



EESTI MAAÜLIKOOL
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Vairo Visnapuu

**HARILIKU KUUSE (*Picea abies*) PUIDU TIHEDUSE
MUUTUMINE VERTIKAAL- JA HORISONTAALSUUNAS**

CHANGE OF WOOD BASIC DENSITY IN AXIAL AND
RADIAL DIRECTION WITHIN NORWAY SPRUCE (*Picea
abies*)

Bakalaureusetöö

Metsanduse õppekava

Juhendaja: dotsent Regino Kask, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Vairo Visnapuu		Õppekava: Metsandus	
Pealkiri: Hariliku kuuse (<i>Picea abies</i>) puidu tiheduse muutumine vertikaal- ja horisontaalsuunas			
Lehekülgi: 34	Jooniseid: 11	Tabeleid: 5	Lisasid: 0
Osakond: Metsatööstuse osakond Uurimisvaldkond: Puiduteadus Juhendaja(d): Regino Kask Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu, 2017			
<p>Antud bakalaureusetöö annab ülevaate hariliku kuuse (<i>Picea abies</i>) puidu tiheduse muutumisest vertikaal- ja horisontaalsuunas. Samuti uuriti seost aastarõngaste laiuse, sügispuidu osakaalu ja tiheduse vahel.</p> <p>Töös kasutati 176 katsekeha, mis oli võetud puude kännust ladvani 3 meetrise sammuga ning vastavate kõrguste juures puidu juveniil-, lüli-, ja maltspuidu osa. Et tagada võrdsed katsetel tingimused, kuivatati katsekehad niiskusesisaldusele 0%.</p> <p>Aastarõngaste laius ja sügispuidu osakaal leiti digitaalselt programmiga <i>WinDendro</i>, kus katsekehade üks lihvitud külg skaneeriti arvutisse. Seejärel kaaluti ning mõõdeti katsekehade maht, et arvutada nende tihedused.</p> <p>Selgus, et tihedus oli kõige suurem puidu maltspuidu osas, kus olid aastarõngad kõige kitsamad ja sügispuidu osakaal kõige suurem. Kõige vähem tihedam oli juveniilpuidu osa, kuna seal olid aastarõngad kõige laiemad ja sügispuidu osakaal vähim. Puu kõrguse kasvades ka väheneb puidu tihedus teatud kõrguseni, kus tihedus hakkab suurenema jälle, kuna puu vananedes muutusid aastarõngad kitsamaks ja sügispuidu osakaal samuti tõusis.</p> <p>Katsekehade väikse valimimahu tõttu tekkisid mõningad ebakorrapärasused. Mõõtmisi võiks teha rohkemate katsekehadega, et näha, kas tulemused tulevad täpsemad.</p>			
Märksõnad: aastarõnga laius, sügispuu, tihedus, harilik kuusk			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Summary of Bachelor's Thesis	
Author: Vairo Visnapuu		Curriculum: Forestry	
Title: Change of wood basic density in axial and radial directions within Norway spruce (<i>Picea abies</i>)			
Pages: 34	Figures: 11	Tables: 5	Appendixes: 0
Department: Forestry Field of research: Wood science Instructor(s): Regino Kask Place and year of defence: Tartu, 2017			
<p>The bachelor's thesis gives an overview of the change in wood basic density in axial and radial directions within Norway spruce (<i>Picea abies</i>). Also the relationship between annual ring width, late wood percentage and density was investigated.</p> <p>There were 176 samples used in the study, which were taken from stump to tree-top with 3 meter gap and juvenile-, heart-, and sapwood pieces from corresponding heights. To ensure equal conditions for the tests, the subjects were dried to the point where humidity was 0%. Annual ring width and percentage of the late wood was found digitally with a program WinDendro, where test subjects one polished side was scanned to computer. After that the samples were weighted and volume was measured to calculate their density.</p> <p>Tests showed that density was the largest in sapwood, where annual rings were the narrowest and the percentage of late wood was the greatest. Juvenile wood had the lowest density, where annual rings were the widest and late wood percentage was the lowest. In axial direction wood density started to lessen from stump to tree-top till a certain point, where it began to grow, because mature woods annual rings started to get narrower and latewood percentage started to grow.</p> <p>Because of the small amount of test subjects, there were a few irregularities. There should be more tests with more subjects to see, if the results get more accurate.</p>			
Keywords: annual ring width, latewood, density, Norway spruce			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE	6
1.1 Perekond kuusk	6
1.1.1 Harilik kuusk	6
1.1.2 Kuuse kasutusviisid.....	7
1.2 Puidu füüsilised omadused	8
1.2.1 Puidu struktuur	8
1.2.2 Puidu tihedus	9
1.2.3 Puidu niiskus	10
2. KATSETE METOODIKA.....	12
2.1 Materjali leidmine	12
2.2 Katsekehade lõikamine	13
2.3 Aastarõngaste lugemine	14
2.4 Katsekehade kuivatamine.....	16
2.5 Tiheduse määramine	16
3. TULEMUSED JA ANALÜÜS	19
3.1 Aastarõngaste laiused.....	19
3.2 Sügispuidu osakaal.....	22
3.3 Puidu tihedus	25
KOKKUVÕTE.....	29
KASUTATUD KIRJANDUS	30
CHANGE OF WOOD BASIC DENSITY IN AXIAL AND RADIAL DIRECTION WITHIN NORWAY SPRUCE (PICEA ABIES)	32

SISSEJUHATUS

Rohkem kui pool Eesti pindalast on kaetud metsaga. Puit, kui materjal, leiab suurt kasutust meie igapäevaelus. Kuna turule tuleb aina rohkem materjali, on tähtis kasutada puitu asjakohaselt ja tõhusalt puidu säisist kuni maltspuiduni. Erinevad tooted nõuavad erinevaid puitmaterjali omadusi. Paljude puittoodete nõue on, et puit oleks tugev ehk suure tihedusega.

Käesolev bakalaureuse töö uurib hariliku kuuse tiheduse muutumist vertikaal- ja horisontaalsuunas ning püüab leida seoseid aastarõngaste laiuse, sügispuidu osakaalu ja tiheduse vahel. Töö jagati järgnevasse etappidesse: katsekehade lahtilõikamine ning töötlemine, aastarõngaste lugemine ja mõõtmine, katsekehade kaalu ja mahu määramine ning sellest tiheduse arvutamine ning saadud andmete analüüs.

Katsete tarbeks võeti kuuse puit, millest lõigati 176 katsekeha. Katsekehad tähistati vastavalt nende saamise kõrgusega ja kas tegemist oli juveniil-, lüli- või maltspuidu osaga. Katsekehade aastarõngad skanneeriti arvutisse ja loeti digitaalselt programmiga WinDendro. Puiduklotside kuivatamine toimus vaakumkapis, kus nad olid 103 kraadi juures kaalu stabiliseerumiseni. Kehad kaaluti elektroonilise kaaluga, mis andis 0,01g täpsusega tulemused ja puidu maht leiti ASTM standardis kirjeldatud uputusmeetodiga. Saadud andmete analüüs toimus Microsoft Excel keskkonnas, kuhu sisestati kõik katsetulemused.

