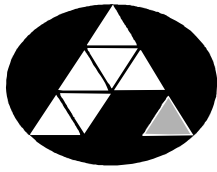


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Heikki Partanen

PUUN PIKALAHOTUSMENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö
Helmikuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2012
Metsätalouden koulutusohjelma

Sirkkalantie 12 C
80100 JOENSUU
p. (013) 260 6900 p. (013) 260 6906

Tekijä

Heikki Partanen

Nimeke

Puun pikalahotusmenetelmän kehittäminen

Toimeksiantaja

Metsäntutkimuslaitos, Martti Venäläinen

Tiivistelmä

Puun kilpailukykyä ja ympäristötehokkuutta rakennusmateriaalina heikentää sen luonnollinen hajoaminen pitkäaikaskestävyyttä vaativissa kohteissa. Puun kesto- ja käyttöikä voidaan parantaa erilaisilla kyllästeillä ja modifiointimenetelmillä. Näiden menetelmien toimivuuden testaaminen lahotuskokeilla kestää kuitenkin kauan verrattuna nykypäivän tuotekehittelyn vauhdin asettamiin vaatimuksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena oli nopeuttaa puun luonnollista lahotusprosessia. Tätä varten suunniteltiin ja rakennettiin multalaatikko sekä koekäytettiin se ISO 3133 -standardin mukaisilla puukappaleilla. Laatikon sisälle luotiin mahdollisimman optimaaliset mutta luonnolliset olosuhteet lahoamiselle. Maakosketuskokeiden tuloksien saaminen kestää tällä hetkellä vähintään viisi vuotta ja tätä aikaa pyrittiin lyhentämään rakentamalla multalaatikko ja tuomalla koe sisätiloihin kontrolloituihin olosuhteisiin.

Kyseessä oli kokeellinen tutkimus, jossa puukappaleille tehtiin lahotuksen jälkeen painohävikkimittaukset sekä ISO 3133 -standardin mukaiset taivutuslujuustestit, joissa lahoamisen eteneminen voitaisiin todeta. Oletuksena oli, että puukappaleen taivutuslujuus heikkenee nopeammin kuin sen massa häviää lahoamisen seurauksena.

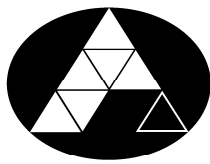
Tutkimuksen tuloksista oli nähtävissä, että jo pienikin puukappaleiden painohäviö vaikutti taivutuslujuuden heikkenemiseen merkittävästi. Samalla voitiin todeta männyn sydänpuun parempi lahonkestävyys verrattuna pintapuuhun.

Kieli
suomi

Sivuja 43
Liitteet 8
Liitesivumäärä 19

Asiasanat

multalaatikko, puun lahoaminen, painohäviö, taivutuslujuus



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
February 2012
Degree Programme in Forestry
Sirkkalantie 12 C
FIN 80100 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358-13-260 6900

Author

Heikki Partanen

Title

Development of Quick Decay Method of Wood

Commissioned by

Finnish Forest Research Institute, Martti Venäläinen

Abstract

The competitiveness of wood and its environmental performance as a construction material is weakened by its natural degradation in targets demanding long term durability. The service and operating life of wood can be improved by different impregnation and modification methods. However, the functionality testing of these methods in decay tests lasts too long compared to the demands of modern-day pace of product development.

The aim of the study was to accelerate the natural decaying process of wood. For this purpose, a soil box was planned and built as well as test run with pieces of wood according to the ISO 3133 standard. Inside the soil box, natural conditions were recreated, but as optimal as possible for decay. The results of ground contact tests last, at the moment, a minimum of five years, and an effort was made to shorten this time by building the soil box and bringing the test indoors to controlled circumstances.

This was an experimental study, where weight loss of wood pieces was measured and bending strength tests were done by the ISO 3133 standard, where propagation of decaying could be verified. The hypothesis was that the bending strength of the wood pieces weakens faster than the weight loss occurs as a consequence of decay.

The results showed that even a small loss of weight of wood pieces affected substantially the deterioration of bending strength. At the same, time the better resistance to decay of pine heartwood could be verified compared to sapwood.

Language
Finnish

Pages 43
Appendices 8
Pages of Appendices 19

Keywords

soil box, decay of wood, weight loss, bending strength

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
2	Puun kyllästämisen historia	6
3	Puun lahonkestävyysvaatimus	6
4	Puun lahoaminen	8
4.1	Lahon käsitteitä	8
4.2	Edellytykset lahosisienelle.....	8
5	Lahottajien tyypit ja vaikutustapa	11
5.1	Valkolahjo	11
5.2	Ruskolahjo.....	11
5.3	Katkolahjo	12
5.4	Lahon vaikutus	13
5.5	Lahonkestävyys männyn pinta- ja sydänpuulla	13
6	Puun lahonkestävyyden testaaminen	15
6.1	Laboratoriolahotuskokeet.....	15
6.2	Maakosketuskoe.....	17
6.3	Multalaatikkokoe.....	18
7	Tutkimuksen tarkoitus	19
8	Tutkimuksen menetelmälliset valinnat	20
9	Uudentyyppinen multalaatikkokoe	20
9.1	Kokeen suunnittelu.....	20
9.2	Rakentaminen.....	21
9.3	Toteutus.....	22
10	Tulokset	28
11	Pohdinnat	39
11.1	Multalaatikkokokeen onnistuminen	39
11.2	Eettisyys ja luotettavuus.....	40
11.3	Jatkotutkimus ja kehittämisideat	41
Lähteet	43

Liitteet

Liite 1	Sydän- ja pintapuukappaleiden sahauspaikat
Liite 2	Multalaatikon kartta
Liite 3	Multalaatikon kosteus- ja lämpötilatiedot
Liite 4	Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin laskentapohja
Liite 5	Piirturi ja sen piirtämä kuvaaja
Liite 6	Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys
Liite 7	Painohäviölaskelmat
Liite 8	Puukappaleiden keskiarvot ja -hajonnat erittäin

1 Johdanto

Puun kilpailukykyä ja ympäristötehokkuutta rakennusmateriaalina heikentää sen luonnollinen hajoaminen pitkäaikaiskestävyyttä vaativissa kohteissa. Puun kesto- ja käyttöikä voidaan parantaa erilaisilla kyllästeillä ja modifointimenetelmillä. Näiden menetelmien toimivuuden testaaminen lahotuskokeilla kestää kuitenkin kauan verrattuna nykypäivän tuotekehittelyn vauhdin asettamiin vaatimuksiin.

Metsäntutkimuslaitoksen (Metlan) Punkaharjun yksikkö on kansainvälisesti tunnettu metsägeneettisen tutkimuksen yksikkö, joka soveltaa tutkimustuloksia käytännön metsänjalostuksen tarpeisiin. Metsägeneettistä tutkimustyötä on tehty Punkaharjulla jo 1920-luvulta lähtien. Yksi tutkittavista aiheista on puun laatuominaisuudet, jossa yhtenä tavoitteena on tutkia sään- ja lahonkestävän puutavaran ympäristösuorituskykyä.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja rakennettiin multalaatikko sekä koekäytettiin standardin mukaisilla puukappaleilla. Tavoitteena oli nopeuttaa puun luonnollista lahoamisprosessia luomalla sille mahdollisimman optimaaliset, mutta luonnolliset olosuhteet.

Kokeellinen tutkimus suoritettiin männyn sydän- ja pintapuukappaleilla, joille tehtiin taivutuslujuus- ja painohävikkimittaukset lahotuskokeen jälkeen. Tavoitteena oli selvittää puukappaleen lujuuden heikkeneminen, minkä pitäisi tapahtua nopeammin verrattuna massan häviämiseen. Samalla tarkasteltiin männyn sydän- ja pintapuun lahonkestävyyttä.

2 Puun kyllästämisen historia

Puun lahonkestävyydellä on suuria eroja puulajien ja puuyksilöiden välillä. Erilaisilla kyllästeaineilla ja puun modifiointimenetelmillä on pyritty parantamaan lahonkestoja jo 1800-luvun alkupuolelta alkaen kivihiiliterva- eli kreosoottiyhdisteen keksimisestä. Tehokkaiden kyllästeiden valta-aika kesti aina 1900-luvun loppupuolelle, jolloin alettiin kiinnostua ihmisen elinympäristön suojelemisesta, mikä johti tehokkaiden kyllästeiden käytön osittaiseen kieltämiseen. Näistä muutamat aineet sallittiin ainoastaan hyvin kontrolloidussa käytössä, rajoitetuissa käyttöolosuhteissa ja ainoastaan tietyillä ehdoilla. (Venäläinen 2012.)

Näillä rajoitteilla pyrittiin ehkäisemään kromin ja arseenin siirtymistä luontoon. Tämä johti ns. CCA-kyllästeen (kupari, kromi ja arseeni) käytön loppumiseen joka puolella maailmaa. CCA-kyllästetty puu on luokiteltu ongelmajätteeksi, joka käytön jälkeen on lähetettävä ongelmajätelaitokseen hävitettäväksi. Voimakkaammista kyllästeistä kreosootti on edelleen käytössä rajoitetusti ja kupari, johon monet uuden sukupolven kyllästeet perustuvat. (Venäläinen 2012.)

3 Puun lahonkestävyysvaatimus

Lahonkestävyysvaatimus on aina suhteutettava puun käyttökohteeseen eli minkälaiseen käyttöön puu tulee ja minkälaista lahonkestävyyttä siltä vaaditaan. Kuivat tai satunnaisesti kastuvat olosuhteet eivät välttämättä vaadi minkäänlaista lahonsuojaa. Näissä olosuhteissa puun käyttöikä säilyy riittävän pitkänä ilman mitään kyllästeitä. (Venäläinen 2012.)

Toinen raja-käyttökohdealue, jossa puu kastuu, on esimerkiksi ikkunanpuitteet, oven pielet, ulkovuoraus, ym. piha- ja ulkorakentaminen, joissa puu on maan- ja vedenpinnan

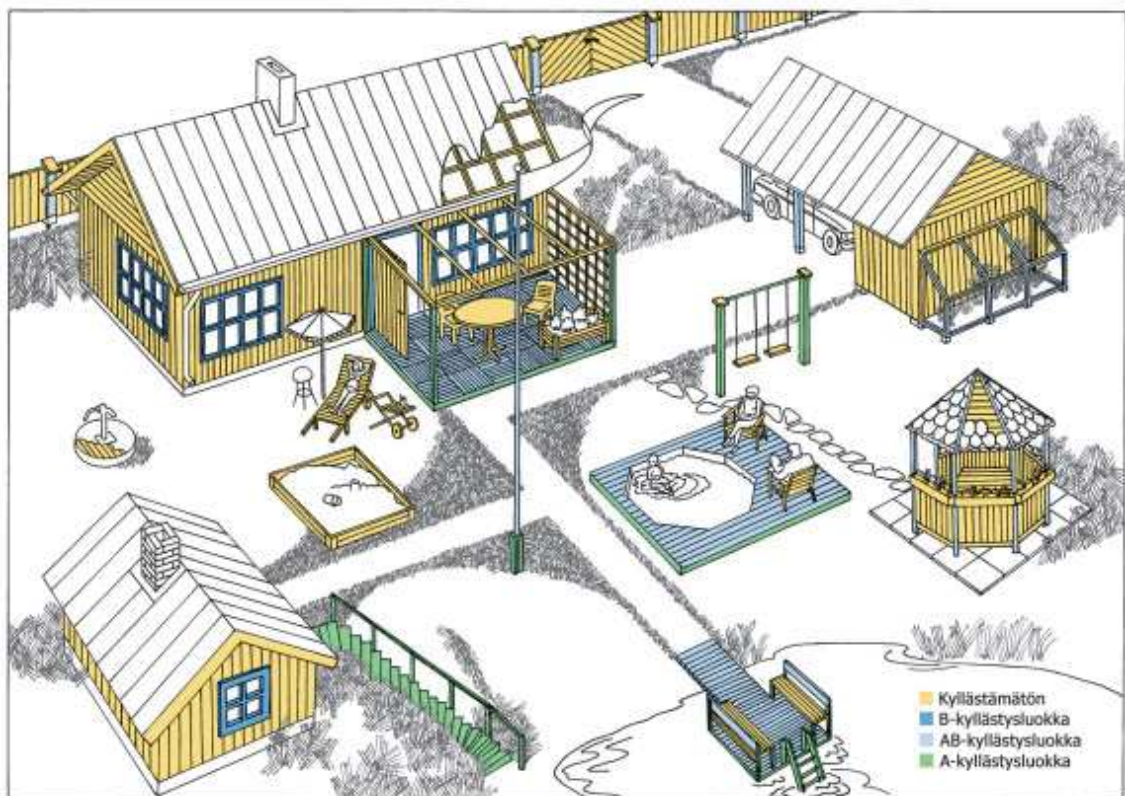
yläpuolella. Näissä puu altistuu epäsäännöllisesti, mutta kuitenkin toistuvasti sateelle ja roiskevedelle. Näillä pinnoilla tarvitaan jo lahonkestävyyttä. (Venäläinen 2012.)

Hankalin käyttökohteen alue on paikat, jossa maakosketusta ei voida välttää. Näitä ovat esimerkiksi ilmajohtojen pylväät, puiset ratapölkkyt, hirvi- ja karja-aidat. Näissä kaikissa puu joutuu suoraan maankosketukseen, mikä luo suuren haasteen verrattuna sade- ja roiskevedelle. Maakosketusluokkaa vielä vaikeampi tapaus on merivesikosketusluokka (M), mutta tämän huomioiminen ei ole Suomessa tarpeen. (Venäläinen 2012.)

Pohjoismainen puunsuojaneuvosto (NTP Nordiska Träskyddsrådet) on luokitellut painekyllästetyn puun neljään luokkaan käyttökohteiden vaatimuksia vastaavasti:

- M-luokka: puu suolaisessa merivedessä. Ei tarpeen käyttää Suomessa.
- A-luokka: puu, joka on jatkuvassa kosketuksessa maahan tai veteen.
- AB-luokka: säälle ja kondenssikosteudelle alttiina oleva sateelta suojaamaton puu.
- B-luokka: säälle ja kondenssikosteudelle alttiina oleva sateelta suojattu puu.

(Wikipedia 2012.)



Kuva 1. Kyllästetyn puutavaran käyttöluokitus ja -kohteet. (Piiros: Jorma Laakso.)

AB-luokkaan löytyy kyllästeitä paljon, ongelmana onkin lähinnä löytää ympäristöystävällisiä aineita maakosketusluokkaan (Venäläinen 2012).

4 Puun lahoaminen

Lahon käsitteitä

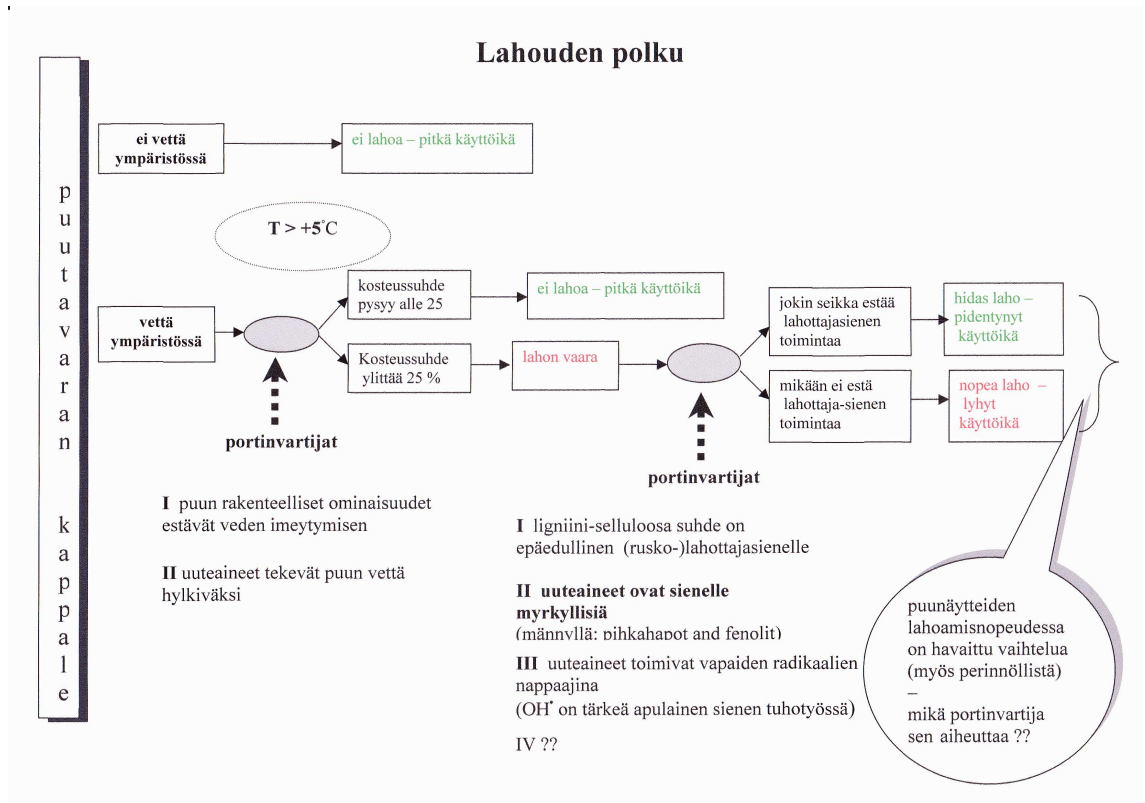
Laholla tarkoitetaan lahottajasienen kemiallisesti ja fysikaalisesti muuttamaa puuta. Lahottajalla tarkoitetaan puuta lahottavaa sientä, ja ne jaetaan usein valko-, rusko- ja katkolahottajiin. (Kärkkäinen 2003, 308.)

4.1 Edellytykset lahosienelle

Lahoaminen tarvitsee vettä, happea ja organismin, joka pystyy hajottamaan puun vedeksi ja hiilidioksidiksi. Jos vettä ei ole saatavilla tai puun kosteussuhde pysyy muustasyystä alle 25 %, puu ei lahoa ja sillä on pitkä käyttöikä.

Normaalisti luonnossa puu imee vettä, mutta siinä voi olla mukana ihmisen laittamia tai luonnollisia kosteudenestomekanismeja. Lahoamisen vaara on suuri, jos nämä kosteudenestomekanismit eli portinvartijat eivät toimi, lämpötila on selvästi yli 0 °C sekä happea on saatavilla. Jos kostumisen jälkeen mitkään muutkaan estomekanismit eivät estä lahoamista, puu lahoaa nopeasti.

Puun lahoaminen hidastuu ja käyttöikä lisääntyy, mikäli löydetään tekijöitä, jotka estävät lahosienen toiminnan. (Venäläinen 2012.)



Kuva 2. Lahouden polku. (Kuva: Venäläinen Martti.)

Vesi

Kosteutta poistamalla tai välttämällä puun kostuminen voidaan yksinkertaisesti estää lahoamista tai säädellä puun erilaisia käyttötapoja. Pitkäaikaiset kokemukset puusta osoittavat, että kuiva puu suojellussa ympäristössä tai veden kyllästävä puu, lahoavat harvoin. Pitkissä lahotuskokeissa onkin hankalaa säilyttää tarkka kosteuspitoisuus koe-kappaleissa. Lisäksi sienet vapauttavat vettä lahotusprosessin yhteydessä ja sienien vaihtelevuus on huomattava eri kosteusasteilla. (Zabel & Morrell 1992, 90–92.)

