

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja Maateaduste Instituut

Geograafia osakond

Bakalaureusetöö geograafias (12EAP)

Eesti rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafilised seosed

Triin Abrams

Juhendaja: PhD Alar Läänelaid

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja

Osakonna juhataja

Tartu 2019

Annotatsioon

Eesti rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafilised seosed

Bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida Eesti rabamändide (*Pinus sylvestris*) radiaaljuurdekasvu geograafilisi seoseid. Töö aluseks on varasema uuringu raames kogutud puurproovid 19st erinevast soost üle Mandri-Eesti. Dendrokronoloogiliste meetoditega koostati iga uurimisala puude radiaalse juurdekasvu keskmine ning standardiseeritud keskmine. Korrelatsioonianalüüsi meetodil leiti sarnaste juurdekasvudega rabamännid. Korrelatsioonikordajatele tuginedes tuvastati positiivne juurdekasvuseos lähedal asuvate rabade mändide vahel eelkõige Ida-ja Kesk-Eesti kontinentaalses kliimas. Madalamad omavahelised ning üle-Eestilised juurdekasvuseosed ilmnesid rannikualadel asuvatel soodel. Tuvastatud juurdekasvu erinevuste vaheline joon langes kokku Madal- ja Kõrg-Eesti vahelisele piiriga, mis markeerib ka Balti jääpaisjärve maksimaalset ulatust.

Märksõnad: Aastarõngad, radiaalne juurdekasv, dendrokronoloogia, *Pinus sylvestris*, sood

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

Annotation

Geographical patterns of radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Estonian bogs

The present Bachelor thesis is aimed to investigate the geographical patterns of radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) growing in Estonian pristine raised bogs. The current research is based on core samples of pines collected from 19 mainland bogs representing a variety of subtypes. Dendrochronological methods were applied to develop the averaged radial increment chronologies and standardized chronologies for each peatland. The Pearson correlation coefficient was used to detect similar radial growth of pines in the bogs. The main results indicated high correlation between growth variations of pines in closely located regions in the eastern and central part of Estonia. The peatlands near the coastline had lower correlation with each other as well as with all the other studied peatlands. The line between the two regions followed the boundary between the Lower and Upper Estonia and coincided with the approximate waterline of the Baltic Ice Lake.

Keywords: Tree growth, radial growth, dendrochronology, *Pinus sylvestris*, peatlands

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

Sisukord

1. Sissejuhatus	4
2. Teoreetiline ülevaade	5
2.1 Eesti soode ülevaade.....	5
2.2 Rabamänd kui uurimisobjekt.....	9
2.3 Dendrokronoloogiast	10
3. Andmed ja meetodika	15
3.1. Uurimisalad ja transektide ülesehitus	15
3.2 Dendrokronoloogilise analüüsi meetodika	16
3.3 Rabade omavaheline seos	19
4. Tulemused	21
4.1 Juurdekasvukeskmiste korrelatsioonid	21
4.2 Standardiseeritud juurdekasvukeskmiste korrelatsioonid	24
5. Arutelu	26
6. Kokkuvõte	32
Summary	33
Tänuavaldused	34
Kasutatud kirjandus	35
Lisa 1	41
Lisa 2	45
Lisa 3	46
Lisa 4	47

1. Sissejuhatus

Turbaalad moodustavad ligi 20% kogu Euroopast. Sellest 25% koondub Läänemere vesikonda, mis moodustab 14% kogu territooriumist (Vasander et al 2003). Eestis moodustavad sood viiendiku (22,3%) kogu Eesti riigi pindalast (Orru 1995). Soomassiivide 1 010 000 ha kogupindast katab 90,6% vähemalt 30 cm paksune turbakiht (Orru 1992, Vasander et al 2003).

Tuhandete aastate vältel kujunenud kidura kasvukohaga märgalad on pakkunud ilu ja valu läbi sajandite. Eestlastele on ajaloost tuttav “Tõe ja õiguse” raske eluolu Vargamäel ning raba võim inimese üle. Samuti valitseb soode liigniiskus ja üha kasvav turbalasalund ka sealse alustaimestiku ja puude üle, pakkudes viimases arenguastmes kasvukohta vaid kõige sitkemale puule - rabamännile (*Pinus sylvestris var. nana*) (Hang, Kalm 2014).

Eluks vähenõudlikud rabamännid on kasvult madalad ja jändrikud, kuid pakuvad uurijatele oma aastarõngastega pikaajalist teavet soode arengu kohta. Bakalaureusetöös kasutatud 19 soo lähteandmed pärinevad 2014.–2016. a. läbiviidud laialdasest Eesti soode uurimisprojektist (Kull 2016). Eelnimetatud projekti raames uuriti paljude maastikuökoloogiliste parameetrite ja integraalsete indikaatorite seas ka rabamändide juurdekasvu soo erinevates looduslike ja antropogeense mõjuga piirkondades. Projekti raames avaldatud rabamändide uurimise esimesed tulemused annavad Tellissaare raba näitel põhjaliku ülevaate rabamändide juurdekasvust (Läänelaid jt. 2014). Käesolevas uurimuses on lähenetud uuest aspektist – rabamändide juurdekasvude omavahelisi seoseid uuritakse soo tasandi asemel riiklikul tasandil.

Bakalaureusetöö eesmärgiks on analüüsida rabamändide radiaalse juurdekasvu seoseid Mandri-Eestis. Bakalaureusetöös uuritakse kas rabamändide juurdekasvu sarnasused on inditseeritavad soode geograafilise läheduse abil. Lähtuvalt bakalaureusetöö eesmärgist, leitakse bakalaureusetöös vastused järgnevatele uurimisküsimustele:

1. Kuidas seostuvad rabamändide juurdekasvu ridade sarnasused puude kasvukoha geograafilise lähedusega?
2. Millised tegurid põhjustavad rabamändide sarnast juurdekasvu Eestis?

2. Teoreetiline ülevaade

Käesoleva uurimuse paremaks mõistmiseks ja konteksti tajumiseks, on vajalik eelnevalt tutvuda Eesti soode ja rabamändide varasema uurimisega ning dendrokronoloogia olulisemate mõistete ja põhimõtetega.

2.1 Eesti soode ülevaade

2.1.1 Soode areng ning uurimine

Eesti on oma kliimavöötme, tasase pinnamoe ja oma mineviku poolest soodne koht soode arenguks (Valk 2005, Kimmel 2015, Orru, Orru 2003). Eesti sood on arenenud nii veekogude kinnikasvamise kui ka mineraalmaade soostumisel (Valk 2005). Madalama reljeefiga alade soostumine on saanud alguse taanduva mandrijää ning jääväljade sulamisest, esmalt Kõrg-Eestis ning hiljem Madal-Eestis (Orru, Orru 2003). Seetõttu asuvad Eesti vanimad, 10 000-aastaseks küündivad sood, Kagu-Eesti kõrgustike nõgudes ning Soomaal (Kimmel 2015). Läänemere all olnud Saaremaa, Hiiumaa ja Lääne-Eesti rannikuala sood on märksa nooremad (Kimmel 2015). Lääne-Eesti lahtedest arenenud suletud laguunide ja soode teket on soodustanud glatsioisostaatiline maakerge (Kimmel 2015). Soode arengut läbi Holotseeni on soodustanud ka aurumisest suurem sademete hulk, mis on soodne keskkond turba ladestumiseks (Kimmel 2015). Turba ladestumist tekitab soodes alaline veerohkus ja hapnikuvaesus, mis pärsib orgaanilise aine lagunemist ning tekitab mittetäielikult lagunenuid taimejäänustest koosneva konsolideerumata sette (Kimmel 2015, Orru, Orru 2003).

Seoses turbalasundi pideva paksenemise ja veevaru suurenemisega, laienevad sood ümbritsevale mineraalmaale. Püsivalt liigniiskete muldade viljakus aga ajapikku väheneb, mistõttu pole varasemalt soid kui puutumata ökosüsteeme tihtipeale hinnatud (Valk 2005).

Juba 17. ja 18. sajandil teadsid mõisnikud, et soode kasutamiseks metsa- või põllumaana ning turba varumiseks on vaja maaparandust (Valk 2005). Veisekasvatuse kiire areng 19. sajandi teisel poolel andis olulise tõuke soode kuivendamisele (Raidla 1960). 1897. aastal asutatud Liivi- ja Eestimaa maakultuuri büroos kirjutati projekte maaparanduse ja rohumaade rajamiseks. 1908. aastaks rajati mõisnike eestvedamisel ka Balti sooparanduse selts, mis koondas kohalikud soode kultuuristamise asjatundjaid ning pani aluse Tooma sookatsejaama arengule. Tänu seltsi palgatud instruktoritele, sooviljelust populariseerivatele trükistele ja sookultuuripäevadele, levis soode kuivendamine ja sookultuuri rajamine esimese Eesti Vabariigi ajaks ka talupidajateni. Sooviljeluse teooriat ja praktikat võimaldas noormeeste 1928. aastal asutatud Tooma sookultuuri ja maaparanduse kool. Üha suurenev vajadus haritava maa ja rohusööda järele kasvatas rohkesti sooharijaist põllumeeste arvu – 1935-1936 registreeritud üle 11000. (Raidla 1960, Järvet 2010)

Riigikorra vahetuse ning metsakuivenduse mehhaniseerimisega 1950. aastail intensiivistus soostunud alade kuivendamine ja turbatööstus veelgi (Valk 2005), saavutades tipp-perioodi 1950-1970. aastatel (Kimmel 2015).

1949. aastal Eesti NSV Ülemnõukogu poolt vastuvõetud seadus, asuda uurima Eesti rabade metsamajandusliku kasutamise võimalusi, andis tõuke laialdasemale soode uurimisele (Valk 2005). 1953. aastal alustas Uno Valk (2005) metsanduslikke uuringuid rabades. Samal ajal ilmus Viktor Masingu esimene mahukas soid käsitlev artikkel (TÜ botaanika ja ökoloogia instituut 2001). Masing on uurinud rabade linnustikku, taimkattemustreid ning rabade põlemisjärgseid muutusi (Eesti sood 2019a). Rahvusvaheliselt on hinnatud Masingu soode klassifikatsioonid (TÜ botaanika ja ökoloogia instituut 2001). Märkimisväärne on Masingu panus soode tähtsuse ja kaitse-väärtuse selgitamisel 1970. aastatel, mille tulemusena moodustati 1981. aastal 30 sookaitseala kogupindalaga 122 189 hektarit (Eesti sood 2019b).

Tänaseks on hävinud mitmed Kirde-Eesti sood põlevkivi lahtise kaevandamise tagajärjel. Ehitustegevuses on hävinud Sõjamäe ja Tondi raba. Samuti ohustavad soid üha laienevad linnad, mille tõttu on kadumas ka Õismäe raba ning prügimäena kasutusel osa Pääsküla rabast. (Kimmel 2015)

2.1.2 Soode tüübid ja jaotus

Soode keerukus ja mitmetahulisus võimaldab neid klassifitseerida väga erinevate tunnuste alusel. Vastavalt uurimisteamale valitakse ka sobiv liigitus. Kõige levinum on soode arengutasemel, toitumisel ja valdaval taimkattel põhinev liigitus, mis annab üldise iseloomustuse soode kirjeldamiseks (Masing 1988a).

1940ndatel võeti soode arengutasemete kirjeldamiseks kasutusele mõisted madal soo ja kõrg soo e. raba. Neile lisandus 1950. aastal K. Kildema ettepanekul ka üleminekuline vorm – siirdesoo (Orru, Orru 2003). Järgnev soo arengutasemete kirjeldus põhineb Kai Kimmeli (2015) kirjutatud raamatul “Eesti sood”.

Madal soo on soo arengu esimene aste, kus turbahorisondi paksus ületab 30 cm (Turbaliit 2019). Madal soo kujuneb reljeefi nõgudesse, kus vesi liigub ümbritsevatelt kõrgematelt nõlvadelt soo keskosa poole. Võrreldes teiste soodega on madal soo kõige toitainerikkam ning mitmekesisema taimestikuga. Neist liigirikkaimad asuvad Saaremaal, kus võib leida kuni 130 taimeliiki. Puurindes domineerib sookask (*Betula pubescens*) ning leidub ka sangleppa (*Alnus glutinosa*) ja mändi (*Pinus sylvestris*). Põõsarindes madal kask (*Betula humilis*), pajud (*Salix*) ja paakspuu (*Rhamnus frangula*) (Hang, Kalm 2014). Soo toitub peamiselt mineraalaineterikkast põhjaveest ja ka pinna- ning tulvaveest. Soonõo madalamas osas vee liikuvus väheneb, vesi kaotab hapnikusisaldust ning mikroorganismide tegevus aeglustub. Mikroorganismide aeglustunud tegevuse tõttu on soo madalaimas osas turba juurdekasv aktiivseim, mistõttu nõgus pind tasandub ajapikku ümbritsevaga. Turbakihi түsenemine muudab veevoolu ja taimede elutingimusi ning madal soo jõuab siirdesoo järku. (Kimmel 2015)

Siirdesoo on түsenenud turbalasundi kontakt toitainerohke põhjaveega vähenenud. Peamiselt toitub siirdesoo sademetest ning vähemal määral põhja- ja tulvaveest (Kimmel 2015). Siirdesoo on vastupidiseks pöördunud ka vee voolusuund. Soo servaaladelt valgunud

toitainerohket neutraalse reaktsiooniga (pH>5) vett asendab soo keskosast servade poole valguv toitainetevaene ning happeline (pH 3-3,5) sademevesi (Hang, Kalm 2014). Soopinna kõrgemates kohtades valitseb toitainevaene keskkond, milles jäävad ellu vaid vähenõudlikud taimed eesotsas turbasamblaga. Puuliikidest valitsevad siirdesoodes madalad männid, sookased ning mõned üksikud kuused (*Picea abies*). Põõsarindes võib vähesel määral esineda ka kadakat (*Juniperus*), paakspuud, madalat kaske ja paju ning mandril kääbuskasvu vaevakaske (*Betula nana*) (TLÜ Ökoloogia Instituudi Maastikuökoloogia osakond 2009).

Raba ehk kõrgsoo on soo arengus viimane staadium. Selle turbakiht on kasvanud nõnda tusedaks, et taimedel puudub kontakt põhjaveega. Raba toitumine toimub läbi sademete ning tolmuga saadavate mineraalainete (Turbaliit 2019). Hulgalised turbasamblad muudavad sademevee oma elutegevusega happeliseks ning loovad liigivaese taimestiku. Puudest on rabas esindatud vaid madalad ja jändrikud rabamännid (*Pinus sylvestris var. nana*) ning harvadel juhtudel sookask (Hang, Kalm 2014). Raba üha paisuv ja kumerdunud platoo (rabalava) põhjustab radiaalset vee äravoolu, mistõttu kulgeb vesi raba kõrgemast keskosast madalamatele servaaladele. Veepaisu tagajärjel veega täituvatest mättavahedest tekivad älved, millest moodustuvad veehulga suurenedes ajapikku laukad. Rabalava paisumine tekitab tihti peale rabale mitmemeetrise järsu servaala ehk rabarinnaku, kus valguv vesi soodustab jõudsalt mändide kasvu. Nõlva alusel rabajalamil seguneb rabast valguv happeline vesi ja mineraalpinnase toitainerikas vesi luues mitmesuguseid märekoosluseid (Kimmel 2015).

Soode spetsiifilisemast liigitusest annab ülevaate Viktor Masing (1988a, 1988b) raamatus "Eesti sood". Soopaikade liigitamisel põhinetakse soo troofsusele, toitumisele, taimkattele ja mikrovormidele. Soopaigaste (massiivide) liigitamisel põhinetakse soo taimkatte, pinnavormi üldkuju ja turbalasundi tüübile. Soostike liigitusel põhinetakse soomassiivide sarnasustele, maastiku arengu iseloomule ning üksiksoode liitumise astmele. Nii nagu erineb mineraalmuldade viljakus, nii saab ka turvasmuldade viljakuse järgi soodel kasvukohatüüpe eristada. (Masing 1988a, 1988b).

Metsakasvatuslikust seisukohast jaotatakse madalsood kaheks kasvukohatüübiks – loduks ja tarnamadalsooks ning rabad kolmeks – kõrgrabaks, nõmmrabaks ja siirderabaks (Masing 1988a). Selline rabade jaotamine iseloomustab ka raba tekkeviisi ja arenguastet (Masing 1988b). Bakalaureusetöö kompaktsuse ja uurimisteema huvides keskendutakse edaspidi just rabadele.

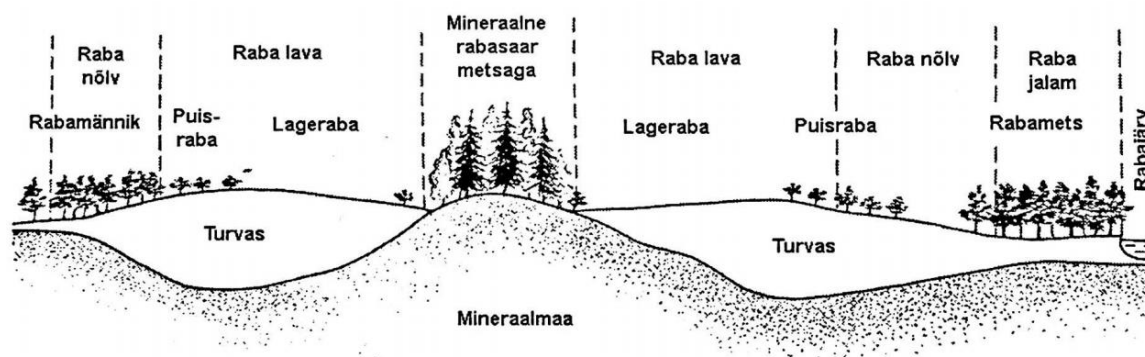
Nõmmraba kasvukohatüüp tekib tasasel madalal või nõgusal alal eelkõige korduvate metsatulekahjude korral ja tules hukkunud nõmmemetsadele (Masing 1988b). Nõrgliiva- või nõrgkivihorizont ei lase vett läbi, mistõttu koguneb sademevesi ja loob tingimused rabataimede levikuks ja rabaturba tekkeks (Masing 1988b). Nõmmrabade turbalasundi paksus ei ületa reeglina poolt meetrit. Rabad on väga väikesed ning leitavad 1000 hektaril Hiiumaal ja Loode-Eestis (Vihterpalu ja Nõva ümbrus) (Kimmel 2015). Nõmmrabades on madala- ja alaboniteedilised männikud (Masing 1988b).

