

**JÄÄKSOODE VEEREŽIIMI TAASTAMISE KOMPLEKSUURINGU VAHEARUANNE
PROJEKTI 2. ETAPI KOHTA (2019.a.)**

1. PROJEKTI KESTUS	Algus 24.04.2017 (kuu/aasta):	Lõpp: 01.09.2023 (kuu/aasta)
---------------------------	---	--

2. PROJEKTI TAOTLEJA (teadusasutus): Tartu Ülikool
Telefon: +372 7 375826
Aadress: Ülikooli 18, 50090 Tartu
Registrikood: 74001073
Panga rekviisiidid: SEB Pank AS, Tornimäe 2, 15010 TALLINN, arvelduskonto (IBAN): EE281010102000234007 , SWIFT/BIC: EEUHEE2X , käibemaksukohustuslase nr (VAT number): EE100030417 , tehingupartneri kood (TP kood): 605201

3. PROJEKTI JUHT:	Ain Kull (Ees- ja perekonnanimi)	Vanemteadur, PhD (Amet, teaduskraad)
--------------------------	-------------------------------------	---

4. PROJEKTI PÕHITÄITJAD ARUANDEPERIOODI VÄLTEL		
Projekti põhitäitjad:		
Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Ain Kull	PhD	loodusgeograafia vanemteadur
2. Valentina Sagris	PhD	geoinformaatika teadur
3. Edgar Karofeld	PhD	rakendusökoloogia vanemteadur
4. Kai Vellak	PhD	taimeökoloogia vanemteadur
5. Alar Läänelaid	PhD	maastikuökoloogia dotsent
6. Gert Veber	MSc, doktorant	keskkonnaspetsialist
7. Edgar Sepp	MSc, doktorant	geoinformaatika spetsialist
8. Marko Kohv	PhD	rakendusgeoloogia teadur
9. Mae Uri	Dipl./BSc	spetsialist (keemik)

Projektiga seotud abitööjõud:		
1. Birgit Viru	MSc	doktorant
2. Iuliia Burdun	MSc	doktorant
3. Tauri Tampuu	MSc	doktorant
4. Kärt Erikson	BSc	magistrant

5. PROJEKTI KULUD ARUANDEPERIOODIL 2019.a. 26082.83 eurot	
	Kokku
Töötasud (põhitäitjad + abitööjõud)	10015.88
Sotsiaalmaks	3305.25
Töötuskindlustusmaks	80.13
Ostetud teenused	1159.95
Lähetuskulud	2170.49
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	151.17
Muud kulud	9199.96
Kokku	26082.83

Ostetud teenuste selgitus	1159.95	Mullaanalüüsid (v.a. mulla süsinikusisaldus, mis analüüsiti geogr. osak. laboris)
Lähetuskulude selgitus	2170.49	Kõik lähetused on seotud välitöödel gaasi- ning veeproovide regulaarse kogumisega, drooniseire ning taimkatteseirega.
Materjalide, tarvikute, masinate ja seadmete selgitus	151.17	Soetati SSD andmesalvestusseade, mõõteseadmetele patareisid, mõõdulindid, teibid jmt. tarvikud
Muude kulude selgitus	9199.96	Tartu Ülikooli üldkulueraldis (20%) RMK-lt 2019.a. laekunud lepingutasult

6. PROJEKTI TÄITMISE VAHEARUANNE

Jääksoode taastamisprojektidele sisendi andmine.

