



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Marten Sark

MÄNNIPUIDU TANGENTSIAALNE KAHANEMINE
TANGENTIAL SHRINKAGE OF SCOTS PINE

Bakalaureusetöö

Metsanduse õppekava

Juhendaja: teadur Allar Padari, *MSc*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Marten Sark		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Männipuidu tangentsiaalne kahanemine			
Lehekülgi: 33	Jooniseid: 6	Tabeleid: 4	Lisaid: 3
Osakond:	metsatööstus		
Uurimisvaldkond:	puiduteadus		
Juhendaja(d):	teadur Allar Padari		
<p>Siinse bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida hariliku männi (<i>Pinus sylvestris L.</i>) analüüsketaste tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Töö fookuses on sügis- ja kevadpuidu aastarõngaste laiuste kahanemise võrdlemine.</p> <p>Käsitletud teema aktuaalsus seisneb selles, et männi puit on Eestis laialdaselt kasutatav nii ehituses kui ka mööblitööstuses ning puidu kuivamise ning kahanemise detailne tundmine võimaldab tagada puidu töötlemisel parema tulemuse. Uurimustöö aluseks olevad analüüsketad olid lõigatud ja kogutud eelnevate lõputööde (Epler 2014, Ploom 2015) käigus Tartumaalt Järvselja kvartalilt JS221 ja JS222. Siinses bakalaureusetöös kaaluti esmalt analüüsketad ning mõõdeti seejärel aastarõngaste laiused. Järgmises töö etapis kuivatati neid ahjus 103 ± 2 °C juures 48h jooksul. Lõpptulemuste saamiseks korraldi mõõtmisprotsessi, et selgitada välja, kuidas on kaal ja aastarõngaste laiused muutunud.</p> <p>Saadud tulemustest võib järeldada, et hariliku männi kuivatamisel on sügispuidu tangentsiaalne kahanemine suurem kui kevadpuidul.</p>			
mänd, kuivatamine, varapuit, hilispuit, aastarõngad			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Marten Sark		Speciality: Forest economy	
Title: Tangential shrinkage of scots pine			
Pages: 33	Figures: 6	Tables: 4	Appendixes: 3
Department:		forest industry	
Field of research:		wood science	
Supervisor(s):		Allar Padari, <i>MSc</i>	
<p>The aim of this bachelor's thesis is to study the tangential shrinkage of the Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) in the process of drying. The focus is on the comparison of the tangential shrinkage of the growth rings on early and latewood.</p> <p>The topic is actual as Scots pine is widely spread in Estonia both in the construction and furniture industry. In addition, detailed knowledge about the drying and shrinking process of wood enables to ensure a better result in processing wood. The analysed boards were cut and collected in the course of previous works (Epler 2014, Ploom 2015) from Tartu county Järvselja forest blocks JS221 and JS222. The boards used in this thesis were first weighed and thereafter the growth rings were measured. The boards were then dried in an oven at $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 48 hours. The measuring process was then repeated to find out how the weight and the growth rings had changed while the wood was dried.</p> <p>The results show that by drying the Scots pine the latewood's tangential shrinkage is greater than early wood's.</p>			
pine, drying, early wood, latewood, growth rings			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ANALÜÜS	6
1.1. Perekond mänd.....	6
1.1.1. Harilik mänd (<i>Pinus sylvestris L.</i>).....	6
1.1.2. Harilik mänd Eestis	8
1.2. Männipuidu omadused	9
1.2.1. Puidu keemiline koostis	9
1.2.2. Puidu füüsilised omadused	10
1.2.2.1. Kuivatusprotsess.....	12
1.2.3. Puidu ehitus	13
1.2.4. Tüve ehitus	13
2. KOGUTUD ANDMED JA METOODIKA	15
2.1. Uurimismaterjal.....	15
2.2. Andmete kogumine	16
2.2.1. Aastarõngaste mõõtmine	16
2.3. Andmeanalüüs.....	18
2.4. Aastarõngaste keskmiste tulemuste arvutamine.....	18
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	20
3.1. Aastarõngaste laiuste muutused	20
3.2. Puidu niiskuse muutumine	20
3.3. Puidu kuivamiskahanemise analüüs.....	21
KOKKUVÕTE.....	23
SUMMARY	24
KASUTATUD KIRJANDUS	25
LISAD	27
Lisa 1.	
Lisa 2.	
Lisa 3.	

SISSEJUHATUS

Harilik mänd katab üle 32% metsamaast olles sellega kõige suurema levikuga puuliik Eestis. Harilik mänd moodustab erametsade pindalast 25,2% ja tagavarast 29,7%. Riigimetsas on vastavad näitajad 43,9% ja 47,9%. (Aastaraamat 2014: 19) Harilik mänd on ainus Eestis looduslikult kasvav männiliik (Laas 1980, 1998; Sibul 2001; Laas 2004 ref Sibul 2014: 19).

Männi suure leviku ja selle tõttu, et männi puit on hästi töödeldav, on see suure majandusliku tähtsusega. Männi puitu kasutatakse nii sise- kui välisehituses ning mööblitööstuses. Kuna männi puitu kasutatakse väga erinevates kohtades ja erinevates tingimustes, on vajalik teada, kuidas mõjub puidule kuivamine ning mil moel hoida toodete kõrget kvaliteeti.

Siinses bakalaureusetöös uuritakse hariliku männi tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Töö eesmärgiks on võrrelda sügis- ja kevadpuidu näitajaid. Tööle püstitas autor hüpoteesi, mille kohaselt peaks varapuit kahanema enam kui hilispuit, sest see ei ole nii tihke. Töö protseduuriline osa koosneb kolmest põhitegevusest: kuivatamata analüüsklotside mõõtmisest, analüüsklotside kuivatamisest ja kuivatatud analüüsklotside mõõtmisest. Seejärel töödeldi ja tõlgendati saadud tulemusi.

Uurimistöös kasutatud analüüsiketaste mudelpuud langetati Kenno Epleri (2014) magistr töö tarbeks 2013. aasta jaanuaris Tartumaalt Järvselja kvartalitest JS221 (eraldiselt 2) ja JS222 (eraldiselt 1). Siinses töös kaaluti analüüskestad ja mõõdeti nende aastarõngaste laiused, misjärel kuivatati neid ahjus 103 ± 2 °C juures 48h ja saavutati sellega puidu absoluutne kuivus. Järgnevalt korrati mõõtmisprotsessi, et leida kaalu erinevused ja aastarõngaste laiuste muutused kuivatamise järgselt.

Töös analüüsitud mõõtmistulemusi saab kasutada puidu töötlemisel, kuna need võimaldavad järeldada, kui suure kahanemisega aastarõngastes tuleb arvestada hariliku männi kuivatamisel.

Töö sisuline osa on jagatud kolme põhiossa: kirjanduse analüüs, kogutud andmed ja meetoodika ning tulemuste analüüs ja arutelu.

1. KIRJANDUSE ANALÜÜS

1.1. Perekond mänd

Männi perekond (*Pinus*) on osaks mändide alamsugukonnast (*Pinoideae*), mis kuulub omakorda männiliste sugukonda (*Pinaceae*), okaspuulaadsete seltsi (*Pinales*) ning okaspuude klassi (*Pinopsida*). Perekonnas on erinevate autorite järgi 90–120 liiki – need on levinud põhjapoolkeral. Välja arvatud Merkuse mänd (*Pinus merkusii*), mis kasvab Sumatra saarel. Euroopas leidub ligikaudu 12 männiliiki, Aasias leidub erinevat liiki mände üle paarikümne, Põhja-Ameerikas aga enam kui 50. (Critchfield, Little 1966; Wang et al 1999; Gernandt et al 2005; Eckenwalder 2013 ref Sibul 2014: 18)

Männi perekonda kuuluvad liigid on tavaliselt kõrged puud, vähem esineb madalaid puid ja põõsaid. Külgoksad hargnevad tüvest männaseliselt. Männil esinevad nii pikk- kui ka lühivõrsed. Pikkvõrsed, millel olevad okkad asuvad spiraalselt, moodustuvad kahel esimesel aastal. Pärast seda tekkivatel pikkvõrsetel on pruunid soomusekujulised lehed redutseerunud, viimastel moodustuvad lühivõrsed. Lühivõrse telg on lühike ja ta lõpeb pungaga. Lühivõrsetel olevad okkad on tavaliselt 2-, 3- või 5-kaupa, harvem 1- või 4-kaupa. Okkad on pikad ja kitsaslineaalsed lameda ning kumera servaga või kolmetahulised. Okastes asuvad vaigukäigud. (Laas 1987: 178)

Maaailma vanim elus olev puu on igimänd (*Pinus longeva*), mis kasvab Californias Nevadas. Puu vanus on üle 4000 aastat ja ta kasvab kaljumäestikis. (Eckenwalder 2009: 400)

1.1.1. Harilik mänd (*Pinus sylvestris* L.)

Maaailma kõrgeim harilik mänd kasvab Eestis Põlvamaal Ootsipalu orus. 2015. aastal avastatud männi kõrguseks on mõõdetud 46,6 meetrit (Monumental Trees: The Thickest, Tallest, and Oldest Scots Pines, 2017).

