

**JÄÄKSOODE VEEREŽIIMI TAASTAMISE KOMPLEKSUURINGU VAHEARUANNE  
PROJEKTI 3. ETAPI KOHTA (2020.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 rekviisiidid:</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	MSc, doktorant	keskkonnaspetsialist
7. Edgar Sepp	MSc, doktorant	geoinformaatika spetsialist
8. Marko Kohv	PhD	rakendusgeoloogia teadur
9. Mae Uri	Dipl./BSc	spetsialist (keemik)

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

<b>5. PROJEKTI KULUD ARUANDEPERIOODIL 2020.a. 39529,52 eurot</b>	
	<b>Kokku</b>
Töötasud (põhitäitjad + abitööjõud)	13452,28
Sotsiaalmaks	4439,26
Töötuskindlustusmaks	107,60
Ostetud teenused	98,20
Lähetuskulud	3049,64
Materjalid, tarvikud, masinad, seadmed	6630,92
Muud kulud	11751,62
<b>Kokku</b>	<b>39529,52</b>

Ostetud teenuste selgitus	98,20	Projektiga seotud artikli käsikirja keelekorrektuur ja pangaülekande tasu. <i>2020.a. kogutud ja EMÜ laboris määratud mullaproovide arve laekus 2021.a. jaanuaris ja seetõttu kajastub see kulu 2021.a. eelarves.</i>
Lähetuskulude selgitus	3049,64	Kõik lähetused on seotud välitöödel gaasi- ning veeproovide regulaarse kogumisega, drooniseire ning taimkatteseirega.
Materjalide, tarvikute, masinate ja seadmete selgitus	6630,92	Soetati korrastatud aladele (Laiuse, Kõima, Maima) täiendavad veetaseme automaatlogerid, mõõteseadmetele patareisid, mõõdulindid, teibid jmt. tarvikud
Muude kulude selgitus	11751,62	Tartu Ülikooli üldkulueraldis (20%) RMK-lt 2020.a. laekunud lepingutasult ja 307.16 EUR ulatuses projekti täitmiseks välitööriietus (kasutaja Gert Veber)

## 6. PROJEKTI TÄITMISE VAHEARUANNE

Jääksoode taastamisprojektidele sisendi andmine.

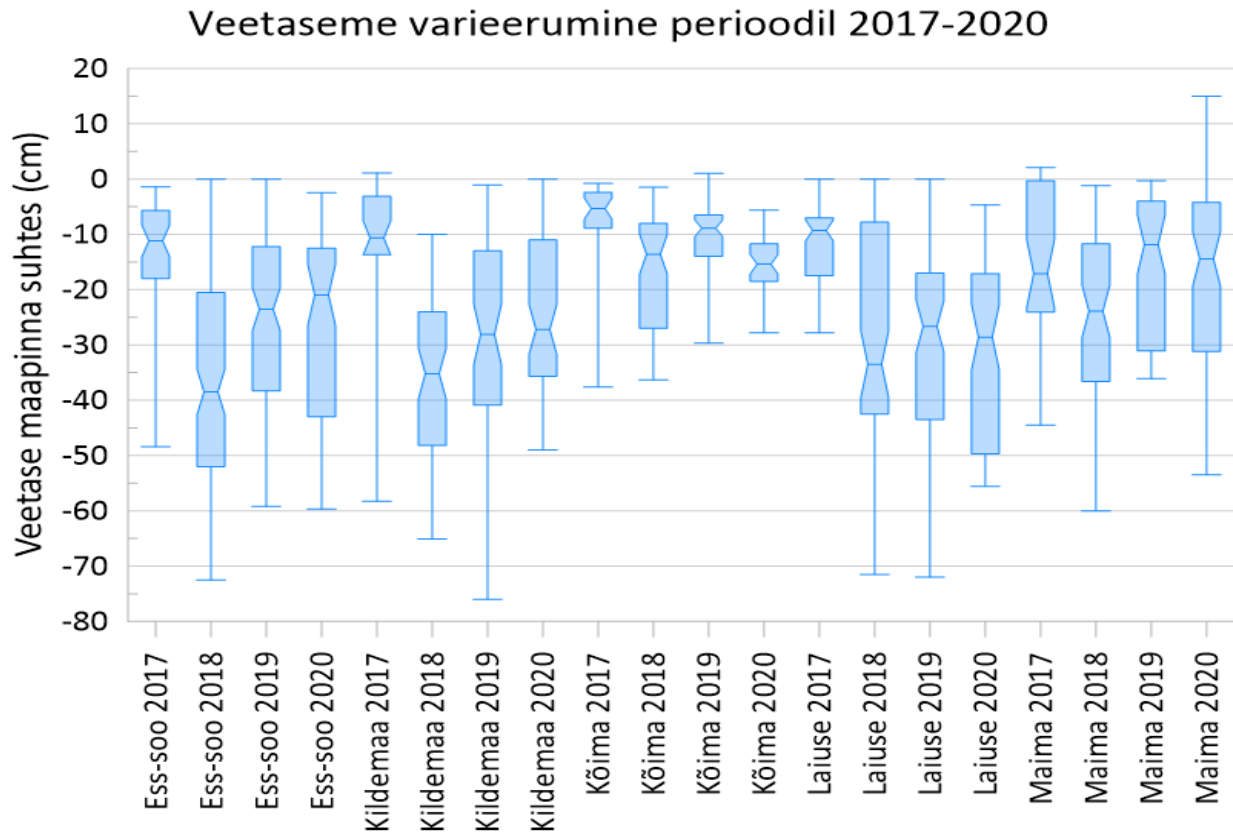
2020.a. osalesid Tartu Ülikooli esindajad Maima, Kildemaa ja Ess-soo korrastamisprojektide, -hangete ning korrastamistööde arutusel ja andsid kogu perioodi ulatuses sisendit tellijale. Vastavalt Maima kogemustele tehti soovitusel Ess-soo hankes kraavide täitmise ning pinnaspaisude rajamise ning äravoolunõvade absoluutkõrguste osas. Koos RMK esindajatega käidi turbasamblafragmentide pakkuja (AS Jiffi) doonorladel ja näidati Maima ala korrastajale ette sobivad fragmentide kogumisalad. E. Karofeld, A. Kull ning G. Veber osalesid esmasel turbasamblafragmentide kogumise ja laotamise päeval, et juhendada töö teostajaid kogutava kihi paksuse ning sammalde seisundi osas.

