

Purkusahatavaran lajittelu lujuuden perusteella – visuaaliset ohjeet ja testitulokset



Tämän testiraportin tarkoituksena on arvioida, soveltuuko purettujen rakennusten lujuuslajiteltu purkupu uudelleenkäyttöön kantavissa rakenteissa. Arviointi perustuu esimerkkikohteista saatuihin kappaleisiin, joiden avulla havainnollistetaan uudelleenkäytön mahdollisuuksia käytännössä

Tekijä: Jouni Silvast 050-3001786

jouni.silvast@metsakeskus.fi

Testiraportti: Purkusahatavaran lajittelun visuaaliset ohjeet lujuuden kannalta

Sisällys

1. Tiivistelmä.....	6
2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	6
Tutkimuksen tausta	7
3. Kirjallisuuskatsaus: Purkupuun lajittelu ja uusiokäyttö	7
Kirjallisuuskatsaus: Uudelleenkäytettävän puutavaran arviointi, lujuus ja visuaalinen lajittelu	7
Uudelleenkäytön tekniset ja sääntelylliset reunaehdot	8
Visuaalinen lujuuslajittelu ja sen haasteet.....	8
Mekaaniset ominaisuudet ja NDT-menetelmät	8
Käytännön suositukset ja standardisointityö.....	8
4. Johdanto.....	9
5. Kierrätetyn puun lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavat tekijät	9
6. Tutkimussuunnitelma	10
Testimateriaali	10
Aineistonkeruun menettelyt	11
Näytteenotto ja testaus.....	12
Tutkimussuunnitelman laadinnasta, koordinoinnista sekä visuaalisesta lajittelusta, kuljetuksista, tulosten analysoinnista ja raportoinnista vastasi Suomen metsäkeskuksen puutuotealan asiantuntija ja INSTA 142 -lujuuslajittelun kouluttaja Jouni Silvast.....	12
Testimateriaalin valinta ja testausprosessi.....	12
7. Lajittelumenetelmät ja testauksen tavoitteet	13
Visuaalinen lujuuslajittelu	13
Mekaaninen testaus	13
Testauksen päätavoitteet	13
Kierrätetyn sahatavaran erityispiirteet laadunvarmistuksessa	13
Tekijä.....	14
Vaikutus	14
Historiatieto	14
Ikä, alkuperäinen käyttötarkoitus ja kuormitushistoria	14
Mekaanisten ominaisuuksien muuttuminen	14
Väsymisilmiöt ja kosteuden aiheuttamat rakenteelliset muutokset	14
Haitta-aineet	14

Esimerkiksi vanhat maali- tai kyllästeaineet, asbesti	14
Biologinen kuormitus.....	14
Home, lahottajat tai hyönteisvauriot	14
Visuaaliset muutokset	14
Värimuutokset, pintavauriot	14
Jäänteet	14
Naulat, ruuvit, betonijäämät tai maali	14
8. Testierä 1 – Aineisto ja lähtötiedot	14
Purkukohteet.....	14
1. Sastamala – Rivitalo (rakennettu 1982)	14
2	14
3	16
Yhteenvedo testierästä 1	17
9. Tulokset	17
Visuaalisen lujuuslajittelun arviointi	17
Lajittelun käytännön toteutus	17
10. Visuaalisen lajittelun tulokset.....	20
Ominaisuuksien raja-arvojen jakauma lujuusluokittain	21
11. Analyysi vauriotyypeittäin	22
Halkeamat purkupuutavarassa.....	22
Mekaaniset vauriot purkusahatavarassa	22
Naulareivät ja -vauriot.....	23
Laho ja home purkupuutavarassa	24
Oksien merkitys purkupuutavaran lujuusluokassa	25
Kosteuden merkitys purkupuun lujuuteen	26
Kuori, hyönteisvauriot ja vajaasärmäisyys purkupuutavarassa	26
Vajaasärmäisyys.....	27
Purkupuun iän vaikutus lujuuteen.....	27
12. Purkupuun taivutustestien tulokset.....	29
Purkupuun taivutustulokset – MOE vs MOR analyysi.....	30
Purkupuun jäykyyden ja lujuuden vaihtelun syyt	31
13. Tulokset ja vertailu visuaalinen vs. taivutustesti	32
14. Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin	34
Testikappale 1.....	34
Testikappale 8.....	35

