

Projekti „Turvas- ja turvastunud muldade kordusmääramised mullastikukaardi täpsustamiseks,, lõpparuanne

Aruande koostajad: Alar Astover, Elsa Putku, Priit Penu, Tambet Kikas

Projektijuht: Alar Astover

Asutus: Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Projekti tulemuste lühikokkuvõte:

Olemasoleva mullastikukaardi alusel moodustavad turvastunud ja turvasmullad >10% Eesti põllumajandusmaast. Peamine eesmärk oli määratleda põllumajandusmaal kõige tõenäolisemalt kriitilised alad, kus mullastikukaardi turvas- ja turvastunud muldade info on aegunud. Selleks koondasime ja täiendasime asukohapõhiselt seostatavaid mullauuringute andmebaase eesmärgiga eristada orgaanilise aine poolest rikkad mullad ja neis toimunud muutused. Mitmefaktoriliste mudelite prognoosiviga ($\pm 10\%$ absoluutühikuna) jäi orgaanilise süsiniku muutuse hindamisel väga suureks ning olemasolevate andmebaaside alusel ei saa neid mudeleid turvasmuldade kaardikihi täpsustamisel rakendada. Turvasmuldade leviku prognoosimudelite arendamiseks on edaspidi vajalik kaasata süsteemsemalt kaugseire võimalusi. Usaldusväärsete prognoosimudelite (sh kaugseire sisendandmed) arendus eeldab senisest suuremas mahus välitöödel reaalsete andmete kogumist ja nende alusel mudelite valideerimist. Sügavkaevete ja mullaviljakuse andmebaasi üldistusena koostasime hinnangud ja vastava kaardikihi turvasmuldade esinemise tõenäosuse kohta. Sügavate ja õhukeste turvasmuldade (algne turbakihi tusedus >50 cm) puhul pole piisavalt tõendust, et need ülepinnaalset mineraalmuldadeks ümber klassifitseerida. Õhukeste turvasmuldade ja turvastunud muldade koostati tõenäosuse hinnangud kahes etapis: 1) kui mullaproovi alusel Corg $\geq 20\%$, siis tõenäosus 100% ja kui Corg <20%, siis tõenäosus 5%, et tegu on jätkuvalt turvasmullaga; 2) kui ei ole hiljutist Corg määramise tulemust, siis on mullastikukaardi info ajakohane vastavalt mulla liigile järgnevalt - M' 50%, AM' 40% ja G1 10% tõenäosusega. Kaardikihi uuendamise tulemusel parandati 29% M' mullal asuvatest PRIA massiividest ning 21% mullakaitse meetme toetusõiguslikest massiividest. Turvasmuldade leviku täpsustamiseks on jätkuvalt kõige olulisem täiendavate mullaproovide võtmine ja Corg sisalduse analüüsimine ja paralleelselt turbakihi tuseduse mõõtmine. Seda peaks esmajärjekorras tegema mullakaitse meetme toetusõiguslikelt massiividelt. Mullaseire valimi uuendamisel peaks kindlasti kaasama rohkem turvastunud ja turvasmuldadega alasid.

Projekti tulemuste lühikokkuvõte inglise keeles:

Peat and peaty soils form >10% of Estonian agricultural land. Main objective of the project was to identify critical areas in agricultural land where soil map information for peat soils is out of date and does not reflect current situation. For this purpose, existing soil and land use databases were updated used to compose predictive models. All multi-factor models resulted very high prognosis error and can not be solely applied for updating map for peat soils. Further inclusion of remote sensing data might improve prediction models. We made probability estimation on peat soil existence and have composed respective map layer.

Projektis esitatud eesmärkide saavutamise (sh kasutatud meetodika)

Peamine eesmärk oli välja töötada meetodika põllumajanduslikus kasutuses olevate turvasmuldade leviku täpsustamiseks kasutades olemas olevat mullastikukaarti ja andmebaase ning pilootaladel teostatavate välitöödega kombineerides välja selgitada jätkutegevuste vajadus. Töö tulemusena valmis põllumassiivide tasandil kaardikiht kriitilistest aladest, kus tõenäoliselt ei vasta mullastikukaardi teave turvasmuldade levikust enam tegelikkusele.

Turvastunud ja turvasmuldade eristamise alused ja levik olemasoleva mullastikukaardi alusel

Eesti muldade klassifikatsiooni väljatöötamist alustati pärast II maailmasõda Alfred Lillema eestvõtmisel. Eesti muldade klassifikatsiooni põhiüksuseks kujunes mulla liik, mida kaardistamisel eristati erimi tasemele (lisaks liigile täiendav info lõimise kohta). Hilisematel aastakümnetel klassifikatsiooni täiendati, ent mulla liikide ja seda eriti turvastunud ja turvasmuldade eristamise kriteeriumide osas suuri muutusi pole toimunud ning mullastikukaartidel kasutatud mulla liikide koodid on viimase 50 aasta jooksul peaaegu muutumatuks jäänud.

Turvastunud ja turvasmuldade eristamine käib turbahorisondi esinemise ja selle tüseduse alusel. Turbahorisont on üle 10 cm tüsedune orgaanilise aine rikas kiht (orgaanilist aine sisaldus kuivmassist >35%, so orgaanilise süsiniku Corg sisaldus >20%). Turbahorisondi eristamine toorhuumuslikust ja huumushorisondist tehakse enamasti välitöödel morfoloogiliste tunnuste alusel ning harvem määratud orgaanilise aine või orgaanilise süsiniku sisalduse järgi. Eesti ja rahvusvahelises WRB (*World Reference Base for Soil Resources*) mulla klassifikatsioonis on turba määramine orgaanilise süsiniku sisalduse järgi samaväärne (Corg >20%). Samas turvasmulla (*Histosol*) defineerimiseks WRB alusel peab mullaprofiili turba tüsedus olema >40 cm (Eesti klassifikatsioonis >30 cm pindmises kihis).

Muldade klassifitseerimiseks ja kaardistamiseks kasutatakse enamasti ajas püsivaid mulla näitajaid, nagu mullaprofiili ehitus, lõimis, muldkatte tüsedus, asetus maastikul jne, mis muutuvad

ilma otsese inimõjuta aastasadade või -tuhandete vältel. Turvasmullad on inimõju suhtes ühed kõige tundlikumad, sest nende loomuomased mullatekkeprotsessid on maakasutuse muutuste suhtes väga tundlikud. Põllumaana kasutamisel ja intensiivse kuivenduse tulemusena toimub kiire turba mineraliseerumine ning nii võib mulla klassifikatsiooniline kuuluvus muutuda mõne aastakümne jooksul. Seetõttu ei pruugi varasematel aastakümnetel koostatud mullastikukaardid eelkõige põllumajandusmaadel turvastunud ja turvasmuldade osas enam ajakohased olla.