Välitööd monitooringualadel.

2020.a. on igakuiselt püsiproovialadelt kogutud gaasiproovid ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), mõõdetud vaatluskaevudes ning kraavides veetase, portatiivsete seadmetega  $\text{O}_2$  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 kasvuhoonegaaside ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) voo mõõtmist tootmisväljakute vahelistest kraavidest. 2020.a. oktoobris jõudis lõpule Maima jääksoo korrastamine, seetõttu installeeriti korrastatud aladele täiendavad piesomeetrid ning vaatluskaevud ja rajati täiendavad gaasivoogude mõõtmise alad (sh. täiendavad ujukambrid paisudega kraavidel ja kambrid lausaliselt täidetud kraavidel). Kõikidelt korrastatud proovialadelt ning Maima alalt korrastamise eelselt koguti mullaproovid (18 kompleksproovi, iga kompleksproov koosneb 24 alamproovist) ning viidi läbi taimkatteanalüüs. 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 sademeterohkem (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 sademetevaesem (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 sademeterohkem, kuid väga suurte regionaalsete erinevustega (Pärnu-ja Võrumaal sademeid 121-125% normist, Jõgevamaal 89% normist). 2020.a. kevad algas normilähedase temperatuuri sademete hulgaga, kuid mai keskpaik oli pikaajalisest keskmisest ligi 4 kraadi jahedam (viimase 60 aastat jahedaim) ja aeglustas seetõttu taimkatte arengut ja evapotranspiratsiooni ning aeglustas kasvuhoonegaaside voo kasvu suve alguses. Suvi oli pikaajalise normi lähedane kuid sügis normist oluliselt soojem (ligi 3 kraadi võrra) kõigil kuudel ja ka päikesepaistelisem ning kuivem. Ka 2020. a. detsember oli keskmisest soojem (+0.6 kraadi võrra).

Veetase oli kõikidel uurimisaladel (v.a. Maima) sademeterikkal 2017.a. oluliselt (siin ja edaspidi kasutatud  $p < 0.05$  kriteeriumit) kõrgem. 2018.a. oli veetase kõige madalam ja varieeruvam. 2018 ja 2019 veetasemed ei olnud statistiliselt erinevad Laiuse jääksoos (joonis 1), kuid tuleb arvestada, et 2019a. sügisel mõjutas Laiuse (ning väiksemal määral ka Kõima) veetaset korrastamistööde läbiviimine. 2020.a. oli jääksoodes keskmine veetase eelneva aastaga sarnasel tasemel, kuid taseme varieeruvus kevadise kõrgema ning suvise miinimumtaseme vahel väiksem kui eelnevatel aastatel.



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.

Maima jääksoos mõjutas 2020.a veetaset korrastamisega seonduv, seda eriti korrastamisjärgselt, mil esile tuli projekteerimise raames puudulikuks jäänud veetasemete hindamine korrastamisala erinevate osade lõikes. Sellest tulenevalt täideti projektikohaselt kõik kogujakraavid täielikult ja kõrgussuhete erinevuse tõttu valgus sügisene aurumist ja infiltratsiooni ületav sademetevesi väljavoolu või projekteeritud madalaveelise veekogu (ala NE osas) asemel jääksoo loodusliku rabaga piirnevatele proovialadele (SW osas). Olukorda leevendasid mõnevõrra korrastamistööde käigus jooksvalt rajatud ülevoolunõvad eraldusvallides, kuid väljaku suuremamõõtkavalisi kõrguserinevusi sellega leevendada ei saanud ning nii tõusis aasta lõpuks veetase võrdlusaladel kuni 20 cm üle maapinna (+30-40 cm tavapärasest veetasemest) ja korrastatud väljakutel 20-40 cm üle maapinna. Seevastu rajatud ülevoolud nii põhja- kui lõunapoolsel alal ning kavandatud madalaveeline märgala jäid kuivaks. Sellest tulenevalt toitaivate väljakannet Maima alalt 2020 korrastamistööde käigus ei toimunud. Toitaivate väljakanne oli minimaalne (aasta jooksul sõltuvalt proovialast 0-38 päeva ulatuses) ka 2019.a. korrastatud Laiuse jääksoos, kus aurumist ületav sademete hulk kas filtreerus või läks poorivee varude täiendamiseks ning ülevoolu kaudu vee liikumine toimus vaid veekogust väljavoolus ning keskmisel korrastamisalal (Laiuse N). Kordagi ei toimunud vee ülevoolu rajatud lävendist kõrgeima veetasemega (Laiuse NW) ja sügavaima veetasemega (Laiuse NE) aladel.

