalises piirkonnas



NDVI indeksi alusel tuletatud linnamullad Lasnamäe piirkonnas

„Ur“ -rohealad (pargid, kalmistud, rohumaad), NDVI üle 0,75;

„Us“ - poolrohelistes segaalad (aedlinnad jms), NDVI 0,5 kuni 0,75;

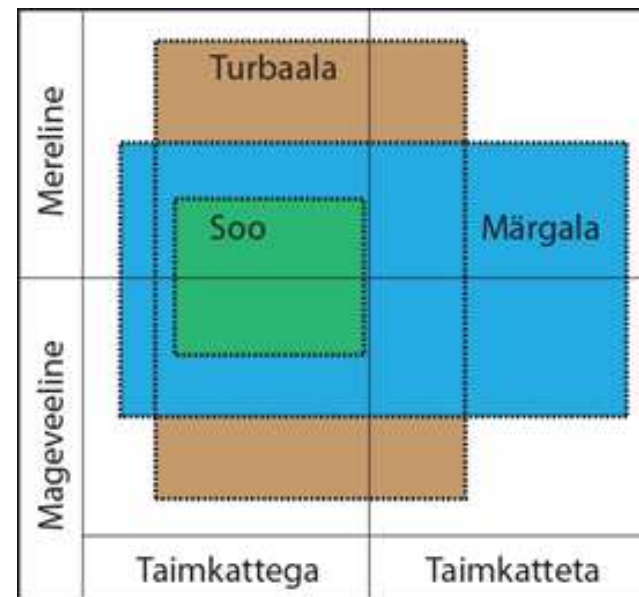
„C“ -kaetud muld, NDVI alla 0,5.



Turvasmullad mullastikukaardil

- Turvastunud- ja turvasmullad on Eestis laialt levinud
 - Turvastunud muldade osakaal u. 6,3 %
 - Turvasmuldasid 24,6%, sellest madalsoomuldasid 13.8%, siirdesoomuldasid 3,7 %, rabamuldasid 5,7% ja lammimuldasid 1,4%
- **Kõik need osakaalud põhinevad enne 1990-ndaid koostatud kaartidel**
- Turvastunud- ja turvasmullad on väga tundlikud hüdroloogilise režiimi muutmise suhtes...
 - ... ja hüdroloogiline režiim on väga tundlik turvasmuldade seisundi suhtes

*Soo, turbaala ja märgala piiritlemise põhimõtteline skeem
(Bragg and Lindsay, 2003 järgi täiendatud)*