Testikappale 9.....	36
Testikappale 10	37
Testikappale 16.....	38
Muita huomioita testierän kappaleista.....	39
Testiryhmän vanhin sahatavara oli 90 vuotta.	40
15. Taivutuskoneen mittauksen ja visuaalisen lajittelun eroavaisuudet	40
16. Visuaalisen ja mekaanisen lujuusluokituksen vertailu	41
Arviointimenetelmien erot.....	41
Visuaalinen lujuuslajittelu	41
Nelitaivutustesti (MOR)	41
Tiheyden vaikutus ja arviointivaikeudet	42
Vaurioiden vaikutus mittauksiin	42
17. Yhteiskäytön merkitys.....	42
18. Johtopäätökset visuaalinen vs. taivutustestaus	44
Vioista ja visuaalisen luokituksen konservatiivisuudesta.....	44
Naulan- ja muiden kiinnikkeiden reikien merkitys purkupuun lujuudelle	44
19. Testierä 2 – Aineisto ja lähtötiedot – Turku	45
Yhteenveto raportista	45
Visuaalisen ja taivutustestin lajittelun tulokset.....	47
Analyysiraportti: Nelipistetaivutustestit Turun purkupuulle.....	48
Johdanto.....	48
Testin kuvaus	49
Tulokset ja analyysi.....	49
Analyysi: MOE vs. MOR – Lineaarinen regressio purkupuulla	49
Lineaarinen regressio: MOE vs. MOR	49
Tulokset	50
Visuaalinen vs. Mekaaninen lujuusluokittelu.....	50
Luokitusvertailun yhteenveto	51
Kumpaa verrataan: MOE vai MOR?	51
Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin	51
Testikappale 1. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn Päätyhalkeaman takia yli 150 mm.	52
Testikappale 2. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn vajaasärmän ja kasvuvian, vinosyisyyden takia.....	53
Testikappale 3. oli luokiteltu visuaalisesti Hylky/C18 luokkaan suuren poikaoksen ja naulanreikien perusteella.....	53

Testikappale 12. oli luokiteltu visuaalisesti hylky - luokkaan pehmytlahon perusteella.....	55
Testikappale 7. oli luokiteltu visuaalisesti C24 luokkaan mekaanisen vaurion sekä naulanreikien takia.....	56
19. Testierä 3 – Aineisto ja lähtötiedot – Porvoo ja Tampere	58
Purkukohteiden esittelyt, Suomenkylä Porvoo ja Lamminpään koulun keittiö – ja ruokalarakennus, Tampere	58
Suomenkylän päiväkotia, Porvoo.....	58
Lamminpään koulun keittiö- ja ruokalarakennus, Tampere.....	58
Visuaalisen lajitteelun ja taivutustestien tulokset	60
Testiraportti MOR ja MOE taivutustestit dimensio 100*100 Suomenkylä, Porvoo.	63
Analyysi.....	64
Johtopäätökset	64
Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin	64
Testikappale 13. oli luokiteltu visuaalisesti C18 luokkaan kookkaan syrjäoksan takia	67
Kosteuden vaikutus MOR:iin ja MOE:hen.....	68
Testikappale 15. oli luokiteltu visuaalisesti C18 luokkaan kookkaan syrjäoksan takia	69
20. Purkupuun erityispiirteet kosteuden ja ikääntymisen näkökulmasta	70
Kemialliset ikääntymisprosessit purkupuun rakenteessa.....	71
Testikappale 16. oli luokiteltu visuaalisesti C24 luokkaan oksasumman takia.....	71
21. Loppuyhteenvedon lajittelusta, testeistä ja tuloksista	72
Purkupuun tarkastelussa nousi esiin kaksi keskeistä havaintoa T Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
22. Purkupuun teollinen prosessi ennen markkinoille saattamista	73
23. Täydennetyt visuaaliset ohjeet purkupuun lujuuslajittelulle	78
Fysikaaliset lisäkritterit	Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
Hygienian ja vauriot.....	78
Yhteenvedon täydentävälle lajitteluohjeelle	78
24. Purkupuun eräkohtainen kosteuden ja tiheyden valvonta	78
25.Visuaalinen lujuuslajittelu ja purkupuun erityispiirteet INSTA 142 -koulutuksessa	78
Purkupuun lujuuslajittelu edellyttää hyväksytysti suoritettua visuaalisen lujuuslajittelukurssin, josta annetaan todistus viideksi vuodeksi kerrallaan.	80
26. Liitteenä purettuun sahatavaraan laadittu ohjeistus, jota käytetään yhdessä INSTA – 142 standardin ohjeita täydentämässä.	81

1. Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin puretun puutavaran uudellenkäytön mahdollisuuksia visuaalisen ja mekaanisen lujuuslajittelun testauksen avulla. Aineisto koostui useassa vaiheessa kerätystä purkupuutavarasta: ensimmäisessä vaiheessa siltarakenteista tehdystä testauksesta 2024 ja toisessa useista erilaisista rakennuksista 2025 aikana. Hessundin siltamateriaalin muottipuun lajittelusta on valmistunut oma raportti 2024, joten sitä ei käsitellä tässä testiraportissa.

Rakennuspurkupuun testeissä arvioitiin visuaaliset viat INSTA 142 -standardin mukaan sekä suoritettiin mekaaniset MOE- ja MOR-testit EN 408 -standardin mukaisesti. Tulokset osoittavat, että merkittävä osa purkupuutavarasta täyttää C24- ja C30-luokan vaatimukset visuaalisessa lajittelussa sekä MOE- ja MOR- taivutustestien perusteella.

Visuaalinen lajittelu on konservatiivinen menettely, joka perustuu standardien määrittämiin varmuusperusteisiin. Tämä johtaa usein yllajitteluun eli aliluokitteluun, jolloin teknisesti käyttökelpoisia kappaleita hylätään turhaan. Visuaalinen lajittelu ei siten yksinään riitä ennustamaan mekaanisia ominaisuuksia luotettavasti, minkä vuoksi raportissa suositellaan NDT-menettelmien hyödyntämistä lajittelun tukena. Lisäksi testiraportissa esitetään lisäohjeistus visuaalista lajittelua varten kenttäkäyttöön INSTA – 142 standardin täydentämiseksi puretulle sahatavarakkeelle sekä käsikäyttöisiä standardoituja menetelmiä NDT-laitteiden hyödyntämiseksi kenttäolosuhteissa.

2. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden hyödyntäminen rakentamisessa edellyttää käytännön kelpoisuusarviointia, sillä niillä ei ole CE-merkintää eikä tyyppihyväksyntää. Helsingin kiertotalousklusteri on julkaissut [tuotemäärittelytyökalun](#) rakennuspaikkakohtaiseen varmennukseen tyypillisille uudelleenkäytettäville rakennustuotteille. Nämä tuotemäärittelyt eivät ole viranomaismääräyksiä, mutta ne toimivat tukena yhteisen näkemyksen muodostamisessa kelpoisuuden osoittamisesta rakennusvalvontaa varten. Tarkoituksena on, että raportin tuloksena saadaan purkupuuta koskevat visuaalisen lajittelun raja-arvot, jotka täydentävät INSTA – 142 standardia.

Tuotemäärittelytyökalun käyttö edellyttää, että rakennushankkeeseen ryhtyvä tai suunnittelija selvittää tapauskohtaisesti, täyttääkö tuote sitä koskevat olennaiset tekniset vaatimukset. Selvitys voi perustua esimerkiksi vapaaehtoiseen sertifikaattiin, tutkimusraporttiin, laskelmiin tai ulkopuolisen asiantuntijan antamaan lausuntoon esim. visuaalisen lujuuslajittelun tulosraporttiin purkupuusta. (esim. visuaalisen lujuuslajittelun kurssin käynyt henkilö, jolla on voimassa oleva todistus lujuuslajitteluoikeudesta) Viime kädessä rakennusvalvontaviranomainen arvioi, ovatko esitetyt kirjalliset selvitykset riittäviä.