Hariliku männi kõrgus on harilikult kuni 40 meetrit, üksikutel puudel kuni 50 meetrit, tüve läbimõõt 1–1,5 meetrit. Puistus kasvavatel ja noortel puudel on võra koonusjas. Vanematel puudel muutub võra poolkerajaks või vihmavarjutaoliseks, eriti üksikult kasvades. Tüvi on silinderjas, väikese koondega, puistus kasvanud puudel kõrgelt laasunud, altpoolt rõmelise

pruunikashalli paksu korbaga kaetud. Korp hakkab tekkima umbes 100 aasta vanustel puudel. Tüve tipu poole on koor punakasanž või oranžikas ja kestendav. Noortel mändidel algab alumiste okste kuivamise protsess 8–10 aasta vanuselt. Ligikaudu 40-aastaselt hakkavad okste armid kinni kasvama. Oksad asuvad puul männaseliselt. (Laas 1987: 198)

Noored võrsed on alguses paljad ja rohelised, hiljem muutuvad pruuniks. Okaste pikkuseks on 4–7 cm. Okkad on kujult teravatipulised, nõrgalt keerdunud, karedate servadega, väline külg on kumer ja värvuselt hele- kuni tumeroheline. Okka sisemine külg on lame ja sinakasroheline. Pungad on piklikmunajad, teravnevad, värvuselt punakaspruunid, tavaliselt vaigused, harvem vaiguta. Okkad püsivad puul 3–4 aastat. (Laas 1987: 198)

Harilik mänd õitseb samaaegselt okaste kõige intensiivsema kasvamisajaga, mis on mai lõpul ja juuni algul. Isasõied on koondunud peajaks õisikuks, mis on 0,5–0,6 cm pikad ja mille läbimõõt on 0,3–0,4 cm. Õisikud koosnevad paljudest spiraalselt asetsevatest soomusjatest tolmukatest, mis asuvad noorte pikkvõrsete alusel. Isasõied on koondunud tihedateks kogumikeks. Tolmukate alaküljel asub kaks pikuti avanavat tolmukotti, millest pääsevad valla kahe õhupõiega varustatud tolmutterad. Männi õietolmu kandumist on täheldatud kuni 900 kilomeetri kaugusele. Õitsemise ajal on õietolmu rohkuse tõttu lähedal asuvad veekogud kaetud kollaka kihiga. Emasõisikud on ovaalse kujuga, 0,5–0,6 cm pikad, värvuselt punakad ja püstised. Tolmlemisele ei järgne aga viljastumine samal aastal, vaid järgmise aasta kevadel, millele järgneb kábide intensiivne kasv ja seemnete valmimine hilissügiseks. Harilikul männil kulub õitsemisest kuni seemnete valmimiseni umbes 18 kuud. (Laas 1987: 198–199)

Hariliku männi kábide on valminult 3–7 cm pikad, läbimõõt on 2–3 cm. Kujult on need piklikmunajad, värvuselt pruunid ja läikivad või hallid ja läiketa. Apofüüs on kujult rombjas, tõmp või teravatipuline. Seemnete varisemine toimub aprillis ja mais. Peale seemnete varisemist jäävad tühjad kábide rippuma. (Laas 1987: 199)

Seemned on väikesed, kujult munajad, 0,3–0,4 cm pikad, värvuselt hallid, pruunid või mustad. Puudulikult arenenud seemned on valget värvi. Sageli on seemned ka kirjud. Tuhande seemne kaal on 4–6 grammi. Põhjapool kasvavate puude seemned on väiksemad ja kergemad, lõunapool kasvavatel puudel on seemned suuremad ja raskemad. Seemnete

suurus ja mass olenevad ka kasvukohatüübist ja mulla viljakusest. Seemnete idanemisprotsent on kõrge: sageli 90% või enamgi. (Laas 1987: 200)

Männid, mis kasvavad üksinda, hakkavad seemet kandma 12–15aastaselt. Puistus hakkavad need seemet kandma aga märksa hiljem, 30–40aastaselt. Seemneaasta korduvus on suurel määral seotud kliimaga. Eestis kordub seemneaasta tavaliselt iga kolme aasta tagant. (Valk, Eilart 1974: 105-106)

Esimesel aastal on okkad ühekaupa ja asetsevad spiraalselt. Teisel aastal on okkad nii ühekaupa kui ka kahekaupa. Kolmandal aastal kujuneb välja esimene männas ja kuni 40 aastani saab hariliku männi vanust lugeda männaste järgi. (Laas 1987: 200)

Hariliku männi areaal on väga suur, mis laiub nii Euroopas kui Aasias. Areaali põhjapoolseim punkt (70° põhjalaiust) asub Loode-Norras. Lõunapoolseim punkt on 37° põhjalaiust. Läänest itta levib harilik mänd 8° läänepikkust kuni 140° idapikkust (Šotimaa läänerrannikust ning Lääne-Püreneedest kuni Ohoota mereni). (Laas 2004: 207)

Hariliku männi puit on kollakas-või punakaspruuni lülipuiduga, mis hakkab ilmuma peale 40. aastat. Tihedus on männipuidul 500–530kg/m³. Kuna männipuidus leidub palju vaigukäike, on puit väga vaigune. Mikroseeente elutegevuse tulemusena sinetub soojal aastaajal männi maltspuit kiiresti. Sellest tuleneva värvimuutuse tõttu on puit välisviimistluseks sobimatu. (Laas 2004: 209)

Männipuitu kasutatakse nii siseruumides kui välistingimustes. Männipuidust valmistatakse nii põranda- kui ka seinalaudasid ning ümarpalk-majasid. Männipuitu kasutatakse veel ka mööbli valmistamisel – seda nii tavaliselt kui ka liimpuiduna. Kuna männipuit on hästi immutatav, kasutatakse seda ka raudteeliiprite ja õhuliinipostidena. Oksavaba tüvi on heaks materjaliks nii spoonile, vineerile kui ka katuselaastudele. Männikändude kuival destilleerimisel saadakse tärpentini, sütt ja tõrva. Naftareostuste kõrvaldamisel kasutatakse männikoorepulbrit, mis imab naftat, kuid mitte vett. (Laas 2004: 209)

1.1.2. Harilik mänd Eestis

Harilik mänd on kõige levinum puuliik Eestis, kattes üle 32% metsamaast. Harilik mänd moodustab riigimetsade pindalast 43,9% ja tagavarast 47,9%, erametsadest vastavalt 25,2% ja 29,7%. (Aastaraamat 2014: 19)

Harilik mänd on ainus Eestis looduslikult kasvav männi liik. Männi liike on Eestisse introductseeritud ligikaudu 21. Osa neist liikidest on haljasaladel ja eraaedades üsna sagedasti kasutatavad, ent teisi võib leida üksikpuudena vaid vähestes parkides, kollektsioonides ja botaanikaaedades. (Laas 1980, 1998; Sibul 2001; Laas 2004 ref Sibul 2014: 19)

18. sajandi lõpus algas Põhja-Ameerikast pärinevate liikide introduktsioon Eestisse, siis jõudsid siia ka esimesed võõrmänniliigid. Esimene sisse toodud liik, mida prooviti metsa istutada, oli must mänd (*Pinus nigra*), mille seemet külvati 1887. aastal Järveljal koos hariliku männi, hariliku kuuse ja Euroopa lehisega. 1929. aastaks oli must mänd sealt täielikult hävinud. 1892. aastal istutati endisele põllumaale lehise, musta männi ja alpi seederänni (*Pinus cembra*) 2-aastaseid seemikuid. 1929. aastaks oli mustast männist järgi vaid üks puu. (Kasesalu 2000: 63–64)

Viimase 50 aasta jooksul on Eesti metsamaa pindala oluliselt suurenenud, kuigi männikute osakaal selles on aasta aastalt kahanenud. Eesti männirikkamad alad on Lääne-Eesti saared, mandri loode- ja põhjaosa ning Kagu-Eesti. Männirikkamad piirkonnad erinevad üksteisest tootlikkuse poolest väga palju. Kui Lääne- ja Loode-Eestis jäävad männid tavaliselt madalaks ja tüved peeneteks, siis Kagu-Eesti männikud on kõige suurema tagavaraga ja kõige kõrgema boniteediga. Harilik mänd ja kask olid ühed esimestest puuliikidest, mis peale mandrijää taandumist (10000–11000 aastat tagasi) hakkasid meie metsakooslust kujundama. (Sibul 2014: 41)

1.2. Männipuidu omadused

1.2.1. Puidu keemiline koostis

Männipuit koosneb 49,5% süsinikust, 6,5% vesinikust, 43,2% hapnikust ja 0,9% lämmastikust. Nimetatud komponendid asuvad glükoosimolekulides, mis moodustavad pikad molekuliketid ning omakorda tselluloosi ja hemitselluloosi. (Pikk, Kask 2014: 167)

Männi tüvepuidu keemiline koostis ligikaudsetes protsentides on järgmine: tselluloosi 45%, hemitselluloosi 20%, ligniini 28%, ekstraktiivaineid 6%, tuhka 0,4% lämmastikku 0,1% (Pikk, Kask 2014: 168).

