

TARTU ÜLIKOOL
ÖKOLOOGIA JA MAATEADUSTE INSTITUUT
GEOGRAAFIA OSAKOND
LOODUSGEOGRAAFIA JA MAASTIKUÖKOLOOGIA ÕPPETOOL

Sandra Vijar

**Karjala kuuskede kasutamise võimalikkus viiuli kõlalaua puidu
saamiseks dendrokronoloogiliste parameetrite alusel**

Magistritöö

Juhendaja: PhD Alar Läänelaid

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

TARTU 2014

Sisukord

Sissejuhatus	4
1. Uurimisvaldkonna ülevaade	6
1.1. Dendrokronoloogia	6
1.1.1. Puude kasv – informatsiooni teke	6
1.1.2. Dendrokronoloogia ajaloost	7
1.1.3. Ristdateerimine ja andmepangad	8
1.1.4. Dendrokronoloogia põhimõtted	10
1.1.5. Dendrokronoloogia rakendustest tänapäeval	12
1.2. Viiulid	14
1.2.1. Viiulite dendrokronoloogilisest dateerimisest.....	14
1.2.2. Klassikaline viiuli ehitus, olulisemad osad	16
1.2.3. Stradivari fenomen – mis selle taga peitub?.....	20
2. Materjal ja meetodika.....	23
2.1. Andmete valik.....	23
2.2. Andmete kogumine.....	28
2.3. Statistiline töötlus	32
2.3.1. Mõõtmiste kvaliteedikontroll	32
2.3.2. Standardiseerimine	33
2.3.3. Kliimasignaaliid kasvumustrites	33
3. Tulemused	34
3.1. Kronoloogiad	34
3.2. Kliima-andmed	37
3.2.1. Maunderi Miinimumi aegne Alpide kliima.....	37
3.2.2. Tänapäevane Alpide kliima.....	38
3.2.3. Tänapäevane Paanajärvi kliima.....	39
3.3. Kliima ja puude kasvumustrid	41

4. Arutelu ja järeldused.....	43
4.1. Puidu dendrokronoloogiliste parameetrite võrdlus.....	43
4.2. Kliima parameetrite võrdlus	46
4.3. Kliima ja juurdekasvu seosed	47
4.4. Järeldused.....	49
5. Kokkuvõte	50
6. Kasutatud kirjandus	52
7. Summary.....	60
8. Lisad	62
Lisa 1	62
Lisa 2	63
Lisa 3	66
Lihtlitsents	67

Sissejuhatus

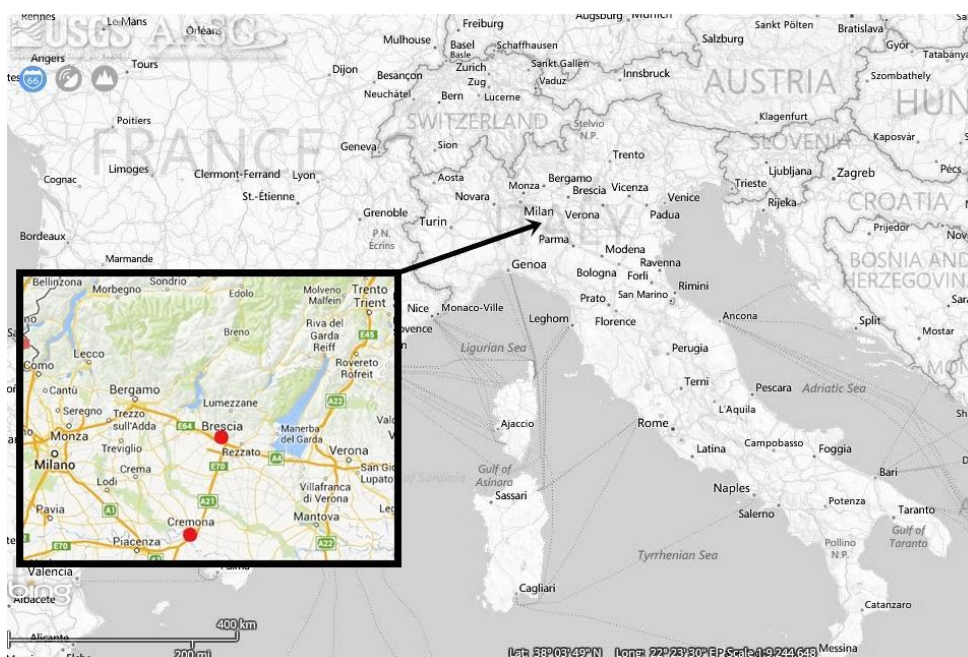
Varaseimad teadaolevad neljakeelised viiulid pärinevad Põhja-Itaaliast ja nende valmistamise ajaks on 1550ndad aastad (Gough, 2000). Selle keeruka keelpilli ehitust ei ole terve tema ajaloo jooksul praktiliselt muudetud, esimesed viiulid sarnanevad suuresti tänapäevastega. Vanim tänapäevani säilinud viiul on ühe kuulsaima meistri, Andrea Amati poolt 1560. aastal tehtud viiul (joonis 1) (National Music Museum, 2009).



Joonis 1. Amati viiul, 1560 (Images from the Rawlins Gallery, NMM)

Tänapäevase viiuli päritolumaaks võib pidada Itaaliat, kuna esimesed viiulimeistrid – teiste seas Giuseppe Guarneri, Andrea Amati ja Antonio Stradivari – on kõik itaallased (Encyclopædia Britannica, 2013). Viiulitegemise kunst oli hästihoitud saladus ning levis isalt pojale ja meistritelt õpipoisile esialgu vaid Põhja-Itaalias Brescia ja Cremona ümbruses (joonis 2). Levinud on uskumus, et vana aja viiulimeistritel oli lisaks väga headele ja lihvitud käsitööoskustele veel mingi salajane nipp, millega nad saavutasid oma pillide tähelepanuväärselt hea kõla. See hästihoitud saladus läks aga 19. sajandil koos vanade koolkondade viimaste esindajatega hauda ning tänapäeval ei tea seda enam keegi (Burckle & Grissino-Mayer, 2003).

Viiuli hea kõla saladus on tänapäeva viiulimeistritele ning ka teadlastele väga huvitav



Joonis 2. Kuulsate viiulite valmistamise piirkond Cremona ümbruses, Itaalia (*The National Geologic Map Database (NGMDB)*, 2013)

teema. Keskaja meistrite kätetööd kopeerida ei ole tänapäeval keeruline, kuid lisaks välimusele on veel aspekte, mis kõla kindlasti mõjutavad: näiteks viiuli puidust kõlakast, mis tavaliselt koosneb mitme eri puidu (traditsiooniliselt kuuse ja vahtra) kokkuliimitud plaatidest. Selge on, et viiuli kõlakasti puidust oleneb heli tekkimisel palju, kuid ideaalse viiulipuidu kriteeriume, mis aitaks ka tänapäeval suurepärasele kõlale kaasa, ei ole suudetud veel välja töötada.

Puidu kujunemist mõjutavad igasugused väliskeskkonna faktorid. Kliima on puude kasvu põhiline mõjutaja, täpsemalt temperatuur ja sademed. Puude kasvustrite ja keskkonnategurite vahelisi seoseid on uuritud juba keskajast peale, põhilisemad selgitused on ära toodud ka käesolevas töös, kuid suurem rõhk on neile antud autori bakalaureusetöös.

Käesoleval magistritööl on mitu eesmärki:

- » Võttes aluseks viiuli kõlakasti harilikust kuusest (*Picea abies* (L.) H.Karst.) osa, võrrelda 17. sajandil Alpides kasvanud potentsiaalseid viiulipuid tänapäevaste, samas asukohas kasvavate kuuskedega ning Loode-Venemaal Karjalas asuvast Paanajärvi rahvuspargist pärinevate kuuskedega. Võrdluse toetamiseks viia läbi ka erinevate ajastute kliimanäitajate analüüs.
- » Uurida ka päris vanade viiulite kuusepuust osa dendrokronoloogilisi näitajaid ning kõrvutada neid esialgsete uurimisobjektidega, et välja selgitada potentsiaalsed sarnasused, mis kinnitaksid uurimisobjektide sobivust viiulipuudeks.
- » Leida puude kasvu ja kliima vahel valitsevaid seoseid, mis võimaldaksid iseloomustada heade viiulipuude kasvuks sobivat kliimat.
- » Töö tulemusena võiks selguda, kas kvaliteetne viiulite puit erineb mingite tunnuste osas tavalisest kuusepuidust. Tehtud analüüside tulemuste põhjal selgub ka, kas Karjala kuused sobiksid viiulite toormaterjaliks. Tulemustest võiks olla kasu ka tänapäeva viiulimeistritele, kes saaksid seda infot oma töös kasutada.

1. Uurimisvaldkonna ülevaade

1.1. Dendrokronoloogia

Dendrokronoloogia on uurimisala, mis tegeleb puude aastarõngaste uurimisega. Kui puud kasvavad aladel, kus kliimategurid on aasta jooksul muutuvad (näiteks parasvöötmes), on puude kasvutempot võimalik jälgida aastarõngastest, mis moodustuvad kasvu- ja puhkeperioodide vaheldumise tõttu. Kuna kliimategurid ja puude kasv on nii tihedalt seotud (Cook & Kairiukstis, 1990), saab puude aastarõngaste laiustest välja lugeda ka temperatuuride ja sademete muutusi minevikus. Puud hoiavad endas suurt minevikukliima andmebaasi, mille uurimine võib anda vastuseid mitmetele küsimustele ja laiendada inimkonna silmaringi paljude uute teadmistega. Puude aastarõngaste laiused on täpselt mõõdetavad ning erinevad seosed ka loogiliselt seletatavad, seega on tegu tõeliselt hea andmepangaga. Dendrokronoloogia detailsemaks lahtimõtestamiseks tuleb ennekõike aru saada puittaimede kasvumehhanismidest.

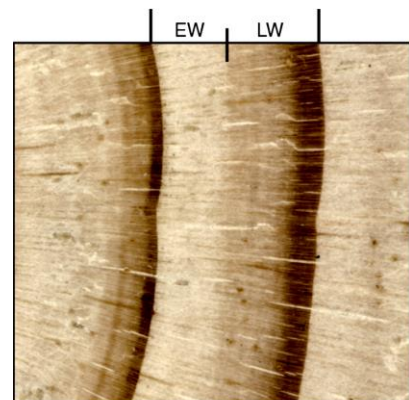
1.1.1. Puude kasv – informatsiooni teke

Puude varre sekundaarne paksenemine ehk teiskasv toimub kogu varre ulatuses uute kudede juurdetekkimise tulemusena (Kalda *et al.*, 1965). Teiskasv toimub kambiumi (algkude, meristeem) tegevuse tulemusena. Kambiumirakud eraldavad uusi rakke sissepoole vastu puiduosa ja ka väljapoole niineosa suunas. Sissepoole eralduvad kambiumirakud on suuremad ja võivad veel mitu korda poolduda, samal ajal kui väljapoole eralduvad rakud arenevad niineosa rakkudeks (Miidla, 1984).

Kambiumi tegevuse tulemusena tekivad puit on teisepuit, mida iseloomustavad kasvurõngad ehk puude aastarõngad. Meie kliimas aeglustub kambiumi tegevus suvel järk-järgult ning peatub täiesti sügiseks. Kevadel aga hakkab kambium uuesti tööle ning tekitab okaspuudel palju suure läbimõõduga trahheiide (sissepoole arenevad rakud, mis on suuremad), väljapoole niineosa suunas tekkivaid niinekiude moodustub sealjuures vähem.



Joonis 3. Okaspuu (*Abies lasiocarpa*) aastarõngad tüve ristlõikes (Smith & Lewis, 2007)



Joonis 4. Aastarõngas (RW): varapuit (EW) ja hilispuit (LW) (Smith & Lewis, 2007)

Kevadel on suurte trahheidide moodustumine kõige intensiivsem, suve edenedes sügise poole jäävad arenevad rakud järjest väiksemaks ning hilissuvel tekivad vaid väikese läbimõõduga lamedad rakud (peamiselt puidukiud). Üleminek sügiseste ja järgmise kevade rakkude vahel on järsk, sest talvel kasvu ei toimu, seega on piir aastarõngaste vahel terav ja selgelt eristatav. Nii tekivad puudel kasvu käigus nähtavad ja mõõdetavad kasvurõngad (joonis 3) – on võimalik vahet teha vara- ehk kevadpuidul (*earlywood*), mis on heledam ja suurte rakkudega ning formeerub kasvuperioodi alguses ehk kevadel ja suvel ning hilispuidul ehk sügispuidul (*latewood*), mis on tumedam ja tihedam ning moodustub kasvuperioodi lõpus suve ja sügise vahepeal, kui puu kasv on aeglustunud (joonis 4). (Saarman & Veibri, 2006)

1.1.2. Dendrokronoloogia ajaloost

Dendrokronoloogia on arenev teadusharu, mis on teadlasi köitnud juba aastasadu. Puid uuriti nii Euroopas kui Põhja-Ameerikas, erilist huvi pakkus nendes peituv informatsioon arheoloogidele, kes 18. sajandil uskusid, et Maa ise on vaid 6000 aastat vana ja sobivate puude leidmisel saab nende aastarõngaste abil määrata ka kivimite vanuseid (Studhalter, 1956). Et vanasti polnud kontinentidevaheline sidepidamine kuigi tihe, arenes dendrokronoloogia Euroopas ja Põhja-Ameerikas suhteliselt iseseisvalt, samas jõuti varem või hiljem siiski sarnastele tähelepanekute ja järeldusteni.

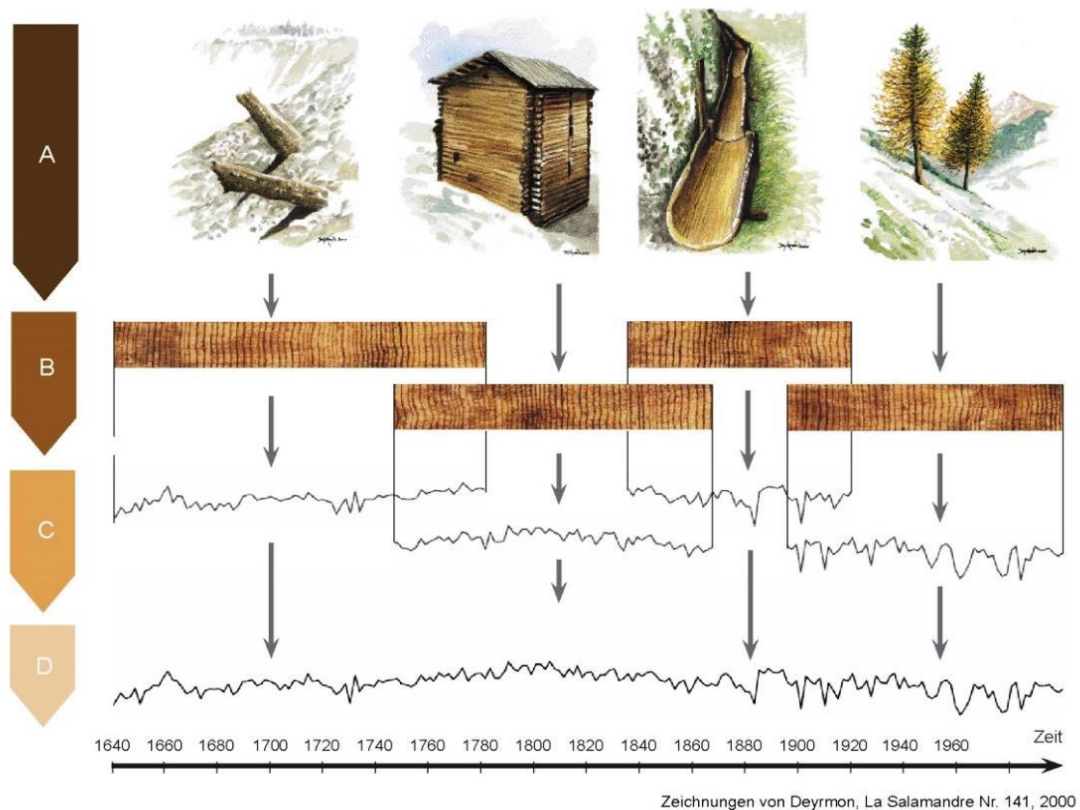
Euroopas eksisteeris dendrokronoloogia juba 19. sajandi keskel, mil Theodore ja Robert Hartig kirjutasid mitmeid uurimustöid puude aastarõngaste anatoomia ja ökoloogia kohta, samuti dateerisid nad suuremaid külma- ja putukakahjustuste puhanguid (Smith & Lewis, 2007). Veel ammu enne seda, 1737. aastal, dateerisid teadlased nii Rootsist (Linnaeus), Prantsusmaalt (Duhamel ja Buffon) kui Saksamaalt (Burgsdorf) puude aastarõngastes leitud info põhjal äärmiselt külma perioodi aastatel 1708-1709. Saksa botaanik ja metsateadlane Burgsdorf avastas sellele seosele - kliimafluktuatsioonid põhjustavad erinevatel puudel sarnaseid muutusi kasvukiiruses - tuginedes võimaluse moodustada pikki, mitme puu aastarõngaste ridadest koosnevaid kronoloogiaid (Studhalter, 1956).

Põhja-Ameerikas hakkas dendrokronoloogiat arendama astronoom Andrew Ellicott Douglass, kelle peamiseks huviks oli uurida Päikese 11-aastaseid aktiivsustsükleid ja mineviku kliimat. Selle kohta info saamiseks uuris ta ka puude aastarõngaid ning sattus 1912. aastal Arizonas tehtud uurimuste käigus avastusele, et erinevate kohtade puud

reageerivad põuale ühtemoodi - väiksema kasvuaktiivsusega. Korduvate kasvumustrite avastamine viis uue meetodi – ristdateerimise – loomiseni (Robinson et al., 1898; McGraw, 2003).

1.1.3. Ristdateerimine ja andmepangad

Ristdateerimine (*cross-dating*) on tänapäeval väga levinud ja aktsepteeritud kronoloogiline põhimõte ja meetod. Selle peamine mõte on, et puiduproovide aastarõngamustrite kõrvutamisel saab kattuvate osade abil leida nende kasvamisajad (Speer, 2010). Ristdateerimise protsessi illustreerib joonis 5 – erinevate puiduproovide (nii eluspuudelt kui surnud puudelt) aastarõngaread kõrvutatakse vastavalt sarnastele (sama laiussega) rõngastele, kokku saab tunduvalt pikema kronoloogia, kui puud üksikult suudaksid anda.



Joonis 5. Ristdateerimine (allikas: *Kreuzdatierung*, ETH Zürich <https://edit.ethz.ch/fe/lab/Crossdating>)

Ristdateerimine meetodina on keerukas ja aeganõudev protsess ning aja jooksul on loodud mitmesuguseid arvutiprogramme, mis seda tööd hõlbustavad: muuhulgas CROS (Baillie & Pilcher, 1973), CROSSDATE (Engle, 2000), Corina (Corina, 2013), CATRAS (Aniol, 1983). Viimast kasutatakse praegu ka Tartu Ülikooli Geograafia osakonnas ristdateerimiseks. Kuigi programme sellise töö jaoks on mitmeid, tuleb lõplik otsus selle

kohta, kas uuritava proovi kasvumuster langeb piisavalt palju kokku arvuti poolt pakutud ajavahemiku kasvumustritega referentskronoloogias (*site chronology*, mitmest kronoloogiast kokku pandud võrdlusmaterjal, millega hakatakse määramata vanusega proovi kõrvutama), teha ikkagi uurijal endal.

Tänapäeval teevad klimatoloogid ja dendrokronoloogid ekstensiivset koostööd. On loodud mitmesuguseid andmebaase ja koostatud asukohapõhised referentskronoloogiad paljude parasvöötme (eriti boreaalsete) alade jaoks. Sellised kronoloogiad on saadaval rahvusvahelises andmebaasis International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) (Fritts, 1990), mis on maailma paleokliima andmepanga (*The World Data Center for Paleoclimatology at the National Geophysical Data Center (NGDC)*) osa (NCDC, 2013). See on maailma suurim dendrokronoloogiliste mõõtmiste arhiiv ja andmebaas, kus on saadaval mõõtmistulemused rohkem kui 3000st asukohast kuuel kontinendil. Andmestik katab suured alad ning on väga täpne viimase paari sajandi osas ning info kogus suureneb pidevalt.

Üle 1000-aastaseid kronoloogiaid on praegu ligi 150 ning peamiselt pärinevad need Põhja- ja Lõuna-Ameerikast (Hughes, 2002). Mitmetuhande-aastaseid kronoloogiaid on vähem: silmapaistvamad on neist kaks: Põhja-Ameerikas Nevada osariigis on kombineeritud igimänni (*Pinus longaeva* D.K.Bailey) ja varvide andmerekad ning tulemuseks on kronoloogia, mis ulatub aastasse 13 300 cal BP (Stuiver *et al.*, 1986). Teine kronoloogia on koostatud Hohenheimi ülikoolis Lõuna-Saksamaal ja katab terve Holotseeni ajastiku, ulatudes aastasse 12 410 cal BP (Friedrich *et al.*, 2004). Nii pikkade kronoloogiate peamine eesmärk on radiosüsinikmeetodil määratud vanuste kalibreerimine.

Kõige vanemad puud, mis on andnud oma panuse väga pikkade kronoloogiate valmimisse, kasvavad tänapäeval California ja Nevada osariigi piiril asuvates Valgetes mägedes (*White Mountains*) USAs. Vanim neist on *Methuselah*-nimeline igimänd (*Pinus longaeva*, sünonüüm *Pinus aristata* Engelm. var. *longaeva* (D.K. Bailey) Little), mis on umbes 4 845 aastat vana (Hughes & Graumlich, 1996). Alles hiljuti, aastal 2012, on leitud üle 5000 aasta vana puu, mille kohta pole veel täpsemat infot avaldatud (Oatman-Stanford, 2012).

Väga pikad aastarõngaread on ideaalsed lähteandmed klimatoloogidele, kuna eelpool selgitatud seosed puude kasvu ja aastarõngaste laiuse vahel aitavad aastarõngaid mõõtes mineviku kliimat küllaltki täpselt rekonstrueerida (Cook & Kairiukstis, 1990; Martinelli,

2004). Teades rohkem mineviku kliima kohta, on meil võimalus uurida potentsiaalseid seaduspärasusi erinevate ilmastikunähtuste tsüklilisuses ja ka ennustada nende juhtumist tulevikus. Loomulikult ei ole kliimauuringud ja ilmaennustamine ainukesed teadusalad, kus dendrokronoloogiliste mõõtmiste tulemusi kasutada saab. Käesolev peatükk sisaldab ka lühiülevaadet muudest levinud kasutusalaadest.