Eestis algas süstemaatiline suuremõtkavaline mullastiku kaardistamine 1954. aastal, alustati põllumajandusmaa kaardistamisega ning hilisematel aastakümnetel kaardistati metsamullad ja looduslikud rohumaad. Paberikandjal suuremõtkavalisele mullastikukaardile viidi viimased uuendused sisse 1980ndate lõpus (osaliselt ka 1990ndate alguses). Peale seda teadaolevalt välitöödel põhinevaid korrekture kaardile tehtud pole. Haritava maa kvaliteedi inventeerimine viidi läbi 1982-1988.a, mille käigus: "...fikseeriti haritava maa mullastikus toimunud muudatused, mis tulenesid maaparandusest, väljaparandusest ning intensiivsest ja sügavamast maaharimisest. Suuremat tähelepanu pöörati lõimise, kivisuse, reljeefi, veerežiimi ja selle reguleerituse astme hindamisele. Välitööde käigus ei koostatud uut terviklikku mullastiku kaarti, kuna looduslikud maad jäid samal tasemel uurimata. Mullastiku korrektuur välitöödel vormistati varemkasutatud aerofotodele ning 1982. ja 1983. aastal kanti korrektuur üle ka värvitud mullastiku kaardi arhiivieksemplarile". (Maa-amet, 2001). Sellest kirjeldusest ei selgu otseselt kas need korrektuurid kajastusid täies mahus ka hiljem digiteerimisele läinud kaartidel. Juhul kui need korrektuurid viidi sisse, siis saab eeldada, et turvasmuldade info olemasoleval kaardil kajastab vähemalt 1980ndate seis. Mullastikukaart digitaliseeriti aastatel 1997-2001. Selle käigus: "... tehti vajalikud parandused nendes kaardi osades, kus pärast skaneerimiseks kasutatava kaardi koostamist oli mullastiku kaarti korrigeeritud või tehtud mullastiku väliuurimistööd)". See lubab eeldada, et viimaste välitööde korrektuur kajastuvad digiteeritud kaardil. Turbakihi tusedusi kaevete ja/või puuraukude abil viimase haritava maa kvaliteedi inventeerimine käigus tõenäoliselt kõikjal ei mõõdetud. Seega on keeruline hinnata, mis ajast pärineb kaardil turvasmuldade liigi määratlus ja turba tuseduse tegeliku mõõtmise tulemus.

Eesti muldade klassifikatsiooni alusel peab turvastunud muldadel esinema maapinnal 10–30 cm tusedune turbahorisont. Kaardistamisühikute tasemel eristatakse järgnevad turvastunud muldade liigid: Gh1 - paepealne turvastunud muld; Gk1 - rähkne turvastunud muld; Go1 - küllastunud turvastunud muld; GI1 - küllastumata turvastunud muld; LG1 - leede-turvastunud muld; AG1 - lammi-turvastunud muld. Põllumajandusmaadel esinevad neist peamiselt Go1 mullad ja vahesemal määral GI1 ja AG1 mullad (tabel 1).

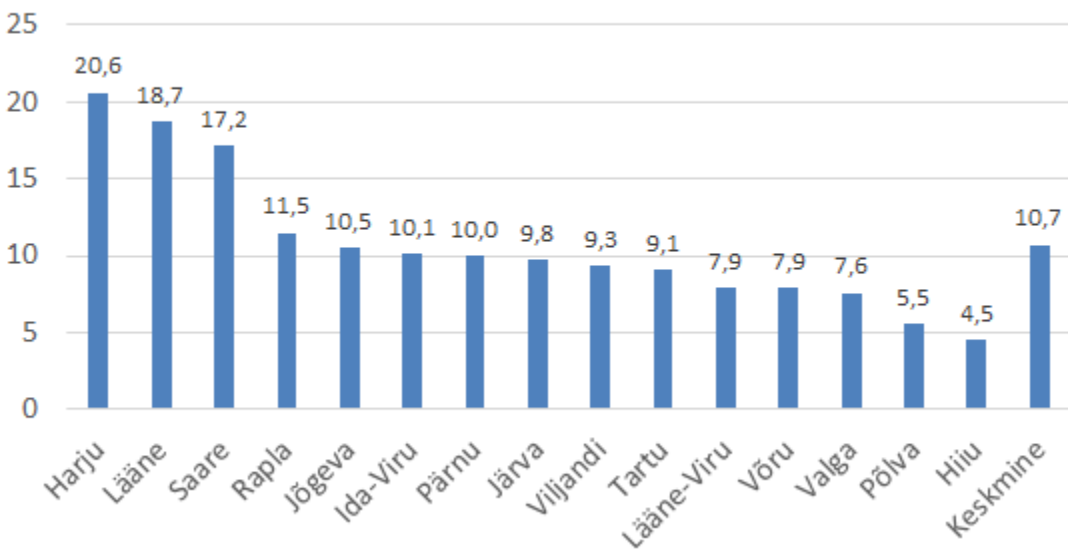
Tabel 1. Turvastunud ja turvasmuldade levik põllumajandusmaal (2018.a. PRIA põllumassiivid) suuremõotkavalise mullastikukaardi alusel.

Mulla liik	Pindala, ha	Osakaal, %
AG1	2133	2,0
Gh1	11	0,0
GI1	2919	2,8
Go1	16241	15,4
LG1	109	0,1
AM'	1229	1,2
AM''	1040	1,0
AM'''	1224	1,2
M'	21177	20,1
M''	25121	23,8
M'''	34106	32,3
S, R	252	0,2
Kokku	105562	100,0

Turvasmuldade eristamise ühine tunnus on üle 30 cm tuseduse turbahorisoni esinemine maapinnal. Sõltuvalt veega toitumise iseloomust, turbalasundi päritolust ja koostisest jaotatakse enamik turvasmuldi kolme alltüüpi: madalloomullad (M), siirdesoomullad (S) ja rabamullad (R). Kui turvasmulla arengut mõjutavad nüüdisaegsed geoloogilised protsessid kas siseveekogude üleujutus näol, siis eristatakse lammi-madalloomuld (AM) või mereveest mõjutatud ranniku madalloomullad (Mr). Vastavalt turbakihi tusedusele jaotatakse turvasmullad omakorda kolmeks (va Mr): väga õhukesed (turba tusedus 30-50 cm, M' jne); õhukesed (50-100 cm, M'' jne); sügavad (>100 cm, M''' jne). Põllumajandusmaal esinevad turvasmuldadest peamiselt madalloomullad, millest omakorda on kõige rohkem sügavaid madalloomuldi (tabel 1).

Olemasoleva mullastikukaardi alusel on PRIA põllumassiividel Eesti keskmisena turvastunud ja turvasmuldade osatähtsus 10,7% (joonis 1). Turvasmuldade osa on suurim Harju, Lääne ja Saare maakonna põllumajandusmaal. Väiksem on nende muldade osakaal Kagu-Eestis ja Hiiumaal.

Osakaal põllumassiivide pinnast, %



Joonis 1. Turvastunud ja turvasmuldade osakaal (%) põllumassiivide kogupinnast maakonniti olemasoleva mullastikukaardi alusel. 2018. aasta toetusõiguslikud PRIA põllumassiivid.