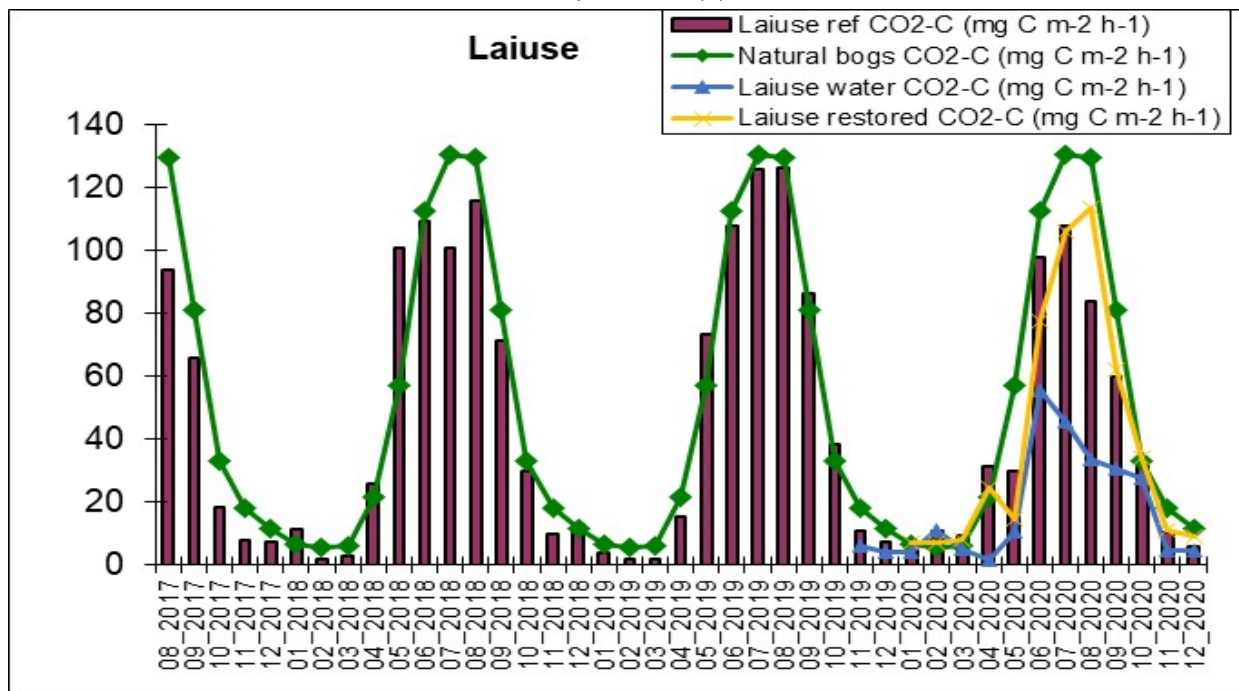
2017.a. keskmisest sademeterikkamal aastal oli CO<sub>2</sub> voog suve lõpus madal kuni mõõdukas (30-50 mg C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) ja soodele iseloomuliku aastase käiguga, kus maksimaalsed väärtused (52-123 C m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) esinevad soojematel kuudel (tavaliselt juuli-august), siis 2018.a. mis oli tavapärasest oluliselt kuivem

ning keskmisest soojem, oli gaasivoog intensiivsema mineraliseerumisprotsessi tõttu oluliselt suurem ( $>100 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) ja püsis kõrgena kauem (oktoobrini). 2019.a. oli sademeterikas kuid ka ühtlaselt sooja kasvuperioodiga, mistõttu  $\text{CO}_2$  voog oli ebatavaliselt kõrge juunist oktoobrini ( $50\text{--}160 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) ja seda nii mineraliseerumise (heterotroofse) kui ka autotroofse hingamise tõttu. 2020.a.  $\text{CO}_2$  voog oli eelnevatest aastatest madalam aastaringselt stabiilsema ja suhteliselt kõrge veetaseme, ebatavaliselt jaheda mai keskpaiga tõttu aeglaselt soojenenud maapinna ning pika sooja ja päikesepaistelise sügisese kasvuperioodi tõttu (joonis 2).

Intensiivsest mineraliseerumisest andis nii 2018. kui 2019.a. kõige selgemalt tunnistust  $\text{N}_2\text{O}$  voog, mis looduslikes rabades on iseloomulikult väga madal ( $<1.5 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) ent jääksoodes kõrgem. Kui 2017.a. oli emissioon Kõima, Ess-soo ja Laiuse  $-0.7 \dots 0.5 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ,  $4.2 \dots 6.3 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  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  $10\text{--}16$ , üksikutel juhtudel  $>100 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). 2020.a. oli  $\text{N}_2\text{O}$  voog mõõdukas, peamiseks põhjuseks kogu vaatlusperioodi jooksul aasta lõikes kõige stabiilsem veetase, mistõttu  $\text{N}_2\text{O}$  voo tekkeks vajalik nitrifikatsiooni/denitrifikatsiooni vaheldumine toimus vaid kitsas sügavusvahemikus.

Metaani emissioon on jääksoodes enamasti madal ( $\text{CH}_4\text{-C} < 1 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) kuid kõrge pinnatemperatuur ja veetase soodustavad metaani teket. Nii oli vaatamata madalale veetasemele kõrgema poorivee temperatuuri tõttu siiski ka metaani emissioon 2018.a. kõrgem ( $\sim 10\%$ ) kui sademete rohkel 2017.a. ja 2019.a. omakorda suurem kui varasematel aastatel. 2020.a. oli metaani emissioon kõikidel aladel erakordselt suur väga sooja talve tõttu, mil maapind ei külmunud ja talvised ning kevadised metaanivood oli 2–3 korda tavapärasest suuremad. Jahe mai tõi küll metaanivoo kaheks kuuks tavapärasele tasemele, kuid pikk ja soe sügis omakorda hoidis metaani emissiooni väga kõrge tasemel ebaharilikult pikalt kuni novembrini.

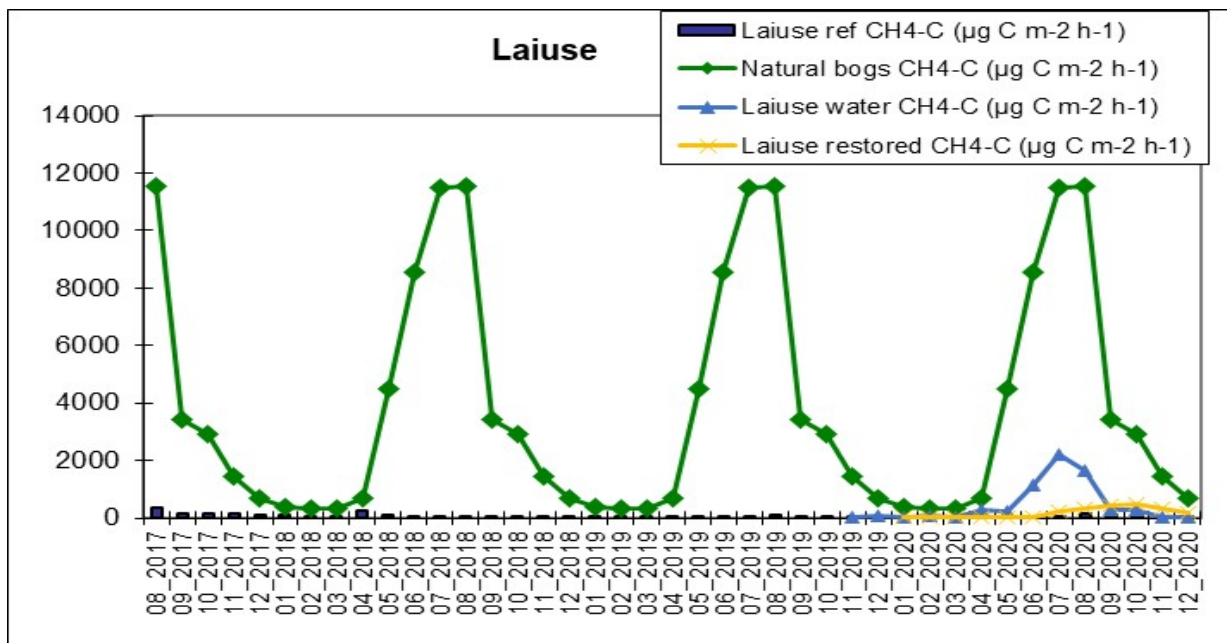
Kasvuhoonegaaside talviste voogude võrdlus Laiuse ning Ess-soo jääksoodest Järvelja kuivendatud turvasmuldadel metsadega on avaldatud teadusartiklina „Viru, B; Veber, G; Jaagus, J; Kull, A; Maddison, M; Muhel, M; Espenberg, M; Teemusk, A; Mander, Ü (2020). Wintertime Greenhouse Gas Fluxes in Hemiboreal Drained Peatlands. Atmosphere, 11 (7), 731. DOI: 10.3390/atmos11070731“.



