

**JÄÄKSOODE VEEREŽIIMI TAASTAMISE KOMPLEKSUURINGU VAHEARUANNE  
PROJEKTI 6. ETAPI KOHTA (2022.a.)**

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

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

<b>3. PROJEKTI JUHT:</b>	Ain Kull (Ees- ja perekonnanimi)	kaasprofessor, PhD (Amet, teaduskraad)
--------------------------	-------------------------------------	---

<b>4. PROJEKTI PÕHITÄITJAD ARUANDEPERIOODI VÄLTEL</b>		
<b>Projekti põhitäitjad:</b>		
Ees- ja perekonnanimi	Teaduskraad	Ametikoht
1. Ain Kull	PhD	loodusgeograafia kaasprofessor
2. Valentina Sagris	PhD	geoinformaatika teadur
3. Edgar Karofeld	PhD	rakendusökoloogia kaasprofessor
4. Kai Vellak	PhD	taimeökoloogia kaasprofessor
5. Alar Läänelaid	PhD	maastikuökoloogia emeriitdotsent
6. Gert Veber	PhD	loodusgeograafia teadur
7. Marko Kohv	PhD	rakendusgeoloogia teadur
8. Mae Uri	Dipl./BSc	spetsialist (keemik)
9. Martin Maddison	PhD	keskkonnatehnoloogia kaasprofessor
10. Ivika Ostonen-Märtin	PhD	juureökoloogia professor

<b>Projektiga seotud abitööjõud:</b>		
1. Tauri Tampuu	MSc	doktorant, kaitsnud PhD 2022
2. Kärt Erikson	BSc	magistrant

<b>5. PROJEKTI KULUD ARUANDEPERIOODIL 2022.a. 39302,43 eurot</b>	
	<b>Kokku</b>
Töötasud (põhitäitjad + abitööjõud)	25807.61
Sotsiaalmaks	8516.52
Töötuskindlustusmaks	206.44
Ostetud teenused	4718.40
Lähetuskulud	6357.51
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	21601.09
Muud kulud	8164.11
<b>Kokku</b>	<b>75371.68</b>

Ostetud teenuste selgitus	4718.40	Mulla- ja veekeemia analüüsid biogeokeemia laboris
Lähetuskulude selgitus	6357.51	Kõik lähetused on seotud välitöödel gaasi- ning veeproovide regulaarse kogumisega, drooniseire ning taimkatteseirega, taimestikuseire uurimisrühma osalemisega RMK teaduspäeval Narvas
Materjalide, tarvikute, masinate ja seadmete selgitus	21601.09	Peamisteks kuluallikateks olid 2021.a. lõpus korrastatud Ess-soo uutele seirealadele veetaseme andurite soetamine (ning vanematel aladel nt. Kõima andurite vahetus) ja paigaldusmaterjalid, dünaamilise gaasimõõtesüsteemi sensorid. Soetati mõõteseadmetele patareisid ja akusid, seadmete hooldusmaterjale, mõõdulinte, teipe jmt. tarvikuid
Muude kulude selgitus	8164.11	Tartu Ülikooli üldkulueraldis (20%) RMK-lt 2022.a. laekunud lepingutasult

## 6. PROJEKTI TÄITMISE VAHEARUANNE

2022.a. alguseks olid viiest monitooringus olevast jääksoost korrastatud Laiuse, Kõima, Maima ja Ess-soo jääksoo. Neist Kõima ja Laiuse alad korrastati 2019.a. lõpuks ning Maima 2020.a. lõpuks. 2021.a. suvel parandati Laiuse jääksoos eraldusvalli kõrge veetasemega ala ja kontrollala vahel ning korrigeeriti kahel alal ülevoolude kõrgust. 2021.a. lõpus lõpetati Ess-soo jääksoos korrastamistegevused, kus alustati seejärel novembrist alates korrastamisjärgset veeseiret värskest rajatud ülevooludest. Põhiline Ess-soo seirevõrgustiku taastamine ja loomine toimus 2022.a. kevadest alates kui lumi ja maapind sulasid. Kildemaa jääksoos korrastamistegevusi 2022.a. läbi ei viidud ja jätkati korrastamiseelset seiret nii sealsel mahajäetud freesturbaväljakul kui taimestunud eelkuivenduslal.

Välitööd monitooringualadel.

2022.a. jätkati uuringut varasematel aastatel välja kujunenud igakuise seireprogrammi alusel ning täiendavalt pöörati suuremat tähelepanu seiremetoodikate arendamisele, pidades silmas korrastamistööde käigus välja kujunenud väga erineva seisundiga uurimisalasid. Peamine arendustöö käis dünaamilise ja staatilise kambri meetodikate ristvõrdluse, kaugseire optiliste ja radarandmete rakendatavuse ja masinõppe algoritmide rakendatavuse hindamisel mullakeemia andmete analüüsimiseks.

Igakuiselt koguti võrdlusaladelt ja erineval meetodil korrastatud proovialadelt (kraavide lauseline täitmine pinnasega, kraavide lauseline täitmine pinnasega ja turbasamblafragmentide laotamine, kraavide sulgemine pinnaspaisudega, kraavide sulgemine pinnaspaisudega ja samblafragmentide laotamine, madalaveeline veekogu) gaasiproovid ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), mõõdeti vaatluskaevudes ning kraavides veetaset, portatiivsete seadmetega  $\text{O}_2$  sisaldust (mg/l) ning küllastatustaset ( $\text{O}_2$  %), pH, konduktiivsust ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ORP (mV) ja koguti veeproovid laboratoorseteks analüüsideks.

Laboratoorselt on igakuiselt määratud vaatluskaevudest ning kontrollaladega piirnevatest kraavidest ja rajatud ülevooludest kogutud veeproovidest üldsüsiniku ja üldlämmastiku, lahustunud üldsüsiniku, lahustunud orgaanilise süsiniku, lahustunud anorgaanilise süsiniku ning lahustunud üldlämmastiku sisaldus.

Kuna eelnevate aastate tulemused näitasid, et kraavidest eritub kasvuhoonegaase ümbritseva alaga võrreldes erinevalt ja kraavid hõlmavad üle 5% uurimisalade pindalast, siis jätkati igakuist kasvuhoonegaaside ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) voo mõõtmist ka endiste tootmisväljakute vahelistest kraavidest.

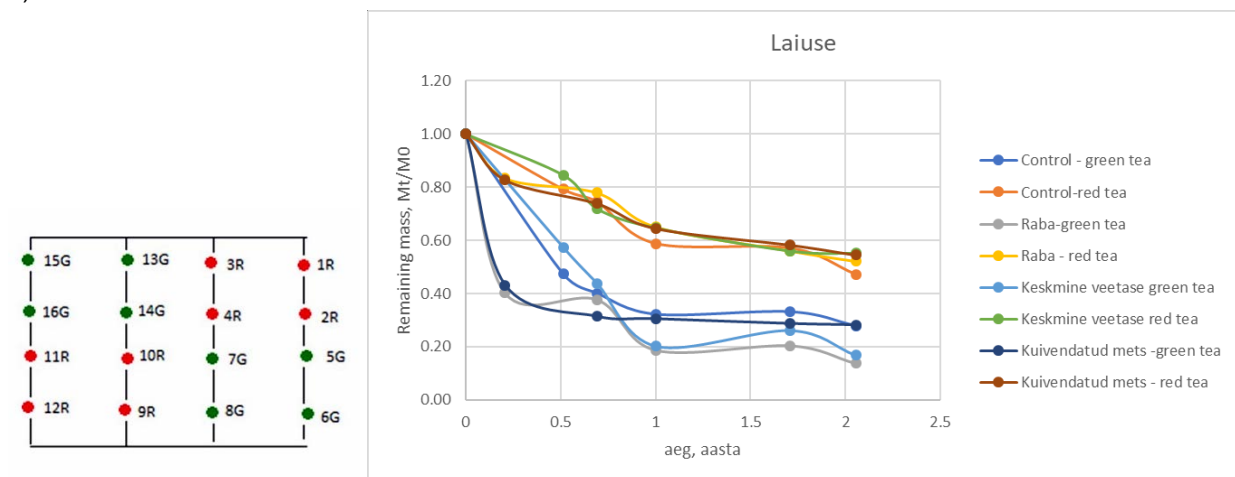
Ess-soos alustati 2022.aastal kõigi eelnimetatud näitajate seiret 13 alal (sh. 2 võrdlusala, turbaaukude ja tervikute piirkond, 9 erineval viisil korrastatud ala kordustena). Rajati täiendavalt piesomeetrid, vaatluskaevud ja gaasivoogude mõõtmise alad (sh. täiendavad ujukambrid kraavidel mõõtmisteks). Korrastatud proovialadelt koguti mullaproovid ning viidi läbi taimkatteanalüüs. Jätkati drooniseirega ning satelliitandmete analüüsimisega ning satelliitradarandmetega (SAR) häiringurežiimide (maakate, veetase, pinnakõrguse muutus) tuvastamise meetodikate väljatöötamisega (meetodika. Sarnaselt 2021.a. varakevadel Laiuse jääksoos alustatud maa-aluse ja maapealse biomassi lagunemiskatsetega