1.1.4. Dendrokronoloogia põhimõtted

Kuigi erinevatel puudel on erinevad kasvustrid, on nende iga-aastased kasvustrid liigisiselt siiski sarnased, mistõttu on dendrokronoloogia üle maailma laialt kasutatav ning sellest on abi väga erinevates eluvaldkondades. Dendrokronoloogia kasutamisel kehtivad seitse peamist põhimõtet (Smith & Lewis, 2007; Speer, 2010):

1. Ühetaolisuse põhimõte (*the Uniformitarian Principle*): praegusel ajal aset leidvad keskkonnaprotsessid mõjutavad puude kasvu samamoodi nagu vanasti. See ei tähenda, et kliimatingimused oleksid hetkel samasugused nagu aastasadu tagasi, pigem on mõeldud kliimategurite ja puude kasvu vahelisi seoseid – protsess on sama. See annab võimaluse teha järeldusi mineviku kliima kohta, kui on olemas puude andmed.
2. Limiteerivate faktorite põhimõte (*Limiting Factors*): puude kasv ei saa olla kiirem kui on lubatud kõige limiteerivama faktori poolt. Puude kasv võib olla mõjutatud paljude erinevate faktorite poolt, kuid reeglina vaadatakse kõige olulisemana seda, mis on laiemalt levinud, mille mõju kestab pikemat aega ja mis limiteerib tugevalt.
3. Kasvukomponentide põhimõte (*Aggregate Tree Growth*): selle põhimõtte kohaselt saab üksiku puu kasvurõngaste seeriat käsitleda tegurite summana (nii inimtekkelised kui looduslikud) ning moodustada järgneva mudeli (Cook & Kairiukstis, 1990):

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

kus R tähistab aastarõnga laiust, t aastat (ükskõik millist), A puu vanusega kaasnevat füsioloogilist protsessi, C kliimasignaali antud aastal, D1 kohalikku (kasvukoha-sisest) häiringufaktorit, D2 suuremat ala hõlmavat (üldist kasvukoha-välist) häiringufaktorit ja E seletamatut aastast aastasse kestvat varieerumist.

4. Ökoloogilise amplituudi põhimõte (*Ecological Amplitude*): puu kasv on eriliselt tundlik asukohapõhiste keskkonnafaktorite suhtes siis, kui puu asub oma liigi looduslikust levilast väljas. Näiteks kui teatav puuliik ei levi kõrgmäestikus, kuid üks selle liigi esindaja siiski kasvab seal, on tema kasv temperatuurist (või sademetest jne) palju rohkem mõjutatud kui nende puude kasv, mille normaalne kasvukoht ongi kõrgematel aladel.
5. Koha valiku põhimõte (*Site Selection*): koha valikul mängib dendrokronoloogide jaoks suurt rolli kliima, tihti on võimalik proovide võtmiseks sobiv koht välja valida selle põhjal, millised kliimaatilised tegurid seal valitsevad. Näiteks kivisel pinnasel kasvavad puud on niiskuse suhtes tundlikumad, seega saab nendelt puudelt kogutud andmetest head informatsiooni niiskuse kohta. Samas niiske pinnasega asukohas kasvavad puud ei pruugi anda kõige pädevamat infot niiskuse kohta, kuna nad ei ole selle faktori suhtes nii tundlikud.
6. Ristdateerimise põhimõte (*Cross-dating*): ristdateerimine kindlustab selle, et iga puu aastarõngad vastaksid täpselt nende moodustumise kalendriaastatele. See saavutatakse, pannes kõrvuti mitmed samast asukohast pärit puuproovid ning otsides proovidelt sarnaseid kasvumustreid. Elavast puust puuritud aastarõngaste proov annab täpse kronoloogilise rea, kuna on teada viimase aastarõnga moodustumise aasta (puurimise hetk), sellest tagasi lugedes saab teada puu vanuse ja elava puu kronoloogiat mõne surnud puu omaga võrreldes saab sarnasuste abil leida ka surnud puu vanuse.
7. Korduse põhimõte (*Replication*): huvipakkuvat keskkonnafaktori signaali saab võimendada, kui uurida korraga rohkem samast asukohast pärit puuproove. Sellega vähendatakse vigu, mis võivad tekkida üksikute puude anomaaliate pärast. Mõnikord on puude aastarõngareast mõni rõngas puudu mingi spetsiifilise konkreetset puud mõjutanud faktori tõttu. Sel juhul on hea, kui on veel proove, mille koos vaatlemisel saab kindlaks teha, kas anomaalia on ainult ühel puul või kõigil. Suurem valim suurendab info usaldusväärsust.

Need põhimõtted võtavad kokku terve dendrokronoloogia uurimisala ja lihtsustavad sellest arusaamist päris suurel määral. Nende põhimõtete formuleerimisel on lähtutud põhiliselt Harold C. Frittsi raamatust „*Tree Rings and Climate*“ (Fritts, 1976).

1.1.5. Dendrokronoloogia rakendustest tänapäeval

Dendrokronoloogia on abiks mitmesugustel teadussuundadel:

- » Dendroarheoloogia: vanade hoonete, sildade jm. ajalooliste objektide puidust osi uurides on võimalik määrata nende vanuseid (ristdateerimisega). Samuti saab määrata puitpaneelile maalitud kunstiteoste ja muusikainstrumentide vanuseid, mõõtes nende puitosadelt aastarõngaläbimõõdu. Kui on olemas mõõdetavad aastarõngad ja sobiv puuliik, saab rõngaste laiused mõõta ja võrrelda tekkinud infokogumit vastavatest dendrokronoloogia andmebaasidest leitud kronoloogiatega ning nii võib selguda uuritava objekti vanus (Läänelaid & Nurkse, 2006; Läänelaid, 2013).
- » Dendroklimatoloogia: juba 18. sajandil sai selgeks, et puud kasvavad teatud kliimategurite mõjul kiiremini või aeglasemalt vastavalt sellele, kas tegur nende kasvuprotsessi soodustab või takistab. Neid tegureid on mitmesuguseid ning nende väljaselgitamine on pidevalt kestev protsess, sest lisaks temperatuurile mõjutavad kasvu ka sademed ning palju oleneb asukoha eripäradest: kasvu mõjutavad laiemas plaanis ka puu kasvukoha kõrgus, mullastik jne. Dendroklimatoloogia alla kuulub dendrohüdroloogia, mille eesmärgiks on rekonstrueerida veetaseme kõikumisi puude aastarõngastes sisalduva informatsiooni abil (Speer, 2010).
- » Dendroökoloogia: puude aastarõngastes sisalduva informatsiooni abil saab uurida nõ. puupiiri liikumist maastikul, suktsessiooniprotsesside ajalugu, põlengute toimumist (dendropürokronoloogia), putukarünnakute puhanguid (dendroentomoloogia), vulkaanipurskeid (dendrovulkanoloogia) (Speer, 2010).
- » Dendrogeomorfoloogia: dendrokronoloogilised mõõtmised aitavad dateerida maapinna protsesse: puudes leiduva info põhjal saab kindlaks teha varingute ja rusuvoolude, liustike pealetungimise, vulkaanipursete, oluliste temperatuurimuutuste ja muude sarnaste maastikku kujundavate ja keskkonda muutvate protsesside toimumisaegu (Speer, 2010). Lisaks looduslikele protsessidele saab dendrokronoloogiliste uuringute abiga analüüsida ka inimtekkelisi keskkonnamõjusid, näiteks soode kuivendamine ja kaevanduste tegevus (Läänelaid *et al.*, 2009).

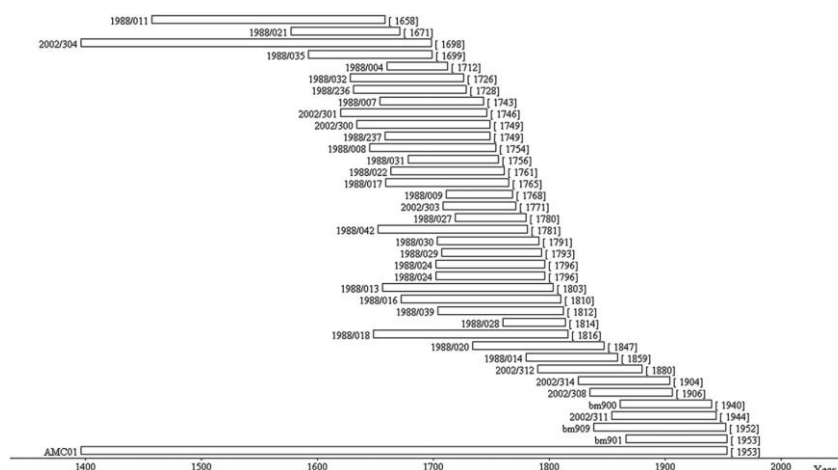
- » Dendrokeemia: puud absorbeerivad oma elu jooksul pinnasest, õhust ja veest erinevaid kemikaale, mis jäävad puidu sisse alles ning mida saab aastaid hiljem uurida. Selle info põhjal saab selgitada mineviku keskkonnatingimusi, näiteks reostusi ja toitainete kontsentratsiooni muutusi pinnases. Samuti saab stabiilsete isotoopide abil rekonstrueerida mineviku kliimatingimusi (Speer, 2010). Dendrokronoloogiat kasutatakse ka radioaktiivse süsiniku meetodil dateeritud vanuste kinnitamiseks.

1.2. Viulid

1.2.1. Viulite dendrokronoloogilisest dateerimisest

Keelpillide uurimine sai alguse juba vähemalt neli sajandit tagasi ning sellega on tegelenud paljud kuulsad teadlased, näiteks Marin Mersenne (1588-1648), Felix Savart (1791-1841) koostöös viiulimeister Jean-Baptiste Vuillaume'ga (1798-1875), Hermann von Helmholtz (1821-1894) varasemast ajast, 20. sajandil viiulite füüsika põhiteose autor Lothar Cremer, USA viiuliuurimise „isa“ Frederick Saunders ja paljud teised (Curtin & Rossing, 2010). Uurimuste eesmärgiks on läbi ajaloo olnud mõista viiulite füüsiliste omaduste ja helikvaliteedi vahelisi seoseid, et viiuleid pädevalt võrrelda. Sellised teadmised aitaks palju nii viiulimeistrid viiulite tegemisel kui ka viiulimängijaid viiuli ostmisel või müüjaid nende müümisel. Tõstatatud on mitmesuguseid küsimusi: missugune on ideaalne viiuli kõla, mis seda mõjutab ja kuidas seda jäljendada?

Viiulipuidu uurimisel on dendrokronoloogia olulisel kohal – paljudel viiulitel on nende valmistamisaasta teada, kuid samamoodi leidub ka neid, mille kohta puudub igasugune informatsioon, lisaks ei saa alati usaldada kõlakasti sisse kleebitud silte. Siin on abi viiuli pealmisest, enamasti kuusepuidust tehtud plaadist, millelt on võimalik ära lugeda ja mõõta aastarõngad. Saadud rea ristdateerimise käigus saadakse teada viiulite tegelikud vanused.

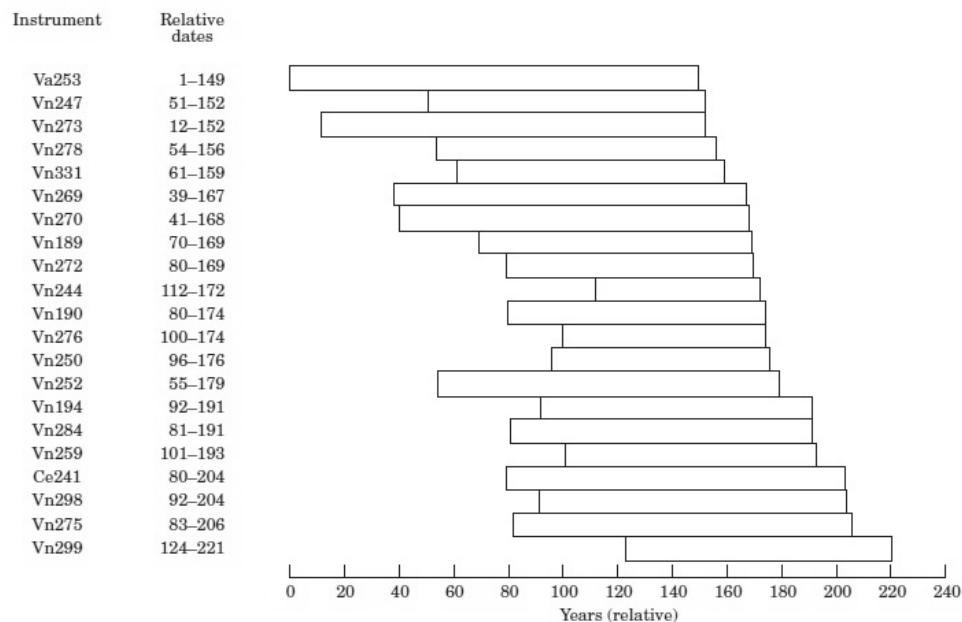


Joonis 6. "Accademia Master Chronology" moodustavad aastarõngalauuste read 1396 - 1953 AD (Bernabei *et al.*, 2010)

Sellise meetodiga on uuritud paljusid vanu pille, Bernabei jt. (2010) uurisid ja dateerisid Cherubini Konservatooriumis 49 väga vana keelpilli ja ehtasid saadud andmetest spetsiaalselt keelpillidele mõeldud referentskronoloogia „*Accademia Master Chronology*“, mis on 558 aastat pikk ja katab ajavahemiku 1396 – 1953 AD. Joonis 6 illustreerib

dateeritud keelpillide kronoloogiate ristdateerimist ja näitab, kuidas tekkis üks pikk kronoloogia: erinevate viiulite pealt mõõdetud aastarõngaread liideti üheks suureks reaks, jälgides ridade mustrite kattumiskohti.

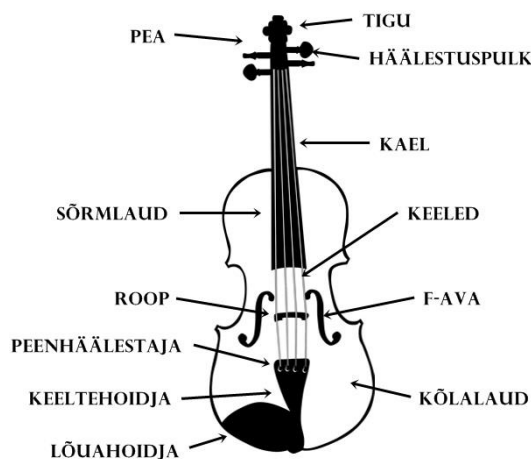
Analoogilise uurimuse viisid läbi Topham ja McCormick (2000) ning Grissino-Mayer jt. (2003), kes mõõtsid 21 vanaaegse Itaalia pilli kuusepuust kõlalaudadelt aastarõngaread ja komplekteerisid neist kronoloogia „*Italian Instrument Master Chronology (IIMC21)*“⁴. Selle kronoloogia koostamisele andis põhjuse Antonio Stradivari tänaseni kõige paremini säilinud viiul „Messias“ (joonis 7), mis vaatamata pidevale omanike vahetumisele ja maailmas ringirändamisele näeb välja justkui uus, tekitades sellega kahtlusi oma tõelisuses. Lisaks „Messias“ mõõdeti veel teisigi Stradivari ja teiste vanade Itaalia meistrite pille ning koostati nõ triiviv kronoloogia ehk aastarõngaste rida, mis pole seotud kindla aastaga (dateerimata). Seda rida võrreldi Lõuna-Alpidest pärit kuuse- ja lehisekronoloogiatega ning suured kokkulangevused andsid rea vanuseks 1531-1751. Selle uurimuse tulemusena kinnitati Messias autentsus ja selgitati välja ligikaudsed piirkonnad, kust vana aja meistrid oma viiulite tarbeks puitu kogusid – väga suured sarnasused viiulite kõlalaudade aastarõngamustrites näitasid, et meistrid kasutasid lähestikku kasvavaid (sisuliselt sama metsa) puid.



Joonis 7. Italian Instrument Master Chronology (IIMC21) moodustavad aastarõngalaiuste read (Topham & McCormick, 2000)

1.2.2. Klassikaline viiuli ehitus, olulisemad osad

Viiulid, nagu ka kõik muud keelpillid, on keerulise ehitusega ja koosnevad mitmesugustest osadest. Viiuli eri osade valmistamiseks kasutatakse mitut liiki puitu, klassikaliselt tehakse kõlakast vahtra- ja kuusepuidust, küljed vahtrast ning kael eebenipuust (Gough, 2000; Burckle & Grissino-Mayer, 2003; Topham & McCormick, 2000). Puidu valik võib varieeruda olenevalt sellest, mida konkreetne viiulimeister eelistab (tänapäeval leidub ka sünteetilistest materjalidest ja kõikvõimalike kujudega viiuleid), kuid üldiselt võib siiski öelda, et kõige tavalisem valik on kuusk, vaher ja eebenipuu.

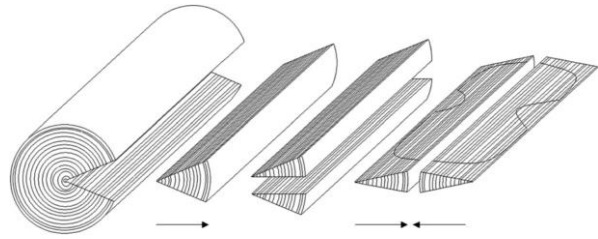


Joonis 8. Viiuli ehitus

Viiuli kõlamehhanismide mõistmiseks tuleks teada natuke viiuli ehitusest ja selle valmistamise etappidest. Joonis 8 illustreerib viiuli suuremaid ja tähtsamaid osasid. Viiuli ehitamist alustatakse kõlakastist, mille lauad on veidi kumerad. Tagumise laua tarbeks liimitakse vahtrapuidust plaadid keskelt kokku, esikülg ehk kõlalaud lõigatakse võimalusel täies tükis välja kuusepuuplaadist (klassikalised näited – Antonio Stradivari „*Sunrise*“, Cremona 1677 ja Nicolo Amati 1673. aastal tehtud viiul). Kui ühest plaadist tegemine ei ole võimalik, liimitakse kaks puuplaati omavahel aastarõngajooni mööda kokku (Beuting, 2011) (joon. 9). Viiuli kokkupanekul ei kasutata midagi peale liimi. Kõlakastide suurused on erinevad ning mängijale sobiv suurus saadakse, mõõtes mängija väljasirutatud käe pikkust kaelast peopesani. Täiskasvanutele sobiva 4/4 viiuli kõlakasti pikkus on ~35,5 cm ja laius ~19 cm (Violin Size Chart, 2014).

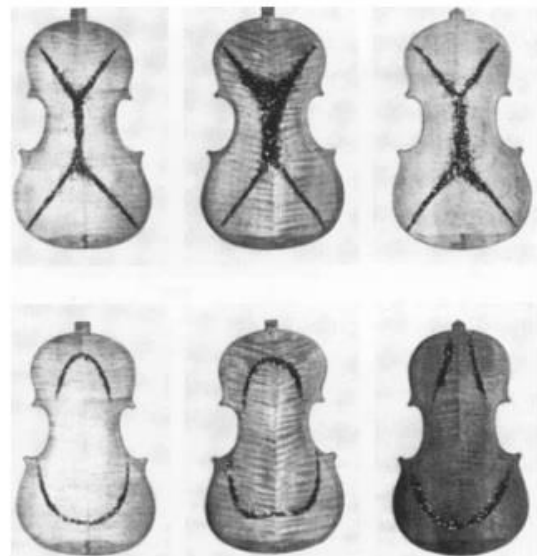
Veel kuulub viiuli juurde sõrmlaud (*griff*) ja pea, mis hoiavad koos nelja keelt. Keeltehoidja ja pea vahele jääb veel roop, mis pingutab keeli ja suunab keelte vibratsioonid f-avade kaudu kõlakasti, kus tekib hääl, mida me kuuleme viiulit mängides. Viiuli pea üks osa on ka keerus tigu, mis hoiab häälestuspulki, millega keeli pingutades saab täpseks sättida viiulikeelte tekitatava vibratsiooni ehk lõppkokkuvõttes heli. Viiul on üks keerulisema ehitusega pille ja kõik selle mehhaanilised osad mõjutavad kõla kujunemist.

Kõlakast on viiuli üks tähtsamaid elemente, kuna just seal tekib vibratsioonide abil viiuli hääl. Enne kõlakasti kokkupanekut tuleb selle sisemust lihvida, sest nii esimene kui tagumine külg peavad olema seestpoolt



Joonis 9. Kõlakasti materjal (Bernabei *et al.*, 2010)

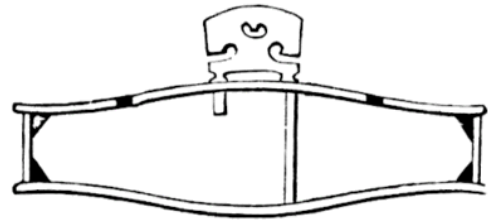
kaardus (nõgusad). Vanasti polnud võimalik kontrollida, kui palju tuleks plaate seestpoolt lihvida ning see oleneb palju meistri käteosavusest ja kogemustest, kuid tänapäeval on leiutatud vastavad meetodid, kuidas viiuli heli enne viiuli kokkupanekut kontrollida. Seda tehakse Chladni meetodil, mille mõtles välja saksa loodusteadlane Ernst Chladni (1701 – 1765) ning see põhineb heli erineval vibreerimisel erinevatel sagedustel. Tema tuli mõttele panna õhukesed plaadid viiulipoogna abil vibreerima. Vibreerival plaadil tekkisid geomeetrilised mustrid, mis said nimeks Chladni kõlakujundid (Kareda, 2006) (joonis 10). Kindlale kujundile vastab alati kindel helisagedus. Niimoodi kõlakujundeid tekitades saab kindlaks teha instrumendi kõla kvaliteedi ja resoneerimisvalmiduse ning neid omadusi muuta plaati vastavalt lihvides. Plaate saab vibreerima panna nii viiulipoogna kui tugeva helilainega, kujundite tekkimiseks peab plaadi vastas olema ka väike magnet.



Analoogiline meetod on veel viiuli plaadile koputamine ning tekkivate helide (*tap tones*) tekkimise hetkel holograafilise interferomeetria abil saadud piltide analüüsimine (Curtin & Rossing, 2010).

Joonis 10. Chladni kõlakujundid

F-avad on viiuli kõla seisukohalt samuti väga olulise tähendusega, need avad annavad kõlakasti kaanele kindla vibratsiooni, samuti määravad nad viiuli kõla madalamatel sagedustel, mis toimub tänu Helmholtzi resonantsile – õhk põrkub edasi-tagasi läbi f-avade (Ohvril, 2005). Resonantsi sageduse määrab f-avade suurus ja pilli helitugevus, nende avade kujundamisega määrab viiulimeister viiuli täpse kõla (Gough, 2000). Üks f-ava on näha ka joonisel 11.



Joonis 11. Viiuli kõlakasti sisemus

Viiuli sisemuses on veel kaks tähtsat elementi – kuusepuidust tahatud õhuke piklik piire, mis kleebitakse viiuli kaane sisemusse vasakule (bassi) poolele (*bass bar*) ning peenike pulk (kõlapulk, *sound post*), mis pannakse viiuli kõlakasti keskele, et see hoiaks kasti esimese ja tagumise seina pingul ja ei laseks neil nõ „sisse vajuda“. Mõlemad elemendid on illustreeritud joonisel 11 (all).

Oluline osa viiuli lõppviimistluses on lakkimine. Lakk on oluline, kuna see katab viiuli pealispinda ja mõjutab puidu helijuhtivust, mis on viiuli kõla tekke aluseks – keelte poolt tekitatavad vibratsioonid jõuavad kõlakastini tänu kõlalaua puidu resoneerumisele (Saarman & Veibri, 2006). Lisaks laki koostisele on oluline ka see, mitu kihti lakki viiulile pannakse.