Nyt valmistunut testiraportti voi osaltaan olla edistämässä myös ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmennustodistuksen hyväksyntämenettelyn kehittämistä uudelleenkäytettävälle purkupuulle. Varmennustodistuksen tavoitteena on luoda standardoitu ja todennettavissa oleva menettely rakennuspaikkakohtaisen

kelpoisuusselvityksen tueksi, jotta puutuotteita voidaan turvallisesti hyödyntää kantavissa rakenteissa. Kehitystyötä koordinoi Puutuoteteollisuus ry:n vetämä kiertotalousryhmä, ja se tukee erityisesti uudelleenkäyttöön soveltuvien rakennustuotteiden hyväksyttävyyttä rakennusvalvontaviranomaisten näkökulmasta.

Tässä testiraportissa arvioidaan purettujen rakennusten sahatavaran mekaanisia ominaisuuksia visuaalisen lajittelun (SFS 5878 / INSTA 142) ja taivutustestien (EN 408) perusteella. Tulosten avulla voidaan tunnistaa ne edellytykset ja raja-arvot, joiden täytyessä purkupuun soveltuu luotettavasti uudelleenkäyttöön kantavissa rakenteissa. Raportin tuottama data ja analyysiä voidaan mahdollisesti hyödyntää myöhemmälle varmennustodistusmenettelyn kehitykselle.

Tutkimuksen tausta

Helsingin kiertotalousklusterin [Kiertotalous | Testbed Helsinki | Helsingin kaupunki](#) tilaamana sekä Suomen Sahayrittäjät ry:n – [Suomen Sahayrittäjät ry - piensahojen ja höyläämöiden asialla](#) – ja Suomen metsäkeskuksen [WoodCircles – Kestävää kasvua | Metsäkeskus](#) toteuttamana on laadittu kaksivaiheinen selvitys rakennuspurkupuusta valmistetun puutavaran uudelleenkäytön mahdollisuuksista kantavissa rakenteissa. Selvityksen tavoitteena on edistää puurakentamisen kiertotaloutta, tuottaa luotettavaa tietoa purkumateriaalien lujuusominaisuuksista sekä luoda käytännön ohjeita materiaalien luokitteluun ja hyväksyttävyyteen.

Ensimmäisessä vaiheessa (osatoimenpide 1) tutkittiin Paraisilla uuden Hessundin sillan rakennustyömaalta puretun muottipuun lujuusominaisuuksia. Tarkoituksena oli selvittää, soveltuuko kyseinen materiaali uudelleenkäyttäväksi kantaviin rakenteisiin visuaalisen lujuuslajittelun perusteella. Lajittelu tehtiin pohjoismaisen INSTA 142 -standardin mukaisesti, ja samalla arvioitiin tarvetta täydentävälle ohjeistukselle purkupuun erityispiirteiden huomioimiseksi.

Tässä toisessa vaiheessa selvitystä (osatoimenpide 2) tarkastellaan eri rakennuskohteista puretun kantavan puutavaran lujuusominaisuuksia. Tutkimuksessa keskitytään erityisesti visuaalisen lujuuslajittelun soveltamiseen INSTA 142 -standardin pohjalta, ja tavoitteena on laatia purkupuun visuaalista lajittelua täydentävä ohjeisto, joka ottaa huomioon purkupuun ominaispiirteet.

3. Kirjallisuuskatsaus: Purkupuun lajittelu ja uusiokäyttö

Kirjallisuuskatsaus: Uudelleenkäytettävän puutavaran arviointi, lujuus ja visuaalinen lajittelu

Kiertotalouden periaatteiden vahvistuminen rakentamisessa sekä EU:n jättepolitiikka, kuten rakennus- ja purkujätteen 70 % kierrätystavoite (EU Waste Framework Directive 2008/98/EC), ovat lisänneet kiinnostusta rakennuksista purettavan puutavaran uudelleenkäyttöön (Ranttila 2024). Rakennusten puurunkoisista osista voidaan merkittävä osa hyödyntää uudelleen joko samassa tai eri käyttötarkoituksessa. Tämä vähentäisi puunpoltttoa ja tarvetta uuden puun korjuulle (Falk et al. 2008; Llana et al. 2023).