Uurimuses loodi seoseid kirjeldavaid mudeleid aastarõngaste laiuse, sügispuidu osakaalu ja tiheduse vahel. Töö esimene peatükk kirjeldab üldiselt puidu omadusi. Teine pool kirjeldab katsete ülesehitust ja kolmandas peatükis tuuakse välja tulemused ja seosed.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Perekond kuusk

Perekond kuusk (*Picea* A.Dietr.) kuulub paljasseemnetaimede hõimkonda, okaspuude klassi ja männiliste sugukonda. Kuuse perekonda kuulub umbes 40 erinevat liiki põhja parasvöötmes. Liigid on suurekasvulised puud, mille võra on enamasti koonusjas, harvem kuhikjas. Vabalt ja teistest puudest mitte ümbritsetuna kasvades ulatub võra sageli maapinnani, mistõttu võivad alumised oksad juurduda. Kuuskede võrsed on vaolised, okkad kinnituvad ühe kaupa pruunidele puitunud näsakestele. Okkad terveservalised, neljatahulised või lamedad, kus heledamad õhulõheribad on vastavalt kas kõigil neljal tahul või ainult alaküljel. (Laas 1987)

Kuused on küpspuidulised puud, mille puit on kogu ulatuses valkjas. Kuuskedel esinevad vaigukäigud nii puidus, kooses kui ka okastes. Noorematel kuuskedel on koor sile, vanemas eas (30-35) hakkab kuuskedele tekkima peale soomusjas korp. Perekonna siseselt esineb erinevate taluvuste ja nõudlustega puid: on vähese valgusnõudlusega (*P. pungens*) ja ka väga valgusnõudlikke (*P. abies*, *P. mariana*) liike. Mõndadele liikidele (*P. abies*, *P. mariana*) sobivad liikuvama põhjaveega mullad, mõndadele liikidele ei sobi niiskus üldse (*P. pungens*). Kuuskede juurestik on väga maapinna lähedane, seega esineb neil palju tormiheidet. Samuti on nad oma õhukese koore tõttu kergesti mehhaaniliselt vigastatavad. (Laas 2004)

1.1.1 Harilik kuusk

Tegemist on küpspuidulise, varjutaluva ja sirgetüvelise puuga. Tavaliselt kasvavad harilikud kuused kuni 30 m kõrguseni, kuid soodsatel tingimustel võivad kasvada ka kuni 50-60 meetrini. Tüve läbimõõt kuni 1 m, soodsatel tingimustel kuni isegi 2 m. Võra on

kitsaskoonusjas, alumised oksad on horisontaalsed, ülemised oksad aga ripuvad. (Laas 1987)

Harilik kuusk kasvab väga erinevatel muldadel: mineraalmuldadest kuni savideni ning turbamuldadeni. Neile ei sobi seisva veega ega läbikuivanud mullad. Kuuskede juurestik on seda pindmisem, mida märjem ehk vähem õhustatud on muld. (Laas 2004)

Kuuse puidul on raske eristada puidu välis- ehk maltspuitu ja küpspuitu, kuna nad on mõlemad ühtlaselt kollakasvalged. Selle tõttu on aga heledal taustal lihtne eristada tumedamat sügispuidu osa. (Saarman ja Veibri 2006)

Kuuse puit on lihtsasti lõhestatav, viimistletav ja töödeldav. Puidu tihedus õhukuivalt (15-20% niiskusesisalduse juures) on 390-480 kg/m³. Seda on lihtne kuivatada. Samuti on kuuse puidul mädanike ja putukakahjustuste suhtes väike vastupidavus. (Saarman ja Veibri 2006)

1.1.2 Kuuse kasutusviisid

Kuusk on Põhja-Euroopas peamine jõulupuu. Kuuse koort on kasutatud naha parkimisel ja kuuse vaiku on kasutatud erinevate lakkide valmistamiseks ja ka meditsiinis. Selle puitu kasutatakse resonantspinnana muusikariistade valmistamisel, kuna ta tugevdab heli ilma tooni kaotamata. (Laas 2004)

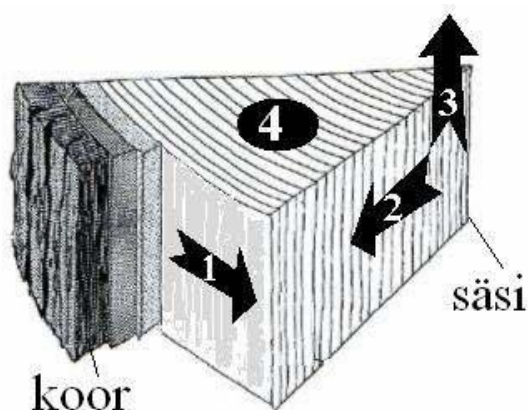
Kuuse puitu kasutatakse veel nii ehituses, konstruktsioonides kui ka tiseripuiduna. Samuti leiab see oma kasutusala põrandates ja sisustustes. Näiteks on tehtud mööbli puitplaatide keskkiht kuusest. Kuuse puit on ka oluline paberivalmistamise tooraine. (Saarman ja Veibri 2006)

1.2 Puidu füüsikalised omadused

1.2.1 Puidu struktuur

Puu kasv saab alguse puidu kõige keskmisest osast ehk säsis. Seda ümbritseb lülipuit, mis ei sisalda elusrakke ega juhi enam mahla, mis annab tüvele tugevuse. Puidu väliskihti nimetatakse maltspuiduks, mis on tavaliselt heledam ja suurema vedelikusisaldusega kui lülipuit. Maltspuitu pidi liiguvad juurestikust toitemahlad puu ladva suunas. Tüve pealmine kiht, ehk koor, koosneb omakorda korbast, korkkoest ja niinest. Korp kaitseb puud väliste vigastuste eest, niin vastutab toitemahlade juhtimise eest ja korkkoe eesmärk on kaitsta puid temperatuurikõikumise eest. (Just jt 2015)

Okaspuu puit on anisotroopne materjal – selle füüsikalised ja anatoomilised omadused on eri suundades erisugused. Parimad omadused okaspuudel on pikisuunas. Kõik puidu suunad on toodud joonisel 1. (Saarman 1998)



Joonis 1. Puidu suunad, kus 1- tangentsiaalsuund, 2- radiaalsuund, 3- pikisuund ja 4- ristlõige (Tallnerk 2009)

Okaspuu puidu tihedus sõltub suuresti ka sügispuidu ja kevadpuidu vahekorra. Sügispuidu osa võib olla kuni 3 korda tihedam, kui kevadpuit. Tavaliselt on okaspuude sügispuidu osakaal 20-25% kogu puidust, kuid võib ulatuda ka kuni 40%-ni. Kui aastarõngad on laiad, näitavad nad suuremat kevadpuidu sisaldust. See omakorda näitab, et

puidu tugevus pole kõrge. Puidule annavad tiheduse ja tugevuse just sügisel tekkivad kitsamad ja tumedamad aastarõngad. (Saarman 1998)

1.2.2 Puidu tihedus

„Tihedus on aine mahuühiku mass, st materjali massi ja mahu suhe, mille ühikuks on g/cm^3 või kg/m^3 .“ Kuna puit on poorne materjal, tähistatakse tema tihedust loomulikus olekus mahukaaluga ehk ühe mahuühiku massina. Et võrrelda erinevate puuliikide tihedusi, tuleb nad esmalt viia samale niiskusesisaldusele, kuna see mõjutab puidu tihedust suuresti. Näiteks kuuse tihedus värskelt raiutult võib olla $600\text{-}710 \text{ kg/m}^3$ ja absoluutkuivalt vaid 420 kg/m^3 . Kõige lihtsam ongi puiduniiskus viia nulli. Tiheduse määramiseks on vaja hoolikalt mõõta puidu ruumala, sest kuivatamisel tõmbab puit kokku. (Saarman ja Veibri 2006)

Puidu tihedus samas puiduliigis võib suuresti erineda. Seda võivad mõjutada mitmed tegurid nagu näiteks geograafiline päritolu, erinevad keskkonnamõjud (mulla omadused, soojus, niiskus), vegetatsiooniperioodi pikkus ja ka sügispuidu osakaal aastarõngastes. Lisaks võib puidu tihedus erineda puu eri osades – piki tüve ülevalt alla liikudes suureneb tihedus. (Saarman ja Veibri 2006)

Puidu tihedus on üks olulisim puidu tugevust määrav element, mille järgi saab öelda puidu tugevust ja tema töödeldavust. Sügispuidul on tavaliselt palju suurem tihedus kui kevadpuidul. Samuti on tihedam puidu säsi ehk keskosa. (Hoadley 2000)

Puidu rakuline struktuur annab puidule paljud tema unikaalsed omadused. Rakuseina tihedus on keskmiselt 1520 kg/m^3 . Tihedus on pöördvõrdeliselt seotud puidu poorsusega. Näiteks suhkrumänd (*P. lambertiana*), mille tihedus on 380 kg/m^3 , koosneb 25% rakuseintest ja 75% rakukesksest õõnsusest. Samas valge tamm (*Q. alba*), mille tihedus on 750 kg/m^3 , koosneb juba 50% rakuseintest. (Bowyer jt 2003)

1.2.3 Puidu niiskus

„Puidu niiskuseks nimetatakse seal leiduvat vett väljendatuna protsentides tema massist.” Saab eristada absoluutset ja suhtelist ehk relatiivset niiskust. Absoluutne niiskusesisaldus tähendab puidus oleva niiskuse suhet absoluutkuiva puidu massi kohta. Relatiivne niiskusesisaldus saadakse aga niiske puidu massi kohta. Enamasti kasutatakse praktikas vaid absoluutset niiskusesisaldust. (Saarman ja Veibri 2006)

Puidu tugevust mõjutab oluliselt puidu niiskus, olles puidu üks olulisemaid füüsikalismehaanilisi omadusi. Maksimalne niiskus puidus võib varieeruda – alles raiutul puidus on see 50-100%, kaua vees seisnud puidu niiskusesisaldus võib ulatuda isegi 200%-ni. Mida rohkem on puidus niiskust, seda nõrgemaks muutub puit, eriti puidu paindel ja survel. Puit jaotatakse niiskusesisalduse alusel järgmiselt:

- absoluutselt kuiv puit, mille niiskuseprotsent on 0%;
- toakuiv puit (8-13% puidu kuivkaalust);
- õhukuiv puit (15-20%);
- poolkuiv puit (20-25%);
- toores puit (üle 25%).