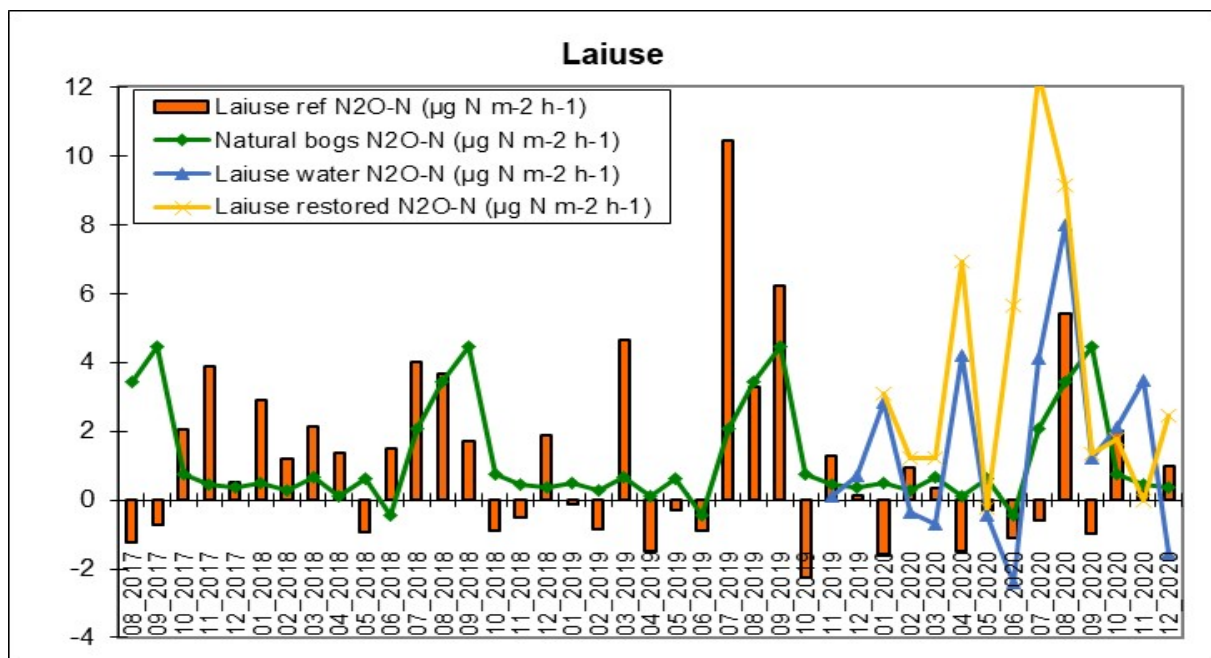
Joonis 2.  $\text{CO}_2$  voog väljendatuna ökosüsteemihingamise kaudu ( $R_{\text{eco}}$ ) 2019.a. juulist oktoobrini korrastatud Laiuse jääksoo näitel, kus aastatevahelised erinevused tulevad selgelt esile.

2019.a. korrastatud Laiuse jääksoo näitel on 2020.aastal näha, et pinnaspaisudega kraavide sulgemise teel korrastatud alal püsib ökosüsteemihingamine madal kuni juuni kuuni, mil veetase oli kõrge. Suve teisel poolel mil aurumine oli intensiivne ja veetase hakkas langema ( $-20\text{--}-30 \text{ cm}$ ), kasvas ka  $\text{CO}_2$  voog võrdlusalaga sarnasele tasemele. Madalaveeline märgala (vee sügavus  $0.5\text{--}1 \text{ m}$ ) kahandab efektiivselt  $\text{CO}_2$  voogu.

Korrastamistöödele järgnenud aasta jooksul suurenes küll metaani emissioon, kuid see jäi märkimisväärselt madalamaks kui looduslikus seisundis rabade pikaajaline keskmine voog (joonis 3). Korrastamisaladel, kus kraavidele rajati pinnaspaisud, kasvas metaanivoog võrdlusalaga võrreldes kevadel aeglasemalt kuid säilitas kõrgema emissiooni ( $200\text{--}500\ \mu\text{g C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ ) kuni detsembrini. Madalaveeline veekogu on küll korrastatud alast ja võrdlusalast selgelt suurema metaanivooga (kuni  $2500\ \mu\text{g C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ , keskmiselt  $451\ \mu\text{g C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ ) kuid siiski võrdlusalaga võrreldes ligi 10x väiksema kliimat soojendava efektiga ka metaani suuremat GWP<sub>100</sub> faktorit arvestades.



