

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Bakalaureuse töö keskkonnatehnoloogias (12 EAP)

**Kasvuhoonegaaside vood ja neid mõjutavad keskkonnategurid päiderooga
taimestatud Keressaare jääkturbaalal**

Rein Järvpõld

Juhendaja: Martin Maddison, PhD

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Allkiri, kuupäev

TARTU 2020

Annotatsioon

Kasvuhoonegaaside vood ja neid mõjutavad keskkonnategurid päiderooga taimestatud Keressaare jääkturbaalal

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida kasvuhoonegaaside (KHG) vooge ning neid mõjutavaid keskkonnategureid päiderooga taimestatud Keressaare jääkturbaalal. Töö teoreetilises osas on antud ülevaade järgmistest jääkturbaala KHG emissioonidest: süsinikdioksiid (CO_2), diämmastikoksiid (N_2O) ja metaan (CH_4). Lisaks on kirjeldatud seoseid veetaseme ja kasvuhoonegaaside vahel. Töö eksperimentaalses osas analüüsiti 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil mõõdetud kasvuhoonegaaside voogude seost keskkonnaparametritega. Leiti taimedesse fotosünteesil seotud süsiniku kogus (GPP) ja hingamise kaudu atmosfääri emiteeritud süsiniku kogus (ER) ning arvutati päiderooga taimestatud alade ja taimestamata freesturbaalade süsiniku bilanss (NEE) ja globaalse soojenemise potentsiaal (GWP).

Märksõnad: kasvuhoonegaas, päideroog, jääkturbaala, GPP, ER, süsinikubilanss

CERCS: T270 – Keskkonnatehnoloogia, reostuskontroll.

Abstract

Fluxes of greenhouse gases and its environmental factors with planted reed canary grass in Keressaare abandoned peat extraction area

The aim of this bachelor's thesis was to study the impact of water regime on the RCG cultivation in an abandoned peat extraction area with very low soil pH located in Estonia. In the theoretical part of the thesis is given an overview of the following topics: fluxes of carbon dioxide (CO_2), nitrous oxide (N_2O) and methane (CH_4). In addition, the relations between water level and greenhouse gases is explained. In the experimental part of the thesis is given an overview of measured greenhouse gas (GHG) fluxes in 2016 and 2017 vegetation period. In addition, are analyzed the relation between environmental parameters and dynamic chamber readings of

carbon sinks into plants (GPP), ecosystem respiration (ER), net ecosystems CO₂ exchange (NEE) and global warming potential (GWP).

Keywords: greenhouse gas, reed canary grass, peat extraction area, gross primary production, ecosystem respiration, net ecosystem exchange

CERCS: T270 – Environmental technology, pollution control.

Sisukord

1. Sissejuhatus	5
2. Kirjanduse ülevaade	6
2.1 Freesturbaala olemus	6
2.2 Freesturba kasvuhoonegaaside vood	7
2.3 Päideroog freesturbal	10
3. Materjal ja metoodika	12
3.1 Paiknemine	12
3.2 Proovide kogumine	12
3.3 Taimede süsiniku sidumise ja ökosüsteemi hingamise arvutusvalemid	16
3.4 Statistiline analüüs	18
4. Tulemused ja arutelu	19
4.1 Keskkonnaparametrid	19
4.2 Naerugaasi voog	21
4.3 Metaani voog	23
4.4 Süsihappegaasi voog	25
4.4.1 Ökosüsteemi hingamine	27
4.4.2 Süsiniku sidumine taimedesse	28
4.4.3 Süsiniku bilanss	29
4.5 Globaalse soojenemise potentsiaal	31
5. Kokkuvõte	32
6. Summary	34
Tänuavaldused	36
Kasutatud kirjandus	37

1. Sissejuhatus

Eestis on ligikaudu 10 000 ha mahajäetud turbakaevanduse alasid. Selle pinnase viljatust mõjutab veetase ja turbakihi paksus (Ramst, Orru 2010). Olemuselt on mahajäetud turbaala rikutud ökosüsteemiga, kus on väga vähe või praktiliselt puuduv taimkate ning kunstlikult madaldatud veetase. Mahajäetud jääkturbaalad muutuvad olulisteks kasvuhoonegaaside (KHG) allikateks (Maljanen et al., 2007). Madala veetaseme tõttu suureneb aeroobne kiht pinna lähedal ja seetõttu suurenevad süsihappegaasi (CO_2) ja naerugaasi (N_2O) vood ning väheneb metaani (CH_4) voog. Veetaseme tõstmisega väheneb freesturba lagunemine ja mineralisatsioon, mis vähendab CO_2 ning N_2O emissioone (Järveoja et al., 2016).

Päideroog on põhjamaades tuntud energiataimena, millel on kõrge biomassi produktsioon. Päideroog talub happelist, viljatut ning kõikuva veetasemega pinnast (Maljanen et al. 2010, Kandel et al., 2013). Lisaks on see sobilik jääkturbaalal kasvamiseks madalatel temperatuuridel või lühikesel vegetatsiooniperioodi ajal (Kandel et al., 2015). Päideroog seob fotosünteesil suurema osa süsiniku õhust juurtesse suurendades biomassi pinnases, millega suureneb ka süsinikusisaldus mullas (Vainsalu 2015). Käesolevas töös pööratakse lisaks tähelepanu päideroo mõju mulla keemilisele koostisele ning kasvuhoonegaasi voogude muutumisele.

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida kasvuhoonegaaside vooge ning neid mõjutavaid keskkonnategureid päiderooga taimestatud Keressaare jääkturbaalal. Antud töö kirjanduslikus osas anti ülevaade jääkturbaala olemusest, neid mõjutavatest keskkonnateguritest, päideroo mõju madala viljakusega mullale ja uurimistöö andmete analüüsimiseks kasutatud statistilise analüüsi metoodikast. Töö eksperimentaalses osas analüüsiti 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil mõõdetud kasvuhoonegaaside voogusid, nende seost keskkonnaparameetritega ning aastate ja alade vahelist varieeruvust.

2. Kirjanduse ülevaade

2.1 Freesturbaala olemus

Turbaalad on märgalade ökosüsteemid, mis akumulēerivad orgaanilist ainet surnud ja kõdunenud taimedest ning nende varisest. Maailmas on turbaalasid ligi neli miljonit km² 180 erinevas riigis. Erinevused turbaalade vahel sõltuvad geograafilisest asukohast, taimestiku tüübist ja maastikust. Turba moodustumine sõltub peamiselt kliimatingimustest. Põhjalaiusel võib madal temperatuur olla piisav taimekasvuks, aga mitte piisav mikroobide elutegevuseks. Olulise bioloogilise mitmekesisusega turbaalade ökosüsteemid paiknevad troopilistel ja lähistroopilistel aladel (Assessment... 2008).

Ebasobiv turbaalade haldamine viib tasakaalust välja selle kui maailma tõhusaima maapealse süsiniku talletaja. Moodustades ainult kolm protsenti kogu maismaa pinnast, hoiavad turbaalad endas sama palju süsinikku kui on maapealset biomassi, kaks korda rohkem kui sisaldub globaalse metsa biomassis ning umbes sama palju kui on atmosfääris kokku. Turbaalad on kriitilise tähtsusega keskkonnad, kus paiknevad paljud eriliigid ja ainulaadsed ökosüsteemid. Lisaks omavad turbaalad suurt rolli veevarude ringkäigus, mida mõjutab turba lagunemise kiirenemine (Assessment...2008).

Jääkturbaalad oma olemuselt on madala viljakusega alad, mis on endised turbakaevandusalad. Eestis hakati ulatuslikult kaevandama freesturvast 1950. aastatest umbes 15000 ha suurusel alal, mis oli 1970. aastate alguseks 25000 ha. Freesturvast kasutati peamiselt põllumajanduses. Kaevandamise käigus vähendatud turvasmulla veesisalduse tõttu on nendel aladel taimkatte teke väga aeglane. Alates 1990. aastatest on selline ulatuslik freesturba kaevandamine Eestis lõpetatud. Kaevandatavad alad on küll suurenenud, kuid freesturba kogus on stabiliseerunud 1-1,2 miljoni tonnini aastas (Orru, Ramst 2009).

Kaevandusalade kuivendamisega kaasneb süsiniku ja lämmastiku mineraliseerumine, mille tulemuseks on nii kasvuhoonegaaside emissioonid kui ka turba aeglane taastumine (Vainsalu 2015, Mander et al., 2012). Lisaks soodustab veetaseme alandamine jääksoos keskkonna

happelisuse suurenemist, mis piirab mikrobioloogilist elu (Pihlap 2016). Probleemiks on ka, et turbaalade kuivendamine ohustab mulla hapnikuvaesete kihtide rikastumist hapnikuga, mis võib kaasa tuua lagunemiskiiruse vähenemise ja mulla pinnal hiljem settinud süsiniku kadumise. (Leifeld et al., 2012). Suurimad kuivendamise häiringud ilmnevad mahajäetud turbaalade kuivenduskraavide piirkondades (Pihlap 2016).

Suurem osa süsinikust on põhjamaistele turbaaladele talletunud viimasest jääajast. Parasvöötmelises ja lähisartkilises kliimas on jääkturbaalad suured süsinikuallikad sisaldades umbes 20% maisest süsinikust (Maljanen et al., 2010). Turba taastumise ajal toimub kergemini laguneva orgaaniline aine lagunemine eelistatuna, raskemini lagunevad orgaanilised ained akumulatsioonid turbamullas. Orgaanilise aine kvaliteet suureneb sügavusega (Leifeld et al., 2012).

Verhoeven et al. (2009) toob välja, et Hollandis on viimase paarisaja aasta jooksul freesturba tootmine ja põllumajandus kaasa toonud pinnaskihi kõrguse vähenemise ning laialdase bioloogilise mitmekesisuse kao. Puutumatud turbaalad püsisid viljakad koos veetaseme sesoonse muutumisega, setete ladestumisega ning turba moodustumisega ja olid tasakaalus kuni inimtegevuse sekkumiseni. Alustati vee ümbersuunamisega tammisid ehitades, mille tõkendite taha tekkisid poldrid. See tõi kaasa turba oksüdeerumise ning turbaalade vajumise. 20. sajandi alguseks olid turbaalad vajunud keskmiselt seitse meetrit allapoole merepinda ja neid pidi pidevalt väetama ning veest tühjaks pumpama tuuleveskite või varajaste elektripumpade abil. Praeguseks on Madalmaades turbaalad kohati madala või olematu bioloogilise mitmekesisusega, turbapinnas viljatu, mittetaastuv ning alad vajavad pidevat väetamist ning veetaseme regulatsiooni.

2.2 Freesturba kasvuhoonegaaside vood

Inimtegevus on suurendanud süsihappegaasi ja naerugaasi emissioone orgaanilisest mullast. Kuivendatud freesturvas võib muutuda oluliseks süsihappegaasi ja naerugaasi emiteerijaks, aga

metaani emissioon üldjuhul väheneb veetaseme langusega. Põllumajanduses niisutamine, väetamine ja kündmine toob kaasa kiirema turba lagunemise. Lisaks suureneb mulla koostises pH, mille tulemuseks on süsihappegaasi emissiooni suurenemine (Maljanen et al., 2007). Süsihappegaasi voog turbaalal oleneb peamiselt süsinikusisaldusest pinnases, aga ka veetasemest, selle kõikumisest, päikesevalguse intensiivsusest ning taimestikust mullal (Järveoja et al., 2016). Kuivendamine, põllumajandus ning metsandus mõjutavad CO₂ emissiooni kõige rohkem, muutes need looduslikud ökosüsteemid süsihappegaasi emiteerijateks. Lisaks on see tingitud turbapinnase lagunemise kiirenemisest, mille põhjusteks on pinnases hapniku suurenemine ja väetamine (Kandel et al., 2012, Maljanen et al., 2010). Naerugaas seotakse mullas läbi mikrobioloogiliste protsesside, milleks on peamiselt aeroobne ja anaeroobne nitrifikatsioon. N₂O produktsioon sõltub mullas õhusisaldusest, mis omakorda sõltub mulla veesisaldusest (Hyvönen et al., 2009). Naerugaasi vood sõltuvad peamiselt nitraadi sisaldusest turbamullas (Poyda et al., 2016).