laiendati katset värskest korrastatud Ess-soo alale. Lagunemiskatsesse lisati standardiseeritud teekotikatsesele ka eraldi proovid männi ja sookase ning jõhvika ja mustika/sinika peenjuurte ning varisega. Lagunemiskatsed (vahetult maapinnal ning 5-10 cm sügavusel turbas) rajati kuivemal ja märjemal võrdlusalal, turbasambla fragmentide laotamisega alal, pinnaspaisudega tõstetud veetasemega alal ning suletud kuivenduskraavidega rabametsa alal (joonis 1)



Joonis 1. Lagunemiskatse rajamine Ess-soos uurimisalal 2022. aastal. Vasakpoolisel joonisel proovide paigaldamine alale nr. 11 (kood C) pinnaspaisudega suletud kraavidega alal ning parempoolisel joonisel proovide paigaldamine suletud kuivenduskraavidega rabametsa alal.

Standardiseeritud teekottide (punane e. rooibos ja roheline tee) katse esmased tulemused Laiuse jääksoos alustatud eksperimendist lubavad oodata selget seost nii veetasemega kui taimeestikuga (joonis 2).

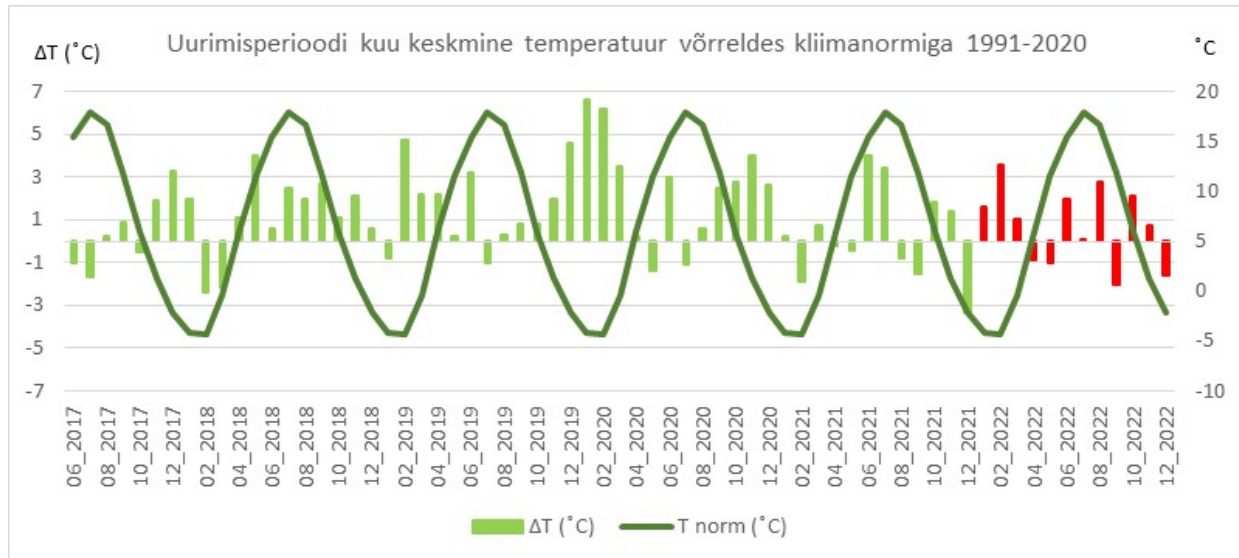


Joonis 2. Vasakul teekottide paigutuse skeem katsealadel, parempoolisel joonisel punase ja roheline tee jääkmass 3 kuu, 6 kuu, 1 aasta, 1,5 aasta ja 2 aasta pärast võrdlusalal (control), rabametsas (Raba), kuivenduse mõjuga rabametsa servas (Kuivendatud mets) ja pinnaspaisudega korrastatud keskmise veetasemega uurimisalal (Keskmine veetase; korrastamisprojekti Ala 2, uurimisala kood Laiuse E).

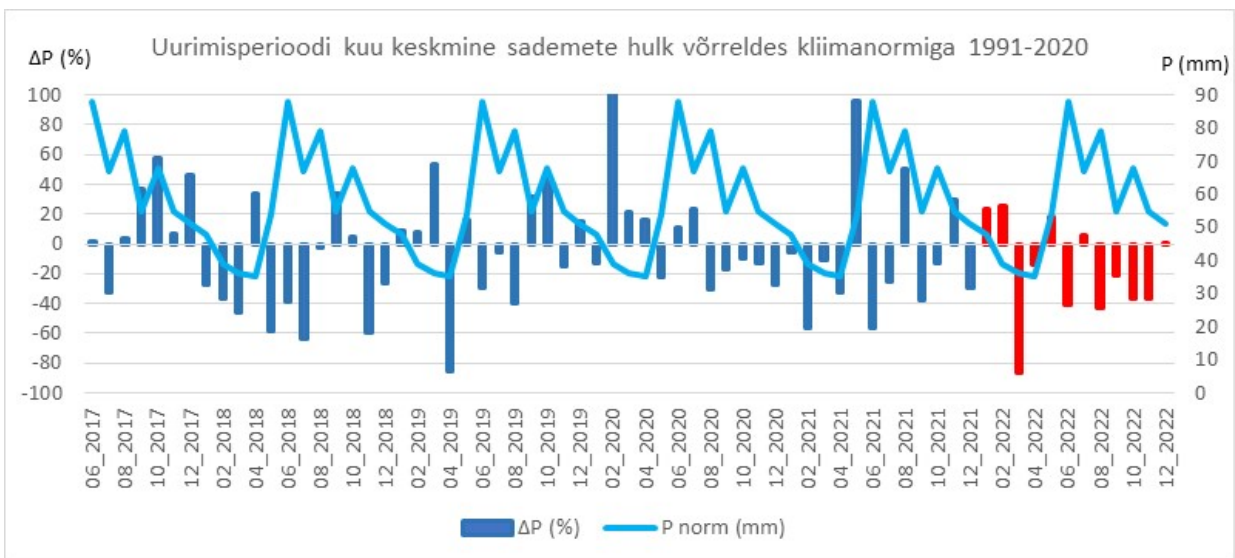
Rohelise tee lämmastiksisaldus on kõrgem (3-5%) ja imiteerib peenjuurte lagunemist ning on happelises pinnases suhteliselt suure hajuvusega. Punane tee imiteerib rohkem okaste varist ning selle lagunemine on erineva taimeestiku ning veerežiimiga aladel ühtlasem. See viitab ka voortevahelises Laiuse jääksoos (turba pH 2.5-3.5, mediaan 3.1) lagundavate mikroorganismide ühtlast aktiivsust erinevates kooslustes ja roheline teega võrreldes suhteliselt madalamat leostumiskadu, eriti esimese 6 kuu jooksul.