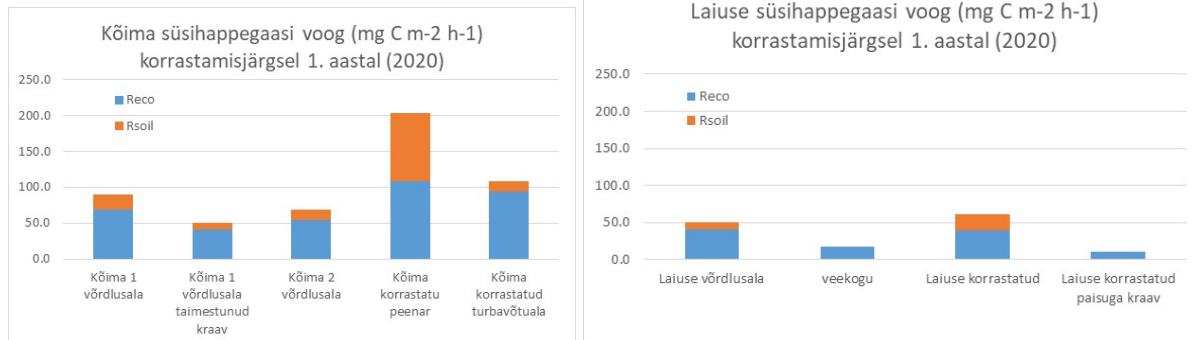
Joonis 3. CH<sub>4</sub> voog 2019.a. juulist oktoobrini korrastatud Laiuse jääksoo näitel võrrelduna looduslike rabade pikaajalise keskmise metaanivoo aastaajalise käiguga.



Joonis 4. N<sub>2</sub>O voog 2019.a. juulist oktoobrini korrastatud Laiuse jääksoo näitel võrrelduna looduslike rabade pikaajalise keskmise naerugaasivoo aastaajalise käiguga.

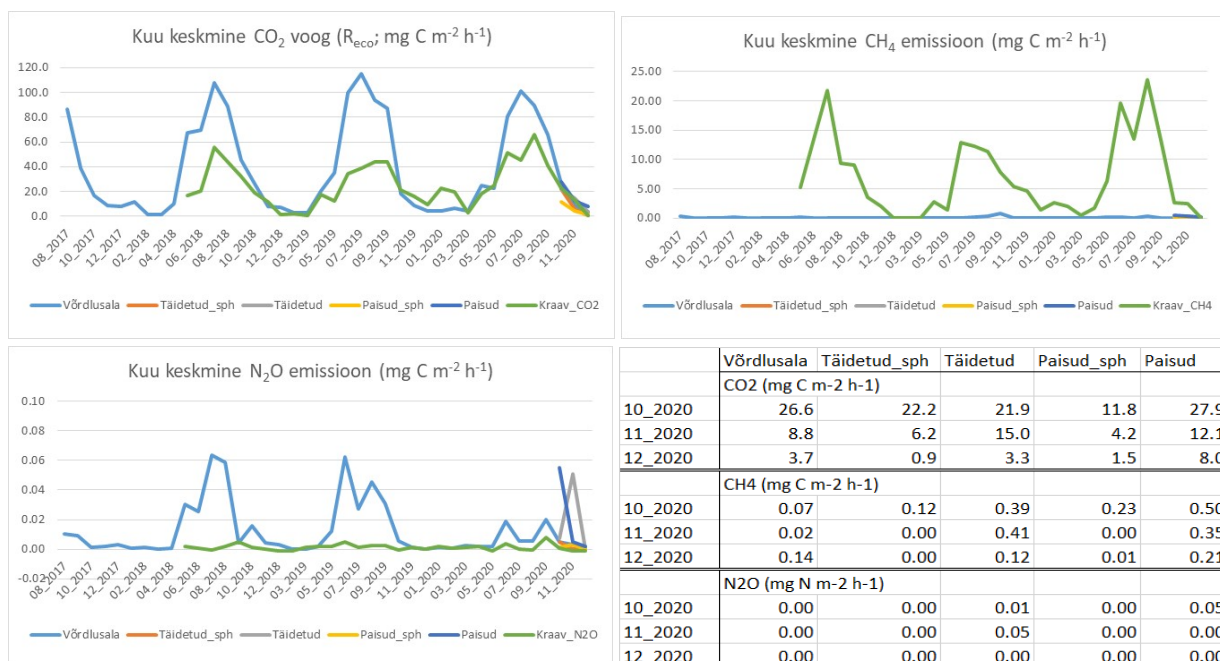


Korrastatud Laiuse jääksoos on naerugaasi emissioon vaatamata mulla mõõdukale N sisaldusele (0.8-1.5%) väike ja rabale tüüpiliselt ajaliselt väga varieeruv (joonis 4). Suurim naerugaasi voog iseloomustab 2019.a. kraavidele pinnaspaisude rajamisega korrastatud ala, kus veetaseme järsud muutused aprillis ning juulis tõid kaasa suurema voo kui võrdlusalal, ent aastane käik on väga sarnane ka madalaveelise veekogu puhul, kus põhjasettes on  $\text{NH}_4^+$  kujul (peamine N vorm) lämmastikusisaldus oluliselt suurem kui korrastamisalal. Samas on ka korrastamisalal veelindude tõttu ligi 4x kõrgem kui korrastamisalal mullas. Samas on ka korrastamisalal veelindude väljaheidete ja mullatööde tõttu  $\text{NH}_4^+$  sisaldus oluliselt suurem võrdlusalast.



Joonis 5. Ökosüsteemihingamise ( $R_{\text{eco}}$ ) ja mullahingamise ( $R_{\text{soil}}$ ) proportsioon korrastatud uurimiselaladel 2020.a. keskmisena sõltuvalt jääksoo korrastamisviisist.