Siirderaba kasvukohatüüp on raba esimeseks arenguastmeks. Siirdesoole iseloomulik taimkate puudub, kuid puudub kõrgrabale omane turbakiht. Toitainevaene turbakiht on veel õhuke, mis

võimaldab kasvada sügavalt juurduvatel meso-oligotroofsetel sootaimedel nagu pilliroog, sookail ja vaevakask. (Masing 1988b)

Kõrgraba kasvukohatüüp on nõmmrabale ja siirderabale järgnev ja viimane soode arenguaste. Turbalasundi paksus on selles üle ühe meetri, kuid võib leiduda ka kuni 9- ja 10- meetrist turbakihti. Reeglina on Lõuna- ja Kesk-Eesti turbalasund түsedam kui Põhja- ja Lääne-Eestis. Vastupidiselt nõmm- ja siirderabale on kõrgraba turba pindmine kiht viljakam kui alumine. Sellegipoolest mineraalainetevaeses kõrgrabas kasvavad vaid kidurad rabamännid. (Masing 1988b)

Puude arvu ja kasvu põhjal on võimalik rabasid jaotada rabamännikuiks, puisrabadeks ja lagerabadeks (Joonis 1). Vaatamata nimele leidub lagerabas siiski kiratsevaid puid (alla 500 hektari kohta). Puisrabades kasvab keskmiselt 5000 puud hektari kohta, kuid nende kõrgus ei ulatu üle 5 meetri (Masing 1988b). Rabamännikus kasvab hektaril kuni 2300 puud, mille kõrgused jäävad sõltuvalt turba түsedusest 5-13 meetri vahemikku. Rabamännikus võib leiduda lisaks männile ka kaske (Masing 1988b).



Joonis 1. Mineraalpinnase ja turba osakaal rabamassiivides loob puude kasvuks erinevad tingimused. Joonisel on toodud näide männikoosluste paiknemisest vastavalt rabamassiivi liigestusele (Valk 2005: 31).

2013. aastal Eestimaa Looduse Fondi tehtud sooinventuuril võeti aluseks Jaanus Paali (1999) Taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon, milles sood on jagatud viide tüübirühma: madalsood, siirdesood, allikasood, nõmmrabad, lage- ja puisrabad (Kimmel 2015).

Eesti rabasid saab reljeefi ja taimestiku alusel eristada veel kahte tüüpi: Ida-Eesti kumerrabad ja Lääne-Eesti platoorabad (Fomin 1898, *cit.* Masing 1988, Valk 2005, Hang, Kalm 2014). Idatüüpi rabade levik jääb peamiselt Kõrg-Eestisse ning läänetüüpi rabad Madal-Eestisse (Masing 1988b) (Joonis 13.).

Lääne-Eesti platoorabasad iseloomustavad tasane ja lage rabalava, ebaselge peenarde ja älveste paigutus ning suhteliselt järsk rabanõlv (Kimmel 2015). Vee äravool platoorabade tasasel

keskosal on raskendatud, mistõttu on soo keskosa reeglina märjem ja raskesti läbitavam kui kumerrabal (Hang, Kalm 2014).

Ida-Eesti kumerrabad on laugema nõlvaga ning laukad, peenrad ja älvad moodustuvad neis reeglina korrapäraselt ümber rabakeskme (Kimmel 2015). Metsanduslikust seisukohast pole seesugune jaotus oluline, sest mullaviljakus on mõlemas tüübis ühetaoline (Valk 2005).

2.2 Rabamänd kui uurimisobjekt

Püsivalt kõrge veetase, toitainete puudus ja happeline pinnas põhjustavad rabamändidel aeglast kasvu ja lühikesi okkaid (Cedro, Lamentowicz 2008, 2011). Tihtipeale esineb puudel kõver tüvi ning ebakorrapärane võra (Roosaluste 1982, *cit.* Cedro, Lamentowicz 2008). Erakordselt kitsastel aastarõngastel esineb puuduvaid aastarõngaid (Cedro, Lamentowicz 2008, Linderholm *et al.* 2002, *cit.* Cedro, Lamentowicz 2008) ning tugev tuul põhjustab survepuidu teket (Linderholm *et al.* 2002, *cit.* Cedro, Lamentowicz 2011). Kui mineraalmaad mändide juurdekasvu mõjutab positiivselt soe talv, varajane kevad ning sademeterohked suved (Cedro, Lamentowicz 2011), siis rabamändide juurdekasvus peegelduvad ilmastikutingimused märksa vähem (Cedro 2008, *cit.* Cedro, Lamentowicz 2011). Sademeterohkus mõjutab juba niigi liigniiskel turbal rabamändide juurdekasvu negatiivselt (Läänelaid 1982). Eelkõige määravad rabamänni juurdekasvu mustri rabavee taseme muutused ning antropogeensed mõjud minevikus (Cedro, Lamentowicz 2011). Antropogeensete häiringute tihe esinemine Balti rabadel ei soodusta seetõttu rabamändide kasutamist kliima rekonstrueerimisel, vaid eelkõige häiringute ning veetaseme muutuste hindamisel (Cedro, Lamentowicz 2011).

Puutumata raba kõrge põhjaveetase ja madal aeratsioon piirab oluliselt rabamändide juurestiku arengut ning juurdekasvu (Tamkeviciute *et al.* 2018). Kuivenduskraavide loomine alandab aga oluliselt turba veetaset, parandab turba ülemises kihis paiknevate juurestike aeratsiooni ja seeläbi soodustab rabamändide juurdekasvu (Smiljanić *et al.* 2014).

Ain Kulli juhtimisel tehti 2011-2013 ja 2014-2016 laialdane Eesti soode uurimise projekt, mille teises etapis teostati ka rabas kasvavate puude juurdekasvu uuring (Kull 2016). Uurimisprogramm hõlmas endas 20 raba üle Eesti. Kuivenduse toime gradiendil kasvavate rabamändide uurimistulemustest annab ülevaate Tellissaare raba näide (Läänelaid jt. 2014). Uuringus täheldati kõige intensiivsemat juurdekasvu suurenemist kuivenduskraavist kuni 40 meetri kaugusel. Kraavist 40-90 meetri kaugusel juurdekasvu suurenemine aeglustus ja 190 meetri kaugusel puudus kuivenduskraavi mõju juurdekasvule (Läänelaid jt. 2014).

Siiski peab arvestama, et rabamännid reageerivad häiringutele väga individuaalselt. Kuivenduskraav võib toimida mändidele ka stressifaktorina, mistõttu positiivne mõju võib juurdekasvule avalduda alles mitme aasta pärast. Kõrge veetasemega kohanenud mändid võivad reageerida turbalasundi veekaotusele ja kuivamisele ka mõne aastase juurdekasvu vähenemisega. Tellissaares saavutasid kuivendusjärgselt juurdekasvu maksimumi rabamännid 7-8 aasta möödudes. Kirjandusest võib leida näiteid kuivendusjärgselt juurdekasvu

paranemisest nii 13- kuni 19-aastase hilinemisega Kanadas Kesk-Albertas musta kuuse näitel (Dang, Lieffers 1989, *cit.* Läänelaid jt. 2014), kui ka vahetut ja pikaajalist juurdekasvu suurenemist Kesk-Rootsi lõunaosa kõrgsoos hariliku männi näitel (Linderholm 1999, *cit.* Läänelaid jt. 2014). Tellissaares täheldati ka mitme kuivenduse toime kumuleerumist rabamänni juurdekasvule. (Läänelaid jt. 2014)

Vaatamata Tellissaare rabamändide üle saja protsendilisele juurdekasvule, jääb rabamändide aastarõngaste laius ka pärast kuivendust alla ühe millimeetri (Läänelaid jt. 2014). Nõnda väikse juurdekasvuga jäävad rabamännid siiski metsamajanduslikult alla mineraalmaal kasvavate mändide juurdekasvule, mis on Eesti männikronoloogia 1900-2000 baasil keskmiselt 1,14 mm (Läänelaid, Eckstein 2003)

Konkreetne puu reageerimiskiirus ja -ulatus sõltub aga konkreetse raba rabavee liikumise keerukusest ja rabamaastiku pinnavormidest nagu mätastest, peenardest, älvetest ja laugastest (Läänelaid jt. 2014). Vaatamata arvukatest uuringutest mineraal- ja turbapinnasel kasvavate mändide erinevuste kohta ka Lätis (Dauškane, Elferts 2011), Leedus (Edvardsson et al. 2015) ja Poolas (Cedro, Lamentowicz 2011), on rabamändide juurdekasvude omavahelised ja geograafilised seosed jäänud ebaselgeks.

2.3 Dendrokronoloogiast

2.3.1 Dendrokronoloogia ajalugu

Aastarõngaste uurimise algus Euroopas ulatab juba keskaega - 15. sajandisse. Esimesed märged aastarõngaste uurimisest pärinevad Leonardo da Vinci (1452-1519) sulest, kes täheldas puude aastarõngaste ja sademete vahelist seost vegetatsiooniperioodil (Stalling 1937, *cit.* Schweingruber 1988). Mikroskoobi kasutuselevõtt 17. sajandil andis tõuke aastarõngaste anatoomia uurimisele. Taimede anatoomia uurimisega alustasid Marcello Malpighi (1628-1694) Itaalias ja Nehemiah Grew (1628-1711) Inglismaal. Prantslaste H. L. Duhamel de Monceau ja C. F. Mirbeli uurimistööde alusel oli 1828. aastaks teada kambiumi tähtsus aastarõnga moodustumisel (Schweingruber 1988). 19. sajand tõi botaanikute J. J. P. Moldenhaweni (1766-1827), C. F. Mirbeli (1776-1827) ja H. von Mohli (1805-1872) teadmised taimeanatoomiast ja -füsioloogiast, mis võimaldas 1855. aastal Theodor Hartingul (1805-1880) kirjeldada puittaimede aastarõngaste tekketeooriat (Schweingruber 1988).

Tänapäevase dendrokronoloogia alusepanijateks tunnistatakse kolme teadlast. Euroopas aastarõngaste uurimise alustalaks peetakse B. Huberit (1899-1969) Saksamaal, F. N. Švedovi (1840-1905) Venemaal ja A. E. Douglassi (1867-1962) Ameerikas (Schweingruber 1988, Läänelaid 1981).

Dendrokronoloogia teadusharu algusaastatest on kirjutanud A. Läänelaid (1981). Ukraina päritolu Venemaa Keisririigi füüsik Švedov vaatles 1881. aastal langetatud robiinia (*Robinia pseudoacacia*) ristlõiget ning uuris aastarõngaste laiuse suhet sademeterohkete aastatega. 10-aastase vaatlustöö põhjal seostas Švedov kitsaste aastarõngaste kordumist sademetevaeste

aastatega ning ennustas edukalt uue põuaperioodi teket. Švedovi peamiseks teeneks dendrokronoloogias on aastarõngaste laiuse seostamine sademetehulgaga ja kasvukoha veerežiimi iseärasustega. Samuti leidis ta, et aastarõnga laius sõltub puu vanusest, uuritava rõnga raadiusest ja ekstsentrilisusest. Lisaks mõjutavad aastarõngaste laiust iga puu individuaalsed eripärad ja juhuslikud mõjud kasvukohas. (Švedov 1892, *cit.* Läänelaid 1981)

Saksa metsateadlane ja botaanik Bruno Huber nägi aastarõngaid kui regionaalse kliima iseloomustamise allikat (Schweingruber 1988). Huber uuris aastarõngaste mustreid mägedes kasvavatel puudel (Artmann 1949, *cit.* Schweingruber 1988, Brehme 1951, *cit.* Schweingruber 1988). Oma uurimistöös tõestas Huber parasvöötme kliimas kasvavate puude sobivust dendrokronoloogilisteks uuringuteks. Huber pani aluse aastarõngaste uurimise koolkonnale Saksamaal ning andis oma töödega alguse aastarõngaste uurimisele üle Euroopa (Läänelaid 1981).

Ameerika Ühendriikides Tucsonis alustas 19. sajandi lõpus karjääri astronoom Andrew Ellicott Douglass. Sajandivahetusel alustas Douglass Stewardi observatooriumis päikeseplekide mõju uurimist aastarõngastelt (Läänelaid 1981). 1901. aastal avastas Douglass sarnaste rõngamustrite kordumise erinevatel puudel, mis pani aluse ristdateerimise põhimõttele, millele tugineb tänapäeva dendrokronoloogia (Fritts 1976, Läänelaid 1981, Schweingruber 1988, Maxwell *et al.* 2011). 1936. aastal sai teadlasest dendrokronoloogia professor ning mõned aastad hiljem juba Aastarõngaste Uurimislabori direktor (Läänelaid 1981). Ameerika Ühendriikidest on tuntud ka Harold C. Fritts, kes 1963. aastal tõi Tucsonis dendrokronoloogia uurimisse statistilised meetodid, mis on laialdaselt tänapäeval rahvusvaheliselt kasutatud uurimislaborites (Schweingruber 1988).

Eestis võib dendrokronoloogia algusaastateks pidada 1970-ndaid (Läänelaid 2002; Kukk jt. 2000). Esimesteks uurimisobjektideks olid Lääne-Eesti ehitismälestised, mida Kalvi Aluve Moskva Ajaloo Instituudi ajaloolaste eeskujul dateeris (Aluve 1978, *cit.* Läänelaid 2002). Tulemusena koostati kronoloogia, mille algus ulatub 916. aastani (Aluve 1978, *cit.* Kukk jt. 2000).

1970-ndatel alustas Alar Läänelaid prof. Viktor Masingu juhendamisel aastarõngaste uurimist ja arheoloogilise puidu dateerimist. Läänelaidi panusest dendrokronoloogias ning aastarõngaste dateerimisest Eestis annab ülevaate doktoritöö (Läänelaid 2002). Läänelaid on kogunud laialdaselt puurproove nii elujulistelt puudelt kui ka hoonetelt üle Eesti, et arendada dendrokronoloogiliselt dateeritud aastarõngaridade võrgustik. Läänelaid on loonud Eesti puude pikki aastarõngaste kronoloogiaid. Tähtsamad neist on Eesti hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) ja hariliku kuuse (*Picea abies* Karst.) kronoloogiad. Eesti keskmistatud aastarõngalaiuste kronoloogiate koostamisel tugineti naabermaade kronoloogiatele. Eesti pikim keskmistatud aastarõngarida (männikronoloogia) ulatub 12. sajandisse (Läänelaid 2002, Läänelaid, Eckstein 2003).

D2.3.2 Dendrokronoloogia metoodika

Aastarõngaste uurimine baseerub ühetaolisuse printsiibile, mille kohaselt on tänapäevased loodusseadused ajas muutumatud (Hutton 1788, *cit.* Bräker 2002). Samuti kehtib aastarõngaste uurimisel printsiip, mis eeldab, et ühtse kliimaga piirkonnas reageerivad puud kliimateguritele sarnaselt (Läänelaid 2002). Nii talletavad juurdekasvuread informatsiooni minevikus valitsenud temperatuuride, sademete, põlengute, metsakahjurite, toitaivate ja paljude teiste tegurite kohta (Schweingruber 1996). Sellest tulenevalt on puude juurdekasv sarnane, mis võimaldab juurdekasvu ridu omavahel võrrelda, siduda ning seeläbi ristdateerida (Läänelaid 2002). Dendrokronoloogiat kasutatakse töövahendina erinevates teadusvaldkondades nagu arheoloogia, pürokronoloogia, klimatoloogia, glatsioloogia, hüdroloogia, ökoloogia jne. (Bräker 2002, Läänelaid jt. 2018).

Puurproovid on dendrokronoloogias nii kvalitatiivseks kui ka kvantitatiivseks andmeallikaks (Bräker 2002). Puu juurdekasvu seiramiseks vaadeldakse aastarõngaste vara- ja hilispuidu laiuseid, puidu tihedust ning reaktsioonipuitu (surve- ja tõmbepuitu) (Degron, Nepveu 1996, Bräker 2002). Puidukoe uurimiseks kasutatakse andmeid rakkude jaotuse, suuruse, pindala, trahheede ja trahheiidide seina paksuse ja ristlõikepindala kohta (Ebding *et al.* 1995, *cit.* Bräker 2002). Puidu seisundit iseloomustavad puidu omaduste keskmised ja korrelatsioonid objektigruppide vahel ning tundlikkus keskkonnategurite suhtes (Li 1989, *cit.* Bräker 2002, Schulman 1945). Lisaks on dendrokronoloogias andmeallikaks välismõjude kahjustused puidul - tulearmidest tulenevad reaktsioonid ning kahjurite tagajärjed (Bräker 2002).

