

Siperianlehtikuusen ominaisuudet tuotteiden valmistuksessa, asennuksessa ja varastoin- nissa

Tiivistelmä

Tekijä(t) Neuvonen, Pasi	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 26	Valmistumisaika 2022
Työn nimi Siperianlehtikuusen ominaisuudet tuotteiden valmistuksessa, asennuksessa ja varastoinnissa		
Tutkinto ja koulutusala Rakennusmestari (AMK), rakennusalan työnjohdon koulutus		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Pasi Neuvonen, toimitusjohtaja, Hirsirakenne Neuvonen Pasi		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön aiheena käsiteltiin siperianlehtikuusen ominaisuuksien huomioimista sahatavaran valmistuksessa, kiinnityksessä, pinnoittamisessa ja varastoinnissa. Vertailtiin muun muassa erilaisten sahaustapojen merkitystä lopputuotteen kannalta.</p> <p>Lehtikuusen puuaineen fysikaalisista ja mekaanisista ominaisuuksista on tutkittua tietoa vähän saatavilla sekä tutkimustulokset ovat hajallaan kirjallisuudessa. Lehtikuusta käsitellään usein samoilla edellytyksillä kuin kotimaisia havupuulajeja. Tämän takia lehtikuusen luontaiset ominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia käsittelyssä ja antaa vaikutelman vaikeasti käsiteltävästä puuaineesta.</p> <p>Suomessa siperianlehtikuusta on käytetty hyvin vähän verrattuna perinteisiin kotimaisiin puulajeihin. Vähäisen käytön ja kokemusten kautta perimätietoa on kertynyt vähän lehtikuusen ominaisuuksista hyödynnettäväksi. Lehtikuusituotteiden kysynnän kasvaessa tutkittua tietoa olisi hyvä saada lisää. Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada tiivistettyä tietoa siihen, missä ja miten lehtikuusta tulisi käyttää parhaiten.</p> <p>Työssä verrattiin eri lähteistä saatua tutkimustietoa toimeksiantajan kokemuksiin lehtikuusen ominaisuuksista rakennusmateriaalina. Yritys on toteuttanut jo vuosien ajan useita rakennushankkeita, joiden puuraaka-aineena on käytetty ainoastaan siperianlehtikuusta.</p> <p>Opinnäytetyöstä koottujen tulosten perusteella voidaan todeta, että lehtikuusen käsittely tukista valmiiksi tuotteeksi onnistuu hyvin, jos kaikissa jalostusvaiheissa huomioidaan puuaineen yksilöllisten ominaisuuksien merkitys tuotteen valmistuksessa. Lehtikuusta voidaan käyttää rakennusmateriaalina, mutta tutkimusten perusteella parhaiten se soveltuu ominaisuuksiensa puolesta erikoistuotteisiin.</p>		
Asiasanat siperianlehtikuusi, Larix sibirca, rakentaminen, sahaus, korrosio, terassi		

Abstract

Author(s) Neuvonen, Pasi	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2022
	Number of Pages 26	
Title of Publication Properties of Siberian larch in the manufacture, installation and storage of products		
Degree and field of study Bachelor of Construction Management, Degree Programme in Construction Management		
Name, title and organisation of the client Pasi Neuvonen, managing director, Hirsirakenne Neuvonen Pasi		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to introduce information about natural properties of siberian larch. In addition the purpose was to explore these properties in processing and storing sawn timber.</p> <p>Little is known about the physical and mechanical properties of larch timber. It is often treated like any other conifer species so the natural properties of larch may cause processing problems. Larch is considered a difficult material to process for this reason.</p> <p>Domestic wood species are used considerably more than siberian larch in Finland. With less experience, even less information is obtained. It would be profitable to have more researched information due to the increased demand for larch products. The intention was to summarize the information on how larch can be used.</p> <p>Research data was searched in the literature, which was then compared to the client's experiences. The company has carried out several construction projects using only siberian larch as the wood material.</p> <p>Based on this thesis, the processing of larch into a finished product is possible if the natural properties of the material are taken into account. Larch is suitable for special products due to its strength and decorative appearance. It can also be used in construction.</p>		
Keywords Siberian larch, Larix sibirca, construction, sawing, corrosion, terrace		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Lehtikuusen kasvatuksen ja käytön historia	2
3	Lehtikuusen käyttö nykyään.....	3
4	Lehtikuusen ominaisuudet	4
4.1	Lahonkestävyys.....	4
4.2	Lujuus.....	6
4.3	Lehtikuusen kutistuminen ja turpoaminen	7
4.4	Lehtikuusen pihka ja uuteaineet.....	8
4.5	Lehtikuusen ulkonäkö	8
4.6	Lehtikuusesta haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC).....	9
5	Lehtikuusitukkien sahaus.....	10
5.1	Yleistä.....	10
5.2	Tukkien sahausperiaatteet.....	11
5.3	Läpisahaus (Tuppeen sahaus).....	11
5.4	Nelisahaus (Pelkkasahaus)	12
5.5	Kvarttisahaus.....	12
5.6	Tähtisahaus	13
5.7	Radiaalisahaus	13
6	Lehtikuusisahatavaran kuivaus	15
7	Lehtikuusen liimaus	17
8	Lehtikuusen pintakäsittely	18
9	Lehtikuusen työstäminen kuivauksen jälkeen	21
9.1	Höyläys.....	21
9.2	Jyrsintä	21
9.3	Hionta	22
9.4	Sorvaaminen	22
9.5	Veistäminen.....	22
9.6	Reikien poraaminen.....	22
10	Lehtikuusen kiinnitys ruuvaamalla tai naulaamalla.....	23
11	Lehtikuusen varastointi työmaalla	25
12	Yhteenveto ja päätelmät	26
	Lähteet	28

1 Johdanto

Rakennetun ympäristön ekologisuuteen kiinnitetään huomiota aiempaa enemmän. Ympäristölle haitallisten puunsuoja-aineiden käyttöä on rajoitettu huomattavasti. Kemiallisesti käsitellylle puulle on ollut tarpeellista löytää ekologisia ja käyttöturvallisia vaihtoehtoja. Siperianlehtikuusi on noussut yhdeksi vaihtoehdoksi. Puulajille tunnettuja ominaisuuksia ovat lujuus, luontainen lahonkestävyys ja esteettinen ulkonäkö.

Lehtikuusen positiivinen tunnettavuus perustuu useimmiten sen säänkestävyyteen ja ulkonäköön. Negatiivinen tunnettavuus on terassilaudan tikkuuntuminen ja lehtikuusi materiaalia koetaan hankalaksi työstää. Puuaineen teknisistä ominaisuuksista ja niiden vaikutuksesta materiaalin käsittelyyn on kirjoitettu suhteellisen vähän.

Toimeksiantajana opinnäytetyössä oli Hirsirakenne Neuvonen. Yritys on toteuttanut lehtikuusirakennushankkeita kotimaan lisäksi myös pohjoismaissa ja muualla Euroopassa. Yritys on keskittynyt mahdollisimman ekologiseen massiivipuुरakentamiseen. Toimeksiannon tarkoituksena oli tuoda esille lehtikuusen erityispiirteitä, jotka tulisi huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli saatavilla olevan tutkimustiedon vertaaminen toimeksiantajan kokemuksiin lehtikuusesta rakennusmateriaalina. Opinnäytetyö rajattiin saatavilla olevaan tietoon ja kokemuksiin raakapuun jalostuksesta, materiaalien asennuksesta ja varastoinnista. Lisäksi tarkasteltiin puulajille sopivia yleisempiä käyttökohteita.

Mikäli lehtikuusen käyttöä halutaan lisätä vaihtoehtona kemiallisesti käsitellylle puulle, tutkimustietoa tarvitaan lisää. Kysymyksiin, joihin opinnäytetyössäni pyrin vastaamaan, liittyvät puuaineen todelliseen lahonkeston ja voiko sitä pintakäsitellä, sahatavaran kieroutumiseen ja muodonmuutoksiin, terassilaudan tikkuuntumiseen ja mitkä ovat puuaineen käyttökohteet sekä ongelmat työstettävyydessä.

Lehtikuusilajeja on kymmenen. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin siperianlehtikuusi lajiin (*Larix sibirica*), joka on yleisin Suomessa kasvava vieraspuulaji, mutta silti vielä suhteellisen tuntematon. Lehtikuusen aiemmat tutkimukset ovat keskittyneet enemmän kasvatukseen ja metsänhoitoon.

2 Lehtikuusen kasvatuksen ja käytön historia

Lehtikuusen kasvatuksen historia

Skandinaviassa on lehtikuusia kasvanut jo viimeisen jääkauden jälkeen, mutta puulajina se hävisi esihistorian aikana. Lehtikuusen viljely aloitettiin jo 1700-luvulla ja sen jälkeen Pohjoismaihin on levinnyt useita lehtikuusilajeja. (Bergstedt & Lyck 2007, 4.)

Suomessa lehtikuusimetsiä arvioitiin 1950-luvun lopussa olevan 1500 hehtaaria. Siperianlehtikuusen lisäksi viljellään euroopanlehtikuusta, dahurianlehtikuusta, kurilienlehtikuusta, japaninlehtikuusta ja lisäksi erilaisia lehtikuusihybridejä. (Verkasalo 2001, 5.)

Karjalan kannaksella ensimmäiset siperianlehtikuusen viljelykokeilut aloitettiin vuonna 1727 ja viljelykokeilun tulokset ovat edelleen näkyvillä Raivolan lehtikuusimetsässä. Nykyisen Suomen lehtikuusien viljely aloitettiin Raivolan metsästä kerätyillä siemenillä 1800-luvun alkupuolella. Viljely aloitettiin Kiteellä, Evolla ja myöhemmin Punkaharjulla. Nykyisin Suomessa lehtikuusimetsiä arvioidaan olevan 30 000 hehtaaria. (Venäläinen 2020, 4.)

Raivolan lehtikuusimetsä sijaitsee Terijoelta kymmenen kilometriä pohjoiseen Lintulanjoen korkealla itärinteellä. Metsä on perustettu 1700-luvun alkupuolella keisarinna Annan valtakaudella. Metsän perustamisella varmistettiin Venäjän laivanrakennuksessa tarvittavan materiaalin riittävyys ja hyvä laatu. Taustalla oli Pietari Suuren suunnitelma Itämeren laivaston perustamisesta. (Isomäki 1997, 537.)