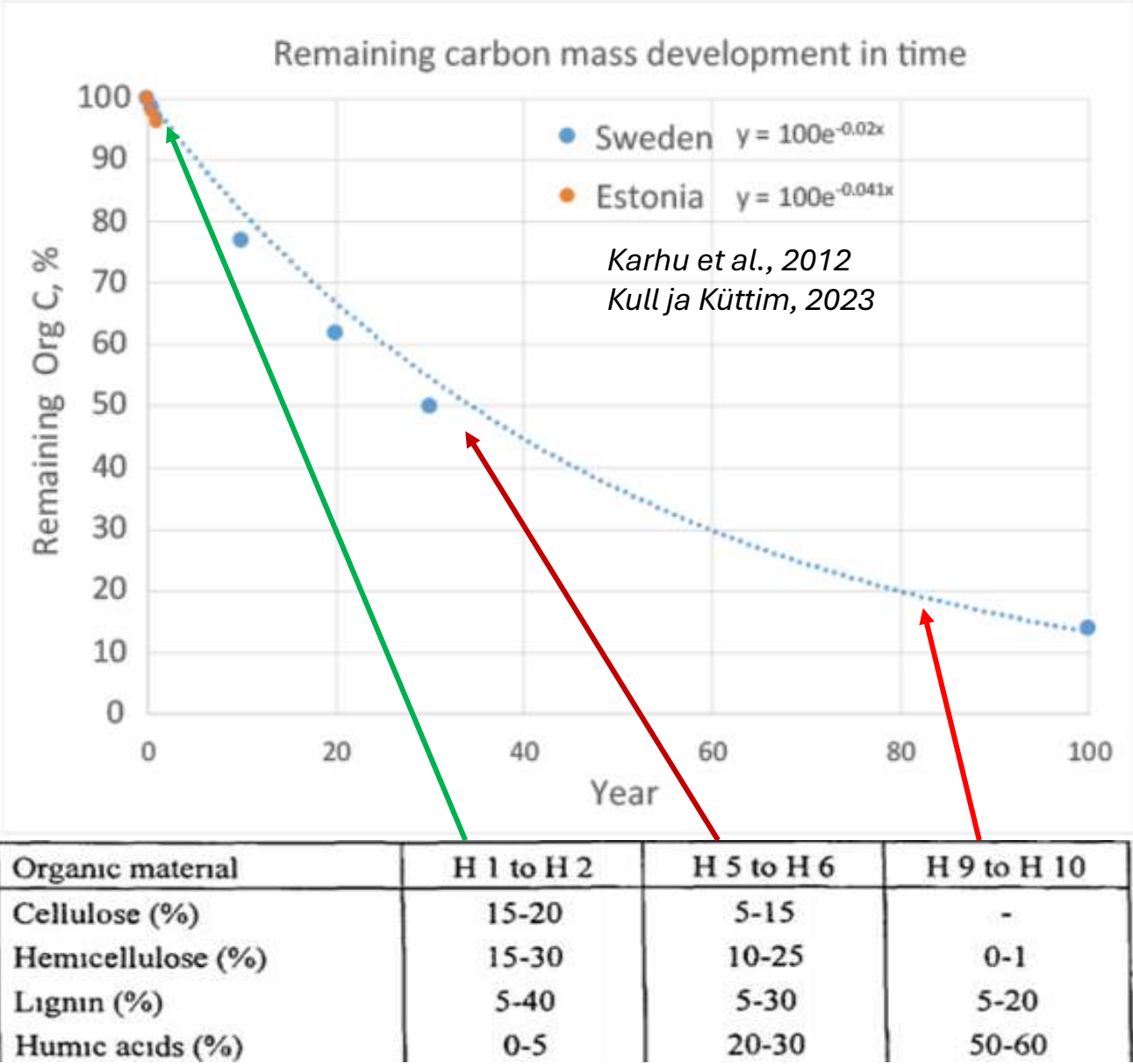


Turba omaduste muutuste dünaamika peale loodusliku ala kultuuristamist 1962. aastal (Heinsalu jt 1992).

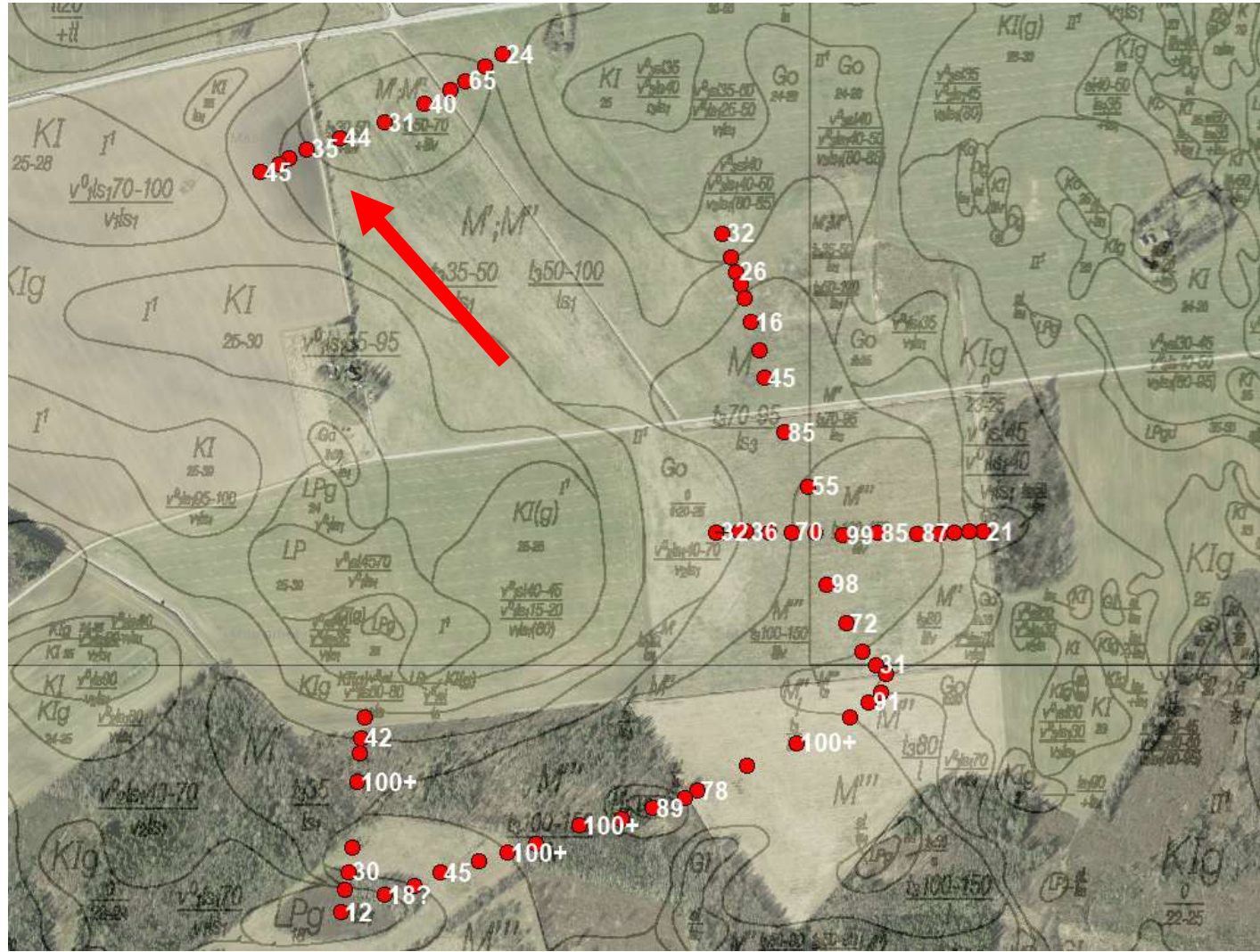
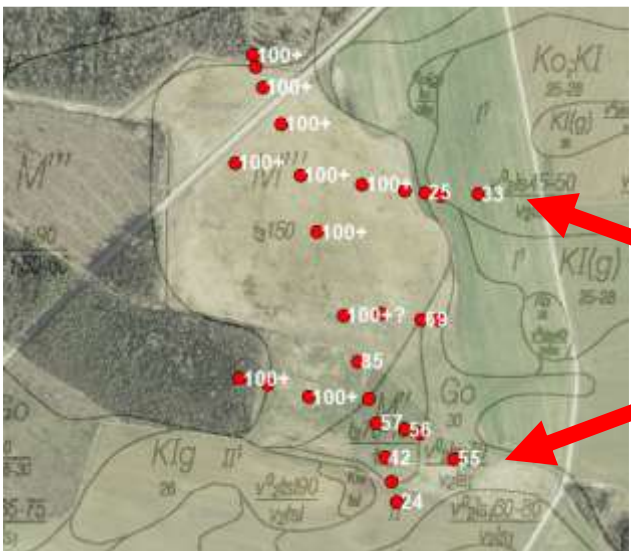
Saku soo.
Madalsoo osa võeti põllumajanduslikku kasutusse.
Valdavalt rohumaaline kasutus (esimesel kümnendil osaliselt ka teravili).