Dendrokronoloogilise uurimise aluseks on info puu aastarõngastest. Kasvavate puude uurimiseks kasutatakse juurdekasvupuuri või pikaajalisel seirel dendromeetrit. Puurproovi saamiseks puuritakse rinnakõrguselt läbi koore sihiga säsi suunas. 5 mm läbimõõduga puurproov märgistatakse puu koordinaatide, puuraugu suuna ning muu puurijale vajaliku infoga. Kui mõõdetavat objekti ei ole võimalik puurida (kunstiteosed, pillid jne), on aastarõngaste mõõtmine võimalik mõõteluubi abil. Samuti on võimalik aastarõngaste laiust mõõta ka uuritavast objektist tehtud fotodelt ning röntgenfotodelt. (Ebding *et al.* 1995, Pilcher 1992)

Puursüdämike mõõtmiseks kasutatakse laboris mõõteseadet, mis on ühendatud arvutiprogrammiga, kus tehakse edasine analüüs (Pilcher 1992). Mõõtmise ettevalmistuseks niisutatakse proovid veega, lõigatakse ristlõikepind žiletiteraga ja hõõrutakse vajadusel valge kriidiga aastarõngaste kontrastsemaks muutmiseks (Kull 2016). Mõõteseadet koosneb pealtvalgustusega mikroskoobist ja aluslauast, mida mõõtja vastavalt aastarõnga paksusele vändast liigutab ning aastarõnga laiuse salvestab (Maxwell *et al.* 2011).

Aastarõngaste varieeruvuse, mustrite, suundumuste, suhete ja kõrvalekallete visualiseerimiseks sobivad programmid Microsoft Excel, Dendrochronology Program Library, TSAP ning enamik statistikatarkvarast (Bräker 2002, Speer 2010). Dendrochronology Program Library (edaspidi DPL) on vabavara, mis koondab endas enam kui 30 tööriista aastarõngaste analüüsiks. Käesolevas bakalaureusetöös oli DPL programmide kasutuses

COFECHA ja ARSTAN. DPL programmide tutvustus ning allalaadimine on võimalik Arizona Ülikooli (2019) aastarõngaste uurimislabori kodulehel.

Dendrokronoloogilisel dateerimise ehk puidu vanuse kindlakstegemise peamiseks meetodiks ja printsibiiks on ristdateerimine (Martinez 2000, Schweingruber 1988, Maxwell *et al.* 2011). Ristdateerimist tehakse visuaalselt, statistiliselt ja graafiliselt arvutiprogrammides. Selle käigus nihutatakse mitut uuritavat aastarõngaste rida omavahel ning otsitakse kokkulangevusi juurdekasvu muustrites. Kui võrreldavad read kujutavad sünkroonset juurdekasvu rohkem kui 50 aasta vältel, saab järeldada, et puud on kasvanud samal ajal. Dateeringu õigsuse kontrolliks kasutatakse statistilisi sarnasusnäitajaid (Pearsoni korrelatsioonikordaja, Studenti t-kriteerium, samasuunaliste muutuste protsent) (Maxwell *et al.* 2011). Sama liiki puude ristdateerimine on aastarõngakronoloogiate koostamise aluseks. (Läänelaid 2012)

Keskmistatud kronoloogiatega töötamisel peab silmas pidama, et selle väärtusi mõjutavad tugevalt puude noorusaastate laiad aastarõngad ning järk-järguline aastarõngaste ahenemine puu vananemisel (Biondi, Qeadan 2008). Niisugust pikaajalist varieerumist on võimalik kõrvaldada standardiseerimisega. Standardiseerimisel jagatakse puu iga aastarõnga laius keskmise aastarõnga laiuse väärtusega vastavas ajalõigus. Puude aastarõngaid saab käsitada ka kui erineva sagedusega võnkumiste summat, mis teeb standardiseerimisest madalsagedusliku dispersiooni elimineerimise (Läänelaid 1999). Standardiseerimisel kõrvaldatakse ebahühtlasest juurdekasvu graafikust füsioloogilistest vananemisprotsessidest ning metsa muutusest tingitud kasvutrendid ning saadakse juurdekasvust ühtlasem visualiseering (Läänelaid 1999).

Standardiseerimine tugineb aastarõngaste laiuse komponentide lineaarsele mudelile (Cook 1990):

$$R_t = A_t + C_t + *D1_t + *D2_t + E_t$$

kus R_t – aastarõnga laius aastal t

A – puu vanusest tulenev trend (bioloogiline kasvukõver) aastal t

C_t – makrokliimast tulenev keskkonnasignaali aastal t (sademed, temperatuur)

$D1$ – kohaliku koosluse endogeense häiringu mõju aastal t (metsandus)

$D2$ – koosluse eksogeense häiringu mõju aastal t (kahjurid, põleng, haigused jne)

* – koefitsient 1 või 0 (signaali puudumisel)

E_t – järelejäänud juhuslik tegur (müra)

Lähtudes uuringu eesmärgist käsitletakse komponente signaali või mürana. Standardiseerimisel suurendatakse signaali osatähtsust ning kõrvaldatakse müra (Cook 1990).

Pikaajaline trend võib olla signaaliks klimatoloogile kliimamuutuste uurimisel samas kui on müra ökoloogile, kes uurib lühemaajalisi protsesse metsakoosluse või raba arengus (Speer 2010). Sellest tulenevalt on standardiseerimismeetodeid mitmeid, mis erinevad üksteisest matemaatiliste võtete poolest ning on sobilikud vastavalt uurimise eesmärgile (Speer 2009). Standardiseerimine on võimas abivahend dendrokronoloogilises uurimuses, kuid standardiseerimise algoritmi valik on tihtipeale ka keeruliseks ning vastuoluliseks sammuks (Speer 2010).

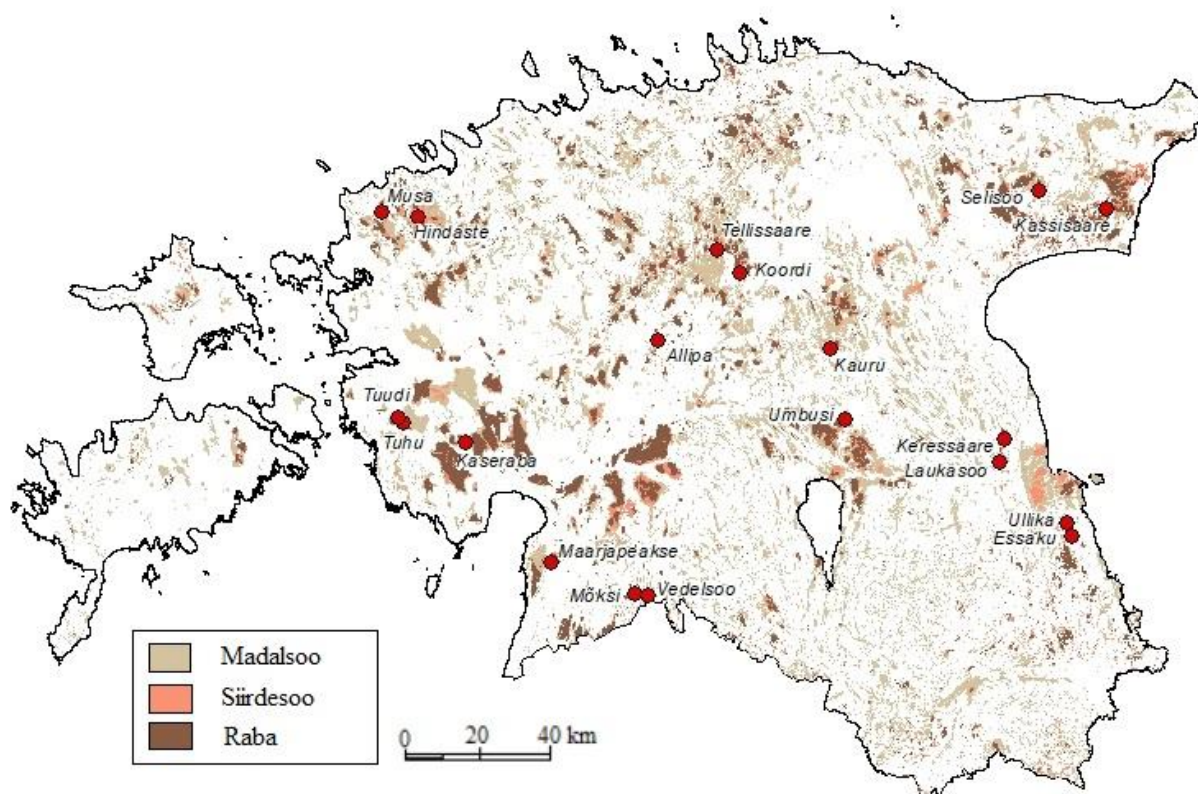
Praktikas on kasutusel vastavad programmid nagu ARSTAN (DPL), mis teevad aastarõngaste kronoloogia standardiseerimise arvutused uurija eest (Cook, Holmes 1999). Standardiseerimise järel arvutab programm kolm erinevate statistiliste omadustega kronoloogiat: standard (Standard), jääkliikmete (Residual) ja autoregressiivne (ARSTAN) kronoloogia (Cook, Holmes 1999). Jääkliikmete kronoloogias on järjestikuste liikmete vaheline autokorrelatsioon viidud nullilähedaseks ning on kõrvaldatud puu noorusaastatest tulenev juurdekasvutrend. Sellest tulenevalt kasutatakse puu juurdekasvu kliimaseoste uurimiseks traditsiooniliselt jääkliikmete kronoloogiat (Lille 2018). Standardiseerimise tulemusena ei väljenda juurdekasvu graafik enam aastarõngaste laiuseid tuhandikmillimeetrites, vaid juurdekasvuindeksites (Hordo 2011).

Aastarõngaste dateerimise õigsus selgub ristdateerimisel – ilmnevad puuduvad ja valeaastad (Douglass 1934, 1935, *cit.* Pilcher 1992). Puuduvad aastarõngad esinevad puu kasvuks ebasoodsates tingimustes, kus juurdekasv on nõnda väike, et puule moodustub aastarõngas vaid osaliselt või puudub täielikult (Kolishchuk 1992). Puuduvaid aastarõngaid analüüsitakse ja vajadusel lisatakse arvutiprogrammis vastavalt uurija hinnangule. Samuti mõjutab dateeringute täpsust mõõtmisprotsess (Pilcher 1992). Dendrokronoloogiline dateerimine sõltub eelkõige mõõtja hinnangust aastarõnga piiri määramisel (Pilcher 1992), mis annab sisendi arvutiprogrammile edasiseks analüüsiks. Dateerimise paikapidavust mõjutab ka mõõteaparaadi aluse liikumise täpsus, mis võib olla põhjustatud seadme vananemisest ja deformeerumisest (Pilcher 1992).

3. Andmed ja meetodika

3.1. Uurimisalad ja transektide ülesehitus

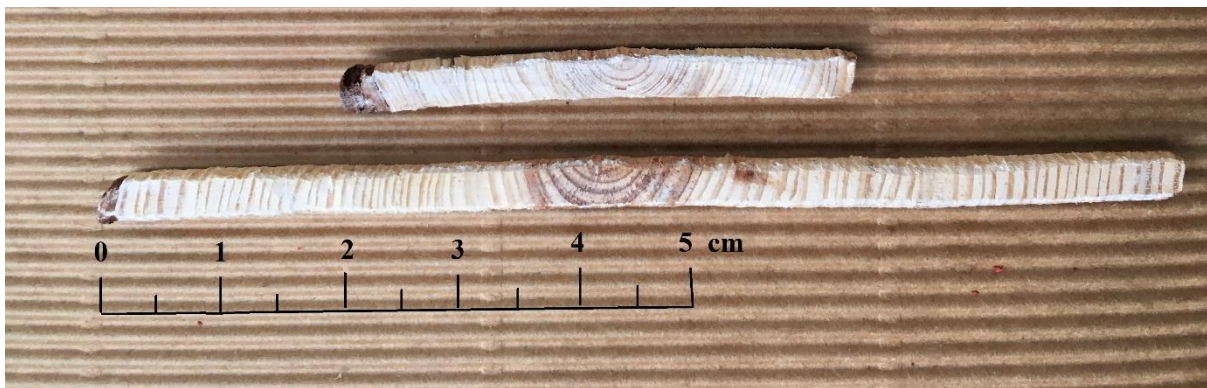
Uurimistöös kasutatud lähteandmed pärinevad 2014.–2016. a. läbiviidud uuringust – „Soode ökoloogilise funktsionaalsuse tagamiseks vajalike puhvertsoonide määratlemine pikaajaliste häiringute leviku piiramiseks või leevendamiseks, II etapp” (Kull 2016). Käesolevas bakalaureusetöös põhineti varasema uuringu käigus uurimisaladele rajatud transektidele 19 erinevas soos (Joonis 2).



Joonis 2. Bakalaureusetöös uuritavad sood (aluskaart: Maa-amet).

Soode valikul lähtuti Kulli (2016) uurimusest, et esindatud oleksid erinevad toitelisuse tüübid (siirdesoo ja raba) ja et uurimisalad hõlmaksid Eesti mandriosa maastikurajoone ning nende pealiskorra erisusi. Igal uurimisalal määrati transekt alguspunktiga 5 m kuivenduskraavist, kus inimõju soo arengule on oodatavalt suurim. Kraaviga risti piki nõlvagradiendi (st. turba paksuse kasvamise ja vee liikumise suunas) rajati 6 kuni 7 proovivõtukohta järjest suurenevate vahekaugustega. Proovivõtukohtade paigutamisel arvestati, et transekti kaugeim punkt asuks kuivenduskraavist kaugel, võimalikult soomassiivi keskkohas looduslikes tingimustes (Kull 2016).

Puuproove mändidest kogusid Sandra Toomik, Gert Veber, Alar Läänelaid ja Kristina Sohar aastatel 2012-2013. Kordusmõõtmiseks puuriti puuproovid üksikutes rabades ka aastal 2014. Transekti igast punktist (uurimisalalt) võeti Kulli (2016) uurimistöös raames 12 kasvava rabamänni juurdekasvuproovid. Kummaltki poolt punkti transektiga risti 2 meetri laiusest vööndist võeti 6 proovipuud. Juurdekasvuproovide puude valikul lähtuti sellest, et puudel puuduksid nähtavad tüvevigastused ning tüveläbimõõt võimaldaks kasutada puupuuri (tüve läbimõõt alates 4 cm) (Kull 2016). Näide puurproovidest on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Kauru 7. punkti suurima ja väikseima tüve läbimõõduga puude puurproovid

Juurdekasvuproovide võtmiseks kasutati Haglöfi või Suunto 40 sentimeetri pikkust juurdekasvupuuri, mis andis 5 mm läbimõõduga puurproovid. Igal puul võeti proov N-S-sihis läbi tüve, mis annab juurdekasvu kahes vastasraadiuses (Kull 2016). Transekti kõik punktid on määratletud koordinaatidega ning igas punktis (prooviaalal) puuritud puurproovid talletatud Tartu Ülikooli geograafia osakonna dendrokronoloogia laboris.

Käesoleva bakalaureusetöö raames uuriti iga raba puhul kuivenduskraavist kõige kaugemal asuvate prooviaalade proove (vastavalt soole 5.-7. punkt), et kuivenduskraavide mõju mändide radiaaljuurdekasvule oleks võimalikult väike ning juurdekasv oleks iseloomulik häirimatu soo keskosa mändidele. Punktide koordinaatidest, transektidest ning puude vanusest annavad ülevaate töö lõpus paiknevad lisa nr 1 ja 2.

3.2 Dendrokronoloogilise analüüsi meetoodika

3.2.1 Varasem andmeanalüüs

Eelnevalt Kulli (2016) tehtud uurimuse käigus mõõdeti puurproovidest aastarõngalaiused 0,001 mm ühikutes programmis TSAP-Win (Rinntech) mõõtmisaparaadiga Lintab ja mikroskoobiga Leica S4E (Kull, 2016). Aastarõngalaiused mõõtsid Kristina Sohar, Alar Läänelaid jt.

Andmeanalüüsil tehti aastarõngalaiuste ridade sünkroniseerimine graafikute abil programmis TSAP-Win (Rinntech) ning vajadusel ka statistiliste näitajate abil programmis Cofecha (DPL). Esmalt sünkroniseeriti aastarõngalaiused iga puu vastasraadiuste kaupa tegemaks kindlaks

lokaalselt puuduvad või võimalike mõõtmisvigadega kasvurõngad. Sünkroniseeritud vastasraadiuste ridade keskmistamisel saadi puude keskmised juurdekasvuread. Seejärel sünkroniseeriti kõigi puude keskmistatud juurdekasvud ning tehti neist omakorda prooviala (punkti) keskmistatud juurdekasvurida. Keskmistatud ridadele omistati uued identifitseerimiskoodid (Tabel 1) (Kull 2016).