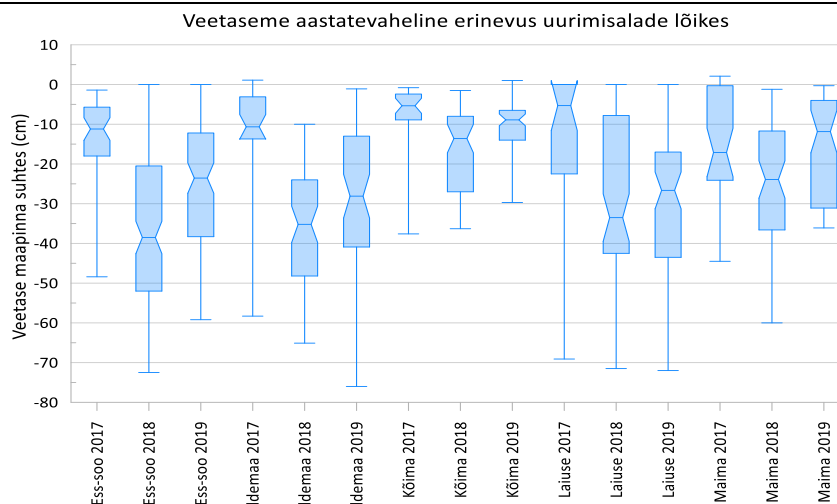
2019.a. osalesid Tartu Ülikooli esindajad regulaarselt Maima, Kildemaa ja Ess-soo taastamisprojektide arutusel ja andsid kogu projekteerimistööde perioodi ulatuses sisendit nii projekteerijale kui tellijale. Täiendavalt osaleti koos RMK esindajatega 2019.a. sügisel Laiuse ja Kõima jääksoode korrastamistöödel jooksvate küsimuste lahendamisel. Koos RMK esindajatega käidi läbi Ess-soo, Maima ja Kildemaa jääksoode korrastamiseks potentsiaalsed turbasamblafragmentide pakkujad (Greenworld, Elva E.P.T., Peatmill, Biolan, Jiffi) ja hinnati nende poolt pakutud võimalike uute avatavate tootmisalade turbasammalde seisundit ning sobivust doonorladeks.

Välitööd monitooringualadel.

2019.a. on igakuiselt püsiproovialadelt kogutud gaasiproovid (CO_2 , N_2O , CH_4), mõõdetud vaatluskaevudes ning kraavides veetase, portatiivsete seadmetega O_2 sisaldus (mg/l) ning küllastatustase ($\text{O}_2\%$), pH, konduktiivsus ($\mu\text{S}/\text{cm}$), ORP (mV) ja kogutud veeproovid laboratoorseteks analüüsideks. Laboratoorselt on igakuiselt määratud vaatluskaevudest ning referentsaladega piirnevatest kraavidest kogutud veeproovidest üldsüsiniku ja üldlämmastiku, lahustunud üldsüsiniku, lahustunud orgaanilise süsiniku, lahustunud anorgaanilise süsiniku ning lahustunud üldlämmastiku sisaldus. Jätkati igakuist kasvuhooenergia (CO_2 , N_2O , CH_4) voo mõõtmist tootmisväljakute vahelistest kraavidest. 2019.a. oktoobris-novembris jõudis lõpule Laiuse ja Kõima jääksoode korrastamine, seetõttu installeeriti korrastatud aladele täiendavad piesomeetrid ning vaatluskaevud ja rajati täiendavad gaasivoogude mõõtmise alad (sh. täiendavad ujukambrid). Kõikidelt proovialadelt koguti mullaproovid (33 kompleksproovi, iga kompleksproov koosneb 24 alamproovist) ning viidi läbi taimkatteanalüüs (156 püsiprooviruutu). Korrastatud Laiuse jääksoost koguti 2019.a. oktoobris dendrokronoloogilise analüüsi jaoks puursüdamikud (võrdlusala ja piirdekraavi äärsed kasvavad puud ning häiringuta soo keskosa puud) ning tüvest lõigatud kettad (raadatud korrastamisalal). Jätkati drooniseirega ning satelliitandmete analüüsimisega ning satelliitradarandmetega (SAR) häiringurežiimide (maakate, veetase, pinnakõrguse muutus) tuvastamise meetodikate väljatöötamisega.