Lehtikuusen käytön historia

Venäjällä lehtikuusella on ollut monia käyttökohteita, joiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä sen hyvästä lujuudesta ja lahonkestävyydestä. Puuta on käytetty Venäjällä muun muassa vähäkivisillä alueilla talojen perustuksena. Krasnojarskin tutkimuslaitos tutki (1938) maasta kaivettua parrua, joka on todennäköisesti ollut siellä jo yli 1000 vuotta ja puu oli vieläkin käyttökelpoista. Vuonna 1756 rakennetussa Kirenskin kirkossa on käytetty ainoastaan lehtikuusta. Kirkon seiniä ei ollut pintasuojattu ja vuonna 1937 sen kunto oli erittäin hyvä. Siperian itäosissa 40 vuotta käytössä olleet pylväät olivat myös edelleen käyttökelpoisia. (Bergstedt & Lyck 2007, 13.)

Hyvän lujuuden ja säänkestävyyden vuoksi lehtikuusta on käytetty kautta aikojen laivoissa, myllyissä, silloissa, talojen ja karjasuojien lattioissa (Sairanen 1982, 6). Matkustaessaan Euroopassa ja Englannissa Pietari Suuri oppi, että käyttämällä laivan kriittisissä osissa lahonkestävää lehtikuusta laivojen ikä voitiin kaksinkertaistaa (Isomäki 1997, 537).

3 Lehtikuusen käyttö nykyään

Lehtikuusen käytössä olisi hyvä pyrkiä pitkälle jalostettuihin erikoistuotteisiin raaka-aineen vähäisen saatavuuden vuoksi. Lehtikuusen kestävyys kosteissa olosuhteissa on todettu hyväksi ja tästä syystä sitä käytetään vesi-, maa- ja kaivosrakentamisessa. Lehtikuuselle on myös hyviä käyttökohteita maatilarakentamisessa, jossa kemiallisesti käsiteltyä puuta ei voida käyttää. Talonrakennuksessa se soveltuu hyvin ulkoverhoukseen ja esteettisen ulkonäön puolesta sisäverhoukseen, kalusteisiin sekä pienesineisiin. Venäjällä lehtikuusta käytetään lastulevyteollisuudessa, kuiduttavassa teollisuudessa, sekä perinteisenä rakennuspuuna. (Tuimala 1993, 79.) Lehtikuusi soveltuu erittäin hyvin vaativiin puusepäntuotteisiin, esimerkiksi ulko- ja leikkipuistorakenteisiin, ikkunoihin ja oviin, ulkokalusteisiin, sekä erilaisiin keittiötarvikkeisiin. (Verkasalo 2001, 13.) Lisäksi lehtikuusen sisältämää, tärkkelyksen kaltaista kemikaalia arabinogalaktania käytetään vaihtoehtoisessa lääkinnässä. (Bergstedt & Lyck 2007, 48.)

Pohjois- ja Keski-Euroopassa lehtikuusen käyttöä rajoittaa vähäinen saatavuus. Pohjoismaista Tanskassa on ehkä suurin lehtikuusen tuotanto. Siellä lehtikuusta käytetään ulkoverhouksissa, leikkipuistoissa, aitauksissa sekä ulkokalusteissa. Eniten sitä käytetään pakkausmateriaalina, rakennuspuuna sekä päätteiden melusteissa. Vanhojen puulaivojen entisöintiin käytetään pieniä määriä erikoislaatuista lehtikuusta. (Bergstedt & Lyck 2007, 12.)

Kotimaista lehtikuusta jalostavan Höyläämö Huppusen tärkeimpänä tuotteena on terassilauta. Lehtikuusi soveltuu hyvin myös luontopolkujen pitkospuiksi ja opastauluiksi, sekä hirvenmetsästyksessä käytettäviin hirvitorneihin. (Huppunen 2022.) Hirsirakenne Neuvonen käyttää järeää lehtikuusta massiivihirsien valmistukseen, mutta myös heillä suosituin tuote on lehtikuusiterassilauta.

Huviloiden ja mökkien lisäksi massiivihirrestä valmistetaan sisäjärvien sekä merenrantalaitureiden hirsiarkkuja (kiviarkkuja). Järeästä lehtikuusesta sahattua läpisahetta käytetään merenrantalaitureissa laivojen törmäyssuojina sekä luontopolkujen pitkospuina. Entisöintikohteissa lehtikuusesta on valmistettu vesikaton kattolaudoituksia.

Lehtikuusi poikkeaa ominaisuuksiltaan kotimaisista havupuulajeista. Lehtikuusi sisältää runsaasti hartsia ja muita uuteaineita, joten paperintuotanto ei ole ensisijainen käyttökohde. Kasvavan käytön ja uusien tutkimuksien seurauksena lehtikuusen ominaisuuksien tunteminen ja ymmärtäminen syvenee. Kotimaiselle lehtikuuselle olisi luotava jatkuva ja riittävä raakapuun tarjonta, jos käyttöä lisätään. Raaka-aineen saantia on lisätty tuomalla sitä Venäjältä. (Bergstedt & Lyck 2007, 48.)

4 Lehtikuusen ominaisuudet

4.1 Lahonkestävyys

Lehtikuusi tunnetaan luontaisesta lahonkestävyydestään. Tehtyjen maalahotuskokeiden pohjalta sen sydänpuu voidaan luokitella männyn kanssa samaan kestävyysryhmään (taulukko 1). Eräät trooppiset puulajit ovat kestävämpiä, kuten esimerkiksi teak ja tammen sydänpuu. Vasta näiden jälkeen luokittelussa tulee lehtikuusi ja männyn sydänpuu. (Tuimala 1993, 88.) Taulukon 1. perusteella lehtikuusta voidaan pitää erittäin kestäväenä maanpäällisissä rakenteissa (Bergstedt & Lyck. 2007, 39).

LAJI	MAAKOSKETUK- SESSA	KATTAMATON min-keski-max	KATETTU min-keski-max	AINA KUIVA
Lehtikuusi	9–10	40–65–90	90–120–150	<1800
Mänty	7–8	40–60–85	90–100–120	120–1000
Norjankuusi	4–5	40–55–70	50–60–75	120–900

Taulukko 1. Lehtikuusen, männyn ja norjankuusen arvioitu käyttöikä vuosina (Mukailtu Bergstedt & Lyck 2007)

Puuaineen painon oletetaan olevan yhteydessä havupuiden luontaiselle lahonkestävyydelle. Puuaineen painoon vaikuttaa, paljonko siinä on kesäpuuta ja uuteaineita sekä jossain määrin vuosiluston leveys. Tästä voidaan päätellä, että mitä vanhempaa puuaines on, sitä kestävämpää se on. (Tuimala 1993, 88.) Iän myötä lehtikuusen kasvu hidastuu sekä uuteaineiden määrä ja paino lisääntyy. Jos lehtikuusesta halutaan erittäin kestävää rakennuspuutavaraa, se tulisi kasvattaa yli 100-vuotiaaksi. Hyvät ominaisuudet omaavan rakennuspuutavaran minimi-ikä pidettiin ennen 150–250 vuotta. (Rantala & Anttila 2004, 82.)

Männyn ja useimpien lehtikuusilajien sydänpuu luokitellaan samaan kestävyysryhmään EN-standardin 350–2:n (1994) mukaan. Standardi on vain suuntaa antava ja lehtikuusilajeja käsitellään vain yhteisesti. On muistettava, että luontaiseen lahonkestävyyteen vaikuttaa puuaineen solurakenne ja varsinkin uuteaineiden pitoisuus. (Verkasalo 2001, 8.)

Maalahotuskokeessa lehtikuusesta valmistetuissa pylväissä, aidantolpissa ja puulatoilla alkoi lahovaurioita syntyä nopeimmillaan jo kahden vuoden kuluttua. Pyöreällä puulla kesto-aika saattoi pisimmillään olla 30 vuotta. On arvioitu, että lehtikuusen sydänpuu kestää terveenä keskimäärin 15 vuotta. Käytännössä esille tulleet seikat puoltavat käsitystä siitä, että lehtikuusella on suuria eroja lahonkestävyydessä. (Tuimala 1993, 88.)

Tuorein tutkimus lehtikuusen lahonkestävyydestä on meneillään Luonnonvarakeskuksen (Luke) toimesta. Maalahotuskoe on aloitettu vuonna 2006 Punkaharjun koekentällä. Maa- kosketuskoe suoritetaan puutavaralle virallisesti eurooppalaisen normin EN 252 mukaisesti. Testissä vertaillaan 80 vuotta kasvanutta lehtikuusta, joista toinen vertailukohde on kasvanut Punkaharjulla, ja toinen on kasvanut Siperiassa Ust Ilimskissä. Vertailun vuoksi ko- keessa käytetään kaupallisella kyllästeaineella käsiteltyä ja käsittelemätöntä lahonarkaa männyn pintapuuta, sekä jo kielletyllä CCA:lla (kupari, kromi, arseeni) käsiteltyä puuta. (Venäläinen 2020, 6–7.)

Testitulosten tarkastelu 11 kesäkauden jälkeen osoitti, että Siperiasta kotoisin oleva ja ko- timainen lehtikuusi pärjäsivät yllättävän hyvin aivan tasavertaisesti. Yllättävä havainto oli, että tehokkaana pidetyllä kyllästysaineella käsitelty mänty lahosi lehtikuusta nopeammin. Kyllästettyjen koekappaleiden kestävyys tasalaatuisuus on huomattavasti parempi ver- rattuna sydänpuu kappaleisiin. Kokeen oli tarkoitus kestää 10 vuotta, mutta se jatkuu vielä 15 vuoden jälkeenkin. (Venäläinen 2020, 6–7.)

Samalla alueella kasvaneilla puilla voi olla isoja eroja perinnöllisten uuteaineiden määrässä ja tämän takia lehtikuusen ominaisuuksien suurella vaihtelulla on iso merkitys sen kestä- vyyteen. Syitä huonoihin kokemuksiin lehtikuusen kestävydestä voivat olla esimerkiksi, jos tuotteet on valmistettu sattumalta huonosti kestävästä puusta. (Venäläinen 2020, 6–7.)

Kestävin sahatavara saadaan sydänpuun pintaosasta. Sydänpuun ydin on nuorpuuta, jonka kestävyys on heikompaa. Nuorpuu sisältää puun ensimmäiset vuosirenkaat, jotka voivat olla hyvinkin leveitä. Lehtikuusen ja männyn kuoren alla oleva vaaleampi pintapuuta (manto) on hyvin lahonarkaa. Lahonkestävyyttä vaativissa tuotteissa pintapuuta tulisi vält- tää. (Venäläinen 2020, 6–7.)