Ehituskonstruksioonides ei tohi kasutada puitu, mille niiskusesisaldus on üle 25%. Selle korral peab olema puit 8-20% niiskusesisaldusega. (Just 2006)

Puit reageerib vastavalt oma ümbritseva keskkonna niiskuse muutustele – suurema õhuniiskuse korral ta imab niiskust endasse ja seejärel paisub. Väiksema õhuniiskuse korral aga kuivab ja seejärel kahaneb. Oluline on teada, mis vahemikus niiskusega materjali on mõistlik erinevates kohtades kasutada. Välitingimustes kasutatava materjal niiskus peaks jääma vahemikku 16-20%. Selline on umbes väliskeskkonna tasakaaluniiskus ja see ennetab kahjustusi, mis võivad tekkida õhuniiskuse muutumise tõttu. Põrandamaterjal seevastu peaks olema kuivem, 9-12% niiskusesisaldusega. Mida suurem on põrandalaudade laius ja niiskusesisaldus, seda suurem tõenäosus on, et laudade vahele tekivad suuremad praod. (Aedla 2017)

Kuivatatud puidul on mitmeid eeliseid toore puidu ees. Kui puidust liigne niiskus eemaldada, muutub puit ka kergemaks, seega transpordikulu väheneb. Kui puit kuivab, suureneb selle tugevus ja ka elektri- ja soojusisoleerivusvõime. Korralikult kuivatatud puitu saab lõigata täpsetesse mõõtudesse ja töödelda lihtsamalt ja tõhusamalt. (Forest Products Laboratory 1999)

Puit kahaneb kolmes eri suunas erinevalt alates 30% niiskusest ja sealt allapoole. Kuni selleni kahaneb puit igas suunas samamoodi. Kui vaadata puidu muutust 30% niiskusest absoluutkuivani, toimub puidu kahanemine kõige rohkem tangentsiaalselt 6-12%, seejärel radiaalselt 3-6% ja kõige väiksem muutus toimub pikisuunas, mis jääb vahemikku 0,1-0,3%. (Mortensen 2007)

Enamik puidus sisaldavat vett asub elusrakkudega osas ehk maltspuidus. Puu imab niiskust mitmetest kohtadest nagu näiteks vihm ja õhuniiskus. (Hoadley 2000)

2. KATSETE METOODIKA

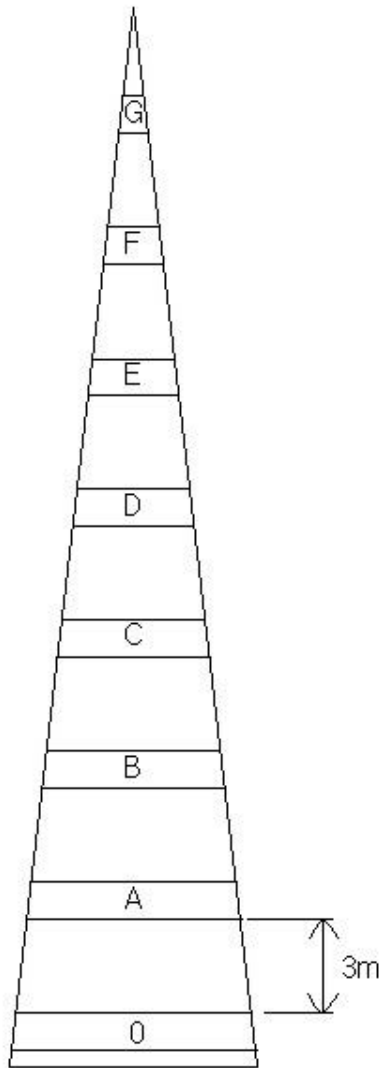
2.1 Materjali leidmine

Uurimuses kasutatud katsepuud on varutud 2012. ja 2015. aasta talvedel SA Keskkonnainvesteeringute Keskuse projektide nr. 3544 ja 9223 käigus Järvelja Õppe- ja Katsemetskonnast kvartalilt JS223.

Tabel 1. Puistu takseerandmed (Järvelja Metsamajandamise Infosüsteem)

Kvartal	Eraldis	Rinne	Puuliik	Vanus, a	Kõrgus, m	Diameeter, cm	Osakaal, %	Inventeerimise kuupäev
JS223	1	1	KU	96	29	28	60	05.08.2016

Langetatud puudest lõigati iga 3 meetri tagant välja ristlõikesektorid, mis tähistati vastavalt kõrgusele 0-G. Tüve lahtilõikamise skeem on toodud joonisel 2.



Joonis 1. Tüve lahtilõikamise skeem

Mudelpuude langetamisel ja palkide lahtisaagimisel autor ei osalenud, autori töö algas analüüsisektorite välja sorteerimisest ning nende edasisest töötlemisest.

2.2 Katsekehade lõikamine

Katsekehad lõigati sektoritest lahti lintsaega (vt. joonist 3). Katsekeha pikkuseks ja laiuks lõigati umbes 3 cm ja kõrgus vastavalt ketta paksusele, kuna väljalõigatud sektorite paksus erines. Kuna sektorite mõõtmed erinesid, siis ei olnud võimalik kõigist sektoritest lõigata ühesugust arvu katsekehi. Selle pärast tuli minimaalseks katsekehade

arvuks ühe sektori kohta 1, mis oli tavaliselt latv ja maksimaalseks 3, mis saadi tüüka poolt esimestelt ketastelt. Püüti silmas pidada, et katsed kataksid nii puidu juveniil-, lüli- kui ka maltspuidu osa.



Joonis 3. Katsekehade lahtilõikamine lintsaega

Katsekehadel ei tohtinud olla oksakohti, mis võisid mõjutada mõõtmistulemusi. Katseteks sobilikke kehi sai kokku 176. Katsekehad tähistati vastavalt tüüka poolt võetuna A-H ja selle järel vastavad tähed J, L või M, kus J tähistas juveniilpuidu, L lülipuidu ja M maltspuidu osa.

2.3 Aastarõngaste lugemine

Katsekehade üks külg lihviti lihvipingil siledaks, et saaks lugeda katsekehadele jäävate aastarõngaste arvu ja sügispuidu osakaalu. Aastarõngaid loeti digitaalselt, ehk skanneeriti lihvitud pind arvutisse ja loeti aastarõngaste mõõtmissüsteemiga WinDENDRO™ DENSITY (Ver. 2014a, Regent Instruments Inc., Quebec, Canada) (vt. joonist 4).



Joonis 4. Katsekehade skanneerimine ja lugemine

Tulemused teisendati programmi Microsoft Excel ja nägid välja nagu näidatud tabelis 2.

Tabel 2. Aastarõngaste lugemi tulemused klotsi 28DJ põhjal

28DJ	RINGWIDTH	0,894	3,779	3,323	3,429	3,81	3,407	3,617	4,121
28DJ	EARLYWIDTH	0,506	3,313	2,497	2,773	3,238	2,73	2,94	3,402
28DJ	LATEWIDTH	0,388	0,466	0,825	0,656	0,571	0,677	0,677	0,719
28DJ	EARLYWIDTH%	56,57	87,68	75,16	80,86	85	80,12	81,29	82,56
28DJ	LATEWIDTH%	43,43	12,32	24,84	19,14	15	19,88	18,71	17,44

Tulemustest sorteeriti välja aastarõngaste laius ehk RINGWIDTH ja sügispuidu osakaalu protsent ehk LATEWIDTH%. Enne kui edasi mindi, tuli tabelis kontrollida, ega kuskil ei olnud väärtust 0. Kui oli, tuli see kustutada sama klotsi raames nii RINGWIDTH kui ka LATEWIDTH% tulbas, kuna see oli vale tulemus ja mõjutas lõpptulemust. Järgmiseks tuli arvutada nende keskmised tulemused.

