

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

Magistritöö loodusgeograafias ja maastikuökoloogias (30 EAP)

**Veerežiimi häiringute ja ilmastiku mõju hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.)
radiaalsele juurdekasvule Lehtmetsa soo näitel**

Kärt Erikson

Juhendajad: Ain Kull

Alar Läänelaid

Kristina Sohar

Tartu 2022

Annotatsioon

Veerežiimi häiringute ja ilmastiku mõju hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) radiaalsele juurdekasvule Lehtmetsa soo näitel

Magistritöö eesmärgiks oli koostada Lehtmetsa soo rabamändide aastarõngalaiuste kronoloogiad ning analüüsida nende abil sealsete puude radiaalse juurdekasvu sõltuvust inimtekkelistest veerežiimi muutustest ja kohalikest ilmastikutingimustest. Töös uuriti Lehtmetsa soo puude juurdekasvu mööda veetaseme gradienti viiel eriilmelisel proovialal. Sarnaselt varasemate töödega leidis kinnitust, et üksteisele geograafiliselt lähedal asuvad proovialad erinevad üksteisest märkimisväärselt. Üks prooviala käitus loodusliku alana, kaks olid mõjutatud nii klimatoloogilistest kui kuivendusega seotud muutustest, ning kaks prooviala olid tugevalt mõjutatud inimtekkelistest kuivendustest.

Märksõnad: harilik mänd, *Pinus sylvestris* L., dendrokronoloogia, dendroklimatoloogia, soo

CERS kood: P510 - füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

Abstract

Effect of water level change and weather on radial increment of Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) in Lehtmetsa Bog

The aim of this Master's thesis was to create tree-ring chronologies of Scots pine from Lehtmetsa Bog and to analyse the influence of anthropogenic changes in the water level and climatic variables on tree-ring growth. Five diverse study sites along a gradient of water table from Lehtmetsa Bog were used for this study. Compared with previous studies, the thesis confirmed that geographically close sample plots differed significantly from each other. One sample plot from five behaved like a natural area, two were influenced by both climate and by changes in the water level in the nearby peat extraction site or the nearby Lake Kivijärv. And two were mostly influenced by the changes in water level in the nearby peat extraction site.

Keywords: Scots pine, *Pinus sylvestris* L., dendrochronology, dendroclimatology, bog

CERS code: P510 - Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

Sisukord

1. Teoreetiline sissejuhatuse	4
2. Materjal ja metoodika	8
2.1 Uurimisala	8
2.2 Kliimaandmed	9
2.3 Puiduproovide kogumine ja mõõtmine	11
2.4 Andmeanalüüs	13
3. Tulemused	15
3.1 Juurdekasvu kronoloogiad ja kuivenduse mõju	15
3.2 Ilmastiku mõju	17
3.2.1 Temperatuuri mõju puude juurdekasvule	17
3.2.2 Sademete mõju puude juurdekasvule	19
3.2.3 Ilmastiku mõju puude juurdekasvule enne ja peale kuivendust	22
3.2.4 Põua ja sademete rohkuse mõju puude juurdekasvule	24
4. Arutelu ja järeldused	25
5. Kokkuvõtte	29
6. Summary	31
Tänuavaldused	33
Kirjandus	34
Lisad	39

1. Teoreetiline sissejuhatuse

Märgalad on olulised bioloogilise mitmekesisuse kandjad ning paljude taime- ja loomaliikide jaoks ainsad elupaigad (Edvardsson et al. 2019). IMCG (*The Global Peatland Database of the International Mire Conservation Group*) hinnangute järgi katavad turbaalad umbes 3% (Edvardsson et al. 2016) maailma maismaapinnast ning 80% märgaladest asuvad põhjapoolses parasvöötmes või külmas kliimas (Puntila et al. 2016). Balti riigid, sealhulgas Eesti, on tuntud oma suhteliselt suure turbaaladega kaetuse poolest võrreldes teiste Euroopa Liidu liikmesriikidega. Euroopa Liidu keskmine kaetus turbaaladega on hinnanguliselt 2,8% maismaast (Karofeld et al. 2016). Eestis on aga turvasmuldadega hinnanguliselt kaetud umbes 22,4% (Orru ja Orru 2008) ja Baltikumis keskmiselt 12,3% (Taminskas et al. 2019). Sooks nimetatakse turbaalasid, kus turvast jätkuvalt moodustub ja ladestub, ning turbakihi paksus ületab 30 sentimeetrit (Masing 1988, Moen 1995). Turbaalaks nimetatakse kuitahes paksu turbakihi kaetud maa-ala, olenemata sellest kas seal turba ladestumine jätkub või mitte (Paal ja Leibak 2013). Ramsari konventsiooni järgi nimetatakse märgaladeks turbaalasid, soid, lodusid ja veekogusid (nii looduslikke kui tehiskogusid, ajutisi või püsivad), mis on küllastunud veega (seisva, voolava, mageda, riimvee või soolase veega). Märgalade hulka loetakse konventsiooni järgi ka merealad, kus vee sügavus ei ületa kuute meetrit (sealhulgas saari ja merealasid kus mõõna ajal ületab veetase kuut meetrit) ja märgalade naabrusesse jäävad kaldaäärseid, rannikualasid ja saari (Ramsari konventsioon 1971, Paal ja Leibak 2013). Suur osa Euroopa märgaladest ei liigitu enam soode alla, nii samuti on ka Eestis, kus vaid kolmandik turbaaladest on sood. Hinnanguliselt katavad Eesti maismaast sood 7–8%. Eelkõige on soode osakaalu vähenemise taga olnud kuivendamine (Paal ja Leibak 2011, Leibak 2021). Märgalad mängivad olulist rolli süsinikuringes, akumulēerides orgaanilist süsinikku. Teisalt võivad nad olla aga oluliseks looduslikuks allikaks metaani, süsihappegaasi ja NO_x ühendite puhul (Tamkevičiūtė et al. 2018). Turbaalad talletavad ligikaudu kolmandiku ülemaailmsest mullasüsinikust (Lucow et al. 2022). Turbaalade süsinikubilanss sõltub tugevalt turba kogunemise kiirusest ning on seetõttu väga tundlik turbasambla ja soontaimede vahekorra muutuste suhtes (Edvardsson et al. 2019).

Turba kaevandamise algus Eestis ulatub tagasi 17. sajandisse. 19. sajandil oli turbaalade kuivendamine või nende põletamine üheks kõige levinumaks põllumajandusega kaasnevaks teguriks märgaladel (Vasander et al. 2003). Mitmed turbaalade ökosüsteemid on sajandeid olnud

tugevasti mõjutatud inimtegevuse poolt. 70% kahjustustest Soome märgalades on tingitud inimtegevusest, Poolas loetakse inimtegevuse tagajärjel kahju saanud turbaalade suuruseks 80% (Cedro ja Sotek 2016). Sarnaselt eelmainitud riikidega on hinnanguliselt 70% Eesti märgaladest tugevalt mõjutatud inimtegevusest (Vasander et al. 2003, Paal ja Leibak 2011). Majanduslikus mõttes on Baltikumi rabad olnud inimeste huviorbiidis 18. sajandist alates. Märgalasid kuivendati, et hõlbustada turba kaevandamist või kiirendada metsa kasvu. Need protsessid intensiivistusid 19. sajandil ning olid kõige laiemalt levinud 20. sajandil. Turba kaevandamise, põlengute või põllumajandusliku ettevalmistamise tõttu on mitmetes märgalades esialgsed elupaigad täielikult hävinud (Cedro ja Sotek 2016). Põhilisteks Eestis märgalasid mõjutavateks tegevusteks on metsandus, põllumajandus ja turbakaevandamine (Vasander et al. 2003, Paal ja Leibak 2011). Hinnanguliselt on enim kahjustada saanud ja hävinud madalsookooslused, mille varasem osakaal Eesti sookooslustest oli kolmandik, kuid tänasel päeval moodustavad nad 10–20% soodest Eestis (Leibak 2021).

Dendroklimatoloogilised uuringud põhinevad teadmisel, et puidu kasvu mõjutab ümbritsev keskkond ja sarnases keskkonnas kasvavatel puudel on sarnane kasvukiirus. Keskkonnatingimused nagu päikesevalgus, temperatuur, vesi, toitainete varu, tuul, mehaanilised toimed ning õhu ja mulla saastatus kõik mõjutavad puu kasvu. Dendrokronoloogilised uuringud annavad puude aastarõngaste kaudu väärtuslikku informatsiooni uuritava ala inimtegevusest ja kliimamuutustest tulenevate muutuste kohta (Schweingruber 1996). Põhjapoolsetel laiuskraadidel ei toimu puudel aasta läbi pidevat kasvu, vaid kasv jälgib iga-aastast neljatsüklilist jaotust, mille tingivad fotoperioodi pikkus ja termilise režiimi muutused. Nendeks tsükli faasideks on kasvu taasaktiveerimine, meristeemilise aktiivsuse periood, kasvu aeglustumine ja talvine puhkeperiood (Sarvas 1972). Tsükli jooksul tekitavad hemiboreaalsetes tingimustes kasvavad puud igal aastal ühe radiaalse juurdekasvu rõnga (puu aastarõnga) (Schweingruber 1996).

Märgaladel kasvavate puude kasv on tugevalt seotud sealse veetaseme kõrgusega. Kõrgem veetase põhjustab tavaliselt puude juurdekasvu vähenemist ning madal veetase suuremat puude juurdekasvu (Linderholm et al. 2002, Edvardsson et al. 2016, Tamkevičiūtė et al. 2018). Samuti sõltub puude kasv kliimatilistest tingimustest ja antropoloogilistest teguritest (Cedro ja Lamentowicz 2008). Puude aastarõngalaiused on head hindamaks limiteerivate tegurite mõju puu kasvule (Fritts 1976). Kui veetase on kõrge, on väiksem puudele kättesaadav hapniku hulk ja puudel on oht hapnikuvaeguseks ehk hüpoksiaks või hapnikupuuduseks ehk anoksiaks.

Kui veetase on aga madal, siis võivad rabas kasvavate mändide pinnalähedased juured olla alati põua poolt tekitatavale kahjule (Braekke 1983, Dang ja Lieffers 1989, Pepin et al. 2002). Seega seni, kuni on võimalik eristada madala veetaseme mõjudest tingitud häiringuid kõrge veetaseme omast, annavad rabamändide aastarõngalaiuste read hea ülevaate märgala veetaseme ajaloost (Smiljanić et al. 2014, Läänelaid et al. 2014). Varasemad uuringud on näidanud, et turbaalade puude radiaalne juurdekasv sõltub niiskustingimustest veega küllastumata alal. Seeläbi juhivad turbaalade veetaseme kõikumised puu juurdekasvumustrite teket (Tamkevičiūtė et al. 2018).

Varasemad dendrokronoloogilised uuringud rabamändidega on näidanud, et rabamändide keskmisi aastaseid juurdekasvuridasid saab kasutada märgaladel veetaseme muutuste uurimiseks (Smiljanić et al. 2014). Need tööd toovad aga välja, et puude aastarõngaste kasutamisel veetingimuste uurimiseks esineb viivitusi puu reageeringus. Need on tingitud taimede füsioloogilistest protsessidest või teistest mitte-hüdrooloogilistest piiravatest teguritest, näiteks temperatuurist või sademetehulgast. Kuigi need viivitused võivad segada aasta täpsusega tulemuste saamist, kasutatakse aastarõngaste laiust siiski tihti hüdrooloogiliste tingimuste uurimiseks (Edvardsson et al. 2019).

Rabas kasvavatel puudel on mitmeid omadusi, mis raskendavad nende kasutamist dendrokronoloogilistes uuringutes. Märgalades kui liigniisketes, madala toitainesisaldusega ja halva mullahingamisega aladel võivad puude eluead olla lühemad kui kuivematel aladel. Lisaks esineb tihti väga kitsaid rõngaid ning osaliselt või täielikult puuduvaid rõngaid (Dauškane et al. 2011, Smiljanić et al. 2014). Varasemad uuringud toovad samuti välja, et kuivendamine mõjub positiivselt puude kasvule ja seeläbi on suuremad ka keskmised aastarõngalaiused (Macdonald ja Fengyou 2001, Choi et al. 2007).

Harilik mänd (*Pinus sylvestris* L.) on üks levinumaid puuliike Kesk- ja Ida-Euroopas. Teda leidub ka Lääne-Euroopa mägismaadel ning tema levila katab Põhja-Euroopa kuni Siberi idaosani (Gardner 2013). Samuti on ta üheks levinumaks puuliigiks Eestis ja kasutatud dendrokronoloogilistes uuringutes (Läänelaid ja Eckstein 2003, Metslaid 2017) Tegemist on Eestile pärismaise igihalja okaspuuga, mis kuulub männiliste sugukonda ja perekonda mänd (e-elurikkus). Kogu Eesti metsamaast katab harilik mänd pisut üle 34%. Kuna mänd on mulla tootainesisalduse suhtes vähenõudlik, on ta suuteline kasvama väga erinevates tingimustes. Harilik mänd on võimeline kasvama nii liivastel ja savistel muldadel kui ka liigniisketes rabakooslustes.

Lisaks talub ta hästi nii põuda kui ka pakast. Harilik mänd on aga väga valgusnõudlik. Soostunud aladel kasvab umbes 15% kõikides Eestis asuvatest männikutest ning soodes pisut alla 20% männikutest. Kõige rohkem leidub männimetsi Põlva- ja Harjumaal ning kõige vähem Jõgeva- ja Tartumaal (Sibul 2014).

Harilik mänd on lülipuiduline. Lülipuit on puutüve keskmises osas asuv surnud rakkudest koosnev puidu osa, mis ei võta osa vedelike transpordist. Puid, millel selline kiht esineb nimetatakse lülipuidulisteks. Lülipuit on kollakas- või punakaspruun ning see hakkab tekkima peale puu 40. eluaastat. Männi maltspuit on heledama värvusega kui lülipuit, ning see koosneb vedelikke juhtivatest elusrakkudest. Hariliku männi puhul on tegemist kiirekasvulise puuliigiga. Heades kasvutingimustes võib puu juba 70-aastaselt ületada 30 meetri kõrguse. Rabades võib männi kõrgus aga jääda kuni 2 meetrini. Maksimaalne eluiga jääb männil 400 ja 500 aasta vahele. Aastarõngad harilikul männil on hästi nähtavad (Sibul 2014).

Käesoleva magistritöö eesmärkideks on:

1. Hinnata inimtegevusest tingitud veetaseme häiringute mõju hariliku männi radiaalsele juurdekasvule endisel turbakaevandusalal. Vaatluse all on puude aastane juurdekasv nii looduslikus seisundis kui raba kuivendamisel ja turba kaevandamisel, mahajätmisel ja taastamisel.
2. Analüüsida ilmastikutingimuste (temperatuur, sademed) mõju rabamändide radiaalsele juurdekasvule.

Tööd alustades on püstitatud järgnevad hüpoteesid:

1. Inimtegevusest tingitud kuivenduse poolt on tugevasti mõjutatud kaevandusele geograafiliselt lähimal asuvad proovialad üks ja kaks.
2. Looduslike aladena käituvad Lehtmetsa soos keskosas asuvad proovialad kolm ja neli.
3. Viies, kõige Kivijärve poolseim prooviaal, on samuti tugevalt mõjutatud inimtegevusest, kuid mõjud tulenevad veetaseme muutustest järves.

2. Materjal ja metoodika

2.1 Uurimisala

Uuritav ala asub Jõgevamaal Jõgeva vallas Laiusevälja külas Lehtmetsa soos (joonis 1). Jääksoo paikneb voortevahelises nõos, mida võib mõjutada survepine põhjavesi (Lode et al. 2015). Soo läänepiiriks on Laiuse mägi (145 meetri kõrgune vöör) ja põhjaserv ulatub Jõgeva-Mustvee maanteeeni (Eesti Turbauuringute Andmebaas. Kivijärve turbaala). Lehtmetsa soo alal asub tervikuna mahajäetud freesturba tootmise ala. Piirkonnast kaevandati freesalusturvast aastatel 1969–1996. Kaevandamine lõpetati raskete kuivendamistingimuste ja vähelagunenud turba kihi ammendumise tõttu (Ramst et al. 2006). Endine kaevandusala asub kahe plokina raba põhjaosas – põhja- ja lõunapoolse plokina. Põhjapoolse ploki suuruseks on 15 hektarit ja kuivendusdreenid kulgevad lõuna-põhjasuunaliselt suundudes põhjaservas asuvasse kogujakraavi. Lõunapoolse ploki suuruseks on 17 hektarit ja ala kuivendusdreenid kulgevad põhja-lõunasuunaliselt suubudes ala lõunaservas paiknevasse kogujakraavi. Kahe ploki vahelt kulgeb väljaveotee, mis on ümbritsevast ca 1 meetri võrra kõrgem (Lode et al. 2015).



Joonis 1. Lehtmetsa soo – mändide radiaalkasvu uurimisala (Maa-ameti kaardi ja ortofoto hübriid).

