



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus ja maaehitusinstituut

**Karel Sarapuu**

**KUUSEPUIDU TANGENTSIAALNE KAHANEMINE**

**TANGENTIAL SHRINKAGE OF NORWAY SPRUCE**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendajad: teadur Allar Padari, *MSc*  
lektor Regino Kask, *PhD*

Tartu 2016

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Karel Sarapuu		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Kuusepuidu tangentsiaalne kahanemine			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 8	Tabeleid: 7	Lisaid: 1
Osakond:	metsatööstus		
Uurimisvaldkond:	puiduteadus		
Juhendaja(d):	teadur Allar Padari, lektor Regino Kask		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2016		
<p>Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida hariliku kuuse (<i>Picea abies</i>) analüüsketaste tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Erilist tähelepanu pööratakse sügis- ja kevadpuidu aastarõngaste laiuste kahanemise võrdlusele.</p> <p>Antud teema aktuaalsus seisneb selles, et kuusepuit on Eestis laialdaselt kasutuses ning kuivamise karakteristikute detailne tundmine võimaldaks tagada kvaliteetsema tulemuse puidu töötlemisel. Uurimustöö aluseks olevad analüüsketad olid lõigatud eelnevate lõputööde (Epler 2014, Kuklas 2014, Ploom 2015) käigus Tartumaalt, Järvelja kvartalilt JS223 langetatud mudelpuudest. Antud töös kaaluti analüüsketad ja mõõdeti aastarõngaste laiused, misjärel kuivatati need ahjus <math>103 \pm 2</math> °C juures 48h ning seejärel korraldi mõõtmisprotsessi muutunud kaalude ja aastarõngaste laiuste leidmiseks.</p> <p>Saadud tulemustest võib järeldada, et hariliku kuuse kuivatamisel on sügispuudu tangentsiaalne kahanemine suurem kui kevadpuidul. Sügispuudu aastarõngaste laiused kahanesisid keskmiselt 2,53%, samal ajal kevadpuudu puhul oli keskmine kahanemine 1,19 %. Kokku kahanesisid aastarõngad keskmiselt 3,72%.</p>			
Kuivatamine, kevadpuit, sügispuuit, aastarõngaste laiused			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Karel Sarapuu		Speciality: Forest economy	
Title: Tangential shrinkage of Norway spruce			
Pages: 31	Figures: 8	Tables: 7	Appendixes: 1
Department: Field of research: Supervisor(s): Place and date:		forest industry wood science researcher Allar Padari, lect. Regino Kask Tartu, 2016	
<p>The objective of this bachelor's thesis is to study tangential shrinkage of Norway spruce (<i>Picea abies</i>). In particular, the aim of this bachelor's thesis is to compare undried and dried tangential shrinkage of early- and latewood. This subject is very important because Norway spruce is widely spread in Estonia and knowing its structural differences helps to achieve higher quality wood products. At the beginning of this thesis, there were 50 analyse boards which could be used for the objective of this thesis. They were all collected in the year 2013 from Estonia, Tartu county, Järvelja forest block JS223 by the previous thesises (Epler 2014, Kuklas 2014, Ploom 2015).</p> <p>All the boards were weighed, growth rings were measured under the microscope and then dried. After that, the boards were dried at <math>103 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> for 48h, after which the boards were weighed again and re-measured to find out how the growth rings had changed while the wood dried.</p> <p>The result of this work is is that early wood shrunk tangentially average of 2,53% and late wood shrunk 1.19% on average. All together Norway spruce growth rings shrunk total of 3.72%.</p>			
Drying, earlywood, latewood, growth rings			

# SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	6
1.1. Perekond kuusk.....	6
1.1.1. Harilik kuusk.....	6
1.2. Puidu omadused.....	7
1.2.1. Puidu koostis.....	7
1.2.2. Puidu struktuur.....	8
1.2.3. Puidu niiskus ja kuivatamine.....	9
1.2.4. Erinevate puiduliikide kuivamine.....	10
1.3. Kuusepuidu kasutamine.....	11
2. ANDMED JA METOODIKA.....	12
2.1. Uurimisobjektide iseloomustus.....	12
2.2. Laboritöö.....	12
2.3. Aastarõngaste mõõtmine.....	13
2.4. Andmeteanalüüs.....	15
2.5. Puidu niiskuse muutumine.....	16
2.6. Aastarõngaste keskmiste tulemuste arvutamine.....	18
3. TULEMUSED JA ARUTELU.....	20
3.1. Aastarõngaste laiuste muutused.....	20
3.2. Puidu niiskuse muutumine.....	20
3.3. Kevadpuidu võrdlus enne ja pärast kuivatamist.....	21
3.4. Sügispuidu võrdlus enne ja pärast kuivatamist.....	22
3.5. Kuusepuidu keskmine kahanemine kuivatades.....	23
KOKKUVÕTE.....	24
SUMMARY.....	25
VIIDATUD ALLIKAD.....	26
LISAD.....	27
Lisa 1. Kuivatamata ja kuivatatud aastarõngaste mõõtmistulemused.....	28

## SISSEJUHATUS

Eestis on metsamaad 2,209 mln ha, mis moodustab 50,5% maismaa pinnast. Ühe elaniku kohta teeb see 1,68 ha metsamaad, mis ületab maailma keskmise peaaegu kolmekordselt ning asetab meid Euroopas viiendale kohale: Soome, Rootsi, Norra ja Venemaa järel. Peapuuliigina kasvab Eesti metsades harilik kuusk 19,2% riigimetsadest ja 17,2% erametsadest. (Laas jt. 2011)

Laialdasele leviku ja lihtsa kättesaadavuse tõttu on see leidnud kasutust nii ehituses, mööblitööstuses kui ka paljudes teistes valdkondades. Puidu kuivatamine on vajalik algmaterjali töötlemise võimaldamiseks ning lõpptoote kvaliteedi tagamiseks.

Käesolev bakalaureusetöö uurib hariliku kuuse tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Erilist tähelepanu pööratakse sügis- ja kevadpuidu näitajate võrdlemisele, sest sügispuuit on tihedam ning tänu sellele peaks kuivamisel rohkem kokku tõmbuma. Töö jaotati järgnevasse etappidesse: kuivatamata analüüsklotside mõõtmine, analüüsklotside kuivatamine, kuivatatud analüüsklotside mõõtmine ja kogutud andmete analüüs.

Uurimustöö aluseks olevad analüüskettad olid lõigatud eelnevate lõputööde (Epler 2014, Kuklas 2014, Ploom 2015) käigus Tartumaalt, Järvselja kvartalilt JS223 langetatud mudelpuudest. Antud töös kaaluti analüüsketas ja mõõdeti aastarõngaste laiused, misjärel kuivatati neid ahjus  $103 \pm 2$  °C juures 48h, millega saavutati puidu absoluutne kuivus. Seejärel korrati mõõtmisprotsessi muutunud kaalude ja aastarõngaste laiuste leidmiseks.

Antud bakalaureusetöö koosneb kirjandusallikate ülevaatest, saadud mõõtmistulemuste analüüsist ja nende põhjal tehtud järeldustest.

