

Metsä- ja hybridihaapa sahatavaran ja jatkojalosteiden raaka-aineena

Henrik Heräjärvi, Reijo Junkkonen, Hannu Koivunen, Juha Metros,
Teppo Piira ja Erkki Verkasalo

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisu toiminnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
Unioninkatu 40 A
00170 Helsinki
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät			
Heräjärvi, Henrik, Junkkonen, Reijo, Koivunen, Hannu, Metros, Juha, Piira, Teppo & Verkasalo, Erkki			
Nimeke			
Metsä- ja hybridihaapa sahatavaran ja jatkojalosteiden raaka-aineena			
Vuosi	Sivumäärä	ISBN	ISSN
2006	102	ISBN-13: 978-951-40-2008-7 (PDF) ISBN-10: 951-40-2008-1 (PDF)	1795-150X
Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet			
Joensuu / Puunkäytön mahdollisuudet ja puutuotteiden menekki -tutkimusohjelma / Hanke 3355 Puutuoteteollisuuden uudet jalosteet, 7145 Metsä- ja hybridihaapa puutuotteiden raaka-aineena			
Hyväksynyt			
Leena Paavilainen, tutkimusjohtaja, 8.8.2006			
Tiivistelmä			
<p>Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää metsä- ja hybridihaavan ominaisuudet ja erot puutuotteiden valmistuksen kannalta. Aineisto koostui 12 etelä- ja keskisuomalaisesta metsiköstä kaadetusta 75 koepuusta, jotka sahattiin läpisaheiksi. Saheet särmättiin ja kuivattiin kolmella eri tavalla (lämmenilmakuivaus, puristuskuivaus, lämpökäsittely), jonka jälkeen puutavaraa valmistettiin pieniä virheettömiä koekappaleita haapapuun fysikaalisten ominaisuuksien mittauksiin sekä liimauskokeisiin. Aineiston käsittelyn välivaiheissa tehtiin mittauksia runkojen, tukkien ja läpisaheiden laadusta.</p> <p>Tulokset osoittivat, että haapalajien välillä on vain vähäisiä eroja runkomuodossa, oksikkuudessa ja fysikaalisissa ominaisuuksissa. Haapalajien kasvunopeus ja koko elinkaaren kasvurytmi sen sijaan poikkeavat toisistaan varsin selvästi. Hybridihaavan läpimitta kasvaa erittäin nopeasti ensimmäiset 15–20 vuotta, mutta tämän jälkeen sen kasvu taantuu metsähaavan tasolle ja alittaa sen. Metsähaapa kasvaa tasaisesti aina n. 50 vuoden ikään asti. Hybridihaavan puuaine on keskimäärin hieman kevyempää kuin metsähaavan, joka näkyy myös jonkin verran huonompina mekaanisina ominaisuuksina. Kun aineiston läpisaheiden jakoa eri dimensioisiin lamelleihin tutkittiin simuloimalla, havaittiin 50 mm lamellileveydellä ja 200 mm minimipituudella saatavan oksattomina sormijatkoskelpoisina liimalevykomponentteina talteen jopa 70 % saheen pinta-alasta, kun haettiin yhdeltä lappeelta oksattomia komponentteja. Suurempia ja kahdelta lappeelta oksattomia komponentteja tuotettaessa saanto on alhaisempi. Tärkeimmät sormijatkoskomponenteista pois leikattavat vikasyyt olivat oksat, sydänlaho ja vesisilo. Erilaisilla kuivaus- tai modifiointitavoilla voidaan vaikuttaa paitsi haapapuun ulkonäköön myös sen fysikaalisiin ominaisuuksiin. Lämpökäsittely samoin kuin puristuskuivaus alensivat puuaineen tasapainokosteutta. Puristuskuivauksella voidaan kasvattaa puun tiheyttä – erityisesti pintakerroksesta – joka puolestaan näkyy parantuneina mekaanisina ominaisuuksina. Lämpökäsittelyssä muut puuaineen mekaaniset ominaisuudet paitsi puristuslujuus heikkenivät selvästi.</p> <p>Nykytekniikalla keskilaatuisestakin haapatukista voidaan saada talteen huomattava osuus oksatonta, visuaalisiin tuotteisiin kelpavaa puutavaraa, josta voidaan jalostaa ominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä puusepäntuotteita. Jos tukiin hankinta saadaan organisoitua kustannustehokkaaksi, kuten voidaan odottaa tapahtuvan 1990-luvun lopulla ja 2000-luvun alussa istutettujen hybridihaapametsiköiden tullessa korjuuikään 10–15 vuoden kuluttua, voi haavan mekaaninen jalostus kasvaa arviolta muutama kymmeniä tuhansiin kuutiometriin eli lähes kymmenkertaisesti nykyisestä. Haavan viljelypinta-alaa pitäisi kuitenkin vielä kasvattaa nykyisestä, jotta raaka-aineen tasainen saatavuus turvattaisiin. Viljelypinta-alan kasvattamista rajoittaa ylisuuri hirvieläinkanta.</p>			
Asiasanat			
hybridihaapa, höyläys, kovuus, liimaus, lujuus, lämpökäsittely, metsähaapa, Populus, puristuskuivaus			
Julkaisun verkko-osoite			
http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2006/mwp031.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot			
Henrik Heräjärvi, Metla, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 Joensuu. Henrik.Herajarvi@metla.fi			

Alkusanat

Käsillä on loppuraportti Metsäntutkimuslaitoksessa (Metla) vuosina 2003–2005 toteutetusta tutkimushankkeesta Metsä- ja hybridihaapa puutuoteteollisuuden raaka-aineena. Hankkeen suunnittelu käynnistyi Metsämannut Oy:n toimitusjohtajan Kaj Karlssonin (31.12.2004 saakka) aloitteesta tavoitteena kotimaisen haavan viljelyn ja kasvatuksen motivointi tukkipuun potentiaalisten tuotantomahdollisuuksien osoittamisen kautta. Suunnittelun kuluessa keskeiseksi kysymykseksi osoittautui erityisesti hybridihaavan jatkojalostus, jossa vaihtoehtoisiksi toimintamalleiksi valittiin puunkuivauksessa ja -käsittelyssä lämpö- ja puristuskäsittely verrokkina lämminilmakuivaus ja seuraavissa tuotantovaiheissa joko massiivi- tai liimapuuaihioiden valmistus. Pääosin tutkimus keskittyy kuitenkin eri alkuperää olevan haavan puumateriaalitekniisiin ominaisuuksiin ja niiden pohjalta pääteltävissä olevien tuotemahdollisuuksien arviointiin.

Tutkimuksen rahoituksesta vastasi noin 90 prosentin osuudella Metsäliitto Osuuskunta ja noin 10 prosentin osuudella Puumiesten ammattikasvatussäätiö. Metla rahoitti itse merkittävän osan tutkimuksen eri työvaiheista vakinaisen henkilökunnan käytöllä. Hankkeen ohjausryhmän muodostivat Reijo Ravila (Finnforest Oyj., puheenjohtaja), Kaj Karlsson ja Satu Holm (Metsämannut Oy), Hannu Honkanen (Puumalan Puristepuu Oy), Pekko Häkli (Hämeen ammattikorkeakoulu) sekä Pekka Saranpää (Metsäntutkimuslaitos). Käytännön toteutuksesta vastasi hanketutkija Reijo Junkkonen yhdessä Henrik Heräjärven ja Erkki Verkasalon kanssa.

Aineiston keruuseen osallistuivat kirjoittajien lisäksi metsätalousteknikko Tapio Ylimartimo Metlan Joensuun toimintayksiköstä sekä metsätalousinsinöörit Jukka Lehtimäki ja Erkki Salo ja tutkimusmestari Veijo Salo Vantaan toimintayksiköstä. Koesahaukset, sahemittaukset ja osa kuivauskokeista tehtiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tiloissa ja laitteilla. Kuivauskäsittelyitä tehtiin myös Arboreo Oy:ssä Kuopiossa, Konepalvelu Juntunen & Matero Oy:ssä Suomussalmella sekä Oulun yliopiston Kajaanin mittalaitelaboratoriossa. Liimauskokeet tehtiin Puutekniikka Kivilahti Oy:ssä Joensuussa. Puuaineen mekaaniset ominaisuudet mitattiin Joensuun yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan materiaalintestauslaitteella.

Haluamme esittää parhaat kiitoksemme tutkimuksen edistymiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja organisaatioille.

Elokuussa 2006

Kirjoittajat

Sisällys

1 JOHDANTO.....	7
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	13
2.1 METSIKÖIDEN VALINTA.....	13
2.2 METSIKKÖMITTAUKSET.....	17
2.3 KAAATOKOEPUUMITTAUKSET.....	18
2.4 TUKKIMITTAUKSET.....	19
2.5 NÄYTEKIEKKOJEN KÄSITTELY JA MITTAUKSET.....	20
2.6 SAHAUS JA SAHEMITTAUKSET.....	21
2.7 PUUTAVARAN KUIVAUS.....	23
2.7.1 Lämminilmakuivaus.....	23
2.7.2 Lämpökäsittely.....	23
2.7.3 Puristuskuivaus.....	24
2.8 SAHEISTA VALMISTETUT KOEKAPPALEET.....	26
2.9 TULOSTEN ANALYSOINTI JA TILASTOLLISET TESTIT.....	28
3 TULOKSET.....	29
3.1 METSIKÖIDEN OMINAISUUDET.....	29
3.1.1 Pohjapinta-ala ja runkoluku.....	29
3.1.2 Ikä, järeys ja oksarajat.....	31
3.2 RUNKOJEN VIAT.....	33
3.2.1 Muotoviat.....	33
3.2.2 Pintaviat.....	34
3.2.3 Vikojen vaikutus sahauskelpoisuuteen.....	35
3.3 KAAATOKOEPUIDEN LAATU.....	37
3.3.1 Ulkoinen laatu.....	37
3.3.2 Kasvunopeus.....	40
3.4 TUKKIEN LAATU.....	40
3.4.1 Tilavuus.....	40
3.4.2 Oksikkuus.....	41
3.4.3 Viat.....	43
3.4.4 Laatuluokkajakauma.....	46
3.5 LÄPISAHEIDEN LAATU.....	48
3.5.1 Oksaisuus.....	48
3.5.2 Viat.....	51
3.5.3 Laatuluokkajakauma.....	56
3.5.4 Lamellien sormijatkamispotentiaali.....	59
3.6 PUUAINEEN OMINAISUUDET – KUIVAAMATON PUUTAVARA.....	61
3.6.1 Vuosiluston leveys.....	61
3.6.2 Puuaineen kuivatuoretiheys.....	63
3.7 PUUAINEEN OMINAISUUDET – KUIVATTU PUUTAVARA.....	65
3.7.1 Kosteuseläminen ja vesiabsorptio.....	65

<i>Kosteusturpoama ja kuivauskutistuma</i>	65
<i>Vesiabsorptio</i>	68
<i>3.7.2 Mekaaniset ominaisuudet</i>	68
<i>Taivutuslujuus ja -jäykkyys</i>	68
<i>Puristuslujuus</i>	70
<i>Brinell-kovuus</i>	73
<i>3.7.3 Haavan liimattavuus ja sormisaumojen taivutuslujuus</i>	75
<i>3.7.4 Kuivausviat</i>	78
<i>3.7.5 Kuivausmenetelmien vaikutukset puutavaran ominaisuuksiin – yhteenveto</i>	79
4 TULOSTEN TARKASTELU	81
4.1 YLEISTETTÄVYYS JA LUOTETTAVUUS	81
4.2 TULOSTEN ARVIOINTI JA VERTAILU AIEMPAAN TUTKIMUKSEEN	83
4.2.1 <i>Metsiköiden ominaisuudet</i>	83
4.2.2 <i>Tukkien ja saheiden laatu</i>	84
4.2.3 <i>Fysikaaliset ja jatkojalostustekniset ominaisuudet</i>	86
4.3 PÄÄTELMÄ JA JATKOTUTKIMUSTARPEITA	88
KIRJALLISUUS	92
TERMIEN MÄÄRITELMIÄ	100

1 Johdanto

Suomessa luonnonvaraisena kasvava metsähaapa (*Populus tremula* L.) on männyn, kuusen, hies- ja rauduskoivun jälkeen viidenneksi yleisin puulajimme. Koko maassa haapa on vallitseva puulaji 0,3 prosentilla metsämaan pinta-alasta, Etelä-Suomessa (pl. Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin metsäkeskusalueet) vastaava osuus on 0,5 prosenttia. Suomen runsaan kahden miljardin kuutiometrin puuvarannosta noin 1,5 % eli 30 milj. m³ on haapaa. Etelä-Suomessa on valtakunnan metsien inventointitietojen mukaan 54 000 ha haapavaltaisia metsiköitä (Peltola 2004). Jos arvioidaan näissä metsiköissä olevan keskimäärin 100 kuutiometriä haapapuuta hehtaarilla, saadaan haapavaltaisten metsiköiden kokonaishaapatilavuudeksi vasta 5,4 milj. m³. Tilavuusperusteisesti suurin osa – lähes 25 milj. m³ – haavasta kasvaakin vähemmistöpuulajina havupuu- tai koivuvaltaisissa metsissä sekä pieninä haaparyhminä mm. peltojen laidoilla ja teiden varsilla.

Haapa on syntytavasta ja alkuperästä riippumatta nopeakasvuinen puu Suomen ilmasto-oloissa. Metsähaapa saavuttaa yleensä 15–20 m pituuden, harvoin 25 m, ja rinnankorkeusläpimitta jää useimmiten alle 50 senttimetrin (Salmi 1978). Keskimääräinen vuosikasvu on hyvillä kasvupaikoilla 6–11 m³/ha, jolloin puut saavuttavat tukkimitat 40–50 vuodessa. Sopeutuvainen haapa kasvaa tukkikokoiseksi myös Pohjois-Lapissa alueilla, joilla kasvukauden lyhyyden vuoksi haavan lisäksi vain mänty pääsee ainespuumittoihin.

Kotimaisen ja pohjoisamerikkalaisen haavan (*P. tremuloides* Michx.) risteytyskokeet johtivat 1900-luvun puolivälissä borealiselle kasvillisuusvyöhykkeelle poikkeuksellisen nopeakasvuisen puun, hybridihaavan (*P. tremula* x *tremuloides*) aikaan saamiseen. Metsäntutkimuslaitoksen kestokokeissa on hybridihaavikoissa mitattu puuntuotoksia lähes tasolla 300 m³/ha 25 vuoden kiertoajalla. Pelloille perustetuissa kokeissa hybridihaavikon tuotos on ollut ensimmäisen 25 vuoden aikana noin 30 % suurempi kuin rauduskoivulla ja puolitoistakertainen verrattuna metsähaapaan (Hynynen ym. 2004). Etelä-Ruotsissa on havaittu keskimääräisen vuosituotoksen olevan peltomaille viljellyissä hybridihaavikoissa jopa 30 m³/ha tai lähes 10 t/ha biomassaa (Karacic ym. 2003). Tällaisiin tuotoksiin päästään vain rehevimmillä kasvupaikoilla, vähintään lehtomaisilla kankailla tai vastaavilla vesitaloudeltaan kunnossa olevilla peltomailla (Hynynen ym. 2004).

Hybridihaavan metsähaapaa nopeampi kasvu johtuu ainakin osin haapalajien toisistaan poikkeavasta fenologiasta. Hybridihaapa puhkeaa keväällä metsähaapaa aiemmin lehteen ja toisaalta jatkaa kasvuaan pidemmälle syksyyn (Yu ym. 2001). Tämä toisaalta altistaa hybridihaavan alkukesän ja loppusyksyn hallavaurioille. Hybridihaavan läpimitan kasvurytmissä on myös havaittu kasvukauden aikana kaksi nopean kasvun jaksoa (heinäkuun puolivälissä ja elokuun puolivälissä), kun metsähaavalla nopein kasvu ajoittuu selvemmin kesäkuun puoliväliin (Yu ym. 2001).

Kotimaisen puutuoteteollisuuden käyttämän haapatukin määrästä on esitetty vaihtelevia arvioita, enimmillään 15 000 m³/a (Louna & Valkonen 1995). Tilastot ovat puutteellisia ja vuosittaiset vaihtelut suuria, koska niin haavan sahaus kuin sorvauskin on pk-yritysten pääosin satunnaisten tilausten mukaan tapahtuvaa toimintaa. Verkasalo (1999) arvioi haapatukin todellisen käytön olleen vähintään kaksinkertaisen tilastoihin verrattuna. Silti vain murto-osa mekaanisesti jalostuskelpoisesta haavasta on ollut käytössä sen jälkeen kun järeän haavan menneiden vuosikymmenten pääkäyttäjät tulitikkuteollisuus lopetti puun käytön 1990-luvulla ja vaneriteollisuuskin on käyttänyt haapaa ehkä muutamia satoja tai korkeintaan tuhansia kuutiometrejä vuodessa (Söyriä 1992).

Vuosien saatossa muutamat yritykset ovat kokeilleet pelkän haavan jalostamiseen perustuvaa liiketoimintakonseptia, mutta ne ovat kaatuneet lähinnä riittävän hyvälaatuisen raaka-aineen hankinnan ongelmiin. Toisaalta päinvastaisiakin kokemuksia on esim. Pirkanmaalta, jossa maakunnan alueelta onnistuttiin hankekokeilun yhteydessä hankkimaan teollisen jalostuksen mahdollistavia määriä haapatukkia (Inna suull. 2004). Savo-Karjalan alueella tehty selvitys puolestaan osoitti, että alueen pk-yrityksillä olisi kiinnostusta lisätä haavan käyttöä huomattavasti, haastatellut välillä 200–5500 m³/a (Kärki 1997). Etelä-Savossa taas yksikään siellä tehtyyn kyselytutkimukseen osallistuneista puusepänyrityksistä ei suunnitellut haavan eikä lepän tai pihlajan käytön lisäämistä myönteisestä julkisesta keskustelusta ja näihin puulajeihin liittyvistä odotuksista huolimatta (Rantanen ym. 2000).

Lehtipuutukin hankinnan keskeisimpänä ongelmana haavan, samoin kuin koivua lukuun ottamatta muidenkin lehtipuulajien kohdalla, on pidetty tukkivarantojen hajanaista sijaintia ja pieniä hehtaarikohtaisia tukkikertymiä. Nykytilanteessa voidaan vain harvoin puhua aidosta haavikon hakkuusta; tavallisesti haapaa kertyy pieniä määriä kuusikoiden tai koivikoiden korjuun yhteydessä. Tukkielpoisten tyvien erottelu omiin kasoihinsa ei kannata jos niitä kertyy vain muutamia kappaleita, niinpä ne päätyvät tavallisesti kuitupuupinoon. Tähän myötävaikuttaa lisäksi se tosiseikka, että haapatukeille löytyy vain satunnaisia alueellisia ostajia, kun taas haapakuitupuulle on tarjolla valtakunnallisia ostajia.

Haavan 1990-luvun loppupuolella käynnistetyn viljelykampanjan tuloksena Suomeen on istutettu noin 1 000 hehtaaria hybridihaavikoita (Holm 2004). Näitä on istutettu ensisijaisesti paperi- ja kartonkiteollisuuden kasvaneiden tarpeiden täyttäjiksi, aluksi Kirkniemen paperitehdasta ja myöhemmin Joutsenon ja Kaskisten BCTMP-tehtaita ajatellen (esim. Niskanen 1997, 2005, Tukiainen 2001). Lisääntyneestä kysynnästä huolimatta haapakuitupuun hintataso ei ole kuitenkaan kohonnut tyydyttävälle tasolle, mikä toistaiseksi vähentää metsänomistajien kiinnostusta haavan kasvatukseen. Voidaan kuitenkin olettaa, että nyt tehtyjen istutusten myötä saatavilla tulee olemaan myös tukkielpoista puutavaraa muutaman vuosikymmenen kuluttua.

Sahatun ja jatkojalostetun haavan todellisia käyttökohteita ovat jo tällä hetkellä ennen kaikkea kosteiden tilojen sisustaminen mutta myös urheiluvälineet, leikkikalut ja erilaiset koriste-esineet sekä halvat huonekalut (Heräjärvi & Junkkonen 2004; ks. myös Kärkkäinen 1981, Verkasalo

1999). Näissä vaaditaan käytännössä kokonaan tai ainakin lähes oksatonta, korkeintaan pieniä oksia sisältävää puuta. Jonkin verran haapaa käytetään myös kuivien sisätilojen paneeleina ja muina sisäverhouksina. Halvimmalle, rajoitetusti erilaisia vikoja sisältävälle materiaalille mahdollisia käyttökohteita voisivat olla keveät kantavat rakenteet, piha- ja puutarharakenteet (rajoitetusti) ja pakkaukset (esim. De Boever ym 2005). Esimerkiksi IKEA valmistuttaa sopimusvalmistajillaan huonekaluja ja niiden osia myös haavasta Itä-Euroopassa ja Aasiassa. Haavasta on valmistettu myös erilaisia koriste- ja käyttöesineitä, vaikkapa ruiskuttamalla puun pintaa painepesurilla niin, että kuidut nousevat pystyyn muodostaen karhean, esim. pesusieneksi tai ryijymäiseksi sisustuselementiksi soveltuvan pinnan.

Haavalle, jota on totuttu pitämään vähäarvoisena puulajina, on syntynyt nopeasti niin suuri kysyntä massa- ja paperiteollisuudessa, että kotimaiset haapavarat riittävät kattamaan kysynnästä vain murto-osan. Itse asiassa täsmälleen samanlainen ilmiö havaittiin haavan kohdalla 1. maailmansodan aikaan tulitikkuteollisuuden, ja 1930-luvun lopulla sulfaattiselluloosatehtaiden, puuhiomoiden, insuliittitehtaiden ja lastuvillatehtaiden puun käytön lisääntyttyä (Laitakari 1938). Tämä kuvastaa hyvin ”vähäarvoinen” -käsitteen aikariippuvuutta: kulutustottumusten muuttuessa tai teknologian kehittyessä eri raaka-aineiden arvo vaihtelee voimakkaasti. Tästä on olemassa lukuisia esimerkkejä erityisesti lehtipuiden osalta sekä kotimaassa (koivun hyljeksiminen 1960- ja 1970-luvuilla, ks. esim. Kärkkäinen 1984) että ulkomailla (lehtipuiden aliarvostus USAssa, ks. esim. Luppold & Bumgardner 2003).

Yhdysvaltain länsirannikolla, lähinnä Washingtonin osavaltion eteläosassa, metsäteollisuusyritykset viljelivät 1990-luvun alkupuolella tuhansia hehtaareja kloonattuja hybridihaapalajeja puumassa- ja paperitehtaiden ennustettuja kuitutarpeita varten. Strategia muuttui kuitenkin vuosituhaten vaihteessa haapakuidun kysynnän laskettua ja viljelmistä päätettiin kasvattaa tukkipuuta (Eaton 2000, DeBell ym. 2002). Tämä johti kuitutuotantoon tähänneiden 5–8 vuoden kiertoaikasuunnitelmien pidentämisen 15 vuoteen, jotta rungoista saataisiin tukkeja. Samalla käynnistettiin suuri haapojen pystykarsintaohjelma. Tutkimuksissa pystykarsinnan ei havaittu vaikuttavan haitallisesti puiden kasvuun, tiheyteen tai kuitujen pituuteen (DeBell ym. 2002, ks. myös Zumer 1966, Vadla 1999).

Haapa on luontaisesti varsin suorarunkoinen ja hyvin oksistaan karsiutuva ja kyljestyvä puulaji. Haavan runkomuoto on paras hyvillä kasvupaikoilla metsikön kasvaessa sopivan tiheänä. Runkomuoto on käytännössä tehtyjen havaintojen perusteella erityisen hyvä haavan kasvaessa sekapuuna kuusikossa, mikä edistää myös rungon puhdistumista oksista. Haavan ollessa järeää sen pintaosista voidaankin saada korkealaatuista, oksatonta puuainesta.

Laho eri muodoissaan on suurin yksittäinen haavan mekaanista käyttöä rajoittava tekijä (esim. Salmi 1978). Yleensä oksantyngistä alkava sydänlaho on puutuotteiden valmistuksen kannalta haitallisempaa kuin juuristosta alkava tyvilaho. Haavan pahimmat lahottajasienet ovat haavankääpä (*Phellinus tremulae*) ja arinakääpä (*P. igniarius*), lisäksi esiintyy pakurikääpä (*Poria obliqua*) ja lautaskääpä (*Ganoderma applanatum*) (Salmi 1978). Sydänlaho voi alkaa myös tuhohyönteisten ja/tai jäniksen, myyrän tai hirvieläimen syömäjäljistä. Haapa on karulla

maalla selvästi alttiimpi laholle kuin viljavalla maalla, ja Ruotsissa haavan lahoisuuden on havaittu kasvavan merkittävästi etelästä (Götanmaa ja Sveanmaa) pohjoiseen (Norlanti) (Ekström 1989).

Suomen haavikoiden lahoisuudesta ei ole tehty kattavaa inventointia. Kärkkäisen (1978) kolmelle tulitikkutehtaalle toimitettujen haapatukkien aineistossa, josta pahiten lahot rungonosat oli täten poistettu jo metsässä, selvästi lahoja oli tyvipäästään 28–31 % ja latvapäästään 9–28 % ja muuten värivikaisia vastaavasti 24–35 % ja 30–35 %.

Sitten Turun yliopistossa vuonna 1759 tarkastetun Arvid Mennanderin väitöskirjan ”*Kort beskrifning om aspens egenskaper och nytta i den allmänna hushållningen*”, metsähaavan puu- ja massateknisiä ja osin tuoteteknisiä ominaisuuksia on tutkittu yllättävänkin monissa kotimaisissa tutkimuksissa (Vesterinen 1944, 1956, Jalava 1945, Tikka 1955, Kärkkäinen & Salmi 1978, Uusvaara & Pekkala 1979, Kärki 1997, 2001, Perez 2002, Vilkki 2002, Kärki & Vainikainen 2004; ks. myös Kärkkäinen 1981, 2003, Söyriä 1992, Metsälä 1998, Kivistö ym. 1999). Vielä enemmän on tutkittu ulkomailla eri haapalajeja ja niiden hybridejä: Euroopassa mm. Börset 1952, Janin & Keller 1976, Beaudoin ym. 1992, Matyas & Peszlen 1997, Hernández ym. 1998, Koubaa ym. 1998, Vadla 1999, Flæte & Eikenes 2000 ja Benbrahim & Gavaland 2003, Blomberg ym. 2005, 2006; Pohjois-Amerikassa mm. Paul 1956, Haygreen 1970, Keays ym. 1974, Littleford & Roff 1975, Bendtsen ym. 1981, Hall ym. 1982, Sibal & Bowyer 1983, Maeglin ym. 1985, Perng ym. 1985, Bendtsen & Senft 1986, Bowyer ym. 1986, Kyokong ym. 1986, Green & Evans 1997, DeBell ym. 1998, 2002, Kretschmann ym. 1999, Semen ym. 2001, Peters ym. 2002, Yanchuk ym. 2003 ja Avramidis & Mansfield 2005; ks. myös Kärkkäinen 1981, Verkasalo 1990.

Puutavaran ulkoisten laatutekijöiden (järeyys, runkomuoto, oksikkuus) ohella puuaineen tiheyttä voidaan pitää tärkeimpänä yksittäisenä sahatavaran tai viulun teknis-taloudellista hyödynnettävyyttä kuvaavana ominaisuutena. Kuivatuoretiheys (= kuivamassa / tuoretilavuus) vaihtelee metsähaapatukeissa keskimäärin välillä 390 kg/m³ (ylemmät tukit) ja 410 kg/m³ (tyvitukit) (mm. Kärkkäinen & Salmi 1978). Yanchukin ym. (1983) mukaan kanadalaisen *P. tremuloides*in tiheys alenee ytimeistä kohti ”sydän- ja pintapuun” rajaa, kasvaen taas pintapuussa kohti rungon pintaosaa.

Taulukossa 1 on lueteltu kirjallisuustietoja haavan puuaineen keskimääräisistä anatomisista ja fysikaalisista ominaisuuksista verrattuna koivuun ja kuuseen. Koivu on tässä esimerkkinä tyypillisestä huonekalu- ja sisustuspuusta ja kuusi tyypillisestä rakennus- ja ulkoverhoustuusta.

Taulukko 1. Eräitä metsähaavan puuaineen keskimääräisiä anatomisia ja fysikaalisia ominaisuuksia rauduskoivuun ja kuuseen verrattuna aiemman kirjallisuuden mukaan (Jalava 1945, Hakkila 1966, Uusvaara & Pekkala 1979, Wagenführ 1996, Kärkkäinen 2003, Heräjärvi 2004).

	Metsähaapa	Rauduskoivu	Kuusi
Anatomiset ominaisuudet			
Kuidun pituus, mm	0,9 ± 0,7	1,0 ± 0,5	2,8 ± 1,5
Soluseinämän paksuus, (2 W), µm	4,3 ± 1,2	5,3 ± 1,2	3,5 ± 1,5
Kuitujen tilavuusosuus, %	70 ± 5	65 ± 5	95 ± 1
Putkiloiden läpimitta, µm	50 ± 20	90 ± 40	
Putkiloiden tilavuusosuus, %	26 ± 2	25 ± 4	
Tiheys ja kuivauskutistuma			
Kuivatuoretiheys, kg/m ³	390 ± 50	490 ± 50	430 ± 80
Kutistuminen (L-R-T-V)*	0,3-3,5-7,5-12,0	0,6-5,0-7,8-14,0	0,3-3,5-8,0-12,0
Mekaaniset ominaisuudet			
Kimmokerroin, GPa	13,0 ± 2,0	14,5 ± 2,0	11,0 ± 4,0
Taivutuslujuus, MPa	80 ± 30	110 ± 20	80 ± 40
Puristuslujuus syiden suunnassa, MPa	42 ± 15	50 ± 20	50 ± 20
Vetolujuus syysuunnassa, MPa	75 ± 50	140 ± 100	90 ± 70
Pinnan Brinell-kovuus, MPa	25**	23 ± 5	21*

* L: pituussuuntaan, R: säteen suuntaan, T: tangentin suuntaan, V: tilavuus.

** Arvot teoksesta Jalava (1945), tuon ajan mittausmenetelmä ei vastaa nykyistä standardia EN 1534.

Haavan puuaineen hyvinä puolina pidetään ennen kaikkea visuaalisia seikkoja. Haapa on hajaputkiloinen puulaji, jossa ei voida varsinaisesti erottaa kevät- ja kesäpuuta. Puuaine on tasaisen vaaleaa. Puuaine on verraten tasalaatuista myös vuosiluston leveyden, puuaineen tiheyden, taivutuslujuuden ja -kimmoisuuden suhteen, tasaisen vaaleaa sekä pinta- että sydänpuussa, käytössä kellertymätöntä ja suora- ja pitkäsyistä. Muita hyviä puolia ovat kohtuullinen kutistuminen kuivussa ja paisuminen kostuessa, kohtalainen taivutuslujuus ja -jäykkyys, keveys suhteessa mekaanisiin ominaisuuksiin, hyvä taipuisuus, muokattavuus ja kyllästyvyys, helppo halkaiseminen ja vaivaton työstäminen sekä hajuttomuus ja mauttomuus.

Haavan puuaineen huonoina puolina pidetään sydänlahon ja lahojen oksien ohella usein karkeahkoa ulkonäköä ja pinnan nukkaisuutta, repeilyä ja halkeilua työstettäessä, vain välttävää puristuslujuutta ja heikohkoa vetolujuutta sekä heikkoa lahonkestävyyttä ulkoilmassa. Hyvin kuivattuna haapapuu on kuitenkin esim. koivua kestävämpää. Myös säänvaihteluille alttiissa olosuhteissa kuten paanukatoissa tai ladonseinissä pintakäsittelmätönkin haapapuu voi kestää vuosikymmeniä vahingoittumattomana, ainoastaan harmaantuen. Tämä edellyttää kuitenkin vain ajoittaista, ei pysyvää kosteusaltistusta. Hyvän säänkestävyyden tärkein syy on puun huokoisuus eli puu kuivuu nopeasti kosteusaltistuksen päätyttyä.

Haavan erikoisuus on arvaamaton käyttäytyminen sahauksessa ja kuivauksessa (mm. Kivistö ym. 1999). Tuoreessa tukissa on kasvujännityksiä, jotka voivat laueta sahattaessa ja vääntää sahatavarakappaleet kieroiksi. Kosteuden epätasainen jakauma puuaineessa (ml. vesisilo ja bakteeri-infektiot) ja vetopuu aiheuttavat ongelmia sekä muodonmuutosten että halkeilun hallinnassa (esim. Kärkkäinen 1981). Kuivaukseen liittyviä ongelmia on yritetty ratkaista vaihtelevalla menestyksellä erityisesti Pohjois-Amerikassa (Kemp 1959, Haygreen & Wang 1966, Erickson & Demaree 1972, Huffman 1972, Bailey 1973a,b, Mackay 1974a,b, 1975a,b,

Robichaud ym. 1974, Huffman & Cech 1976, Maeglin 1989, Reynolds & Donahue 1989, Boone 1990, Zak 1990, Kretschmann ym. 1999, Serrano & Cassens 2001; ks. myös Lamb 1967, Farmer 1981). Myös Norjassa on perehdytty asiaan (Flaete 1997, Fjærtoft ym. 1998, Eikenes & Flæte 2000). Kivistön ym. (1999) kyselytutkimuksessa havaittiin haavan kuivahalkaisun sekä höyläyksen olevan terien kulumisen kannalta ongelma. Teriä kuluttavat etenkin tyvitukeissa havaitut piiyhdisteet, jotka ilmeisesti nousevat nestevirtausten mukana maasta puun runkoon ja kiteytyvät siellä.

Haavan kuivaus on aloitettava erityisen varovaisesti ja kuivausajat ovat varsin pitkiä, erään kaavan mukaan noin 30 vrk eli kaksinkertaisia kuuseen ja 30 % pitempiä koivuun verrattuna (Kärki 1997). Kuivausmuodonmuutosten todennäköisyys on otettava huomioon jo sahauksessa: haapa suositellaan läpisahtavan aluksi paksuihin dimensioihin, sitten kuivattavan 12 prosentin kosteussuhteeseen ja halkaistavan vasta tämän jälkeen lopullisiin paksuuksiin (ns. SDR-menetelmä, Maeglin 1989). Toinen suositus on talvikaato ja tukkien varastointi yhden vuoden yli jännitysten tasaamiseksi ennen sahausta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää metsä- ja hybridihaavan tärkeimmät tekniset eli mekaaniseen jalostukseen vaikuttavat ominaisuudet sahauksen ja jatkojalostuksen kannalta sekä näiden ominaisuuksien mahdolliset erot eri tavoin kuivatussa haapapuussa. Ominaisuudet, joihin tässä tutkimuksessa keskityttiin, olivat:

- runkojen järeys
- runkomuoto
- runkojen ulkoinen oksikkuusrakenne ja sisäinen oksaisuusrakenne
- runkojen pinta- ja lahoviat
- runkojen laatuluokkarakenne
- sahatavaran laatuluokkarakenne
- eri sahatavaralaatujen määrä ja sijoittuminen runkoihin
- sahatavaran sormijatkamispotentiaali
- puuaineen kuivatuoretiheys
- puuaineen taivutuskimmokerroin ja -murtolujuus kolmipistetaivutuksessa *
- puuaineen pinnan Brinell-kovuus *
- puuaineen puristuslujuus syysuunnassa ja kohtisuoraan syitä vastaan *
- puuaineen kosteusturpoama ja kuivauskutistuma *
- puuaineen liimattavuusominaisuudet *

* määritettiin erikseen lämminilmakuivatulle, lämpökäsitellylle ja puristuskuivatulle puutavaralle.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Metsiköiden valinta

Tutkimuksen aineistoksi valittiin 12 haapametsikköä Etelä- ja Väli-Suomesta. Yksityismailla olleet metsiköt etsittiin alueellisten metsäkeskusten ja metsänhoitoyhdistysten avulla. Osa metsikoista sijaitsi Metsäntutkimuslaitoksen mailla ja paikannettiin koelarekistereistä. Lopullinen valinta tehtiin maastokäynnin perusteella. Valintakriteereinä olivat metsikön riittävä pinta-ala, haapojen sopiva ikä (korkeintaan 40 vuotta hybridihaavalla ja 60 vuotta metsähaavalla) ja haaparunkojen silmämääräinen soveltuvuus sahauskelpoisten tukkien apteraukseen. Hybridihaavikoiden valinnassa pyrkimyksenä oli alun perin valita ainoastaan nykyisinkin käytössä olevilla haapaklooneilla perustettuja metsiköitä. Tutkimukseen ikänsä ja järeytensä puolesta soveltuvat hybridihaavikot oli perustettu 1960- tai 1970-luvuilla, ja taimikloonien alkuperätiedot olivat monessa tapauksessa jo kadonneet tai niitä ei voitu erikoisten tunnistetietojen perusteella verrata nykyisiin. Koska hakkuukypsiä, todennettavasti nykyäänkin käytössä olevilla klooneilla perustettuja hybridihaavikoita ei löytynyt riittävästi, otettiin mukaan myös alkuperältään ei-tunnettuja hybridihaavikoita.

Valitut koemetsiköt 1–5 olivat metsähaavikoita, joista metsiköissä 1 ja 4 kasvoi runsaasti myös muita puulajeja. Metsikkö 5 oli tutkimuksessa ainut mukana ollut istutettu metsähaavikko. Metsiköt 6–12 olivat hybridihaavikoita, joissa muita puulajeja ei juuri kasvanut. Metsikkö 9 Hollolassa oli ns. toisen sukupolven vesasyntyinen hybridihaavikko. Metsähaapametsikkö 5 ja hybridihaapametsikkö 7, molemmat Lapinjärvellä, oli perustettu samanaikaisesti; sama istutusajankohta ja kasvuolosuhteiden yhdenvertaisuus tarjosivat tässä hyvät puitteet metsä- ja hybridihaavan pareittaiselle vertailulle istutettuina puina.

Kaikki haavikot, lukuun ottamatta metsähaavikkoa 4 Mikkelissä, kasvoivat rehevällä kasvupaikalla (OMT) tai siihen verrattavalla entisellä pellolla. Maasto oli kaikissa metsiköissä melko tasaista ja helppokulkuista. Keski-ialtaan metsähaavikot olivat vanhempia (44 v.) kuin hybridihaavikot (32 v.). Luontaisesti syntyneet metsähaavikot olivat kasvaneet hitaammin kuin istutetut hybridihaavikot, joissa tutkimukseen vaadittu riittävä järeyks oli siten saavutettu varhaisemmalla iällä. Seuraavissa kappaleissa on kerrottu aineistoksi valittujen metsiköiden yleisilmeistä.

Metsikkö 1. Suonenjoki. Pinta-alaltaan yhteensä noin kuuden hehtaarin sekapuustoinen kuvio rehevässä loivasti järveen päin viettävässä rinteessä. Kuvio on mahdollisesti ollut joskus luonnonlaitumena. Kuviolla kasvoi metsähaavan lisäksi runsaasti koivuja, harmaaleppiä ja pihlajia. Paikalla kasvoi myös joitakin suuria mäntyjä ja kuusia. Kuvio oli ollut viime vuodet hoitamattomana, ja syksyllä 2003 Savossa riehunut myrsky kaatoi siltä joitakin puita. Myrskyn jälkeen paikalla aloitettiin harvennustyöt. Kuvio valittiin mukaan tutkimukseen, koska se edusti hyvin rehevää sekapuustoista metsähaavan tyypillistä kasvuympäristöä. Haavat olivat myös runkomuodoltaan hyviä ja sisältä pääsääntöisesti terveitä (kuva 1).



Kuva 1. Hyvälaatuinen metsähaaparunko Suonenjoen sekapuustoisessa koemetsikössä. *Kuva: Reijo Junkkonen.*

Metsikkö 2. Ristiina. Pinta-alaltaan 0,4 hehtaarin metsähaavikko valtatie 13 varressa pellon vieressä. Lähes puhtaassa haavikossa kasvoi myös muutama koivu ja alikasvoksena kuusen taimia. Kuvio oli hoidettu hyvin maisemallisista syistä ja edellinen harvennus oli tehty vuonna 1998. Puusto oli tasalaatuista.

Metsikkö 3. Heinävesi. Pieni noin 0,2 hehtaarin metsähaapakuvio loivassa rinteessä vanhan luonnonlaitumen paikalla. Kuvion alapuolella rinteessä oli nuorta boorin puutteesta kärsivää kuusikkoa ja yläpuolella hoitamatonta lepikkoa. Paikoitellen kuusialikasvosta kasvava haapakuvio oli hoidettu ja alle kasvanut lepikko oli raivattu vuonna 1998. Kuvio edusti hyvin pientä selvästi muusta metsästä erottuvaa haavikkoa, joka todennäköisesti on muutamaa vesoista syntynyttä kloonina. Puiden tekninen laatu oli aineiston heikoimmasta päästä mm. mutkaisuuden takia.

Metsikkö 4. Mikkelin maalaiskunta. Aineiston vanhin ja karuimmalla kasvupaikalla (MT) oleva noin 0,7 hehtaarin metsähaavikko, jossa kookkaiden haapojen lisäksi kasvoi kuusta, mäntyä ja koivua. Kuvio edusti hoidettua, ravinnetasoltaan karumpaa sekametsää, jossa puiden ulkoinen laatu oli hyvä.

Metsikkö 5. Lapinjärvi. Metsäntutkimuslaitoksen maalle istutettu noin 0,5 hehtaarin metsähaavikko. Kaikki kuvion haavat eivät olleet puhtaita metsähaapoja, sillä puut olivat peräisin eri puolilta Suomea ja osin suomalaisten ja keskieurooppalaisten haapojen risteytyksiä.

Kuvio oli ulkoisen laatunsa perusteella arvioituna viljelyhaavikoksi yli-ikäinen (42 v.). Tämä metsikkö valittiin aineistoon, koska sen historia oli tiedossa ja sen viereen samaan aikaan istutettu hybridihaapakuvio nro 7 tarjosi hyvät vertailumahdollisuudet metsä- ja hybridihaavan välille (kuva 2).



Kuva 2. Metsähaapakoeala Lapinjärvellä. Kuva: Reijo Junkkonen.

Metsikkö 6. Suomenniemi. Vanhalle pellolle tai laitumelle istutettu noin 0,6 hehtaarin hybridihaavikko. Hirvet olivat aiheuttaneet paljon vaurioita puihin taimivaiheessa, ja kuviolta oli poistettu vakavimmin vaurioituneet puut. Sen jälkeen kuviolle ei oltu tehty hoitotoimenpiteitä. Syksyllä 2003 kuviolta raivattiin alle kasvanut lepikko ja hirven tuhoamien puiden vesat. Kuvio edusti tyypillistä pellolle istutettua nopeasti kasvanutta mutta puutteellisesti hoidettua hybridihaavikkoa. Puiden ulkoinen laatu oli hybridihaapametsiköiden heikoin.