Lahotuskokeista saadut havainnot vahvistavat yleisen käsityksen lehtikuusen luontaisesta lahonkestosta maa- ja vesikosketuksessa. Kotimaisen ja siperialaisen tuontipuutavaran kestävydessä ei ole suuria eroja. Mielenkiintoinen havainto on kuitenkin se, että lehtikuusi on kestävämpää verrattuna laimeasti kyllästysaineella käsiteltyyn puuainekseen. Lehtikuusi on tasavertainen CCA- ja kuparikäsiteltyjen materiaalien kanssa. (Venäläinen 2020, 6–7.)

Kemiallisesti käsitellyn puun ja luontaisesti lahonkestävän puun olennaisin ero on todennä- köisesti siinä, että kyllästetty puu on kestävyydeltään tasalaatuisia ja sille voidaan luvata tietty kestoikä. Lehtikuusen puuyksilöiden keskinäiset erot ovat suuria, eikä kestävyys liittyviä tuntomerkkejä tunnusteta riittävän hyvin, jotta valinta eri kappaleiden välillä voidaan varmuudella suorittaa ja antaa lupaus koko erän kestävydestä. Lehtikuusesta valmistettuja tuotteita käytettäessä tiedetään, että tuote ei sisällä kuparia, arseenia tai kromia. (Tuimala 1993, 89.)

Lehtikuusen luontaista lahonkeston toimintaa ei kokonaisuudessaan vielä tiedetä, mutta se tiedetään, että painavin ja vanhin puuaine on kestäväntä (Rantala & Anttila 2004, 105). Puun ikä ja puuainekseen kertyneillä uuteaineilla on iso merkitys materiaalin väriin, sekä kestävyteen. Painon lisäksi väri voisi olla yksi osatekijä kestävyuden määrittämisessä. Euroopan unionin tutkimushankkeessa on todettu, että lähi-infrapunaspektroskopia (NIR) on menetelmänä nopea ja luotettava sydänpuun uuteaineiden määrittämiseen, jolloin NIR pohjainen luokittelu kestävyydelle olisi mahdollista. (Bergstedt & Lyck 2007, 40.)

4.2 Lujuus

Lehtikuusisahatavaran käyttöä ei rajoita sen lujuusominaisuudet eikä puuaineen tiheys. Joissakin tapauksissa paino voi olla rajoittavana tekijänä. Lehtikuusen tiheys voi olla 800–900 kg/m³. (Verkasalo 2001, 9.) Puuaineen korkean tiheyden takia sen lujuusarvot ovat suuremmat verrattuna mäntyyn tai kuuseen. Koivulla ja lehtikuusella on parhaimmat tekniset ominaisuudet (taulukko 2). (Tuimala 1993, 84–85.)

Puulaji	Tiheys kg/m³	Kimmo- moduli MPa	Taivutus- lujuus MPa	Puristus- lujuus MPa	Kovuus MPa
Siperian- lehtikuusi	490- 560	12 000- 14 800	96- 101	47- 61	3 730- 4 710
Mänty	427	12 500	84	47	2 700
Kuusi	390	13 400	84	44	2 700
Koivu	495	14 800	105	53	4 310

Taulukko 2. Tiheys- ja lujuusarvot (Tuimala 1993)

Kesäpuun suuri määrä puuaineksessa tekee lehtikuusesta lujaa ja painavaa. Lehtikuudessa kesäpuuta on noin 15–50 % ja enemmän kuin männyssä (Rantala & Anttila 2004, 80).

Lehtikuusen puuaines on huomattavasti kovempaa verrattuna mäntyyn ja kuuseen. Puuaineksen kovuus voi aiheuttaa ongelmia työstettävyyteen ja asennukseen. Lehtikuusi lautojen naulaamista ei suositella, koska puuaineksen halkaisulujuus on heikko. Ruuvikiinnitykselle olisi suositeltavaa tehdä esiporaus senkkaavalla terällä, koska ruuvin senkkaavan kannan läpäistessä laudan pinnan, siitä pyrkii nousemaan tikku. Käytännössä on huomattu,

että lehtikuusen kovuus ja heikko halkaisulujuus aiheuttavat sahatavarakappaleen pinnan tikkuuntumista, sekä lohkeilua kappaletta höylättäessä. (Tuimala 1993, 85.)

4.3 Lehtikuusen kutistuminen ja turpoaminen

Lehtikuusen kosteuskäyttäytyminen on yllättävän suurta ja se on ristiriidassa materiaalin suureen tiheyteen. Tangentin- ja säteensuuntaisen kutistumisen (turpoamisen) välinen ero on huomattavan suuri. Tangentin suunnassa se on noin 2,5-kertainen suhteessa säteensuuntaan (taulukko 3). (Rantala & Anttila 2004, 80.)

Kutistuminen	syiden suun- nassa	säteen suun- nassa	tangentin suunnassa	tilavuudessa
Mänty	0,4	4,0	7,7	
Kuusi	0,3	3,6	7,8	
Koivu	0,6	5,3	9,2	
Lehtikuusi	0,4	5,4	12,0	19,8
Turpoama				
Lehtikuusi		6,0	11,7	18,3

Taulukko 3. Eri puulajien kuivauskutistumia ja lehtikuusen kosteusturpoama (Rantala & Anttila 2004)

Poikkeava kosteuskäyttäytyminen vaikuttaa sahatavaran muodonmuutoksiin sitä kuivattaessa. Kieroutumista, sivuvääryyttä ja mittamuutoksia syntyy helposti. Puuaineen sisältämän kosteuden poistuminen ja tasaantuminen vallitsevaan tilaan on hidasta. (Rantala & Anttila 2004, 80; Bergstedt & Lyck 2007, 31.)

Verrattaessa muihin havupuihin on lehtikuusen kuivuminen 2–3 kertaa hitaampaa. Esimerkkinä 50 mm paksu lehtikuusikappale voidaan uunikuivata noin kolmessa viikossa 12 prosentin kosteuspitoisuuteen. Kuusen vastaava aika olisi 8–10 päivää. (Bergstedt & Lyck 2007, 31.)

Asennuksessa on huomioitava rakenteisiin vaikuttavat kosteusvaihtelut. Rakenteisiin voitulla materiaalin liikkumisesta aiheutuvia vääntymiä. Sisätiloissa muutokset ovat vähäisempiä, koska puuaine ei sisäilmassa saavuta absoluuttista kuivuutta. (Sairanen 1982, 17.)

4.4 Lehtikuusen pihka ja uuteaineet

Mielikuva lehtikuusesta on yleisesti, että se on mäntyä pihkaisempi puu. Lehtikuusen kasvaessa sen puuainekseen muodostuu liikkumisen ja kasvujännitysten seurauksena mikroskooppisen pieniä ratkeamia. Näistä ratkeamista muodostuu pihkataskuja. Saheen pinnalla olevasta pihkataskusta pihkaa valuu ulos. Näitä pihkataskuja voi olla useita, jolloin muodostuu kuva erittäin pihkaisesta puusta, vaikka puuaineksessa on pihkaa vain noin 2 %. (Rantala & Anttila 2004, 81.)

Pihkataskujen sisältämä notkea pihka aiheuttaa ongelmia puuta työstettäessä pihkan tarttuessa terään. Männyn puuaines sisältää pihkaa noin 4–6 %, mutta sitä muodostuu tasaisesti puusolukkaan. Tämän takia männyn pihka ei aiheuta suurta ongelmaa sahattaessa verrattuna lehtikuuseen. Lehtikuusen puuaineessa on runsaasti uuteaineita, jotka ovat vesiliukoisia. Näiden uuteaineiden määrä on noin 12–20 %. (Rantala & Anttila 2004, 81.)

Suurin osa vesiliukoisista uuteaineista on arabinogalaktania, joka veteen yhdistyessä muodostaa kolloidiliuosta. Kolloidiliuosta kuumennettaessa siitä tulee liima-ainetta. Arabinogalaktanin osuus uuteaineista siperianlehtikuusella on enintään 19 %. Tutkimukset ovat osoittaneet, että ilman lisättyä liima-ainetta lehtikuusipuulastut liimautuvat yhteen kuumapuristuksessa. (Sairanen 1982, 18.)

Männystä ja kuusesta poiketen lehtikuusi sisältää etikkahappoa. Etikkahappo voi olla yksi lisätekijä lehtikuusen luontaiseen lahonkeston. Kosteudelle alttiissa rakenteissa etikkahappo aiheuttaa metallisille kiinnikkeille korroosiota. Märästä lehtikuusesta vapautuvassa etikkahapossa on erittäin pistävä haju, mutta hajua esiintyy vain harvoissa yksilöissä. Määrällisesti etikkahappoa vapautuu erittäin vähän. (Rantala & Anttila 2004, 81.)

4.5 Lehtikuusen ulkonäkö

Hyvin vaalean pintapuun ja punertavan sydänpuun raja on selkeä. Pintapuuta on tukissa yleensä ohuesti ja se lähteekin sahatavaran särmäyksessä usein pois. Kuivana lehtikuusen ja männyn sahatavara näyttää väriltään lähes samalta. Lehtikuusen syykuvio on kuitenkin männyn syykuviota terävämpi ja vaalea kevätpuu erottuu selvästi tummasta kesäpuusta. (Bergstedt & Lyck 2007, 29.)

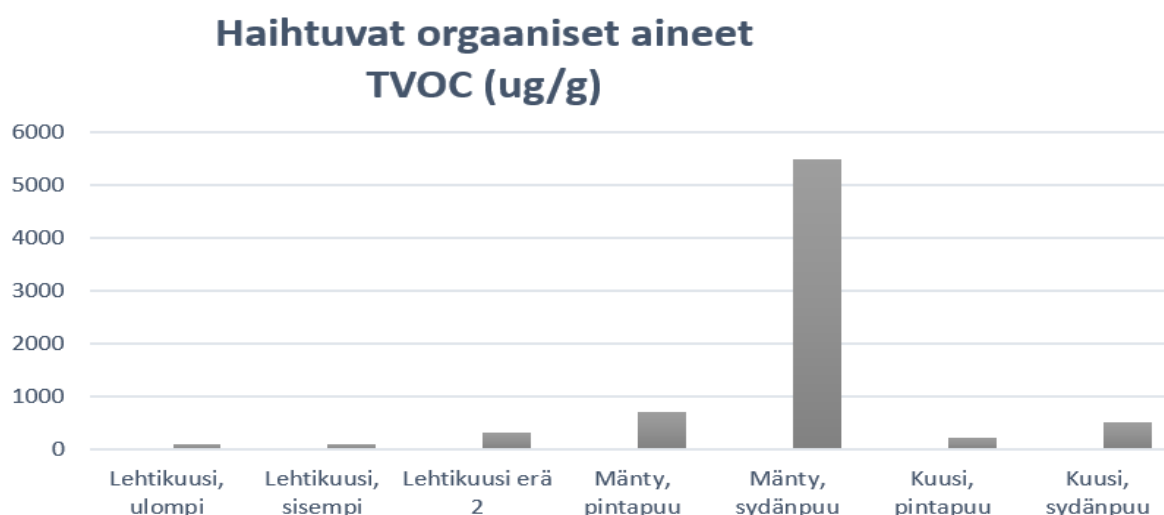
Lehtikuusen sydänpuun väri on vaihtelevaa. Tähän vaikuttaa puun ikä, kasvupaikka ja mistä kohtaa runkoa kappale on sahattu. Vanhan puun tyvi on syvän punaruskea ja latvaa kohti väri vaalenee. Väri vaihtelu voi olla punaruskeasta oliivinvihreään. Siperiassa luontaisesti kasvaneella lehtikuusella värisävyt ovat syvempiä, sekä tummempia, koska niiden kasvu on hidasta ja puut ovat vanhoja. (Bergstedt & Lyck 2007, 29.)