Näide Allipa raba 6. prooviala puurproovide aastarõngalaiuste ridade identifitseerimiskoodidest, kus koodi elemendid on järgmise tähendusega:

0 - Mõõdetud aastarõngalaiuste rida

1 - Puu kahe vastastaadiuse keskmine aastarõngalaiuste rida

2 - Prooviala (punkti) puude keskmine aastarõngalaiuste rida

e - Eesti proov

p - Puuliik mänd (*Pinus*)

all - Soo nime esimesed 3 tähte (Allipa)

N, S - puurimise ilmakaared

61 - Puu number (alates transekti algusest)

06 - Prooviala (punkti) number (alates transekti algusest)

TA - uue keskmise moodustaja nime lühend

Tabel 1. Puurproovide koodide selgitus

Puurproovide (puu) raadiused	0epall61N 0epall61S
Puurproovi (puu) keskmine	1epall61
Prooviala (punkti) keskmine	2epall06TA

3.2.2 Valimi moodustamine

Bakalaureusetöoks vajaliku rabamändide valimi moodustamisel lähtuti eesmärgist moodustada võimalikult suure ning usaldusväärse valimiga juurdekasvuridade keskmine iga raba kohta. Uurimistöös keskenduti iga raba transekti kõige kaugemale punktile (uurimisalale). Valimi

suurendamiseks kaasati transekti 7. punkti olemasolul andmeanalüüsi ka 6. punkt, mis eeldavalt kirjeldab samuti häirimata soo keskosale omast juurdekasvu (Tabel 2).

Tabel 2. Analüüsi kaasatud transekti punktid vastavalt soodele.

Allipa, Essaku (Esäkeste), Hindaste, Kaseraba, Kauru, Keressaare, Laukasoo, Musa, Selisoo, Tellissaare, Umbusi	6. ja 7.
Kassisaare, Koordi, Maarjapeakse, Mõksi, Tuudi, Ullika, Vedelsoo	6.
Tuhu	5

Bakalaureusetöö alustuseks kontrolliti üle algandmete täpsus. Prooviala iga puu keskmist (identifitseerimiskoodid algusega 1) võrreldi prooviala kõigi puude keskmisega (identifitseerimiskoodid algusega 2). Juurdekasvuridade sarnasust hinnati esmalt graafikute järgi visuaalselt programmis TSAP-Win. Üksikpuu ja prooviala keskmise olulisel erineisel vaadati üle üksikpuu keskmise moodustamiseks kasutatud puu raadiused (identifitseerimiskoodid algusega 0). Hinnati võimalikke mõõtmisvigu, vajadusel lisati puuduvaid aastarõngaid ning tehti puurproovide kordusmõõtmisi kasutades mõõtmisaparaati Lintab ja mikroskoopi Leica S4E. Parandatud raadiused keskmistati uueks puu keskmiseks ning sünkrooniti kogu uurimisala puude keskmisega. Juurdekasvuridade sarnasuse visuaalsel hindamisel kaasati parandatud juurdekasvuread valimisse. Eeldades, et kliima mõjutab sama liiki puude juurdekasvu igal uurimisalal sarnaselt ning võttes arvesse rabamändide individuaalseid negatiivseid häiringuid (võimalik murdumine, põdrakahjustused jne.), kõrvaldati uurimisala (punkti) keskmise koostamisel valimist oluliselt erineva juurdekasvuga puude juurdekasvuread.

Lisaks visuaalsele juurdekasvuridade analüüsile mõõdeti transekti 7. punkti olemasolul 6. ja 7. punkti puude sarnasust ka statistiliste sarnasusnäitajatega. Mõlema punkti keskmiseks valitud puude juurdekasvuridade kvaliteedikontroll ning korrelatsioonianalüüs tehti programmis Cofecha. Kui kõrgeimate korrelatsioonidega on ühe punkti puud, saab järeldada, et punktid moodustavad kaks erinevat rühma. Kui punktid on erinevad, siis tulemused ei pruugi mõlemale punktile olla üldistavad ning bakalaureusetöös ei saa 7. punkti puude valimisse kaasata 6. punkti puud. Kui kõrgeimate korrelatsioonidega puud moodustuvad kahe eri punkti puudest, siis saab järeldada, et neid on võimalik edasises analüüsis kasutada ühe rühmana.

Korrelatsioonanalüüsiks toodi programmi Cofecha *.rwl* fail, mis sisaldas eelnevas etapis visuaalse hinnangu alusel valitud 6. ja 7. punkti juurdekasvuridasid ning mille alusel programm moodustas analüüsiks nn. master-kronoloogia. Seejärel arvutas programm iga puu korrelatsiooni master-kronoloogiaga. Lisaks korrelatsioonile näitas programm iga juurdekasvurea juures võimalike vigade arvu - *flags* (ing. k. lipud). Lippude arv >0 viitas

juurdekasvurea võimalikele vigadele ning statistiliselt suurema sarnasusega positsioonile kindla 50-aastase löigu kohta. Kuna kõigis analüüsitavates rabades olid korrelatsioonanalüüsi tulemusel kõrgeimad korrelatsioonid ja 0 lipuga puud esindatud mõlemas proovipunktis, siis saame järeldada, et nad korreleeruvad hästi ja on käsitletavad ühe kogumina.

Edasises valimi moodustamises ja analüüsis lähtuti sellest, et Cofecha ei anna lõplikku tõde, kuna programm koostab master-kronoloogia kõigist sisendridadest (etteantud read, milles võib esineda vigu). Sellest tulenevalt keskmistati 0 lippudega juurdekasvuread uuesti programmis TSAP-Win, et loodud keskmisi kasutada Cofecha poolt lippudega viidatud juurdekasvuridade analüüsimiseks. Lõpp-parandused tehti visuaalse hinnangu alusel graafikutelt programmis TSAP-Win, kontrollides muudatuste kvaliteeti uuesti programmis Cofecha. Iga raba keskmise juurdekasvu iseloomustamiseks võeti valimisse kõik puud, mille lippude arv oli väiksem kui 2. Rohkem kui 2 lipuga rabamännid enamasti eemaldati valimist, kuid konkreetsed otsustused tehti graafikute võrdlemise põhjal.

Võrdlusriidade visuaalse hinnangu alusel programmis TSAP-Win ning statistiliste näitajate abil programmis Cofecha moodustati statistiliselt sarnaste puudest valim. Vastavalt uuele valimile tehti Allipa, Essaku, Hindaste, Kaseraba, Kauru, Keressaare, Laukasoo, Musa, Tellissaare, Umbusi ja Selisoo 6. ja 7. punkti puudest TSAP-Win programmis iga soo mändide juurdekasvu keskmine. Kassisaare, Koordi, Maarjapeakse, Mõksi, Tuudi, Ullika, Vedelsoo ja Tuhu transekti olemasoleva viimase punkti keskmised nimetati ümber soode juurdekasvu keskmisteks.

3.3 Rabade omavaheline seos

Rabade omavahelise seose iseloomustamiseks kasutati korrelatsioonianalüüsi. Korrelatsiooni arvutamiseks tehti esmalt programmis TSAP-Win iga soo mändide juurdekasvukeskmisi iseloomustav *.xls* fail, mis annaks ülevaate ka keskmise moodustanud puude arvust. Eeldades, et alates viie puurproovi keskmine esindab adekvaatselt juurdekasvu (Läänelaid 2000), eemaldati programmis MS Excel juurdekasvud, millel ei olnud vähemalt viis puud esindatud. Rabade keskmist juurdekasvu vastavalt aastatele illustreerib lisa nr. 4.

Kahe normaaljaotusega tunnuse vastastikuse sõltuvuse kirjeldamiseks kasutati lineaarset ehk Pearsoni korrelatsioonikordajat (Remm jt. 2012). Pearsoni korrelatsioonikordaja on MS Exceli keskkonnas leitav funktsiooniga *CORREL(array1,array2)*, kus *array1* ja *array2* vastavad kahele uuritavale väärtusele (ExcelFunctions.net 2008). Korrelatsioonikordajate omavahelise võrdlemise huvides võeti korrelatsiooni arvutamise alguseks lühima kronoloogiaga soo, ehk Musa, vähemalt 5 puu esindusega algusaasta. Soode keskmise juurdekasvu kronoloogia pikkust illustreerib lisa nr 2. Korrelatsiooni arvutamise lõpuaastaks võeti 2012, kust pärineb enamiku rabade viimane aastarõngas. Eeltoodut silmas pidades sai analüüsiperioodiks 1975-2012. Korrelatsioonianalüüsil korreleeriti iga raba aastarõngalaiuste rida kõigi ülejäänud kaheksateistkümmne võrreldava rabaga. Saadud korrelatsioonikordajate maatriksi visualiseerimiseks ja hierarhiliseks klasterdamiseks kasutati statistikatarkvara R kasutajaliidest RStudio.

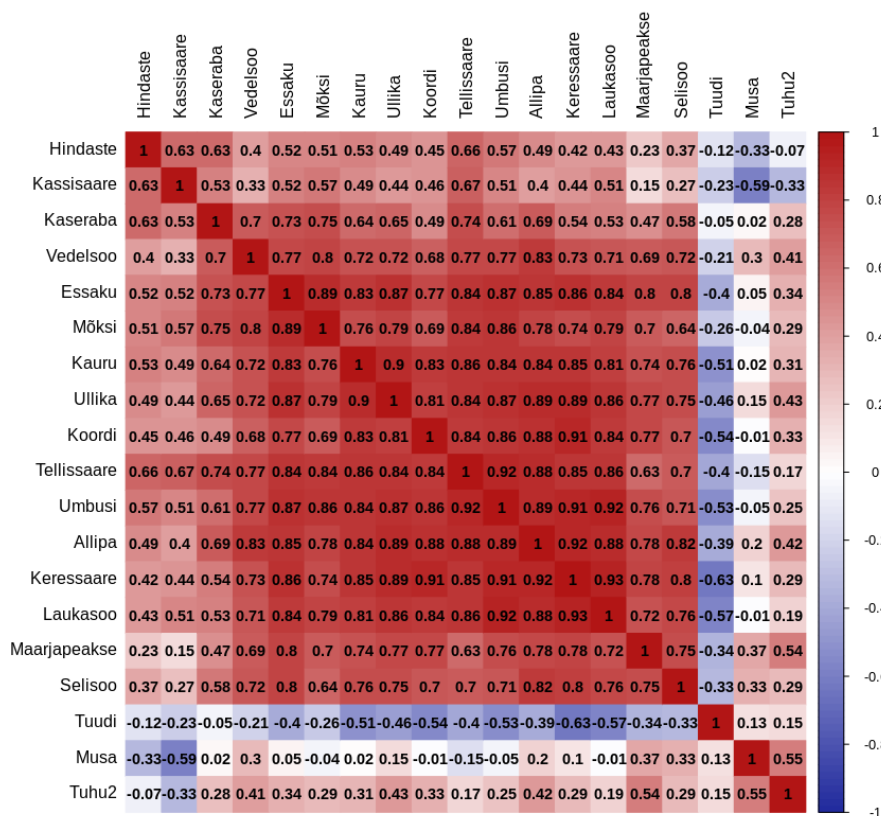
Raba standardiseeritud juurdekasvukeskmise koostamiseks kasutati programmi ARSTAN (DPL). Arstani sisendfailiks tehti TSAP-Win programmis *.rwl* fail, mis sisaldas raba juurdekasvukeskmise tegemiseks valitud puuproove. Standardiseerimise tulemusena koostas ARSTAN kolm erinevat kronoloogiat: standard- (S), jääkliikmete (R) ja autoregressiivse kronoloogia (A) (Lille 2008). Edasiseks analüüsiks võeti standardiseerimisel saadud jääkliikmete (R) kronoloogia, milles on kõrvaldatud järjestikuste liikmete vaheline autokorrelatsioon ja ebasoovitav füsioloogilistest vananemisest tulenev pikaajaline varieerumine (Lille 2008). Järgnevalt arvutati eeltoodud meetodil MS Excelis rabade omavaheline seos ja koostati korrelatsioonikordajate maatriksid RStudios ka standardiseeritud juurdekasvukeskmiste kohta.

4. Tulemused

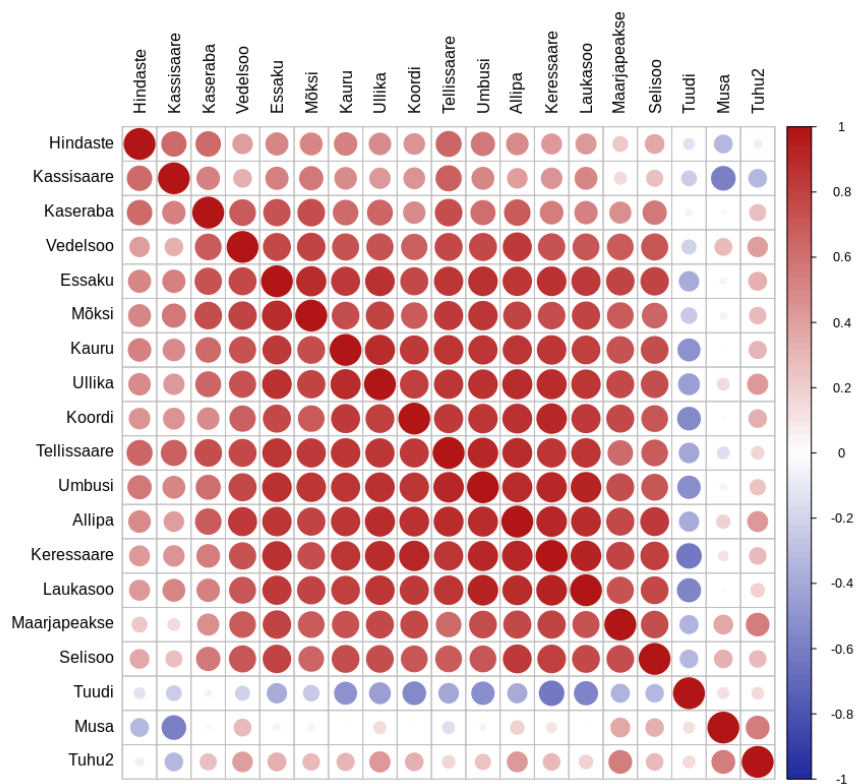
Tulemuseks saadud korrelatsioonimaatriksid (Joonised 4 ja 5) väljendavad seoseid kõigi 19 uuritava raba mändide vahel. Seost nimetatakse nõrgaks, kui $R \leq 0,3$; keskmiseks, kui $0,3 < R < 0,7$ ja tugevaks, kui $R \geq 0,7$ (Remm jt. 2012). Korrelatsioonikordajate statistilise olulisuse määrati Pearsoni korrelatsioonikordaja kriitiliste väärtuste tabeli abil (Statistics Solutions 2019). Kui kasutada Pearsoni korrelatsioonikordaja kriitiliste väärtuste tabelit, tuleb arvestada vabadusastmete arvuga $N-2$. Kui vaatluste arv (N) on 37, siis olulisuse nivoo 0,05 korral otsused saadud korrelatsioonidest oluliseks $R \geq 0,325$ (Statistics Solutions 2019).

4.1 Juurdekasvukeskmiste korrelatsioonid

Rabade juurdekasvukeskmiste korrelatsioonimaatriksi hierarhilisel klasterdusel (Joonis 4 ja 5) joonistub maatriksi keskel kõrgete ja statistiliselt oluliste korrelatsioonide kogum. Mõnevõrra erineva käitumisega on Kaseraba, Kassisaare ja Hindaste, mille korrelatsioonid on keskmise tugevusega. Eraldiseisvate rabadena peab käsitlema Tuudi, Musa ja Tuhu soid, kus esinesid statistiliselt olulised keskmise tugevusega negatiivsed korrelatsioonid.

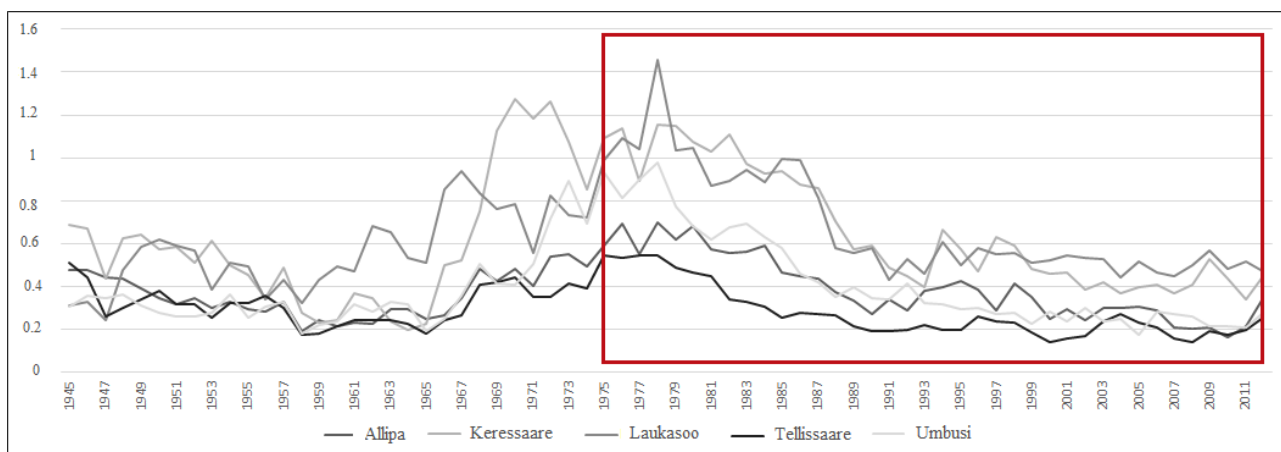


Joonis 4. Rabade juurdekasvukeskmiste hierarhilise klasterdusega korrelatsioonimaatriks. Statistiliselt olulised korrelatsioonikordajad on märgitud paksus kirjas.