2005. aastast alates on ala arvatud passiivse tarbevaru hulka. Ala suuruseks on keskkonnaregistri andmetel 31,91 hektarit. Passiivse turbavaru koguhulk on 168 000 tonni, millest 165 000 tonni on hästilagunenud turvast ning 3000 tonni on vähelagunenud turvast. Hästilagunenud kihi keskmiseks paksuseks on 2,8 meetrit ja vähelagunenud turbakihi keskmiseks paksuseks on pool meetrit. Lehtmetsa soo hästilagunenud turba keskmine lagunemisaste on 31% ja keskmine tuhasus on 5,9% ning sealse vähelagunenud turba keskmine lagunemisaste on 6%, keskmine tuhasus 1,8%. Turbakihid asuvad kuni poole meetri paksusel järvelubjakihil, mis omakorda lasub jääjärvelistel liivadel ja moreenil (Ramst et al. 2006).

Lehtmetsa soo on väga eriilmeline. Endisel kaevandamise alal kasvavad turbavallidel sookased (*Betula pubescens*), mille kõrguseks on 1–2 meetrit. Samblarinde kogukatvusega 60–70% moodustavad raba-karusammal (*Polytrichum strictum*), nõtkes karusammal (*Polytrichum longisetum*), longus pirnik (*Pohlia nutans*), pugu-kaksikhambake (*Dicranella cerviculata*), hammas-karviksammal (*Pohlia bulbifera*) ja väävel-porosamblik (*Cladonia deformis*). Samuti leidub endisel kaevandusalal Eestis üliharuldast saagjat kübesammalt (*Ephemerum serratum*) (Ramst et al. 2006).

2013. aastal esines endisel kaevanduse alal üleujutus seoses kibraste paisutustegevusega. Alates 2019. aastast tõsteti endisel kaevanduse alal veetaset märgala taastamise eesmärgil.

Uuritava ala lõunapiiriks on Kivijärv. Kivijärve puhul on tegemist endise voortevahelise järvega, millest tänaseks päevaks on säilinud ainult järve sügavaim osa (kunagine järve suurus on olnud hinnanguliselt 500 hektarit). Järve pindala on praeguseks 19 hektarit ning keskmine sügavus 1,5 meetrit. Järve suurim sügavus ulatub 2 meetrini. Kivijärv kuulub kihistumata kalgiveeliste segatoiteliste järvede hulka. Aastatel 1928–1929 alandati järve veetaset ühe meetri võrra, mis kiirendas oluliselt järve pindala vähenemist. Aastal 1951 oli järve taimestik liigirikas ja taimestik kattis pea kogu järve (Mäemets 1977). Teine katse järve veetaset alandada toimus 1973. aastal (Maaparandussüsteemide register). Järve kalastik on pigem liigivaene, kuid järve kasutavad pesitsuspaigana mitmed veelinnud (Eesti Entsüklopeedia).

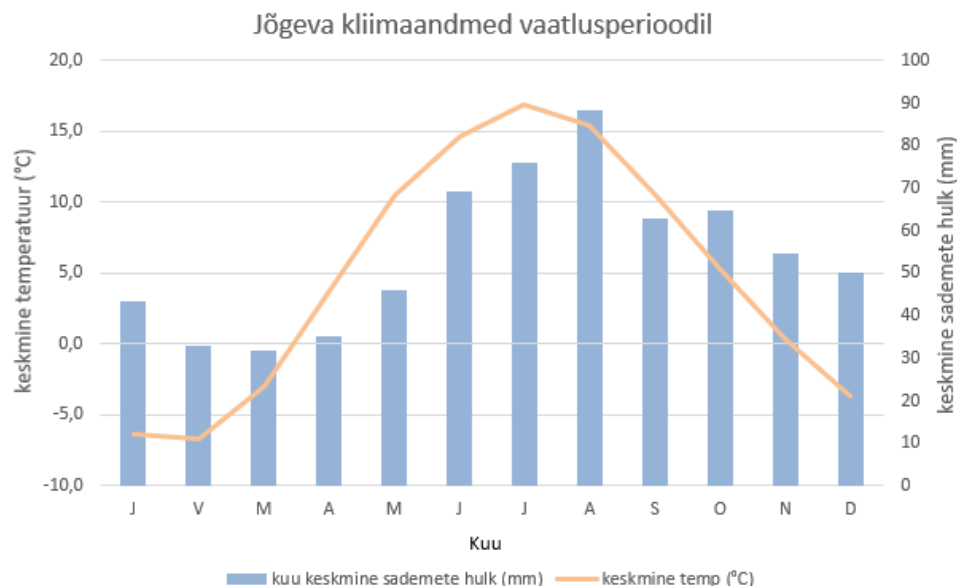
2.2 Kliimaandmed

Jõgevamaa kuulub Mandri-Eesti kliimavaldkonna Sise-Eesti allvaldkonda. Uurimisalale lähimaks ilmajaamaks on Jõgeva meteoroloogiajaam (N 58°44′59″ E 26°24′54″ H= 70,29 m), mis asub

uuritavast alast edelas kaheksa kilomeetri kaugusel. Jõgeva ilmajaama asukoht on aja jooksul muutunud. Kui ajavahemikul 1922–1964 asus meteoroloogiajaama Jõgeva alevikus sees, siis hiljem kolis see Jõgeva idaservale (Riigi Ilmateenistus. Jõgevamaa kliimast). Töös kasutati dendroklimatoloogiliseks analüüsiks Jõgeva ilmajaama temperatuuri (1922–2019) ja sademete mõõtmisandmeid (1945–2019). Üksikuid puuduvaid vaatlusandmeid temperatuuri aegreas interpoleeriti lineaarse regressioonimudeli järgi Tartu ilmajaama andmetest.

Lisaks kasutati töös professor Jaak Jaaguselt saadud Jõgeva meteoroloogiajaama andmetel arvutatud standardiseeritud sademete aurustumise indeksit (SPEIP). Kasutatud indeksid olid ajaperioodi 1948–2018 kohta (Jaagus et al. 2021).

Ajavahemiku 1945–2019 keskmine õhutemperatuur Jõgevamaal on 5 °C ja aasta keskmine sademete hulk on 655 mm. Kliimaatiline kevad algab Jõgeval keskmiselt 21. aprillil. Sügise keskmiseks alguskuupäevaks on 2. september (Riigi Ilmateenistus. Jõgevamaa kliimast). Kõrgeima keskmise temperatuuriga kuuks on juuli (keskmine temperatuur 16,8 °C) ning külmimaks kuuks on veebruar (keskmine temperatuur –6,4 °C) (joonis 2). Ajaperioodil 1991–2020 algas kliimaatiline kevad Jõgeval keskmiselt 21. aprillil ja sügise keskmiseks alguskuupäevaks on 2. september (Riigi Ilmateenistus. Jõgevamaa kliimast).



Joonis 2. Uuritava ala lähima Jõgeva meteoroloogiajaama kuukeskmised temperatuurid (1922–2019) ja sademetehulgad (1945–2019).

2.3 Puiduproovide kogumine ja mõõtmine

2019. aasta oktoobris koguti puidu puurproove viielt proovialalt Lehtmetsa soos. Uurimisala jäi endise kaevandusala ja Kivijärve vahele (joonis 3). Puurproovid koguti juurdekasvupuuriga kasvavatest harilikest mändidest. Sama liigi sealsetest kändudest saeti ristlõikekettad. Proovialad paiknevad mööda vee gradienti endisest kaevandusalast Kivijärveni. Ristlõikekettad kändudest koguti ainult esimeselt proovialalt, ülejäänud proovialadelt koguti mändidelt ainult puursüdamikke. Igalt proovialalt koguti vähemalt 12 puiduproovi ning kõik proovid välja arvatud ristlõikekettad kändudest võeti ca 30 sentimeetri kõrguselt maapinnast. Kännuproovid saeti madalamalt, vastavalt kännu kõrgusele. Juurdekasvupuuriga puuriti radiaalselt läbi säsi, et saada ühe puurimisega tüvest kaks vastasraadiust.



Joonis 3. Proovialade paiknemine piki veegradienti Lehtmetsa soos (aluseks Maa-ameti ortofoto).

Esimene prooviala asus endisel kaevandusosal ning sealselt alalt koguti proove nii kändudest kui elavatest puudest. Proovid võeti seitsmest elusast männist ja kümnest männikännust. Teine prooviala asus endist kaevandusala ümbritseva kuivenduskraavi kõrval. Proove koguti sealsetest mändidest 13. Kolmas prooviala asus 150 meetrit endist kaevandusala ümbritsevast kuivenduskraavist Kivijärve poole. Proove saadi sealt kokku 15 männist. Kolm esimest prooviala

on eelduste kohaselt kõige rohkem mõjutatud veetaseme muutustest endisel freesturbakaevanduse alal. Neljas prooviala asus uurimisala kõige puutumatusas osas. Viies prooviala asus raba lõunaosas Kivijärve läheduses. Eeldatavasti ei ole see piirkond mõjutatud veetaseme muutustest endisel freesturbaväljal, vaid seda prooviala mõjutavad veetaseme muutused järves. Neljandalt ja viiendalt proovialalt koguti mõlemalt 12 proovi.

Kogutud proovid mõõdeti kasutades mõõtmisaparaati LINTAB ja Leica S4E mikroskoopi. Enne mõõtmist lõigati puurproovi või kännu ristlõikeketta pind žiletiga risti puidukiude siledaks ja hõõruti parema nähtavuse saavutamiseks kriidiga. Iga puurproov ja mõõdetud tüveraadius sai unikaalse koodi. Mõõtmistulemused salvestati programmis TSAP-Win™ (Rinn 2003). Aastarõngalaiused mõõdeti mikromeetrites (μm), kuna valdavalt liigniiskete tingimuste tõttu on aastarõngad sageli väga kitsad. Iga proov mõõdeti kahest vastasraadiusest koorest säsini. Vastasraadiustest mõõdetud juurdekasvuridade ühtimisel need keskmistati puu kronoloogiaks. Proovialade keskmised aastarõngalaiuste kronoloogiad on saadud valdavalt (mõne erandiga) nende keskmistatud raadiuste aastarõngalaiuste ridade keskmistamisel. Kui männi vastasraadiused omavahel ei sünkroniseerunud, kuid ühe raadiuse aastarõngarida ühtis hästi prooviala teiste puude aastarõngakronoloogiatega, kasutati ala üldkeskmises männi ühe raadiuse andmeid. Rabamändidel esineb niinimetatud puuduvaid aastarõngaid. Tegemist on nähtusega, kus aastarõngas on olemas ühes raadiuses, kuid puudub sama puu vastasraadiuses. Taolisi olukordi on võimalik tuvastada vastasraadiuste omavahelisel või erinevate puurproovide juurdekasvuridade võrdlemisel joongraafikutel. Kõige tõenäolisematesse puuduvate rõngaste asukohtadesse lisati programmis TSAP-Win™ lisa-aastarõngalaius väärtusega 1. Mõõdetud proovide omavahelist sarnasust kontrolliti programmiga COFECHA (Holmes 1983, Grissino-Mayer 2001). See on spetsiaalne arvutiprogramm, mida kasutatakse hindamaks aastarõngalaiuste mõõtmistulemuste täpsust ja ristdateeringu kvaliteeti.

Programmis TSAP-Win™ (Rinn 2003) leiti individuaalsete puude juurdekasvukronoloogiatega ja keskmiste juurdekasvukronoloogiatega omavahelised statistilised sarnasusnäitajad: Pearsoni korrelatsioonikordaja, dendrokronoloogias kasutatav sarnasusnäitaja tBP-väärtus (Baillie ja Pilcher 1973) ning samasuunaliste kõikumiste protsent Glk (*Gleichläufigkeit*) (Eckstein ja Bauch 1969). Usaldusväärselt sarnaseks loetakse aastarõngakronoloogiaid, mille omavaheline sarnasusnäitaja tBP > 3,5 (tabelis märgitud kui TVBP, lisa 1).

2.4 Andmeanalüüs

Programmis ARSTAN (Cook ja Holmes 1986) loodi kronoloogiatest standardiseeritud ja mürast puhastatud kronoloogiad. Standardiseerimine on klassikaline dendrokronoloogia meetod, mille eesmärgiks on vähendada endogeensete häiringute ja puu vanuse mõju juurdekasvu ridadele. Programmiga ARSTAN eemaldatakse mõõdetud juurdekasvuridadest trendid – iga kasvuaasta reaalne väärtus jagatakse vastava negatiivse eksponentsiaal- või lineaarfunktsiooni trendijoone väärtusega. Protsessi käigus eemaldatakse aegridadest autokorrelatsioon, mis on eelduseks dendrokliimaatilisele korrelatsioonanalüüsile. Tulemuseks on standardiseeritud aastarõngakronoloogia, kus aastarõnga laiused on suhtelistes ühikutes ning keskvärtusega 1 (Cook ja Kairiukstis 1990) (lisa 2).

Aastarõngalaiuste kronoloogia ja kliimaandmete (temperatuuri ja sademetehulga) seoste uurimiseks kasutati DENDROCLIM2002 programmi (Biondi ja Waikul 2004). Aastarõngalaiustega võrdlemise perioodi alguseks võeti kasvuperioodile eelneva aasta oktoober ning lõpuks kasvuperioodi aasta september. Seega vaadeldava perioodi pikkuseks oli 12 kuud. Dendroklimatoloogilises analüüsis kasutati Pearsoni korrelatsioonikordajat (r), mis leiti aastarõngaste kronoloogia ning määratud kalendrikuude sademetehulkade ja keskmiste temperatuuride vahel. Korrelatsioonikordajate usalduspiirid ($p < 0,05$) leiti *bootstrap*-meetodil. Kliimaandmetega võrreldi programmis DENDROCLIM2002 nii standardiseeritud aastarõngalaiuste kronoloogiaid kui ka standardiseerimata kronoloogiaid. Programmiga DENDROCLIM2002 jälgiti ka korrelatsiooni muutumist ajas, milleks kasutati 24-aastast aja-akent 1-aastase sammuga. Lisaks analüüsiti programmiga DENDROCLIM2002 standardiseeritud kronoloogiaid kahes osas. Vaadeldavateks perioodideks olid aastarõngaste kronoloogiate algusaastad (temperatuuriandmete puhul oli alguseks 1923. aasta ja sademete puhul 1946. aasta) kuni 1970. aasta ja 1971–2019. aasta. Sellise kahes osas analüüsi eesmärgiks oli näha kuivendusest tingitud erinevusi, kuna perioodi esimene pool jääb turbakaevanduse eelsesse aega ja teine perioodi, mil proovialade läheduses on toimunud kuivendust.

Lisaks korreleeriti standardiseeritud kronoloogiaid uuritava ala lähima ilmajaama liidetud kuude ilmastikuandmetega. Viimasteks oli märtsi ja aprilli, mai ja juuni ning augusti ja septembri vastavad keskmised temperatuurid ning sademete summad.

Viimaseks võrreldi keskmistatud alade aastarõngakronoloogiaid Jõgeva ilmajaama sademete ja õhutemperatuuri andmetel arvutatud standardiseeritud sademete aurustumise indeksitega ehk SPEIP indeksitega (*Standardized Precipitation and Evapotranspiration Indexi* Penman-Monteith meetod). Antud indeksi kasutatakse sageli põua uuringutes ja nende iseloomustamiseks, kuna indeks põhineb temperatuuri ja sademete andmetel. Negatiivsed SPEIP väärtused kirjeldavad keskmisest põuasemat olukorda ja positiivsed liigniiskemat olukorda (Vicente-Serrano et al., 2010, Metslaid 2019, Jaagus et al. 2021).