Mullastikukaartide koostamise traditsioonilised ja uudsed viisid

Traditsiooniline mulla klassifitseerimine ja mullastiku kaardistamine tugineb peamiselt mahukat inimtööjõudu nõudvatel välitöödel. Mullakontuuride piiritlemine toimub kaevete ning puuraukude tegemisel ja muude visuaalselt jälgitavate tunnuste alusel (reljeef, taimkate, mulla värvus jne). Kui muldade piirid ei olnud looduses otseselt määratavad ja puudusid kaudsed tunnused nende määramiseks, kanti need kaardile kaevete ja puuraukude võrgu andmete alusel (Maa-amet, 2001). Mullastikukaartide lõpliku vormistamise aluseks on nii väliuuringutel kogutud info kui ka mullaproovide laboratoorse analüüsi tulemused.

Tänapäeval kasutatakse mullastiku või muldade mõnede omaduste eristamiseks üha sagedamini prognoosivat/digitaalset kaardistamist (*predictive/digital soil mapping*). Kui traditsioonilisel kaardistamisel põhineb mullakontuuri piiride kindlakstegemine peamiselt kogutud andmetele tuginevatel eksperdi hinnangutel, siis digitaalsel mullastiku kaardistamisel rakendatakse kaugseire teel kogutud või muid digitaalseid koha-andmeid, mitmesuguseid matemaatilisi ja (geo)statistilisi mudeleid ning nüüdisaegset arvutustehnoloogiat (nt Kempen et al., 2015; Rudyanto et al., 2016). Prognoosimudelite sisendina kasutatakse näitajaid, mis on kõige tõenäolisemalt kas otse või kaudselt muldade tekke ja arenguga seotud. Kõige rohkem on digitaalsel mullastiku kaardistamisel kasutatud leidnud maapinna reljeefi, lähtekivimi, maakasutuse (põld, rohumaa, mets, kuivendus jne) näitajad ning kaugseirel kogutud spektraalandmeid ja aero/satelliitfotosid või neist tuletatud näitajaid (nt vegetatsiooniindeks NDVI). Kaugseirel võidakse saada andmeid nii reljeefi ja kõrgusmudeli koostamiseks kui ka hinnata taimkattelt või mulla pinnalt tagasipeegelduvat spektrit või analüüsida aero/satelliitpilte. Pilvisus ja taimkate piiravad satelliitandmete kasutatavust turvasmuldade leviku automatiseeritud täpsustamiseks. Turvasmulla eristamiseks on vaja teada turbakihi tusedust ning pindmist kihti iseloomustavad kaugseire spektrid ja pildid ei ole seetõttu ainuüksi piisavad kaardi täpsustamiseks.

Turvasmuldade digitaalse kaardistamise kohta on avaldatud mitmeid uuringuid (Beamish 2013; Artz et al. 2019). Need meetodid ja prognoosimudelid suudavad enamasti hästi eristada turvast mineraal muldest pindmise kihi järgi suurema erinevuse astmega muutujate korral (nt põld, looduslik ala, kuivendatud-kuivendamata jne vahel). Uuringutes (Buffam et al. 2010; Holden, Connolly 2011; Gatis et al. 2019; Rudyanto et al 2018), kus on vaadeldud muuhulgas võimalusi turba tuseduse digitaalseks kaardistamiseks on enamasti valimis kuulunud turba sügavused küündinud mitme meetrini ning mudeli hinnangu vead on osutunud liiga suureks, et meie turvasmulla defineerimise piiri (0,3 m) usaldusväärselt prognoosida. Kõige paremaid tulemusi on andnud lennukitelt toetatavate gamma-kiirguse spektraalmõõtmiste kaasamine mudelitesse (Keaney et al. 2013; Beamish 2013). Gamma spektromaatia eelis on selles, et võimaldab saada spektri tulemusi ka mullaprofiili sügavamate kihtide kohta. Gamma-kiirgus pärineb mineraalsest alus- ja lähtekivimist ning see võimaldab tuvastada mineraalse mulla/aluspinnase sügavuse ja sellel asetseva orgaanilise aine rikka turbalasuundi tuseduse. Samuti pole gamma-spektrometria

puhul segavaks taimkate. Meie teadmiste kohaselt Eestis lauspinnalisi gamma-spektromeetria kaugseire mõõtmisi pole tehtud ning seega turvasmuldade leviku täpsustamiseks me neid käesolevad projektis kasutada ei saanud.

Eestis digitaalselt koostatud klassikalisi mullastikukaarte veel pole. Pedomeetrilisi prognoosimudeleid on Eestis välja töötatud mineraalsete põllumuldade lasuvustiheduse ja orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni kaartide koostamiseks (Suuster et al. 2011, Suuster et al. 2012, Ritz et al. 2015). Neis prognoosimudelites on osadeks sisendandmeteks mullastikukaardil kajastuvad mulla liik, huumushorisoni tüsedus ja lõimise valemist tuletatud füüsikalise savi sisaldus. Turvasmuldadele need prognoosimudelid otseselt rakendatavad pole, sest mudelite loomisel kasutatud Eesti põllumuldade seire andmebaasis ei esinenud turvas- või turvastunud muldi. Siiski kasutasime käesolevas projektis kõiki meetodilisi etappe ja statistilisi meetodeid turvasmuldade prognoosimudelite koostamiseks nagu on artiklites kirjeldatud.

Andmebaaside ühildamine ja analüüs

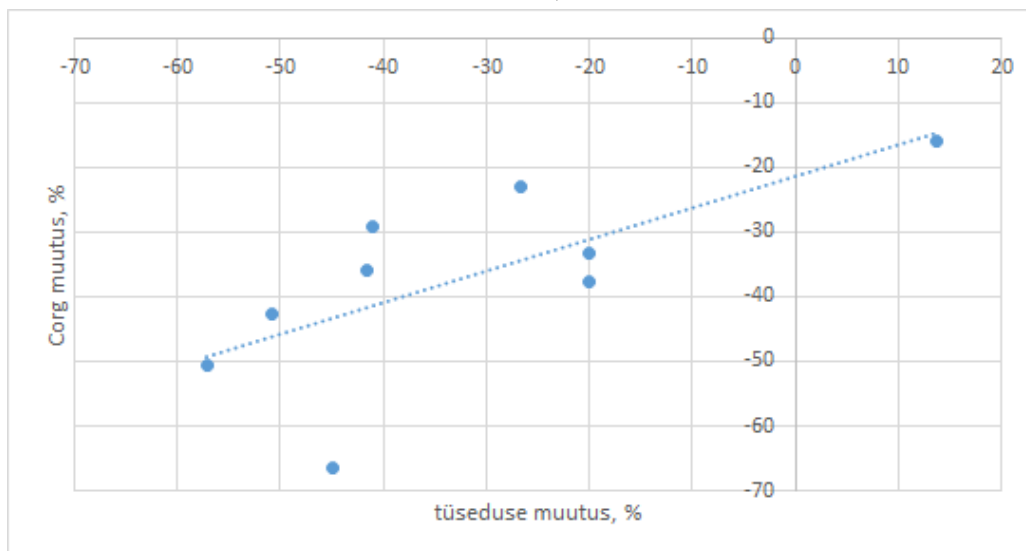
Koondasime ja täiendasime asukohapõhiselt seostatavaid mullauuringute andmebaase eesmärgiga eristada orgaanilise aine poolest rikkad mullad ja neis toimunud muutused. Peamine eesmärk oli määratleda kõige tõenäolisemalt kriitilised alad, kus mullastikukaardi turvas- ja turvastunud muldade info on aegunud.