Viiuli lakk määrab viiuli kõlakasti värvitooni ning kaitseb viiulit nii mehaaniliste välismõjude kui ka UV-kiirguse eest. Kõlakasti värvitoon ei ole aga ainult laki põhjustatud, vaid suurt rolli mängib ka puidu vananemine: nii kuuse- kui vahtrapuit muutub vananedes ja ka ultraviolettkiirguse toimel tanniinide abil punakaspruuniks; hemitsellulooside fotokeemilise lagunemise tõttu tekib puidule kuldne toon, mis ajapikku muutub rohekaks. (Robson, 2013)

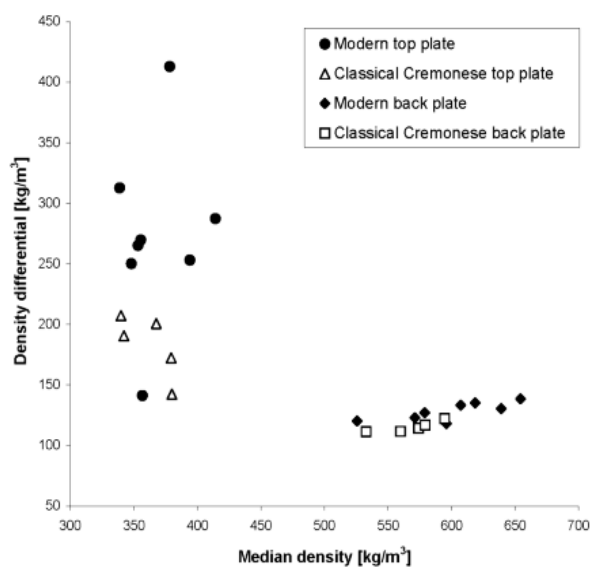
Enne lakkimist töödeldakse puitu taimsete õlide baasil valmistatud palsamitega, mis fikseerivad puidu värvi ja takistavad roheka varjundi teket. Sellised palsamid on sisuliselt sulatatud puuvaigu segud. Alguses kantakse kõlakastile mitu kihti palsamit ning viimaseks kihiks on veidi tihedam segu, mis on puu mahla ja linaseemneõli segu. Sulavaik kuivab

õhu käes ning muutub tugevaks ja kaitsvaks kihiks, linaseemneõli annab kihile läiget. Väidetavalt kasutasid sellise koostisega palsameid ka vana aja viiulimeistrid nagu Amati, kes lisas kirjeldatud segule veel ka tärpentini. Tänapäeval on leiutatud veel erinevaid sünteetilisi pigmente, mis annavad viimistlussegule erinevaid toone (Robson, 2013).

Lakkide koostiseid on erinevaid ning tavaliselt viiulimeistrid oma retsepte ei avalikusta. Küll aga on teada, et populaarne vaik nende lakkide koostises on šellak, samuti kasutatakse laialt männi- ja kuusevaiku ja segudesse lisatakse ka alkoholi ning taimseid õlised (Douglas, 2013).

Puidu omadusi saab lisaks lakkimisele mõjutada veel hoiustamisega: mõnikord panevad viiulimeistrid toormaterjali pikaks ajaks hoiule (*seasoning*) enne, kui seda kasutama hakkavad. Vanade Itaalia viulite uurimisel selgus, et nende kõige noorema aastarõnga ja pilli vanus erinesid 6-34 aastat (Topham & McCormick, 2000). Põhjuseks võib olla, et meistrid hoiustasid puitu enne kasutamist, samas on ka võimalus, et viiuli kõlalaudu lõigati puuplaadist välja nii, et puutüve koorepoolne eluskudedega osa (maltspuit, *sapwood*) jäeti välja (Versteeg, 2011).

Kompuutertomograafia abil vanade viulite tihedust uurides on selgunud, et Stradivari ja Guarneri del Gesu valmistatud viulite kõlakasti nii pealmised kuusest kui alumised vahtrast lauad on madala tihedusega (võrreldes tänapäevaste viulitega, joonis 12) – vastavalt 0,33 kuni 0,42 g/cm³ ja 0,5 kuni 0,58 g/cm³ (Stoel, 2008). Seega võiks arvata, et vanad itaalia meistrid valisid viulite jaoks teadlikult väiksema hõredusega kergemat puitu (Curtin & Rossing, 2010). Samas muutub puidu veesisaldus ja seetõttu ka tihedus väiksemaks hoiustamise ja kuivatamise käigus (Roos, 2013), sellest võiks oletada, et viiulimeistrid säilitasidki oma toormaterjali pikka aega enne, kui sellest viiuleid tegema hakkasid.



Joonis 12. Erinevate viulite kõlakastide tihedused (Stoeli järgi)

Mõttekohti on siin mitmeid ning seetõttu on püstitatud palju erinevaid hüpoteese, mis keskenduvad viiuli kõla uurimisel just kõlakastile ja spetsiifilisemalt selle materjalidele ning nende materjalide eripäradele.

Omadused, mis annaksid parima kvaliteediga resonantspuidu, on seni veel ebaselged. Levinud on seisukohad, et ideaalne resonantspuit on kitsaste ja ühtlaste aastarõngastega ning suhteliselt kerge (Roos, 2013; Saarman & Veibri 2006); ühest tükist tehtud keelpilli kõlakasti kaanel on ühtlaselt kitsad (ja f-avade ümbruses väga kitsad) aastarõngad; kahest tükist kokkuliimitud kõlakasti kaanel on liimimiskoha juures kitsamad rõngad, muster laieneb instrumendi äärte suunas (Beuting, 2011).

1.2.3. Stradivari fenomen – mis selle taga peitub?

Antonio Stradivari asus oma vanemate suunitlusel Nicolò Amati õpipoisina tööle 12-aastaselt ning õppis ja töötas Amati töökojas kuni meistri surmani aastal 1684 (Hill *et al.*, 1909). Amati andis oma õpipoisile edasi kõik talle teadaolevad oskused, millest Stradivari tegi hiljem veel edasiarendusi. Teada on, et meister ja õpipoiss kasutasid oma pillide tegemisel sama puitu – seda on tõestatud dendrokronoloogiliste uuringutega, mis on näidanud, et on juhtumeid, kus nende pillid on pärinenud samast puust (Beuting, 2011). Stradivari tegi pärast oma õpetaja surma viiulitega mitmesuguseid katsetusi, muutis nende kõlaavade kuju ning töötas välja erinevaid mudeleid. Arvatavasti oli just Stradivari see, kes pani paika need täpsed mõõtmed ja muud aspektid, mida viiulitegijad ka tänapäeval järgivad. Ka temal olid õpipoisid, kellega oma oskusi jagada – ta kaks poega Francesco (1671-1747) ja Omobono (1673-1742) (Hill *et al.*, 1909). Kahjuks ei olnud pojad aga väga head õppijad ning nende tööks jäi lihtsamate detailide meisterdamine. Stradivari pojad ei suutnud peale meistri surma (1737) tema tööd jätkata ning koos nendega lahkusid siit ilmast ka väärtuslikud oskusteadmised. Lisaks muudele tehnilistele teadmistele läks aja jooksul kaotsi ka info meistrite kasutatud viiulilaki koostise kohta. (Hill *et al.*, 1909; Sartorius, 2012)

Stradivari on teinud mitmeid kuulsaid viiuleid, muuhulgas maailma kalleim, üle 11 miljoni euro maksev viiul „*Lady Blunt*“ ning 1716. aastal tehtud „*Messias*“, („*Le Messie*“ või ka „*Salabue*“) (Ashmolean, 2004). Kahte mainitud viiulit peetakse maailmas viiulite valmistamise kunsti absoluutseteks tippudeks ja väga paljud viiulimeistrid võtavad just Antonio Stradivari töödest suurt eeskujut (Gough, 2000).

Milles siis peitub saladus, mis muudab mõned viiulid tunduvalt kvaliteetsemateks kui teised? See on küsimus, mis kummitab paljude viiulimeistrite peas, vastus sellele tagaks meeletu edu ja kuulsuse ning võimaldaks paljudel nautida samasuguse kvaliteediga muusikat nagu Stradivari-aegsed ülikud. Antonio Stradivari tegi kokku umbes 1 200 viiulit, müüs need vaid rikastele ja ülikutele. Tänapäeval on nendest säilinud umbes 650 pilli, millede väärtused võivad ulatuda viie miljoni dollarini (Violins, 2013).

Stradivari viiuleid nii keemiliselt kui füüsikaliselt uurinud teadlased pole senini päris kindlad, mis nimelt muudab need instrumendid niivõrd unikaalseks. On levinud mitmesuguseid seisukohti ja uute uurimismeetodite arenedes tuleb neid järjest juurde. Üks huvitavamaid on kindlasti hüpotees, et Stradivari viiulite erilisus peitub nende keemilises koostises: biokeemik Joseph Nagyvaryl õnnestus saada originaalsete Stradivari viiulite küljest tükikesi, mida analüüsid selgitas ta välja, et viiuli puitu oli töödeldud suure koguse kemikaalidega, muuhulgas boraadi (BO_3) ja tsirkoonium(IV)silikaadiga (ZrSiO_4) (Nagyvary *et al.*, 2009). On selge, et viiulite tegemise käigus tuleb neid katta lakkidega, mis võivad oma koostises suuresti varieeruda. Kahjuks ei ole tänapäeva teadlastel täielikku ülevaadet keskajal ja hiljem levinud viiulilakkide koostise kohta, samas on selge ka see, et kui viiulid on pärit 16. sajandist, siis nende lakke on tänapäeval keeruline uurida pillide suure vanuse ja sellest tingitud lagunemise tõttu. Teise kriitilise aspektina saab välja tuua, et Nagyvary uuris ainult nelja viiulit, millelt sai ta kätte vaid tagakülje ehk vahtrapuu proovid ning needki vaid ühest kohast viiulil. Seega on tõenäosused vigade ja anomaaliate esinemiseks küllaltki suured, samuti on ajaloost teada, et Stradivarile meeldis palju katsetada ja erinevaid asju proovida, mistõttu mõne üksiku viiuli laki koostise uurimine ei pruugi täit ülevaadet anda.

Stradivari viiulite keemilist koostist on uurinud veel teisedki teadlased, röntgenfluorestsentsi (XRF) ja optilise mikroskoobi tehnikaid kasutades uurisid Malagodi jt. (2013) Stradivari originaalviiulit ja saades teada selle katematerjali täpse keemilise koostise, püüti seda jäljendada eesmärgiga valmistada täpselt samasugune viiul. Tulemused näitasid, et laki keemilist koostist on võimalik jäljendada, samas jäi tulemustesse sisse teatav kahtlus, kuna aluseks võetud originaalviiul oli mitmeid kordi restaureeritud ja kaotanud selle käigus kihte oma lakist.

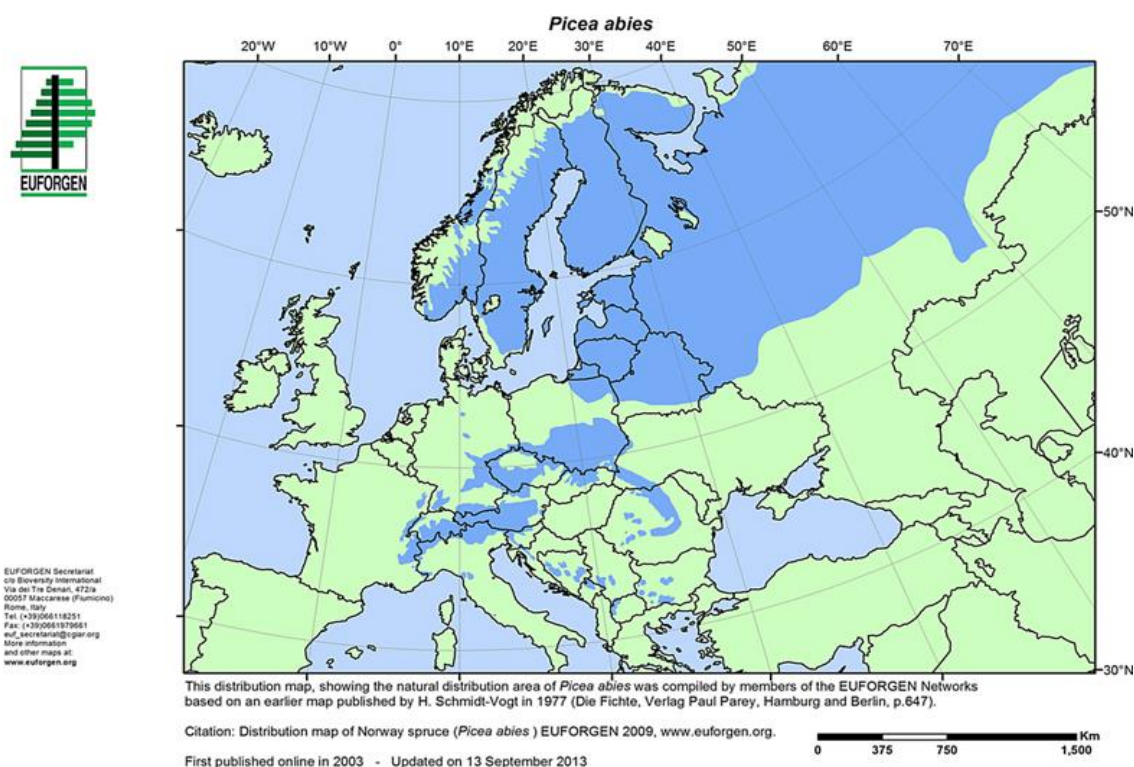
Üks viimase kümnendi jooksul levima hakanud seisukohtadest on, et Stradivari viiulite puit on suuresti mõjutatud toonase kliima eripärade poolt: nimelt leidis 16. sajandil aset päikeseplekkide miinimumi periood nimega Maunderi Miinimum, mil nii temperatuurid kui Päikese kiirgus Maal olid tavapärasest tunduvalt madalamad. Madalamate temperatuuride ja Päikese kiirguse väiksema intensiivsuse juures on puittaimede kasv häiritud ja aeglasem, kuna esinevad tugevalt limiteerivad faktorid ning kuna kasv on aeglasem, on ka puit ise tihedam, sest aastarõngad on kitsamad (igal aastal moodustub kasvuperioodil vähe uusi rakke). Selline teistsugune kasvumuster ning sellest tulenevad puidu omadused võivad olla üheks võimalikuks põhjuseks, miks keskajal valmistatud viiulid on parema kõlaga.

Kuna Stradivari ja ka teised Itaalia viiulimeistrid hankisid kogu viiulite valmistamiseks vajamineva puidu oma kodukandist Põhja-Itaalia mägistelt aladelt (Topham & McCormick, 2000), on püstitatud hüpotees, et viiulite suurepärase kõla põhjustajaks ongi sel ajal valitsenud Maunderi Miinimum (Burckle & Grissino-Mayer, 2003). Hüpoteesi kohaselt põhjustas Maunderi Miinimumi aegne jahe kliima puudel ühtlaselt kitsad aastarõngad, mis muutsid puidu hästi resoneerivaks ja andsid renessansiaegsete viiulitele selle saladusliku eripära, millest on palju räägitud.

2. Materjal ja meetodika

2.1. Andmete valik

Käesolev uurimustöö keskendub ühele puuliigile – harilik kuusk (*Picea abies* (L.) H. Karst). Kuusepuidust tehakse viiuli kõlakasti pealmine plaat, mille panus viiuli heli kujunemisse on olulise tähtsusega ja mida on dendrokronoloogiliselt võimalik mõõta. Hariliku kuuse levila Euroopa piires on märgitud sinise värviga joonisel 13. Harilik kuusk on väga levinud nii Kesk-Euroopas kui ka Põhja-Euroopas, eriti just Baltimaades, Soomes, Rootsis ja Venemaal.



Joonis 13. Hariliku kuuse (*Picea abies* (L.) H.Karst.) levila kaart (EUFORGEN, 2013)

Töös keskendutakse kahele piirkonnale:

1. Põhja-Itaalias Alpide mäestiku lõunapoolsel alal asuv Viulite Mets (joonis 14), kust pärinevad ITRDB andmebaasist leitud kronoloogiad, mis iseloomustavad nii renessansiaegseid kui tänapäevaseid potentsiaalseid viiulipuid.
2. Loode-Venemaal Karjala aladel asuv Paanajärvi looduskaitseala (joonis 15), sealt pärinevad käsitsi puuritud puiduproovid, mis iseloomustavad tänapäevaseid kuuski.

Põhja-Itaalia Viulite Mets



Joonis 14. Põhja-Itaalia (The National Geologic Map Database (NGMDB), 2013), väike kaart näitab Viulite Metsa alasid Ida-Alpide regioonis Itaalia suurimas mäestikus Dolomiitides (Topham & McCormick 2000)

Esimene ala, kust pärinevad nõ „viuliread“, asub Põhja-Itaalias Trentino maakonnas. Selles piirkonnas on Paneveggio mets, mida tuntakse Itaalias ka Viulite Metsana (*La Foresta dei Violini, The Forest of Violins*) (Burckle & Grissino-Mayer, 2003; Parco Naturale, 2002). See mets on umbes 2700 ha suurune ja asub 1500-2000 m kõrgusel Alpi mäestikus. Metsa põhiliseks puuliigiks on Lõuna-Euroopas üldiselt haruldane harilik kuusk (*Picea abies* (L.) H.Karst.), puud on enamasti üle 40 meetri kõrged ja vanad. Vana aja Cremona ja Brescia viulimeistrid kasutasid neile hästi kättesaadavaid materjale, mis saadi kõige tõenäolisemalt just nendelt aladelt (Hill *et al.*, 1909), seda on näidanud ka dendrokronoloogilised uuringud (Topham & McCormick, 2000). Sellest tulenevalt kutsutaksegi selle piirkonna metsa Viulite Metsaks. Paneveggio Viulite Metsa peetakse väga heaks dendrokliimatiliste uurimuste andmepangaks (Schweingruber, 1996).

Kuigi Paneveggio aladel on tehtud ja tehakse palju dendrokronoloogilist uurimistööd, ei ole kõik materjalid kättesaadavad, seetõttu laiendati ITRDB andmebaasis otsingut Põhja-Itaalia, Austria (Tirol), Šveitsi ja Edela-Prantsusmaa peale ning proovid pärinevad võimalikult Trentino lähedalt ja ligikaudu samadelt kõrgustelt.

Loode-Venemaa: Paanajärvi alad



Joonis 15. Paanajärvi rahvusparki ala (suurel kaardil) ja asukoht Loode-Venemaal Karjalas (väikesel kaardil).

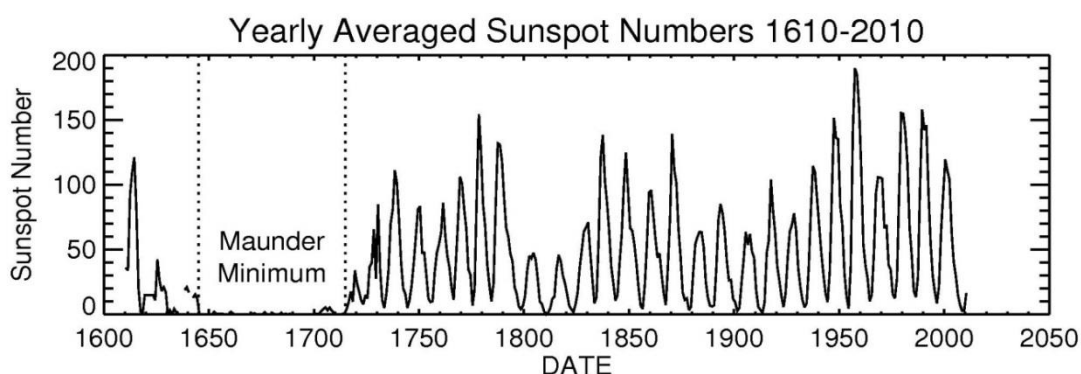
Allikas: *parks.karelia.ru, 2000*

Paanajärvi rahvuspark (joonis 16 suur kaart) asub Loode-Venemaal Karjala vabariigi põhjaosas Venemaa-Soome piiri lähedal ja katab 1043,71 km² suuruse pindala. Park rajati 1992. aastal, tänaseks kuulub Paanajärvi rahvuspark Euroopa põlislooduse kaitsealasiid ühendavasse PAN Parkide võrgustikku (Karelia Parks Development, 2007). 2006. aastal liideti Paanajärvi ja Soome rahvuspark Oulanka. Mõlemad pargid kuuluvad ka Rahvusvahelise Looduskaitseliidu (*IUCN*) II kategooriasse. (Hovi & Bizhon, 2011)

Rahvusparki keskmes on pikliku kujuga kuni 128 meetri sügavune Paanajärvi järv, millesse suubuvad Soomest Kuusamo lähistelt lähtuvad jõed Oulankajoki ja Kuusinkijoki. Paanajärvi kõrgeim tipp on 576-meetrine Nuoruneni mägi. Nii taimestik kui loomastik on tundra-aladele iseloomulik, Paanajärvi aladelt on leitud muuhulgas ligi 600 liiki soontaimi, millest 67 on iseloomulikud vaid sellele piirkonnale. Paanajärvi rahvusparki aladel on esindatud ligi 70% kogu Venemaa-Karjala liigirikkusest (Systra, 2010).

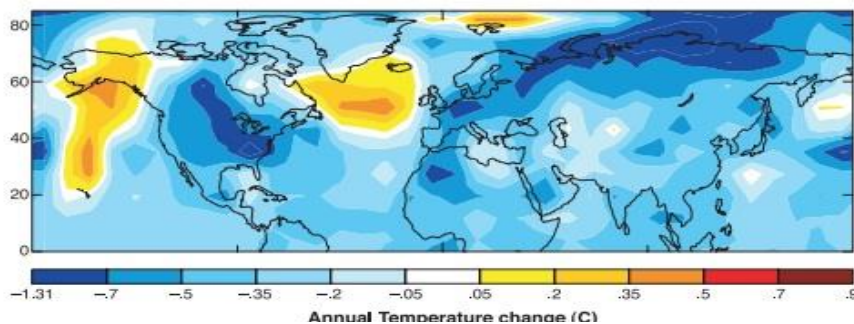
Kliima

Üheks olulisemaks teguriks Maa kliima muutumisel peetakse Päikese kiirguse intensiivsuse muutumist: üldtsirkulatsioonimudeli (GCM – *General Circulation Model*) andmetel võib 2% varieeruvus päikesekiirguse intensiivsuses viia 4°C muutuseni maapinna keskmises temperatuuris (Lowe & Walker, 1997). Kiirguse intensiivsuse indikaatoriteks on päikeseplekid (*sunspots*): Päikese pinnal ehk fotosfääris esinevad laigud, kus temperatuur on keskmisest oluliselt madalam (Eerme, 2008). Väike Jääaeg (*Little Ice Age*) oli ulatuslik kliimajahenemine, mis leidis aset 12.-19. sajandil erineva tugevusega üle kogu Maa (Lamb, 1984; Bradley & Jones, 1993). Väikese Jääaja kõige jahedam ajajärk, Maunderi Miinum oli kliimanähtus ajavahemikul 1645 – 1715, mil Päikese aktiivsus oli äärmiselt väike – teadlased ei näinud päikese pinnal peaaegu ühtegi päikeseplekki (Eddy, 1976) (joonis 16). Rekonstrueeritud andmete põhjal langes Päikese aktiivsus 0,05 % kuni 0,5% (Langematz *et al.*, 2005).