Veetaset, kasvuhoonegaaside voogu ning värskest korrastatud aladel samblafragmentide kasvama minekut (ka laiemalt alade taimeestumist) mõjutas väga tugevalt 2022.a. ilmastik. Talv algas suhteliselt varakult 2021.a. keskmisest külmema detsembriga kuid maapind külmus varase lumikatte (novembris) tõttu vaid osaliselt ja keskmisest soojem talve jätk (joonis 3) soodustas nii lume sulamist kui külmumata pinnasest gaasivoo eritumist. Korrastamisalade seisukohast oli aga kõige olulisem sulailmadega

lumeveevaru kahanemine ja (pool)külmunud pinnasel tekkinud lombid, mis tuule tekitatud lainetusega uhtusid samblafargmentide katteks laotatud põhu vaaludesse. Talviste keskmiselähedastele sajuhulkadele järgnes aga 2022.a. erakordselt kuiv märts (joonis 4) ning kogu järgneva aasta jooksul oli iga kuu sademete hulk ligi 40% väiksem pikaajalisest kuu sademete normist.



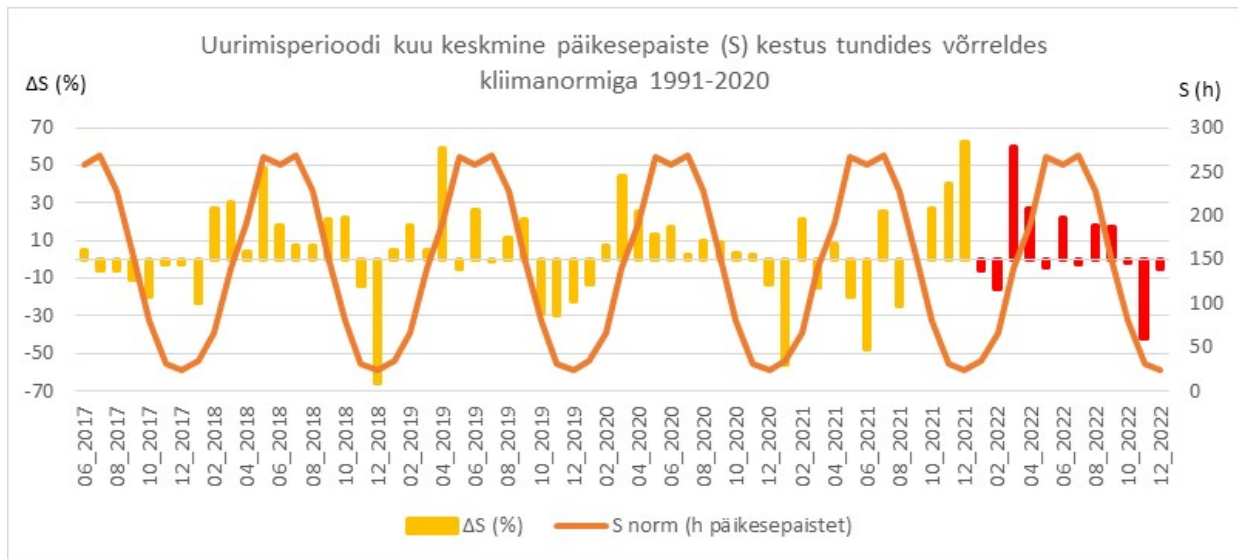
Joonis 3. 2022.a. kuu keskmise õhutemperatuuri (joonisel punaste tulpadena) erinevus (°C) võrreldes pikaajalise keskmisega (joongraafik) ning uuringuperioodi eelnevate aastate kuu keskmise temperatuuri erinevusega võrreldes (joonisel rohelised tulbad).



Joonis 4. 2022.a. kuu keskmise sademete summa (joonisel punaste tulpadena) erinevus (%) võrreldes pikaajalise kuu keskmise sademete summaga (joongraafik; kuu sademete summa millimeetrites) ning uuringuperioodi eelnevatel aastatel kuu sademete summa erinevusega võrreldes (% normi suhtes; joonisel siniste tulpadena).

Selline keskmisest kõrgem õhutemperatuur, erakordselt väike sademete hulk (132 mm normist vähem) ja keskmisest päikeselisem ilm (eriti juunis; joonis 5) tngis intensiivse evapotranspiratsiooni tõttu maist alates kiire veetaseme alanemise (auramine ületas sademete hulka juba märtsist) ja kuivastressi 2021.a. samblafragmentide laotamisega korrastatud uurimisaladel Ess-soo jääksos, aga ka 2020.a. sarnaselt korrastatud Maima uurimisaladel, mis olid eelneval aastal soodsa veetasemega olnud (nt. Ala 9, kood P). Ala P, mis oli 2021.a. sügiseks pindalaliselt kõige parema turbasambla fragmentide elulevusega, kaotas 2022.a. talve ning kevadega suure osa elujõulistest fragmentidest külmakohrutuse ning märtsis-aprillis intensiivse päikese kiirguse tõttu. Seda võimendas veel omakorda talvine

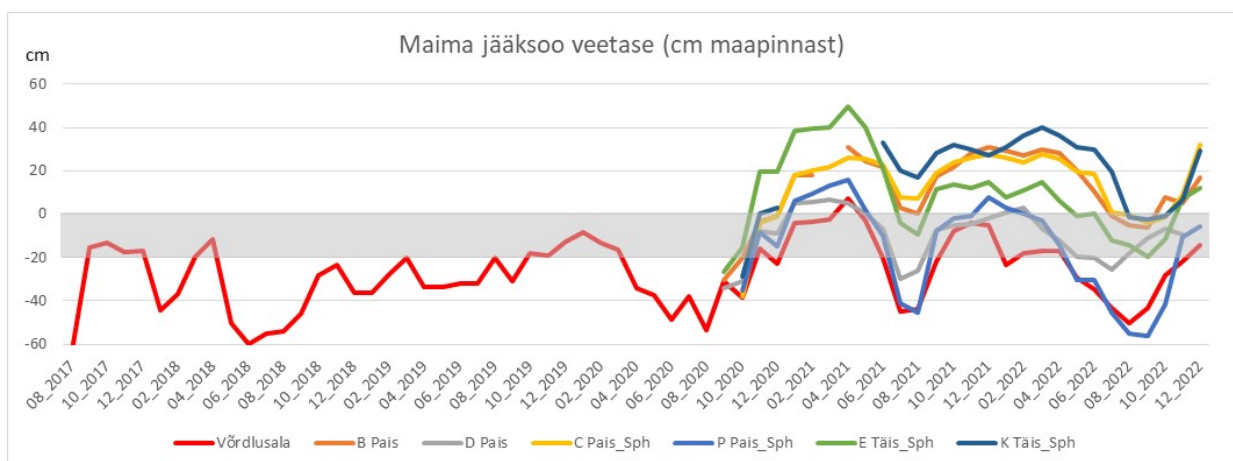
lumesulavee poolt ära uhitud õlekate, mis kuhjus pinnaspaisude servadesse ning kõrgematele väljakuosadele, aga ka ummistasid liigvee äravoolukanaleid.



Joonis 5. 2022.a. kuu keskmise päikesepaiste kestuse summa (joonisel punaste tulpadena) erinevus (%) võrreldes pikaajalise kuu keskmise päikesepaistega tundide summaga (joongraafik; kuu päikesepaistega tundide summa) ning uuringuperioodi eelnevatel aastatel kuu päikesepaistega tundide summa erinevusega võrreldes (% normi suhtes; joonisel kollaste tulpadena).

Seevastu eelneval aastal liiga kõrge veetaseme ning hõljuva turbakihiga aladel (alad 3 (K), 4 (C), 5 (B), 7 (N), 11 (E), veetase alanes maapinnani või isegi alla selle (joonis 6). Vaatamata eelnevalt üleujutatud aladel mudaga kattumisele suutsid kõikidel aladel üksikud samblafragmendid elujõu säilitada ja K, L ning N aladel moodustasid kohati kõige soodsamates piirkondades sügiseks (oktoober) lausalse katvusega mitme ruutmeetrilisi turbasambalaigukesi.