Ilmeikkään syykuvion ja värin ansiosta lehtikuusi soveltuu puusepän tuotteisiin hyvin. Puusepänteollisuudessa lehtikuusi viilua onkin verrattu sen hyvien fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien, sekä visuaalisen ulkonäön takia jalopuuviiluihin. (Sairanen 1982, 13.)

4.6 Lehtikuusesta haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)

Teknologian tutkimuskeskus VTT on tehnyt tutkimuksia lehtikuusesta vapautuvista yhdisteistä sekä niiden merkityksestä lehtikuusen käyttöön sisätiloissa ja keittiövälineissä. Tutkimusta ei suoritettu kuitenkaan niin, että lehtikuuselle olisi saatu hyväksytyä sisäilmaluokitusta. (Bergstedt & Lyck 2007, 72.)

Tuoreen ja ulkokuivatun lehtikuusen orgaanisten aineiden koostumus on sama. Terpeenejä ja muita haihtuvia yhdisteitä on tuoreessa lehtikuusessa erittäin vähän, kun verrataan mäntyyn (taulukko 4).



Taulukko 4. Haihtuvat orgaaniset aineet. (Mukaiutu Viitanen ym. 2001, 105.)

Tutkimuksessa matalin lämpötila oli 50°C, joka on huomattavasti korkeampi kuin tavallinen asuinlämpötila. Havaintojen mukaan lehtikuusesta haihtuvien yhdisteiden määrä oli vähäinen. Kuivattuna lehtikuusesta haihtui vähemmän yhdisteitä kuin tuoreesta puuaineesta. Tutkimuksessa havaittiin, että eri kuivaustavoilla ei ollut merkitystä uuteaineiden koostumukseen. (Viitanen ym. 2001, 112–113.)

Lehtikuuselle ominaista on, että siitä emittoituu etikkahappoa, mutta määrä on vähäinen. Vähäinen TVOC-pitoisuus yhdistettynä etikkahappoon tuo viitteen siitä, miksi Venäjällä lehtikuusen käytöllä on pitkät perinteet elintarvikkeiden säilytyksessä. Olennaista tutkimuksessa oli, että lehtikuusen puuaineesta haihtuvat orgaaniset yhdisteet eivät vaikuta lehtikuusen käyttöä rajoittavasti. (Viitanen ym. 2001, 112–113.)

5 Lehtikuusitukkien sahaus

5.1 Yleistä

Lehtikuusitukkien sahaus ei välttämättä aina ajatella sahatavaran loppukäyttäjää, vaan sitä miten siitä saadaan paras tuotto. Sahatavarassa esiintyvät muodonmuutokset aiheuttavat negatiivisia mielipiteitä. Eri sahaustavoilla tuotteelle pystytään saamaan aivan toisenlainen ulkonäkö, lujuus ja muotostabiilisuus.

Lehtikuusisahatavaraa valmistettaessa on huomioitava puuaineen suuri kutistuma, varsinkin tangentin suuntaisesti sahatuissa aihioissa. Suositeltavaa olisi käyttää suurempaa kuivumisvaraa, kuin esimerkiksi koivun sahausessa. Koivusahatavaran tuoremittaa voisi käyttää lehtikuusen säteensuuntaisessa sahausessa, koska molempien puulajien säteensuuntainen kutistuma on lähes sama, kuten aiemmin taulukossa 3 on kuvattu. Sydänvapaat sahaustavat olisivat lehtikuusta sahattaessa suositeltavimpia. Lehtikuusen sydänkappale on useimmiten käyttökelvoton, koska ydin on heikkolaatuista nuorpuuta, joka vääntyyilee ja halkeaa viimeistään kuivauksessa. (Rantala & Anttila 2004, 89.)

Lehtikuusella on ominaisuuksia, jotka vaikeuttavat tukkien sahausta. Pihkataskujen sisältämä notkea pihka ja vesiliukoiset uuteaineet sekä sahausessa syntyvän purun paakkuuntuminen haittaavat sahausta, jolloin sahauspinnan laatu heikkenee ja tuotteisiin voi tulla muotovikoja. Pihkan ja uuteaineiden tarttumisen estämiseksi terään voidaan suihkuttaa kylmää vettä, joka samalla myös jäähdyttää terää. Sahausessa voidaan käyttää erikoispinoitettua terää tai suurentaa terän haritusta. (Sairanen 1982, 10–11.) Jäähdytysveteen voidaan lisätä talvisahauksessa jäätymisenestoaineena ympäristöystävällistä lasinpesunesettä sekä kesäsahauksessa pihkan ja uuteaineiden irrotukseen astianpesuainetta.

Terien puhdistuksen voi tehdä sahaamalla 5–7 lehtikuusitukin jälkeen mäntytukin (Sairanen 1982, 11). Terän pihkoittumista voi myös estää käyttämällä veden tilalla öljyä, tai sahamalla vain talvella puun ollessa jäässä (Bergstedt & Lyck 2007, 35).

Lehtikuusitukit suositellaan sahattavaksi latva edellä, jolloin tyvessä olevat kasvun aiheuttamat voimakkaat jännitteet ei tuota ongelmia. Rakennusteollisuuden käyttöön menevän lehtikuusitavaran voi sahata pelkkasahausmenetelmää käyttäen pyöröteräsirkkelillä, joka on yleisin pohjoismainen sahausmenetelmä. Haluttaessa parempaa jalostusastetta lehtikuusitukille, voidaan erittäin järeät tai lyhyet tukit sahata erikoispuutuotteiden aihioiksi vaakannesahalla. Vannesahalla on helpompi toteuttaa eri sahaustapoja. Esimerkiksi radiaalisahaustapaa käytettäessä sahatavaran saanto voi pienentyä, mutta vannesahalla sahattessa saanto on yleisesti parempi, kuin pyöröteräsirkkelillä, joten erikoissahaussissa saanto

voi säilyä hyvänä. Vannesahalla lehtikuusta voidaan sahata vuodenajoista rippumatta. (Rantala & Anttila 2004, 87–89.)

Käytännössä tärkeimmäksi seikaksi lehtikuusien vannesahauksessa on osoittautunut terien puhtaanapito, jäädytys ja terävyys. Tuoreen, kuivan, jäisen tai osittain jäisen tukin sahauksen muuttavana tekijänä on terän haritus ja sahausnopeus. Lehtikuusen syyrakenne vaikeuttaa syidensuuntaista sahausta vannesahalla, kun käytetään kapeaa ja vähänkin tylsyyttä terää. Terä pyrkii leikkaamaan syiden mukaisesti ja oikean sahauslinjan pitäminen vaikeutuu. (Saimovaara 2001, 118.)

5.2 Tukkien sahausperiaatteet

Oksatonta hyvälaatuista sahatavaraa saadaan vain tyvitukin pinnasta, joka on saatava huolellisesti talteen. Pohjoisamerikkalainen pinnanmyötäinen sahaus tehdään tukin pinnan mukaan yhdensuuntaisesti ja sahaustavasta saatavat hyödyt ovat:

- arvokas ja oksaton pintapuu pystytään hyödyntämään tarkasti
- syiden suuntainen sahaus mahdollistaa koristeellisen syyrakenteen hyödyntämisen
- sahausessa tuleva hukkapuu jää tukin huonoimmalle osalle.

Skandinaavisessa keskilinjasaauksessa tukki sahataan sen keskilinjän mukaisesti. Tällä sahausmenetelmällä sahatavaran saanto on suurempi. Oksattomasta ja arvokkaasta pintapuusta saatava hyöty jää kuitenkin pienemmäksi, koska kartionmuotoisen tukin pintakappaleista ei saada riittävän kokoisia lautoja. (Pro Puu yhdistys).

5.3 Läpisahaus (Tuppeen sahaus)

Tuppeen sahausessa aihioita ei särmätä ollenkaan, vaan niihin jätetään kuorelliset sivut. (kuva 1). Tuppeen sahattu aihio menee useimmiten puuseppien käyttöön, jotka pystyvät hyödyntämään särmäämättömän ja hitaasti kuivuneen aihion tarkasti. (Rantala & Anttila 2004, 88.)



Kuva 1. Läpisahaus (Pro Puu yhdistys)

Läpisaauksessa voidaan käyttää molempia sahausperiaatteita, eli pinnanmyötäistä- tai keskilinjan myötäistä sahausta. Lengoille tukeille läpisaaus on suositeltavaa, koska saanto on hyvä aihoiden jäädessä lengoiksi. Lengot aihiot voidaan käyttää puusepäntuotteisiin ja venelautoina. Keskilankuista saadaan ainoastaan säteensuuntaisia ja muut osat ovat tangentinsuuntaisia. (Pro Puu yhdistys.) Tangentinsuuntaisten aihoiden haittana on kuivumisen aiheuttamaa käyritymistä, halkeilua tai vuosilustojen irtoamista (Rantala & Anttila 2004, 88).

Tukki voidaan halkaista sydäimestä, jolloin puunydyntä saadaan poistettua sahausraon mukana, tai keskilankusta poistetaan ydin sahaamalla erillinen kappale. Huonolaatuisen ydinosan poistolla saadaan aihiolle parempi muotopysyvyys. (Siikanen 2008, 54.)