Töös analüüsitud mõõtmistulemusi saab rakendada näiteks puidu töötlemisel, kuna need võimaldavad järeldada, kui suure aastarõngaste laiuste muutusega tuleb arvestada hariliku kuuse kuivatamisel.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Perekond kuusk

Kuuse perekonda (*Picea A.Dietr.*) kuuluvad liigid on suurekasvulised puud, mille oksad asuvad männasjalt ning tihti esineb ka männastevahelisi lühemaid külgakasve. Kuuse võra on enamikel liikidel koonusjas, eri vormidel ka sammajas või kerajas. Vabalt kasvavatel kuuskedel, ulatub võra peaaegu maapinnani, mistõttu alumised oskad võivad juurduda. Okkad on terveservalised, rombjad, lamedad ja õhulõheread on ainult okaste alaküljel. (Laas 1987)

Kuusel leidub vaigukäike nii puidus kui koores ning samuti ka okastes. Varajases eas on kuuse koor sile, vanemas eas (umbes 30-35aastased) moodustub soomusjas korp.(Laas 1987)

Kuuse perekonna esindajad tekkisid Euroopas kriidajastul, kuni jääajani kasvas kuusk terves Põhja-Euroopas. Sel perioodil kujunesid välja erinevad kuuse liigid Euroopas, kaasaarvatud harilik kuusk (*Picea abies*). Kokku on kuuse perekonnas umbes 45 liiki ja nende kasvupaigaks on põhjapoolkera. Eestis kasvab looduslikult ainult üks liik – harilik kuusk (*Picea abies*). (Laas 1987)

### 1.1.1. Harilik kuusk

Harilik kuusk (*Picea abies*) kasvab tavaliselt kuni 30 m kõrguseks, väga heades tingimustes ka kuni 50–60 m kõrguseks. Tegemist on küpspuidulise, varjutaluva ja sirgetüvelise puuga, mille vanematel isenditel on tüve läbimõõt kuni üle ühe meetri. Hariliku kuuse võra on kitsaskoonusjas, oksad asetsevad horisontaalselt, tüve alumises osas ja vanematel puudel ka rippuvalt.(Laas 1987)

Kuuse välis- ja küpsuit on mõlemad värvuselt kollakasvalged, mistõttu on neid raske omavahel eristada. Seevastu aastarõngad on kuusel üldiselt hästi eristatavad. Kuuse puitu on kerge lõhustada ja töödelda, puit on vastuvõtlik mädanikele ja putukakahjustustele. (Saarman ja Veibri 2006)

Hariliku kuuse juurestik ulatub umbes 40 cm sügavusele maapinda. Enamus juurestikust on aga kuni 10 cm sügavusel maapinnas. Harilik kuusk eelistab jahedat ja toitainerikast mulda. (Tjoekler jt 2007)

Viimase aasta võrsed on paljad või hõrekarvased (pruunika tooniga), roostepunased või helekollakaspruunid ning nõrga läikega. Pungad on teritunud tipuga, pruunid ja vaiguvad. Seemikud kasvavad esimestel aastatel aeglaselt: kolme aastaga kasvab harilik kuusk umbes 20 cm kõrguseks. Vanemaks saades kasvukiirus suureneb, heades tingimustes on aastane juurdekasv lausa 70–100 cm. Juurdekasv on maksimaalne vanuseni 15–35 a. (Laas 1987)

Viljakandvus tekib 20–30 aastaselt puudel, mis kasvavad üksikult. Puistus kasvades algab viljakus alles 30–50 aastaselt. Hariliku kuuse areaali põhjapiiriks on Norras 67° põhjalaius, Rootsis 65° põhjalaius ning Soomes ja Venemaal 69,30° põhjalaius. Idasuunas ei ole võimalik täpset piiri paika panna, kuna esineb üleminekuvorme hariliku kuuse (*Picea abies*) ja siberi kuuse (*Picea obovata* Ledeb) vahel. (Laas 1987)

## **1.2. Puidu omadused**

Kõikide puittaimede kasvamist ja vormi mõjutab selle geneetiline kood. See kombineerituna keskkonna mõjudega, nagu valgus, temperatuur, vesi, toitainete kättesaadavus ja tuul, määrab puu maksimaalse kasvu ja omadused. (Schweingruber 1996)

### **1.2.1. Puidu koostis**

Puidu põhilised koostisosad on looduslikud ained nagu tselluloos, ligniin, rasvad ja vaik. Mehaanilise tugevuse annab puidule ligniin. Keemiliselt koosneb puit 50% süsinikust, 43% hapnikust, 6% vesinikust, 0,2% lämmastikust ja 0,8% ulatusest erinevatest ainetest

elementidest nagu naatrium, kaalium, kaltsium, fosfor. Okaspuu mahust rohkem kui 95% moodustavad tüvesuunalised torukujulised rakud ehk trahheiidid. Trahheiid on piklik ja kitsas otsast peenenev, vanemas eas poorsete seintega, koerakk, mille pikkus on 2–5 mm ja läbimõõt 0,02–0,05 mm. Nende koerakkude ülesanne on anda puidule mehaaniline tugevus ja lisaks juhtida elavas puidus mahlade liikumist, mida reguleerivad rakkudevahelised membraanid.(Lust jt 2015)

### **1.2.2. Puidu struktuur**

Puidu kõige keskmisest osast ehk säsist saab alguse puu kasv, seda ümbritseb lülipuit, mis koosneb surnud puurakkudest. Puidu väliskihis asub maltspuit, mis on heledam ja suurema vedeliku sisaldusega kui lülipuit. Maltspuidus liiguvad toitemahlad juurestikust tipu suunas. Puidu pealne kiht ehk koor koosneb korbast, korkkoest ja niinest. Korba ülesanne on kaitsta puitu väliste vigastuste eest, niines asub toitemahlade juhtimine ja korkkoe eesmärk on kaitsta puitu temperatuurikõikumiste eest.(Lust jt 2015)

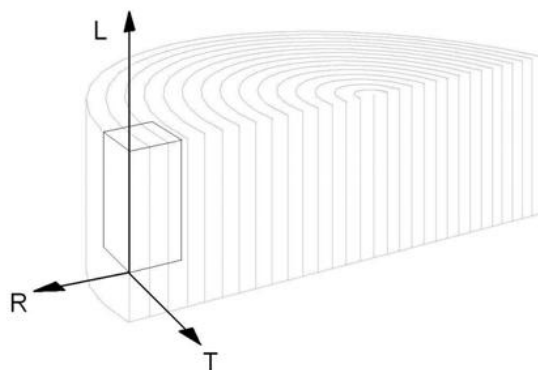
Okaspuu sügispuut võib olla kuni kolm korda tihedam kui kevadpuut. Okaspuudel on sügispuudu laius 20–25% kogu aastarõnga suuruselt, kohati võib see kerkida kuni 40 % ni. Laiad aastarõngad näitavad suuremat kevadpuudu sisaldust, kuid samas tähendab see, et puudu tugevus pole väga kõrge. Just sügisel tekkivad kitsamad aastarõngad annavad puudu tiheduse ja tugevuse.(Saarman 1998)

Okaspuu puut on anisotroopne materjal, mis tähendab, et selle anatoomilised ja füüsilised omadused on eri suundades erisugused. Okaspuu parimad omadused on pikisuunas, kuid seda tüüpi puudu paremini tundma õppimiseks on vajalik määrata puutu iseloomustavad põhisuunad.(Saarman 1998)

Joonisel 1 on ära näidatud kõik kolm puudu põhisuunda: pikisuund, radiaalsuund ja tangentsiaal suund. Vaadeldes puutüki ristlõiget on võimalik määrata neist kaks:

- Radiaalsuund kulgeb tüve keskelt, säsist, puu väliskihtide suunas.
- Tangentsiaalsuund on piki aastarõngaid lähtuv suund.(Saarman 1998)





**Joonis 1.** Puidu suunad, kus L- pikisuund, R- radiaalsuund, T-tangentsiaalsuund (Dahl 2009)

### 1.2.3. Puidu niiskus ja kuivatamine

Puidu niiskus on märgaine ja puidu massi vaheline suhe väljendatud protsentides. Niiskust puidus saab jaotada kaheks:

- absoluutne niiskus
- suhteline niiskus

Absoluutne niiskus näitab vee sisaldust absoluutselt kuiva puidu, suhteline niiskus märja puidu massi kohta.