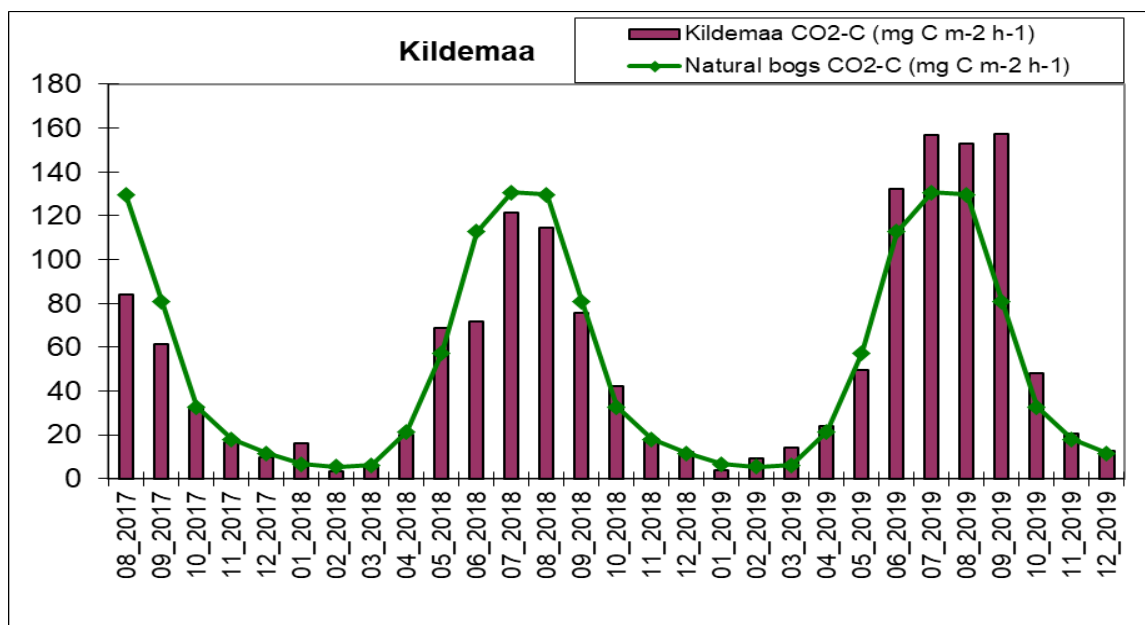
Ilmastik on uurimisperioodil aastate lõikes olnud väga erinev. 2017.a. oli pikaajalisest keskmisest sademete rohkem (sõltuvalt uurimisalast 106-114% normist), eriti vihmased olid kevad ja sügis, mil sademete kuusumma ületas normi kohati kuni 2 korda. 2018.a. oli pikaajalisest keskmisest sademete vaesem (72-90% normist), eriti kuiv oli kevad ja suve algus, mil mõnes ilmajaamas ei esinenud kuu jooksul üldse sademeid. 2019.a. oli pikaajalisest keskmisest oluliselt sademete rohkem, kuid väga suurte regionaalsete erinevustega (Pärnu-ja Võrumaal sademeid 121-125% normist, Jõgevamaal 89% normist).

Veetase oli kõikidel uurimisaladel (v.a. Maima) 2017.a. oluliselt (siin ja edaspidi kasutatud $p < 0.05$ kriteeriumit) kõrgem 2017.a., 2018.a. oli veetase kõige madalam ja varieeruvam Pärnumaa jääksoodes. 2018 ja 2019 veetasemed ei olnud statistiliselt erinevad Laiuse jääksoos (joon. 1), kuid tuleb arvestada, et 2019a. sügisel mõjutas Laiuse (ning väiksemal määral ka Kõimas) veetaset korrastamistööde läbiviimine.