Rakkudel, mis on kasvanud kevadel, on õhemad seinad ja heledam värvus. Rakud, mis on moodustunud sügisel ja hilissuvel, on värvuselt tumedamad ja paksemate seintega ning tugevamad. (Just jt 2015: 19)

1.2.2. Puidu füüsikalised omadused

Välisest füüsikalistest omadustest puidus on makrostruktuur ja värvus. Puidukasutuse kohapealt on kõige olulisemad puidu tihedus ja füüsikalised omadused, mis sõltuvad puidu ja vee vastastikusest toimest. Puidustruktuuri ja omadusi mõjutab kasvukoht: kui palju on seal valgust, toitaineid ja niiskust ning missugused on antropogeensed faktorid. Kasvava metsa puidukvaliteeti pole võimalik muuta genotüübi kaudu, küll aga saab seda teha kasvutingimuste muutmisega (harvendamine, kuivendamine, väetamine). Paljud puidu omadused sõltuvad puu vanusest. Sellepärast on ka puit, mis on varutud noorest, keskealisest või raieküpselt metsast, erinevate omadustega. (Pikk, Kask 2014: 169)

Kasvava puu jaoks on niiskus eluks hädavajalik. Kasvava puu niiskussisaldus muutub radiaalsuunaliselt ehk piki puutüve ja sõltub aastaajast. Puutüve niiskuse sisalduse perioodiline muutumine iseloomustab sealsete füsioloogiliste protsesside intensiivsust ja kaitsereaktsioonide aktiivsust. Viimasena nimetatul on oluline roll puistute kaitsmisel seenhaigustesse nakatumise eest, ühtlasi putukakahjustuste ja mehaaniliste vigastuste vähendamisel. Kasvavas puus on kõige rohkem niiskust talvekuudel (novembrist veebruarini) ja kõige vähem suveperioodil (juulist augustini). Tüve niiskussisaldus muutub ka ööpäeva vältel: hommikul ja õhtul on niiskust enam kui päeval. (Pikk, Kask 2014: 169)

Puidu niiskus on niiskuse massi ja puidu massi suhe protsentides. Niiskust saab väljendada niiske puidu kogumassi (suhteline niiskus) või absoluutkuiva puidu massi suhtes (absoluutne niiskus). Puidutööstuses kasutatakse enamasti absoluutniiskust. Puidu absoluutniiskuse arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit. (Reiska ja Meier 2008: 20)

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \quad (1.1.)$$

kus W_a on absoluutne niiskus %

m – niiske puidu kogumass g;

m_0 – absoluutkuiva puidu mass g.

Puidu suhtelise niiskuse arvutamiseks kasutatakse aga järgmist valemit (Saarman, Veibri 2006: 31).

$$W_0 = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100, \quad (1.2.)$$

kus W_0 on suhteline niiskus %

m – niiske puidu kogumass g;

m_0 – absoluutkuiva puidu mass g.

Puit sisaldab vaba ja seotud niiskust. Ainult seotud niiskust sisaldavat puitu nimetatakse niiskeks, ent lisaks ka vaba niiskust sisaldavat puitu nimetatakse märjaks. Äsja raiutud puit on alati märg ning selle niiskus sõltub paljudest teguritest: puiduliigist, aastaajast, kasvukohatüübist ja nii edasi. Niiskustase varieerub ka puutüve erinevates piirkondades. Järgmises tabelis (Tabel 1) on välja toodud värskelt raiutud puidu niiskus erinevate puuliikide puhul. (Reiska ja Meier 2008: 20–21)

Tabel 1. Värskelt raiutud puidu niiskus (Reiska ja Meier 2008: 21).

Puuliik	Niiskus (%)
mänd, kuusk	60 – 100
lehis	50 – 70
kask	70 – 90
haab	80 – 100
saar	35 – 40
tamm	60 – 80

Sõltuvalt niiskusest liigitatakse kuivatatud puitu järgnevalt:

- mööblikuiv puit 6–10%,
- tislерикуив puit 10–15%,
- liimimiskuiv puit 14%,
- hõõveldamiskuiv puit 15–19%,
- õhkkuiv (ehk transpordikuiv) puit 15–23%. (Reiska ja Meier 2008: 21).

Puit on hügrokoopne materjal – see muudab oma niiskust vastavalt ümbritseva õhu niiskuse muutumisele. Puit võib saavutada ka püsiva niiskuse, kui seisab pikaajaliselt muutumata olekuga õhus. (Reiska ja Meier 2008: 21)

1.2.2.1. Kuivatusprotsess

Puidu kuivatamisel peab sisekihtides olev niiskus liikuma välispinnale ja aurustuma. Kuivamiskiirus sõltub sellest kui kiiresti liigub niiskust materjali sisemusest väliskihtidesse. Aurumine on füüsikaline protsess, mida mõjutavad ümbritseva keskkonna suhteline niiskus ja temperatuur, ning õhu liikumise kiirus materjali kohal. Juhul kui keskkonnas ei ole küllastunud niiskust, toimub puidu pinnalt niiskuse aurumine. Aurumine katkeb, kui keskkonna suhteline niiskus on 100%. (Reiska ja Meier 2008: 40–41)

Niiskuse liikumine puidus on selle ehituse ja keemilise koostise tõttu väga keeruline. Rõhk, temperatuur ja niiskus on kuivamise liikuma panevateks jõududeks. Niiskuste vahe erinevates puidu kihtides esineb materjalis kuivatuse algstaadiumis. See tekib, kuna pinnakihtidest aurustuva niiskuse hulk on suurem kui sisekihtidest väliskihtidesse liikuva niiskuse hulk. Niiskuse liikumise kiirus sõltub puidu tihedusest, vaadeldavast suunast ja temperatuurist. (Reiska ja Meier 2008: 41)

Tüve pikisuunal on niiskuse liikumine 10–20 korda suurem kui tangentsiaalsuunal. Radiaalsuunal on niiskuse liikumine 1,1–1,5 korda tangentsiaalsuunast suurem. Kuivatuse alguses on niiskuse tase erinevates kihtides suurim. Seetõttu on ka kuivatamiskiirus suurim. Kuivatamise lõppstaadiumis niiskuse jagunemine materjalis ühtlustub ja kuivamiskiirus väheneb. (Reiska ja Meier 2008: 41)

Rõhu osatähtsus kamberkuivatamisel on väikese tähtsusega. Kõrgel temperatuuril kuivatades (üle 100°C) ning vaakumkuivatusel mängib rõhk aga olulist rolli. Eespool nimetatud kuivatusmeetodite kasutamisel hakkab materjalis olev vaba niiskus keema. See tekitab materjali sisemuses surve, mille tõttu toimub niiskuse intensiivne liikumine väliskihtide poole, seda auru näol. (Reiska ja Meier 2008: 41)

Temperatuurimuutuste tõttu liigub niiskus materjalis kõrgema temperatuuriga aladelt madalama temperatuuriga alade poole. Tavalisel kuivatamisel on temperatuuri mõju suunatud niiskuse liikumisel väliskihtidest sissepoole, sellepärast on sel kuivatamist aeglustav toime. Erandlik on kõrgsagedusel kuivatamine, mille korral tekib soojus materjali sisemuses ning sisemiste kihtide temperatuur on välimiste kihtide omast kõrgem. Temperatuuri aeglustav mõju kuivamisele on suurim kuivatamise alguses, mil välis- ja sisekihtide temperatuuride erinevus on suur.