Eluspuu on alati niiske. Märgaine sisaldus erineb puuliigiti ja sõltub puu kasvukohast, aastaajast jne. Värskest raiutult männi ja kuuse niiskus jääb 60–100% vahele, samas kui lehtpuulistel, nagu kask ja lehis, on värske puidu niiskusprotsent 50–90%. (Reiska ja Meier 2008)

Niiskust kaotades muutub puidu struktuur, mistõttu on vaja puitu enne kasutamist kuivatada. Kuniks puidus on niiskust rohkem kui 30% toimub kahanemine igas suunas samamoodi, 30% piiri ületades hakkab puitu kuivatades kahanemine toimuma erinevalt. Võrreldes sama niiskussisaldusega puitu, kahanevad need kuivades erinevalt. Vaadeldes muutust küllastuspiirist kuni absoluutkuiva puiduni on kahanemine radiaalselt 3–6% ja tangentsiaalselt 6–12%. Kõige väiksem on muutus pikisuunas, jäädes vahemikku 0,1–0,3%. (Mortensen 2007)

Puidu kuivatamise eesmärgiks on saada puidu sisekihtides olev niiskus liikuma puidu väliskihtidesse, kus see aurustub. Sealjuures on aurustumine võimalik ainult niikaua, kuni ümbritseva keskkonna suhteline õhuniiskus ei ületa 100%.(Reiska ja Meier 2008)

Tavaliselt kuivatatakse puitu niiskussisalduseni 20%. See on nivoo, kus puit on õhukuiv ja vastupidavam putukakahjustustele.(Saarman ja Veibri 2006)

#### 1.2.4. Erinevate puiduliikide kuivamine

Niiskuse eemaldamisel muutub puidu struktuur puuliikide vahel erinevalt. Puidu kuivamisel toimub nii radiaalne, tangentsiaalne kui ka mahuline muutumine. Erinevus eksisteerib ka lehtpuuliste ja okaspuuliste vahel.

Tabelis 1 on välja toodud hariliku kuuse (*Picea abies*), hariliku männi (*Pinus sylvestris*), arukase (*Betula pendula*) ja hariliku tamme (*Quercus robur*) radiaalse-, tangentsiaalse- ja mahulise koefitsiendi muutused puidu kuivatamisel niiskussisalduseni 0%.

**Tabel 1.** Erinevate puuliikide puidu kahanemise tegur kuivamisel (Saarman ja Veibri 2006)

Puuliigi nimetus	Kasvupiirkond	Kahanemise tegur (koef.) kuivamisel (%)		
		radiaalselt	tangentsiaalselt	mahulise
Harilik kuusk	Kesk-Vene	0,14	0,24	0,40
	Ukraina	0,17	0,30	0,49
Harilik mänd	Kesk-Vene	0,18	0,33	0,53
	Leedu	0,16	0,30	0,48
Arukask	Kesk-Vene	0,27	0,32	0,61
	Karjala	0,31	0,37	0,70
Harilik tamm	Kesk-Vene	0,20	0,30	0,52
	Ukraina	0,19	0,30	0,51

Puidu kahanemine kuivamisel oleneb puu kasvamise asukohast, kas on tegu soojema või niiskema kliimaga, valgustatuse tasemest ja kasvukohatüübist.(Saarman ja Veibri 2006)

### **1.3. Kuusepuidu kasutamine**

Kuusepuitu kasutatakse laialdaselt ehituses, mööblitööstuses ja muusikariistade valmistamisel. Ehituses kasutatakse seda eelkõige lauade tootmiseks, konstruktsioonimaterjalides ning lisaks näiteks aknaraamide ehitamisel. Samuti on kuusk oluline paberivalmistamise tooraine.

Mitmekesine kasutusvaldkond tuleneb sellest, et kuusepuitu on lihtne töödelda ja see on kergesti kuivatatav. Kasutusvaldkondade arvukus on tingitud ka asjaolust, et Eestis on kuusepuit laialt levinud ja kergesti kättesaadav.

## 2. ANDMED JA METOODIKA

### 2.1. Uurimisobjektide iseloomustus

Antud lõputöö uurimismaterjal on saadud kuue hariliku kuuse mudelpuust (tabel 2) ja neist lõigatud analüüsketastest. Mudelpuud langetati 2013.a jaanuaris Tartumaalt Järvelja kvartalilt JS223, eraldi 1. Tegemist oli jänesekapsa-mustika kasvukohatüübiga. Enamuspuuliigiks antud eraldi oli kuusk, mille keskmine vanus oli 90 aastat. (Epler 2014)

**Tabel 2.** Kuusepuude takseerandmed (Korjuhin 2013)

Puu nr	Puu	Diameeter, (cm)	Kõrgus, (m)
13	KU	32,05	29,09
14	KU	32,55	27,32
15	KU	35,05	29,11
16	KU	32,55	27,61
17	KU	21,85	22,72
18	KU	26,95	27,43

Analüüsketaste kogumist alustati nullkettast ehk kannukettast. Järgnevalt lõigati analüüsklots 1,3 m kõrguselt juurekaelalt ning liiguti tipu suunas sammuga 3,1 m. Kokku oli lõputöö mõõtmiste tegemiseks kasutada 50 analüüsketast.

Mudelpuude langetamisel, nendest tehtud analüüsketaste lõikamisel ja lihvimisel autor ei osalenud. Autori ülesandeks oli lõigatud ja lihvitud klotside sorteerimine, kaalumine, aastarõngaste laiuste mõõtmine, klotside kuivatamine ning tulemuste analüüs. Juhised ja materjali sai autor lõputöö juhendajalt.

### 2.2. Laboritöö

Esmalt kaaluti lihvitud, kuid kuivatamata analüüsketad (joonis 2), milleks kasutati kaalusid Precisa XB 6200D ja KERN PLB 1000 – 2. Esimene neist võimaldas kaaluda kuni 6000g klotse ja teine kuni 1000g kettaid. Saadud ketaste kaalud kanti Exceli tabelisse.



**Joonis 2.** Kuuse mudelpuust lõigatud analüüskettad (autori foto)

Seejärel mõõdeti analüüsketaste aastarõngaste laiused stereomikroskoopi *LINTAB*<sup>TM</sup> abil, millega oli ühildatud programm *TSAP-win*<sup>TM</sup>. See süsteem võimaldas sooritada mõõtmisi täpsusastmega 0,001 mm. (Rinn 2013)

Valitud stereomikroskoop oli mõõtmiste jaoks sobiv, sest see võimaldas muuta objektiivi kõrgust vastavalt analüüsketta suurustele. Abiks oli ka mõõtmise teostamise ajal kõlav helisignaal, mis andis teada, et soovitud mõõtmiskoht on programmi sisestatud.

### **2.3. Aastarõngaste mõõtmine**

Kõik analüüskettad olid eelnevate lõputööde (Epler 2014, Ploom 2014, Kuklas 2014) käigus lihvitud, et neid saaks mikroskoobi all mõõta. Lisaks oli klotsidele peale märgitud

järjekorranumbrid, põhja- ja lõunasuunad ning tehtud skalpelli või pliiatsiga joon, mida mööda mõõtmisi sooritada (joonis 3).