3. Tulemused

3.1 Juurdekasvu kronoloogiad ja kuivenduse mõju

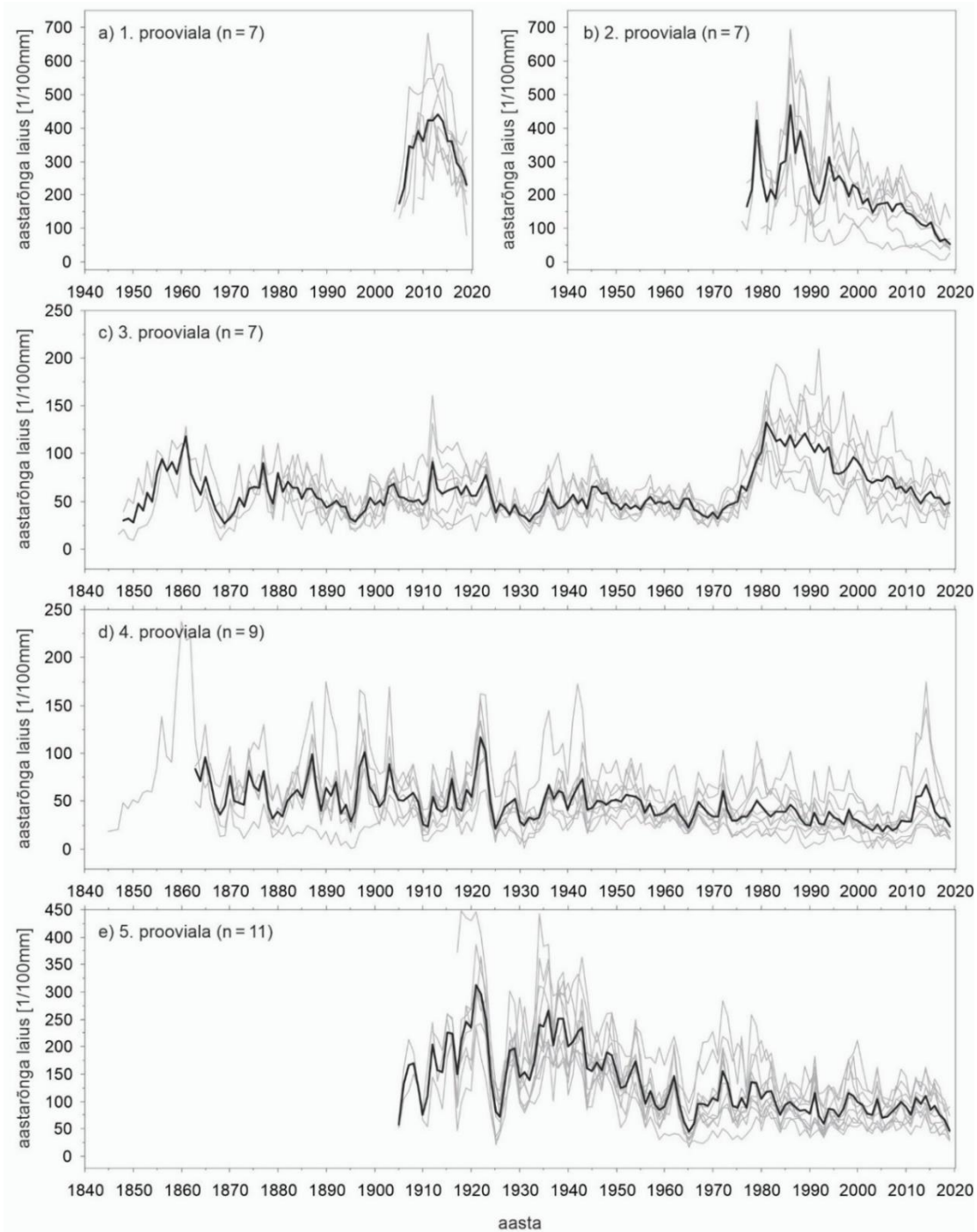
Esimeselt proovialalt saadud seitsme puu juurdekasvuread sünkroniseerusid omavahel ning keskmise kronoloogia kogupikkuseks on 15 aastat. Sealsel proovialal on puud hakanud kasvama peale turbakaevandamise lõppu 1990. aastatel looduslikult (ilma istutamata). Keskmine aastarõngalaius esimesel proovialal on 3,37 mm (joonis 4a). Esimeselt proovialalt kogutud kannuproovide juurdekasvuridu ei õnnestunud omavahel sünkroniseerida ja sellepärast neid edaspidises analüüsis ei kasutatud.

Teise prooviala keskmistatud kronoloogia koosneb seitsme puurproovi aastarõngaste juurdekasvureast ja on 43 aasta pikkune. Keskmine aastarõngalaius teisel proovialal on 2,06 mm. Antud proovialas on keskmine aastarõngalaius vähenenud alates 1990. aastatest (joonis 4b).

Kolmandalt proovialalt kogutud seitsme omavahel sünkroniseeritud ja seejärel keskmistatud kronoloogia pikkuseks on 172 aastat. Keskmine aastarõngalaius sealsel proovialal on 0,61 mm. Kolmandal proovialal kasvavate puude juures on iseloomulikuks aastarõngalaiuste suurenemine alates 1970. aastate keskpaigast 1980. aastate keskpaigani (joonis 4c).

Neljandalt proovialalt sünkroniseeriti ja keskmistati üheksa puu puurproovi juurdekasvuread. Saadud kronoloogia pikkuseks on 157 aastat ja keskmine aastarõngalaius neljandal proovialal on 0,47 mm. Antud proovialal on näha keskmiste aastarõngalaiuste suurenemist ajavahemikus 2011 – 2015 (joonis 4d).

Viiendalt proovialalt sünkroniseerusid omavahel üheteistkümne puu puurproovi juurdekasvuread, mis seejärel keskmistati. Saadud kronoloogia pikkuseks on 115 aastat ja keskmine aastarõngalaius on 1,31 mm. Üldkronoloogial on näha keskmiste aastarõngalaiuste kasvu 1930. ja 1970. aastatel, mille järel on näha stabiilset aastarõngalaiuste kahanemist. 1980. ja 1990. aastatel esinevad selged lühiajalised suuremate aastarõngalaiustega perioodid (joonis 4e).



Joonis 4. Proovialade aastarõngaste kronoloogiad (tumedad jooned) ning individuaalsete puude juurdekasvuread (heledad jooned).

3.2 Ilmastiku mõju

3.2.1 Temperatuuri mõju puude juurdekasvule

Esimese prooviala kohta dendrokliimaatilist analüüsi temperatuuriandmetega sealse kronoloogia lühiduse (15 aastat) tõttu läbi ei viidud.

Teise prooviala dendrokliimaatilise analüüsi ajalise ulatuse 1977–2019 määras sealse prooviala aastarõngakronoloogia pikkus. Temperatuuriandmetega võrreldi nii standardiseeritud kui standardiseerimata aastarõnga kronoloogiaid. Nii standardiseerimata (novembri $r = -0,334$, detsembri $r = -0,456$) kui standardiseeritud (novembri $r = -0,311$, detsembri $r = -0,327$) aastarõngakronoloogiatega ilmnemise statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid kasvuaastale eelneva novembri ja detsembri temperatuuridega. Samuti tuli korrelatsioonianalüüsist välja statistiliselt oluline seos kasvuaasta veebruari temperatuuriga ($r = -0,334$). Standardiseerimata aastarõngakronoloogiat analüüsides tulid esile statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid kasvuaasta augusti ja septembri temperatuuridega (august $r = -0,329$, sept $r = -0,489$) (joonis 5a).

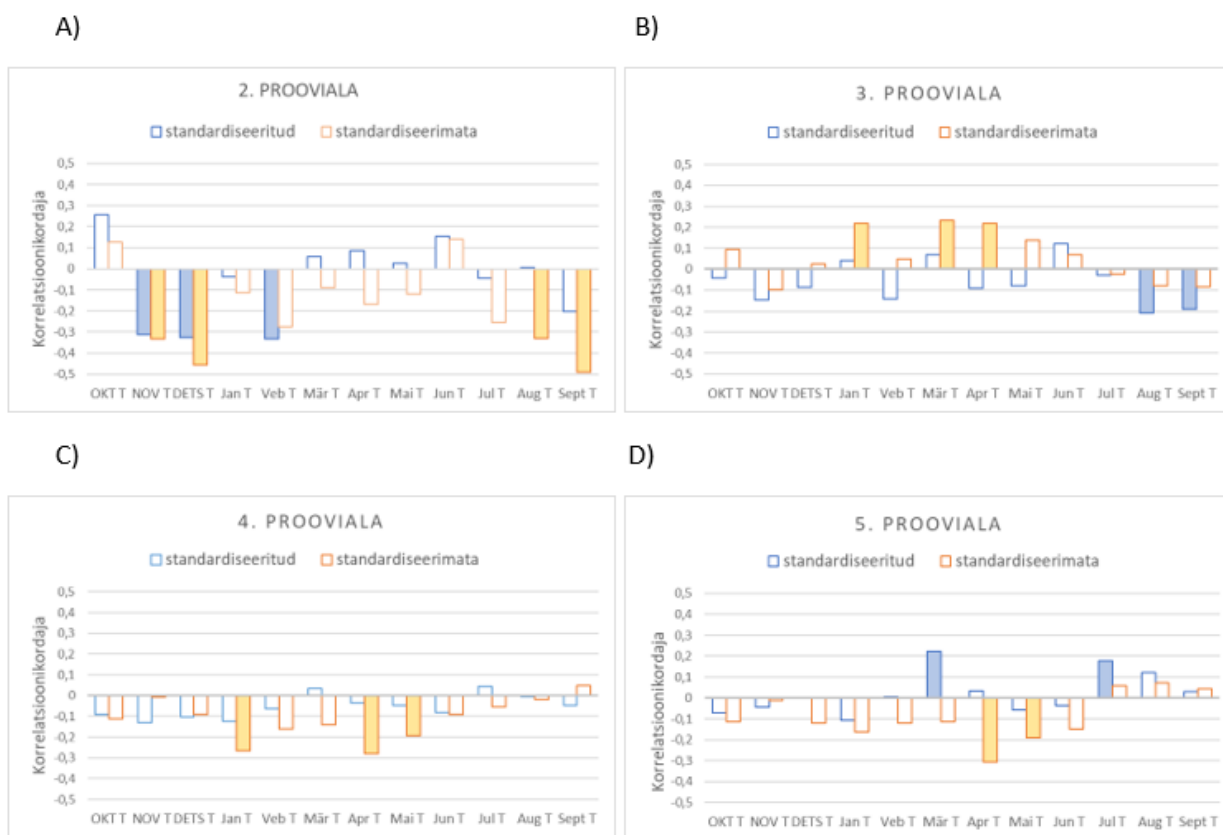
Kolmanda prooviala dendrokliimaatiline korrelatsioonianalüüs katab ajaperioodi 1923–2019. Statistiliselt olulised ja positiivsed seosed esinevad standardiseerimata juurdekasvu ning jaanuari ($r = 0,218$), märtsi ($r = 0,234$) ja aprilli ($r = 0,219$) temperatuuridega. Standardiseeritud kronoloogia kliimaandmetega võrdlemisel kaovad aga nende kuude mõjud ja esile tulevad statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid augusti ($r = -0,207$) ja septembri ($r = -0,192$) temperatuuridega (joonis 5b).

Neljanda prooviala dendrokliimaatiline korrelatsioonianalüüs katab perioodi 1923–2019. Standardiseeritud kronoloogia võrdlemisel temperatuuriandmetega ei esinenud ühegi kuu keskmise temperatuuriga statistiliselt olulist seost. Standardiseerimata kronoloogia ja kuu keskmiste temperatuuride vahel ilmnemise statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid jaanuari ($r = -0,264$), augusti ($r = -0,280$) ja mai ($r = -0,193$) temperatuuridega (joonis 5c).

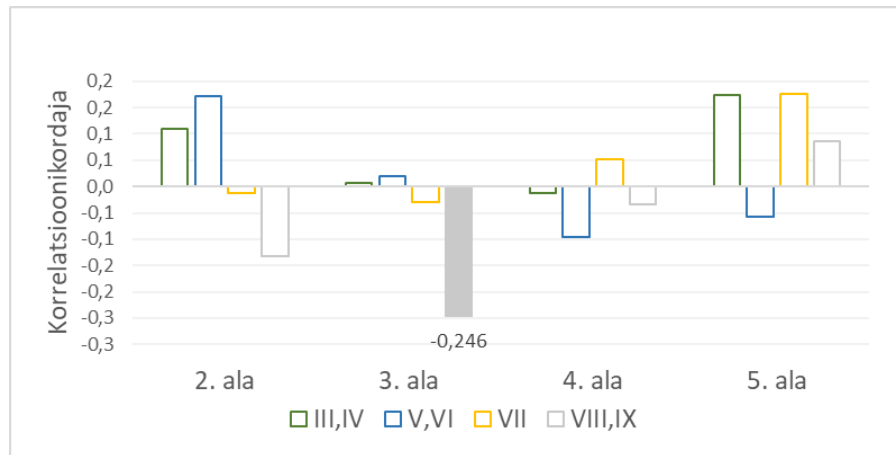
Viienda prooviala dendrokliimaatiline korrelatsioonianalüüs katab perioodi 1923–2019. Standardiseerimata kronoloogia ja temperatuuriandmete analüüsil tulevad esile statistiliselt olulised negatiivsed korrelatsioonid aprilli ($r = -0,307$) ja mai ($r = -0,191$) temperatuuridega. Standardiseeritud kronoloogia ja temperatuuriandmeid korreleerides olid statistiliselt olulise

positiivse väärtusega märtsi ($r = -0,277$) ja juuli ($r = 0,217$) temperatuurid (joonis 5d). Libiseva standardiseeritud aastarõngakronoloogia korrelatsioonanalüüsist võib näha, et märtsi ja juuli statistiliselt olulised tulemused on aja jooksul oma olulisuse kaotanud (lisa 5).

Lisaks arvutati liidetud kuude (märts–aprill, mai–juuni, august–september) keskmise temperatuuri ja eri proovialade keskmiste juurdekasvuridade omavaheline korrelatsioon. Liidetud kuude tulemustest tuli esile statistiliselt oluline negatiivne korrelatsioon kolmanda prooviala juurdekasvu ning augusti–septembri keskmise temperatuuriga ($r = -0,246$) (joonis 6).



Joonis 5. Proovialade standardiseeritud ja standardiseerimata aastarõngakronoloogiate ja kuu keskmiste temperatuuride omavaheline korrelatsioon kasvuaastale eelnenud oktoobrist kasvuaasta septembrini. Täidetud tulbad näitavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).



Joonis 6. Liidetud kuude keskmiste temperatuuride ja rabamändide aastarõngalaiuste omavaheline korrelatsioon. Täidetud tulbad näitavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).

3.2.2 Sademete mõju puude juurdekasvule

Esimese prooviala kohta dendrokliimaatilist analüüsi sademete andmetega aastarõngalaiuste kronoloogia lühiduse (15 aastat) tõttu läbi ei viidud.

Teise prooviala dendrokliimaatilise korrelatsioonianalüüsi sademetega ajalise ulatuse määras sealse prooviala aastarõngakronoloogia pikkus 1977–2019. Standardiseeritud aastarõngakronoloogiaga ja sademete vahel esinenud ühtegi statistiliselt olulist seost. Standardiseerimata kronoloogiaga aga esinesid statistiliselt olulised positiivsed seosed juuli ($r = 0,407$) ja septembri ($r = 0,306$) sademetega (joonis 7a).

Kolmanda prooviala dendrokliimaatilise korrelatsioonianalüüsi ajaline ulatus oli 1946–2019. Standardiseerimata kronoloogia ja sademeterea korreleerimisel tuvastati statistiliselt olulised positiivsed seosed jaanuaris ($r = 0,289$) ja märtsis ($r = 0,234$). Standardiseeritud kronoloogiaga analüüsides tuli esile statistiliselt oluline negatiivne seos juuli ($r = 0,272$) sademetega. Nii standardiseerimata kui standardiseeritud kronoloogia ning aprilli sademete vahel ilmnes statistiliselt oluline negatiivne seos (vastavalt $r = -0,230$ ja $r = -0,169$) (joonis 7b).

Neljanda prooviala dendrokliimaatilise korrelatsioonianalüüsi sademete andmetega ajaline ulatus oli 1946–2019. Standardiseeritud kronoloogia ja sademete vahel ilmnes statistiliselt oluline positiivne korrelatsioon juunikuus ($r = 0,255$). Nii standardiseeritud kui standardiseerimata kronoloogia ja aprilli sademete vahel esines positiivne ja statistiliselt oluline korrelatsioon

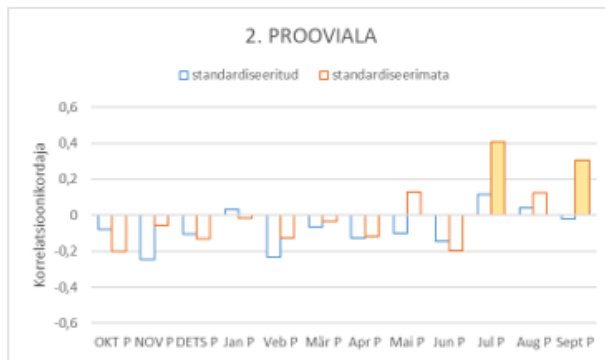
(vastavalt $r = 0,247$ ning $r = 0,246$) (joonis 7c). Neljanda prooviala libiseva korrelatsioonanalüüsi (lisa 4) tulemusi vaadates võib näha, et ajas on nõrgenemas positiivne seos standardiseeritud juurdekasvu ja aprilli sademete vahel ning on tugevnenud seos juuni sademetega.

Viienda prooviala dendrokliimaatilise korrelatsioonanalüüsi ajaline ulatus oli 1946–2019. Standardiseerimata kronoloogial analüüsil ilmnes statistiliselt oluline ja negatiivne seos jaanuari ($r = -0,277$) sademetega ja statistiliselt oluline positiivne seos aprilli ($r = 0,217$) sademetega. Standardiseeritud aastarõngakronoloogia võrdlusel sademetega tulid tugevalt esile positiivsed statistiliselt olulised seosed juunis ($r = 0,556$) ja augustis ($r = 0,410$) (joonis 7d).