Sügavkaevete andmed

Maa-ameti arhiivist õnnestus üles leida teatud osa mullastiku kaardistamise käigus tehtud sügavkaevete kirjeldused. Kahjuks on arhiivis säilinud ainult Lääne-Eesti kohta käiv materjal. Teostasime asukohamääranguga varustatud sügavkaevete andmete digiteerimise. Mullastikukaardi koostamise välitööde (1965., 1967. ja 1970. aasta) lehtedel oli 10 õhukeste madalloomuldade (M'') hulka kuuluvat sügavkaeve kirjeldust koos Corg tulemuste ning mõõdetud turbahorisoni tüsedusega. Samadel aladel kogusime 2017. ja 2018. aastal kordusproovid, mõõtsime turbahorisoni tüseduse ning määrati Corg sisaldus. Kordusproovide asukoht püüti võimalikult täpselt paigutada algse proovi võtmise kohta, ent tuleb arvestada inimfaktoriga nii algsel proovi märkimisel paberkaardile kui hilisemal proovikoha digimisel arvutisse.

Kõigil 10 alal oli toimunud Corg sisalduse vähenemine vahemikus 16-80% võrreldes algse mõõtmistulemusega. Proovil, mille Corg sisalduse vähenemine oli kõige suurem, langes Corg sisaldus alla 20% ning tüsedus alla 30 cm, mis Eesti muldade klassifikatsiooni järgi tähendab, et tegu ei ole enam turvasmullaga. Kuna selle proovipunkti vahetus läheduses asub kohe parasniiske muld, siis ei saa seda proovi tulemust arvestada edasisel analüüsil: siin võib olla punkti digimise viga aluskaardilt ning tulemus ei pruugi peegeldada otsest muutust madalloomullas, vaid tuleneda mõjust külgneva parasniiske mullaga ja võimaliku tehnilise veaga asukoha täpsel määramisel.

Jättes nimetatud proovi edasisest analüüsist välja selgub, et kuigi kõikides kohtades on toimunud nii tuseduse kui Corg sisalduse vähenemine on lõpptulemusena mõlema näitaja järgi tänase seisuga tegu jätkuvalt turvasmuldadega. Seega ca 50 aastaga ei toimu õhukestes madalsoomuldades nii suurt muutust, mis klassifitseeriks need turvastunud või ka näiteks gleimuldadeks. Samas on selge, et tendents sinna suunas toimub (joonis 2) ning need mullad tuleks uuesti vaatluse alla võtta tulevikus. Mida suurem on oturbakihi tuseduse muutus seda suurem on ka Corg sisalduse muutus. Ühe proovi puhul on näha, et tusedus hoopis suurenes, samas Corg sisalduse muutus oli kõige väiksem. Kuna selle proovivõtu koha juurest mõõdeti tusedused transketil 10 kohast siis selgus, et üldiselt on turbahorisont sellel alal väga tüse (keskmisena 80 cm) ainult transekti ühes otsas on tusedused madalamad (alla 65 cm). Sügavkaevete andmed, vaatamata nende vähesusele, on olulised just seetõttu, et nad peegeldavad väga täpseid asukohapõhiseid muutuseid, mis on madalsoomuldades toimunud. Neid ei saa otseselt võrrelda näiteks mullaviljakuse andmebaasiga, kus ühe keskmise proovi moodustavad 15-30 üksikproovi 3-5 ha suuruselt alalt. Olemasolevatele andmetele tuginedes saab väita, et keskmine turbahorisondi tusedus vähenes 51 aasta keskmisena 32% ning Corg sisaldus 37%. Aastane turbakihi tuseduse vähenemine õhukestes madalsoomuldades on olnud keskmisena 0,4 cm.



Joonis 2. Üheksa ajaloolise sügavkaeve turbahorisondi tuseduse ja Corg sisalduse muutus protsentides.

Lisaks tehti turvasmullaga aladele kolm sügavkaevete seeriat uutesse kohtadesse (neis pole ajaloolisi labormääramise ja välitööde tulemusi), ent need aitavad siiski hinnata mullastikukaardi vastavust tegelikkusele. Mullastikukaardi järgi on kahel alal õhuke madalsoomuld ning ühel alal sügav madalsoomuld. Kõigil kolmel juhul kuuluvad mullad sügavkaevete ja laborianalüüside põhjal jätkuvalt samasse madalsoomulla klassi nagu algselt.

PMK mullaviljakuse andmebaas

Mullaviljakuse andmebaasi moodustavad proovid, mida kogutakse Eesti maaelu arengukava raames keskkonnasõbraliku majandamise ja mahetoetusega liitunud tootjate maadelt. Seetõttu koondab andmestik mullaproove põllukultuuride aluselt maalt juba alates 2002. aastast. Mullaproovid on kogutud ühtse meetodiga: üks keskmine mullaproov sisaldab 15-30 üksikproovi 3-5 ha suuruselt alalt.

Andmebaasist moodustati eraldi valim, milles proovivõtukohtad on mullastiku kaardi järgi vastavuses turvastunud või turvasmullaga. Järgmiseks valisime välja kõik ajaliselt uuemad proovid, mis asusid üksteisele väga lähestikku. Samuti tuli leida need proovid, mille üksikproovid olid suure tõenäosusega kogutud vaid turvastunud või turvasmullalt. Selle jaoks moodustati iga punkti ümber 3,9 ha suurune puhver ning kui 75% muldadest, mis puhvrisesse jäid olid turvasmullad, siis valiti proovipunkt välja kui "tõupuhas" proov ja jäeti valimisse. Nende tövõtete tulemusel moodustus projekti tingimustele vastav valim, mis sisaldas 3200 mullaproovi andmeid aastatest 2002-2018. Iga aasta kohta on keskmisena 188 proovi. 16 aasta jooksul on muutunud orgaanilise süsiniku määramise meetod kolm korda: Tjurini meetod 2002-2004 (5,8% alamandmestiku proovidest), NIRS 2004-2014 (53% proovidest) ja alates 2014.a keskpaigast sulfokroom meetod (41% proovidest). Kuivõrd iga meetod on veidi erinev, siis tuleb seda teadmist arvesse võtta: andmebaasi keskmisena on NIRSiga saadud tulemused absoluutväärtusena 2% võrra madalamad võrreldes teiste meetoditega. Sulfokroomi ja Tjurini meetodi tulemused ei erine üksteisest. Turba eristamiseks (Corg >20%) ei oma määramismeetod siiski väga suurt rolli ja seega kasutasime üldistuse tegemiseks kõigi meetoditega määratud Corg tulemusi. Mulla liikide lõikes on enim proove sügavatest madalsoomuldadest (M''') ning kõige väiksema esindatusega on lammi-madalsoomullad (AM) (tabel 2). Järelikult kasutatakse põllumaana rohkem just sügavaid madalsoomuldi - proovide kogumine on kohustuslik ainult põllukultuuride alusele maale mitte püsirohumaadele.