Metsikkö 7. Lapinjärvi. Metsäntutkimuslaitoksen maalle istutettu noin 0,5 hehtaarin hybridihaavikko. Jokaisen puun alkuperä tunnettiin: ♀ Hirvensalmi, Laukaa, Joroinen x ♂ Kanada: Southern Research Station. Viereisen istutetun metsähaapakuvion nro 5 tavoin tämäkin kuvio oli yli-ikäinen (42 v.), mutta tarjosi vertailumahdollisuuden metsä- ja hybridihaavan välille.

Metsikkö 8. Kontiolahti. Pinta-alaltaan noin 0,3 hehtaarin pellolle istutettu hybridihaavikko. Kuviota oli hoidettu poistamalla muu puusto ja vialliset haavat, mutta varsinaisia väljennyshakkuita ei oltu tehty. Niinpä kuvio oli vielä osittain istutustiheydessä noin 2,5 metrin välein. Haavat oli pystykarsittu 1980-luvun puolivälissä noin neljän metrin korkeuteen. Alla kasvoi tiheä noin kahden metrin pituinen haapavesakko. Kuvio edusti tekniseltä laadultaan kohtuullisen hyvää hybridihaavikkoa.

Metsikkö 9. Hollola. Pinta-alaltaan noin 0,4 hehtaarin kuvio oli tutkimuksen ainut juurivesoista uudistunut ns. toisen sukupolven hybridihaavikko (kuva 3). Istutettu ensimmäinen sukupolvi oli päätehakattu vuonna 1985, jolloin nykyiset toisen sukupolven haavat olivat olleet jo muutaman

vuoden ikäisiä vesoja. Kuvio on hoidettu ja harvennettu kertaalleen kasvatettavien vesojen valinnan jälkeen. Nykyisen puuston alla kasvaa jo kolmannen sukupolven tiheä muutaman vuoden ikäinen vesakko sekä paikoin kuusialikasvosta. Kuvio oli tutkimuksen nuorin haavikko, ja sen ulkoinen laatu oli hyvä. Puiden alkuperä: ♀ Tuusula, Ruotsinkylä x ♂ Kanada: Ontario.



Kuva 3. Hollolan toisen sukupolven vesasyntyinen hybridihaavikko oli tutkimuksen nuorin metsikkö, puut olivat parikymmenvuotiaita ja runkomuodoltaan sekä oksikkuuslaadultaan hyviä. *Kuva: Reijo Junkkonen.*



Kuva 4. Tukkien lähikuljetusta Hämeenkyrön hybridihaavikossa. Kuva: Erkki Salo.

Metsikkö 10. Orivesi. Pinta-alaltaan noin 0,7 hehtaarin vanhalle pellolle istutettu hybridihaavikko. Hoidettu kuviota, jolla viimeinen harvennus tehty vuonna 2000. Ulkoiselta laadultaan keskinkertaisen valtuuston alla kasvoi tiheä vesakko.

Metsikkö 11. Hämeenkyrö. Pellolle istutettu 0,5 hehtaarin kuvio oli harvennettu kahdesti, jonka lisäksi myös vesakkoa oli kaadettu. Tyypillinen hyvin hoidettu hybridihaavikko (Kuva 4).

Metsikkö 12. Imatra. Noin 2,5 hehtaarin hybridihaavikko on nykyisin Imatran kaupungin omistuksessa oleva entinen Enso Oy:n haapakoeviljelmä. Paikalle on istutettu useita eri hybridihaapaklooneja, joita oli hoidettu harvennuksin. Puiden ulkoinen laatu oli kohtuullisen hyvä.

2.2 Metsikkömittaukset

Koemetsiköiden ominaisuuksia kuvaavat taustamuuttujat mitattiin pinta-alaltaan yhden aarin ympyräkoaloilta, joita rajattiin 6–7 kpl/metsikkö. Ympyräkoalojen keskipisteinä olivat rungot, jotka oli arvottu metsikön kaikista silmämääräisesti sahapuiksi kelpaavista haavoista. Sahapuiksi puolestaan kelpuutettiin rungot, joista arvioitiin saatavan vähintään viisi kahden metrin mittaista sahauskelpoista tukkia. Tämä sahapuurungon määrittely oli tavallista ankarampi, mutta perusteltu erikoispuujattelun kannalta: haapatukki on erikoispuutavaralaji mitä suurimmassa määrin.

Jokaiselta ympyräkoevalta määritettiin kasvupaikkaluokka ja mitattiin puuston pohjapinta-ala puulajeittain. Tuoreet kannot laskettiin mukaan pohjapinta-alaan. Lisäksi koaloilta laskettiin runkoluvut puulajeittain kolmessa eri latvuserroksessa: vallitseva kerros, välikerros ja alikasvos. Vallitsevaan kerrokseen laskettiin selvästi päälavuserroksessa olevat valta- ja

lisävaltapuut. Välikerrokseen laskettiin hieman alle jääneet nuoremmat tai muuten lyhyemmät puut ja alikasvokseen yli yhden metrin pituiset taimet. Myös tuoreet kannot laskettiin mukaan runkolukuun. Koealoilta mitattiin lisäksi puulajeittain keskipituus ja -läpimitta jokaisessa kolmessa latvuserrosluokassa. Vallitsevan latvuserroksen haapojen keskipituus, -läpimitta ja 15 cm:n läpimittaa vastaava korkeus eli teoreettinen tukkiosan loppumiskorkeus mitattiin ympyräkoealan keskipisteenä olevan haavan ja enintään neljän sitä lähinnä olleen haavan perusteella.

Koealan keskipistehaavasta ja enintään neljästä sitä lähinnä olleesta haavasta mitattiin alimman kuolleen ja elävän oksan korkeus sekä latvusraja, mikäli se erosi alimman elävän oksan korkeudesta. Huomioon otettavan kuolleen oksan tuli olla läpimitaltaan vähintään 10 mm. Koealalla mahdollisesti olleista muista puulajeista ei mitattu oksarajatunnuksia.

Haapojen metsikkökohtaista ulkoista laatua arvioitiin laskemalla koealojen pää- ja lisävaltapuista muotoviallisten tyvien (0–4 m:n pituusosuus) sekä väli- ja latvatukkien (4 m:n korkeus – 15 cm läpimittaa vastaava korkeus) osuudet. Lisäksi laskettiin pintaviallisten tyvitukkien sekä väli- ja latvatukkien osuudet. Viat määritettiin tarkemmin koealan keskipistehaavan ja enintään neljän sitä lähinnä olleen haavan perusteella. Lopuksi koealoilta laskettiin haapatukkirungot, joiksi luettiin kaikki ne haavat, joista voitiin ulkoisen laadun perusteella apteerata vähintään yksi pituudeltaan kolmen metrin ja läpimitaltaan yli 15 cm:n sahatukki. Näiden runkojen hyödynnettävyyttä kuvaa tukkivähennysprosentti, joka määriteltiin tukkiosan eli läpimitan puolesta tukin mitat täyttävän osan (minimiläpimitta 15 cm) sahauskelvottomien vikakohtien tilavuusosuutena koko tukkiosan teoreettisesta tilavuudesta.

Koealan keskipisteenä olleen kaatokoepuun kasvuoloja kuvattiin myös neljän sitä lähimpänä olleen ja sen kasvuun ja laatuun mahdollisesti vaikuttaneen haavan tai muun naapuripuun perusteella. Naapuripuista määritettiin puulaji, läpimitta, pituus ja etäisyys kaatokoepuuhun. Naapuripuumittaukset edustivat myös pystykoepuita paremmin metsikön haapojen keskimääräisiä ominaisuuksia, sillä ne olivat satunnaisesti valittuja eivätkä pystykoepuiden tavoin ainoastaan sahauskelvottomista puista valittuja.

2.3 Kaatokoepuumittaukset

Koealamittauksia tarkennettiin yksityiskohtaisilla mittauksilla koealan keskipisteenä olleesta kaatokoepuusta. Siitä mitattiin ennen kaatoa minimi- ja maksimiläpimitta 1,3 metrin korkeudelta (samalla rungon epäpyöreys) sekä alimman oksakryhmin, kuolleen ja elävän oksan ja latvusrajan korkeudet. Tyven (0–4 m) sekä väli- ja latvaosan (4 m korkeus – 15 cm:n läpimittaa vastaava korkeus) runkomuoto arvioitiin silmämääräisesti. Runkoon piirrettiin merkki osoittamaan itäilmansuuntaa.

Kaadon jälkeen koepuista kirjattiin mahdolliset muoto- ja pintaviat sekä niiden alku- ja loppukorkeudet tyvi- ja väli- ja latvatukkiosista erikseen. Lisäksi tukkiosasta arvioitiin

tukkivähennysprosentti. Koealamittauksissa mitattujen tunnusten lisäksi mitattiin puun kapaneuvuus 1,3 metrin ja 6,0 metrin väliltä sekä läpimittojen 24 cm, 18 cm, 15 cm, 12 cm ja 7 cm sijaintikorkeudet ja puun pituus. Lisäksi mitattiin tyviosan (0–4 m) lenkouden tai mutkan suurin syvyys.

2.4 Tukkimittaukset

Rungot karsittiin ja niihin merkittiin katkaisukohtat noin kahden metrin välein siten, ettei katkaisukohtiin saanut osua oksia. Jokaiseen katkaisukohtaan merkittiin myös ilmansuunta osoittamaan itää. Tämän jälkeen rungot katkottiin tukeiksi noin 12 cm:n latvaläpimittaan asti. Tukit koodattiin periaatteella ”koemetsä-koepuu-korkeus” ja niiden latvapäihin piirrettiin itäilmansuuntanuoli osoittamaan sahausasentoa, jolla tukki myöhemmin halkaistiin pohjois- ja eteläpuolikkaiksi. Tukkien tyvipäistä leikattiin 5 cm:n paksuiset näytekiekot ikä-, kasvunopeus- ja tiheysmittauksia varten (kuva 5). Kieikkoja leikattiin kahden metrin välein myös tukkiosan jälkeen n. 5 cm:n läpimittaan asti ja ne koodattiin samalla periaatteella kuin tukitkin.

Jokaisesta tukista mitattiin tarkka pituus, tyven ja latvan minimi- ja maksimiläpimitta ja lenkoutta tai mutkan syvyyttä kuvaava suurin sivuviivapoikkeama. Tukkien etelä- ja pohjoispuolilta laskettiin erikseen oksien lukumäärä oksatyypeittäin, lisäksi mitattiin kunkin oksatyyppin paksuimman oksan läpimitta. Tukin etelä- ja pohjoispuolilta kirjattiin alimman oksakryhmin, yli 10 mm paksun kuolleen ja terveen oksan sekä ylimmän kuolleen oksan korkeudet. Lisäksi tukin vikaisuutta kuvattiin kirjaamalla muoto- ja pintaviat sekä sisäiset laatuviat katkaisupinnoista nähtynä. Tukit laadutettiin vikojen ja oksien perusteella luokkiin A-B-C ja raakkiluokkaan D Keinäsen & Tahvanaisen (1995) haapatukeille esittämän laatu luokitusohjeen perusteella (taulukko 2).



Kuva 5. Katkottu koepuu ja tukkien päistä leikattuja tiheys- ja kasvunopeusnäytekiekkoja.
Kuva: Erkki Salo.

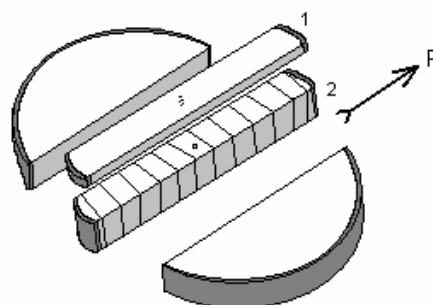
Taulukko 2. Haapatukkien laatuluokittelu (Keinänen & Tahvanainen 1995).

Tukin ominaisuus	Laatuluokka		
	A	B	C
Latvaläpimitta *	Min. 23 cm	Min. 15 cm	Min. 15 cm
Pituus *	31-55 dm	31-55 dm	31-55 dm
Katkaisutarkkuus *	±3 cm	±3 cm	±3 cm
Kasvu	Tasainen	Ei erityisvaatimuksia	Ei erityisvaatimuksia
Lenkous	Max. 2 cm/m	Max. 2 cm/m	Max. 3 cm/m
Oksat, kpl/m tai max. lpm.			
Oksat yhteensä	Ei sallita	Max. 4 kpl	Max. 6 kpl
Terve oksa	Ei sallita	Max. 2 kpl / 4 cm	Max. 3 kpl / 8 cm
Kuiva oksa	Ei sallita	Max. 2 kpl / 2 cm	Max. 3 kpl / 4 cm
Laho oksa	Ei sallita	Ei sallita	Max. 2 kpl / 3 cm
Halkeamat	Ei sallita	Ei sallita	Ei rajoiteta
Värivika	Ei sallita	Sallitaan lievää	Max. 1/2 läpimitasta
Kova sydänlaho	Max. 1 cm	Max. 5 cm	Max. 1/2 läpimitasta

* Ei käytetty tässä tutkimuksessa.

2.5 Näytekiekkojen käsittely ja mittaukset

Pakkasvarastoon tuoreena toimitetuista näytekiekoista sahattiin laboratoriossa pohjois-eteläsuuntainen noin viisi senttimetriä leveä viipale ytimen kautta. Kannonkorkeudelta, kahden metrin korkeudelta ja ylimmältä näytteenottokohdalta otetun kiekon viipaleesta sahattiin noin yhden senttimetrin paksuinen poikkileikkauksen suuntainen näyte kasvunopeusmittauksiin (kuva 6, osa 1). Näytteenottokorkeuksia 0, 2, 4, 8, 12, 16, 20 ja 24 m vastanneista viipaleista sahattiin kuivatuoretiheysmittauksiin kahden senttimetrin levyisiä näytteitä ytimestä pintaan asti siten, että keskimäinen näyte sisälsi puun ytimen (kuva 6, osa 2). Pohjois- ja eteläpuolen tiheysnäytteet numeroitiin kasvavaan numerojärjestykseen ytimestä pintaan päin. Näytteet sulatettiin vähintään kahden vuorokauden vesiupotuksessa, jonka jälkeen niiden oletettiin olevan sulia ja kosteussuhteen oletettiin olevan suurempi kuin puunsyiden kyllästymispiste (noin 28–30 %). Yksittäisten näytteiden tuoretilavuudet mitattiin gravimetrisesti ja kuivamassat määritettiin punnitsemalla näytteiden kuivuttua 103 asteen lämpötilassa, kunnes niiden massa oli vakioitunut. Kuivamassan ja tuoretilavuuden suhteena saadaan kuivatuoretiheys. Kuivatuoretiheysnäytteitä valmistettiin ja mitattiin 5097 kappaletta.



Kuva 6. Kasvunopeus- (1) ja kuivatuoretiheysnäytteiden (2) valmistusperiaate. Piirros: Reijo Junkkonen.

2.6 Sahaus ja sahemittaukset

Koetukit sahattiin marras-joulukuussa 2003 Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulun pyörösaamalla. Tukit halkaistiin pohjois- ja eteläpuolikkaiksi, jonka jälkeen latvaläpimitaltaan yli 18 cm:n tukeista saadut puolikkaat sahattiin tuorepaksuudeltaan 35 mm:n läpisaheiksi. Latvaläpimitaltaan alle 18 cm:n tukeista saadut puolikkaat sahattiin tuorepaksuudeltaan 28 mm:n läpisaheiksi, jolloin pienimmistäkin tukeista saatiin useita saheita jatkomittauksiin ja -käsittelyihin. Läpisaheet koodattiin sahauksen yhteydessä periaatteella: koemetsä-koepuu-korkeus-pohjoinen/etelä-sahekerros. Sahekerrokset numeroitiin kasvavaan numerjärjestykseen ytimen viereisestä saheesta pintaan päin. Kaikkiaan sahattiin 604 tukkia, joista saatiin 3508 mittauskelpoista, tuoreena 35 tai 28 mm paksua läpisahetta.

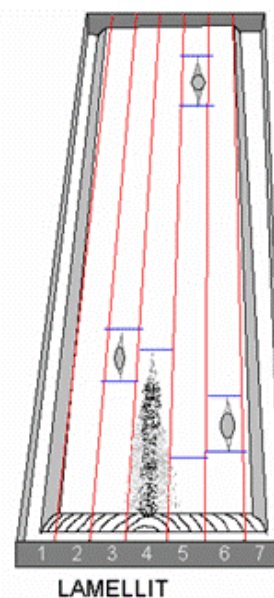
Seuraavassa esitetyt mittaukset tehtiin kaikista saheista pintalappeelta, lukuun ottamatta pohjoispuolen ydintä lähinnä olleita saheita (kerros 1), josta mitattiin myös sisälape eli tukin halkaisupinta. Dimensiotietoina kirjattiin saheen pituus yhden senttimetrin sekä paksuus ja pintalappen pienin kuoreton leveys yhden millimetrin tarkkuudella. Vähintään 5 mm paksuista oksista laskettiin lukumäärät. Alimman ja ylimmän kuolleen oksan sekä alimman terveen oksan korkeudet kirjattiin ja paksuimman oksan läpimitta mitattiin oksalajeittain. Saheista kirjattiin myös muut viat ja niiden alku- ja loppukorkeudet. Noin puolet kaikista läpisaheista laadutettiin Keinänen & Tahvanaisen (1995) laatuluokituksen mukaan luokkiin A-B-C ja raakkiluokkaan D (taulukko 3). Laatuluokka määritettiin vain pintalappen perusteella. Laatuluokkaa parannettiin lyhentämällä sahetta tyvi- ja/tai latvapäästä siten, että yhtenäistä sahepintaa jäi vähintään 1,5 m. Saheen laatu luettiin tällöin minimissään 1,5 m:n matkalta ja mahdollisten vähennysten pituudet ja syyt kirjattiin. Lisäksi kirjattiin laatuluokan määrännyt tai sitä rajoittanut syy.

Taulukko 3. Haapaläpisaheiden laatuluokittelu (Keinänen & Tahvanainen 1995).

	Laatuluokka		
	A	B	C
Saheen minimileveys *	200 mm	150 mm	150 mm
Oksien kokonaismäärä paremmalla lappeella ja huonoimmalla metrillä	1 kpl	3 kpl	5 kpl
Oksien kokonaismäärästä voi olla, kpl/mm			
Terveitä	1 kpl/10 mm	3 kpl/40 mm	3 kpl/70 mm
Kuivia	Ei sallita	2 kpl/30 mm	3 kpl/40 mm
Lahoja	Ei sallita	Ei sallita	1 kpl/30 mm
Kuorioksia	Ei sallita	Ei sallita	1 kpl/30 mm
Yli 100 mm halkeamat	Ei sallita	Max. 300 mm	Ei rajoiteta
Kasvu	Tasainen	Ei merkitystä	Ei merkitystä
Vetopuu, % pituudesta*	Ei sallita	Max. 10 %	Max. 20 %
Värivika, % pituudesta	Ei sallita	Max. 10 %	Max. 15 %
Kova sydänlaho	Ei sallita	Max. 20 mm	Max. 50 mm

* Ei käytetty tässä tutkimuksessa.

Haavasta valmistettavissa puutuotteissa ei pääsääntöisesti sallita oksia, tai ainakin ne alentavat sahatavaran laatua ja arvoa huomattavasti. Tämän vuoksi läpisaheista määritettiin myös sormijatkamiseen soveltuvat osat kuvan 7 esittämällä tavalla. Läpisaheen leveydestä riippuen voitiin lappeesta mitata 0–7 täyssärmäistä viiden senttimetrin levyistä lamellia. Mittasabluuna asetettiin saheen päälle siten, että teräslankojen osoittaman keskimmäisen mittausvälin keskipiste (= teoreettisen lamellin keskipiste) osui sekä tyvestä että latvasta saheen ytimen kohdalle (Kuva 7). Tällöin sabluunan jokainen mittausväli oli aina samalla kohdalla riippumatta saheen sijainnista ytimestä pintaan päin, koosta tai muodosta. Näin voitiin verrata mittaustietoja eri sahekerrosten välillä ja alemman sahekerroksen pintalappeen mittaustiedot vastasivat ylemmän sahekerroksen sisälappeen mittaustietoja.



Kuva 7. Sormijatkamispotentiaalin mittaamiseen käytetty menetelmä.
Piirros: Reijo Junkkonen.

Mitatuista lappeen osista eli lamelleista kirjattiin kaikki laatu poikkeamat virheettömästä puusta alku- ja loppukohtineen (oksat, väriviat, vajaasärmät). Näin rajattuun sormijatkamispotentiaaliin laskettiin puhtaat lamellikappaleet lukuun ottamatta alle 20 cm:n pituisia. Menetelmällä kartoitettiin sahepinnoista siis kaikki vähintään 20 cm pitkät ja 5 cm leveät virheettömät aihiot sijainteineen. Menetelmä mahdollisti myös vierekkäisten viiden senttimetrin levyisten lamellien yhdistelemisen siten, että jälkeinpäin voitiin määrittää virheettömien lamellien saanto viiden senttimetrin kerrannaisleveyksinä eli myös kymmenen senttimetrin lamellileveydellä, joka vastaa esim. tyyppillistä paneeli- tai laudelautakäyttöä.

Mitatut läpisaheet särmättiin ja jaettiin kolmeen eri ryhmään kuivauskokeisiin valittujen kuivausmenetelmien mukaan. Jokaista kuivausmenetelmää edusti kaksi tai kolme koepuuta kustakin metsiköstä.

2.7 Puutavaran kuivaus

2.7.1 Lämminilmakuivaus

Lämminilmakuivaus on yleisimmin käytetty puutavaran kuivausmenetelmä. Kuivauskaavaan eli prosessin ohjausparametreihin (kuiva- ja märkälämpötila, ilman suhteellinen kosteus ja kiertonopeus) vaikuttavat mm. kuivattavan puulajin ominaisuudet, kuivaamon rakenne ja puutavaran laatuvaatimukset. Kuivauskaavan avulla määritellään ns. kuivausvoima eli käytännössä se nopeus, jolla kosteus poistuu puusta. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että mitä pienempi kuivausvoima, sitä vähemmän kuivausvikoja sahatavarakappaleeseen tulee kuivauksessa. Toisaalta kuivausvoiman alentaminen pidentää kuivausaikaa, mikä puolestaan lisää kustannuksia. Halutun loppukosteuden saavuttaminen voi kestää muutamasta päivästä jopa kuukausiin. Kuivauksen aikana kosteusero kappaleen pinnan ja sisäosien välillä (kosteusgradientti) ei saa olla liian suuri, jottei syntyisi pintahalkeamia. Kun kaikki vapaa vesi on poistunut soluonteloista ja -väleistä, voidaan ilman suhteellista kosteutta kuivaamossa laskea. Kuivauksen lopussa kosteusgradienttia pienennetään vesihöyryn avulla ns. tasaannutus- ja jäähdytysvaiheessa.

Tämän tutkimuksen saheaineistot lämminilmakuivattiin Pohjois-Karjalan AMK:n 10,0 m³:n kamarikuivaamossa. Käytetty kuivauskaava on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Haavan lämminilmakuivauskaava. Sahatavaran paksuus 32 mm (kuiva), oletettu kosteussuhde kuivauksen alussa 80 %, keskimääräinen mitattu kosteussuhde kuivauksen jälkeen 12 %.

Aika, h	Kuivalämpötila, °C	Lämpötilaerotus, °C
0	50	7
24	60	4
48	60	6
96	60	10
144	60	20
168	45	10

2.7.2 Lämpökäsittely

Lämpökäsittelyssä puumateriaalia lämmitetään vähintään 180 °C:n lämpötilassa. Samalla puuta suojataan ylikuumenemiselta ja palamiselta vesihöyryn avulla. Lämpökäsittelyprosessi voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen (Thermowood -käsikirja 2003):

1. Lämpötilan kohottaminen ja kuumakuivaus 4-15 tuntia 100–130 °C lämpötilassa,
2. Lämpökäsittely 2-3 tuntia 180–215 °C lämpötilassa ja
3. Tasaannutus 5–15 tuntia: lämpötilan lasku ja puun kostutus kosteussuhteeseen 4–7 %.

Puussa tapahtuu lämpökäsittelyssä kemiallisia muutoksia, pääasiassa hemiselluloosan termistä hajoamista, jonka seurauksena puun kosteuseläminen pienenee, biologinen kestävyys paranee (sokereiden osittaisen ja valikoivan poistumisen myötä), väri tummuu, puusta poistuu uuteaineita, puu kevenee ja sen tasapainokosteus laskee. Samalla kuitenkin puun lujuusominaisuudet pääsääntöisesti alenevat, lisäksi kovuus kasvaa ja puu muuttuu hauraammaksi.

Tämän tutkimuksen saheaineistot lämpökäsiteltiin Oulun yliopiston Kajaanin mittalaitelaboratoriossa 0,5 m³:n lämpökäsittelyuunissa. Tätä ennen lämpökäsiteltävät saheet esikuivattiin 12–14 prosentin kosteussuhteeseen Konepalvelu Juntunen & Matero varsinaisissa lämminilmakuivauskokeissa käytetyllä kaavalla (taulukko 4). Käytetty lämpökäsittelykaava on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Tutkimuksessa käytetty lämpökäsittelykaava.

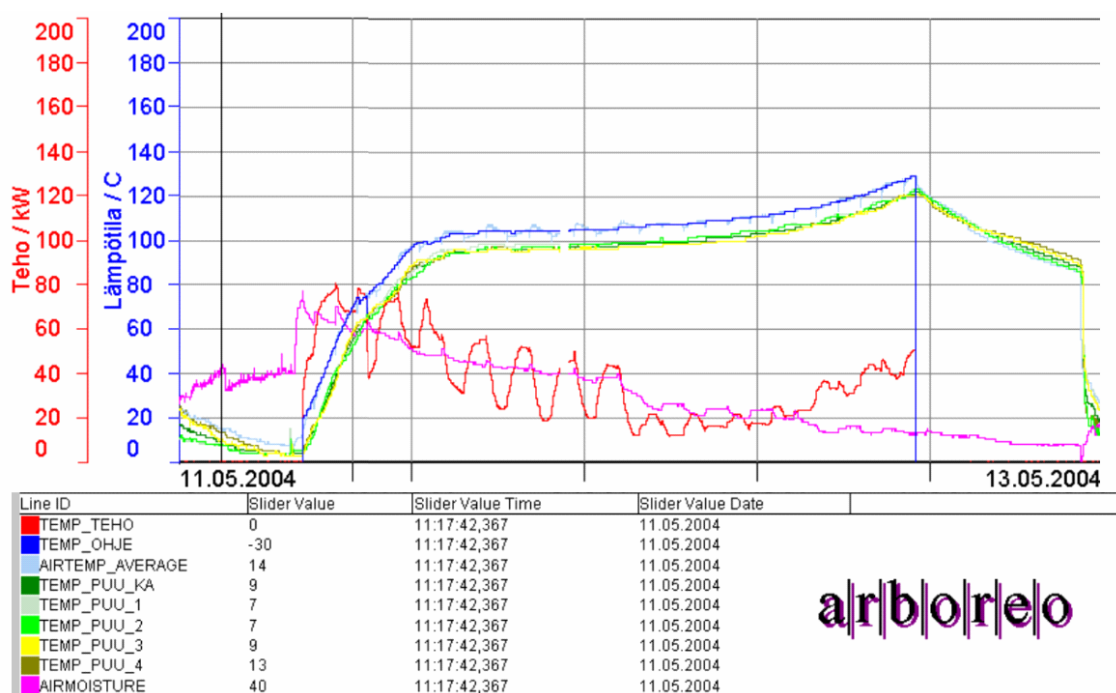
Työvaihe	Toimenpide			
Ylösajo	Lämpö nostetaan tasolle 95 °C, 11,5–14,5 kg/m ³ /h 150 °C:n höyryn avulla			
	Lämpenemisnopeus	35 °C/h		
	Puhallusnopeus	90 %		
Kuivausvaihe 1	Höyryä syötetään uuniin n. 3 kg/m ³ /h			
	Aika, h	Lt. kuiva, °C	Lt. märkä, °C	Puhallin, %
	0	90	85	100
	15	130	98	100
Kuivausvaihe 2 (Lämpökäsittely)	Aika, h	Lt. kuiva, °C	Puhallin, %	Poisto, %
	15	130	100	35
	17	160	100	35
	19	180	100	50
	21	180	100	50
Jäähdytys	Loppulämpötila 90 °C			
	Jäähdytysnopeus 15 °C/h			
	Poistiventtiili 50 %			
	Puhallusnopeus 90 %			
Lopputasaannutus	Tasaannutusaika 15 h			
	Kuivalämpötila 90 °C			
	Suhteellinen kosteus 85 %			
	Puhallusnopeus 65 %			
Kokonaisaika	44 h			
Loppukosteussuhde	7 %			

2.7.3 Puristuskuivaus

Puristuskuivauksessa sahatavarakappaleet asetetaan rei'itettyjen alumiinilevyjen väliin. Levyjen kuumentaminen aiheuttaa puukappaleen kuumentumisen, joka puolestaan johtaa kappaleessa olevan kosteuden siirtymiseen kohti pintaa. Kappaleen pinnalta kosteus haihtuu levyissä olevien reikien kautta ilmanvaihtoon. Puristamalla levynippua hydraulisesti kuivatuksen aikana estetään

sahatavaran kuivausmuodonmuutokset. Näin ollen puutavara voidaan kuivata nopeasti ilman kappaleiden vääntyilemistä. Kuumentaminen n. 150 °C:n lämpötilaan lisää puuaineen viskoelastisuutta, jolloin käyttämällä suurempaa puristuspainetta voidaan puun rakenteeseen aiheuttaa myös pysyviä muodonmuutoksia solukon rikkoutumatta. Puristettaessa solukon rakenne tiivistyy, solujen muoto muuttuu elliptisemmäksi ja tiheyden kasvun myötä kappaleen lujuusominaisuudet paranevat.

Tämän tutkimuksen saheaineistot puristuskuiivattiin Arboreo Oy:n koekuivaamossa Kuopiossa. Puristuskuiivauksen ohjausparametrit on esitetty kuvassa 8. Kappaleiden kosteussuhteeksi kokeen alussa oletettiin 35–45 % ja alkupuristusaine oli 0,15 MPa (= 1,5 kg/cm²). Kun puutavaraerän lämpötila kohosi lähelle veden kiehumispistettä, puristusaine nostettiin tasolle 0,3 MPa. Kun suurin osa vedestä oli poistunut puun sisältä, alkoi puun lämpötila kohota. Lämmitys lopetettiin lämpötilan kohotessa tasolle 130 °C ja kuivauserää jäähdytettiin tämän jälkeen kolme tuntia. Sahatavaran keskimääräinen kosteussuhde oli puristuskuiivauksen jälkeen 7–8 % ja prosessi kesti 36 tuntia.



Kuva 8. Puristuskuiivauksen ohjausparametrit.

2.8 Saheista valmistetut koekappaleet

Kolmella eri menetelmällä kuivatuista saheista valmistettiin seuraavanlaisia fysikaalisten ominaisuuksien mittaamiseen käytettyjä koekappaleita:

- *Puuaineen kosteusturpoama ja kuivauskutistuma*: 20 x 20 x 30 mm (Kučera 1991), yhteensä 488 näytettä.
- *Vesiabsorptio*: 32 x 100 x 100 mm, yhteensä 72 näytettä, 12 näytettä haapalajia ja kuivausmenetelmää kohti.
- *Taivutuskimmokerroin ja -murtolujuus kolmipistetaivutuksessa*: 20 x 20 x 360 mm (Kučera 1991), yhteensä 485 näytettä.
- *Puristuslujuus syysuunnassa ja säteen suunnassa*: 20 x 20 x 60 mm (Kučera 1991), yhteensä 972 näytettä.
- *Pinnan Brinell-kovuus*: 100 x 100 x 25 mm (EN 1534), yhteensä 494 näytettä.
- *Sormijatkossaumojen lujuus taivutuskokeessa*: 25 x 50 x 640 mm, yhteensä 435 näytettä.

Näytteet valmistettiin kustakin metsiköstä siitä koepuusta, josta saatiin edustavin näytesarja säteen- ja korkeussuunnissa. Näytesarjan edustavuuteen vaikutti lähinnä se, kuinka paljon lahottomia saheita oli jäänyt kuivauskäsittelyihin. Näytteet valmistettiin kustakin rungosta 2, 4, 8 ja 16 metrin korkeuksilta olleista sahatavarakappaleista siten, että säteen suunnassa saatiin mahdollisimman edustava näytesarja. Näytteet sijoitettiin kuivattujen saheiden keskiosaan siten, että vuosilustot olivat kaikissa näytteissä yhdensuuntaiset. Näin ollen vain vuosilustojen kaareutumissäde vaihteli sen mukaan, kuinka etäältä ytimestä näyte oli peräisin. Näytteet koodattiin tunniste- ja sijaintitiedoin.

Ennen varsinaisia mittauksia kaikki koekappaleet, lukuun ottamatta liimauskoekappaleita, tasaannutettiin vakioilmastoidussa tilassa (lämpötila 20 ± 2 °C, ilmankosteus 65 ± 3 %) niin kauan, että niiden massa ei enää muuttunut. Näissä ympäristöolosuhteissa modifioimaton puu hakeutuu noin 12 prosentin tasapainokosteuteen (kosteussuhde). Lämpökäsitellyn puun tasapainokosteus on kirjallisuustietojen mukaan noin 4–5 prosenttiyksikköä alhaisempi (Thermowood käsikirja 2003).

Kutistuma- ja turpoamaominaisuudet mitattiin yksinkertaisin laboratoriotestein määrittämällä näytteiden dimensiot, massat ja tilavuudet eri kosteussuhteissa. Vesiabsorptiokokeet tehtiin soveltamatta mitään standardia. Kokeisiin valittiin 12 sahetta, kaksi sahetta kuivausmenetelmää ja haapalajia kohti. Kustakin 100 mm leveästä ja 32 mm paksusta saheesta otettiin systemaattisesti 6 kpl 100 mm pitkiä mahdollisimman virheettömiä näytteitä. Valmistetut 72 näytettä kuivattiin uunikuiviksi, punnittiin uunikuivina ja upotettiin veteen. Näytteitä pidettiin vedessä 30 vuorokautta ja niiden massat punnittiin 1, 2, 3, 4, 7, 11, 18 ja 30 vuorokauden liotuksen jälkeen.

Mekaaniset ominaisuudet mitattiin Joensuun yliopiston Matertest FMT-MEC 100-materiaalintestauslaitteella. Puristustestissä säteen suuntainen puristusjännitys kasvaa puun solukon puristuessa periaatteessa loputtomasti. Niinpä murtorajaa eli absoluuttista murtolujuutta puristuksessa ei voida määrittää. Tämän vuoksi testeissä mitattiin suurin kappaleeseen kohdistunut puristusvoima pisteessä, jossa muodonmuutosta puristusvoiman funktiona kuvaavan käyrän kulmakerroin ensi kertaa poikkesi vakiosta. Tämä piste tunnetaan lujuusopissa suhteellisuusrajana (piste, johon asti voiman ja muodonmuutoksen suhde on vakio eli muodonmuutos on palautuvaa); testin tulos kuvaa siten puristuslujuutta suhteellisuusrajalla.

Syiden suuntainen (pituussuuntainen) puristuslujuus määritettiin murtorajalta. Syiden suuntaisessa puristustestissä koekappale murtuu selvästi eli muodonmuutoksen lisäämiseksi tarvittava voima alkaa tietyn huippuarvon saavutettuaan alenemaan näytteen romahdettua. Syiden suunnassa puristetuista näytteistä voitiin siis määrittää absoluuttinen puristuslujuus eli suurin kappaleen kestävä puristusvoima.

Liimauskoekappaleisiin valmistettiin sormisaumat Puutekniikka Kivilahti Oy:ssä Kontiolahdella. Käytössä oli automatisoimaton sormisaumojen jysintäkone ja puristin, jolla liimasauma voitiin puristaa halutulla voimalla, tässä tutkimuksessa 350 N. Kuvassa 9 on esitetty käytetty sormisaumatyyppi. Kuhunkin 25 mm paksuun koekappaleeseen tehtiin viiden pituudeltaan yhdeksän millimetrin sormen muodostama sauma, jonka molemmilla pinnoilla oli 2,4 mm:n puskusauma. Liima levitettiin siveltimellä yksipuolislevityksenä. Liimapintaa muodostui saumaa kohden noin $104 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 52 \text{ cm}^2$. Valmistetut sormisaumat liimattiin kuudella erityyppisellä liimalla:

Ei kosteutta kestävä liima

- KIILTO Oy, Kestokol TL: PVAC-dispersioliima kovapuukalusteisiin, saumalevyihin ja kokoonpanoliimauksiin.

Kosteutta kestävä liima

- KIILTO Oy, Kestokol D3: Normi EN 204:n D3-rasitusryhmän vedenkestovaatimukset täyttävä PVAC-dispersioliima kylpyhuonekalusteisiin, trooppisissa olosuhteissa käytettäviin kalusteisiin ja laminaatin liimaukseen.

Vettä kestävä liima

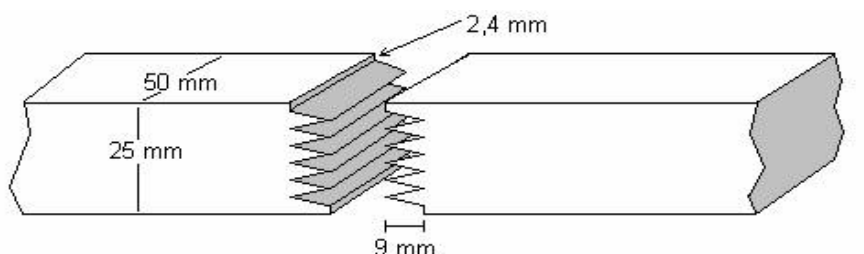
- KIILTO Oy, Kestokol D 404 + kovete F: Normi EN 204:n D4-rasitusryhmän vedenkestovaatimukset täyttävä PVAC-dispersioliima käytettäväksi sormijatkoskoneilla ovi- ikkuna- ja lamellihirsiteollisuudessa.

Veden- ja säänkestävät liimat kantaviin rakenteisiin

- AKZO NOBEL Cascosinol 1711 + kovete 2622: Normin EN 301 kantavissa rakenteissa vedenkestovaatimukset täyttävä resorsinolifenoliliima venerakenteiden sekä muiden puurakenteiden liimauksiin, joissa vaaditaan suurta veden- ja säänkestävyyttä.

- AKZO NOBEL, Cascomin 1250 + kovete 2550: Normin EN 301 kantavissa rakenteissa vedenkestovaatimukset täyttävä melamiiniformaldehydiliima kantavien liimapuurakenteiden ja sormijatkosten tekoon, sauma- ja lamelliliimaukseen, kun vaaditaan hyvää kosteuden- ja säänkestävyyttä.
- DYNEA Oy, Dynomel L-435 + kovete H-469: Normin EN 301 kantavissa rakenteissa vedenkestovaatimukset täyttävä melamiiniureaformaldehydiliima kantaviin rakenteisiin, muiden puurakenteiden liimaukseen ja kalusteisiin.

Liimasaumat tehtiin liimanvalmistajien antamien ohjeiden mukaisesti. Liimaushetkellä kappaleiden kosteussuhde oli 7–9 %. Kaikkien liimasaumojen annettiin kuivua vähintään kolme viikkoa ennen materiaalintestauslaitteella tehtyjä taivutuskokeita. Neljäsosa kunkin liimatyypin ja kuivauskäsittelyn koekappaleista upotettiin veteen kahdeksi vuorokaudeksi ennen taivutuskokeita. Taivutuskokeita ei tehty minkään standardin mukaisesti, vaan liimasauma katkaistiin kolmpistetaivutuksessa 30 cm:n alatukivälillä ja näytteen murtolujuus kirjattiin ylös. Vertailuaineistona mitattiin samankokoisten (25 x 50 mm) saumattomien näytteiden murtolujuus. Katkenneista sormiliitoksista mitattiin murtuneiden sormien pinta-alaosuus. Tulokset raportoidaan liimojen, kuivauskäsittelyiden ja murtuneiden sormien pinta-alaosuuksien välisinä suhteellisina eroina.



Kuva 9. Malli liimauskokeissa käytetystä sormisaumasta. Piirros: Reijo Junkkonen.

2.9 Tulosten analysointi ja tilastolliset testit

Kasvuolosuhdemuuttujien eroja koemetsiköiden välillä vertailtiin aritmeettisten keskiarvojen avulla, tilastollisia testejä ei tehty pienten otoskokojen vuoksi. Puuaineen fysikaalisten ominaisuuksien tuloksia vertailtiin aritmeettisen keskiarvon avulla kuivausmenetelmien, näytteen korkeussuuntaisen ja säteen suuntaisen sijainnin sekä metsä- ja hybridihaavan välillä. Tulosten erojen merkittävyyttä testattiin ensisijaisesti t-testillä. T-testin aineistolle asettamien edellytysten jäädessä toteutumatta käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä. Tuloksissa esitetään ainoastaan testisuureen *p*-arvo.

3 Tulokset

3.1 Metsiköiden ominaisuudet

3.1.1 Pohjapinta-ala ja runkoluku

Metsiköt olivat kasvupaikkatyypiltään OMT:tä tai siihen verrattavaa entistä peltoa, lukuun ottamatta metsikköä nro 4 (kasvupaikkatyyppi MT). Puustojen pohjapinta-alat eivät eronneet merkittävästi toisistaan, joskin pohjapinta-ala oli selvästi muuta aineistoa alhaisempi metsikössä 9 puuston nuoren iän vuoksi ja metsikössä 12 lähimenneisyydessä tehdyn harvennuksen vuoksi (taulukko 6). Pohjapinta-aloihin laskettiin tässä mukaan myös tuoreet kannot.

Taulukko 6. Koemetsiköiden puuston pohjapinta-alat puulajeittain.