Periood	Turbakihi tüseduse vähenemine, cm/a	Mineraliseerumine 40 cm kihis, t/ha/a
1962...76	2,1	1,85
1976...90	0,6	0,61

2/3 kaost leiab aset esimese 15-20 aasta jooksul.
Samad järeldused varasemast - Tooma
Sookatsejaam (alates 1910...)

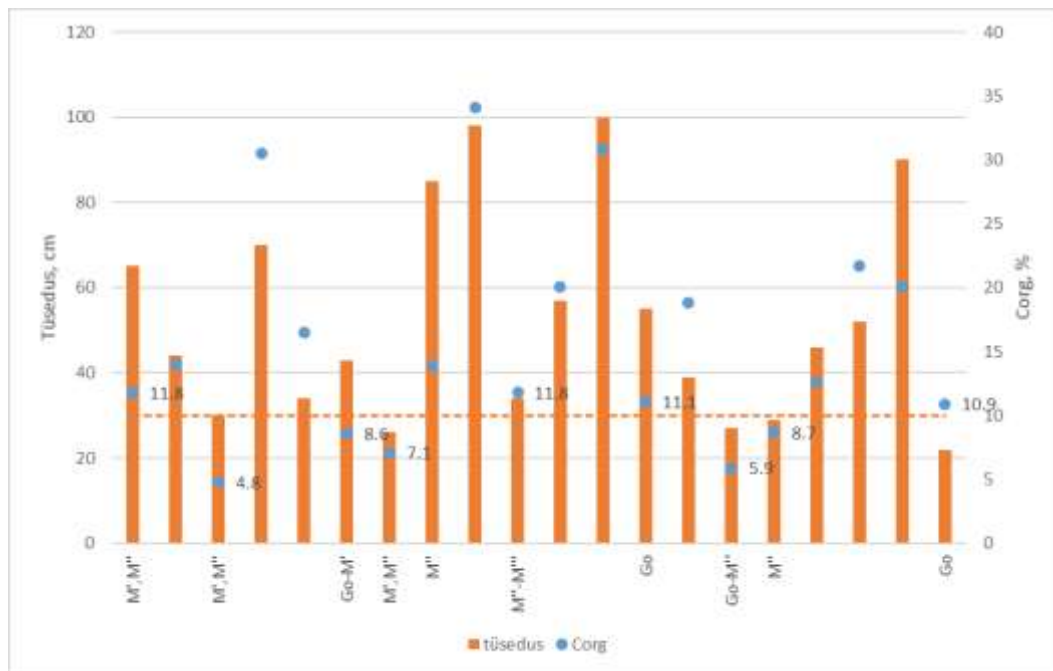


Kui turvas laguneb ja kaob, siis kus ja kui kiiresti?



Ruumiline nihe, muutus kraavide lähedal, alati ei ole ka sügav turvasmuld säilinud (eriti haritaval maal) ja mõnel juhul on turvasmulla areaal laiem kui kaardil





Muldade Corg sisaldus ja orgaanilise aine akumulatsioonihorisoni tüsedus proovialadel. Katkendliku joonega on tähistatud turvasmulla turbahorisoni tüseduse reeper 30 cm.

Kuigi turbakihi tüsedus annab head informatsiooni võimaliku mullaliigi kohta, on oluline täiendavalt teada ka teisi mullaomadusi, eeskätt Corg sisaldust. Laboratooriumist laekunud esmaste mullaproovide tulemustest selgus, et 45% proovidel oli Corg alla 12%, 25% proovidest oli A/T kihi tüsedus alla 30 cm, ja 25% proovidest turvasmulla areaalil oli Corg sisaldus alla 12% ehk ei olnud tegemist turvasmullaga ja 15% proovipunktides oli turvasmulla areaalil turbakihi tüsedus alla 30 cm ehk samuti ei olnud selle kriteeriumi järgi tegemist enam turvasmullaga.