Ess-soos säilisid fragmendid heas seisus kuni mai teise pooleni, kuid seejärel maapind kuivas ja juuni teisel poolel halvenes fragmentide seisund järsult. 2022.a. juuni III dekaad oli alates 1922. aastast soojuselt 3. kohal ning põuakahjustus süvenes augusti lõpuni (august oli kuumuselt 2. kohal alates 1922.a aastast). 30. augustil järgnes aga erakordselt intensiivne sadu (Korelas mõõdeti 24 h jooksul 84 mm sademeid), mis tulvaveega uhtus ära Ess-soo uurimisala peamise ülevoolu mulde (P3).

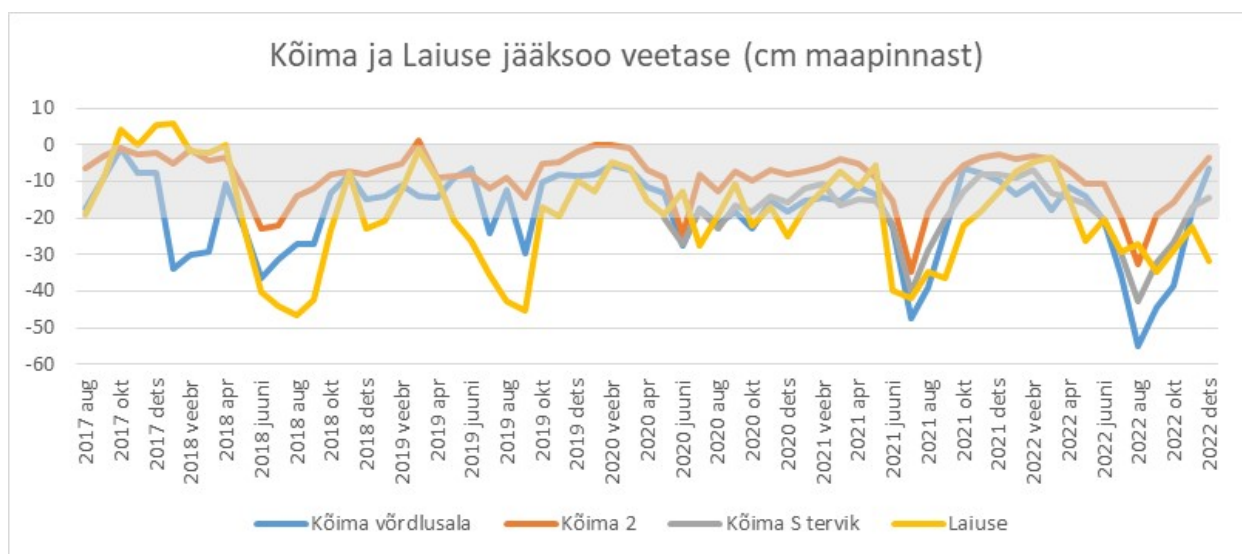


Joonis 6. Kuu keskmise veetaseme dünaamika Maima jääksoo korrastatud aladel ning võrdlusala. Alade tähistes „sph“ näitab turbasamblafragmentide laotamist, „Pais“ ala korrastamist ainult pinnaspaisude rajamisega, „Täis“ lausaliselt pinnasega täidetud kraave. Halli varjutusega ala indikeerib eelistatud veetaseme vahemikku korrastatud alal (veetase maapinna suhtes vahemikus 0...-20 cm).



Laiuse jääksool on Lehtmetsa raba näol suur tagamaa madalaveelisel veekogul ning mõningane põhjavee toide, mis koostoimes Lehtmetsa peakraavi toimetavate kobarstega tagasid suhteliselt hea veetaseme stabiilsuse kogu korrastatud ala ulatuses (v.a. kõige kõrgema maapinnaga väike eraldatud idapoolne nurk) ja veetase oli kogu aasta ulatuses vahemikus 0...-40 cm (joonis 7). Sellest tulenevalt algas 2022 aastal jõudsalt ülepinnaalne taimestumine Laiuse kesksel korrastamisalal (kood Laiuse E) ning läänepoolisel alal (Laiuse W), kuid jäi puudulikuks kõige kuivemal väikesel idapoolisel alal. Samuti laienes keskmiselt 4.4 meetri võrra veekogu suunas taimestunud vöönd madalaveelise veekogu põhja-, edela- ja lõunaservas, mis on madalamad ja laugema kaldaga.

Kõima jääksoos on küll veetase tänu suurele looduslikule puhverdavale tagamaale ning juba algselt lausalisel samblakattele optimaalse lähedal, aga nii 2021. kui 2022.a. on veetase ilmastikust tingituna augustiks langenud madalamale kui eelnevatel aastatel. Seevastu Kõima turbavõtuaukude veetase on oluliselt tõusnud (eriti gradiendiga korrastamisala edelaosa suunas) ja turbavõtuaukude vahelised tervikud on muutunud niiskemaks, veetase kõrgem (Kõima S tervik; joonis 7) kui võrdlusalal ja kvalitatiivselt on märgatav ala lääne- ning edelaosas tervikute servades turbasambla laienemist aukudest tervikule, kanarbiku ja samblike hääbumist ning nokkheina ja villpea lisandumist.

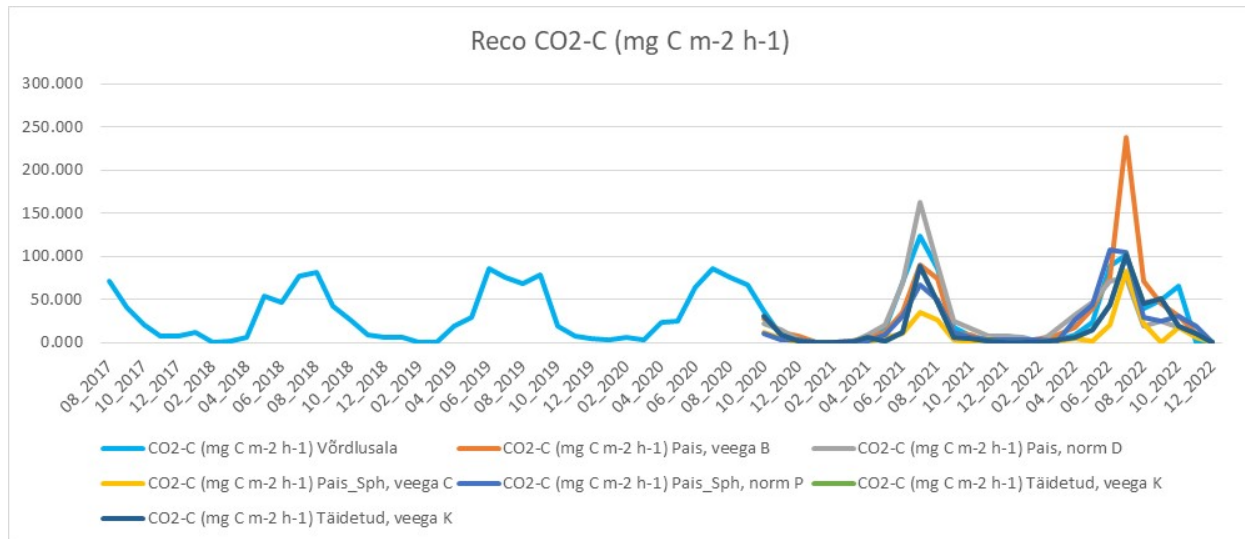


Joonis 7. Kuu keskmise veetaseme dünaamika Kõima ja Laiuse jääksoo korrastatud aladel ning võrdlusalal.

Korrastamise käigus saavutatud kõrge veetase on kahandanud turba lagunemise kiirust ja süsihappegaasi lendumist korrastatud aladelt. Peamine mõju on Maima ja Ess-soo alal saavutatud turba lagunemise aeglustumise kaudu, Laiuse jääksoos aga ka kiiresti arenema hakanud taimestiku tõttu (peamiselt karusammal, jõhvikas, pilliroog, lääneosas ka turbasammal). Juba algselt lausalise taimkattega Kõima jääksoos gaasivoo osas statistiliselt olulisi muutusi ei ole, pigem on muutused selgitatavad aastate vahelisest ilmastiku erinevusest.