Tehokas lahotusprosessi vaatii sen, että sienellä on oltava vapaata vettä soluontelossa. Sienet eivät pysty kasvamaan tehokkaasti kosteudessa alle puun syiden kyllästymispisteen (PSK). Puun syiden kyllästymispiste vaihtelee eri puulajien välillä, mutta keskiarvo sille on 28–30%. Optimaalinen puun kosteuspitoisuus useimmille lahottajasienille on 40–80%. (Zabel & Morrell 1992, 90–95.)

Valko- ja ruskolahottajat vaativat korkean alkukosteuden voidakseen iskeytyä puu-ainekseen mutta alkuun päästyään ovat tehokkaita lahottajia. Lahottajasienet voivat rihmastollaan viedä vettä kosteammasta puun osasta kuivempaan puun osaan ja näin

edesauttaa lahon etenemistä. Ruskolahottajat tuottavat myös hiilidioksidia ja vettä hajottaessaan hiilihydraatteja. Alkuvaiheessa oleva kuivan puun lahoamisprosessi voidaan todeta lisääntyneen vesimäärän perusteella. (Kärkkäinen 2003, 309.)

Happi

Useimmat sienet ovat oblikaatteja aerobeja eli ne kuolevat ilman happea. Vapaata happea ne tarvitsevat aineenvaihduntaan. Jotkin sienet, kuten esimerkiksi hiivat, voivat hankkia energiansa suoraan fermentaation eli käymisreaktion kautta. Näitä kutsutaan fakultatiivisiksi anaerobeiksi, tällöin happipitoisuus on vähäistä tai puuttuu kokonaan. Osa bakteereista ja sienistä ovat obligaatteja anaerobeja eivätkä tarvitse happea lainkaan. (Zabel & Morrell 1992, 96–97.)

Lämpötila

Lämpötila vaikuttaa suoraan sienen moniin aineenvaihdunnallisiin toimintoihin, kuten ruoansulatukseen, yhteyttämiseen, hengittämiseen, ravinteiden liikkumiseen ja synteesiin joita entsyymit välittävät. Yleensä useimpien sienten kasvulämpötilat ovat 0 ja 45 °C -asteen välillä. (Zabel & Morrell 1992, 102–103.)

Kasvualusta ja happamuus

Sienet ja useimmat bakteerit tarvitsevat kasvualustan. Siitä ne saavat energiaa, aineenvaihduntatuotteita, joita tarvitaan sienen kasvuun ja kehittymiseen sekä tarvittavia vitamiineja, hiilidioksidia ja typpeä. Lahottajasienet kasvavat parhaiten happamuuden (pH) arvon ollessa välillä 3 ja 6. (Zabel & Morrell 1992, 107–108.)

Typpi

Puun typpipitoisuus vaihtelee 0.03–0.10 %. Muilla ruoho- ja kasvimuodoilla se vaihtelee 1–5 %. Puun lahottajasienet tulevat siis toimeen huomattavan vähäisillä typpivaroilla. Typpeä voidaan lisätä puuhun amino- tai ammoniamuodossa, mikä usein lisää puun lahoamisnopeutta. Tässä on kuitenkin otettava huomioon, että happamuus (pH) säilyy optimiarvojen sisällä. Typen määrä vaihtelee puun rungon sisällä siten, että pinta-putaun typen määrä vähenee mentäessä ulkokehältä sydänpuuta kohti. Sydänpuussa typpeä on vähiten. (Zabel & Morrell 1992, 109.)

Muut tekijät

Muita vaikuttavia tekijöitä voivat olla muun muassa vitamiinit ja kivennäisaineet.

Monet muut ympäristötekijät saattavat vaikuttaa myös lahottajasienien lisääntymiseen, kasvuun ja kykyyn hajottaa puuta. Näitä muita tekijöitä saattaa olla valo, ilmanpaine, äänen värähtely, painovoima ja radioaktiivisuus. Näiden tekijöiden vaikutuksesta tiedetään kuitenkin vähän. (Zabel & Morell 1992, 110–111.)

5 Lahottajien tyypit ja vaikutustapa

5.1 Valkolahoho

Valkolahoa esiintyy yleisemmin lehti- kuin havupuilla. Tähän on syynä ilmeisesti havu- ja lehtipuiden eri hemiselluloosakoostumus. Valkolahottajat käyttävät hyväkseen puun ligniiniä, selluloosaa sekä eri hemiselluloosalajeja melkein samassa suhteessa. Lopputuloksena tästä lahoamisprosessista jää jäljelle vaaleahkoa massaa sienilajista riippuen. (Kärkkäinen 2003, 309.)

Valkolahottajat aiheuttavat korroosiolahoa. Siinä puu hajoaa epätasaisesti sienien saastuttamassa puussa siten, että saastudeiden osien välissä oleva puu pysyy lähes muuttumattomana. Tästä syystä tätä lahotyypia sanotaan toiselta nimeltään myös reikälahoksi. Lahon edetessä kolot suurenevät ja puuainees tulee entistä huokoisemmaksi. Väriytyytiltään tämä laho on aina vaaleahkoa. (Kärkkäinen 2003, 311.)

5.2 Ruskolahoho

Ruskolahoa esiintyy tavallisemmin havu- kuin lehtipuilla. Ruskolahottajat käyttävät pääasiallisesti hyväkseen puun selluloosaa ja jättävät ligniinin käyttämättä (Kärkkäinen 2003, 309). Kutistumis- eli destruktiolahoho on tyypillisesti ruskolahottajien aiheuttamaa lahoa. Lahoamisprosessi tapahtuu tasaisesti koko puussa siten, että sienien saastuttaman

puun väri muuttuu ruskeaksi tai lähes mustaksi. Kuivuessaan puu halkeaa säteen, tangentin ja pituuden suunnissa pieniksi, ruskeiksi ja kutistuneiksi kuutioiksi. (Kärkkäinen 2003, 311.)



Kuva 3. Ruskolaho. (Kuva: Martti Venäläinen.)

5.3 Katkolaho

Katkolaho edustaa laajempaa ”soft-rot”-lahotyyppiä, jolle ei ole varsinaista suomenkielistä nimeä (Venäläinen 2012). Sitä aiheuttaa katkolahottajaksi sanotut sienet. Katkolahottajat ovat erittäin hitaita lahottajia. Ominaista niille on, että ne voivat toimia hyvin äärimmäisissä olosuhteissa, kuten erittäin kuivassa tai läpimärässä ympäristössä. (Kärkkäinen 2003, 309–310.) Katkolahottajien saastuttama puu näyttää ulospäin kovalta ja terveeltä, se kuitenkin katkeaa helposti kohtisuoraan puun syitä vastaan.

Sinistäjä sienet leviävät puuhun itiöiden välityksellä, aikaisemmasta infektiokohdasta tai mahdollisesti hyönteisen kuljettamasta rihmastosta. Ne voivat kasvaa jopa alle + 5 °C lämpötilassa. Sinistäjä sienien vaikutus soluseinämään on vähäinen, joten puun mekaa-

ninen lujuus on melkein sama kuin terveellä puulla. Haittaavin tekijä onkin sienten puuaineelle aiheuttama värinmuutos. Sinistymää voidaan torjua kuivaamalla puu mahdollisimman nopeasti 22 %:n kosteussuhteen alapuolelle tai sienimyrkyillä. (Kärkkäinen 2003, 305–306.)

5.4 Lahon vaikutus

Puulta edellytetään usein mekaanista lujuutta esim. rakenteissa. Sen mekaaninen lujuus alkaa heiketä heti lahoamisen alkuvaiheista lähtien. Etenkin iskutaivutuslujuuteen vähäinenkin laho vaikuttaa huomattavasti. Tämän vuoksi puun laho estää useissa tapauksissa puun käytön kokonaan. (Kärkkäinen 2003, 311.)

Lujuuden aleneminen on voimakkainta lahoamisen alkuvaiheessa. Lujuusominaisuudet heikkenevätkin merkittävästi nopeammin kuin puu menettää massaa lahoamisen seurauksena. Massan vähentyessä 10 % lahon vuoksi, taivutuslujuus heikkenee 60–70 % alkuperäisestä lujuudesta. Veto- ja puristuslujuuksia testatessa vastaavat arvot ovat 40 - 60 % massan vähentyessä 10 %. (Kärkkäinen 2003, 312.)

Eri puulajeilla on suuriakin eroja niiden kyvyssä torjua lahoa, ja näin ollen niiden lujuusominaisuudetkin säilyvät eri tavalla. Sienillä voi myös olla erilaisia vaikutuksia kappaleen lujuuteen nähden. Ruskolahottajat alentavat lujuutta luultavasti valkolahottajia enemmän, etenkin silloin, kun massan väheneminen on suuri. Tämä johtuu siitä, että ruskolahottajat lyhentävät huomattavasti selluloosaketjun pituutta. (Kärkkäinen 2003, 312.)

5.5 Lahonkestävyys männyn pinta- ja sydänpuulla

Pinta- eli mantopuuksi kutsutaan rungon poikkileikkauksessa erottuvaa vaaleaa ulkokehää (Rantala 2008, 452). Pintapuuta on elävää puuainesta, jossa vesi ja ravinteet siirtyvät juurista latvukseen.

Sydänpuu on rungon sisin osa, joka männyllä poikkeaa pintapuusta tummemman värinsä ja alhaisemman kosteutensa vuoksi. Sydänpuu on kuollutta puuainesta, jossa rasvat ja tärkkelys on käytetty sydänpuun sisältämien yhdisteiden tuottamiseen. (Rantala 2008, 452.)



Kuva 4. Männyn pinta- ja sydänpuu. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Ominaista männyn sydänpuulle on sen korkeat hartsihappojen ja fenoliyhdisteiden pitoisuudet, jotka suojaavat sydänpuuta lahoamiselta. Lisäksi sydänpuun solujen väliset huokokset ovat yleensä sulkeutuneet, jolloin sydänpuu läpäisee heikosti kaasuja ja nesteitä. Tämä vaikeuttaa sydänpuun kyllästämistä lahonsuoja-aineilla. (Rantala 2008, 452–453.)

Sydänpuulla uuteainepitoisuuksien vaihtelu tuo merkittävimmän tekijän lahonsuojalle (nopeuseron lahoamiselle). Sydänpuun sisällä on havaittu suuriakin eroja lahoamisen etenemisessä.

Uuteainepitoisuuden, lähinnä fenolisten uuteaineiden pitoisuus on vaihtelun taustalla (lahoamisen). Toinen merkittävä uuteaineryhmä on hartsihapot. Ne tuovat pääasiassa veden hylkimisreaktiota puulle ja toimivat ”ensimmäisellä portilla” vartijana (kuva 5).

Hartsihapoilla on myös jonkun verran sienten aineenvaihduntaan vaikutusta. (Venäläinen 2012.)

Männyn sydänpuun lahonkestävyydellä on suuria eroja eri puuyksilöiden välillä. Lahonkestävin osa sydänpuussa on sen ulkoreuna, joka on heti pintapuun alapuolella. (Venäläinen 2012.) Sydänpuun ulkoreunan tiheys ja uuteainepitoisuudet ovat myös korkeampia kuin puun ytimen lähellä (Kärkkäinen 2003, 314). Näistä uuteainesta merkittävimpiä on tiettyjen fenoliyhdisteiden, stilbeenien, pitoisuus. Sydänpuun lahonkestävyyden on havaittu periytyvän melko voimakkaasti. (Venäläinen 2012.)

6 Puun lahonkestävyyden testaaminen

Testausmenetelmät

Metsäntutkimuslaitos testaa uusien puutuotteiden pitkäaikaiskestävyyttä ja vertaa sitä tiettyihin vertailumateriaaleihin. Testattavana voi olla sydän- ja pintapuuta, lämpökäsiteltyä puuta, puristettua puuta tai eri aineilla kyllästettyä puuta. Kyllästeinä voidaan käyttää erilaisia kemikaaleja tai puusta uutettuja kyllästeaineita. Tavoitteena näillä kokeilla on selvittää puun lahonkestävyys ja odotettavissa oleva käyttöikä. (Venäläinen 2012.)

Kaikissa pohjoiseurooppalaisissa lahotuskokeissa referenssimateriaalina käytetään männyn pintapuuta, kun puhutaan havupuista. Männyn pintapuuta käytetään ja kyllästetään myös Suomessa. (Venäläinen 2012.)

6.1 Laboratoriolahotuskokeet

Laboratoriokokeissa selvitetään, mikä on tietyn uuteaineen, esimerkiksi männyn stilbeenin vaikutus siihen, miten sienet tai bakteerit maljoilla elävät, kun ne altistetaan sille. Aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että stilbeeni vapaana yhdisteenä haittaa selvästi sienien ja bakteerien kasvua. Vapaa yhdisteet maljoilla voivat olla sienille kuolettavia,

mutta puuhun sitoutuneena uuteaineet ovat sienille vähemmän haitallisia. (Venäläinen 2012.)

Sieni pystyy käsittelemään jopa 200-kertaisia pitoisuuksia, kun aine on puun sisällä soluseinissä verrattuna vapaaseen liuokseen. Tämän vuoksi puhtailla aineilla tehtävät lahottajasienikokeet ovat suuntaa antavia. Näiden alustavien laboratoriokokeiden tarkoituksena on selvittää, kuinka uuteaineet haittaavat sienen kasvua. (Venäläinen 2012.)



Kuva 5. Saunakääpä normista sovelletussa laboratoriokokeessa. (Kuva: Eija Matikainen.)

Laboratoriolahotuskokeissa kasvatetaan lahottajasieniä maljoilla laboratorio-olosuhteissa. Näitä kokeita säätelee eurooppalainen normi EN 113. Kokeissa käytetään pieniä kyllästettyjä tai kyllästämättömiä puukappaleita. Normissa on säädetty tiettyjä sieniä käytettäväksi lahotuksessa. Näitä sieniä ovat esimerkiksi kellarisieni, saunakääpä, istukakääpä, joista kellarisieni on aina mukana. Kokeessa tulee olla aina vähintään kolme sientä mukana. Sienikantoja kasvatetaan puhtaina viljelminä, joihin tutkittava puukap-

pale laitetaan tekemisiin sienirihmaston kanssa. Normin mukainen koe kestää 16 viikkoa, jonka jälkeen tutkitaan kappaleen massahäviö. (Venäläinen 2012.)

6.2 Maakosketuskoe

Toinen koetyyppi on maakosketuskoe, jota säädellään euronormilla EN 252. Tähän normiin on pohjoismainen puunsuojausneuvosto NTR (Nordiska Träskyddsrådet) antanut oman tarkentavan ohjeen. (Venäläinen 2012.)

Maakosketuskoe suoritetaan puoli metriä pitkillä puukappaleilla, jotka upotetaan maahan puoleen väliin saakka. Kokeen kesto aika on minimissään viisi vuotta, ja maassa olevia näytteitä tutkitaan vuoden välein, jolloin niitä voidaan testata silmämääräisesti ja taivutuslujuuskokein, miten lahoaminen on edennyt. (Venäläinen 2012.)



Kuva 6. Maakosketuskoe. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Verrattuna laboratoriokokeeseen maalahotuskokeessa on useita kymmeniä vaikuttavia aineita ja tekijöitä, jotka vaikuttavat lahoamiseen. Sienet, bakteerit, pienet hyönteiset ja eläimet syövät puuainesta oman työnjakonsa mukaisesti kukin kerrallaan. Maalahotuskoe mukailee puun todellista käyttökohdetta ja tarkoitusta. Suurimpana heikkoutena tässä menetelmässä on kokeen pitkä kesto-aika. Samaa viiden vuoden minimikesto-aikaa käytetään myös Keski-Euroopassa, missä ilmasto-olosuhteet ovat täysin erilaiset kuin Suomessa. Jotta päästäisiin samankaltaisiin tuloksiin, olisi kokeen kesto oltava Suomessa jopa 7–8 vuotta. (Venäläinen 2012.)

Toinen ongelma on kokeen tulosten tulkinta. Ne antavat ainoastaan vähän informaatiota ja sisältävät subjektiivisen latauksen johtuen testaajan aistinvaraisesta tarkastelusta. Tämän vuoksi esimerkiksi tarkastajan vaihtuessa myös tuloksissakin saattaa tapahtua muutoksia. Ainoa luotettava testimenetelmä on taivutuslujuuskoe. (Venäläinen 2012.)

Kokeen kesto-aika ei myöskään vastaa nykyaikaisen tuotekehittelyn vaatimuksiin. Viisi vuotta on aivan liian pitkä aika testata tuotetta. Tämän vuoksi maakosketuskokeen tulos tulee usein jälkikäteen, jos ollaan tuomassa uutta tuotetta markkinoille. Tulevaisuudessa ratkaisevaa voi olla esimerkiksi se, tarvitaanko puutavaran CE -merkintöihin taakse pitkä lahotuskoe. (Venäläinen 2012.)

Tätä hidasta prosessia on pyritty nopeuttamaan tuomalla maakosketuskoe lämpimiin olosuhteisiin. Käyttämällä samaa maa-ainesta ja tuomalla koe multalaatikkoon kasvi-huoneeseen voidaan olosuhteita kontrolloida paremmin. (Venäläinen 2012.)

6.3 Multalaatikkokoe

Multalaatikkokokeissa pyritään luomaan mahdollisimman optimaalinen ympäristä lahotettaville puukappaleille tuomalla koe sisätiloihin. Puukappaleet voidaan laittaa erillisiin multapurkkeihin huoneenlämpöön eli noin +20 °C:seen. Näissä kokeissa lämpötila pysyy usein vakiona, mutta ongelmana on usein kosteuden säätely. (Venäläinen 2012.)



Kuva 7. Multalaatikkokoe. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Optimaalisen ympäristön luominen lahottajille onkin suurin haaste näissä kokeissa. Lisäksi heikkoutena voidaan nähdä se, että lahoamisen etenemisen seuraaminen on kytkeyty kuivapainohävikkiin. Lahosieni iskee ensimmäiseksi niihin puun rakenteisiin, jotka vaikuttavat puun lujuuteen ja siitä kuluu vielä jonkin aikaa, ennen kuin rakenne alkaa kemiallisesti hajota ja kuivapainomuutos voidaan havaita. Multalaatikkokokeille löytyy tällä hetkellä ENV 807 -standardi, joka ohjeistaa kokeiden tekemistä. (Venäläinen 2012.)

7 Tutkimuksen tarkoitus

Opinnäytetyön tavoitteena oli nopeuttaa puun luonnollista lahoamisprosessia luomalla sille mahdollisimman optimaaliset, mutta luonnolliset olosuhteet. Tätä varten suunniteltiin ja rakennettiin lahotuslaatikko sekä koekäytettiin se ISO 3133 -standardin mukai-

silla puukappaleilla. Tällä hetkellä tuloksien saaminen lahotuskokeissa kestää vähintään viisi vuotta, tätä aikaa pyrittiin lyhentämään.

Lahotuksen jälkeen puukappaleista mitattiin painohävikki ja niille tehtiin taivutuslujuuskoe. Tällä tarkastettiin lujuuden heikkeneminen, mikä teorian mukaan pitäisi tapahtua ennen kuin kappaleen massa häviää. Lisäksi tarkasteltiin männyn sydän- ja pintapuun lahonkestävyyden eroa ja käyttöikä. Koekäytöllä selvitettiin myös, miten laatikko oli toiminut ja mitä pitää ottaa huomioon suunniteltaessa mahdollisia tulevia kokeita.

8 Tutkimuksen menetelmälliset valinnat

Kyseessä oli kokeellinen tutkimus, jossa suunniteltiin, rakennettiin ja koekäytettiin lahotuslaatikko. Koekappaleina käytettiin männyn sydän- ja pintapuusta sahattuja ISO 3133 -standardin mukaisia 20 x 20 x 340 mm:in puukappaleita. Männyn pintapuuta käytetään referenssimateriaalina kaikissa Pohjois-Eurooppalaisissa lahotuskokeissa. Puukappaleille tehtiin standardin mukaiset painohävikkimittaukset ja taivutuslujuustestit. Tulosten laskennassa käytettiin Excel -laskentaohjelmaa sekä SPSS ja Statistica -ohjelmia.