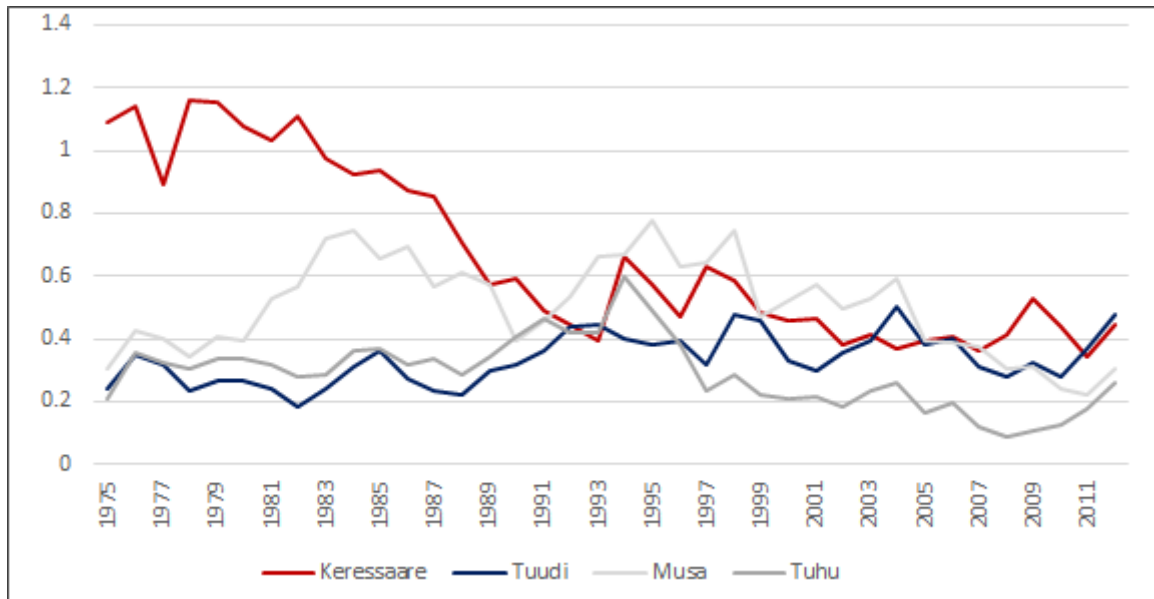
Joonis 5. Rabade keskmiste hierarhilise klasterdusega korrelatsioonimaatriks. Ringi värv näitab seose suunda ja ringi suurus seose tugevust.

Tugevalt korreleeruvate rabade sarnast juurdekasvu ilmestab Allipa, Keressaare, Laukasoo, Tellissaare ja Umbusi näitel joonis 6. Sarnane juurdekasvumuster esineb visuaalsel analüüsil ka uurimisperiodile eelnevatel aastatel.

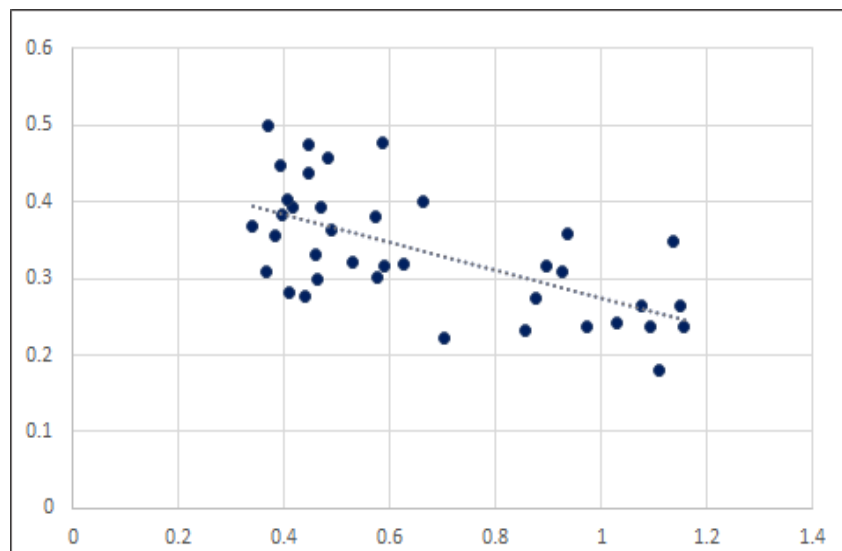


Joonis 6. Tugevate positiivsete korrelatsioonidega rabade mändide juurdekasvud millimeetrites. Punasega on märgitud uurimisperiod 1975-2012.

Madalate positiivsete ja madala ning keskmise tugevusega negatiivsete korrelatsioonidega Tuudi, Musa ja Tuhu mändide juurdekasvustrid erinevad märgatavalt kõrgete korrelatsioonikordajatega rabade mändide juurdekasvudest (Joonis 7). Suurim negatiivne korrelatsioon ($R=-0.63$) ilmnes Tuudi ja Keressaare mändide vahel (Joonised 7 ja 8).



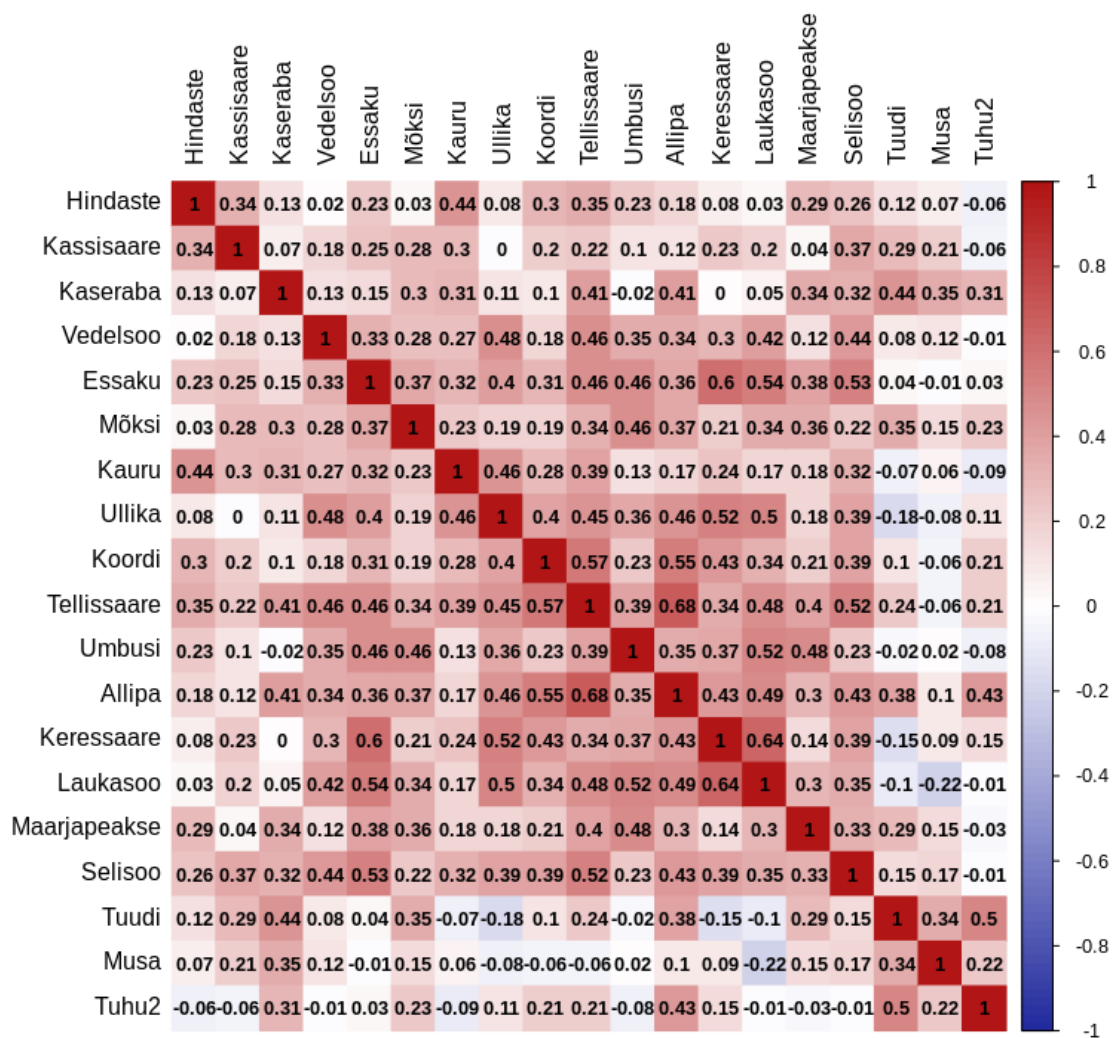
Joonis 7. Uuritud rabadest madalaimate korrelatsioonidega ning negatiivsete korrelatsioonikordajatega rabade juurdekasvud millimeetrites.



Joonis 8. Tuudi ja Keressaare raba mändide radiaaljuurdekasvu hajuvusdiagramm.

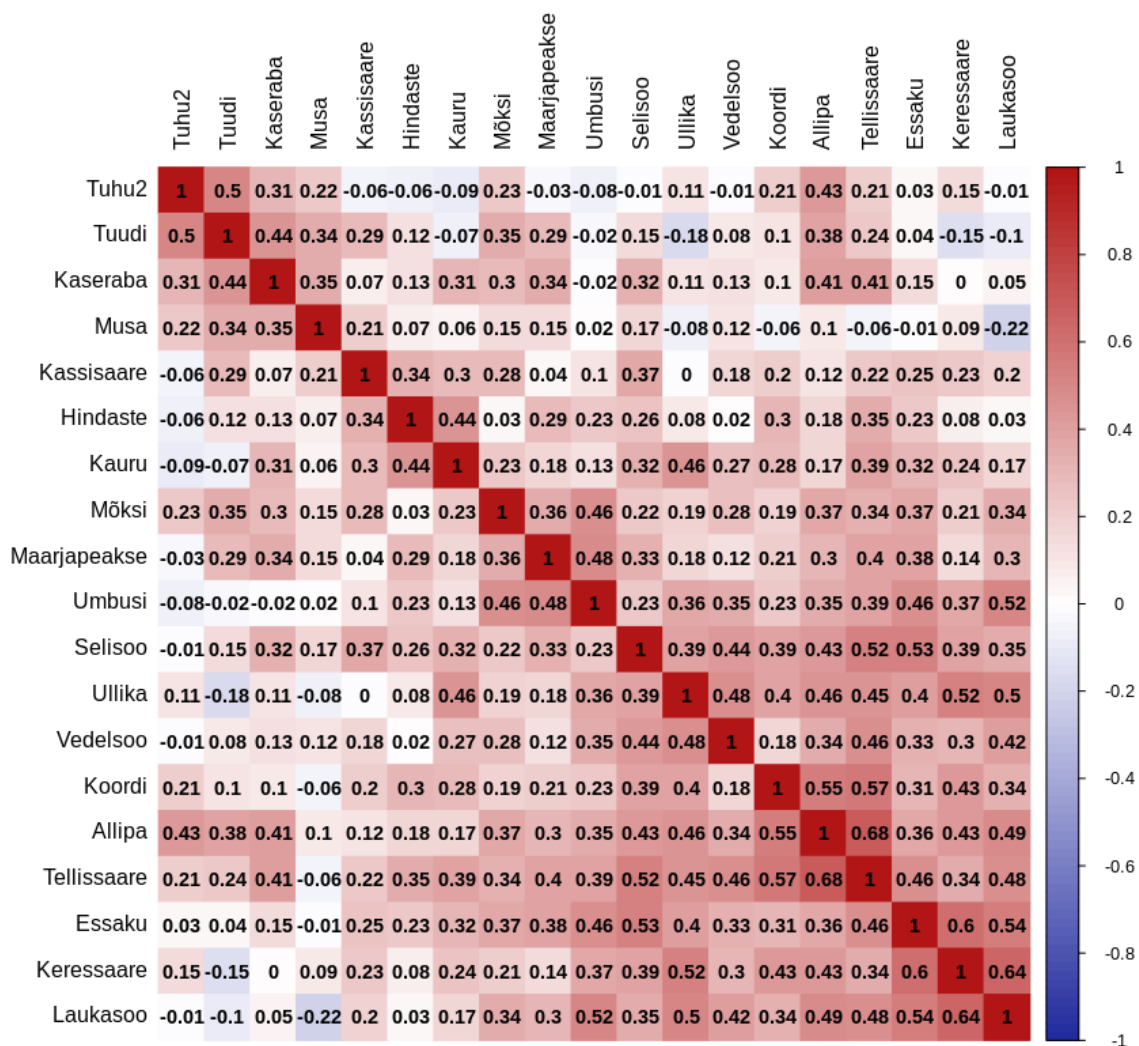
4.2 Standardiseeritud juurdekasvukeskmiste korrelatsioonid

Standardiseeritud juurdekasvukeskmiste korreleerimine madaldas soodevahelisi seoseid (Joonis 9). Madalamate korrelatsioonide ilmumist võib seostada standardiseerimisel kõrvaldatud pikaperioodilise trendiga. Pikaajalise trendi eemaldamisel kajastavad korrelatsioonikordajad valdavalt aastarõngalaiuste kõrgsageduslikke võnkumisi.



Joonis 9. Rabade mändide radiaaljuurdekasvu standardiseeritud keskmiste korrelatsioonimaatriks eelnevate maatriksite rabade järjestuses.

Standardiseeritud keskmistega maatriksil joonistub klasterdamisel Umbusi, Seliso, Ullika, Vedelsoo, Koordi, Allipa, Tellissaare, Essaku, Keressaare ja Laukasoo keskmise tugevusega korrelatsioonidest domineeriv klaster (Joonis 10). Samuti moodustuvad mitmed väikesed klastrid kolme-nelja soo omavahelistest statistiliselt olulistest seostest. Väikestest klastritest saab eristada Allipa, Tuudi, Tuhu ja Kaseraba seost ning Musa, Kaseraba, Tuudi ja Tuhu seost. Kõige tugevamad seosed ilmnesid Tellissaare ja Allipa ($R=0.68$), Keressaare ja Laukasoo ($R=0.64$) ning Essaku ja Keressaare ($R=0.6$) vahel.



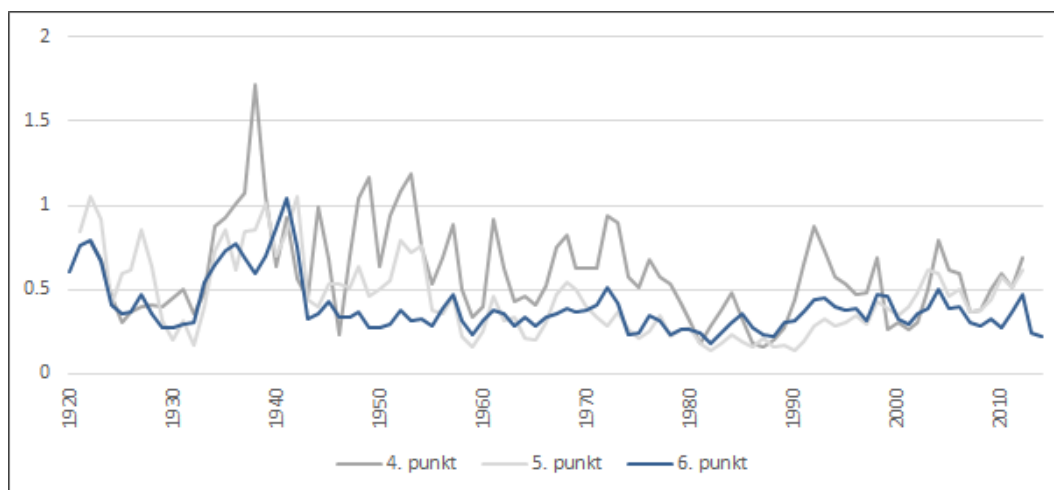
Joonis 10. Rabade mändide radiaaljuurdekasvu standardiseeritud keskmiste hierarhilise klasterdusega korrelatsioonimaatriks.

5. Arutelu

Käesolevas bakalaureusetöös võeti rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafiliste seoste uurimise eesmärgil vaatluse alla 19 raba üle Eesti. Rabade omavaheliste seoste uurimiseks kasutati korrelatsioonianalüüsi meetodit, milles ilmnisid klastrid sarnaste juurdekasvudega rabadest.