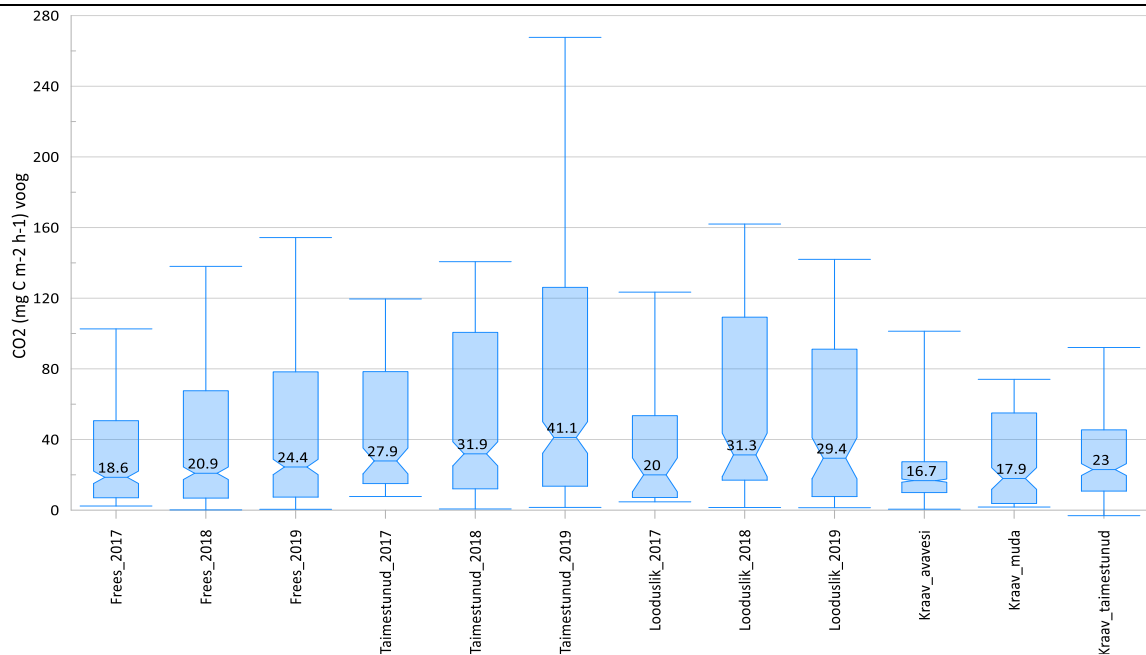


Joonis 1. Veetasemete aastatevaheline erinevus uurimisalade lõikes (ala vaatluskaevude keskmine). Diagrammil on näidatud minimaalne ja maksimaalne veetase, ülemine ja alumine kvartil ning mediaanväärtus. Kooniline lõik mediaanväärtuse ümber indikeerib 95% usalduspiiri laiust.

2017.a. keskmisest sademeterikkamal aastal oli CO₂ voog suve lõpus madal kuni mõõdukas (30-50 mg C m⁻² h⁻¹) ja soodele iseloomuliku aastase käiguga, kus maksimaalsed väärtused (52-123 C m⁻² h⁻¹) esinevad soojematel kuudel (tavaliselt juuli-august), siis 2018.a. mis oli tavapärasest oluliselt kuivem ning keskmisest soojem, oli gaasivoog intensiivsema mineraliseerumisprotsessi tõttu oluliselt suurem (>100 mg C m⁻² h⁻¹) ja püsis kõrgena kauem (oktoobrini). 2019.a. oli sademeterikas kuid ka ühtlaselt sooja kasvuperioodiga, mistõttu CO₂ voog oli ebatavaliselt kõrge juunist oktoobrini (50-160 C m⁻² h⁻¹) ja seda nii mineraliseerumise kui ka taimehingamise tõttu (joon. 2). Intensiivsest mineraliseerumisest andis nii 2018. kui 2019.a. kõige selgemalt tunnistust N₂O voog, mis looduslikes rabades on iseloomulikult väga madal (<1.5 µg N m⁻² h⁻¹) ent jääksoodes kõrgem. Kui 2017.a. oli emissioon Kõima, Ess-soo ja Laiuse -0.7 ... 0.5 µg N m⁻² h⁻¹, 4.2 ... 6.3 µg N m⁻² h⁻¹ Kildemaa ja Maima jääksoos, siis 2018. ja 2019.a. oli emissioon ligi 2-2.5 korda kõrgem ja väga kõrge oli emissioon Kildemaa ja Maima jääksoos (püsivalt 10-16, üksikutel juhtudel >100 µg N m⁻² h⁻¹). Metaani emissioon on jääksoodes enamasti madal (CH₄-C < 1 mg C m⁻² h⁻¹) kuid kõrge pinnatemperatuur ja veetase soodustavad metaaniteket. Nii oli vaatamata madalale veetasemele kõrgema poorivee temperatuuri tõttu siiski ka metaani emissioon 2018.a. kõrgem (~10%) kui sademete rohkel 2017.a. ja 2019.a. omakorda suurem kui varasematel aastatel.