	Haapa	Koivut	Mänty	Kuusi	Muut	Yht.
	Ppa, m ² /ha					
	Metsähaavikot					
Metsikkö						
1	6	14	3	3	5	32
2	27	1	1	-	-	28
3	22	1	-	-	-	23
4	13	3	8	1		25
5	31	-	-	-	-	31
	Hybridahaavikot					
6	25	4	-	-	1	30
7	32	-	-	-	-	32
8	27	-	-	-	-	27
9	20	-	-	-	-	20
10	27	1	1	-	-	28
11	27	2	-	-	-	29
12	16	-	-	-	-	16

Koemetsiköiden runkoluvut on esitetty taulukossa 7. Metsähaavikoissa vallitsevan latvuserroksen runkoluku oli keskimäärin hieman suurempi kuin hybridahaavikoissa. Kahden metsähaavikon (metsiköt 1 ja 3) harvennusten arvioitiin olevan myöhässä, mikä vaikutti myös metsähaavikoiden keskimääräiseen runkolukuun. Systemaattiseen tilajärjestykseen istutettujen hybridahaavikoiden harvennushakkuissa runkoluku on saattanut päätyä alhaisemmaksi kuin luontaisesti ja ilmeisesti tiheämpinä syntyneiden metsähaavikoiden harvennushakkuissa. Tasainen harvennus on mahdollista toteuttaa luontaisesti syntyneissä metsiköissä taimi- ja ensiharvennusvaiheen runkoluku on suurempi, jolloin useammilla harvennusvoimakkuuksilla. Vallitsevan latvuserroksen tiheys oli kaikissa metsiköissä kuitenkin silmämääräisesti arvioituna riittävä.

Metsähaavikoissa välilavuserrosluokan runkoluku oli merkittävästi suurempi kuin hybridahaavikoissa, joissa ei istutettuina metsikköinä juurikaan esiintynyt eri-ikäisyyttä tai muita puulajeja (taulukko 7). Hybridahaavikkoa perustettaessa haavat ovat heti tasaisessa

kilpailussa keskenään, mutta pituuskehityksessä ajan myötä vain kasvavassa etumatkassa muihin puulajeihin nähden. Pelloille tai reheville metsämaille tehdyissä istutuksissa ei useinkaan synny heti puulajikilpailua voimakkaan heinittymisen vuoksi. Tämän tutkimuksen aineistossa poikkeuksena oli metsikkö 6, jossa vallitsevan latvuserroksen alle oli kasvanut hirvien tuhoamien haapojen juurivesoista muutamia toisen sukupolven haapoja. Samassa metsikössä myös muutamia koivuja ja harmaaleppiä oli päässyt kasvamaan kuitupuun mittoihin aukkoisuuden vuoksi. Sen sijaan metsähaavikoissa, lukuun ottamatta istutettua metsähaavikko (metsikkö 5), eri-ikäisrakenne oli yleistä kaikilla puulajeilla. Ikärakennetta oli kuitenkin siirretty harvennushakkuilla vallitsevaan latvuserrosluokkaan.

Metsiköiden kasvatuskelpoinen taimiaines oli paikoin erittäin runsasta. Taulukosta 7 havaitaan, että etenkin hybridihaavikoissa vesakko oli tiheää, mikä näyttäisi tarjoavan hyvät edellytykset toisen haapasukupolven kasvatukselle päätehakkuun jälkeen. Metsikössä nro 9 vesakko oli jo kolmatta sukupolvea ja samalla koko tutkimuksen aineistossa olleista vesakoista tihein. Joissakin metsiköissä oli raivattu vesakkoa, eikä sen tiheyttä voitu luotettavasti määrittää. Myös pihlajien ja leppien vesoja esiintyi runsaasti sekä metsä- että hybridihaavikoissa. Kuusen taimia esiintyi enemmän luontaisesti syntyneissä haavikoissa, joihin myös hybridihaavikko nro 9 voitiin tässä yhteydessä vesasyntyisyyden vuoksi lukea.

Taulukko 7. Koemetsiköiden puustojen runkoluvut hehtaarilla puulajeittain eri latvuserroksissa.

Metsikkö	Haapa	Koivut	Mänty	Kuusi	Muut	Yht.
Runkoluku, kpl/ha, valtapuut - välipuut - taimet						
Metsähaavikot						
1	183-0-0	250-0-100	50-0-0	17-67-133	133-250-483	633-317-717
2	617-0-917	0-0-1650	0-0-17	0-133-100	0-0-2000	617-133-4683
3	683-0-*	17-0-0	0-0-0	0-0-0	0-100-850	700-100-850
4	308-17-1067	50-100-267	33-0-83	0-17-617	0-0-750	391-133-2783
5	486-100-43*	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-457	486-100-457
Hybridihaavikot						
6	567-200**-	50-200**-	0-0-0	0-0-0	0-283**-	617-683**-2116
7	557-0-3757	0-0-143	0-0-0	0-0-0	0-0-214	557-0-4114
8	443-0-6429	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	443-0-6429
9	400-0-7500	0-0-0	0-0-0	0-0-500	0-0-3500	400-0-11500
10	367-0-3750	0-0-33	0-0-0	0-0-0	0-0-3250	367-0-7033
11	450-17-*	33-0-*	0-0-0	0-0-0	0-0-*	483-17-*
12	383-0-5333	0-0-0	0-0-0	0-0-0	0-0-0	383-0-5333

* Vesakko raivattu.

** Mitattiin tuoreista kannoista.

Tilajärjestys oli haavan vallitsevan latvuserrosluokan osalta epätasaisin luontaisesti syntyneissä metsähaavikoissa, joissa haavat kasvoivat usein samasta emopuusta alkunsa saaneina ryppäinä. Metsiköiden 2, 3 ja 11 tilajärjestys oli tasaisin.

3.1.2 Ikä, järeys ja oksarajat

Taulukossa 8 on esitetty koealamittausten perusteella laskettuja metsiköiden haapojen teknisiä ominaisuuksia kuvaavia keskitunnuksia. Metsähaavat (24,2 m) olivat keskimäärin hybridihaapoja (25,5 m) lyhyempiä. Toisaalta metsähaavat olivat keskimäärin 12 vuotta vanhempia ja rinnankorkeusläpimitaltaan 18 mm paksumpia kuin hybridihaavat. Hybridihaavat olivat siis solakampia. Poikkeuksena oli istutettu metsähaavikko nro 5, jossa runkojen keskimääräinen solakkuus oli aineiston paras.

Luontaisesti syntyneiden haapojen keskipituus oli 23,2 metriä ja istutettujen 26,2 metriä, vaikka istutettujen haapojen keski-ikä ja -läpimitta olivat alhaisemmat. Suurin ero solakkuudessa oli siten istutettujen ja luontaisesti syntyneiden haapojen välillä. Koska aineisto-ositteet ”istutus” ja ”hybridihaapa” olivat tässä aineistossa pääsääntöisesti kytköksissä toisiinsa, ei koealamittausten perusteella voitu osoittaa eroa metsähaavan ja hybridihaavan solakkuudelle puolajaina.

Hybridihaavikoiden alhaisempi keski-ikä vaikeuttaa haapalajien rungon solakkuuden vertailua. Iän karttuessa puiden pituuskasvu pienenee mutta paksuuskasvu jatkuu. Hybridihaavikoiden keskimääräinen solakkuus olisi todennäköisesti ollut lähempänä metsähaavikoiden solakkuutta, mikäli ne olisivat olleet yhtä vanhoja. Joka tapauksessa hybridihaavikot olivat nuoremmalla iällä keskimäärin pidempiä kuin pituuskasvunsa jo pääosin lopettaneet metsähaavikot.

Metsähaavat olivat karsiutuneet keskimäärin paremmin kuin hybridihaavat. Istutetun metsikön nro 8 korkealla sijainnut kuivaoksaraja johtui vuonna 1986 tehdystä pystykarsinnasta. Istutetuissa haavikoissa runkoluku on nuorella iällä alhaisempi kuin luontaisesti syntyneissä haavikoissa, jolloin alaoksat pysyvät pidempään elävinä ja kasvavat paksummiksi. Niinpä puut myös karsiutuvat hitaammin.

Varttuneessa metsikössä naapuripuiden etäisyydellä ei näytä olevan yhteyttä oksien karsiutumiseen. Väljässä nuoruusasennossa puihin syntyneet suuret oksat eivät näyttäneet kuivinakaan karsiutuneen helposti, vaikka metsikön tiheys iän myötä suhteellisesti kasvoikin. Esimerkiksi useissa jopa yli 35 cm:n läpimittaisissa hybridihaavoissa (erityisesti metsikkö 6) oli vielä maanpinnan lähellä selviä oksakiehkuroita, jotka koostuivat 5–20 mm paksuista karsiutumattomista kuolleista oksista (kuva 10). Myös leposilmuista syntyneet vesaoksat olivat yleisiä hybridihaapojen tyvillä. Hybridihaavoista ei oksien hitaan luontaisen karsiutumisen vuoksi arvioitu saatavan juurikaan oksatonta tyvitukkaa metsikkömittausten perusteella. Metsähaavikoiden tyvitukkien oksikkuuslaatu vaikutti pääsääntöisesti paremmalta (kuva 11).



Kuva 10. Karsiutumattomia oksakiehkuroita. Kuva: Reijo Junkkonen.

Elävien oksien alarajat olivat istutetuissa haavikoissa keskimäärin kolme metriä korkeammalla kuin luontaisesti syntyneissä haavikoissa. Elävä latvus alkoi pääsääntöisesti alimmasta elävästä oksasta. Koska istutetut haavat olivat keskimäärin kolmisen metriä luontaisesti syntyneitä pidempiä, ei elävän latvuksen suhteellisessa pituudessa ollut juuri lainkaan eroa istutettujen ja luontaisesti syntyneiden haapojen välillä. Myöskään haapalajien välillä ei havaittu eroa elävän latvuksen pituusosuudessa. Viljeltyjen ja hybridihaapojen ulkoisesti mustaoksainen rungonosa oli keskimäärin 32 % pidempi kuin luontaisesti syntyneiden ja metsähaapojen.



Kuva 11. Hyvin karsiutuneita metsähaapoja Hämeenkyrössä.
Kuva: Erkki Salo.

Taulukko 8. Vallitsevan latvuserroksen haapojen teknisiä ominaisuuksia kuvaavia keskitunnuksia.

Metsikkö	Ikä	D _{1,3}	Pituus	Alimman kuolleeseen oksan korkeus	Alimman elävän oksan korkeus
	a	mm	m	m	m
Metsähaavikot					
1 ¹⁾	52	325	24,2	4,4	9,3
2	38	279	23,7	3,7	11,2
3	34	244	19,0	3,9	7,0
4 ¹⁾	57	326	24,8	3,8	10,0
5 ²⁾	42	267	29,2	1,4	16,5
Hybridihaavikot					
6	29	263	26,6	1,1	10,4
7	42	296	29,6	3,3	14,8
8 ³⁾	33	241	22,8	3,8	9,9
9 ⁴⁾	23	248	24,4	2,9	9,8
10	34	312	25,8	1,6	13,3
11	33	290	26,0	2,8	11,6
12	32	238	23,5	0,7	10,5
Metsähaavikot	44	288	24,2	3,4	10,8
Hybridihaavikot	32	270	25,5	2,1 ⁵⁾	11,5
Luontaisesti syntyneet	41	284	23,2	3,7	9,5
Istutetut	35	272	26,2	1,8 ⁵⁾	12,4
Koko aineisto	37	277	25,0	2,7	11,2

¹⁾ Sekametsä.

²⁾ Istutettu metsähaavikko.

³⁾ Pystykarsittu n. 4 m korkeuteen vuonna 1986.

⁴⁾ Vesasyntyinen, 2. sukupolven hybridihaavikko.

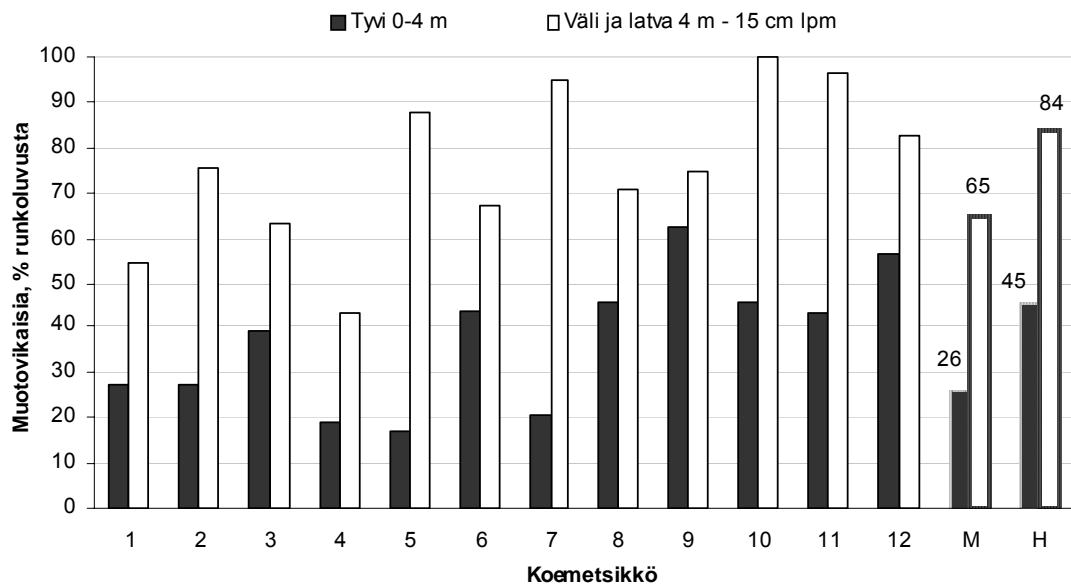
⁵⁾ Laskettu ilman pystykarsittua metsikköä 8.

3.2 Runkojen viat

3.2.1 Muotoviat

Haaparunkojen ulkoista teknistä laatua huononsivat eniten muotoviat. Tyvitukkiosaltaan muotovikaisten runkojen osuus kaikista hybridihaavoista (45 %) oli suurempi kuin metsähaavoista (26 %) (kuva 12). Viat hybridihaapojen tyvitukkiosuudella koostuivat pääasiassa tyvimutkista ja lenkoudesta, jotka saattoivat johtua esimerkiksi istutusvirheistä. Eniten mutkaisia tyviä oli luontaisesti syntyneistä metsähaavikoista metsikössä 3. Metsikön kaikissa koepuissa toistuvan samantyyppisen mutkaisuuden syynä voi olla koepuiden samakloonisuus eli syntyminen yhdestä tai muutamasta emopuusta. Tyven muotoviat olivat yleisiä myös vesasyntyisessä hybridihaavikossa nro 9, jossa suuri osa muotovioista oli lähellä maan pintaa olleita tyvimutkia. Koska hybridihaapa ja istutus perustamismenetelmänä olivat kytköksissä toisiinsa, ei aineiston perusteella voitu osoittaa, johtuivatko tyven muotovioissa havaitut erot haapalajista, uudistamistavasta vai molempien yhteisvaikutuksesta.

Runkojen väli- ja latvatukkiosuuksien muotoviat olivat myös hieman yleisempiä istutetuissa hybridihaavoissa kuin luontaisesti syntyneissä metsähaavoissa. Hybridihaavoissa esiintyi enemmän monivääryyttä, mutkia sekä pystyoksia. Usein mutkat olivat kuitenkin pieniä ja oikealla apterauksella rungot olivat suurimmaksi osaksi muotonsa puolesta tukkikelpoisia.



Kuva 12. Muotovikaisten haaparunkojen osuudet kaikista haavoista koemetsiköittäin. M = metsähaavat keskimäärin, H = hybridihaavat keskimäärin.

Taulukossa 9 on esitetty runkojen yleisimmät muotoviat. Tyven tavallisimmat muotoviat eli mutkat, tyvimutkat ja lenkous olivat yleisempiä hybridihaavoissa kuin metsähaavoissa. Myöskään tässä tapauksessa eroja haapalajien välille ei voitu varmuudella osoittaa, koska haapalaji ja uudistamistapa olivat pääsääntöisesti kytköksissä toisiinsa.

Taulukko 10. Pintavikaisten haaparunkojen osuudet kaikista haavoista koemetsiköittäin.

Metsikkö	Tyviosa 0–4 m	Väli- ja latvaosa 4 m – 15 cm lpm
Pintavikaiset rungot, % runkoluvusta		
Metsähaavikot		
1	0	9
2	0	0
3	49	2
4	14	0
5	10	2
Hybridahaavikot		
6	22	11
7	21	5
8	6	0
9	17	8
10	9	5
11	32	4
12	13	0
<i>Metsähaavikot</i>	15	3
<i>Hybridahaavikot</i>	17	5



Kuva 13. Tyypillinen kuoripolteen tai hirven aiheuttama umpeutunut koro (vas.) ja avokoro (oik.). *Kuvat: Reijo Junkkonen.*

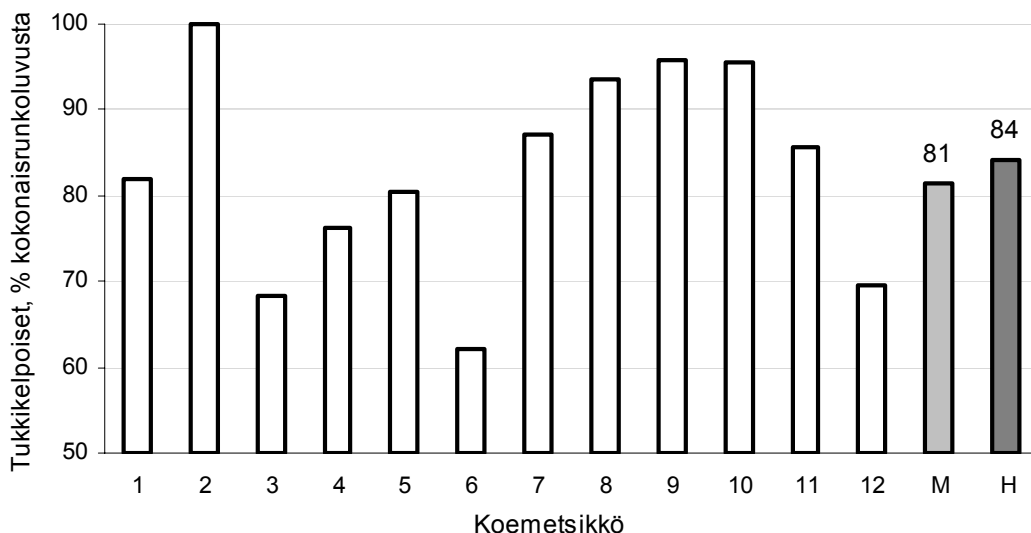
3.2.3 Vikojen vaikutus sahauskelpoisuuteen

Koaloilta mitattujen runkojen tekniset viat luokiteltiin vain muutamissa tapauksissa niin haitallisiksi, että niiden voitiin katsoa estävän koko rungon käytön esimerkiksi sahaukseen. Puiden ulkoisen laadun mukaiset jakaumat koemetsiköissä ilmenevät kuvasta 14, jossa on esitetty ulkoisten laatukriteerien perusteella optimaalisessa apterauksessa tukkikelpoisiksi arvioitujen runkojen osuus kaikista tukkimitat täyttäneistä rungoista. Tässä luokittelussa oli ehtona, että rungosta voitiin tehdä vähintään yksi kolmen metrin pituinen, minimimitta- ja

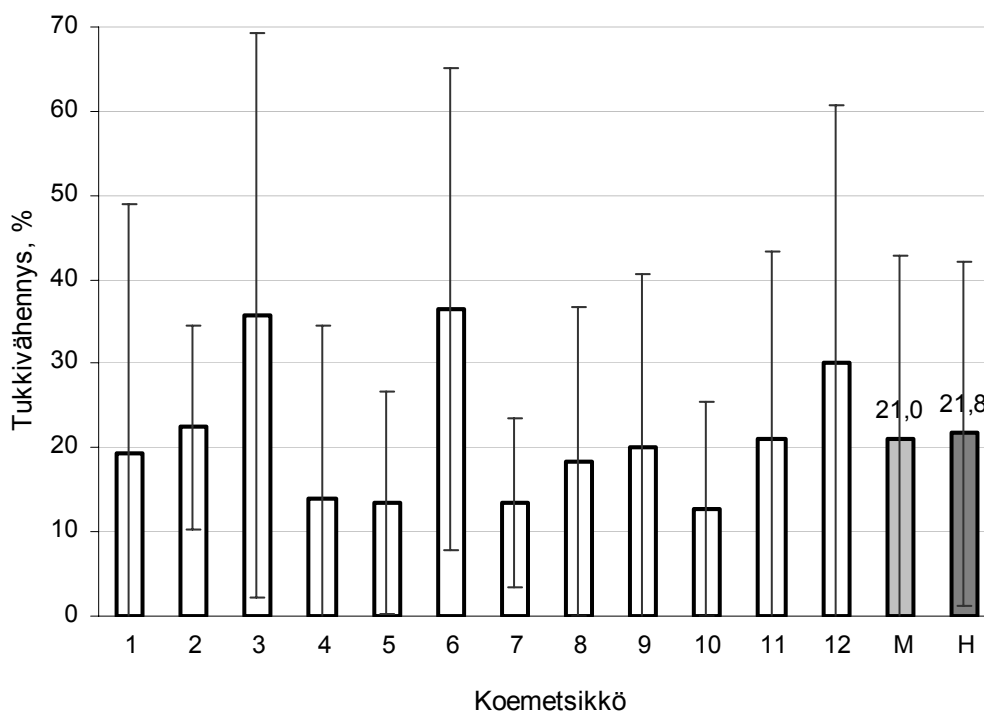
laatuvaatimukset täyttänyt sahatukki. Metsä- ja hybridihaavikot eivät eronneet toisistaan tukkipuiksi kelpaavien runkojen osuuksissa. Viidestä tukkipuun mitat täyttäneestä rungosta keskimäärin yli neljästä arvioitiin saatavan vähintään yksi sahatukki. Metsiköiden vaihteluväli oli tässä suhteessa suuri, noin 30 prosenttiyksikköä. Laadullisina ääripäinä olivat metsikössä 2 kaikki rungot sahapuukelpoisia, kun taas metsikössä 6 vain 62 % tukkikokoisista rungoista voitiin kelpuuttaa sahatukkirungoiksi.

Kaikkien haaparungoissa esiintyneiden vikatyypin aiheuttama vähennystarve rungon tukkiosan tilavuudesta eli tukkivähennysprosentti on esitetty koemetsiköittäin kuvassa 15. On syytä muistaa, että latvaosasta tehty yhden metrin pituinen leikko vastaa huomattavasti pienempää tilavuusosuutta kuin tyveltä tehty samanpituinen leikko. Sovellettu poikkeuksellisen lyhyt kahden metrin minimitukkipituus alensi tukkivähennysprosenttia verrattuna tilanteeseen, jossa rungoista olisi apteerattu pidempiä tukkeja. On myös huomattava, että tukkivähennys arvioitiin pelkästään ulkoisten vikojen perusteella, jolloin poikkileikkauksesta havaittavia ja muita sisävikoja ei voitu ottaa huomioon. Metsikön keskimääräinen tukkivähennysprosentti laskettiin 20–35 haaparungon perusteella, ja metsiköiden sisällä esiintyi huomattavasti vaihtelua.

Metsiköiden 3, 6 ja 12 haaparunkojen tukkiosan tilavuudesta oli keskimäärin yli 30 % tukiksi kelpaamatonta. Metsiköissä 3 ja 12 runkojen tyviosuudet olivat mutkaisia ja metsikössä 6 oli paljon tukkipuiksi täysin kelpaamattomia runkoja, mitkä tekijät nostivat keskimääräisen tukkivähennyksen suureksi. Metsiköiden 4, 5, 7 ja 10 runkojen tukkivähennys oli keskimäärin vain alle 15 %.



Kuva 14. Optimaalisella apteerauksella tukkikelpoiksi luettujen runkojen osuus kaikista tukkimitat täyttäneistä haaparungoista koemetsiköittäin. M = metsähaavat keskimäärin, H = hybridihaavat keskimäärin.



Kuva 15. Runkojen tukkivähennysprosentin keskiarvo ja -hajonta koemetsiköittäin. M = metsähaavat keskimäärin, H = hybridihaavat keskimäärin.

3.3 Kaatokoepuiden laatu

3.3.1 Ulkoinen laatu

Kaatokoepuiden teknistä laatua kuvaavia tunnuksia on esitetty koemetsiköittäin taulukossa 11. Ne siis eroavat taulukossa 7 esitetyistä koko metsikön vallitsevan latvuserroksen haapojen tunnuksista. Kaatokoepuiksi arvatut metsähaavat olivat rinnankorkeuslähimitaltaan keskimäärin 20 mm paksumpia, mutta pituudeltaan yhden metrin lyhempiä kuin hybridihaavat. Istutetut haavat olivat puolestaan 3,5 metriä pidempiä, mutta 10 mm ohuempia kuin luontaisesti syntyneet haavat. Rinnankorkeuden ja kuuden metrin korkeuden väliltä laskettu kapeneminen oli hybridihaavoilla keskimäärin 6,6 mm/m ja metsähaavoilla 9,0 mm/m. Ero istutettujen ensimmäisen sukupolven haapojen (6,5 mm/m) ja luontaisesti syntyneiden haapojen (9,1 mm/m) kapenevuudessa oli hieman suurempi.

Runkojen kapenevuus rungon eri osissa on esitetty kuvassa 16. Kapenevuus aleni tyveltä 18 cm lähimitalan korkeudelle, minkä yläpuolella se kasvoi verraten tasaisesti. Hajonta koepuiden välisessä kapenevuudessa oli poikkeuksellisen suuri rungon läpimitta-alueella 18–15 cm lähinnä suurten oksien aiheuttaman nopean kapenemisen takia. Realistiselta tukkiosalta eli tyveltä 15 cm:n lähimitalaan asti metsähaapojen kapenevuus ja sen vaihtelu oli suurempaa kuin hybridihaapojen. Sen sijaan läpimitta-alueella 15–12 cm ei kapenevuudessa ollut suurta eroa haapalajien tai metsikön perustamistavan välillä. Luontaisesti syntyneiden ja istutettujen haapojen ero oli samanlainen kuin metsä- ja hybridihaapojen. Tukkiosan pientä kapenevuutta voidaan pitää etuna sahausta ja viilutusta ajatellen.

Runkojen tyviosan (0–4m) keskimääräisessä lenkoudessa ei ollut merkittävää eroa metsä- ja hybridihaapojen tai metsikön perustamistapojen välillä. Kaatokoepuiden tyviosan keskimääräinen sivuviivapoikkeama neljän metrin matkalla oli vain 23 mm. Kaatokoepuiden hyvää laatua metsiköiden keskimääräiseen laatuun verrattuna kuvaa myös pienempi tukkivähennysprosentti, vaikka kaatokoepuiden tukkivähennykseen laskettiin myös tyven lahoisuus. Tukkivähennystä aiheuttivat useimmiten mutkat, monivääryys, lenkous, tyvilaho sekä suuret oksat ja haarat. Tukkivähennyksen tilavuusosuuteen vaikuttivat eniten tyviosien sydänlaho, mutkat ja lenkous. Rungoissa ylempänä olevat mutkat ja monivääryys aiheuttivat lukumääräisesti eniten leikkoja rungon tukkiosaan. Pintavikoja kaatokoepuissa ei juuri ollut. Leikkoja jouduttiin tekemään keskimäärin kahdesta eri syystä runkoa kohden (hybridihaavat 2,0 leikkosyötä/runko, metsähaavat 1,8 leikkosyötä/runko).

Taulukko 11. Kaatokoepuiden teknistä laatua kuvaavia keskitunnuksia koemetsiköittäin. Kaatokoepuita 6–7 kpl per metsikkö.

Metsikkö	D _{1,3}	Pituus	Kapeneminen	Tyviosan	Tukki-	Alin kuollut	Alin elävä
	mm	m	1,3–6,0 m mm/m	lenkous mm/4 m	vähennys %	oksa m	oksa m
Metsähaavikot							
1 ¹⁾	328	24,5	8,7	28,7	16,7	3,9	11,8
2	296	23,6	9,6	24,7	21,1	3,5	10,7
3	279	19,4	11,5	24,8	18,2	3,5	7,5
4 ¹⁾	308	25,0	8,9	12,8	8,3	3,9	10,7
5 ²⁾	288	30,0	6,2	20,1	16,3	1,5	18,1
Hybridihaavikot							
6	297	26,3	6,8	26,7	23,5	1,2	10,2
7	290	29,7	5,3	17,0	24,0	3,1	16,1
8 ³⁾	283	23,6	7,6	29,6	23,6	3,3	9,6
9 ⁴⁾	253	22,8	6,8	16,0	13,7	3,4	10,0
10	297	27,4	7,1	21,2	25,3	2,3	12,8
11	281	25,1	6,2	24,8	8,7	2,8	10,3
12	249	23,9	6,2	30,2	12,3	0,7	9,6
<i>Metsähaavikot</i>	300	24,5	9,0	22,2	16,1	3,3	11,8
<i>Hybridihaavikot</i>	279	25,5	6,6	23,6	18,7	2,3 ⁵⁾	11,2
<i>Luonnonsynt.</i>	293	23,1	9,1	21,4	15,6	3,6	10,1
<i>Istutetut</i>	284	26,6	6,5	24,2	19,1	1,9 ⁵⁾	12,4
<i>Kaikki</i>	287	25,1	7,6	23,0	17,6	2,8	11,4

¹⁾ Sekametsä.

²⁾ Istutettu metsähaavikko.

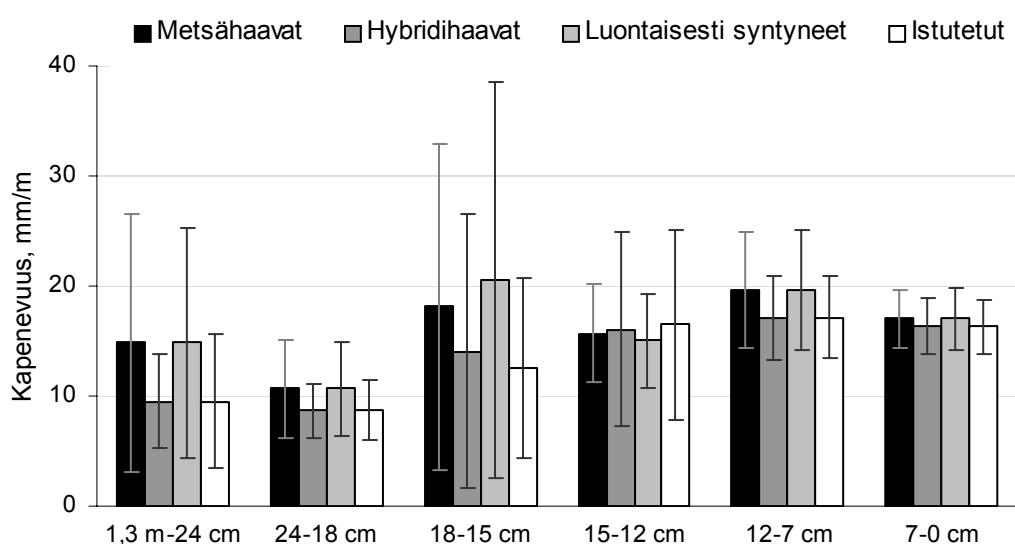
³⁾ Pystykarsittu n. 4 m korkeuteen v. 1986.

⁴⁾ Vesasyntyinen, 2. sukupolven hybridihaavikko.

⁵⁾ Laskettu ilman pystykarsittua metsikköä 8.

Kuivaoksaraja oli metsähaavoissa ja etenkin luontaisesti syntyneissä haavoissa selvästi korkeammalla kuin hybridihaavoissa. Luontaisesti syntyneiden haapojen kuivaoksaraja oli keskimäärin 3,6 metrin ja istutettujen 1,9 metrin korkeudessa (laskettu ilman pystykarsittua metsikköä). Elävien oksien alaraja oli pääsääntöisesti samassa korkeudessa kuin latvusaraja. Kaatokoepuiden elävien oksien alarajan suhteellisissa korkeuksissa ei ollut eroa haapalajien tai syntytapojen välillä.

Kaatokoepuiden arvioidun runkomuodon mukaiset jakaumat on esitetty taulukossa 12. Mikäli tyviosuudella oli ainoastaan lyhyt mutka kannon korkeudella, tulkittiin tyvi suoraksi. On huomattava, että pystykoepuut edustivat metsiköiden tukkipuukelpoisia runkoja, joten metsiköiden keskimääräinen runkomuoto on taulukossa 12 esitettyä huonompi (ks. luvut 3.1 ja 3.2).



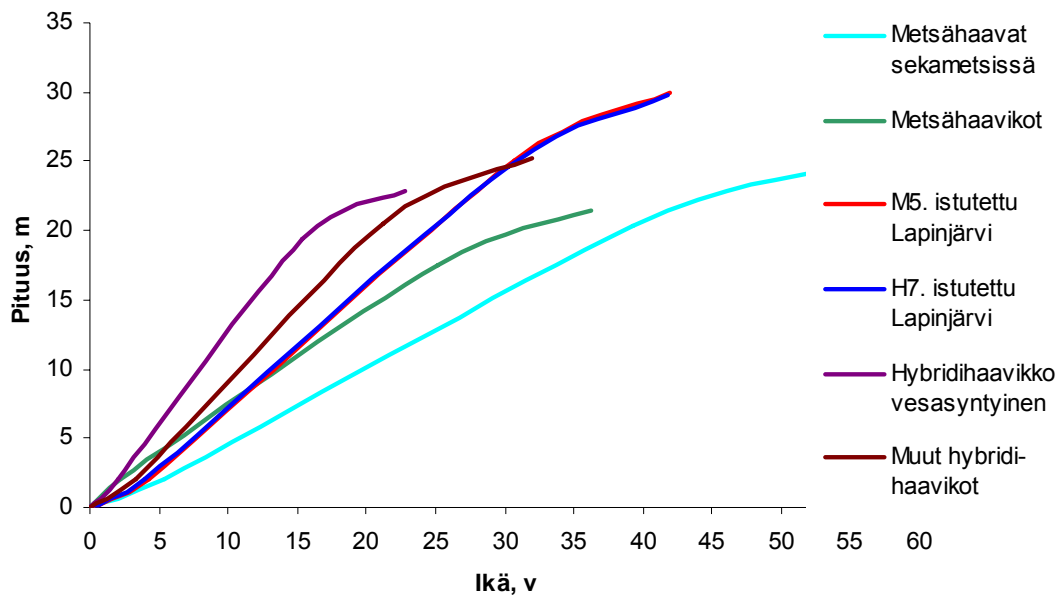
Kuva 16. Kapenemisen keskiarvo ja -hajonta kaatokoepuissa eri läpimittoja vastaavilla korkeuksilla.

Taulukko 12. Kaatokoepuiden tyviosuuden ja väli- ja latvatukkiosuuden runkomuodon mukaiset jakaumat.

Runkomuoto	Tyvi (0-4 m)		Väli ja latva (4 m - 15 cm lpm)	
	Metsähaapa	Hybridihaapa	Metsähaapa	Hybridihaapa
	Runkomuoto, %:ssa kaikista rungoista			
Suora	84	75	32	18
Tasaisesti lenko	10	20	26	23
Mutkainen	3	5	29	41
Moniväärä	3	-	3	9
Mutkainen tai haarainen	-	-	10	9

3.3.2 Kasvunopeus

Kaatokoeputien runkoanalyysin ja vuosilustojen mittausten perusteella hybridihaavat saavuttivat 20 metrin pituuden keskimäärin 20 vuoden iässä, noin 10 vuotta aikaisemmin kuin metsähaavat (kuva 17). Erityisen nopea pituuskasvu oli vesasyntyisillä hybridihaavoilla metsikössä 9. Hidaskasvuisimpia olivat sekametsiköiden (metsiköt 1 ja 2) haavat. Metsänhoitotoimenpiteiden vaikutusta pituuskasvunopeuteen on vaikea osoittaa. Oletettavasti kuitenkin kasvatettaessa toista haapasukupolvea juurivesoista, saadaan taimivaiheen pituuskasvu maksimoitua valitsemalla kasvatettavat vesat ja raivaamalla kilpaileva vesakko pois riittävän ajoissa. Tällöin ylimääräiset vesat eivät kilpaile ravinteista, mutta jo olemassa oleva laaja juuristo voidaan hyödyntää tehokkaasti.



Kuva 17. Erilaisten haavikoiden pituuskehitys iän funktiona. Lapinjärvelle vierekkäin istutetut metsä- ja hybridihaavikot (metsiköt 5 ja 7) olivat kasvaneet lähes identtisesti.

3.4 Tukkien laatu

3.4.1 Tilavuus

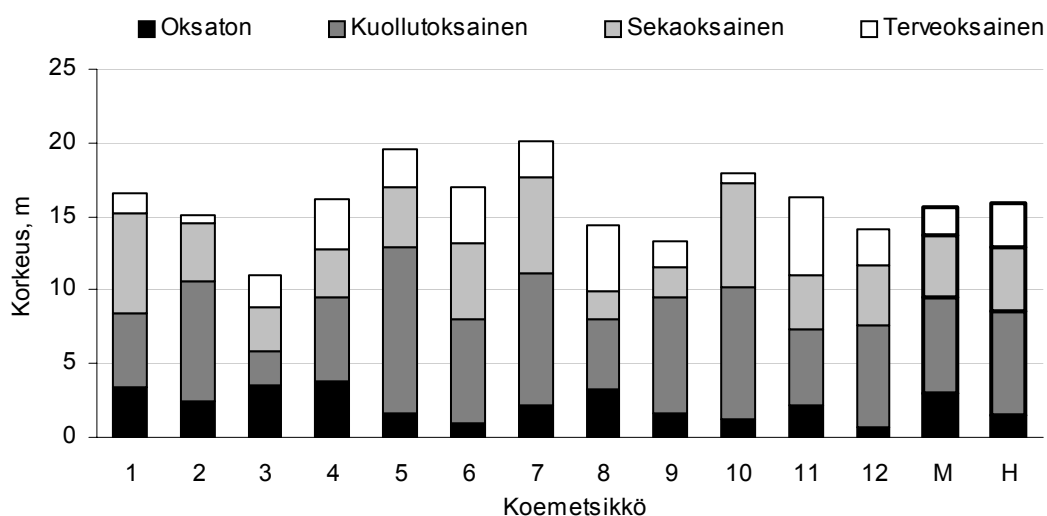
Metsähaaparungoista saatiin keskimäärin 8,2 ja hybridihaaparungoista 7,9 kahden metrin pituista tukkia koesahaukseen, kun tukit katkottiin n. 12 cm:n latvaläpimittaan asti. Mutkaisista latvaosista ei tehty tukkeja. Jokaisesta katkaisukohtasta otettiin n. 5 cm paksu näytekiekko, jonka jälkeen tukkien keskipituudeksi muodostui 193 cm. Taulukossa 13 on esitetty eri korkeuksilta saatujen pölkkyjen määrät ja keskitilavuudet. Metsähaapatukit olivat hieman suurempia kuin hybridihaapatukit.

Taulukko 13. Koerungoista katkottujen n. kahden metrin pituisten tukkien lukumäärät ja keskitilavuudet sijaintikorkeuksittain.

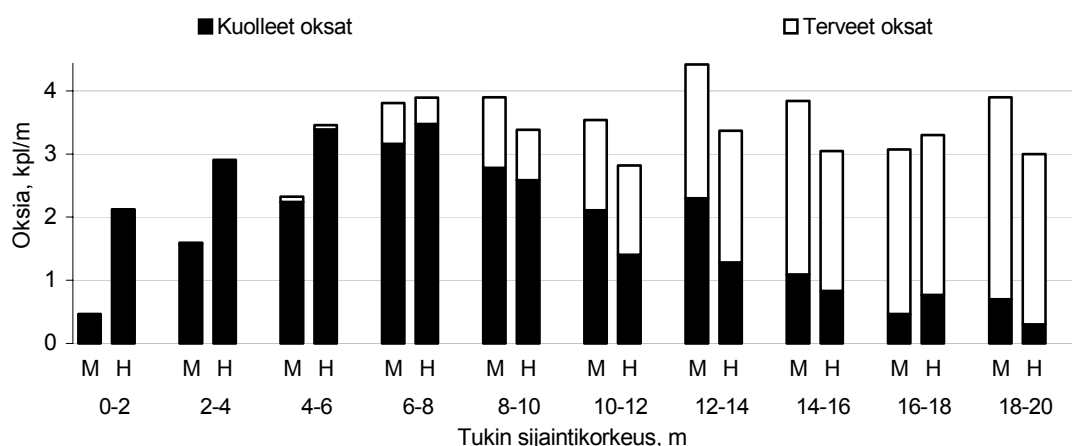
Tukin korkeus, m	Metsähaavat (31 runkoa)		Hybridihaavat (44 runkoa)	
	Tukkeja, kpl	Keskitilavuus, dm ³	Tukkeja, kpl	Keskitilavuus, dm ³
0-2	31	137	44	119
2-4	31	122	44	108
4-6	31	107	44	99
6-8	31	96	44	91
8-10	30	85	44	78
10-12	28	73	39	69
12-14	25	64	35	59
14-16	22	55	27	51
16-18	14	50	16	50
18-20	10	39	10	41
20-22	3	36	1	43
<i>Yhteensä</i>	<i>256</i>	<i>90</i>	<i>348</i>	<i>84</i>

3.4.2 Oksikkuus

Kuvassa 18 on esitetty koepuiden oksikkuusrakenne absoluuttisen korkeuden mukaan koemetsiköittäin noin 12 cm:n läpimittaan saakka. Kuivia ja lahoja oksia alkoi esiintyä metsähaavoissa noin kolmen metrin ja mustia oksia noin 3,5 metrin korkeudessa, istutettua metsähaavikkoa 5 lukuun ottamatta. Hybridihaapojen mustaoksaraja oli selvästi alempana, noin 1,5 metrin korkeudessa, lukuun ottamatta pystykarsittua metsikköä 8. Mustaoksarajat olivat kaatokoepuumittausten mukaan alempana kuin koalamittausten mukaan (vrt. Taulukko 8). Tämä johtui siitä, että pinnanmyötäisen karsinnan ja oksakyhmyjen avaamisen jälkeen mustia oksia löytyi jo alemmilta korkeuksilta, ja siitä, että tukkimittauksissa laskettiin mukaan myös alle 10 mm:n oksat, jotka koalamittauksissa jätettiin huomiotta.



Kuva 18. Kaatokoepuiden ulkoinen oksikkuusrakenne karsitulta pinnalta mitattuna koemetsiköittäin. M = metsähaavat, H = hybridihaavat (pl. pystykarsittu metsikkö 8). Mittaukset ulottuvat korkeussuunnassa noin 12 cm:n läpimittaa vastaavalle korkeudelle asti.



Kuva 19. Kaatokoepuiden kuolleiden ja terveiden oksien lukumäärät metrillä tukkien eri sijaintikorkeuksilla haapalajeittain. M = metsähaavat, H = hybridahaavat (pl. pystykarsittu metsikkö 8). Mittaukset ulottuvat pysyysuunnassa noin 12 cm:n läpimittaa vastaavalle korkeudelle asti.