2.4 Katsekehade kuivatamine

Katsete tegemiseks oli vaja, et kõiki kehi võrreldakse samades tingimustes ehk puiduniiskus kehades oli vaja viia samale tasemele. Kõik katsekehad pandi kuivatuskappi, kus neid kuivatati 103 kraadise temperatuuri juures katsekeha kaalu stabiliseerumiseni. Seejärel juba teostati katsekehade kaalumine ja mahu leidmine.

2.5 Tiheduse määramine

Antud peatükis kasutati ASTM D2395 standardi järgi konstrueeritud seadet, mis on mõeldud mahu leidmiseks meetodil B-III.

Katsekehade tiheduse määramiseks tuli leida puiduklotside kuivmass ja maht. Kuna lõigatud katsekehad ei olnud korrapärase kujuga, tuli mahukaal leida ebakorrapärastele katsekehadele mõeldud hüdrostaatilise meetodi abil. Sellise meetodi abil toimub mahu määramine Archimedese lause põhjal: „Iga vette asetatud keha kaotab oma raskusest selle hulga, palju kaalub vesi selle keha ruumalas.“ (Veermets 1939)

Selleks kasutati elektroonilist kaalu, mille sensor töötab kahes suunas, seega saab sellega kaaluda ka rippuvaid asju, kinnitades need kaalu all oleva konksu külge. Kaal ise asub auguga pingil nii, et kaalu all oleva konksu koht on augu kohal. Konksu küljes on pikk kett, mis hoiab raskustega varustatud traadist karpi, mis on põhjast avatud. Kõige all asub anum veega, mis katab vabalt rippuva traatkarbi täielikult veega (vt. joonist 5).



Joonis 5. Tiheduse määramiseks tehtud kaalusüsteem

Enne mahu mõtmist kirjeldatud seadmega tuli katsekeha peale kuivatuskapist välja võtmist võimalikult kiiresti kaaluda, et keha imaks võimalikult vähe õhuniiskust endasse. Selleks kasutati elektroonilist kaalu, mis mõõdab 0,01g täpsusega.

Katsekehamahu määramiseks nulliti vee sees vabalt rippuva traatkarbi kaal ning seejärel asetati sinna sisse puiduklots. Kuna puit on kergem, kui vesi, surub puit traatkarpi ülespoole. Klotsi kaal vees tuli negatiivse märgiga, kuna ta kergitas vees olevat traatkarpi. Kaal tuli võtta võimalikult kiiresti, et puit imaks endasse võimalikult vähe niiskust. Peale seda võeti puiduklots veest välja ja kuivatati pabersalvrätikuga liigse pinnapealne vesi ning kaaluti uuesti, et saada teada, kui palju imas keha endasse vett.

Järgmiseks etapiks oli katsekehade tiheduse arvutamine, enne mida oli vaja leida kehade maht. Mahu määramiseks oli leitud klotside kuivkaal, kaal vees ja märgade klotside kaal.

Puiduklotsi kaal vees ei väljenda aga veel reaalselt keha raskust vees, kuna kaalumisel tungis puitu vett. Selleks, et leida reaalne kaal vees tuleb vees oleva klotsi kaalust lahutada veest välja võetud, kuivatatud klotsi kaalu ja absoluutkuiva klotsi kaaluvahe.

Keha raskus õhus on suurem kui sama keha raskus vees. Archimedese lause põhjal on vees oleva keha raskuse vähenemine võrdne keha poolt samas ruumalas väljasurutud vee raskusega. Seega keha raskuse vähenemine grammides näitab samuti ka keha mahtu cm^3 -es.

Teooriat kokku võttes ja lihtsustades kirjeldab puidu mahtu valem 1. (Veermets 1939)

$$V_0 = m_1 - m_2 , \quad (1)$$

kus V_0 – klotsi maht (kuiv);

m_1 – märja klotsi kaal;

m_2 – klotsi kaal vees.

Tiheduse arvutusteks on mitmeid erinevaid viise. Antud töös kasutati absoluutkuiva tiheduse arvutamiseeskirja, kuna katsekehi oli eelnevalt juba kuivatatud, et viia kõik puiduklotsid samadesse tingimustesse. Puiduklotside absoluutkuiv tihedus, mis on massi ja mahu suhe, leiti valemiga 2. (Veermets 1939):

$$P_0 = \frac{m_0}{V_0} , \quad (2)$$

kus P_0 – absoluutkuiv tihedus;

m_0 – klotsi mass (kuiv);

V_0 – klotsi maht (kuiv).

3. TULEMUSED JA ANALÜÜS

Tulemuste töötlemiseks ja analüüsimiseks kanti andmed programmi Microsoft Excel. Sealses keskkonnas oli võimalik leida seosed ja kujutada need joonistes ja tabelites. Antud peatükis on kasutatud Kiviste (1998) raamatut „Matemaatilise statistika algteadmisi ja rakenduslikke näiteid MS Exceli keskkonnas“.

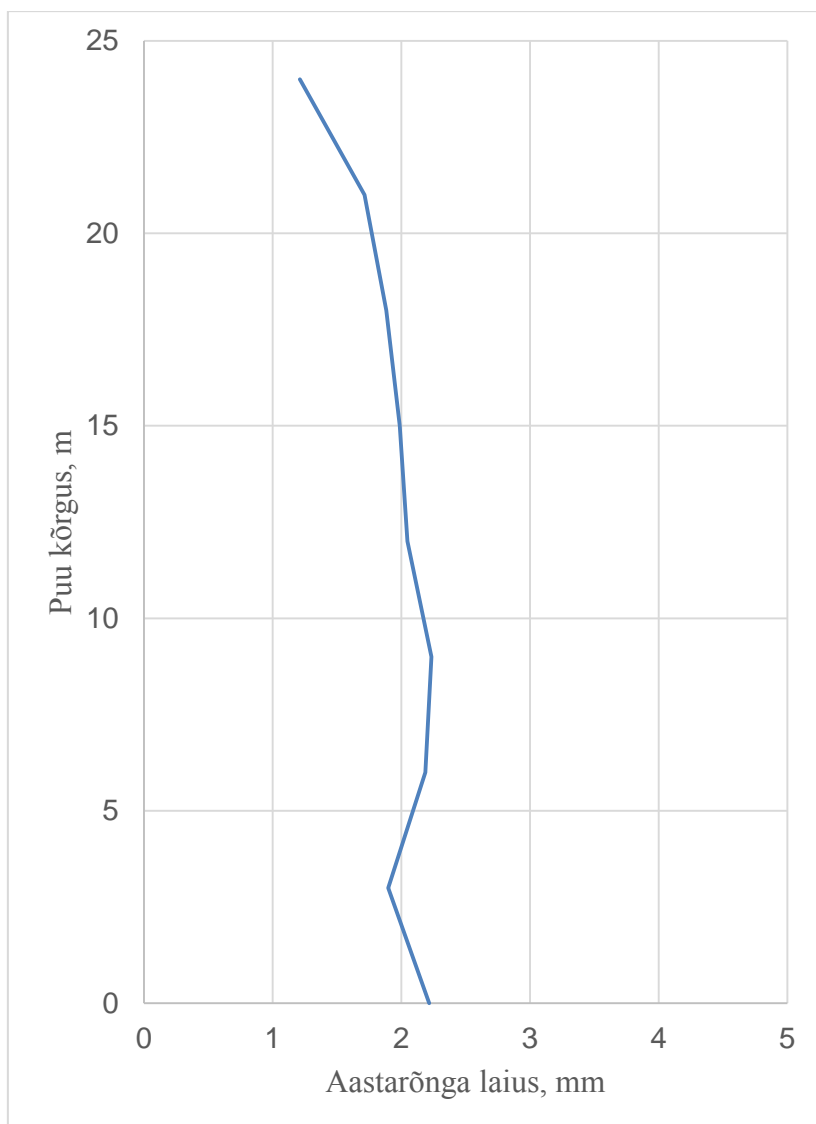
3.1 Aastarõngaste laiused

Järgnevas tabelis 3 on toodud aastarõngaste laiuse mõõtmistulemuste põhjal arvutatud statistilised põhinäitajad puude vertikaal- ja horisontaalsuunas. Reas „Katsekehade tähis“ on liigitatud katsekehad kõrguse (0-24 meetrit) järgi. Kõrgusele järgnev M, L ja J tähistavad vastavalt maltspuidu, lülipuidu ja juveniilpuidu osa. Valimi maht on maksimaalselt 10, kuna katseid tehti vaid 10 erineva puu peal ja minimaalselt 1 (18L), kuna puu tüved selle kõrguse juures olid enamasti juba nii kitsad, et ei olnud võimalik võtta 3 erinevat katsekeha.