Muldade muutuse riskimaatriks ja muutuse modelleerimine

Muldade muutumise riskimaatriksi näidis turvastunud ja turvasmuldade näitel

Mullaliik	Siffer	Muutus harimisel	Põhjus	Argumendid mudeldamiseks
turvastunud	G1	G	turvas laguneb	põllumaana kasutamine teatud perioodil
				intensiivse rohumaana kasutamine
				naaberareaal G või veel kuivem
				intensiivne kuivendus-tihe дренаaz või lahtine kraavitus
väga õhuke madalsoon	M'	G1, G	turvas laguneb	põllumaana kasutamine teatud perioodil
				intensiivse rohumaana kasutamine
				naaberareaal G või veel kuivem
				intensiivne kuivendus-tihe дренаaz või lahtine kraavitus
väga õhuke lammi-madalsoon	AM'	AG1,AG	turvas laguneb	põllumaana kasutamine mingil perioodil
õhuke madalsoon	M''	M', G1	turvas laguneb	põllumaana kasutamine mingil perioodil
õhuke lammi-madalsoon	AM''	AM1, AG1, AG	turvas laguneb	põllumaana kasutamine mingil perioodil
sügav madalsoon	M'''	M'' (M')	turvas laguneb	põllumaana kasutamine mingil perioodil
sügav lammi-madalsoon	AM'''	AM'', AM'	turvas laguneb	põllumaana kasutamine mingil perioodil

Projekti esimeses ja teises etapis koostasime muldade muutumise riski maatriksi, kus kajastatakse muldade muutusi nii pedogeneesis kui ka majandamise tulemusena.

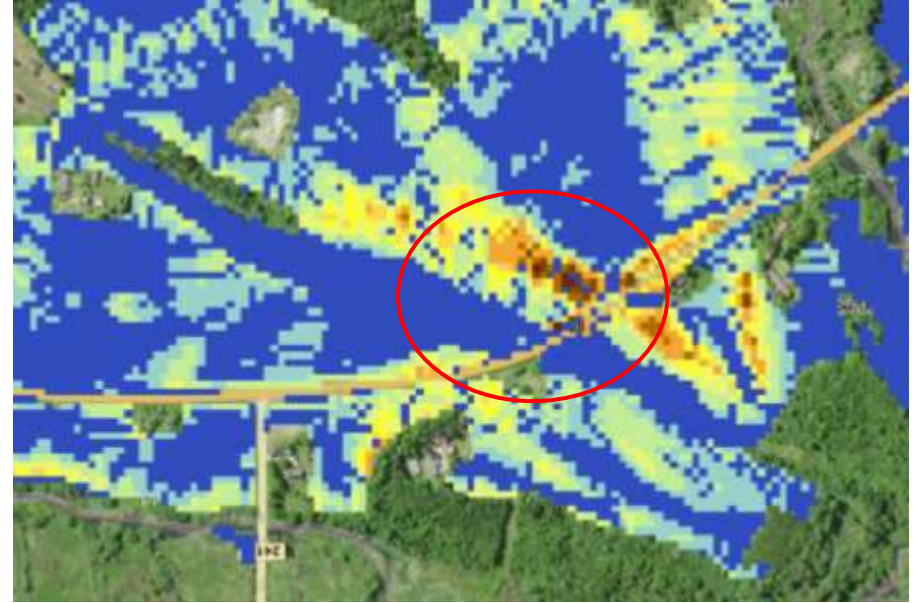
Üldjuhul toimuvad pedogeneetilised muutused väga pika aja jooksul, mistõttu need ei ole mullastikukaardi uuendamise kontekstis olulised.