Tabel 2. Mullaproovide arv ja jagunemine mullaviljakuse andmebaasi turvastunud ja turvasmuldade valimis mulla liikide lõikes (M' - väga õhuke madalsoomuld, M''- õhuke madalsoomuld, M''' - sügav madalsoomuld, AM - lammi-madalsoomuld, G1 - turvastunud muld)

Mulla liik	M'	M''	M'''	AM	G1
Arv	687	879	1182	39	413
%	22	27	37	1	13

Uuringu tulemused:

Uuringu tulemustes on soomuldade (madalsoomullad ja lammi-madalsoomullad) puhul lähtutud kahest kriteeriumist:

- turbahorisoni tusedus - vähemalt 30 cm,
- Corg sisaldus >20%.

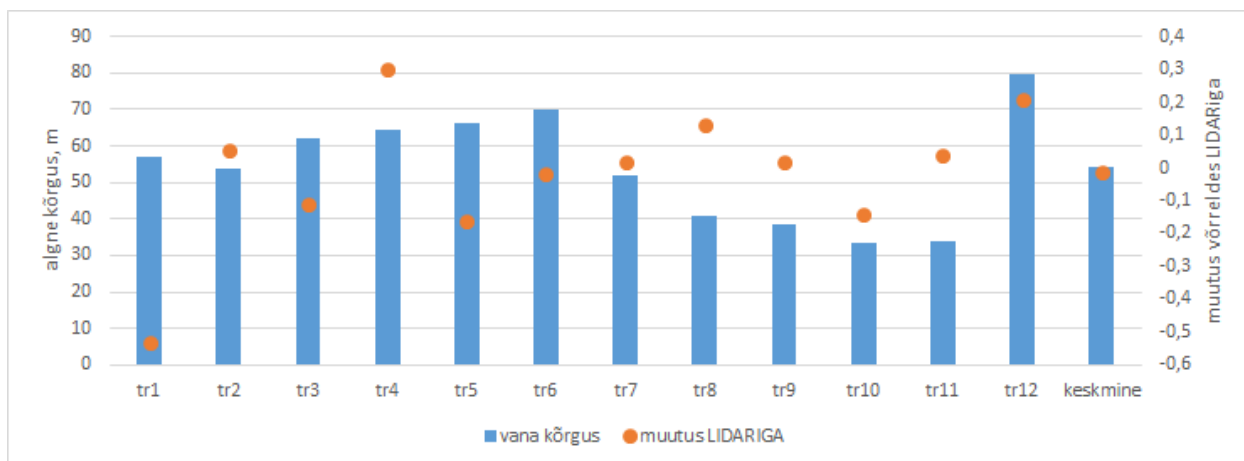
Kuivõrd mõõtmisandmeid turbahorisoni tuseduses osas ning eelkõige just ajas toimunud muutustes on vähe, on põhirõhk tulemuste esitamisel Corg sisalduse alusel. Mullaviljakuse andmebaasi turvastunud ja turvasmuldade valimi põhjal on mullaproove, mille turvas- ja turvastunud muldade Corg sisaldus on alla 20% kokku 51%. Mulla liikide lõikes on jagunemine erinev (tabel 3). Nendele andmetele tuginedes on Eesti põllumuldades kõige suuremad muutused toimunud **väga õhukestes madalsoomuldades, lammi-madalsoomuldades ning turvastunud muldades. Seega on need mullad peamises fookuses, millega tuleb tegeleda Eesti mullastiku kaardi uuendamisel.**

Tabel 3. Alla 20% Corg sisaldusega proovide osatähtsus kõikidest proovidest mullaviljakuse andmebaasi alamandmestikust.

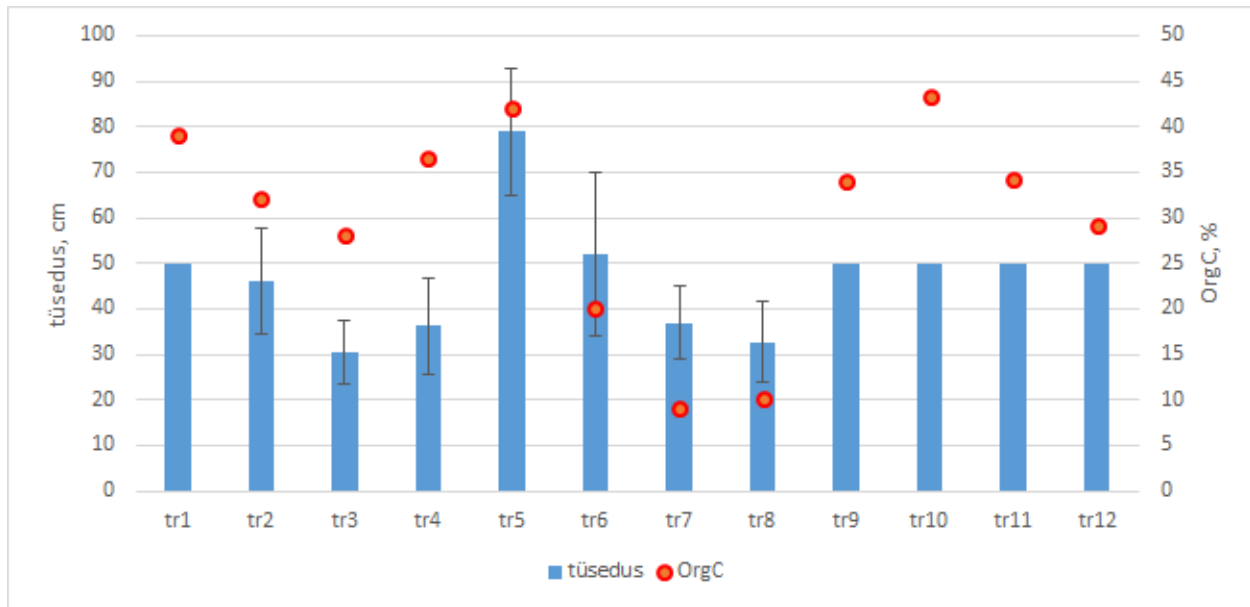
	Corg <20%				
Mulla liik	M'	M''	M'''	AM	G1
% proovidest	61	50	31	69	93

Kuigi ka õhukeste madalsoode puhul on madala Corg sisaldusega proovide arv pool kogu valimist, ei ole nende muldade ümberklassifitseerimine piisavalt tõendatud. Selle tõenduseks on sügavkaevete andmed, mis on kõik rajatud õhukestele madalsoomuldadele ning lisaks andmed, mis on kogutud kahe eelneva uuringu raames (joonis 3): PMK uuringud “Erodeeritud- ja turvasmuldade omaduste muutumine” (PMK, 2016) ning “Soostunud ja soomuldade orgaanilise süsiniku sisaldus ja mullakaardi võimalik korrigeerimine” (PMK, 2012). Peamine järeldus nendest andmetest on (16% mõõtmistest ehk neljal juhul on tusedus langenud 3-4 cm alla 30 cm), et M'' muldade turbahorison ei ole vähenenud sellises ulatuses, et need saaks põllumajandusmaal ülepea ülepinnaliselt tänase seisuga lugeda turvastunud või mineraalmuldadeks.