Tabel 3. Aastarõngaste laiuse statistilised näitajad

Katsekehade tähis	0M	0L	0J	3M	3L	3J	6M	6L	6J	9M	9L	9J
Aritmeetiline keskmine	1,92	2,53	2,20	0,99	2,11	2,59	1,04	2,28	3,24	1,02	2,24	3,43
Standardviga	0,21	0,27	0,11	0,08	0,15	0,12	0,07	0,14	0,10	0,06	0,20	0,15
Mediaan	1,87	2,27	2,32	0,92	2,11	2,56	0,94	2,29	3,13	0,96	2,14	3,52
Standardhälve	0,51	0,65	0,27	0,25	0,44	0,36	0,23	0,39	0,32	0,18	0,49	0,48
Väikseim väärtus	1,31	2,00	1,68	0,68	1,52	1,86	0,80	1,76	2,90	0,78	1,75	2,77
Suurim väärtus	2,54	3,63	2,41	1,46	2,67	3,06	1,61	2,91	3,76	1,36	2,93	4,28
Valimi maht	6	6	6	9	8	9	10	8	10	10	6	10
Katsekehade tähis	12M	12L	12J	15M	15L	15J	18M	18L	18J	21M	21J	24J
Aritmeetiline keskmine	1,13	1,98	3,04	1,28	2,27	2,41	1,28	2,02	2,34	1,38	2,05	1,21
Standardviga	0,09	0,19	0,14	0,08	0,24	0,20	0,04		0,18	0,16	0,18	0,12
Mediaan	1,04	1,85	3,16	1,27	2,21	2,60	1,29	2,02	2,44	1,34	2,08	1,22
Standardhälve	0,29	0,38	0,45	0,23	0,41	0,57	0,11		0,51	0,42	0,43	0,26
Väikseim väärtus	0,81	1,67	2,36	0,97	1,90	1,23	1,08	2,02	1,46	0,83	1,39	0,94
Suurim väärtus	1,69	2,54	3,80	1,67	2,71	3,09	1,40	2,02	2,89	2,23	2,60	1,50
Valimi maht	10	4	10	8	3	8	8	1	8	7	6	5

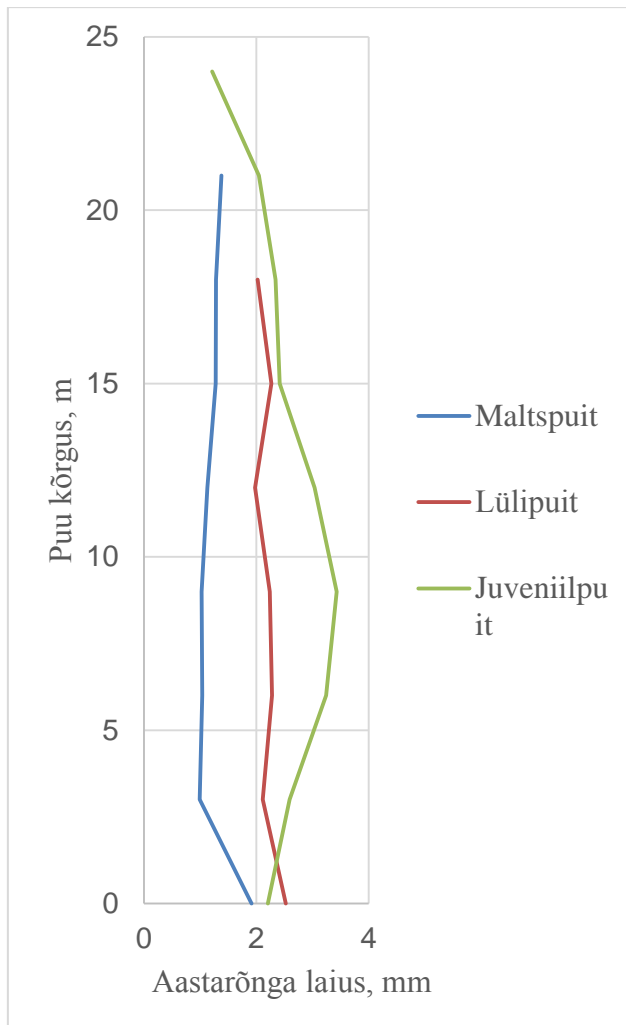
Aastarõngaste laiuse muutumist kõrguse kasvades näitab joonis 6. Joonise põhjal saab öelda, et aastarõngaste laiused kahanevad kõrguse kasvades suhteliselt stabiilselt. Kitsaim mõõdetud aastarõngas oli 24 meetri kõrgusel 1,21 mm lai ja kõige laiem 9 meetri kõrgusel 2,33 mm.



Joonis 6. Aastarõngaste laiuse muutus kõrguse kasvades

Aastarõngaste laiuse muutust kõrguse kasvades puidu erinevates osades näitab joonis 7. Maltspuidu osas muutusid aastarõngad kõrguse kasvades stabiilselt laiemaks, kus 3 meetri kõrgusel oli aastarõngas 0,99mm lai ja 21 meetri kõrgusel 1,38mm lai. Lülipuidu aastarõngad, mis olid laiemad kui maltspuidul, varieerusid 1,98mm ja 2,28mm vahel, välja arvatud kannust võetud katsekeha, mis oli ebakorrapärane. Kõige laiimate aastarõngastega oli juveniilpuit, mille aastarõngad läksid kuni 9 meetrini laiemaks ja seejärel hakkasid

stabiilselt kitsamaks minema. Läbi puu keskmiselt oli maltspuidu keskmine aastarõngaste laius 1,26 mm, lülipuidul vastavalt 2,20 mm ja juveniilpuidul 2,50 mm laiad.