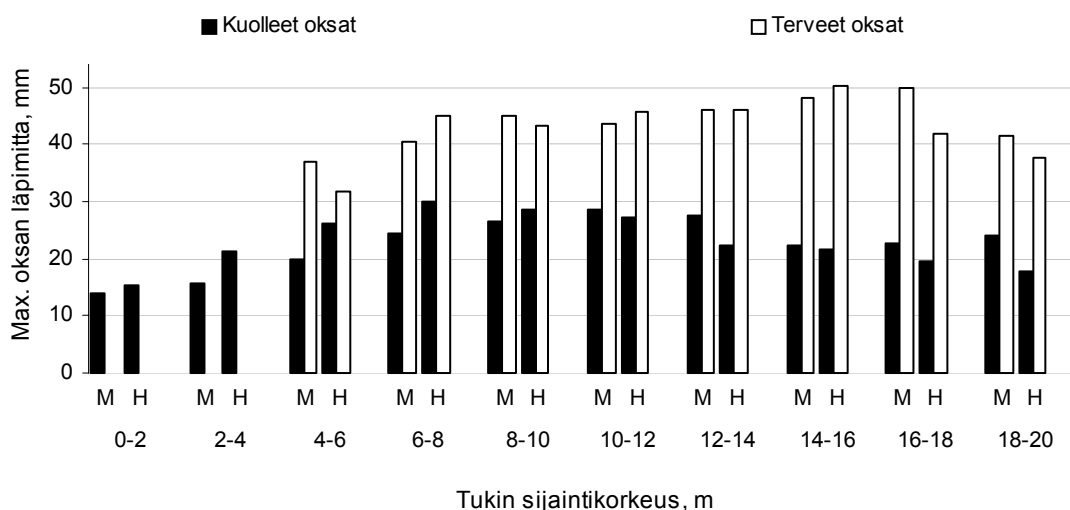
Terveitä oksia esiintyi kaatokoepuumittausten perusteella keskimäärin noin yhdeksän metrin korkeudesta ylöspäin eli niin ikään selvästi alempana kuin koealamittausten perusteella (vrt. taulukko 8: elävien oksien alaraja noin 11–12 metrissä). Ero johtui siitä, että biologisesti kuolleiksi luetut oksat olivat elävien oksien rajan alapuolella kuolleet niin vähän aikaa sitten, että ne vastasivat pinnanmyötäisesti karsittuina täysin terveitä oksia. Kuolleiden ja karsiutuneiden oksien kyljestymisestä syntyneitä oksakyyhmyjä esiintyi yleisesti mustaoksarajan alapuolella sekä metsä- että hybridahaavoilla.

Kuvassa 19 on esitetty kaatokoepuiden terveiden ja kuolleiden oksien lukumäärät karsitulla pinnalla eri korkeuksilla. Lahot oksat ja kuivat pystyoksat on sisällytetty vähäisen lukumääränsä vuoksi kuolleisiin/mustiin oksiin ja terveet pystyoksat vastaavasti terveisiin oksiin. Kuolleita oksia esiintyi eniten rungon pituusosuudella 4–10 m, jossa niitä oli keskimäärin kolme kappaletta metrin matkalla. Kuuden metrin tyviosalla oli kuolleita oksia hybridahaavoissa keskimäärin 1,3 kappaletta enemmän metrillä kuin metsähaavoissa; ero oli erityisen suuri ensimmäisellä kahdella metrillä (metsähaavat 0,5 kpl/m vs. hybridahaavat 2,1 kpl/m). Hybridahaavoissa kuolleet oksat siis karsiutuivat ja kyljestyivät hitaammin kuin metsähaavoissa. Kahdeksan metrin yläpuolella kuolleita oksia oli metsähaavoissa kuitenkin enemmän kuin hybridahaavoissa. Hybridahaaparungoissa oli keskimäärin 38 kpl ja metsähaaparungoissa keskimäärin 34 kpl kuolleita oksia 20 m:n pituudella kaatoleikkauksesta ylöspäin.

Terveitä oksia oli metsähaavoissa keskimäärin enemmän kuin hybridahaavoissa, 20 m:n korkeudelle niitä oli metsähaavoissa keskimäärin 28 kpl ja hybridahaavoissa 24 kpl. Kokonaisuudessaan rungon oksien lukumäärässä ei ollut eroa haapalajien välillä, 20 m:n korkeudelle niitä oli keskimäärin 62 kpl. Metsähaavat olivat vähäoksisempia noin kuuden metrin korkeuteen asti, mutta jo kahdeksan metrin yläpuolella niissä oli enemmän oksia kuin hybridahaavoissa. Oksakyyhmyjä oli metsähaavoissa keskimäärin 4,6 kpl/runko ja hybridahaavoissa 5,8 kpl/runko; kyyhmyt olivat pääasiassa tyvitukkiosuudella. Oksia esiintyi runkojen eteläpuolella metsähaavalla noin 20 % mutta hybridahaavalla vain 5 % enemmän kuin

pohjoispuolella. Ilmansuunnan vaikutus oli sinänsä oletetun suuntainen, joskin myös runkojen tilajärjestys metsiköissä on myös saattanut vaikuttaa tulokseen. Aineisto oli liian pieni metsiköiden välisten erojen yksiselitteiseen tarkasteluun.

Oksien kokovaihtelua kuvattiin tarkastelemalla jokaisen tukin kunkin oksatyypin suurimman oksan läpimittaa sekä tukin pohjois- että eteläpuoliskolta. Kuvassa 20 on esitetty tulokset rungon eri korkeuksilla. Kahdeksan metrin tyvellä korkeudella suurimpien kuivien oksien läpimitta oli metsähaavoissa keskimäärin viisi millimetriä pienempi kuin hybridihaavoissa, mutta latvaosissa ero oli lievästi päinvastainen. Suurimpien terveiden oksien koossa ei ollut eroa haapalajien välillä. Suurimpien kuolleiden oksien keskiläpimitta oli 20 m:n tyviosalla metsähaavoissa 23,4 mm, kun se oli hybridihaavoissa 24,4 mm. Suurimpien terveiden oksien keskiläpimitta oli rungon tukkiosassa molemmilla haapalajeilla 44,9 mm. Ilmansuunta ei vaikuttanut suurimpien oksien läpimittoihin.



Kuva 20. Kaatokoepuiden suurimpien kuolleiden ja terveiden oksien keskiläpimitat tukkien eri sijaintikorkeuksilla haapalajeittain. M = metsähaavat, H = hybridihaavat (pl. pystykarsittu metsikkö 8). Mittaukset noin 12 cm:n läpimittaa vastaavalle korkeudelle asti.

3.4.3 Viat

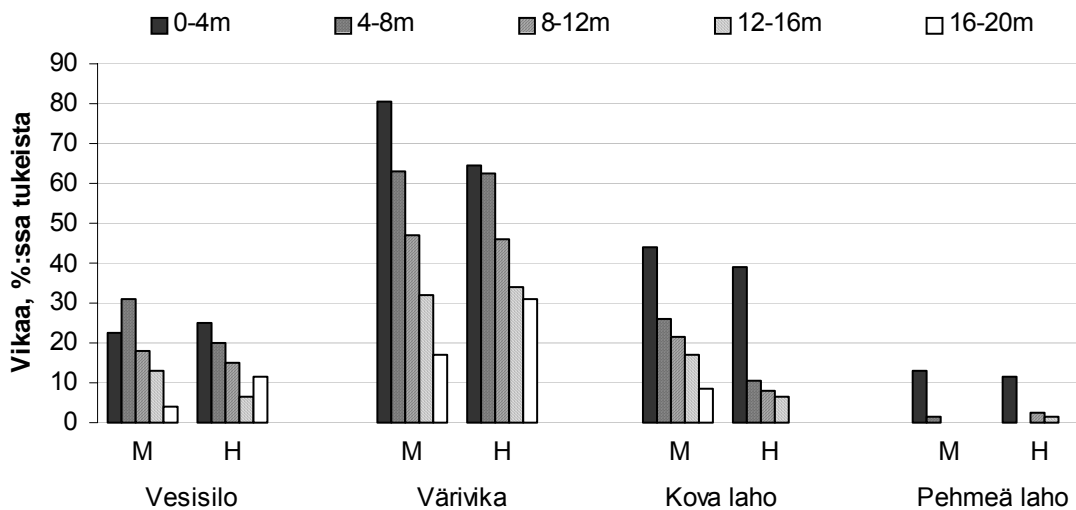
Tukkien sisäinen laatu oli yllättävän heikko ottaen huomioon niiden kohtuullisen hyvä ulkoinen laatu. Runkojen katkonnassa paljastui, että melkein kaikissa tukeissa oli lahovikaa, jonkin asteista värivikaa tai silmin havaittavaa vesisiloa (kuva 21). Lisäksi runkohaapsasen toukanreikiä esiintyi 42 prosentissa metsähaavoista ja 26 prosentissa hybridihaavoista. Runkohaapsasen toukkakäytävä aiheuttaa puuhun ennen pitkää värivian tai lahon. Oletettavasti puissa esiintyneet laho- ja väriviat olivat saaneet alkunsa oksista, vesisilosta tai runkohaapsasen kaivamista rei'istä. Sydänkeskeinen kova laho tai värivika oli erittäin yleistä tyvitukeissa. Metsähaavoissa värivika oli muuttunut väli- ja latvatukeissa kovaksi lahoksi yleisemmin kuin hybridihaavoissa. Tämä, kuten koko runkohaapsasen aiheuttamien vikojen runsaampi

esiintymisenkin, saattoi johtua metsähaapojen keskimäärin korkeammasta iästä. Värivika oli vastaavasti hieman yleisempi hybridihaapojen kuin metsähaapojen väli- ja latvatukeissa.

Vesisilona ilmenneitä vettyneitä vuosirenkaita esiintyi kaikilla korkeuksilla mutta eniten välitukeissa. Vesisilo oli sinänsä yhtä yleistä molemmissa haapalajeissa, mutta siitä alkanut värivika oli yleisempi metsähaavoissa. Pehmeäksi lahoksi kehittyneitä lahoa esiintyi jonkin verran tyvitukeissa, mutta se ulottui yleensä alle 25 mm:n säteelle ytimestä. Lahoinen, värivikainen ja/tai vesisiloinen alue rungon poikkileikkauksessa pieneni läpimitan suhteessa puun latvaa kohden, ja etenkin kovaa lahoa oli väli- ja latvatukeissa yleensä enää pienellä alueella ytimen ympärillä. Joskus värivika tai laho oli välitukkiosuudella saanut ilmeisesti alkunsa oksista leviämällä. Metsikössä 8 laho oli edennyt pystykarsituista oksista rungon sisään ja muuttunut osin pehmeäksi. Karsituista oksista levinnyt laho ei ollut kuitenkaan vaurioittanut pintapuuta. Myös kasvukairan reikien havaittiin aiheuttaneen lahovikoja (kuva 22).

Latvatukit olivat keskimäärin puhtaampia lahosta, väriyiasta, vesisilosta ja muista sisävioista kuin tyvi- tai välitukit. Kokonaisuutena metsä- ja hybridihaapojen välillä ei ollut havaittavaa eroa sisävikojen esiintymisessä, vaikka hybridihaavat olivat keskimäärin selvästi nuorempia.

Kuvan 23 tukkuormassa on esimerkki haapatukkien huonosta sisäisestä laadusta.



Kuva 21. Sisävikojen esiintyminen metsähaavoissa (M) ja hybridihaavoissa tukkien eri sijaintikorkeuksilla.

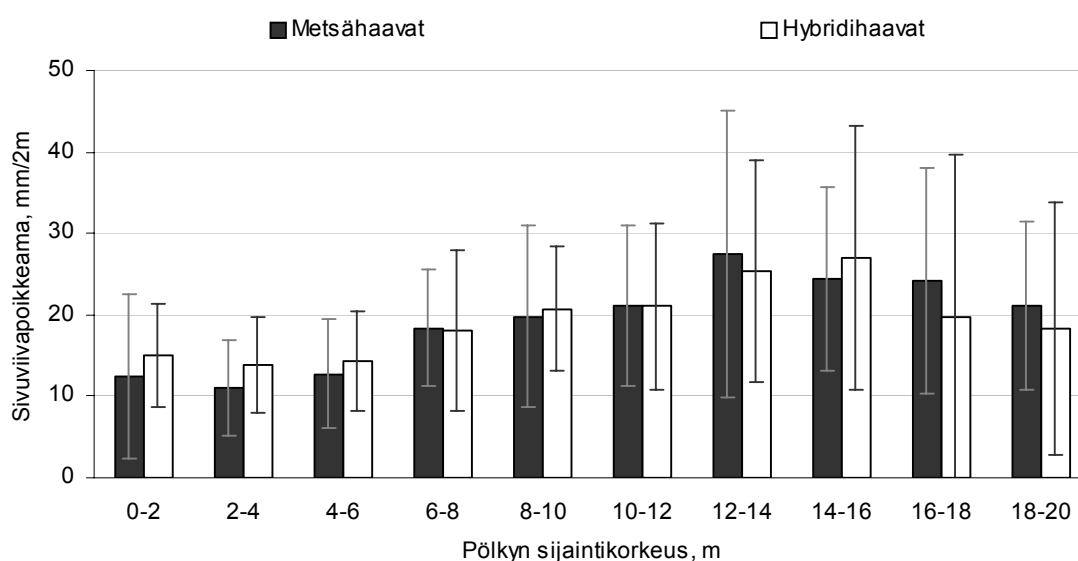


Kuva 22. Kasvukairan reiästä levinnyt värivika ja laho haapasaheissa. Alempana pintasahe ja ylempänä seuraava sahe kohti tukin ydintä. Kuva: Reijo Junkkonen.

Noin kahden metrin määräpituuksille katkotuista tukeista mitatut keskimääräiset poikkeamat suoruudesta on esitetty suurimpana sivuviivapoikkeamana kuvassa 24. Keinäsen & Tahvanaisen (1995) laatuluokituksen mukaan A- ja B-laadun haapatukissa saa olla lenkoutta 20 mm/m. Koetukeissa sivuviivapoikkeama oli keskimäärin puolet tästä. Vaikka lenkoutta olikin keskimäärin verraten vähän, mutkien esiintyminen johti kuitenkin usein laadun alenemiseen luokkaan D. Tyvitukit olivat muodoltaan tasalaatuisempia kuin latvatukit. Rungon yläosien tukit olivat myös keskimäärin mutkaisia, mutta mutkien suuruus ja haitallisuus jalostuksen kannalta vaihteli. Aineiston perusteella ei voitu osoittaa eroa haapalajien välille tukkien keskimääräisessä lenkoudessa tai mutkaisuudessa, joskin metsähaapojen tyviosat olivat hieman hybridihaapojen tyviä suurempia.



Kuva 23. Koetukkikuorma Hämeenkyrössä. Tukkien päissä näkyy yleisesti väri- ja lahovikoja. Kuva: Erkki Salo.

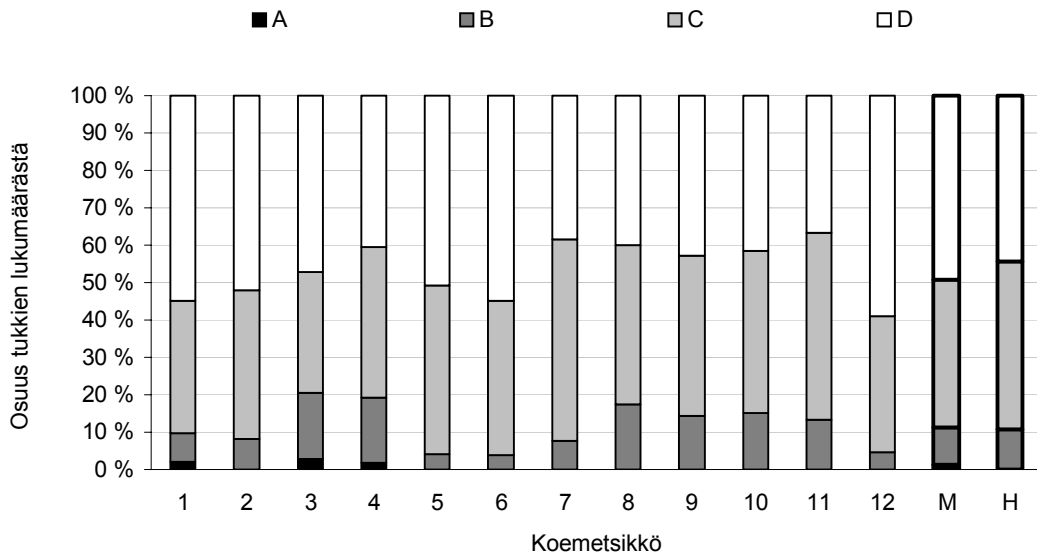


Kuva 24. Lenkoutta tai mutkan syvyyttä kuvaavan suurimman sivuvivapoikkeaman keskiarvo ja -hajonta kahden metrin pölkyyssä rungon eri korkeuksilla.

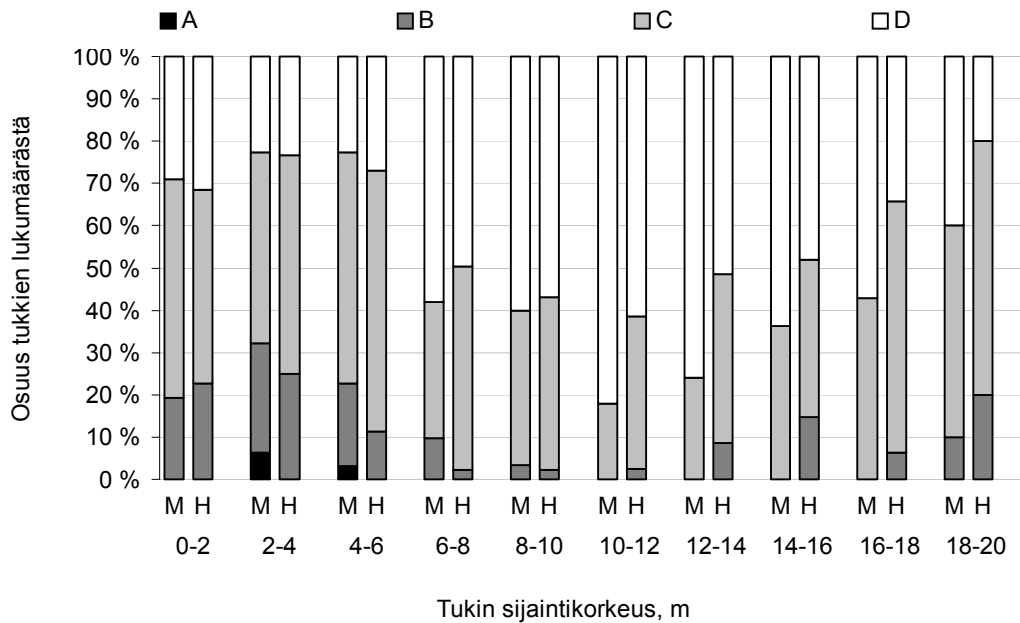
3.4.4 Laatuluokkajakauma

Kaatokoepuista katkotut tukit jakautuivat Keinäsen & Tahvanaisen (1995) haapatukkien laatuluokkiin kuvan 25 mukaisesti. Kaiken kaikkiaan tukkien laatu oli huono. Värivika, kova laho, mutkat tai liian runsaat tai suuret oksat alensivat laatuluokan joka metsikössä vähintään neljässä tukista viidestä luokkaan C (alin sahaukseen hyväksyttävä luokka) tai luokkaan D (raakkiluokka). Raakkilaatuisten tukkien osuus oli yli 40 %. Hybridihaavikoissa raakkilaatua oli kuitenkin keskimäärin viisi prosenttiyksikköä vähemmän kuin metsähaavikoissa. Hyvin pieni osa tukeista oli laatua A, ja tätä laatuluokkaa esiintyi vain kolmessa metsähaavikossa. Samoin vain noin 10 % tukeista täytti B-laadun vaatimukset.

Kuvassa 26 on esitetty metsä- ja hybridihaapatukkien laatujaakaumat tukin sijaintikorkeuden mukaan. Laadun A tuli käytännössä olla tyvitukkia. Koska ensimmäisessä kahden metrin tyvitukissa oli aina jonkin asteista värivikaa, eivät alimmat tyvitukit olleet koskaan A-laatua. Ylemmissä tyvitukeissa värivikaa oli vähemmän, ja siten muutama oksaton metsähaapatukki täytti A-laadun vaatimukset. Hybridihaapojen toisessa tyvitukissa oli jo oksia, mikä alensi laadun vähintään luokkaan B. A- ja B-laatuista tyvitukkeja esiintyi korkeuksilla 0–6 metriä ja B-laatuista lisäksi hybridihaapojen latvaosissa korkeuksilla 14–20 m. Rungon ylemmistä osista katkotuissa tukeissa laho tai väriviat eivät enää olleet ongelmana, mutta liian runsaat ja/tai suuret oksat sekä jyrkät mutkat alensivat laadun usein luokkaan C tai D. Jälkimmäistä luokkaa eli raakkilaatua esiintyi eniten korkeuksilla 8–14 m. Hybridihaavasta saatavien latvatukkien laatua kohottivat pitkät oksattomat vuosikasvaimet (Kuva 27). Latvatukkien merkitys on kuitenkin pieni niiden satunnaisuuden ja pienen koon vuoksi.



Kuva 25. Koemetsiköiden tukkien laatujaakaumat Keinäsen & Tahvanaisen (1995) luokituksen mukaan. M = metsähaavat, H = hybridihaavat.



Kuva 26. Metsä- (M) ja hybridihaapatukkien (H) laatujaakaumat tukkien eri sijaintikorkeuksilla.



Kuva 27. Esimerkki hybridihaavan pitkistä oksaväleistä välitukkiosuudella. Kuva: Reijo Junkkonen.

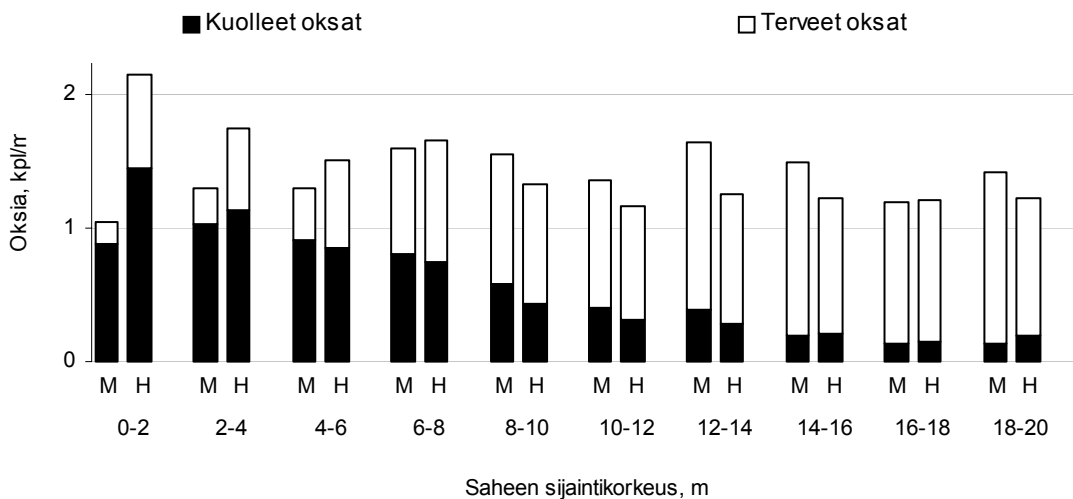
3.5 Läpisaheiden laatu

3.5.1 Oksaisuus

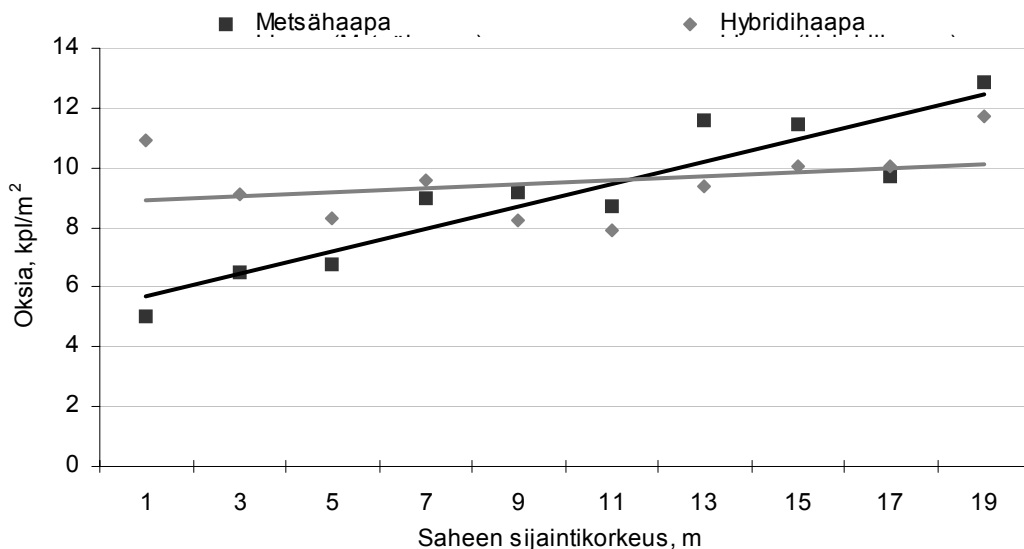
Kuolleiden ja terveiden oksien esiintyminen läpisaheissa on esitetty tukin sijaintikorkeuden mukaan haapalajeittain kuvassa 28. Rungon pinnassa havaittujen oksien lukumääriin verrattuna (ks. kuva 18) kuolleiden oksien määrä vähenee läpisaheissa tasaisesti rungon tyveltä ylöspäin. Osa rungon pinnalla kuolleiksi luokitelluista oksista on tukin sisäosissa vielä kiinni ympäröivässä puuaineessa, jolloin ne luokitellaan terveiksi. Ero metsä- ja hybridihaapojen läpisaheiden kuolleiden oksien lukumäärän välillä oli pienempi kuin tukkien pinnalta tarkasteltuna näytti. Sisäoksien keskimäärin harvinaisempi esiintyminen metsähaapojen tyvitukeissa johtui ensisijaisesti oksattomista pintasaheista,

joita hybridihaavoista saatiin selvästi vähemmän. Rungon yläosien saheissa oksia oli metsähaavalla puolestaan hieman enemmän kuin hybridihaavalla.

Kuvassa 29 on esitetty oksien lukumäärä metsä- ja hybridihaapojen läpisaheissa suhteutettuna pintalappeen pinta-alaan, pl. pystykarsittu hybridihaavikko (metsikkö 8). Metsähaapojen läpisaheissa oksien lukumäärä pinta-alayksikköä kohden kasvoi tasaisesti rungon tyveltä ylöspäin, kun taas hybridihaavoissa se oli lähes vakio eri korkeuksilla. Kaikkiaan hybridihaapojen saheissa oli pinta-alayksikköä keskimäärin 12 % enemmän oksia eli keskimäärin 1,4 kpl/m² enemmän kuin metsähaapojen saheissa. Ero johtui pääasiassa tyvitukkien oksattomista pintasaheista, joita oli metsähaapa-aineistossa enemmän.



Kuva 28. Metsähaapojen (M) ja hybridihaapojen (H) läpisaheiden oksien keskimääräinen lukumäärä pituusyksikköä kohti saheiden eri sijaintikorkeuksilla, pl. pystykarsittu hybridihaapametsikkö 8.



Kuva 29. Metsähaapojen ja hybridihaapojen (pl. pystykarsittu metsikkö 8) läpisaheiden oksien keskimääräinen lukumäärä pinta-alayksikköä kohti saheiden eri sijaintikorkeuksilla.

Metsä- ja hybridihaapojen välillä oli suuri ero oksamäärissä etenkin alimman kahden metrin tukiin läpisaheen pinta-alayksikköä kohti. Hybridihaavalla oli täällä ytimeistä lukien 1. saheen (pinnan etäisyys ytimeistä n. 35 mm.) pinta-alapeella keskimäärin 75 % ja tätä lähempää pintaa saatujen saheiden pinta-alapeilla (etäisyys ytimeistä 70–140 mm) keskimäärin 150–300 % enemmän oksia kuin metsähaavalla. Absoluuttisesti ero oli suurin pintasaheissa, joissa oksien määrä pinta-alayksiköllä korostuu saheiden kapeuden vuoksi.

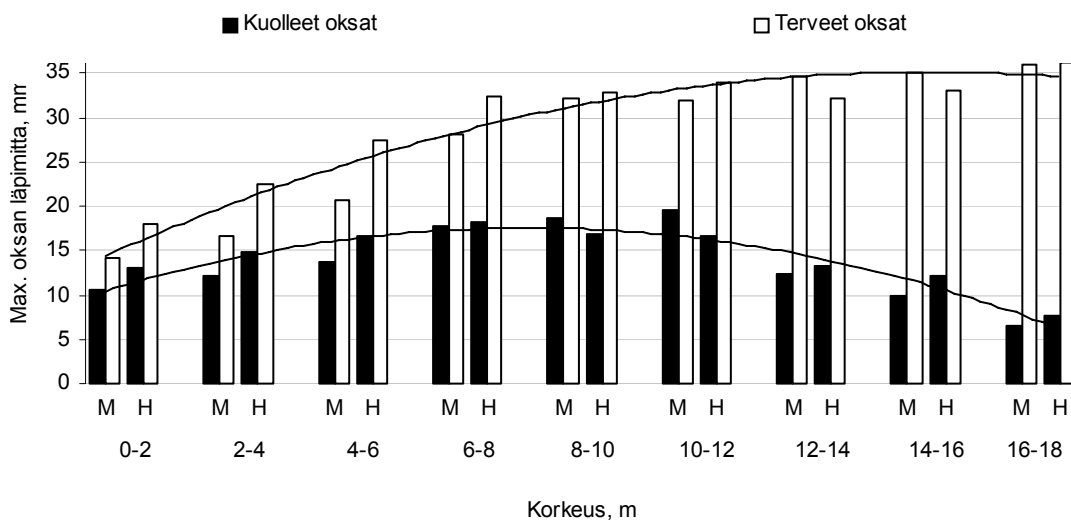
Metsä- ja hybridihaavalla oli oksia pinta-alayksiköllä yhtä paljon rungon korkeudelta 2–4 m peräisin olleissa saheissa, mutta korkeudella 4–6 m hybridihaapojen pintasaheissa (lapeen etäisyys ytimeistä n. 140 mm) oksia oli kolminkertaisesti metsähaapoihin verrattuna. Tulosta ei

voida kuitenkin yleistää havaintojen pienen lukumäärän vuoksi. Pystykarsitun hybrihaapametsikön 8 tyvitukeista saaduissa saheissa oli luonnollisesti vähemmän oksia kuin muiden metsiköiden tyvitukeista saaduissa.

Läpisaheiden pintalappeiden kuolleiden ja terveiden oksien keskimääräiset maksimiläpimitat saheiden eri sijaintikorkeuksilla sekä keskiläpimitan korkeussuuntaista vaihtelua kuvaavat polynomikäyrät on esitetty 18 metrin korkeudelle asti kuvassa 30. Suurimmat kuolleet oksat olivat läpisaheissa rungon korkeuksilla 8–12 m, mikä oli yhdenmukaista tukkien pinnalta saatujen tulosten kanssa; tällä korkeusvälillä oli myös keskimääräinen elävien oksien alaraja (ks. taulukko 11). Yli 12 m:n korkeudella terveiden oksien maksimiläpimitta ei enää kasvanut, ja kuolleiden oksien läpimitta kääntyi laskuun.

Tyvitukkien sahepinnoilla suurimmat kuolleet oksat olivat hybridihaavalla keskimäärin 2,5 mm suurempia kuin metsähaavalla. Myös hybridihaapojen suurimmat terveet oksat olivat noin 5 mm suurempia. Haapalajien väliset erot eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä (t-testi: kuivat oksat $p = 0,063$, terveet oksat $p = 0,531$). Hybridihaapojen tyvien suurempiin oksakokoihin saattoi olla syynä harva istutustiheys, joka on johtanut hitaaseen alaoksien kuolemiseen. Ylempänä rungossa haapalajien välillä ei juuri ollut eroa, mikä puolestaan saattoi johtua suhteellisen kasvutiheyden muuttumisesta samankaltaiseksi metsähaavikoiden kanssa harvennushakkuiden jälkeen. Metsähaavoilla alkutiheys on vesasyntyisyyden takia usein suuri, jolloin alaoksat kuolevat aikaisin.

Suurimpien oksien keskiläpimitta kasvoi rungon ytimestä pintaa kohden. Sydäntavarakappaleen pinnalla eli noin 35 mm:n päässä ytimestä suurimmat kuolleet oksat olivat keskimäärin 12 mm, mutta neljännen saheen pinnalla elin noin 152 mm:n päässä ytimestä jo 20 mm. Suurimman terveen oksan keskiläpimitta kasvoi vastaavasti 27 mm:stä 40 mm:iin.



Kuva 30. Metsä- (M) ja hybridihaapojen (H) läpisaheiden pintalappeen kuolleiden ja terveiden oksien keskimääräiset maksimiläpimitat saheen eri sijaintikorkeuksilla sekä korkeuden mukaista vaihtelua kuvaavat polynomikäyrät.

Väriastian leviäminen oksista oli erittäin yleistä sekä metsä- että hybridihaavalla (kuva 31). Käytännössä väriastia oli levinnyt lähes kaikkien oksien ympärille riippumatta siitä, olivatko oksat terveitä vai kuolleita; yli 10 cm väriastia levittäneet oksat laskettiin myös erikseen vioiksi (vrt. luku 3.5.2). Metsähaapojen kuolleista oksista 61,5 % ja hybridihaapojen kuolleista oksista 68,3 % oli levittänyt väriastia vähintään 5 cm:n päähän. Terveiden väriastia levittäneiden oksien osuus oli metsähaavalla 56,6 % ja hybridihaavalla 64,7 %. Erot haapalajien välillä olivat merkitseviä sekä kuolleiden että terveiden oksien osalta (Mann-Whitneyn U-testi: $p = 0,000$).



Kuva 31. Väriastia levittäneitä oksia haapaläpisaheen pinnalla. Kuva: Reijo Junkkonen.

3.5.2 Viat

Läpisaheiden viat määritettiin pintalappeilta. Seuraavassa vikojen määrät ja yhteispituudet on esitetty keskimääräisinä yhdellä kahden metrin läpisaheen pintalappeella. Väri- ja lahovikojen syytä tai leviämisen alkupistettä oli usein vaikea määrittää. Useimmiten ne olivat levinneet sydänkeskeisesti, oksista tai vesisilosta alkunsa saaneina. Koska tätä ei kuitenkaan voitu varmentaa, yhdistettiin väri- ja lahoviat alkamistavasta yhdeksi vikatyypiksi alkamistavasta riippumatta. Kuvassa 32 on esitetty esimerkkejä virheettömistä sekä väri- ja lahovikojen osittain ja täysin pilaamista läpisaheista.

Oksien läpimitat tulivat mitatuiksi läpisaheiden sahaussuunnassa (käytäntö saheiden laatuluokituksessa) sen sijaan että ne olisi mitattu kohtisuorassa suunnassa oksan pituusakseliin (todellinen paksuus). Mittausmenetelmä johti ylisuurten oksien määrän yliarviointiin suhteessa rungoista ja tukeista tehtäviin mittauksiin. Kuvassa 33 on esitetty suuri pystyoksa ja oksaryhmiä esimerkkeinä vakavista oksavioista haapasaeissa.



Kuva 32. Virheettömiä läpisaheita (pystykarsituista rungoista), ja väri- ja lahovikojen osittain ja täysin pilaamia läpisaheita. Kuvat: Reijo Junkkonen.



Kuva 33. Pystyoksa noin viiden metrin korkeudella (vas.) ja oksaryhmiä hybridihaapasahaissa. Kuvat: Reijo Junkkonen.

Vikoja esiintyi saheidien pintalappeissa taulukon 14 mukaisesti. Metsähaapatukeista saatiin noin 13 %-yksikköä enemmän virheettömiä läpisaheita kuin hybridihaapatukeista. Keskimäärin metsähaapatukeista saaduissa läpisaheissa oli 0,9 vikaa ja hybridihaapatukeista saaduissa saheissa oli 1,2 vikaa; ero oli tilastollisesti merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi $p = 0,000$).

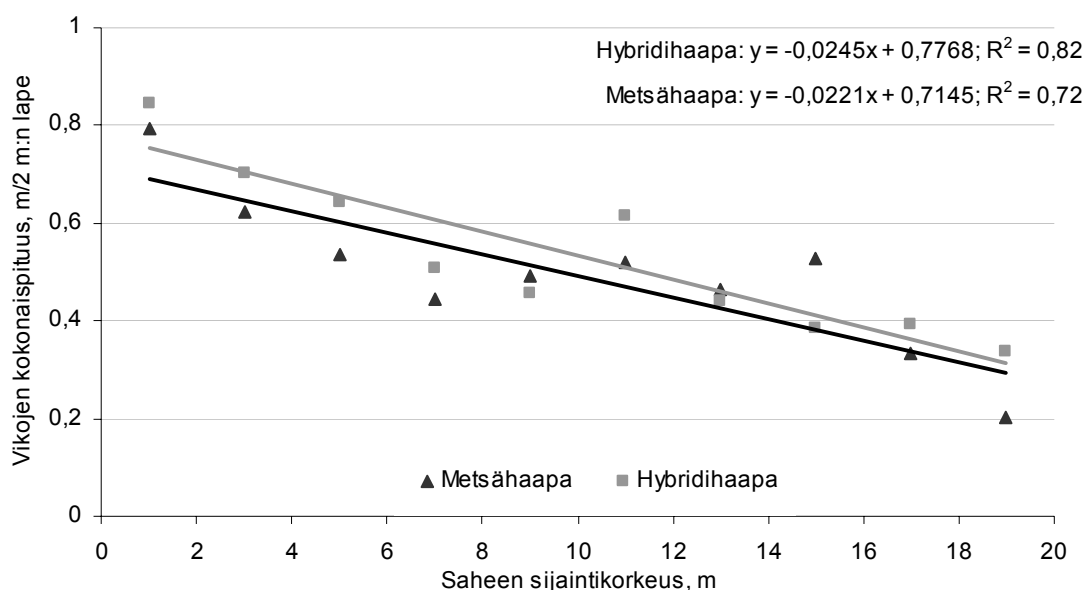
Taulukko 14. Metsä- ja hybrihaapojen pintalappeeltaan virheettömien ja vikaisten läpisaheiden osuudet.

	Ei vikoja	1 vika	2 vikaa	3 vikaa	4 vikaa	5 vikaa
	Osuus saheiden lukumäärästä, %					
Metsähaapa (N=1501)	40,9	33,8	17,5	6,3	1,1	0,4
Hybridihaapa (N=2007)	36,2	31,5	19,1	9,2	2,9	1,2

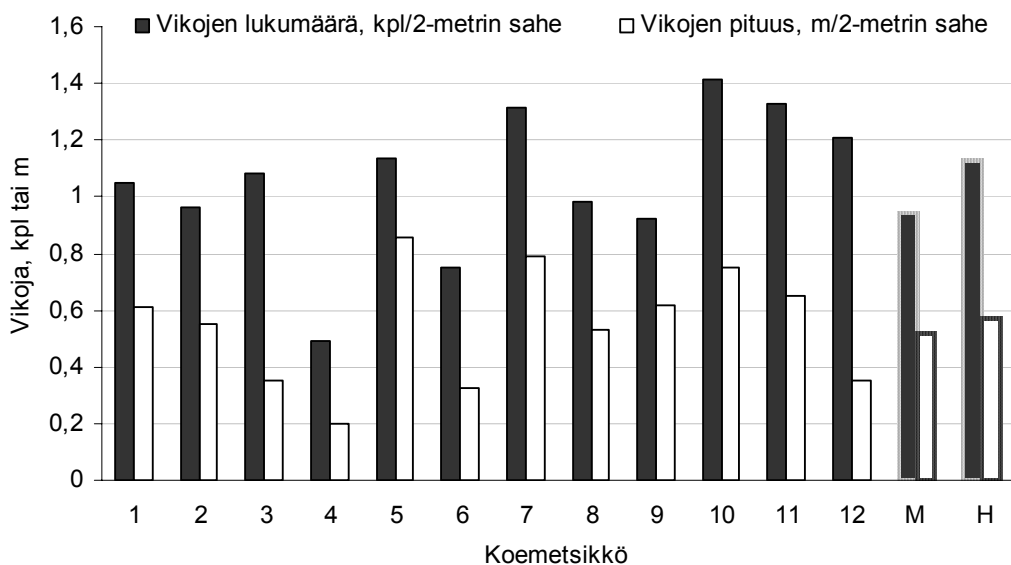
Hybridihaapasahaheissa oli keskimäärin enemmän vikoja kuin metsähaapasahaheissa, ja vikojen yhteispituus oli hybridihaavalla keskimäärin hieman suurempi (kuvat 34 ja 35). Vikojen yhteispituus läpisaheessa oli hybridihaavalla keskimäärin 0,59 metriä eli 8,2 % suurempi kuin metsähaavalla, mikä ero johtui ylisuurista ja värivikaisista oksista (ks. luku 3.5.1). Tyvitukkien sisäosien saheiden huono laatu johtui pääasiassa väri- ja lahovioista.

Saheiden laatu mitattiin vain pintalappeelta, joka oli yleensä laadultaan sisälapetta parempi. Ytimen halkaisupinnasta pintaan päin tarkasteltaessa vikojen määrät ja keskipituudet alenivat tasaisesti kolmannen sahekerroksen pintaan asti (etäisyys ytimeistä n. 113 mm), jossa sydänkeskeisten väri- ja lahovikojen vaikutus päättyi. Metsä- ja hybridihaavan välillä ei ollut merkitsevää eroa vikojen yhteispituudessa läpisaheetta kohden (t-testi: $p = 0,242$), vaikka vikojen lukumäärä läpisaheessa olikin erilainen.

Läpisaheiden pintalappeiden viat on esitetty koemetsikkökohtaisesti kuvassa 34. Sekapuustoisien metsähaavikon 4 saheissa oli vähiten vikoja. Tämä johtui vesisilon sekä väri- ja lahovikojen vähäisyydestä. Tätä voidaan pitää yllättävänä, sillä kyseisen metsikön puut olivat aineiston vanhimpia ja kasvupaikka aineiston vähäravinteisin. Vikojen yhteispituus oli pieni myös metsiköissä 3, 6 ja 12, vaikka vikojen lukumäärä olikin suuri. Eniten vikoja oli istutetuissa metsiköissä 5, 7, 10 ja 11. Tulokset sahepintojen vikaisuudesta poikkesivat metsiköittäin luvussa 3.4.4. esitetyistä tuloksista tukkien laatujaumasta. Esimerkiksi metsikössä 11 oli tukkiluokituksessa vain vähän raakkilaatua D, mutta saheet olivat laadultaan keskimääräinen aineiston heikoimpia. Tukkien laatua ei tämän perusteella voida pitää kovin luotettavana sahatavaran laadun indikaattorina ainakaan tässä sovellettujen laatuoluokituksen mukaan toimittaessa.