Salm (2012) tulemustest selgub, et kunstliku kuivendamise mõju võrreldes loodusliku kuivendamisega erineb oluliselt samade keskkonnaparameetrite korral. Lisaks veetasemele, mõjutab otseselt CO₂ emissioone ka mullatemperatuur. Võrreldes loodusliku turbaalaga olid CO₂ emissiooni tulemused kuivendatud ja mahajäetud vastavalt 1563 (1167–2127), 1921 (507–3276) ja 1863 (683–4322) kg CO₂-C ha⁻¹ a⁻¹. Suuremad väärtused esinesid peamiselt vegetatsiooniperioodidel ning väiksemad talvistel aegadel. CH₄-C vood looduslikel, kuivendatud ja mahajäetud turbaaladel olid vastavalt 71.1 (23.9–120.8), 23.7 (8.1–137.1) ja 0.06 (–4.8–20.4) kg CH₄-C ha⁻¹ a⁻¹. Selgub, et CH₄-C vood on suurimad just looduslikes tingimustes ning kuivendatud ja mahajäetud turbaaladel taimkatte puudumise tõttu vähenevad ka metaani emissioonid. N₂O-N emissioonid looduslikes, kuivendatud ja mahajäetud turbaaladel olid vastavalt –0.05 (–0.06–0), –0.01 (–0.06–0.06) ja 0.17 (0.02–1.06) kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹. Selgub, et N₂O emissioonid sõltuvad ennekõike nitraadi sisaldusest mullas, mistõttu on emissioon väike just looduslikel aladel, kus taimed seovad juurtega suure osa nitraati mullas ära. Suuremad emissioonid kuivendatud- ja kaevandusaladel viitavad vähesele nitraadikasutusele ning selle suuremale sisaldusele mullas.

Järveoja et al., (2016) tulemustest Lavassaares selgub, et freesturba väljade süsihappegaasi tulemused erinesid oluliselt võrrelduna voogudega taimestatud kõrge ja madala veetasemega taastatud turbaaladega. Peamine erinevus avaldub mõõdetud süsinikubilansi (NEE), ökosüsteemi hingamise (ER) ja heterotroofse hingamise (R_h) tulemustel juunist augustini, kus suurimad emissiooni tulemused olid freesturbal. Süsinikubilansi väärtus oli freesturbal positiivne kogu suve vältel, maksimumväärtusega $104 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Kõrge ja madala veetasemega taimestatud proovilappidel väikseimad väärtused olid vastavalt -42 ja $-41 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Heterotroofse hingamise tulemustes samal perioodil domineerisid samuti vood freesturbalt, omades kõrgemaid väärtusi augustikuus kuni $104 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Taimestatud kõrge ja madala veetasemega suurimad tulemused olid juulis vastavalt 74 ja $96 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Heterotroofse ehk mikroobide hingamise tulemused freesturbal olid kõrge ja madala veetasemega proovilappidel võrreldes freesturba proovilapiga järjepidevalt madalamad. Kõrgel, madalal ja freesturbal olid R_h tulemused vastavalt 61 , 73 ja $104 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Järveoja et al., 2016).

Järveoja et al., (2016) artiklis olid Lavassaare jääkturbaalal erinevused taastatud kõrge ja madala veetaseme ning freesturba naerugaaside emissioonide vahel märgatavad. Freesturbalt emiteerus naerugaasi juulist augustini vahemikus $66\text{-}133 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Taimestatud madala ja kõrge veetasemega proovialadel naerugaasi suurim mõõdetud tulemus oli vaid $25 \text{ } \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Kõrged emissiooninäidud freesturbal iseloomustavad vähest N_2O sidumist mullas, mistõttu taimestatud aladel olid need näidud kuni viis korda väiksemad.

Lavassaares Järveoja et al., (2016) kõrgemad metaanitulemused avaldusid nii kõrgel kui ka madalal veeta taimestatud proovilapil, mille tulemused olid vastavalt 170 ja $92 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, mis avaldusid juulis ja novembris. Freesturba metaaniemissioonid olid ühtlaselt $0\text{-}50 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ vahel uuritud aja vältel. Mõõdetud tulemused üldiselt üksteisest oluliselt ei erinenud, ilmneb aga otsene seos metaani emissiooni ja veetaseme vahel (Järveoja et al., 2016)

Mäkiranta et al. (2007) Soomes mõõdetud tulemustes võrreldakse endiste põllumaaade ja jääkturbaalade metsastamist. Turbale istutatud okaspuude ja heitleheliste süsihappegaasi, naerugaasi ja metaani emissioonid erinevad orgaanilisele mullale istutatud okaspuude ja heitleheliste emissioonidest oluliselt. Metsastatud orgaaniliste muldade CO_2 väljavool langeb

märkimisväärselt, mis on tingitud viljelustavade lõpetamisest. See toob kaasa mulla lagunemiskiiruse suurenemise vegetatsiooniperioodil. Kuivendatud turvasmullal okaspuude ja heitleheliste puudega taimestatud alade erinevate tingimuste tõttu oli tulemuseks pisut suurem CO₂ väljavool.

Eelnevalt välja toodud tulemuste põhjal on näha vajadust taastada mahajäetud turbaalad taimestikuga, et vähendada süsihappegaasi ja naerugaasi emissioone. Järelikult on taimestik tähtis indikaator, millega CO₂ ja N₂O emissioonid vähenevad oluliselt (Järveoja et al., 2016). Maljanen et al. (2010) sõnul ei sobi turbaalad põllumajanduseks, vaid tuleks eelistada mineraalmuldasil.

2.3 Päideroog freesturbal

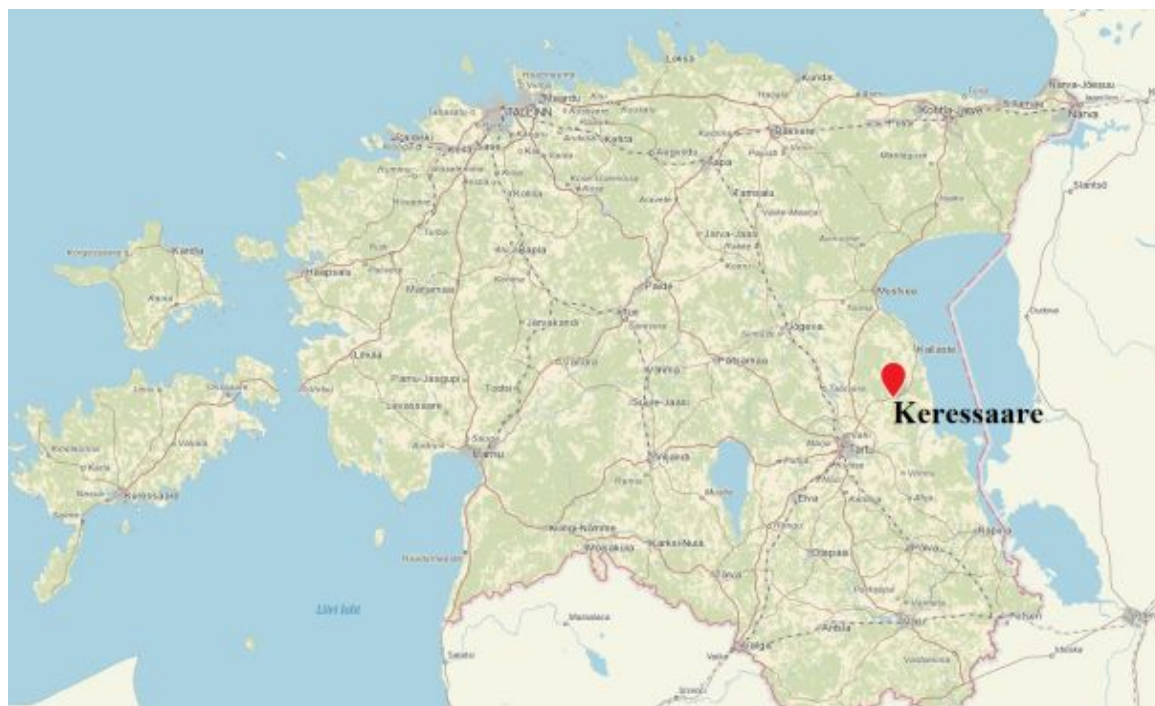
Päideroog ehk harilik paelrohi (*Phalaris arundinacea* L.) on mitmeaastane heintaim laia ökoloogilise amplituudiga, mis looduslikult lisaks mineraalsetel muldadel kasvab ka erinevate tingimustega turbamuldadel. (Värnik 2011). Päideroog kasvab aprillist oktoobrini temperatuurivahemikes 1-39°C ning talub mulda, mille pH on vahemikus 4.5-8.2 (Noormets 2007). Seetõttu on päideroog sobilik põhjamaades kasvatamiseks, mis tolereerib madalaid temperatuure, nii kuivemat kui ka veega küllastunud väheviljakat pinnast. See on tingitud selle hingamisvõimelisest Aerenchyma koelisest käsnataolise ehitusega juureosast, säilitades ka niiskes keskkonnas gaaside vood juurtes. Lisaks on päideroo biomassi produktsioon suurem kui teistel püsiktaimedel parasvöötme kliimas (Kandel et al., 2012, Mander et al., 2012). Päideroole on iseloomulik ka stabiilne saak, mis oluliselt ilmastikutingimustest ei sõltu (Noormets 2007) ning võime konkureerida umbrohuga (Kandel et al., 2015). Biomassi produktsioon, saak ja selle kvaliteet võivad kasvada mitme lõikusega, mis suurendab saagikorisuse hinda ja väetisekogust. Mitmekordne lõikus ja suurtes kogustes väetiste lisamine on seotud mulla toitainete vähenemisega ning kasvuhoonegaasi voogude suurenemisega (Kandel et al., 2015).

2006. aastal katsetati eksperimendi korras päideroo kasvatamist AS Tootsi Turvas kuuluvas Lavassaare tootmisest välja jäänud turbakaevanduse aladel (Värnik 2011). Järveoja (2015) Lavassaares mõõdetud tulemustes 0,6-1,2 m tusedusega turbakihil ning 18 erineval proovilõigul võeti võrdluseks erinevad väetised, nende erinevad kogused ja väetamata turba proovilapid. Väetatud päiderooga taimestatud 2010. aasta septembris oli mullas C:N suhe 19,6 (C 51 ± 3 ja N $2,6\pm0,04\%$) väetamata päideroo mullas C:N suhe 18,1 (C $49,0\pm1,5\%$ ja N $2,7\pm0,1\%$) ja freesturbas C:N suhe 21,7 (C $50,0\pm1,0\%$ ja N $2,3\pm0,1\%$). 2010. aasta vegetatsiooniperiood oli üle keskmise sademetega ning jahedam. Tulemused näitavad, et lämmastikuisaldus on suurim väetatud päiderooga taimestatud proovilapi puhul, millele järgneb väetamata päiderooga taimestatud proovilapp. Maapealse väetatud ja väetamata päiderooga taimestatud proovilapi biomassi produktsioon oli vastavalt 1390 g m^{-2} ja 796 g m^{-2} . Maa-aluse biomassi produktsioon oli väetatud osas 935 g m^{-2} ja väetamata proovilapil 724 g m^{-2} . 2014. aasta Järveoja (2015) tulemustest selgub, et maapealne biomassi produktsioon oli väetatud päiderooga taimestatud alal 234 g m^{-2} ja väetamata päiderooga taimestatud alal vaid 42 g m^{-2} . Maa-aluse biomassi produktsiooni tulemused olid väetatud päiderooga taimestatud ja taimestatamata proovilappidel vastavalt 646 g m^{-2} ja 416 g m^{-2} . Väiksemad tulemused on tingitud soojemast ja kuivemast vegetatsiooniperioodist. Tulemustest ilmneb, et freesturbal päideroo kasvatamine suurendab märgatavalt biomassi turbamullas olemata vähestest toitainetest ja ebasoodsatest tingimustest.