Määrav on inimtegevuse mõju

Erodeeritud -ja delluviaalmullad



Foto: P. Penu



Erosioonimudel, baseerub USLE metoodikal, METK

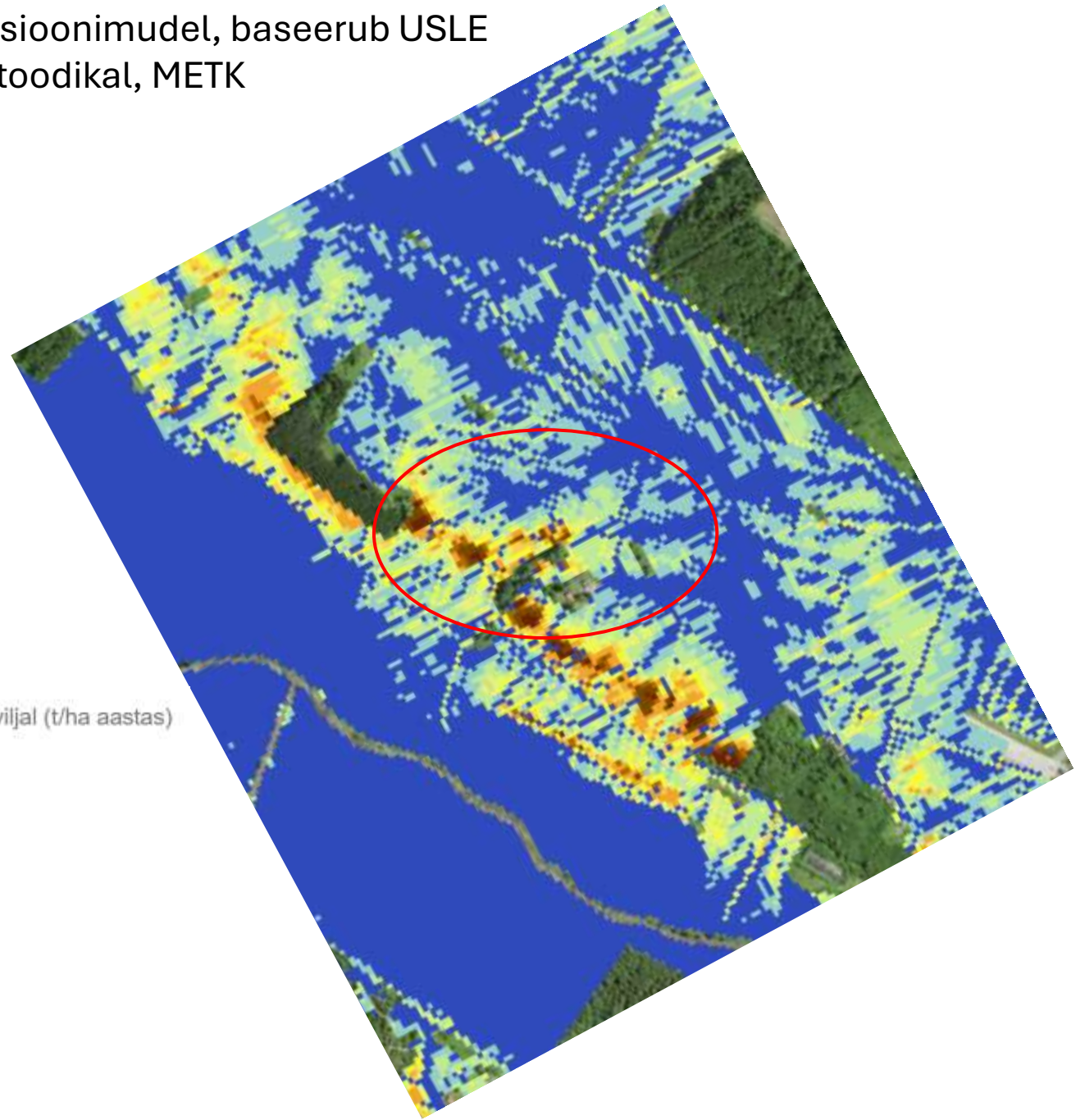
Erodeeritud- ja deluviaalmuldade kaardistamise ja asukohatäpsuse hindamise puhul on oluline silmas pidada, et erosioon ning mullaosakeste settimine toimuvad nii looduslike protsessidena kui ka inim mõju (nt maaharimine) tulemusena ja vastav muld võib olla kujunenud pikaajalise protsessi tulemusel või suhteliselt lühikese ajavahemiku jooksul kui inimtegevus on loonud selleks soodsad tingimused.

Samas võib erodeeritud muld aja jooksul kamardumise ja/või metsastumise mõjul ka pikemaajajooksul areneda mõneks teiseks mullaks.

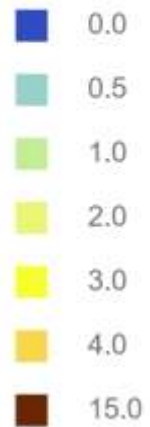
Erosioonimudel, baseerub USLE
Metoodikal, METK