Käesolevas projektis katsetasime kaugseire andmetest LIDAR mõõtmistulemuste alusel koostatud kõrgusmudeli rakendatavust turvasmuldade leviku täpsustamiseks. 2018. aastal kogutud 12 transketi turbahorisoni mõõtmistulemused kõrvutati algse maaparandustööde kaardistamise käigus registreeritud kõrgustega mahamärkimislehtedelt või teostusjoonistelt praeguste LIDAR mõõdistamistulemustega. Seda võimalust uuriti potentsiaaliga automatiseerida turbahorisoni tuseduste korrigeerimist. Paraku on erinevused algsete ja LIDAR kõrguste vahel minimaalsed, erisuunalised ning trendi välja joonistu (joonis 4). Seetõttu jääb kahjuks see meetod mittesobivaks turvasmuldade kaardikihi uuendamiseks. Transektide keskmised tusedused olid kõik üle 30 cm, ent tuseduse varieerumine standardhälbe järgi transketil on suur (joonis 5). Corg sisaldus langes alla 20% kahel transketil, kuigi turbahorisoni tuseduse järgi klassifitseeruvad need turvasmuldadeks.

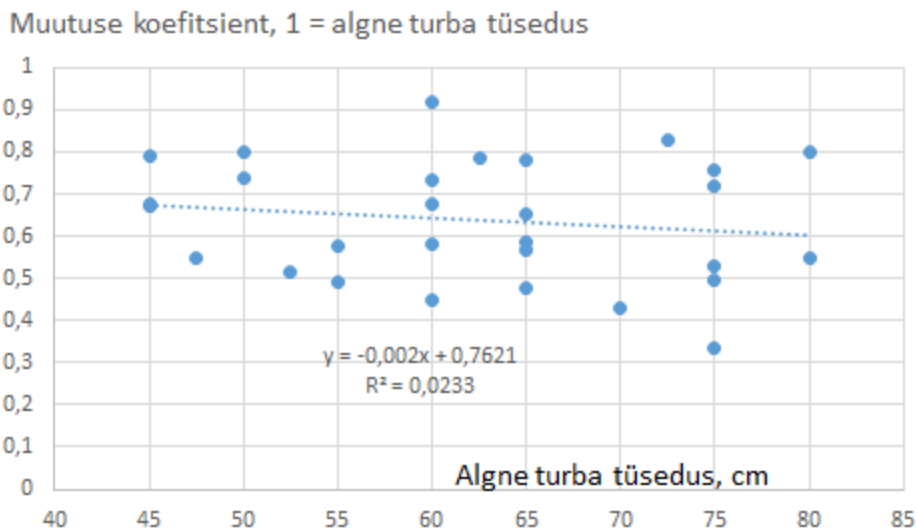


Joonis 4. Transektide kõrgusandmed maaparandusregistri mahamärkimislehtedelt või teostusjooniselt (meetrites) ning erinevus LIDAR andmete tulemustega.

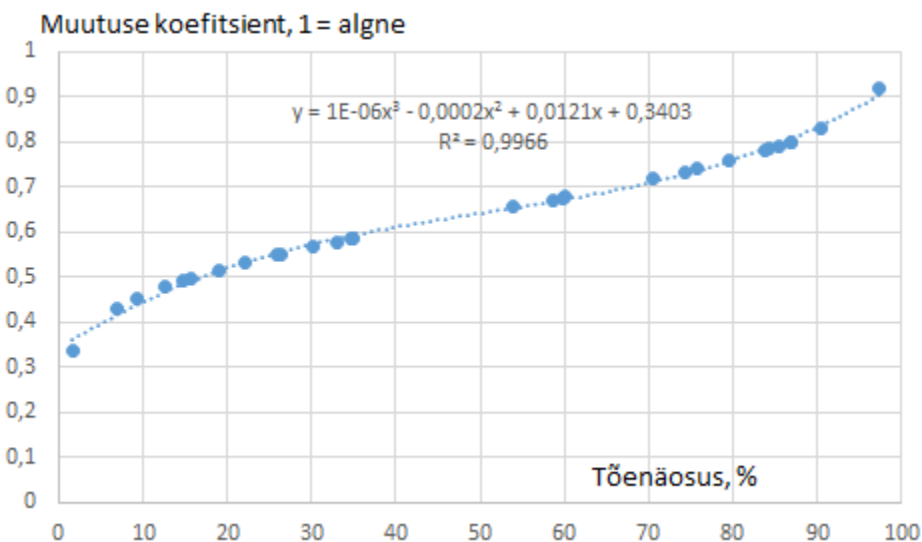


Joonis 5. Transektide keskmine tüsedus ja standardhälve ning Corg sisaldus 2018. aastal. Ilma standardhälveta transektidel oli kogu transketi ulatuses tüsedus üle 50 cm.

Turbakihi tüseduse muutuse analüüsiks kasutasime sügavkaevete andmestikku. Kokku oli kasutada 39 sügavkaeve andmed, millest 9 puhul oli nii reaalsed välitööde mõõtmised nii alperioodist (aastad 1965-70) kui ka viimasest perioodist (2017-18). Ülejäänud sügavkaevete puhul on täppisandmed viimase perioodi kohta ning alperioodi turba tüseduse andmestik võeti suuremõõtkavaliselt mullastikukaardilt. Alg- ja lõpp-perioodi võrdluses leidsime turbakihi tüseduse muutuse. Üldistuse tegemiseks jätsime valimisse väga õhukesed ja õhukesed turvasmullad ning eemaldasime alad, kus tulemused näitasid ebaloogilist turbakihi kasvu (see võib tuleneda asukohamäärangute erinevusest alg- või lõpp-perioodi vahel ja asjaolust, et suurel osal valimist pärineb algne tulemus mullastikukaardilt). Usutav seos algse turba tüseduse ja turbakihi kahanemise vahel puudus (joonis 6). Muutuse koefitsient varieerub suurtes piirides jäädes vahemikku 0,34 kuni 0,92. Muutuse koefitsiendi keskmine on 0,64 ja mediaan 0,65. Kuna koefitsiendi väärtused alluvad normaaljaotusele (assümmetriakordaja 0,07), siis koostasime selle alusel tõenäosusgraafiku (joonis 7). Sellelt on näha, et muutus tulemused moodustavad kaks eraldi rühma ning keskväärtuse lähedasi tulemusi on valimis üsna vähe. Analüüsi kaasatud tegurite alusel ei ole veel võimalik seda eripära tõenduslikult esile tuua ja kaardi täpsustamisel arvesse võtta. Hetkel saame kasutada keskmist turbakihi vähenemise koefitsienti (0,64), millest saab tuletada, et algse 47 cm tüseduse turbakihi korral on ligikaudu 50% tõenäosusega turbakiht kahanenud õhemaks kui 30 cm ning seega ei klassifitseeru enam turvasmullana. Seega mullastikukaardi õhukesed turvasmullad on tänaseks 50% tõenäosusega muutunud kas turvastunud või gleimuldadeks. Õhukeste turvasmuldade puhul võime eeldada osaliselt nende taandumist väga õhukesteks, ent meil puudub piisav alus nende ümber klassifitseerimiseks mineraalmullaks.