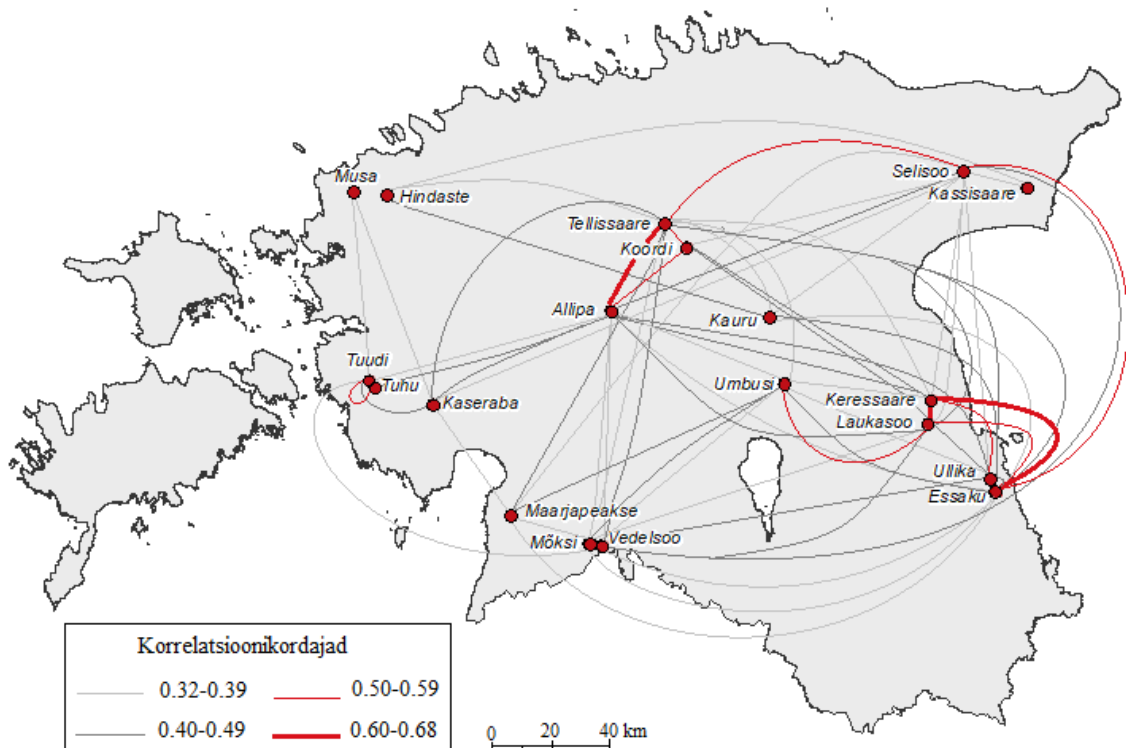
Korrelatsioonianalüüsi tulemusena moodustusid kaks oluliselt erinevate korrelatsioonikordajatega maatriksit. Standardiseerimata korrelatsioonimaatriksis (Joonised 4 ja 5) moodustusid enamiku rabade vahel tugevad korrelatsioonid. Samuti avaldusid oluliselt erinevad rabad, mille kasvumuster näitas keskmise tugevusega negatiivset korrelatsiooni või madalat statistiliselt mitteolulist positiivset ja negatiivset seost. Tuginedes teooriale ning juurdekasvuridade visuaalsele analüüsile, võib mändide juurdekasvu standardiseerimata keskmiste kõrgeid korrelatsioone selgitada pikaajaliste trendide või tsüklite ühtimisega (Läänelaid 1999). Mändide pikaajalised juurdekasvutrendid rabades ei pruugi iseloomustada rabade looduslikke geograafilisi erinevusi, vaid näitavad eelkõige rabade hüdroloogilisi muutusi, maaparandustööde esinemisi ning nende intensiivsust (Cedro, Lamentowicz 2011).

Standardiseerimata juurdekasvu korrelatsioonimaatriksis eristus Tuudi raba tähelepanu äratavalt teistest uuritavatest rabadest. Võimalike vigade avastamiseks kontrolliti mõõtmisprogrammis Tuudi juurdekasvu keskmise moodustanud puurproovide dateeringuid. Lisaks võrreldi uuritavat punkti nr. 6 uurimistööst välja jäänud transekti punktidega nr. 4 ja 5 (Joonis 11). Visuaalsel analüüsil on näha, et rabamändide juurdekasvu keskmiste seeriade võnked ehk fluktuatsioonid on kõigis kolmes punktis suhteliselt sarnased (sünkroonsed), mistõttu ei ole alust arvata, et bakalaureusetöös kasutatud Tuudi raba mändide juurdekasvu keskmises esineks vigu.



Joonis 11. Tuudi raba kolme erineva transektipunkti mändide juurdekasvukeskmiste võrdlus. Mändide juurdekasv väljendub millimeetrites.

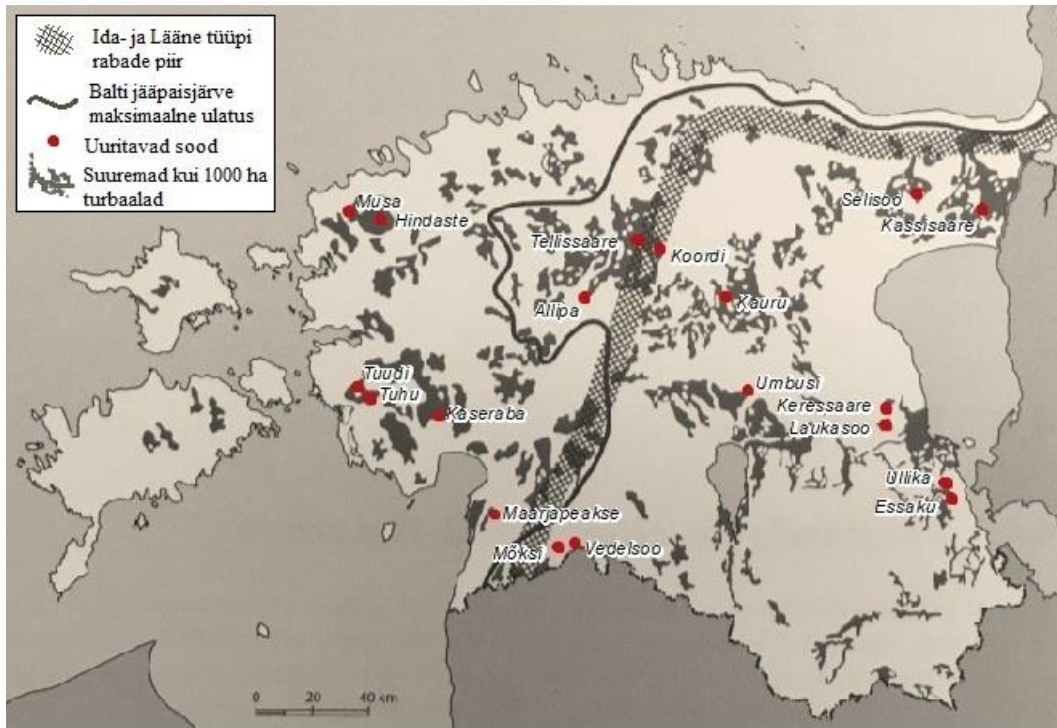
Pärast pikaajalise trendi eemaldust standardiseerimisega joonistusi klasterdatud maatriksis välja sarnaste rabade grupid (Joonis 10). Kuigi tulemuseks on madalamad korrelatsioonikordajad kui standardiseerimata maatriksites, väljendavad need siiski paremini uuritavate rabamändide looduslikest faktoritest ja rabade geograafiast tulenevaid juurdekasvu ruumilisi seoseid, kuna võimalik pikaajaline trend on standardiseerimisel silutud.



Joonis 12. Rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafilised seosed lineaarse korrelatsiooni alusel (aluskaart: Maa-amet).

Tuudi, Musa ja Tuhi moodustavad endiselt vaadeldavatest soodest eraldi toimiva rühma. Statistiliselt oluline keskmise tugevusega seos joonistub Tuudil Kaseraba, Mõksi, Allipa, Musa ja Tuhi vahel, Musa rabal Kaseraba ja Tuudiga ning Tuhi sool Tuudi ja Allipaga. Kuigi Tuhi soo korrelatsioon Kaserabaga ($R=0,31$) on statistiliselt ebaoluline ning üsna madal, siis võib seda siiski vaadelda kui rabade geograafilise seose kasvumustri iseloomustajat. Madalate korrelatsioonidega rabad paiknevad ruumiliselt pigem rannikuvööndis, mis kinnitab merelise kliima mõju rabamändide juurdekasvule. Rannikuvööndi uuritavate rabade omavahelised juurdekasvu seosed on keskmise tugevusega (0.32-0.39), jäädes alla Kesk-, Ida- ja Kagu-Eesti soode omavahelistele seostele. Rannikuvööndi rabadel esinevad tugevamad individuaalsed eripärad. Kesk- ja Ida-Eesti sood on omavahel tugevamalt seotud moodustades domineeriva grupi ka joonisel 12. Rannikualal asuvate ning Kesk- ja Ida-Eesti rabade juurdekasvu erinevus võib tuleneda kliimast. Mereline pehme kliima ei soosi lumevaru teket, mistõttu sademed jõuavad kiiremini ning ühtlasemalt pinnasesse. Kontinentaalne kliima pärsib talvel lumikatte sulamist, sademed akumuleeruvad ning tekitavad suure kevadise tulvavee ohu. Rabamändide juurdekasvude kliimatiliste seoste uurimisse bakalaureusetöö raames teadlikult ei süüvitud, kuna see moodustab omaette suure uurimisteema. Madalamate seostega ranniku- ja Lääne-

Eesti rabade eraldatust võib seostada ka ligi 11800 aastat tagasi laiunud Balti jääpaisjärve järelmõjuga. Nimelt jäävad madalamate korrelatsioonidega sood jääpaisjärve maksimaalse leviku piiriga eraldatud Madal-Eestisse ning kõrgemate korrelatsioonidega rabad Kõrg-Eestisse (Joonis 13). Samuti järgib Lääne-Eesti madalamate korrelatsioonidega rabade paiknemine ligikaudselt Lääne-Eesti platoorabade ja Ida-Eesti kumerrabade piiri (*ibid.*).



Joonis 13. Ida- ja läänetyüpi rabade piir ning Balti jääpaisjärve maksimaalne ulatus, mis tähistab ka Kõrg- ja Madal-Eesti piiri (aluskaart: Paal, Leibak 2011: 40).

Uurimistöö tulemusena selgus, et 19 uuritaval rabal näitavad rabamändide aastarõngad ka rabade omavahelise kauguse seoseid. Eelkõige peegeldub kauguse seos kontinentaalse kliimaga Kesk- ja Ida-Eestis. Korrelatsioonimaatriksitele ja soode seoste visualiseeringutele tuginedes saab järeldada, et mida kaugemal paiknevad Kesk- ja Ida-Eesti sood üksteisest, seda väiksem on nendevaheline seos. Mida lähemal paiknevad sood, seda suuremad on reeglina juurdekasvu sarnasused. Kagu-Eestis paiknevad üksteise naabruses Ullika, Essaku, Laukasoo ja Keressaare raba, mis moodustavad joonisel kõrgeimate korrelatsioonidega klastri. Samuti moodustub ülejäänud rabadest tugevam seos Kesk-Eestis paiknevate Koordi, Tellissaare ja Allipa raba vahel. Siiski ei taga soode geograafiline lähedus alati nende tugevat seost. Soode lähedusest tulenevat tugevamat seost ei ilmne Lääne- ja Edela-Eestis. Nii puudub lähedalasuvate Musa ja Hindaste ($R=0,07$), Tuhu ja Kaseraba ($R=0,31$) ning Mõksi ja Vedelsoo ($R=0,28$) vahel statistiliselt oluline seos. Kesk-Eestis ei joonistu kauguse positiivne seos Kauru ja Umbusi ($R=0,13$) ning Kauru ja Allipa ($R=0,17$) vahel.

Rabade omavahelise kauguse ning korrelatsioonide võrdlemisel selgus, et 69st statistiliselt olulisest seosest ($R=0,32-0,68$) oli vaid kolmel korral soode vahemaa üle 130 km. Nendeks soodeks olid Hindaste ja Kassisaare ($R=0,34$) vahemaaga 213 km, Vedelsoo ja Selisoo

($R=0,44$) vahemaaga 173 km ning Maarjapeakse ja Essaku vahemaaga 161 km. Sellest tulenevalt võib järeldada, et uuritud rabamändide juurdekasvude vaheline seos kahaneb mõningate eranditega kauguse suurenedes statistiliselt ebaolulise piirini 130 km vahekaugusel.

Ain Kulli (2016) soode uurimisprojekti aruandes jagati käesoleva bakalaureusetöö raames uuritavad sood viide gruppi: freesturbaväljaga külgnevad sood (Laukasoo ja Umbusi), metsandusliku kuivenduskraaviga rabad (Tellissaare ja Vedelsoo), looduslikult taastuvad rabad (Maarjapeakse, Ullika ja Kauru idatransekt), piirdekraaviga rabad (Allipa, Esäkeste, Kaseraba, Kauru, Keressaare, Koordi, Musa, Mõksi ja Selisoo) ning siirdesood (Tuhu, Tuudi, Hindaste ja Kassisaare). Uuritud mändide juurdekasvudes ei näita samasse soodegruppi kuuluvad sood olulist seaduspära ega kõrgeid korrelatsioone (Lisa nr. 3). Enamikul juhtudel jääb nende korrelatsioon alla statistilise usaldatavuse piiri. Mõnevõrra tugevamat omavahelist seost näitas freesturbavälja läheduses paiknevate rabade grupp. Sellest hoolimata ei saa teha üldistust, et rabamändide juurdekasvud on freesturbaväljaga külgnevatel rabadel sarnasemad kui teiste gruppide vahel. Gruppi esindavad antud uurimistöö raames vaid Laukasoo ja Umbusi raba, mille seos on mõjutatud ka geograafilisest lähedusest.

Huvipakkuv on mändide omavahelisi seoseid võrrelda Eesti soode valdkondade ruumilise paiknemisega (Joonis 14). Tugevate omavaheliste korrelatsioonidega Umbusi, Essaku, Keressaare ja Laukasoo kuuluvad kõik Kesk- ja Ida-Eesti suurte soode valdkonda. Lisaks kuulub samasse valdkonda veel Selisoo, mis vaatamata kaugusele näitas statistiliselt olulist seost nii Keressaare, Laukasoo, Ullika kui ka Essakuga. Veel koonduvad suurimad korrelatsioonid Tellissaare, Koordi ja Allipa vahel mosaiiksoode valdkonna kõrgustiku äärealade allvaldkonnas. Mõlemad klastrid järgivad soovaldkondade piire. Siiski ei saa soovaldkondi kui tervikut võtta mändide sarnase juurdekasvu eelduseks, kuna suurem osa juurdekasvude statistiliselt olulistest seostest on erinevate valdkondade vahel.

Uurimistöo väike valim ei luba teha üle-eestilisi üldistusi soode valdkondade ning juurdekasvu seostest. Sellest tulenevalt oleks edaspidiselt võimalik uurimistöös kasutatud meetodil hinnata suurema rabade valimi põhjal konkreetsemalt soovaldkondade ja rabamänni juurdekasvu seoseid. Käesoleva uurimuse edasiarenduseks oleks soovitatav sügavamalt uurida erinevate standardiseerimise meetodide ning algoritmide mõju ja sobivust rabamändide kasvutrendi eemaldamisel. Lisaks pakub bakalaureusetöö head alust rabamändide kliimaatiliste seoste ning näitaastate uurimiseks.

6. Kokkuvõte

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli uurida Eesti rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafilisi seoseid. Töö aluseks olid varasema uuringu raames kogutud puurproovid 19st erinevast soost üle Mandri-Eesti. Dendrokronoloogiliste meetoditega koostati iga uurimisala puude radiaalse juurdekasvu keskmine ning standardiseeritud keskmine. Korrelatsioonianalüüsi meetodil leiti sarnaste juurdekasvudega rabamännid.

Korrelatsioonianalüüsi tulemusena moodustusid kaks oluliselt erinevate korrelatsioonikordajatega maatriksit. Standardiseerimata korrelatsioonimaatriksil moodustusid enamike rabade vahel tugevad korrelatsioonid. Tähelepanu äratavalt eristus Tuudi raba teistest uuritavatest rabadest.

Pikaajalise trendi eemaldus juurdekasvude standardiseerimisega vähendas rabade omavahelisi korrelatsioone, kuid tõi välja juurdekasvude ruumilised seosed. Madalate korrelatsioonidega rabad paiknevad ruumiliselt pigem rannikuvööndis. Rannikuvööndi rabadel esinesid tugevamad individuaalsed eripärad. Nende omavahelised juurdekasvu seosed ületasid reeglina vaevu statistilise olulisuse künnise ($R=0,32-0,39$), jäädes alla ka Kesk-, Ida- ja Kagu-Eesti soode omavahelistele seostele (üldjuhul $R=0,40-0,68$).

Kesk- ja Ida-Eesti sood moodustasid omavahel kõrgemate korrelatsioonidega klasteri. Suurimad juurdekasvu sarnasused ilmnesid Umbusi, Selisoo, Ullika, Vedelsoo, Koordi, Allipa, Tellissaare Essaku, Keressaare ja Laukasoo vahel.

Tuvastatud juurdekasvu erinevuste vaheline joon langes kokku Madal- ja Kõrg-Eesti vahelise piiriga, mis markeerib ka Balti jääpaisjärve maksimaalset ulatust. Madalamate seostega ranniku- ja Lääne-Eesti rabade diferentseerumine annab alust seostada rabamändide kasvu Balti jääpaisjärve järelmõjude või merelise kliimaga.

Lisaks tuvastati uurimistöö tulemusena positiivne juurdekasvuseos lähedal asuvate rabade vahel Ida- ja Kesk-Eesti kontinentaalses kliimas. Uuringu kõige tugevamad seosed ilmnesid Tellissaare ja Allipa ($R=0,68$), Keressaare ja Laukasoo ($R=0,64$) ning Essaku ja Keressaare ($R=0,6$) vahel, mis asuvad üksteise vahetus läheduses. Lääne- ja Kagu-Eestis paiknevate soode vahel läheduse positiivset seost juurdekasvule ei ilmnenud, mida ilmestab statistiliselt olulise seose puudumine kõrvuti paiknevate Mõksi ja Vedelsoo ($R=0,28$), Tuhu ja Kaseraba ($R=0,31$) ning Musa ja Hindaste ($R=0,07$) vahel.

Rabade omavahelise kauguse ning korrelatsioonide võrdlemisel selgus, et uuritud rabade 69st statistiliselt olulisest seosest oli vaid kolmel korral soode vahemaa üle 130 km. Nendeks soodeks olid Hindaste ja Kassisaare ($R=0,34$) vahemaaga 213 km, Vedelsoo ja Selisoo ($R=0,44$) vahemaaga 173 km ning Maarjapeakse ja Essaku vahemaaga 161 km. Sellest tulenevalt võib järeldada, et rabamändide juurdekasvude vaheline seos kahaneb mõningate eranditega statistiliselt ebaolulise piirini 130 km vahekaugusel.