9 Uudentyyppinen multalaatikkokoe

9.1 Kokeen suunnittelu

Koetta varten piti suunnitella ja rakentaa multalaatikko, jossa 20 x 20 x 340 mm:in puukappaleita voitiin lahottaa kappaleen keskeltä 15 cm:n matkalta.

Keskeltä lahottamiseen päädyttiin siksi, koska puukappaleille suoritettiin taivutuslujuuskoe ja tämän vuoksi näytteiden päät haluttiin säilyttää lahosta vapaina. Jos näytteet olisi upotettu kokonaan maahan, lahoaminen olisi luultavasti alkanut ensimmäiseksi näytteiden päistä, veden päästessä niistä sisään. Tällä pyrittiin vähentämään häiritseviä

tekijöitä taivutuslujuuskokeissa, koska näytteiden päätyosat olivat lahosta vapaat ja rasi-
tus kohdistui kappaleen keskiosaan.



Kuva 8. ISO 3133 -standardin mukaisia 20 x 20 x 340 mm:in puukappaleita. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Aikaisemmista kokeista tiedettiin, että mullan kosteuden säätely on haasteellista. Tämän laatikon suunnittelussa pyrittiin ottamaan huomioon se, että mullan kosteuden säätelminen olisi helpompaa esimerkiksi luomalla kastelujärjestelmä sekä pienentämällä ilmatilaa laatikon sisällä.

9.2 Rakentaminen

Multalaatikon seinät ja kansi tehtiin 12 mm:in filmivanerista. Seinät ja kansi eristettiin 20 mm paksulla Finnfoam-lämmöneristeellä. Laatikon ulkomitat ovat kooltaan 3 000 x 400 x 220 mm. Reikien koko, johon puukappaleet laitettiin, ovat kooltaan 25 x 25 mm. Laatikon pohjalla on sähköllä toimiva, termostaattiohjattu lämpöelementti metalliverkkoon kiinnitettynä. Pohjalle lisättiin sen verran hiekkaa, että metalliverkko ja lämpöelementti peittyivät siihen. Hiekan päälle laitettiin kangas, joka esti kosteuden valumisen hiekkaan. Kankaan päälle laitettiin multaa, joka on otettu Metsäntutkimuslaitoksen pihamaalta. Multa on tutkittua ja koekäyttöön hyväksyttyä maa-ainesta.

Laatikon sisällä pohjamullassa kierti sähköasennuksissa käytettävä suojaputki, johon porattiin reikiä. Putken päät tulivat mullasta ulos laatikon molemmista päistä sekä keskeltä. Putkeen vettä kaatamalla säädeltiin laatikon mullan kosteutta. Lämmön vaikutuksesta vesi nousi mullan pintaa kohden ja kosteutti sitä. Laatikon ulkopuolella oli paneeli, johon oli kiinnitettynä käyttökytkin ja lämmönsäädön kytkin.



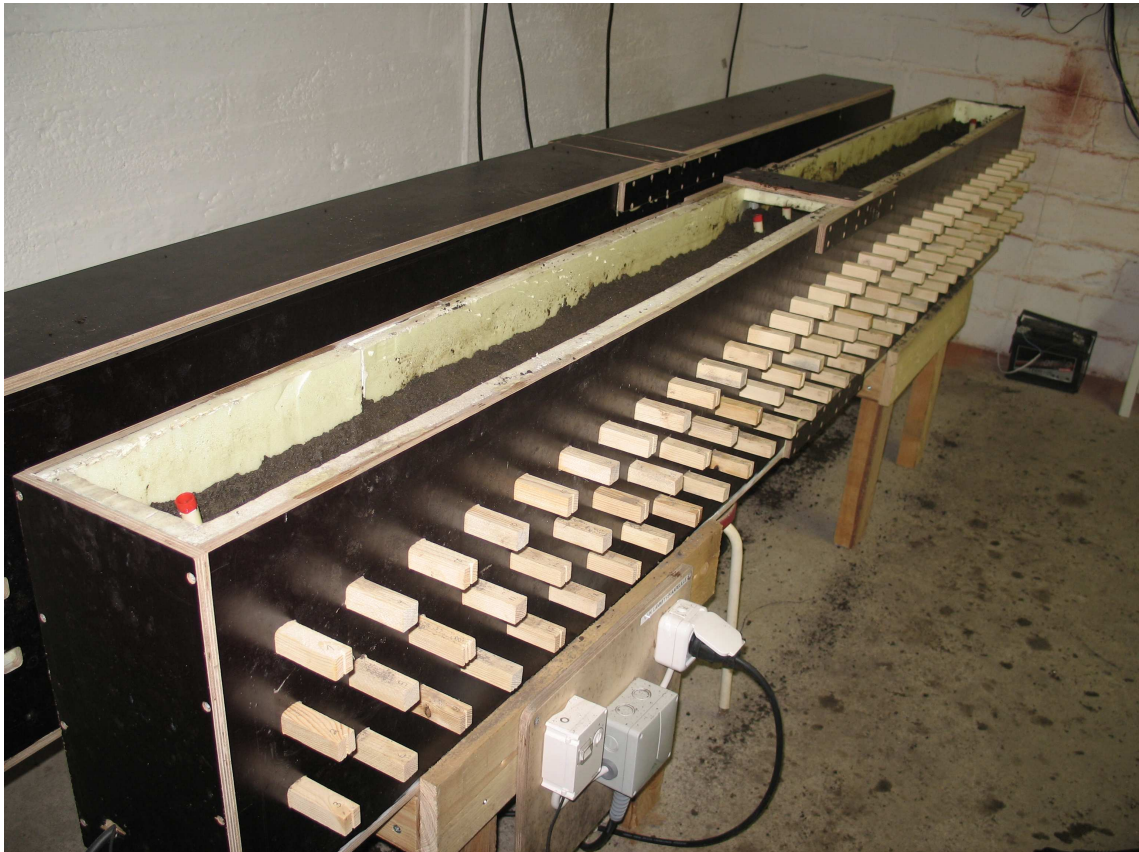
Kuva 9. Käyttövalmis lahtuslaatikko. (Kuva: Martti Venäläinen.)

9.3 Toteutus

Koe aloitettiin 21.12.2010. Laatikossa oli puukappaleita 102, kolmesta eri puuyksilöstä. Näytteiden koko oli 20 x 20 x 340 mm ja ne olivat sekä männyn pinta- että sydänpuuta. Puukappaleet työstettiin tuppeensahatuista mäntylankuista, jossa sydänpuunäytteet oli otettu heti pintapuun alapuolisesta sydänpuuosasta (liite 1). Sahauksen yhteydessä puukappaleet sekoitettiin keskenään. Näytteet tutkittiin UV-valolla, jolla sydän- ja pintapuun raja pystyttiin tarkistamaan. Sydänpuunäytteeseen sahattiin pystysuora lovi tunnistamista varten. Sahauksen jälkeen puukappaleet laitettiin uuniin + 60 °C:een kahdeksi vuorokaudeksi. Normaalialhaisempi lämpötila ja pidempi uunissaapitoaika on

Metsäntutkimuslaitoksen tutkimuksissa käyttämä lämpötila. Tämän jälkeäni niistä mitattiin kuivapaino.

Kuivapainon mittaamisen jälkeen kappaleet laitettiin lahotuslaatikkoon. Puunäytteiden numerointi eteni kartan (liite 2) mukaisesti pystysuorissa riveissä alkaen näytteistä 1–3, jotka olivat sydänpuuta, 4–6 pintapuuta jne.



Kuva 10. Kokeen aloittaminen. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Multalaatikon lämpötilan säätely

Laatikon sisälämpötilaa mitattiin kahdella anturilla koko kokeen ajan sähkökatkoja lukuun ottamatta. Anturien mittaamat lämpötilojen keskiarvot olivat 22,2 °C ja 17,4 °C koko ajan. DeLogger -datataker löytyi seinältä, josta tiedot purettiin tietokoneelle. Näytöltä pystyi katsomaan myös mullan sen hetkisen lämpötilan.

Multalaatikon kosteuden säätely

Mullan kosteutta mitattiin viikottain WET Sensor –kosteusmittarilla (liite 3), lukuunottamatta jaksoja, jolloin mittari ei ollut käytettävissä. Laatikkoon oli lisäksi upotettu neljä kontrollitikkua(mäntyä), jotka ulottuivat laatikon pohjaan. Näillä tikulla tarkkailtiin mullan kosteutta silmämääräisesti laatikon koko syvyydeltä. Jos multa tuntui liian kui-

valta tai kosteusmittari osoitti sen, lisättiin vettä ensin neljästä syöttöpisteestä (punaisia tulppia) rattia apuna käyttäen. Näistä syöttöpisteistä saatiin vettä lisättyä laatikon alaosaan. Tarvittaessa lisättiin vettä myös mullan pinnalle. Pyrittiin siihen, että kosteusmittarin näyttämä oli ainakin aluksi vähintään 20 %.

Näytteiden poisotto

Näytteiden poisotto tehtiin viidessä eri vaiheessa. Ensimmäinen poisotto suoritettiin noin neljä kuukautta kokeen aloittamisesta. Tällöin poistetaan 20 kpl näytteitä (kuva 11). Toinen poisotto suoritetaan viisi kuukautta kokeen aloituksesta (20 kpl) ja kolmas 7 kuukautta kokeen aloituksesta (20 kpl). Ensimmäisen poisoton yhteydessä tarkastettiin lahoamisen eteneminen ja määriteltiin ajat toiselle ja kolmannelle poisotolle, kunnes kaikki viisi erää oli poistettu.

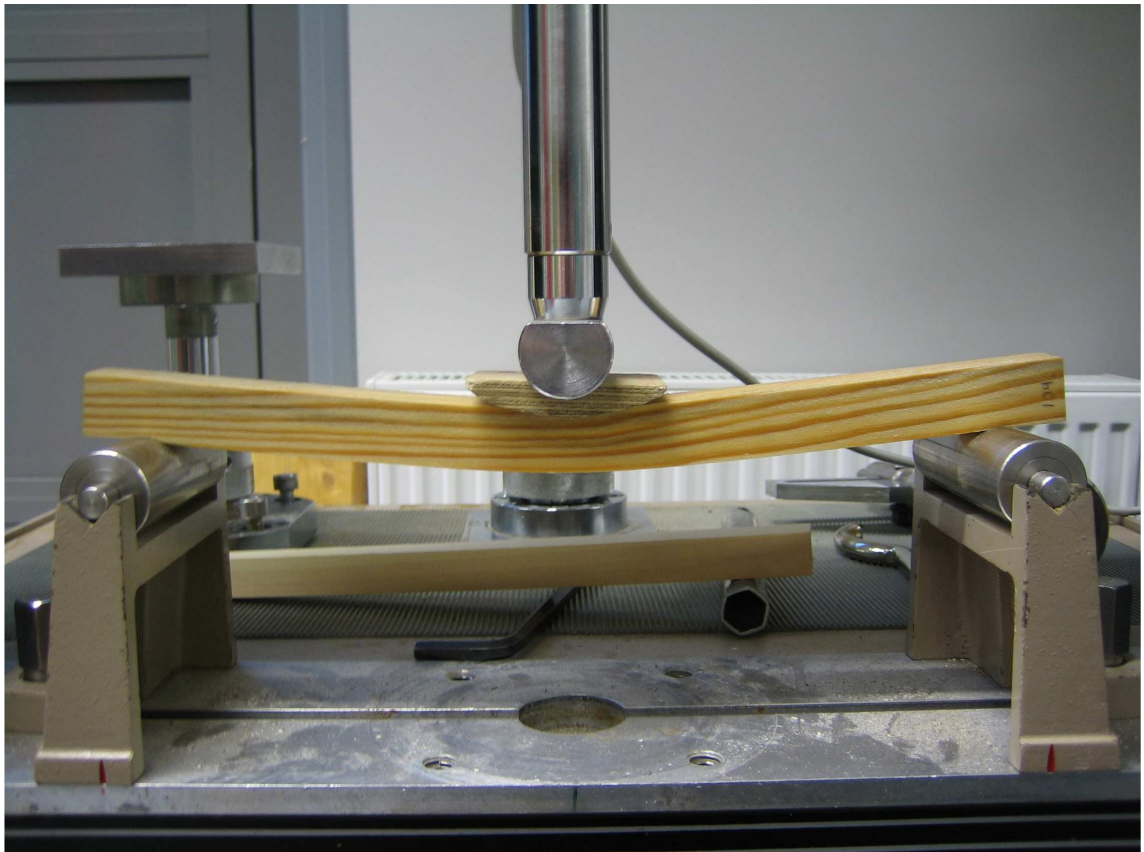


Kuva 11. Ensimmäisten näytteiden poisotto. (Kuva: Martti Venäläinen.)

Heti lahotuksen jälkeen kappaleista pyyhittiin ensin multa pois ja mitattiin paino. Tämän jälkeen ne varastoitettiin + 2 °C odottamaan taivutuslujuuskoetta. Varastoimalla kappaleet viileään voitiin samalla katkaista niiden lahoamisprosessi.

Taivutuslujuuskoe

Taivutuslujuuskoe suoritettiin kolmipistetaivutuksena kohtisuoraan puun syitä vastaan ISO 3133 -standardin mukaisesti Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun Alvetron TCT20 -laitteella. Puukappaleet asetettiin tukien päälle ja niitä painettiin keskeltä alas. Kokeessa käytettiin vanerista puukappaletta näytteen ja anturin välissä. Tällä pyrittiin minimoimaan ettei anturi uppoa näytteeseen ennen taipumaa (kuva 12).



Kuva 12. Kolmipistetaivutus Alvetron TCT20 -laitteella. (Kuva:Heikki Partanen.)

Ennen taivutusta koekappaleista laskettiin niiden korkeus ja leveys ja laite antoi maksimivoiman arvot taivutuksen jälkeen. Nämä arvot lisättiin laskentapohjaan, josta saatiin taivutuslujuus (liite 4). Kimmomoduulit laskettiin Alvetron laitteeseen kytketyn piirturin tekemistä kuvaajista (liite 5). Millimetripaperilta saadut arvot syötettiin valmiiseen laskentapohjaan, joka laskee puukappaleiden kimmomoduulit (liite 4).

Kosteussuhteen mittaaminen

Kappaleiden tuoreudessa mitattiin heti multalaatikosta otton jälkeen, kun näytteistä oli harjattu irtoava multa pois. Taivutuslujuuskokeen jälkeen puukappaleet kuivattiin läm-

pökaappimenetelmää käyttäen + 60° C uunissa kaksi vuorokautta, jonka jälkeen niiden paino mitattiin. Puukappaleiden kosteussude on laskettu kaavalla

$$u = (m_u - m_o) / m_o * 100$$

missä m_u = puukappaleen massa tuoreena

m_o = puukappaleen massa kuivana

Tavoitteena oli, että puukappaleiden kosteussuhde on koko lahotuksen ajan yli puun syiden kyllästymispisteen (PSK), jotta saavutetaan lahoamisprosessin vaatima kosteus. Puukappaleiden kosteussuhteet löytyvät liitteestä 6. Näytteiden massaa ei mitattu erien välillä kesken lahotusprosessin vaan ainoastaan laatikosta poisoton jälkeen.

Painohäviön mittaaminen

Painohäviön mittaamista varten puukappaleet sahattiin kolmeen osaan (kuva 13). Koska näytteet oli lahotettu ainoastaan keskiosasta, sahattiin jokaisesta näytteestä lahotettu keskiosa pois. Tämän jälkeen sen massaa verrattiin lahottamattoman näytteen kuivapainoon, josta oli vähennetty pois lahottamattomien reunakappaleiden massa. Sahauksen yhteydessä kappaleet lyhenivät keskimäärin kuuden millimetrin verran, mikä huomioitiin painohäviön laskemisen yhteydessä. Laskelmat löytyvät liitteestä 7.



Kuva 13. Katkaistu puukappale. (Kuva: Heikki Partanen.)

Kuivatuoretiheyden mittaaminen

Puukappaleiden kuivatuoretiheydet mitattiin punnitus ja tilavuuden määrittämissä menetelmissä. Ensin laskettiin kappaleiden tilavuus heti lahotuksen jälkeen kertomalla niiden pituus, korkeus ja leveys. Tämän jälkeen kappaleet kuivattiin lämpökaappimenetelmää käyttäen ja laskettiin niiden massa. Kuivatuoretiheys saatiin, kun jaettiin paino tilavuudella (liite 6).

10 Tulokset

Puukappaleet poistettiin laatikosta suunnitelman mukaisesti viidessä eri erässä (taulukko 1). Nolla-erä kuvioissa on kontrollierä, jolle ei ole tehty lahotusta eikä myöskään laskettu painohäviötä. Kontrollikappaleita kostutettiin keskeltä 15 cm:n matkalta vastaan mahdollisimman luontaista kosteussuhdetta neljän päivän ajan (kuva 14).



Kuva 14. Kontrollikappaleiden kostuttaminen keskeltä. (Kuva: Heikki Partanen.)

Erien 1–2 väli oli kuukausi ja viimeisten erien kaksi kuukautta. Toteutuneet ajankohdat ja puukappaleiden sijainnit multalaatikossa näkyvät myös multalaatikon kartta -liitteestä (liite 2).

Taulukko 1. Puukappaleiden poistoajat erittäin.

Koe aloitettu 21.12.2010

Erä	Kuukausia	Kpl poistettu	Poistoajankohta	Taivutus tehty
0	0	Kontrollierä 20 kpl	Kontrollierä	29.11.2011
1	4	20	6.4.2011	26.4.2011
2	5	20	27.5.2011	9.6.2011
3	7	20	27.7.2011	12.8.2011
4	9	21	27.9.2011	7.10.2011
5	11	21	25.11.2011	29.11.2011

Tuloksia analysoitaessa ja laskettaessa laskettiin erien keskiarvot sydän- ja pintapuukappaleille (liite 8).

Korrelaatiot

Tuloksia analysoitessa tutkittiin korrelaatiot eli muuttujien väliset riippuvuudet niiden välillä. Työvälineinä käytettiin SPSS ja Statistica -tilasto-ohjelmia. Muuttujina käytettiin taivutuslujuutta, kimmomoduulia, kosteussuhdetta, kuivatuoretiheyttä ja painohäviötä. Muuttujien väliset positiiviset ja negatiiviset riippuvuussuhteet käyvät ilmi taulukosta 2. Positiivisessa riippuvuussuhteessa molempien muuttujien arvot kasvavat, negatiivisessa riippuvuussuhteessa, kun toinen arvo kasvaa niin toinen pienenee.

Taulukko 2. Muuttujien väliset riippuvuussuhteet.