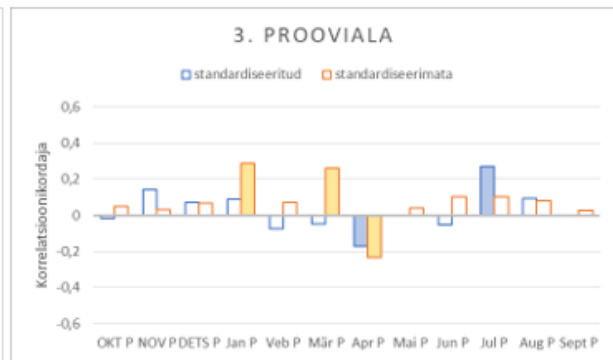
Libisevat standardiseerimata kronoloogial korrelatsioonanalüüsist (lisa 5) on näha, et positiivne statistiliselt oluline seos juuni sademetega on olnud ajas püsiv ning sama seos augusti sademetega on saanud statistiliselt oluliseks pigem vaatlusperioodi lõpuosas.

Liidetud kuu sademete ja eri proovialade keskmiste juurdekasvuridade analüüsi tulemuseteks olid statistiliselt olulised positiivsed korrelatsioonid neljandal ja viiendal proovialal märtsi ja aprilli sademete (vastavalt $r = 0,237$ ja $r = 0,265$) ning mai ja juuni sademetega (vastavalt $r = 0,238$, ja $r = 0,489$). Samuti on näha statistiliselt olulist positiivset korrelatsiooni viienda prooviala keskmiste aastarõngalaiuste ning augusti ja septembri liidetud sademete hulga vahel ($r = 0,407$) (joonis 8).

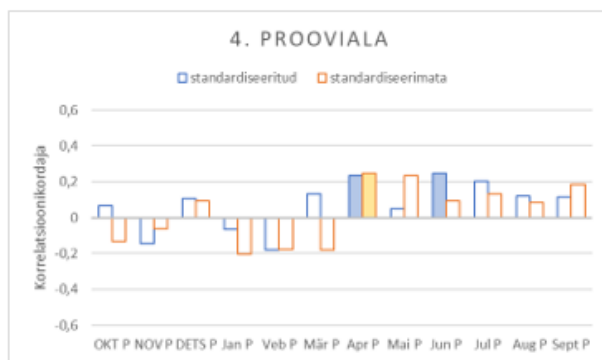
A)



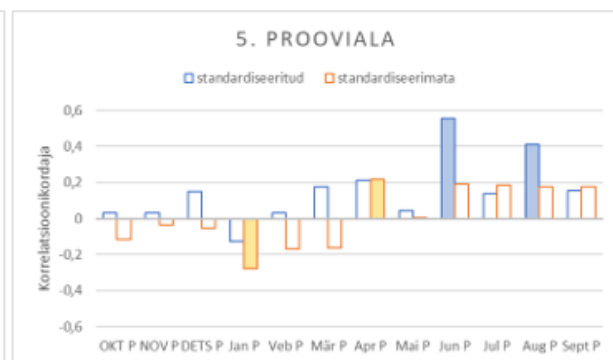
B)



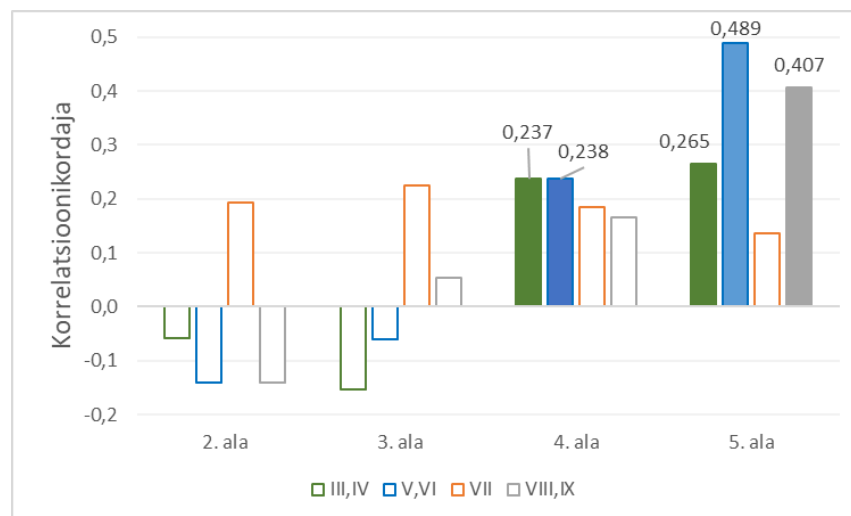
C)



D)



Joonis 7. Proovialade standardiseeritud ja standardiseerimata aastarõngakronoloogiate ja kuude sademetehulga korrelatsioon kasvuaastale eelnenud oktoobrist kasvuaasta septembrini. Täidetud tulbad tähistavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).



Joonis 8. Liidetud kuude keskmiste sademetehulkade ja aastarõngalaiuste korrelatsioon. Täidetud tulbad näitavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).

3.2.3 Ilmastiku mõju puude juurdekasvule enne ja peale kuivendust

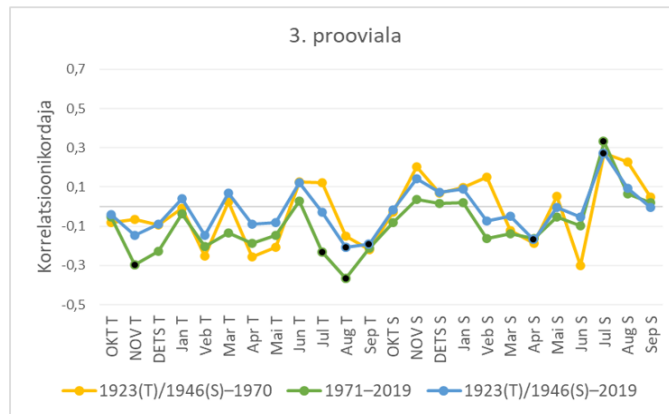
Programmis DENDROCLIM2002 korreleeriti kolmanda, neljanda ja viienda prooviaala aastarõngalaiuste kronoloogiaid temperatuuri ning sademete andmetega enne ja peale kuivendust ehk perioodidel 1923(T)/1946(S)–1970 ning 1971–2019. Seejärel võrreldi saadud korrelatsioone omavahel.

Tulemustest on näha, et kuivenduse tõttu on kolmandal proovialal juuli ja augusti temperatuuride mõju muutunud varasemast statistiliselt oluliseks ja negatiivseks (enne kuivendust juuli $r = 0,121$ ja peale kuivendust $r = -0,233$; enne kuivendust augusti $r = -0,150$ ja peale kuivendust $r = -0,365$). Samuti on kuivenduse mõjul statistiliselt oluliseks saanud juuli sademete mõju (enne $r = 0,273$ ja peale $r = 0,331$) (joonis 9a).

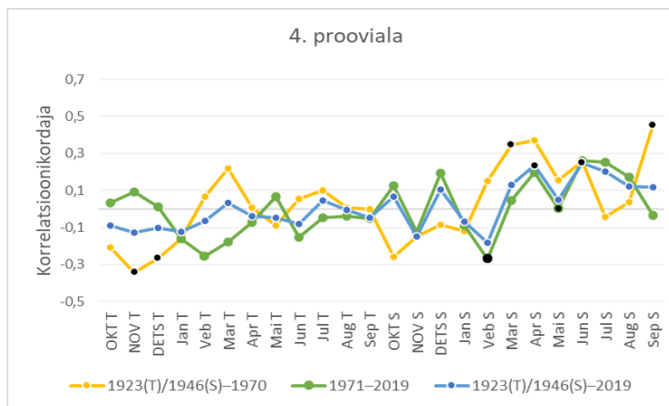
Neljanda prooviaala tulemustest on näha, et enne kuivenduse algust on statistiliselt olulist negatiivset mõju avaldanud kasvuaastale eelneva novembri ja detsembri temperatuurid (vastavalt $r = -0,343$ ja $r = -0,265$). Peale kuivendust on korrelatsioonid nõrgalt positiivsed, kuid statistiliselt ebaolulised. Samuti on kuivendamine vähendanud märtsi sademete mõju (enne kuivendust $r = 0,347$; peale kuivendust $r = 0,0438$). Samuti on kuivendamise järgselt vähenenud teiste kevadkuude sademete mõju neljanda ala mändide juurdekasvule (aprill enne kuivendust $r = 0,370$ ja peale kuivendust $r = 0,196$; mai enne $r = 0,153$ ja pärast $r = 0,003$). Tunduvalt on vähenenud ja muutnud korrelatsiooni suunda ka septembri sademete mõju juurdekasvule (enne kuivendust $r = 0,454$ ($p < 0,05$) ja peale kuivendust $r = -0,036$) (joonis 9b).

Viiendal proovialal ilmnevad suurimad muutused aastarõngakronoloogiate ja temperatuurinäitajate omavahelistes seostes jaanuaris ja märtsis (vastavalt jaanuar enne kuivendust $r = -0,007$ ja peale $r = -0,277$ ($p < 0,05$) ning märts enne kuivendust $r = 0,335$ ($p < 0,05$) ja peale kuivendust $r = 0,085$). Juuni ja augusti kuu sademete mõjud on mõlemal ajaperioodil statistiliselt olulised ja positiivsed (juuni enne kuivendust $r = 0,458$ ja peale kuivendust $r = 0,606$; augusti eelnevalt $r = 0,478$ ja peale $r = 0,385$) (joonis 9c).

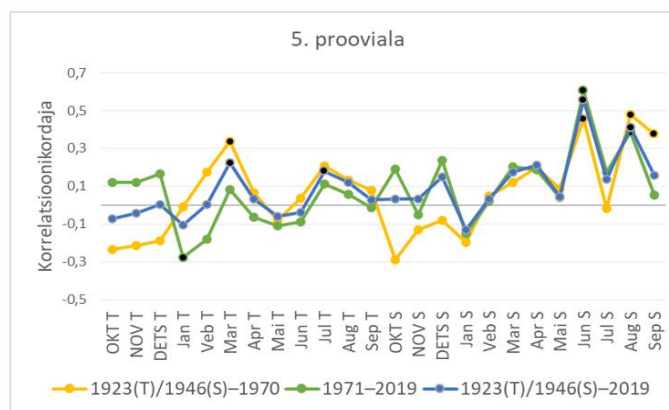
A)



B)



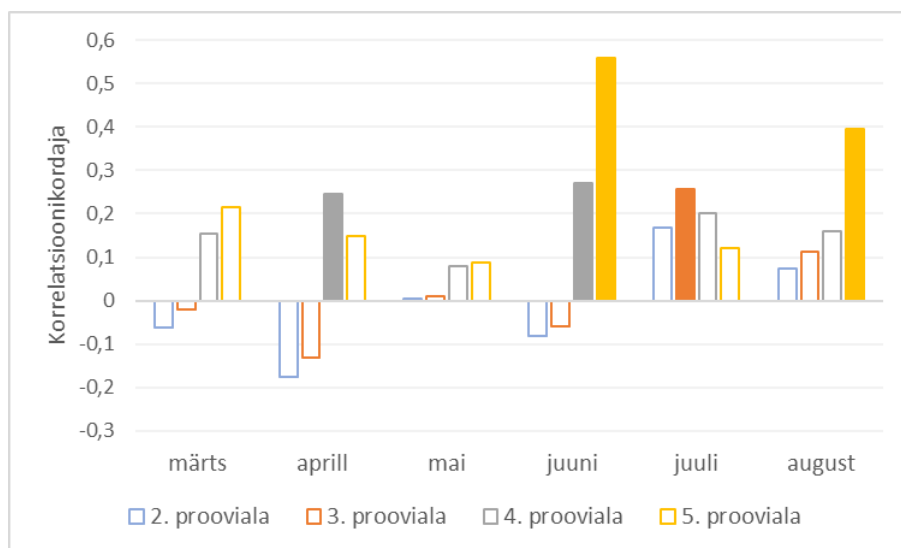
C)



Joonis 9. Proovialade aastarõngaste kronoloogiate korrelatsioonid temperatuuride (T) ja sademetega (S) kasvuaastale eelnenud oktoobrist kasvuaasta septembrini enne ja peale kuivendust ning kogu vaatlusperioodi jooksul. Mustad täpid tähistavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).

3.2.4 Põua ja sademete rohkuse mõju puude juurdekasvule

Võrreldes aastarõngalaiuste kronoloogiad SPEIP1 väärtustega (SPEIP1 tähistab indeksi arvutamist ühe kuu kohta (Jaagus et al. 2021)) tulevad esile statistiliselt olulised positiivsed seosed. Analüüsi ajaliseks pikkuseks oli teisel proovialal 1976–2018 ja teistel proovialadel 1949–2018. Teise prooviala rabamändide juurdekasvu ja põuasuse indeksi vahel ei esinenud statistiliselt olulisi seoseid. Kolmanda prooviala puude juurdekasvu ja juulikuu SPEIP1 indeksi vahel esineb statistiliselt oluline positiivne seos ($r = 0,256$, $p < 0,05$). Neljanda prooviala puude aastarõngalaiuste ja kuude põuasuse indeksi vahel esinesid statistiliselt olulised positiivsed seosed aprillis ja juunis (vastavalt $r = 0,245$ ja $r = 0,271$, $p < 0,05$). Viiendal proovialal ilmnesid statistiliselt olulised seosed aastarõngalaiuste ning juuni ja augusti põuasuse indeksi vahel (vastavalt $r = 0,557$ ja $r = 0,396$, $p < 0,05$). Kui vaadata lisas 5 välja toodud proovialade keskmiste aastarõngakronoloogiate ja aastaseid põuaindekseid tuleb samuti esile viienda prooviala vastavate aegridade sarnane käik. Seos teiste alade näitajate vahel ei ole nii selge.



Joonis 10. Proovialade aastarõngakronoloogiate ja SPEIP omavahelised korrelatsioonid märtsist augustini. Täidetud tulbad tähistavad statistiliselt olulisi seoseid ($p < 0,05$).

4. Arutelu ja järeldused

Teise prooviala keskmistatud aastarõngalaiuste kronoloogia ja ülejäänud proovialade kronoloogiate vahel ei ilmne suurt sarnasust (joonis 11). Sealsel proovialal kasvavate puude aastarõngalaiused on olnud langustendentsis alates 1990. aastatest, mis kattub endise turbakaevandusala mahajätmise ja veetaseme langetamise lõpuga. Varasemad uuringud on leidnud, et veetaseme tõustes langeb puude iga-aastane radiaalne juurdekasv (Linderholm et al. 2002, Edvardsson et al. 2016, Tamkevičiūtė et al. 2018). Samuti on kronoloogiast näha 2013. aastal kobraste poolt ala üleujutamise tõttu tingitud puude juurdekasvu vähenemine (joonis 4b). Teise prooviala standardiseeritud ja standardiseerimata aastarõngakronoloogiate dendrokliimaatilise analüüsi tulemuste erinevus (joonis 5a) on põhjendatav kuivenduse mõjuga. Prooviala asus endise kaevandusala kõrval ja seetõttu oli ta ka oodatult väga tugevasti mõjutatud kaevandamisega seotud kuivendamisest. Standardiseerimise käigus eemaldatakse kronoloogiast trendid. Kui põhiliseks trendiks on olnud kuivenduse mõju, siis trendi eemaldamisel kaovad ka sellele viitavad korrelatsioonid. Tulemuste põhjal saab öelda, et teise prooviala kasvutingimused olid enim mõjutatud kuivendamisest, kuid rolli mängisid ka kasvuperioodile eelnenud kuude temperatuurid (november, detsember), kuid ka augusti ja septembri temperatuur (joonis 5a). Ka hüdroloogiliselt sarnaseid kuid omavahel liites ei ilmne teisel proovialal ilmastikutingimuste suuremat mõju sealsete mändide juurdekasvule (joonis 6).

Kolmanda prooviala aastarõngaste kronoloogia näitab keskmiste aastarõngalaiuste suurenemist 1970. aastate keskpaigast 1980. aastateni. Sellist radiaalse juurdekasvu suurenemist on tinginud veetaseme langetamine 150 kuni 200 meetri kaugusel asuval turbakaevandamise alal. Pärast seda on märgata stabiilset keskmiste aastarõngalaiuste kahanemise tendentsi, mis kattub endise kaevandusala maha jätmise ja selle loomuliku taastumisega (joonis 4c). Prooviala aastarõngakronoloogiate analüüsil kliimaandmetega saadud mõneti erinevad tulemused on samuti põhjendatavad standardiseerimisel kaduva kuivendamine trendi mõjuga (joonis 9b). Samas viitab püsiv samasuunaline ja statistiliselt oluline korrelatsioon selle prooviala mändide kasvu seotusele aprilli sademetega (joonis 7b). Juuli sademete positiivne mõju ja sealsete mändide juurdekasvule (joonis 7b) on kolmandal proovialal ühine ühe Dauškane et al. (2011) uuringus olnud proovialaga.