Joonis 16. Päikeselaikude arvud (allikas: NASA Marshall Space Flight Center)

Terves Euroopas on temperatuurid saja aasta jooksul langenud vähemalt 5 kraadi (Shindell *et al.*, 2001), Alpides täheldati talvise keskmise temperatuuri langemist kuni 1,6 kraadi

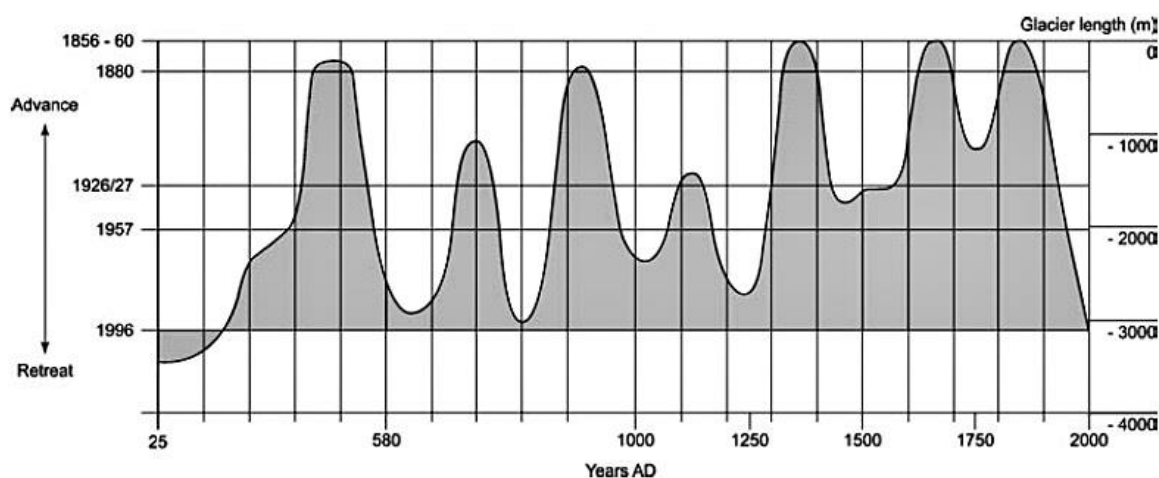


Joonis 17. Temperatuurimuutused GCM mudeli järgi põhjapoolkeral (Shindell *et al.*, 2001). Muutused toimusid 1780. aastast 1680. aastani ehk ajas tagasi ja näitavad, et 17. sajandil oli tunduvalt jahedam.

võrra madalamale kui tavaliselt (Casty *et al.*, 2005).

Joonis 17 illustreerib temperatuuride muutusi Maunderi Miinimumi jooksul, võrreldud on 1680. aasta keskmisi temperatuure 1780. aasta omadega. Üks oletatavaid põhjuseid sellisele ulatuslikule jahenemisele on, et temperatuurilangus koosmõjus suurema sademete hulgaga Põhja-Atlandi ümber põhjustas ookeani soolsuse langust vee ülemistes kihtides. See omakorda muutis ookeani termohaliinset tsirkulatsiooni, mis põhjustas sooja vee transpordi vähenemist mööda Golfi hoovust. Tulemusena oli Põhja-Atlandi regioonis külmem ja see võimendas suurel määral algset Päikese indutseeritud kliimasignaali (Lowe & Walker, 1997).

Maunderi Miinimumi ajal oli Maa stratosfäär tunduvalt soojem ja talvel dünaamiliselt ebastabiilsem. Troposfäär oli 1-1,5 kraadi külmem, globaalne keskmine temperatuur langes 0,86 kraadi. Põhjapoolkera talved olid jahedamad, sademetehulk kasvas ekvaatori poole liikudes.



Joonis 18. Alpi liustike pindala suurenes Maunderi Miinimumi ajal (Aletschi liustik, Betten, Šveits)

Nii Skandinaavias kui Alpide piirkonnas toimus suur jääliustike laienemine, mis kestis umbkaudu kuni 1900 AD (Dansgaard, 1984; Dobrovolny *et al.*, 2009), Šveitsi Aletschi liustiku laienemist illustreerib joonis 18.

Eelkirjeldatud kliimanähtused on kooskõlas ka Põhja-Atlandi ostsillatsioonide nõrgenemisega, mis toimus Maunderi Miinimumiga samal ajal (Langematz *et al.*, 2005).

2.2. Andmete kogumine

Andmete kogumine toimub mitmel eri viisil, kasutades nii Interneti-andmebaase kui käsitsi puuritud puiduproove.

Internetist leitud andmed pärinevad kõik andmebaasist International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) (Fritts, 1990). Põhja-Itaalia potentsiaalsete viulipuude kronoloogiate otsimisel lähtuti järgnevatest aspektidest:

- » Otsitavate proovide puuliik on harilik kuusk (*Picea abies* (L.) H.Karst.). Leitavad proovid iseloomustavad ainult viuli kõlakasti pealmist osa.
- » Otsinguala keskseks punktiks on Põhja-Itaalias Trentino regioonis asuv Paneveggio Viulite Mets (Topham & McCormick, 2000). Suurema valimi saamiseks laiendatakse otsinguala Põhja-Itaaliat ümbritsevate riikidega: Prantsusmaa, Šveits ja Austria. Välja valitakse vaid sobival kõrgusel asuvad proovikohad ja samuti eelistatakse neid, mille vahemaa Trentoga oleks väiksem.
- » Otsingud toimuvad kahes variandis: esimesel juhul on oluline leida kronoloogiaid, mis iseloomustaksid Maunderi Miinimumi ajal kasvanud puid – oluline ajavahemik 1640-1720. Teisel juhul on oluline saada andmeid tänapäevaste puude kohta – vajalik aastatevahemik peaks katma viimased 100 aastat. Piisava valimi saamiseks on otsingu algusaastaks 1870. ITRDB andmebaasis on väga pika ulatusega kronoloogiad: ühest asukohast on puuritud kümneid kuni sadu proove, mis on grupina salvestatud üheks kronoloogiaks. Programmi TSAP-Win abil saab need kronoloogiad nõ lahti harutada ja valida sealt välja vajalikku ajavahemikku katvaid ja iseloomustavaid aastarõngaridu. Nii tekib ka olukord, kus ühest kronoloogiagrupist võib saada proove nii Maunderi Miinimumi ajast kui ka 20. sajandist.
- » Kronoloogiad peavad olema piisavalt pikad, et iseloomustada viulit. Selle kindlustamiseks võetakse malliks täismõõdus 4/4 viiul, mille kõlakasti laius on 19 cm. Kronoloogiates tuleb aastarõngalaiused kokku liita ja jälgida, et analüüsitavate ridade pikkus ei jääks alla 9,5 (~10) cm, mis on pool kõlakasti laiuselt (siin kehtib eeldus, et viiuli kõlakasti pealmine laud on liimitud kokku kahest tükist).

Lisaks on ITRDB andmebaasis saadaval ka mõned vanaaegsetelt Alpide regioonist pärinevatelt viiulitelt mõõdetud aastarõngaread, mida kasutati päris puudega võrdlemisel: tabelis 1 on toodud kõik ITRDB andmebaasist leitud päris viiulite aastarõngaridade andmed.

Tabel 1 ITRDB andmebaasis (<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>) saadaval olevad viiulite andmed. Viiulite tegelik päritolu ei lange kokku riigiga, kus neid uuriti: „Messias“ pärineb Itaaliast ja Mittenwaldi viiulid Austriast.

Proovi kood	Nimi	Riik	Algus	Lõpp	ITRDB kood	Puuliigi kood	Autor
hmesst	The Messiah Violin	UK	1578	1674	BRIT050	PCAB	Grissino-Mayer
pmesst	The Messiah Violin	UK	1578	1674	BRIT050	PCAB	Grissino-Mayer
hmessb	The Messiah Violin	UK	1588	1686	BRIT050	PCAB	Grissino-Mayer
pmessb	The Messiah Violin	UK	1588	1685	BRIT050	PCAB	Grissino-Mayer
MITT1	Mittenwald Neuner School Violin 1	Saksamaa	1490	1803	GERM062	PCAB	Ratcliff
MITT2	Mittenwald Neuner School Violin 2	Saksamaa	1605	1805	GERM063	PCAB	Ratcliff
JJAIS	Mittenwald Johannes Jais violin	Saksamaa	1630	1793	GERM064	PCAB	Ratcliff

Kui võtta proove looduses kasvavatelt puudelt, on heaks meetodiks juurdekasvupuuri kasutamine. Juurdekasvupuur keeratakse käsitsi puu tüve sisse ja puuproov tõmmatakse puuri sees oleva „keele“ (lusika) abil välja. Nii puur kui selle sees olev keel on näha joonisel 19. Heade mõõtmistulemuste saamiseks peab proov olema ristlõige puutüvest, seega tuleb puuri ots sihtida täpselt puutüve säsi suunas.



Ühelt puult võetakse kaks proovi – põhja- ja lõunasuunas, võimalusel puuritakse proov otse

Joonis 19. Juurdekasvupuur koos keelega (Foto: Meltim OÜ)

puu keskkohast läbi koorest kooreni. Nii põhja- kui lõunasuunalise proovi olemasolu tagab andmete õigsust: nende proovide võrdlemisel peab leiduma sarnasus kasvustruktuuris. Kui seda ei ole, ei saa proovi ilmselt kasutada, kuna tegu on mingi anomaaliaga kasvus. Et kõik aastarõngalaiused oleksid omavahel võrreldavad, tuleb proovid puurida ka enam-vähem samalt kõrguselt maapinnast. Kokkuleppeline kõrgus puurimisel umbes 1,3 meetrit

maapinnast ehk nõ rinnakõrgusel. Paanajärvi rahvuspargist puuriti kokku 20 kuuseproovi, puurimist viis läbi Alar Läänelaid ajavahemikus 25.08.-26.08.2011. Kõik proovid on varustatud täpsete asukohaandmetega (geograafilised koordinaadid, absoluutne kõrgus m), nii andmed kui asukohakaart on toodud lisa 1.

Lisa 1 on lisaks puude koordinaatidele ja kõrgustele ka proovide nimed: igalt puult on võimaluse korral puuritud läbi tüve üks proov, mis ulatub koorest kooreni. Kui see ei ole võimalik, on puuritud 2 korda – põhja- ja lõunaküljest puu säsi suunas.

Süsteemiliselt märgistatud ja eelnevalt kuivatatud puursüdame määrimine viiakse läbi vastava määriista ja sellega ühtiva arvutiprogrammi abil. Selles töös on kasutatud Rinntech LINTAB™ määrivahendit (joonis 20) ja sama tootja arvutiprogrammi TSAP-Win (Rinn, 2011).

Määritelaud LINTAB™ koosneb vända abil käsitsi edasikeeratavast määrialahest, kuhu peale asetatakse ettevalmistatud (rõngad peavad olema selgelt näha) proov, ja luubist (mikroskoobist). Süsteem on ühendatud kaabli abil arvutiga ning määrija ülesanne on määritelauda koos prooviga edasi kerida ja läbi luubi samal ajal jälgida aastarõngaste piire. Iga uue aastarõnga piiril annab hiireklõps TSAP-Wini märguande ning arvutisse salvestub edasikeritud vahemaa, mis märgib aastarõnga laiust. TSAP-Win võimaldab määri mitmes skaalas, siin on kasutatud 1/1000 mm. Kui proov on määritud koorest südamikuni, määrimine lõpetatakse ning tulemuseks saadud aastarõngalaiuste rida salvestatakse FH-formaadis tekstifaili, mida on hiljem võimalik taasavada ja analüüsida.



Joonis 20. LINTAB™ 6 määritelaud (Rinntech)

Kliima-analüüsiks vajatakse kolme gruppi andmeid (kõigi aasta kuude keskmised sademed ja temperatuur):

1. Väikese jääaja aegsed meteoroloogilised andmed ei koosne ainult määrimistulemustest, suur panus tänapäeval kättesaadavasse informatsiooni on ka olustikukirjeldustel, ajalehtedel, kunstiteostel jm. allikatel, kus on mainitud

ilmastikunähtusi. Käesolevas töös on kasutatud instrumentaalandmeid NOAA Paleoklimatoloogia andmepangast (Casty *et al.*, 2005; NOAA, 2013). Casty jt (2005) on Alpide regioonist komplekteerinud 199-punktise võrgustiku ulatuses andmeid, mis sisaldavad 87 temperatuuri ja 146 sademete aegrida. Need on kombineeritud olustikukirjelduste, teadustekstide ja kloostrite kroonikate andmetega (Brazdil *et al.*, 2005) ning tulemuseks on kliimainformatsiooni võrgustik, mis katab ala 43.25-48.25° N ja 4.25-16.25° E. Tulemused on esitatud aastaegade lõikes ajavahemikus 1500-1658 ja kuude lõikes 1658-2000.

2. **Tänapäevased Alpide regiooni kliima-andmed** pärinevad Alpide ilmajaamade koostööprojekti HISTALP andmebaasist (Auer *et al.*, 2007). Kasutatud on kolme ilmajaama andmeid, mis asuvad sihtkohale võimalikult lähedal ja pakuvad vajaliku ulatuse ja detailsusega andmeid: Trento (kood TRT, 46°4'12'') Itaaliast, Innsbruck (*Innsbruck Universität*, INN, 47°15'39'') Austriast ja Davos (DAV, 46°48'46'') Šveitsist.
3. **Loode-Venemaal asuva Karjala kliima-andmete** otsimisel, analüüsimisel ja võrdlemisel on kasutatud Paanajärvist vähem kui 100 km läänes asuvat Soome Kuusamo ilmajaama andmestikku, mis on saadaval Põhjamaade ilmajaamade koostööprojekti NORDKLIM andmebaasis (Tuomenvirta *et al.*, 2001). Et Kuusamo ilmajaamast on saadaval andmed aastani 2002, on viimase, 2002-2008 lõigu jaoks kasutatud andmeid Kuusamo lähistel asuvast Oulanka ilmajaamast.

2.3. Statistiline töötlus

2.3.1. Mõõtmiste kvaliteedikontroll

Aastarõngakronoloogiate kvaliteedi kontrollimiseks on loodud programm COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001). Selle programmi abil on võimalik tuvastada võimalikke mõõtmisvigu ja kontrollida ristdateerimiste õigsust. COFECHA sisendiks on terve kronoloogia mõõtmisandmed ning väljundiks tekstifail, mis sisaldab statistilist infot kronoloogia kohta ning ka potentsiaalseid veakohti mõõtmisandmetes. Kui veakohad (nõ lipud – *flags*) on tekkinud mõõtja tegevusest, tuleb ridu kas üle mõõta või programmi TSAP-Win abil parandada.

Uurimistöös kasutatakse järgnevaid COFECHA leitud näitajaid:

- » Seeriavaheline korrelatsioon (*series intercorrelation*) – keskmine korrelatsioon iga aastarõngareala ja ridade keskmise vahel, mis näitab potentsiaalset kliimasignaali, mis on kõigil aastarõngaseerialtel sarnane. Erineb puuliigiti ja regiooniti ning valestidateerimisel tekkinud vead võivad korrelatsiooni vähendada. Kõrgemad väärtused ulatuvad 0,900-ni (põuatundlikud okaspuud), madalamad väärtused jäävad 0,400 juurde, keskmine on 0,550-0,750. See näitaja ei otsusta kronoloogia sobivust kliima-analüüsiks, vaid näitab, kas andmed on usaldusväärsed ja kvaliteetsed.
- » Keskmine tundlikkus (*average mean sensitivity*) on muutuste mõõde – suhteline muutus aastarõngalaiustes aastate lõikes. See iseloomustab erinevust kahe järjestikuse väärtuse vahel aastarõngareas ning seda väljendatakse protsentides (Schweingruber, 1988). Tundlikkus näitab keskkonnafaktorite mõju puude kasvule, suuremad väärtused näitavad suuremat tundlikkust keskkonnafaktorite suhtes.
- » Keskmine standardhälve (*average mean standard deviation*) – standardhälve näitab erinevust keskmisest väärtusest, COFECHA arvutab kronoloogiate standardhälbed millimeetrites.
- » Keskmine autokorrelatsioon (*average autocorrelation*) – näitab, kui palju on puu aastarõngalaius aastal n mõjutatud rõngalaiusest (ehk kasvust) aastal $n-1$ ehk eelnenud aastal. Väärtused jäävad tavaliselt vahemikku 0,300-0,800.

2.3.2. Standardiseerimine

Standardiseerimiseks kasutatakse DOS-programmi ARSTAN (Cook & Holmes, 1986). Standardiseerimise käigus sobitatakse aastarõngaseeriale kasvukõver ning jagatakse iga rõngalaius vastava väärtusega kõveral. Selline protsess genereerib rea indekseid, millest on kõrvaldatud kasvutrend. ARSTANI sisendiks on mõõtmisfail, millega viiakse läbi statistiline analüüs vastavalt kasutaja poolt täpsustatud nõuetele, muuhulgas teostatakse multi- ja univariatiiivne autoregressiivne modelleerimine ja koostatakse kolm erinevat kronoloogia versiooni: standardkronoloogia (eemaldatud kasvutrend), jääk-kronoloogia (standardiseeritud kronoloogiast eemaldatud autokorrelatsioon) ja ARSTAN-kronoloogia (jääk-kronoloogia, millele on lisatud hinnanguline autoregressioon). Standardiseeritud indeksid on ilma ühikuteta ja väärtused kõiguvad 1,000 ümber (3 komakohta).

2.3.3. Kliimasignaalid kasvumustrites

Puude juurdekasvu seoste kliimanäitajatega analüüsimisel kasutati programmi DendroClim2002 (Biondi & Waikul, 2003). Mudeli sisenditena kasutati standardiseeritud kronoloogiaid ja neile vastavate ilmajaamade mõõdetud sademete ja temperatuuride igakuiseid aegridu. Kliima-andmed katsid 19 kuu pikkuse perioodi – kasvuperioodile eelneva kalendriaasta juunist kuni kasvuperioodile vastava detsembrini. DendroClim2002 leiab Pearsoni korrelatsioonikordajad ning usalduspiirid *bootstrap*-meetodiga ning väljundina esitatakse statistiliselt olulisemad koefitsiendid nii tekstifailina kui graafiliselt.

Standardiseeritud kronoloogiad ja kliima-andmete aegread on erineva pikkusega, kuid DendroClim2002 laseb kasutajal analüüsitava ajavahemiku ise valida. Programm seadistati leidma korrelatsioonikordajaid eelnevalt kindlaks määratud uuritavate ajaperioodide kohta, erandiks oli 17. sajandi Alpide kliima-andmestik, mis kuude lõikes ulatus vaid aastani 1658. Sellele aastale eelnevad kliima-andmed on saadaval vaid aastaegade lõikes, seega teostati sellele ajavahemikule nii igakuine kui sesoonne analüüs vastavalt sellele, kuidas andmed võimaldasid. Võrdluse mõttes leiti sesoonsed korrelatsioonikordajad ka teistele ajavahemikele. Leitud korrelatsioonikordajate põhjal koostati Excelis juurdekasvu ja kliimanäitajaid seostavad graafikud. Korrelatsioonikordaja väärtused jäävad vahemikku -1 kuni 1 ja positiivne väärtus tähistab aastarõngalaiuste ning kliimaparameetrite samas suunas muutumist (positiivne mõju), negatiivne väärtus näitab tunnuste erinevas suunas muutumist (negatiivne mõju).

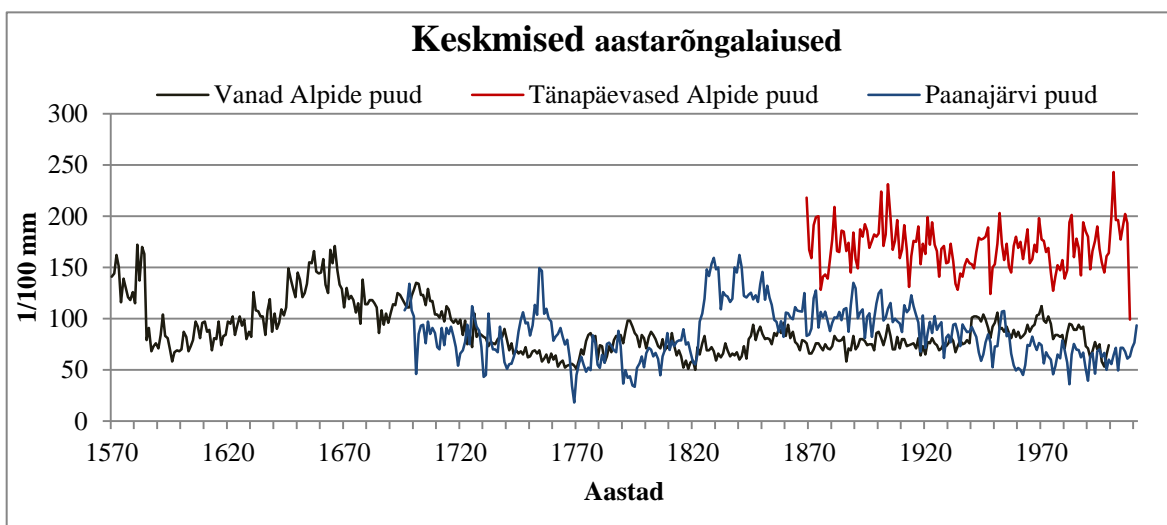
3. Tulemused

3.1. Kronoloogiad

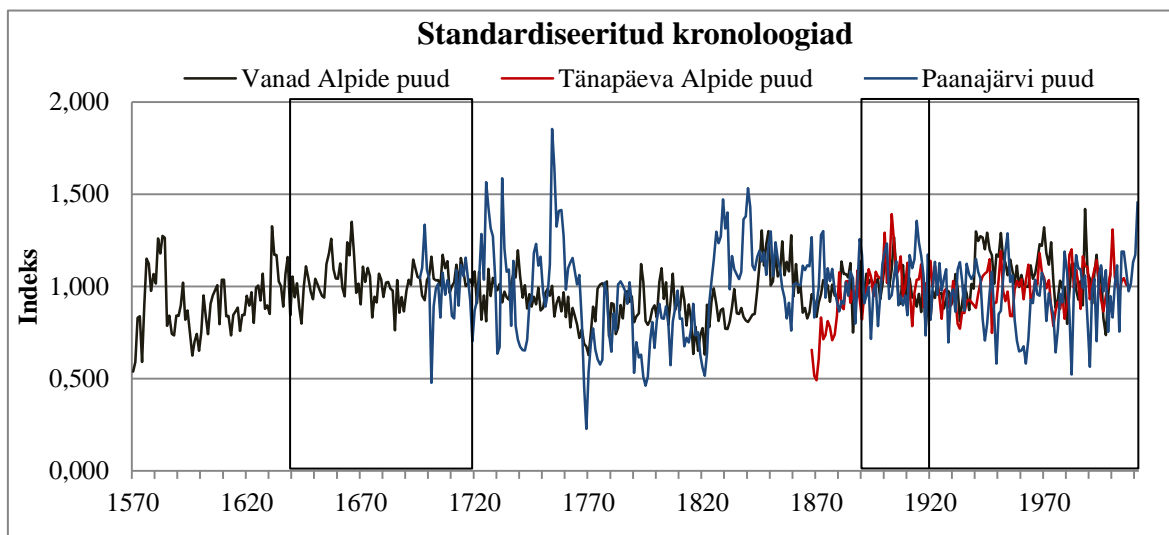
ITRDB andmebaasist ja instrumentaalsete mõõtmiste teel saadud puude aastarõngaste read (vt. lisa 3) liideti kolmeks erinevaks kronoloogiaks:

1. Vanad Alpide puud: 22 proovi (lisa 2 tabel 1), mis selekteeriti sobiva vanuse põhjal välja ITRDB andmebaasis saadaval olevatest Alpide kronoloogiatest. Proovid on võetud erinevatest kohtadest Alpide lõunaosas ning katavad ajavahemiku 1570-1999.
2. Tänapäevased Alpide puud: 36 proovi (lisa 2 tabel 2), mis on samuti selekteeritud ITRDB andmebaasis olevatest Alpide kronoloogiatest. Proovid katavad ajavahemiku 1869-2008.
3. Tänapäevased Paanajärvi puud: 40 proovi, mis pärinevad 20 puult (lisa 1 tabel) Loode-Venemaal Karjalas asuvast Paanajärvi rahvuspargist Paanajärve ümbrusest. Proovid katavad ajavahemiku 1696-2011.