Maima jääksoo kontrollala nr. 2 on aastaringiselt lausaliselt 30-50 cm paksuse veekihiga kaetud ja jäetud antud analüüsist välja kuna ei vasta enam kontrollala kriteeriumitele. Kontrollala nr. 1 on samuti korrastamistööde järel märjemaks muutunud (eriti kevadel ja sügisel), mistõttu ka põuasel 2022.a. suvel oli seal veetase sarnane uuringuperioodi algusega, aga 2022.a. ei avaldunud see mõju veel taimestiku arengus väljaspool kraavi servasid. Kogu endise freesturbavälja ulatuses on domineeriv mullahingamine, autotroofne hingamine ja taimede fotosüntees on aastase voo mõttes enamasti tagasihoidlik. Erandi moodustavad pillirooga kattuvad alad (Ala 1 (M), 5 (B), 7 (N) ja turbasamblagala endised turbavõtuaugud (ala 12 (G)), kus keskpäevane ökosüsteemi CO<sub>2</sub> sidumine (NEE, *Net Ecosystem Exchange*) võib ulatuda pilliroo puhul -151 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> ja turbasamblal -72 mg CO<sub>2</sub>-C m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup>. Enamasti jääb siiski aeglase taimestumise, laotatud põhu ja surnud samblafragmentide tõttu NEE isegi suvekuudel Maimas emissiooni poolele. Kui 2021.a. oli samblafragmentidega korrastatud aladel süsihappegaasi emissioon ligi poole väiksem kui kontrollalal ning lausalise kraavide täitmisega alal omakorda väiksem kui pinnaspaisudega suletud kraavidel, siis 2022.a. sellist erinevust ei esinenud ja vaid suuremalt jaolt veega üleujutatuks jäänud alad (C ja K) olid teistest väiksema emissiooniga.

Sellest tulenevalt on ökosüsteemi hingamine ( $R_{eco}$ ) jätkuvalt hea indikaator süsihappegaasi emissiooni väljendamiseks (joonis 8), mis toob kombineeritult välja nii mullahingamise kui taimeistiku arengu mõju. Ökosüsteemi hingamine jäi vaatamata soojale kuivale suvele valdavalt samale tasemele kui eelnevatel aastatel. Eelneval aastal veega kaetud aladel aga 2022.a. põuasel suvel vesi soojes kiiresti ja veetase alanes, jättes maapinna kohati mudaga kaetuks ja suurendades süsihappegaasi voogu. Erandlik on joonisel ala B (paisudega suletud kraavid, veega osaliselt üleujutatud), kus suvine  $R_{eco}$   $CO_2$ -C piik on seotud intensiivse pilliroo kasvuga ning taime hingamine kombineerub sooja mudaja pinnase emissiooniga. Lisaks mõjutas üleujutatud alade voogu ka surnud kanarbiku jmt. lagunemine.

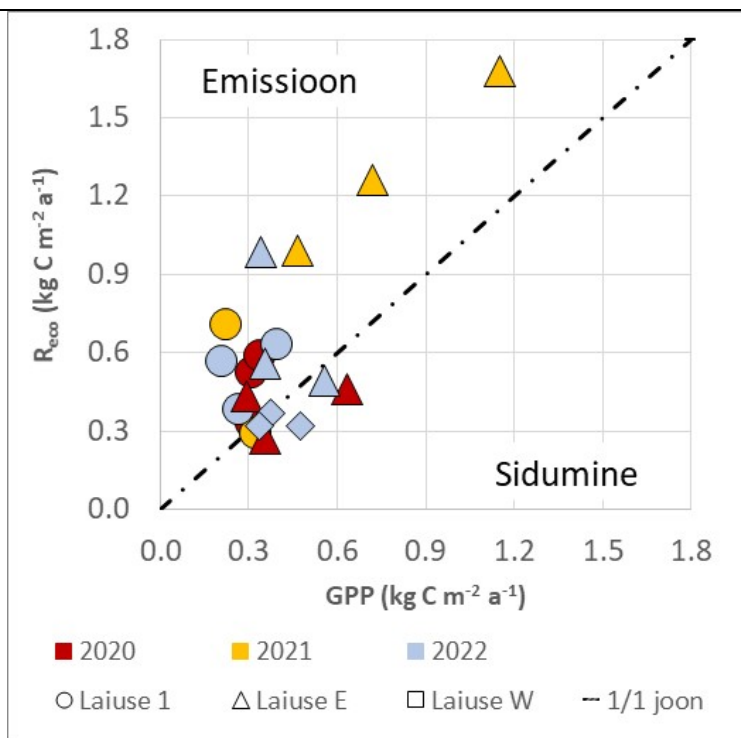


Joonis 8. Ökosüsteemi hingamine ( $R_{eco}$ ) Maima jääksoos. Märges „veega“ iseloomustab korrastamise järgselt üleujutatud ala, „norm“ tähistab normaalse veerežiimiga ala, kus veetase jäi valdavalt maapinnast sügavamale.

Aasta  $CO_2$  bilanss oli 2022.a. sambla fragmentidega korrastatud üleujutatud aladel emiteeriv (0.46 t/ha C), kraavidel pinnaspaisudega korrastatud aladel 0.86 t/ha C ning koos fragmentide laotamisega aladel 0.75 t/ha C. Turbaaukudes aga toimus tänu ohtrale päikesekiirgusele ning optimaalse lähedasele veetasemele (kohev sammal liigub sünkroonselt veetaseme muutusega, veetase 0...-15 cm) sidumine NEE -1.04 t/ga C.

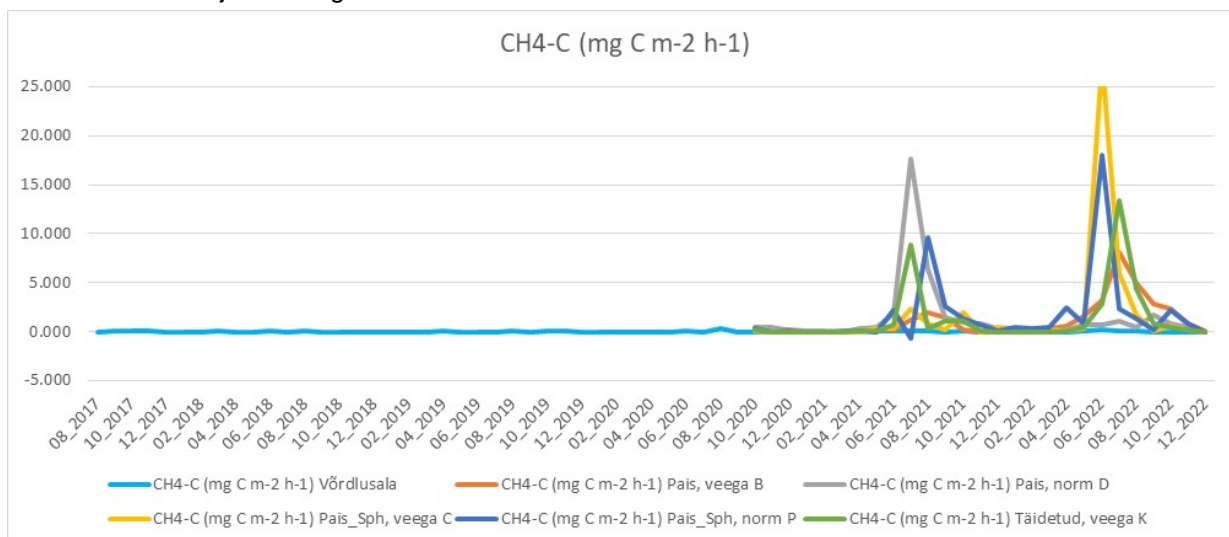
Kõima jääksoos on võrdlusala emiteeriv (1.9 t/ha C), turbaaukude vaheline tervik emiteerib 2.6 t/ha C, samas kui turbaaugu emissioon on 1.1 t/ha C ning kuiva suve tõttu oli ka loodustlähedases seisus rabaosa (vt. joonis 7 Kõima 2) emiteeriv (0.6 t/ha C).