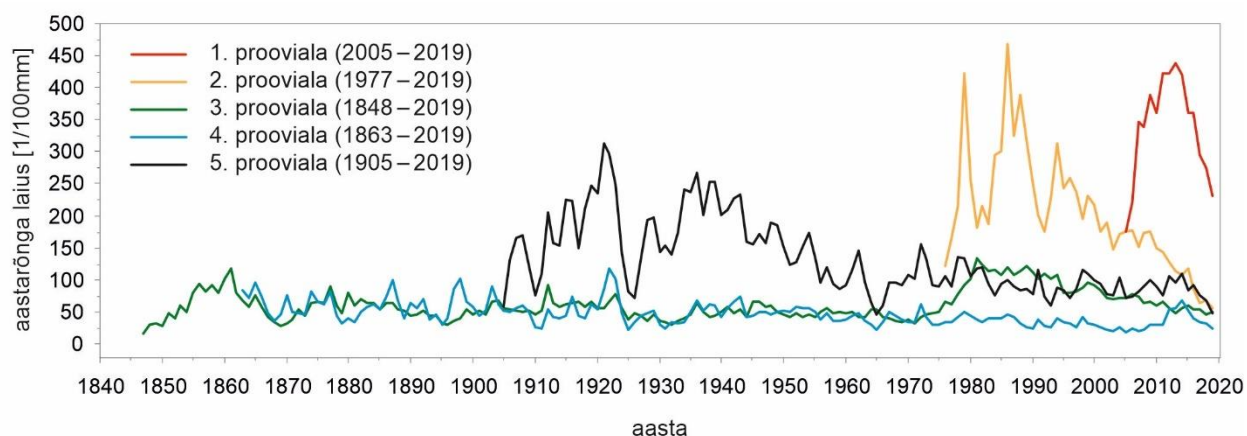
Neljas prooviala, mis asub uuritava jääksoo kõige niiskemas osas, ei ole eelduste kohaselt mõjutatud veetaseme muutustest turbakaevanduslal, vaid kajastab kliimaatiliste muutujate

mõjusid. Sealse ala juurdekasvurõngaste kronoloogia näitab vaadeldaval ajal ühtlast puude juurdekasvu, erandiga ajavahemikus 2011–2015. Selle ajaperioodi keskmiste aastarõngalaiuste kasvu saab põhjendada keskmisest soojemate aastatega (Kotta et al. 2018) (joonis 4d). Prooviala aastarõngalaiuste ja ilmastiku andmete võrdlemine kinnitab eeldust, et alal kasvavad puud on kõige vähem mõjutatud nii veetaseme muutustest endisel turbakaevanduse alal kui lähedal asuvast Kivijärvest (joonis 5c). Neljas prooviala käitub loodusliku alana ja sealsete mändide juurdekasvu mõjutavad positiivselt aprilli sademed. Sarnaseid seoseid aprilli sademete mõjuga on varasemalt leidnud ka Dauškane et al. (2011) uurides Läti rabamände. Kui võrrelda sademete mõju prooviala mändidele kahel ajaperioodil (enne 1970. aastat ja pärast 1971. aastat), on näha sademete olulisuse vähenemist ning kasvuaastale eelneva novembri ja detsembri temperatuuri mõju vähenemist ja suuna muutust (joonis 9b).

Viiendal proovialal, mis asub endisest kaevandusalaist kõige kaugemal ning Kivijärve vahetus läheduses, oli näha mõjutusi juurdekasvule, mis tulenesid veetaseme muutustest järves. Kivijärve veetaset on tugevalt alandatud kahel korral. Esimesel korral aastatel 1928–1929 ja teisel korral 1973. aastal. 1928.–1929. aastate veetaseme langetamise (ühe meetri võrra) mõju on kronoloogias näha järsu keskmiste aastarõngalaiuste kasvu ja peale seda stabiilset aastarõngalaiuste kahanemise (1930. aastatel) näol (joonis 4e). Hilisem aastarõngalaiuste kahanemine on seletatav puude šokiga selle muutuse suhtes. Väiksemad lühiajalised keskmiste aastarõngalaiuste tipud 1970. ja 1980. aastatel on tingitud sekundaarsetest kuivendustest ja väetiste ekstensiivsest kasutusest ümbruses asuvatel põldudel (Sults 2003) (joonis 4e). Prooviala kronoloogiaid ja ilmastiku andmeid omavahel võrreldes selgub, et viies prooviala käitub pigem loodusliku alana ning on enim mõjutatud suveperioodi alguse sademeist (joonis 8). Sarnaselt Dauškane et al. (2011) uuringuga tuleb ka viiendas proovialas esile juuli temperatuuri positiivne mõju mändide juurdekasvule (joonis 5d). Juuni ja augusti sademete mõju mändide kasvule ei muutu oluliselt ka järve veetaseme alandamisel peale 1973. aastat (joonis 9c). Võrreldes selle prooviala puude aastarõngalaiuseid SPEIP indeksi väärtustega (joonis 10 ning lisad 5 ja 6) ilmneb nende aeGRIDade sarnane käik. Tulemus võib viidata rabamändide kasvu suurele sõltuvusele õhuniiskusest. Rabas kui muidu liigniiskes keskkonnas võib temperatuuri tõustes puud jääda füsioloogilise põua kätte. Kui aasta on keskmisest niiskem, siis on selle võimalus väiksem ja ka puude aastane juurdekasv on selle võrra parem.

Võrreldes kõigi proovialade kronoloogiaid on näha, et suurim kattuvus esineb kolmanda ja neljanda prooviala aastarõngalaiuste vahel (joonis 11). Suuremad erinevused nende kahe kronoloogia vahel algavad 1970. aastate keskelt, mis ühtib veetaseme langetamisega endisel turbakaevandusalal. Veetaseme langetamine turba kaevandamise eesmärgil mõjutas veetaset ka kolmandal proovialal ja selle tulemusel suurenes puude aastane juurdekasv.

Kolmanda, neljanda ja viienda prooviala keskmistatud aastarõngalaiuste kronoloogiatel on kõigil näha sarnast kiiret juurdekasvu suurenemist ja seejärel selle järsku langust 1920. aastatel (joonis 11). Selle muutuse põhjusteks saab pidada kliმაatilisi tingimusi ning viiendal proovialal on muutuse tinginud 1928. aasta veetaseme langetamine ühe meetri võrra lähedal asuvas Kivijärves. Kõigil viiel proovialal saab täheldada aastarõngalaiuste ühtlast kahanemist viimastel aastatel. Aastarõngalaiuste kahanemine on aga märgatavalt suurem aladel, mis olid rohkem mõjutatud endisel kaevandusalal toimunud veetaseme muutustest.



Joonis 11. Proovialade mändide keskmised aastarõngalaiuste kronoloogiad.

Nagu ka mitmetes varasemates uuringutes tuleb ka selles töös esile suured erinevused proovialade kasvutingimuste ja ilmastikutingimuste omavahelistes seostes. Edvardsson et al. 2015. aasta töö toob välja, et sealsetes rabamuldadel kasvavatel mändidel ilmnevad nõrgad seosed juurdekasvude ja ilmastikutingimuste vahel. Sama toob esile ka Cedro ja Soteki 2016. aastal ilmunud uuring. Dauškane et al. 2011. aasta töö leidis, et Läti rabamändide kasvu ja aastarõngalaiuste vahel esines positiivset korrelatsiooni juuni ja juuli temperatuuriga ja osadel uuringualadel esinesid seosed augusti ja septembri temperatuuriga. Veebruari ja märtsi madalamate temperatuuridega ilmnesisid

olenevalt proovialast nii positiivseid kui ka negatiivseid korrelatsioone ja osadel proovialadel ilmnemist positiivsed korrelatsioonid veebruari, aprilli, mai ja juuli sademetega (Dauškane et al. 2011). Käesolev töö leidis sarnaseid tulemusi kolmandal ja viiendal proovialal, kus kolmanda prooviala puude juurdekasvu mõjutab positiivselt juuli sademed ja viienda prooviala puude kasvu mõjutab positiivselt juuli temperatuur.

Töö alguses püstitatud hüpoteesidest sai töö käigus kinnitatud esimene ja kolmas hüpotees. Teine hüpotees osutus ebatäpseks, kuna kolmandal proovialal mõjutasid puude juurdekasvu nii ilmastikutingimused kui ka kuivendamine. Ilmastikutingimustest mängisid sealsel proovialal suurimat rolli aprilli ja juuli sademed ning augusti ja septembri temperatuurid. Samuti tuli juurdekasvukronoloogias esile aastarõngalaiuste suurenemine alates 1970. aastatest, mis langeb kokku turbakaevandamise ja kuivenduse algusega.

Samuti viitavad käesoleva uuringu tulemused, et Lehtmetsa soos kasvavate mändide kasv reageerib kiiremini veetaseme langemisele kui selle tõusule, kuid see aspekt vajab edaspidiseid uuringuid.

5. Kokkuvõte

Lehtmetsa soo on väga eriilmeline. Põhjast piirab uuritavat ala endine turbakaevandusala, kus turba kaevandamiseks ajavahemikul 1969–1996 alandati tugevalt sealset veetaset pinnases. Lõunast piirab uurimisala Kivijärv, mille veetaset on sammuti kahel korral märkimisväärselt alandatud (aastatel 1928–1929 ja 1973). Töö eesmärkideks oli analüüsida veerežiimi häiringute ning ilmastikutingimuste mõjusid rabamändide radiaalsele juurdekasvule mööda veetaseme gradienti viiel proovialal. Selleks koguti rabamändide puurproovid, millelt mõõdeti aastarõngalaiused. Koostatud juurdekasvukronoloogiaid võrreldi nii turbakaevandustegevuse kui ka temperatuuri, sademete ning põuasuse andmetega.

Kokkuvõtvalt saab Lehtmetsa soo mändide kasvu ja sealsete proovialade kohta öelda, et sealsete mändide juurdekasvud olid tugevalt mõjutatud turbakaevandamisega kaasnevast veetaseme langusest, seda nii kuivenduskraavi vahetus läheduses kui ka sellest kuni 150 meetri kaugusel (vastavalt teisel ja kolmandal proovialal). Nende proovialade aastarõngakronoloogiatel on näha keskmiste aastarõngalaiuste suurenemist 1970. aastatel, mis on põhjendatav lähedalasuva kuivendatava ala mõjuga. Peale suurt aastarõngalaiuste tõusu sumbub see vaikselt. Endisest turbakaevandusosalast kaugemad neljas (aladest kõige niiskem) ja viies prooviala käitusid nagu looduslikud soolad, kusjuures viiendal proovialal ilmnesid lühiajalised reageeringud järve veetaseme suurtele muutustele. Aastarõngakronoloogiate omavahelisel võrdlusel osutusid kõige sarnasemaks kolmas ja neljas prooviala. Lahknevus nende kronoloogiate sarnasuses algab 1970. aastate keskpaigast ja on selgitatav kolmanda prooviala puude kasvu mõjutava turbakaevandusala veerežiimi muutusega.

Üksteisele geograafiliselt lähedal asuvad proovialad erinevad Lehtmetsa soos märkimisväärselt. Dendrokliimaatilise analüüsi tulemused viitavad soo enda tugevale hüdrooloogilisele survele rabamändide kasvu formeerumisel. Kõigi proovialade aastarõngakronoloogiates täheldati kuivenduse järgsel ajal mõningaid muutusi võrreldes kuivenduse eelse perioodiga, kuid need muutused on proovialati erinevad. Proovialade aastarõngakronoloogiate ja kliimaandmete analüüsil võib näha, et eri proovialade puude juurdekasvu mõjutavad erinevad ilmastikutegurid eri ajal. Kui kolmanda prooviala mändide juurdekasv oli mõjutatud aprilli ja juuni sademetest ning augusti ja septembri temperatuuridest, siis neljandal proovialal mõjutasid mändide juurdekasvu

vaid aprilli ja juuni sademed. Viiendal proovialal mõjutasid mändide juurdekasvu jällegi nii sademed kui ka temperatuur, vastavalt juuni ja augusti sademed ja märtsi ning juuli temperatuurid.

Töö tulemustest ilmneb, et Lehtmetsa soos kasvavate mändide kasv reageerib kiiremini veetaseme langemisele kui selle tõusule, kuid see aspekt vajab veel edaspidiseid uuringuid.

6. Summary

Effect of water level change and weather on radial increment of

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Lehtmetsa Bog

Kärt Erikson

The Master's thesis had three main objectives. The first one was to create tree-ring chronologies of pine trees from different areas of the Lehtmetsa Bog. The second aim was to analyse the chronologies with climate data, and the third objective was to see the effect of anthropogenic water level changes on the increment of Scots pines.

The Lehtmetsa Bog is located in central Estonia. On the northern border of the study area lies an old peat extraction site (active from 1969 to 1996) and on the southern border there is Lake Kivijärv, a lake that has had its water level lowered twice. Diverse study sites were chosen along a gradient of water table. Tree-ring samples from five different study sites were measured, dated and analysed.

The first study site was located directly at the former peat extraction site. The second was located right next to it. The third was at the distance of about 150 meters from the former peat extraction site. The fourth site was located in the most pristine part of the bog and the fifth was located near the southern part of the peatland near the bog lake. The first study site was not included in the analysis due to shortness of chronology (15 years). Length of chronologies at the different sites was the following: 43 years at the second site, 172 years at the third site, 157 years at the fourth site, and 115 years at the fifth site.

Chronologies from the third and fourth study site were the most similar. The differences between them started from the 1970s and coincided with the start of the peat extraction, influencing tree growth in the third study site. The second and the third study site were mostly influenced by the changes in the water level in the former peat extraction area, but the third site was also influenced by weather. The fourth study site acted like a natural site and the area was mostly influenced by April and June precipitations. The fifth study site was also mostly influenced by weather but it also showed an increase of tree growth after lowering the water level of the nearby lake Kivijärv. This

work showed that geographically close sample plots differed from each other significantly. Correlations between tree growth and climatic variables varied greatly by study site. The growth of pines at the third study site was influenced by precipitation in April and June and temperatures of August and September. In contrast, the fourth study site tree-ring growth was only influenced by precipitation of April and June. The fifth study site was again influenced by both temperature and precipitation, respectively from March, July, June and August.

There were some similarities between previous work on peatland pines in Latvia and results from this study, like correlation between tree-ring growth at study site five and precipitation in June and temperature in July. But as mentioned in the previous paragraph, there were also a lot of differences in the results that do not occur in previous works and can be explained by peatlands own strong hydrological pressure on tree-ring growth and anthropogenic changes on water level and therefore change in their growth patterns. Previous studies have also shown that Scots pine growth on peatlands is strongly influenced by local factors.

Tänuavaldused

Soovin tänada oma juhendajaid Alar Läänelaidu, Kristina Soharit ja Ain Kulli, kes olid kogu töö kirjutamise aja äärmiselt koostööaltid ja kellela poleks töö valmimine võimalik olnud. Tänan neid konstruktiivse tagasiside, tulemuste mõtestamise ja tehniliste nõuannete eest.

Kirjandus

- Baillie, J.C.G., Pilcher, J.R.,** 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33:7–14.
- Biondi, F., Waikul, K.,** 2004. DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences*, 30(3):303–311.
- Cedro, A., Lamentowicz, M.,** 2008. The Last Hundred Years - Dendroecology of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) on a Baltic Bog in Northern Poland: Human Impact and Hydrological Changes, *Baltic Forestry*, 14 (1): 2633.
- Cedro, A., Sotek, Z.,** 2016. Natural and Anthropogenic Transformations of A Baltic Raised Bog (Bagno Kusowo, North West Poland) in the Light of Dendrochronological Analysis of *Pinus sylvestris* L. *Forests*, 7(9): 202. <https://doi.org/10.3390/f7090202>
- Choi, W.-J., Chang, S.X., Bhatti, J.S.,** 2007. Drainage affects tree growth and c and n dynamics in a minerotrophic peatland. *Ecology*, 88(2): 443–453. [https://doi.org/10.1890/00129658\(2007\)88\[443:DATGAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/00129658(2007)88[443:DATGAC]2.0.CO;2)
- Cook, E.R., Holmes, L.R.,** 1986. A R S T A N Guide for computer program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona. Pp: 50–65.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A.,** 1990. Methods of Dendrochronology: applications in the environmental science. International Institute for Applied Systems Analysis. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Lk 104 -105. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0>
- Dauškane, I., Brumelis G., Elferts D.,** 2011. Effect of climate on extreme radial growth of Scots pine growing on bogs in Latvia. *Estonian Journal of Ecology*, 60: 236–248.
- Eckstein, D., Bauch, J.,** 1969. Beitrag zu Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zu Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 88:230–250.
- Edvardsson, J., Stoffel, M., Corona, C.,** 2016. CLIMPEAT: Climate and hydrology over the last 10,000 years – A story told by peat, pollen, and tree rings. *Peatlands International*, 2015:4, 32-35.