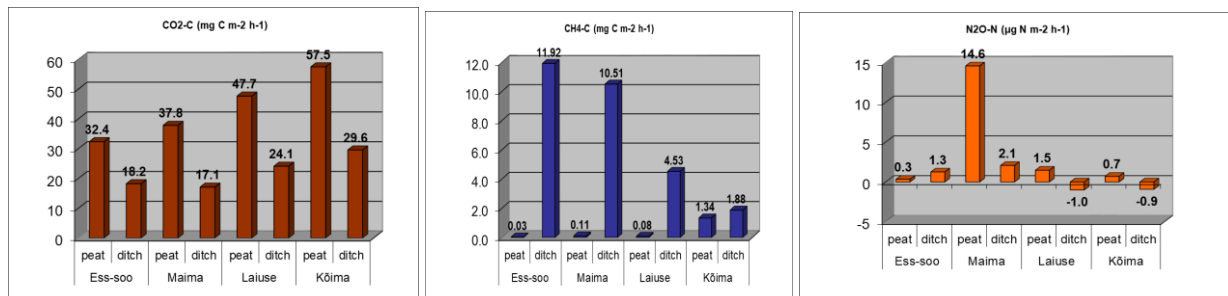
Joonis 2. CO₂ voog väljendatuna ökosüsteemihingamise kaudu (R_{eco}) Kildemaa jääksoo näitel, kus nii freesturbavälja kui taimestunud jääksoo osa tõttu tulevad aastatevahelised erinevused eriti selgelt esile.



Joonis 3. Ökosüsteemihingamine (R_{eco}) uurimisalade keskmisena 2017-2019 aastatel sõltuvalt jääksoo seisundist (Frees = taimestumata või väheste villpea katvusega ala, Taimestunud = taimkatte katvus üle 50%, Looduslik = samblarinдес turbasamblad ja taimestiku üldkatvus 100%) ning kraavide seisundist mõõdetuna 2019.a.

CO_2 emissioon oli turba lagunemiseks soodsa niiskuse režiimi ja kõrgema maapinna temperatuuri tõttu taimestumata jääksoode osades 2019.a. kõrgem kui eelnevatel aastatel (sh. statistiliselt oluliselt perioodil august-oktoober). Kõrgem R_{eco} osaliselt taimestunud jääksoode osades viitab 2019.a. taimekasvuks soodsatele tingimustele (peamiselt norkhein ja villpea, aga ka kanarbiku ja karusamblaga kaetud alad) ja näitab korrastamistööde perspektiivikust – kui veetaset suudetakse kasvuperioodil hoida maapinna suhtes kõrgemal kui -30...-40 cm, siis on võimalik nendel aladel süsiniku sidumise taastumine. Looduslikule lähedase veerežiimiga aladel 2018 ja 2019 ökosüsteemihingamise erinevusi ei esinenud. Kraavide seisund (taimestumata avaveeline, turbaheljumiga, taimestunud) CO_2 voogu veepinnalt oluliselt ei mõjuta (joon. 3).

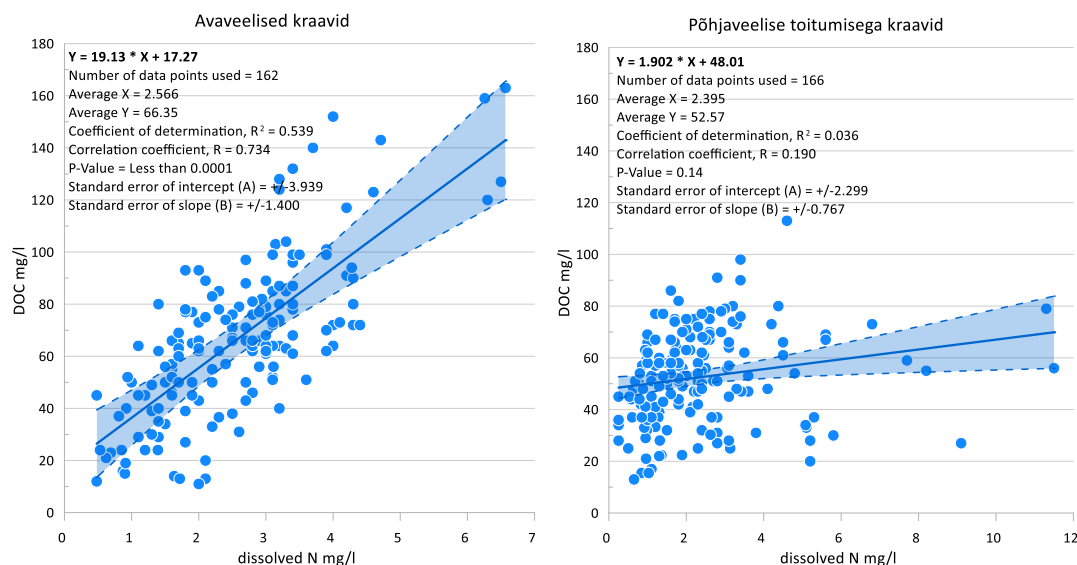
Tootmisväljakute vahelistest 1-1.2 m laiadest kraavidest gaasivoo mõõtmine (joon. 4) tõi esile äärmiselt olulise aspektina, mida on vaja korrastamistööde juures arvestada, et vaatamata nende tühisele osakaalule jääksoode kogupindala mõttes (alla 0.05%) võib neist lenduda kuni 50% kogu jääksoo metaanist (kraavidest emiteeritav voog ligi 50-200x suurem kui endistel tootmisväljakutel).