		Correlations				
		Taivutus	Kimmo	Kosteus	Kuivatuore	Painohäv.
Taivutus	Pearson Correlation	1	,944**	-,645**	,877**	-,520**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,000	,000
	N	119	118	119	119	99
Kimmo	Pearson Correlation	,944**	1	-,639**	,874**	-,498**
	Sig. (2-tailed)	,000		,000	,000	,000
	N	118	118	118	118	98
Kosteus	Pearson Correlation	-,645**	-,639**	1	-,553**	,482**
	Sig. (2-tailed)	,000	,000		,000	,000
	N	119	118	122	121	102
Kuivatuore	Pearson Correlation	,877**	,874**	-,553**	1	-,182
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000		,068
	N	119	118	121	121	101
Painohäv.	Pearson Correlation	-,520**	-,498**	,482**	-,182	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,068	
	N	99	98	102	101	102

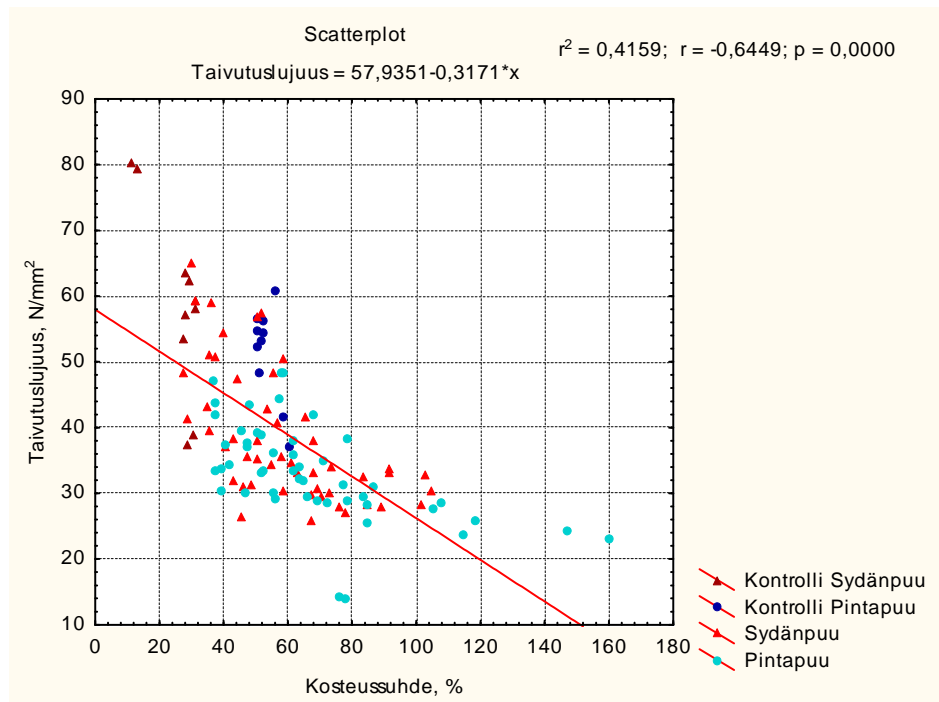
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Taulukosta selviää, että eri muuttujien välillä on selvä riippuvuussuhde lukuunottamatta kuivatuoretiheyden ja painohäviön keskinäistä riippuvuutta. Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin välinen riippuvuus on 0,94 eli erittäin merkittävä.

Taivutuslujuus ja kosteussuhde

Scatterplot -kuvioilla voidaan tarkastella merkittävämpien muuttujien riippuvuuksia.

Kuviossa 1 tarkastellaan kosteussuhteen ja taivutuslujuuden välistä riippuvuutta.

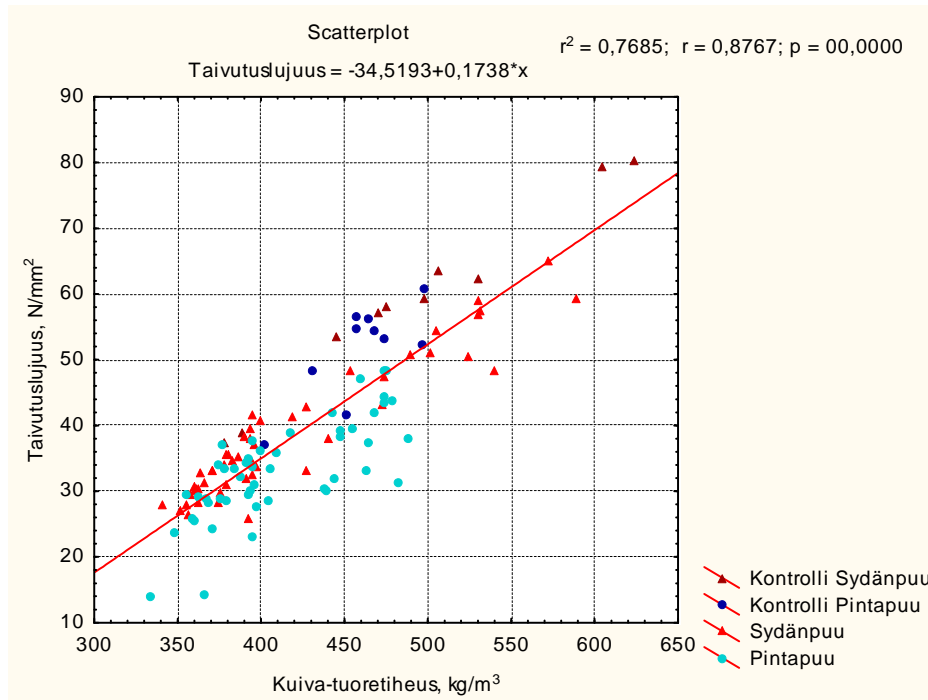


Kuvio 1. Taivutuslujuus ja Kosteussuhde.

Kuviosta selviää, että muuttujilla on negatiivinen riippuvuussuhde eli kosteussuhteen kasvaessa taivutuslujuus heikkenee. Kosteussuhteen nousu vaikuttaa heikentävästi taivutuslujuuteen puun syiden kyllästymispisteeseen saakka eli kun kosteussuhde on 28–30 %. Tämän jälkeen lujuuteen vaikuttaa painohäviö. Sydänpuun kontrollikappaleilla on alhaisin kosteussuhde ja suurin taivutuslujuus. Pintapuun kontrollikappaleilla on korkeampi kosteussuhde verrattuna sydänpuukappaleisiin. Kimmomoduulia verrattaessa kosteussuhteeseen kuviosta tuli samankaltainen.

Taivutuslujuus ja kuivatuoretiheys

Taivutuslujuutta ja kuivatuoretiheyssä verrattaessa voidaan havaita niiden välillä olevan positiivinen riippuvuussuhde eli tiheyden lisääntyessä myös taivutuslujuus kasvaa (kuvio 2).

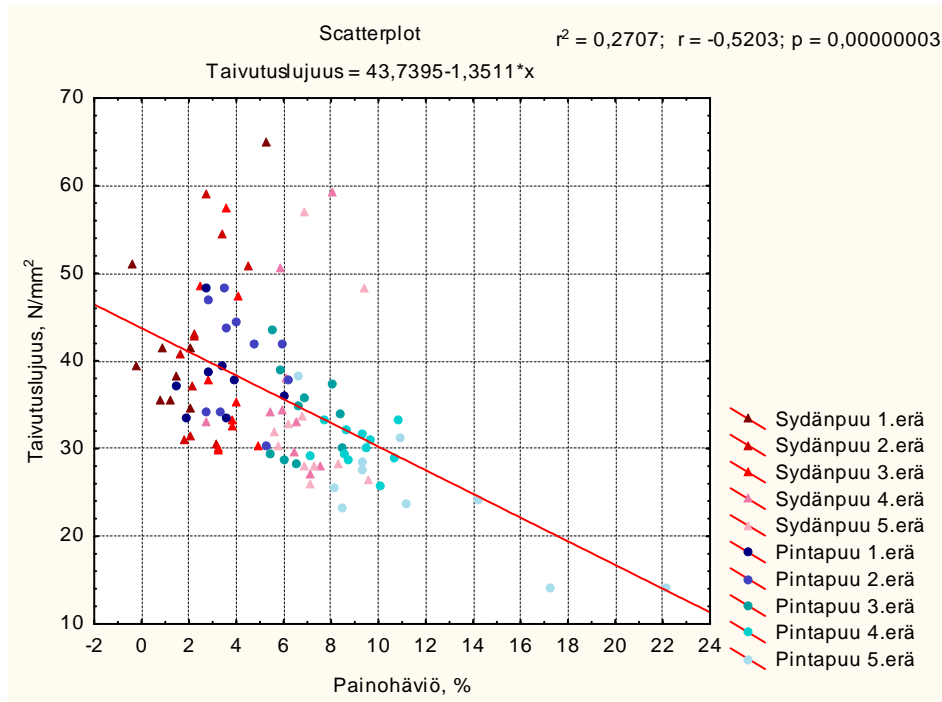


Kuvio 2. Taivutuslujuus ja kuivatuoretiheys.

Sydänpuun kontrollikappaleilla on suurin tiheys ja taivutuslujuus. Pintapuun kontrollikappaleiden tiheys ja taivutuslujuus on lähtökohtaisesti alhaisempi verrattuna sydänpuukappaleisiin.

Taivutuslujuus ja painohäviö erittäin

Seuraavissa scatterplot -kuvioissa tarkastellaan puukappaleiden tietoja erittäin, jotka kuvaavat eri ajankohtia. Mitä tummempi piste kuviossa on, sitä vähemmän aikaa puukappale on ollut multalaatikossa. Punaiset pisteet kuvaavat sydänpuuta ja siniset pinta- puuta. Kuviossa 3 on verrattu taivutuslujuuden ja painohäviön keskinäistä suhdetta erittäin.



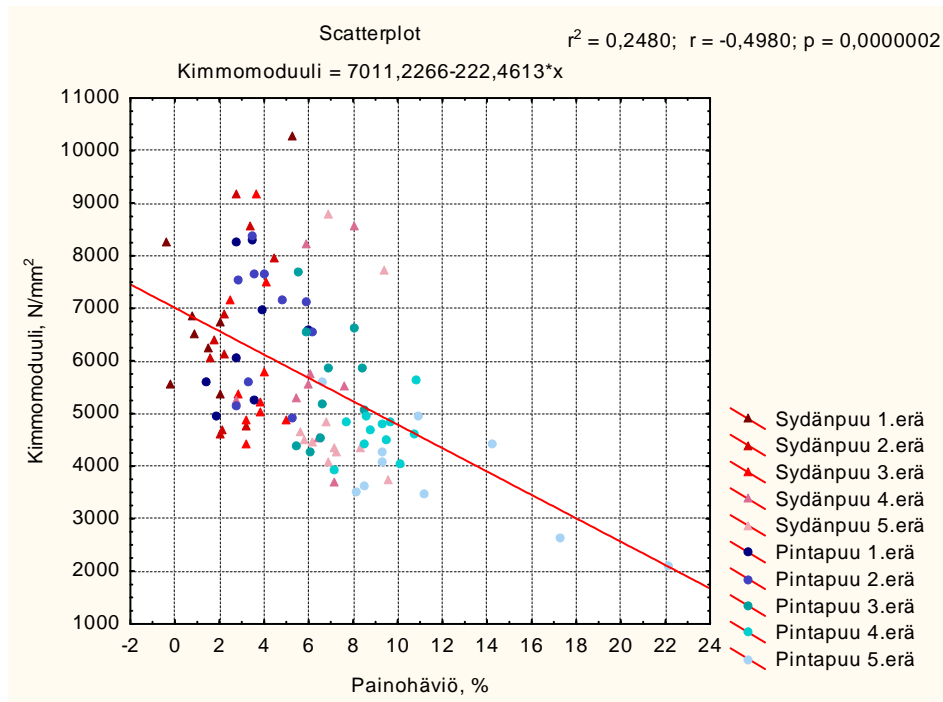
Kuvio 3. Taivutuslujuus ja painohäviö erittäin.

Muuttujien välinen suhde on negatiivinen. Kuvioista voidaan nähdä, että kokeen edessä painohäviö kasvoi ja taivutuslujuus heikkeni samalla. Sydänpuukappaleilla on keskimäärin pienempi painohäviö ja suurempi taivutuslujuus verrattuna pintapuukappaleisiin. Kuvioista on myös selvästi nähtävissä, että jo pienikin painohäviö heikentää selvästi taivutuslujuutta, josta puhuttiin kappaleessa 5.4.

Kimmomoduuli ja painohäviö erittäin

Kuviossa 4 verrataan kimmomoduulin ja painohäviön keskinäistä suhdetta erittäin.

Kimmomoduuli ilmoittaa jännityksen ja sen aiheuttaman suhteellisen venymän suhteen.

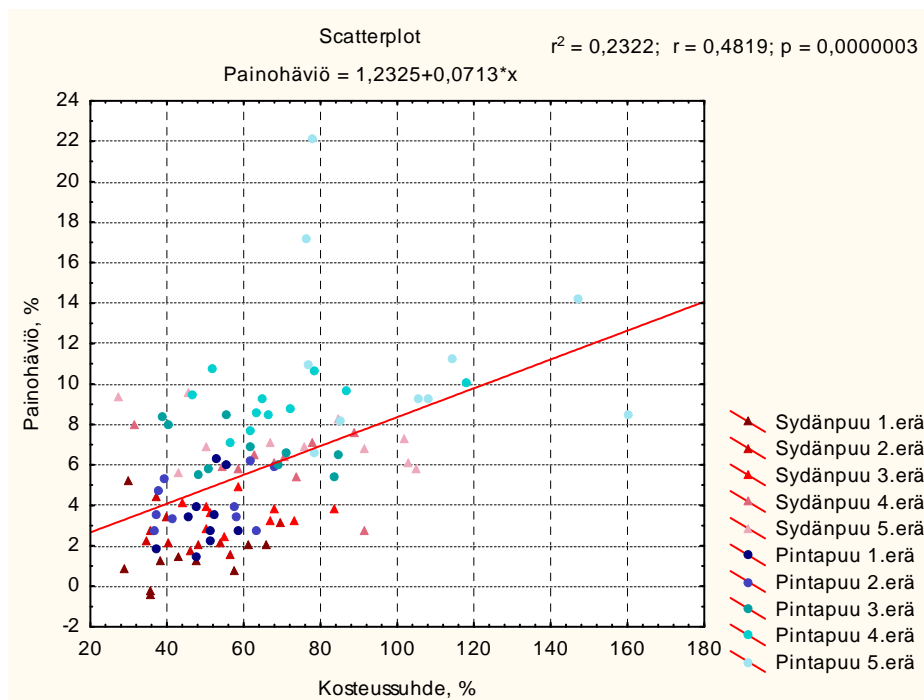


Kuvio 4. Kimmomoduuli ja painohäviö erittäin.

Muuttujien välinen suhde on negatiivinen ja seuraa samankaltaista suhdetta verrattaessa taivutuslujuutta ja painohäviötä.

Painohäviö ja kosteussuhde erittäin

Kuviossa 5 verrataan painohäviötä ja kosteussuhdetta erittäin.



Kuvio 5. Painohäviö ja kosteussuhde erittäin.

Muuttujien välinen suhde on positiivinen eli kosteussuhteen kasvaessa myös painohäviö kasvaa. Muuttujien välinen korrelaatio ei kuitenkaan ole niin merkitsevä, mikä tarkoittaa, että suurempi kosteussuhde ei välttämättä merkitse suurempaa painohäviötä. Hyvinkin alhaisilla kosteussuhteilla saavutetaan jo suuri painohäviö.

Varianssianalyysi (ANOVA)

Varianssianalyysiä käytetään tutkittaessa eroavatko kahden tai useaman ryhmän keskiarvot tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tämä analyysi on tehty liitteen 8 mukaisesti. Tästä liitteestä löytyy jokaisen muuttujan sydän- ja pintapuukappaleiden keskiarvot eri erittäin. Taulukossa 3 on kuvattu ANOVA -testin tulokset.

Taulukko 3. ANOVA -testin tulokset.

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Taivutus	Between Groups	8113,22	5	1622,64	20,348	,000
	Within Groups	9011,05	113	79,74		
	Total	17124,27	118			
Kimmo	Between Groups	1,54	5	30771931,83	16,899	,000
	Within Groups	2,04	112	1820952,94		
	Total	3,58	117			
Kosteus	Between Groups	30994,47	5	6198,89	17,825	,000
	Within Groups	40339,80	116	347,76		
	Total	71334,27	121			
Kuivatuore	Between Groups	86578,48	5	17315,70	5,571	,000
	Within Groups	357411,97	115	3107,93		
	Total	443990,45	120			
Painohäv.	Between Groups	697,29	4	174,32	29,375	,000
	Within Groups	575,63	97	5,93		
	Total	1272,93	101			

Kaikkien muuttujien väliset keskiarvot olivat tilastollisesti merkitseviä toisistaan lukujen ollessa alle ,001. Tämä tarkoittaa sitä, että keskiarvojen erot sydän- ja pintapuuerien välillä ovat merkitseviä kaikille muuttujille.

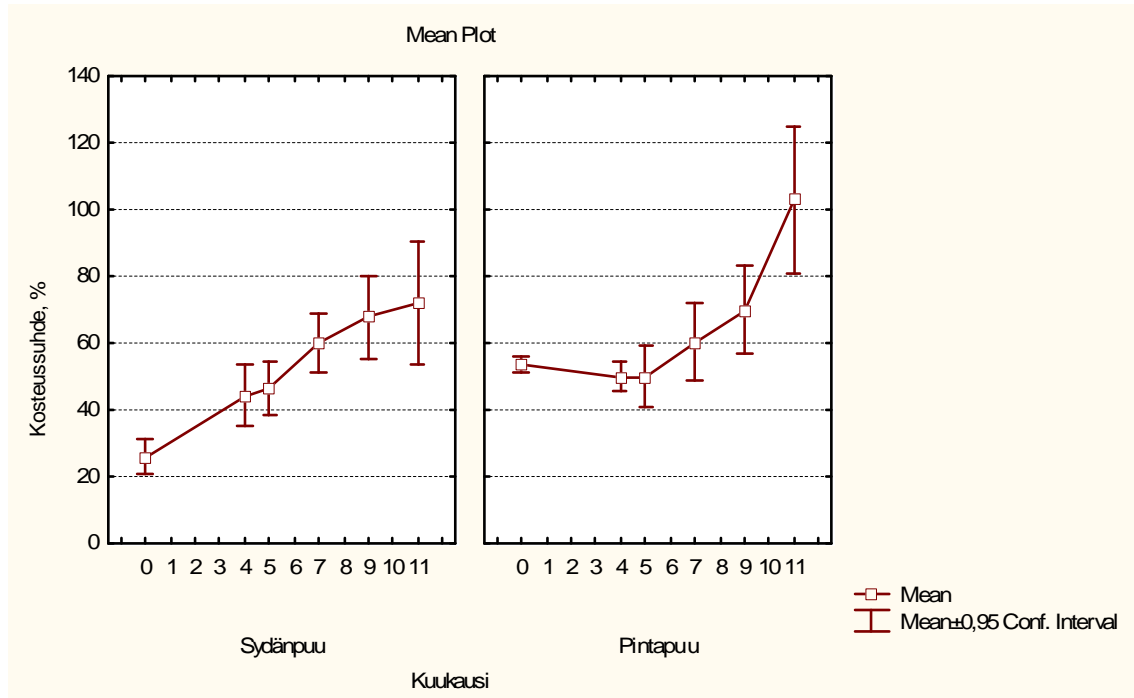
Erien keskiarvojen vertailua

Seuraavassa kuvataan kuvioiden avulla muuttujien keskiarvojen välisiä eroja kuukausittain. Kuvioissa on käytetty liitteen 8 mukaisia arvoja.

Kosteussuhde

Kuviossa 6 on analysoitu sitä, kuinka puokappaleiden kosteussuhde kehittyy lahotusajan pidentyessä. Kontrollierästä voidaan huomata sydän- ja pintapuun eri kyky imeä vettä. Sydänpuu imee vettä yli puolet vähemmän kuin pintapuun. Kuitenkin laatikossa puokappaleiden kosteussuhte oli tasaisempi, mikä voi johtua siitä, että sydänpuun kontrollikappaleet olisivat vaatineet pidemmän kosteutuksen verrattuna pintapuuhun. Sydän- ja pintapuun on esitetty eri kaavioissa vertailua varten.