**Joonis 3.** Pliiatsiga märgitud mõõtmisjoon näidisklotsil (autori foto)

Käesolevas töös sooritati mõõtmised 0,1–0,3 cm skalpelli-või pliiatsi joonest kõrgemalt. Mõõtmisjoone paika panemiseks reguleeriti mikroskoobi all keskpunktiks säsi ning seejärel seadistati aastarõngaste laiuste mõõtmiseks mikroskoobi fookus puuklotsi koorepoolsesse alguspunkti, aastarõnga algusesse, vahepeal klotsi puutumata. Mõõtmised teostati alati liikudes koorepoolselt suunast säsi poole. Kõik mõõtmised sooritati mikromillimeetri täpsusega. Pärast põhjasuunas mõõtmiste lõpetamist tõsteti klots ümber lõunasuunas mõõtmise teostamiseks. Mikroskoop seadistati õigele kõrgusele ja mõõtmised sooritati kasutades sama metoodikat – piki ettemärgitud joont. Mõõtmisi sooritati nii, et eraldi saadi kevad- ja sügispuidu laiused.

Pärast esmast aastarõngaste mõõtmist, asetati klotsid ahju kuivama. Kuivatamiseks kasutati Memmert ULE-500 ahju. Temperatuur seadistati  $103 \pm 2$  kraadile (ISO 3130:1975) ja klotsid jäeti ahju kuivama 48 tunniks. ISO standardi järgi kuivatades saavutati analüüsketaste absoluutne kuivus, kus puidust eemaldati kogu niiskus.

Kuivatamistsükli lõppedes võeti analüüskettad ükshaaval ahjust välja ning koheselt sooritati mõõtmised kaalu ja aastarõngaste laiuste leidmiseks. Kordusmõõtmiste ja kaalumise eesmärk oli saada teada, kui palju on ahjus kuumutamine muutnud puidu kaalu ja aastarõngaste suurusi. Mõõtmised teostati taaskord alustades põhjasuunast ja seejärel lõunasuunast.

Pärast kõikide analüüsketaste mõõtmiste teostamist alustati andmeanalüüsiga. Mõõtmiste tulemusena saadi andmed toasoojas seisnud kevad- ja sügispuidu aastarõngaste suurustest ning nende suuruste muutumisest pärast ahjus kuivatamist.

## 2.4. Andmeteanalüüs

Kogutud andmed kanti FoxPro keskkonda, kus toimus nende esialgne korrastamine. Lisaks teostati FoxPros ka esialgne andmete analüüs ning andmed töödeldi ümber Excelile sobilikuks. Eesmärk oli saada teada, kui palju on kuivatamistsükli jooksul muutunud iga kuuseklotsi kevad- ja sügispuidu aastarõngaste suurus. Iga puuklotsi kohta sai koostatud eraldi Exceli fail, millesse kanti puu liik, analüüsketta number ja tähis, mõõtmise suund, mõõtmistulemused sügis- ja kevadpuidu kohta eraldi ja puu vanus (tabel 3).

**Tabel 3.** Mõõdetud andmed sisestatud Exceli keskkonda, 14HN näide

Puuliik	Nr	Ketas	Aasta	Suund	Sügis (µm)	Kevad (µm)
KU	14	H	1988	N	196	300
KU	14	H	1989	N	72	623
KU	14	H	1990	N	294	827
KU	14	H	1991	N	272	1137
KU	14	H	1992	N	79	497
KU	14	H	1993	N	107	851
KU	14	H	1994	N	85	683
KU	14	H	1995	N	145	720
KU	14	H	1996	N	91	528
KU	14	H	1997	N	168	731
KU	14	H	1998	N	141	468
KU	14	H	1999	N	228	658
KU	14	H	2000	N	60	424
KU	14	H	2001	N	102	642
KU	14	H	2002	N	224	564
KU	14	H	2003	N	105	920
KU	14	H	2004	N	194	1076

Tabel 3 järg

KU	14	H	2005	N	136	1233
KU	14	H	2006	N	130	971
KU	14	H	2007	N	183	894
KU	14	H	2008	N	160	834
KU	14	H	2009	N	141	773
KU	14	H	2010	N	115	966
KU	14	H	2011	N	193	984
KU	14	H	2012	N	193	930

Peale esmaste andmete korrigeerimist jäi lõplikuks analüüsiks kokku 49 analüüsketta andmed, kust sai võrrelda kevad- ja sügispuidus toimunud aastarõngaste kahanemist. Lisaks eelnimetatutele jäi kasutusse 17N analüüsketas, kust sai mõõta ainult põhjasuunas toimunud muutusi, sest lõunasuunaline osa analüüskettast oli puudulik. Bakalaureusetöö aluseks olnud lõputöös (Epler 2014) valminud analüüsiketastest tuli välja arvestada kettad, mille mõõtmine polnud võimalik, näiteks puuduvad ja kahjustunud kettad. Kokku teostati 99 mõõtmist, mille käigus kogutud andmeid sai hiljem analüüsida.

## 2.5. Puidu niiskuse muutumine

Tabelis 4 on näidatud analüüsiketaste kaalud enne ja peale kuivatamist autori poolt ning kaalutud märgade analüüsiketaste kaal mõõdetuna Kenno Epler (2014) lõputöös. Lisaks on arvutatud niiskuse protsendi vähenemine märja puidu kuivamisel (valem 1) ning õhkuivas seisnud puidu kuivatamiselt saadud niiskuse vähenemine.

Puidu suhtelise niiskuse arvutamiseks kasutati valemit 1:

$$W = \frac{M_e - M_p}{M_e} \cdot 100, \quad (2.1)$$

kus W – niiskus (%)

$M_e$  – puidu mass enne kuivatamist (g)

$M_p$  – puidu mass pärast kuivatamist (g)



**Tabel 4.** Analüüsketaste kaalud grammides enne ja pärast kuivatamist

Puu nr	Ketas	Märgpuidu kaal (g)	Õhkuiva puidu kaal (g)	Puidu kaal pärast kuivatamist (g)	Õhkuiva puidu niiskusesaldus (%)	Märgpuidu suhteline niiskus (%)
13	0	1355,92	1017,3	1009,2	0,80	25,57
13	C	839,57	508,37	484,57	4,68	42,28
13	D	777,88	455,69	433,3	4,91	44,30
13	E	699,04	425,69	403,86	5,13	42,23
13	F	588,01	333,34	307,3	7,81	47,74
13	G	621,04	290,46	267,56	7,88	56,92
13	H	437,27	201,2	190,54	5,30	56,43
14	1,3	180,37	151,26	144,77	4,29	19,74
14	A	989,41	710,22	677,55	4,60	31,52
14	B	882,84	588,02	562,91	4,27	36,24
14	C	-	453,61	430,88	5,01	-
14	D	630,15	403,33	382,32	5,21	39,33
14	E	536	326,97	311,35	4,78	41,91
14	F	821,32	428,11	394,69	7,81	51,94
14	H	202,42	98,43	90,66	7,89	55,21
15	1,3	301,85	253	241,4	4,58	20,03
15	A	1157,77	522,7	501,05	4,14	56,72
15	B	1072,42	686,65	657,55	4,24	38,69
15	C	893,42	559,11	530,66	5,09	40,60
15	D	726	476,86	452,93	5,02	37,61
15	E	598,2	369,89	352,23	4,77	41,12
15	F	594,85	352,97	325,98	7,65	45,20
15	G	579,9	279,24	265,45	4,94	54,22
15	H	463,98	234,53	216,01	7,90	53,44
16	1,3	196,89	165,12	158,01	4,31	19,75
16	B	824,75	563,31	537,29	4,62	34,85
16	C	696,44	453,75	433,28	4,51	37,79
16	D	746,84	489,16	463,52	5,24	37,94
16	E	435,14	271,33	257,81	4,98	40,75
16	F	462,68	279,34	265,15	5,08	42,69
16	G	398,7	193,65	178,39	7,88	55,26
16	H	316,15	154,39	142,41	7,76	54,95
17	0-N	890,8	418,93	399,68	4,60	55,13
17	1,3	119,29	103,51	98,79	4,56	17,19
17	A	725,73	479,06	458,92	4,20	36,76
17	B	701,63	475,74	454,16	4,54	35,27
17	C	595,14	392,25	362,29	7,64	39,13