Joonis 4. Kasvuhoonegaaside voog jääksoode turbaväljakutelt ja nende vahelistest kraavidest (2018-2019).

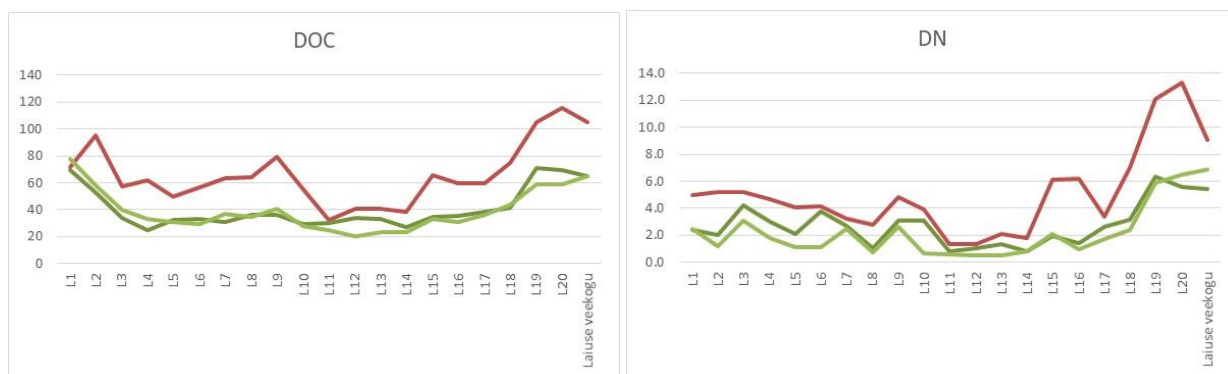
Nii turbavees kui jääksoo kraavides on süsinik ja lämmastik valdavalt lahustunud vormis, lahustunud ja lahustumata vormid aga omavahel tugevalt korreleeritud. Lämmastiku ja süsinikusisaldus oli mõõtmisperioodil kõrgem turbavees, kraavides oli pindmise äravoolu ja sademetevee tõttu toimunud vähesel määral lahendumine. Küll aga on nii kraavi- kui turbavees lahustunud süsiniku (DC) ja lahustunud lämmastiku (DN) suhe väga heaks turba mineraliseerumise indikaatoriks: DN/DC suhe on seda kõrgem ja regressioonvõrrandi seos tugevam, mida enam on ala häiritud. Seos kehtib nii turba

pooriveses kui kraavides, kuid seos kaob põhjaveelise toitumisega piirkondades/kraavides (joonis 5).



Joonis 5. Lahustunud orgaanilise süsiniku ja lahustunud üldläämmastiku vaheline seos Maima avaveelistes kraavides ilma põhjaveelise toitumiseta ja põhjaveelise toitumisega kraavides.