5.4 Nelisahaus (Pelkkasahaus)

Pelkkasahaus on nopea, taloudellinen ja yleisin Suomessa käytetty havupuiden sahaustapa (kuva 2). Tukin kahdelta sivulta sahataan lautoja, jotka voi särmätä tai jättää tuppilautoiksi. Keskiosa, eli pelkka voidaan jättää sahaamatta ja käyttää hirsiaihiona. Pelkka voidaan myös sahata leveiksi tuppilautoiksi kokonaan tai kääntää kyljelleen ja sahata vaadittavan kokoisiksi aihioiksi. (Pro Puu yhdistys.) Poikkeuksena voidaan käyttää sydänvaapaata sahaustapaa, jossa pelkan keskeltä sahataan yksi aihio. Tähän aihioon saadaan jäämään ydin, joka on tukin huonoin osa ja päätuotteista saadaan laadukkaampia. (Siikanen 2008, 54.) Tässäkin sahaustavassa tulee enemmän tangentinsuuntaisesti sahattua aihiota.



Kuva 2. Nelisahaus (Pro Puu yhdistys)

5.5 Kvarttisahaus

Kvarttisahausta voidaan muuntaa tukin järeyden, käytettävän kaluston, sekä sahatavaralle haluttujen ominaisuuksien mukaan (kuva 3). Tukista sahataan neljä suorakulmaista kappaletta, jotka sahataan säteen suuntaisesti.

- Vinokvarttisahauksessa saanto huononee, koska kappaleet on särmättävä molemmin puolin.

- Sydänkeskeinen kvarttisahaus huonontaa neljän keskilankun laatua nuorpuun osuuden jakautuessa kaikkiin neljään kappaleeseen.
- Sydänvapaassa kvarttisahauksessa keskilankuista tulee kapeampia, mutta laatu paranee. Huonolaatuisen nuorpuun poisto pienentää saantoa.
- Täydellinen kvarttisahaus on hidasta ja saanto pienenee. Tukista saadaan laadukkaampaa sydänvapaata ja säteensuuntaista tavaraa. Sahaustapaa suositellaan erittäin järeille- ja laadukkaille tukeille. (Pro Puu yhdistys).



Kuva 3. Kvarttisahaustavat (Pro Puu yhdistys)

5.6 Tähtisahaus

Tähtisahausta käytetään erittäin järeiden ja huippulaatuisten tukkien sahauksessa. Esimerkiksi järeät kuusitukit, jotka täyttävät erittäin tiukat soittimien valmistuksessa käytettävän puuaineen vaatimukset. Tämä sahaustapa mahdollistaa, että kaikki sahatut kappaleet ovat tarkasti säteen suuntaisia (kuva 4). Sahatavaran saanto pienenee, menetelmä on hidas ja vaatii ammattitaitoa, mutta korkea laatuluokka nostaa tuotteen arvoa. (Pro Puu yhdistys).

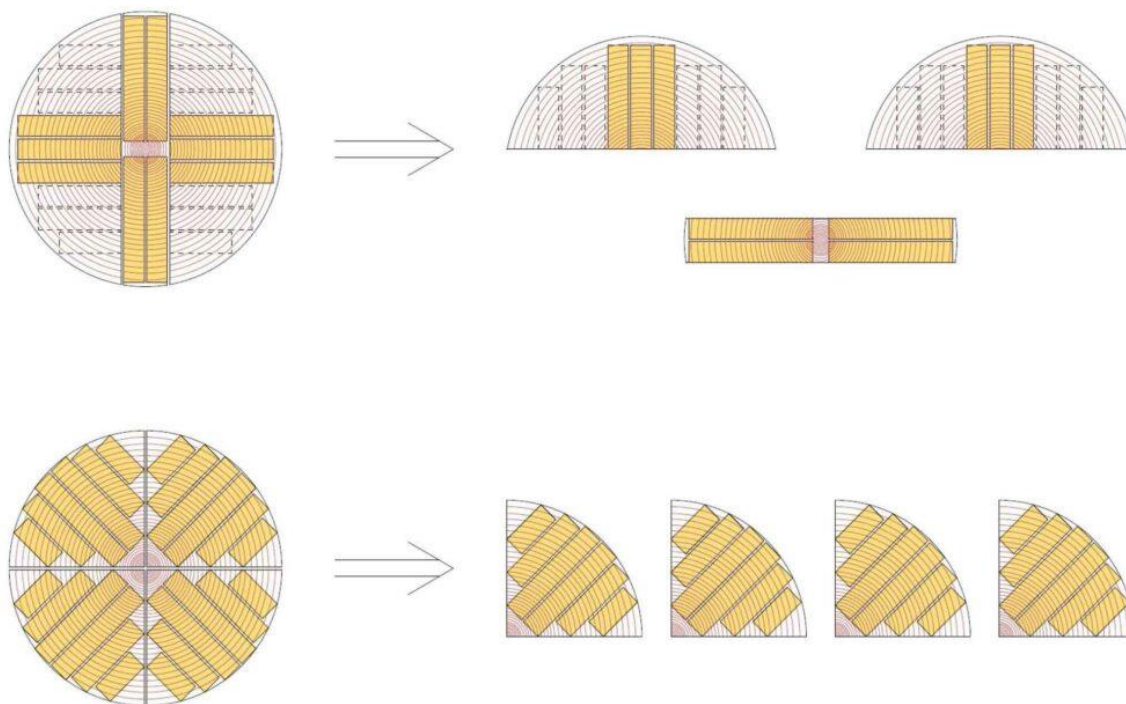


Kuva 4. Tähtisahaus (Pro Puu yhdistys)

5.7 Radiaalisahaus

Radiaalisahauksella (kuva 5) saadaan aihioita, joiden pintakovuus ja muotopysyvyys on hyvä. Tällä keinoin sahattuna puumateriaalille saadaan parempaa visuaalisuutta

sisäverhoiluun, esimerkiksi lattiamateriaaleihin. (Finnstamm Oy.) Järeiden lehtikuusitukkien sahaaminen radiaalisahauksella olisi suositeltavaa varsinkin, jos tuotteita valmistetaan erittäin vaativaan käyttöön. Pintakovuus ja muotopysyvyys paranee ja pinnan tikkuuntuminen vähenee. (Oy Euro-Baltia Agency Ltd.) Radiaalisahauksesta on käytetty myös nimitystä kvarttisahaus tai säteissahaus. Radiaalisahauksen määritelmässä puun syyt ovat vähintään 60° asteen kulmassa kappaleen lappeeseen nähden (kuva 6). (Puuinfo 2020.)



Kuva 5. Radiaalisahaus (Puuinfo 2020)



Kuva 6. Radiaalisahauksen määritelmä (Puuinfo 2020)

6 Lehtikuusisahatavaran kuivaus

Ulkokuivaus

Lehtikuusen kuivuminen on hidasta, kun verrataan muihin havupuulajeihin. Puusepän käyttöön suunniteltu tavara olisi suositeltavaa varastoida tukkina noin vuoden. Lehtikuusen etu varastoinnissa mäntyyn verrattuna on, että ulkovarastointi ei pilaa puuainesta. Tukkia voi varastoida useitakin vuosia, jolloin kasvujännitteitä saadaan poistettua. (Rantala & Anttila 2004, 89–90.)

Kuivumisesta syntyvää päiden halkeilua voi ehkäistä parafiinilla tai ohennetulla puuliimalla, jota sivellään tukkien päihin. Kuorituissa pylväs ja mastopuissa pituussuuntaisia kuivumis-halkeamia esiintyy paljon. (Rantala & Anttila 2004, 89–90.)

Sahatavaran halkeilua ja tikkuuntumista voidaan vähentää oikeanlaisella sahausmenetelmällä. Tukin ydinosa on huonolaatuista, joka kuivuessaan halkeilee ja kieroutuu paljon. Ytimen poistamisella saadaan parempilaatuista tavaraa. Näillä seikoilla on suuri merkitys lehtikuusituotteiden loppukäyttäjälle. (Rantala & Anttila 2004, 89–90.)

Koneellinen kuivaus

Kun otetaan huomioon lehtikuusen erityispiirteet, niin sahatavaran kuivaaminen onnistuu. Kuivumisen aiheuttamaa käyristymistä ja halkeilua voidaan vähentää oikealla sahausmenetelmällä. Tangentinsuuntaan sahattu kappale kutistuu huomattavasti enemmän kuin säteensuuntaa sahattu kappale. (Sairanen 1982, 12.)

Kuivauksessa aiheutuvaan halkeiluun vaikuttaa myös kevät- ja kesäpuun tangentinsuuntaiset kutistumiserot. Kuivauksen aikana kesäpuuhun muodostuu vetojännitystä, kun vastavasti kevätpuuhun muodostuu puristusta. Hyviä tuloksia kuivauksesta on saatu poikkittaisella ilmankierrolla ja noin 100 % suhteellisella ilmankosteudella. Suurella ilmankosteudella estetään pintakerrosten liian nopea kuivuminen ja parannetaan puun sisäisen kosteuden siirtymistä pintaan. Lehtikuusisahatavaran kuivausaikaa on saatu lyhennettyä kuumakuivausta ja höyrytystä käyttäen. (Sairanen 1982, 12.)

Suomessa tehdyissä kuivauskokeissa on todettu, että lehtikuusen kuivausaika on huomattavasti pidempi ja kuivauksessa käytetyt lämpötilat suurempia verrattuna mäntyyn ja kuuseen. Suurimmat muotovirheet kuivauksessa syntyvät lehtikuusen ytimen vierestä sahatuista kappaleista. (Verkasalo 2001, 11.) Ytimen sisältävissä kappaleissa kieroutumista, halkeilua ja syrjävääräyttä esiintyy runsaasti verrattuna sydänpuun pinnasta sahattuihin kappaleisiin (Asikainen 2001, 23).

Lehtikuusen kuivausaika on noin kaksinkertainen verrattuna mäntyyn. Kuivauksen jälkeisten loppukosteuserojen tasaamiseen tarvittava aika mäntyyn verrattuna on 2–3 kertainen. (Rantala & Anttila 2004, 90.) Erilaisia lehtikuusen kuivausmenetelmiä tutkittaessa on havaittu, että niiden vaikutus uuteaineiden koostumukseen on vähäinen. Alipaine-kuivauksessa TVOC-arvot olivat pienimmät ja kuumakuivauksessa korkeimmat. (Viitanen ym. 2001, 112–113.)

7 Lehtikuusen liimaus

Puuaineen kestävä liimaus on yksi edellytys materiaalin laajemmalle käytölle. Lehtikuusen ominaisuudet ovat erilaiset, kun niitä verrataan yleisempiin kotimaisiin puulajeihin, joiden liimaus onnistuu hyvin ja kestävästi. Lehtikuusella on erilaiset uuteaineet, suuri tiheys, pieni puuaineen läpäisevyys ja poikkeava kosteuskäyttäytyminen, joka voi aiheuttaa kappaleen muodonmuutoksia (Bergstedt & Lyck 2007, 70.)