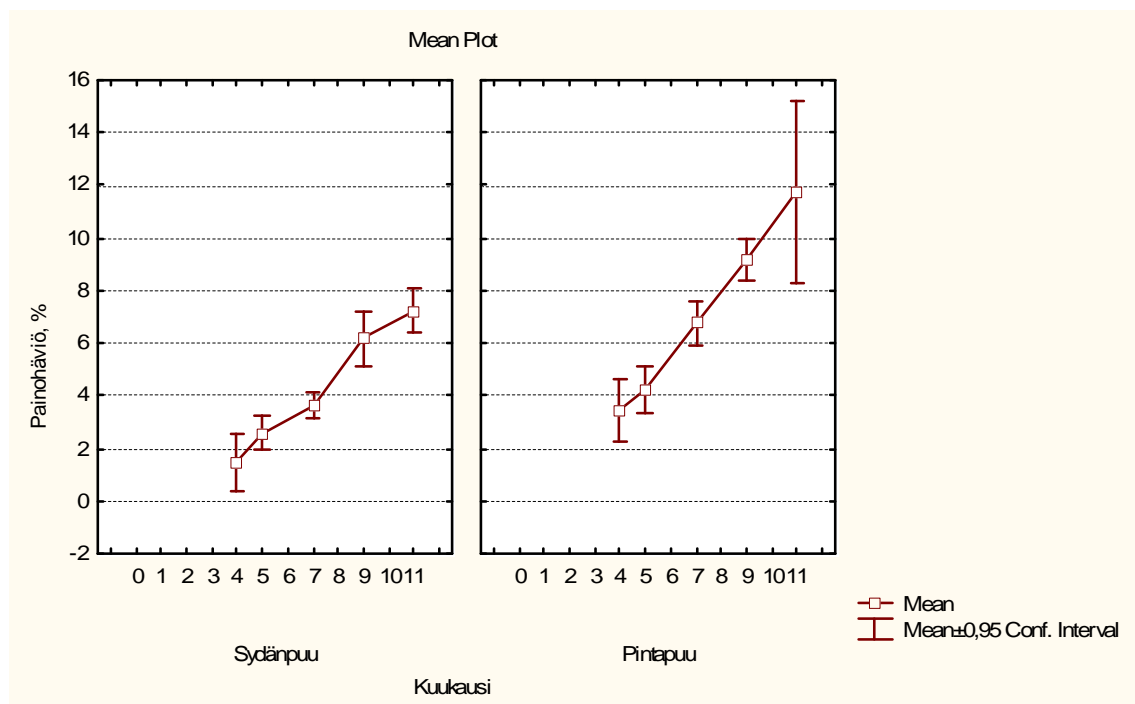
Teorian mukaan kosteussuhteen pitäisi lisääntyä lahon edetessä. Kuvioista 6 voidaan todeta, että sydän- ja pintapuun kosteuden kehitys etenee samassa suhteessa. Sydänpuun kosteus alkaa tasaantua seitsemännenten kuukauden jälkeen, pintapuun kosteuden kasvu on voimakasta viidennestä kuukaudesta yhdeksänteentoista kuukauteen.



Kuvio 6. Puokappalaiden kosteussuhde kuukausittain.

Painohäviö

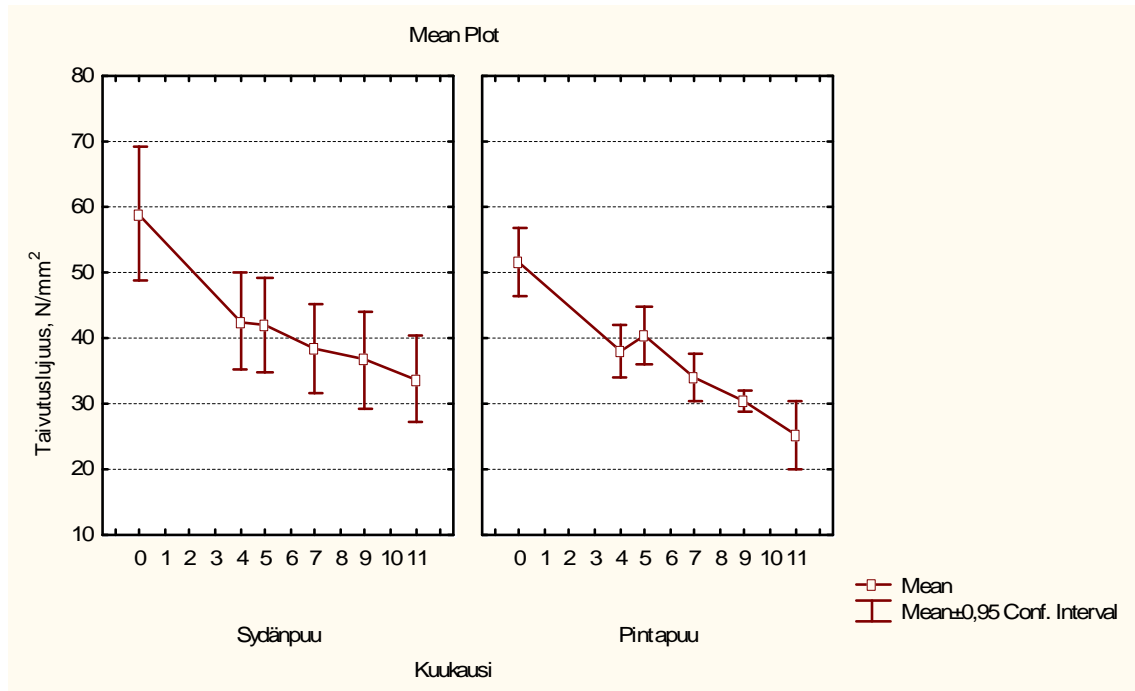
Sydänpuun painohäviö on ollut alusta alkaen maltillisempaa verrattuna pintapuuhun (kuvio 7). Puukappaleiden painohäviö on alkanut heti neljännessä kuukaudesta sekä sydän- että pintapuulla. Pintapuulla painohäviö on kuitenkin merkittävästi suurempi kuin sydänpuulla. Lahotuksen edetessä pintapuun painohäviö jatkuu suurempana kuin sydänpuun. Kuvioiden linjoista voidaan huomata, että pintapuun painohäviö jatkuu suoraviivaisena, kun taas sydänpuulla kehitys on maltillisempaa. Yhdentoista kuukauden jälkeen pintapuun painohäviö on melkein kaksinkertainen sydänpuuhun verrattuna.



Kuvio 7. Puukappaleiden painohäviöt kuukausittain.

Taivutuslujuus

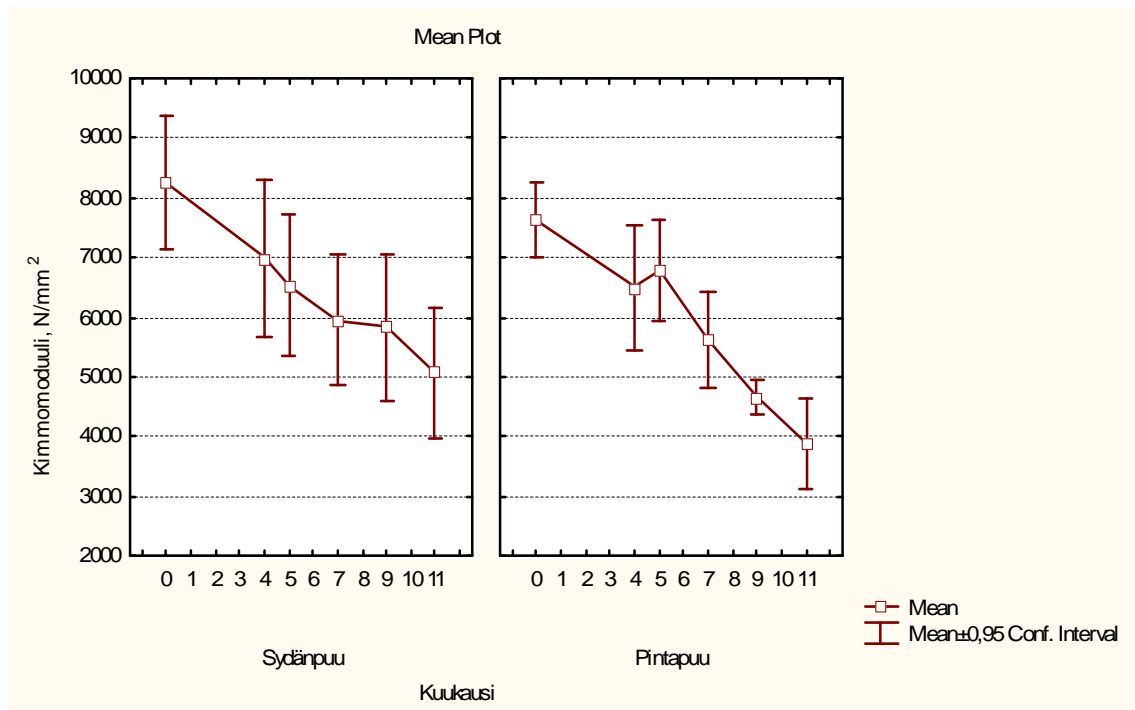
Puukappaleiden taivutuslujuus heikkeni kuukausien välillä tasaisesti. Kuviosta 8 voidaan havaita, että taivutuslujuuden merkittävä heikkeneminen on alkanut heti puukappaleiden laatikkoon laiton jälkeen. Kontrollierän (0-kuukautta) ja ensimmäisen erän välillä on noin neljä kuukautta aikaa. Taivutuslujuuden heikkeneminen jatkui koko kokeen ajan tasaisesti kaikissa erissä, kuitenkin pintapuun lujuuden heikkeneminen oli suurempaa. Pintapuun toisen erän puukappaleissa (5-kuukautta) on ollut muutamia lujia yksilöitä, koska tulos on ollut parempi kuin ensimmäisellä erällä.



Kuvio 8. Puukappaleiden taivutuslujuus kuukausittain.

Kimmomoduuli

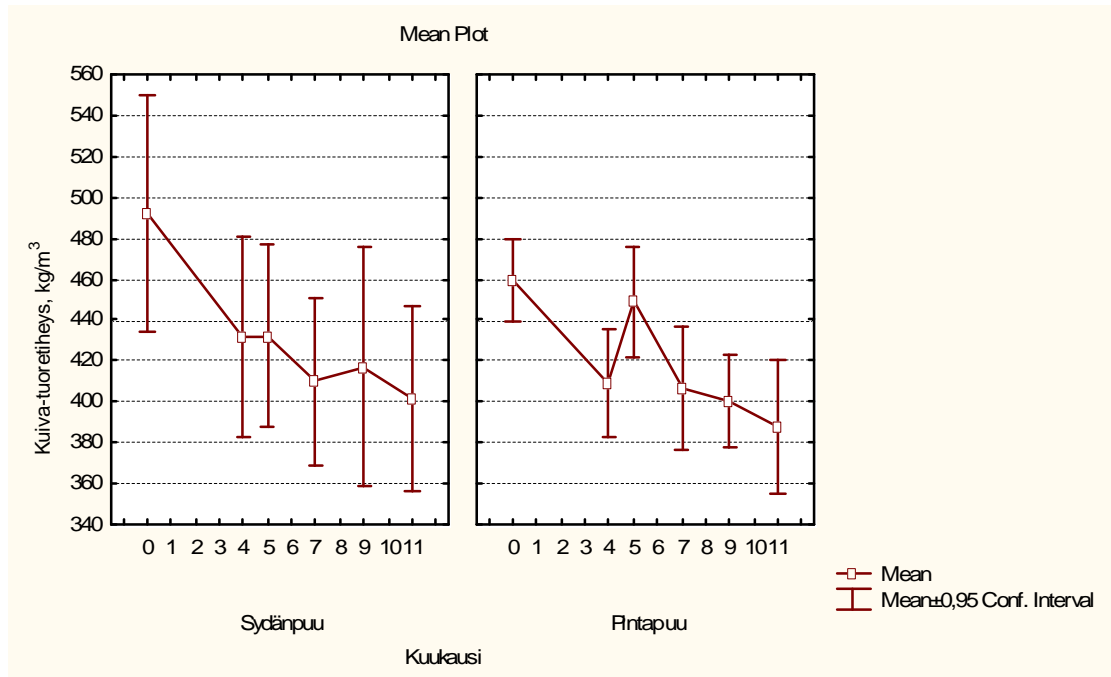
Taivutuslujuus ja kimmomoduulien kuvaajat ovat samanlaisia. Kuvio 4 voidaan nähdä samat poikkeavuudet kuin kuvio 9.



Kuvio 9. Puukappaleiden kimmomoduuli kuukausittain.

Kuivatuoretiheys

Puukappaleiden tiheyden välillä on huomattavia yksilöllisiä eroja, mikä näkyy myös kuviossa 10. Sydänpuun tiheys on keskimäärin suurempaa kuin pintapuun, lisäksi hajonta kaikissa erissä oli erittäin suurta. Tiheys alenee lahon edetessä, mutta puukappaleiden yksilölliset erot näkyvät suuressa hajonnassa.



Kuvio 10. Puukappaleiden kuiva-tuoretiheys kuukausittain.

11 Pohdinnat

11.1 Multalaatikkokokeen onnistuminen

Multalaatikkokokeen toteutus onnistui varsin hyvin. Tavoitteena oli kehittää sellainen multalaatikko, jossa voitaisiin lahottaa puukappaleita mahdollisimman nopeasti ja päästä tarkastelemaan niiden lujuuden heikkenemistä, joka teorian mukaan tapahtuu ennemmin kuin massan häviäminen. Kokeesta oli nähtävissä, että jo pieni painohäviön menetys vaikutti taivutuslujuuden heikkenemiseen merkittävästi. Tämä johtuu siitä, että puun fysikaalinen rakenne heikkenee lahon edetessä. Lahottajasisienet hajottavat puun solukkoa, joka aiheuttaa painohäviötä ja lujuuden heikkenemistä. Tuloksista oli havaittavissa myös se, että sydänpuukappaleiden painohäviö oli maltillisempaa kuin pinta-puukappaleiden. Näin ollen niiden taivutuslujuus myös säilyi paremmin. Nämä tulokset vahvistivat aikaisempaa käsitystä sydänpuun paremmasta lahonkestävyydestä verrattuna pintapuuhun. Puukappaleiden lahoaminen alkaa yleensä puun pintakerroksesta ja etenee siitä kohti ydintä. Tästä johtuen siinä on monia eri vaiheessa olevia kerroksia. Puukappale on pinnaltaan pehmeää koveten ytimen suuntaan mentäessä, tämä saattaa osaltaan vaikuttaa taivutuslujuuteen ja kimmomoduuliin.

Ulkoisesti puukappaleet näyttivät vielä melko normaaleilta lahotusjaksojen jälkeen, jos värimuutosta ei oteta huomioon. Laatikon ulkopuolella olevissa pintapuukappaleiden päissä oli havaittavissa sinistymää jo kokeen alusta alkaen. Joissakin puukappaleissa oli nähtävissä, että laho on hajottanut kevätpuuta enemmän kuin kesäpuuta, kun puhutaan puun rakenteesta. Tämä johtuu luultavasti siitä, että kevätpuussa on vähemmän hajotettavaa ravintoa lahottajille ja näin ollen se myös häviää nopeammin.

Aikaisemmissa multalaatikkokokeissa mullan kosteuden säätely oli haasteellista, mutta tässä kokeessa siinä onnistuttiin hyvin. Veden haihtuminen oli huomattavasti vähäisempää ja puukappaleet säilyivät kosteana mullassa koko kokeen ajan. Mullan suuri alkukosteus oli myös toimiva ratkaisu, jolla lahotusprosessi saatiin hyvin vauhtiin etenkin kun laatikkoon laitettavat kappaleet olivat täysin kuivia ja imivät vettä itseensä. Eräs tärkeä tekijä, mikä vaikutti mielestäni mullan kosteuteen ja sen haihtumiseen, oli myös laatikkoon laitettavan mullan tiivistäminen mahdollisimman tiiviiksi. Toinen mahdollinen vaihtoehto olisi laittaa multa väljästi, mutta kosteuden säätely olisi huomattavasti

hankalampaa suuren haihtumisen vuoksi. Happea puukappaleet toki saivat luultavasti enemmän.

11.2 Eettisyys ja luotettavuus

Tässä tutkimuksessa pyrittiin saamaan lahotuskoe sellaiseksi, että lahon vaikutusta lujuuteen pystyttäisiin mittaamaan jollakin hyväksi havaitulla, tunnetulla menetelmällä. Tämän vuoksi koe tehtiin standardin mukaisilla puukappaleilla ja taivutuslujuuskokeet standardin mukaisena kolmipistetaivutuksena.

Kokeessa käytettävien puukappaleiden määrä oli varsin pieni (102 kpl + vertailukappaleet), joten tuloksia voidaan pitää ainoastaan suuntaa antavina. Kokeen tarkoitus olikin testata uudentyyppistä multalaatikkoa ja sitä kautta hakea motiivivia mahdollisille laajemmille jatkotutkimuksille.

Mahdollisia virhetuloksia on voinut aiheuttaa mittausvirheet painoja mitattaessa. Ensimmäisessä poistetussa erässä oli muutamalla koekappaleella negatiivinen painohäviö, mikä saattaa johtua esimerkiksi siitä, että kappaleisiin oli jäänyt hieman multaa vielä harjauksen jälkeen.

Toinen virhetuloksia antava vika on puukappaleiden mahdolliset syyvirheet, mikä tarkoittaa sitä, että puita sahattaessa syiden kulma puukappaleeseen nähden ei ole ollut täysin oikea (liite 1). Tämä aiheuttaa sen, ettei taivutuslujuuskoetta tehtäessä taivutus kohdistu täysin puun syitä vastaan ja taivutuslujuus ja kimmomoduuli arvot näiden kappaleiden osalta ovat suuntaa antavia. Taivutuslujuuskokeissa käytettyä laitetta ei myöskään kalibroitu minkään riippumattoman ulkopuolisen tahon toimesta, mikä on otettava huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Lisäksi ensimmäisessä lahotuserässä muutamasta puukappaleesta ei saatu tarvittavia taivutuslujuus ja kimmomoduulitietoja, mikä johtui kokemattomasta laitteenkäyttäjistä eli opinnäytetyön tekijästä. Myöhemmissä erissä vastaavaa ei enää esiintynyt.

11.3 Jatkotutkimus ja kehittämisideat

Tämän opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää hyödyksi suunniteltaessa uusia lahotuskokeita sekä parantaa lahotuslaatikon ominaisuuksia mahdollisia tulevia kokeita varten. Valmiina olevista multalaatikoista käytettiin ainoastaan toista, joten näytteiden kappalemäärä saadaan helposti kaksinkertaistettua ja täten saada ehkä luotettavampia tuloksia. Kokeen 11 kuukauden tarkastelu-aika ja rytmi olivat varsin onnistuneet. Mahdollisessa seuraavassa kokeessa puunäytteiden kappalemäärän kaksinkertaistuksessa voitaisiin myös kokonaislahotusaika viimeisellä erällä nostaa kahteen vuoteen riippuen milloin ensimmäinen erä poistetaan ja mikä on seuraavien erien poistoväli.

Jokaisen poistettavan erän jälkeen olisi hyvä tarkastella mikroskoopin avulla, miten lahoaminen on edennyt. Tämä saattaisi antaa parempaa tietoa lahon etenemisestä ja kertoisi tarkemmin, miten lahoaminen vaikuttaa puun rakenteeseen. Lisäksi olisi mielenkiintoista vertailla mikroskoopin antamia lahotuskuvia esimerkiksi kappaleen taivutuslujuuteen.