- Edvardsson, J., Rimkus, E., Corona, C., Šimanauskienė, R., Kažys, J., Stoffel, M., 2015.** Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant Soil*, 392, 345–356. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2466-9>
- Edvardsson, J., Baužienė, I., Lamentowicz, M., Šimanauskienė, R., Tamkevičiūtė, M., Taminskas, J., Linkevičienė, R., Skuratovič, Ž., Corona, C., Stoffel, M., 2019.** A multi-proxy reconstruction of moisture dynamics in a peatland ecosystem: A case study from Čepkeliai, Lithuania. *Ecological Indicators*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105484>
- Fritts, H.C., 1976.** Tree Rings and Climate. Academic Press. London.
- Grissino-Mayer, H.D., 2001.** Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2):205-221. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/251654>
- Holmes, R.L., 1983.** Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. – *Tree-Ring Bulletin*, 43: 69–78.
- Jaagus, J., Aasa, A., Aniskevich, S., Boincean, B., Bojariu, R., Briede, A., Danilovich, I., Castro, F.D., Dumitrescu, A., Labuda, M., et al. 2021.** Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe. *International Journal of Climatology*, 42: 225–249. <https://doi.org/10.1002/joc.7241>
- Karofeld, E., Jarašius, L., Priede, A., Sendžikaitė, J., 2016.** On the after-use and restoration of abandoned extracted peatlands in the Baltic countries. *Restoration Ecology*, 25(2). <https://doi.org/10.1111/rec.12436>
- Kotta, J., Herkül, K., Jaagus, J., Kaasik, A., Raudsepp, U., Alari, V., Arula, T., Haberman, J., Järvet, A., Kangur, K., Kont, A., Kull, A., Laanemets, J., Maljutenko, I., Männik, A., Nõges, P., Nõges, T., Ojaveer, H., Peterson, A., Reihan, A., Rõõm, R., Sepp, M., Suursaar, Ü., Tamm, O., Tamm, T., Tõnisson, H., 2018.** Linking atmospheric, terrestrial and aquatic environments in high latitude: Regime shifts in the Estonian regional climate system for the past 50 years. *PLoS ONE*, 13 (12), ARTN e0209568–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209568>

- Läänelaid, A., Eckstein, D.,** 2003. Development of a Tree-ring Chronology of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) for Estonia as a Dating Tool and Climatic Proxy. *Baltic Forestry*, 9 (2): 7682.
- Läänelaid, A., Sohar, K., Kull, A.,** 2014. Kuivenduse mõju ulatus Tellissaare rabas mändide jämeduskasvu järgi. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*. 111.
- Leibak, E.,** 2021. Sood Eestis ja Euroopas. In Leibak, E. (editor) *Soode kaitse ja taastamine*. Eestimaa Looduse Fond, Tartu, pp. 9-11.
- Linderholm, H.W., Moberg, A., Grudd, H.,** 2002. Peatland pines as climate indicators? A regional comparison of the climatic influence on Scots pine growth in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research*, 32. <https://doi.org/10.1139/x02-071>
- Lode, E., Sepp, K., Truus, L., Ilomets, M., Pajula, R.,** 2015. Korrastatavate jääksoode valik. Aruanne. Ökoloogia keskus Loodus- ja terviseteaduste Instituut, Tallinna Ülikool.
- Macdonald, S.E., Fengyou, Y.,** 2001. Factors influencing size inequality in peatland black spruce and tamarack: evidence from post-drainage release growth. *Journal of Ecology*, 87(3): 404–412. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00370.x>
- Metslaid, S.,** 2017. Assessment of Climate effects on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth in Estonia. *Eesti Maaülikool*. <http://doi.org/10.15159/emu.11>
- Metslaid, S.,** 2019. Erineva päritoluga hariliku kuuse populatsioonide kasvureaktsioon, vastupanu- ja taastumisvõime põua järgselt – dendrokronoloogiline analüüs. Lõpparuanne. <https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/6305/2018.a.%20projekt%20nr.%2015234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orru, M., Orru, H.,** 2008. Sustainable use of Estonian peat reserves and environmental challenges. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 57(2): 87–93. <https://doi.org/10.3176/earth.2008.2.04>
- Paal, J., Leibak, E.,** 2011. Estonian mires: inventory of habitats. Regio Ltd, Tartu: 173 p. https://issuu.com/elfond/docs/estonian_mires_inventory
- Paal, J., Leibak, E.,** 2013. Eesti soode seisund ja kaitstus. Tartu. https://issuu.com/elfond/docs/eesti_sood_seisund_ja_kaitstus

Pepin, S., Plamondon, A.P., Britel, A., 2002. Water relations of black spruce trees on a peatland during wet and dry years. *Wetlands*, 22(2): 225–33.

Punttila, P., Autio, O., Kotiaho, J.S., Kotze, D.J., Loukola, O.J., Noreika, N., Vuori, A., Vepsäläinen, K., 2016. The effects of drainage and restoration of pine mires on habitat structure, vegetation and ants. *Silva Fennica*, 50(2). <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1462>

Ramsari konventsioon, 1971.

https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_text_e.pdf.

Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L., 2006. Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 2. etapp. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond. (Revision of abandoned peat production areas in Estonia. Stage 2. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva and Tartu counties) OÜ Eesti Geoloogiakeskus, rakendusgeoloogia ja maavarade osakond.

Rinn, F., 2003. TSAP-Win. Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. Version 0.53 for Microsoft Windows. User Reference. Rinntech Heidelberg, Heidelberg.

Sarvas, R., 1972. Investigations on the annual cycle of development of forest trees. Active period. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*, 76: 1–110.

Schweingruber, F.H., 1996. Tree rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt

Sibul, I., 2014. Männi üldiseloomustus. Mänd Eestis. Koostaja ja toimetaja: Malle Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool. Valli Press OÜ. Lk 41-49.

Smiljanić, M., Seo, J-W., Läänelaid, A., Van der Maaten-Theunissen, M., Stajić, B., Wilmking, M., 2014. Peatland pines as a proxy for water table fluctuations: Disentangling tree growth, hydrology and possible human influence. *Science of The Total Environment*, 500–501: 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.056>.

Sults, Ü., 2003. Rohke- ja liigtoitelisus: veekogude loomuliku vananemise kiirendaja. Käsiraamat eutrofeerumise mõjudest pinnaveekogudele. (Nutrient rich Eutrophication and over-nutrient hypertrophication: accelerator of natural aging of water bodies. Handbook on the effects of eutrophication on surface waters). Peipsi Koostöö Keskus, Tartu: 32p.

Taminskas, J., Edvardsson, J., Linkevičienė, R., Stoffel, M., Corona, C., Tamkevičiūtė, M., 2019. Combining multiple proxies to investigate water table fluctuations in wetlands: A case study from the Rėkyva wetland complex, Lithuania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.11.004>

Tamkevičiūtė, M., Edvardsson, J., Pukienė, R., Taminskas J., Stoffel, M., Corona, C., Kibirkštis, G., 2018. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based reconstruction of 130 years of water table fluctuations in a peatland and its relevance for moisture variability assessments. *Journal of Hydrology*, 558. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.067>

Vasander, H., Tuittila, E.-S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkänen, M.-L., Laine, J., 2003. Status and restoration of peatlands in northern Europe.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., Lopez-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, 1696–1718.

Internetiallikad

e-elurikkus. <https://elurikkus.ee/bie-hub/species/6318>. (Viimati vaadatud 02.11.2021)

Eesti Entsüklopeedia, Kivijärv, <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/kivij%C3%A4rv> (Viimati vaadatud 19.05.2022)

Eesti Turbauuringute Andmebaas. Kivijärve turbaala. <https://turba.geoloogia.info/turbaala/52>. (Viimati vaadatud 12.01.2022)

Gardner, M., 2013. *Pinus sylvestris*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2013: e.T42418A2978732. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42418A2978732.en> (Viimati vaadatud 25.04.2022)

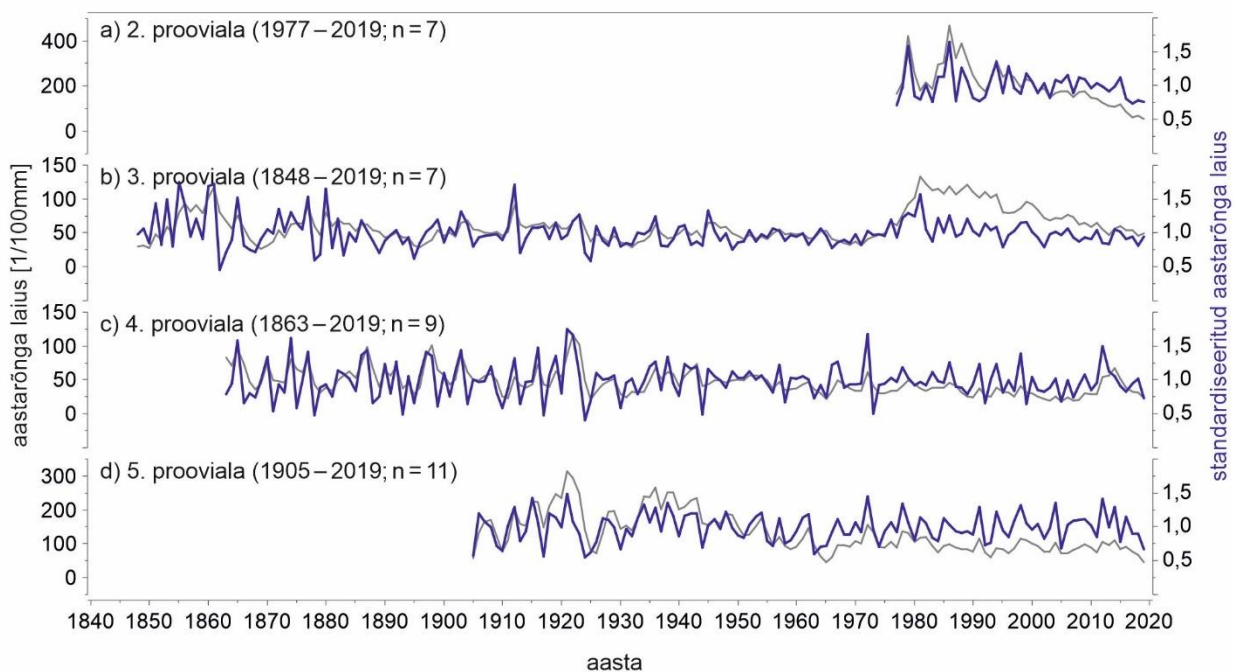
Maaparandussüsteemide register (Register of Land Amelioration Systems) <https://portaal.agri.ee/avalik/#/maaparandus/systeem/2020552000020> (Viimati vaadatud 30.03.2021)

Riigi Ilmateenistus. Jõgevamaa kliimast. <https://www.ilmateenistus.ee/2022/02/jogevamaa-kliimast/> (Viimati vaadatud 24.04.2022)

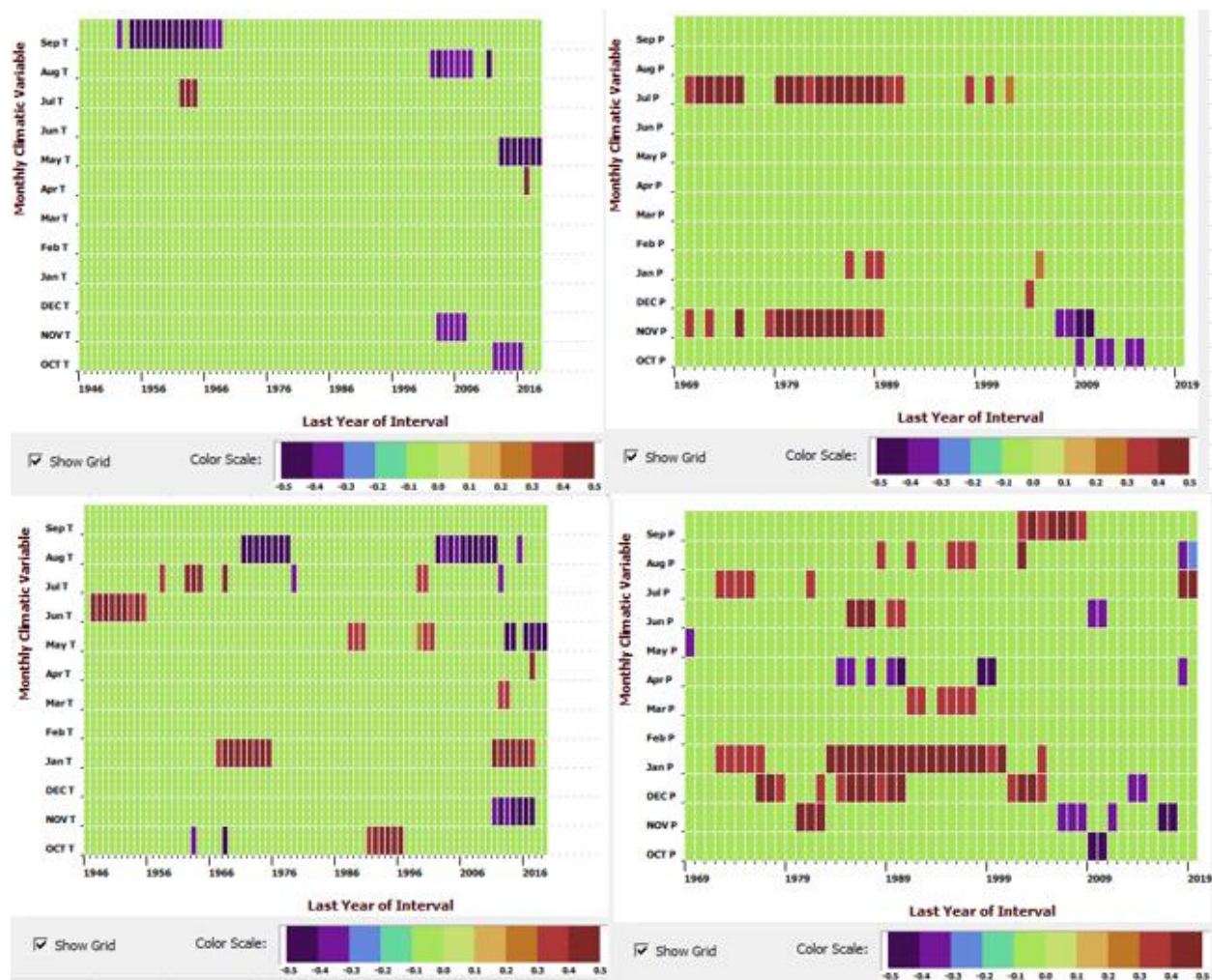
Lisad

Lisa 1. Mändide juurdekasvuproovide ja vastavate proovialade keskmiste juurdekasvukronoloogiate (ref.) vahelised statistilised sarnasusnäitajad. OVL = kattuvus, Glk = samasuunaliste muutuste protsent, GSL = eelmise usaldusnivoo, %CC = korrelatsioonikordaja, TV = t-väärtus, TVBP = Baillie–Pilcher t-väärtus, TVH = Hollsteini t-väärtus, CDI = kattuvdateerimise indeks.