Uudelleenkäytön tekniset ja sääntelylliset reunaehdot

Ranttilan (2024) diplomityö korostaa, että uudelleenkäytettävien puurakenteiden tulee täyttää samat tekniset vaatimukset kuin uusien tuotteiden. Suomessa hyväksyntä voidaan antaa rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen keinoin, mikäli dokumentaatiota ei ole tai puu on peräisin erilaisista rakennekokonaisuuksista (Ranttila 2024). Rakenteiden dokumentointi (esim. rakennuspiirustukset ja materiaaliselosteet) helpottaa olennaisesti kelpoisuuden osoittamista. Erityisen haasteellisia ovat yhdistelmä- ja liimarakenteet, joiden materiaaliyhdistelmät (puu, metalli, liimat) vaikeuttavat kelpoisuuden arviointia.

Visuaalinen lujuuslajittelu ja sen haasteet

Visuaalinen lujuuslajittelu (VSG) perustuu puun ulkoisiin vikoihin kuten oksaisuuteen, halkeamiin, kierouteen ja muihin poikkeamiin, jotka voivat heikentää lujuutta. Kuitenkin olemassa olevat standardit, kuten EN 14081, on kehitetty uudelle sahatavaralle, eivätkä ne sovellu suoraan vanhaan tai vaurioituneeseen puuhun (Llana et al. 2023). Llana ym. (2023) havaitsivat tutkimuksessaan, että 95 % Norjan kuusesta valmistetuista puretuista kattotuoleista hylättiin VSG-standardien perusteella. Tämä osoittaa, että visuaaliset standardit ovat liian konservatiivisia uudelleenkäytettävälle puulle. Ranttila (2024) ehdottaa VSG-sääntöjen päivittämistä, jotta puretun sahatavaran erityispiirteet voitaisiin huomioida realistisemmin.

Mekaaniset ominaisuudet ja NDT-menetelmät

Visuaalisen lajittelun rinnalle tarvitaan tarkempia menetelmiä puutavaran todellisten ominaisuuksien määrittämiseksi. Ei-tuhoavat testausmenetelmät (NDT), kuten ultraääni, resonanssitaajuusanalyysi ja porausvastusmittaukset, ovat lupaavia arviointikeinoja. Llana ym. (2023) osoittavat, että resonanssitaajuusanalyysin avulla voidaan arvioida MOE:n (kimmomoduuli) arvoilla $R^2 = 0,75$ ja MOR:n (taivutuslujuus) $R^2 = 0,77$. Tämä osoittaa vahvaa korrelaatiota todellisiin lujuusarvoihin, erityisesti kun otetaan huomioon visuaalisen lajittelun epävarmuudet.

Yhdysvaltalainen tutkimus Douglas-kuusesta puretuissa rakennuksissa osoitti, että taivutuslujuus (MOR) oli keskimäärin 25 % alhaisempi kuin vastaavassa uudessa sahatavarassa, mutta jäykkyys (MOE) oli 10 % korkeampi (Falk et al. 2008). *Naulareivät eivät yksinään merkittävästi heikentäneet lujuutta, elleivät ne sijainneet vetojännityksen kohdistuessa kappaleen alareunaan tai aiheuttaneet lisähalkeamia.*

Käytännön suositukset ja standardisointityö

Australiassa kehitetty *Interim Industry Standard for Visually Stress Graded Recycled Timber* tarjoaa käytännön ohjeita kierrätetyn kovapuun visuaaliseen lajitteluun (Crews et al. 2008). Tämä standardi korostaa visuaalisten ominaisuuksien yksilöllistä tarkastelua sekä toimittajan ja tilaajan välistä vuoropuhelua realististen laatuodotusten asettamiseksi. Lajitteluohjeisto sisältää myös suuret profiilit (>300×300 mm), joita ei usein käsitellä eurooppalaisissa standardeissa.

Ranttila (2024) ja Falk ym. (2008) molemmat korostavat, että lajittelustandardien uudistaminen, lajittelun täydennysmenetelmien kehittäminen sekä uudelleenkäytön hyväksyntämenettelyjen yhdenmukaistaminen ovat keskeisiä toimenpiteitä kierrätetyn sahatavaran tehokkaalle hyödyntämiselle. Nämä toimet mahdollistaisivat turvallisen ja

resurssitehokkaan puun käytön rakenteissa, vähentäisivät jätettä ja tukisivat hiilineutraaliustavoitteita.