Tabel 4 järg

17	D	455,45	300,42	277,28	7,70	39,12
17	E	343,93	202,43	192,77	4,77	43,95
17	F	253,18	143,75	132,48	7,84	47,67
17	G	132,96	76,39	72,78	4,73	45,26
18	1,3	158,74	135,55	129,83	4,22	18,21
18	A	914,32	344,92	321,86	6,69	64,80
18	B	780,24	520,37	498,22	4,26	36,15
18	C	645,2	468,87	433,87	7,46	32,75
18	D	623,56	410,04	391,55	4,51	37,21
18	E	429,9	289,47	267,28	7,67	37,83
18	F	670,54	362,7	334,71	7,72	50,08
18	G	334,47	169,07	156,12	7,66	53,32
18	H	252,55	125,62	119,26	5,06	52,78

Märkused. Märgpuidu kaal on mõõdetud varasemas lõputöös (Epler 2014).

## 2.6. Aastarõngaste keskmiste tulemuste arvutamine

Edasine töö hõlmas iga mõõdetud analüüsketta põhja- ja lõunasuuna aastarõngaste keskmiste laiuste arvutamist. Selleks kasutati valemit 2. Arvutused tehti nii kuivatamata kui kuivatatud puidu kohta. Tabel 5 väljendab, analüüsketta 16C arvutatud keskmised aastarõngaste sügis- ja kevadpuidu osalaiused.

Analüüsketta osalaiuste keskmised arvutati kasutades valemit;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2)$$

kus  $\bar{x}$  – aritmeetiline keskmine

n – liidetavate arv

$x_i$  – iga individuaalse liikme väärtus valimist, millest keskmist võetak

**Tabel 5.** Analüüsketta 16C keskmised mõõtmistulemused ( $\mu\text{m}$ )

	Kuivatamata sügis	Kuivatatud sügis	Kuivatamata kevad	Kuivatatud kevad
16CN	296,873	257,333	1507,968	1500,726
16CS	263,571	238,270	1348,952	1335,794
16C	560,444	495,603	2856,921	2836,519

Sama meetodikat kasutades leiti ka aastarõngaste keskmised laiused iga mudelpuu kohta (Lisa 1).

Seejärel arvutati omakorda keskmine kõigi 50 analüüsketta lõikes. Selleks kasutati taaskord valemit 2. Saadud tulemused on välja toodud tabelis 6.

**Tabel 6.** Mõõdetud aastarõngaste kõigi keskmiste summa ( $\mu\text{m}$ )

Kuivatamata sügis	Kuivatatud sügis	Kuivatamata kevad	Kuivatatud kevad
293,554	286,323	1274,659	1259,645

Saadud aastarõngaste keskmisi kasutades arvutati valem 3 abil välja, mitu protsenti kahanes sügis- ja kevadpuit kuivatamisel.

Puidu aastarõngaste kahanemisprotsendi arvutamiseks kasutati valemit:

$$K_{\%} = \frac{\sum_{i=1}^n (l_{ve}) - \sum_{i=1}^n (l_{hp})}{\sum_{i=1}^n (l_{hp})} \cdot 100, \quad (3)$$

kus  $K_{\%}$  – puidu kahanemise protsent

$l_{ve}$  – aastarõnga laius enne kuivatamist

$l_{hp}$  – aastarõnga laius pärast kuivatamist

### **3. TULEMUSED JA ARUTELU**

#### **3.1. Aastarõngaste laiuste muutused**

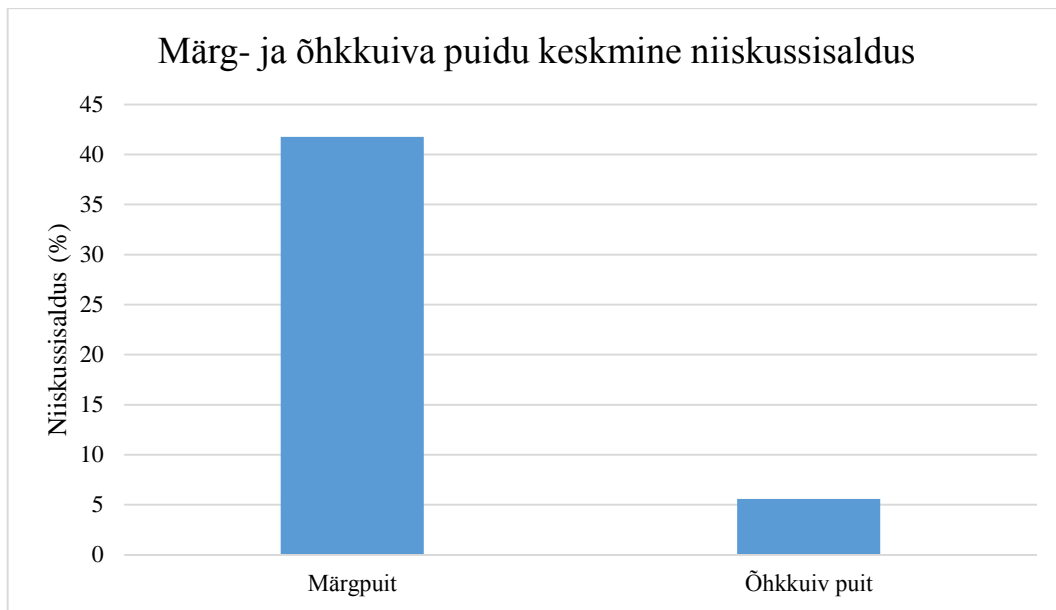
Okaspuu puit ei muutu kuivades igas suunas sama palju. Tangentsiaalne deformatsioon on kuivades suurem kui risti- või pikikidu muutus. (Lust jt 2015) Puidu kasutusvaldkond on väga suur ja lai ning puidu kuivamise tundmine on oluline lõpp-produkti edukaks tootmiseks ja kvaliteedi hoidmiseks.

#### **3.2. Puidu niiskuse muutumine**

Saadud tulemuste puhul tuleb arvesse võtta, et töös kasutatud analüüskettaid ei olnud hoitud pärast lõikamist kindlal temperatuuril, kindla aja vältel. Neid oli hoiustatud keskmisest soojemas ja kuivemas keskkonnas, mistõttu olid analüüskettad juba enne ahjus kuivatamist kuivemad, kui oleksid olnud sama ajal jooksul toaõhus kuivanud klotsid.

Tabelist 4 järeldub, et töös kasutatud analüüsketaste märgpuidu keskmine niiskussisaldus oli 41,75%, kuid töö alustamise hetkel jäi see vahemikku 0,8%–7,9%.