Laiuse jääksoos algas 2022.a. suve teises pooles kiire taimkatte levik varasemalt palja turbaga alal. Kasvuala laiendasid kõige jõudsamalt karusammal ja jõhvikas, kraavidel pilliroog, tarnad ning valge vesiroos. Läänepoolses osas kus turbaaukudele rajati lainetõkked, laienes kiiresti pilliroo ning hundinuiaga kaetud ala, tervikutel ja madalamates niiskemates lohkudes turbasammal. Kiire taimkatte muutuse tõttu allus mõõtmisandmestik modelleerimisele gaasimõõtmisrõngaste lõikes erinevalt ( $R^2$  0.43-0.95). Laiuse 1 (võrdlusala) on läbi kõigi aastate olnud  $CO_2$  emiteerija, Laiuse idapoolne (Laiuse E) korrastamisala oli 2021.a. emiteeriv, kuid 2022.a. saavutas sidumise jõhvikaga kaetud alal ning pillirooga taimestunud alal. Kõige märjemal alal (Laiuse W) on 2022.a. süsinikuneutraalsed või siduvad kõik taimestunud alad (joonis 9). Kraavide ning Laiuse madalaveelise veekogu süsinikubilanss on positiivne, keskmine emissioon 0.42 t/ha C. Seisva veega kraavidel võib küll suve alguses vetika vohamise tõttu mõnel kuul süsihappegaasi sidumine olla intensiivne, aga suve teises pooles algab tekkinud biomassi lagunemine ja eritub nii süsihappegaasi kui metaani.



Joonis 9. CO<sub>2</sub> bilanss korrastatud Laiuse jääksoos. Laiuse 1 on võrdlusala, Laiuse E keskne korrastamisala võrdlusalast idas ning Laiuse W kontrollalast läänes paiknev maapinnalähedase veetasemega korrastamisala.

Kõrge maapinna temperatuur ning suhteliselt kõrge veetase soodustavad metaani teket. 2022.a. olid Maima jääksoos metaani tekkeks äärmiselt soodsad tingimused. Kuigi veega kaetud korrastatud aladel oli suvel keskmiselt kõrgem metaani emissioon, oli ka nii pinnaspaisude kui täidetud kraavidega korrastatud alasid, kus metaani voog oli suur. Samas pinnaspaisudega ala 10 (D) ja võrdlusala olid endiselt väga madala metaani emissiooniga, aga eelneval 2021.a. suvel oli just ala 10 kõrge vooga kui seal veetase lühiajaliselt väga kiiresti muutus.

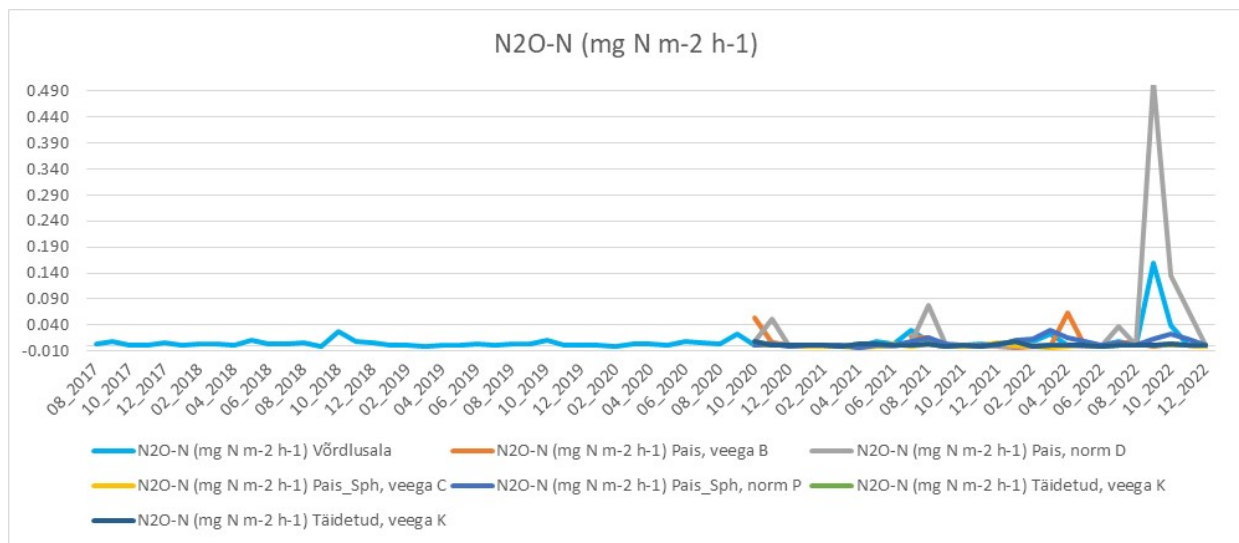


Joonis 10. Kuu keskmine süsiniku kadu metaanina lendumise kaudu Maima kontrollalal (2017-2022) ja korrastamisjärgselt nii kontrollalal kui korrastatud aladel.

Naerugaasi voog oli 2022.a. sarnaselt eelnevatele aastatele toitainevaestes tingimustes kõigis uuritavates jääksoodes ebaoluliselt väike. Suhteliselt pika kuiva perioodi ja hoovihmadest tingitud veetaseme kiirete kõikumiste tulemusel suurenes N<sub>2</sub>O voog korrastamise järgselt Maimal juba 2021.a. ning veelgi selgemalt 2022.a., aga ka need vood on väga väikesed. Ainsaks erandiks oli september kui



pärast pikka põuaperioodi ja sügavale langenud veetaseme juures algasid intensiivsed sajuhood, mis kiirelt täitsid pinnaspoore ning soodustasid lühiajalist naerugaasi heidet. Sarnane põuajärgne järsk naerugaasi voo lendumine septembris leidis aset ka teistel uurimisaladel.