3. Materjal ja metoodika

3.1 Paiknemine

Keressaare jääkturbaala ($58^{\circ}30'55.17''\text{N}$, $27^{\circ}0'37.85''\text{N}$) asub Tartumaal Vara vallas, Koosalt kolm kilomeetrit lääne pool Keressaare turbamaardla põhjaosas. Sellest alast moodustavad freesturbaväljad 48,19 ha. Soo paikneb Kagu-Eesti lavamaa põhjaosas lainjal moreentasandikul. Turbaala kuivendussüsteemi eesvooluks on Kääpa jõgi ning iseooluliselt saab ala kuivendada kogu lasundi ulatuses. Vähe- ja hästilagunenud turbakihtide tusedus on vastavalt 1.2–1.3 m. (Ramst et al., 2008). Keressaare jääkturbaala asukoht on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Keressaare jääkturbaala paiknemine (aluseks Maa-ameti geoportaali baaskaart).

3.2 Proovide kogumine

Keressaare jääkturbaalal alustati kasvuhoonegaaside mõõtmist 2015. aasta aprillis, kuid töö keskenduti 2016. ja 2017. vegetatsiooniperioodil mõõdetud tulemustele. Eksperimendi

teostamiseks rajati kümme proovilappi, millest päiderooga (Pedja sort) taimestatud proovilappidest neli olid madalama veetasemega alal ja neli kõrgema veetasemega alal (veetase regulatsioon tammiga välja toodud joonisel 3.c). Võrdluseks oli mõlemal poolel taimestatamata freesturba proovilapp. Proovilappide paiknemised on välja toodud joonisel 2 ja joonisel 3.a. Proovide kogumisel töö autor ei osalenud.



Joonis 2. Kaevandusala ja proovilappide paiknemine Keressaare jääkturbaalal (aluseks Maa-ameti geoportaali ortofotod).

Tuimestatud ala mõõdeti metaani (CH_4) ja diämmastikoksiidi (N_2O) vood suletud staatilist pimekambriga (joonis 3.b). Taimestatamata freesialal mõõdeti nii süsihappegaas (CO_2), metaani ja naerugaasi vood suletud staatilist pimekambriga. Staatilise kambriga toimusid gaasimõõtmise aasta läbi. Dünaamilise kambriga toimusid mõõtmised vegetatsiooniperioodil. Süsiniku bilansi, ökosüsteemi hingamise ning süsiniku sidumise tulemused mõõdeti 2016. aastal vahemikus 28.

aprillist 20. oktoobrini ning 2017. aastal vahemikus 19. maist - 26. septembrini ühe kuni kolme nädalaste vahedega. Dünaamilise kambriga (joonis 3.b) oli 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil nii ökosüsteemi hingamist kui sidumise hindamiseks 25 mõõtmiskordi ja kokku tehti päiderooga taimestatud alal nii läbipaistva kui pimekambriga 204 mõõtmist. Staatilise kambrimeetodiga toimus kasvuhoonegaaside proovid kogumist 47 korral 2016. aasta kevadest kuni 2018. aasta kevadeni. Freesil saadi kokku 187 gaasiemissiooni tulemust. Taimestatud alal oli sama number 374.

Gaasivoo intensiivsus arvutati gaasikontsentratsiooni lineaarse muutuse alusel (Drösler, 2005). Staatilise kambri lineaarne tõus arvutati viie väärtuse kohta, dünaamilise kambri tõus 25 mõõdetud väärtuse kohta. Staatilise kambril oli determinatsioonikordaja R^2 lävendiks CO₂ kohta 0,90 ($P < 0,05$) ning CH₄ ja N₂O kohta 0,80 ($P < 0,1$). Kriteeriumit ei kasutatud, kui kontsentratsiooni muutus jäi alla gaaskromatograafi määramisvea (<20 ppm CO₂, <20 ppb CH₄ ja <20 ppb N₂O puhul). Dünaamilise kambri CO₂ vood olid korrektsed, kui vastasid tingimusele $R^2 \geq 0,90$ ($p < 0,01$).

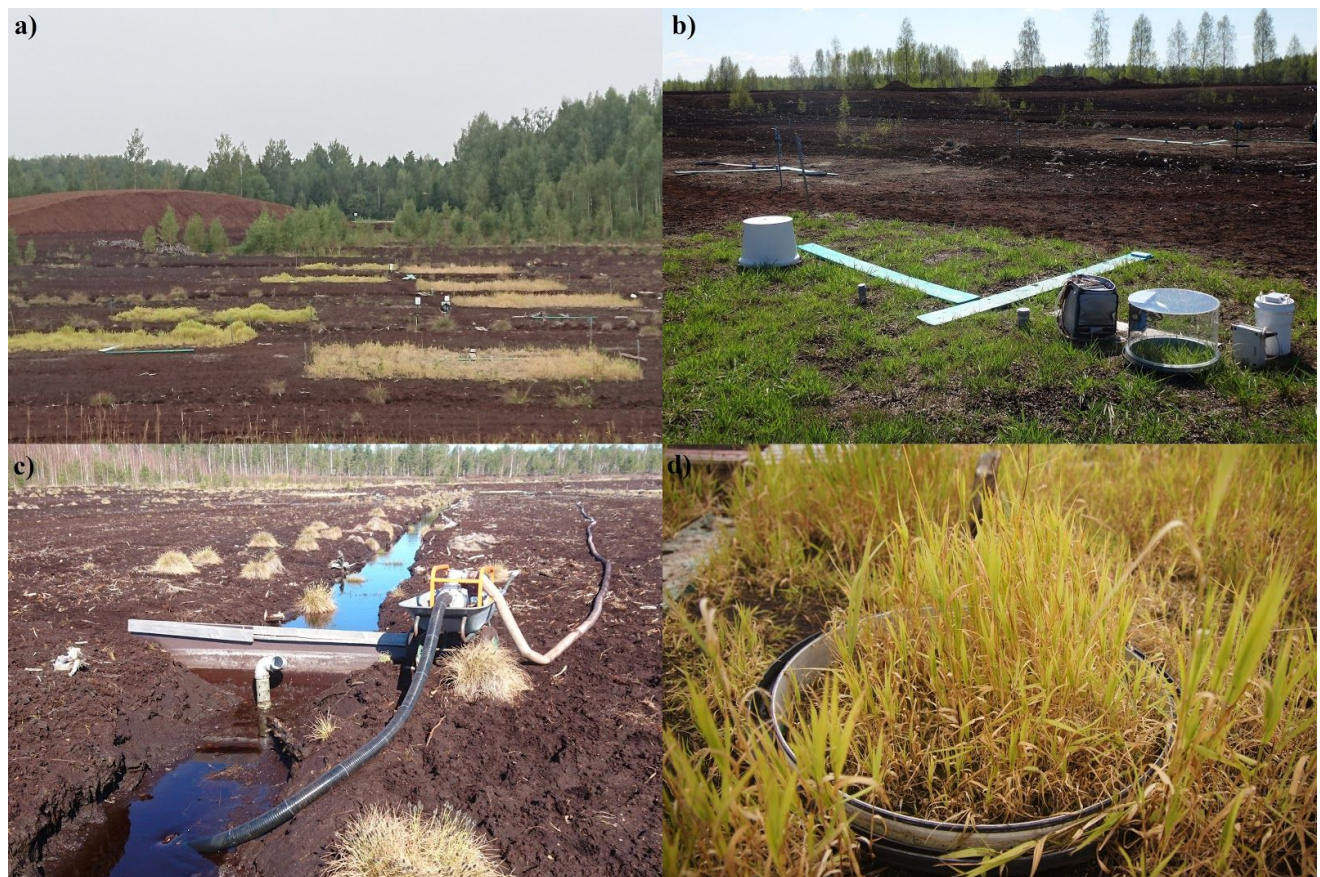
Ökosüsteemi CO₂ bilansi ja hingamise otseseks mõõtmiseks kasutati suletud dünaamilist kambrimeetodit. Pleksiklaasist läbipaistva kambriga (65 L) oli ühendatud infrapunasensoriga PP Systems EGM-4 analüsaator. Analüsaator oli varustatud pumbaga, mis pumpas 2 liitrit õhku minutis. EGM-4 analüsaator mõõtis 1,2 sekundi tagant. Näit salvestati iga 4,8 sekundi tagant 4 mõõtmise keskmistatud väärtusena (PP Systems, 2013). Meetodid on täpsemalt kirjeldatud Järveoja doktoritöös (2015).

Süsiniku sidumise parema seose saamiseks fotosünteesilise aktiivse kiirgusega tehti igal proovialal 4 erineva valguse läbilaskvusega (100%, 75%, 50%) mõõtmist. Läbilaskvusega 0% ehk pimekambriga mõõtmisi tehti kolmel ajal (hommikul, lõunal ja pärastlõunal) igal mõõtmiskorral ja igal katsealal, et saada ökosüsteemi hingamine erinevatel temperatuuridel.

Uurimisala proovilappidel mõõdeti pidevalt veetaset rõhusensoritega Hobo Onset U20-001-01. Mullatemperatuuri mõõdeti 5 ja 10 cm sügavusel turbas sensoriga Thermistor Probe 107 (Campbell) ja mullaniiskust 10 cm sügavusel sensoriga Water Content Reflectometer CS616 (Campbell). Antud näitajaid mõõdeti mõlema veerežiimiga alal kahel proovilapil. Lisaks

mõõdeti fotosünteesiliselt aktiivset kiirgust (PAR, LI-190SL, LI-COR Inc.), õhutemperatuuri (Thermistor Probe 107), sademeid (52202, R. M. Young Company)). Sensorid olid ühendatud andmesalvestus seadmega CR1000 (Campbell).

Paralleelselt 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil teiste mõõtmistega teostati turbamulla proovide võtmine eraldi igalt proovilapilt. OÜ Keskkonnauuringute Keskuse Tartu filiaali laboris määrati üldsüsiniku ($C_{\text{üld}}$), üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$) ning üldfosfori ($P_{\text{üld}}$) sisaldus. Mullaproovid võeti vegetatsiooniperioodi alguses (aprilli lõpp) ja lõpus (oktoobrilõppus) nii 2016 kui 2017 aastal. Töös on toodud vegetatsiooniperioodi lõpus võetud proovide tulemused.



Joonis 3. a) proovilappide liigiti paiknemine, b) staatilise ja dünaamilise kambri meetodil gaasivoogude mõõtmine, c) veeregulatsioon tammi ja veepumba abil, d) päideroog mõõtmiskambri rõngaga (pildid tegi Martin Maddison).