Multalaatikat ovat tällä hetkellä varsin tiiviitä, mikä herättää kysymyksen saavatko lahoajasienet optimaalisen määrän happea toimiakseen tehokkaasti. Ulkoilmassa maankosketuksessa olevista puupylväistä puu lahoaa juuri parhaiten heti maanpinnan alapuolella olevasta osasta. Laatikoiden hapensaantia voitaisiin parantaa laittamalla esim. ilmastointiputkia. Laatikoiden hapensaantia ei kuitenkaan pidä parantaa kosteuden kustannuksella, jolloin multa kuivuu liikaa kuivattaen samalla puukappaleet. Varsinkin lahotuksen alkuvaiheessa tulisi mullan olla varsin kostea.

Mullan kosteuden mittaaminen ja säätely onnistui hyvin kosteusmittarilla, mutta puukappaleiden kosteuden mittaaminen kesken lahotuksen olisi kokeiltava asia. Tähän soveltuvan ja luotettavan menetelmän kehittäminen voisi olla eräs tutkittavista asioista.

Muita multalaatikkokokeen kehittämisideoita voisi olla esim. istuttaa puukappaleisiin puhdas lahoajasieni ja laittaa ne sen jälkeen laatikkoon. Laatikkaa voisi kokeilla myös ilman multaa siten, että laittaa laatikon pohjalle vesikaukalon, josta vesi haihtuisi ja kostuttaisi laatikon sisällä olevan ilman ja puukappaleet. Tämä voisi jossain määrin

vastata puurakennusten alapohjan lahoamista, missä alapohjan tuuletus on vähentynyt ja kosteus päässyt rakenteisiin ja lahoaminen alkanut. Olisi mielenkiintoista nähdä miten siinä lämmön, kosteuden ja hapen säätely onnistuisi ja mahdollinen lahoaminen etenisi.

Lähteet

Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Hämeenlinna: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.

Rantala, S (toim.).2008. Tapion taskukirja. Hämeenlinna:Metsäkustannus Oy

Venäläinen, M. 2012. Vanhempi tutkija. Metsäntutkimuslaitos. Nauhoitettu haastattelu 5.1.2012.

Wikipedia. 2011. Paineekyllästäminen. Luokitus.

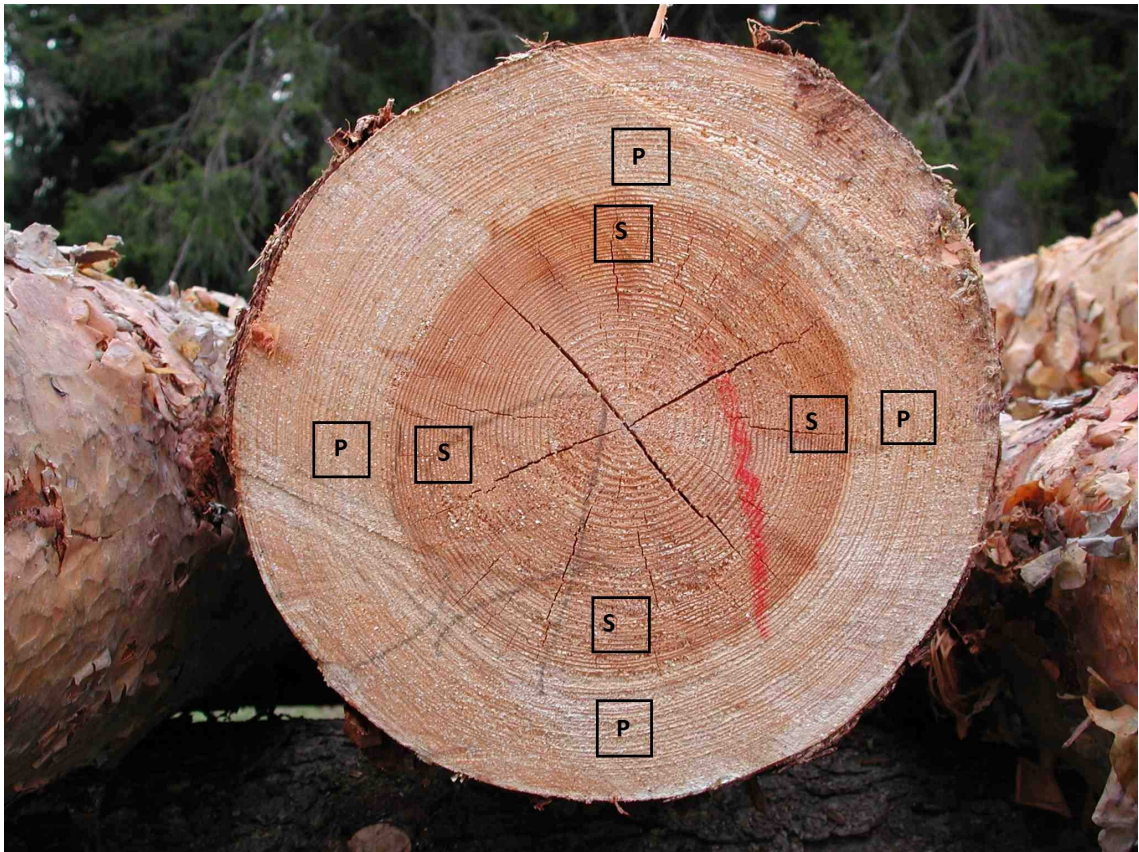
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Paineekyll%C3%A4st%C3%A4minen> 24.2.2012

Ympäristöministeriö 2003. Helsinki. Piirros Jorma Laakso.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=10783&lan=fi> 24.2.2012

Zabel, R.A. & Morrell, J.J. 1992. Wood microbiology. London: Academic Press Inc.

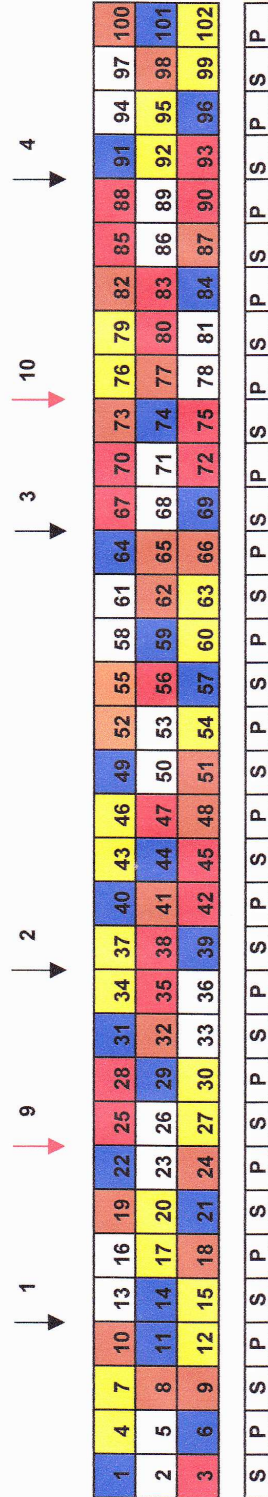
Sydän- ja pintapuukappaleiden sahauspaikat



P=pintapuu, S=sydänpuu. (Kuva: Martti Venäläinen, Metla)

Multalaatikon kartta

Multalaatikon kartta
Koe aloitettu 21.12.2010



S=SYDÄNPUUTA (sydänpuussa sahattu jälki)

P=PINTAPUUTA

Puukappaleiden (102 kpl) pitoaika laatikossa

- 4 kuukautta 20 näytettä poistettu 6.4.2011. Taivutus tehty 26.4.2011.
- 5 kuukautta 20 näytettä poistettu 27.5.2011. Taivutus tehty 9.6.2011.
- 7 kuukautta 20 näytettä poistettu 27.7.2011. Taivutus tehty 12.8.2011.
- 9 kuukautta 21 näytettä poistettu 27.9.2011. Taivutus tehty 7.10.2011.
- 11 kuukautta 21 näytettä poistettu 25.11.2011. Taivutus tehty 29.11.2011.

Lämpötila-antureita on kaksi, nro 9 ja nro 10

Aloitusvaiheessa vettä lisätty laatikkoon mullan joukkoon n.8 litraa.
Puukappaleiden koko on 20x20x340 mm.
Laatikon sisälämpötila n.+20 °C

Musta nuoli soittaa kontrollititikun paikan

- 10-13 nro 1
- 34-37 nro 2
- 64-67 nro 3
- 88-91 nro 4

Punainen nuoli soittaa lämpötila-anturin paikan
22-25 nro 9 (syvällä)
73-76 nro 10 (pinnassa)

Multalaatikon kosteus- ja lämpötilatiedot

Multalaatikon kosteus ja lämpötila
4.1.-19.10.2011

Pvm	Lämpötila C (anturit)			Kosteus, % (mittauspiste, puokappaleiden väli)										Kastelu
	Kanava 9 (pohja)	Kanava 10 (pinta)		4/7	16/19	31/34	43/46	55/58	67/70	76/79	88/91	97/100		
4.1.2011	22,9	17,6		23,4	27,5	21,5	27,2	25,4	28,3	29,6	26,4	28,9		
7.1.2011	22,9	17,6		21,3	23,5	23,2	24,2	25,7	26,0	23,0	25,3	25,3		
10.1.2011	22,9	17,4					näytti kostealta ei mitattu							
14.1.2011	22,8	17,3		21,1	24,3	21,5	23,1	25,3	28,7	25,9	25,1	23,7		
18.1.2011	22,8	17,4		21,4	20,7	21,3	21,3	22,1	26,4	24,5	26,6	24,5		
24.1.2011	22,3	16,9					mittari Seinäjoella 24.1. - 15.2.2011							
28.1.2011														
31.1.2011	22,7	17,2												
1.2.2011	22,0	16,8												
4.2.2011	22,5	16,9												
9.2.2011	22,5	16,9												
11.2.2011	22,7	17,1											päättä alta	
15.2.2011	21,8	16,7												
17.2.2011	21,3	17,1			13,3	12,9		12,9			17,3			
21.2.2011	22,2	16,8		11,2	11,9	11,6	11,0	10,5	15,3	13,6	15,8	13,8		
24.2.2011	22,6	17,2		10,8	11,7	11,4	11,5	12,8	15,4	14,2	17,9	14,0		
3.3.2011	22,0	16,6											alta/pääit	
4.3.2011				8,4	8,3	9,0	8,5	9,6	8,8	14,1	10,2	12,1	päättä	
10.3.2011	22,4	16,8		8,4	9,8	8,3	9,8	5,8	8,5	11,8	10,4	8,3	alta/pääit	
17.3.2011	21,0	16,0		9,5	11,0	9,8	8,2	6,9	8,1	12,2	12,5	13,2	alta/pääit	
24.3.2011	22,4	16,9		8,7	8,5	8,4	8,5	10,9	9,9	12,1	13,5	11,8	päättä	
31.3.2011	21,8	16,6		11,3	8,5	8,1	9,5	10,0	10,0	11,8	10,9	11,4	päättä	
6.4.2011	21,0	16,6		9,0	9,5	9,6	9,8	9,9	9,6	10,8	11,4	10,7	päättä	
14.4.2011	21,1	16,9		11,7	9,4	9,4	10,6	8,7	9,4	11,5	12,1	10,8	alta/pääit	
21.4.2011	21,9	16,8		11,2	10,4	7,5	10,1	10,0	13,8	12,5	9,7	10,4	alta/pääit	
28.4.2011			anturit oli pois	13,9	11,2	10,5	12,0	11,1	10,0	12,2	13,2	13,5	päättä	
12.5.2011				8,5	9,2	9,3	7,8	9,9	9,1	10,6	11,0	9,3	päättä	
20.5.2011	21,9			9,5	8,8	9,5	7,2	8,4	11,8	11,6	10,2	9,6	alta/pääit	

Multalaatikon kosteus ja lämpötilatiedot

Pvm	Lämpötila C (anturit)			Kosteus, % (mittauspiste, puukappaleiden väli)										Kastelu
	Kanava 9 (pohja)	Kanava 10 (pinta)		4/7	16/19	31/34	43/46	55/58	67/70	76/79	88/91	97/100		
22.6.2011				9,1	8,0	8,5	7,3	6,7	8,8	11,5	9,3	8,8	alta/pääll	
1.7.2011				10,2	8,6	10,4	8,0	10,9	11,2	11,2	10,5	11,3	alta/pääll	
5.7.2011	22,1	18,4		10,3	9,4	8,9	8,6	11,6	10,1	11,4	13,7	13,8	alta/pääll	
13.7.2011	21,2	19,0		13,5	9,4	8,4	10,8	8,9	9,6	12,9	12,8	15,4	päältä	
21.7.2011	22,4	18,9		12,0	11,2	13,9	12,7	12,0	12,7	12,8	13,8	14,3	alta 1+1	
1.8.2011	22,4	19,2		12,1	9,8	10,1	11,2	10,2	14,2	12,3	13,4	13,5		
8.8.2011	22,5			11,0	8,9	10,4	11,1	9,8	12,6	12,0	12,6	14,1	alta 1+1	
22.8.2011	22,7	18,9		13,1	12,8	10,4	12,4	10,1	13,4	12,8	14,4	14,5	alta 1+1	
29.8.2011				11,9	8,8	9,3	7,6	8,9	10,5	11,2	13,2	13,0	alta 1+1	
6.9.2011				12,8	10,1	8,9	8,5	8,3	11,1	12,0	12,5	13,8	alta 1+1	
13.9.2011				10,9	11,7	9,5	7,6	9,4	10,5	10,4	13,0	13,3	alta 1+1	
20.9.2011	22,6	18,4		12,8	12,8	11,6	10,4	9,6	10,8	14,7	15,0	16,7	alta 1+1	
27.9.2011	22,5	18,0		10,4	10,4	8,4	9,5	9,5	14,3	13,0	13,9	12,7	alta 1+1	
10.10.2011				12,7	13,3	10,5	11,0	9,9	11,1	11,2	12,7	13,0	alta 1+1	
19.10.2011	22,7			13,6	12,5	10,7	9,6	8,1	11,5	12,3	12,0	13,2	alta 1+1	
Summa	733,5	520,9												
N	33,0	30,0												
KA	22,23	17,36												

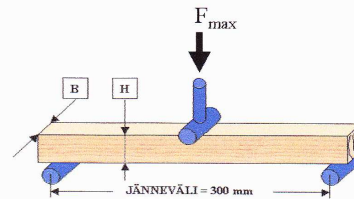
Vettä lisätty tarpeen mukaan joka tarkastuksen yhteydessä. Lisätty määrä keskimäärin 1 litra laatikon molempien päiden kasteluputkiin. Pinnalle aina tarpeen mukaan.

Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin laskentapohja

Puukappaleiden taivutuslujuus ja kimmomoduuli

$$f_m = \frac{3 * F_{max} * I_1}{2 * b * t^2}$$

$$E_m = \frac{I_1^3 * F_2}{4 * b * t^3 * a_2}$$



Jänneväli	l_1	300	mm
Voimakerroin	y	10,1600	
Taipumakerroin	x	0,0459	

Kpl nro	Leveys	Korkeus	Maks. voima	Taivutuslujuus	Voima suhteellisuusrajalla	Voima suhteellisuusrajalla	Taipuma suhteellisuusrajalla	Taipuma suhteellisuusrajalla	Kimmomoduuli
	b	t	F_{max}	f_m	y	F_2	x	a_2	
	[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm]	[N]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]
1	22,13	22,25	741	30,4	39,0	396,2	53,0	2,4	4513,2
2	22,44	22,19	1019	41,5	60,0	609,6	56,0	2,6	6533,4
3	22,35	22,81	769	29,8	48,0	487,7	61,0	2,8	4435,3
4	22,77	22,32	1106	43,9	52,0	528,3	40,0	1,8	7676,6
5	22,70	22,57				0,0		0,0	
6	22,27	22,68	701	27,5	37,0	375,9	52,0	2,4	4094,7
7	22,34	22,40	782	31,4	38,0	386,1	49,0	2,2	4617,7
8	22,28	22,30	937	38,1	55,0	558,8	58,0	2,7	5738,2
9	22,57	21,90	1216	50,6	64,0	650,2	49,0	2,2	8237,4
10	22,09	22,14	710	29,5	44,0	447,0	62,0	2,8	4425,9
11	22,35	22,62	724	28,5	43,0	436,9	58,0	2,7	4285,0
12	22,42	22,73	977	38,0	53,0	538,5	46,0	2,1	6542,6
13	22,55	22,32	985	39,5	42,0	426,7	45,0	2,1	5565,1
14	21,47	22,69	829	33,7	44,0	447,0	54,0	2,5	4857,3
15	22,73	22,60	1106	42,9	57,0	579,1	47,0	2,2	6910,7
16	22,11	22,03	926	38,8	43,0	436,9	45,0	2,1	6043,6
17	21,60	22,45	1169	48,3	59,0	599,4	43,0	2,0	8393,6
18	22,11	22,05	741	31,0	46,0	467,4	60,0	2,8	4835,7
19	22,16	22,80	695	27,1	37,0	375,9	57,0	2,6	3695,1
20	22,23	22,08	1038	43,1	56,0	569,0	57,0	2,6	6138,3
21	21,94	22,40	634	25,9	48,0	487,7	67,0	3,1	4343,6
22	22,27	22,63	646	25,5	35,0	355,6	58,0	2,7	3495,7
23	22,41	22,24	826	33,5	46,0	467,4	53,0	2,4	5263,9
24	22,15	22,97	826	31,8	45,0	457,2	52,0	2,4	4819,7
25	22,11	22,24	858	35,3	49,0	497,8	52,0	2,4	5792,5
26	22,61	22,91	914	34,7	47,0	477,5	48,0	2,2	5384,6
27	22,14	22,58	1277	50,9	68,0	690,9	50,0	2,3	7977,3

Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin laskentapohja

Kpl nro	Leveys	Korkeus	Maks. voima	Taivutuslujuus	Voima suhteellisuusrajalta	Voima suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Kimmomoduuli
	b	t	F_{max}	f_m	y	F_2	x	a_2	
	[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm]	[N]	[mm]	[mm]	
28	22,15	22,54	1088	43,5	60,0	609,6	46,0	2,1	7688,2
29	22,13	22,45	949	38,3	48,0	487,7	51,0	2,3	5619,7
30	22,14	22,36	1035	42,1	60,0	609,6	51,0	2,3	7106,5
31	22,55	22,38	710	28,3	42,0	426,7	57,0	2,6	4358,3
32	22,24	22,74	1515	59,3	75,0	762,0	50,0	2,3	8575,4
33	22,66	22,06	1593	65,0	87,0	883,9	52,0	2,4	10282,7
34	22,40	22,65	874	34,2	46,0	467,4	47,0	2,2	5621,8
35	22,06	22,62	899	35,8	50,0	508,0	50,0	2,3	5855,8
36	0,00	0,00	0			0,0		0,0	
37	22,44	22,14	756	30,9	46,0	467,4	44,0	2,0	6418,3
38	22,13	22,86	775	30,2	44,0	447,0	51,0	2,3	4879,1
39	22,43	22,67	676	26,4	34,0	345,4	52,0	2,4	3740,8
40	22,27	22,14	345	14,2	20,0	203,2	47,0	2,2	2632,4
41	22,20	22,37	793	32,1	47,0	477,5	57,0	2,6	4960,7
42	22,30	22,13	699	28,8	36,0	365,8	52,0	2,4	4282,7
43	22,35	22,38	922	37,1	40,0	406,4	51,0	2,3	4680,6
44	22,26	22,42	700	28,2	36,0	365,8	50,0	2,3	4291,1
45	22,06	22,59	833	33,3	48,0	487,7	56,0	2,6	5039,3
46	22,31	22,13	1142	47,0	55,0	558,8	45,0	2,1	7557,4
47	22,64	22,45	991	39,1	54,0	548,6	48,0	2,2	6565,9
48	22,27	22,30	739	30,0	43,0	436,9	58,0	2,7	4488,2
49	21,92	22,12	667	28,0	35,0	355,6	54,0	2,5	4084,6
50	0,00	0,00	0			0,0		0,0	
51	22,15	22,59	833	33,2	47,0	477,5	60,0	2,8	4586,6
52	21,53	22,57	712	29,2	39,0	396,2	60,0	2,8	3925,9
53	22,78	22,00	1182	48,2	59,0	599,4	44,0	2,0	8265,1
54	22,30	22,46	751	30,0	49,0	497,8	57,0	2,6	5086,9
55	22,60	22,54	876	34,3	52,0	528,3	54,0	2,5	5563,0
56	22,38	22,61	964	37,9	68,0	690,9	73,0	3,3	5383,9
57	22,16	22,66	1222	48,3	56,0	569,0	42,0	1,9	7731,4
58	22,36	22,15	819	33,6	42,0	426,7	52,0	2,4	4969,6
59	22,19	22,67	793	31,3	43,0	436,9	50,0	2,3	4973,4
60	22,00	22,92	778	30,3	41,0	416,6	47,0	2,2	4923,7
61	22,41	23,15	952	35,7		0,0		0,0	
62	22,95	22,39	756	29,6	40,0	406,4	51,0	2,3	4552,1
63	22,03	23,00	794	30,7	41,0	416,6	48,0	2,2	4764,5
64	22,36	22,61	357	14,1	16,0	162,6	44,0	2,0	2103,6
65	22,31	22,98	872	33,3	49,0	497,8	56,0	2,6	4832,0
66	21,10	22,42	782	33,2	43,0	436,9	48,0	2,2	5632,6
67	22,09	22,36	1164	47,4	62,0	629,9	50,0	2,3	7507,2

Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin laskentapohja

Kpl nro	Leveys	Korkeus	Maks. voima	Taivutuslujuus	Voima suhteellisuusrajalta	Voima suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Kimmomoduuli
	b	t	F_{max}	f_m	y	F_2	x	a_2	
	[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm]	[N]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]
68	22,70	22,35	968	38,4	51,0	518,2	48,0	2,2	6268,1
69	22,23	23,16	843	31,8	44,0	447,0	51,0	2,3	4670,9
70	22,41	22,18	914	37,3	51,0	518,2	47,0	2,2	6634,6
71	22,87	22,27	994	39,4	49,0	497,8	35,0	1,6	8286,5
72	21,93	22,03	801	33,9	47,0	477,5	51,0	2,3	5876,4
73	22,35	22,68	872	34,1	49,0	497,8	53,0	2,4	5301,3
74	22,45	22,32	1415	56,9	72,0	731,5	49,0	2,2	8800,5
75	22,13	22,87	782	30,4	44,0	447,0	51,0	2,3	4872,7
76	22,63	22,56	1074	42,0	56,0	569,0	45,0	2,1	7160,5
77	21,76	21,98	670	28,7	40,0	406,4	55,0	2,5	4705,7
78	22,07	22,09	864	36,1	45,0	457,2	43,0	2,0	6576,9
79	22,48	22,94	1435	54,6	70,0	711,2	45,0	2,1	8569,9
80	22,57	22,16	801	32,5	42,0	426,7	49,0	2,2	5217,7
81	22,71	22,10	1024	41,5	53,0	538,5	48,0	2,2	6734,6
82	22,04	22,73	730	28,8	47,0	477,5	59,0	2,7	4601,6
83	22,37	22,57	883	34,9	51,0	518,2	57,0	2,6	5201,2
84	22,46	22,73	614	23,8	30,0	304,8	49,0	2,2	3470,5
85	22,35	22,45	1214	48,5	63,0	640,1	52,0	2,4	7162,7
86	22,24	22,17	865	35,6	50,0	508,0	45,0	2,1	6854,8
87	22,38	22,07	679	28,0	41,0	416,6	46,0	2,1	5539,0
88	22,79	22,70	767	29,4	47,0	477,5	60,0	2,8	4393,3
89	22,72	22,14	935	37,8	54,0	548,6	47,0	2,2	6966,6
90	22,35	22,64	721	28,3	45,0	457,2	57,0	2,6	4550,9
91	22,27	21,75	771	32,9	37,0	375,9	54,0	2,5	4470,7
92	21,96	22,72	1029	40,8	51,0	518,2	49,0	2,2	6042,1
93	22,49	22,37	1438	57,5	82,0	833,1	53,0	2,4	9188,0
94	22,81	22,56	957	37,1	46,0	467,4	47,0	2,2	5587,1
95	22,45	22,81	888	34,2	44,0	447,0	48,0	2,2	5143,8
96	22,19	22,38	598	24,2	31,0	315,0	42,0	1,9	4436,5
97	22,43	22,18	1254	51,1	50	508,0	37,0	1,7	8255,1
98	22,85	22,12	821	33,0	40,0	406,4	46,0	2,1	5256,9
99	22,40	22,43	1478	59,0	73,0	741,7	47,0	2,2	9186,7
100	22,39	22,73	661	25,7	37,0	375,9	52,0	2,4	4045,9
101	22,33	22,70	594	23,2	26,0	264,2	41,0	1,9	3629,9
102	22,32	22,58	1122	44,4	62,0	629,9	47,0	2,2	7675,3
			KA	36,0				KA	5709,0

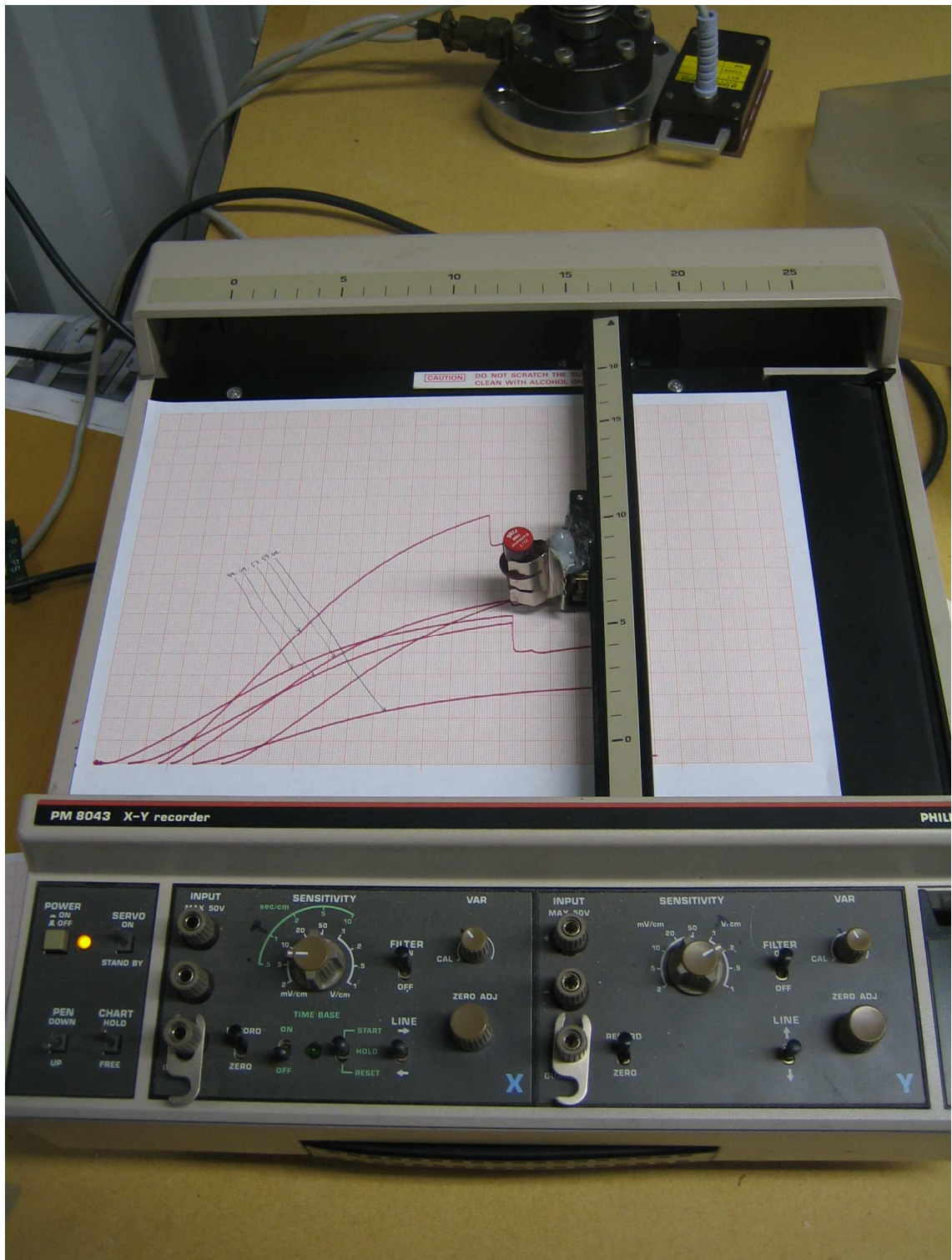
Taivutuslujuuden ja kimmomoduulin laskentapohja

Kpl nro	Leveys	Korkeus	Maks. voima	Taivutuslujuus	Voima suhteellisuusrajalta	Voima suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Taipuma suhteellisuusrajalta	Kimmomoduuli
	b	t	F_{max}	f_m	γ	F_2	x	a_2	
	[mm]	[mm]	[N]	[N/mm ²]	[mm]	[N]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]
103	22,12	22,37	1493	60,7	56,0	569,0	39,0	1,8	8669,8
104	22,54	22,55	1395	54,8	60,0	609,6	46,0	2,1	7545,2
105	22,25	22,30	1383	56,2	58,0	589,3	42,0	1,9	8367,6
106	22,34	22,43	1044	41,8	43,0	436,9	38,0	1,7	6710,9
107	22,32	22,14	1176	48,4	53,0	538,5	48,0	2,2	6815,2
108	22,58	22,42	1339	53,1	54,0	548,6	39,0	1,8	8135,2
109	22,24	22,46	1356	54,4	55,0	558,8	44,0	2,0	7416,8
110	22,41	22,84	965	37,1	44,0	447,0	41,0	1,9	6009,1
111	22,43	22,50	1427	56,6	56,0	569,0	39,0	1,8	8402,6
112	20,73	22,23	1192	52,4	52,0	528,3	42,0	1,9	8128,4
113	22,28	22,47	1340	53,6	55,0	558,8	43,0	2,0	7565,5
114	22,35	22,12	1442	59,3	58,0	589,3	40,0	1,8	8962,0
115	22,33	22,43	1591	63,7	64,0	650,2	41,0	1,9	9261,6
116	22,53	22,13	1421	58,0	53,0	538,5	41,0	1,9	7915,1
117	22,51	21,67	1466	62,4	56,0	569,0	39,0	1,8	9372,2
118	22,23	22,13	1385	57,2	53,0	538,5	43,0	2,0	7648,8
119	22,04	22,51	966	38,9	43,0	436,9	42,0	1,9	6089,1
120	22,43	21,51	862	37,4	38,0	386,1	46,0	2,1	5532,8
121	21,95	22,32	1927	79,3	84,0	853,4	52,0	2,4	9895,3
122	21,95	22,37	1957	80,2	87,0	883,9	52,0	2,4	10180,1
			KA	55,3				KA	7931,2

Kappaleet 1 - 102 ovat lahotettuja puukappaleita.

Kappaleet 103 - 122 ovat vertailukappaleita, joille on laskettu omat keskiarvot

Piirturi ja sen piirtämä kuvaaja



(Kuva:Heikki Partanen)

Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Puukappaleiden tiedot: kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapu	Märkäpaino lahotuksen jälkeen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Kosteussuhde, %	Kuivatuoretiheys, kg/m ³
1	61,54	S	124,02	60,58	341	22,25	22,13	104,72	360,80
2	71,2	S	91,53	71,08	341	22,19	22,44	28,77	418,61
3	65,53	S	108,96	65,2	341	22,81	22,35	67,12	375,05
4	85,31	P	114,48	83,49	343	22,32	22,77	37,12	478,94
5	68,15	P	101,81	67,39	341	22,57	22,7	51,08	385,73
6	70,61	P	140,27	68,34	341	22,68	22,27	105,25	396,79
7	62,83	S	92,67	62,48	341	22,4	22,34	48,32	366,15
8	76,32	S	125,46	74,6	341	22,3	22,28	68,18	440,32
9	88,9	S	139,69	88,09	340	21,9	22,57	58,58	524,17
10	69	P	108,92	65,49	341	22,14	22,09	66,32	392,69
11	67,07	P	135,8	65,28	341	22,62	22,35	108,03	378,67
12	87,9	P	137,13	84,92	341	22,73	22,42	61,48	488,68
13	67	S	91,19	67,26	340	22,32	22,55	35,58	393,04
14	66,99	S	126,24	65,96	341	22,69	21,47	91,39	397,06
15	74,39	S	114,99	74,82	341	22,6	22,73	53,69	427,13
16	70	P	104,25	68,86	339	22,03	22,11	51,39	417,03
17	79,82	P	124,19	78,63	341	22,45	21,6	57,94	475,51
18	69,61	P	122,83	65,77	341	22,05	22,11	86,76	395,62
19	62,74	S	107,48	60,42	340	22,8	22,16	77,89	351,72
20	79,46	S	106,51	79,03	341	22,08	22,23	34,77	472,17
21	67,8	S	109,61	65,6	340	22,4	21,94	67,09	392,59
22	65,04	P	114,29	61,81	341	22,63	22,27	84,91	359,67
23	70,31	P	104,83	68,94	341	22,24	22,41	52,06	405,64
24	81,17	P	126,64	76,77	340	22,97	22,15	64,96	443,79
25	65,12	S	97,48	64,81	341	22,24	22,11	50,41	386,51
26	68,09	S	108,99	67,68	341	22,91	22,61	61,04	383,16
27	84,17	S	114,04	83,12	340	22,58	22,14	37,20	489,02

Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=syvätpuu P=pintapuu	Märkäpaino lahotuksen jälkeeni, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeeni, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Kosteussuhde, %	Kuivatuoretiheys, kg/m ³
28	82,12	P	119,57	80,74	341	22,54	22,15	48,09	474,25
29	78,54	P	135,07	75,78	341	22,45	22,13	78,24	447,30
30	81,76	P	132,61	79,02	341	22,36	22,14	67,82	468,09
31	66,36	S	118,83	64,33	340	22,38	22,55	84,72	374,91
32	102,93	S	132,77	101,16	340	22,74	22,24	31,25	588,31
33	98,05	S	126,56	97,54	341	22,06	22,66	29,75	572,22
34	68,6	P	95,73	67,66	341	22,65	22,4	41,49	391,08
35	71,76	P	112,52	69,54	341	22,62	22,06	61,81	408,68
36	78,34	P	117	76,61	-	-	-	52,72	-
37	64,69	S	93,72	64,18	341	22,14	22,44	46,03	378,83
38	62,22	S	107,35	61,99	341	22,86	22,13	73,17	359,34
39	64,98	S	90,06	61,78	341	22,67	22,43	45,78	356,30
40	68,44	P	108,4	61,52	341	22,14	22,27	76,20	365,90
41	68,9	P	107,04	65,47	340	22,37	22,2	63,49	387,74
42	63,48	P	104,43	61,74	341	22,13	22,3	69,14	366,88
43	67,77	S	94,81	67,48	341	22,38	22,35	40,50	395,62
44	63,5	S	124,06	61,52	340	22,42	22,26	101,66	362,56
45	63,19	S	105,65	62,91	340	22,59	22,06	67,94	371,29
46	78,42	P	105,63	77,31	341	22,13	22,31	36,63	459,20
47	79,13	P	116,49	77,39	340	22,45	22,64	50,52	447,83
48	78,68	P	108,75	74,16	340	22,3	22,27	46,64	439,20
49	60,5	S	102,84	58,49	340	22,12	21,92	75,82	354,79
50	86,43	S	120,07	86,72	341	22,18	22,68	38,46	505,55
51	64,89	S	102,68	63,01	340	22,59	22,15	62,96	370,37
52	62,62	P	93,46	59,78	340	22,57	21,53	56,34	361,83
53	81,69	P	127,99	80,72	340	22	22,78	58,56	473,72
54	69,92	P	104,25	67,12	341	22,46	22,3	55,32	392,99
55	70,23	S	105,82	68,46	340	22,54	22,6	54,57	395,27
56	67,89	S	102,14	67,93	341	22,61	22,38	50,36	393,68
57	95,97	S	117,67	92,33	341	22,66	22,16	27,45	639,21
58	64,78	P	87,6	63,81	341	22,15	22,36	37,28	377,82
59	88,03	P	146,46	82,76	341	22,67	22,19	76,97	482,46

Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapuu	Märkäpaino lahotuksen jälkeeni, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeeni, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Kosteussuhde, %	Kuivatuoretiheys, kg/mm ²
60	77,71	P	104,73	75,24	341	22,92	22	39,19	437,58
61	67,46	S	98,88	67,08	341	23,15	22,41	47,41	379,18
62	64,33	S	106,35	62,37	340	22,39	22,95	70,51	356,99
63	62,86	S	105	62,01	340	23	22,03	69,33	359,95
64	66,03	P	102,07	57,45	341	22,61	22,36	77,67	333,24
65	70,39	P	108,07	66,94	340	22,98	22,31	61,44	384,02
66	79,35	P	112,79	74,24	339	22,42	21,1	51,93	462,94
67	80,4	S	114,85	79,78	341	22,36	22,09	43,96	473,67
68	67,66	S	96,44	67,4	341	22,35	22,7	43,09	389,58
69	70,66	S	98,29	68,73	341	23,16	22,23	43,01	391,48
70	81,63	P	110,23	78,51	340	22,18	22,41	40,40	464,56
71	81,01	P	114,86	79,01	341	22,27	22,87	45,37	454,93
72	67,91	P	90,41	65,07	341	22,03	21,93	38,94	394,98
73	66,43	S	112,83	65,05	340	22,68	22,35	73,45	377,44
74	92,5	S	136,35	90,64	341	22,32	22,45	50,43	530,46
75	63,63	S	99,31	62,59	341	22,87	22,13	58,67	362,66
76	79,01	P	105,63	76,77	340	22,56	22,63	37,59	442,27
77	67,9	P	112,94	65,52	339	21,98	21,76	72,37	404,10
78	68,87	P	102,99	66,33	341	22,09	22,07	55,27	398,99
79	89,15	S	123,63	88,49	340	22,94	22,48	39,71	504,69
80	67,33	S	123,85	67,4	341	22,16	22,57	83,75	395,19
81	67,46	S	111,76	67,47	341	22,1	22,71	65,64	394,23
82	68,24	P	114,25	64,03	340	22,73	22,04	78,43	375,92
83	69,62	P	115,53	67,53	341	22,57	22,37	71,08	392,23
84	64,66	P	130,07	60,66	341	22,73	22,46	114,42	348,45
85	77,57	S	120,52	77,68	341	22,45	22,35	55,15	454,01
86	63,87	S	100,55	63,73	340	22,17	22,24	57,77	380,16
87	59,16	S	108,18	57,23	340	22,07	22,38	89,03	340,79
88	63,22	P	114,65	62,4	340	22,79	22,79	83,73	354,76
89	66,4	P	99,83	67,67	341	22,14	22,72	47,52	394,51
90	65,07	P	117,11	63,51	341	22,64	22,35	84,40	368,07
91	61	S	121,18	59,8	340	21,75	22,27	102,64	363,11

Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=syvätpuu P=pintapuu	Märkäpaino lahotuksen jälkeen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Kosteussuhde, %	Kuivatuoretiheys, kg/mm ²
92	67,94	S	106,41	68,02	341	22,72	21,96	56,44	399,80
93	89,52	S	138,18	91,24	341	22,37	22,49	51,45	531,83
94	66,65	P	97,52	66,05	341	22,56	22,81	47,65	376,40
95	66,12	P	106,9	65,46	341	22,81	22,45	63,31	374,87
96	68,37	P	155,25	62,78	341	22,38	22,19	147,29	370,72
97	84,59	S	115,28	85,06	341	22,18	22,43	35,53	501,40
98	73,85	S	141,01	73,67	341	22,12	22,85	91,41	427,43
99	90,93	S	123,46	90,88	341	22,43	22,4	35,85	530,44
100	65,97	P	135,48	62,09	340	22,73	22,39	118,20	358,83
101	71,56	P	177,21	68,12	341	22,7	22,33	160,14	394,10
102	83,02	P	128,19	81,35	341	22,58	22,32	57,58	473,35

Puukappaleiden tiedot: Kosteussuhde ja kuivatuoretiheys

Vertailukappaleet

Numero	Kuivapaino, g	S=sydänpuu P=pintapu	Märkäpaino kostuttamisen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Kosteus suhde, %	Kuivatuoretiheys, kg/mm ²
103	83,76	P	130,67	340	22,37	22,12	56,01	497,86
104	79,5	P	119,74	342	22,55	22,54	50,62	457,34
105	78,47	P	119,62	341	22,3	22,25	52,44	463,78
106	76,74	P	121,84	340	22,43	22,34	58,77	450,43
107	73,01	P	110,51	343	22,14	22,32	51,36	430,74
108	81,52	P	123,85	340	22,42	22,58	51,93	473,62
109	79,68	P	121,24	341	22,46	22,24	52,16	467,79
110	70,12	P	112,68	341	22,84	22,41	60,70	401,74
111	78,62	P	118,51	341	22,5	22,43	50,74	456,84
112	76,07	P	117,69	341	22,23	20,73	50,75	496,81
113	75,99	S	96,73	341	22,47	22,28	27,29	445,13
114	83,73	S	109,8	340	22,12	22,35	31,14	498,13
115	86,23	S	110,44	340	22,43	22,33	28,08	506,36
116	80,48	S	105,51	340	22,13	22,53	31,10	474,75
117	87,9	S	113,37	340	21,67	22,51	28,98	530,00
118	79,76	S	102,33	342	22,31	22,23	28,30	470,24
119	65,72	S	85,71	341	22,51	22,04	30,42	388,47
120	62,07	S	80,01	340	21,51	22,43	28,90	378,38
121	101,06	S	113,97	341	22,32	21,95	12,77	604,92
122	104,33	S	116,23	341	22,37	21,95	11,41	623,10

Puukappaleiden tiedot: painohäviö

Katkaistut puukappaleet/sahaus vienyt keskimäärin 6 mm kappaleesta.