Joonisel 4 on näidatud märgade ja õhkuivade analüüsketaste keskmised niiskussisaldused. Õhkuiva puidu niiskussisaldus enne kuivatamist oli keskmiselt 5,58%, seega oli seisnud analüüsketaste niiskussisaldus võrreldes märgpuiduga vähenenud 36,17%.

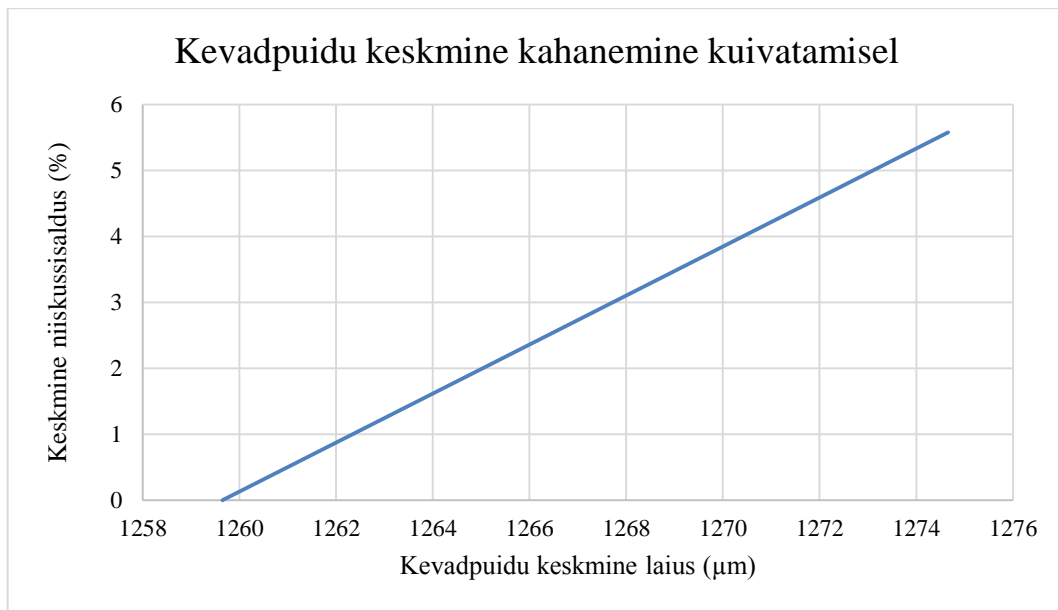


**Joonis 4.** Analüüsketaste keskmine niiskussisaldus märg- ja õhkuiva puidu puhul

### 3.3. Kevadpuidu võrdlus enne ja pärast kuivatamist

Okaspuudel moodustab kevadpuidu laius keskmiselt 75–80% aastarõnga laiusest, mõnikord aga ainult 60%. Mida laiemad on aastarõngad, seda suurem on üldjuhul kevadpuidu osakaal. (Saarman ja Veibri 2006)

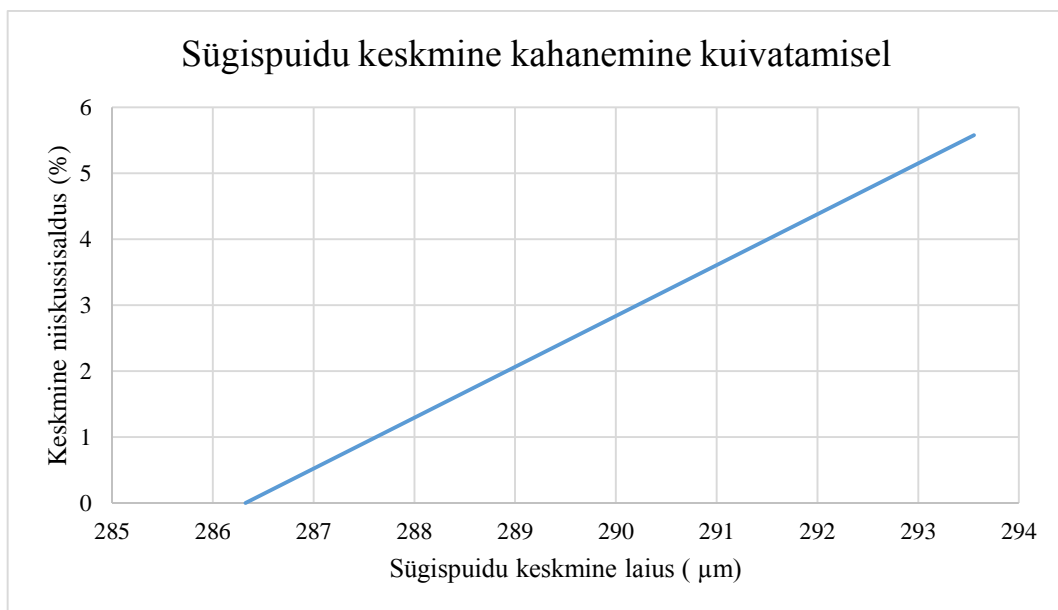
Joonisel 5 on näidatud, kuidas analüüsketastelt mõõdetud kevadpuidu laiused keskmiselt kahanesid niiskuse vähenemisel absoluutkuivani. Mõõtmistulemustest võib järeldada, et hariliku kuuse aastarõngaste kevadpuidu osalaiused kahanesid kuivatamisel keskmiselt 1,19%.



**Joonis 5.** Kevadpuidu keskmine kahanemine kuivatades

### 3.4. Sügispuidu võrdlus enne ja pärast kuivatamist

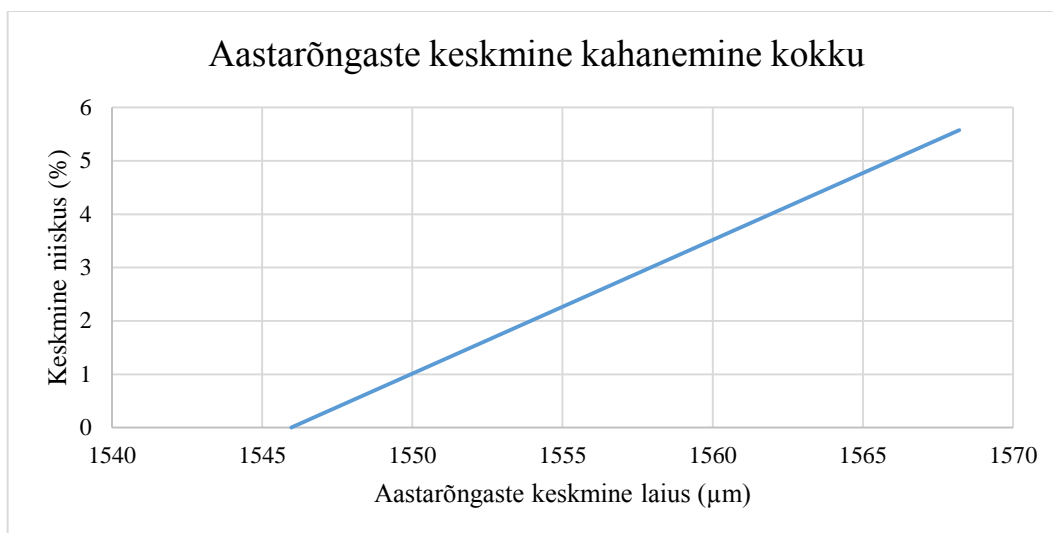
Kuna sügispuidu tihedus on suurem, kahanes see eelduspäraselt kuivatamisel enam kui kevadpuit. Täpsemini selgus, et sügispuit kahanes üle kahe korra enam kui kevadpuit. Joonisel 2 on näha aastarõngaste sügispuidu osalaiuste kahanemist niiskussisalduse vähenedes. Keskmiselt kahanes sügispuit kuivatamisel absoluutkuiva puiduni 2,53%.