Lehtikuusen uuteaineilla ei ole vaikutusta pitävän liimasauman syntymiselle. Uuteaineet vaikuttavat enemmän liimauksen puristusajan pituuteen, jota on pidennettävä liiman hitaan tunkeutumisen takia. Puuaineen kosteuden ollessa 7–15 % liimaus on vahvin. Kosteudelle alltiiden rakenteiden liimauksessa puuaineen kosteussuositus on 20–25 %. Korkeammassa kosteudessa liima kuivuu hitaammin, mutta liimatusta saumasta tulee vahvempi. (Sairanen 1982, 17; Rantala & Anttila 2004, 93–94.)

Lehtikuusen liimauskokeissa PVAc- ja RF-liimoilla oli saatu lujuudeltaan kestävät saumat. Kokeiden tuloksien mukaan syiden suunnalla ei ollut merkitystä liimauksen lujuuteen, mutta lehtikuusen suuren kosteuselämisen takia liimauksessa on huomioitava toisiinsa liimattavien kappaleiden syiden suunta. Tangentin- ja säteen suuntainen eläminen eroaa toisistaan huomattavan paljon, jolloin liimatun tuotteen muodonmuutokset ovat mahdollisia. Liimatuissa kappaleissa murtuminen tapahtui puusta. Liimasaumat olivat lujempia, kuin puuaine. Lehtikuusen eri kuivausmenetelmillä ei ole vaikutusta liimauksen lujuuteen. Tutkimuksessa lehtikuusta ja haapaa liimattiin vastakkain RF-liimaa käyttäen. Liimasauma saavutti hyvät mekaaniset lujuus- ja puustamurtuma-arvot. Lehtikuusi-haapa liimasaumoissa ei esiintynyt delaminoitumista ja lehtikuusi-lehtikuusi saumoissa delaminoituminen jäi alle viiden prosentin. (Bergstedt & Lyck 2007, 30–31.) Yleisemmillä PVAc-liimoilla lehtikuusen liimaus onnistuu samoin kuin männyn liimaus, mutta puristusaika on pitempi (Saimovaara 2001, 120).

8 Lehtikuusen pintakäsittely

Lehtikuusen pintakäsittelyn merkityksestä sään rasitusta vastaan tutkimustietoa on vielä vähän ja uusia tutkimuksia on meneillään (Verkasalo & Viitanen 2001, 141). Pintakäsittelyn merkitys lehtikuuselle on enemmän kosmeettinen. Sään rasituksille alttiina puuaine harmaantuu tasaisesti 1–3 vuodessa. Harmaantumista voi nopeuttaa rautavihtrillä käsittelyllä.

Lehtikuusta markkinoidaan sen hyvillä luontaisilla ominaisuuksilla ja koristeellisella ulkonäöllä. Pintakäsittelyn tarve on ehkä enemmän säilyttää puun alkuperäinen väri esimerkiksi ulkokalusteissa, kuin säänkestävyys. Lahontorjuntayhdistys ry ei suosittele kalvon muodostavaa pintakäsittelyainetta puutarhakalusteissa, jos kalusteet ovat säärasitukselle alttiina. Suositeltavampaa olisi käyttää tunkeutuvaa, vettähylykivää ja vuosittain uusittavaa käsitteilyä. Lehtikuusi ja mänty kappaleiden koekenttävanhennuksessa todettiin pintakäsittelyaineiden vaikuttavan pinnan halkeiluun. Testissä käytettiin käsittelemätöntä kappaletta ja kolmea pintakäsittely yhdistelmää:

- yhdistelmä 1 liuotinhenteinen pohjustusaine (LO) + 2 x vesiohenteinen (VO) kuulote (puun suoja)
- yhdistelmä 2 liuotinhenteinen pohjustusaine (LO) + 2 x vesiohenteinen (VO) peittävä puun suoja
- yhdistelmä 3 liuotinhenteinen puuöljy.

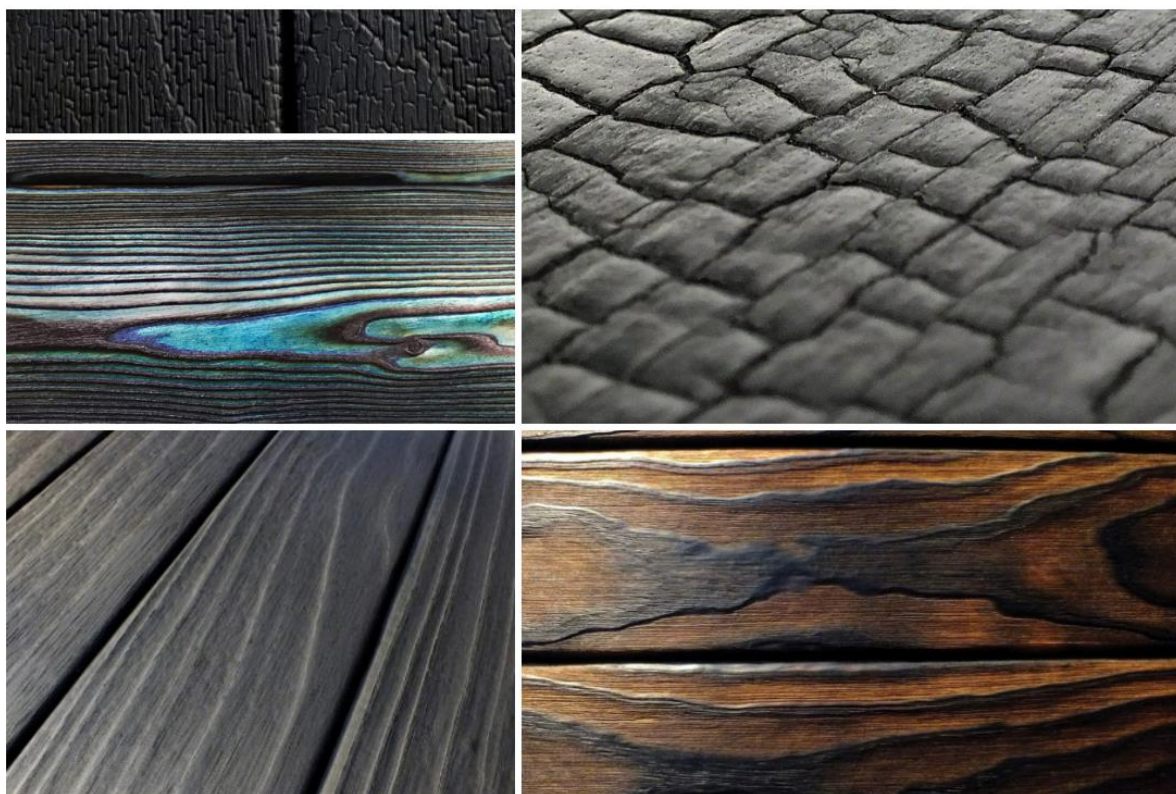
Käsittelemättömissä kappaleissa sekä yhdistelmiä 1 ja 3 käytettäessä, esiintyi halkeamien lisäksi sinistäjä- ja homesieniä. Yhdistelmällä 2 käsitellyissä kappaleissa ei esiintynyt halkeamia eikä sieniä. Pinnan halkeiluun vaikuttivat eniten kappaleiden sahaussuunta, mutta puulajilla ei ollut merkitystä. Tangentinsuuntaisissa kappaleissa esiintyi eniten halkeamia verrattuna säteensuuntaisiin kappaleisiin. Lehtikuuseen imeytyvien pintakäsittelyaineiden määrä on pienempi verrattuna mäntyyn. (Ahola 2001, 88–96.)

Vankeinhoitolaitos (Vaho) on osallistunut lehtikuusen valmistusta ja käyttöä edistävään hankkeeseen, johon sisältyi ulkokalusteiden valmistusta. Vahon kokeissa ulkokalusteiden pintakäsittelyssä käytettiin Tikkurilan puuöljyä siveltyä tuotteen pintaan, mutta muutaman vuoden ulkokäytössä oltuaan kalusteet harmaantuivat. Alkuperäisen värin säilyvyys parani, kun kalusteiden käsittely tehtiin Valtti-pohjusteella ja kovapuuöljyllä. (Verkasalo & Viitanen 2001, 139.)

Hiillyttäminen

Japanissa puun hiillostamistekniikkaa Shou Sugi Bania, toiselta nimeltään Yakisugia, on käytetty perinteisesti puisten rakenteiden sään suojaamiseksi. Perinteisessä

hiillostamisprosessissa puun pinta hiillostetaan, jäädytetään ja puhdistetaan harjaamalla sekä pesemällä. Lopuksi hiillostettu puu suojataan luonnon öljyllä. Käsittely parantaa puun palonkestävyyttä ja antaa suojan lahoa, hyönteisiä sekä kosteutta vastaan. Tekniikkaa voidaan soveltaa moniin puulajeihin ja hiillostamalla pintaa eri tavoin saavutetaan erilaisia tekstuureja ja kuviointeja (kuva 7). Suomessa hiillyttämistä on käytetty muun muassa maatiiloilla parantamaan aidanseipäiden lahonkestoa.



Kuva 7. Erilaisia hiillytettyjä puupintoja (Novenberg)

Tomi Koivisto (2014, 10–12) on tutkinut opinnäytetyössään hiillyttämisen vaikutusta puupinnan kestävyyskykyyn. Koivisto kirjoittaa työssään, kuinka hiillyttäminen teoriassa parantaa puupinnan kestävyyskykyä lahoa, hyönteisiä ja syttymistä vastaan. Opinnäytetyössään hän on lainannut arkkitehti Panu Kailaa, jonka suorittamien tutkimusten mukaan puun kuumennuskäsittelyiden tuloksia voidaan soveltaa myös hiillytetylle puutavaraalle. Lämpökäsittelyn vaikutus lahonkestoon perustuu puun solukon kutistumiseen sekä pihkan ja kuona-aineiden poistumiseen korkeissa lämpötiloissa, jolloin lahottajasiemille ei jää ravintoaineita ja se ei tavallisen puun tavoin ime kosteutta. Kosteus voi houkutella myös haitallisia hyönteisiä, joten hiillyttämällä puuta saadaan suoja niitäkin vastaan. Hiillytetty puu ei myöskään syty tavalliseen puutavaraan verrattuna yhtä hyvin. Tavallisesti puu syttyy 250–300 °C:ssa, kun taas hiilen syttymislämpötila on 500–600 °C:ta.

Lehtikuusen ominaisuuksia ovat hyvä lahonkesto ja korkea syttymislämpötila. Hiillettämällä tutkitaan erilaisia tekstuureja lehtikuusen pintaan. Hirsirakenne Neuvonen on mukana tutkimushankkeessa, jossa tutkitaan hiillettämistä. Tutkimuksessa tutkitaan kotimaisten puulajien lisäksi siperianlehtikuusta. Kuvassa 8 nähdään Hirsirakenne Neuvosen tekemän kokeen ulkonäköön perustuvia tuloksia eri tavoin hiillettystä siperianlehtikuusesta.