Veekvaliteedi näitajate ruumilise autokorrelatsiooni hindamiseks viidi 2019.a sarnaselt 2018.a läbi eksperiment, mille käigus koguti veeproovid nii tootmisväljakutevahelistest kraavidest, piirdekraavidest kui väljavooludest. Veeproovide tulemused näitavad tugevat autokorrelatsiooni süsiniku kontsentratsiooni ja mõõdukat korrelatsiooni lahustunud üldläämmastiku osas. Laiuse jääksos võeti kraavidest veeproovid ka 2019.a. oktoobris vahetult korrastamistööde järel ja tulemused näitavad mullatöödega kaasnenud lahustunud süsiniku ning lämmastiku sisalduse suurenemist (joonis 6). Suurem oli muutus uurimisala lääneosas (kraavid L15-L20) kõrgema veetasemega hundinuiade ja pillirooga osaliselt taimestunud piirkonnas ja lõunapoolse ülejutatud freesturbaväljaku (Laiuse veekogu) kohal, mille veetaset kraavide sulgemiseks muudeti. Kõrgemad kontsentratsioonid L9, L15 ja L20 juures näitavad piki kraavi rajatud pinnaspaisude mõju.



Joonis 6. Korrastamistööde mõju vee lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja lahustunud lämmastiku (DN) sisaldusele Laiuse jääksoo kraavides 2019.a. oktoobris (punane joon) võrreldes korrastamiseelse baastasemega 2018 (heleroheine joon) ja 2019 (tumeroheline joon). Korrastamistöödest mõjutatud ala jäi kraavide L1-10 ja L15-L20 vahele ning Laiuse veekogu, võrdlusala kraavid on L11-L14.

2019.a. jätkati nii drooni- kui satelliitpiltide alusel seire meetodika väljatöötamise ja testimisega ja laiendati tegevust kasutamaks pilvisusest sõltumatut Sentinel-1 sünteetilise apertuurradari (SAR) andmeid maapinnaniiskuse ning veetaseme ülepinnaliseks hindamiseks. SAR meetodika arendamise tulemused on esitatud teadusartiklina avaldamiseks: Tampuu, T., Praks, J., Kull, A., Uiboupin, R., Tamm, T. and Voormansik, K. *Detecting peat extraction related activity with multi-temporal Sentinel-1 InSAR time series. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.* ja teine käsikiri on valminud: Tampuu, T., Praks, J., Uiboupin, R. and Kull, A. *Long Term Interferometric Temporal Coherence and DInSAR Phase in Northern Peatlands. Journal of Remote Sensing (MDPI).* Uuriti ka Maaameti poolt regulaarselt kogutava LIDAR andmestiku kasutamise võimalusi jääksoodes

toimuvate muutuste hindamiseks. Tulemused on kokku võetud O. Toomsalu 2019.a. juunis kaitstud magistritöös “Jääksodes toimuvate muutuste analüüsimine LiDAR andmetel” ja näitavad, et jääksos tuule- ja veerosiooniga kaasnevaid muutusi (turba ärakanne kõrgematelt aladelt, kraavide täitumine turbaosakestega) on võimalik LIDAR kõrgusandmete aegridadest tuvastada. Taimkatte ja mikroreljeefi muutuste tuvastamiseks on vajalik suurem punktihedus ja väiksem punkti jälg maapinnal (st. madalam ülelend).

Kuna 2018 ja 2019.a. olid ilmastikult väga erinevad ning korrastamistööd toimuvad alade lõikes erinevatel aastatel, siis viidi andmete võrreldavuse tagamiseks 2019.a. mullaseire läbi uuesti kõikidel võrdlusaladel ja kõikidel korrastamisprojekti kavandatud eksperimendialadel. Nii lühikese ajaga suuri muutusi mulla põhinäitajate osas toimuda ei saa, kuid ootuspäraselt (ja heas kooskõlas mõõdetud N₂O gaasivoo tulemustega) oli sooja kuiva 2018.a. suve järel 2019.a. suveks suurenenud üldläämmastiku sisaldus (1.18%-lt 1.37%-ni, eriti ühetaoline oli muutus freesturbaväljadel) ning kahanenud ilmastiku suhtes kõige tundlikumate lämmastikuvormide (NO₃⁻ ja NH₄⁺) sisaldus. Kaaliumi, kaltsiumi ja fosforisisaldus olid muutumatud, kuid suurenenud oli magneesiumisisaldus (keskmiselt 374 mg/kg tasemelt 422 mg/kg tasemele) ja suurem oli muutus Ess-soo freesturbaväljadel.