**Joonis 6.** Sügispuidu keskmine kahanemine niiskussisalduse vähenedes

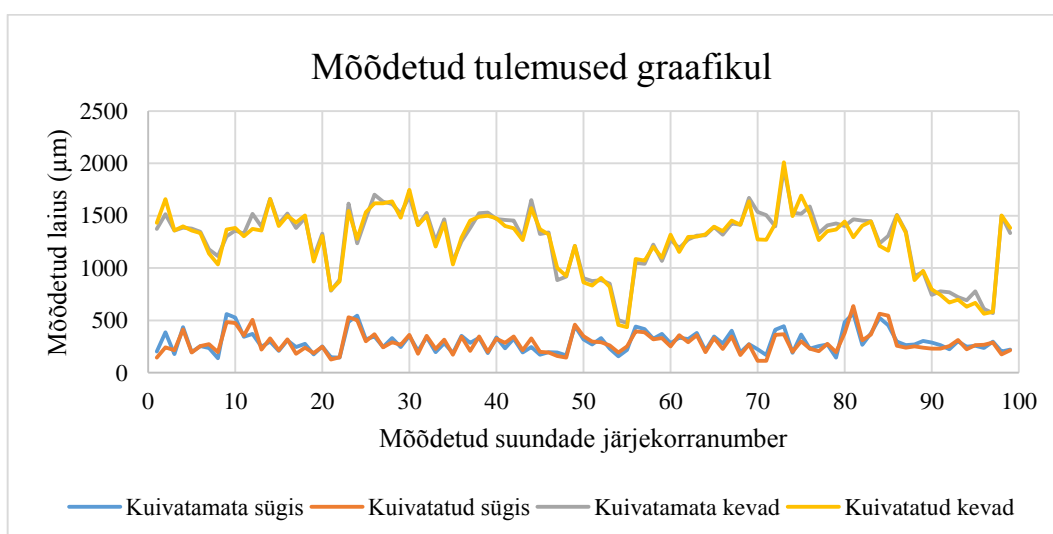
### 3.5. Kuusepuidu keskmine kahanemine kuivatades

Joonisel 6 on näidatud aastarõnga keskmiste laiuste kahanemine, koos keskmise niiskussisalduse muutusega. Kokku on liidetud kevad- ja sügispuidu mõõtmistulemuste keskmised. Hariliku kuuse kuivatamisel kahanesid aastarõngad analüüsketastel keskmiselt kokku 3,72%.



**Joonis 7.** Aastarõngaste keskmine kahanemine kuivatades

Joonisel 8 on näha kõigi analüüsketaste mõõdetud suundade aastarõngaste sügis- ja kevadpuidu osalaiuste keskmised enne ja pärast kuivatamist. Kokku sooritati 99 mõõtmist mille käigus mõõdeti nii sügis-, kui ka kevadpuidu laiused enne ja pärast kuivatamist.



**Joonis 8.** Mõõdetud analüüsketaste keskmised laiused

## KOKKUVÕTE

Antud bakalaureusetöös uuriti hariliku kuuse (*Picea abies*) aastarõngaste tangentsiaalset kahanemist kuivatamisel. Eesmärgiks oli võrrelda, kui palju muutuvad kuivatamise käigus sügis- ja kevadpuidu osalaiused.

Kasutatavad analüüskettad olid töödeldud eelnevate lõputööde (Epler 2014, Kuklas 2014, Ploom 2015) käigus nii, et aastarõngaid sai mõõta mikroskoobi all. Analüüskettad pärinesid algupäraselt 2013.a langetatud mudelpuudelt Järvelja kvartalilt JS223. Kokku oli lõputöös kasutada 50 hariliku kuuse analüüsketast.

Kasutatud analüüskettaid säilitati enne töö algust keskmisest kuivemates ja soojematestingimustel, seetõttu oli töö alustamise hetkeks ketaste niiskussisaldus kahanenud keskmiselt 36,17%, jäädes mõõtmise alustamise hetkel vahemikku 0,8%–7,9%, keskmine õhkuiva puidu niiskussisaldus oli 5,58%.

Töö praktilises osas kaaluti analüüsketta ning mõõdeti aastarõngaste laiused. Seejärel kuivatati kettad ahjus  $103\pm 2$  °C juures 48h absoluutkuivani ning korrati kaalumise- ja mõõtmisprotsessi. Mõõtmised sooritati eraldi nii sügis kui ka kevadpuidule, et saada teada, kui palju kumbki kuivatamisel kokku tõmbub.

Tulemused näitasid, et hariliku kuuse sügispuut kahaneb kuivatamisel veidi enam kui kaks korda rohkem samas kui kevadpuut. Sügispuudu tangentsiaalne kahanemine oli keskmiselt 2,53%, samas kevadpuudul oli sama näitaja vaid 1,19%. Kokku oli kuuse tangentsiaalne kahanemine keskmiselt 3,72%.

Kuusepuudu kuivamise karakteristikute tundma õppimiseks võiks lähemalt uurida veel ka lüli- ja maltspuidu kahanemise võrdlust kuivamisel.



## SUMMARY

This bachelor's thesis was generated to research the tangential shrinkage of growth rings of Norway spruce (*Picea abies*) while drying. The main aim of the work was to compare the changes in early- and latewood.

The boards used in this bachelor's thesis were prepared during previous theses (Epler 2014, Kuklas 2014, Ploom 2015) in a way which made it possible to measure the growth rings under a microscope. The boards originated from Estonia, Järvelja forest block JS223, where the boards were cut from the logs of model trees in 2013. All together there were 50 Norway spruce boards available for this thesis.

After logging, the boards were stored in warmer and drier conditions than usually. This meant that at the time the practical part of the thesis started, the moisture content of the wood had reduced to 36.17% in comparison with the original water content in wet wood. By the time the measurements for the thesis started, the moisture content was between 0.8% and 7.9%. Average water content in air dry wood was 5.58%.

In the practical part of the thesis the boards were weighted, measured under a microscope and dried in an oven at  $103 \pm 2$  °C for 48h. After that the boards were re-weighted and re-measured again. Measurements were made separately for early- and latewood to find out how much each one shrunk during the drying.

The results showed that the latewood of Norway spruce shrinks more than 2 times more during drying. The average tangential shrinkage of latewood was 2.53% while the shrinkage of earlywood was only 1.19%. Which means that the growth rings of Norway spruce shrunk all together averagely 3.72%.

In order to find out even more about the characteristics of the shrinkage of Norway spruce, one could look into the shrinkage of hart- and sapwood during drying.