Kuva 34. Kaikkien vikojen keskimääräinen pituusosuus metsä- ja hybridahaavan läpisaheiden pintalappeissa saheen eri sijaintikorkeuksilla.



Kuva 35. Kaikkien vikojen keskimääräinen lukumäärä ja pituusosuus läpisaheiden pintalappeissa koemetsiköittäin. M = metsähaavat, H = hybridahaavat.

Taulukossa 15 on esitetty erityyppisten vikojen yleisyys metsä- ja hybridahaapojen läpisaheiden pintalappeissa rungon tyviosasta (0–6 m), väliosasta (6–12 m) ja latvaosasta (12–20 m) katkotuista tukeista sahattuna. Vesisilo, värivika, kova laho, väriviolliset kuivat tai lahot oksat, suuret kuivat tai lahot oksat, värivikaiset terveet oksat ja suuret terveet oksat olivat yleisimmät viat saheissa. Vesisiloa, värivikaa ja kovaa lahoa esiintyi eniten tyvitukkien saheissa. Vesisiloa oli noin 16 prosentissa metsähaapojen ja noin 11 prosentissa hybridahaapojen tyvisaheista. Värivika oli tyvisaheissa yleisempää hybridahaavalla (noin 27 %) kuin metsähaavalla (noin 19 %). Kovaa lahoa oli hieman enemmän metsähaapojen tyvisaheissa (11 %) kuin hybridahaapojen

tyvisahaissa (7,5 %). Väli- ja latvatukkien saheissa vesisiloa, värivikaa ja kovaa lahoa esiintyi varsin vähän. Pehmeää lahoa oli vain 1,1 prosentissa tyvitukkien ja 0,5 prosentissa välitukkien läpisaheista. Välitukeissa pehmeä laho oli levinnyt yleensä oksista.

Oksaviat olivat yleisempiä hybridihaavoissa kuin metsähaavoissa, ero oli suurin tyvitukeissa. Yli 10 cm värivikaa levittäneitä kuivia oksia oli hieman enemmän hybridihaapojen tyvitukkien saheissa, mutta suuria kuivia tai lahoja oksia, värivikaisia terveitä oksia ja suuria terveitä oksia jo selvästi enemmän kuin metsähaapojen tyvitukkien saheissa. Haapalajien välillä ei ollut kuitenkaan suurta eroa välitukkien saheiden oksavikojen määrissä. Latvatukkien saheissa hybridihaavoissa oli taas enemmän suuria kuivia tai lahoja oksia, mutta metsähaavoissa vastaavasti enemmän suuria terveitä oksia. Kaikista suurista kuivista ja lahoista oksista oli noin 85 % levittänyt värivikaa yli 10 cm molemmilla haapalajeilla. Kaikista suurista terveistä oksista oli värivikaisia hybridihaavoissa noin 78 %, mutta metsähaavoissa vain 55 %. Oksaryhmät olivat yleisimpiä hybridihaapojen tyvi- ja välitukkien saheissa. Ydinjuova saheen pintalappeella, joka osoittaa rungon mutkaisuutta, oli yleisempää hybridihaapojen kuin metsähaapojen latvatukkien saheissa.

Taulukko 15. Erityyppisten vikojen yleisyys metsä- ja hybridihaapaläpisaheiden pintalappeissa rungon tyviosasta (0 - 6 m), väliosasta (6 - 12 m) ja latvaosasta (12 - 20 m) katkotuista tukeista sahattuna. M = metsähaavat, H = hybridihaavat.

Vika	Tyvitukki (0-6 m)		Välitukki (6-12 m)		Latvaosa (12-20 m)	
	M	H	M	H	M	H
	Osuus saheista, %					
Vesisilo	16,1	10,4	7,4	4,9	2,5	2,7
Värivika	19,0	26,9	19,5	19,1	16,0	14,6
Kova laho	11,2	7,3	5,5	4,4	6,3	4,8
Pehmeä laho	1,1	1,2	0,2	0,7	0,0	0,0
Alle 40 mm:n kuiva tai alle 30 mm:n laho oksa, josta on levinnyt yli 10 cm värivikaa	7,9	10,7	3,1	4,3	1,5	0,9
Yli 40 mm:n kuiva tai yli 30 mm:n laho oksa, josta on levinnyt yli 10 cm värivikaa	3,6	14,2	17,9	22,0	14,9	23,0
Alle 70 mm:n terve oksa, josta levinnyt on yli 10 cm värivikaa	6,8	14,8	14,8	17,7	6,1	4,5
Yli 70 mm:n terve oksa, josta on levinnyt yli 10 cm värivikaa	0,5	4,6	18,3	22,5	35,1	28,1
Oksaryhmät (vähintään 3 kpl yli 10 mm:n oksaa 20 cm:n pituudella)	0,7	3,9	1,4	4,3	3,8	3,3
Runkohaapsasen toukan reikä	2,5	1,5	0,0	0,2	0,0	0,0
Ydinjuova, josta levinnyt värivikaa	2,0	1,4	4,8	3,8	6,5	13,4

3.5.3 Laatuluokkajakauma

Kuvassa 36 on läpisaheiden ja vertailuna myös tukkien laatuluokkajakaumat koemetsiköittäin. Saheiden laatuluokkajakaumaan ei laskettu mukana niitä saheita, jotka sahattiin raakkiluokkaan D laadutetuista tukeista. Saheiden laatuluokkajakaumat vastasivat kohtuullisen hyvin tukkien laatuluokkajakaumia. Tukit arvioitiin kuitenkin kaikissa laatuluokissa systemaattisesti toteutunutta sahatavarajakaumaa parempiin luokkiin. Toisaalta tukkien kyljestyneet oksat saattoivat paljastua vasta saheissa, mikä heikensi saheiden laatuluokkajakaumaa tukkien perusteella arvioidusta. Myös vesisilo paljastui useimmiten vasta läpisaheista. Tukkien laatu-kokosuhde vaikutti myös läpisaheiden laatuun. Yksi täysin huono tyvitukki vaikutti tukkien laatuluokkajakaumaan samassa suhteessa kuin pieni latvatukki eli vain noin 12 prosentin osuudella. Saheiden laatuluokkajakaumaan tyvitukki saattoi sen sijaan vaikuttaa suuren saheiden määrän takia jopa 20 prosentin osuudella latvatukin saheiden vaikutusosuuden ollessa vain 5 %. Metsiköissä 4 ja 12 saheiden laatuluokkajakauma oli huomattavasti parempi kuin tukkien laatuluokkajakauma, kun taas metsiköissä 7, 10 ja 11 saheiden ja tukkien laadun suhde oli päinvastainen. Kokonaisuutena metsä- ja hybridihaavan läpisaheiden laatuluokkajakaumassa ei ollut suurta eroa. Molemmilla haapalajeilla oli raakkilaatua D noin 45 % saheista.

Kuvassa 37 on metsä- ja hybridihaavan läpisaheiden laatujaakaumat tyvi-, väli- ja latvatukeista sahattuina. Tyvitukeissa laatu parani ytimen viereisistä saheista pintasaheita kohti. Tämä johtui siitä, että tyvitukeissa väri- ja lahoviat olivat yleensä keskellä ytimen ympärillä. Hybridihaavoissa A-laatua oli pintasaheissa metsähaapaa vähemmän lähinnä suuremman oksamäärän takia. Oksia ja lieviä värivirheitä sallivien B- ja C- laatuja yhteismäärässä ei ollut suurta eroa metsä- ja hybridihaavan välillä. Raakkilaatua D oli tyvisäheissa hybridihaavalla hieman enemmän kuin metsähaavalla. Tyvitukeissa D-laatua oli eniten ytimestä laskettuna ensimmäisessä sahekerroksessa, hybridihaavalla jopa 70 %. D-laadun osuus pieneni pintaan päin; metsähaavalla sitä oli pintasaheista enää noin 18 %.

Välitukkien (6–12 m) saheissa A-laadun osuus oli hybridihaavalla suurempi kuin metsähaavalla. Ytimestä laskettuna toisessa ja kolmannessa sahekerroksessa A-laadun osuudet olivat hybridihaavalla 25 ja 31 %, mutta metsähaavalla vain 8 ja 17 %. Hieman oksia ja väri- sekä lahovikaa sallivan B-laadun osuus oli metsähaapojen välitukkien saheissa vastaavasti suurempi. Saheiden laatu parani edelleen tukin pintaa kohti. Raakkilaadun D osuus välitukkien saheista oli metsähaavalla hieman hybridihaapaa suurempi.

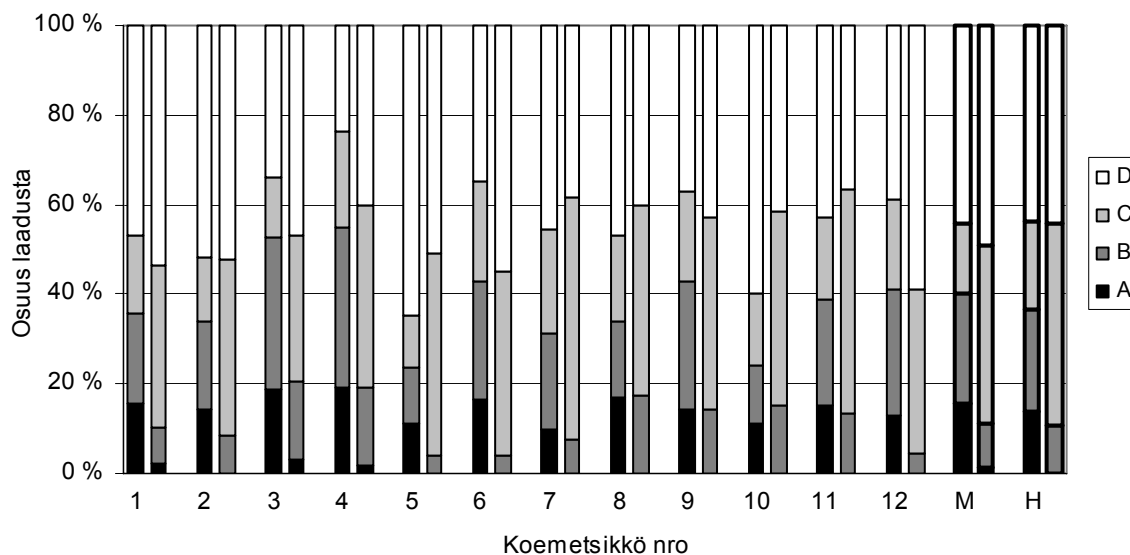
Latvatukeista (14–20 m) saatiin yleensä vain 1–2 läpisaheita molemmin puolin ydintä. Laatuja A, B ja C oli hybridihaapasäheistä yhteensä hieman enemmän kuin metsähaapasäheistä. Raakkilaatua D oli hybridihaapasäheistä noin 40 % ja metsähaapasäheistä noin 50 %.

Taulukossa 16 on esitetty läpisaheiden laadun alenemisen syyt tukin sijaintikorkeuksittain. Tyvitukeissa saheiden laatu aleni luokasta A luokkaan B useimmin kuivien oksien takia. Myös terveet oksat alensivat laadun usein vähintään B-luokkaan. Vesisilo tai väri- ja lahovika olivat syynä laadun alenemiseen 6–7 prosentissa saheista. Välitukkien saheissa kuivat ja terveet oksat

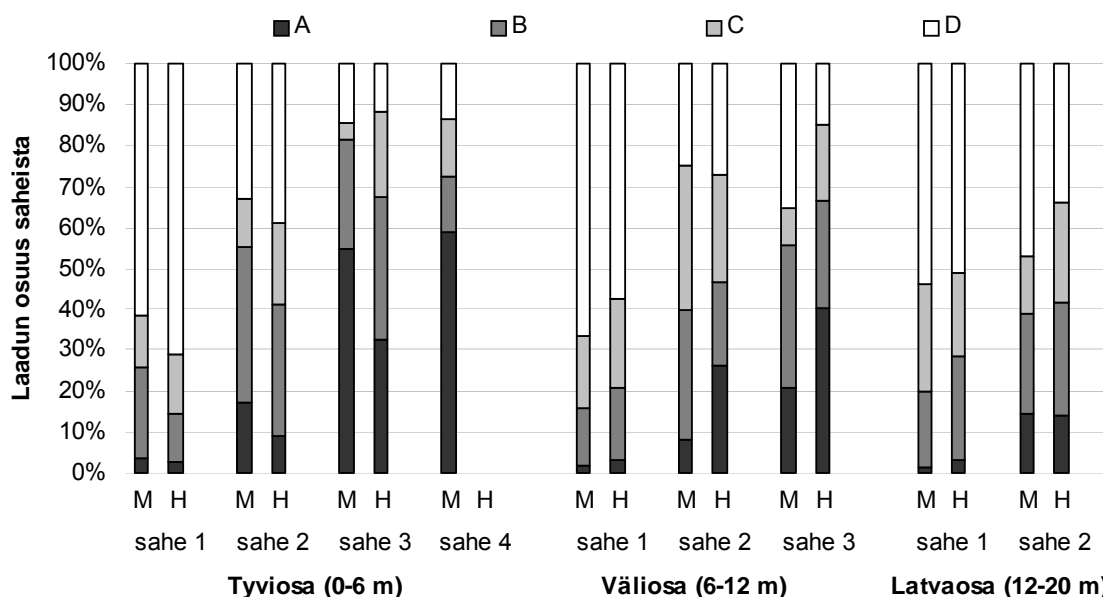
aiheuttivat molemmat yhtä paljon laadun alenemista luokkaan B. Vesisilon tai värivian osuus laadun alenemiseen oli tyvitukkeihin verrattuna pienempi. Latvatukeissa A-laatua ei saavutettu pääosin terveiden oksien takia. Kuivat oksat olivat myös usein syynä laadun alenemiseen luokkaan B.

Oksien merkitys oli hieman edellä esitettyä pienempi tarkasteltaessa laadun alenemista luokkaan C. Tyvitukeissa saheiden laadun aleneminen luokasta A tai B luokkaan C johtui oksista vielä noin 70 prosentissa tapauksista, mutta värivikojen, vesisilon tai lahon osuus oli yhteensä noin 30 %. Välitukeissa värivikojen ja vesisilon osuus laadun alenemiseen oli enää vajaa 10 %, mutta terveiden oksien osuus oli noin 60 %. Kuivat oksat olivat syynä laadun alenemiseen luokkaan C metsähaavalla 28 prosentissa ja hybridihaavalla 18 prosentissa tapauksista. Latvatukkien saheissa terveet oksat olivat selvästi useimmin, yli 80 prosentissa tapauksista syynä C-laatuun, mutta värivika ja vesisilo olivat myös yleisiä syitä.

Laatuluokan aleneminen raakkilaatuun D johtui tyvitukkien saheissa 60–70 prosentissa tapauksissa väriviasta, vesisilosta tai lahovioista. Lahovika oli metsähaavalla yleisempi syy laatuun D kuin hybridihaavalla (20 % vs. 10 %). Loput raakkilaadun saheet johtuivat liian suurista tai runsaista oksista. Välitukkien saheissa värivika, vesisilo tai lahoviat aiheuttivat 50–55 % tapauksista laadun alenemisen luokkaan D. Loput raakkilaadun saheet johtuivat liian suurista tai runsaista oksista, etenkin terveistä oksista. Latvatukkien saheissa D-laatuun johtivat useimmiten liian suuret tai runsaat terveet sekä lisäksi väriviat ja vesisilo. Hybridihaavalla värivikojen ja vesisilon osuus oli latvatukeissakin vielä 35 %.



Kuva 36. Läpisaheiden (pylväsparin vasemmanpuoleiset pylväät) laatuluokkajakaumat koemetsiköittäin verrattuna vastaavien tukkien (pylväsparin oikeanpuoleiset pylväät) laatuluokkajakaumiin Keinäsen & Tahvanaisen (1995) mukaan laadutettuina. Tarkastelussa ovat mukana vain A-, B- ja C-luokan tukkien saheet. M = metsähaavat, H = hybridihaavat.



Kuva 37. Metsä- (M) ja hybridihaapaläpisaheiden (H) laatuluokajakaumat sahekerroksittain ytimeistä lukien runkojen tyvi- väli- ja latvatukkiosuuksilla Keinäsen & Tahvanaisen (1995) mukaan laadutettuina. Saheiden paksuus 35 mm.

Taulukko 16. Metsä- (M) ja hybridihaapaläpisaheiden (H) laatuluokan alenemisen syyt runkojen tyvi- väli- ja latvatukkiosuuksilla Keinäsen & Tahvanaisen (1995) mukaan laadutettuina. Oksat: lkm = oksien lukumäärä paremmalla lappeella tai huonoimmalla metrillä; lpm = suurimman oksan läpimitta, mm.

	A → B		A, B → C		A, B, C → D	
	M	H	M	H	M	H
Syyt			%			
			Tyvitukkiosa (0–6 m)			
Terveet oksat, lkm / lpm	24,0	22,6	11,9	17,3	1,7	8,2
Kuivat oksat, lkm / lpm	68,3	71,7	34,1	48,1	11,4	18,4
Lahot oksat ja kuorioksat, lkm / lpm	0,0	0,0	21,6	7,7	8,5	5,6
Värivika tai vesisilo	7,7	5,7	29,7	25,0	58,5	58,1
Kova tai pehmeä laho	0,0	0,0	2,7	1,9	20,0	9,7
			Välitukkiosa (6–12 m)			
Terveet oksat, lkm / lpm	46,0	48,2	57,5	65,8	29,3	27,1
Kuivat oksat, lkm / lpm	50,5	45,0	28,0	18,8	18,3	13,1
Lahot oksat ja kuorioksat, lkm / lpm	0,0	0,0	3,6	7,7	1,9	3,4
Värivika tai vesisilo	3,5	6,8	10,9	7,7	45,6	50,6
Kova tai pehmeä laho	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	5,7
			Latvaosa (12–20 m)			
Terveet oksat, lkm / lpm	84,8	75,5	85,4	80,8	63,4	47,1
Kuivat oksat, lkm / lpm	15,2	21,3	6,9	0,0	2,8	7,8
Lahot oksat ja kuorioksat, lkm / lpm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
Värivika tai vesisilo	0,0	3,2	7,7	19,2	27,7	35,3
Kova tai pehmeä laho	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	7,8

3.5.4 Lamellien sormijatkamispotentiaali

Läpisaheista saatavan puumateriaalin sormijatkamispotentiaali laskettiin viiden ja kymmenen senttimetrin levyisistä lamelleista läpisaheiden pintalappeilta siten, että jatkamiskelpoisen aihion minimipituutena oli 20 cm (taulukko 17). Sormijatkamispotentiaalia vähensivät eniten ytimen ympärille keskittyneet väriviat. Sama värivika saattoi aiheuttaa koko saheen pituisen lamellin luokituksen jatkamiskelvottomaksi. Läpisaheen reunimmaiseta, usein virheettömät lamellit, joita oli myös ydinsaheissa, nostivat sormijatkamiseen soveltuvien aihoiden pinta-alaosuuden yli 50 prosenttiin. Oksat aiheuttivat tavallisesti vain lyhyen vikaleikon lamelliin. Tyvitukkien (0–4 m) pintasaheissa oli vähän vikoja, mutta toisaalta kapeista pintasaheista saadaan vain vähän lamelleja, joten vaikutus sormijatkamispotentiaaliin oli vähäinen (kuva 38). Vesisiloa sekä väri- ja lahovikoja esiintyi eniten tyvitukeissa, mikä pienensi tyvitukkien sormijatkamiseen soveltuvaa osuutta. Tyvitukin yläpuolella sormijatkamiseen soveltuva osuus ei kuitenkaan juuri kasvanut, sillä vesisilon ja väri- ja lahovikojen määrän väheneminen kompensoitui lisääntyneellä oksamäärällä.

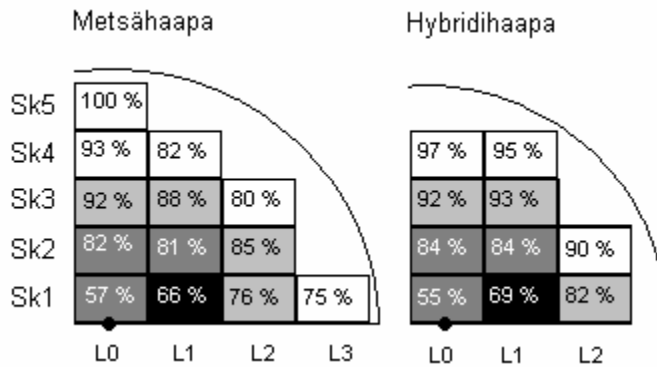
Käytettäessä viiden senttimetrin lamellileveyttä saatiin suurin sormijatkamispotentiaali, kun haettiin vain pintalappeeltaan virheettömiä aihioita. Sormijatkamiseen soveltuvien lamellien pinta-alaosuus oli tällöin molemmilla haapalajeilla noin 74 %. Kun lamellien piti olla molemmilta puoliltaan virheettömiä, pieneni sormijatkamispotentiaali metsähaavalla 47 prosenttiin ja hybridihaavalla 44 prosenttiin. Käytettäessä kymmenen senttimetrin lamellileveyttä ja haettaessa vain pintalappeeltaan virheettömiä aihioita, oli sormijatkamispotentiaali metsähaavalla 59 % ja hybridihaavalla 55 %. Kun lamellien piti olla molemmilta puoliltaan virheettömiä, pieneni sormijatkamispotentiaali metsähaavalla 29 prosenttiin ja hybridihaavalla 22 prosenttiin. Mann-Whitneyn U-testin mukaan 10 cm leveiden pintalappeeltaan virheettömien aihoiden sekä molemmilta puolilta virheettömien 5 tai 10 cm leveiden aihoiden pinta-alaosuus oli metsähaavoilla merkitsevästi suurempi kuin hybridihaavoilla ($p = 0,000–0,007$). Tyvitukkien pintasaheissa (sahekerrokset 3 ja 4) sormijatkamispotentiaali oli huomattavasti edellä esitettyjä keskimääräisiä osuuksia suurempi.

Sormijatkamiskelpoisen pinta-alaosuuden keskihajonnat läpisaheessa vaihtelivat 20–40 prosenttiyksikköä. Keskihajonta oli metsä- ja hybridihaavalla samalla tasolla ja riippumaton siitä, miltä korkeudelta rungossa sahe oli peräisin.

Edellä esitetyt tulokset koskevat läpisaheiden koko pituudelta täyssärmäisiä lamelleja. Näiden lisäksi tarkasteltiin myös saheiden reunaosista saatavia, enemmän tai vähemmän vajaasärmäisiä lamelleja, joista kuitenkin saatiin sahatta lyhyempiä täyssärmäisiä aihioita. Näiden osuus vajaasärmäisten kappaleiden yhteispituudesta oli vähäinen, mutta toisaalta niissä oli erittäin vähän sisävikoja. Vajaasärmäisten reunalamellien täyssärmäisestä osasta oli virheetöntä ja siten sormijatkamiseen kelpollista keskimäärin 80–90 %. Virheettömien täyssärmäisten aihoiden ottaminen mukaan vajaasärmää sisältävistä lamelleista olisi nostanut saheiden sormijatkamiskelpoisten aihoiden pinta-alaa kuitenkin vain 1–2 %.

Taulukko 17. Sormijatkamiseen soveltuvien lamellien osuus läpisaheen pinta-alasta metsähaavalla (M) ja hybrihaavalla (H) saheen eri sijaintikorkeuksilla ja etäisyyksillä ytimeistä. Tarkastelut 5 ja 10 cm leveillä lamelleilla ja yhdeltä tai kahdelta lappeelta.

Korkeus, m	Sormijatkamiseen soveltuva osuus, % saheen pinta-alasta									
	1. sahe (0-35 mm)		2. sahe (39-74 mm)		3. sahe (78-113 mm)		4. sahe (117-152 mm)		Kaikki (0-152 mm)	
	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H
	Pintalappeeltaan virheetön 5 cm leveä lamelli									
0-2	52	51	70	73	85	88	96	96	65	65
2-4	60	59	82	81	90	94	100	100	73	72
4-6	67	64	86	84	92	95			78	75
6-8	69	71	86	82	95	93			78	77
8-10	67	71	84	89	93	92			75	78
10-12	70	69	86	92	95	94			77	78
12-14	69	72	86	90	95	59			76	77
14-16	69	74	78	87	78				72	77
16-18	73	75	81	90					75	79
18-20	76	77	80	93					77	80
<i>Kaikki</i>	65	65	81	83	90	91	97	97	74	74
	Pintalappeeltaan virheetön 10 cm leveä lamelli									
0-2	37	28	57	60	74	81	82	92	50	45
2-4	46	36	69	68	72	93	76		58	52
4-6	54	47	75	74	86	89			64	59
6-8	59	55	74	72	89	86			65	62
8-10	50	55	75	81	88	86			60	62
10-12	55	51	75	85	90				61	58
12-14	53	56	75	80					60	61
14-16	50	63	60	71					53	64
16-18	59	65							59	65
18-20	68	80							68	80
<i>Kaikki</i>	50	45	69	70	79	86	80	92	59	55
	Pinta- ja sisälappeeltaan virheetön 5 cm leveä lamelli									
0-2	29	31	38	39	61	58	63	87	39	39
2-4	37	33	52	46	67	69	67	72	48	42
4-6	40	35	59	53	68	76	97	91	51	46
6-8	41	41	62	56	76	66	91		52	49
8-10	36	42	57	60	79	69			47	49
10-12	37	34	57	59	76	84			46	45
12-14	37	32	60	60	78	55			46	41
14-16	39	31	53	62	73				44	38
16-18	30	33	68	65					40	40
18-20	30	21	87	61					39	28
<i>Kaikki</i>	36	35	54	51	68	67	70	84	47	44
	Pinta- ja sisälappeeltaan virheetön 10 cm leveä lamelli									
0-2	15	11	27	23	38	47	59	61	26	19
2-4	24	10	38	33	59	56	43		33	22
4-6	20	12	47	41	53	65			33	25
6-8	20	16	49	44	58	48			31	27
8-10	18	14	47	49	60	45			29	23
10-12	17	14	34	48	61				22	21
12-14	14	10	56	37	38				26	15
14-16	17	12	44	22					24	13
16-18	19	14							19	14
18-20	11	3							11	3
<i>Kaikki</i>	19	12	40	36	57	52	54	61	29	22



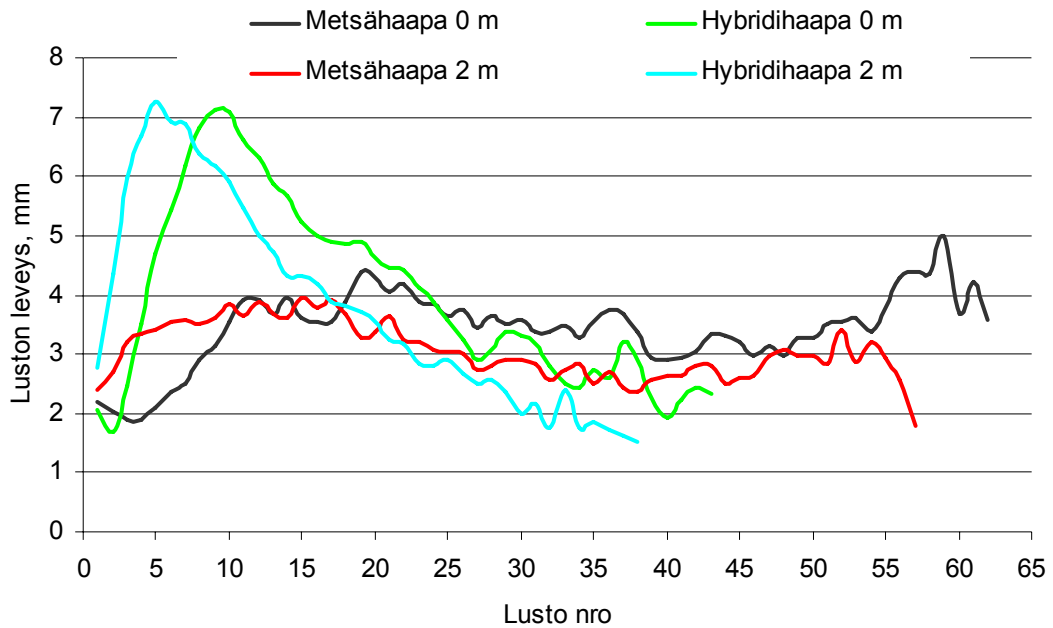
Kuva 38. Täyssärmäisten, pintalapeeltaan virheettömien viisi senttimetriä leveiden lamellien (L0–L3) sormijatkamiseen soveltuva pinta-alaosuus läpisaheissa sahekeroksittain ytimestä lukien (Sk1–Sk5). Vaalealla värillä merkityjä lamelleita saadaan keskimääräisestä haaparungosta vähän, osuus kasvaa värin tummuusasteen mukaan.

3.6 Puuaineen ominaisuudet – kuivaamaton puutavara

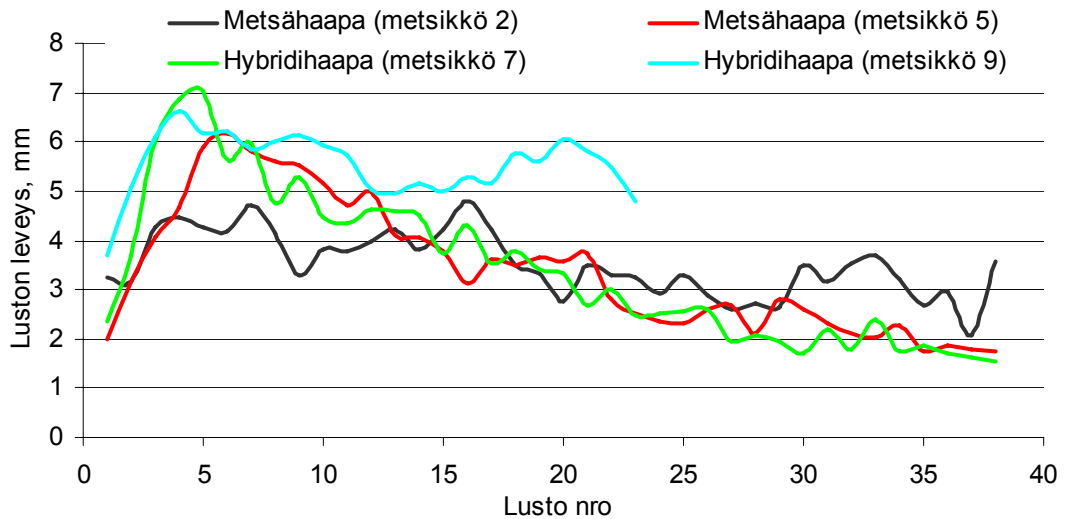
3.6.1 Vuosiluston leveys

Haapalajien välinen ero läpimitan kasvurytmissä iän suhteen oli silmiinpistävän selvä. Hybridihaavat olivat kasvaneet paksuutta selvästi nopeammin kuin metsähaavat noin 20 ikävuoteen asti (kuva 39). Kannon korkeudella hybridihaapojen kymmenen ensimmäisen ikävuoden keskimääräinen läpimitan kasvu oli yli 14 mm, kun metsähaapojen kasvu oli ollut samaan ikävaiheeseen mennessä vain puolet tästä. Hybridihaapojen läpimitan kasvu taantui iän myötä voimakkaasti ja alitti jo 25-vuoden iässä metsähaapojen kasvun. Metsähaavoilla ei havaittu hybridihaapojen kaltaista läpimitan kasvun pienenemistä iän myötä. Metsikön perustamistapa saattoi vaikuttaa läpimitan kasvurytmiin. Tähän viittasi se, että Lapinjärvelle istutettujen metsä- ja hybridihaapojen paksuuskasvuissa ei ollut eroa, lukuun ottamatta viiden ensimmäisen vuoden kasvuja, jolloin hybridihaavat olivat kasvaneet metsähaapoja nopeammin (kuva 40).

Taimivaiheessa harvemmassa tilajärjestyksessä olleet haavat olivat kasvaneet nopeammin paksuutta kuin tiheämmässä olleet haavat. Valmista juuristoa hyödyntämään päässeiden vesasyntyisten hybridihaapojen (metsikkö 9) läpimitan kasvu pysyi korkeana ensimmäisistä ikävuosista lähtien. Kyseisessä metsikössä vuonna 1996 (lustonumerot 13–15) tehty harvennus lisäsi jäljelle jääneiden puiden läpimitan kasvua hetkellisesti. Myös osa aineiston metsähaavikoista oli todennäköisesti vesasyntyisiä, mitä ei kuitenkaan voitu varmuudella osoittaa. Oletettavasti pääosin vesoista syntyneen metsähaavikon 2 paksuuskasvu oli pienempi kuin vesasyntyisessä hybridihaavikossa 9. Tähän lienee vaikuttanut se, että metsähaapavesakkoa oli kasvatettu pitkään tiheänä. Hybridihaavikossa 9 kasvatettavat vesat oli sen sijaan valittu aikaisessa vaiheessa, ja harvennuksessa jätetyille vesoille oli jäänyt runsaasti kasvutilaa. Tilajärjestyksen puolesta jälkimmäistä haavikkoa voikin verrata istutusmetsikköön. Metsiköissä 2, 5 ja 7 verraten myöhäisellä iällä tehdyt harvennukset eivät vaikuttaneet jäävän puuston paksuuskasvuun toisin kuin metsikössä 9, jossa harvennus oli tehty nuorella iällä.



Kuva 39. Metsä- ja hybridihaapojen keskimääräinen vuosiluston leveys korkeuksilla 0 m ja 2 m vuosiluston ytimestä lasketun järjestysnumeron mukaan. Keskimääräinen ikä kahden metrin korkeudella oli metsähaavoilla 4,8 vuotta ja hybridihaavoilla 4,2 vuotta; samat vuosiluston järjestysnumerot eivät siten edusta välttämättä saman vuoden vuosikasvaimia.



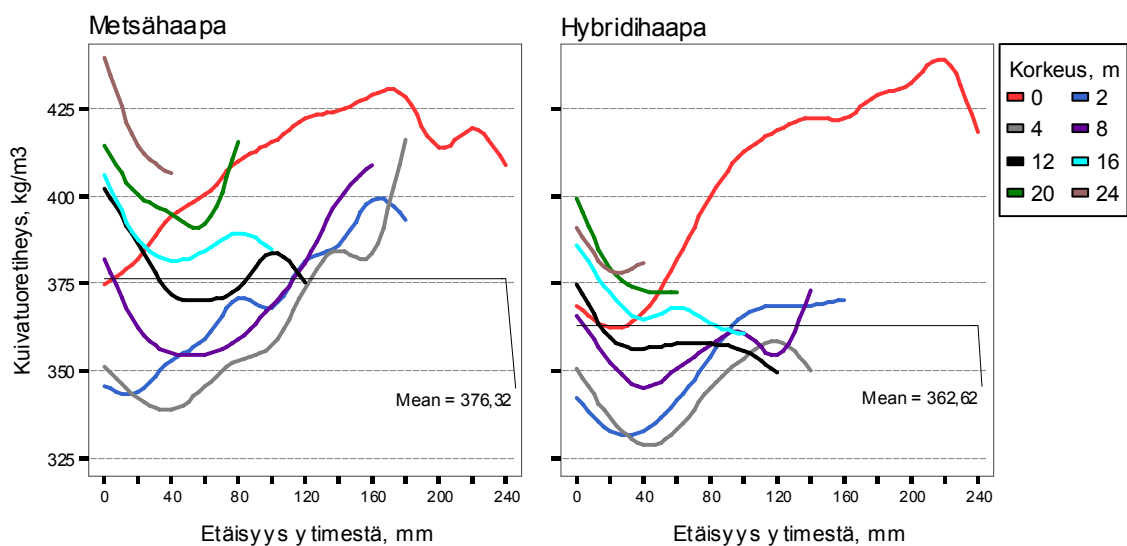
Kuva 40. Keskimääräinen vuosiluston leveys kahden metrin korkeudella vuosiluston ytimestä lasketun järjestysnumeron mukaan neljässä esimerkkimetsiköissä. Metsikkö 2 oli oletettavasti pääosin vesasyntyinen metsähaavikko, metsikkö 5 istutettu metsähaavikko, metsikkö 7 edellisen viereen istutettu hybridihaavikko ja metsikkö 9 vesasyntyinen hybridihaavikko.

3.6.2 Puuaineen kuivatuoretiheys

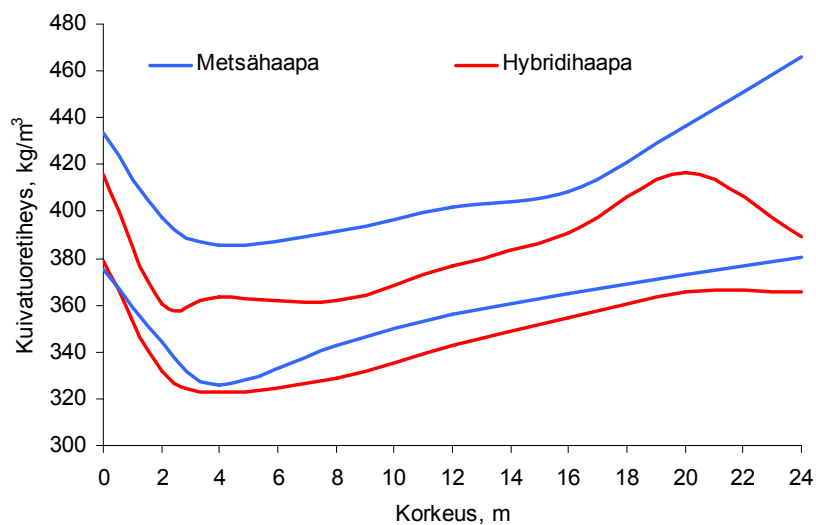
Keskimääräinen kuivatuoretiheys oli metsähaavalla 376 kg/m^3 ja hybridihaavalla 363 kg/m^3 . Ero oli tilastollisesti merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$). Vesisiloa tai väri- tai lahovikaa sisältäneiden puunäytteiden kuivatuoretiheys oli keskimäärin $1,6 \%$ (6 kg/m^3) alhaisempi kuin virheettömien puunäytteiden kuivatuoretiheys. Ero oli kuitenkin tilastollisesti merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$). Molempien haapalajien vesisiloisten ja väri- tai lahovikaisten näytteiden lukumäärät olivat suunnilleen yhtä suuret kuin virheettömien näytteiden lukumäärät, joten aineisto päätettiin analysoida runkotasolla yhtenä kokonaisuutena, erottelematta vikaisia ja virheettömiä näytteitä. Runkojen pohjois- ja eteläpuolilta mitattujen näytteiden välillä ei ollut tiheyseroa (t-testi $p = 0,480$), joten myös pohjois- ja eteläpuolten aineistot voitiin yhdistää runkotason tarkasteluissa.

Kuvassa 41 on esitetty metsä- ja hybridihaapojen puuaineen keskimääräiset kuivatuoretiheydet eri etäisyyksillä ytimestä ja eri korkeuksilla rungossa. Hybridihaavalla puuaine oli tasalaatuisempaa pääosin vähäisemmän korkeussuuntaisen tiheysvaihtelun takia, ja vaihtelu ytimen ja pinnan välillä oli myös jonkin verran vähäisempää kuin metsähaavalla. Tiheys oli molemmilla haapalajeilla alhaisin kullakin tarkastellulla korkeudella noin 2–6 cm:n etäisyydellä ytimestä. Alhaisimmat tiheydet olivat 2–6 metrin korkeudella, metsähaavoilla 340 kg/m^3 ja hybridihaavoilla 330 kg/m^3 . Yli 400 kg/m^3 :n tiheyshavaintoja oli kannon korkeudelta läheltä rungon pintaa sekä latvaosista ytimen vierestä. Jos havaintoja kannonkorkeudelta ei oteta huomioon juurenniskojen mahdollisten vaikutuksen takia, tiheyden vaihtelu oli suurinta 2–4 metrin korkeudella: metsähaavoilla noin 60 kg/m^3 ja hybridihaavoilla noin 40 kg/m^3 .

Kuvassa 42 on esitetty metsä- ja hybridihaapojen puuaineen kuivatuoretiheyden vaihteluväli metsiköiden välillä rungon korkeussuuntaisen sijainnin suhteen. Tiheys vaihteli voimakkaasti koemetsiköittäin, metsähaavoilla vaihteluväli oli esim. neljän metrin korkeudella $325\text{--}385 \text{ kg/m}^3$. Myös yksittäisten runkojen välinen tiheysvaihtelu oli suurta saman koemetsikön sisällä. Hybridihaavat olivat tässäkin suhteessa tiheydeltään metsähaapoja tasalaatuisempia. Tiheys oli keskimäärin korkein (metsä)haavikoissa 4 ja 1 (405 kg/m^3 ja 379 kg/m^3), ja alhaisin (hybridi)haavikoissa 10 ja 6 (347 kg/m^3 ja 358 kg/m^3). Puuaineen tiheyden vaihtelua voidaan selittää eroilla läpimitan kasvunopeudessa (kuvat 39 ja 40). Siten hitaasti kasvaneiden metsiköiden 1 ja 4 haapojen puuaineen tiheys oli myös keskimäärin korkein ja nopeimmin kasvaneiden metsiköiden 6 ja 10 haapojen puuaine oli vastaavasti keskimäärin alhaisin.



Kuva 41. Metsä- ja hybridihaavan puuaineen kuivatuoretiheys eri etäisyyksillä rungon ytimestä ja rungon eri korkeuksilla; metsähaapa: 2137 tiheysnäytettä 31 koepuusta, hybridihaapa 2972 tiheysnäytettä 44 koepuusta.



Kuva 42. Metsä- ja hybridihaavan kuivatuoretiheyden metsiköittäinen vaihteluväli rungon korkeuksittain.