Kuva 8. Hiillettyny lehtikuusta

Kuvassa 8 vasemmanpuoleinen kappale on höyläämätön ja polton jälkeen harjaamaton, keskimmäinen kappale on höyläämätön, mutta polton jälkeen harjattu, oikeanpuoleinen kappale on höylätty ja polton jälkeen harjattu.

9 Lehtikuusen työstäminen kuivauksen jälkeen

9.1 Höyläys

Lehtikuusen työstäminen onnistuu manuaalisia ja mekaanisia laitteita käyttäen, kunhan huomioidaan puuaineen ominaisuudet. Lehtikuusen työstäminen edellyttää mahdollisimman teräviä teriä ja niitä joutuu vaihtamaan useammin, koska lehtikuusen kovuus ja irtoilevat kuivat oksat tylsyttävät teriä normaalia enemmän. Tylsyneillä terillä höylättäessä tangentinsuuntaisesti sahatuissa kappaleissa tapahtuu lustojen irtoamista ja pinnan tikkuuntumista. Oksien vierestä halkeaa helposti kappaleita, kun höylätään puuaineen syitä vastaan. Oikealla sahaustavalla ja kuivauksen onnistumisella on merkittävä vaikutus puun työstettävyyteen. Säteensuuntaisesti sahatun lehtikuusikappaleen höyläminen on verrattavissa männyn höyläykseen. (Saimovaara 2001, 118.)

Lehtikuuselle ominainen kuivauksen jälkeinen loppukosteuden epätasaisuus on huomioitava ennen höyläämistä. Kuivauksesta huolimatta lehtikuusisahatavaraan jää kosteampia alueita, jotka aiheuttavat höyläyksen jälkeen kappaleissa muodonmuutoksia. Loppukosteuden tasaantumiseen on varattava riittävästi aikaa ja mäntyyn verrattuna lehtikuusen tasaantumisaika on 2–3 kertaa pidempi. (Verkasalo & Viitanen 2001, 135–136.)

Lehtikuusisahatavaran työstölle ei ole vielä osattu määritellä optimaalisinta kosteutta, mutta yleisesti on havaittu, että työstö vaikeutuu, mitä kuivempaa puu on. Lehtikuusen työstettävyyteen vaikuttaa puulajille ominainen kevät- ja kesäpuun suuri kovusero. Höyläyksessä käytettäviä teräkulmia muuttamalla voidaan vaikuttaa puuaineen kovuserojen aiheuttamiin ongelmiin. Lehtikuusen käsittelyssä haittana on kaikissa eri työstövaiheissa kappaleista nousevat tikut. Varsinkin kulmakohdista puunsiyrt irtoavat ja nousevat ylös. Jos työstettävään kappaleeseen on sahauksessa jäänyt ydin, voi kappaletta työstettäessä vaarana olla ytimen ympärillä olevien lustojen irtoaminen toisistaan. (Verkasalo & Viitanen 2001, 135–136.)

Pontattua tavaraa valmistettaessa olisi hyvä huomioida lehtikuusen suuri kosteuseläminen, jos tuotteiden leveyttä kasvatetaan. Pontatun ulkoverhouslaudan leveyden kasvaessa olisi suositeltavaa myös suurentaa ponttia suhteessa laudan leveyteen. Syvemmillä ponttauksella varmistetaan ulkoverhouslaudan pontissa pysyminen myös pitkään jatkuneiden kuivien säiden vallitessa.

9.2 Jyrsintä

Jyrsittäessä lehtikuusen syiden poikkisuuntaan työstöä vaikeuttaa kevät- ja kesäpuun kovusero, jonka takia työstöjälkeen voi jäädä karkeutta. Pienten ja tarkkojen yksityiskohtien

murtuminen lustorajoja myöten on väistämätöntä. Lehtikuusikappaletta jyrsettäessä syiden suuntaisesti voi lustojen lohkeamista esiintyä jyrssinterän etupuolelta pitkinä tikkuina. Pie-nellä jyrssintänopeudella voidaan tikkuuntumista vähentää, mutta riski palolaikkujen synty-miselle kasvaa. (Saimovaara 2001, 118.)

9.3 Hionta

Lehtikuusikappaleiden hionta onnistuu hyvin, kun pinnan kuivuus on riittävä. Hiontalaikat tukkiutuvat helpommin kuin mäntyä hiottaessa. Hionta olisi suositeltavaa tehdä pienempää puristusvoimaa käyttäen ja useampaan kertaan, kuin männyllä. Lehtikuusikappaleiden päi-den puuainesta hiottaessa palolaikkujen syntymisen riski kasvaa, kun hiontanopeus on hi-das, tai hiomalaikat ovat kuluneita ja tukossa (Saimovaara 2001, 118).

9.4 Sorvaaminen

Lehtikuusta sorvaamalla saadaan lehtikuusen värieroja hyödyntäen erittäin näyttäviä kuvi-oita. Tuoreen lehtikuusen sorvaaminen on helppoa, koska puuaine on pehmeää. Kuivan lehtikuusen sorvauksessa olisi suositeltavaa huomioida tarkkaan minkälaista teräkulmaa ja työstösuuntaa aikoo käyttää. Lehtikuusta sorvattaessa kaapivaa menetelmää käyttäen tu-lee puuaineen repeily enemmän esille. (Rantala & Anttila 2004, 93.)

9.5 Veistäminen

Lehtikuusen työstöominaisuudet tulevat esille erityisesti veistopuuna. Puuaineksen- ja ok-sien kovuus kuluttavat työstövälineitä nopeasti. Kuivuessaan lehtikuusesta tulee kovempaa ja hankalampaa työstää. Veistotyö on helpompaa suorittaa silloin kun puuaineen kosteus on noin 15–17 %, mutta valmiiseen veistotuotteeseen syntyy kuivumishalkeamia ja muo-donmuutoksia puuaineen lopullisen kuivumisen takia. Veistotyön ongelmana on myös syi-den irtoilu ja lohkeilu lehtikuusen kevät- ja kesäpuun lujuseron vuoksi. Veistotyössä ja sor-vauksessa voidaan hyödyntää lehtikuusen voimakkaita värieroja. (Saimovaara 2001, 119.)

9.6 Reikien poraaminen

Reikien porauksessakin lehtikuusen kevät- ja kesäpuun kovusero tulee esille, sillä terä pyrkii kulkeutumaan pehmeämmän kevätpuun mukaan. Terassilaudan pinnalle porattaessa tai ruuvattaessa reiän ympärökset nousevat pystyyn leikkautumatta, ellei käytössä ole te-rää, jonka sivuleikkaukset katkaisevat syyt. (Saimovaara 2001, 119.)

10 Lehtikuusen kiinnitys ruuvaamalla tai naulaamalla

Lehtikuusen halkaisulujuus on huono ja puuaines kovaa. Ruuville ja naulalle on suositeltavaa porata asennusreikä. Terassilautojen kiinnityksessä on hyvä käyttää asennusreikää poratessa terää, jonka sivuleikkusärmät katkaisevat syyt (senkkaava poranterä). Lehtikuusen sisältämä etikkahappo aiheuttaa korroosiota. Korroosion aiheuttamaa puuaineen tummumista kiinnikkeiden ympärillä esiintyy asennuksen jälkeen nopeasti kosteuden ollessa riittävää (kuva 9). Julkisivulaudoituksen kiinnikkeistä voi myös syntyä ruosteisia valumajälkiä viistosateen kastellessa seinää. (Saimovaara 2001, 120.)



Kuva 9. Ulko-oven ulkoverhouksen korroosio jäljet

Lehtikuusiterassilaudan kiinnittäminen on hyvä tehdä päältä ruuvaten ruostumattomilla (RST A2) ruuveilla. Ruuvien pituuden valinnassa on huomioitava, että ruuvien kierteetön osa on vähintään kiinnitettävän kappaleen paksuuden suuruinen. Ruuvien sileä osa mahdollistaa

hyvän kiristyksen ja puuaineen kosteuskäyttäytymisen aiheuttaman liikkumisen katkeamatta. 28 mm paksun lehtikuusiterassilaudan kiinnityksessä käytettävän ruuvin paksuus 4,5–5,5 mm ja pituus noin 80 mm, jolloin ruuveissa on sopivasti sileää osaa. Lisäksi ruuvin kanta on oltava riittävän kokoinen kestääkseen laudan elämisen aiheuttaman liikkeen.

Senkatun asennusreiän teko on yksi työvaihe lisää, mutta ei kuitenkaan mahdoton suorittaa. Asennus on näin tehden huolitellun näköinen, käyttöpinnassa ei ole tikkuja ja hiukan syvemmissä oleva ruuvinkanta ei kerää likaa. Terassilaudan kiinnitys on hyvä tehdä kahdella ruuvilla kiinnityskohdalta runkoon ja laudat sydänpuoli ylöspäin. Kiinnitys kohdat k-600 mm. Kansilautojen valinnassa on hyvä välttää lautoja, joihin on sahauksessa jäänyt puun ydin. Puun sydänkappale, joka sisältää ytimen on huonolaatuista, halkeilee ja vääntyilee voimakkaasti. Kansilautoiksi parhaiten soveltuu radiaalisahattu tavara.

11 Lehtikuusen varastointi työmaalla

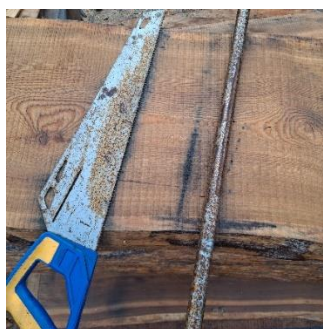
Lehtikuusen varastoinnissa on huomioitava puulajille ominainen kosteuskäyttäytyminen, sekä etikkahapon aiheuttama korroosio. Lehtikuusipuutavara varastoidaan suoralle alustalle ja maakosteuden välttämiseksi riittävän ylhäällä maasta. Lehtikuusipuutavaran lämpö- ja kosteustasapainon säilyttämiseksi olisi suojapeitteen hyvä olla vaaleaa. Työpäivän päätteeksi irtopuutavara kerätään takaisin nippuun. Avattujen nippujen päät sidotaan tiukasti kiinni käyttäen kuormansidontaliinaa.