3.3 Taimede süsiniku sidumise ja ökosüsteemi hingamise arvutusvalemid

Taimede süsiniku sidumist (GPP- gross primary production) koos mullahingamisega (ER- ecosystem CO₂ respiration) ehk süsiniku bilansi (NEE- net ecosystem CO₂ exchange) arvutamiseks kasutati valemit 1. Süsiniku bilansi tulemus sõltub ökosüsteemi hingamise ja taimedesse süsiniku sidumise vahest, mis samuti hõlmab anorgaanilise süsiniku sidumist ja süsihappegaasi allikaid (Elsgard et al., 2012).

$$NEE = ER - GPP \quad (1)$$

Süsiniku sidumise mudeli hüperboolne seos fotosünteesiliselt aktiivse kiirgusega iseloomustab valem 2. GPP valem tuletati Drösler (2005) ja Riutta et al., (2007) kohaselt NEE valemist, kus kasutati peamisteks parameetriteks päikesekiirgust ning mudeldatud GPP väärtusi ilma ökosüsteemi hingamise vaheta. Iga katseala süsinikubilansi jaoks arvutati GPP fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse hüperboolse funktsiooni ja mullatemperatuuri normaaljaotusega ehk Gaussi kõver jaotuse kaudu ning kasutati valemit 2:

$$GPP = \left(\frac{GPP_{max} * \alpha * PAR}{\alpha * PAR + GPP_{max}} \right) * \exp \left[-0,5 * \left(\frac{T - T_{opt}}{T_{tol}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Kus:

GPP - süsiniku sidumise mudel,

GPP_{max} - maksimaalne süsiniku fikseerimine suurima päikesekiirguse intensiivsuse korral (CO₂-C mg m⁻² h⁻¹),

PAR - fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus (μmol m⁻² s⁻¹),

α - valguse kasutamise efektiivsuse konstant,

T_{opt} - optimaalne temperatuur, kus GPP väärtus tuleb suurim (°C)

T_{tol} - temperatuuri kõikumise ulatus, mil GPP on maksimaalne (°C)

Aastane summaarne ökosüsteemi süsiniku sidumine arvutati vegetatsiooni perioodi kohta, mis kestis 26. aprillis - 10. oktoobrini 2016 aastal ning 13.maist- 19. oktoobrini 2017.a.

Ökosüsteemi hingamine on eksponentsiaalne funktsiooniga seotud mullatemperatuuriga ning märgades oludes on hingamine sõltuv ka mullaniiskusest (Tuittila et al., 2004). Liiga kõrge või madal mullaniiskus limiteerib mikroobide aktiivsust mullas ja toitainete kättesaadavust taimedele. Päiderooga taimestatud ja freesala ökosüsteemi hingamise leidmiseks kohendati Riutta et al. 2007 kasutatud ökosüsteemi hingamise mudelit (valem 3), kus hingamine on seotud eksponentsiaalse funktsiooni järgi mullatemperatuuriga ning normaaljaotusega ehk Gaussi kõver jaotuse järgi mullaniiskusega.

$$ER = R_{ref} e^{E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right) - \frac{1}{T_{5cm}} - \frac{1}{T_0} \right)} * \exp \left[-0,5 * \left(\frac{VWC - VWC_{opt}}{VWC_{tol}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Kus:

ER - süsiniku sidumise mudel koos keskkonnaparameetritega

R_{ref} - süsiniku hingamine võrdlus temperatuuri juures ($\text{CO}_2\text{-C mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)

E_0 - aktivatsioonienergia (K)

T_{ref} - võrdlus temperatuur, 10 °C

T_0 - bioloogiliste protsesside aktiveerumise temperatuur, -46,021 °C

T_{5cm} - Mullatemperatuur 5 cm sügavusel (°C)

VWC_{tol} - mullaniiskuse varieerumise ulatus, millal ökosüsteemi hingamine suurim (m^3/m^3)

VWC_{opt} - optimaalne mullaniiskus, kus ER on maksimaalne (m^3/m^3)

Aastane summaarne ökosüsteemi hingamine arvutati 26.aprillis 2016 - 25. aprillini 2017 ning 3. maist. 2017 kuni 2.maini 2018.

Nii GPP kui ka ER mudeldati madala ja kõrge veetasemega aladel koos, et leida veetaseme ja mullaniiskuse mõju. Kuna need olid küllaltki erinevad, poleks kõrge ja madala veetaseme puhul

erinevust tulnud. Pooli mõõtmiste tulemusi kasutati seose leidmiseks ning teise poolega kontrolliti saadud seose tugevust.

Mudeli efektiivsust (MEF ehk modelling efficiency) hinnati ökosüsteemi hingamise ja süsiniku sidumisega taimedesse mõõdetud ja mudeldatud väärtuste suhetega ehk jääkidega, testides nende vahelist korrelatsiooni (R^2) (Elsgard et al., 2012), mida iseloomustab valem 4:

$$MEF = 1 - (\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (\sum (y_i - \bar{y}_i)^2)) \quad (4),$$

kus y_i on mõõdetud väärtust, $\hat{y}_i$ mudeldatud väärtus ja $\bar{y}_i$ mõõdetud väärtuste keskmine.

3.4 Statistiline analüüs

Käesolevas bakalaureusetöös kasutati statistiliseks analüüsiks programme STATISTICA 7.0 ja Microsoft Office Excel 2010. Exceli Solveri paketti kasutati süsiniku sidumise ja ökosüsteemi hingamise funktsioonide väikseima vearduutude summa järgi konstantide leidmiseks. Kõikidel juhtudel oli olulisusnivoo $\alpha=0.05$.

2016. a. ja 2017. a. vegetatsiooniperioodil mõõdetud veetaseme ja mullaniiskuse tulemused olid normaaljaotusega ($p < 0.05$) ja erinevuste hindamiseks kasutati 95% usalduspiire. Spearmani astakkorelatsiooniga analüüsiti seoseid mulla keemilise koostise ja gaasivoogude vahel. Kasvuhoonegaaside vood ei olnud normaaljaotusega.

4. Tulemused ja arutelu

4.1 Keskkonnaparametrid

Turbamulla keemilise sisalduse ülevaate annab tabel 1, kus on kahe aasta pH_{KCl} , üldlämmastiku ($N_{\text{üld}}$), üldfosfori ($P_{\text{üld}}$), üldsüsiniku ($C_{\text{üld}}$) ja lahustunud orgaanilise süsiniku (DOC) keskmised tulemused.

Tabel 1. Mulla keskmised näitajad 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodi lõpus. (Proovilappide tähistused: RO-K - kõrge veetase päiderooga taimestatud, RO-M - madal veetase päiderooga taimestatud, FR-K - kõrge veetase päiderooga taimestatud, FR-M - madal veetase päiderooga taimestatud)

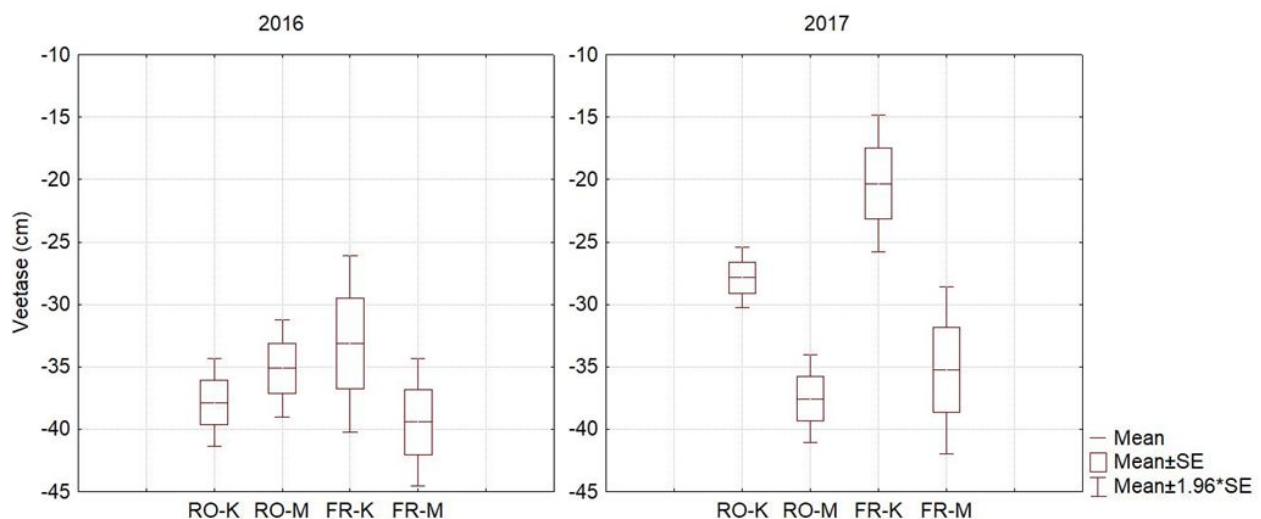
Parameetrid	Kõrge veetase				Madal veetase			
	Päiderooga taimestatud RO-K		Frees FR-K		Päiderooga taimestatud RO-M		Frees FR-M	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
$pH_{(KCl)}$	4,9	5,0	2,8	3,0	4,8	5	2,9	3,1
$N_{\text{üld}}$ (mg kg ⁻¹)	12250	10750	12000	11000	11450	11250	12000	10000
$P_{\text{üld}}$ (mg kg ⁻¹)	310	350	250	290	252	335	210	220
$C_{\text{üld}}$ (%)	48,8	46,5	47,8	49,0	49,0	47	51,0	52,0
DOC (mg/L)	76,2	69,4	77,5	103,4	67,5	49,1	64,5	61,6
C:N suhe	39,8	43,3	39,8	44,5	42,8	41,8	42,5	52,0

Suurimad erinevused päiderooga taimestatud ja freesturba proovilappidel avalduvad pH , kus madalaimad väärtused esinesid freesturba proovilappidel (pH 2,9-3,2). Märkimisväärsamad tulemused avalduvad päiderooga taimestatud proovilappidel, kus kõrge ja madala veetasemega pH_{KCl} on 2016. aastal vastavalt 4,1 ja 3,9 ning 2017. aastal 4,8 ja 5. Üldlämmastiku sisaldus oli

väiksem 2017. aastal, iseloomustades natuke suuremat lämmastiku sidumist taimedesse. Üldsüsiniku tulemused 2017. aastal erinevad oluliselt 2016. aasta tulemustest, kus igal proovilapil oli kuni 6% rohkem kui eelneval aastal, mis iseloomustab päideroo kasvu ja süsiniku sidumist taimedesse ja pinnasesse. Kõrgemaid keskmisi lahustunud orgaanilise süsiniku väärtusi saab seostada turbalagunemisega.

Mulla keemilise koostise näitajatega ning ökosüsteemi hingamise ja taimedesse süsiniku sidumise voogude vahel olulisi seoseid ei tulnud.

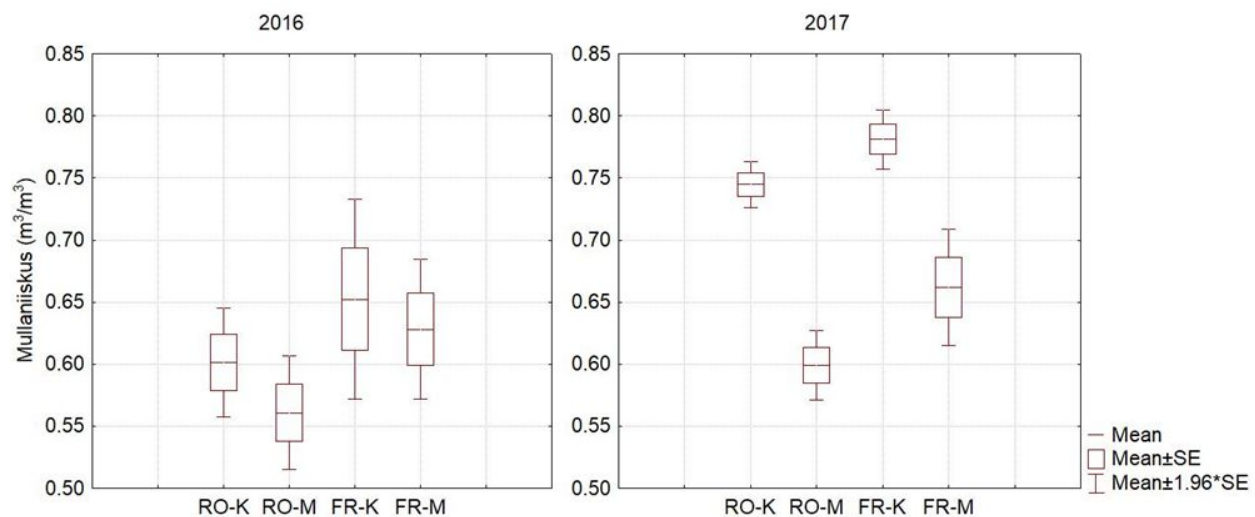
Joonisel 4 on kujutatud kahe aasta vegetatsiooniperioodi veetasemete keskmised väärtused neljal erineval katsealal koos standardvigade ja usalduspiiridega. Selgub, et esimesel ja teisel aastal kõrgeim keskmine veetase avaldub kõrge veetasemega freesturba proovilapil (FR-K). Madalaim väärtus esimesel aastal oli madala veetasemega freesturba (FR-M) proovilapil, mil usaldusväärset erinevust polnud. Teisel aastal päiderooga taimestatud madala veetasemega (RO-M) proovilapil, mil ilmneb usaldusväärne vahemik kõrgete ja madalate proovilappide vahel.