3.7 Puuaineen ominaisuudet – kuivattu puutavara

3.7.1 Kosteuseläminen ja vesiabsorptio

Kosteusturpoama ja kuivauskutistuma

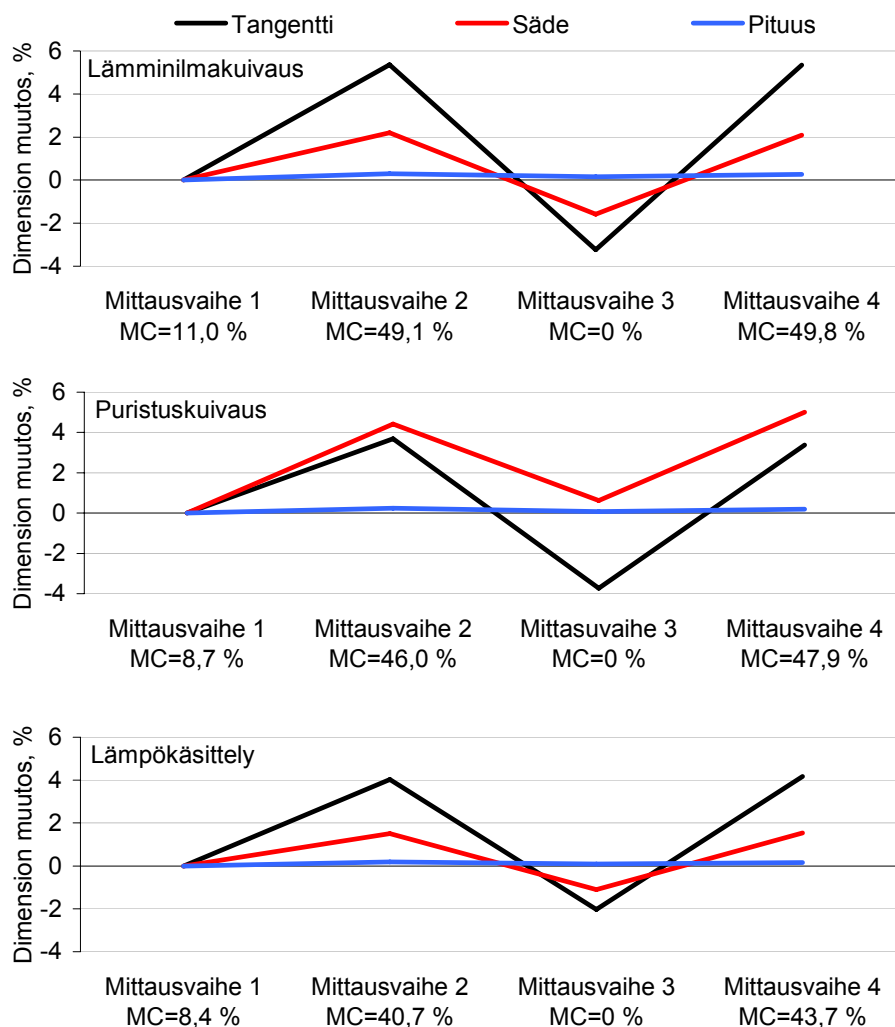
Metsä- ja hybridihaapojen erot puuaineen turpoamisessa ja kutistumisessa eli kosteuselämisessä olivat pieniä sekä puuaineen kolmessa pääsuunnassa että näytteiden tilavuudessa (taulukko 18). Lämminilmakuivattuja näytteitä tarkasteltaessa kosteusturpoama oli hybridihaavalla tangentin suunnassa kuitenkin merkittävästi suurempi kuin metsähaavalla (t-testi, $p = 0,027$). Hybridihaapanäytteiden kosteussuhde myös nousi samalla näytteiden liotusajalla 3–4 prosenttiyksikköä metsähaapanäytteiden kosteussuhdetta suuremmaksi. Ero oli myös merkittävä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000–0,008$). Kosteussuhteella ei kuitenkaan ollut vaikutusta turpoamaan, koska kaikkien näytteiden kosteussuhde ylitti puun syiden kyllästymispisteen, jonka jälkeen turpoamista ei enää tapahdu.

Taulukko 18. Eri menetelmillä kuivattujen näytteiden turpoaminen 7–12 prosentin kosteussuhteesta puun syiden kyllästymispisteeseen eri etäisyyksillä ytimestä. M = metsähaavat, H = hybridihaavat.

	Etäisyys ytimestä								
	0–35 mm			39–74 mm			78–113 mm		
Turpoama	M	H	Yht.	M	H	Yht.	M	H	Yht.
Lämminilmakuivaus									
Tangentti, %	4,5	5,0	4,7	5,3	5,6	5,5	5,6	6,0	5,8
Säde, %	2,4	2,3	2,3	2,0	2,3	2,1	2,0	2,2	2,1
Pituus, %	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Tilavuus, %	12,9	13,0	12,9	13,1	13,1	13,1	13,2	13,1	13,1
Puristuskuivaus									
Tangentti, %	3,6	3,2	3,4	3,7	3,7	3,7	3,9	4,1	4,0
Säde, %	4,0	4,6	4,3	4,5	4,1	4,3	5,4	4,0	4,7
Pituus, %	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2
Tilavuus, %	12,9	12,9	12,9	13,0	12,9	13,0	13,2	13,0	13,1
Lämpökäsittely									
Tangentti, %	2,5	2,9	2,7	4,3	4,0	4,2	4,9	4,6	4,7
Säde, %	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6
Pituus, %	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tilavuus, %	12,3	12,4	12,4	12,6	12,5	12,5	12,7	12,7	12,7

Eri menetelmillä kuivatun haavan puuaineen kosteuseläminen säteen, tangentin ja pituuden suunnassa uudelleen kostutuksen ja kuivauksen eri vaiheissa on esitetty kuvassa 43. Kaikki näytteet tasaannutettiin vakioilmastossa (lämpötila 20 ± 2 °C, ilman suhteellinen kosteus 65 ± 3 %) niin pitkään, ettei niiden massa enää muuttunut (mittausvaihe 1). Tämän jälkeen näytteet kasteltiin yli puunsyiden kyllästymispisteen (mittausvaihe 2), kuivattiin uunikuiviksi (mittausvaihe 3) ja kasteltiin uudelleen yli puunsyiden kyllästymispisteen (mittausvaihe 4). Kaikissa mittausvaiheissa määritettiin näytteiden dimensiot ja massa kutistuman/turpoaman ja kosteussuhteen määrittämiseksi. Lämpökäsitteltyjen ja puristuskuivattujen näytteiden

tasapainokosteus vakioilmastossa tasaannuttamisen jälkeen oli noin 2,5 prosenttiyksikköä lämminilmakuivattuja näytteitä pienempi.



Kuva 43. Eri menetelmillä kuivattujen näytteiden kosteusturpoama ja kuivauskutistuma. MC = näytteen kosteussuhde mittaushetkellä.

Mittausvaihe 1: vakioilmastossa ($T: 20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $MC: 65 \pm 3 \%$) tasaannutetut näytteet.

Mittausvaihe 2: kostutus vesiupotuksessa yli puun syiden kyllästymispisteen.

Mittausvaihe 3: kuivatus uunikuivaksi $103 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa.

Mittausvaihe 4: kostutus vesiupotuksessa yli puun syiden kyllästymispisteen.

Tangentin, säteen ja pituuden suuntaisissa turpoamisissa ei ollut merkitseviä eroja rungon latva- ja tyviosista valmistettujen näytteiden välillä (t-testi, $p = 0,074\text{--}0,822$). Näytteen etäisyys ytimestä vaikutti sen sijaan kostuselämiseen, vaikutus oli samansuuntainen kaikilla menetelmillä kuivatuissa näytteissä (taulukko 18). Kosteusturpoama oli tangentin suunnassa kaikissa tapauksissa sitä suurempi, mitä lähempää rungon pintaa näyte oli peräisin, ja vaikutus oli suurin lämpökäsitellyillä näytteillä. Läheltä rungon pintaa valmistetut näytteet myös imivät eniten vettä. Esimerkiksi lämminilmakuivatuista ydinsaheista valmistettujen näytteiden

keskimääräinen kosteussuhde mittausvaiheessa 2 oli 45,8 %, ja pintasaheista valmistettujen näytteiden kosteussuhde vastaavasti 53,7 %. Syynä eroon lienevät pintapuun elävät solut, jotka vettyvät nopeammin kuin kuolleet ytimen lähellä sijaitsevat ns. sydänpuun solut. Tilavuuden turpoama kohosi hyvin lievästi ytimestä pintaa kohti. Ero pintapuun ja ns. sydänpuun välillä oli metsähaavalla kuitenkin merkitsevä kaikilla kuivausmenetelmillä (t-testi, $p = 0,000-0,008$), mutta hybridihaavalla vain lämpökäsittelyllä (t-testi, $p = 0,004$).

Vaikka erot kuivausmenetelmien välillä olivat pieniä näytteiden dimensiomuutoksissa eri mittausvaiheissa, olivat ne tilastollisesti merkitseviä tangentin ja säteen suunnissa mutta eivät pituuden suunnassa. Lämpökäsiteltyjen näytteiden eläminen oli pienintä. Lämminilmakuivattujen näytteiden eläminen tangentin suunnassa vaihteli vakioilmastossa tasaannutettuun kosteustilaan suhteutettuna -3,2 prosentista +5,4 prosenttiin. Puristuskuivatuilla näytteillä vastaava vaihtelu oli -3,7 – +3,7 %. Säteen suuntainen vaihtelu oli lämminilmakuivatuilla näytteillä -1,6 – +2,2 % ja puristuskuivatuilla näytteillä 0 – 5,0 %.

Tangentin suuntainen turpoama mittausvaiheesta 1 mittausvaiheeseen 2 oli suurin lämminilmakuivatuilla näytteillä (5,4 %). Ero oli tilastollisesti merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$) sekä puristuskuivattuihin (3,7 %) että lämpökäsiteltyihin (4,0 %) näytteisiin verrattuna. Lämminilmakuivatut näytteet kutistuivat eniten myös mittausvaiheesta 2 mittausvaiheeseen 3, keskimäärin 8,6 %.

Säteen suuntainen turpoama mittausvaiheesta 1 mittausvaiheeseen 2 oli suurin puristuskuivatuilla näytteillä, 4,4 %. Ero oli tilastollisesti merkitsevä sekä lämminilmakuivattuihin (2,2 %) että lämpökäsiteltyihin (1,5 %) näytteisiin verrattuna (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$). Saheissa puristuskuivausprosessissa tapahtunut puristuminen säteen suunnassa näytti palautuvan kostumisen myötä. Kun kastellut näytteet kuivattiin edelleen uunikuiviksi, jäi puristuskuivattujen näytteiden paksuus säteen suunnassa 0,6 % suuremmaksi kuin paksuus, joka oli mitattu vakioilmastossa tasaannuttamisen jälkeen. Täten puristuskuivauksessa tapahtunut puun solujen muodonmuutos palautui alkutilanteeseen. Puristuskuivattujen näytteiden säteen suuntainen paksuus kasvoi edelleen vesiupotuksessa mittausvaiheesta 3 mittausvaiheeseen 4 mittausvaiheeseen 1 verrattuna. Muilla kuivausmenetelmillä ei havaittu eroja käsiteltyjen näytteiden säteen suuntaisessa paksuudessa mittausvaiheiden 2 ja 4 välillä.

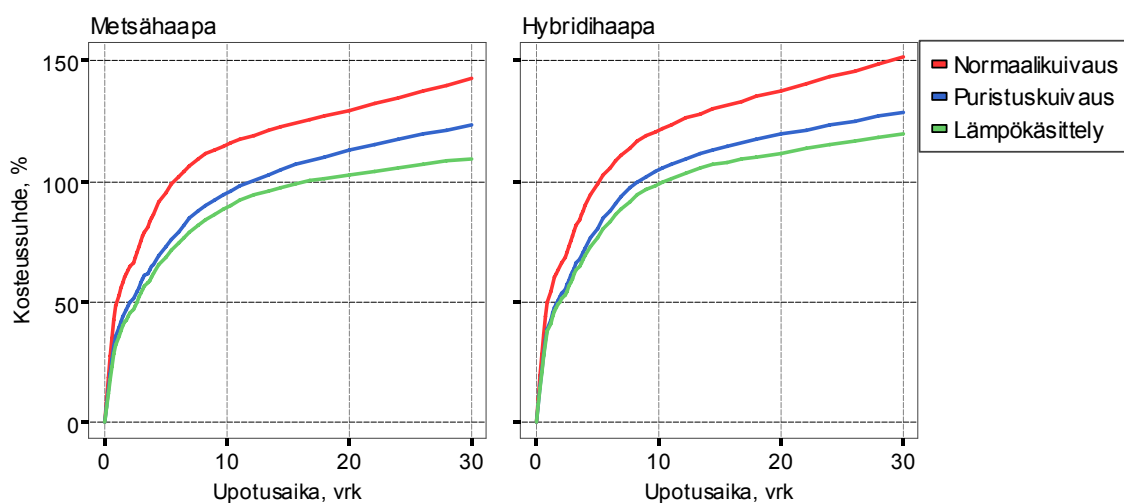
Pituuden suuntainen turpoama mittausvaiheesta 1 mittausvaiheeseen 2 oli suurin lämminilmakuivatuilla näytteillä (0,3 %) ja pienin lämpökäsittelyillä näytteillä (0,2 %). Lämpökäsittelyn ero muihin kuivausmenetelmiin nähden oli merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$).

Puristuskuivausprosessissa puuaineessa tapahtuneita muutoksia tarkasteltiin myös korrelaatioanalyysillä, kriteerinä Pearsonin korrelaatiokerroin. Tangentin ja säteen suuntaisten kosteusturpoamien välinen korrelaatio oli negatiivinen (-0,390) ja tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,000$). Täten puristuskuivauksessa paitsi pienennetään saheen paksuutta säteen suunnassa,

myös kasvatetaan saheen leveyttä tangentin suunnassa. Tällaisia kappaleita kasteltaessa palautuvat sekä säteen suuntainen ohentuminen että tangentin suuntainen leventyminen. Näin ollen, kun näytteitä kasteltiin, puristuskuivauksessa eniten muotoaan muuttaneet näytteet turposivat säteen suunnassa eniten ja vastaavasti palautuivat tangentin suunnassa selvimmin. Palautuminen ilmeni vähäisenä tangentin suuntaisena kosteusturpoamana, vaikka säteen suuntainen turpoama oli suuri.

Vesiabsorptio

Kuvassa 44 on esitetty eri menetelmillä kuivattujen metsä- ja hybridihaavan puuaineen näytteiden (100 x 100 x 32 mm) kosteussuhteen kehittyminen vesiupotuskokeessa. Lähtökohtana olivat uunikuiviksi kuivatut näytteet. Hybridihaavanäytteet vettyivät metsähaavanäytteitä jonkin verran nopeammin kuivausmenetelmästä riippumatta. Ero vettymisnopeudessa vastasi haapalajien keskimääräistä tiheyseroa. Näytteiden vesiabsorption erot kuivausmenetelmien välillä olivat odotetun kaltaiset eli lämpökäsitellyt näytteet vettyivät hitaimmin. Puristuskuivattujen näytteiden vettyiskäyrät olivat lähempänä lämpökäsiteltyjen kuin normaalikuivattujen näytteiden käyriä.



Kuva 44. Eri menetelmillä kuivattujen metsä- ja hybridihaavanäytteiden (100 x 100 x 32 mm) kosteussuhteen muutos 30 vuorokauden vesiupotuskokeessa.

3.7.2 Mekaaniset ominaisuudet

Taivutuslujuus ja -jäykkyys

Alun perin mitatuista 485 taivutusnäytteestä 67 näytteessä oli mahdollisesti kimmokertoimeen tai taivutuslujuuteen vaikuttavaa värivikaa tai ydinjuovaa. Tällaisia viallisia näytteitä oli sekä metsä- että hybridihaavoissa ja kaikissa eri kuivausmenetelmillä kuivatuissa näytteissä.

Viallisiksi tulkittujen näytteiden keskimääräinen taivutuslujuus oli 14,3 % ja kimmokerroin 15,0 % alhaisempi kuin virheettömien näytteiden keskimääräinen lujuus ja jäykkyys. Tämä siitä huolimatta, että viallisten ja virheettömien näytteiden keskimääräiset tiheydet eivät poikenneet toisistaan. Värikkäiset näytteet suljettiin pois seuraavassa esitettävien tulosten analysoinnista ja raportoinnista.

Taulukossa 19 on esitetty eri menetelmillä kuivatuista metsä- ja hybridihaavan saheista tutkittujen näytteiden keskimääräiset taivutuslujuudet, kimmokertoimet, tiheydet mittauskosteudessa ja vuosilustojen lukumäärät eri etäisyyksillä ytimestä. Keskimääräinen taivutuslujuus oli korkein puristuskuivatuissa näytteissä, 79,9 MPa, ja ero oli merkitsevä sekä lämminilmakuivattuihin että lämpökäsitelyihin näytteisiin verrattuna (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$). Taivutuslujuus oli lämpökäsitellyillä näytteillä lisäksi merkitsevästi ($p = 0,002$) alempi kuin lämminilmakuivatuilla näytteillä (61,8 MPa vs. 69,4 MPa). Toisaalta lämpökäsitelyjen näytteiden keskimääräinen kimmokerroin oli merkitsevästi ($p = 0,011$) lämminilmakuivattuja näytteitä korkeampi (13,2 GPa vs. 12,3 GPa). Kimmokerroin oli korkein puristuskuivatuissa näytteissä (13,3 GPa), mutta ero lämpökäsitelyihin näytteisiin verrattuna ei ollut merkitsevä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,915$). Vaikka puristuskuivattujen näytteiden keskimääräinen taivutuslujuus oli korkein, oli niiden tiheys vain 1,5 % korkeampi kuin lämminilmakuivattujen tai lämpökäsitelyjen näytteiden tiheys; ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Puristuskuivatuissa näytteissä oli kuitenkin tiheämmässä vuosilustoja (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,016-0,019$) kuin muilla menetelmillä kuivatuissa näytteissä.

Taivutuslujuuden keskihajonta oli pienin lämminilmakuivatuissa näytteissä (12 %) ja suurin lämpökäsitellyissä näytteissä (31 %). Kimmokertoimen keskihajonta vaihteli välillä 14–19 %. Haapalajien välillä ei ollut eroja taivutuslujuuden eikä myöskään kimmokertoimen keskihajonnassa.

Näytteen sijainnilla rungon korkeussuunnassa ei ollut tilastollista vaikutusta taivutuslujuuteen tai kimmokertoimeen minkään kuivausmenetelmän osalta (t-testi, $p = 0,277-0,926$). Taivutuslujuus sen sijaan kasvoi lämminilmakuivatuissa näytteissä keskimäärin 19 %, puristuskuivatuissa näytteissä 28 % ja lämpökäsitellyissä näytteissä jopa 85 % ytimen viereisten saheiden näytteistä lähelle tukin pintaa. Kimmokertoimet kasvoivat vastaavasti lämminilmakuivatuissa näytteissä 25 %, puristuskuivatuissa näytteissä 23 % ja lämpökäsitellyissä näytteissä 20 %. Taivutusominaisuuksien kasvu ytimestä pintaan päin noudatti puuaineen tiheyden kasvua ja välillisesti myös vuosilustojen leveyden pienenemistä. Taivutuslujuuden, kimmokertoimen, tiheyden ja näytteessä olleiden vuosilustojen lukumäärän kasvu ytimen viereisistä näytteistä lähellä pintaa olleisiin näytteisiin oli merkitsevä kaikkia eri kuivausmenetelmiä koskeneilla näytteillä (t-testi, $p = 0,000-0,050$). Puuaineen tiheys ja vuosiluston leveys eivät silti selitä kokonaan lämpökäsitellyn puun näytteiden lujuuden hyvin suurta kasvua rungon pintaa kohti.

Metsähaapanäytteiden taivutuslujuus ja kimmokerroin olivat kaikilla kuivausmenetelmillä hybridihaapanäytteitä korkeammat. Erot olivat merkitseviä (t-testi, $p = 0,000$) lukuun ottamatta

lämmenilmakuivattujen näytteiden kimmokerrointa ($p = 0,119$) ja lämpökäsiteltyjen näytteiden taivutuslujuutta ($p = 0,060$). Eroa metsähaapanäytteiden eduksi selittää se, että metsähaapanäytteiden puuaineen keskimääräinen tiheys oli merkitsevästi suurempi ja vuosilustojen leveys merkitsevästi pienempi (t-testit, $p = 0,000$), lämmenilmakuivattuja näytteitä lukuun ottamatta.

Taulukko 19. Eri kuivausmenetelmillä kuivattujen näytteiden keskimääräiset taivutuslujuudet (MOR), kimmokertoimet (MOE), tiheydet mittauskosteudessa (Tiheys) ja vuosilustojen lukumäärät 20 mm:n paksuisessa näytteessä (Lustoja) haapalajeittain ja eri etäisyyksillä ytimestä. M = metsähaavat, H = hybridihaavat.

Tunnus	Etäisyys ytimestä, mm											
	0-35			39-74			74-113			Keskimäärin		
	M	H	Yht.	M	H	Yht.	M	H	Yht.	M	H	Yht.
Lämmenilmakuivaus												
MOR, MPa	60,3	62,9	62,2	71,2	67,1	68,9	75,3	72,9	74,0	71,5	68,0	69,4
MOE, GPa	9,86	10,8	10,6	12,3	12,2	12,2	13,9	12,7	13,2	12,6	12,0	12,3
Tiheys,	388	413	406	415	416	416	436	441	439	420	423	422
Lustoja	4,8	3,2	3,6	4,9	3,6	4,2	6,8	4,5	5,5	5,6	3,8	4,5
Puristuskuivaus												
MOR, MPa	71,1	65,6	68,2	84,4	77,4	80	90,1	85,3	87,2	83	77,7	79,9
MOE, GPa	12,1	11,2	11,6	13,9	12,9	13,2	15,3	13,7	14,3	13,9	12,8	13,3
Tiheys,	423	415	419	452	411	426	469	422	441	450	415	429
Lustoja	5,0	3,8	4,4	5,9	4,4	4,9	5,8	4,7	5,1	5,6	4,4	4,9
Lämpökäsittely												
MOR, MPa	40,5	41,2	40,9	64,1	54,7	58,9	77	74,1	75,6	65,4	58,7	61,8
MOR, GPa	12,6	11,2	11,8	13,8	12,2	12,9	15,2	13,1	14,2	14,2	12,3	13,2
Tiheys,	414	392	401	438	394	414	454	423	439	441	404	421
Lustoja	4,4	3,4	3,8	4,8	3,6	4,2	5,5	4,4	5,0	5,0	3,9	4,4

Puristuslujuus

Alun perin mitatuista 972 puristuslujuusnäytteestä 97 näytteessä oli mahdollisesti puristuslujuuteen vaikuttavaa värivikaa tai ydinjuovaa. Viallisiksi tulkituissa näytteissä säteen suuntainen puristuslujuus suhteellisuusrajalla oli keskimäärin 10 % alhaisempi ja pituuden suuntainen puristuslujuus murtorajalla keskimäärin 12 % alhaisempi kuin virheettömissä näytteissä. Vialliset näytteet suljettiin pois seuraavassa esitettävien tulosten analysoinnista ja raportoinnista.

Eri menetelmillä kuivattujen näytteiden puristuslujuuden eroja tarkasteltaessa on syytä huomata, että näytteiden kosteussuhde mittaushetkellä vaihteli kuivausmenetelmittäin. Puristuslujuusnäytteistä ei voitu määrittää kosteussuhdetta mittauksen jälkeen kuivattamalla, koska näytteet vahingoittuivat mittauksessa. Näytteet oli kuitenkin tasaannutettua vakioilmastossa niin kauan, että niiden massa ei enää muuttunut. Jos oletetaan, että puristuslujuusnäytteet olivat tasaantuneet samaan kosteussuhteeseen kuin muutkin tämän

tutkimuksen aineistot samoissa ilmasto-olosuhteissa, oli keskimääräinen kosteussuhde mittaushetkellä lämminilma- ja kuivatuissa näytteissä noin 11–12 % sekä puristuskuivatuissa ja lämpökäsitellyissä näytteissä noin 8–9 %. Puristuskuivattuja ja lämpökäsiteltyjä näytteitä olisi pitänyt tasaannuttaa 20–30 prosenttiyksikköä korkeammassa ilmankosteudessa, jotta olisi päädytty samaan kosteussuhteeseen kuin lämminilma- ja kuivatuilla näytteillä. Lisääntyvä kosteus heikentää puun mekaanisia ominaisuuksia, joten tämän tutkimuksen tulokset puristuskuivatun ja lämpökäsitellyn haapapuun puristuslujuudesta ovat yliarvioita suhteessa lämminilma- ja kuivattuun haapapuuhun. Toisaalta käytännön kannalta lienee kiinnostavampaa, miten eri menetelmillä kuivattujen näytteiden ominaisuudet eroavat toisistaan identtisissä ympäristöolosuhteissa kuin se, mikä olisi ominaisuuksien ero jos kappaleiden kosteussuhde olisi sama.

Taulukossa 20 on esitetty eri menetelmillä kuivatuista metsä- ja hybridihaapanäytteiden säteen ja pituuden suuntaiset puristuslujuudet, tiheydet oletetussa mittauskosteudessa, vuosilustojen lukumäärät ja käytetty puristusaika eri etäisyyksillä ytimeistä. Lujuus säteen suuntaisessa puristuksessa oli suurin lämpökäsitellyn puun näytteillä. Toisaalta lämpökäsitellyillä näytteillä saavutettiin suhteellisuusraja jännityksen kasvaessa myös lyhimmissä ajassa. Lämpökäsitelty haapapuu oli siis joustamatonta tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen solukko antoi periksi kerralla. – Tällainen käyttäytyminen on ominaista hauraille materiaaleille, esim. keraameille ja betonille.

Lämpökäsiteltyjen näytteiden säteen suuntainen puristuslujuus suhteellisuurajalla (5,27 MPa) oli merkittävästi (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$) korkeampi kuin lämminilma- ja kuivattujen näytteiden (4,67 MPa) ja puristuskuivattujen näytteiden (4,87 MPa) puristuslujuus. Puristus- ja lämminilma- ja kuivatun puun säteen suuntaisissa puristuslujuuksissa ei ollut eroa (t-testi, $p = 0,159$). Puristuskuivattujen näytteiden puristamisaika säteen suuntaisessa, vakionopeudella tehdyssä puristuskokeessa oli hieman pidempi kuin muiden näytteiden: puristuskuivatut näytteet puristuivat siis eniten ennen solukon romahtamista. Tulos oli yllättävä. Yhtäältä on mahdollista, että puristuskuivatut näytteet olisivat kestäneet eniten säteen suuntaista puristamista, mikäli sitä olisi jatkettu pidempään. Toisaalta voidaan olettaa, että lämpökäsitellyt näytteet olisivat murtuneet jatkatussa puristuksessa helposti.

Näytteiden säteen suuntaisen puristuslujuuden keskihajonta vaihteli välillä 17–23 %. Hajonta oli pienin lämminilma- ja kuivatuissa näytteissä (17–19 %) ja suurin lämpökäsitellyissä näytteissä (22–23 %). Hajonnoissa ei ollut eroja haapalajien välillä.

Taulukko 20. Eri menetelmillä kuivattujen kappaleiden säteen ja pituuden suuntainen puristuslujuus, tiheys mittauskosteudessa ja vuosilustojen lukumäärä haapalajeittain ja eri etäisyyksillä ytimestä. M = metsähaavat, H = hybridihaavat. Puristusajat säteen suuntaisessa puristuksessa 15,5–20,6 s ja syiden suuntaisessa puristuksessa 49,1–91,8 s. Puristuslujuus säteen suunnassa suhteellisuusrajalla, pituuden suunnassa absoluuttisena.

Tunnus	Etäisyys ytimestä, mm											
	0-34			37-74			78-113			Keskimäärin		
	M	H	Yht.	M	H	Yht.	M	H	Yht.	M	H	Yht.
Puristuslujuus, MPa	Lämminilmakuivaus											
Säteen suunta	3,9	4,2	4,1	4,9	4,6	4,7	5,2	4,9	5,0	4,8	4,6	4,7
Pituuden suunta	33,1	32,4	32,6	36,2	35,4	35,7	38,3	35,8	36,9	36,6	34,9	35,6
Tiheys, kg/m ³	390	414	405	410	417	414	439	437	438	417	422	420
Lustoja / 20 mm	4,3	2,8	3,3	5,0	3,6	4,2	7,3	4,7	5,9	5,7	3,7	4,5
Puristuslujuus, MPa	Puristukuivaus											
Säteen suunta	4,4	4,1	4,2	5,0	4,8	4,8	5,6	5,3	5,4	5,0	4,8	4,9
Pituuden suunta	42,9	39	40,7	45,4	43,4	44,2	47,2	44,3	45,5	45,4	42,8	43,9
Tiheys, kg/m ³	419	400	408	444	420	429	464	448	455	445	424	432
Lustoja / 20 mm	5,0	3,4	4,1	6,2	4,6	5,2	6,0	5,1	5,5	5,8	4,5	5,0
Puristuslujuus, MPa	Lämpökäsittely											
Säteen suunta	4,6	4,4	4,5	5,3	5,0	5,1	5,8	5,9	5,9	5,4	5,2	5,3
Pituuden suunta	40,9	38,3	39,5	44,9	38,8	41,4	45,6	44,1	44,9	44,4	40,6	42,4
Tiheys, kg/m ³	416	383	399	433	394	412	457	427	442	439	404	421
Lustoja / 20 mm	4,2	3,4	3,8	4,8	3,7	4,2	5,5	4,7	5,1	5,0	4,0	4,5

Suurin pituuden suuntainen puristusjännitys ennen näytteen murtumista oli puristukuivatuissa näytteissä, keskimäärin 43,9 MPa. Puristukuivattujen näytteiden murtumiseen vaadittu aika oli myös keskimäärin pienin (58 s); puu oli siis lujaa mutta toisaalta joustamatonta. Lämpökäsittelyjen näytteiden pituuden suuntainen puristuslujuus oli 42,4 MPa; ero puristukuivattuun puuhun oli vain suuntaa antava (t-testi, $p = 0,056$). Lämminilmakuivattujen näytteiden puristusaika oli pisin (82 s) ja keskimääräinen pituuden suuntainen puristuslujuus alhaisin, 35,6 MPa. Ero puristukuivattuun ja lämpökäsittelyyn puuhun oli merkitsevä (t-testi, $p = 0,000$). Puuaineen korkea tiheys (432 kg/m³) ja tiheät vuosilustot (5 kpl/20 mm) selittivät puristukuivattujen näytteiden pituuden suuntaista puristuslujuutta paremmin kuin säteen suuntaista puristuslujuutta, jonka suhteen lämpökäsittelyt näytteet olivat alhaisemmasta tiheydestä ja suuremmasta vuosiluston leveydestä huolimatta keskimäärin lujimpia. Näytteiden pituuden suuntaisen puristuslujuuden keskihajonta vaihteli välillä 8–18 %. Keskihajonta ei riippunut haapalajista tai kuivausmenetelmästä.

Näytteen etäisyydellä ytimestä oli vaikutusta sekä säteen suuntaiseen että pituuden suuntaiseen puristuslujuuteen. Säteen suuntainen puristuslujuus kasvoi keskimäärin 20–30 % ytimen viereisistä näytteistä yli 75 mm:n etäisyydelle, vähiten lämminilmakuivatuilla näytteillä ja eniten lämpökäsittelyillä näytteillä. Pituuden suuntainen puristuslujuus kasvoi vastaavalla säteen matkalla 12–13 % kaikkia kuivausmenetelmiä edustaneilla näytteillä. Mekaanisia

ominaisuuksia selittävä tiheys kasvoi vastaavasti 8–11 % ja vuosilustojen lukumäärä säteen pituusyksikköä kohden 33–75 %. Säteen ja pituuden suuntaisen puristuslujuuden, tiheyden ja vuosilustojen lukumäärän kasvu ytimeistä pintaan olivat kaikki merkitseviä (t-testi, $p = 0,000–0,002$).

Metsähaapanäytteiden säteen suuntainen puristuslujuus suhteellisuusrajalla oli keskimäärin hieman hybridihaapanäytteitä korkeampi, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä millään kuivausmenetelmällä (t-testi, $p = 0,144–0,336$). Toisaalta pituuden suuntainen puristuslujuus oli metsähaapanäytteillä kuivausmenetelmästä riippumatta merkitsevästi korkeampi kuin hybridihaapanäytteillä ($p = 0,000–0,028$). Metsähaapanäytteissä oli kuitenkin merkitsevästi enemmän vuosilustoja kuin hybridihaapanäytteissä ($p = 0,000$). Lisäksi lämpökäsiteltyjen metsähaapanäytteiden keskimääräinen tiheys oli merkitsevästi hybridihaapanäytteiden tiheyttä korkeampi ($p = 0,000$). Hybridihaavan hieman metsähaapaa alhaisemmat puristuslujuudet johtuivat luultavasti sekä alhaisemmasta keskimääräisestä tiheydestä että pienemmästä vuosilustojen lukumäärästä näytteissä. Haapalajien ero oli selvempi pituuden suuntaisessa puristuslujuudessa, joka korreloi puuaineen tiheyden kanssa paremmin ($r = 0,697$) kuin vuosilustojen lukumäärän kanssa ($r = 0,313$).

Brinell-kovuus

Brinell-kovuutta standardin EN 1534 mukaan määritettäessä mitataan vakiovoimalla näytteeseen painetun kuulun jättämän kuoppamaisen jäljen läpimitta kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. Pinnan kovuusarvo lasketaan näytteeseen jääneen jäljen pinta-alan perusteella. Jäljen läpimittaa oli vaikea mitata tarkasti syysuunnassa etenkin lämminilmakuivatuista ja puristuskuivatuista näytteistä, koska puuaine painui kokeessa myös kuulun viereltä. Vaikka kuula ei myöskään uponnut puristuskuivattuihin ja lämpökäsiteltyihin näytteisiin yhtä syväälle kuin lämminilmakuivattuihin, Brinell-kovuuden arvo oli ensin mainituissa tapauksissa pienempi. Syynä saattoi olla lämminilmakuivattujen näytteiden puuaineen palautuminen välittömästi kuulun ylös nostamisen jälkeen, jolloin kuulun jäljen läpimitat olivat pienemmät ja kovuusarvot vastaavasti oletettua suuremmat. Tämä palautumisilmiö pyritään ottamaan huomioon standardissa EN 1534 siten, että kuulun jäljen läpimitat kehoitetaan mittaamaan vasta noin yhden minuutin kuluttua kuormituksen päättymisestä. Tässä tutkimuksessa haluttiin kuitenkin vertailla ensisijaisesti eri kuivauskäsittelyitä eikä niinkään oltu kiinnostuneita puuaineen elastisesta palautumisesta kuulalla aiheutetun kuormituksen jälkeen.

Mittaukseen liittyvien epävarmuustekijöiden vuoksi standardin EN 1534 mukaisesti laskettu Brinell-kovuus katsottiin lopulta huonoksi tavaksi tarkastella puuaineen pinnan kovuutta tässä aineistossa. Jatkossa esitettävät Brinell-kovuuden arvot on laskettu tästä syystä mittalaitteen määrittämän kuulun uppouman syvyyden perusteella. Tämä laskentatapa ei ota huomioon puun anisotropiaa eli ominaisuuksien vaihtelua eri suunnissa ts. kuulun jäljen epäpyöreyttä mittauspinnassa, eikä myöskään sitä, että kuulun jälki palautuu elastisessa puumateriaalissa

nopeasti, mutta säilyy plastisessa materiaalissa pitkään muuttumattomana. Eri kuivausmenetelmillä käsitellyjä materiaaleja koskevien tulosten vertailtavuuden kannalta valittu menetelmä antaa kuitenkin objektiivisemmän kuvan pinnan kovuudesta kuin kuopan läpimittojen perusteella laskettaessa.

Eri menetelmillä kuivatuista saheista valmistettujen näytteiden keskimääräiset Brinell-kovuudet on esitetty haapalajeittain taulukossa 21. Kovuuden eroja selittää kuivausmenetelmän lisäksi myös kosteusuhde, joka oli mittaushetkellä lämminilmakuivatuilla näytteillä keskimäärin 12,2 %, puristuskuivatuilla 8,7 % ja lämpökäsitellyillä 8,9 %. Kaikki näytteet oli tasaannutettu vakioilmasto-olosuhteissa. Kovuustesteissä nimellispuristusvoima oli standardin EN 1534 mukainen 1 kN (toteutunut keskimäärin 1,01 kN).

Puristuskuivattujen näytteiden Brinell-kovuus oli keskimäärin 16,81 MPa, joka oli n. 2,5 MPa suurempi kuin muilla kuivausmenetelmillä. Ero oli tilastollisesti merkitsevä (t-testi, $p = 0,000-0,001$). Lämminilmakuivattujen ja lämpökäsiteltyjen näytteiden välillä ei ollut eroa ($p = 0,965$). Puristuskuivattujen näytteiden muita suurempi kovuus ei johtunut ainoastaan kuivausmenetelmän aiheuttamasta mekaanisesta puristuksesta, jonka seurauksena näytteen pinnan tiheys oli kasvanut, vaan myös puristuskuivattujen näytteiden muita alhaisemmasta kosteusuhdesta mittaushetkellä.

Puristuskuivattujen näytteiden tiheys mittauskosteudessa oli keskimäärin 441 kg/m³ eli suurempi kuin lämminilmakuivattujen (429 kg/m³) ja lämpökäsiteltyjen (427 kg/m³) näytteiden. Tiheyden ja Brinell-kovuuden välinen korrelaatio oli 0,523 ja merkitsevä yhden prosentin riskitasolla. Kovuuden keskihajonta vaihteli haapalajista ja kuivausmenetelmästä riippuen välillä 28–41 %. Kovuuden keskihajonta oli suurin puristuskuivatuissa näytteissä, ja hybridihaapanäytteissä systemaattisesti suurempi kuin metsähaapanäytteissä. Vaikka lämpökäsiteltyjen näytteiden keskimääräinen kosteusuhde oli lähellä puristuskuivattujen näytteiden kosteusuhdetta, oli niiden kovuus selvästi alhaisempi, itse asiassa samaa luokkaa lämminilmakuivattujen näytteiden kanssa.

Rungon latva- ja tyviosista mitattujen näytteiden Brinell-kovuuksissa ei ollut eroa vakioetäisyydellä ytimestä (t-testi, $p = 0,417$). Etäisyys ytimestä vaikutti sen sijaan merkitsevästi kovuuteen lämminilma- ja puristuskuivatuissa näytteissä ($p = 0,000-0,028$). Kovuus kasvoi ytimen viereisistä näytteistä pintaa kohti lämminilmakuivatuissa näytteissä keskimäärin 35 %, puristuskuivatuissa näytteissä 27 % ja lämpökäsitellyissä näytteissä 16 %. Myös keskimääräinen tiheys kasvoi jonkin verran, lämminilmakuivatuissa näytteissä eniten, 7,3 %. Brinell-kovuuden ja tiheyden välinen korrelaatio ei kuitenkaan ollut systemaattisesti positiivinen. Muutamien puristuskuivattujen ja lämpökäsiteltyjen hybridihaapanäytteiden kovuus kasvoi ytimen viereisestä sahekerroksesta pintaa kohti, vaikka samalla keskimääräinen tiheys hieman aleni.

Lämminilmakuivattujen metsähaapanäytteiden Brinell-kovuus (15,0 MPa) oli keskimäärin suurempi kuin hybridihaapanäytteiden (14,1 MPa), mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä

(t-testi, $p = 0,223$). Haapalajien väliset erot olivat suurempia puristuskuivatuissa ja lämpökäsitellyissä näytteissä. Puristuskuivattujen metsä- ja hybridihaapanäytteiden kovuudet oli keskimäärin 18,56 ja 15,52 MPa ja lämpökäsiteltyjen metsä- ja hybridihaapanäytteiden kovuudet 15,84 ja 13,32 MPa. Puristuskuivattujen ja lämpökäsiteltyjen näytteiden kovuudet erosivat haapalajien välillä merkitsevästi (t-testi, $p = 0,005$ ja $0,001$).

Taulukko 21. Eri menetelmillä kuivattujen näytteiden (N = 494) Brinell-kovuus ja tiheys haapalajeittain eri etäisyyksillä ytimestä. M=metsähaapa, H=hybridihaapa.

Mittauspinnan etäisyys ytimestä	Brinell-kovuus, MPa			Tiheys mittauskosteudessa, kg/m ³		
	M	H	Yht.	M	H	Yht.
	Lämminilmakuivaus					
35 mm	13,11	11,71	12,20	406,7	417,1	413,5
74 mm	15,34	14,93	15,10	430,3	432,9	431,8
113 mm	16,35	16,67	16,52	449,1	439,4	444,0
<i>Keskimäärin</i>	<i>15,01</i>	<i>14,15</i>	14,50	<i>429,2</i>	<i>428,6</i>	428,9
	Puristuskuivaus					
35 mm	17,13	13,06	14,92	462,2	426,6	443,0
74 mm	18,46	16,26	17,13	466,7	418,2	437,4
113 mm	21,00	17,41	18,93	472,0	427,5	446,4
<i>Keskimäärin</i>	<i>18,56</i>	<i>15,52</i>	16,81	<i>466,3</i>	<i>423,0</i>	441,3
	Lämpökäsittely					
35 mm	16,03	11,72	13,68	444,5	411,7	426,6
74 mm	15,64	12,57	14,05	422,2	409,9	415,8
113 mm	15,92	15,92	15,92	459,5	426,1	442,8
<i>Keskimäärin</i>	<i>15,84</i>	<i>13,32</i>	14,53	<i>440,3</i>	<i>415,3</i>	427,3

3.7.3 Haavan liimattavuus ja sormisaumojen taivutuslujuus

Lämminilmakuivattujen liimauskoelempaleiden kosteussuhde oli liimasaumojen valmistushetkellä noin 8,7 % ja puristuskuivattujen ja lämpökäsiteltyjen koelempaleiden kosteussuhde vastaavasti noin 7,0 %. Taulukossa 22 on esitetty sormisaumojen taivutusmurtolujuudet kolmipistetaivutuksessa liimatyypeittäin ja kuivausmenetelmittäin absoluuttisina (mitattu taivutuslujuus) ja suhteellisina arvoina (sauman taivutuslujuus prosentteina saumattoman puun lujuudesta).

Sormisauman suhteellinen taivutuslujuus oli vakioilmasto-oloissa tasaannutetuissa näytteissä ("kuivat koelempaleet") korkeintaan 70 % saumattoman koelempaleen lujuudesta. Keskimäärin sormisaumat aukesivat tai murtuivat noin 40 % pienemmällä voimalla kuin saumattomat koelempaleet. Kiilto Oy:n liimat TL, D3 ja D404 muodostivat kuivissa koelempaleissa lujimmat saumat; taivutuslujuus oli keskimäärin 66 % saumattoman koelempaleen lujuudesta eikä saumojen lujuudessa ollut tilastollisesti merkitseviä eroja näiden liimojen välillä (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,465-0,767$). Näillä liimoilla lämpökäsiteltyjen koelempaleiden sormisaumat olivat

absoluuttiselta taivutuslujuudeltaan merkitsevästi heikompia ($p = 0,000$) kuin lämminilma- tai puristuskuivattujen koekappaleiden saumat.