Keskliste aastarõngalaiuste kronoloogiad on toodud joonisel 21. Need kronoloogiad on saadud vastavalt punktides 1-3 toodud andmete keskmistamise teel programmis TSAP-Win. Kasutatud andmed on mõõtmisel saadud aastarõngalaiused 1/100 millimeetrites.



Joonis 21. Keskised aastarõngalaiused 1/100 mm kolmes kronoloogias: vanad Alpide puud (tumepruun), tänapäevased Alpide puud (punane) ja Paanajärvi puud (tumesinine).

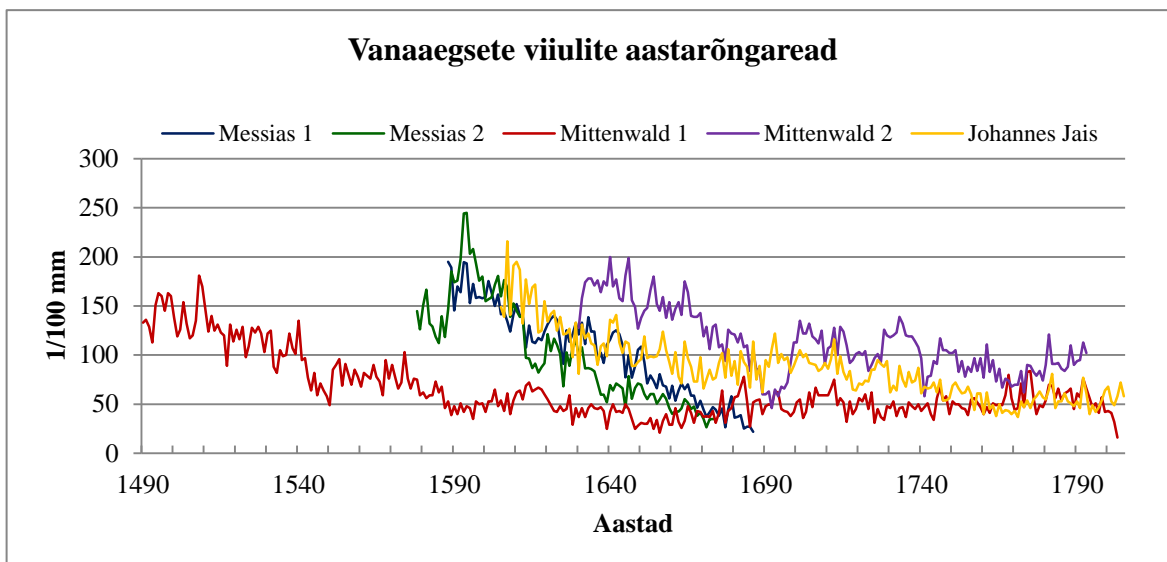


Joonis 22. Standardiseeritud kronoloogiad. Kastid märgistavad kliima-analüüsiks kasutatavaid aastavahemikke: vanade Alpide puudel 1640-1720 ja tänapäevastel Itaalia puudel 1920-2008 ning Paanajärvi puudel 1890-2008.

Joonisel 22 on toodud kronoloogiate standardiseeritud variandid. Ühikuks on indeks, mille väärtused arvutab programm ARSTAN (kirjeldus metoodika alapeatükis 2.3.2.). Graafiku peale märgitud kastid näitavad kliima-analüüsiks kasutatavaid ajavahemikke, mis on saadud keskmiste aastarõngalaiuste kokkuliitmise teel: siin peab kehtima eeldus, et analüüsitava vahemik oleks viiuli poole kõlalaua laiune, samuti on oluline, et kaetud oleks vähemalt 80 aasta pikkune vahemik (Maunderi Miinimumi pikkus +5 aastat enne ja pärast). Nii mõõtmisandmete kui standardiseeritud kronoloogia statistikud on toodud tabelis 2. Tabeli lahter „Aastad“ tähistab programmi ARSTAN poolt analüüsitud kronoloogiate pikkust.

Tabel 2. kronoloogiate statistilised näitajad (valitud ajavahemikud toodud joonise 22 selgituses)

Mõõdetud laiuste kronoloogia	Vanad puud	Alpide	Tänapäeva puud	Alpide	Paanajärvi puud
Keskmine rõngalaius mm	0,87		1,69		0,86
Seeriate interkorrelatsioon	0,338		0,491		0,665
Keskmine tundlikkus	0,172		0,172		0,212
Keskmine standardhälve	0,422		0,561		0,397
Keskmine autokorrelatsioon	0,855		0,758		0,815
Kronoloogia kogupikkus mm	381,01		276,75		270,21
Kronoloogia pikkus ajavahemikul mm	97,75		187,44		96,59
Standardiseeritud kronoloogia	Vanad puud	Alpide	Tänapäeva puud	Alpide	Paanajärvi puud
Aastad	188,9		109,9		175,6
Keskmine rõngalaius	1,008		1,002		0,999
Keskmine rõngalaius valitud ajavahemikule	1,028		0,986		0,973
Keskmine standardhälve	0,371		0,296		0,367
Keskmine standardhälve ajavahemikule	0,295		0,260		0,268



Joonis 23. Vanaaegsete viulite aastarõngaread 1/100 mm

Vanaaegsete Alpidest pärit viulite aastarõngaridu illustreerib joonis 23. Joonisel on eri värvidega kõigi 5 viulirea andmed, kuna Messiast on mõõdetud kaks korda, siis on joonisel ka kaks eri aastarõngarida (keskmised tehtud *treble*- ja *bass*-poolte ridadest). Andmed on mõõdetud rõngalaiused, st standardiseerimist ei ole nende ridade puhul teostatud (vanuseline kasvutrend olemas).

Tabel 3 sisaldab 5 viulirea dendrokronoloogilisi karakteristikuid. Kui ühe viuli kohta oli saadaval mitu mõõtmisrida (näiteks „Messiasel“), siis leiti nende keskmised väärtused ja tehti analüüs saadud reaga. Seeriade interkorrelatsiooni saab arvutada grupile mõõtmistele, sest see karakteristik võrdleb kõigi samast kohast pärit proovide signaalide tugevust. Interkorrelatsiooni arvutamiseks grupeeriti Mittenwaldist pärit viulid üheks ja kõik 4 „Messiasel“ pealt mõõdetud rida teiseks grupiks.

Tabel 3. Vanaaegsete viulite aastarõngaridade karakteristikud

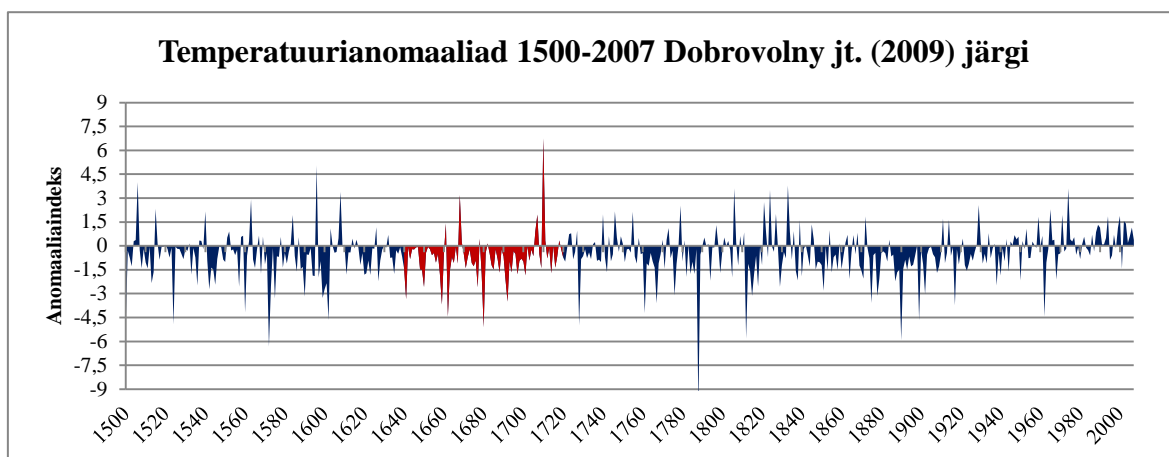
	Messias	Mittenwald 1	Mittenwald 2	Johannes Jais
Keskmine rõngalaius mm	1,04	0,65	1,13	0,87
Seeriade interkorrelatsioon	0,807	0,377	0,377	0,377
Keskmine tundlikkus	0,131	0,183	0,115	0,156
Keskmine standardhälve	0,491	0,319	0,327	0,331
Keskmine autokorrelatsioon	0,945	0,903	0,884	0,834

3.2. Kliima-andmed

3.2.1. Maunderi Miinimumi aegne Alpide kliima

Casty jt. (2005) välja töötatud Alpi regiooni kliimarekonstruktsiooni põhjal on komplekteeritud kliimadiagrammid Maunderi Miinimumi aegse Alpide kliima iseloomustamiseks (joonise 26 ülemine rida). Et perioodil 1500-1658 oli saadaval vaid 11 instrumentaalset näitajat (Casty *et al.*, 2005), ei olnud võimalik läbi viia kuude lõikes analüüsi tervele vajalikule perioodile (1645-1715) ning tuli lähtuda olemasolevatest andmetest ning komplekteerida kaks erinevat diagrammi: kuude lõikes perioodile 1658-1720 ning aastaegade lõikes perioodile 1645-1658.

Anomaaliaindeksid (Pfister, 1993; Bradley & Jones, 1992; Dobrovolny *et al.*, 2009) aitavad Alpide kliimast paremat üldpilti saada. Joonisel 24 on Dobrovolny jt. (2009) temperatuurirekonstruktsioon Alpide regioonile. Tumesinisega on märgitud kogu periood ning punasega Maunderi Miinimum (+/- 5 aastat).



Joonis 24. Temperatuurianomaaliad. Indeksite väärtused kõiguvad vahemikus -9 ... 9 ja iseloomustavad temperatuuri (-9 on väga külm ja +9 on väga soe).

Väikese Jääaja perioodil oli kliima aastaringselt jahedam kui tänapäeval (Pfister, 1978; Lamb, 1984; Bradley & Jones, 1993; Dobrovolny *et al.*, 2009). Perioodil 1400-1440 olid temperatuurid ~0,5°C kõrgemad kui 20. sajandil, kuid ~1560-ndatest alates hakkas keskmine temperatuur terves Euroopas langema kuni madalaimate väärtusteni 17. sajandil (Bradley & Jones, 1993). Kevade ja talve keskmised temperatuurid langesid kõige madalamale 1690-ndatel (Dobrovolny *et al.*, 2009), mis oodatavalt langeb kokku Maunderi Miinimumiga. Maunderi Miinimumi perioodi jääb 10 ekstreemselt külma talve (1649, 1658, 1660, 1665, 1681, 1684, 1695, 1697, 1709, 1716), kolm ekstreemselt sooja suve

(1669, 1684, 1706) ning üks ekstreemselt külm suvi (1675), mil keskmise temperatuuri standardhälve ületas 20. sajandi keskmist +/-2 võrra (Casty *et al.*, 2005). Suurimad negatiivsed anomaaliad ulatusid -3...-7°C-ni, positiivsed kuni +2,8°C.

17. sajandil valitsesid Alpides pigem niisked tingimused – 1627 on viimase 500 aasta suurima sademetehulgaga (anomaalia +305 mm), suuri anomaaliaid leiti ka 1670ndatel ja 1720ndatel. Suved olid 1550-1700 jooksul üldiselt väga suure sademetehulgaga, viimase 500 aasta suveperioodide maksimaalne sademetehulk mõõdeti aastal 1663 (anomaalia +148 mm). Aastad, mil keskmise sademetehulga standardhälve ületas 20. sajandi keskmist +/- 2 võrra, olid 1663 ja 1692 (positiivsed ekstreemsused – sademetehulk suurem) ning 1669 ja 1706 (negatiivsed ekstreemsused – sademetehulk väiksem). (Casty *et al.*, 2005)

3.2.2. Tänapäevane Alpide kliima

Kuude ja aastaegade keskmised temperatuurid ja sademetehulgad on toodud joonise 26 keskmisel real kahel graafikul. Andmed on saadud, arvutades Trento, Innsbrucki ja Davose ilmajaamade andmete keskmised näitajad (Auer *et al.*, 2007).

Kõige soojem ja samas ka niiskem aeg on suvi, juunist augustini on kõige rohkem sademeid ning samas on ka kõige kõrgemad temperatuurid, mille maksimumid jäävad 20 kraadi lähedusse. Keskmiselt kõige soojem kuu on august ja kõige külmem jaanuar. Tirooli piirkonnas jäävad suvised temperatuurid 10...25° ja talvised temperatuurid 0...-3,5°C vahele. Trentino maakonnas jääb kuu keskmine temperatuur suvel vahemikku 9...13°C ja talvel 0...-14°C (ka märtsi ja novembri keskmised temperatuurid on negatiivsed). Alpide Šveitsi-poolses piirkonnas jäävad suvised temperatuurid vahemikku 12...22°C ja talvised vahemikku 3...-10°C (kuu keskmine temperatuur on negatiivne detsembrist veebruarini). Šveitsis Davose lähistel on jaanuarikuu keskmised temperatuurid pidevas muutumises ja kõiguvad 3...-8 vahel. Tihti on kahel järjestikusel aastal ekstreemselt erinevad temperatuurid, näiteks 2006. aasta jaanuaris oli -4,2°C ning sellele järgneval aastal 2007 mõõdeti kuu keskmiseks 2,4°C.

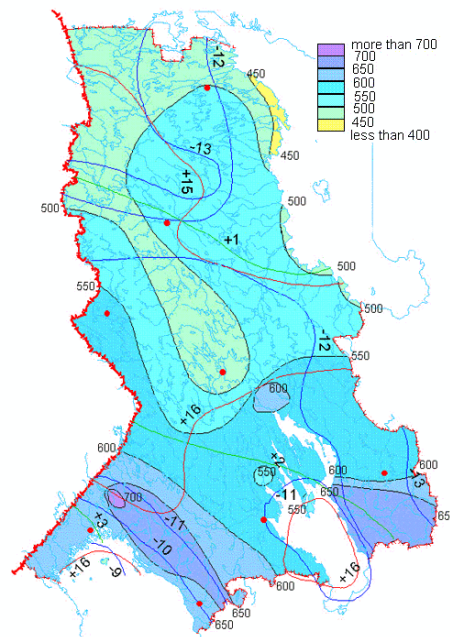
Sademeid on kõige rohkem suvel, maksimum (kuni 230 mm/kuus) saabub enamasti juulis. Kõige kuivemad kuud on veebruar (Tiroolis) ja märts (Šveitsis ja Trentino läheduses), kohati on vähe sademeid ka sügisel. Sademete kogused kõiguvad suures ulatuses kõigis Alpide piirkondades, maksimumid jäävad vahemikku 140-230 mm ning miinimumid vahemikku 0-50 mm. (Auer *et al.*, 2007; WWCI, 2010-2013)

3.2.3. Tänapäevane Paanajärvi kliima

Joonise 26 alumisel real on tänapäevase Paanajärvi kliimadiagrammid, mis on koostatud lähedalasuvate Kuusamo ja Oulanka ilmajaamade andmete keskmistest näitajatest. Et Karjala kliima kohta on vähe infot saadaval, kasutati analüüsiks Põhja-Soome ja Lapimaa kliimakirjeldusi.

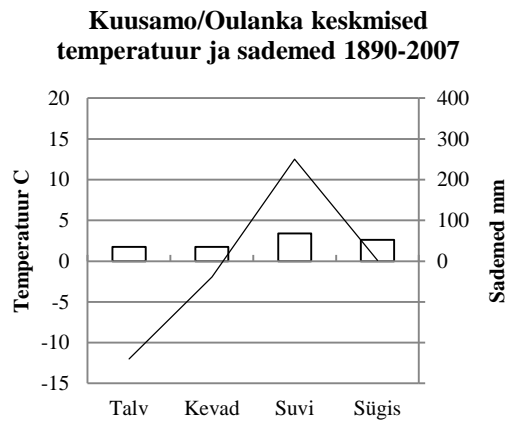
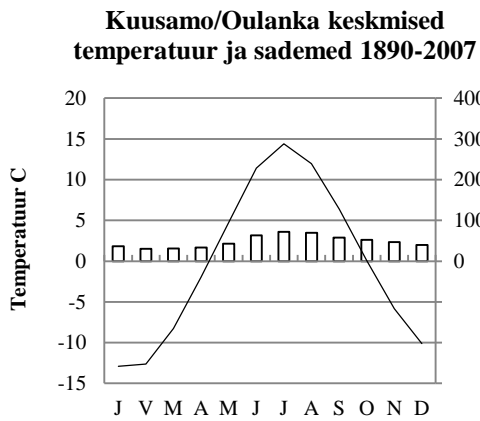
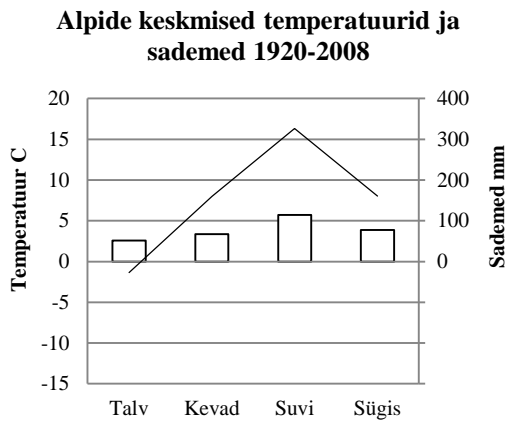
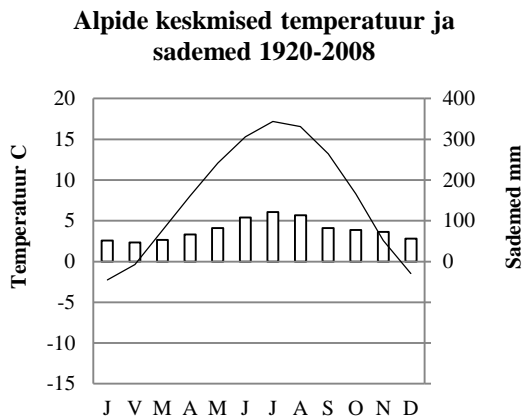
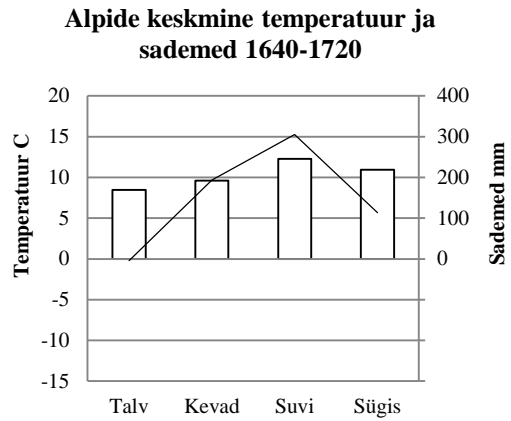
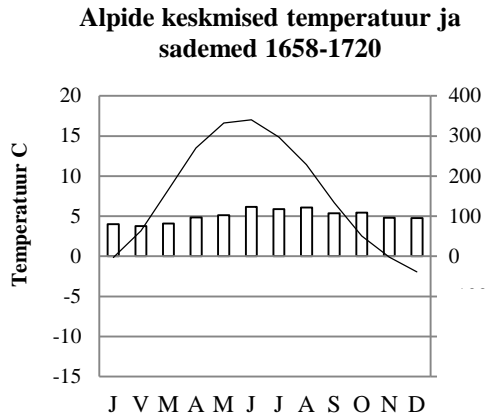
Karjala keskmisi temperatuure ja sademeid aastatel 1936-1990 illustreerib joonis 25: sinised jooned näitavad jaanuari isotermi (-10° kuni -13° C) ja rohelised jooned juuli isotermi (1° kuni 3° C). Sademeid on vähem põhjapool (aasta keskmine 450 mm) ja rohkem lõunas (keskmine üle 700 mm) (Vdovtsyn *et al.*).

Lapimaal algab talv oktoobris ja kestab ligikaudu 200 päeva. Talvel on sealsetel aladel polaaröö, mis kestab ligikaudu 51 päeva. Sel ajal lüheneb päeva pikkus kuni 6 tunnini. Lumikatte paksus on suurim märtsis – 60-90 cm. Aasta kõige külmem päev on tavaliselt jaanuari lõpus, Lapimaal on siis päeva keskmine õhutemperatuur -45 kuni -50° C (Ilmatieteen, 2014).



Joonis 25. Karjala kliima 1936-1990
(Vdovtsyn *et al.*)

Kevad algab Lapimaa ümbruses maikuu, vegetatsiooniperiood (temperatuur püsivalt üle 5° C) algab umbes kuu aega hiljem. Kevade pikkus varieerub, kuid külmemates paikades kestab see umbes 45 päeva. Suvi algab juunis ja lõppeb augusti keskel, põhjapolaarjoone ümbruses on sel ajal päevad ligi 19 tundi pikad. Selliseid polaarpäevi võib olla kuni 73 igal aastal. Kuumalainete kestvus on Põhja-Soomes 8-14 päeva ja Lapimaa ümbruses 4-8 päeva. Sügis algab Põhja-Soomes septembri lõpus. Keskmine vegetatsiooniperiood kestab Lapimaa kandis 100 kuni 140 päeva. Esimene lumi tuleb maha juba oktoobris. Sademed esinevad enamasti ebaregulaarselt, Põhja-Soomes moodustab poole sademetest lumi ning seal on aastane sademete hulk umbes 600 mm (Ilmatieteen, 2014).