Geographical patterns of radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in Estonian bogs

Triin Abrams

Summary

Past studies have shown that Scots pines (*Pinus sylvestris*) growing on mineral soils reflect regional climatic conditions and save the information in their growth rings (Läänelaid 2002). Despite of researches on growth differences of pines growing on mineral and peat soil in Latvia (Dauškane, Elferts 2011), Lithuania (Edvardsson *et al.* 2015) and Poland (Cedro, Lamentowicz 2011), the geographical patterns of radial growth of Scots pine growing on peatlands remained unclear.

The aim of this bachelor thesis was to study the geographical variation of radial growth pattern of Scots pine growing in Estonian pristine raised bogs. The research was based on core samples of pines from 19 mainland bogs of Estonia, collected for a previous project. Dendrochronology program TSAP-Win (Rinntech) was used to examine tree-ring data and to compile averaged radial growth chronologies. The ring widths were remeasured in case of any doubt using the LINTAB tree-ring measuring table and missing rings were inserted if needed. The tree-ring measurements were examined using the program Cofecha (Grissino-Mayer) and tree-ring series were detrended by standardization using the program ARSTAN (DPL). Raw and standardized average radial growth chronologies were developed for each peatland for further analysis. The common chronology length 37 years (1975-2012) was chosen based on the shortest averaged radial growth chronology. The relationships between the radial growth of Scots pine were calculated by using Pearson correlation coefficients.

The correlation matrices indicated notable difference between the non-standardized and standardized tree-ring chronologies. The correlation matrix with raw growth chronologies showed a high positive correlation between the most of the studied bogs. Based on the knowledge that standardization is needed to minimize the long-term trend and tree age-related effects on growth, the standardized series matrix with lower correlations was analysed to identify more precise relations between the raised bogs.

The results indicated higher correlation between the growth variations of pines in close located bogs in the eastern and central parts of Estonia. Peatlands near the coastline had lower correlation with each other as well as with all other studied peatlands. The border line between the two regions followed the boundary between the Lower and Upper Estonia and the approximate waterline of the Baltic Ice Lake.

Tänuavaldused

Tänan oma juhendajat Alar Läänelaidi asjatundliku juhendamise eest, panustatud aja ning kasulike nõuannete eest nii arvutiprogrammide käsitlemisel kui ka andmeanalüüsi tulemuste tõlgendamisel.

Samuti tänan vanemteadurit Ain Kulli töös kasutatud andmete ning suunavate kommentaaride eest.

Kasutatud kirjandus

Aluve, K., 1978. Eesti NSV lääneosa ehitismälestiste dendrokronoloogilisest dateerimisest. - Ehitus ja Arhitektuur, 2. lk. 18-23.

Arizona Ülikool, 2019. *Software / Laboratory of Tree-Ring Research*. <https://ltr.arizona.edu/research/software> (Viimati vaadatud 26.05.2019)

Artmann, A., 1949. Jahrringchronologische und - klimatologische Untersuchungen an der Zirbe und andern Bäumen des Hochgebirges. Dissertation, Univ. Munich.

Biondi, F., Qeadan, F., 2008. A theory-driven approach to tree-ring standardization: Defining the biological trend from expected basal area increment. *Tree-Ring Research*, 64(2). lk. 82. DOI: <https://doi.org/10.3959/2008-6.1>

Brehme, K., 1951. Jahrringchronologische -und klimatologische Untersuchungen an Hochgebirgslärchen des Berchtesgadener Landes. *Ztschr. Weltforstwirtschaft.*, 14. lk. 64- 80.

Bräker, O., 2002. Measuring and data processing in tree-ring research - a methodological introduction. *Dendrochronologia*, 20(1-2). lk. 203-216.

Cedro, A., Lamentowicz, M., 2011. Contrasting responses to environmental changes by pine (*Pinus sylvestris* L.) growing on peat and mineral soil: An example from a Polish Baltic bog. *Dendrochronologia*, 29(4). lk. 211-217. DOI: 10.1016/j.dendro.2010.12.004

Cedro, A., 2008. Dendrochronologiczna analiza sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) występującej na obszarze torfowiska "BiałeŁugi". In: Zurek, S. (Ed.), *Torfowiska gór i wyzyn*. Wydawnictwo Akademii Swieokrzyskiej, lk. 98–104.

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) lk. 26-33.

Cook, E., 1990. A Conceptual Linear Aggregate Model for Tree Rings. In: E.R. Cook and L.A. Kairiukstis (toim.), *Methods of Dendrochronology Applications in the Environmental Sciences*. International Institute for Applied Systems Analysis, lk. 98.

Cook, E., Holmes, R., 1999. *USERS MANUAL for Program ARSTAN*. Tucson, Arizona USA: Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, lk. 8-12. Saadaval: <https://bit.ly/2WXsGMO> (viimati vaadatud 19. 05.2019)

Dauškane, I., Elferts, D., 2011. Influence of climate on Scots pine growth on dry and wet soils near Lake Engure in Latvia. *Estonian Journal of Ecology*, 60(3). lk. 225-235. DOI: 10.3176/eco.2011.3.05

Degron R., Nepveu G., 1996. Prevision de la variabilite intramet interarbre de la densite du bois de chevre rouvre (*Quercus petraea* Liebl.) par modelisation des largeurs et des densites des bois initial et final en fonction de l'age cambial, de la largeur de cerne et du niveau dans l'arbre. Annales des Sciences Forestieres, 53. lk. 1019-1030. Saadaval: <https://bit.ly/2wo5H1y>

Douglass, A.E., 1934. Accuracy in dating - II. The Presentation of Evidence. Tree Ring Bulletin, 1(2). lk. 10-11.

Douglass, A.E., 1935. Accuracy in dating - II. The Presentation of Evidence. Tree Ring Bulletin, 1(2). lk. 19-21.

Ebding, T., Schinker, M.G., Spiecker, H., 1995. Methods of empirical studies of cell structures and of cell development in tree-rings including sample collection, sample preparation and image analysis: Optical and mechanical analysis of cross sections of wood. In: H. Spiecker and P. Kahle (toim.), Proceedings of the Workshop: Modelling of Tree-Ring Development - Cell Structure and Environment, Freiburg, September 5.-9. 1994. Institut fuer Waldwachstum, Universitaet Freiburg. lk. 69-70.

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. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/s11104-015-2466-9

Eesti sood, 2019a. Soode uurijatest. www.soo.ee (viimati vaadatud 12.05.2019).

Eesti sood, 2019b. Ajalugu Eestis. www.soo.ee (viimati vaadatud 12.05.2019)

ExcelFunctions.net. (2008). *The Excel CORREL Function*. Saadaval: <https://www.excelfunctions.net/excel-correl-function.html> (viimati kasutatud 5.05.2019).

Fomin, A.V., 1898. Болота в Европейской России. Экспедиция по исследованию источников главнейших рек России Европейской. С. - Петербург.

Fritts, H.C., 1976. Tree rings and climate. Academic Press, New York.

Hang, T., Kalm, V., 2014. Maa pinnamood ja seda mõjutavad tegurid. Rmt.: Ü. Mander, Ü. Liiber (toim.), Üldmaateadus. Tartu, Tartu Ülikool, lk. 223-230.

Hordo, M., 2011. Application of dendroclimatological methods for growth modelling. A Thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Forestry. Eesti Maaülikool.

Hutton, J., 1788. Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the globe. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1. lk. 209-304. Saadaval: <https://bit.ly/2HXRfmg>

- Järvet, A., 2010. 100 aastat soouuringute algusest Toomal. Eesti Loodus, 9, lk. 6-7.
- Kimmel, K., 2015. Eesti sood. Tallinn: Varrak.
- Kukk, T., Lõugas, L., Veski, S., 2000. Eesti elustiku mitmekesisuse muutustest pärast jääaega. Frey, T. (toim.), Kaasaegse ökoloogia probleemid. VIII: Loodusteaduslikud ülevaated Eesti Maa Päeval. Eesti Ökoloogiakogu, Tartu: lk. 90-109. Saadaval: <https://bit.ly/2JHsJcl>
- Kolishchuk, V.G., 1992. Dendroclimatological Study of Prostrate Woody Plants. Cook, E., Kairiukstis, L. (Eds.), Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. – Kluwer, Dordrecht, Holland. Kluwer Academic Publishers, lk. 51.
- Kull, A., 2016. Soode ökoloogilise funktsionaalsuse tagamiseks vajalike puhvertsoonide määratlemine pikaajaliste häiringute leviku piiramiseks või leevendamiseks, II etapp. Tartu, lk. 6, 19, 183. Saadaval: <https://bit.ly/2K3I6ei> (viimati vaadatud 12.05.2019).
- Li, J., 1989. Factors affecting average sensitivity and their regularities. In Li J (ed), Xinjiang Dendroclimatological and Dendrohydrological Studies. Meteorology Publishers, Beijing, China. lk. 54-59.
- 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. lk. 1400–1410
- Lille, P., 2008. Männivaksiku (*Bupalus piniaria* L.) mõju mändide radiaaljuurdekasvule Lõuna-Eestis. Tartu Ülikool. Tartu, lk. 11.
- Läänelaid, A., Sohar, K., Toomik, S., 2018. Dendrokronoloogiline konverents Eurodendro 2017 Tartus. Järvet, A. (toim.), Eesti Geograafia Seltsi aastaraamat, nr. 43. Tartu: Eesti Geograafia Selts. lk. 242-258.
- Läänelaid, A., Sohar, K., Kull, A., 2014. Kuivenduse mõju ulatus Tellissaare rabas mändide jämeduskasvu järgi. Erki Tammiksaar, Taavi Pae, Ülo Mander (toim.). *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis 111*. lk. 219-227.
- Läänelaid, A., 2012. Mida kasulikku annab aastarõngaste uurimine? Eesti Mets, 1.
- Läänelaid, A., Lille, P., Voolma, K., 2008. Männivaksiku kahetine roll. Eesti Loodus, 59 (10), lk. 47–49.
- Läänelaid, A., Eckstein, D., 2003. Development of a Tree-ring Chronology of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) for Estonia as a Dating Tool and Climate Proxy. Baltic Forestry, 9 (2), lk. 76–82. Saadaval: <https://bit.ly/2wo1wTb>
- Läänelaid, A., 2002. Tree-ring dating in Estonia. Helsinki: University of Helsinki, lk. 7-8.

Läänelaid, A., 2000. Five pine samples represent climate impact as well as eleven pines. Kolström, T., Lindholm, M., Viinanen, R. (Eds.), Conifer growth variability during the Holocene in Northern Europe. Proceedings of the meeting in Lund, Sweden 16-19 March 2000. University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes, 108. lk. 119-128.

Läänelaid, A., 1999. *Dendrokronoloogia*. Saadaval: <https://bit.ly/2HWNUUq> (viimati vaadatud 27.05.2019)

Läänelaid, A., 1982. Radial increment of bog pines and climatic changes. Peatland ecosystems, Estonian contributions to the International Biological Programme, No. 9. lk. 135-148.

Läänelaid, A., 1981. Ühe teadusharu sünnilugu. Eesti Loodus, 1. lk. 22-28.

Martinez, L., 2000. Laboratory of Tree-Ring Research, The University of Arizona. Saadaval: <https://www.ltrr.arizona.edu/lorim/basic.html> (viimati vaadatud 27.05.2019)

Masing, V., 1988a. Eesti soode liigitus. U. Valk (toim.), Eesti Sood. Tallinn. lk. 69-84.

Masing, V., 1988b. Rabad. - U. Valk (toim.), Eesti Sood. Tallinn. lk. 128-137.

Maxwel, R., Wixom, J., Hessel, A., 2011. A comparison of two techniques for measuring and crossdating tree rings. *Dendrochronologia*, 29(4), lk. 237-243. DOI:10.1016/j.dendro.2010.12.002

Orru, M., Orru, H., 2003. Kahjulikud elemendid Eesti turbas. Tallinn: Eesti Geoloogiakeskus.

Paal, J., 1999. Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon. Tartu. lk 31. Saadaval: <https://bit.ly/30NL5h6>

Paal, J., Leibak, E., 2011. *Estonian mires: Inventory of habitats*. Tartu: Eestimaa Looduse Fond, lk. 40, 47.

Pilcher, J.R., 1992. Sample Preparation, Cross-dating, and Measurement. - Cook, E., Kairiukstis, L. (Eds.), *Methods of Dendrochronology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 45-50.

Raidla, A., 1960. Soo-kultuurkarjamaad ja nende osa haljaskonveieris. – 50 aastat sookultuuri-alast uurimistööd Eestis. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, lk. 256–285.

Remm, K., Remm, J., Kaasik, A., 2012. Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpik-käsiraamat.

Rinntech, 2019. www.rinntech.de (viimati vaadatud 15.05.2019)

Roosaluste, E., 1982. Growth forms of the Scotch pine growing in bogs. Peatland ecosystems, Estonian contributions to the international biological programme, No. 9. lk. 121-126.

Saarman, E., 1998. Puiduteadus. Vali Press.

Schulman E, 1945. The range of ring sensitivity. Tree-Ring Bulletin, 12(1). lk. 5-8.

Schweingruber F.H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Viena, Haupt. 609. lk. 242-254, 386-414.

Schweingruber, F.H., 1996. Tree rings and environment dendrochronology. The Netherlands, Springer Netherlands.

Schweingruber, F.H., 1988. Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland. lk. 256-261

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, lk. 500–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.056>

Speer, J.H., 2010. Fundamentals of tree-ring research. The University of Arizona Press, Tucson.

Speer, J.H., 2009. Fundamentals of Tree-Ring Research. Indiana State University, lk. 41-45.

Stallings, W.S., 1937. Some early papers on tree-rings. Tree-Ring Bull. 3. lk. 27-28.

Statistics Solutions, 2019. Table of Critical Values: Pearson Correlation - Statistics Solutions. www.statisticssolutions.com (viimati vaadatud 17.05.2019)

Švedov, F. N., 1892. Дерево, как летопись засух. Метеорологический вестник, 5.

Tamkevičiute, M., Edvardsson, J., Pukiene, R., Taminskas, J., Stoffel, M., Corona, C., Kibirsktis, 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, lk 510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.067>

TLÜ Ökoloogia Instituudi Maastikuökoloogia osakond (2009). Soometsade inventuur 2009.

Turbaliit, 2019. Soo tutvustus - Turbaliit. www.turbaliit.ee (viimati vaadatud 27.05.2019).

TÜ botaanika ja ökoloogia instituut, 2001. www.botany.ut.ee (viimati vaadatud 12.05.2019)

University of Arizona 2019. Dendrochronological Software and Data Sources. Saadaval: <https://lrr.arizona.edu/research/software> (viimati vaadatud 12.05.2019)

Valk, U., 2005. Eesti rabad. Tartu: OÜ Halo Kirjastus, lk. 7- 8, 29-38.

Valk, U., 1974. Estonian Peat-bogs and their types. Estonian wetlands and their life, lk.139-158.

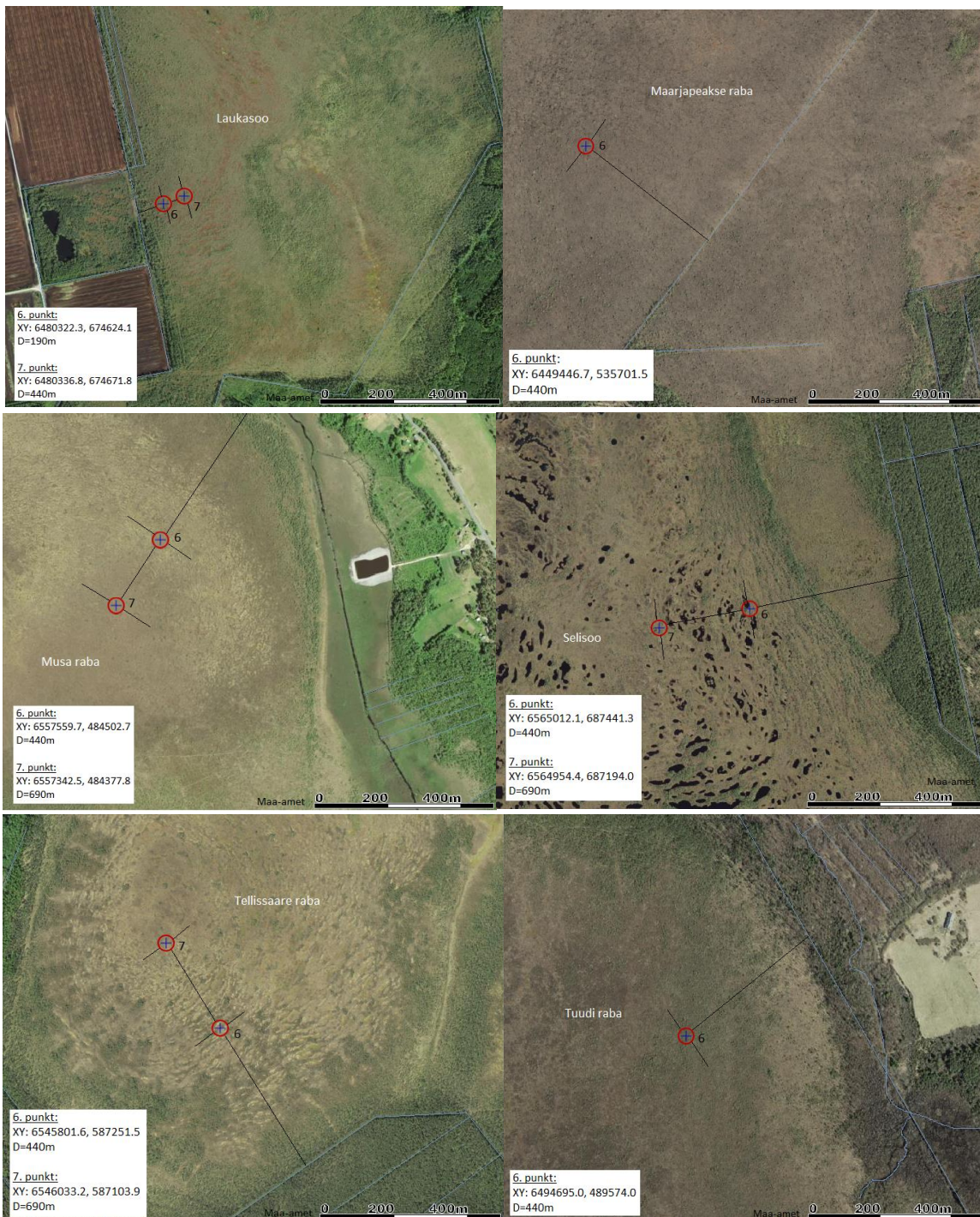
Vasander, H., Tuittila, E.S., Lode, E., 2003. Wetlands Ecology and Management, 11, lk. 51. <https://doi.org/10.1023/A:1022061622602>

Lisa 1.