Kantaviin rakenteisiin ja erityisesti kosteisiin olosuhteisiin tarkoitettujen liimat Akzo Nobel 1250 ja 1711 sekä Dynean Dynomel muodostivat kuivissa koekappaleissa sekä absoluuttisesti että suhteellisesti heikoimmat saumat. Saumojen suhteelliset murtolujuudet olivat Kiillon TL, D3 ja D404 liimojen saumoihin verrattuna merkitsevästi pienemmät (Mann-Whitneyn U-testi, $p = 0,000$). Akzo Nobelin 1250, 1711 ja Dynean Dynomel -liimojen välillä ei ollut merkitsevää eroa absoluuttisessa lujuudessa missään kuivausmenetelmässä ($p = 0,097$). Puristuskuivattujen koekappaleiden sormisaumat olivat kuitenkin suhteelliselta taivutuslujuudeltaan muita kuivausmenetelmiä heikompia Akzo Nobel 1250, 1711 sekä Dynean Dynomel liimoja käytettäessä ($p = 0,000$).

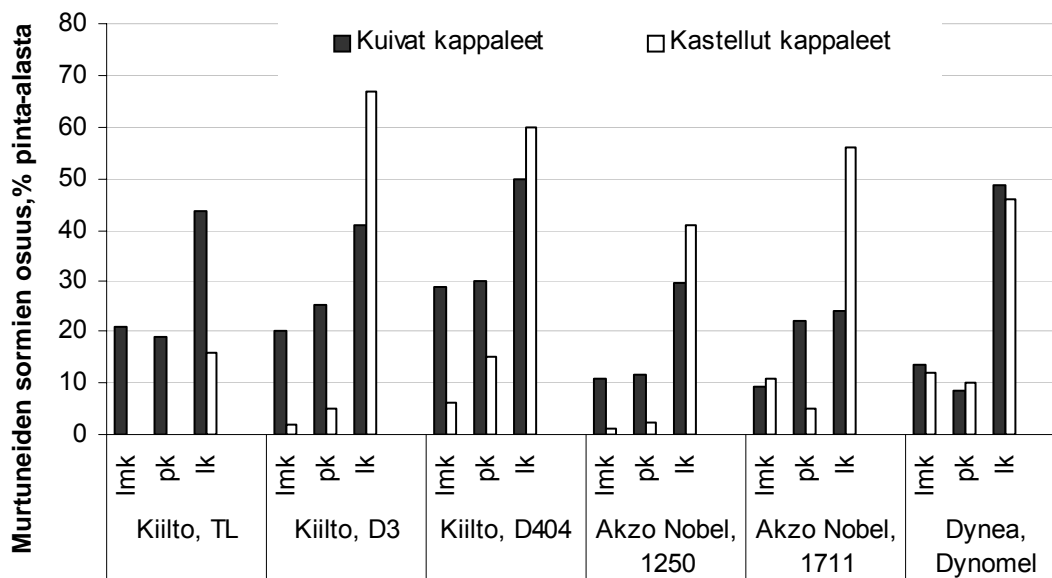
Kasteltujen koekappaleiden saumat olivat absoluuttiselta lujuudeltaan heikompia kuin kuivien kappaleiden ($p = 0,000$). Kiilto Oy:n kuiviin käyttökohteisiin tarkoitettujen liimojen TL ja D3 saumat olivat myös suhteelliselta lujuudeltaan kuivien koekappaleiden saumojen heikompia. Lämminilma- ja puristuskuivatuissa koekappaleissa myös Kiilto Oy:n vettä kestävä liima D404 muodosti kosteiden koekappaleiden kohdalla kuivia heikomman sauman. Vettä kestävät Akzo Nobel 1250 ja 1711 sekä Dynean Dynomel muodostivat puolestaan lujempia saumat kasteluissa kuin kuivissa koekappaleissa. Suhteutettuna saumattomien koekappaleiden taivutuslujuuteen, em. liimoilla liitetyt sormisaumat olivat merkitsevästi lujempia ($p = 0,000$) kuin Kiilto Oy:n kuiviin käyttökohteisiin tarkoitetuilla TL- ja D3-liimoilla liitetyt sormisaumat, jotka puolestaan toimivat kuivalla puulla hyvin. Kasteluissa koekappaleissa kaikki liimat toimivat parhaiten lämpökäsitellyssä puussa, ts. liimasauman lujuus oli lähimpänä saumattoman puun lujuutta. Tosin lämpökäsitellyt koekappaleet eivät imeneet vettä kahden vuorokauden upotuksen aikana yhtä paljon kuin lämminilma- ja puristuskuivatut koekappaleet. Sormisauman suhteelliseen murtolujuuteen tämän ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa. Niinpä sormijatkettujen lämpökäsiteltyjen koekappaleiden taivutuslujuus ei heikentynyt veden vaikutuksesta yhtä paljoa kuin saumattomien koekappaleiden lujuus. Ilmeisesti liima muodosti lämpökäsitellyn puusolukon kanssa huonosti vettä läpäisevän kerroksen, ja sauma pysyi kuivempana ehjään puuhun verrattuna. Muilla kuivausmenetelmillä vastaavaa ei havaittu.

Taulukko 22. Haapapuusta eri kuivausmenetelmillä ja eri liimoilla valmistettujen koekappaleiden sormisaumojen absoluuttiset (mitatut) ja suhteelliset (prosenttia saumattoman koekappaleen lujuudesta) murtolujuudet, sekä murtuneiden sormien osuus poikkileikkauksen pinta-alasta vakioilmastossa tasaannutetuilla ja kastelluilla koekappaleilla.

Liima Kuivausmenetelmä	Kuivat koekappaleet			Kastellut koekappaleet		
	Taivutuslujuus MPa	% ehjästä	Murtuneita Sormia, %	Taivutuslujuus MPa	% ehjästä	Murtuneita sormia, %
Kiilto, TL						
Lämminilmakuivaus	49,4	68	21	16,0	36	0
Puristuskuivaus	50,1	64	19	19,8	34	0
Lämpökäsittely	35,8	70	44	23,8	49	16
Kiilto, D3						
Lämminilmakuivaus	52,2	70	20	24,4	40	2
Puristuskuivaus	49,1	64	25	21,4	44	5
Lämpökäsittely	38,0	59	41	24,3	72	67
Kiilto, D404						
Lämminilmakuivaus	51,0	69	28	27,7	51	6
Puristuskuivaus	51,6	68	30	27,6	53	15
Lämpökäsittely	39,0	62	50	25,3	67	60
Akzo Nobel, 1250						
Lämminilmakuivaus	38,0	57	11	30,1	58	1
Puristuskuivaus	38,0	49	11	30,9	58	2,5
Lämpökäsittely	37,0	58	30	27,9	68	41
Akzo Nobel, 1711						
Lämminilmakuivaus	35,6	50	9	28,5	61	11
Puristuskuivaus	34,7	44	22	27,2	57	5
Lämpökäsittely	33,5	51	24	28,2	70	56
Dynea, Dynomel						
Lämminilmakuivaus	36,1	48	13	29,5	61	12
Puristuskuivaus	36,2	45	8	30,7	54	10
Lämpökäsittely	31,7	56	49	26,7	64	46

Murtuneiden sormien pinta-alan osuus koko liimauspinta-alasta kuvaa liiman imeytymistä puuaineeseen sekä liimasauman lujuutta saumattomaan puuaineeseen verrattuna (kuva 45). Näin ollen, mitä enemmän saumassa on ollut murtuneita sormia, sitä paremmin liima on pitänyt taivutuskokeessa. Tällä perusteella liiman ja puuaineen välinen adheesio oli kuivissa koekappaleissa lujin Kiillon TL-, D3- ja D404-liimoilla. Sama voitiin päätellä myös näillä liimoilla tehtyjen sormiliitosten hyvistä taivutuslujuusarvoista. Murtuneiden sormien osuus oli suurin lämpökäsittelyissä koekappaleissa eli lämpökäsittelyjen koekappaleiden liimasauman lujuus oli lähimpänä saumattoman puuaineen lujuutta. Kyse oli kuitenkin toisaalta pikemminkin lämpökäsittelyn puun heikkoudesta kuin liimasauman vahvuudesta, sillä sauman absoluuttinen murtolujuus oli lämpökäsittelyillä kappaleilla pienin. Kiilto Oy:n kuiviin käyttökohteisiin tarkoitettulla TL-liimalla liimatut saumat aukesivat kasteltuna helpoimmin: lämminilma- ja puristuskuivattujen koekappaleiden TL-liimalla liimatuissa saumoissa ei havaittu lainkaan murtuneita sormia. Samoin lämpökäsittelyjen koekappaleiden TL-liimalla liimatuissa saumoissa murtuneita sormia oli vain noin 16 %. Tämä saattoi johtua siitä, ettei vesi ollut kenties imeytynyt lämpökäsittelyjen koekappaleiden läpi kahden vuorokauden upotuksen aikana.

Tällöin liimasauma saattoi olla keskeltä osittain kuiva, ollen siten taivutuksessa saumatonta puuainetta lujempi. Kun käytettiin vettä kestäviä liimoja, sormia murtui myös lämminilma- ja puristuskuivatuissa koekappaleissa. Vettä kestävät liimat muodostivat siten kostuneenkin puun kanssa paikoin pelkkää puuainetta lujemman sauman. Lämpökäsitellyissä koekappaleissa murtuneiden sormien osuus oli kuitenkin selvästi suurempi.



Kuva 45. Haapakoe-kappaleiden murtuneiden sormien osuus liimauspinta-alasta saumojen murtamisen jälkeen kuivien ja kasteltujen koekappaleiden sormisaumoissa eri liimoilla ja kuivausmenetelmillä. Kuvassa "lmk" tarkoittaa lämminilmakuivattuja, "pk" puristuskuivattuja ja "lk" lämpökäsiteltyjä koekappaleita.

Kaikkiaan sormisaumojen murtolujuudet olivat liimasta riippumatta saumatonta puuta merkitsevästi alhaisemmat. Kiilto Oy:n kuiviin käyttökohteisiin tarkoitetut liimat TL ja D3 sekä vettä kestävä D404 muodostivat lujimmat sormisaumat kuivissa koekappaleissa. Kastellussa puussa vettä kestävät liimat toimivat parhaiten. Kiilto Oy:n liima D404 muodosti sekä kuivana että kasteltuna lujan sauman kaikilla kuivausmenetelmillä, ja oli tutkimuksessa testatuista liimoista soveltuvin haavan sormijatkamiseen.

3.7.4 Kuivausviat

Saheiden kuivauslaatua (kuivausmuodonmuutokset, halkeilu, väri) arvioitiin pelkästään visuaalisesti. Kaikki kuivausmenetelmät johtivat tässä suhteessa verraten hyvään kuivauslaatuun. Eri kuivausmenetelmillä kuivattujen saheiden muoto- ja värivaihteluita ei verrattu systemaattisesti, koska kuivauserät olivat pieniä, vain noin 1,5 m³ kuivausmenetelmää kohti. Lisäksi lämpökäsitellyt tehtiin käsittelykamarin pienen koon vuoksi useassa eri vaiheessa vain 20–30 saheelle kerrallaan, joten erät olivat lämpökäsittelyssä omapainoltaan pieniä ja siten alttiimpia muodonmuutoksille kuin erät lämminilma- ja puristuskuivauksessa. Kappaleissa ei esiintynyt oletettua enempää halkeilua tai vääntyilyä, mutta lämpökäsitellyt kappaleet vääntyivät eniten. Kappaleiden muoto säilyi parhaimpina puristuskuivauksessa: ne pysyivät

suorina eikä sydäntavarakaan kupertunut kuten usein käy lämminilma-kuivauksessa. Puristuskuivattujen saheiden poikkileikkauksessa havaittiin kuitenkin lievää molemminpuolista koveruutta, joka oli nähtävästi seurausta saheiden reunojen palautumisesta puristuksen päätyttyä. Saheiden vesisiloisiksi tulkitut kohdat ilmenivät lämminilma- ja puristuskuivauksen jälkeen painaamina saheiden pinnoilla: solukko oli kutistunut tai luhistunut. Lämpökäsittelyssä saheiden vesisiloa sisältäneet kohdat ”tikkuuntuivat” täysin. Kuivauslaadussa ei havaittu eroa haapalajien välillä.

Kuivausmenetelmät vaikuttivat odotetusti eri tavoin puuaineen väriin. Lämminilma-kuivaus ei aiheuttanut havaittavia värimuutoksia. Puristuskuivauksessa saheiden pintaosa värjäytyi joutuessaan kosketukseen metallilevyn kanssa. Väri katosi kuitenkin höylättäessä. Lämpökäsittelyssä saheet värjäytyivät normaaliin tapaan ruskeiksi (kuva 46). Haapalajien välillä ei havaittu eroja.



Kuva 46. Lämminilma-kuivatun (vas.), puristuskuivatun (kesk.) ja lämpökäsitellyn (oik.) haapalaudan höyläpintaa.

3.7.5 Kuivausmenetelmien vaikutukset puutavaran ominaisuuksiin – yhteenveto

Taulukkoon 23 on koottu tutkimuksessa mitatut tärkeimmät puun käyttö- ja työstettävyysominaisuuksia kuvaavat tulokset eri kuivausmenetelmien ja haapalajien kesken. Puristuskuivatut kappaleet olivat mekaanisilta ominaisuuksiltaan keskimäärin parhaita. Puristuskuivauksella oli selvästi positiivisia vaikutuksia lujuusominaisuuksiin. Esimerkiksi puristuskuivattujen hybridihaapanäytteiden mekaaniset ominaisuudet olivat keskimäärin parempia kuin lämminilma-kuivattujen metsähaapanäytteiden, vaikka niiden tiheys olikin pienempi. Myös lämpökäsittelyihin kappaleisiin verrattuna puristuskuivattujen kappaleiden lujuusominaisuudet olivat parempia. Hybridihaavan mekaaniset ominaisuudet olivat kuivausmenetelmästä riippumatta metsähaapaa huonommat.

On muistettava, että kostuessaan puristuskuivatut koekappaleet turposivat voimakkaasti säteen suunnassa. Jos käyttökohde on kuivassa tilassa tai kosteuden pääsy puuhun estetään esim.

pintakäsittelyllä, voidaan haavankin kaltaisen kevyen puulajin mekaanisia ominaisuuksia parantaa puristuskuivauksella esim. koivun tasolle. Tässä tutkimuksessa puristusaine oli suhteellisen alhainen. Suurempaa puristusainetta käytettäessä puuaineen ominaisuudet muuttuvat edelleen.

Taulukko 23. Yhteenveto kolmella eri menetelmällä kuivattujen metsä- ja hybridihaapakoekappaleiden fysikaalisista ominaisuuksista. Tulokset ovat keskiarvoja kaikista virheettömistä näytteistä. M = metsähaapa, H = hybridihaapa.

Ominaisuus (vakio-olosuhteissa)	Normaalikuivaus		Puristuskuivaus		Lämpökäsittely	
	M	H	M	H	M	H
Alkukosteus, %	10,8	11	8,6	8,4	8,6	8,7
Kuivatuoretiheys, kg/m ³	423	424	449	422	448	408
Vuosilustoja, kpl / 20 mm	5,7	3,9	5,7	4,4	5,0	4,0
Kosteusturpoama alkukosteudesta puunsyiden kyllästymispisteeseen						
Tangentin suunta, %	5,2	5,5	3,7	3,7	4,2	3,8
Säteen suunta, %	2,1	2,3	4,7	4,2	1,5	1,5
Pituuden suunta, %	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Loppukosteus, %	47,8	50,1	43,7	47,7	39,1	42,2
Brinell-kovuus, MPa	15,0	14,2	18,6	15,5	15,8	13,3
Puristuslujuus, MPa						
Säteen suunta	4,8	4,6	5,0	4,8	5,4	5,2
Pituuden suunta	36,6	34,9	45,4	43,0	44,4	40,6
Taivutusominaisuudet, 3-pistetaivutus						
Murtolujuus, MPa	71,5	68,2	83,0	77,7	65,4	58,7
Kimmokerroin, GPa	12,6	12,0	13,8	12,8	14,3	12,3

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Yleistettävyyys ja luotettavuus

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla metsä- ja hybridihaapaa mekaaniseen jalostukseen vaikuttavien runkojen ja rungonosien teknisten ominaisuuksien kannalta. Haapalajien välisten erojen lisäksi tutkittiin kolmen eri kuivausmenetelmän vaikutuksia puuaineen oleellisiin fysikaalisiin ominaisuuksiin.

Tutkimukseen valittiin ulkoisesti hyvälaatuisia haavikoita, koska tarkoituksena oli tutkia tukiin jalostukseen vaikuttavia ominaisuuksia. Laadultaan keskimääräisistä tai huonoista haavikoista saadaan lähinnä massa- ja paperiteollisuuden käyttöön soveltuvaa raaka-ainetta. Tutkimuksessa ei haettu edustavaa läpileikkausta järeän haavan laadusta, vaan keskityttiin laatu- ja ikäluokkarakenteeltaan sellaisiin kohteisiin, joista haavan korjuu tarpeisiin voisi olla mielekästä sahaus- ja jatkojalostuksen tarpeisiin.

Tutkimukseen pyrittiin valitsemaan nykyisinkin käytössä olevilla haapa-alkuperillä perustettuja hybridihaavikoita. Puutteellisten metsikkötietojen vuoksi kaikista alkuperistä ei kuitenkaan voitu olla varmoja. Niinpä tuloksia hybridihaapojen ominaisuuksista ei voida täysin yleistää kaikkien nykyisin viljeltävien haapahybridien odotettavissa olevaan laatuun. Toisaalta ei ole syytä epäillä tulosten olevan harhaisiakaan.

Käytännön puunhankinnassa haapaa saadaan usein pieniä määriä havupuu- tai koivuvaltaisten leimikoiden korjuussa. Näiden haapaerien hyödyntämistä vaikeuttavat pienet hehtaarikohtaiset kertymät ja erityisesti päätehakkuissa mm. yli-ikäisyydestä johtuva huono laatu. Havupuuvaltaisen metsikön kiertoaika on haavalle liian pitkä, joten havumetsän sekapuustona kasvaneet haavat kelpaavatkin usein vain kuitu- tai polttopuiksi. Edellä mainittujen seikkojen vuoksi tutkimukseen valittiinkin puhtaita haavikoita tai haapavaltaisia metsiköitä. Aineiston täydennykseksi otokseen otettiin kuitenkin mukaan myös yksi koivuvaltainen metsikkö, jossa kasvoi silmävaraisesti arvioituna hyvälaatuisia haapoja.

Koemetsiköihin sijoitettua koelaverkkoa (6–7 koelaa/metsikkö) voidaan pitää kattavana ja puustoa kuvaavien taustamuuttujien mittaustarkkuutta riittävän hyvänä tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Jokaisen koelalan keskipisteenä oleva puu kaadettiin kaatokoepuiksi; kaikkiaan 12 koemetsiköstä kaadettiin 75 koepuuta.

Kaatokoepuista otettiin jatkotutkimuksiin koko runko tyveltä noin 12 cm:n läpimittaa vastanneelle korkeudelle asti. Lisäksi sahattiin näytekiekot kahden metrin välein tyveltä aina n. 5 cm:n läpimittaa vastanneelle korkeudelle. Näytekiekoista analysoitiin puiden kasvunopeus, lisäksi kiekkoista valmistettiin yli 5000 kuivatuoretiheysnäytettä. Kiekkoista määritettiin myös lahottajasienet tähän raporttiin kuulumattomassa erillistutkimuksessa. Runsaasta 600 tukista sahattiin noin 3500 läpisahetta jatkotutkimuksiin. Määrällisesti näitä aineistoja ja niistä tehtyjä mittauksia voidaan pitää varsin edustavina.

Kuivauskokeisiin valitut sahatavarakappaleet edustivat vain laadullisesti parasta osaa koko saheaineistosta. Niinpä keski- tai huonolaatuisen haapasahatavaran soveltuvuutta eri kuivauskäsittelyihin tai yleensä puutuotteiksi ei voi tämän tutkimuksen tulosten perusteella arvioida muutoin kuin dimensioiden, oksaisuuden ja värivikojen osalta.

Tässä tutkimuksessa käytettyjä lämminilmakuivaus- ja lämpökäsittelykaavoja sovelletaan myös käytännössä joten tulokset ovat siinä mielessä yleistettäviä. Puristuskuivaukseen ei sen sijaan ollut saatavissa haavalle aiemmin sovellettua kaavaa. Niinpä kokeissa käytettiin hieman muunnettuna kaavaa, joka on suunniteltu koivulle. Sekä lämpökäsittelyssä että puristuskuivauksessa ajettiin koe-eriä ennen varsinaisten tutkimusmateriaalien käsittelyä, näin varmistettiin kaavojen toimivuus ainakin kuivatun puutavaran visuaalisen laadun perusteella.

Mekaanisten ominaisuuksien testauksessa pyrittiin virheettömän puuaineen ominaisuuksien ja niiden vaihtelun luonnehdintaan. Taivutustesteissä sekä kimmokerroin että murtolujuus mitattiin kolmipistetaivutuksena. Kimmokerroin mitataan usein nelipistetaivutuskokeelle, jonka on arvioitu aiheuttavan kolmipistetaivutuskoetta vähemmän leikkausjännityksiä koekappaleeseen (esim. Siimes & Liiri 1952, Bodig & Jayne 1982, Kučera 1991). Havupuilla näillä kokeilla saatavan kimmokertoimen eroksi on todettu noin 15–20 % (esim. Bodig & Jayne 1982).

Puristuslujuuden mittaaminen syiden suunnassa on Siimeksen & Liirin (1952) mukaan helpoimmin ja yksinkertaisimmin tehtäviä puuaineen mekaanisten ominaisuuksien määrittämiä. Koekappaleen pituus tosin aiheuttaa nurjahdusvaaran kappaleen puristusleikkauksen ollessa vähänkin erisuuntaisia. Toisaalta näytteen päätypintojen ja puristuslevyjen välille syntyy jonkin verran hankauskitkaa näytteen poikkileikkauksen pinta-alan kasvaessa materiaalin Poisson-suhteen mukaisesti pituuden alentumisen myötä. Tässä tutkimuksessa näytteiden poikkileikkaus oli 20 x 20 mm ja pituus 60 mm, ja tulosten laskentaan käytetystä aineistosta eliminoitiin näytteet, jotka näkyvästi nurjahtivat testitulanteessa.

Brinell-kovuuden mittaauksessa ei noudatettu mittausteknisesti standardia EN 1534. Pinnaltaan kovilla materiaaleilla (esim. puristuskuivattu puu) kuulan jäljen halkaisijan mittaaminen luotettavasti on vaikeaa tai jopa mahdotonta. Tästä syystä tässä tutkimuksessa mitattiin kuulan jättämän jäljen halkaisijan sijasta kuulan uppoama, joka voitiin mitata automaattisesti ja luotettavasti. Näin ollen tulokset eivät ole teknisesti ottaen vertailukelpoisia kirjallisuudessa esitettyjen Brinell-kovuuden arvojen kanssa. Tässä tutkimuksessa oli kiinnostavampaa vertailu eri menetelmillä kuivattujen kappaleiden välillä, joka voitiin tehdä näin toteutettuna standardin EN 1534 mukaista luotettavammin.

4.2 Tulosten arviointi ja vertailu aiempaan tutkimukseen

4.2.1 Metsiköiden ominaisuudet

Hybridahaapojen pituuskasvu oli nuorella iällä huomattavasti metsähaapojen pituuskasvua nopeampaa. Toisaalta vierekkäin istutetut metsä- ja hybridihaavikko olivat pituuskasvuiltaan identtisiä, joka viittaisi siihen, että kasvunopeutta selittäisikin itse asiassa syntytyapa eikä vain haapalaji. Tämän johtopäätöksen uskottavuutta puolestaan heikentää se, että tutkimuksen ainoa istutettu metsähaavikko ei ollut itse asiassa puhdas metsähaavikko vaan siinä kasvoi useaa eri alkuperää olleita puita joista osa oli suomalaisten ja keskieurooppalaisten puiden risteymiä. Hynysen (1999) tutkimus ei tue päätelmää istutettujen metsä- ja hybridihaavan yhtä nopeasta pituuskasvusta: hänen aineistossaan hybridihaavan pituuskasvu oli pelloille perustetuilla haapaviljelmillä keskimäärin noin 40 % nopeampaa kuin metsähaavan. Samansuuntaisia tuloksia ovat ruotsalaisista kokeista esittäneet Rytter ym. (2002).

Onnistuneissa viljellyissä hybridihaavikoissa on päästy kutakuinkin kaksinkertaiseen tuotokseen luontaisesti syntyneisiin metsähaavikoihin verrattuna, kun tarkastellaan iältään alle 20-vuotiaita metsiköitä (Hynynen 1999). Tässä tutkimuksessa havaittiin hybridihaavan paksuuskasvun olevan huomattavasti metsähaavan paksuuskasvua nopeampaa nuorissa metsiköissä, mikä yhdessä voimakkaamman pituuskasvun kanssa osoitti, että hybridihaavan tuotos oli huomattavasti korkeampi kuin metsähaavan. Kuitenkin yli 20-vuotiaissa metsiköissä hybridihaavan paksuuskasvu taantui metsähaavan paksuuskasvua pienemmäksi. Kasvurytminsä takia hybridihaavan kiertoajan onkin oltava riittävän lyhyt: kasvatettaessa kuitupuuta on arvioitu 15–30 vuoden kiertoajan olevan sopivan (Holm 2000). Paitsi kasvun taantumisen, myös sydänlahon yleistymisen seurauksena jo 30-vuotias hybridihaavikko näyttäisi tavallisesti olevan yli-ikäinen.

Tutkimuksen hybridihaavat olivat keskimäärin solakampia kuin metsähaavat. Samoin istutetut haavat olivat solakampia kuin luontaisesti syntyneet. Tämä oli johdonmukaista, sillä ositteet ”hybridihaavat” ja ”istutetut haavat” olivat itse asiassa lähes samat. Hybridahaapojen ja metsähaapojen solakkuuden ero selittyy paljolti hybridahaapojen nuoremmalla iällä; haavan paksuuskasvu hidastuu myöhemmin kuin pituuskasvu, jolloin kapeneminen kasvaa eli solakkuus heikkenee puun vanhetessa (Tikka 1955).

Tämä tutkimus ei täysin tukenut Tikan (1955) havaintoa, että haaparungon kapeneminen on voimakkaasti riippuvainen rungon läpimitasta. Toisaalta metsiköiden keskiläpimitta vaihteli tämän tutkimuksen aineistossa varsin vähän, eikä siten antanut kovin luotettavaa kuvaa kapenevuuden vaihtelusta. Tikan (1955) kuten myös Kärkkäisen & Salmen (1978) tutkimuksissa haaparungot ja -tukit kapenivat enemmän kuin tässä tutkimuksessa, varsinkin hybridihaapaan verrattuna.

Luontaisesti syntyneet haavikot olivat karsiutuneet selvästi paremmin kuin istutetut. Tärkeimpänä syynä tähän lienee luontaisesti syntyneiden taimikoiden suurempi runkoluku taimivaiheessa. Metsikön tiheyden ei kuitenkaan havaittu selittävän varttuneiden puiden pitkälle

edennyttä karsiutuneisuutta. Tikan (1955) mukaan varttuneiden haapojen oksattoman tyviosan osuus on keskimäärin vähän yli 10 % puun pituudesta. Tässä tutkimuksessa metsähaapojen oksattoman tyviosan pituus oli hieman pidempi ja hybridihaapojen hieman lyhyempi kuin Tikan (1955) aineistossa.

Tässä tutkimuksessa valtaosassa haaparungoista oli jokin muotovika tukkiosuudella. Hybridihaavoissa vikoja oli selvästi enemmän kuin metsähaavoissa. Tikan (1955) aineistossa ainoastaan 13 prosentissa haaparungoista oli muotovika. Ero tämän tutkimuksen tuloksiin on suuri. Muotovikojen tulkinnassa täytyi olla merkittäviä eroja, jotta näin suuri ero haapojen laadussa selittyisi.

Tikan (1955) mukaan hirvien aiheuttamat pintaviat olivat yleisiä tiettyjen seutujen nuorissa haavikoissa jo 1950-luvulla. Myös tämän tutkimuksen yhdessä metsikössä havaittiin runsaasti hirvien aiheuttamia pintavikoja, vaikka kyseessä olivatkin jo varsin iäkkäät ja osin kaarnoittuneet rungot. Suomen hirvikanta on kasvanut puolella vuosisadassa moninkertaiseksi ja haavan viljely etenkin syrjäisille metsäalueille onkin nykyisin monin paikoin mahdotonta ilman taimien suojausta.

Aineiston koepuista tukkikelpoisiksi arvioitiin yli 80 % runkoluvusta. Kriteerinä käytettiin sitä, että rungosta oli saatava vähintään yksi kolmemetrinen tukki. Tukkielpoisten runkojen osuus oli lähinnä valikoivan metsikköotannan vuoksi varsin suuri suhteutettuna Lounan & Valkosen (1995) VMI 8 -tulosten perusteella laskettuun arvioon Etelä-Suomen haapojen tukkiosuudesta, joka oli n. 15 %.

4.2.2 Tukkien ja saheiden laatu

Hybridihaapojen tyviosat olivat selvästi metsähaapoja oksikkaampia, mutta latvaosassa haapalajien laatusuhde oli tältä osin päinvastainen. Metsähaapojen rungon tyviosan vähäisempi oksikkuus selittyy taimikkovaiheen suuremmalla puuston tiheydellä. Sitä vastoin metsähaapojen suurempaa oksikkuutta rungon latvaosissa on vaikea selittää. Metsähaapojen tyvet olivat huomattavasti vähäoksaisempia kuin Kärjen & Vainikaisen (2004) pääosin sekametsistä peräisin olleiden metsähaapatukkien laatua käsitelleessä, kolmen metsikön aineistoon perustuneessa raportissa. Sitä vastoin ylempien rungonosien oksikkuudessa ei ollut merkittävää eroa. Kärki & Vainikainen (2004) eivät raportoineet koepuiden ikää vaan ainoastaan keskiläpimitan, joka oli aineistossa 28 cm eli vain hieman pienempi kuin tämän tutkimuksen aineistossa. Aineistojen puiden iässä ei siten välttämättä ole suuria eroja. Kärkkäisen & Salmen (1978) tutkimuksessa tulitikkutehtaille vastaanotetuista haapatyvitukeista peräti 79 % oli oksattomia, vaikka tukkien keskipituus oli lähes 5 m. Kyseisen aineiston (metsä)haavat olivat oksikkuudeltaan erittäin hyvälaatuisia verrattuna tämän tutkimuksen metsähaapa-aineistoon, jossa oli noin yksi oksa metrillä, tai aineistojen oksamäärityksissä oli merkittävä ero.

Tikan (1955) iältään tämän tutkimuksen aineistoa vastaavissa metsiköissä lahovikaisten haaparunkojen osuus vaihteli välillä 60–80 %. Tässä tutkimuksessa oli noin 40 prosentissa tyvitukeista lahoa, ja korkeammalla rungoissa lahovikaisten tukkien osuus oli selvästi pienempi. Tuloksia ei voi suoraan verrata toisiinsa, mutta ainakaan ne eivät ole ristiriitaisia. Kärkkäisen (1978) tuloksiin verrattuna tämän tutkimuksen tyvitukeissa esiintyi selvästi enemmän värivikoja ja kovaa lahoa mutta vähemmän pehmeää lahoa.

Tukkien laatuluokkajakauma oli huono: A- ja B-luokan tukkeja oli vain noin 10 % tukkimäärästä ja lähes puolet tukeista oli hylkylaatua. Toisaalta Kärjen & Vainikaisen (2004) tutkimuksessa A- ja B-luokan tukkeja ei saatu yhtään kappaletta, ja peräti 94 % tukeista oli raakkilaa, kun tukit olivat 3,5 m pitkiä. Laatuluokkajakauman kehnous eri tutkimuksissa kuvastaakin enemmän Keinäsen & Tahvanaisen (1995) esittämän luokitusmenetelmän soveltumattomuutta haavalle kuin haapatukkien huonoa laatua. Tämä laatuluokitus asettaa tarpeettoman tiukat vaatimukset haapatukkien lahottomuudelle: A-laadun tukissa lahoa ei saa olla lainkaan ja B-laadunkin tukissa saa olla vain 5 cm kovaa ydinlahoa. Näin tiukka rajoite ei ole perusteltua sahauksessa, viiluksi sorvauksesta puhumattakaan. Järeistä tyvitukeista saatava sahatavara tai viilu tai voi olla pääosin virheetöntä, vaikka ytimen ympärillä olisikin lahoa.

Läpisaheiden oksaisuudessa olivat havaittavissa samat piirteet kuin tukkien oksikkuudessa: hybridihaapasheet olivat selvästi oksaisempia rungon tyviosassa, mutta metsähaapasheet vastaavasti hieman oksaisempia latvaosassa. Saheiden oksaisuus kasvoi metsähaavalla rungossa ylöspäin, mutta oli hybridihaavoissa kutakuinkin samanlaista rungon osasta riippumatta. Hybridihaavan tyviosan merkittävästi suuremmalla oksaisuudella on vaikutusta tyvitukkiosasta saatavien parhaiden laatuluokkien saantoon.

Kuten Kärki & Vainikainenkin (2004) havaitsivat, läpisaheiden laatuluokkajakauma oli parempi kuin tukkien laatuluokkajakauma. A- ja B-laadun osuus oli sahatavarassa huomattavasti suurempi kuin tukeissa, ja C-laadun osuus oli vastaavasti alle puolet. D-laadun eli raakin osuus oli samalla tasolla tukeissa ja saheissa. Kärjen & Vainikaisen (2004) tutkimuksessa, jossa sekä tukkien että sahatavaran laatuluokkajakaumat olivat kaikkiaan paljon huonommat kuin tässä tutkimuksessa, B- ja C-laatuosuuksien osuudet olivat sahatavarassa suuremmat ja raakkilaa oli vastaavasti pienempi kuin tukeissa.

Läpisaheiden laadun määränneet syyt olivat tässä tutkimuksessa pitkälti samoja kuin Kärjen & Vainikaisen (2004) tutkimuksessa. B-laatuun alenemisen syynä oli molemmissa tutkimuksissa pääasiassa oksaisuus. Tässä tutkimuksessa eroteltiin vikojen vaikutus tukkiosittain, jolloin havaittiin kuivien oksien merkityksen olevan suurimman tyvitukkiosassa ja elävien oksien merkityksen vastaavasti latvatukkiosassa. C-laatuun alenemisen syynä oli oksaisuuden lisäksi usein värivika tai vesisilo ja hylkylaatun alenemisen syynä laho. Lahon vaikutus oli pienempi kuin Kärjellä & Vainikaisella (2004). Kaiken kaikkiaan vertailua vaikeuttavat tutkimusten erilaiset vikojen määrittelyt ja tulokset.

Fjærtoft ym. (1998) tutkivat haapatukkien ja -saheiden laatuajakaumia sahalta kerätyn tukkiaineiston pohjalta. He havaitsivat valtaosan (51,2 %) tukeista lankeavan käytetyllä luokitusmenetelmällä raakkiluokkaan. Kyseisessä luokituksessa huonoimpaankin tukkilaatuun sallittiin vain lahoa tai värivikaa vain ¼ tukiin latvaläpimitasta, mikä selittää korkeata raakkiprosenttia. Pohjoismaisen sahatavaraluokituksen mukaan laatuihin A1–A4 luokiteltiin käytetystä sahatavaradimensiosta riippuen 14–46 %, B-luokkaan 4–19 %, C-luokkaan 3–12% ja D-luokkaan 0–4 % saheista. Tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia tässä tutkimuksessa käytetyn läpisahatun haapasahatavaran laatuoluokituksen kanssa.

4.2.3 Fysikaaliset ja jatkojalostustekniset ominaisuudet

Metsähaavan keskimääräinen kuivatuoretiheys oli hieman alhaisempi kirjallisuuslähteisiin (Kärkkäinen & Salmi 1978, Uusvaara & Pekkala 1979) verrattuna. Kuivatuoretiheys oli kummallakin haapalajilla alimmillaan lähellä puun ydintä ja kasvoi pintapuuta kohti. Myös aivan ytimen lähellä ollut puuaine oli muuta puuta tiheämpää. Kuivatuoretiheyden vaihtelu eri etäisyyksillä ytimestä oli samankaltaista kuin Pérezin (2002) tutkimuksessa. Hybridihaavan kuivatuoretiheys oli keskimäärin alhaisempi kuin metsähaavan, mutta metsiköiden välinen vaihtelu oli suurta. Samaan tulokseen päätyi myös Pérez (2002) vertaillessaan erilaisten metsähaaparisteymien (*P. tremula* x *P. tremula*) ja hybridihaapojen (*P. tremula* x *P. tremuloides*) ominaisuuksia. – Kärki (2001) ei havainnut metsähaapa-aineistossaan erityisen korkeita tiheysarvoja lähellä ydintä.

Kuivatuoretiheyden havaittiin olevan suurimmillaan puun tyvellä lukuun ottamatta ytimen ympäristöä. Tiheys laski nopeasti tyveltä ylöspäin, mutta rungon keskivaiheilla se alkoi jälleen kohota latvaa kohti. Samansuuntaisia tuloksia ovat suppeammilla aineistoilla saaneet Kärki (2001) ja Pérez (2002). Koska haapaa käytetään etupäässä visuaalisissa kohteissa, ei sen tiheyttä ja lujuusominaisuuksia voida pitää keskeisinä laadun mittareina puutuotekäytössä. Eräissä käyttökohteissa, kuten mailanvarsina, jäykkyys ja keveys ovat kuitenkin ensiarvoisen tärkeitä ominaisuuksia. Edelleen esimerkiksi säärasituksille alttiissa kohteissa, saunanlaudemateriaalina tai rakennushirtenä haavan huokoisuus / alhainen tiheys parantavat käyttöominaisuuksia (ks. myös Flæte & Eikenes 2000).

Haapojen kasvunopeudet eivät poikenneet aiemmin esitetyistä tuloksista. Metsähaapojen lustonleveys vaihteli 2–4 mm:n ja hybridihaapojen 2–7 mm:n välillä. Metsänhoidollisesti huomionarvoista on haapalajien silmiinpistävä ero kasvurytmeissä. Hybridihaapojen läpimitan kasvu alkoi taantumaan jo noin kymmenen vuoden iässä ja 15–20 vuoden iän jälkeen kasvu alitti metsähaapojen kasvunopeuden. Aineiston metsähaavat puolestaan kasvoivat tasaisesti, joskin melko hitaasti ainakin 50 vuoden ikään asti. Tämä ero on syytä ottaa huomioon haavikoiden metsänkasvatusohjeissa.

Metsä- ja hybridihaavan erot kosteuselämisessä olivat pieniä. Myös erot säteen suuntaisessa turpoamassa huoneilmakuivasta puun syiden kyllästymispisteeseen olivat ainoastaan yhden

prosenttiyksikön luokkaa ytimestä pintaan. Kärjen (2001) 10 rungon metsähaapa-aineistolla tekemään tutkimukseen verrattuna tämän tutkimuksen lämminilmakuivattujen näytteiden tangentin- ja säteensuuntainen kutistuminen oli kokonaisuutena pienempää. Kosteuseläminen oli eri etäisyyksillä ytimestä lämminilmakuivattujen näytteiden osalta kutakuinkin vastaavaa kuin Kärjen (2001) tutkimuksessa. Tilavuuskutistuman ja tangentin suuntaisen kutistumisen ei sitä vastoin havaittu pienenevän yhtä voimakkaasti puun ydintä kohti. Peters ym. (2002) eri haaparisteymiä käsitelleessä tutkimuksessa kutistumat olivat samankaltaisia kuin tässä tutkimuksessa, lukuun ottamatta selvästi pienempää pituuden suuntaista kutistumaa.

Myös kuivausmenetelmä vaikutti koekappaleiden kosteuselämiseen ja vesiabsorptioon. Lämpökäsitellyt koekappaleet imivät vettä kaikkein hitaimmin, ja niiden kosteusturpoama oli vähäisin. Keskimäärin eniten turposivat lämminilmakuivatut koekappaleet. Säteen suuntainen turpoama oli puristuskuivatuilla koekappaleilla kuitenkin yli kaksinkertainen muihin kuivausmenetelmiin nähden. Haapalajien väliset erot kosteusmuodonmuutoksissa olivat vähäisiä. Teoriassa metsähaavan pitäisi keskimäärin tiheämmän puuaineensa vuoksi elää hieman hybridihaapaa enemmän; ero on kuitenkin käytännössä merkityksetön. Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon näytteen sijainnin vaikutusta vesiabsorptioon. Perng ym. (1985) havaitsivat haavaan ytimen ympärillä olevan puun sisältävän runsaasti uuteaineita, jotka heikentävät nesteiden ja kaasujen liikkumista puussa. Tällä on vaikutusta paitsi kosteuselämiseen myös esimerkiksi säänkeston.

Hybridihaavan mekaaniset ominaisuudet olivat metsähaapaa huonommat suunnilleen keskimääräistä tiheyseroa vastaavassa suhteessa. Kosteussuhteeseen 12 % kuivatun metsähaavan taivutuslujuudeksi on kirjallisuudessa esitetty 84 MPa ja kimmokertoimeksi 13,5 GPa (Jalava 1945). Tässä tutkimuksessa ainoastaan puristuskuivatut metsähaapanäytteet ylsivät samantasoiseen taivutuslujuuteen, mutta puristuskuivatut ja lämpökäsitellyt metsähaapanäytteet jopa hieman korkeampiin kimmokertoimiin. Hybridihaapanäytteiden taivutuslujuusarvot jäivät sen sijaan kauttaaltaan pienemmiksi kuin Jalavan (1945) tutkimuksessa. Fjærtøft ym. (1998) raportoivat kuivatuoretiheydeltään n. 400 kg/m³ haapasahatavaran keskimääräiseksi taivutuslujuuksi 13 GPa ja taivutuslujuudeksi 53 MPa. Samassa tutkimuksessa havaittiin taivutuslujuuksien ja -lujuuden korreloivan haapasahatavaraalla huonommin kuin esim. kuusella tai sitkankuusella.

Jalavan (1945) mukaan 12 prosentin kosteussuhteeseen kuivatun haavan puristuslujuus on pituuden suunnassa 42,5 MPa. Tässä tutkimuksessa puristuskuivatut ja lämpökäsitellyt metsähaapanäytteet ylsivät hieman korkeampiin arvoihin, kun taas lämminilmakuivattujen näytteiden puristuslujuus oli selvästi alempi. On johdonmukaista, että puristuskuivatut näytteet olivat tiheämpinä pääsääntöisesti lujempia kuin lämminilmakuivatut ja lämpökäsitellyt näytteet. Toisaalta lämpökäsittely paransi sekä säteen että tangentin suuntaista puristuslujuutta verrattuna lämminilmakuivattuihin näytteisiin. Sama on havaittu eräissä aiemmissakin kokeissa (ks. Möller & Otranen 1999, Thermowood käsikirja 2003). Muita mekaanisia ominaisuuksia lämpökäsittely pääsääntöisesti alensi. Pitää kuitenkin muistaa, että lämpökäsiteltyä haapaa

käytetään lähinnä paneeleissa ja lauteissa, ja tuskin koskaan lauteita enempää lujutta edellyttävissä kohteissa.