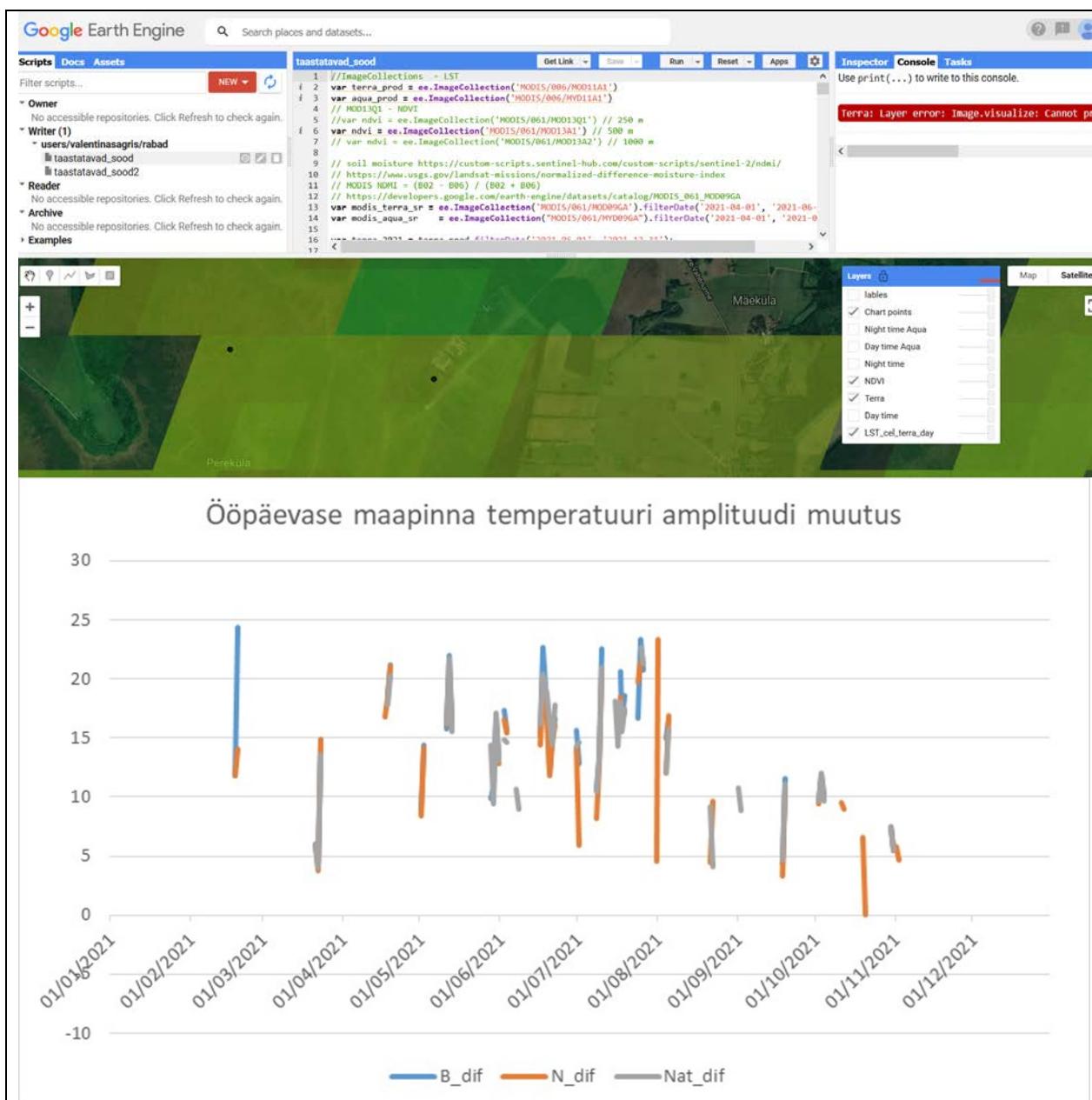


Joonis 11. Naerugaasi emissioon Maima jääksoost.

Märgalade gaasivood on ajaliselt ja ruumiliselt suure varieeruvusega, seetõttu on ennatlik ühe või kahe korrastamisjärgse aasta ning ühe või kahe ala tulemuste põhjal teha järeldusi korrastamismeetmete tõhususe osas. Maima jääksoos on samblafragmentide abil taimestumise kiirendamine valdavalt ebaõnnestunud liiga kõrge ning kõikuva veetaseme tõttu, aga samas on kõikidel samblafragmentide laotamisega aladel vähemalt mingil määral hajusalt kasvama läinud samblaid ning lisandunud on teisi raba liike. Aladel kuhu samblafragmente ei laotatud ei ole ka sõltumata veetasemest või paiknemisest looduslikuma taimeistikuga rabaosa suhtes turbasamblaid iseseisvalt alale ilmunud. Sama tähelepanek kehtib ka Ess-soo kohta, kus taimeistiku taastumise aeg on olnud oluliselt lühem. Seevastu Laiuse jääksoos on kõigil korrastatud väljakutel ilmunud vähemalt mõnes piirkonnas ka iseseisvalt turbasamblaid, kohati on turbasammalde areaali laienemine alates 2022.a. suve lõpust muutunud kiireks.

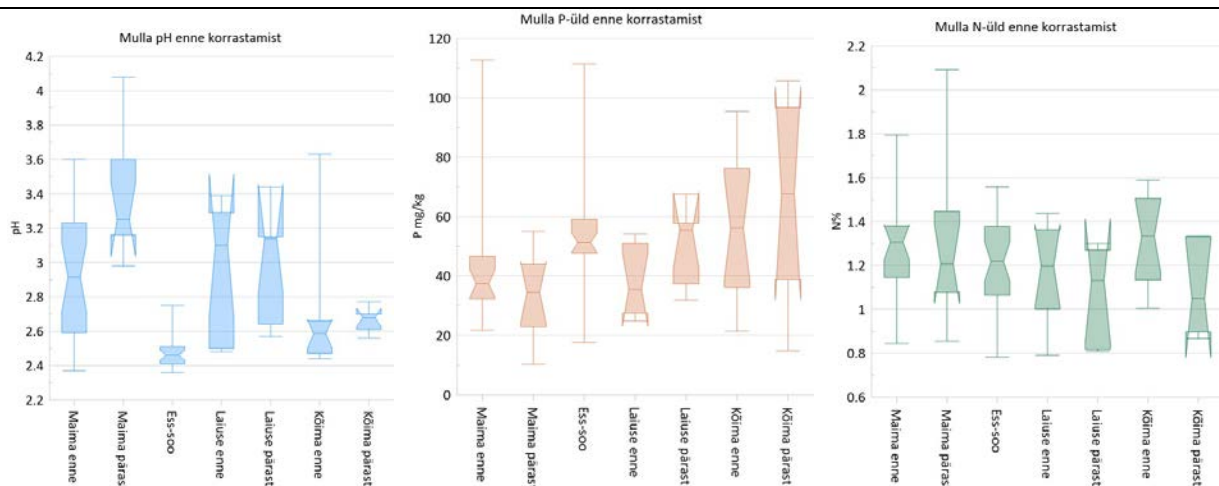
Detailne ülevaade taimkatte muutustest seiratavate jääksoode püsiseireruutudes on esitatud aruande lisas 1.

Korrastamiseelse ja korrastamisjärgse ülepinnalise temperatuuri- ja niiskuse režiimi muutuse hindamiseks loodi Google EarthEngine keskkonnas programm, mis võimaldab Modis Aqua ja Terra satelliitide andmete alusel arvutada iga pilvkatteta päeva kohta päevaste ja öiste temperatuuride aegread. Ööpäevase temperatuuriamplituudi järgi on võimalik kaudselt hinnata ala niiskuse režiimi (joonis 12). Meetodi puudusteks meie laiuskraadil on sagedane pilvkatte esinemine, mis takistab pidevate temperatuuri aegride saamist ning sagedase ülelennuga (öö ja päeva temperatuuri saamiseks) satelliitidel on ruumiline lahutus tagasihoidlik. Sünteetilist apertuurradarit (SAR) Sentinel satelliidi missioon on vaba pilvisuse probleemist kuid selle ülelennu sagedus on oluliselt väiksem, 12 päeva või kombineeritud tsükli puhul 6 päeva ning ka lahutusvõime on mõõdukas, eeldades uurimisalana vähemalt mõne hektari suuruseid väljakuid. SAR andmestiku eeliseks on võimalus kasutada interferomeetria suure täpsusega maapinna kõrgusmuutuste tuvastamiseks (nn. soo hingamine, mahu muutus tulenevalt turba veega täitumisest või aurumisel vee kaotamisest) või koherentsust (pinna/struktuuri muutuse mõõt), mis näitab ühe tegurina maapinna niiskust. Interferomeetria tulemused on paljulubavad, kuid eeldavad ka kohapealseid maapinna kõrguse mõõtmisi või metsavaba üleminekut püsiva kõrgusega mineraalpinnale. Metoodika on detailsemalt avaldatud artiklina Tampuu et al., 2022. doi: 10.1109/IGARSS46834.2022.9883421.



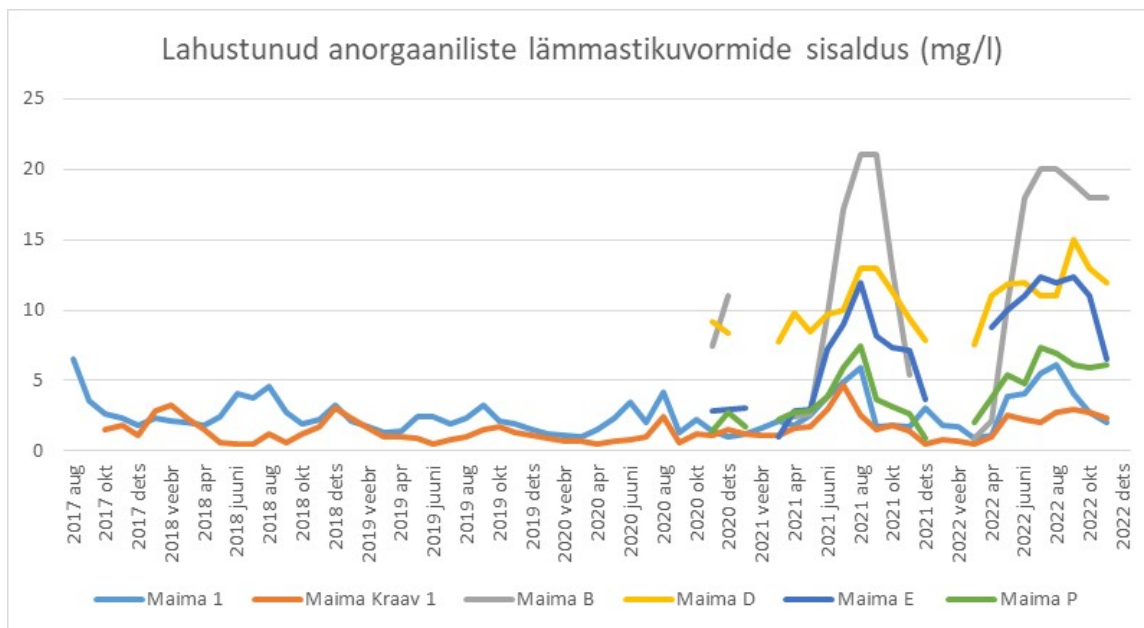
Joonis 12. Näide Google Earth Engine programmiaknast ning 2021.a. andmete alusel arvatud ööpäevane temperatuuri amplituud kahe erineva jääksoo osa (B ja N ala) ning looduslikus seisundis rabaosa kohta (Nat).