Lehtikuusen sisältämät vesiliukoiset uuteaineet aiheuttavat värjäytymiä puutavaraan vesipisaroiden ja pienten vesilammikoiden reunoille, kun vesi kuivuu pois (kuva 10). Pisaran jäljet ja auringon ultravioletisäteilyn aiheuttamat värierot ovat hankalia poistaa. Pintakäsittelmättömän sisäverhouksessa käytettävän lehtikuusipuutavaran varastointiin, sekä käsittelyyn kattamattomissa tiloissa, on kiinnitettävä erityistä huomiota.



Kuva 10. Vesijäljet

Lehtikuusen sisältämän etikkahapon aiheuttama korroosio saattaa yllättää rakentajan. Suotuisa ilmankosteus, lämpötila ja yökaste voi olla riittävää synnyttämään korroosiota esimerkiksi käsisahasta tai sorkkaraudasta puutavaran pinnalle (kuvat 11 ja 12).



Kuvat 11. ja 12. Lehtikuusen etikkahapon aiheuttamat korroosio jäljet

Korroosion vaikutukset on hyvä huomioida, kun valitaan lehtikuusesta valmistetulle terasille kalusteita ja koristeasioita.

12 Yhteenveto ja päätelmät

Tutkimuksien perusteella lehtikuusen ominaisuuksilla ei ole käyttöä rajoittavia tekijöitä. Se soveltuu hyvin monipuolisesti puusepäntuotteiksi sekä rakennusmateriaaliksi. Oikeilla menetelmillä lehtikuusen käsittely onnistuu.

Säärasitukselle alttiisiin paikkoihin olisi hyvä saada mahdollisimman tiheäsyistä, painavaa ja väriltään tummanrusehtavaa tavaraa. Vaalea pintapuu ei ole lahonkestävää, vaan pinta-puusta seuraava osa on lujudeltaan ja lahonkestävyydeltään parasta puuainesta.

Lehtikuusen poikkeava kosteuskäyttäytyminen (turpoaminen) on hyvä huomioida jo suunnitteluvaiheessa. Tuotteiden valmistuksessa on varauduttava pitkään kuivumisaikaan ja kosteuden tasaantumiseen. Pontatuissa ulkoverhouslaudoissa olisi suositeltavaa käyttää puulajikohtaista pontin syvyyttä.

Lehtikuusta käytettäessä on huomioitava, että tavara on sahattu niin, ettei se sisällä puun ydintä. Paras pintakovuus ja muotopysyvyys saadaan radiaalisahatulla tavaralla. Radiaalisahatussa laudassa ei esiinny syiden irtaantumista käyttöpinnassa ja tikkuuntumista on vähemmän. Tangentin suuntaisesti sahattu lauta on suositeltavaa asentaa sydänpuoli ylöspäin.

Lehtikuusi on huoltovapaa ja harmaantuu ulkokäytössä nopeasti eikä välttämättä tarvitse pintakäsittelyä. Talven jälkeen laudan pinnalle jääneet ilman epäpuhtaudet voi pestä vedellä pois. Pintakäsittelyaineet imeytyvät lehtikuuseen huonosti ja käsittely olisi suoritettava vuosittain. Puuaineen ominaisuudet huomioiden käsitteleminen ei ole kuitenkaan hankalaa.

Lehtikuusen puuainesta on kuivana kovaa. Lehtikuusta työstettäessä olisi käytettävä mahdollisimman teräviä teriä. Puuaineen halkaisulujuus on huono. Ruuville ja naulalle on suositeltavaa porata asennusreiä. Terassilautojen kiinnikkeiden asennusreiän porauksessa on hyvä käyttää terää, jossa on sivuleikkusärmät.

Kosteudelle alttiissa kohteissa etikkahapon aiheuttama korroosio on huomioitava kiinnikkeissä. Puuaineen suojauksesta on huolehdittava, jos esimerkiksi terassilla sahataan tai hiotaan metallia.

Lehtikuusen varastoinnissa on varmistettava, että sahatavaraniput ovat tiukasti sidottu sekä suojattu sateelta ja auringolta. Irtolaudat olisi hyvä kerätä takaisin nippuun ja avatut niput suositeltavaa sitoa uudestaan esimerkiksi kuormansidontaliinaa käyttäen.

Lehtikuusi on Suomessa eniten viljelty vieraspuulaji. Kasvatus vaatii pitkäjänteisyyttä, koska paras ja lujin raaka-aine saadaan noin satavuotiaan puun tyvitukista. Puulajia kasvatetaan puutavaran tuottamiseksi ja maisemapuuksi. Lehtikuusen käyttöön ja käsittelyyn liitetään usein vain ratkaisemattomia ongelmia. Lehtikuusi tunnetaan parhaiten sen luontaisesta lahonkestävyydestä, mutta muuten se on aika tuntematon puuaines. Lehtikuusen jatkojalostuksessa vertailupuulajeina käytetään mäntyä ja kuusta, joiden jatkojalostuksella on pitkä perinne sekä käsittelyongelmille on löydetty ratkaisut.

Lehtikuusen laajempaa käyttöä rajoittaa sen korkea hinta ja huono saatavuus. Sahatavaran tuottamiseen vaikuttavat varsinkin piensahoilla erilaiset sahausongelmat ja isoilla sahoilla pieni volyyymi. Lehtikuusen tilanne onkin erikoinen, koska teollisuus ei ole kiinnostunut puun tuotteistamisesta raaka-aineen rajallisen saatavuuden vuoksi ja viljelyä ei ole lisätty vähäisen menekin takia.

Lehtikuusen puuaineen koristeellinen ulkonäkö, lujuus ja lahonkesto luovat puulajille hyvät mahdollisuudet kilpailukykyisille tuotteille. Lehtikuusen rajallisen saatavuuden takia sen jalostus sopii parhaiten pienille ja keskisuurille valmistajille. Materiaalin käyttö pelkkänä rakennuspuuna ei ole puulajin käyttötarkoitus, vaan myös ekologisten erikoistuotteiden raaka-aine.

Tässä opinnäytetyössä on selvitetty lehtikuusimateriaalin käyttöä tyvitukista lopputuotteeksi tutkimustietoihin ja käyttäjä kokemuksiin perustuen. Tarkoituksena oli lisätä tietoisuutta puulajin ominaisuuksista ja kuinka niiden kanssa on toimittava jalostuksen eri vaiheissa, sekä tuotteen käytössä.

Opinnäytetyön perusteella lehtikuusi soveltuu erittäin hyvin rakennuspuutavarasta puusepän tuotteiksi. Puuaineen käyttökelpoisuuteen vaikuttavat oikeat työmenetelmät kaikissa materiaalin jalostuksen vaiheissa. Lehtikuusi on näyttävä maisemapuuna ja niin myös jalostettuna puutuotteena.

Puuaineen jalostus voidaan tehdä jo olemassa olevilla menetelmillä ja laitteilla hyvin, mutta puumateriaalin jalostusasteen ja tuottavuuden parantamiseksi jatkotutkimukset olisivat tarpeellisia. Olisi hyvä tutkia, tarvitaanko työstössä puulajikohtaisia työvälineitä ja onko erilaisilla teräaineilla ja teräkulmilla vaikutusta työstöön.

Lehtikuusen kasvatuksessa keskitytään enemmän määrään, kuin laatuun. Istutetulla nopeasti kasvatetulla lehtikuusella ei ole samoja ominaisuuksia, kuin lehtikuusilla, jotka ovat kasvaneet niiden luontaisilla alueilla.

Lähteet

- Ahola, P. 2001. Lehtikuusen pintakäsittely. Verkasalo, E. & Viitanen, H. (toim.) 2001. Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Joensuu: Joensuun tutkimuskeskus, 87–97.
- Asikainen, A. 2001. Lehtikuusen lämminilma- ja alipaine kuivaus. Verkasalo, E. & Viitanen, H. (toim.) 2001. Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Joensuu: Joensuun tutkimuskeskus, 23–38.
- Bergstedt, A. & Lyck, C. 2007. Larch Wood-a literature review. Forest & Landscape. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <https://larchresearch.com/wp-content/uploads/2015/11/Larch-Wood-literature-review-2007.pdf>
- Finnstamm Oy. Sydänpuu. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <https://finnstamm.fi/index.php/fi/>
- Höyläämö Huppunen Ky. Kotimaista lehtikuusta terasseihin. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa esim. <https://hoylaamohuppunen.fi/kotimaista-lehtikuusta-tererasseihin/>
- Isomäki, A. 4/1997. Metsätieteen aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura ry. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/ma.6240>
- Koivisto, T. Puutavaran hiiltäminen pintakäsittelymenetelmänä. Opinnäytetyö HAMK. 2014. Viitattu 12.5.2022 saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77879/22052014_tomi_koivisto_pakattu_valmis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Novenberg Oy. Viitattu 12.5.2022. Saatavissa: <https://novenberg.fi/shou-sugi-ban/>
- Oy Euro-Baltia Agency Ltd. Lehtikuusi. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <https://puuta.fi/>
- Pro Puu yhdistys. Suomen metsäsäätiö. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <https://puuproffa.fi/puutieto/puun-sahaus/sahaustapoja/>
- Puuinfo. Tiheäsyinen sahatavara ja radiaalisahaus. 1.7.2020. Ohjeet. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa esim.: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/tiheasyinen-sahatavara-ja-radiaalisahaus/>
- Rantala, S. & Anttila, T. 2004. Lehtikuusen kasvatus ja käyttö. Otava. Keuruu: Metsälehti.
- Saimovaara, J. 2001. Puuseppäryittäjien kokemuksia lehtikuusen käytöstä. Verkasalo, E. & Viitanen, H. (toim.) 2001. Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Joensuu: Joensuun tutkimuskeskus, 115–120.

Sairanen, P. 1982. Lehtikuusen ominaisuudet ja käyttö Neuvostoliiton mekaanisessa metsäteollisuudessa. Metla. Viitattu 18.4.2022. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207201963>

Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Esa Print Oy. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Tuimala, A. 1992. Artikkel. Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.) Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1992. METLA, Muhoksen tutkimusasema 1993, 79–90.

Venäläinen, M. 2020. Suomalainen lehtikuusi pärjää hyvin siperialaiselle lahonkestävyydessä. Suomen sahayrittäjät -lehti 4/2020, 4–7.

Verkasalo, E. & Viitanen, H. 2001. Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena.

Verkasalo, E. & Viitanen, H. (toim.) Joensuu: Joensuun tutkimuskeskus, 129–152.

Viitanen, H. ym. (toim.) 2001. Lehtikuusen haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja niiden merkitys käytölle. Verkasalo, E. & Viitanen, H. (toim.) Lehtikuusi puusepänteollisuuden raaka-aineena. Joensuu: Joensuun tutkimuskeskus, 99–114.