$\text{CO}_2$  emissioon oli turba lagunemiseks soodsa niiskuse režiimi ja kõrgema maapinna temperatuuri tõttu kõrgeim Kõima turbavõtuaukude vahelisel peenral (joonis 5), mis on taimestatunud nõrgalt ja korrastamisjärgne veetaseme tõus ei mõjuta nii kõrget ala oluliselt. Peenardel moodustab jätkuvalt mullahingamine (emissioon) suurema osa ökosüsteemi hingamisest. Samas on Kõima jääksoo saavutamas seisundit, kus süsiniku sidumine ületab auto- ja heterotroofse hingamise voogu ja sidumine on saavutatud nii hästi taimestatunud kraavides kui korrastatud turbavõtuaukudes. Laiuse jääksoos oli paisude rajamiseks vajalik suuremamahtuline mullatööde läbiviimine ja seetõttu esimesel aastal pärast korrastamist (2020) on korrastatud alal süsihappegaasi emissioon mullast oluliselt suurem kui võrdlusalal ent ökosüsteemihingamine võrreldaval tasemel. Väga väike on süsinikuemissioon madalaveelisest veekogust ning kirjandusallikatele vastupidiselt ka suletud kuid veega täidetud avaveelises kraavides.

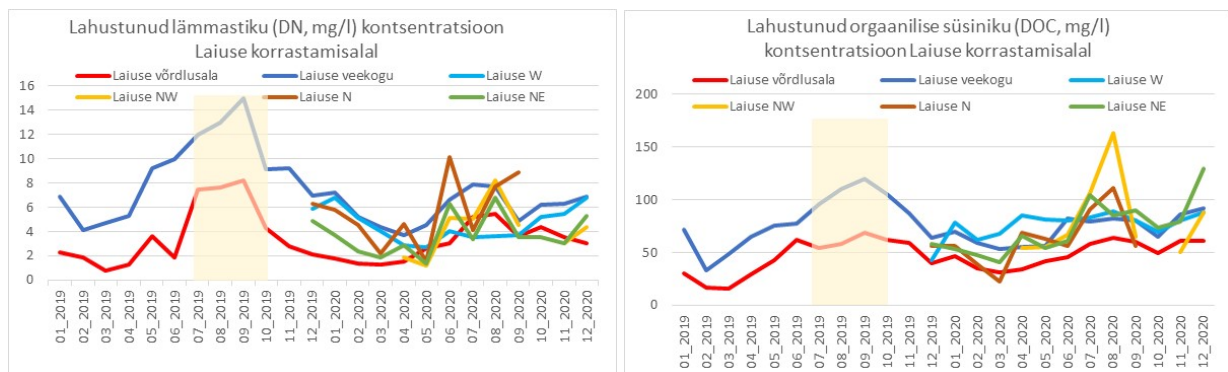


Joonis 6. Maima jääksoos ökosüsteemi hingamine, metaani- ja naerugaasi emissioon 2017-2020. Korrastamistööd toimusid 2020.a. augustist oktoobrini, sügisesed korrastamisjärgsed vood on esitatud ka korrastamisviiside lõikes (alade keskmised, igal alal 4-5 kordust vaatluskuu kohta).

Maima korrastamistöödele järgnenud kuude gaasivoo mõõtmised langesid kokku sügisese voogude kiire kahanemise faasiga ja tulemust mõjutab tugevalt projekteerimise käigus hindamata jäänud veetaseme tõus võrdlusaladel ning erineva korrastamisviisiga proovialadel, mistõttu võrdlusalad ujutati üle osaliselt, looduslikus seisus rabapoolsed proovialad aga täielikult. Siiski on tulemustest näha, et paisudega blokeeritud kraavidel suurenes metaanivoog, suurema mullatööde mahuga aladel ka naerugaasi voog. Maapinna sulamisel on proovialadel vajalik labidatööna vee liikumisteid korrigeerida.

Vaatluskaevudest ning kraavidest kogutud veeproovide tulemused näitavad tugevat ruumilist autokorrelatsiooni süsiniku kontsentratsiooni ja mõõdukat autokorrelatsiooni lahustunud üldlämmastiku osas. Samuti on tugev seos lahustunud lämmastiku ja lahustunud orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni vahel ning seos on tugevam aladel, mis on kuivendusest või korrastamisel mullatöödest enam mõjutatud.

Laiuse jääksoo näitel tuleb hästi esile korrastamistöödega seonduv lahustunud lämmastiku ning orgaanilise süsiniku kontsentratsiooni tõus (joonis 7). Mõju osutus DN osas lühiajaliseks, DOC osas on mõju täheldatav kogu 2020.a. vaatlusperioodi ulatuses. DN ja DOC väljakandele jäi mõju aga väikeseks, piirdudes peamiselt väljakandega madalaveelisest veekogust, sest teistel aladel jäi sademevesi proovialadel pooride veega täitmiseks pidama ja ülevooludest peakraavi jõudis vett vaid üksikudel päevadel ning minimaalses koguses. Mõju madalaveelisest veekogust on Laiuse puhul märkimisväärne seetõttu, et korrastamistööde läbiviimiseks alandati veekogu algset veetaset enam kui poole võrra (0.7 m) ja mullatööde käigus liigutati ka põhjaseteid. Veetaset alandamata või veetaseme aeglasel tõusul võib väljakanne madalaveelisest veekogust olla väiksem. Sellele hüpoteesile loodame vastuse saada Maima ning Ess-soo madalaveeliste märgalade kujunemisel.



Joonis 7. Korrastamistööde mõju vee lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) ja lahustunud lämmastiku (DN) sisaldusele Laiuse jääksoos 2019.a. juulist oktoobrini (kollane toonitud ala) võrreldes korrastamiseelse baastasemega 2019 ja korrastamisjärgse seisuga vastavalt korrastamisviisile 2020.