Joonis 26. Kliimadiagrammid 17. sajandi Alpide (ülemine rida), tänapäeva Alpide (keskmine rida) ja Karjala (Kuusamo/Oulanka andmed, alumine rida) kohta nii kuude lõikes (vasakul) kui aastaegade kohta (paremal)

3.3. Kliima ja puude kasvustrid

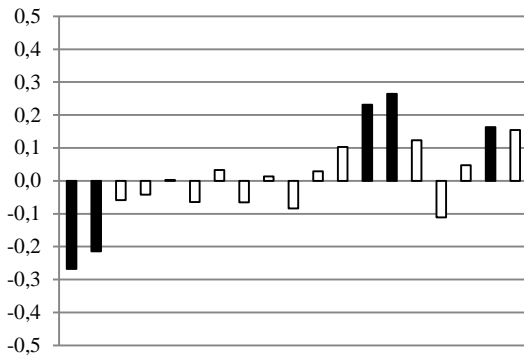
Tabelis 4 on toodud kõik korrelatsioonikoefitsiendid, mille programm DendroClim2002 on arvutanud. Tabeli ülaosas on kursiivkirjas analüüsitavale aastale eelneva kasvuperioodi korrelatsioonid, analüüsitud on perioodi juunist kuni detsembrini. Tumeda kirjaga on märgitud need korrelatsioonikoefitsiendid, mis on statistiliselt olulised.

Tabel 4. Korrelatsioonid puude kasvu ja kliimanäitajate vahel analüüsitaval aastal ning sellele eelnenud kasvuperioodil (J-D)

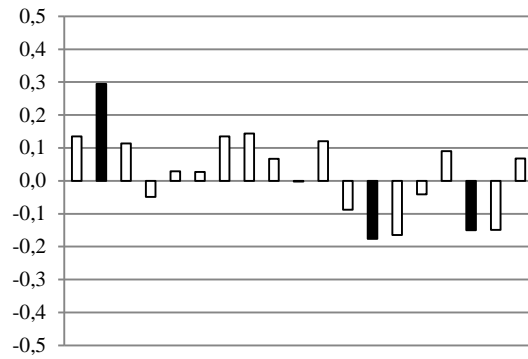
	Temperatuur			Sademed		
Algus	1660	1920	1910	1660	1920	1910
Lõpp	1799	2008	2006	1799	2008	2006
	Vanad Alpide puud	Tänapäevased Alpide puud	Paanajärvi puud	Vanad Alpide puud	Tänapäevased Alpide puud	Paanajärvi puud
<i>J</i>	<i>-0,26750</i>	<i>0,04784</i>	<i>-0,45891</i>	<i>0,13536</i>	<i>-0,02651</i>	<i>-0,02089</i>
<i>J</i>	<i>-0,21420</i>	<i>-0,08925</i>	<i>-0,20224</i>	<i>0,29498</i>	<i>0,27479</i>	<i>-0,11984</i>
<i>A</i>	<i>-0,05900</i>	<i>-0,10981</i>	<i>-0,11829</i>	<i>0,11328</i>	<i>0,06086</i>	<i>-0,25328</i>
<i>S</i>	<i>-0,04170</i>	<i>0,15020</i>	<i>-0,15657</i>	<i>-0,04872</i>	<i>0,11224</i>	<i>-0,04110</i>
<i>O</i>	<i>0,00302</i>	<i>0,07290</i>	<i>-0,01250</i>	<i>0,02872</i>	<i>0,07394</i>	<i>-0,03439</i>
<i>N</i>	<i>-0,06451</i>	<i>0,06062</i>	<i>0,15335</i>	<i>0,02677</i>	<i>0,04309</i>	<i>-0,02428</i>
<i>D</i>	<i>0,03287</i>	<i>0,00563</i>	<i>0,06072</i>	<i>0,13517</i>	<i>0,03554</i>	<i>-0,15026</i>
J	-0,06536	-0,01970	0,04562	0,14338	0,12729	-0,12991
V	0,01315	0,01678	-0,38537	0,06661	0,03819	-0,19205
M	-0,08426	-0,00600	-0,15662	-0,00181	0,10268	0,12521
A	0,02944	0,06967	-0,03041	0,12036	-0,01574	-0,02482
M	0,10324	0,35138	0,00552	-0,08764	-0,10489	-0,06053
J	0,23166	0,19481	0,34768	-0,17649	-0,28335	-0,02209
J	0,26480	0,43234	0,09098	-0,16479	-0,28340	0,13145
A	0,12342	0,12471	0,08734	-0,04078	0,08433	0,01716
S	-0,11069	0,00768	-0,00456	0,09066	0,02665	0,05249
O	0,04707	0,22224	-0,07527	-0,15018	-0,09169	-0,10035
N	0,16372	-0,08692	-0,14807	-0,14857	0,05240	-0,04642
D	0,15403	-0,07704	0,10422	0,06760	0,02750	-0,09216

Tabeli 4 võtavad kokku graafikud joonisel 27: 6 graafikut näitavad kõiki korrelatsioone temperatuuride, sademete ja puude kasvu vahel, kusjuures statistiliselt olulised on kujutatud tumedate tulpadega. Aastatevahemikud näitavad analüüsitud ajaperioode. Kuigi Paanajärvi periood peaks viiuli mõõtudele tuginedes olema pikem (vt. ptk 2.2. ja ptk. 3.1. tabel 3), sai kliima-analüüsil limiteerivaks faktoriks taaskord andmete vähene kättesaadavus.

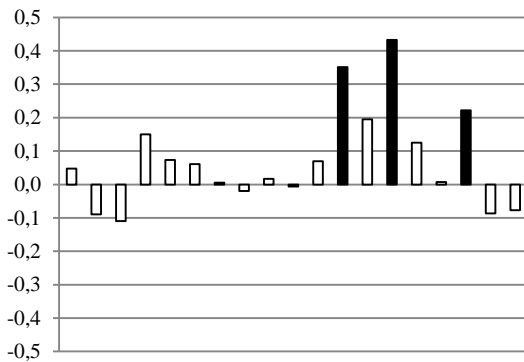
Temperatuur
Vanad Alptide puud



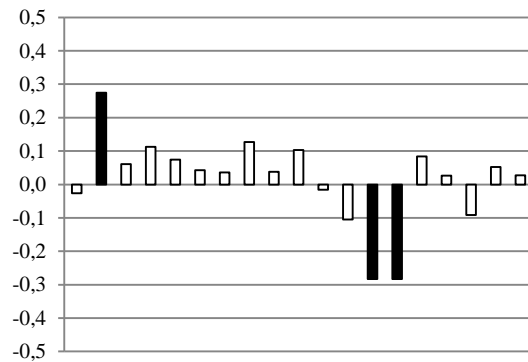
Sademed
Vanad Alptide puud



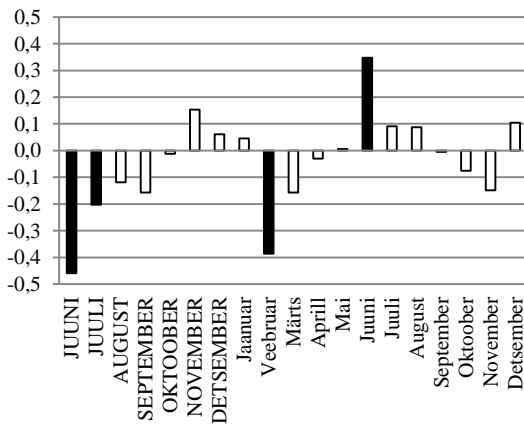
Tänapäevased Alptide puud



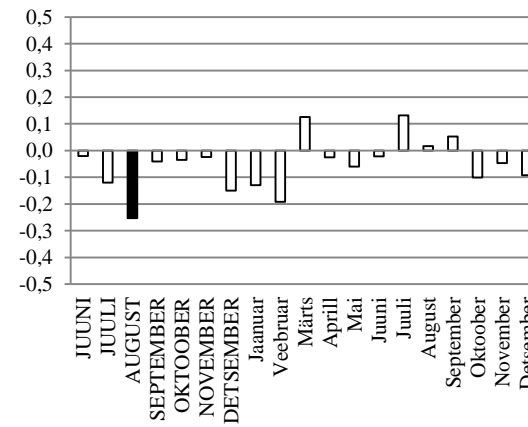
Tänapäevased Alptide puud



Paanajärvi puud



Paanajärvi puud



Joonis 27. Kliima ja puude kasvu vahelised seosed graafiliselt: vasakus tulbas temperatuuri ning paremas tulbas sademete ja kasvu korrelatsioonikoefitsiendid (olulised koefitsiendiväärtused tumedad, eelmise aasta kuud on trükitähtedega)

17. sajandist pärinevad ainult aastaegade lõikes saadaval kliima-andmed korreleeriti samuti puude aastarõngareaga ning olulised korrelatsioonid ilmsid temperatuuri puhul kasvuperioodi suvel ($r = 0,238544$) ja sademete puhul kasvuperioodile eelneval sügisel ($r = -0,186176$).

4. Arutelu ja järeldused

4.1. Puidu dendrokronoloogiliste parameetrite võrdlus

Võrreldes kolme mõõtmistulemustest komplekteeritud kronoloogiat selgub, et vanad Alpide puud ja tänapäevased Paanajärvi ümbruses kasvavad puud on oma radiaaljuurdekasvu mustrite poolest sarnasemad kui tänapäeval Alpides kasvavad puud. Seda näitavad eelkõige keskmised rõngalaiused: kui tänapäevaste Alpide puude rõngalaiused kõiguvad vahemikus 1,5-2 mm, siis nii Paanajärvi kui ka vanad Alpide puude rõngalaiused on tunduvalt kitsamad, jäädes vahemikku 0,5-1 mm. Mustreid võrreldes selgub ka, et tänapäevaste Alpide puude aastarõngamuster on kolmest kronoloogiast kõige ebahühtlasem, on väga laiu rõngaid ning ka kitsamaid ja nad ei vaheldu sujuvalt.

Standardiseerimata kronoloogias kajastub ka vanuseline trend ning see segab mingil määral tulemuste analüüsimist, sest ei ole täpselt teada, kui suures osas on kasv olnud mõjutatud puu vanusest. Vanade Alpide puude ja Paanajärvi puude kronoloogiad on pikemad kui tänapäevane Alpide kronoloogia, sest viimasesse valiti puid selliselt, et nad kataksid eelkõige viimased sada aastat. Seetõttu on tänapäevane Alpide kronoloogia kokkuvõttes noorem kui teised kaks ning see võib ka tulemusena nähtavat erinevust mingil määral mõjutada. Samas, kui nihutada kõige noorem kronoloogia kõrvuti teiste ridade osadega, kus puud on kuni saja-aastased, on rõngalaiuste suur erinevus ikkagi sama selgelt nähtav: nii vanal Alpide kronoloogial kui Paanajärvi tänapäevasel kasvureal on piirkondi, kus rõngalaiused on suuremad, kuid enamasti ei ulatu nad tänapäevase Alpide kronoloogia tasemele.

Tabeli 2 ülemine osa annab ülevaate standardiseerimata kronoloogiate statistilistest näitajatest. Nagu jooniseltki näha, on Paanajärvi ja vana Alpide kronoloogiate keskmine aastarõngalaius tunduvalt sarnasem ning tänapäevase Alpide kronoloogia keskmine aastarõngalaius erineb teistest lausa 1 mm võrra. Seeriavaheline korrelatsioon on suurim Paanajärvi puudel, mis näitab, et kronoloogia kõik seeriad korreleeruvad omavahel küllaltki hästi ja signaal on tugev. See on seletatav asjaoluga, et Paanajärvi puud on kõik üksteisele lähestikku kasvanud ning põhimõtteliselt samast kohast pärit, samas kui teised kaks kronoloogiat sisaldavad seeriaid erinevatest kohtadest, mis ei asu teineteisest paarisaja meetri kaugusel. Vanad Alpide puude aastarõngaread on korjatud välja päris erinevatest kogumitest, mida seletab ka väiksem seeriavaheline interkorrelatsioon. Samas on

seeriavahelised korrelatsioonid siiski statistiliselt olulised ja küllaltki suured, näiteks Bruckle & Grissino-Mayeri uurimuses (2003) leiti samasuguseid kõrgeid korrelatsioone (0,49 kuni 0,74), mis sisuliselt näitavad, et aastarõngaread on sobilikud kliima-analüüsiks, sest neil on tugev regionaalne kliimasignaal.

Keskmine tundlikkus ehk sisuliselt tundlikkus kõikuva tasemega keskkonnafaktorite suhtes on kõigil kronoloogiatel madal (0,172 kuni 0,212), millest järeldub, et kasv on olnud aeglasem ning et puud ei ole keskkonnafaktoritest väga suures sõltuvuses. Kui keskmise tundlikkuse väärtused jäävad 0,200 ringi, on puud kliima-analüüsiks sobivad (Bijak, 2010; Speer, 2010).

Kronoloogiate keskmine standardhälve ehk aastarõngalaiuste erinevused võrreldes keskmisega on suurimad tänapäeva Alpide kronoloogial – sama näitas ka kasvukõverate võrdlus. Vanade Alpide puude ning Paanajärvi puude rida on selles osas sarnaselt väiksema standardhälbega, aastarõngaread on neil ühtlasemad.

Keskmine autokorrelatsioon on kõigil ridadel päris suur: kui tüüpilised väärtused jäävad alla 0,800 ja eelistatud oleks alla 0,500, siis nii Paanajärvi kui vana Alpide kronoloogia näitavad märksa suuremaid väärtusi. Ainukesena alla 0,800 jääb tänapäeva Alpide kronoloogia autokorrelatsioon, seega kõigist kolmest on selle grupi puud oma eelmiste aastate kasvust vähem mõjutatavad. Siiski mitte oluliselt vähem.

Võrreldes puude mõõdetud aastarõngaridu nelja päris viiuli omaga, leidub nii sarnasusi kui erinevusi. Viiul „Messias“ peaks sobituma vanade Alpide puude gruppi hästi, kuna pärineb Antonio Stradivari käe alt ning selle materjal peaks olema äärmiselt sarnane kronoloogiat moodustavate puudega, samas rõngalaius on suurem kui vana Alpide kronoloogia puude keskmine. Samas on „Messiase“ puhul tegu nelja mõõdetud rea keskmisega, vana Alpide kronoloogia sisaldab 22 seeriat, mille rõngalaiused varieeruvad 0,5-1,4 mm vahel. Ka teised viiulid annavad suhteliselt sarnased keskmised rõngalaiused, kui võtta arvesse, et keskmised on arvatud erinevatele proovide hulkadele.

Viiuliridade interkorrelatsioon ei anna tegelikult head võrdlusmaterjali, kuna „Messiase“ puhul on korreleeritud viiuli nelja mõõtmistulemuste rida ning Mittenwaldi viiuleid korreleeriti omavahel. Küll aga on kõigil viiuliridadel madal keskmine tundlikkus, mis on sarnane kronoloogiatele. Keskmise standardhälbe poolest sobib „Messias“ kõigi

kronoloogiatega paremini kui teised viiulid, samas ei ole erinevus väga suur. Keskmine autokorrelatsioon on viiuliridadel kohati palju kõrgem (üle 0,900) kui kronoloogiatel.

Standardiseerimine seab kronoloogiad ühte vahemikku ning kaovad suured erinevused rõngalaiustes. Paanajärvi indekseeritud kronoloogias on suured kõikumised küllaltki alguses, 18. sajandil, mil indeksid varieeruvad lühikese aja jooksul 0,200-st 1,800-ni. Ridu lähemalt uurides selgub, et Paanajärvi ja tänapäeva Alpide kronoloogiate (ning tegelikult ka vanema Alpide kronoloogia) mõned kohad ühtivad – indeksite muutumine on toimunud sama mustrit mööda. Selline sarnasus võib olla juhuslik, kuid samas võib see ka tähendada, et puud on sarnaselt reageerinud mingisugustele kliimaatilistele või muudele väliskeskkonna teguritele.

Standardiseeritult on kõik rõngalaiused sarnased. Keskmine standardhälve varieerub ning on kõrgem Paanajärvi ja vana Alpide kronoloogia puhul (standardiseerimata ridadel oli vastupidi). Keskmine tundlikkus on jätkuvalt väike. Standardiseeritud kronoloogiatel on kõik näitajad arvutatud tervele perioodile, nagu ka mõõtmistulemuste kronoloogiatel, st arvutused on tehtud kogu ajavahemiku ulatuses, mille kohta andmed saadaval olid. Kui lähtuda kliima-analüüsis kasutatavatest kindlatest 80-120 aasta pikkustest vahemikest, siis vana Alpide kronoloogia puhul (vahemik 1640-1720) on rõngalaiuse indeks suurem kui terve perioodi keskmine ning standardhälve väiksem; tänapäeva Alpide puhul (1920-2008) on indeks ja standardhälve väiksemad ning Paanajärvi puude puhul (1890-2011) on samuti indeks ja standardhälve väiksemad. Kõigi ridade puhul on valitud ajavahemikus rõngalaiuste indeksite erinevused väiksemad, read on ühtlasemad.

4.2. Kliima parameetrite võrdlus

Maunderi Miinimumi aegset kliimat võib kokkuvõtvalt kirjeldada niiskema ja külmemana (Dobrovolny *et al.*, 2009). Sademete kogused olid Alpides sel ajal aastaringselt suured, joonisel 26 toodud kliimadiagrammidelt joonistub selgelt välja selle ajaperioodi omapära. Nagu eelnevalt selgitatud, ei ole Alpides nii vana perioodi jaoks võimalik igakuise detailsusega kliima-andmeid saada, seega Maunderi Miinimumi algusaegse perioodi kliimat tuleb uurida aastaajaliselt. Selgub, et kliima oli siis veelgi niiskem kui 1658. aastast edasi – aastaegade keskmised sademete hulgad tervele perioodile on suuremad kui kuude keskmised alates 1658. aastast. Temperatuuride osas on pigem vastupidi – Maunderi Miinimumi algus on kevade- ja suveperioodil jahedam.

Igakuiste temperatuuride erinevused vanaaegse ja tänapäeva Alpide kliima vahel ei ole väga suured, pigem on soojaperiood nihkunud aja jooksul rohkem suve poole: kui 17. sajandil oli kõige soojem kuu juuni, siis tänapäeval on selleks juuli või august. 21. sajandi sademete hulgad on seal piirkonnas aga märgatavalt vähenenud, seda eriti talveperioodil. Kui vanasti oli aastaringselt niiske, siis nüüd on märgatavalt niiskem suvel ja kuivem talvel. Davose, Trento ja Innsbrucki ilmajaama andmetest on selgunud, et sügiseti ja talviti on esinenud ka kuid, mil keskmine sademete hulk on 0 (Davos 1943, 2011).

Loode-Venemaal asuva Karjala kliima on silmatorkavalt erinev: kuigi ilma dünaamika on sarnane Alpide omale, on intensiivsus palju suurem. Talviste ja suviste temperatuuride vahe võib olla 30 kraadi (-15...+15) ning muutused toimuvad kiiresti. Põhja-Soome ilmaolude kirjeldusest on näha, et piirkonnas on esindatud igasugused nähtused, kaasa arvatud kuumalained ja -40°C juurde ulatuvad pakased. Sademete kogused on aastaringselt väiksemad kui Alpides ning ei ületa kunagi 100 mm piiri kuus. Rohkem sademeid esineb suvel, kuid samas ka talvel detsembris-jaanuaris.

Aastaajad on kliimadiagrammide koostamisel standardsed (DJV-MAM-JJA-SON), kuid kirjanduses on mainitud pikenenud külma- ehk talveperioodi nii Karjala (Vdovtsyn *et al.*) kui 17. sajandi Alpide juures (Casty *et al.*, 2005). Tegelikult on ka tänapäeval Alpides sügis- ja kevadkuudel veel miinuskraade. Soojaperioodi hiline algus ja varane lõpp võivad lühendada taimede vegetatsiooniperioode, muutes kasvu üldise tendentsi aeglasemaks.

4.3. Kliima ja juurdekasvu seosed

Kliimat peetakse puude juurdekasvu suurimaks mõjutajaks (Fritts, 1976), mistõttu on käesolevas töös kliima ja juurdekasvu seostel suur rõhk. Erinevate kronoloogiate puude juurdekasvu ja kliima vahelisi seoseid uuriti programmi DendroClim2002 poolt arvutatud korrelatsioonikoefitsientide põhjal. Selgitati välja kuud, mille temperatuurid ja sademetehulgad mõjutasid puude kasvu kõige enam – DendroClim2002 rõhutas statistiliselt olulisi koefitsiente.

Temperatuuride puhul oli märgatavaid sarnasusi Paanajärvi ja vanade Alpide puude kasvul: oluliseks negatiivseks mõjutajaks siin olid kasvuperioodile eelnenud suvekuude (juuni, juuli) temperatuurid. See tähendab, et kui eelnenud kasvuperioodi temperatuurid on olnud kõrged, moodustuvad järgmisel aastal kitsamad rõngad või kui temperatuurid on olnud madalamad, moodustuvad laiemad rõngad. Kliima ja kasv on omavahel vastandlikus seoses. Sarnaseid tulemusi on saadud ka Poolas valge nulu (*Abies alba* Mill.) kasvu uurides (Bijak, 2010): harilikule kuusele sarnane valge nulg näitas samuti negatiivseid korrelatsioone kasvu ja kasvuperioodile eelnenud suve temperatuuridega. Paanajärvi puude kasvu on negatiivselt mõjutanud veel ka uuritava perioodi jaanuarikuu. Tegemist võib olla anomaaliaga, kuid vaadates kliimadiagramme ja –analüüsi, võib mõju tuleneda ka ekstreemsest külmast, sest jaanuar on Karjalas kõige külmem aeg. Ka valget nulg peetakse talvistele temperatuuridele äärmiselt tundlikuks (Bijak, 2010), mis võib seletada Karjala kuuskede olukorda. Tuovineni jt. (2005) poolt Põhja-Soomes läbi viidud hariliku männi külmatundlikkuse uuring näitaks, et paks lumikate ei lase talvel ekstreemset külma läbi ning hoiab puude maapinnalähedased juured soojas. Lumikatte puudumisel on puude juured väga vastuvõtlikud külmakahjustustele.

Käesoleva ehk uuritava kasvuperioodi korrelatsioonikoefitsiendid on kõigil kolmel kronoloogial positiivsed – temperatuuride tõustes suureneb ka kasv ja moodustuvad laiemad aastarõngad. Nii Paanajärvi kui vanade Alpide puude jaoks on olulise tähtsusega juunikuised temperatuurid – ilmselt on tegu kasvuperioodi algusega. Tänapäevaste Alpi puude kasvu mõjutavad mai ja juuli temperatuurid, kasvuperiood algab varem. Mõlemate Alpi kronoloogiate puhul on oluliseks mõjutajas ka sügiskuude temperatuurid – soojem sügis mõjutab puude kasvu positiivselt ja vastupidi. Gandini (2007) ja Wilsoni jt. (2004) uurimused näitasid samuti Alpides kasvavate kuuskede kasvu ja temperatuuride positiivseid korrelatsioone suvekuudel. Karjala kuuskede kasvule positiivselt mõjuvaid

suvekuude temperatuure toetab ka Karjala naabruses Komi Vabariigis uuritud NDVI vegetatsiooniindeksite väärtused, mis näitasid maksimumi juulikuus (Lopatin *et al.*, 2006). Käesoleva kasvuperioodi temperatuuri positiivseid mõjusid Põhja-Soome mändide kasvule on leidnud ka Salminen jt. (2009) ning Vaganov jt. (1999), viimased leidsid, et varasuvised temperatuurid on kasvule positiivselt mõjunud terve viimase sajandi jooksul.