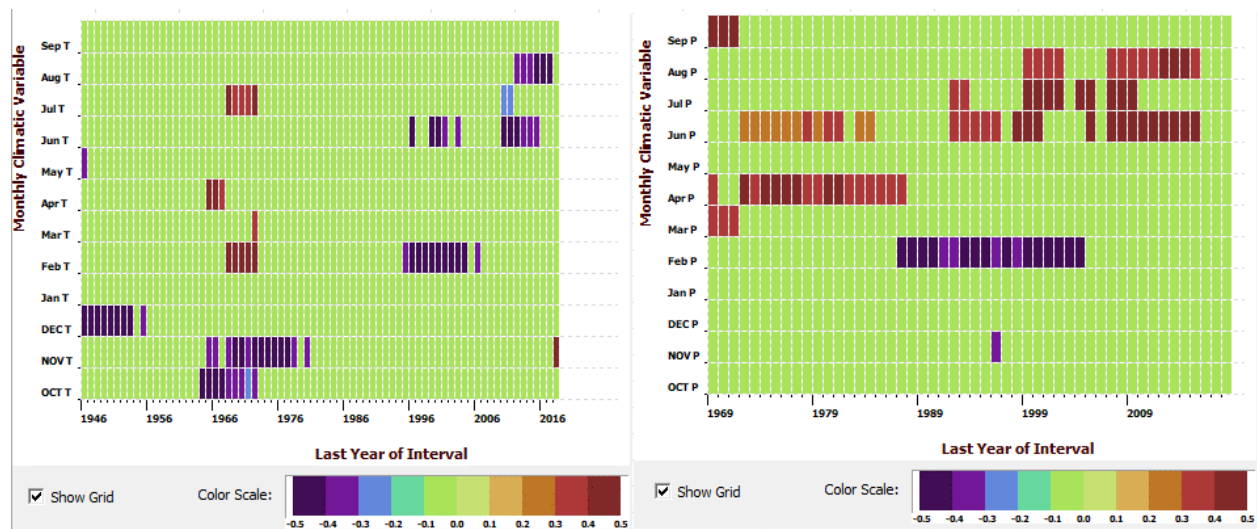
proovi nimi	ref.	PosL	PosR	OVL	Glk	GSL	%CC	TV	TVBP	TVH	CDI	algus	lõpp
1EPL211	2EPL2	1	44	44	79	***	88	12,3	8,1	7,2	61	1976	2019
1EPL213	2EPL2	2	44	43	73	**	66	5,6	6,6	5,8	45	1977	2019
1EPL203	2EPL2	5	44	40	74	**	88	11,3	6,5	4,7	42	1980	2019
1EPL212	2EPL2	6	44	39	75	***	92	14,6	5,2	2,2	28	1981	2019
1EPL204	2EPL2	11	44	34	79	***	16	0,9	3,3	4,2	30	1986	2019
1EPL207	2EPL2	10	44	35	65	*	80	7,6	2,8	3,0	19	1985	2019
1EPL206	2EPL2	14	44	31	78	***	72	5,5	2,7	2,3	20	1989	2019
1EPL309	2EPL3	2	173	172	76	***	84	20,3	14,1	12,5	101	1848	2019
1EPL306	2EPL3	41	173	133	74	***	93	29,3	13,9	12,2	97	1887	2019
1EPL307	2EPL3	39	173	135	74	***	88	21,1	12,4	13,0	94	1885	2019
1EPL312	2EPL3	1	173	173	74	***	70	12,8	11,9	12,2	89	1847	2019
1EPL303	2EPL3	19	173	155	73	***	65	10,5	11,4	9,6	76	1865	2019
1EPL313	2EPL3	35	173	139	75	***	64	9,9	9,4	10,2	73	1881	2019
1EPL314	2EPL3	18	170	153	66	***	86	20,7	7,7	8,3	53	1864	2016
1EPL411	2epl407_k	44	175	132	77	***	64	9,5	18,1	16,5	133	1888	2019
1epl407_ks	2epl407_k	19	175	157	78	***	86	21,4	17,5	13,6	121	1863	2019
1epl405	2epl407_k	22	175	154	82	***	76	14,2	16,8	15,1	131	1866	2019
1EPL409	2epl407_k	19	175	157	83	***	68	11,7	16,7	15,9	136	1863	2019
1EPL406	2epl407_k	27	175	149	79	***	74	13,2	15,2	13,8	114	1871	2019
1EPL410	2epl407_k	34	175	142	73	***	73	12,5	13,4	8,0	79	1878	2019
0epl404s_ks	2epl407_k	1	175	175	79	***	87	22,8	13,0	11,4	96	1845	2019
1EPL402	2epl407_k	63	175	113	72	***	77	12,8	11,5	11,4	82	1907	2019
1epl412_ks	2epl407_k	65	175	111	78	***	65	8,9	9,7	7,0	65	1909	2019
1EPL509H	2EPL5	15	115	101	83	***	92	23,4	20,2	17,8	158	1919	2019
1EPL506	2EPL5	11	115	105	80	***	68	9,5	18,7	16,2	140	1915	2019
1EPL503	2EPL5	8	115	108	82	***	91	21,9	16,7	15,2	131	1912	2019
0EPL501SH	2EPL5	11	115	105	81	***	91	21,9	15,4	13,9	119	1915	2019
1EPL511H	2EPL5	1	115	115	78	***	88	19,7	15,3	14,9	117	1905	2019
1EPL502	2EPL5	1	115	115	77	***	90	21,4	14,6	13,3	107	1905	2019
1EPL507	2EPL5	12	115	104	77	***	91	22,8	14,1	12,3	101	1916	2019
1EPL510	2EPL5	20	115	96	81	***	89	18,6	11,2	12,2	94	1924	2019
1EPL508	2EPL5	25	115	91	73	***	78	11,9	8,9	8,6	64	1929	2019
1EPL504H	2EPL5	13	115	103	67	***	81	14,1	7,1	7,4	48	1917	2019
1EPL512	2EPL5	24	115	92	76	***	72	9,9	6,6	7,3	53	1928	2019



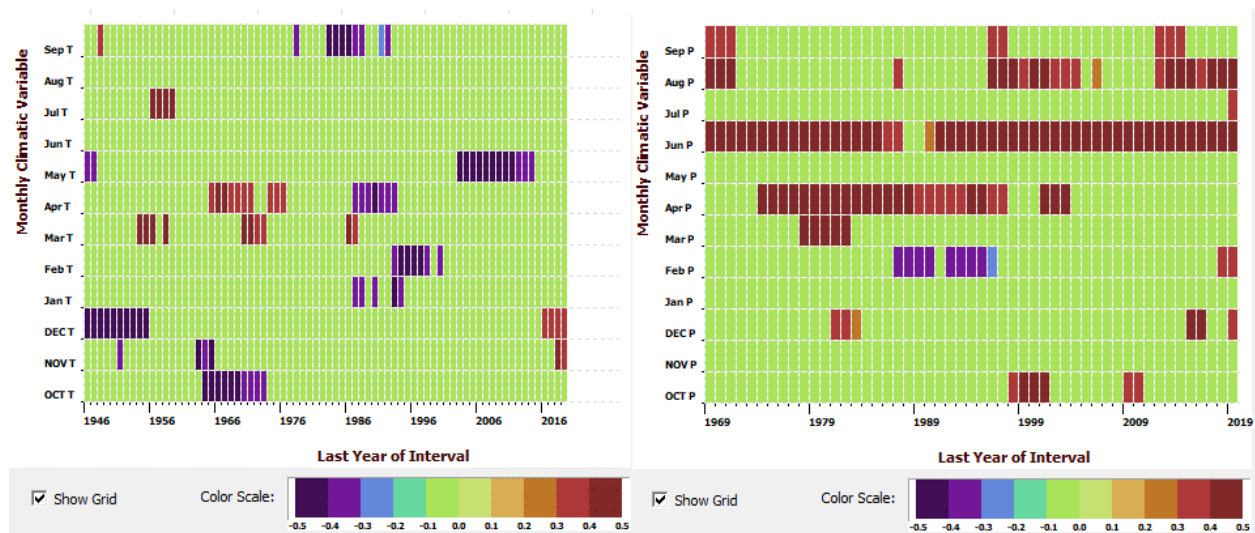
Lisa 2. *Standardiseeritud ja standardiseerimata kronoloogiad.*



Lisa 3. DENDROCLIM2002 väljundfailid. Kolmanda prooviala standardiseeritud (ülal) ja standardiseerimata (all) kronoloogiate ning kuu keskmiste temperatuuride (T, vasemal) ja sademete summa (P, paremal) libisevad korrelatsioonid ($p < 0,05$) 24-aastastes intervallides.

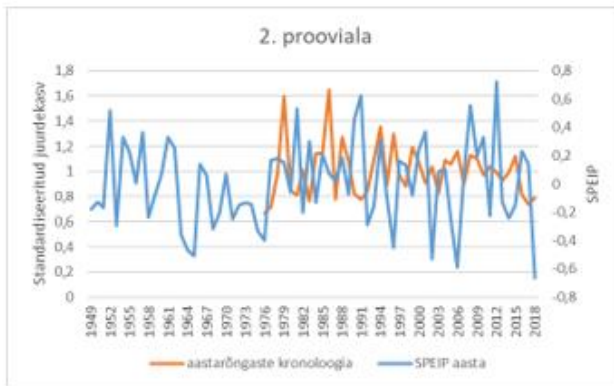


Lisa 4. DENDROCLIM2002 väljundfailid. Neljanda prooviala standardiseeritud kronoloogiate ning kuu keskmiste temperatuuride (T) ja sademete summa (P) libisevad korrelatsioonid ($p < 0,05$) 24-aastastes intervallides.

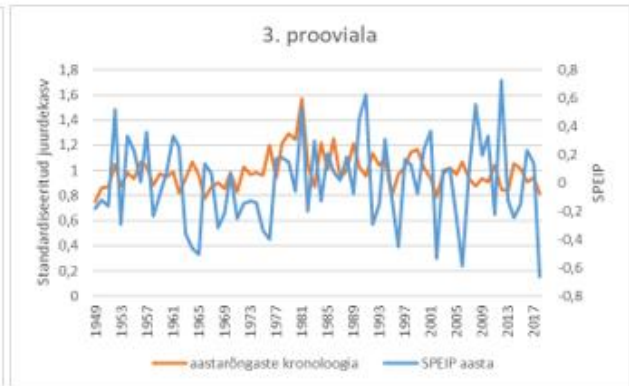


Lisa 5. DENDROCLIM2002 väljundfailid. Viienda prooviala standardiseeritud kronoloogiate ja kuu keskmiste temperatuuride (T) ja sademete summa (P) libisevad korrelatsioonid ($p < 0,05$) 24-aastastes intervallides.

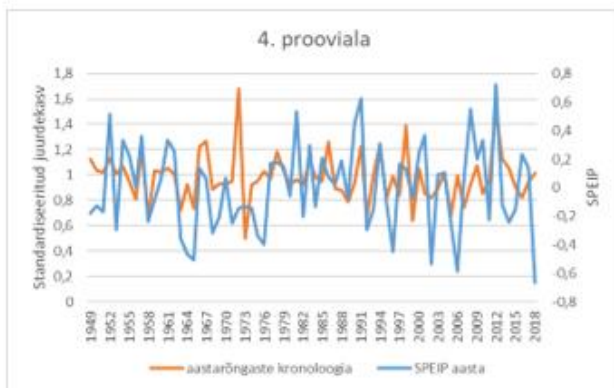
A)



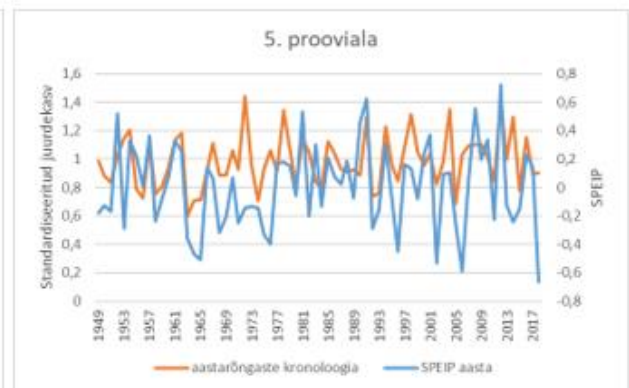
B)



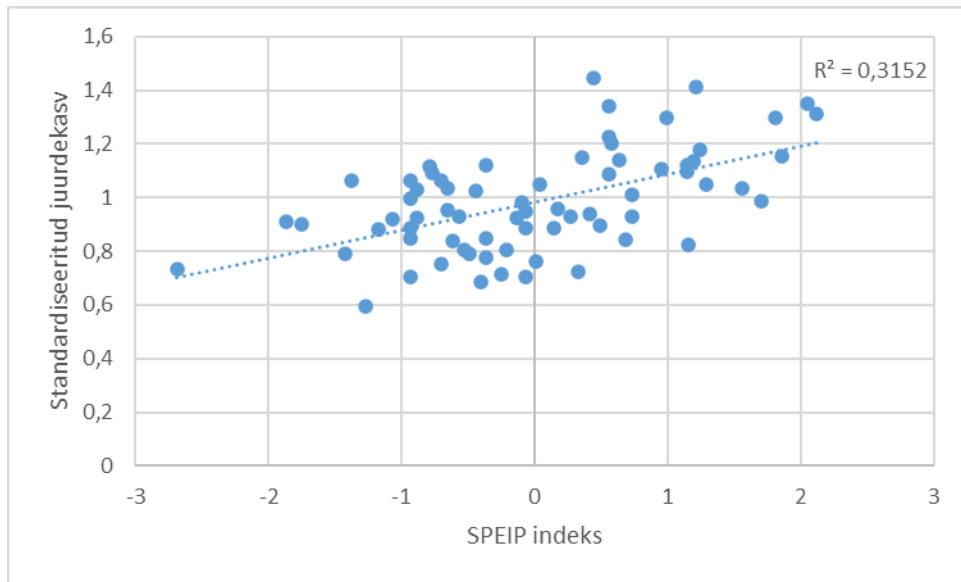
C)



D)



Lisa 6. Proovialade standardiseeritud aastarõngaste kronoloogiad ja Jõgeva ilmajaama andmetel arvutatud põuasuse indeksi (SPEIP) aegrida. Negatiivsed SPEIP väärtused kirjeldavad veepuuduse olukorda ja positiivsed liigniiskust.



Lisa 7. Viienda prooviala mändide standardiseeritud aastarõngalaiuste ja juunikuu põuasuse indeksi (SPEIP) vaheline seos.

Lisa 8. Magistritöö materjali põhjal avaldatud konverentsiteesid.

Erikson, K., Kull, A., Läänelaid, A., Sohar, K., 2021. Effect of water level change on radial increment of Scots pine in a restored peatland in Estonia. Peatlands and Peat – Source of Ecosystem Services. Extended abstracts: 16th International Peatland Congress 2021, Tallinn, Estonia. International Peatland Society, 235–240.



IPC2021

16th INTERNATIONAL PEATLAND CONGRESS

3-6 May 2021 • Tallinn, Estonia

Oral presentations

Argo Argel • Suru bog, Estonia



THANK YOU TO ALL SPONSORS AND EXHIBITORS

Gold sponsor



NURME  TURVAS



Silver Sponsor



Bronze sponsor



PEAT Talks Sponsor



Exhibitors



Proceedings of the 16th International Peatland Congress /
Oral presentations (electronic volume)

ISBN 978-9916-4-0652-6

Publisher: Publicon PCO, Kastani 42, Tartu, Estonia
Published: June 2021

EFFECT OF WATER LEVEL CHANGE ON RADIAL INCREMENT OF SCOTS PINE IN A RESTORED PEATLAND IN ESTONIA

*Kärt Erikson, Ain Kull, Alar Läänelaid, Kristina Sohar

Institute of Ecology and Earth Sciences, University of Tartu, Tartu, Estonia

kart.erikson@ut.ee

SUMMARY

The study focuses on long term changes in annual radial increment of pines (*Pinus sylvestris*) at Laiuse Bog. This is an abandoned peat extraction site in East Estonia where an experiment of peatland restoration is going on since 2019. We studied effect of water regime change on tree growth along a gradient of water table from abandoned and restored peatland area to the pristine parts of the peatland. The peatland has been drained in its northern part for peat extraction. Mining activity was ceased in 1996 and the peatland was left for natural regeneration. Since 2019 water level was raised as a result of peatland restoration. Tree-ring samples were collected in autumn 2019 from five different sections of the peatland. At the former peat extraction area samples from stumps (cross sections) and living trees (by increment borer) were collected. The second sample set was collected from pines growing next to the ditch surrounding the extraction site. The third set was collected at distance of 150 m from the drainage ditch. Fourth sample set consists of cores collected from the pristine part of the peatland. An additional sample set represents a pine stand in the southern part of the peatland near the bog lake. This site was unaffected by peat extraction but should reflect a dated event of water level lowering in the lake. Tree-ring widths of pines were measured and the increment series were analysed to establish the effects of anthropogenous disturbances. The results show difference in reaction in annual increment to various kinds of manipulated water regime.

Keywords: *Climate, dendrochronology, water regime, tree ring, peat extraction site*

INTRODUCTION

Peatlands provide many important ecosystem services such as carbon sinks, water reservoirs and habitats (de Groot et al. 2012, Taminskas et al. 2019, Edvardsson et al. 2019). It is estimated that about 22.3% of Estonia (Orri and Orri 2008) and 12.3% of the Baltics are covered with peatlands (Taminskas et al. 2019). Over the last century peatlands have been under heavy human influence, mainly by draining (Edvardsson et al. 2019). It is estimated that about 70% of peatlands in Estonia have been influenced by drainage or other activities (Vasander et al. 2003, Paal and Leibak 2011). The main activities influencing peatlands in Estonia have been forestry, agriculture and peat-harvesting (Vasander et al. 2003, Masing et al. 2010). Peat harvesting started in the 17th century. By the beginning of 19th century draining and burning mires were one of the most common agricultural practices (Vasander et al. 2003). Previous studies have shown that drainage increases tree growth and thus annual tree rings (Macdonald and Fengyou 2001, Choi et al. 2007). This study focuses on spatial and

temporal relations between anthropogenic changes in water level and annual tree-ring growth in a raised bog covering full sequence from natural status to drainage and peat extraction, abandonment and restoration of the bog.