Joonis 4. 2016. ja 2017 aasta vegetatsiooniperioodi veetasemed. Joon karbi sees (mean) tähistab keskmist, karbi ülemine ja alumine äär keskmist standardviga ($\text{mean} \pm \text{SE}$) ning vurrud ($\text{mean} \pm 1.96 * \text{SE}$) 95% usalduspiire. Proovilappide tähistused tabelis 1.

Joonisel 5 on välja toodud mõlema aasta vegetatsiooniperioodi mullaniiskuse keskmised väärtused nende standardvigade ning usalduspiiridega. Selgub, et 2017. aastal oli üldiselt

mullaniiskus märgatavalt suurem. Suurima keskmise mullaniiskuse tulemused avalduvad kõrge veetasemega RO-K, ja FR-K proovilappidel. 2016. aastal päiderooga taimestatud ja freesturba proovilappidel vastavalt tulemused oluliselt ei erinenud.



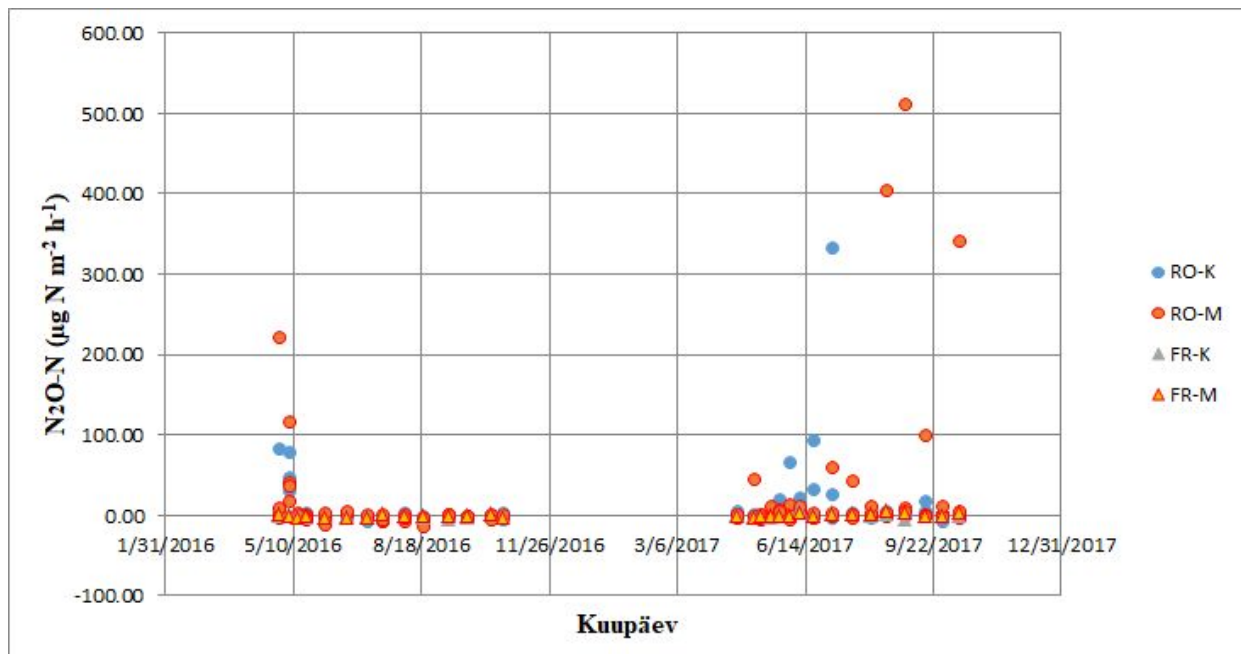
Joonis 5. 2016. ja 2017 aasta vegetatsiooniperioodi mullaniiskuse näitajad. Tähistuste selgitused joonisel 4. Proovilappide tähistused tabelis 1.

4.2 Naerugaasi voog

Joonisel 3 on kujutatud naerugaasi vood 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil. Üldiselt jäid tulemused nulli lähedale ning ei ületanud $100 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Esimese aasta tulemustes avalduvad üksikud kõrgemad väärtused päiderooga taimestatud kõrge ja madala veetasemega proovilappidel, mis võib olla tingitud sademete või pinnase niiskuse suurenemisest (joonis 5) ning samaaegsest hapniku vähenemisest pinnases. Teisel aastal ilmnes suuremaid väärtusi kõrge ja madala veetasemega proovilappidel rohkem. Kõrge ja madala veetasemega aladel ilmnemise suurimad väärtused juunis ja juulis, üksikud ekstreemsed väärtused kõrge veetasemega proovilapil ka augustis ja septembris (vastavalt 400 ja $500 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$).

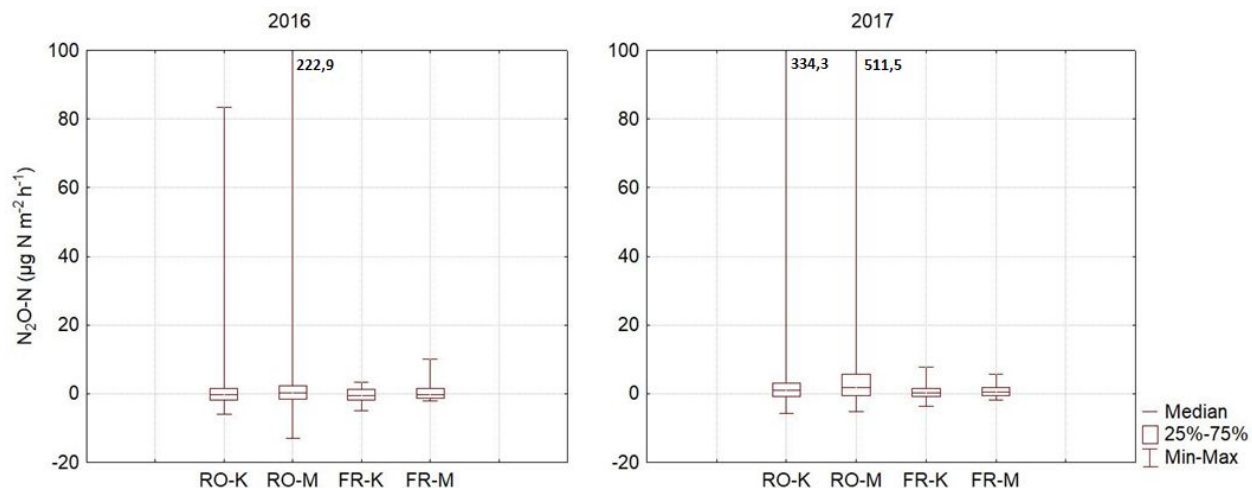
Üldised väikesed N_2O tulemused iseloomustavad taimede nitraadi sidumist, mikroobide nitraadi kasutust ning samuti väikest nitraadisisaldust mullas. Suuremad tulemused esinesid harva, jäid

üksikuteks väljalöökideks ning võisid olla põhjustatud kohalike tingimuste (nt. veetase või mullaniiskuse) äkilistest muutustest.



Joonis 6. Naerugaasi emission 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil. Mõõdetud staatilise pimekambriga. Proovilappide tähistused tabelis 1.

Joonisel 7 on kujutatud naerugaasi 2016. ja 2017. aastased vood, kust on näha, et aastaringselt jäid naerugaasi mediaanväärtused võrdselt madalaks. Kõik miinimum ja maksimumväärtused avaldusid vegetatsiooniperioodi vältel ning ainult taimestatud aladel. Freesturbal asuvatest proovilappidest olulisi tulemusi ei ilmnenud.



Joonis 7. Naerugaasi 2016. ja 2017. aastased vood. Joon karbi sees (median) tähistab medaanväärtusi, karbi ülemine ja alumine äär 25- ja 75-protsentiilid (25%-75%) väärtusi ning vurrud miinimum ja maksimumväärtusi (min-max). Proovilappide tähistused tabelis 1.

Hyvönen et al., (2009) artiklis tuuakse välja, et üldiselt madalad naerugaasi emissioonid on tingitud madalast C:N suhtest pinnases, veetasemest ning pH-st. Kui C:N suhe on >25, siis väheneb N₂O emissioon oluliselt. Antud juhul oli C:N suhe igal proovilapil üle 25 (tabel 1). Järveoja et al., (2016) kohaselt on samuti veetase ja ka mullaniiskus otsesteks N₂O mõjutajateks, kuid erinevad tulemused ei viita sellele, kui parameetrid üksteisest oluliselt ei erine.

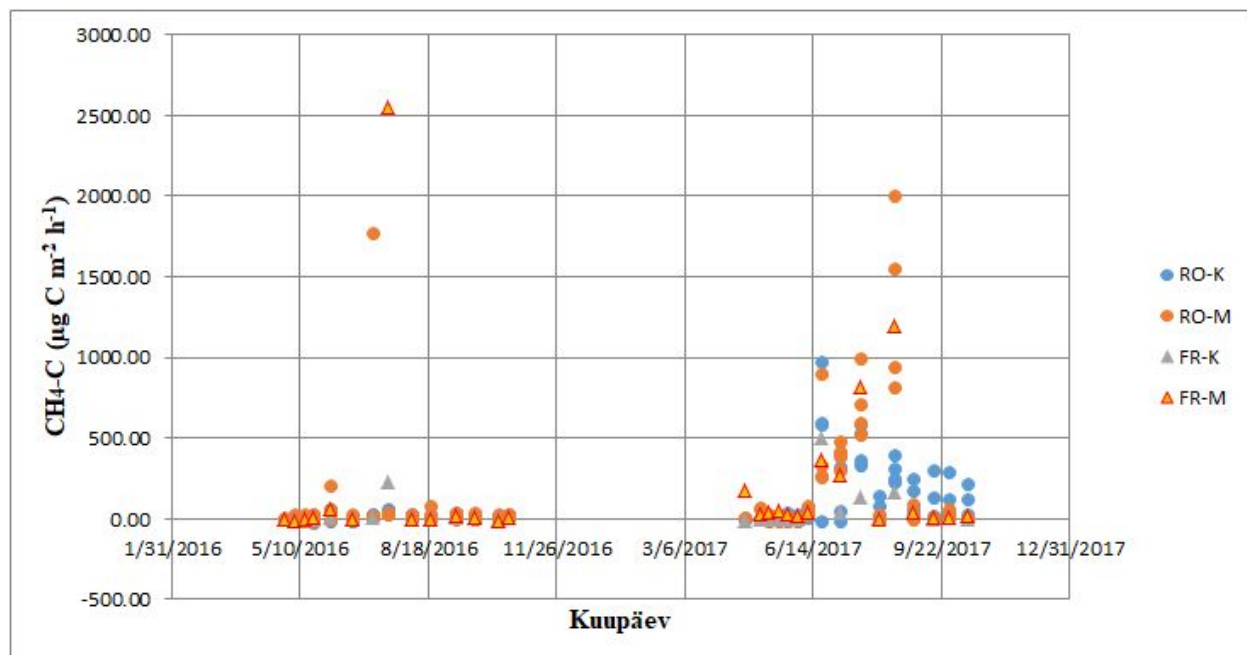
4.3 Metaani voog

Joonisel 8 on kujutatud metaani vood 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil. On näha, et 2016. aastal oli madala veetasemega taimestatud proovilapil üksik maksimum väärtusega 1777 µg C m⁻² h⁻¹ ning madala veetasemega freesturba proovilapil 2552 µg C m⁻² h⁻¹, mis võib tähendada järsku temperatuuri või veetaseme muutust. Esimesel aastal CH₄ voogudes üldiselt erinevusi ei ole, viidates enam-vähem sarnastele looduslikele tingimustele. Samuti viitavad madalad emissioonide tulemused kuivematele kliimatingimustele 2016. aastal.