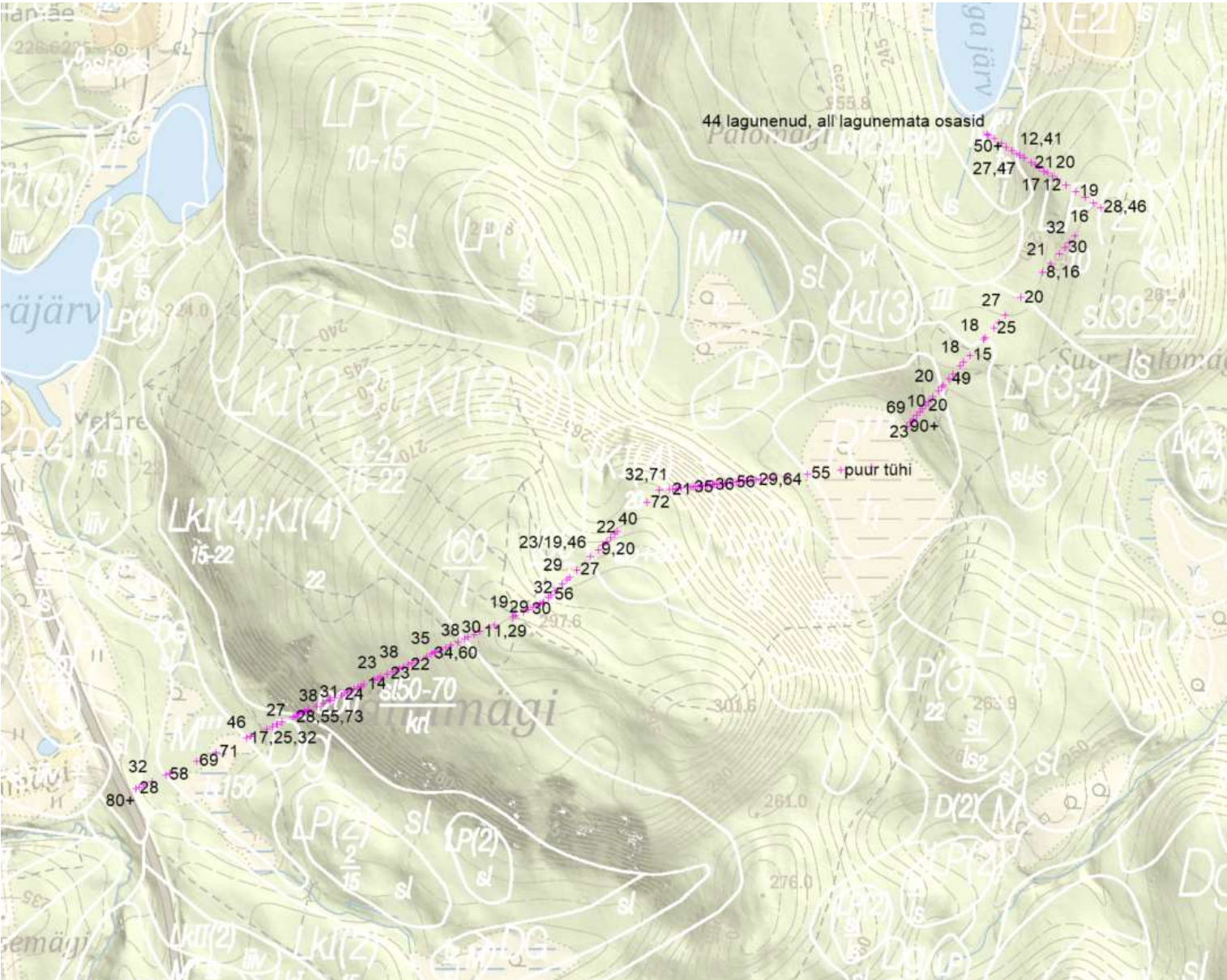
MARU kaldaerofoto



erosioon suviviljal (t/ha aastas)



Välitööd jätkuvad turvasmuldadel, erodeeritud ja deluviaalmuldadel, lisandusid turvastunud mullad ning esimesed rannikumulla kontrollalad

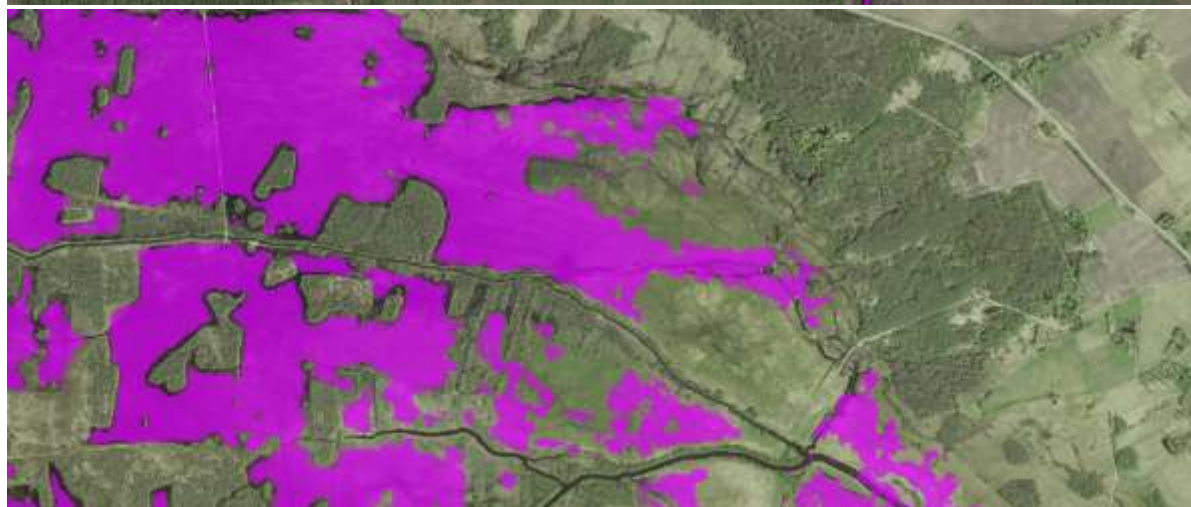


Näide mullastiku kompleksprofiilist Haanjas

D ja Dg turba tüsedus sarnane või kohati suurem kui M ja R muldadel

D ja E üleminek praegusel kaardil sageli puudub, E ei pruugi rohumaal ja metsas eristuda teistest muldadest