Sademetekogused eelnenud kasvuperioodi lõpus mõjutavad uut kasvuperioodi negatiivselt – moodustuvad kitsamad rõngad (ja vastupidi, väiksem sademetehulk mõjutab laiemate aastarõngaste moodustumist). Erandiks on aastaegade lõikes tehtud analüüsist saadud tulemus vana aja Alpide kohta, mis näitab negatiivset korrelatsiooni kasvuperioodile eelneva sügise sademete ja kasvu vahel. Negatiivne mõju on olemas ka Paanajärvis, kus suuremat negatiivset korrelatsiooni näitavad kasvuperioodile eelnenud suvelõpu (augusti) sademed.

Talviste sademete korrelatsioonid kasvuga on Alpi regioonis pigem positiivsed ja Paanajärvis pigem negatiivsed. Võib järeldada, et mõõdukas lumikate kaitseb puid talvel külmumise eest. Paanajärvi negatiivsed korrelatsioonid viitavad sellele, et vähene lumikate väga külmal talvel ei kaitse puid piisavalt külma eest. Sellisel juhul tekivad külmakahjustused ja puul on oluliselt raskem kevadeti taastuda ja kasvu alustada ning sellest tulenevadki eelmise kasvuperioodi negatiivsed mõjutused (samasugused järeldused ilmneseid Tuovineni jt (2005) uuringutest temperatuuri mõjude osas). Vaganovi jt. (1999) uurimusest selgus ka, et mida rohkem talviseid sademeid on, seda suurem on nende mõju ning talvekuude sademetel on suur mõju kasvuperioodi algusele: paks lumikate sulab kevadel aeglasemalt ning lükkab kasvuperioodi algust edasi.

Olulised korrelatsioonid esinevad Alpide puudel jooksva kasvuperioodi suve sademetega – rohke sademetehulk vähendab kasvu ja vastupidi. Kliimadiagrammidelt selgub, et sademetehulgad on Alpides suvekuudel küllaltki suured, seega on kasv mõjutatud pigem negatiivselt.

4.4. Järeldused

Algselt püstitatud eesmärkidest lähtudes võib uurimustöö käigus saadud tulemustest teha järgnevad järeldused:

1. Kõik nii Alpides kui Karjalast leitud potentsiaalsete viilupuu puit on oma dendrokronoloogiliste näitajate poolest suhteliselt sarnane vanaaegsete viulite puiduga.
2. Leitud potentsiaalsete viilupuu keskmete aastarõngalaiustega kronoloogiad näitavad ka omavahel võrreldes sarnasusi, 17. sajandi Alpides pärit puude read sarnanevad rohkem tänapäeva Paanajärvi omadele kui tänapäevastele samast regioonist pärinevatele puudele. Seega võib järeldada, et 17. sajandi viilupuit (eeldusel, et vana aja meistrid kasutasid oma kodukoha lähedusest pärit puitu) ja tänapäeva Paanajärvi kuuskede puit on sarnased ja Paanajärvi kuused sobiksid samuti viulipuiduks.
3. Kuigi kliima on nii 17. sajandi Alpides, tänapäeva Alpides kui Paanajärvis erinev, on puude kasvustrite ja kliimatingimuste vahelised seosed võrreldavad.
4. 17. sajandil valitsenud Maunderi Miinimumi ilmastikutingimused on sarnaselt tänapäeva Karjala kliimanäitajatele puude kasvu jaoks küllaltki ebasoodsad: Maunderi Miinimumi ajal valitsenud jahedad ja niisked tingimused on samamoodi negatiivse mõjuga puude kasvule kui 21. sajandil Karjalas valitsevad suured temperatuurikõikumised ja vähesed sademed.
5. Viilupuit on oma omadustelt varieeruv, kuid ühtlasemate, kitsamate aastarõngastega puit on ka vana aja meistrite seas eelistatud olnud ning selliste parameetritega puid on võimalik leida just puude kasvu limiteeriva kliimaga kohtadest. Tänapäeval kõrgelt hinnatud 17. sajandi viulimeistrite pillid näitavad, et Maunderi Miinimum aitas vormida kvaliteetset puitu. Erinevate analüüside käigus on selgunud, et Maunderi Miinimumile sarnane efekt on ka tänapäeva Karjala kliimal sealsetele kuuskedele.

5. Kokkuvõte

Viiul on üks keerukama ehitusega keelpille, mille ehitus pole aja jooksul eriliselt muutunud. Esimesed viiulimeistrid elasid ja töötasid 17. sajandi keskpaigas Põhja-Itaalias Brescia lähistel grupeerungute ja koolkondadena ning pärandasid oma oskusi ja teadmisi heade viiulite tegemise kohta põlvest põlve. Hästihoitud ametisaladused läksid aja jooksul kaduma ning tänapäeval leidub palju meistreid ja teadlasi, kellele kvaliteetse viiuli kõla saladused huvi pakuvad. Viiuleid on uuritud erinevate meetodite ja tehnikatega, mis aja jooksul on arenenud järjest komplekssemaks lihtsatest visuaalsetest vaatlustest röntgenfluorestsentsini.

Ka käesolev töö püüab heita valgust viiulite eripäradele, kasutades selleks dendrokronoloogilisi meetodeid. Viiuli kõla kujunemise seisukohast on väga oluline element kõlakast, mille pealne plaat on tehtud dendrokronoloogiliselt hästi analüüsivast kuusepuidust. Töö eesmärk oli uurida mitmest ajastust ja asukohast pärit puitu ning selgitada välja seoseid, mis võiksid aidata mõista kvaliteetse viiulipuidu kujunemislugu. Kuna viiulid on Alpide regioonist pärit ning suure tõenäosusega kasutati nende tegemisel algselt ümberkaudset puitu, sai üheks väljavalitud uurimisobjektiks valik 17. sajandi Alpides kasvanud kuuski (22 puud), neile valiti kõrvale 36 samast regioonist 21. sajandil ehk tänapäeval kasvanud kuuske ning kolmandaks valikuks olid 20 puuproovi Loode-Venemaal Karjalas asuvast Paanajärvi rahvuspargist. Lisaks kuuse aastarõngaridadele analüüsiti ka 5 originaalse 17.-18. sajandist pärineva viiuli aastarõngaridu, mille hulgas on ka kuulus Antonio Stradivari viiul „Messias“.

Kõiki aastarõngaridu võrreldi omavahel mitmes variandis: puuproovidest moodustati kolm kronoloogiat, mida võrreldi nii visuaalselt kui erinevate statistiliste näitajate põhjal. Kõige sarnasemad olid nii visuaalselt kui statistikute põhjal 17. sajandi Alpidest ja tänapäeva Paanajärvist pärinevate puude kronoloogiad. Tänapäeva Alpides kasvavad puud näitasid märksa paremat kasvu: puude keskmine aastarõngalaius oli umbes poole suurem võrreldes teiste kronoloogiatega. Kronoloogiaid kõrvutati ka viiuliridadega, et selgitada välja suuremad sarnasused ja erinevused. Viiuliread sarnanesid väljavalitud puude ridadega suhteliselt suurel määral, silmapaistvaid erinevusi leiti vähe.

Vanusetrendi kõrvaldamiseks ja potentsiaalselt paremate kliimasignaalide saamiseks kronoloogiad ka standardiseeriti ning võrreldi uuesti. Standardiseeritud kronoloogiatega

viidi läbi kliima-analüüs, mille käigus kalibreeriti kliimanäitajad (sademed ja temperatuur) aastarõngaridadega, et leida suuremaid korrelatsioone puude kasvu ja kliima vahel.

Paralleelselt analüüsiti ka kliimat, et selgitada kõigi kolme puudegrupi keskkonnas valitsenud kliima peamisi karakteristikuid. 17. sajandil valitses terves Euroopas Väikese Jääaja külmema ajajärk Maunderi Miinimum, mida iseloomustab tunduvalt jahedam ja niiskem kliima kui samas paigas tänapäeval. Kliima-analüüsi tulemusena selgus, et kõik kolm kronoloogiat näitasid seoseid puude kasvu ja kliimategurite vahel ning suures osas langesid need kokku: nii puu kasvuperioodile eelnenud kui ka kasvuperioodi suve temperatuuridel ja sademetel on pigem oluline negatiivne mõju. Alpides talvine kliima puude kasvu oluliselt ei mõjuta, väikesi positiivseid korrelatsioone leiti sademetehulgaga. Paanajärvi puude kasvu mõjutavad aga ka talvised temperatuurid ja sademetekogused. Võrreldes kliima ja kasvu seoseid kliimadiagrammidega selgub, et karm kliima mõjub puude kasvule pigem halvasti, muutes seda aeglasemaks.

Keskmistele aastarõngalaiustele tuginedes võib öelda, et karm kliima muudab kuused pigem sobilikuks viiulimaterjaliks. Jahedam kliima võib seega vihjata headeks viiulipuudeks sobivate kuuskede olemasolule. Kuigi esmapilgul on 17.-18. sajandil väldanud Maunderi Miinimumi ja tänapäevase Karjala kliimanäitajad erinevad, on analüüside käigus leitud, et nende efekt kohalike kuuskede kasvule on suhteliselt sarnane, mistõttu võib väita, et ka Karjala kuused sobivad kvaliteetseks viiulipuiduks.

Esitletud tulemused aitavad määratleda kliimatingimusi, mille olemasolu aitaks leida potentsiaalselt sobivaid viiulipuid. Teiste võimalike mõjude osas on vajalik põhjalikum analüüs.

6. Kasutatud kirjandus

Aniol, R.W. 1983. Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia*. 1, p. 45-53.

Ashmolean. 2004. Ashmolean Object of the Month September 2004. Ashmolean Museum Education Service. [Võrgumaterjal] University of Oxford - Ashmolean Museum.
<http://www.ashmolean.org/ash/objectofmonth/2004-09/reobjects.htm>. (detsember 2013)

Auer I., Böhm R., Jurkovic A., Lipa W., Orlik A., Potzmann R., Schöner W., Ungersböck M., Matulla C., Briffa K., Jones P.D., Efthymiadis D., Brunetti M., Nanni T., Maugeri M., Mercalli L., Mestre O., Moisselin J.-M., Begert M., Müller-Westermeier G., Kveton V., Bochnicek O., Stastny P., Lapin M., Szalai S., Szentimrey T., Cegnar T., Dolinar M., Gajic-Capka M., Zaninovic K., Majstorovic Z., Nieplova E., 2007. HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760-2003. *International Journal of Climatology* 27: 17-46 [Võrgumaterjal] ZAMG (*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik*)
<http://www.zamg.ac.at/histalp/index.php>. (jaanuar 2014)

Baillie, M.G.L. & J.R.Pilcher. 1973. A Simple Crossdating Program for Tree Ring Research. *Tree Ring Bulletin*, 33.

Bernabei, M., Bontadi, J., Rognoni, G. Rossi. 2010. A dendrochronological investigation of stringed instruments from the collection. *Journal of Archaeological Science*. 37, p. 192-200.

Beuting, M. 2011. Dendro-organology? The dendrochronological method applied to musical instruments. In: P. Fraiture. [toim.] P. Fraiture. *Tree rings, art, archaeology: Proceedings of a conference*. Brüssel : C. Ceulemans, 4. p. 273-283.

Bijak, S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (Northern Poland). *Geochronometria* 35, p. 91-94.

Biondi, F. & Waikul, K. 2003. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree ring chronologies. *Computers and Geosciences* 30, p. 303-311.

Bradley, R.S. & Jones, P.D. 1992. *Climate Since AD 1500 Database*. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology..

Bradley, R.S. & Jones, P.D. 1993. 'Little Ice Age' summer temperature variations: their nature and relevance to recent global warming trends. *The Holocene*. 3(4), p. 367-376.

Brazdil, R., Pfister, C., Wanner, H., von Storch, H., Luterbacher, J. 2005. Historical climatology in Europe - the state of the art. *Climatic Change* 70, p 565-430. DOI: 10.1007/s10584-005-5924-1.

Burckle, L. & Grissino-Mayer, H.D. 2003. Stradivari, violins, tree rings, and the Maunder Minimum: a hypothesis. *Dendrochronologia*. 21/1, p. 41-45.

Casty, C., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J., Boehm, R. 2005. Temperature and Precipitation Variability in the European Alps Since 1500. *International Journal of Climatology*. 25 (14), p. 1855-1880. DOI: 10.1002/joc.1216.

Cook, E. R. & Kairiukstis, L. A. 1990. Methods of dendrochronology : applications in the environmental sciences. s.l. : Kluwer Academic Publishers.

Cook, E.R. & Holmes, R.L. 1986. User's Manual for Program ARSTAN. [raamatu aut.] R.L. Holmes, R.K. Adams ja H.C. Fritts. Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. s. l. : Laboratory of Tree Ring Research, The University of Arizona, p. 50-65.

Corina. 2013. Corina. The Malcolm and Carolyn Wiener Laboratory for Aegean and Near Eastern Dendrochronology. [Võrgumaterjal] Cornell University, <http://dendro.cornell.edu/corina/corina.php>. [oktoober 2013]

Curtin, J. & Rossing, T.D. 2010. Chapter 13: Violin. [raamatu aut.] T.D. Rossing. The Science of String Instruments. s.l. : Springer.

Dansgaard, W. 1984. Past climates and their relevance to the future: The Little Ice Age. [toim.] H. Flohn ja R. Fantechi. The Climate of Europe: Past Present and Future. s. l. : D. Reidel Publishing Company, p. 227-231.

Dobrovolny, P., Moberg, A., Brazdil, R., Pfister, C.; Glaser, R., Wilson, R., van Engelen, A. , Limanowka, D., Kiss, A., Halickova, M., Mackova, J., Riemann, D., Luterbacher, J., Böhm, R. 2009. Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europe derived from Documentary evidence and instrumental records since AD 1500. *Climatic Change*. DOI 10.1007/s10584-009-9724-x.

Douglas, L. 2013. Classic Violin Varnish. [Võrgumaterjal] Leroy Douglas Violins, <http://www.leroydouglasviolins.com/varnish.htm>. (detsember 2013)

Eddy, J.A. 1976. The Maunder Minimum. *Science. New Series*, 192, p. 1189-1202.

Erme, K. 2008. Päike kütab kliimakatelt. *Horisont* 5, lk 28-33.

Encyclopædia Britannica. 2013. Antonio Stradivari (Italian violin maker). [Võrgumaterjal] Encyclopædia Britannica, Inc., <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/567870/Antonio-Stradivari>. (detsember 2013)

Encyclopædia Britannica. 2013. Violin (musical instrument). [Võrgumaterjal] Encyclopædia Britannica, Inc., <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/629670/violin>. (detsember 2013)

Engle, J.B. 2000. A Computer Assisted Tree-Ring Chronology Composition System. s.l. : The University of Arizona

Friedrich, M., Remmele, S., Kromer, B., Hofmann, J., Spurk, M., Kaiser, K.F., Orsel, C., Küppers, M. 2004. The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe - a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon*. 46(3), p. 1111-1122.

Fritts, H.C. 1990. The International Tree-Ring Data Bank. World Data Center - A for Paleoclimatology at the National Geophysical Data Center (NGDC). [Võrgumaterjal] Paleoclimatology Program of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) , www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html. (detsember 2013)

Fritts, H.C. 1976. *Tree Rings and Climate*. London. New York, San Francisco: Academic Press.

Gandini, M. 2007. Spatio-temporal analysis of tree-ring growth variability in high-altitude forests of the Alps in relation to climate change. *Scientifica Acta* 1, p. 51-53.

Gough, C. 2000. Science and the Stradivarius. *Physics World*. 13, p. 27-33.

Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57(2), p. 205-221.

Grissino-Mayer, H.D., Sheppard, P.R., Cleaveland, M.K. 2003. A dendroarchaeological re-examination of the "Messiah" violin and other instruments attributed to Antonio Stradivari. *Journal of Archaeological Science*. 31, p. 167-174.

Hill, W.H., Hill, A.F., Hill, A.E., 1909. *Antonio Stradivari: His life and work (1644-1737)*. London, MacMillan and Co., Limited.

Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43, p. 69-78.

Hovi, M. & Bizhon, A. 2011. Oulanka-Paanajärvi Transboundary protected area. Global Transboundary Protected Areas Network. [Võrgumaterjal] WCPA World Commission on Protected Areas, <http://www.tbpa.net/page.php?ndx=85>. (jaanuar 2014)

Hughes, M.K. 2002. Dendrochronology in climatology - the state of the art. *Dendrochronologia* 20/1-2, p. 95-116.

Hughes, M.K. & Graumlich, L.J. 1996. Multimillennial dendroclimatic records from western North America. [toim.] R.S.Bradley, P.D.Jones and J.Jouzel. *Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years*. Berlin: Springer Verlag, p. 109-124.

Ilmatieteen laitos. 2014. Climate. Ilmatieteen laitos. [Võrgumaterjal] Finnish Meteorological Institute, <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/climate>. (veebbruar 2014)

Kalda, A., Kukk, E., Masing, V., Trass, H., Vaga, A. 1965. *Botaanika: õpik kõrgematele koolidele I osa*. Tallinn : Kirjastus "Valgus", 1965. lk 235-239.

Kareda, S. 2006. Nähtavad helid I: Fenomeni avastaja Ernst Chladni. Teater. Muusika. Kino. Lk 93-99.

Karelia Parks Development. 2007. Introduction. Paanajärvi National Park. [Võrgumaterjal] European Commission, <http://parks.karelia.ru/paanajarvi/index.html>. (veebbruar 2014)

Läänelaid, A. & Nurkse, A. 2006. Dating of a 17th Century Painting by Tree Rings of Baltic Oak. *Baltic Forestry*, 12(1), p. 117-121.

Läänelaid, A. 2013. Tree Rings, the Barcodes of Nature, Illuminate Art History. [Võrgumaterjal] Atomium Culture A.I.S.B.L. <http://atomiumculture.eu/content/tree-rings-barcodes-nature-illuminate-art-history-0>. (oktoober 2013)

Läänelaid, A., Eckstein, D., Seo, J.-W. 2009. Impact of underground mining of oil shale in northeastern Estonia on Scots pine and Norway spruce growing thereon. *Oil Shale* , 25(4), p. 73-83.

Lamb, H. H. 1984. Climate in the last thousand years: natural climatic fluctuations and change. [toim.] H. Flohn ja R. Fantechi. *The Climate of Europe: Past, Present and Future*. Brussels and Luxembourg : D. Reidel Publishing Company, p. 25-63. Commission of the European Communities.

Langematz, U., Claussnitzer, A., Matthes, K., Kunze, M. 2005. The climate during the Maunder Minimum: a simulation with the Freie Universität Berlin Climate Middle Atmosphere Model (FUB-CMAM). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 67, p. 55-69.

Lopatin, E., Kolström, T., Spiecker, H. 2006. Determination of forest growth trends in Komi Republic (northwestern Russia): combination of tree-ring analysis and remote sensing data. *Boreal Environment Research* 11, p. 341-353.

Lowe, J.J. & Walker, M.J.C. 1997. The last interglacial-glacial cycle: 130-10 ka BP. *Reconstructing Quaternary Environments. 2nd.* Essex : Pearson Education Limited, p. 324-373.

Malagodi, M., Canevari, C., Bonizzoni, L., Galli, A., Maspero, F., Martini, M. 2013. A multi-technique chemical characterization of a Stradivari. *Applied Physics A*, 112, p. 225–234. DOI 10.1007/s00339-013-7792-2.

Martinelli, N. 2004. Climate from dendrochronology: latest developments and results. *Global and Planetary Change* 40, p. 129-139.

McGraw, D.J. 2003. Andrew Ellicott Douglass and the giant sequoias in the founding of dendrochronology. *Tree Ring Research*. 59(1), p. 21-27.

Miidla, H. 1984. Taimefüsioloogia: õpik kõrgkoolidele. s. l. : Tallinn "Valgus".

Nagyvary, J., Guillemette, R.N., Spiegelman, C.H. 2009. Mineral Preservatives in the Wood of Stradivari and Guarneri. *PLoS ONE*. Kd. 4(1). doi:10.1371/journal.pone.0004245.

National Music Museum. 2009. Violin by Andrea Amati. National Music Museum. [Võrgumaterjal] The University of South Dakota, <http://orgs.usd.edu/nmm/Violins/Amati3366/3366AmatiViolin.html>. (detsember 2013)

Parco Naturale. 2002. Parco Naturale Paneveggio - Pale di San Martino. [Võrgumaterjal] Ente Parco Naturale Paneveggio - Pale di San Martino, <http://parks.it/parco.paneveggio.pale.s.martino/Epar.php>. (veebbruar 2014)

NCDC. 2013. Tree Ring Search. NOAA National Climatic Data Center. [Võrgumaterjal] U.S. Department of Commerce, <http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring> (oktoober 2013)

NOAA. 2013. Temperature and Precipitation Variability in the European Alps Since 1500. NOAA National Climatic Data Center. [Võrgumaterjal] NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), juuni 2013. a. <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/casty2005/casty2005.html>. (detsember 2013)

NORDKLIM. 2014. NORDKLIM powered by SMHI. [Võrgumaterjal] Swedish Meteorological and Hydrological Institute. http://www.smhi.se/hfa_coord/nordklm/index.php?page=dataset. (jaanuar 2014)

Oatman-Stanford, H. 2012. Read My Rings: The Oldest Living Tree Tells All. *Collectors Weekly*.

Ohvril, H. 2005. Mehaanilised võnkumised ja lained, akustika: Loengukonspekt keskkonnatehnoloogia ja proviisoriõppe erialade . *KESKKONNA- JA MEDITSINIFÜÜSIKA ALUSED* . Tartu : Tartu Ülikool; Keskkonnafüüsika instituut.

Pfister, C. 1978. Climate and Economy in Eighteenth-Century. *Journal of Interdisciplinary History*. IX(2), p. 223-243.

Pfister, C. 1993. Historical Weather Indices from Switzerland. IGBP PAGES/World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series #93-027.

Pilcher, J.R., Schweingruber, F.H., Kairiukstis, L., Shiyatov, S., Worbes, M., Kolishchuk, V.G., Vaganov, E.A., Jagels, R., Telewski, F.W. 1989. Primary Data. E.R. Cook & A.L. Kairiukstis(Eds.) *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. s. 1. : Kluwer Academic Publishers, 2, p. 23-93.

Rinn, F. 2011. TSAP-Win™ User Reference. TSAP-Win: Time Series Analysis and Presentation for Dendroclimatology and Related Applications. Heidelberg : Frank Rinn

Robinson, W.J., Cook, E., Pilcher, J.R., Eckstein, D., Kairiukstis, L., Shiyatov, S., Norton, D.A. 1898. Some Historical Background on Dendrochronology. E.R. Cook & L.A. Kairiukstis (Eds.). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. s. 1. : Kluwer Academic Publishers, 1, p. 1-17.