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapu	Märkäpaino lahotuksen jälkeen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Sahatut laitakappaleet yht. g*	Keskikapp ale, g**	Painohäviö, g***	Kuivapaino ennen lahotusta - painohäviö, g****	Paino häviön jalk. - Sahatut laitakapp, g*****	Painohäviö, %*****
1	61,54	S	124,02	60,58	341	22,25	22,13	26,2	32,27	1,08	60,46	34,26	5,80
2	71,2	S	91,53	71,08	341	22,19	22,44	29,78	39,81	1,25	69,95	40,17	0,89
3	65,53	S	108,96	65,2	341	22,81	22,35	29,58	33,67	1,15	64,38	34,80	3,24
4	85,31	P	114,48	83,49	343	22,32	22,77	35,47	46,61	1,49	83,82	48,35	3,59
5	68,15	P	101,81	67,39	341	22,57	22,7	28,74	37,33	1,20	66,95	38,21	2,31
6	70,61	P	140,27	68,34	341	22,68	22,27	32,96	33,03	1,24	69,37	36,41	9,28
7	62,83	S	92,67	62,48	341	22,4	22,34	26,41	34,6	1,11	61,72	35,31	2,02
8	76,32	S	125,46	74,6	341	22,3	22,28	31,85	40,5	1,34	74,98	43,13	6,09
9	88,9	S	139,69	88,09	340	21,9	22,57	38,65	45,83	1,57	87,33	48,68	5,86
10	69	P	108,92	65,49	341	22,14	22,09	30,17	34,41	1,21	67,79	37,62	8,52
11	67,07	P	135,8	65,28	341	22,62	22,35	28,38	34,02	1,18	65,89	37,51	9,30
12	87,9	P	137,13	84,92	341	22,73	22,42	37,32	46,01	1,55	86,35	49,03	6,17
13	67	S	91,19	67,26	340	22,32	22,55	27,95	37,94	1,18	65,82	37,87	-0,19
14	66,99	S	126,24	65,96	341	22,69	21,47	29,45	33,9	1,18	65,81	36,36	6,77
15	74,39	S	114,99	74,82	341	22,6	22,73	31,11	41,05	1,31	73,08	41,97	2,19
16	70	P	104,25	68,86	339	22,03	22,11	29,59	38,08	1,24	68,76	39,17	2,79
17	79,82	P	124,19	78,63	341	22,45	21,6	32,88	43,95	1,40	78,42	45,54	3,48
18	69,61	P	122,83	65,77	341	22,05	22,11	29,25	35,36	1,22	68,39	39,14	9,65
19	62,74	S	107,48	60,42	340	22,8	22,16	26,17	32,93	1,11	61,63	35,46	7,14
20	79,46	S	106,51	79,03	341	22,08	22,23	34,28	42,8	1,40	78,06	43,78	2,24
21	67,8	S	109,61	65,6	340	22,4	21,94	30,17	33,83	1,20	66,60	36,43	7,15

Puukappaleiden tiedot: Painohäviö

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapuu	Märkäpaino lahotuksen jälkeen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Sahatut laitakappaleet yht, g*	Keskikappale, g**	Painohäviö, g***	Kuivapaino ennen lahotusta - painohäviö, g****	Paino haviön jälk. - Sahatut laitakapp, g*****	Painohäviö, %*****
22	65,04	P	114,29	61,81	341	22,63	22,27	28,26	32,73	1,14	63,90	35,64	8,15
23	70,31	P	104,83	68,94	341	22,24	22,41	29,83	37,84	1,24	69,07	39,24	3,57
24	81,17	P	126,64	76,77	340	22,97	22,15	33,84	41,62	1,43	79,74	45,90	9,32
25	65,12	S	97,48	64,81	341	22,24	22,11	27,49	35,03	1,15	63,97	36,48	3,99
26	68,09	S	108,99	67,68	341	22,91	22,61	28,59	37,51	1,20	66,89	38,30	2,07
27	84,17	S	114,04	83,12	340	22,58	22,14	36,3	44,31	1,49	82,68	46,38	4,47
28	82,12	P	119,57	80,74	341	22,54	22,15	34,88	43,28	1,44	80,68	45,80	5,49
29	78,54	P	135,07	75,78	341	22,45	22,13	33,18	41,08	1,38	77,16	43,98	6,59
30	81,76	P	132,61	79,02	341	22,36	22,14	34,2	43,4	1,44	80,32	46,12	5,90
31	66,36	S	118,83	64,33	340	22,38	22,55	28,8	33,37	1,17	65,19	36,39	8,30
32	102,93	S	132,77	101,16	340	22,74	22,24	41,93	54,43	1,82	101,11	59,18	8,03
33	98,05	S	126,56	97,54	341	22,06	22,66	40,49	52,89	1,73	96,32	55,83	5,27
34	68,6	P	95,73	67,66	341	22,65	22,4	30,71	35,47	1,21	67,39	36,68	3,31
35	71,76	P	112,52	69,54	341	22,62	22,06	30,23	37,49	1,26	70,50	40,27	6,90
36	78,34	P	117	76,61	-	-	-	32,86	42,63	-	78,34	45,48	6,27
37	64,69	S	93,72	64,18	341	22,14	22,44	26,31	36,57	1,14	63,55	37,24	1,80
38	62,22	S	107,35	61,99	341	22,86	22,13	26,67	33,35	1,09	61,13	34,46	3,21
39	64,98	S	90,06	61,78	341	22,67	22,43	27,29	33,06	1,14	63,84	36,55	9,54
40	68,44	P	108,4	61,52	341	22,14	22,27	28,45	32,1	1,20	67,24	38,79	17,24
41	68,9	P	107,04	65,47	340	22,37	22,2	29,31	35,07	1,22	67,68	38,37	8,61
42	63,48	P	104,43	61,74	341	22,13	22,3	27,32	32,93	1,12	62,36	35,04	6,03
43	67,77	S	94,81	67,48	341	22,38	22,35	28,51	37,25	1,19	66,58	38,07	2,15
44	63,5	S	124,06	61,52	340	22,42	22,26	27,35	32,48	1,12	62,38	35,03	7,28
45	63,19	S	105,65	62,91	340	22,59	22,06	26,63	34,08	1,12	62,07	35,44	3,85
46	78,42	P	105,63	77,31	341	22,13	22,31	33,48	42,34	1,38	77,04	43,56	2,80
47	79,13	P	116,49	77,39	340	22,45	22,64	33,36	41,78	1,40	77,73	44,37	5,84
48	78,68	P	108,75	74,16	340	22,3	22,27	33,45	39,68	1,39	77,29	43,84	9,49
49	60,5	S	102,84	58,49	340	22,12	21,92	25,72	31,4	1,07	59,43	33,71	6,86
50	86,43	S	120,07	86,72	341	22,18	22,68	40,1	44,23	1,52	84,91	44,81	1,29
51	64,89	S	102,68	63,01	340	22,59	22,15	27,7	33,7	1,15	63,74	36,04	6,51

Puukappaleiden tiedot: Painohäviö

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapuu	Märkäpaino lahotuksen jälkeen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkeen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Leveys, mm	Sahatut laitakappaleet yht, g*	Keskikappale, g**	Painohäviö, g***	Kuivapaino ennen lahotusta - painohäviö, g****	Paino häviön jälk. - Sahatut laitakapp, g*****	Painohäviö, %*****
52	62,62	P	93,46	59,78	340	22,57	21,53	26,95	32,1	1,11	61,51	34,56	7,13
53	81,69	P	127,99	80,72	340	22	22,78	34,22	44,77	1,44	80,25	46,03	2,73
54	69,92	P	104,25	67,12	341	22,46	22,3	29,34	36,02	1,23	68,69	39,35	8,46
55	70,23	S	105,82	68,46	340	22,54	22,6	29,28	37,35	1,24	68,99	39,71	5,94
56	67,89	S	102,14	67,93	341	22,61	22,38	28,47	37,14	1,19	66,70	38,23	2,84
57	95,97	S	117,67	92,33	341	22,66	22,16	39,87	49,3	1,69	94,28	54,41	9,39
58	64,78	P	87,6	63,81	341	22,15	22,36	27,77	35,19	1,14	63,64	35,87	1,90
59	88,03	P	146,46	82,76	341	22,67	22,19	36,86	44,2	1,55	86,48	49,62	10,92
60	77,71	P	104,73	75,24	341	22,92	22	32,95	41,1	1,37	76,34	43,39	5,28
61	67,46	S	98,88	67,08	341	23,15	22,41	28,71	37,1	1,19	66,27	37,56	1,23
62	64,33	S	106,35	62,37	340	22,39	22,95	27,67	33,24	1,14	63,19	35,52	6,43
63	62,86	S	105	62,01	340	23	22,03	27,43	33,23	1,11	61,75	34,32	3,18
64	66,03	P	102,07	57,45	341	22,61	22,36	27,27	29,28	1,16	64,87	37,60	22,12
65	70,39	P	108,07	66,94	340	22,98	22,31	29,76	36,36	1,24	69,15	39,39	7,69
66	79,35	P	112,79	74,24	339	22,42	21,1	33,12	39,98	1,40	77,95	44,83	10,81
67	80,4	S	114,85	79,78	341	22,36	22,09	33,57	43,55	1,41	78,99	45,42	4,11
68	67,66	S	96,44	67,4	341	22,35	22,7	28,75	37,16	1,19	66,47	37,72	1,48
69	70,66	S	98,29	68,73	341	23,16	22,23	32,02	35,3	1,24	69,42	37,40	5,61
70	81,63	P	110,23	78,51	340	22,18	22,41	34,63	41,91	1,44	80,19	45,56	8,01
71	81,01	P	114,86	79,01	341	22,27	22,87	34,69	43,35	1,43	79,58	44,89	3,44
72	67,91	P	90,41	65,07	341	22,03	21,93	28,41	35,08	1,19	66,72	38,31	8,42
73	66,43	S	112,83	65,05	340	22,68	22,35	28,3	34,94	1,17	65,26	36,96	5,46
74	92,5	S	136,35	90,64	341	22,32	22,45	38,97	48,32	1,63	90,87	51,90	6,90
75	63,63	S	99,31	62,59	341	22,87	22,13	27,04	33,71	1,12	62,51	35,47	4,96
76	79,01	P	105,63	76,77	340	22,56	22,63	33,06	42,43	1,39	77,62	44,56	4,77
77	67,9	P	112,94	65,52	339	21,98	21,76	29,02	34,38	1,20	66,70	37,68	8,75
78	68,87	P	102,99	66,33	341	22,09	22,07	28,97	36,36	1,21	67,66	38,69	6,02
79	89,15	S	123,63	88,49	340	22,48	22,48	36,65	49,19	1,57	87,58	50,93	3,41
80	67,33	S	123,85	67,4	341	22,16	22,57	29,64	35,1	1,18	66,15	36,51	3,85
81	67,46	S	111,76	67,47	341	22,1	22,71	28,33	37,16	1,19	66,27	37,94	2,06

Puukappaleiden tiedot: Painohäviö

Numero	Kuivapaino ennen lahotusta, g	S=sydänpuu P=pintapu	Märkäpaino lahotuksen jälkehen, g	Kuivapaino lahotuksen jälkehen, g	Pituus, mm	Korkeus, mm	Levyys, mm	Sahatut laitekappaleet yht, g*	Keskikappale, g**	Painohäviö, g***	Kuivapaino ennen lahotusta - painohäviö, g****	Paino häviön jälk. - Sahatut laitekapp., g*****	Painohäviö, %*****
82	68,24	P	114,25	64,03	340	22,73	22,04	28,92	34,04	1,20	67,04	38,12	10,69
83	69,62	P	115,53	67,53	341	22,57	22,37	29,2	36,6	1,22	68,40	39,20	6,62
84	64,66	P	130,07	60,66	341	22,73	22,46	27,37	32,1	1,14	63,52	36,15	11,21
85	77,57	S	120,52	77,68	341	22,45	22,35	32,34	42,77	1,36	76,21	43,87	2,50
86	63,87	S	100,55	63,73	340	22,17	22,24	27,4	35,06	1,13	62,74	35,34	0,80
87	59,16	S	108,18	57,23	340	22,07	22,38	25,34	30,3	1,04	58,12	32,78	7,55
88	63,22	P	114,65	62,4	340	22,7	22,79	26,39	33,78	1,12	62,10	35,71	5,42
89	66,4	P	99,83	67,67	341	22,14	22,72	28,02	35,76	1,17	65,23	37,21	3,90
90	65,07	P	117,11	63,51	341	22,64	22,35	28,01	33,58	1,14	63,93	35,92	6,50
91	61	S	121,18	59,8	340	21,75	22,27	25,79	32,03	1,08	59,92	34,13	6,16
92	67,94	S	106,41	68,02	341	22,37	21,96	28,72	37,42	1,20	66,74	38,02	1,59
93	89,52	S	138,18	91,24	341	22,37	22,49	37,66	48,47	1,58	87,94	50,28	3,61
94	66,65	P	97,52	66,05	341	22,56	22,81	28,04	36,9	1,17	65,48	37,44	1,44
95	66,12	P	106,9	65,46	341	22,81	22,45	27,43	36,49	1,16	64,96	37,53	2,76
96	68,37	P	155,25	62,78	341	22,38	22,19	28,98	32,76	1,20	67,17	38,19	14,21
97	84,59	S	115,28	85,06	341	22,18	22,43	39,86	43,4	1,49	83,10	43,24	-0,37
98	73,85	S	141,01	73,67	341	22,12	22,85	36,06	35,49	1,30	72,55	36,49	2,74
99	90,93	S	123,46	90,88	341	22,43	22,4	37,89	50,04	1,60	89,33	51,44	2,72
100	65,97	P	135,48	62,09	340	22,73	22,39	27,44	33,59	1,16	64,81	37,37	10,11
101	71,56	P	177,21	68,12	341	22,7	22,33	30,11	36,79	1,26	70,30	40,19	8,46
102	83,02	P	128,19	81,35	341	22,58	22,32	34,94	44,76	1,46	81,56	46,62	3,99

* Lahotetusta puukappaleesta sahattujen laitekappaleiden yhteispaino

** Lahotetusta puukappaleesta sahatun keskikappaleen paino

*** Sahauksesta johtuva painohäviö, kun kappaleesta lähtenyt noin 6 mm:n pitkä osa pois. Kaava: (6(pituus)*kuivapaino ennen lahotusta

**** Kappaleen kuivapaino ennen lahotusta vähennettynä sahouksesta johtuvasta painohäviöstä. Kaava: Kuivapaino ennen lahotusta - painohäviö

***** Kappaleen paino häviön jälkeen vähennettynä laitekappaleiden summalla.

***** Painohäviö saadaan esimerkkilaskelmalla puukappale nro 1: (34,26-32,27)/34,26*100=5,80 %

Puukappaleiden keskiarvot ja -hajonnat erittäin

Report						
Ryhmät		Taivutus	Kimmo	Kosteus	Kuivatuore	Painohäv.
0P	Mean	51,55	7620,08	53,55	459,70	
	N	10	10	10	10	
	Std. Deviation	7,20	876,44	3,64	28,69	
0S	Mean	59,00	8242,25	25,84	491,95	
	N	10	10	10	10	
	Std. Deviation	14,14	1571,13	7,36	80,43	
1P	Mean	38,08	6494,90	49,89	409,42	3,44
	N	8	8	10	9	10
	Std. Deviation	4,65	1278,52	5,87	34,02	1,62
1S	Mean	42,56	6984,80	44,30	431,71	1,45
	N	9	8	10	10	10
	Std. Deviation	9,78	1597,46	13,20	68,86	1,57
2P	Mean	40,43	6780,19	50,02	448,96	4,21
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	6,00	1182,55	12,63	38,39	1,25
2S	Mean	42,14	6530,60	46,18	432,38	2,58
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	10,10	1634,94	11,02	61,98	0,88
3P	Mean	34,10	5613,61	60,34	406,52	6,77
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	5,03	1116,46	16,49	42,05	1,16
3S	Mean	38,28	5947,85	60,20	410,32	3,61
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	9,57	1516,30	12,44	57,15	0,70
4P	Mean	30,31	4661,26	69,72	400,61	9,16
	N	11	11	11	11	11
	Std. Deviation	2,26	461,31	19,73	34,11	1,16
4S	Mean	36,73	5704,49	67,78	417,28	6,18
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	10,32	1552,22	17,54	81,22	1,45
5P	Mean	25,06	3874,13	102,91	387,73	11,75
	N	10	10	10	10	10
	Std. Deviation	7,27	1045,18	30,49	45,69	4,80
5S	Mean	33,72	5078,40	72,25	402,12	7,25
	N	11	11	11	11	11
	Std. Deviation	9,88	1620,22	27,28	67,36	1,32
Total	Mean	39,20	6085,64	58,78	424,63	5,69
	N	119	118	122	121	102