1.2.3. Puidu ehitus

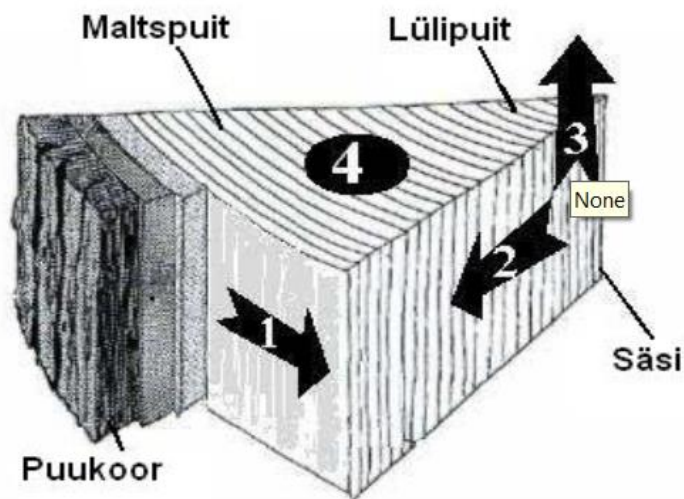
Okaspuul on sügispuidu laius keskmiselt 20–25% aastarõnga laiusest, kõikudes vahemikus 15–40%-ni. Kui aastarõngad on laiad, siis sisaldab see okaspuu enamasti rohkem varapuitu. Kui kergema kevadpuidu osatähtsus on suurem, on ka puidu tihedus madalam. Kitsamad aastarõngad tähendavad aga seda, et puit on tugevam ja tihedam. Puu küpsesse ikka jõudes, mil aastane juurdekasv on hakanud kahanema, tekivad okaspuu perifeerses osas kitsamad aastarõngad, mis näitavad, et puu on raieküps. (Saarman, Veibri 2006: 30)

Sõltuvalt teatud kasvutingimustest ei tähenda kitsad aastarõngad aga puidu head kvaliteeti. Näiteks on vanas männikus kasvanud puul puidurakud liiga vähe puitunud. Samas võib täheldada kitsaid aastarõngaid ka toitainevaeses pinnases kasvavatel puudel. Ka siis, kui kasvuage on jäänud lühikeseks, on aastarõngad küll üsna kitsad, ent puit on kerge ja rabe. (Saarman, Veibri 2006: 31)

1.2.4. Tüve ehitus

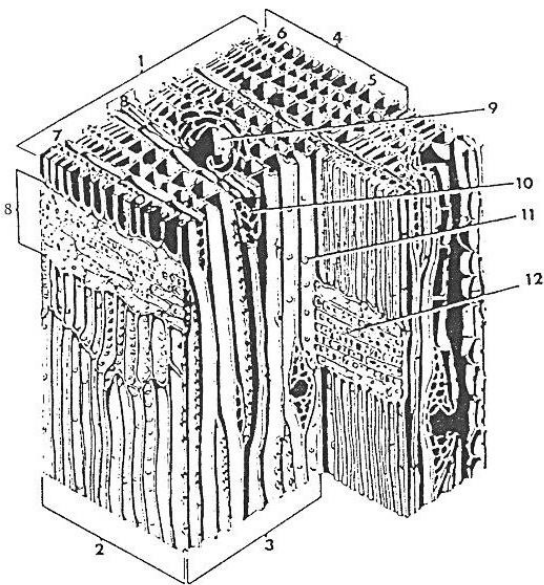
Säsi asub puutüve keskosas, millest saab alguse puu kasv. Lülipuit on puu sisemistes kihtides ja tekib maltspuidu surevatest rakkudest. Lülipuit on see, mis annab puidule tugevuse ja vastupidavuse. Maltspuit on noor ja kasvav kiht, mis koosneb elusrakkudest. Selle ülesandeks on toitainete hoiustamine ning vee juhtimine juurtest lehtedesse. Maltspuit on tavaliselt heledam kui lülipuit. Mähk asub sisemises koores, millest puit kasvab ja on suhteliselt õhuke. Niin on pehme ja niiske tüve osa, mille ülesandeks on juhtida toitainete liikumist kasvavates osades. Korp ehk väline koor on kuiv ja surnud kude, mille ülesandeks on kaitsta puud väliste kahjurite ja mehaaniliste vigastuste eest. (Just jt 2015: 20)

Okaspuu puit on anisotroopne materjal, sellepärast on puidu füüsikalised ja anatoomilised omadused eri suundades erinevad. Et sellest paremini aru saada, on vaja määrata puitu iseloomustavad põhisuunad. Puitmaterjali parimad omadused väljenduvad pikikius. Vaadeldes puidutüki ristilõiget on võimalik määrata kaks erinevate omadustega põhisuunda. Tüve keskosast (ehk säsist) puu väliskihitide suunas kulgevat nimetatakse radiaalsuunaks, tangentsiaalsuunaks aga piki aastarõngaid lähtuvat. Sama põhimõtte kohaselt võib puud ning puitu uurida kolmes erinevas lõikes (vt joonis 1). (Saarman ja Veibri 2006: 27)



Joonis 1. Puit kolmes lõikes. (Saarman ja Veibri 2006: 27) 1 – tangentsiaalne suund, 2 – radiaalsuund, 3 – pikisuund, 4 – ristlõige)

Võrreldes lehtpuudega on okaspuude puidurakud ühtlasema asetuse ja vormiga. Puit koosneb valdavalt piklikest taimsetest rakkudest (Reiska ja Meier 2008: 19). Männipuidu ristlõikes on tihti selgelt nähtavad ka vaigukäigud (vt joonis 2). (Saarman ja Veibri 2006: 27)



Joonis 2. Okaspuu puidu ehitus (Saarman ja Veibri 2006: 28). 1 – ristlõige, 2 – radiaallõige, 3 – tangentsiaallõige, 4 – aastarõngas, 5 – varapuit, 6 – hilispuit, 7 ja 8 – säsikiired, 9 – vertikaalne vaigukäik, 10 – horisontaalne vaigukäik, 11 – koobaspoor, 12 – lihtpoor

2. KOGUTUD ANDMED JA METOODIKA

Järgnevalt on esitatud ülevaade töö protseduurist, mõõtmise käigus kogutud andmetest ja andmete analüüsist.

2.1. Uurimismaterjal

Lõputöös uurimiseks kasutatav materjal pärineb kaheteistkümne hariliku männi mudelpuust (Tabel 2) ja neist lõigatud umbes 10 cm paksustest ketastest. Mudelpuud langetati Kenno Epleri magistritöö tarbeks 2013. aasta jaanuaris Tartumaalt Järvelja kvartalitest JS221 (eraldiseelt 2) ja JS222 (eraldiseelt 1). Eraldisel olevad puistud on mustika kasvukohatüübiga. Kvartali JS221 puistu esimese rinde, mille keskmine diameeter on 27 cm ja kõrgus 28 m, moodustas keskmiselt 85 aasta vanune mänd. Kvartali JS222 puistu esimese rinde, mille keskmine diameeter on 32 cm ja kõrgus 29 m, moodustas mänd keskmise vanusega 104 aastat. (Epler 2014: 24–25)

Tabel 2. Uuritavate männipuude takseerandmed (Epler 2014: 25)

Puu nr	Puu liik	Diameeter (cm)	Kõrgus (m)
1	MA	35,50	28,80
2	MA	32,25	29,20
3	MA	28,05	28,57
4	MA	30,10	28,05
5	MA	28,15	28,11
6	MA	23,10	27,03
7	MA	37,40	31,62
8	MA	37,00	30,85
9	MA	31,75	29,83
10	MA	26,30	27,98
11	MA	37,70	28,86
12	MA	37,45	30,35

Esimeste analüüsiketastena saeti null- ehk kännukettad. Seejärel lõigati 1,3 m kõrguselt juurekaelalt analüüsiketas ning liiguti üha 3,1 m sammuga tipu suunas. (Epler 2014: 26) Lõputöö mõõtmiste tegemiseks kasutati kokku 46 analüüsiketast, mis valiti välja juhendajaga arutlemise tulemusena. Osa kettaid jäid välja, kuna need olid kahjustatud ja osa ka kadunud. Uurimuse läbiviija vähese kogemuse tõttu tekkis eksimusi ka mõõtmistel, mistõttu ei olnud kogutud andmed kasutatavad.

Mudelpuude langetamisel, analüüsketaste lõikamisel ja nende lihvimisel siinse töö autor ei osalenud. Autori ülesandeks oli lõigatud ja lihvitud klotside sorteerimine, kaalumine, aastarõngaste laiuste mõõtmine, ketaste kuivatamine ja andmete kogumine ning tulemuste analüüs. Materjali sai autor lõputöö juhendajalt.

2.2. Andmete kogumine

Töö esimeses etapis kaaluti kuivatamata, ent lihvitud analüüsikettad. Kaalumiseks kasutati Precisa XB 6200D ja KERN PLB 1000-2 kaalusid, millest esimesena nimetatuga võis kaaluda kuni 6000 g ja teisega kuni 1000 g kettaid. Kogutud andmed koondati tabelisse (lisa 1).

Järgmises etapis mõõdeti stereomikroskoobiga LINTAB™ aastarõngaste laiused. Andmed kanti ühildatud programmi TSAP-win™. Tänu sellele süsteemile oli mõõtmiste täpsus 0,001 mm (Rinn 2013: 12). Kasutatud stereomikroskoobiga oli võimalik muuta objektiivi teravust ja kõrgust sõltuvalt analüüsiketta suurusest. Sellest, et soovitav mõõtmiskoht on programmi salvestatud, andis hästi märku ka helisignaali. See lihtsustas oluliselt töö käiku.