Lammide kaardikiht

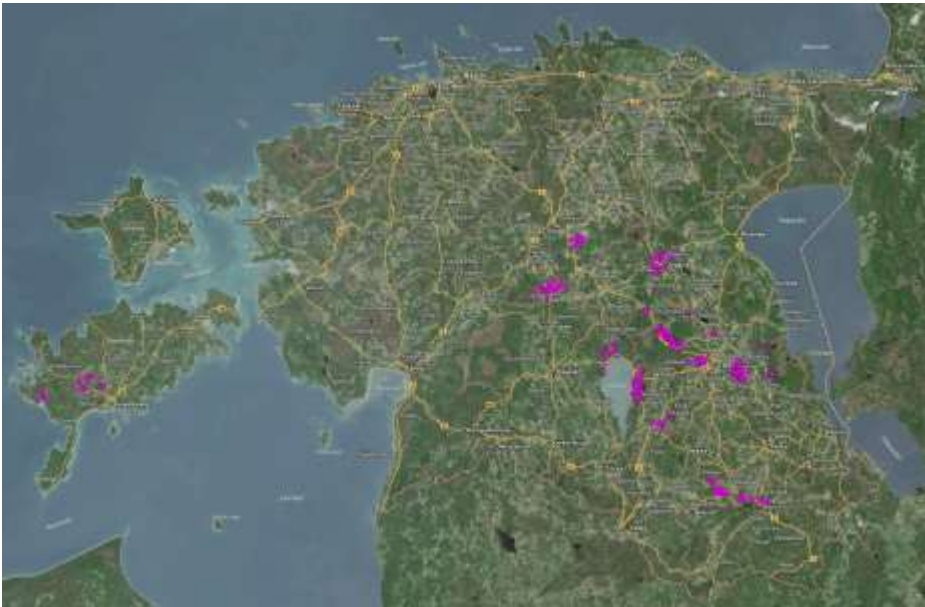


Aruandlusperioodi kestel loodi kogu Eestit hõlmav lammide kaardikiht, kus esineb regulaarseid üleujutusi. Antud kaardikiht on aluseks koos LIDAR andmestikuga lammi- ja madalsoomuldade piiri korrigeerimiseks

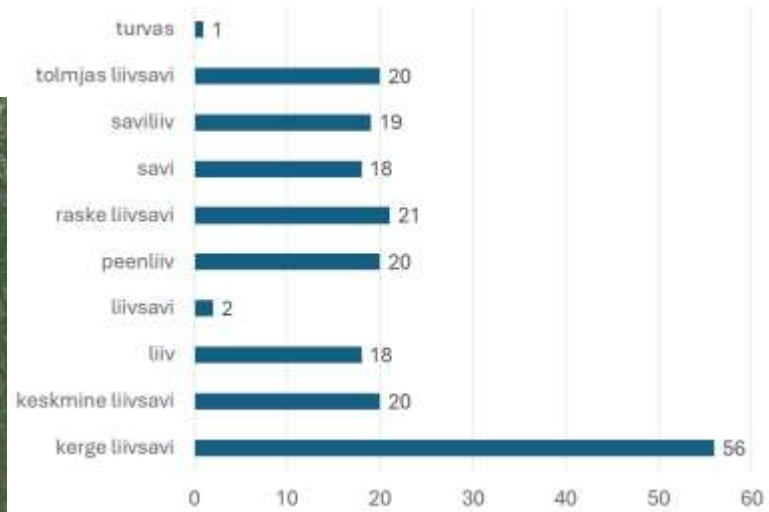
Lammialad kaardistatakse satelliidi radarkaugseire (SAR, Sentinel 1) andmete põhjal kasutades Sipelgas jt. 2021 metoodikat.

MULD2 projektis loetakse toimivateks lammideks vooluveekoguäärsed lammimullaga alad, mis on vee all vähemalt pooltel vaatlusperioodi aastatel ning üleujutusega aastal vähemalt 25%

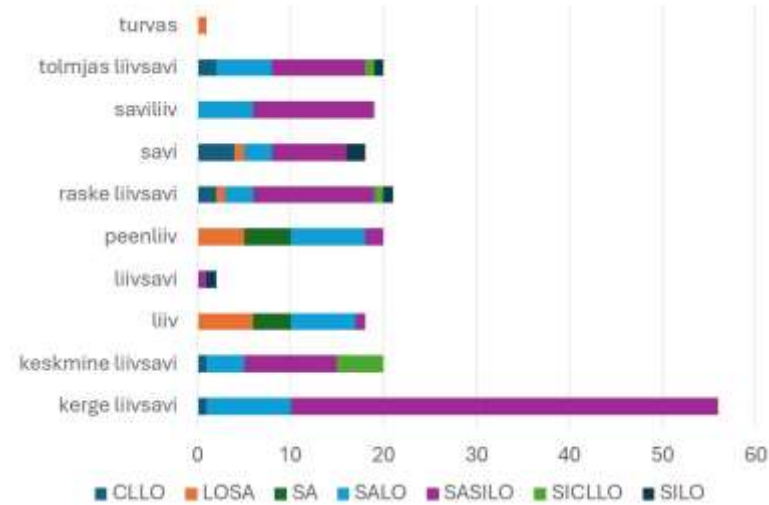
Lõimised



Proove valimis



Eesti - WRB



YARA analüüsid

- Calcium__ppm__
- Magnesium__ppm__
- Manganese__ppm__
- Boron__ppm__
- Copper__ppm__
- Molybdenum__ppm__
- Iron__ppm__
- Soil_Respiration__mg_kg__
- C_N_Ratio
- Microbial_Biomass__mg_kg__
- Potentially_Min_N__
- kg_N_ha__
- Solvita_Soil_Health
- Sand____
- Silt____
- Clay____
- Texture_Class
- Zinc__ppm__
- Sulphur__ppm__
- Potassium__ppm__2
- Sodium__ppm__
- Organic_Carbon__DUM____
- Phosphorus__ppm__
- Org_Matter__DUMAS____
- pH_KCl
- C_E_C__meq_100g__