4. Johdanto

Suomessa on laaja puupohjainen rakennuskanta, joka muodostaa merkittävän resurssin. Suomessa syntyvän puuperäisen rakennus- ja purkujätteen määrä on n. 250 000 t vuodessa (Häkämies ym., 2019). Rakennusten ikääntyessä ja uudistusten myötä syntyy merkittävä määrä purkupuuta, jonka uudelleenkäyttö voisi edistää kestävästä rakentamisesta ja vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Tämän tutkimuksen tavoitteena on kehittää purkupuun lajitteluohjeistus, joka perustuu INSTA 142 -standardin visuaalisen lujuuslajittelun periaatteisiin sekä sisältää lisäominaisuuksia, joita purkupuun käsittelyssä ja lujuuslajittelussa tulee huomioida.

Lujuuslajittelua ohjaavissa standardeissa ei ole määritetty puun ikään perustuvaa **parasta ennen päivämäärää**. Lujuuslajittelun avulla voidaan siten osoittaa, täyttääkö käytetty, kierrätetty ja uudelleenkäytetty puutavara kantaville rakenteille asetetut turvallisuusvaatimukset.

Visuaalisen arvioinnin ja taivutustestien tavoitteena oli arvioida puretun sahatavaran soveltuvuutta uusiokäyttöön sekä kehittää lajittelumenetelmiä, jotka mahdollistavat sen luotettavan käytön rakennustuotteena. Päättävänä oli kehittää rakennuspaikkakohtaiseen lajitteluun INSTA 142 -ohjeita täydentävä ohjeistus, joka huomioi purkamisesta aiheutuvat ominaisuuksien raja-arvot, jotka voivat heikentää puun lujuutta.

5. Kierrätetyn puun lujuuteen ja jäykkyyteen vaikuttavat tekijät

Kun puuta puretaan ja kierrätetään uudelleen käytettäväksi kantaviin rakenteisiin, sen mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa useita tekijöitä, jotka ovat tärkeää huomioida lujuuslajittelussa ja soveltuvuuden arvioinnissa:

1. Alkuperäiset ominaisuudet

Puun lujuus ja jäykkyys määräytyvät lähtökohtaisesti puulajin, tiheyden, kasvuolosuhteiden perusteella. Erityisesti tiheydellä on ratkaiseva merkitys puun lujuudelle sekä neitseellisen puun ominaisuuksissa, kuin myös purkupuun lujuusominaisuuksien säilymisessä.

2. Biologinen heikentyminen käyttövaiheessa

Lahottajasienet, homeet ja hyönteisvauriot voivat heikentää puun sisäistä rakennetta ja siten alentaa sen mekaanista kestävyyttä.

3. Pitkäaikaikuormituksen vaikutus (DOL, Duration of Load)

Ajan mittaan jatkuva kuormitus voi aiheuttaa puumateriaalissa väsymisilmiötä, joka voi alentaa sen kantokykyä alkuperäiseen verrattuna.

4. Mekaaniset vauriot

Käytön ja purkamisen aikaiset vauriot, kuten naulanreiät, ruuvit, halkeamat tai reunojen vauriot, voivat heikentää rakenteellista eheyttä ja siten vaikuttaa puun jäykkyyteen ja lujuuteen.

5. Kosteusvaihtelut ja lämpötilan vaihtelut rakenteissa

Puu reagoi herkästi ympäristön kosteuteen. Toistuvat kosteusolosuhteiden vaihtelut aiheuttavat halkeilua ja rakenteiden väsyminen voi heikentää materiaalin mekaanisia ominaisuuksia. Vastaavasti myös lämpötilan vaihtelut vaikuttavat puun kestävyyskykyyn: korkeissa lämpötiloissa (yli +60 °C) puun soluseinämien rakenne alkaa vaurioitua, mikä alentaa sen jäykkyyttä ja taivutus- sekä vetolujuutta. Pitkäaikainen altistuminen lämpötilavaihteluille voi siis nopeuttaa *rakenteen haurastumista ja vähentää sen kuormituskestävyyttä*. Tämä on tekijä, joka olisi syytä myös huomioida, kun arvioidaan lujuutta puretuista rakenteista. Onko sahatavara altistunut käyttökohteessa kosteuden ja lämpötilan vaihteluille.