2.2.1. Aastarõngaste mõõtmine

Töös kasutati eelmiste autorite poolt (Epler 2014, Ploom 2014) lihvitud analüüsikettaid. Analüüsiketastele olid eelnevalt peale märgitud puu number, ketta asukoha tähis ja põhjasuund. Ka oli peale tõmmatud joon, mida aastarõngaste mõõtmisel kasutada.

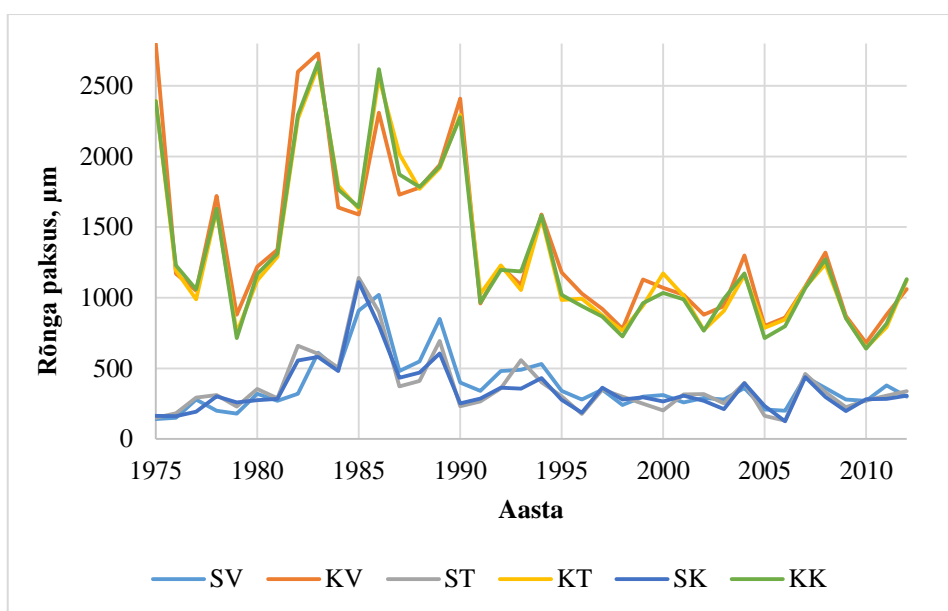
Mõõtmisjoone seadmiseks tuli mikroskoobi all keskpunktiks reguleerida säsi. Peale seda liiguti mööda pliitsi või skalpelli joont ketta servani koorepoolsesse alguspunkti, kus fokusseeriti mikroskoop. Mõõtmisel liiguti alati koore poolt säsi suunas, saades tulemusena mikromillimeetrise täpsusega andmed. Sealjuures oli oluline klotsi mõõtmisprotsessi ajal mitte puutada.

Mõõtmised sooritati nii põhja- kui ka lõunasuunas. Lõunasuunal mõõtmisel kasutati sama (ehk eespool kirjeldatud) meetodikat. Lisaks koguti eraldi andmeid nii kevad- kui ka sügispuidu aastarõngaste laiuste kohta.

Seejärel asetati klotsid Memmert ULE-500 ahju 103 ± 2 kraadi juurde (ISO 3130:1975) kuivama. Klotsid kuivasid kaks ööpäeva ehk 48 tundi. Sellisel moel kuivatades saavutati analüüsiketaste absoluutne kuivus, mis vastab ISO standarditele.

Kuivatamise järel võeti analüüsiketad ükshaaval ahjust välja ning need kaaluti. Ühtlasi mõõdeti ka aastarõngaste laiused. Mõõtmiste ja kaalumiste käigus selgus, kui palju on kuivatamisel puidu kaal ja aastarõngaste laiused muutunud. Jällegi teostati mõõtmisi põhja- ja seejärel ka lõunasuunast. Nii koguti andmed toasoojas seisnud kevad- ja sügispuidu aastarõngaste laiustest ja suuruste vahest pärast analüüsiketaste ahjus kuivatamist.

Analüüsiketaste mõõtmise järgselt kanti kogutud mõõtmistulemused FoxPro keskkonda, kuna LINTAB™ annab tulemused tekstifailina ning nende töötlemine on FoxPro keskkonnas lihtsam. Seejärel vormindati need MS Excelis kasutamiseks sobilikuks. Selliselt saadi teada, kuidas on kuivatamise käigus muutunud männi kevad- ja sügispuidu aastarõngaste laius. Tabelisse kanti puu liik, analüüsiketta number ja tähis, aasta, mõõtmiste suund ning sügis- ja kevadpuidu juurdekasv. Tabelis on väljatoodud puidu aastarõngaste laiused värskel, toakuival ning absoluutkuival puidul (lisa 2). Allpool oleval joondiagrammil (joonis 3) on eespool nimetatud andmed (lisa 2) välja toodud selliselt, et oleks selgelt näha kevadpuidu ja sügispuidu aastarõngaste laiuste muutused.



Joonis 3. Sügis- ja kevadpuidu aastarõngaste laiuse võrdlus kolmes niiskusastmes ketta 12H näitel lõuna suunal. *PL* – puuliik, *NR* – mudelpuu number, *NS* – mõõtmise suund, *SV* – värskel hilispuit, *KV* – värskel varapuit, *ST* – toakuiv hilispuit, *KT* – toakuiv varapuit, *SK* – absoluutkuiv hilispuit, *KK* – absoluutkuiv varapuit

Kokku kasutati analüüsimisel 73 ketta suunda ning teostati mõõtmised, mille tulemusel oli võimalik alustada andmeanalüüsiga.

2.3. Andmeanalüüs

Andmete kogumise ja analüüsimise üheks eesmärgiks on selgitada välja puidu niiskuse muutumine kuivatamise tulemusena. Lisas 1 on märgitud kasutatud männipuidu ketaste kaal värskena, õhkuivana, kuivatamise järgselt (absoluutkuivana) ja pärast mõõtmisi. Puidu suhtelise niiskuse arvutamiseks kasutati valemit 1.2. (vt ptk 1.2.2. Puidu füüsilised omadused).

2.4. Aastarõngaste keskmiste tulemuste arvutamine

Edasises töös arvutati iga mõõdetud analüüsiketta põhja- ja lõunasuuna aastarõngaste keskmist laiust. Selleks kasutati valemit 2.1.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.1.)$$

kus \bar{x} on aritmeetiline keskmine μ_m

n – liidetavate arv;

x – iga individuaalse liikme väärtus valimist, millest keskmist arvutatakse μ_m .

Arvutused tehti nii kuivatamata kui ka kuivatatud puidu kohta. Tabel 3 väljendab, missugused on arvutuste tulemusena analüüsiketta 7H sügis- ja kevadpuidu aastarõngaste keskmised laiused. Sama meetodikat kasutades leiti ka aastarõngaste keskmised laiused iga mudelpuu kohta (Lisa 3).

Tabel 3. Keskmised mõõtmistulemused (μ_m) analüüsiketta 7H näitel

Nr	Kuivatamata hilispuit	Kuivatatud hilispuit	Kuivatamata varapuit	Kuivatatud varapuit
7HN	391	336	1581	1459
7HS	390	358	1543	1441
7H	390	347	1562	1450

Kuivamiskahanemise sõltuvuse hindamiseks niiskusest kasutati regressioonanalüüsi (Kiviste 2007: 16). Sõltuvust hinnati eraldi hilispuidule ja varapuidule ning juveniil, lüli ja

maltspuidule. Regressioonvalemina kasutati sirget. Samuti hinnati puidu kuivamiskahanemise sõltuvust hilispuidu osakaalust.

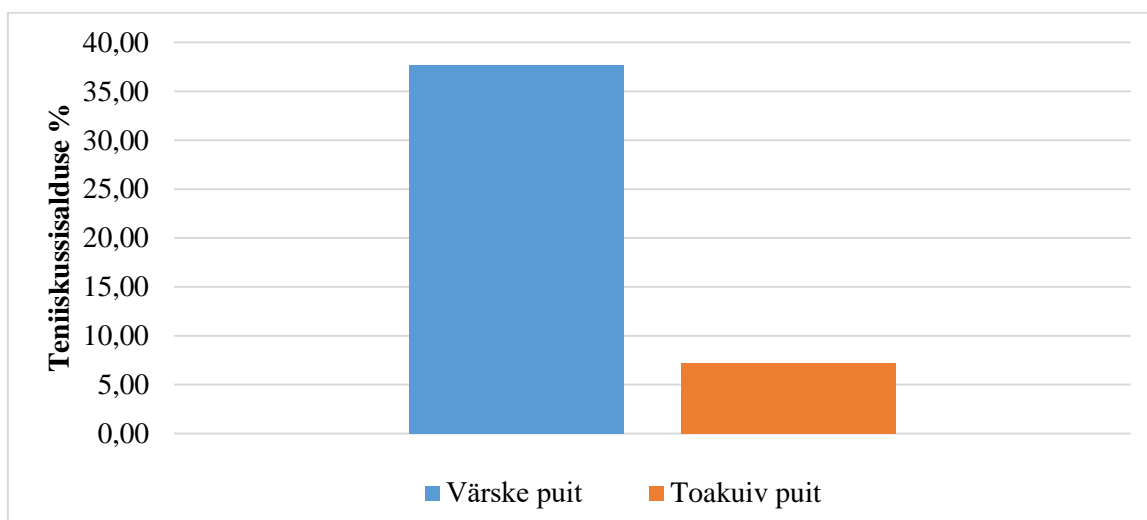
3. TULEMUSED JA ARUTELU

3.1. Aastarõngaste laiuste muutused

Okaspuu puit ei muutu kuivades igas suunas sama palju. Tangentsiaalne deformatsioon on kuivades suurem kui risti- või pikikiudu muutus. (Just jt 2015: 56) Puidu kasutusvaldkond on väga suur ja lai ning puidu kuivamise tundmine on oluline lõpp-produkti edukaks tootmiseks ja kvaliteedi hoidmiseks.