MATERIALS AND METHODS

The study area is located in Laiusevälja Village in Jõgeva County in Eastern Estonia. The area is on the northern part of the old Kivijärve peat deposit in the Laiuse Bog. Mining activity was ceased there in 1996 and the peatland was left for natural regeneration (Ramst et al. 2006). The bog area is 1066 ha and of that 37.38 ha was the former milled peat extraction area (Oru et al. 2020). Since 2013 there was a raise in water level in the southern part of the abandoned extraction site due to beaver activity. Since 2019 water level was raised because of the restoration of the peatland.

On the southern border of the study area lies Lake Kivijärv. The lake had its water level lowered in the 1920s and during the 1950s the lake almost overgrew (Kalapeedia). There was also a second attempt in lowering the lake's water level in 1973 (Maaparandussüsteemide register). Nowadays the lake has an area about 20 hectares (Otsmaa 2017). Since the 19th century the lake has lost most of its volume and nowadays only the former deepest part of the lake remain (Kalapeedia).

Tree-ring samples of pine trees (*Pinus sylvestris*) were collected in October 2019 from five different sites of the Laiuse peatland (Figure 1). At the former peat extraction area samples from stumps (cross sections) and living trees (by increment borer) were collected. Only core samples were collected from other study sites. The second sample set was collected from pines growing next to the ditch surrounding the extraction site. The third set was collected at a distance of 150 m from the drainage ditch. These three study sites were assumed to be most affected by the lowering of water level in the former peat extraction site. The fourth sample set consists of cores collected from the pristine part of the peatland. An additional sample set represents a pine stand in the southern part of the peatland near the bog lake. This site was unaffected by peat extraction but presumably reflects a dated event of water level lowering in Lake Kivijärv.

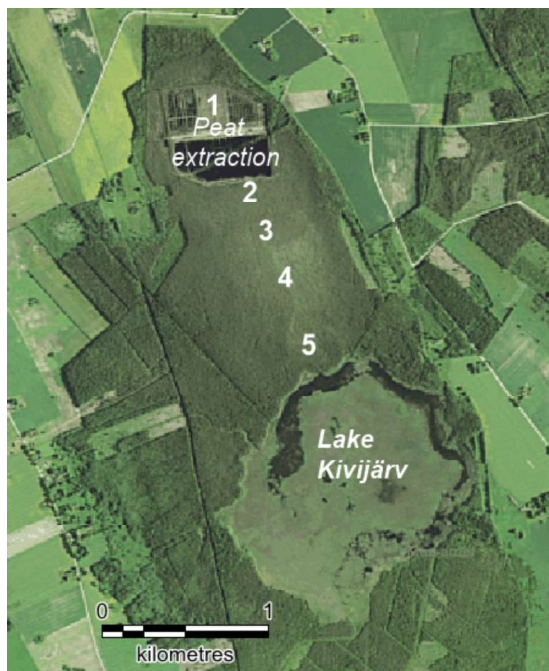


Figure 1. Study area in the Laiuse peatland and location of the sample sites (numbered).

Tree-ring widths of pines were measured and the increment series were analyzed to establish the effects of anthropogenic disturbances. Except for the tree stumps the samples were collected at about half a meter from the ground. The widths of tree rings in the samples were measured with a LINTAB measuring device and Leica S4E microscope. Each sample was measured from two opposite radii – from bark to pith. The TSAP-Win™ program was used for recording the tree-ring widths. From each site at least 12 samples were collected. For every study site a synchronized tree-ring chronology was composed with at least two trees (Figure 2). These chronologies were later compared with each other and analysed using historical records about water level manipulations in the area.

RESULTS

In the first site the seven samples collected with increment borer were up to 15 years long (Figure 2). The trees started to grow randomly in that area after the peat extraction stopped on the site in the 1990s (Figure 1). The average tree-ring width in sample site was 3.37 mm. In the second site the chronology consists of seven increment borer samples and is 43 years long. Average tree-ring width for the samples was 2.06 mm. The average tree-ring width in the site is declining since the 1990s (Figure 2).

The tree-ring width chronology for the third study area consists of seven tree-ring width chronologies. The length of the chronology is 172 years, with the average tree-ring width of 0.61 mm. Trees from that site show an increase in tree-ring widths from the middle of 1970s till the middle of 1980s (Figure 2).

The fourth study site tree-ring chronology consists of nine samples and the length of that chronology is 157 years. The average tree-ring width for the area was 0.47 mm. An increase in tree-ring growths is visible between the years 2011-2015 (Figure 2).

The fifth site's synchronised and averaged chronology consists of eleven tree-ring chronologies. The chronology is 115 years long. The average tree-ring width for the samples was 1.31 mm. The results show an increase in tree-ring widths in 1930s and in 1970 and followed by steady decreases shortly after that. Small peaks in 1980s and 1990s are also clearly visible (Figure 2).

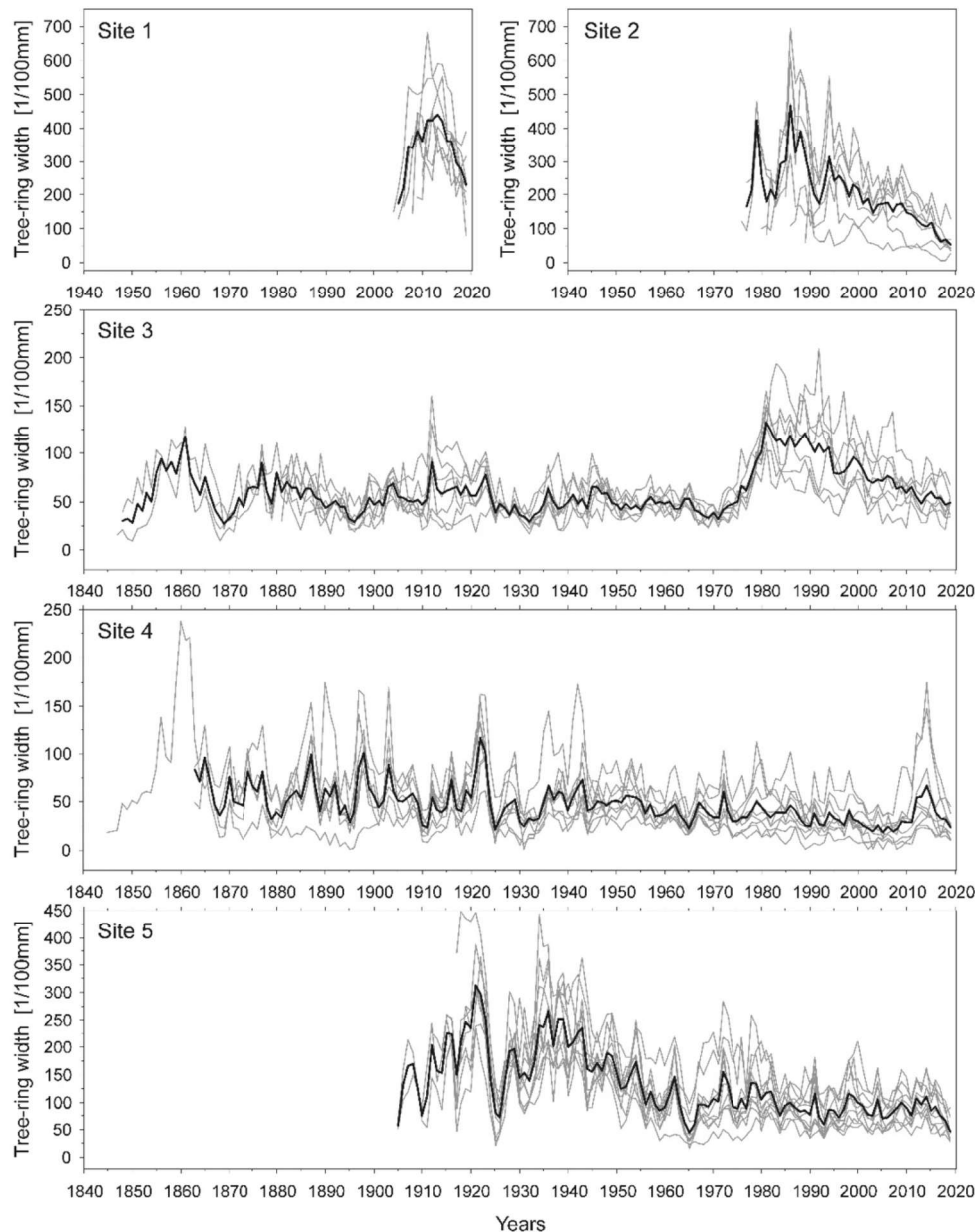


Figure 2. Tree-ring widths of pines (gray lines) and the average chronologies (black lines) in the study sites.

DISCUSSION

In the first study area there is no visible correlation between the individual samples collected in the area (Figure 2). That is because of the young age of the sample pines and differences in their individual growth sites. Because of the short age of the sample trees the study area can also not be compared with other study sites.

There is no correlation between second study site and the other sites average chronologies. The samples show a decrease in average tree-ring widths since the 1990s that coincides with the abandoning of the peat extraction site and end of the drainage system functioning. Also, the effect of flooding due to beaver activity in the area can be seen on the last tree-ring widths (Figure 2).

The third study area shows an increase in tree-ring widths from the middle of 1970s till the middle of 1980s (Figure 2). The reason for that increase is the lowering of water level for peat extraction in the nearby area (150–200 meters) (Figure 1). After that, a slow and steady

decline in tree-ring widths can be seen which is consistent with raising of the water level due to leaving the former peat extraction site to recover on its own (Figure 2).

The fourth study area was located in the wettest part of the peatland and should not have been influenced by the peat extraction. Growth of pines in this study area should therefore reflect the influence of climatic variables. The tree-ring chronology from that area shows quite steady tree-ring growth. The increase in tree-ring growth in the 2011–2015 period can be explained by warmer seasons (Kotta et al. 2018) (Figure 2).

The chronology from the fifth study site shows the effects of lowering the water level in Lake Kivijärv in the 1928–1929 and the 1973. There can be seen an abrupt increase in tree-ring growth in the 1930s and after that a steady decline. That is due to the lowering of water level by one meter in nearby Lake Kivijärv (Figure 1). The short-lasting decline in growth after 1928 can be explained by the trees' shock to that change. The small peaks in the 1970 and 1980 can be explained by secondary drainage and extensive use of fertilizers and aerial fertilization in the nearby fields (Sults 2003) (Figure 2).

Comparing the site chronologies with each other shows a noticeable correlation between the chronologies of the study areas 3 and 4 (Figure 2). Nevertheless, there is a big difference starting in the middle of 1970s and coinciding with the lowering of the water level in the former peat extraction site. Lowering of the water level affected the third study area by increasing the annual tree-ring growth.

The third, fourth and fifth study area have a common increase in radial growth in the 1920s and a sharp decline shortly after that. This change is to be attributed to climatic effect while the prolonged increase of tree-ring width at fifth study area since 1928 is due to the lowering of water level in the nearby Lake Kivijärv by one meter. All five study sites showed that in the recent years annual tree-ring growth decreased (Figure 2). While decrease is common for all study sites it is more pronounced for sites affected by drainage system of former peat extraction area. The study also indicates that the pines in Laiuse peatland may have a quicker reaction to the lowering of the water level than to the rise. However, that aspect should be further investigated.

CONCLUSION

The study in Laiuse peatland shows that changes in water level influence tree growth substantially. In the first two study sites the influence of drainage from the peat extraction was the most considerable. The third study area was also influenced by drainage in the peat extraction site but with considerable delay due to larger distance. The fourth study site serves as a natural reference with minimal long-term growth variation but revealing climate induced peaks in 1920s and 2011–2015 reflected also in other chronologies. The fifth study site was mostly influenced by changes in water level in Lake Kivijärv. The biggest similarity lay between the tree-ring width patterns of the third and fourth study areas. All five study areas showed a steady decrease in tree-ring growth over the recent years.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Estonian State Forest Management Centre (project LLTOM17250 “Water level restoration in cut-away peatlands: development of integrated monitoring methods and monitoring”, 2017–2023), by the Estonian Research Council (PRG352), and by the Mobilitas Pluss project MOBTP35 financed from the European Regional Development Fund.

REFERENCES

- Choi, W.-J., Chang, S.X., Bhatti, J.S. (2007) Drainage affects tree growth and c and n dynamics in a minerotrophic peatland. *Ecology*, 88(2): 443–453. [https://doi.org/10.1890/00129658\(2007\)88\[443:DATGAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/00129658(2007)88[443:DATGAC]2.0.CO;2)
- de Groot, R., Brander, L., van der Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Christie, M., Crossman, N., Ghermandi, A.N., Hein, L., Hussain, S., Kumar, P., McVittie, A., Portela, R., Rodriguez, L.C., ten Brink, P., van Beukering, P. (2012) Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*, 1(1): 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.005>
- Edvardsson, J., Baužienė, I., Lamentowicz, M., Šimanauskienė, R., Tamkevičiūtė, M., Taminskas, J., Linkevičienė, R., Skuratovič, Ž., Corona, C., Stoffel, M. (2019). A multi-proxy reconstruction of moisture dynamics in a peatland ecosystem: A case study from Čepkeliai, Lithuania. *Ecological Indicators*, 106. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105484>
- Kalapeedia. Eesti kalastuse entsüklopeedia. Kivijärv (Laiuse Kivijärv, Kibijärv). <https://www.kalapeedia.ee/kivijarv-laiuse-kivijarv-kibijarv.html>. (29.03.2021)
- Kotta, J., Herkül, K., Jaagus, J., Kaasik, A., Raudsepp, U., Alari, V., Arula, T., Haberman, J., Järvet, A., Kangur, K., Kont, A., Kull, A., Laanemets, J., Maljutenko, I., Männik, A., Nöges, P., Nöges, T., Ojaveer, H., Peterson, A., Reihan, A., Rõõm, R., Sepp, M., Suursaar, Ü., Tamm, O., Tamm, T., Tõnisson, H. (2018). Linking atmospheric, terrestrial and aquatic environments in high latitude: Regime shifts in the Estonian regional climate system for the past 50 years. *PLoS ONE*, 13 (12), ARTN e0209568–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209568>
- Maaparandussüsteemide register (Register of Land Amelioration Systems) <https://portaal.agri.ee/avalik/#/maaparandus/systeem/2020552000020> (30.03.2021)
- Macdonald, S.E., Fengyou, Y. (2001) Factors influencing size inequality in peatland black spruce and tamarack: evidence from post-drainage release growth. *Journal of Ecology*, 87(3): 404–412. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1999.00370.x>
- Masing, V., Botch, M., Läänelaid, A. (2010) Mires of the former Soviet Union. (2010) *Wetlands Ecology and Management*, 18: 397–433. <https://doi.org/10.1007/s11273-008-9130-6>
- Orru, M., Orru, H. (2008). Sustainable use of Estonian peat reserves and environmental challenges. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 57(2): 87–93. <https://doi.org/10.3176/earth.2008.2.04>
- Orru, M., Aarniste, M., Mustonen, E., Hints, O. (2020). Eesti turbauuringute andmebaas <https://doi.org/10.15152/GEO.487> Kivijärve turbaala. <https://turba.geoloogia.info/turbaala/52> (29.03.2021)
- Otsmaa, M. (2017) Eesti järvemuda isesugustes järvenõgudes. (Estonian lake mud in unique lake basins) *Eesti Loodus*, 10: 18–24
- Paal, J., Leibak, E. (2011). *Estonian mires: inventory of habitats*. Regio Ltd, Tartu: 173 p. https://issuu.com/elfond/docs/estonian_mires_inventory (30.03.2021).
- Ramst, R., Orru, M., Salo, V., Halliste, L. (2006) Eesti mahajäetud turbatootmisalade revisjon. 2. etapp. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva ja Tartu maakond. (Revision of abandoned peat production areas in Estonia. Stage 2. Ida-Viru, Lääne-Viru, Jõgeva, Järva and Tartu counties) OÜ Eesti Geoloogiakeskus, rakendusgeoloogia ja maavarade osakond.
- Sults, Ü. (2003) *Rohke- ja liigtoitelisus: veekogude loomuliku vananemise kiirendaja. Käsiraamat eutrofeerumise mõjudest pinnaveekogudele*. (Eutrophication and supertrophication: accelerator of natural aging of water bodies. Handbook on the effects of eutrophication on surface waters). Peipsi Koostöö Keskus, Tartu: 32p.
- Taminskas, J., Edvardsson, J., Linkevičienė, R., Stoffel, M., Corona, C., Tamkevičiūtė, M. (2019) Combining multiple proxies to investigate water table fluctuations in wetlands: A case study from the Rėkyva wetland complex, Lithuania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514: 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.11.004>
- Vasander, H., Tuittila, E.-S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkänen, M.-L., Laine, J. (2003) Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands Ecology and Management*, 11: 51–63.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kärt Erikson,

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

**Veerežiimi häiringute ja ilmastiku mõju hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.)
radiaalsele juurdekasvule Lehtmetsa soo näitel,**

mille juhendajad on Ain Kull, Alar Läänelaid ja Kristina Sohar

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 4.0, 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.

Kärt Erikson
30.05.2022