Joonis 7. Aastarõngaste laiuse muutus puidu erinevates osades kõrguse kasvades

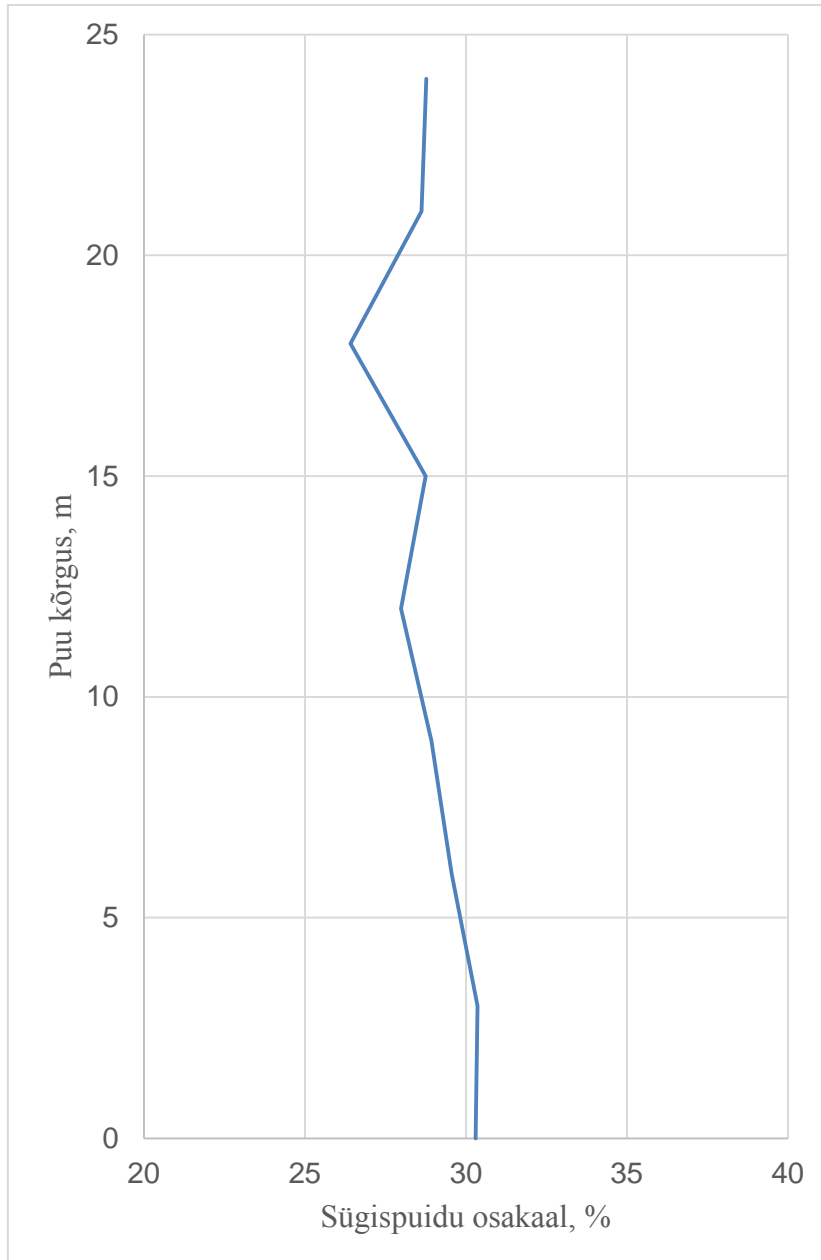
3.2 Sügispuidu osakaal

Tabelis 4 on toodud sügispuidu osakaalu mõõtmistulemuste põhjal arvatatud statistilised põhinäitajad puude vertikaal- ja horisontaalsuunas.

Tabel 4. Sügispuidu osakaalu statistilised näitajad

Katsekehade tähis	0M	0L	0J	3M	3L	3J	6M	6L	6J	9M	9L	9J
Aritmeetiline keskmine	34,03	30,00	26,87	36,76	31,72	22,60	38,46	28,89	21,31	36,31	28,06	22,41
Standardviga	2,09	3,32	2,74	1,57	2,08	2,01	1,26	1,71	1,80	1,81	2,49	2,55
Mediaan	33,85	30,51	27,00	37,13	32,65	20,33	38,71	29,53	22,64	37,17	28,48	22,41
Standardhälve	5,11	8,14	6,71	4,70	5,89	6,04	4,00	4,84	5,71	5,73	6,10	8,05
Väikseim väärtus	25,95	15,68	18,18	27,45	23,75	16,20	33,03	19,65	13,19	27,50	21,06	8,33
Suurim väärtus	41,65	38,45	34,28	42,24	38,37	31,86	46,76	34,91	28,58	44,25	36,23	36,61
Valimi maht	6	6	6	9	8	9	10	8	10	10	6	10
Katsekehade tähis	12M	12L	12J	15M	15L	15J	18M	18L	18J	21M	21J	24J
Aritmeetiline keskmine	32,43	27,69	23,82	32,96	28,56	24,74	31,31	24,05	23,88	27,50	29,74	28,77
Standardviga	1,14	3,54	2,31	1,42	0,88	3,02	2,14		1,89	2,70	1,83	2,67
Mediaan	32,01	29,77	21,27	33,32	29,03	21,93	34,14	24,05	24,67	24,15	29,24	28,80
Standardhälve	3,62	7,08	7,30	4,03	1,52	8,53	6,06		5,35	7,15	4,49	5,97
Väikseim väärtus	27,06	17,95	16,75	25,91	26,86	15,55	21,42	24,05	13,25	20,05	24,63	21,43
Suurim väärtus	38,42	33,27	40,37	39,38	29,79	38,61	39,32	24,05	30,80	37,85	36,59	37,88
Valimi maht	10	4	10	8	3	8	8	1	8	7	6	5

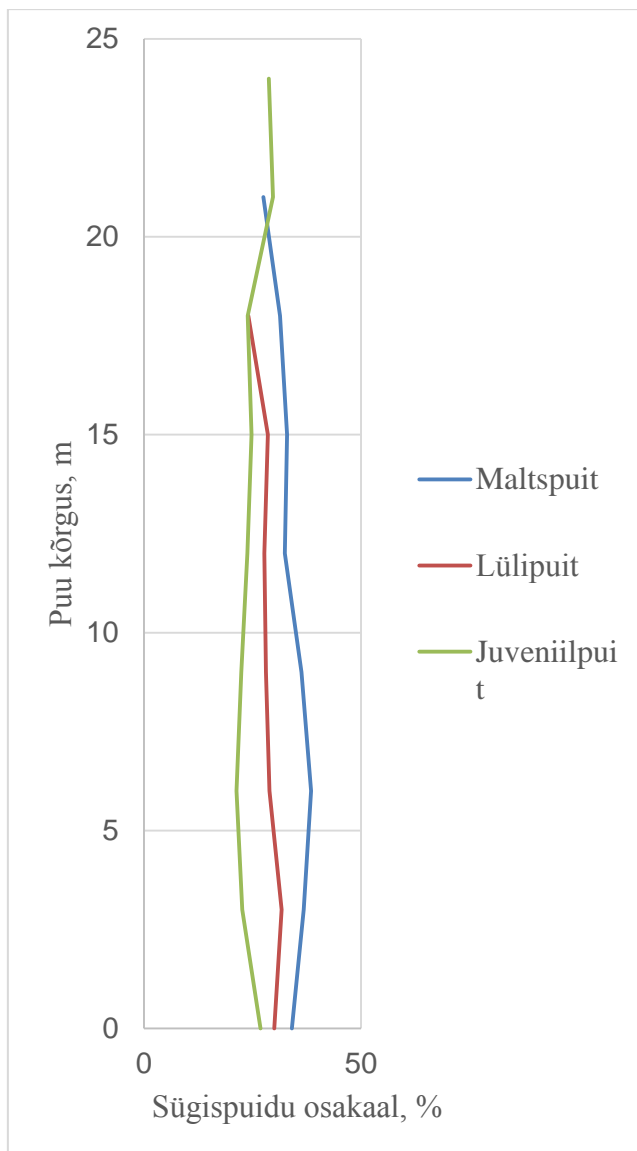
Sügispuidu osakaalu muutust kõrguse kasvades näeb joonisel 8. Sügispuidu osakaal langeb käännust kuni 18 meetrini, kus puu ladvani hakkab sügispuidu osakaal jällegi suurenema. 15. meetril olev ebakorrapärasus on tõenäoliselt tingitud vähesest katsekehade arvust.



Joonis 8. Sügispuidu osakaalu muutus kõrguse kasvades

Sügispuidu osakaalu muutust puidu erinevates osades kõrguse kasvades näeb joonisel 9. Sügispuidu osakaal on kõige väiksem juveniilpuidus ja kõige suurem maltspuidus. Kännu eripära kõrvale jättes, väheneb kõrguse kasvades juveniilpuidus sügispuidu osakaal.

Seevastu lüli- ja maltspuidus see suureneb kõrguse kasvades. Läbi puu keskmine sügispuidu osakaal maltspuidus oli 33,72%, lülipuidus 28,42% ja juveniilpuidus 24,90%.