3.2. Puidu niiskuse muutumine

Saadud tulemusi vaadeldes tuleb arvestada, et antud bakalaureusetöös kasutatud analüüskettaid ei olnud pärast lõikamist kindlal temperatuuril hoitud, seda ka kindla aja vältel. Neid oli hoiustatud keskmisest kuivemas ning soojemas keskkonnas. Selletõttu oli niiskussisaldus juba väiksem kui tavalises toakuivas õhus seisnud puidul.



Joonis 4. Analüüsketaste värske- ja toakuiva puidu keskmine niiskussisaldus

Tabelist 4 tuleb välja, et kasutatud analüüsketaste värske puidu keskmine niiskussisaldus oli 37,68% ning toakuival puidul 7,17%. Töö alustamise hetkeks oli puit kaotanud 30,51% oma niiskusest. Tabel 4 on koostatud lisas 1 välja toodud andmete alusel.

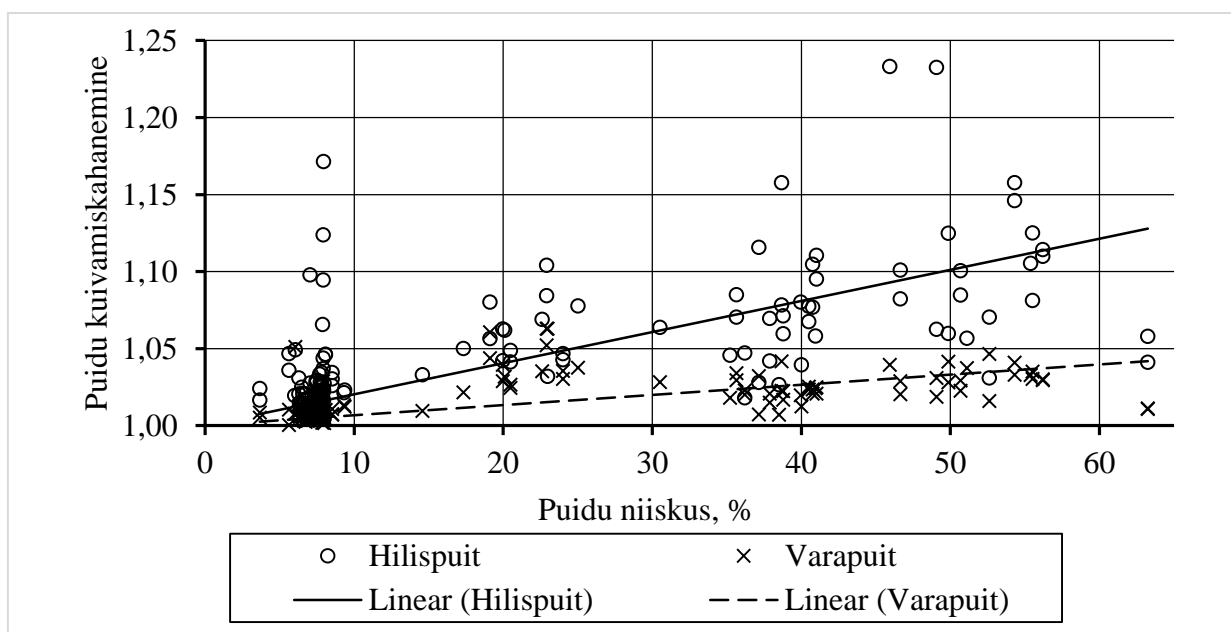
3.3. Puidu kuivamiskahanemise analüüs

Lineaarse regressiooni tulemused on esitatud tabelis 4. Olulisuse tõenäosus (p -väärtus) oli ainult ühel juhul üle 0,05.

Tabel 4. Regressioon analüüsi parameetrite väärtused (a–valemikordaja)

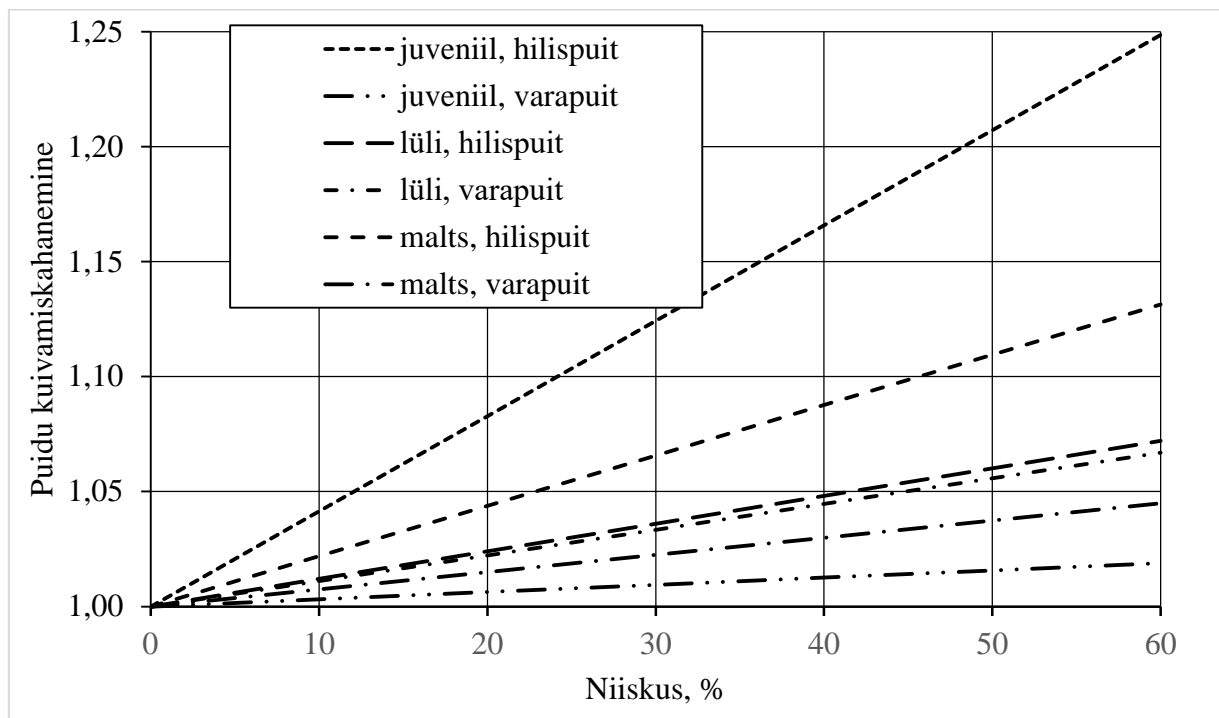
Puit		a	R ²	p-väärtus
Juveniilpuit	hilispuit	0,004142	0,200	<0,0001
	varapuit	0,000314	0,018	0,1060
Lülipuit	hilispuit	0,001202	0,121	0,0002
	varapuit	0,001114	0,452	<0,0001
Maltspuit	hilispuit	0,002190	0,226	<0,0001
	varapuit	0,000748	0,094	0,0002
Kokku	hilispuit	0,002022	0,727	<0,0001
	varapuit	0,000662	0,684	<0,0001

Regressiooni analüüs on kujutatud joonisel 5. Joonisel on kasutatud kõiki aastarõngaid (juveniil-, lüli- ja maltspuit).



Joonis 5. Vara- ja hilispuidu kuivamiskahanemise sõltuvus niiskusest (kõik puiduliigid koos)

Vara ja hilispuidu kuivamiskahanemist uuriti eraldi ka juveniil-, lüli- ja maltspuidul. Regressiooni tulemused on esitatud tabelis 4 ning joonisel 6.