Puuaineen pinnan kovuus – tai ehkä haavan tapauksessa pehmeys – sulkee pois monia käyttökohteita kuten asuinrakennusten lattiat (esim. hevostalleissa haapaa sen sijaan on käytetty juuri pehmeensä vuoksi) ja pöytien pinnat. Pehmeyttä voidaan kuitenkin ajatella markkinoitavan myös etuna. Ihokosketukselle alttiit puupinnat tuntuvat miellyttäviltä jos puu on huokoista ja pehmeää; pinta on lämmin ja nopeasti kosteuden imevä. Tämän tutkimuksen lievästi puristuskäsittelyt koekappaleet osoittautuivat kovimmiksi.

Haavan sormijatkamispotentialista ei ole aiempia tutkimuksia, joihin tämän tutkimuksen tuloksia voitaisiin verrata. Tarkastelu osoitti kuitenkin, että läpisaheiden laatuluokittelu niiden koko pinta-alan keskimääräisen laadun perusteella ei anna oikeata kuvaa jalostusarvosta silloin kun sahe pilkotaan osiin lopputuotteen valmistusta varten, kuten haapasahatavaran kohdalla lähes aina tehdäänkin. Haavassa tavalliset värivikaa levittävät kuolleet oksat sekä sydämen ympärillä esiintyvät väriviat alentavat läpisaheiden laatua jos ne luokitellaan koko pinta-alansa perusteella yhteen luokkaan. Todellisuudessa yli 70 % sekä metsä- että hybridihaapaläpisaheiden pinta-alasta katsottiin pintalappeeltaan virheettömäksi ja siten sormijatkamiskelpoiseksi käytettäessä lamelleille 200 mm:n minimipituutta ja 50 mm:n leveyttä. Sekä pinta- että sydänlapeeltaan virheettömiä lamelleja oli 40–50 % saheen pinta-alasta. Nämä ovat koko rungon keskimääräisiä tuloksia 15 cm:n läpimitaan asti, järeissä tyvitukeissa virheettömän puun pinta-alaosuus oli suurempi. Tulokset osoittavat, että automatisoimalla haapasahatavaran katkenta ja yhdistämällä katkenta sormijatkoslinjaan, voidaan raaka-aineen käytön hyötysuhde kohottaa kannattavaksi teollisessa tuotannossa. Hitaaseen käsin katkontaan ja halkaisuun kyseisiä johtopäätöksiä ei kannata yrittää soveltaa.

Liimauskokeet osoittivat Kiilto Oy:n liimojen TL ja D3 toimivan parhaiten ilma-kuivalla puulla, ja vedenkestävien Akzo Nobel 1250 ja 1711 sekä Dynean Dynomel -liimojen toimivan puolestaan paremmin märässä puussa. Yleisliimaksi kostealle ja kuivalle haapapuulle voidaan suositella Kiilto Oy:n D404 -liimaa, joka muodosti verraten lujan sormijatkossauman kaikissa tutkituissa koekappaleissa.

4.3 Päätelmiä ja jatkotutkimustarpeita

Tutkimuksessa analysoitiin metsä- ja hybridihaavan eroja puutuotteiden valmistuksen näkökulmasta. Lisäksi vertailtiin eri menetelmillä kuivatun haapapuun ominaisuuksia. Puuraaka-aineen laadun lisäksi saatiin tietoa haapalajien kasvurytmeistä ja kasvuolosuhteiden vaikutuksesta puun laatuun.

Metsähaavan laatu oli keskimäärin hybridihaavan laatua parempi, mikä ilmeni niin tukkien kuin läpisaheidenkin parempana laatuluokkajakaumana. Kuitenkin hybridihaavat olivat huomattavasti metsähaapoja tasalaatuisempia, mikä on etu useimmissa loppukäyttökohteissa.

Hybridahaavasta voidaan nopean nuoruusiän pituuskasvun ansiosta saada erinomaista oksatonta raaka-ainetta sormijatkoksien.

Eri menetelmillä kuivattujen näytteiden tarkasteluista kävi ilmi kuivausmenetelmien ja haapalajien välisiä eroja fysikaalisissa ominaisuuksissa. Sinänsä kaikki käytetyt kuivausmenetelmät näyttävät soveltuvan molemmille haapalajeille. Erot ominaisuuksissa kuten lujuusarvoissa johtunevat haapalajin sijasta lähinnä erilaisesta kasvunopeudesta. Toisaalta haapalaji ja kasvunopeus korreloivat voimakkaasti keskenään. Blankenhorn ym. (1988) havaitsivat nuorten hybridahaapojen tiheyden ja kemiallisen koostumuksen olevan riippuvaisia ensisijaisesti nuoren metsikön hoitotoimista ja toissijaisesti kasvupaikan ravinteikkuudesta.

Haavan käytön lisääminen edellyttäisi panostamista haavan kasvatukseen. Hybridahaavan viljelyn lisäämistä vaikeuttavat uudistamisen kalleus ja epävarmuus. Taimet on lähes poikkeuksetta suojattava nisäkäs-, erityisesti hirvieläintuhoja vastaan. Toisaalta viljelyn onnistuessa hybridahaavan puuntuotos on poikkeuksellisen korkea borealisissa ilmasto-oloissa ja kiertoaika lyhyt muihin puulajeihimme verrattuna. Metsänomistajien innokkuutta haavan kasvatukseen vähentää haavan heikko hintataso: avohakkuillakin haapakuitupuun kantohinta on yleensä alle 10 €/m³. Alhaiseen hintatasoon vaikuttavat osittain pienet hehtaariohittaiset kertymät. Voidaan olettaa, että haapavaltaisista leimikoista voidaan maksaa tähän asti toteutuneita korkeampia kantohintoja. Toisaalta Metsäliitto-osuuskunta on tehnyt hybridahaavan viljelysopimuksia, joissa osuuskunta sitoutuu maksamaan haapakuitupuusta aikanaan vähintään 80 % myyntiajankohdan kuusikuitupuun hinnasta. Tällaisten viljelysopimusten myötä hybridahaapaa voidaan pitää kilpailukykyisenä puulajina. Kasvatuksen kannattavuutta parantavat vielä mahdolliset haapatukit, joista voidaan saada vanerikoivua vastaava hinta.

Hybridahaavan viljelyssä toinen ja kolmas puusukupolvi on tarkoitus saada aikaan juurivesoista. Väljissä haavikoissa vesoja syntyy runsaasti jo ennen päätehakkuuta. Vesojen säilyminen hakkuussa kasvatuskelpoisina on kuitenkin kyseenalaista, ja hakkuun jälkeen syntyvää vesakkoa tarvitaan ainakin täydennykseksi. Tällöin taimikosta voi tulla kokojakaumaltaan epätasainen. Tasaisen metsikön aikaan saamiseksi voikin olla kannattavampaa raivata vesat ennen päätehakkuuta ja perustaa taimikko pelkästään päätehakkuun jälkeen syntyvistä juurivesoista. Holmin (2000) mukaan toisen sukupolven haapavesakkoa ei tarvitse suojata tuhoniheuttajia vastaan vesojen suuren määrän vuoksi. Käytännön kokemusten mukaan hirvet tai peurat voivat kuitenkin tuhota pahoin tiheänkin taimikon, joten suojaus on usein tarpeellinen. Vesasyntyisen toisen sukupolven haavikon perustaminen on taimien suojauskustannuksia lukuun ottamatta ilmaista, mutta tiheän vesakon harventamisesta sopivaan kasvatustiheyteen aiheutuu kustannuksia. Lisäksi ongelmana saattaa olla lahon lisääntyminen vesasyntyisessä toisen sukupolven puustossa, josta oli viitteitä tämänkin tutkimuksen aineistoon kuuluneessa toisen sukupolven haavikossa. Sama on havaittu vanhoissa luonnonsyntyistä metsähaapaa koskeneissa tutkimuksissa.

Jo 2010-luvun lopulla hybridahaavan korjuu yhtenäisistä haapametsiköistä tulee muuttamaan kotimaisen haapapuun hankinnan logistiikkaa ja taloudellisuutta verrattuna nykytilanteeseen,

jossa haapapölkkyt keräillään havupuiden tai koivun korjuun oheistuotteina. Tuolloin edelleen valtaosa korjattavasta puutavarasta käytetään epäilemättä paperintuotantoon, mutta mikäli kysyntää haapapuuotteille on, voidaan talteen ottaa vuositasolla varovastikin arvioiden useita tuhansia kuutiometrejä sahauskelpoista tukkia. Ongelmana on, että 1990-luvun lopulla hyvin käyntiin lähtenyt haavan viljely on sittemmin jälleen taantunut mm. hirvieläinkantojen ylisuuruuden vuoksi. Tasaisen haavan saatavuuden turvaamiseksi viljelyalojen pitäisi kasvaa joka vuosi vielä 10–15 vuotta muutamilla sadoilla hehtaareilla per vuosi, jonka jälkeen ensimmäiset viljelmät olisivat jo päätehakattavissa, ja alkaisivat tuottaa seuraavaa puusukupolvea juurivesoista. Jos tuhoilta vältytään, 2000-luvun taitteen molemmin puolin noin viiden vuoden aikana saavutettu runsaan tuhannen hehtaarin viljelyala tuottaa haapaa muutamia satoja tuhansia kuutiometrejä. Kertymät realisoituvat ajallisesti noin kymmenen vuoden välein muutaman vuoden piikkeinä, kun viljelmiä harvennetaan tai päätehakataan. Väliaikoina haavan saatavuus kotimaasta on pääsääntöisesti yhtä heikko kuin nykyäänkin. Tällainen raaka-aineen syklinen saatavuuden paraneminen ja heikkeneminen ei kannusta yrittäjiä haapaliiketoimintaan.

Myös metsänomistajien motivointi haavan viljelyalojen kasvattamiseen on vaikeata korkeiden metsikön perustamiskustannusten (myyräsuojaus, aitaaminen hirvieläinten varalta) ja kuitupuusta maksettavan alhaisen kantohinnan vuoksi. Toisaalta esim. Etelä-Suomen maannouseman lahottamien kuusikoiden uudistamisessa haavalla voisi olla paljon nykyistä suurempi rooli. Tämä vaatisi joko voimakasta hirvieläinkantojen pienentämistä tai valtion rahoitustukea metsänomistajille. Hybridihaapa on ainoa Suomessa kasvava ns. plantaasimetsätalouspuulaji. Osa metsänomistajista voi vierastaa ajatusmallia, jossa metsätalous pitää rinnastaa pikemminkin peltoviljelyyn kuin perinteiseen metsänkasvatukseen. Jos taloudelliset realiteetit puoltavat nopeakiertoisen haavan kasvatusta, ei asennemuutoksen kuitenkaan pitäisi muodostua ongelmaksi.

Puuteknisiltä ominaisuuksiltaan hybridihaapa osoittautui tässä tutkimuksessa käytännössä metsähaavan veroiseksi puutuoteraaka-aineeksi. Viljelyhaavikoiden väljästä kasvatustiheydestä johtuen runkojen oksikkuuslaatu on huonompi kuin luonnonsyntyisissä metsiköissä. Vaneri- ja viilukäyttöä ajatellen heikko oksikkuuslaatu ei ole ongelma. Sisäviiluihin kelpaa oksainenkin raaka-aine eikä pintaviilujenkaan tarvitse olla oksattomia jos vaneri käytetään rakennuslevynä kuusivanerin tapaan. Sahauksen ja sahatavaran jatkojalostuksen kannalta keskeisintä olisi seuraavaksi määrittää ne lopputuotteet, joihin nykyisen raaka-ainetietämyksen pohjalta kannattaisi keskittyä. Laho, väriviat, vesisilo ja suuret oksat ovat pahimmat raaka-aineen käyttöä puutuotteina rajoittavat esteet. Haavan nopeakasvuisuus ja tavallisesti suotuista runkomuoto sekä puuaineen väri, huokoisuus, keveys, anatomiset erityispiirteet, luontainen säänkesto, kyllästyvyys ja helppo modifioitavuus mahdollistavat paperin ohella monenlaisten puutuotteiden valmistamisen. Itse asiassa haavalle on olemassa oma puuteknologinen segmenttinsä joka limittyy osin koivun, osin kuusen ja osin männyn kanssa, mutta pitää sisällään myös käyttökohteita joihin muut kotimaiset valtapuulajit eivät sovellu.

Hajuja ja makua päästämätön haapa soveltuu vaatimattomampinakin laatuina esimerkiksi elintarvike- ja kosmetiikkapakkauksiin. Vaalea ja tasainen väri mahdollistaisi

pakkausmerkintöjen painamisen suoraan puupinnalle. Värivirheellisiä, mutta lujuudeltaan heikentymättömiä (ks. luku 3.7.2) laatuja voisi käyttää myös huonekalujen keveissä runkorakenteissa kuusen korvaajana.

Potentiaalisia lopputuotteita haavan mekaaniseen jalostukseen ovat Suomessakin sahatavaran jatkojalosteiden lisäksi viiluista valmistettavat tuotteet. Söyirilän (1992) mukaan haapa on rakennusvanerin raaka-aineena kuusen kanssa kilpailukykyinen ja eräiltä ominaisuuksiltaan jopa parempi. Haapaa voitaisiin käyttää myös sekavanereissa pintaviiluna parantamaan pinnan tasaisuutta ja painettavuutta ja sisäviiluna tuomaan elastisuutta. Myös sisustus- ja esim. mailanvarsivanereissa vaalea väri ja painoon nähden hyvä jäykkyys ja lujuus puoltavat haavan käyttöä. Pohjois-Amerikassa paikallisia haapalajeja kuten myös esim. tulppaanipuuta (*Liriodendron tulipifera*) on jo parikymmentä vuotta jalostettu viilupuuksi (LVL). Loppukäyttökohteet ovat olleet sohvien, sänkyjen ja kaappien runkomateriaaleina (Hoover ym. 1984, Hsu 1988, Blackman 1992, Lee ym. 1999, Bao ym. 2001, Lee ym. 2001, Wang & Dai 2005). Myös esim. Kiinassa viljellyistä poppelilajeista valmistetaan viiluja ja vaneria (mm. Bao & Liu 2001). OSB-levyn ja LSL-palkin tärkeimpiä raaka-aineita USA:ssa ja Kanadassa ovat *L. tulipifera*, *Populus balsamifera*, *P. tremuloides* ja *P. grandidentata*. Myös PSL-palkin raaka-aineena käytetään havupuiden lisäksi *L. tulipiferaa* (mm. Heräjärvi ym. 2003, Liu & Lee 2003). Suomessa sorvauskelpoisten haapatukkien heikko saatavuus on pienkäyttöä lukuun ottamatta estänyt niin vanerin kuin viilupuunkin valmistuksen.

Pohjois-Amerikassa on tutkittu myös haavan kyllästämistä muovilla (Moore ym. 1984) ja eräillä muilla kemikaaleilla kosteuselämisen vähentämiseksi ja sään- ja lahonkeston parantamiseksi (Peyer ym. 2000, Slahor ym. 2001). Haapaa käytetään jonkin verran myös rakennesahatavarana (esim. Beauregard ym. 1992, Serrano & Cassens 2001). Joissain suomalaisissakin pk-yrityksissä on menestyksellisesti painekyllästetty haapaa samalla tavoin kuin männyn pintapuuta. Kyllästetty haapa sopii hyvin piha- ja ympäristörakentamiseen, ja on väriltään tasaisempaa kuin mänty.

Kirjallisuus

- Avramidis, S. & Mansfield, S.W. 2005. On some physical properties of six aspen clones. *Holzforschung* 59(1): 54–58.
- Bailey, G.R. 1973a. Lumber grade recovery from straight aspen logs. *For. Prod. J.* 23(4): 47–54.
- Bailey, G.R. 1973b. Aspen: framing lumber yields high, but drying a problem. *Can. For. Ind.* (January): 43–49.
- Bao, F., Fu, F., Choong, E.T. & Hse, C. 2001. Contribution factor of wood properties of three poplar clones to strength of laminated veneer lumber. *Wood Fiber Sci.* 33(3): 345–352.
- Bao, F. & Liu, S. 2001. Modeling the relationship between wood properties and quality of veneer and plywood of Chinese plantation poplars. *Wood Fiber Sci.* 33(2): 264–274.
- Beaudoin, M., Hernández, R.E., Koubaa, A. & Poliquin, J. 1992. Interclonal, intraclonal, and within-tree variation in wood density of poplar hybrid clones. *Wood Fiber Sci.* 24(2): 147–153.
- Beauregard, R., Beaudoin, M., Fortin, Y. & Samson, M. 1992. Evaluating warp from three sawing processes including saw-dry-rip to produce aspen structural lumber. *For. Prod. J.* 42: 61–64.
- Benbrahim, M. & Gavaland, A. 2003. A new stem taper function for short-rotation poplar. *Scand. J. For. Res.* 18: 377–383.
- Bendtsen, A., Maeglin, R. & Deneke, F. 1981. Comparison of mechanical and anatomical properties of eastern cottonwood and populus hybrid NE-237. *Wood Science* 14(1): 1–14.
- Bendtsen, B.A. & Senft, J. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood Fiber Sci.* 18(1): 23–38.
- Blackman, T. 1992. Quebec plant marks „first“ by making LVL from hardwood. *Can. For. Ind.* (March / April): 24–25.
- Blankenhorn, P.R., Bowersox, T.W., Strauss, C.H., Stimely, G.L., Stover, L.R. & DiCola, M.L. 1988. Effects of management strategy and site on selected properties of first rotation Populus hybrid NE-388. *Wood Fiber Sci.* 20(1): 74–81.
- Blomberg, J., Persson, B. & Blomberg, A. 2005. Effects of semi-isostatic densification of wood on the variation in strength properties with density. *Wood Sci. Technol.* 39: 339–350.
- Blomberg, J., Persson, B. & Bexell, U. 2006. Effects of semi-isostatic densification on anatomy and cell-shape recovery on soaking. *Holzforschung* 60: 322–331.
- Bodig, J. & Jayne, B.A. 1982. *Mechanics of wood and wood composites.* Van Nostrand Reinhold, New York. 712 s.
- Boone, R.S. 1990. Sorting aspen bolts and drying aspen flitches for SDR. *Julkaisussa: Adams, R.D. (ed.). Proceedings from Aspen symposium '89, Duluth, MN. NC-GTR-140: 295–299. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St.Paul, MN.*

- Bowyer, J.L., Kallio, E., Monson, C.R. & Nicholls, D.L. 1986. Standard blanks: a new alternative to hardwood lumber. *For. Prod. J.* 36(2): 67–73.
- Börset, O. 1952. Undersökelse over ospetømmer. *Meddr norske SkogforsVesen* 39: 355–423.
- DeBell, J.D., Gartner, B.L. & DeBell, D.S. 1998. Fiber length in young hybrid *Populus* stems grown at extremely different rates. *Can. J. For. Res.* 28: 603–608.
- DeBell, D.S., Singleton, R., Harrington, C.A. & Gartner, B.L. 2002. Wood density and fiber length in young *Populus* stems: Relation to clone, age, growth rate, and pruning. *Wood Fiber Sci.* 34(4): 529–539.
- De Boever, L., Vansteenkiste, D. & Van Acker, J. 2005. Using poplar in light constructions: The problem of non-uniform moisture distributions after drying. In: Teischinger, A. & Van Acker, J. (Eds.). *Proceedings of the COST Action E44 Conference: Broad Spectrum Utilisation of Wood*. June 14th–15th 2005, BOKU, Vienna, Austria. Pp: 111–120.
- Eaton, J. 2000. Poplar silviculture: Applying the European model to American poplar farming. *Julkaisussa: Isebrands, J.G. & Richardson, J. (eds.). 21st Session of the International Poplar Commission (IPC 2000) Poplar and Willow Culture: Meeting the Needs of Society and the Environment*. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. NC-215. NC Res. Sta., USA. s. 52.
- Eikenes, B. & Flæte, P.-O. 2000. Osp som byggemateriale. Norsk institutt for skogforskning, og Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport 6/2000. 29 s.
- Ekström, H. 1989. Aspvirke, egenskaper och användning. Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära. Rapport 207. 103 s.
- EN 1534. 2000. Wood and parquet flooring – Determining of resistance to indentation (Brinell) – Test method. European Standard. 10 s.
- Erickson, R. & Demaree, L. 1972. The drying of predrilled aspen lumber. *For. Prod. J.* 22(11): 48–50.
- Farmer, R.H. 1981. *Handbook of hardwoods*. Princes Riseborough Laboratory, London, Great Britain. 243 s.
- Fjærtøft, F., Eikenes, B., Flæte, P.-O. & Høibø, O. 1998. Osp som konstruksjonsvirke – sorteringskriterier og styrkeegenskaper. Norsk institutt for skogforskning, og Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport 2/1998. 22 s. + liite 1 s.
- Flæte, P.-O. 1997. Anvendelse av osp i Minnesota, Rapport fra en studietur høsten 1996. Norsk institutt for skogforskning, og Institutt for skogfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport 8/1997. 14 s.
- Flæte, P.-O. & Eikenes, B. 2000. Osp som byggemateriale. Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 6/2000. 29 s.
- Green, D.W. & Evans, J.W. 1987. Mechanical properties of visually graded lumber. *National Technical Information Service*. Vol. 1.

- Hall, R.B., Hillton, G.D. & Maynard, C.A. 1982. Construction lumber from hybrid aspen plantation in the central states. *Journal of Forestry, Society of American Foresters*, ss. 291–294 (May).
- Haygreen, J.G. 1970. The strength of aspen studs. *Minnesota Forest Research Note 221*. 4 s. St.Paul, MN.
- Haygreen, J.G. & Wang, S.S. 1966. Some mechanical properties of aspen wetwood. *For. Prod. J.* 16(9): 118–119.
- Hernández, R.E., Koubaa, A., Beaudoin, M. & Fortin, Y. 1998. Selected mechanical properties of fast-growing Poplar hybrid clones. *Wood Fiber Sci.* 30(2): 138–147.
- Heräjärvi, H. 2004. Static bending properties of Finnish birch wood. *Wood Science and Technology* 37(6): 523–530.
- Heräjärvi, H., Jouhio, A., Tammiruusu, V., Nuutinen, T., Väärä, T. & Verkasalo, E. 2003. Mänty- ja koivupienpuun käyttömahdollisuudet rakennepuutuotteissa (EWP). Tekesin osarahoittaman esiselvityshankkeen loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 890. 58 s. + liitteet 16 s.
- Heräjärvi, H. & Junkkonen, R. 2004. Puutuotteita haavasta ennen, nyt ja tulevaisuudessa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2004: 69–75.
- Holm, S. 2000. Haavan kasvatusta ja käyttöä. *Metsälehti Kustannus*. Pihlaja-sarja nro 5. 111 s. + liitteet 11 s.
- Holm, S. 2004. Haavan viljely Suomessa ja Virossa. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2004: 117–118.
- Hoover, W.L., Ringe, J.M., Eckelman, C.A. & Youngquist, J.A. 1984. Design and specification of hardwood laminated veneer lumber for furniture applications. *For. Prod. J.* 38(1): 31–34.
- Hsu, W.E. 1988. Laminated veneer lumber from aspen. *Proceedings of the 22nd International Particleboard Composite Symposium*. Washington State University, Pullman, WA. ss. 257–269.
- Huffman, D.R. 1972. Kiln-drying aspen studs. *For. Prod. J.* 22(10): 21–23.
- Huffman, D.R. & Cech, M.Y. 1976. Kiln-drying 1-inch aspen. *Can. For. Ind.* 96(8): 27–35.
- Hynynen, J. 1999. Haavan ja hybridihaavan kasvu ja tuotos. *Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.) Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen*. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammisaarella 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 25–37.
- Jalava, M. 1945. Suomalaisen männyn, kuusen, koivun ja haavan lujuusominaisuuksista. *Commun. Inst. For. Fenn.* 33(3): 1–66.
- Janin, G. & Keller, R. 1976. Propriétés physiques, mécaniques et papeteries du bois de deux hybrides entre *Populus tremula* et *Populus tremuloides*. *INRA Document* 1976-1. 22 s. Nancy, France.

- Karacic, A., Werwijst, T. & Weih, M. 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation *Populus* plantations on agricultural land in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 18: 427–437.
- Keays, J.L., Hatton, J.V., Bailey, G.R. & Neilson, R.W. 1974. Present and future uses of Canadian poplars in fibre and wood products, *Can. For. Serv., Inf. Rep. VP-X-120*: 1–49.
- Keinänen, E. & Tahvanainen, V. 1995. Pohjolan jalot puut. Pohjois-Savon erikoispuiden käytön lisäämisprojekti. 160 s.
- Kemp, A.E. 1959. Factors associated with the development of collapse in aspen during kiln drying. *For. Prod. J.* 9(3): 124–130.
- Kennedy, R.W. 1974. Properties of poplar affect utilization. Julkaisussa: Neilson, R.W. & McBride, C.F. (eds.). *Poplar utilization symposium. Can. For. Serv., Inf. Rep. VP-X-127*: 51–64. Ottawa, Ontario, Canada.
- Kivistö, J., Sipi, M., Kantola, A. & Niemelä, T. 1999. Koivun, haavan sekä terva- ja harmaalepän mekaaninen jalostus ja lopputuotteet Suomessa vuonna 1999. Postikysely- ja haastattelututkimuksen tulosten yhteenveto. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos, Julkaisuja 20. 56 s. + liitteet.
- Koubaa, A., Hernández, R.E., Beaudoin, M. & Poliquin, J. 1998. Interclonal, intraclonal, and within-tree variation in fiber length of poplar hybrid clones. *Wood Fiber Sci.* 30(1): 40–47.
- Kretschmann, D.E., Isebrands, J.G., Stanosz, G., Dramm, J.R., Olstad, A., Cole, D. & Samsel, J. 1999. Structural lumber properties of hybrid poplar. *Res. Pap. FPL-RP-573*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, USA. 8 s.
- Kyokong, B., Keenan, F.J., Boyd, S.J. 1986. Fracture behavior of adhesive joints in poplar. *Wood Fiber Sci.* 18(4): 499–525.
- Kärki, T. 1997. Haapa- ja leppätukkien kysyntä, hankinta ja laatu. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 53. 78 s.
- Kärki, T. 1999. Haapa erikoispuuna pk-teollisuudessa – pienyrittäjien kokemuksia haapapuun käytöstä. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). *Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammisaarella 12.11.1998. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 725*: 123–135.
- Kärki, T. 2001. Variation of wood density and shrinkage in European aspen (*Populus tremula*). *Holz Roh- u. Werkstoff* 59: 79–84.
- Kärki, T. & Vainikainen, V. 2004. Determining the quality of aspen (*Populus tremula*) logs for mechanical wood processing in Finland. *Forest Products Journal* 54(7/8): 64–71.
- Kärkkäinen, M. 1978. Haapatukkien lahoisuus. *Silva Fenn.* 12(3): 217–221.
- Kärkkäinen, M. 1981. Haapa- ja poppelilajien (*Populus*) käyttö. *Silva Fenn.* 15(2): 156–179.
- Kärkkäinen, M. 1984. Miten koivuun tulisi suhtautua metsätaloudessa. *Silva Fenn.* 18(1): 1–34.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. *Metsälehti Kustannus*. 451 s.

- Kärkkäinen, M. & Salmi, J. 1978. Tutkimuksia haapatukkien mittauksesta ja teknisistä ominaisuuksista. *Folia For.* 455. 45 s.
- Kučera, B. 1991. Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre. Skogfors. Norwegian Forest Research Institute, Department of Forestry, Agricultural University of Norway. 104 s.
- Laitakari, E. 1938. Haavasta ja sen kasvattamisesta. *Metsätaloudellinen aikakauslehti* 6/1938: 119–123.
- Lamb, F.M. 1967. Aspen woods characteristics, properties and uses; a review of recent literature. Res. Pap. NC-13. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, USA. 15 s.
- Lee, J.N., Tang, R.C. & Kaiserlik, J.H. 1999. Edgewise static bending properties of yellow-poplar laminated veneer lumber: Effect of veneer-joint design. *Forest Prod. J.* 49(7/8): 64–70.
- Lee, J.N., Tang, R.C. & Kaiserlik, J.H. 2001. Nondestructive evaluation of modulus of elasticity of yellow-poplar LVL: Effect of veneer-joint design and relative humidity. *Wood Fiber Sci.* 33(4): 510–521.
- Littleford, T.W. & Roff, J.W. 1975. Evaluation of structural grades of northern aspen. Properties of poplar affect utilization. *Can. For. Serv., Inf. Rep. VP-X-148.* 19 s. Ottawa, Ontario, Canada.
- Liu, Y. & Lee, A.W.C. 2003. Selected properties of parallel strand lumber made from southern pine and yellow-poplar. *Holzforschung* 57(2): 207–212.
- Louna, T. & Valkonen, S. 1995. Kotimaisen raaka-aineen asema lehtipuiden teollisessa käytössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 553. 38 s.
- Luppold, W. & Bumgardner, M. 2003. What is low-value and/or low-grade hardwood? *For. Prod. J.* 53(3): 54–59.
- Mackay, J.F.G. 1974a. Drying dimension lumber sawn from trembling aspen (*Populus tremuloides*) and balsam poplar (*P. balsamifera*). Julkaisussa: Neilson, R.W. & McBride, C.F. (eds.). Poplar utilization symposium. *Can. For. Serv., Inf. Rep. VP-X-127:* 84–95. Ottawa, Ontario, Canada.
- Mackay, J.F.G. 1974b. High-temperature kiln drying of northern aspen 2-by-4-inch light-framing lumber. *For. Prod. J.* 24(10): 32–35.
- Mackay, J.F.G. 1975a. Properties of northern aspen discolored wood related to drying problem. *Wood & Fiber* 6(4): 319–326.
- Mackay, J.F.G. 1975b. Delayed shrinkage after surfacing of high-temperature kiln-dried northern aspen dimension lumber. *For. Prod. J.* 26(2): 33–36.
- Maeglin, R.R. 1989. Structural lumber from aspen: using the Saw-Dry-Rip (SDR) process. Julkaisussa: Adams, R.D. (ed.). Proceedings from Aspen symposium '89, Duluth, MN. NC-GTR-140: 289–293. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St.Paul, MN, USA.

- Maeglin, R.R., Liu, J.Y. & Boone, R.S. 1985. High-temperature drying and equalizing: effects on stress relief in yellow-poplar lumber. *Wood Fiber Sci.* 17(2): 240–253.
- Matyas, C. & Peszlen, I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica* 46(2–3): 64–72.
- Metsälä, H. 1998. Puukirja. Rakennusalan kustantajat RAK. 2. painos. 163 s.
- Moore, G.R., Garges, L.D., Blankenhorn, P.R. & Kline, D.E. 1984. Effect of epoxy impregnation on the MOE and MOR of intact and failed yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) sapwood beams. *Wood Fiber Sci.* 16(4): 508–517.
- Möller, K. & Otranen, L. 1999. Puun lämpökäsittely. Ympäristötekniikan instituutin julkaisuja, Nro 4. Mikkeli 1999. 115 s.
- Niskanen, M. 1997. Hankintamyyjälle hyvin sopiva haapa nousee arvoonsa. *Metsäliiton Viesti* 4/97, ss. 8–12.
- Niskanen, M. 2005. Kemihierre viedään käsistä. *Metsäliiton Viesti* 4/05. s. 16.
- Paul, B.H. 1956. Specific gravity of *Populus* species and hybrids. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Report 2060. 17 s. Madison, WI, USA.
- Peltola, A. 2004. (toim.). Metsätaloustilastollinen vuosikirja 2004. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2003. 416 s.
- Pérez, O.P. 2002. Growth and wood properties of aspen (*Populus tremula*), quaking aspen (*Populus tremuloides*) and hybrid aspen (*Populus tremula* x *Populus tremuloides*) in Finland and suitability for industrial processing. Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto, sovelletun biologian laitos. 28 s. + liitteet.
- Perng, W.R., Brebner, K.I. & Schneider, M.H. 1985. Aspen wood anatomy and fluid transport. *Wood Fiber Sci.* 17(2): 281–289.
- Peters, J.J., Bender, D.A., Wolcott, M.P. & Johnson, J.D. 2002. Selected properties of hybrid poplar clear wood and composite panels. *For. Prod. J.* 52(5): 45–54.
- Peyer, S.M., Wolcott, M.P. & Fenoglio, D.J. 2000. Reducing moisture swell of densified wood with polycarboxylic acid resin. *Wood Fiber Sci.* 32(4): 520–526.
- Rantanen, A., Jalonen, O.-P. & Pitkänen, P. 2000. Etelä-Savon lehtipuuvarojen teknistä taloudellista hyödyntäminen. Helsingin yliopisto, maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. Julkaisuja 72. 47 s.
- Reynolds, H.W. & Donahue, P.K. 1989. Opportunities of aspen for furniture. Julkaisussa: Adams, R.D. (ed.). Proceedings from Aspen symposium '89, Duluth, MN. NC-GTR-140: 301–309. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St. Paul, MN, USA.
- Robichaud, Y., Petro, P.J. & Kingsley, M.C.S. 1974. Aspen lumber and dimension stock recovery in relation to sawing pattern. *For. Prod. J.* 24(3): 26–30.
- Rytter, L., Stener, L.-G. & Werner, M. 2002. Hybridasp – ett lönsamt alternativ som passar i det nya skogsbruket. *Skogforsk Resultat* 10/2002. 4 s.

- Salmi, J. 1978. Suomalaisia ja ulkomaisia puulajeja. Osa III: Lehtipuut O-Ö. Helsingin yliopisto, metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 38. 298 s.
- Semen, E., Kuo, M., Su, Y.-C., Hall, R.B. & Stokke, D.D. 2001. Physical properties of kraft pulp from four-year-old aspen hybrids and crosses. *Wood Fiber Sci.* 33(1): 140–147.
- Serrano, R. & Cassens, D. 2001. Reducing warp and checking in plantation-grown yellow-poplar 4 by 4's by reversing part positions and gluing in the green condition. *For. Prod. J.* 51(11/12): 37–40.
- Sibal, P.V. & Bowyer, J.L. 1983. The quality of aspen bolts delivered to two concentration yards in Northern Minnesota. *Univ. Minn., Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 337. 20 s. St.Paul, MN, USA.
- Siimes, F.E. & Liiri, O. 1952. Puun lujuustutkimuksia 1. Pienet virheettömät koekappaleet. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Tiedoitus 103. 88 s.
- Slahor, J.J., Hassler, C.C. & Dawson-Andoh, B. 2001. The durability of yellow-poplar and red maple treated with ACQ-B. *For. Prod. J.* 51(9): 59–62.
- Söyriälä, P. 1992. Haapa viulun ja vanerin raaka-aineena. *Paperi ja Puu – Paper and Timber* 74(8): 621–627.
- Thermowood käsikirja. 2003. Lämpöpuuyhdistys ry. 64 s. + liitteet 10 s. www.thermowood.fi/data.php/200401/914711200401161255_TWkäsikirja.pdf
- Tikka, P.S. 1955. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. II. Laatu. *Commun. Inst. For. Fenn.* 45(3): 1–54.
- Tukiainen, J.P. 2001. Entinen roskapuu on nykyään rahanarvoista korkeateknologiaa – www.haapabisnes.com. *Ilta-Sanomat Plussa*, 24.11.2001, ss. 10–12.
- Uusvaara, O. & Pekkala, O. 1979. Eräiden ulkomaisten ja kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. *Commun. Inst. For. Fenn.* 96(2): 1–59.
- Vadla, K. 1999. Finérutbytte og –kvalitet hos stammekvistet og ikke stammekvistet furu, bjørk og osp. *Norsk Institutt for Skogforskning. Rapport 13/1999.* 21 s. + liitteet 2 s.
- Verkasalo, E. 1990. Koivu ja haapa mekaanisen metsäteollisuuden raaka-aineena Yhdysvalloissa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 367. 93 s.
- Verkasalo, E. 1999. Haavan ominaisuudet ja käyttömahdollisuudet mekaanisessa puunjalostuksessa. Julkaisussa: Hynynen, J. & Viherä-Aarnio, A. (toim.). Haapa – monimuotoisuutta metsään ja metsätalouteen. Vantaan tutkimuskeskuksen tutkimuspäivä Tammissaarella 12.11.1998. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 725: 107–122.
- Vesterinen, E. 1944. Haapapuun käyttö puunjalostusteollisuudessa. *Suomen Puu* 19(5): 51–52.
- Vesterinen, E. 1956. Kelpaavatko koivu ja haapa rakennuspuuksi? *Suomen Puutalous* (2): 63.
- Vilkki, M. 2002. Haavan koesahaus I. Hämeen puuverkko, hankeraportti. 5 s. + liitteet 3 s.
- Wang, B.J. & Dai, C. 2005. Hot-pressing stress graded aspen veneer for laminated veneer lumber (LVL). *Holzforchung* 59(1): 10–17.

- Yanchuk, A.D., Dancik, B.P. & Micko, M.M. 1983. Intraclonal variation in wood density of trembling aspen in Alberta. *Wood Fiber Sci.* 15:387–394.
- Yu, Q., Tigerstedt, P.M.A. & Haapanen, M. 2001. Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula* L. x *Populus tremuloides* Michx.). *Silva Fenn.* 35(1): 15–25.
- Zak, J.B. 1990. Changing our views on aspen acceptance. *Can. For. Ind.* (March): 46–49.
- Zumer, M. 1966. Astungsversuche an Föhre, Fichte, Birke, Aspe, Esche und Eiche. *Meddr norske SkogsforsVesen* 20: 399–581.

Termien määritelmiä

Solakkuus / kapenevuus	Rungon kapenemista (mm/m) kuvaava tunnus, lasketaan: $(d_{1,3}-d_6)/4,7$
Elävä oksa	Rungon ulko-oksa, jossa on lehtiä tai eläviä silmuja
Kuollut oksa	Rungon ulko- tai sisäoksa, jossa ei ole enää yhteyttävää lehtimassaa
Terve oksa	Tukissa, sahatavarassa tai viilussa oleva elävä tai kuollut oksa, jonka kehästä yli puolet on kiinni ympäröivässä puuaineessa
Kuiva oksa	Tukissa, sahatavarassa tai viilussa oleva kuollut oksa, joka ei ole laho ja jonka kehästä alle puolet on kiinni ympäröivässä puuaineessa
Laho oksa	Tukissa, sahatavarassa tai viilussa oleva lahoa sisältävä oksa
Kuorioksa	Sahatavarassa oleva kuollut oksa, jossa kuori on jäänyt selvästi oksan ja ympärille kasvaneen puuaineen väliin
Pysty- eli poikaoksa	Haaran kaltainen suuri oksa, jonka oksakulma on pieni
Oksakyyhmy	Rungon pinnalla näkyvä paisuma, joka osoittaa alla olevan kyljestyneen oksan
Tukkiosa	Rungon osa tyveltä 15 cm:n läpimitaan asti
Tyvimutka	Puun rungossa lähellä maanpintaa oleva mutka, joka on yleensä saanut alkunsa nuoruusiän väärästä kasvuasennosta
Mutka	Puun rungossa oleva jalostukseen haitallisesti vaikuttava pituussuuntainen muotoepämuotoisuus
Lenkous	Rungon pituussuuntainen tasainen kaareutuminen
Monivääryys	Usean eri suuntaan olevan mutkan aiheuttama muotoepämuotoisuus
Haara	Suuren oksan tai toisen latvan muodostama muotoepämuotoisuus
Epäpyöreys	Rungon poikkileikkauksen läpimittojen suuri ero eli soikeus

Piparkakkutyvi	Korkeiden juurenniskojen aiheuttama poikkeama rungon poikkileikkauksen pyöreyydessä tyvellä
Umpikoro	Umpeenkasvanut pintavaurio
Avokoro	Avonainen pintavaurio
Halkeama	Rungon pituussuuntainen kuoressa ja puuaineessa oleva vika
Kuoripolte	Haavalla esiintyvä sienitauti, joka aiheuttaa koron
Hirvivauriot	Hirvieläinten aiheuttama kuoren vaurio
Vesisilo	Bakteerien infektoima vettyneen näköinen puuaine
Värivika	Puuaineen värimuutos
Kova laho	Bakteerien tai sienten aiheuttama puuaineen selvä värimuutos, joka ei kuitenkaan ole vielä aiheuttanut puuaineen pehmenemistä
Pehmeä laho	Puuaineen pehmentymiseen asti edennyt laho
Toukanreikä	Haapojen tyvellä tavallisesti runkohaapsasen (<i>Saperda carcharias</i>) toukan kaivama jopa sormenpaksuinen reikä, joka levittää usein värivikaa / lahoa
Läpisahe	Särmäämätön, tässä tutkimuksessa noin 35 tai 28 mm paksu sahe
Sormijatkamispotentiaali	Sormijatkamiseen käyttökelpoinen osuus läpisaheen pinta-alasta
Lamelli	Tässä tutkimuksessa tietyn levyinen läpisaheen teoreettisesti tarkasteltava leveysosa tai mittausväli
Kuivatuoretiheys	Puunäytteen kuivamassa jaettuna tuoretilavuudella
Gravimetrinen mittaus	Täysin turvonneessa tilassa oleva puunäyte upotetaan vaa`alle asetettuun vesiastiaan ja sen tilavuus luetaan muuttamalla vaa`an näyttämä massa tilavuudeksi periaatteella $1\text{ g} = 1\text{ cm}^3$

Brinell-kovuus	Tunnus, joka kuvaa materiaalin pinnan kovuutta. Mittausmenetelmä standardin EN 1534 mukaan
Kimmokerroin	Kappaleen jäykkyyttä kuvaava tunnus
PVAC-liima	Vesiohenteinen polyvinyylisetaatti-pohjainen liima
Normi EN 204	Liimojen käyttöalueiden standardi; rasisusryhmät D1–D4
D3-rasisusryhmä	Sisäliimaukset, joihin vaikuttaa usein toistuvasti lyhytaikaisesti vesi ja/tai pitkäaikainen korkea ilmankosteus
D4-rasisusryhmä	Sisäliimaukset, joihin vaikuttaa usein toistuvasti ja voimakkaasti vesi. Ulkoliimaukset, jotka on suojattu pintakäsittelyllä, mutta ovat säälle alttiina
Normi EN 301	“Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load bearing timber structures: Classification and performance requirements” luokittelee rakenteelliset liimat niiden lujuusominaisuuksien mukaan kahteen luokkaan: 1) Täysin säänkestävät liimat ja 2) Liimat, jotka kestävät kosteutta vain hetkellisesti ja joita voidaan käyttää tuuletetuissa sekä säältä suojatuissa tiloissa.