Uuritavate rabade uurimistransekid ja uuritavate punktide koordinaadid ja kaugus kraavist (D).



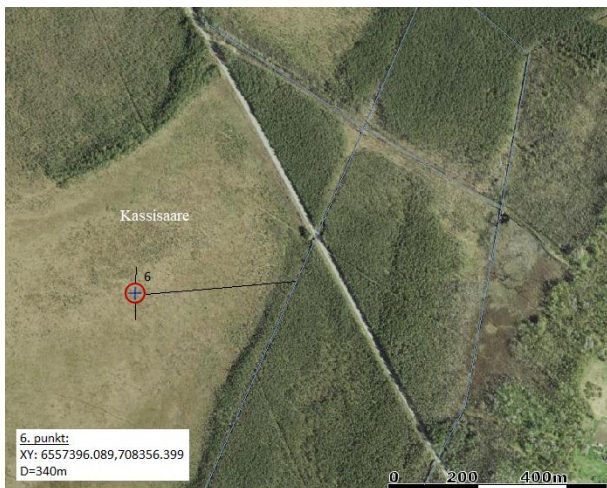
Lisa 1. ... jätk.



Lisa 1. ... jätk.

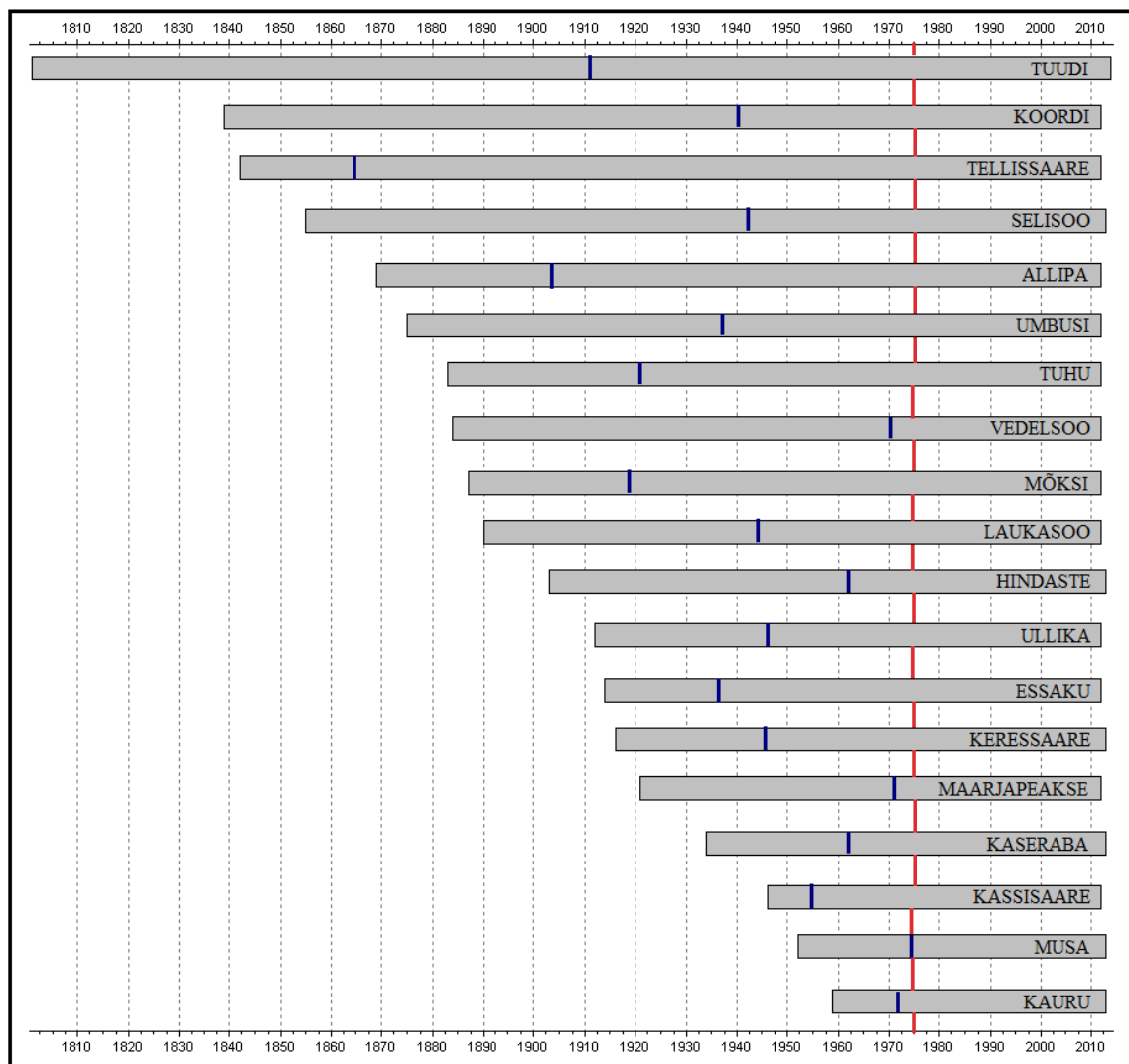


Lisa 1. ... jätk.



Lisa 2.

Soode keskmistatud juurdekasvu kronoloogia pikkus. Punane joon märgib uurimisperiodi algust. Sinine joon märgib vähemalt viie puu esindatusega aastate algust.



Lisa 3.

Samasse soode gruppi kuuluvate soode omavahelised korrelatsioonid

Soo keskosas freesturbavälja naabruses sügava kogu turbakihti läbiva põhikraavi	
Laukasoo ja Umbusi	0.52
Soo keskosas sügava metsandusliku kuivenduskraaviga rabad	
Tellisaares ja Vedelsoo	0.46
Looduslikult taastuvad rabad. Raba keskosas madal vana kinnikasvav kraav	
Maarjapeakse ja Ulika	-
Maarjapeakse ja Kauru	-
Ullika ja Kauru	0.46
Piiirdekraaviga rabad	
Allipa ja Essaku	0.36
Allipa ja selisoo	0.43
Allipa ja Kaseraba	0.41
Allipa ja Kauru	-
Allipa ja keressaare	0.43
Allipa ja Koordi	0.55
Allipa ja Musa	-
Allipa ja Mõksi	0.37
Essaku ja Kaseraba	-
Essaku ja Kauru	0.32
Essaku ja Keressaare	0.6
Essaku ja Koordi	-
Essaku ja Musa	-
Essaku ja Mõksi	0.37
Essaku ja Selisoo	-
Kaseraba ja Kauru	-
Kaseraba ja Keressaare	-
Kaseraba ja Koordi	-
Kaseraba ja Musa	0.35
Kaseraba ja Mõksi	-
Kaseraba ja Selisoo	-
Kauru ja Keressaare	-
Kauru ja Koordi	-
Kauru ja Musa	-
Kauru ja Mõksi	-
Kauru ja Selisoo	0.32
Keressaare ja Koordi	0.43
Keressaare ja Musa	-
Keressaare ja Mõksi	-
Keressaare ja Selisoo	0.39
Koordi ja Musa	-
Koordi ja Mõksi	-
Koordi ja Selisoo	0.39
Musa ja Mõksi	-
Musa ja Selisoo	-
Mõksi ja Selisoo	-
Siirdesood	
Tuhu ja Tuudi	0.5
Tuhu ja Hindaste	-
Tuhu ja Kassisaare	-
Tuudi ja Hindaste	-
Tuudi ja Kassisaare	-
Hindaste ja Kassisaare	0.34

Lisa 4.

Soode uurimisperioodi aastate keskmine juurdekasv 0,001 mm ühikutes ja puude arv selle moodustamisel. Veeru lõpp märgib viimast aastarõngast ning ühtlasi ka proovide võtmise aastat.

Aasta	Allipa	Essaku	Hindaste	Kaseraba	Kassisaare	Kauru	Keressaare	Koordi	Laukasoo	Maarjapeakse										
1975	590	16	980	14	893	9	1328	9	1220	10	1601	7	1092	17	565	8	991	12	1436	6
1976	690	16	901	16	744	10	1462	9	946	10	1283	7	1138	18	599	8	1089	12	1075	6
1977	550	16	665	16	745	10	1055	9	877	10	1683	9	895	18	453	8	1041	12	1176	6
1978	700	16	791	18	662	10	1016	9	1040	10	1427	10	1157	19	563	8	1459	12	1042	6
1979	616	16	733	18	655	10	1017	9	933	10	1561	11	1151	19	556	8	1033	13	1069	6
1980	680	16	688	18	725	11	1000	9	770	10	1734	14	1076	19	565	8	1046	13	1171	6
1981	570	16	491	19	640	11	1017	9	822	10	1526	14	1031	20	648	8	871	14	1050	6
1982	556	16	483	19	654	11	539	10	535	11	1261	15	1109	20	595	8	895	14	980	6
1983	560	17	513	19	501	11	707	11	374	11	924	15	972	20	393	8	946	14	1405	6
1984	587	17	524	19	305	11	630	11	355	12	887	15	926	20	452	8	886	14	1092	6
1985	465	17	605	19	304	11	543	12	435	12	1089	15	938	20	455	8	995	14	1357	6
1986	450	17	590	19	480	11	538	12	508	12	1308	15	875	20	464	8	987	14	1291	6
1987	437	17	542	19	366	11	467	12	458	12	1154	15	856	20	503	8	810	16	1175	6
1988	373	17	475	19	300	11	461	12	313	12	1145	15	704	20	361	8	580	16	835	6
1989	332	17	401	19	347	11	491	12	273	12	1044	15	575	20	271	8	553	17	825	6
1990	269	17	419	19	403	11	275	12	222	12	752	16	590	20	301	8	578	17	746	6
1991	336	17	333	19	534	11	517	12	250	12	720	17	488	20	381	8	429	17	738	6
1992	285	17	462	19	536	11	560	12	352	12	871	17	446	20	288	8	527	17	1122	6
1993	377	17	448	19	530	12	777	13	234	12	839	17	394	20	312	8	461	17	1064	6
1994	397	17	485	19	427	12	849	15	320	12	1012	17	664	20	216	8	605	17	853	6
1995	425	17	516	19	449	12	1055	15	505	12	1037	17	572	20	248	8	498	17	880	6
1996	382	17	421	19	364	12	915	16	416	12	978	17	471	20	249	8	577	17	940	6
1997	285	17	473	19	362	13	903	17	412	12	837	17	627	20	212	8	548	17	890	6
1998	415	17	524	19	558	13	699	17	700	12	921	17	588	20	220	8	553	17	792	6
1999	351	17	414	19	548	13	672	17	445	12	831	17	484	20	190	7	512	17	721	6
2000	245	17	330	19	565	13	640	17	382	12	838	17	458	20	137	7	522	17	563	6
2001	296	17	355	19	628	13	756	17	313	12	735	17	464	20	164	7	543	17	468	6
2002	242	17	303	19	372	13	596	17	254	12	740	17	384	20	126	7	534	17	485	6
2003	297	17	268	19	485	13	614	17	410	12	619	17	416	20	189	7	527	17	421	6
2004	297	17	265	19	634	13	629	17	599	12	635	17	369	20	220	7	444	17	473	6
2005	303	17	298	19	419	13	566	17	567	12	708	17	395	20	195	7	516	17	277	6
2006	285	17	303	19	493	13	472	17	480	12	764	17	405	20	183	7	462	17	473	6
2007	208	17	288	19	574	13	539	17	494	12	728	17	365	20	168	7	450	17	373	6
2008	203	17	283	19	443	13	332	17	770	12	772	17	410	20	197	7	499	17	450	6
2009	205	17	352	19	469	13	446	17	812	12	680	17	528	20	246	7	567	17	471	6
2010	163	16	336	19	458	13	434	17	850	12	564	17	438	20	171	6	483	17	435	6
2011	215	16	305	19	412	13	638	17	862	12	691	17	341	20	252	6	517	17	503	6
2012	344	14	287	18	525	13	736	17	760	12	812	17	446	20	337	5	469	14	705	6
2013					340	13	226	17			334	17	336	19						
2014																				

Lisa 4. ... jätk

Aasta	Musa	Mõksi	Seliso	Tellissaare	Tuhu2	Tuudi	Ullika	Umbusi	Vedelsoo									
1975	304	5	668	10	822	13	546	17	211	7	238	10	663	7	930	13	765	7
1976	425	6	682	10	767	13	533	17	354	7	349	10	665	7	812	15	903	7
1977	400	6	658	10	591	13	547	17	323	7	315	10	789	7	899	15	784	7
1978	340	7	609	10	735	14	545	17	305	7	237	10	839	7	975	15	789	7
1979	404	8	416	10	779	15	487	17	334	7	264	10	785	7	770	15	575	7
1980	394	8	406	10	770	15	465	17	337	7	264	10	674	7	679	15	653	8
1981	531	8	340	10	765	15	449	17	316	7	243	10	594	7	616	15	852	8
1982	566	9	307	10	488	16	341	17	281	7	181	10	696	7	676	15	514	8
1983	722	9	344	10	608	17	325	17	283	7	238	10	520	7	694	15	655	8
1984	747	9	399	10	696	18	305	17	365	7	308	10	494	7	629	16	671	8
1985	655	11	499	10	725	18	254	17	366	7	359	10	493	7	580	16	720	8
1986	695	12	359	10	738	18	274	17	320	7	274	10	582	7	457	16	518	8
1987	564	12	293	10	694	18	268	17	338	7	233	10	514	7	416	16	470	8
1988	611	12	338	10	618	18	266	17	287	7	222	10	520	7	351	16	491	8
1989	575	13	306	10	398	18	212	17	342	7	301	10	299	7	394	16	635	8
1990	396	13	250	10	214	18	191	17	405	7	315	10	313	7	347	16	448	8
1991	457	15	293	10	307	18	188	17	467	7	363	10	351	7	336	16	410	8
1992	537	16	287	10	419	18	197	17	419	7	438	10	427	7	414	16	463	8
1993	661	17	280	10	483	18	219	17	421	7	448	10	444	7	320	16	582	8
1994	666	17	334	10	491	18	198	17	597	7	401	10	597	7	315	16	521	8
1995	777	17	354	10	416	18	194	17	492	7	380	10	518	7	296	16	628	8
1996	629	17	344	10	374	18	257	17	382	7	392	10	405	7	299	16	604	8
1997	640	17	329	10	481	18	236	17	233	7	318	10	472	7	271	16	491	8
1998	748	17	371	10	592	18	231	17	286	7	476	10	488	7	274	16	670	8
1999	472	17	262	10	725	18	186	17	224	7	457	10	363	7	224	16	452	8
2000	519	17	254	10	470	18	140	17	206	7	330	10	289	7	279	16	310	8
2001	573	17	236	10	520	18	159	16	214	7	299	10	315	7	235	16	490	8
2002	495	17	223	10	458	18	170	16	186	7	356	10	265	7	300	16	449	8
2003	529	17	229	10	343	18	234	16	237	7	392	10	280	7	236	16	429	8
2004	593	17	219	10	455	18	270	16	259	7	500	10	269	7	250	16	515	8
2005	391	17	191	10	348	18	233	16	165	7	383	10	266	7	171	16	447	8
2006	389	17	251	10	272	18	208	16	193	7	403	10	333	7	284	16	415	8
2007	372	17	239	10	171	18	159	16	117	7	308	10	303	7	273	16	379	8
2008	304	17	262	10	228	17	139	16	89	7	281	10	286	7	260	16	470	8
2009	311	17	194	10	285	16	190	16	106	7	322	10	276	7	214	16	306	8
2010	243	17	239	10	245	16	171	16	128	7	276	10	260	7	212	16	345	8
2011	219	17	273	10	202	16	194	16	178	7	367	10	295	7	206	16	231	8
2012	305	17	354	10	274	16	252	16	258	7	474	10	290	7	276	14	416	8
2013	182	14			159	13					247	10						
2014											226	9						

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Triin Abrams,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „Eesti rabamändide radiaaljuurdekasvu geograafilised seosed“, mille juhendaja on Alar Läänelaid, 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.

Triin Abrams

27.05.2019