Eesti muldade konverteerimine WRB süsteemi olemasoleva andmestiku põhjal

Vastavusreeglite loomine Eesti ja WRB mullastikuklassifikatsiooni vahel ning seosed erinevate riiklike aruandluste vajadustega

Tunnused/omadused, mida on vaja konverteerimiseks (osaline väljavõte)

Tunnus	Tähtsus WRB-s	Eesti mullastikukaardi andmebaasist saadaval
Horisondi tüsedus	Enamuse diagnostiliste horisontide puhul, mitte ainult A või T, RSG ja lisatunnuste eristamiseks	Võimalik huumusprofiili valemist ja/või lõimisevalemist A/T horisondi kohta; sügavamate horisontide puhul info puudub
Lõimis	Vajalik RSG tasemel + lisatunnusteks FAO süsteemis	Lõimisevalem, lõimised Katšinski süsteemis, pole numbriliselt liiva, tolmu ja savi fraktsiooni
Lõimise muutus/ülemineku ulatus cm	Planosolide eristamiseks, lisatunnuste jaoks	Lõimisevalem, kuid ülemineku iseloomu info puudub
Värvus Munselli skaalal kuiv/märg	Diagnostiliste horisontide ja tunnuste eristamiseks, mille alusel RSG ja lisatunnused	Info puudub
pH vesilahuses ja/või küllastusaste	Diagnostiliste horisontide ja tunnuste eristamiseks, mille alusel RSG ja lisatunnused	Puudub, osaliselt kaudselt tuletatav mullaliigist (küllastumine)
.....		

WRB-s on esimesel tasemel 32 mullagruppi, millest 16 on kohased ka Eestis.

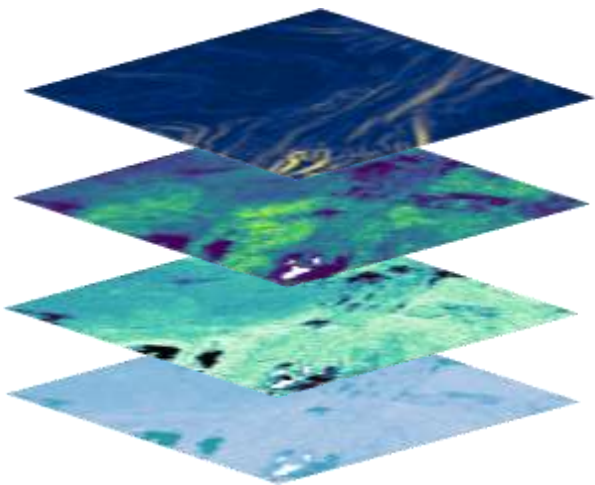
Konverteerimisel tekib probleem, et igale valdavale osale Eesti mullaliikidest võib anda mitmeid erinevaid vasteid WRB järgi.

Probleemsemad on turvasmullad, näivleetunudmullad ja gleimullad

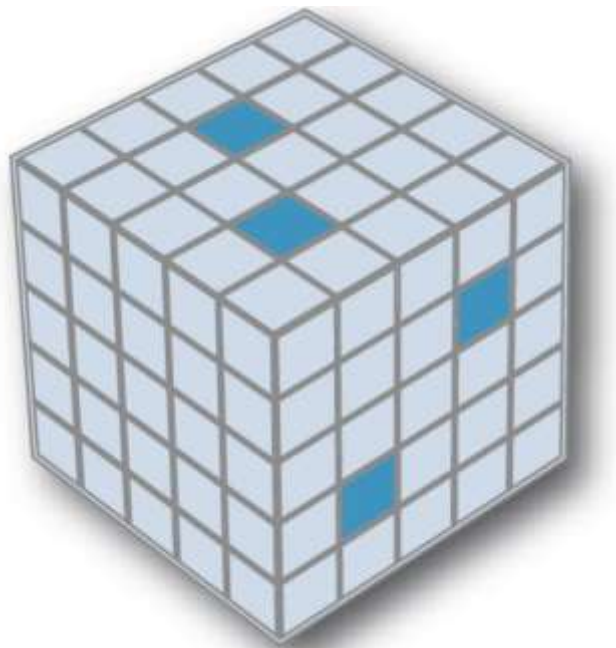
MULD2 andmekuup

Rasterandmestikke sisaldav andmekuup ehitatakse üles ühest küljest praegust Eesti muldade klassifikatsiooni järgivalt (geneetilised horisondid ja neid iseloomustavad näitajad) ning teisalt WRB vajadustest lähtuvalt (täiendavad tunnused, mis võimaldavad Eesti muldade klassifikatsiooni ühildada WRB süsteemiga).

Iga sügavuse (0-10, 10-20 ..) ja muutuja (mullatüüp, lõimis...) on eraldi rasterkiht (geotif)



Andmekuup, mis koosneb ca 100-st rasterkihist, mis on kõik eraldi päritavad/analüüsitavad kui ka vajadusel koos



Andmekuup võimaldab kiireid päringuid ja masinõpet, sest andmed on ühtsel standardiseeritud kujul



TÄNAN!

tambet.kikas@metk.agri.ee