2017. aastal oli metaani emissioon märksa suurem, kus keskmiselt kõrge ja madala veetasemega taimestatud proovilappidel varieeruvad tulemused 150-1000 µg C m⁻² h⁻¹, kõrge ja madala

veetasemega freesturba proovilappidel püsivad enamasti tulemused siiski 0-100 $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ vahel.

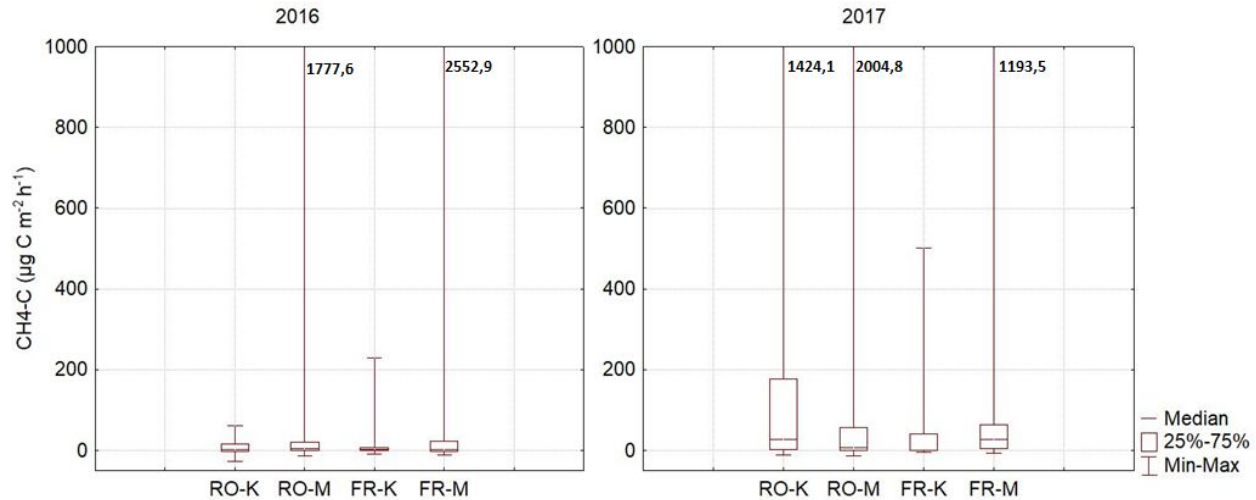
Üldiselt suuremad väärtused päiderooga taimestatud proovilappidel olid otseses sõltuvuses taimkatte olemasoluga, sest enamik freesturba proovilappidelt mõõdetud tulemused püsivad 0-500 $\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.



Joonis 8. Staatilise pimekambri meetodiga mõõdetud metaani vood ($\mu\text{g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil. Proovilappide tähistused tabelis 1.

Joonisel 9 on kujutatud mõlema aasta metaani vood tunnis ruutmeetri kohta. Esimesel aastal on mediaanväärtused nullilähedased ning kõik maksimumväärtused avalduvad vegetatsiooniperioodil. Teisel aastal oli märgatav muutus kõikidel proovilappidel, kus suuremad tulemused olid kõige sagedasemad peamiselt vegetatsiooniperioodil (joonis 8).

Samuti olid teisel aastal seosed metaaniemissiooni ja kõrgema veetaseme ja mullaniiskuse vahel. Selgub, et päiderooga taimestatud proovilappidel olid 2017. aastal suurimad väärtused, mis viitab optimaalsele mullaniiskusele ja veetasemele. Ilmneb, et sellised parameetrid on mikroobide eluks kõige sobilikumad.



Joonis 9. Metaani 2016. ja 2017. aastased vood. Tähistuste selgitused joonisel 7. Proovilappide tähistused tabelis 1.

Hyvönen et al. (2009) artiklis tuuakse välja, et metaani emissioon sõltub peamiselt veetasemest, temperatuurist ning taimkatte saadavusest ja substraadist, mis on vajalik metanotroofidele. Sellepärast oli teisel aastal päideroo kasvust tingitud kõrgemad tulemused taimestatud proovilappidel. Mõned üksikud suuremad väärtused on Hyvönen et al., (2009) sõnul tingitud sügavamal pinnases anaeroobide poolt toodetud metaanist, mis pinnase pragude vahelt peale akumulatsioonist suuremas koguses emiteerub. Üksikud metaani maksimumväärtused pole statistiliselt olulised ning järjepidavad.

4.4 Süsihappegaasi voog

Leitud seostega saadud nii süsiniku hingamise kui sidumise mudelid olid statistiliselt usaldusväärsed ($p < 0,001$), kuid seosed jäid nõrgaks. Sidumine ja hingamine varieerusid sarnastes keskkonnatingimuste (PAR, temperatuur, mullaniiskus, veetase) juures väga palju ning saadud funktsioonid hindavad mõõdetud emissioone nii väiksemaks kui ka suuremaks tegelikkusest. Joonistele 10 ja 11 on lisatud 1:1 kontrolljoon, mille järgi saab hinnata, kas mudel hindab

mõõdetud väärtust väiksemaks või suuremaks. Tabelis 2 on toodud ökosüsteemi hingamise (ER) ja süsiniku sidumise taimedesse (GPP) mudeldamisel saadud väärtused ja kasutatud konstandid.

Tabel 2. Süsiniku sidumise (GPP mudel) ja ökosüsteemi hingamise (ER mudel) mudeli parameetrid ja konstandid ($p < 0,001$).

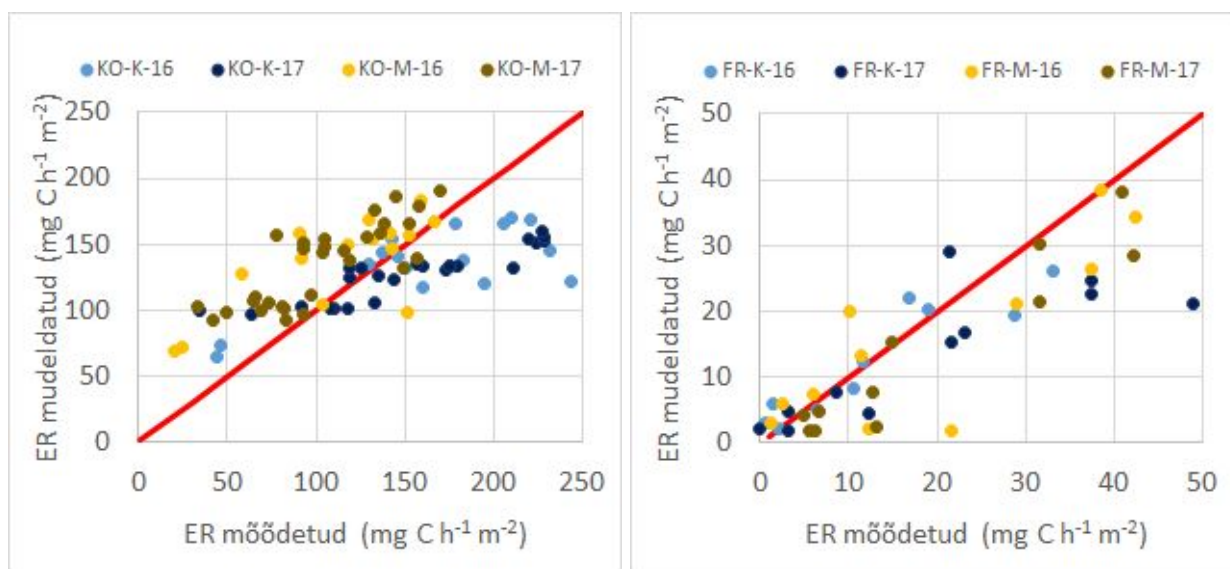
Mudeli parameetrid	Päiderooga taimestatud	Freesturvas
GPP mudel		
α	0,6	
$GPP_{\max}$ (CO_2 -C $mg\ m^{-2}\ h^{-1}$)	306,9	
T_{tol} ($^{\circ}C$)	4,5	
T_{opt} ($^{\circ}C$)	13,6	
Mudeli kontrollvalimi suurus(n)	116	
Adj. R^2	0,3	
MEF	0,18	
ER mudel		
R_{ref} ($mg\ CO_2\ m^2\ h^{-1}$)	108,1	20,7
E_0 (K)	227,7	316,2
VWC_{tol} (m^3/m^3)	0,51	0,32
VWC_{opt} (m^3/m^3)	0,55	0,54
Mudeli kontrollvalimi suurus(n)	86	46
Adj. R^2	0,36	0,77
MEF	0,86	0,67

4.4.1 Ökosüsteemi hingamine

Joonisel 10 on välja toodud ökosüsteemi hingamise mudeldatud ja mõõdetud suhted kontrolljoonel nii päiderooga taimestatud kui freesturbal proovilappidel vegetatsiooniperioodil, mil tulemused varieerusid enim.

Ilmneb, et madala veetasega päiderooga taimestatud aladel hinnatakse mudelit üle kõige rohkem mõlemal aastal 25-125 mg C h⁻¹ m⁻² puhul (Joonis 10.). Kõrge veetasemega mõlemal aastal päiderooga taimestatud proovilappidel alahinnatakse mudelit mõõdetud ER puhul vahemikus 150-250 mg C h⁻¹ m⁻² korral. Väärtustel vahemikus 100-150 mg C h⁻¹ m⁻² esines ka mitmeid väärtusi, mis paiknevad kontrolljoonel. 2016. aastal avaldus see väiksest kohandatud seosest (Adj. R²=0,36). Samas ilmneb, et päiderooga taimestatud mudeli efektiivsus on üsnagi suur (MEF=0,86).

Madalate väärtuste korral freesturba proovilappidel ehk vahemikus 0-10 mg C h⁻¹ m⁻² oli mõõdetud ja mudeldatud ER suhteliselt kontrolljoone lähedal kuid suuremate tulemuste (ER>25 mg C h⁻¹ m⁻²) puhul alahinnati kõiki proovilappe rohkem kui ülehinnati.



Joonis 10. Mudeldatud ja mõõdetud ökosüsteemihingamine päiderooga taastatud ja freesturbaga aladel 2016. ja 2017. aastal. Punane joon on 1:1 suhte joon.

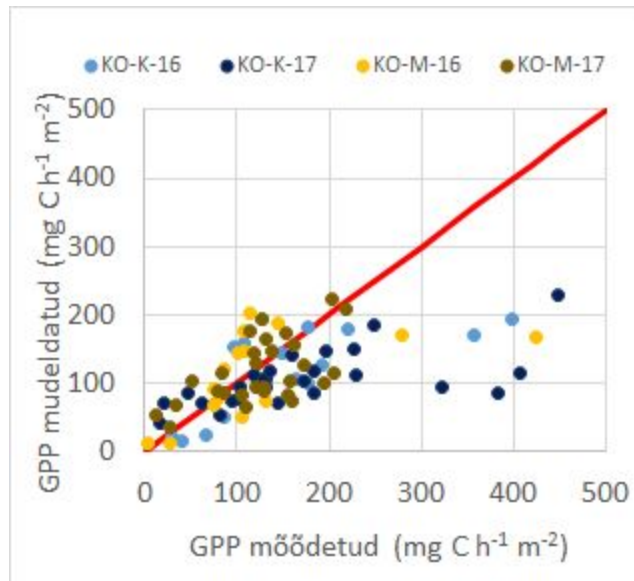
Tabelis 3 välja toodud mudeli efektiivsused olid taimestatud ja freesturba proovilappidel vastavalt 86% ja 67%, mis tähendab, et mõlemad ER mudelid olid üsna täpsed. Seos freesilapi puhul oli suurem, sest maksimumväärtused seal ulatuvad vaid $50 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$, aga taimestatud aladel kuni $250 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$, mistõttu oli nendel proovilappidel suurem vea võimalus.