Joonis 6. Erinevate puidutüüpide kuivamiskahanemised

Jooniselt 6 saab välja lugeda, et kõige enam kahaneb juveniil hilispuit, sellele järgneb malts hilispuit ning lüli hilispuit. Sellest tuleb välja, et hilispuit kahaneb rohkem kui varapuit ning hilispuidu siseselt kahaneb enim juveniilpuit. Varapuidust kahaneb enim lüli-, millele järgneb malts- ja kõige vähem tõmbab kokku juveniilpuit.

KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöös uuriti hariliku männi (*Pinus sylvestris L.*) aastarõngaste tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Bakalaureusetöö eesmärgiks oli võrrelda, kui palju muutuvad vara- ja hilispuidu laiused kuivatamise käigus ning kui palju muutuvad vara- ja hilispuit malts-, lüli- ja juveniilpuidus.

Kasutatavad analüüsikettad olid töödeldud eelnevate lõputööde (Epler 2014 ja Kuklas 2014) poolt nii, et neid oli võimalik mõõta mikroskoobi all. Analüüsikettad olid pärit 2013. aasta raiutud mudelpuudelt Järvelja kvartalilt JS221 ja JS222. Kokku kasutati lõputöös 74 hariliku männi analüüsiketta suunda ning 5230 erinevat aastarõngast.

Kuna töös kasutatud analüüsikettaid hoiustati kuivemas ja soojemas ruumis kui on tavaline toakuiv ja soe ruum seda on, siis oli ketaste niiskussisaldus toakuivalt juba väiksem kui tavaliselt. Keskmine niiskussisaldus õhkuival puidul oli 7,17%.

Siinses bakalaureusetöö praktilises osas kaaluti esmalt analüüsikettad ning mõõdeti seejärel aastarõngaste laiused. Järgmises töö etapis kuivatati neid ahjus 103 ± 2 °C juures 48h jooksul. Lõpptulemuste saamiseks korrati mõõtmisprotsessi, et selgitada välja, kuidas on kaal ja aastarõngaste laiused muutunud.

Tulemused näitasid, et hariliku männi hilispuit kahaneb kuivatamisel rohkem kui varapuit ning kõige enam kahaneb juveniilpuidu hilispuit ja kõige vähem kahaneb juveniilpuidu varapuit.

Uurimusest tuli välja veel, et hilis- ja varapuit kahaneb erinevalt veel malts-, lüli- ja juveniilpuidu sees.

SUMMARY

The aim of this bachelor's thesis is to study the tangential shrinkage of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the process of drying. The focus is on the comparison of the tangential shrinkage of the growth rings on early and latewood and how much early and latewood shrinking in juvenilwood, sapwood and heartwood.

The analysed boards were cut and collected in the course of previous works (Epler 2014, Ploom 2015) from Tartu county Järvelja forest blocks JS221 and JS222. The blocks were cut down in 2013. There were 74 mesuer rings and 5230 difrent annual rings.

Because the boards were stored in drier and warmer conditions than usual warm and dry room. Because of that the moisture content in air dry wood was 7,17%

The boards used in this thesis were first weighed and thereafter the growth rings were measured. The boards were then dried in an oven at $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 48 hours. The measuring process was then repeated to find out how the weight and the growth rings had changed while the wood was dried.

The result shown that Scots pine latewood shrinking more than earlywood and biggest shrinking take place in juvenil latewood and leaast change take place in juvenile earlywood.

The study shows that late- and early wood shrinking is diferent in juvenilwood, sapwood and heartwood.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Aastaraamat Mets 2013.** (2014). Tartu: Keskkonnaagentuur. 243 lk.
- Eckenwalder, J. E.** (2009). Conifers of the World. London: Timber Press. 720 lk.
- Epler, K.** (2014). Laasitud analüüsipuude mahtude ja juurdekasvude analüüs. (Magistritöö). EMÜ metsatööstuse osakond. Tartu.
- Just, E.-J., Õiger, K., Just, A.** (2015). Tallinn: TTÜ Kirjastus. 431 lk.
- Kasesalu, H.** (2000). Introdutseeritud mändide (*Pinus spp.*) kasvatamise tulemusi Järveljal. *Metsanduslikud uurimused*. Nr 32, lk 63-72.
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika *MS Exceli* keskkonnas. Tartu. 86 lk.
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Tallinn: Valgus. 824 lk.
- Laas, E.** (2004). Okaspuud. Tartu: Atlex. 359 lk.
- Monumental Trees: The Thickest, Tallest, and Oldest Scots Pines** (2017).
<http://www.monumentaltrees.com/en/trees/scotspine/records/> (14.02.2017).
- Pikk, J., Kask, R.** (2014). Männipuidu ehitus ja omadused. – *Mänd Eestis*. / Koost. M. Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 154–188.
- Ploom, P.** (2015). Kasvavate harilike mändide (*Pinus sylvestris L.*) laasimise mõju saematerjali kvaliteedile. (Bakalaureusetöö). Tartu.
- Reiska, R., Meier, P.** (2008). Puidu kuivamine. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 116 lk.
- Rinn, F.** (2013). TSAP-Win. Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications. User References, Heidelberg. 92 lk.
- Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu: Eesti Metsaselts. 560 lk.
- Sibul, I.** (2014). Mäni üldiseloomustus. – *Mänd Eestis*. / Koost. M. Kurm. Tartu: Eesti Maaülikool, lk 18–55.
- Valk, U., Eilart, J.** (1974). Eesti metsad. Tallinn: Valgus. 305 lk.
- * **Critchfield, W. B., Little, E. L. Jr.** (1966) . Geographic distribution of the pines of the world. U.S. Department of Agriculture Forest Service. Washington, D.C. Miscellaneous publication 991 lk, viidatud: *Mänd Eestis*. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.
- * **Wang, X.-R., Tsumura, Y., Yoshimaru, H., Nagasaka, K., Szmidt, A. E.** (1999). Phylogenetic relationship of Eurasian pines (*Pinus pinaceae*) based on chloroplast *rbcl*, *matK*, *rpl20-rps18* spacer, and *trnV* intron sequences. *American Journal of Botany*. 86 lk, viidatud: *Mänd Eestis*. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.
- * **Gernandt, D. S., Geada Lopez, G., Garcia, S.O., Liston, A.** (2005) Phylogeny and classification of *Pinus*. *Taxon* . lk 54 viidatud: *Mänd Eestis*. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.

- * **Eckenwalder, J. E.** (2009). Conifers of the World. London: Timber Press. 720 lk, viidatud: Mänd Eestis. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.
- * **Laas, E.** (1980). Okaspuude introduktsioonist Eesti NSV-s EPA teaduslike tööde kogumik 128 lk, viidatud: Mänd Eestis. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.
- * **Laas, E.** (2004). Okaspuud. Tartu, Atlex. 359 lk, viidatud: Mänd Eestis. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel
- * **Sibul, I.** (2001). Võõrmännid Eestis. – Eesti Loodus, 12, 462-464 lk, viidatud: Mänd Eestis. 2014. Tartu: Vali Press OÜ, lk 19 vahendusel.

LISAD

Lisa 1. Analüüsketaste värse-, toakuiva- ja absoluutkuiva puidu kaal ning värse- ja toakuiva puidu niiskussisaldus (%).

NR	KETAS	Värse puidu kaal g	Toakuiva puidu kaal g	Absoluutkuiva puidu kaal g	Värse puidu niiskussisaldus %	Toakuiva puidu niiskussisaldus %
1	0	856,74	860,63	805,14		6,45
1	1	178,15	158,21	147,28	17,33	6,91
1	C	840,99	557,67	514,66	38,80	7,71
1	H	199,62	201,29	185,54		7,82
2	0	807,15	784,55	731,47		6,77
2	1	178,02	146,26	135,27	24,01	7,51
2	B	793,59	502,14	468,48	40,97	6,70
3	0	719,70	720,23	674,32		6,37
3	1	180,63	145,51	135,43	25,02	6,93
3	B	661,93	445,27	416,02	37,15	6,57
3	G	349,41	173,26	159,58	54,33	7,90
4	0	612,64	614,43	575,46		6,34
4	1	188,63	162,21	150,71	20,10	7,09
4	B	430,67	248,98	232,82	45,94	6,49
4	H	160,91	89,03	81,94	49,08	7,96
5	0	775,66	511,49	477,00	38,50	6,74
5	1	159,58	138,83	129,08	19,11	7,02
6	0	829,75	822,71	768,66		6,57
6	1	154,93	128,29	119,42	22,92	6,91
6	H	80,16	32,02	29,46	63,25	8,00
7	1	222,73	185,32	172,35	22,62	7,00
7	C	893,49	580,00	535,90	40,02	7,60
7	F	339,54	221,21	203,81	39,97	7,87
7	G	1194,67	613,49	566,01	52,62	7,74
7	H	679,89	322,92	297,73	56,21	7,80
8	1	222,24	183,90	171,14	22,99	6,94
8	B	769,32	533,83	498,31	35,23	6,65
8	D	738,34	490,38	452,68	38,69	7,69
8	E	850,48	546,02	503,73	40,77	7,75
8	F	547,48	350,36	322,92	41,02	7,83
8	G	554,00	513,84	473,22	14,58	7,91
8	H	415,90	226,82	208,50	49,87	8,08
8	I	155,30	155,30	142,97		7,94
9	1	236,41	124,45	115,56	51,12	7,14
9	A	806,24	598,97	560,18	30,52	6,48
9	C	747,56	515,41	476,75	36,23	7,50
9	D	834,55	580,23	536,98	35,66	7,45
9	H	255,24	124,50	113,88	55,38	8,53
11	0	901,91	873,62	817,83		6,39