Joonis 9. Sügispuidu osakaalu muutus puidu erinevates osades kõrguse kasvades

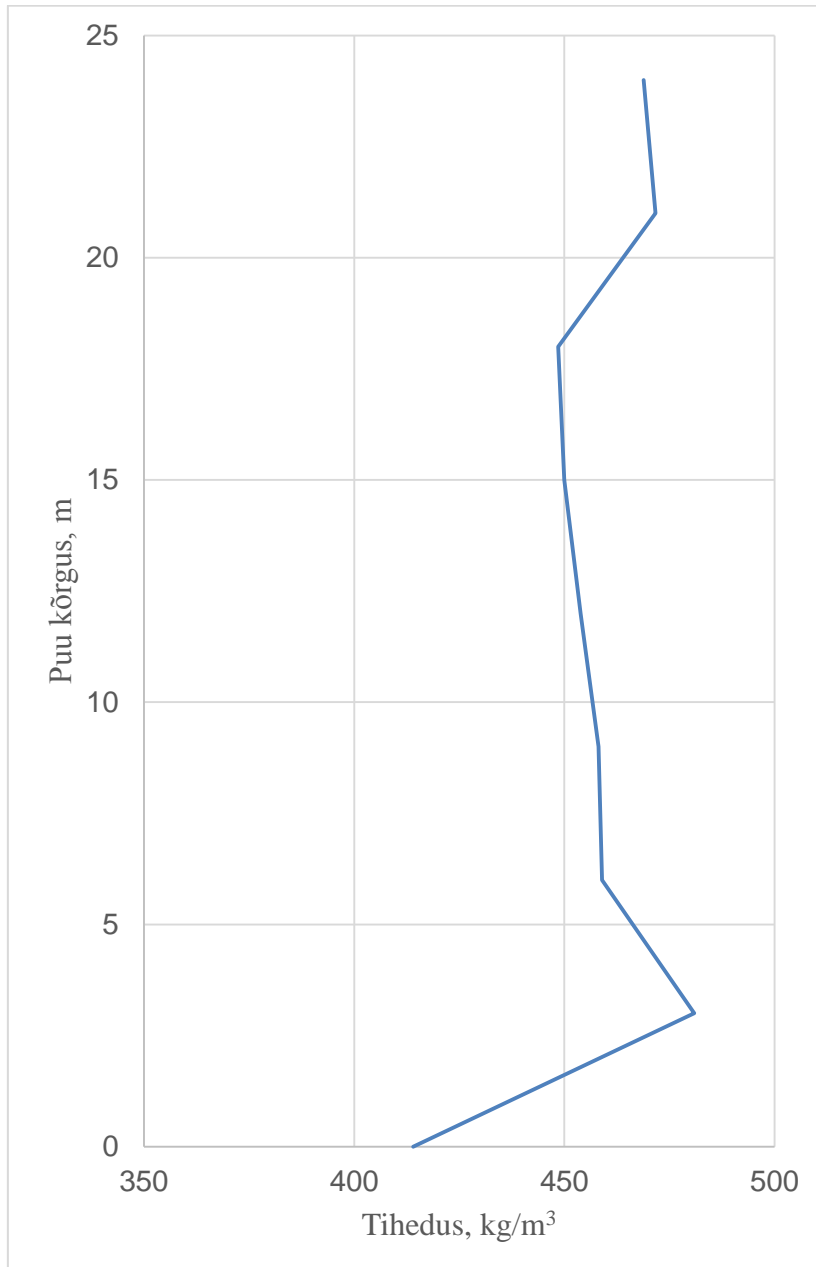
3.3 Puidu tihedus

Tabelis 5 on toodud puidu tiheduse mõõtmistulemuste põhjal arvatud statistilised põhinäitajad puude vertikaal- ja horisontaalsuunas.

Tabel 5. Puidu tiheduse statistilised näitajad

Katsekehade tähis	0M	0L	0J	3M	3L	3J	6M	6L	6J	9M	9L	9J
Aritmeetiline keskmine	428,85	424,75	388,56	537,88	482,61	422,10	530,19	440,81	405,83	512,35	444,46	417,57
Standardviga	27,52	17,66	10,20	21,29	15,93	8,84	10,78	14,31	14,21	16,86	14,93	15,88
Mediaan	449,95	421,48	379,40	539,86	475,01	421,32	526,96	439,78	413,33	505,01	445,09	404,10
Standardhälve	67,41	43,25	24,98	63,86	45,04	26,53	34,08	40,47	44,93	53,31	36,58	50,23
Väikseim väärtus	311,24	373,12	366,55	397,41	438,25	382,62	479,87	384,52	331,71	430,08	386,19	360,52
Suurim väärtus	484,65	475,56	431,44	639,54	587,30	459,30	586,71	515,83	472,91	590,70	490,37	521,39
Valimi maht	6	6	6	9	8	9	10	8	10	10	6	10
Katsekehade tähis	12M	12L	12J	15M	15L	15J	18M	18L	18J	21M	21J	24J
Aritmeetiline keskmine	500,00	444,57	416,97	477,69	419,11	453,18	467,68	441,82	436,12	476,78	466,61	468,82
Standardviga	11,98	11,10	13,31	17,58	19,75	21,35	18,63		14,20	23,81	18,55	11,86
Mediaan	503,79	440,05	406,29	478,37	432,32	445,29	455,14	441,82	448,38	472,93	476,20	470,51
Standardhälve	37,88	22,19	42,10	49,72	34,21	60,38	52,70		40,16	63,00	45,43	29,05
Väikseim väärtus	444,42	425,47	359,30	391,48	380,26	359,79	418,49	441,82	360,69	395,77	393,64	421,32
Suurim väärtus	551,01	472,72	499,28	568,55	444,73	547,93	578,67	441,82	489,32	587,89	521,54	508,26
Valimi maht	10	4	10	8	3	8	8	1	8	7	6	5

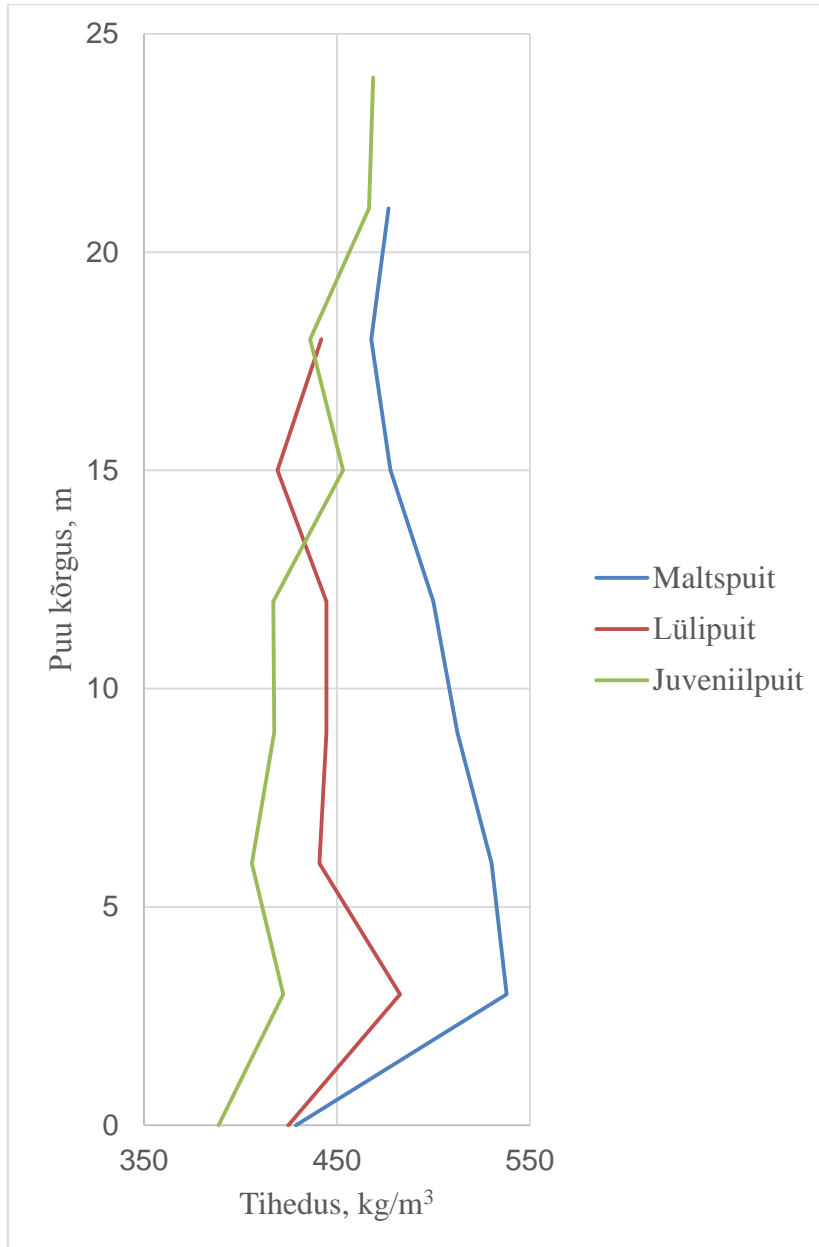
Tiheduse muutumist kõrguse kasvades näeb joonisel 10. Puidu tihedus väheneb alates kolmest meetrist, kus see on $458,94 \text{ kg/m}^3$, kuni 18 meetrini, kus see on $448,54 \text{ kg/m}^3$. Seejärel hakkab tihedus suurenema, mis on tingitud puu vananedes aastarõngaste kitsamaks muutumisest ja sügispuidu osakaalu suurenemisest.