Riutta et al., (2007) tulemuste järgi tekib korrelatsioon antud töö mudeldamisest, kus veetase ja mullaniiskusega on ökosüsteemi hingamisel suurim seos (Riutta et al., (2007) tulemustel 60-72% täpsus), mida saab võrrelda ka antud tulemustega. Selgub ka Tuittila et al., (2004) järgi, et kõrgemad seosed tuleksid vaid väga väikese looduslike parameetrite varieeruvusel.

4.4.2 Süsiniku sidumine taimedesse

Joonisel 11 on välja toodud süsiniku sidumine taimedesse nii 2016. kui ka 2017. aasta vegetatsiooniperioodil päiderooga taimestatud aladel, mil tulemuste varieerumised olid suurimad.

Ilmnes, et kõikide proovilappide mudeldatud tulemused hindasid mõõdetud tulemusi madalamaks ja kõrgemaks suuremate mõõtmisväärtuste juures. Kõige täpsemad seosed ehk kontrolljoonele lähimad tulemused avaldusid vahemikus $0-100 \text{ mg C h}^{-1} \text{ m}^{-2}$ päiderooga taimestatud aladel. Madala veetasemega päiderooga taimestatud proovilapil 2016. aastal ülehinnadas mudel väiksemate väärtuste korral ning alahindas üksikutel kordadel suuremate väärtuste korral. 2017. aastal alahindas mudel suuremate väärtuste puhul kuni $150 \text{ mg C h}^{-1} \text{ m}^{-2}$.



Joonis 11. Mudeldatud ja mõõdetud ökosüsteemi süsiniku sidumine (GPP) päiderooga taimestatud kõrge ja madala veetasemega katselappidel 2016. ja 2017. aasta vegetatsiooniperioodil. Punane joon on 1:1 suhte joon.

Suuremate keskkonna varieeruvuste tõttu oli 2017. aastal muutused suuremad. See kajastus mudeldatud ja mõõdetud GPP 2017. aasta seoses kõige rohkem, kui taimestatud proovilappidel olid paremad tingimused. Seega valemis 3 kasutatud mullaniiskus hindas mudelit alla just suuremate mõõdetud väärtuste korral. Tabelis 3 on välja toodud mudeli efektiivsus, mis GPP puhul oli vaid 0,18 ning leitud seos ($\text{adj. } R^2$), mis oli vaid 0,3. Tähendab, et mudel ei kirjelda kogu mõõdetud GPP (see on arvatud ER-NEE) väga täpselt, sest süsiniku sidumine taimedesse varieeruvus väga palju. See ilmneb ka joonisel 11, kus kontrolljoonel paiknevad vaid üksikud väärtused.

4.4.3 Süsiniku bilanss

Süsiniku bilanss nii RO-K kui ka RO-M päiderooga taimestatud proovilappidel olid uurimisperioodi jooksul positiivne. 2016. aastal vastavalt 5542,7 ja 5532,7 ning 2017. aastal

vastavalt 5897,7 ja 5957,1 kg C ha⁻¹ a⁻¹. Positiivsed tulemused viitavad sellele, et taimed emiteerisid süsinikku rohkem atmosfääri, kui taimed seda siduda suutsid (tabel 2).

Tabel 2. Aastase süsiniku bilansi (NEE) komponendid (kg C ha⁻¹ a⁻¹). Proovilappide tähistused tabelis 1.

Süsiniku bilansi komponendid	Päiderooga taimestatud RO-K		Päiderooga taimestatud RO-M		Kõrge veetase frees FR-K		Madal veetase frees FR-M	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
ER	7756,8	7400,7	8033,8	7867,3	1354,5	1251,6	1492,4	1472,1
GPP	2214,1	2204,4	2136,1	1910,2				
NEE	5542,7	5532,7	5897,7	5957,1	1354,5	1251,6	1492,4	1472,1

Tabelist 2 selgub, et igal proovilapil ökosüsteemi hingamise tulemused olid 2017. aastal võrreldes eelmise aastaga väiksemad, mis tuleneb mullaniiskuse ja veetaseme optimaalsetele väärtustele (joonised 4 ja 5) (Tuittila et al., 2004). RO-K väärtused olid suuremad kui FR-K, mis viitab sellele, et päiderooga taimestatud alal oli ka mikroobne elutegevus aktiivsem kui freesturbal. Freesil taimesid ei kasvanud, seega taimedsse süsiniku sidumise protsessi ei toimunud ning ökosüsteemi hingamise aastane voog oli ka ühtlasi süsinikubilansi tulemus.

Samuti oli süsiniku sidumine taimedesse suurem RO-K proovilappidel võrreldes RO-M proovilappidega, viidates päideroo paremale süsiniku sidumisele kõrge veetasemega alal.

Võib järeldada, et päideroog Keressaares ei vähenda oluliselt ökosüsteemi hingamist ning puudub võime edukalt siduda CO₂ atmosfäärist. Keressaares saadud tulemused olid vastupidised Lavassaares saadud tulemustest, kus päideroo mõjul GPP>ER (Järveoja 2011, Mander et al., 2012; Järveoja 2015).

4.5 Globaalse soojenemise potentsiaal

Lisaks süsiniku bilansile arvestati ka mittemudeldatud naerugaasi ja metaani aastaseid koguseid globaalse potentsiaali arvutamisel (kus 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂ ekv; 1 kg CH₄ = 28 kg CO₂ ekv; 1 kg N₂O = 265 CO₂ ekv (IPCC 2014)). Selgus, et kõrge ja madala veetasemega päiderooga taimestatud aladel ning freesturbaaladel summaarsed 2016 aasta KHG bilansid olid vastavalt 21553, 23549, 4688 ja 6987 kg CO₂ ekv ha⁻¹ a⁻¹. 2017 aastal vastavalt 28579, 32373, 6543 ja 7799 kg CO₂ ekv ha⁻¹ a⁻¹. Teisel aastal ilmneseid samadel proovilappidel kõrgemad väärtused, välja arvatud FR-M proovilapil. Sarnased tulemused on näha ka joonistel 6 (lk. 21) ja 7 (lk. 23).

Tabel 3. Proovilappide kasvuhoonegaaside bilanss globaalse soojenemise potentsiaalina (kg CO₂ ekv ha⁻¹a⁻¹) mõõdetud vahemikus 2016-2018. CO₂ ekvivalendid: 1 kg CO₂ = 1 kg CO₂ ekv; 1 kg CH₄ = 28 kg CO₂ ekv; 1 kg N₂O = 265 CO₂ ekv (IPCC 2014). Proovilappide tähistused tabelis 1.

Uurimisala	RO-K		RO-M		FR-K		FR-M	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
CO ₂ voog	20323	20286	21625	21843	4966	4589	5472	5398
CH ₄ voog	314	3546	787	4040	388	1620	850	1902
N ₂ O voog	916	4747	1919	6490	-666	334	665	499
GWP	21553	28579	23549	32373	4688	6543	6987	7799

Kuna antud töös naerugaasi ja metaani tulemusi ei mudeldatud, siis N₂O ja CH₄ keskmised aastased vood võivad olla ülehinnatud kõrgete üksikute väljalöövide tõttu. Joonisel 6 toodud N₂O tulemustest on näha erandlikke voogude järsku suurenemist vahetult peale taimestatud katsealade väetamist. Samuti olid üksikud väljalöögid metaanil (joonis 7), mille võis põhjustada järsk veetaseme tõus või alanemine, mille tõttu hapniku sisaldus mullapoorides kiiresti muutus.

5. Kokkuvõte

Mahajäetud ja kuivendatud freesturbaalad on tänapäeval ühed olulisemad kasvuhoonegaaside emiteerijad. Kuna freesturbaalad sisaldavad endas peamiselt süsinikku ning hoiavad endas samas hulgas süsinikku, kui on maapealset biomassi. Seda on kaks korda rohkem kui globaalselt metsa biomassis ning umbes sama palju kui on atmosfääris kokku. Selle tulemusena võivad süsihappegaasi emissioonid nendel aladel olla suurimad, kui veerežiim nendel aladel on rikutud. (Assessment...2008).

Üheks lahenduseks, kuidas mahajäetud turbaalad muuta taas süsiniku sidumiseks, on päideroog (*Phalaris arundinacea* L.), mis on põhjamaades tuntud energiataimena (Maljanen et al. 2010, Kandel et al., 2013). 2006. aastast saati on katsetatud Eestis freesturbaalade taimestatamist päiderooga (Värnik 2011). Päideroog on oma loomult vähenõudlik taim, mis talub madalaid ja kõrgeid temperatuure, madalat pH-d ning kuiva või liigniisket väheviljakat pinnast (Noormets 2007, Kandel et al., 2012, Mander et al., 2012).

Kasvuhoonegaaside mõõtmiseks kasutati staatilist pimekambrimeetodit. Ökosüsteemi hingamise ja süsiniku sidumist taimedesse mõõtmiseks kasutati valgust täielikult läbilaskvat (100%) dünaamilist kambrit, mida kaeti valgust erinevas koguses (75%, 50% ja 0%) läbilaskvate katetega. CO₂ mõõtmistulemused jagati kaheks. Ühe osa andmetega leiti süsiniku sidumise seos valguse ja mullatemperatuuriga ning ökosüsteemi hingamine mullatemperi ja mullaniiskusega. Teise osa andmetega kontrolliti seose tugevust. Tulemuste toetamiseks ja seoste leidmiseks mõõdeti pidevalt ka veetaset, mullaniiskust ja mulla keemilist koostist.

Käesolevas bakalaureuse töös kasutati Keressaares 2016-2018 aastatel mõõdetud tulemusi, kus võrreldi freesturba proovilappe päiderooga taimestatud proovilappidega. Töö tulemused näitasid, et päiderooga taimestatud proovilappidel on süsiniku sidumine taimedesse väiksem kui ökosüsteemi hingamine. Metaani ja naerugaasi emissioonitulemused olid mõlemal aastal freesturbaalal väga väikesed, aga päiderooga taimestatud proovilappidel märksa suuremad, iseloomustades aktiivsemat mikroobset hingamist. Süsiniku voog kõrge ja madala veetasemega

taimestatud aladel erinesid oluliselt freesturba aladest, kus 2016. aastal olid mõlemal alal 5,5 t C ha⁻¹ a⁻¹ ning 2017. aastal mõne võrra suurem vastavalt 5,9 ja 6,0 t C ha⁻¹ a⁻¹. Freesturbaal asuvates proovilappides olid süsinikubilansi tulemused 2016. aastal kõrge ja madala veetasemega aladel vastavalt 1,3 ja 1,5 ning 2017. aastal 1,2 ja 1,5 t C ha⁻¹ a⁻¹. Aastased summaarsed globaalse soojenemise potentsiaalid olid kõrge ja madala veetasemega taimestatud aladel olid 2016. aastal vastavalt 21,5 ja 23,5 ning 2017. aastal vastavalt 28,5 ja 32,4 t CO₂ ekv ha⁻¹ a⁻¹. Tulemused freesturbaal olid kõrge ja madala veetasemega aladel vastavalt 4,7 ja 7,0 ning 2017. aastal 6,5 ja 7,8 t CO₂ ekv ha⁻¹ a⁻¹. Töö tulemustest selgus, et päideroo kasvatamisega väga happelisel turbaal suurenes CO₂ voog lupjamise ja väetamise tõttu ning aladele kasvavasse biomassi ei seota rohkem süsinikku, kui ökosüsteemi hingamise käigus eraldub. Päiderooga taimestatud turbatootmised mahajäetud alad jäävad CO₂ emiteerijateks. Samas selgus, et veerežiimi parandamisega saab vähendada kasvuhoonegaaside voogu taimestamata ammendunud freesturbaaladel.