Joonis 6. Turbakihi tüseduse muutuse koefitsient sõltuvalt algsest turba tüsedusest.



Joonis 7. Turbakihi tüseduse muutuse koefitsiendi tõenäosus.

Kaardikihtide uuendamine

Lähtuvalt olemasolevatest andmetest saab anda hinnangu kui suure tõenäosusega on Eesti mullastikukaardil säilinud turvas- ja turvastunud mullad. Hinnangut ei saa anda mõõdetud andmete vähesuse tõttu ruumiliselt väga täpselt ning samuti ei ole võimalik hinnata, et milline on uus mulla liik. Teoreetiliselt (lähtuvalt mullaviljakuse andmebaasi alamandmestikust) selgus, et M''' puhul pole kõikidest proovidest 31% ja M'' puhul 50% enam turvasmullad (tabel 3), kuid leiame, et tänase teadmise juures ei ole põhjendatud mullastiku ja mullakaitse meetmete kaardil M''' ja M''

šifritega areaalide muutmine. Seda otsust toetavad sügavkaevete ning transektipõhised andmed. See pole põhjendatud ka mullakaitse seisukohalt, sest isegi kui pealmises kihis on Corg sisaldus vähenenud alla 20%, siis see ei tähenda, et kogu profiili ulatuses oleks toimunud nii suured muutused ning alumiste kihtide turbavaru kaitse eesmärgil tuleks neid jätkuvalt turvasmuldadena käsitleda.

Tõenäosuslikust kaardist edasi jõudmiseks on vajalikud täiendava Corg sisalduse määramised ning turbahorisoni tuseduse mõõtmised. AM muldade puhul lähtuti hinnangu andmisel sarnaselt madalsoomuldadele, sest mullaviljakuse andmebaasis jagunesid ebaühtlaselt AM mullad lähtuvalt turbakihi tusedusest.

Projekti koostatud tõenäosusliku kaardi koostamisel (näited joonisel 8 ja 9) on lähtutud järgmistest sammudest:

M', AM', G1

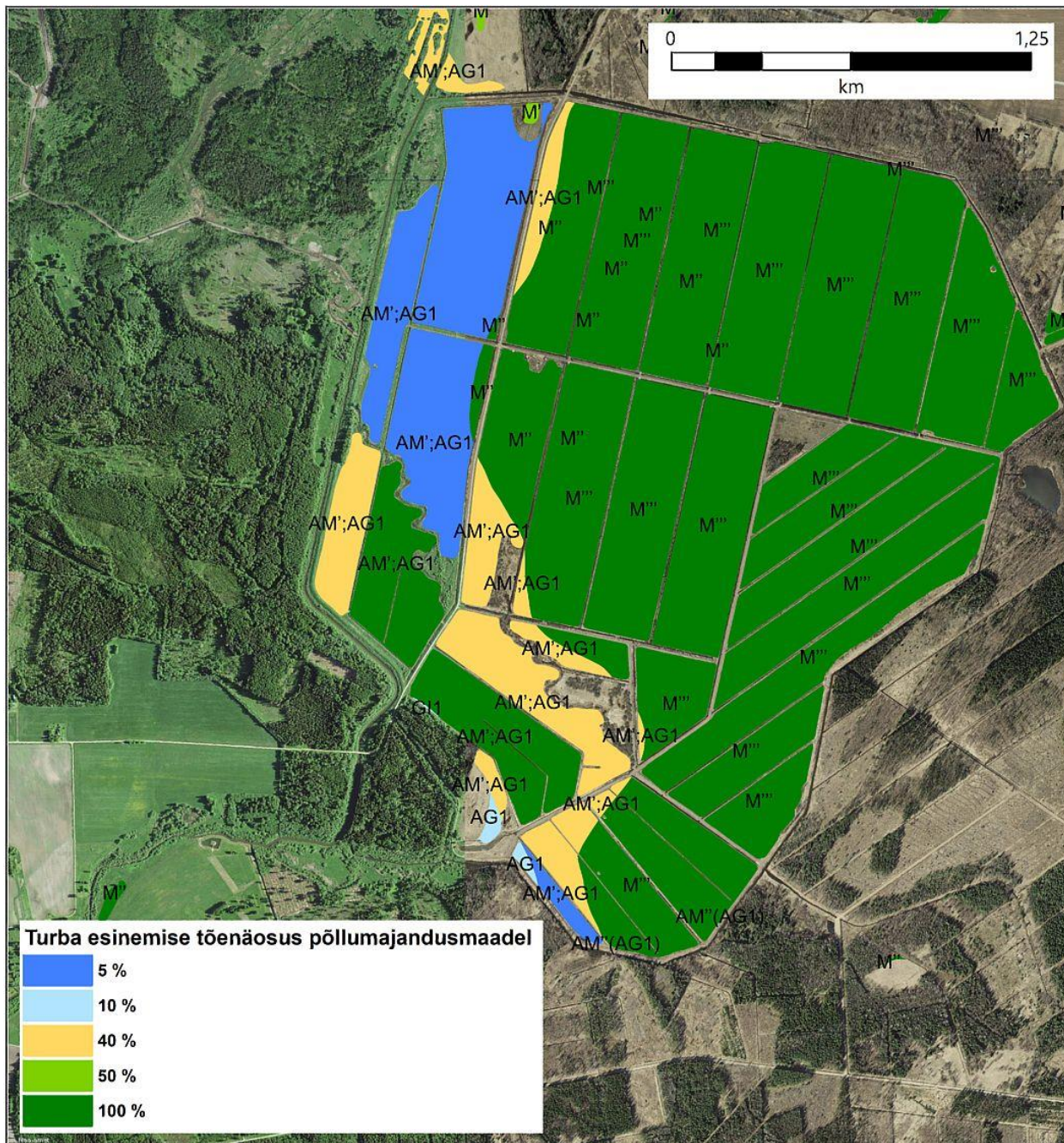
- Juhul kui 2018 a. PRIA põllumassiividel on olemas enamuses sama mullaliiki hõlmav proov Corg sisaldusega, siis
 - kui Corg $\geq 20\%$, siis on tõenäosus 100%, et on tegu on jätkuvalt turvasmullaga;
 - kui Corg $< 20\%$, siis on tõenäosus 5%, et tegu on jätkuvalt turvasmullaga.
- Juhul kui ei ole mullaproovi analüüsist Corg määramise tulemust, siis on tegu jätkuvalt turvasmullaga algse mulla liigi alusel järgmise tõenäosusega:
 - M' 50% tõenäosusega,
 - AM' 40% tõenäosusega,
 - G1 10% tõenäosusega.