Robson, J. 2013. Varnish System Overview. Violin Varnish Ltd. [Võrgumaterjal] Violin Varnish Ltd., <http://www.violinvarnish.com/synopsis.htm>. (jaanuar 2014)

Roos, A. 2013. Puit ja puitmaterjalid. [Võrgumaterjal] Eesti Mööblitootjate Liit. http://www.furnitureindustry.ee/failid/Ando_Roos.pdf. (veebbruar 2014)

Saarman, E. & Veibri, U. 2006. Puiduteadus. Tartu : Eesti Metsaselts.

Salminen, H., Jalkanen, R., Lindholm, M. 2009. Summer temperature affects the ratio of radial and height growth of Scots pine in Northern Finland. *Annals of Forest Science* 66, p. 810.

Sartorius, M. 2012. Antonio Stradivari. The Baroque Music Site. [Võrgumaterjal] Arton, <http://www.baroquemusic.org/stradivari.html>. (detsember 2013)

Schweingruber, F.H. 1988. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. D. Reidel Publishing Company.

Schweingruber, F.H. 1996. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. Paul Haupt Verlag, Berne.

Shindell, D.T., Schmidt, G.A., Mann, M.E., Rind, D., Waple, A. 2001. Solar forcing of regional climate change during the Maunder Minimum. *Science* 294, p. 2149-2152.

Smith, D. & Lewis, D. 2007. Dendrochronology. *Encyclopedia of Quaternary Science*. s. 1. : Elsevier Scientific, 1, p. 459-465.

Speer, J.H. 2010. *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson : The University of Arizona Press. ISBN 978-0-8165-2684-0.

Stoel, B.C. 2008. A Comparison of Wood Density between Classical Cremonese and Modern Violins. *PLoS ONE*. 3(7). doi:10.1371/journal.pone.0002554.

Studhalter, R.A. 1956. Early History of Crossdating. *Tree Ring Bulletin* 21, p. 31-35.

Stuiver, M., Kromer, B., Becker, B., Ferguson, C.W. 1986. Radiocarbon age calibration back to 13,300 years BP and the 14C age matching of the German Oak and US bristlecone pine chronologies. *Radiocarbon* 28, 2B, p. 969-979.

Systra, Y.J. 2010. Bedrock and Quaternary sediment geochemistry and biodiversity in Eastern Fennoscandia and Estonia. *Forestry Studies / Metsanduslikud uurimused* 53, p. 35-52.

Topham, J. & McCormick, D. 2000. FOCUS: A Dendrochronological Investigation of Stringed Instruments of the Cremonese School (1666-1757) including "The Messiah" violin attributed to Antonio Stradivari. *Journal of Archaeological Science* 27, p. 183-192. doi:10.1006/jasc.1999.0516.

Tuovinen, M., Jalkanen, R., McCarroll, D. 2005. The effect of severe ground frost on Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees in northern Finland and implication for palaeoclimate reconstruction. *Fennia* 183:2, p. 109-117.

Vaganov, E.A.; Hughes, M.K.; Kirilyanov, A.V.; Schweingruber, F.H.; Silkin, P.P. 1999. Influence of snowfall and melt timing on tree growth in subarctic Eurasia. *Nature* 400, p. 149-151.

Vdovtsyn, V.T.; Filatov, N.N.; Sorokin, A.D.; Lugovaya, N.B. Climate of Karelia. Water-ecological resources of Republic of Karelia. [Võrgumaterjal] Open Society Institute, Assistance Foundation. <http://nwpi.krc.karelia.ru/e/ecology/climate.shtml>. (märts 2014)

Versteeg, A. 2011. Blood Brothers. *The Strad.* p. 42-44.

Violins, Stradivarius. 2013. Stradivarius Violin History, Prices & Other Information. Stradivarius Violins. [Võrgumaterjal] <http://www.stradivariusviolins.org/stradivariusviolins.html>. (detsember 2013)

VSC. 2014. Violin Size Chart. Dimensions info. [Võrgumaterjal] <http://www.dimensionsinfo.com/violin-size-chart/>. (jaanuar 2014)

Wilson, R. & Topham, J. 2004. Violins and Climate. *Theoretical and Applied Climatology* 77, p. 9-24. DOI 10.1007/s00704-003-0025-4.

WWCI. 2010-2013. Weather and Climate. World Weather and Climate Information. [Võrgumaterjal] World Weather and Climate Information, 2010-2013. a. <http://www.weather-and-climate.com/>. (märts 2014)

7. Summary

Possibilities of using Karelian spruce for violin soundboard material, based on dendrochronological parameters

Sandra Vijar

Violin is one of the most complex instruments that has maintained its' original construction over the centuries. The first violin craftsmen lived and worked at Brescia, Northern Italy in the 17th century. They worked as families or groups and all the secrets of good violin making were handed on from fathers to sons, masters to apprentices. However, the same well-kept secrets got lost in time and today, a lot of violin enthusiasts and scientists are working hard on figuring out what the best techniques and materials should be like. Violins are being investigated, using more and more modern research approaches ranging from visual observations to X-ray fluorescence analysis.

The aim of this paper is to cast some light on the characteristics of violins, using the dendrochronological methods. The top plate of violin is made of well-analyzable spruce wood: tree rings can be measured and therefore connections between tree growth and climate can be revealed. Three different chronologies were constructed in order to help understand the formation of good violin wood: Alpine trees from 17th century, modern day Alpine trees and trees from Paanajärvi in Karelia, Northwestern Russia. For comparison, five original 17th century violin tree-ring series were also found and analyzed. Among them was one of the most famous violins made by Antonio Stradivari – the Messiah.

All the chronologies and tree-ring series were compared both visually and based on their statistical characteristics. The most resemblances were found between chronologies of 17th century Alpine trees and modern Paanajärvi trees. Modern Alpine trees showed a significantly bigger average tree-ring width compared to the other chronologies. The original violin tree-ring series showed resemblances rather than differences, compared to the three chronologies compiled during this research. No bigger differences were noted.

To remove the age trend and to get a better climate-growth signal, chronologies were standardized and compared again. The standardized chronologies can be calibrated against climate indices in order to find correlations between tree growth and climate. Statistically

more relevant correlation coefficients were compared to the climate, respectively, and the results are as follows: all different sites indicated connections; both previous and current growth period summer temperature and precipitation have a rather negative effect on tree growth. In the Alpine region, the winter climate does not have a relevant effect on tree growth, smaller positive correlations were found between growth and precipitation. On the other hand, Paanajärvi trees were influenced by both winter temperature and precipitation. The results show that tougher climate decelerates tree growth.

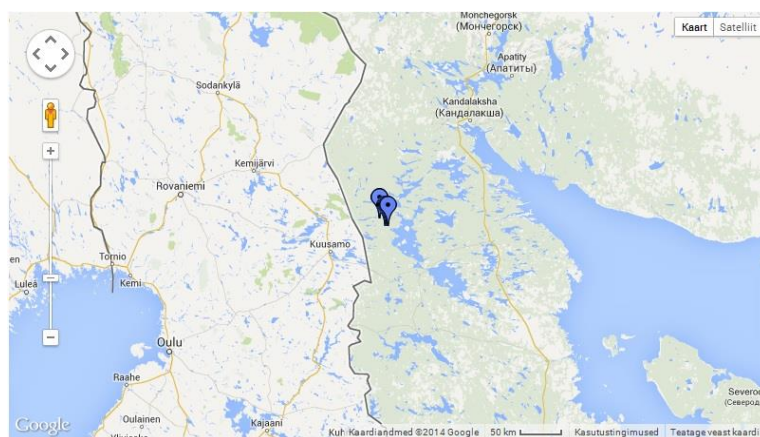
It can be said that harsh climate conditions can turn spruce wood into good violin material. Cooler climate can therefore give a hint for suitable violin trees being around. The results presented in this thesis will give some insight to finding good violin wood, but more research is needed in order to figure out other aspects that could possibly affect the violin wood formation.

8. Lisad

Lisa 1

Paanajärvi puuproovide andmed. Proovid on mõõdetud eraldi (N- ja S-proov). Proovidele antud koodid järgivad ühtset süsteemi: „0“ tähistab toormõõtmist, „r“ riiki (Venemaa, Russia), „s“ tähistab puuliiki (kuusk), „pa“ on lühend asukohast Paanajärvi, N = põhjapoolne raadius, S = lõunapoolne raadius

Puu nr.	Geograafilised koordinaadid	Kõrgus m	Proov N	Proov S
1	66°16'31,08" N; 30°20'3,9006" E	136	Orspa01N	Orspa01S
2	66°16'21,7812" N; 30°20'6,0612" E	127	Orspa02N	Orspa02S
3	66°16'20,5788" N; 30°20'8,8182" E	127	Orspa03N	Orspa03S
4	66°16'20,64" N; 30°20'10,3812" E	118	Orspa04N	Orspa04S
5	66°16'24,8988" N; 30°20'47,0394" E	140	Orspa05N	Orspa05S
6	puudub	puudub	Orspa06N	Orspa06S
7	66°12'10,5006" N; 30°28'28,3188" E	264	Orspa07N	Orspa07S
8	66°12'7,3794" N; 30°28'38,3988" E	253	Orspa08N	Orspa08S
9	66°12'10,2594" N; 30°28'42,8988" E	308	Orspa09N	Orspa09S
10	66°12'10,3206" N; 30°28'49,98" E	316	Orspa10N	Orspa10S
11	66°12'11,16" N; 30°29'4,0806" E	278	Orspa11N	Orspa11S
12	66°12'11,3394" N; 30°29'36,4194" E	278	Orspa12N	Orspa12S
13	66°12'12,5388" N; 30°29'56,2812" E	320	Orspa13N	Orspa13S
14	66°12'13,1394" N; 30°30'8,8806" E	315	Orspa14N	Orspa14S
15	66°12'13,5606" N; 30°30'38,8794" E	315	Orspa15N	Orspa15S
16	66°12'17,9382" N; 30°30'578306" E	335	Orspa16N	Orspa16S
17	66°12'29,5812" N; 30°31'36,48" E	351	Orspa17N	Orspa17S
18	66°12'27,1794" N; 30°31'47,3982" E	408	Orspa18N	Orspa18S
19	66°12'24,66" N; 30°31'58,9182" E	429	Orspa19N	Orspa19S
20	66°12'24,2994" N; 30°32'9,6" E	443	Orspa20N	Orspa20S



Paanajärvi kuuskede asukohakaart (Allikad: A. Läänelaiu märkmed mõõtmistelt ja iTouchMap.com 2007-2014)

Lisa 2

Vanade Alptide puude proovide andmed. PCAB = *Picea abies* (L.) H.Karst, ABAL = *Abies alba* Mill. Allikas: ITRDB andmebaas (<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>).

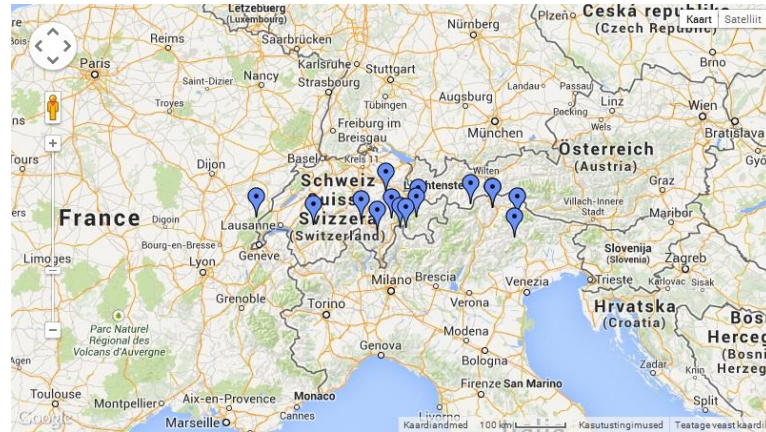
Puu kood	Kohanimi	Riik	Algusaasta	Lõpuaasta	Puuliigi kood	ITRDB kood	Autor
780051	Suiaza	Šveits	1695	1987	PCAB	swit171	Schweingruber
107129	Obergurgl	Austria	1572	1686	PCAB	aust003	Giertz
107830	Obergurgl	Austria	1570	1690	PCAB	aust003	Giertz
107840	Obergurgl	Austria	1574	1692	PCAB	aust003	Giertz
107860	Obergurgl	Austria	1616	1692	PCAB	aust003	Giertz
107780	Obergurgl	Austria	1679	1765	PCAB	aust003	Giertz
107790	Obergurgl	Austria	1695	1765	PCAB	aust003	Giertz
107910	Obergurgl	Austria	1648	1767	PCAB	aust003	Giertz
107930	Obergurgl	Austria	1643	1767	PCAB	aust003	Giertz
107970	Obergurgl	Austria	1646	1768	PCAB	aust003	Giertz
107920	Obergurgl	Austria	1654	1770	PCAB	aust003	Giertz
107670	Obergurgl	Austria	1698	1849	PCAB	aust003	Giertz
107640	Obergurgl	Austria	1690	1860	PCAB	aust003	Giertz
107690	Obergurgl	Austria	1702	1866	PCAB	aust003	Giertz
107660	Obergurgl	Austria	1686	1870	PCAB	aust003	Giertz
254260	Cortina d'Ampezzo (Süd)	Itaalia	1660	1973	PCAB	ital007	Schweingruber
254190	Cortina d'Ampezzo (Süd)	Itaalia	1695	1975	PCAB	ital007	Schweingruber
224021	Arosa GR Tritt	Šveits	1690	1974	PCAB	swit107	Schweingruber
223013	Arosa GR Tritt	Šveits	1696	1975	PCAB	swit108	Schweingruber
DAA166B	Davos Dischma-Flüela	GR Šveits	1668	1999	PCAB	swit181	Bigler
BOB106	Muotathal Bödmerenwald	SZ Šveits	1673	1999	PCAB	swit184	Bigler
753131	Simmenthal, St. Stephan, Gyr	Šveits	1692	1986	PCAB	swit166	Schweingruber

Tänapäeva Alptide puude proovide andmed. Allikas: ITRDB andmebaas (<http://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data/datasets/tree-ring>).

Puu kood	Kohanimi	Riik	Algusaasta	Lõpuaasta	Puuliigi kood	ITRDB kood	Autor
BOA074	Muotathal Bödmerenwald	SZ Šveits	1910	1999	PCAB	swit184	Bigler
BOB080	Muotathal Bödmerenwald	SZ Šveits	1930	1999	PCAB	swit184	Bigler
BOB086	Muotathal	SZ Šveits	1892	1999	PCAB	swit184	Bigler

	Bödmerenwald							
BOB090	Muotathal	SZ	Šveits	1875	1999	PCAB	swit184	Bigler
	Bödmerenwald							
BOC096	Muotathal	SZ	Šveits	1900	1999	PCAB	swit184	Bigler
	Bödmerenwald							
BOC098	Muotathal	SZ	Šveits	1869	1999	PCAB	swit184	Bigler
	Bödmerenwald							
BOC102	Muotathal	SZ	Šveits	1875	1999	PCAB	swit184	Bigler
	Bödmerenwald							
BTK33	Bergün	GR Val	Šveits	1925	2007	PCAB	swit186	Bigler
	Tuors							
BTK36	Bergün	GR Val	Šveits	1875	2007	PCAB	swit186	Bigler
	Tuors							
DAB185A	Davos	GD	Šveits	1900	1999	PCAB	swit181	Bigler
	Dischma-Flüela							
DAB186B	Davos	GD	Šveits	1875	1999	PCAB	swit181	Bigler
	Dischma-Flüela							
DAB193A	Davos	GD	Šveits	1878	1999	PCAB	swit181	Bigler
	Dischma-Flüela							
DAB194A	Davos	GD	Šveits	1881	1999	PCAB	swit181	Bigler
	Dischma-Flüela							
DS.L02.2	Davos	GR	Šveits	1882	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L07.2	Davos	GR	Šveits	1891	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L08.2	Davos	GR	Šveits	1910	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L09.2	Davos	GR	Šveits	1982	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L11.2	Davos	GR	Šveits	1869	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L12.2	Davos	GR	Šveits	1918	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L13.2	Davos	GR	Šveits	1905	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L15.2	Davos	GR	Šveits	1886	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
DS.L16.2	Davos	GR	Šveits	1908	2005	PCAB	swit179	Bigler
	Sertig							
GFT531L	Glarus	GL	Šveits	1932	2007	PCAB	swit189	Bigler
GKL500L	Glarus	GL	Šveits	1912	2007	PCAB	swit189	Bigler
GNF507L	Glarus	GL	Šveits	1883	2007	PCAB	swit189	Bigler
GNF508Lb	Glarus	GL	Šveits	1891	2007	PCAB	swit189	Bigler
GRR502L	Glarus	GL	Šveits	1908	2007	PCAB	swit189	Bigler
GRR517L	Glarus	GL	Šveits	1876	2007	PCAB	swit189	Bigler
GSG519L	Glarus	GL	Šveits	1882	2007	PCAB	swit189	Bigler
NOIR002	Mont Risoux		Prants usmaa	1879	1995	PCAB	fran039	McCormick
VIG781	Fodara	Vedla	Itaalia	1888	1990	PCAB	Ital025	Huesken
	Alm							
VIG788	Fodara	Vedla	Itaalia	1897	1990	PCAB	Ital025	Huesken
	Alm							
VIG793	Fodara	Vedla	Itaalia	1914	1989	ABAL	Ital027	Beckers

	Alm							
VRFi52	Vals Riefwald	GR	Šveits	1900	2008	PCAB	swit193	Bigler
VRFi63	Vals Riefwald	GR	Šveits	1884	2008	PCAB	swit193	Bigler
VRFi67	Vals Riefwald	GR	Šveits	1873	2008	PCAB	swit193	Bigler

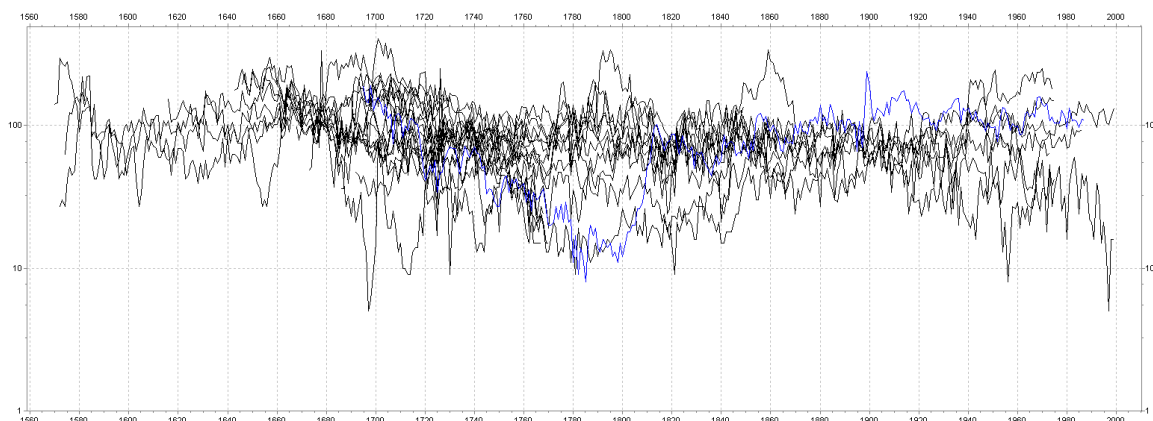


Alpidest ITRDB otsingu abil leitud puude kronoloogiate asukohad (puurimiskohad). Ühel kaardil on nii 17. sajandi kui tänapäeva proovide kohad. Allikas: iTouchMap.com 2007-2014)

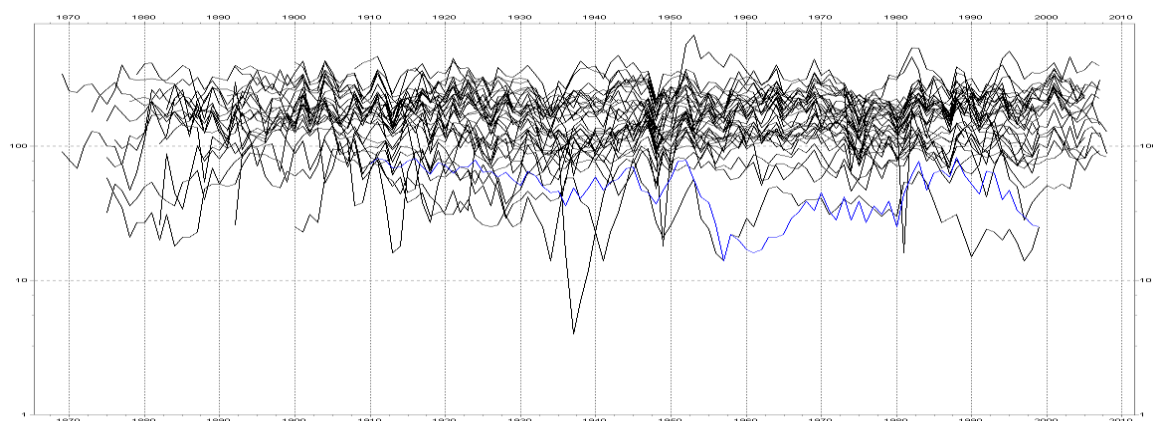
Lisa 3

Interneti-otsingute ja mõõtmiste tulemusel saadud aastarõngaread enne keskmistamist:
Maunderi Miinimumi-aegsed Alpide puud (a), tänapäevased Alpide puud (b) ja Paanajärvi puud (c).

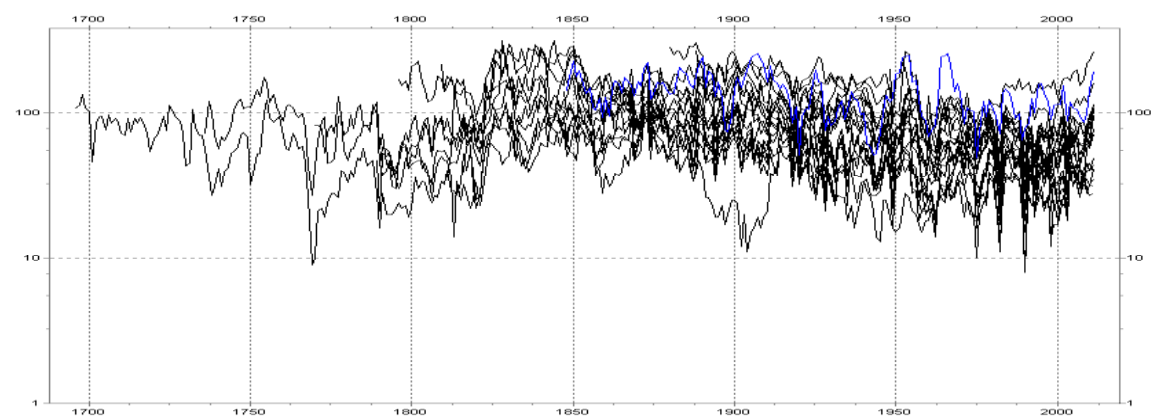
a)



b)



c)



Lihtlitsents

lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Sandra Vijar

(sünnikuupäev: 22.07.1989)

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

„Karjala kuuskede kasutamise võimalikkus viiuli kõlalaua puidu saamiseks dendrokronoloogiliste parameetrite alusel“,

mille juhendaja on Alar Läänelaid,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **27.05.2014**