Korrastamistöödega seotud muutused mulla keemilistes omadustes on väga väikesed ja üldjuhul statistiliselt ebaolulised (joonis 13). Ainus oluline muutus on seotud Maima jääksoo mulla happesusega, kus ilmselt on põhjuseks vettpidava turbakihi häirimine ja selle tulemusena suurem põhjavee sissevool alale (eriti Ala 5 (B), aga ka 2 (L), 10 (D) ning 11 (E)). Teiste parameetrite osas olulisi muutusi ei toimunud, aga pinnasetööde tõttu suurenes ruumiline varieeruvus. Samblafragmentide laotamisega alal tõusis pindmises kihis süsinikusisaldus keskmiselt ligi 1% võrra, kuid pole selge kas seda tingis täiendav orgaanilise aine lisandumine (sammal, põhk) või eelnevalt osaliselt mineraliseerunud pinnase koorimine.



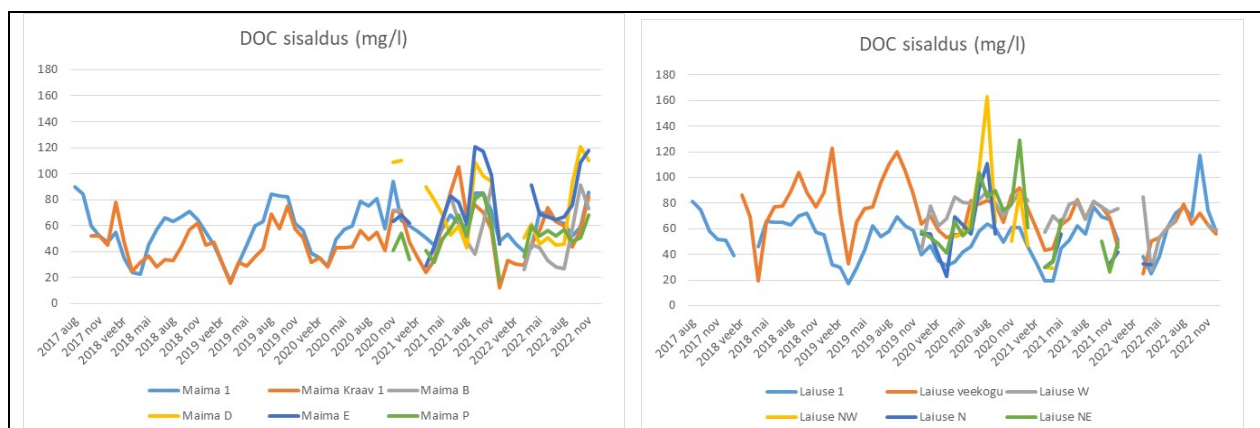
Joonis 13. Mulla pH, üldfosfori ja üldlämmastiku sisalduse muutus korrastamistööde käigus.

Maima jääksoos mulla pH muutuse ja põhjaveelise toitumuse suurenemise vahelist seost kinnitab ka lahustunud anorgaanilise lämmastiku (DN) sisalduse suurenemine poorivees ning kraavides (joonis 14). DN sisaldus on suurenenud samadel aladel (B, D, E) kus tõusis mulla pH sisaldus ning poorivee karbonaatiooni sisaldus, aga muutus ei avaldu võrdlusalal ega selle juures kraavi vees.



Joonis 14. Lahustunud lämmastiku (DN) sisalduse muutus Maima jääksoo korrastamistööde järel.

Vähemal määral esines sarnane olukord ka Laiuse jääksoos, kuid seal taandus mõju ühe aastaga ja on seejärel jäänud stabiilseks. Küll aga esineb Laiuse madalaveelise veekogu puhul selge aastane käik DN osas seoses veelindude massilise rändega – kevadel ja sügisel rändeperioodil on veekogus DN sisaldus regulaarselt kõrgem kui muul perioodil. Ess-soos korrastamistööd muutust kaasa ei toonud, DN kontsentratsioon on looduslikult oluliselt madalama fooniga, aga esineb ka selge aastaajaline käik – suve lõpus (august, september) tõuseb esimeste sügisvihmade järel mineraliseerumise tulemusena kontsentratsioon 2-3 mg/l võrra ja muutus on tugevam põuaste suvede järel (2018, 2021, 2022). Lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) sisaldus järgib Maima ja Laiuse jääksoos DN muutusega sarnast mustrit, kuid taas on Laiuse jääksoos korrastamisjärgne kõrgem foon taandunud 1 aastaga, Maimal püsib kõrgeenenud foon veel ka 2022. aastal. Üks võimalikke selgitusi on lisatud põhja ja surnud sambla/taimse materjali jätkuv lagunemine.



Joonis 15. Lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) sisalduse dünaamika Maima (vasakul) ja Laiuse (paremal) jääksoos.

Vaatamata suhteliselt kõrgemale kontsentratsioonile nii DN kui DOC osas, ei ole ärakanne jääksoost kummalgi juhul suur kuna äravool korraldatud aladel on viimastel aastatel (ülevoolu rajamisest saati) olnud vaid lühikesel perioodil talviste sulade ajal ning kevadel lume sulamise järel, mil kontsentratsioonid on keskmisest madalamad. Laiuse jääksoo ülevoolude puhul on äravool vaid märtsis-aprillis, läänepoolses ülevoolus (madalaveelise veekogu ja Lehtmetsa raba vesi) kuni 4 kuud (märtsist juunini). Sarnane on äravoolu periood ka Maima ning Ess-soo puhul. Kõima edelapoolse kraavi äravoolu pole võimalik hinnata kuna vesi valgub ühtlaselt metsa alla. Kirdepoolses äravoolus liigub vesi novembrist maini. Täpse äravoolu koguse hindamine on takistatud kuna Ess-soos viis 30. augusti sadu ülevoolu kõrvalt pinnase ja mitmel sügiskuul puudus äravoolu mõõtmine, Laiuse läänepoolsel ülevoolul muutis kobras V-ülevoolu kuju ja suurust ning Maimal on suure veetaseme kõikumise tõttu olnud vaja vähemalt kaks korda aastas ülevoolu kõrgust reguleerida. Vooluhulga ja kontsentratsiooni järgi hinnates on süsiniku ärakanne DOC kujul jääksoodest vahemikus 62-87 kg/ha\*aastas.

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

Tauri Tampuu doktoritöö: Application of spaceborne SAR polarimetry and interferometry for landscape ecological studies in bogs (kaitstud 2022.a. augustis).

Kärt Erikson magistritöö: Effect of water level change on radial increment of Scots pine in a restored peatland in Estonia (kaitstud 2022.a. juunis).

T. Tampuu, F. De Zan, R. Shau, J. Praks, M. Kohv and A. Kull, "CAN Bog Breathing be Measured by Synthetic Aperture Radar Interferometry," *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, pp. 16-19, doi: 10.1109/IGARSS46834.2022.9883421.

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

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

NB! Aruanne esitada elektrooniliselt aadressil [katrin.kivioja@rmk.ee](mailto:katrin.kivioja@rmk.ee)