11	1	211,98	181,03	168,54	20,49	6,90
11	D	801,68	517,00	497,99	37,88	3,68
12	0	973,26	973,26	908,89		6,61
12	1	210,00	180,48	168,02	19,99	6,90
12	D	873,98	564,39	519,95	40,51	7,87
12	F	514,79	300,19	274,57	46,66	8,53
12	G	1255,78	672,75	619,23	50,69	7,96
12	H	514,44	242,46	228,80	55,52	5,63

Märkus. Osa andmeid on Kenno Epleri (2014) lõputöös jäänud märkimata

Lisa 2. Aastarõngaste mõõtmiste tulemused (ketta 12H näitel) lõuna suunal. *PL* – puuliik, *NR* – mudelpuu number, *NS* – mõõtmise suund, *SV* – värske hilispuit, *KV* – värske varapuit, *ST* – toakuiv hilispuit, *KT*– toakuiv varapuit, *SK* – absoluutkuiv hilispuit, *KK* – absoluutkuiv varapuit.

PL	NR	KETAS	AASTA	NS	SV	KV	ST	KT	SK	KK
MA	12	H	1975	S	140	2800	151	2393	164	2392
MA	12	H	1976	S	150	1170	181	1192	161	1229
MA	12	H	1977	S	280	1050	293	989	194	1059
MA	12	H	1978	S	200	1720	312	1620	302	1630
MA	12	H	1979	S	180	880	230	754	259	715
MA	12	H	1980	S	320	1220	353	1123	274	1167
MA	12	H	1981	S	270	1340	289	1289	283	1313
MA	12	H	1982	S	320	2600	660	2266	556	2295
MA	12	H	1983	S	610	2730	603	2638	580	2666
MA	12	H	1984	S	490	1640	503	1793	481	1765
MA	12	H	1985	S	910	1590	1141	1629	1112	1642
MA	12	H	1986	S	1020	2310	900	2559	803	2617
MA	12	H	1987	S	480	1730	373	2017	433	1872
MA	12	H	1988	S	550	1780	410	1770	469	1783
MA	12	H	1989	S	850	1940	694	1918	605	1929
MA	12	H	1990	S	400	2410	232	2294	252	2279
MA	12	H	1991	S	340	960	265	1028	285	966
MA	12	H	1992	S	480	1220	359	1229	364	1197
MA	12	H	1993	S	490	1090	557	1055	357	1186
MA	12	H	1994	S	530	1590	402	1567	431	1582
MA	12	H	1995	S	340	1180	302	984	277	1021
MA	12	H	1996	S	280	1030	177	994	186	942
MA	12	H	1997	S	350	920	349	875	364	867
MA	12	H	1998	S	240	780	299	767	279	725
MA	12	H	1999	S	300	1130	250	944	296	962
MA	12	H	2000	S	310	1070	203	1172	266	1033
MA	12	H	2001	S	260	1020	315	1013	307	988
MA	12	H	2002	S	290	880	318	771	270	767
MA	12	H	2003	S	280	940	253	908	211	994
MA	12	H	2004	S	360	1300	397	1160	394	1173
MA	12	H	2005	S	210	800	163	787	233	715
MA	12	H	2006	S	200	860	130	845	125	798
MA	12	H	2007	S	440	1080	461	1074	437	1068
MA	12	H	2008	S	360	1320	332	1238	297	1272
MA	12	H	2009	S	280	870	224	857	198	855
MA	12	H	2010	S	270	680	273	645	281	639
MA	12	H	2011	S	380	880	307	791	283	817
MA	12	H	2012	S	300	1060	339	1124	306	1131

Lisa 3. klotsi 7H näitel aastarõngaste laiused eraldi välja tooduna põhja ja lõuna suunal.

PL	NR	KETAS	AASTA	NS	ST	KV	SV	KT
MA	7	H	1973	N	190	1870	1221	1172
MA	7	H	1974	N	270	1700	373	927
MA	7	H	1975	N	240	1840	173	1934
MA	7	H	1976	N	210	1420	265	1398
MA	7	H	1977	N	240	1860	147	1866
MA	7	H	1978	N	290	1420	191	1357
MA	7	H	1979	N	220	1630	227	1592
MA	7	H	1980	N	420	1520	392	1543
MA	7	H	1981	N	290	1960	249	1970
MA	7	H	1982	N	570	2290	614	2077
MA	7	H	1983	N	480	2620	516	2504
MA	7	H	1984	N	320	1800	371	1691
MA	7	H	1985	N	480	1630	396	1473
MA	7	H	1986	N	430	2100	581	1893
MA	7	H	1987	N	180	2550	251	2438
MA	7	H	1988	N	720	1580	605	1541
MA	7	H	1989	N	680	2100	884	1885
MA	7	H	1990	N	290	2280	365	2059
MA	7	H	1991	N	200	1420	346	1337
MA	7	H	1992	N	230	1230	214	1050
MA	7	H	1993	N	260	1460	294	1404
MA	7	H	1994	N	340	1410	370	1273
MA	7	H	1995	N	410	1270	445	1160
MA	7	H	1996	N	260	1600	392	1525
MA	7	H	1997	N	410	1330	427	1200
MA	7	H	1998	N	440	1360	457	1281
MA	7	H	1999	N	250	1940	624	1657
MA	7	H	2000	N	430	2260	421	2017
MA	7	H	2001	N	450	1470	529	1285
MA	7	H	2002	N	300	1600	357	1380
MA	7	H	2003	N	230	800	213	745
MA	7	H	2004	N	250	1310	306	1264
MA	7	H	2005	N	270	950	310	985
MA	7	H	2006	N	410	1210	390	1135
MA	7	H	2007	N	310	1060	345	1049
MA	7	H	2008	N	250	1510	268	1460
MA	7	H	2009	N	330	870	238	944
MA	7	H	2010	N	340	990	365	946
MA	7	H	2011	N	280	1020	292	1008
MA	7	H	2012	N	260	1010	230	915
MA	7	H	1973	S	200	1640	974	1123
MA	7	H	1974	S	200	1670	646	675
MA	7	H	1975	S	240	1740	180	1700

Lisa 3 järg

MA	7	H	1976	S	110	1740	105	1566
MA	7	H	1977	S	190	1390	195	1285
MA	7	H	1978	S	280	1930	150	1947
MA	7	H	1979	S	230	2060	283	2095
MA	7	H	1980	S	310	2170	413	2177
MA	7	H	1981	S	290	2230	387	2097
MA	7	H	1982	S	680	2080	407	2121
MA	7	H	1983	S	460	3090	646	2907
MA	7	H	1984	S	270	2290	338	2082
MA	7	H	1985	S	440	1520	518	1430
MA	7	H	1986	S	460	1640	496	1626
MA	7	H	1987	S	420	2290	275	2220
MA	7	H	1988	S	490	1180	328	1120
MA	7	H	1989	S	660	1620	675	1282
MA	7	H	1990	S	400	2650	451	2552
MA	7	H	1991	S	610	1300	410	1226
MA	7	H	1992	S	460	1000	458	954
MA	7	H	1993	S	310	1560	425	1319
MA	7	H	1994	S	510	1620	530	1395
MA	7	H	1995	S	540	1170	504	1170
MA	7	H	1996	S	360	1620	337	1609
MA	7	H	1997	S	470	1280	352	1290
MA	7	H	1998	S	300	1180	360	1222
MA	7	H	1999	S	480	1410	415	1348
MA	7	H	2000	S	240	1600	390	1605
MA	7	H	2001	S	450	1340	562	1200
MA	7	H	2002	S	420	1490	364	1452
MA	7	H	2003	S	190	970	202	915
MA	7	H	2004	S	240	1220	279	1086
MA	7	H	2005	S	310	1160	338	935
MA	7	H	2006	S	310	930	313	773
MA	7	H	2007	S	380	1010	416	907
MA	7	H	2008	S	360	1360	422	1228
MA	7	H	2009	S	320	990	322	1082
MA	7	H	2010	S	300	940	294	1040
MA	7	H	2011	S	180	750	279	914
MA	7	H	2012	S	240	900	145	953

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Marten Sark, 04.01.1988 (38801040294)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Männipuidu tangentsiaalne kahanemine,

mille juhendaja(d) on teadur Allar Padari

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

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.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 18.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)