## VIIDATUD ALLIKAD

- Dahl, K.** (2009). Mechanical properties of clear wood from Norway spruce. Doctoral thesis at NTNU. 235 lk
- Epler, K.** (2014). Laasitud analüüsipuude mahtude ja juurdekasvude analüüs. Magistritöö. EMÜ metsatööstuse osakond 51 lk
- ISO 3130:1975.** (1975). Wood–Determination of moisture content for physical and mechanical tests. International Organization for Standardization, Switzerland. 2 lk.
- Just, J., Õiger, K., Just, A.** (2015). Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid. Tallinn. 431 lk
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika *MS Exceli* keskkonnas. Tartu. 86 lk.
- Korjuhin, R.** (2013). Kasvavate puude laasimise mõju puidu omadustele ja kvaliteedile: Magistritöö. EMÜ metsatööstuse osakond. 77 lk.
- Kuklas, O.** (2014). Elusate kuuskede laasimise mõju saematerjali kvaliteedile. Bakalaureusetöö. 37 lk.
- Laas, E.** (1987). Dendroloogia. Teine, ümbertöödatud trükk. Tallinn. Kirjastus Valgus. 824 lk
- Mortensen, A.** (2007). Concise encyclopedia of composite materials. Second edition. 958 lk
- Ploom, P.** (2015). Kasvavate harilike mändide (*Pinus sylvestris* L.) laasimise mõju saematerjali kvaliteedile. Bakalaureusetöö. 31 lk.
- Reiska, R., Meier, P.** (2008). Puidu kuivatamine. TTÜ Kirjastus. Tallinn. 116 lk
- Rinn, F.** (2013). TSAP-Win. Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications. User References, Heidelberg. 92 lk.
- Saarman, E.** (1998). Puiduteadus. 248 lk.
- Saarmann, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Tartu. 560 lk
- Schweingruber, F.** (1996). Tree rings and environment dendroecology. 609 lk.
- Tjoekler, M., Boratynski, A., Bugala, W.** (2007) Biology and Ecology of Norway Spruce. Tadeusz Przybylski – Morphology. 469 lk.

## **LISAD**

**Lisa 1.** Kuivatamata ja kuivatatud aastarõngaste mõõtmistulemused

Ketta nr	Aastarõnga keskmine laius (µm)			
	kuivatamata sügis	kuivatatud sügis	kuivatamata kevad	kuivatatud kevad
13 0N	410,393	363,107	1399,298	1422,619
13 0S	443,226	369,262	1954,917	2009,774
13CN	191,922	200,797	1528,938	1496,953
13CS	365,730	300,048	1516,333	1692,492
13DN	204,373	143,644	1375,183	1433,186
13DS	387,441	243,288	1513,051	1658,102
13EN	177,473	215,727	1357,564	1359,327
13ES	434,109	412,636	1386,927	1398,473
13FN	198,277	192,362	1376,000	1357,957
13FS	254,191	256,234	1345,064	1334,340
13GN	229,027	230,703	1586,838	1519,432
13GS	256,324	205,919	1332,703	1265,351
13HN	237,192	272,115	1178,423	1138,923
13HS	138,923	195,815	1113,038	1035,667
14 1.3N	560,253	485,228	1304,190	1366,532
14 1.3S	527,076	474,747	1358,367	1381,633
14AN	344,378	355,486	1326,527	1304,095
14AS	372,230	505,027	1517,189	1372,500
14BN	249,088	221,706	1394,221	1358,221
14BS	296,529	327,147	1659,882	1659,118
14CN	208,984	213,968	1423,127	1402,841
14CS	310,984	317,698	1520,524	1498,825
14DN	245,746	181,017	1381,915	1436,102
14DS	275,932	240,797	1476,966	1502,424
14EN	268,712	277,340	1407,404	1353,278
14ES	146,154	196,019	1426,519	1366,865
14FN	174,000	188,891	1100,543	1060,500
14FS	250,457	247,826	1329,217	1308,000
14HN	148,913	125,435	782,783	791,261
14HS	143,478	146,565	888,000	872,348
15 1.3N	486,848	530,392	1615,658	1545,139
15 1.3S	545,013	502,241	1234,747	1278,291
15AN	483,851	381,297	1401,122	1443,541
15AS	567,836	636,986	1466,192	1295,356
15BN	319,132	301,279	1475,132	1532,691
15BS	347,706	368,721	1699,897	1617,147
15CN	244,250	243,359	1634,016	1617,156
15CS	330,000	290,453	1613,516	1635,734
15DN	245,119	265,593	1519,559	1482,322

15DS	351,661	361,424	1684,780	1748,220
15EN	268,308	308,385	1454,462	1403,154
15ES	375,808	366,019	1447,346	1443,231
15FN	209,085	182,064	1410,213	1411,723
15FS	340,298	351,787	1525,383	1499,894
15GN	198,135	227,216	1256,270	1205,000
15GS	281,973	316,135	1464,703	1427,486
15HN	187,880	172,640	1066,320	1033,400
15HN	351,760	342,440	1254,960	1292,200
16 1.3N	524,506	564,823	1235,684	1212,443
16 1.3S	452,329	544,974	1307,895	1165,092
16BN	286,493	209,014	1382,565	1452,290
16BS	333,217	346,290	1523,536	1489,565
16CN	296,873	257,333	1507,968	1500,726
16CS	263,571	238,270	1348,952	1335,794
16DN	188,267	200,000	1528,983	1498,617
16DS	336,233	323,967	1469,183	1473,850
16EN	234,556	286,574	1460,833	1402,556
16ES	326,241	346,000	1452,852	1380,778
16FN	192,489	216,089	1292,667	1265,822
16FS	247,111	329,556	1647,733	1572,356
16GN	171,371	199,743	1325,400	1369,343
16GS	195,371	195,000	1339,486	1321,714
16HN	194,375	160,333	885,250	1001,375
16HS	167,167	143,667	916,917	925,750
17 0N	446,591	460,420	1212,284	1212,943
17 1.3N	320,024	349,024	903,602	864,205
17 1.3S	269,120	298,530	874,735	831,663
17AN	331,539	292,803	883,776	906,329
17AS	230,158	259,842	851,908	821,513
17BN	270,957	250,826	922,232	885,014
17BS	302,449	238,913	965,435	974,159
17CN	289,422	229,531	743,813	795,438
17CS	264,203	231,766	778,156	743,219
17DN	224,983	255,759	767,034	670,466
17DS	302,034	313,655	723,983	698,466
17EN	249,900	225,540	693,460	630,420
17ES	256,480	264,540	776,520	668,200
17FN	236,725	265,675	610,850	564,425
17FS	296,775	288,950	569,425	581,231
17GN	158,321	195,036	501,321	456,821
17GS	218,000	250,821	473,500	434,786
18 1.3N	442,707	395,110	1050,732	1087,744

Lisa 1 järg

18 1.3S	417,915	386,659	1040,122	1070,634
18AN	326,176	319,203	1223,568	1202,689
18AS	372,243	330,932	1069,338	1097,365
18BN	281,045	252,636	1269,493	1317,591
18BS	333,788	359,076	1191,197	1152,500
18CN	321,115	290,475	1271,721	1296,410
18CS	379,869	357,869	1309,115	1301,967
18DN	211,833	197,315	1313,352	1321,056
18DN	347,833	332,722	1390,667	1395,167
18EN	279,543	226,065	1317,913	1352,913
18ES	402,000	347,522	1424,826	1454,696
18FN	192,297	169,784	1412,162	1412,703
18FS	271,784	271,459	1669,378	1636,000
18GN	203,286	176,500	1500,143	1502,143
18GS	221,214	215,321	1333,429	1384,107
18HN	223,176	113,824	1535,118	1273,412
18HS	169,944	115,235	1505,056	1269,588

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

Mina, Karel Sarapuu, 25.03.1990, (39003252719)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihlitsentsi) enda loodud lõputöö Kuusepuidu tangentsiaalne kahanemine, mille juhendaja(d) on teadur Allar Padari, lektor Regino Kask

- 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 lihlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_ allkiri

Tartu, 15.05.2016

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_ (juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

\_\_\_\_\_ (juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)