2020.a. jätkati nii drooni- kui satelliitpiltide alusel seire metoodika väljatöötamise ja testimisega ja laiendati tegevust kasutamaks pilvisusest sõltumatut Sentinel-1 sünteetilise apertuurradari (SAR) andmeid maapinna niiskuse ning veetaseme ülepinnaliseks hindamiseks. Esialgsed tulemused näitavad, et SAR koherentsuse andmestik on ruumilise dünaamika kirjeldamiseks sobiv nii looduslikes rabades kui freesturbaväljadel ning hõreda puurindega jääksoodes. SAR interferomeetria andmestiku kasutamine on erinevalt looduslikust rabast vastu ootusi jääksoodes keeruline kuna ei kujune piisavalt ei dünaamilisi ega püsipeegelduspunkte. Mis takistab looduslikust rabast eelduslikult stabiilsemal jääksoo pinnal dünaamiliste või püsipeegelduspunktide teket, selle uurimine jätkub 2021.a. koostöös Saksa kosmoseagentuuri DLR töötajatega ja planeeritakse niiskusprofiili mõõdistamise eksperimente Ess-soos ning Maima jääksoos. SAR metoodika arendamise esimesed tulemused on avaldatud teadusartiklitena: Tampuu, T.; Praks, J.; Uiboupin, R.; Kull, A. (2020). Long term interferometric temporal coherence and DInSAR phase in Northern Peatlands. Remote Sensing, 12 (10). DOI: 10.3390/rs12101566, T. Tampuu, J. Praks, A. Kull, R. Uiboupin, T. Tamm, K. Voormansik (2021). Detecting peat extraction related activity with multi-temporal Sentinel-1 InSAR coherence time series. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 98, 102309, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102309> ja T. Tampuu, J. Praks and A. Kull (2020). "Insar Coherence for Monitoring Water Table Fluctuations in Northern Peatlands," IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Waikoloa, HI, USA, 2020, pp. 4738-4741, doi: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323709.

Landsat 7, 8 ja Modis satelliitide andmete alusel arvutati maapinna temperatuuri aegread ning taimkatte ja niiskuseindeksid. Jääksoode maapealsete mõõtmisandmetega seostades leiti, et satelliidiandmete abil on jääksoodes maapinna temperatuuri ja ökosüsteemi hingamist võimalik modelleerida suurema täpsusega kui looduslikes rabades ( $r = 0.5-0.7$ ). Tulemused esitatakse EGU 2021.a. kongressil ning valmimas on artikli käsikiri „I. Burdun, A. Kull, G. Veber, O. Karasov, M. Maddison, V. Sagris and Ü. Mander, Remotely sensed temperature is a proxy of greenhouse gas emissions in intact and managed peatlands“.

Maima ning Kõima jääksoo korrastamise eelse drooniandmestiku põhjal hinnati erinevate masinõppe algoritmide rakendatavust ja nende maakatte klassifitseerimise täpsust. MarjanSadat Barekaty leidis oma magistritöös Maima jääksoo põhjal, et nii Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) ja K-Nearest Neighbours (KNN) meetod annavad suhteliselt sarnase tulemuse RGB andmestiku puhul. Kõrgeim kaalutud keskmine F1-skoor saadi RF vaikemudeliga kombineerituna vegetatsiooniindeksitega (0,59), sellele järgnesid KNN (0,58) ja SVM (0,57) kombineerituna vegetatsiooniindeksite ja MinMaxScaleriga. Pildi suurem pikslitihedus ei parandanud klassifitseerimise tulemust. Klassifitseerimist raskendas oluliselt UAV ortofoto kõrgest ruumilisest lahutusest tingitud müra ja maakatteklasside mitte tasakaalus olev koosseis (erinevate liikide/koosluste ruumiline esinemine ebavõrdne, mis on aga looduses normaalne olukord). Teistele uuringutele tuginedes saaks ilmselt klassifitseerimistulemusi parandada kasutades objektipõhist pildianalüüsi (OBIA), mis töötaks paremini puurinde ning mättaid moodustavate taimede puhul ning lisades kalibreeritud multispektraalsed andmed ning lisatunnused (nt. LIDAR andmed).

2019.a. sügisel meetodika testimiseks Laiuse jääksoost kogutud dendrokronoloogilise uuringu materjalid, mida analüüsiti 2020.a. näitavad, et rabamännid reageerivad veetaseme järsule alanemisele 2-3 aastase radiaaljuurdekasvu aeglustumise ning seejärel 10-15 aastase kasvu järsu kiirenemisega. Veetaseme tõus (Laiuse lõunapoolne koprapaisutusest tekkinud veekogu) avaldub samuti 2-3-aastase viibega kuid puude lõikes oluliselt ebaühtlasemalt kui kuivenduse mõju. Mõju hindamise täpsust mõjutab omakorda see, et mõnel puul jääb tugeva mõjutuse tõttu aastarõnga moodustumine vahele ning mõju avaldub erineva intensiivsusega erineva vanusega puudel. Laiuse jääksoos läbi viidud meetodika testimine kinnitab algset seisukohta, et dendrokronoloogiliste proovide kogumine korrastatud jääksoodes ei ole otstarbekas varem kui 3 aastat pärast korrastamistööd. Laiuse jääksoo dendrokronoloogilise analüüsi tulemused esitatakse 2021.a. International Peatland Society kongressil ettekandes K. Erikson, A. Läänelaid, A. Kull „Effect of water level change on radial increment of Scots pine in a restored peatland in Estonia“ ning K. Eriksoni magistritöös.

2020. a suvel (9.-11. VI) tehti RMK projekti täitmiseks välitööd Laiuse, Maima ja Kõima jääksoodes kokku 90-l varem märgistatud 1x1 m püsiruudul, kus määrati taimestiku üldkatvus ja taimeliikide (soon- ja sammaltaimed) katvused (%), samblike katvus ning kulu (surnud ja kuivanud taimed) protsent eelmiste aastatega sama meetodika alusel. Igast püsiruudust tehti koos etiketiga foto. Taimedest, mida ei olnud välitingimustes võimalik liigini määrata võeti kaasa proov määrangu täpsustamiseks laboris. Taimkatte-analüüside tulemused on sisestatud tabelitesse alade ja aastate kaupa ning on tehtud esmased võrdlused eelmiste aastatega (tabelid lisatud lühiaru-andele). Iga taimeruudu ühes nurgas mõõdeti perforatsiooniga torus veetaseme sügavus (cm) maapinnast. Kuigi eri aastatel on mõõtmised tehtud ligikaudu samal perioodil, ei saa ühekordsete mõõtmiste alusel veel teha järeldusi muutuste kohta veetaseme sügavuses, mis jääksoodes muutub sesoonselt suures ulatuses. Vaid Laiuse jääksoos on pärast korrastamistööd toimunud oluline veetaseme tõus.