M'', AM'', M'', AM'' - 100% tõenäosusega on massiividel jätkuvalt turvasmuld.

Kaardikihi uuendamise tulemusel parandati 21% M' mullal asuvatest PRIA massiividest ning 29% meetme toetusõiguslikest massiividest (tabel 4). Seejuures meetme massiividel oli suhteliselt rohkem 100% tõenäosusega turvasmuldi kui PRIA massiividel kokku. Igas mulla liigis on siiski enamik massiividest ilma määratud Corg tulemuseta ning soovituslik oleks igal aastal turvasmulla kihti uuendada vastavalt lisanduvatele proovide analüüsitulemustele.

Tabel 4. Uuendatud massiivide osatähtsus kõikidest massiividest vastavalt mullaliigile.

	2018 a. PRIA massiividel					
Mulla liik/ omistatud tõenäosus	5%	10%	40%	50%	100%	Kokku muudetud
G1	11,5%	87%			0,9%	12%
AM'	7%		88%		5%	12%
M'	12%			79%	9%	21%
	2018. a. MULD toetusõiguslikest massiividest					
G1	3%	97%				3%
AM'	13%		83%		4%	17%
M'	12%			71%	17%	29%



Joonis 9. Turba esinemise tõenäosus turvas- ja turvastunud muldadel (kaardil toodud mulla liigid) 2018 a. PRIA põllumassiividel.

Soovitused ja ettepanekud

Turvasmuldade kaardikihi edasiseks täpsustamiseks on otstarbekas uurida edasi naabermullaliikide mõju, turbalasundi all oleva lõimise mõju ja mullaareali suuruse mõju turbahorisoni vähenemisele ning Corg sisaldusele. Täiendavad võimalusi pakuvad kaugseire mõõtmiste ulatuslikum rakendamine, ent selle eelduseks on senisest oluliselt suuremas mahus reaalsete mõõtmiste teostamine. Ilma selleta pole võimalik usaldusväärselt kaugseire andmete kasutatavust valideerida. Mujal tehtud uuringute põhjal saab kõige perspektiivsemaks lugeda gamma-spektromeetria kasutamist.

Kõige olulisem on jätkuvalt täiendavate mullaproovide võtmine ja Corg sisalduse analüüsimine ning ideaalis ka paralleelselt turbakihi tuseduse mõõtmine, vähemalt toetusõiguslikelt massiividelt ning fookus peaks vähemalt olema suunatud turvastunud ja õhukestele madalasoole- ning lammi-madalsoomuldadele.

Soovituslikult tuleks leida vahendid kõikide turvasmulla areaalidelt tulevate proovide Corg määramiseks ja /või eraldi programm või uuring kõikide M' ja M'' areaalide tuseduse mõõtmiseks ja Corg määramiseks, et leitud tõenäosused muutuksid mõõdetud ja faktilisteks andmeteks.

Põllumajanduslike turvasmuldade pikaajaliste muutuste hindamist raskendab asjaolu, et põllumuldade püsiseire alad paiknevad ainult mineraalmuldadel (va Tooma). Mullaseire programmi ja valimi uuendamisel peaks kindlasti kaasama turvastunud ja turvasmuldadega alad.

Muud olulised asjaolud:

Projekt käigus põllumassiivide kohta koostatud tõenäosuslik turvasmuldade kaardikiht ja andmebaas on Põllumajandusuuringute Keskuse mullabüroo valduses.

Viidatud kirjandus

Artz, R. et al. 2019. The potential for modelling peatland habitat condition in Scotland using long-term MODIS data. *Science of the Total Environment* 660: 429–442.

Bas Kempen, Dick J. Brus, Folkert de Vries. 2015. Operationalizing digital soil mapping for nationwide updating of the 1:50,000 soil map of the Netherlands. *Geoderma*, Volumes 241–242, pages 313-329.

Beamish, D. 2013. Gamma ray attenuation in the soils of Northern Ireland, with special reference to peat. *Journal of Environmental Radioactivity*, 115: 13-27

Buffam, I. et al. 2010. Filling holes in regional carbon budgets: Predicting peat depth in a north temperate lake district. *J. Geophys. Res.*, 115, G01005, doi:10.1029/2009JG001034.

Gatis, N. et al. 2019. Mapping upland peat depth using airborne radiometric and lidar survey data. *Geoderma* 335: 78–87.

Holden, N.M., Connolly, J. 2011. Estimating the carbon stock of a blanket peat region using a peat depth inference model. *Catena* 86: 75–85.

- Keaney, A. et al. 2013. Spatial statistics to estimate peat thickness using airborne radiometric data. *Spatial Statistics* 5: 3–24.
- Maa-amet, 2001. Vabariigi digitaalse suuremõtkavalise mullastiku kaardi seletuskiri. Tallinn. 46 lk.
- Rudiyanto, Budiman Minasny, Budi Indra Setiawan, Chusnul Arif, Satyanto Krido Saptomo, Yudi Chadirin. 2016. Digital mapping for cost-effective and accurate prediction of the depth and carbon stocks in Indonesian peatlands. *Geoderma*, Volume 272, pages 20-31.
- Rudiyantoa, Budiman Minasnyb, Budi Indra Setiawana, Satyanto Krido Saptomoa, Alex B. McBratney. 2018. Open digital mapping as a cost-effective method for mapping peat thickness and assessing the carbon stock of tropical peatlands. *Geoderma* 313: 25–40.
- Põllumajandusuuringute Keskus. 2016. Aruanne “Eesti maaelu arengukava 2007-2013 2. telje ning Eesti maaelu arengukava 2014-2020 4. ja 5. prioriteedi püsihindamiseks 2015. aastal läbiviidud uuringute aruanne”, lk. 26-40.
- Põllumajandusuuringute Keskus. 2012. Aruanne “Eesti maaelu arengukava 2007-2013 2. telje püsihindamise ülevaade ja seotud uuringud 2011. aastal”, lk. 95-100.
- Suuster, E., Ritz, C., Roostalu, H., Reintam, E., Kölli, R. & Astover, A. 2011. Soil bulk density pedotransfer functions of the humus horizon in arable soils. *Geoderma*, 163, 74-82.
- Suuster, E., Ritz, C., Roostalu, H., Kölli, R. & Astover, A. 2012. Modelling soil organic carbon concentration of mineral soils in arable land using legacy soil data. *European Journal of Soil Science*, 63, 351-359.
- Ritz, C., Putku, E. & Astover, A. 2015. A practical two-step approach for mixed model-based kriging, with an application to the prediction of soil organic carbon concentration. *European Journal of Soil Science*, 66, 548-554.