2019. a suvel vegetatsiooniperioodi keskel (17.VI-4.VII) tehti taimkatte analüüsi välitööd Ess-soo, Laiuse, Kildemaa, Maima ja Kõima jääksodes kokku 156-l märgistatud 1x1 m püsiruudul, kus määrati taimestiku üldkatvus ja taimeliikide (soon- ja sammaltaimed) katvused (%), samblike katvus ning kulu (surnud ja kuivanud taimed) protsent. Iga taimkattepüsiruudu ühe nurga perforeeritud torus mõõdeti veetaseme sügavus (cm) maapinnast. Uuritud jääksode freesitud aladel on taimestiku katvus endiselt väga väike ning et taimestikule ebasoodsad ja ebastabiilsed keskkonnatingimused ei ole seal oluliselt muutunud, siis ei ole ka 2019. a analüüsi andmetel taimestiku üldkatvustes toimunud märkimisväärsed muutusi võrreldes 2018. aastaga. Kõige enam on soontaimede üldkatvus vähenenud Laiuse ja Kildemaa jääksool. Samas on Laiuse aladel sammalde katvus suurenenud, kuid teistel uuritud jääksoodel on see olnud stabiilne (Tabel 1).

Tabel 1. Taimestikuruutude keskmised üldkatvused (ÜK) protsentides (2018. ja 2019. a) ja 2019. aastal mõõdetud ruutude keskmised veetaseme sügavused (cm) viiel analüüsitud jääksool.

Jääksoo	Taimestiku ÜK, %		Soontaimede ÜK, %		Sammaltaimede ÜK, %		Veetase, keskm. (min-max) cm
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2019 juuli
Ess-soo	32,9	33,1	17,6	16,4	18,2	19,8	25,7 (4-42)
Laiuse	92,3	96,3	57,1	46,7	47,8	57,2	31,1 (3-60)
Maima	33,8	34,7	22,9	21,1	11,4	11,5	29 (11-62)
Kõima	81,5	77,6	29,4	27,5	64,1	67,2	23,6 (2-44)
Kildemaa	49,2	46,7	33,2	27	9,4	9,8	42,3 (32-50)

7. PROJEKTIGA HAAKUVAD TEADUSTEEMAD, GRANDID, DOKTORI- JA MAGISTRITÖÖD, JÄRELDOKTORITE UURIMISTEEMAD, LEPINGUD:

2013-2018. Institutsionaalne uurimisteema IUT2-16: “Globaalne soojenemine ja maastike aineriinge (Maastike struktuuri ja funktsioonide muutused seoses globaalse kliima soojenemise ja inimtegevusega ning aineriinge modelleerimine ja ökotehnoloogiline reguleerimine)”; Ü. Mander vastutav täitja.

Gert Veberi doktoritöö: Kasvuhoonegaaside emissiooni ajalis-ruumiline dünaamika sooökosüsteemides kui soode puhvervööndite määramise oluline kriteerium;

Birgit Viru doktoritöö: Spatio-temporal variability of snow cover in Estonia and its influence on greenhouse gas emission in winter;

Iuliia Burdun doktoritöö: Satellite-derived Land Surface Temperature (LST) as Proxy for Greenhouse Gas Fluxes in Boreal Peatlands.

Tauri Tampuu doktoritöö: Application of spaceborne SAR polarimetry and interferometry for landscape ecological studies in bogs.

Ott Toomsalu magistratöö: Jääksodes toimuvate muutuste analüüsimine LiDAR andmetel. Kaitsutud juunis 2019.

8. Projekti juht (nimi): Ain Kull	Allkiri: <i>allkirjastatud digitaalselt</i>	Kuupäev: 13.04.2020
---	--	----------------------------

9. Taotleja allkirjaõigusliku esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (nimi, amet): Ain Kull, vanemteadur	Allkiri: <i>allkirjastatud digitaalselt</i>	Kuupäev: 13.04.2020
--	--	----------------------------

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt aadressil katrin.kivioja@rmk.ee