Kõima ja Maima jääksoode taimeruutudes on taimestiku katvus endiselt väga väike ning ka eelnenud aastatega ei ole olulisi muutusi toimunud (Tabel 1). Laiuse jääksool on aga C ja D aladel veetase tõusnud mitukümmend sentimeetrit ja enamus taimeruute olid osaliselt või täielikult vee all. See muutus hakkab peagi mõjutama ka taimestikku. Maima jääksoo kuivenduskraavid olid taimkatteuuringu ajal (2020 suvel) veel sulgemata, siis seal on väljakutel veetase endiselt küllalt sügaval (max vastavalt 56 ja 80 cm), kuigi kevadel ja sadude järgselt võivad mõned alad olla lühiajaliselt ka üle ujutatud. Kõige sügavamad veetasemed on mõõdetud nii Maima kui 2019.a. korrastatud Kõima jääksoo vanade turbaaukude vahelistel tervikutel.

Võrreldes varasemate aastatega on kõige suuremad muutused toimunud Laiuse jääksoos, kus pärast korrastamistööde tegemist, sh paisude ehitamist kraavidele, on osad väljakud kuni 20-30 cm sügavuse veega üle ujutatud (Foto 1). Kõige olulisem on veetaseme tõusu mõju C ja D uurimisaladel. C alal ulatub veekihi sügavus taimestikuruutudel 25 sentimeetrini ning kuuest ruudust on üleni vee all kolm ja osaliselt kaks ruutu (Foto 2). D ala ruutudest on üleni vee all neli ja osaliselt üks ruut, veekihi sügavus ruutudel



kuni 32 cm. A ala ruutudes on veetase 13-38 cm sügavusel.

Tabel 1. 2020. aastal kolmes jääksoos analüüsitud taimestikuruutude keskmised, soon- ja sammaltaimede üldkatvused (ÜK, %) ning keskmised veetaseme sügavused (- cm) ja veekihi paksused (+ cm) võrreldes 2019. a andmetega.

Jääksoo	Taimestiku ÜK, %		Soontaimede ÜK, %		Sammaltaimede ÜK, %		Veetase, keskm. (min-max) cm	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
Laiuse	96,3	54,7	46,7	17,4	57,2	31,4	-31,1 (3-60)	-24,8 (13-38)
Maima	34,7	34,8	21,1	21,1	11,5	11,6	-29 (11-62)	+10,5 (-12+25)
Kõima	77,6	76	27,5	24,7	67,2	63,8	-23,6 (2-44)	+16,3 (-5+32)

Laiuse jääksoos on oluliselt vähenenud nii taimestiku üld- kui ka soon- ja sammaltaimede katvus (Tabel 1). Suurenenud on invasiivse samblaliigi, võõr-kõverharjaku katvus, kuid veetaseme tõustes see liik pigem kaob. Veekihi all on väiksemaid taimeliike juba raske märgata ja osalt võib olla sellest tingituna on taimeliikide koguarv vähenenud 27-lt kahekümne kaheni, samas kui Maima ja Kõima jääksoos on erinevus varasemaga vaid mõne liigi võrra.

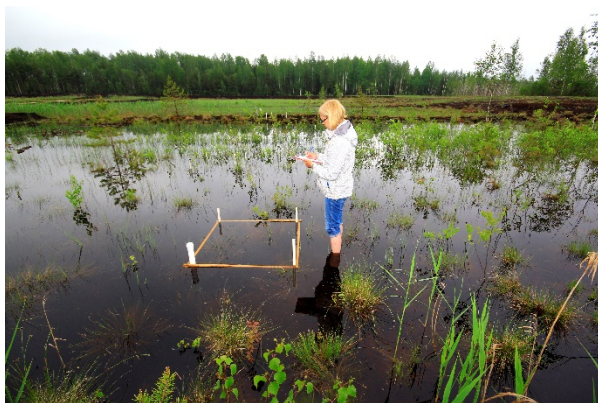


Foto 1. Üleujutatud ala Laiuse jääksoos.



Foto 2. Üleujutatud Laiuse C 2 taimeruut.

Maima jääksoos ei olnud välitööde ajaks tingimused muutunud ja sellest tingituna ei ole toimunud ka olulisi muutusi taimestikus (Tabel 1). Ka liikide koguarv on tõusnud vaid ühe võrra (36-lt 37-ni) jätkates aga ka eelnenud aastatel registreeritud tõusu ja uute (sambla)liikide ilmumist. Taimeliikidest on katvus tõusnud alpi jänesevillal (*Trichophorum alpinum*), kuid vähenenud turbasamblaliikidel, mis osutab kuivenduse jätkuvalle mõjule.

Kõima jääksoos on taimestiku üldkatvus võrreldes 2019. aastaga jäänud praktiliselt samaks ja ka taimeliikide katvuse osas olulisi muutusi ei olnud, kuigi nii soon- kui sammaltaimede katvus on vähenenud. Ka liikide arv Kõima jääksoos on vähenenud 28-lt 25-ni. See võib osutada kuivendamise jätkuvalle mõjule ja taimestiku vaesumisele jääksoos veel aasta pärast kraavide sulgemist (2019.a. sügisel).

Jääksoode korrastamisega seonduvat on laiema üldsuse teavitamiseks käsitletud populaarteaduslikus väljaandes "Samblasober" nr 23, 2020, lk 10-15:

[https://sisu.ut.ee/sites/default/files/samblasober/files/samblasober\\_23\\_0.pdf](https://sisu.ut.ee/sites/default/files/samblasober/files/samblasober_23_0.pdf)

## 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 aineringe 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.  
 Kärt Erikson magistratöö: Effect of water level change on radial increment of Scots pine in a restored peatland in Estonia.  
 MarjanSadat Barekaty magistratöö geograafia osakonnas "Compare the performance of applying Machine Learning concepts to landcover classification models using very high-resolution UAV data".

<b>8. Projekti juht</b> (nimi): Ain Kull	<b>Allkiri:</b> <i>allkirjastatud digitaalselt</i>	<b>Kuupäev:</b> 08.03.2020
---	--	----------------------------

<b>9. Taotleja allkirjaõigusliku esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta</b> (nimi, amet): <b>Ain Kull, vanemteadur</b>	<b>Allkiri:</b> <i>allkirjastatud digitaalselt</i>	<b>Kuupäev:</b> 08.03.2020
--	--	----------------------------

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