Joonis 10. Tiheduse muutus kõrguse kasvades

Tiheduse muutumist puidu erinevates osades kõrguse kasvades näeb jooniselt 11. Kõige tihedam on maltspuidu osa, seejärel lülipuit ja juveniilpuit, mis on kõige vähem tihedam. Maltspuidus väheneb tihedus kõrguse kasvades kuni 18 meetrini, seejärel hakkab tõusma.

Lülipuidus ja juveniilpuidus esinevad mõningaid ebakorrapärasusi. Tihedus väheneb kuni 15 meetrini ja seejärel hakkab tõusma. See võib olla tingitud vähesest katsekehade mahust.



Joonis 11. Tiheduse muutus puidu erinevates osades kõrguse kasvades

Puidu tihedus keskmiselt läbi puu maltspuidus oli $491,43 \text{ kg/m}^3$, lülipuidus $442,59 \text{ kg/m}^3$ ja juveniilpuidus $430,64 \text{ kg/m}^3$.

KOKKUVÕTE

Käesoleva töö põhieesmärgiks oli uurida hariliku kuuse (*Picea abies*) aastarõngaste laiuse, sügispuidu osakaalu ja tiheduse vahelist seost. Uurimuses kasutatud katsepuud on toodud 2012. ja 2015. talvel Järvelja Öppe- ja Katsemetskonnast kvartalilt JS223.

Antud töös tehtud katsed näitasid, et kännust võetud katsekehad erinesid läbivalt ja suuresti teistest katsekehadest. See on tingitud kännu ehituse eripärast. Samuti tekkisid eripärad alates 18 meetrist, mis on tingitud sellest, et puu vananedes muutuvad aastarõngad kitsamaks ja sügispuidu osakaal samal ajal kasvab.

Puidu erinevates osades oli tihedus kõige suurem maltspuidul, mille tihedus oli keskmiselt läbi puu 491,43 kg/m³. Katsete põhjal võib öelda, et maltspuidu teeb tihedaks see, et aastarõngad on kõige kitsamad (1,26 mm) ja sügispuidu osakaal kõige suurem (33,72%). Sellest mõnevõrra väiksem tihedus oli lülipuidul, tihedusega 442,59 kg/m³. Lülipuidu aastarõngad olid läbi puu keskmiselt 2,20 mm laiad ja sügispuidu osakaal oli 28,42%. Kõige väiksem tihedus oli puidu säsi osas, ehk juveniilpuidus, mille tihedus oli 430,64 kg/m³. Aastarõngad olid juveniilpuidus kõige laiemad (2,50 mm) ja sügispuidu osakaal oli kõige väiksem (24,90%).

Kõrguse kasvades kuni 18 meetrini puidu tihedus langes, kus 3 meetri kõrgusel oli see 480,87 kg/m³ ja 18 meetri kõrgusel 448,54 kg/m³. Peale seda hakkas jälle tõusma, kuni maksimumi 471,69 kg/m³-ni. Aastarõngaste laius muutus kuni 9 meetrini suuremaks, kui need olid keskmiselt 2,23 mm ja seejärel hakkasid muutuma kitsamaks, kuni ladvani, kus need olid vaid 1,21 mm laiad. Sügispuidu osakaal suurenes, kuni 18 meetrini, mil see oli 26,41%, välja arvatud 15 meetri peal olev ebakorrapärasus, mis võib olla tingitud katsekehade vähese valimi mahu pärast. Peale 18 meetrit hakkab taas tõusma kuni ladvani, kus see on 28,77%.

KASUTATUD KIRJANDUS

Aedla, M. (2017). Miks on oluline puidu niiskuse sisaldus?

[<http://arileht.delfi.ee/news/ehitusjakinnisvara/miks-on-oluline-puidu-niiskuse-sisaldus?id=77724252>] (20.04.2017)

ASTM D2395. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood Based Materials.

Bowyer, L. J., Haygreen, G. J., Haygreen, J. G. (2003). Forest Products and Wood Science. (4. tr.). 554 lk.

Forest Products Laboratory. (1999). Wood handbook – Wood as an engineering material. 486 lk.

Hoadley, R. B. (2000). Understanding Wood: a craftman's guide to wood technology. 280 lk.

Just, E. (2006). Puitkonstruktsioonide projekteerimisest, ehitamisest ja järelvalvest.

[http://www.puuinfo.ee/files/pdf/Puuinfo06_nr2/Puitkonstruktsioonide_projekteerimisest_ehitamisest_ja_jarelevalvest.pdf] (20.04.2017)

Just, J., Õiger, K., Just, A. (2015). Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid. Tallinn. 431 lk.

Järvelja Metsamajandamise Infosüsteem. <https://jarvelja.emu.ee/index.php?do=kvloend> (15.05.2017)

Kiviste, A. (1998). Matemaatilise statistika algteadmisi ja rakenduslikke näiteid MS Exceli keskkonnas. Tartu: EPMÜ metsandusteaduskond. 86 lk.

Laas, E. (1987). Dendroloogia.(2. tr.). Tallinn: Valgus. 824 lk.

Laas, E. (2004). Okaspuud. Tartu: Atlex. 359 lk.

Mortensen, A. (2007). Concise encyclopedia of composite materials. (2. tr.). 958 lk.

Tallnerk. (2009). Puu kolm põhisuunda.

[<http://www.tallnerk.ee/?219>] (19.04.2017)

Saarman, E., Veibri, U. (2006). Puiduteadus. Tartu: Vali Press OÜ. 560 lk.

Saarman, E. (1998). Puiduteadus. 248 lk.

Veermets, K. (1939). Metsakasutuse laboratoorsete tööde juhend. Tartu: Akadeemilise metsaseltsi kirjastus. 43 lk.

CHANGE OF WOOD BASIC DENSITY IN AXIAL AND RADIAL DIRECTION WITHIN NORWAY SPRUCE (*Picea abies*) SUMMARY

The aim of this work was to study the relation between annual ring width, late wood percentage and basic density within Norway spruce (*Picea abies*). Test specimens for the study was provided from Järvelja Experimental Forestry Station, forest block JS223, in the winters of 2012 and 2015.

The studies of the work show, that the test specimens taken from the tree stump differ much from the other test subjects. It is caused by the different characteristic of the stumps construction. Also there were irregularities starting from the 18 meter height, because at that age the annual ring width is getting tighter and the percentage of late wood starts to grow at the same time.

The density of the wood differed among different parts of the wood radially and was the highest in sapwood, which average density throughout the tree was $491,43 \text{ kg/m}^3$. Relaying on the studies, it can be said that the reason that sapwood is the densest is because its annual ring width was the tightest (1,26 mm) and the percentage of late wood was the highest (33,72%). Sapwood had a smaller density to some extent ($442,59 \text{ kg/m}^3$). Its average annual ring widths were 2,20 mm and the percentage of late wood was 28,42%. Juvenile wood had the smallest density ($430,64 \text{ kg/m}^3$). Its annual ring widths were the biggest (2,50 mm) and the percentage of late wood was the smallest (24,90%).

Trees density began to lessen from bottom to top till 18 meters height, where on 3 meters it was $480,87 \text{ kg/m}^3$ and on 18 meters $448,54 \text{ kg/m}^3$. After that it began to rise again, to a maximum of $471,69 \text{ kg/m}^3$. The annual ring widths began to grow from bottom till 9 meters, where they were 2,23 mm wide and then started to get tighter till the tree-top, where they were only 1,21 mm. The percentage of late wood started to grow until 18 meters, where it was 26,41%, except for an irregularity on 15 meters, which is believed to

be caused by the small amount of test specimens. After 18 meters late wood percentage starts to grow again until the tree-top, where it was 28,77%.

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Vairo Visnapuu,

(autori nimi)

Sünniaeg 22.02.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Hariliku kuuse (*Picea abies*) puidu tiheduse muutumine vertikaal- ja horisontaalsuunas

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Regino Kask,

(juhendaja nimi)

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, _____

(kuupäev)

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)