6. Summary

Fluxes of greenhouse gases and its environmental factors with planted reed canary grass in Keressaare abandoned peat extraction area

The aim of this bachelor's thesis was to study the impact of water regime on the RCG cultivation in an abandoned peat extraction area in Keressaare, Estonia.

Abandoned and drained peat extraction areas are one of the more important emitters of greenhouse gases. Since peatlands mostly consist of carbon and contain as much carbon as terrestrial biomass, twice as much as global biomass and as much as in atmosphere combined, the carbon dioxide emissions from these areas are the largest (Assessment...2008).

One solution, to turn the abandoned peatlands from net source of carbon to net sinks of carbon, is to plant these areas with reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.), known as bioenergy crop in the Nordic countries. Since 2007, it has been tested in Estonia how reed canary grass affects the soil and greenhouse gas emissions of abandoned peatland areas (Värnik 2011). Reed canary grass is by its nature unpretentious, as it tolerates low and high temperatures, low soil's pH and dry or too wet infertile soils (Noormets 2007, Kandel et al., 2012, Mander et al., 2012).

The measurements of CO₂, CH₄ and N₂O fluxes were carried out using the closed chamber-method twice a month from April 2016 to April 2018. For measuring ecosystem respiration (ER) and carbon sinks into plants (GPP), the dynamic transparent chamber was used (Järveoja 2015, Elsgard et al., 2012). Environmental parameters like air temperature (Ta; model 107, Campbell Scientific Inc.), photosynthetically active radiation (PAR; model LI-190SL, LI-COR Inc.), soil temperature (depths of 5 cm) was measured with temperature probes (model 107, Campbell Scientific Inc.) and VWC (depth 10 cm) with water content reflectometers (model CS615, Campbell Scientific Inc.) were monitored continuously on-site.

The net ecosystem exchange was positive on high and low water level plots in Keressaare reed canary grass cultivation experiment in 2016 and 2017. NEE was 5.5 t C ha⁻¹ y⁻¹ in

both cases in 2016. Results were greater in 2017, where fluxes from high and low water level vegetated plots were 5.9 and 6.0 t C ha⁻¹ y⁻¹, respectively. Results from high and low water level bare peat plots were much smaller compared to vegetated plots. NEE was 1.3 and 1.5 t C ha⁻¹ y⁻¹ in 2016 and 1.2 and 1.5 t C ha⁻¹ y⁻¹ in 2017, respectively. The cultivated plots with high and low water levels emitted 21.5 and 23.5 t CO₂ eq ha⁻¹ y⁻¹ in 2016 and 28.5 and 32.4 t CO₂ eq ha⁻¹ y⁻¹ in 2017, respectively. High and low water level bare peat plots results were much smaller, 4.7 and 7.0 in 2016 and 6.5 and 7.8 t CO₂ eq ha⁻¹ y⁻¹ in 2017, respectively.

The differences of greenhouse gas emissions between bare peat plots and plots vegetated with reed canary grass were compared. The results of this paper showed, that plots with reed canary grass did not turn peat from net source of carbon into net sink of carbon. Emissions of methane and nitrous oxide were almost non-existent, but somewhat greater emissions were from vegetated plots rather than from bare peat, characterizing more active microbial respiration. The results of this paper showed, that reed canary grass is suitable to plant on bare peat but didn't reduce greenhouse gas emissions, which is also characterized with global warming potential. At the same time, it turned out, that by improving the water level, greenhouse gas emissions can be reduced. Reed canary grass cultivation on abandoned peat extraction areas does not have any environmental nor economic benefits due to low growth of vegetation.

Tänuavaldused

Töö autor soovib tänada juhendajat Martin Maddisoni oskusliku juhendamise, kannatlikkuse ning mõistva suhtumise eest. Tänuavaldused ka kõikidele teistele, kes toetasid ja aitasid kaasa antud bakalaureuse töö valmimisele.

Käesolevas bakalaureusetöös kasutatud andmed on kogutud FACCE-ERA-NET+ projekti „Kliimateadlik maaviljelus soomuldadel“ (‘Climate Smart Agriculture on Organic Soils’ - CAOS) raames ning on finantseeritud Euroopa Liidu teadusuuringute ning tehnoloogia arendamise seitsmenda raamprogrammi poolt (grandi number 031A543A).

Kasutatud kirjandus

Assessment on peatlands, biodiversity, and climate change; Global Environment Centre & Wetlands International, Wageningen: Kuala Lumpur, 2008.

Drösler, M. Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems. PhD Thesis, University of Munich (Germany), 2005.

Elsgaard, L. C.; Görres, C.-M. O.; Hoffmann, C. undefined; Blicher-Mathiesen, G. undefined; Schelde, K. undefined; Petersen, S. undefined. Net Ecosystem Exchange of CO₂ and Carbon Balance for Eight Temperate Organic Soils under Agricultural Management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 162, 52–67.

Hyvönen, N.; Huttunen, J.; Shurpali, N.; Tavi, N.; Repo, M.; Martikainen, P. Fluxes of Nitrous Oxide and Methane on an Abandoned Peat Extraction Site: Effect of Reed Canary Grass Cultivation. *Bioresource Technology*, 2009, 100 (20), 4723–4730.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, 151 pp.

Järveoja, J. Fluxes of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O from abandoned peat extraction areas: Impact of bioenergy crop cultivation and peatland restoration. PhD Thesis, University of Tartu, 2015.

Järveoja, J. Kasvuhoonegaaside emissioon päideroo abil rekultiveeritavalt turbatootmisalalt. Magistritöö, Tartu Ülikool, 2011.

Järveoja, J.; Peichl, M.; Maddison, M.; Soosaar, K.; Vellak, K.; Karofeld, E.; Teemusk, A.; Mander, Ü. Impact of Water Table Level on Annual Carbon and Greenhouse Gas Balances of a Restored Peat Extraction Area. *Biogeosciences*, 2016, 13 (9), 2637–2651.

Kandel, T. P.; Elsgaard, L.; Laerke, P. E. Measurement and Modelling of CO₂ flux from a Drained Fen Peatland Cultivated with Reed Canary Grass and Spring Barley. *GCB Bioenergy*, 2012, 5 (5), 548–561.

Kandel, T. P.; Elsgaard, L.; Karki, S.; Lærke, P. E. Biomass Yield and Greenhouse Gas Emissions from a Drained Fen Peatland Cultivated with Reed Canary Grass under Different Harvest and Fertilizer Regimes. *BioEnergy Research*, 2013, 6 (3), 883–895.

Kandel, T. P.; Elsgard, L.; Laerke, P. E. Annual Balances and Extended Seasonal Modelling of Carbon Fluxes from a Temperate Fen Cropped to *Festulolium* and Tall Fescue under Two-Cut and Three-Cut Harvesting Regimes. *GCB Bioenergy*, 2017, 9 (12), 1690–1706.

Leifeld J, Steffens M, Galego-Sala A (2012) Sensitivity of peatland carbon loss to organic matter quality. *Geophysical Research Letters*, 39, L14704.

Keller, K. Haljaskatuste gaasivoo sõltuvus katuse tüübist ja vanusest. *Magistritöö, Tartu Ülikool* 2017, 20-35.

Maljanen, M.; Sigurdsson, B. D.; Guðmundsson, J.; Óskarsson, H.; Huttunen, J. T.; Martikainen, P. J. Greenhouse Gas Balances of Managed Peatlands in the Nordic Countries – Present Knowledge and Gaps. *Biogeosciences*, 2010, 7 (9), 2711–2738.

Maljanen, M.; Hytönen, J.; Mäkiranta, P.; Alm, J.; Minkkinen, K.; Laine, J.; Martikainen, P. J. Greenhouse Gas Emissions from Cultivated and Abandoned Organic Croplands in Finland. *Boreal Environment Research*, 2007, 12, 133–140.

Mander, Ü.; Järveoja, J.; Maddison, M.; Soosaar, K.; Aavola, R.; Ostonen, I.; Salm, J.-O. Reed Canary Grass Cultivation Mitigates Greenhouse Gas Emissions from Abandoned Peat Extraction Areas. *GCB Bioenergy*, 2011, 4 (4), 462–474.

Mäkiranta, P.; Hytönen, J.; Aro, L.; Maljanen, M.; Pihlatie, M.; Potila, H.; Shurpali, N. J.; Laine, J.; Lohila, A.; Martikainen, P. J.; Minkkinen, K. Soil Greenhouse Gas Emissions from

Afforested Organic Soil Croplands and Cutaway Peatlands. *Boreal Environment Research* 2007, 12, 159–175.

Noormets, M. Rohtsete energiakultuuride uuringud. Aruanne. Maaelu Edendamise Sihtasutus ja Eesti Maaülikool. Tartu, 2007.

Orru, M.; Ramst, R. Revegetation Processes in Abandoned Peat Production Fields in Estonia. After Wise Use – The Future of Peatlands, Proceedings of the 13th International Peat Congress: Peatland After-Use, 2009, 421–423.

Pihlap, E. Kuivenduse mõju vees lahustunud orgaanilise süsiniku ja huumusainete sisaldusele rabades ja siirdesoodes. Magistritöö, Tartu Ülikool, 2016, 30–35.

Poyda, A.; Reinsch, T.; Kluß, C.; Loges, R.; Taube, F. Greenhouse Gas Emissions from Fen Soils Used for Forage Production Innorthern Germany. *Biogeosciences*, 2016, 13 (18), 5233–5244.

Ramst, R., Orru, M., Salo, V. Halliste, L. Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 2. etapp. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond. Tallinn: OÜ Eesti Geoloogiakeskus, 2016.

Riutta, T.; Laine, J.; Tuittila, E.-S. Sensitivity of CO₂ Exchange of Fen Ecosystem Components to Water Level Variation. *Ecosystems* 2007, 10 (5), 718–733.

Salm, J. Emission of greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O from Estonian transitional fens and ombrotrophic bogs the impact of different land-use practices. PhD Thesis, University of Tartu, 2012.

Shurpali, N. J., Strandman, H., Kilpeläinen, A., Huttunen, J., Hyvönen, N., Biasi, C., Kellomäki, S., Martikainen, P. J. Atmospheric impact of bioenergy based on perennial crop (reed canary grass, *Phalaris arundinaceae*, L.) cultivation on a drained boreal organic soil. *GCB Bioenergy*, 2010, 2, 130-138.

Tuittila, E.-S.; Vasander, H.; Laine, J. Sensitivity of C Sequestration in Reintroduced Sphagnum to Water-Level Variation in a Cutaway Peatland. *Restoration Ecology* 2004, 12 (4), 483–493.

Verhoeven, J. T. A.; Setter, T. L. Agricultural Use of Wetlands: Opportunities and Limitations. *Annals of Botany*, 2009, 105 (1), 155–163.

Väinsalu, P. Päideroo kasvatamine mahajäetud turbakaevandusalal biogaasi tootmise eesmärgil – keskkonnamõjud läbi olelusringi. *Magistritöö*, 2015, 13–30.

Värnik, R. Energiakultuuride (päideroo) kasvatamise ja kasutamise majanduslik hinnang Eestis lõpparuanne. Tartu, 2011.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Rein Järvpõld

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose

Kasvuhoonegaaside vood ja neid mõjutavad keskkonnategurid päiderooga taimestatud Keressaare jääkturbaalal, mille juhendaja on Martin Maddison reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Rein Järvpõld

01.06.2020