INSTA 142 -standardi tarjoaa käyttökelpoisen pohjan visuaaliselle lujuuslajittelulle, ja sen avulla voidaan arvioida muun muassa puun alkuperäisiä ominaisuuksia, biologista kuntoa, mekaanisia vaurioita ja halkeilua. Kuitenkin kierrätetyn puun soveltuvuus kantaviin rakenteisiin vaatii tapauskohtaista arviointia, joka voi perustua visuaaliseen lajitteluun, materiaalitestaukseen (esim. EN 408:n mukaiset taivutuskokeet) tai ei-destruktiivisiin mittausmenetelmiin.

On huomattava, että Pohjoismaiset visuaalisen lujuuslajittelun ohjeet on laadittu neitseelliselle puulle, eikä niitä voida suoraan soveltaa käytettyyn tai kierrätettyyn puuhun. Vaikka kansainvälisiä esimerkkejä, kuten australialainen väliaikaisstandardi *“Recycled Timber – Visually stress-graded recycled timber for structural purposes”* (Crews et al., 2008), on olemassa, Euroopassa ei toistaiseksi ole hyväksyttyä standardia kierrätetyn puun lujuusluokittelulle.

6. Tutkimussuunnitelma

Tämän tutkimuksen tavoitteena on laatia ohjeistus puretun puutavaran visuaaliseen lujuuslajitteluun. Osana ohjeistusta toteutetaan näytteenottosuunnitelma, jonka avulla testataan uudelleenkäyttöön soveltuvaa kotimaista kuusi- ja mäntypuuta eri dimensioissa, laatuluokissa, käyttöhistorialtaan ja ikäjakaumaltaan.

Nykyiset visuaalisen lujuuslajittelun suunnitteluarvot on määritelty INSTA 142 -standardissa, joka on kehitetty sahoilta tulevan, neitseellisen sahatavaran lujuusluokitteluun. Tämä tutkimus pyrkii täydentämään kyseistä standardia tarkastelemalla purkupuutavaralle tyypillisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat lujuuteen heikentävästi. Tavoitteena on tunnistaa ja määrittää visuaalisia tai helposti mitattavia tunnusmerkkejä, jotka soveltuvat käytettäväksi purkupuun lajittelussa.

Testimateriaali

Testimateriaali valittiin rakennusten purkukohteista siten, että se edustaisi kohteessa yleisesti käytettyä puutavaraa. Näytteet kerättiin kuudesta eri purkukohteesta, ja puutavaraa oli käytetty mm. lattiajuoksuina, kattotuoleissa, seinärakenteissa ja tukipuina. Purkukohteita kartoitti Suomen metsäkeskuksen Eveliina Oinas.

Aineistonkeruun menettelyt

Tässä ohjeistusta lajitteluprosessista ja haettavasta puutavarasta

Ohjeet:

Haemme rakennesahatavaraa purkukohteesta, joka on ollut käytössä rakennuksen kantavana rakenteena.

Mielellään kevään/ kesän 2025 aikana lajittelu paikan päällä purkukohteessa.

Dimensiot: 50 mm x 100mm / 50mm x 125mm / 50mm x 150mm / 50mm x 175mm (tai järeämpiä dimensioita esim. 63mm). Vastaavat höylätyt mitat käyvät myös.

Pituudet: 2 m – 4,5m

Kappalemäärä: noin 50kpl (myös enemmän tai vähäisempi määrä kiinnostaa)

Mielellään täyssärmäistä ja mahdollisimman ehjänä purettua sahatavaraa

Nauloja ja kiinnikkeitä saa olla mukana

Puulajit: kuusi ja mänty

Rakennuksen ikä: ei rajoitusta

Rakennustiedoista riittää tiedoksi rakennusvuosi, ja jos tiedossa onko tehty remontteja, että ovatko rakenteet alkuperäisiä.

Lajittelu työmaalla kestää arviolta kaksi tuntia. Paikan päällä tehdään silmämääräinen arviointi, valokuvaus, merkkaukset lujuusluokasta ja kosteusmittaus.

Kuljetus noin 20 kappaletta peräkärillä testauslaboratorioon (XAMK, Mikkeli tai Savonlinna) taivutuslujuuden sekä kimmomoduulin määrittystä varten.

Työmaaturvallisuus Huolehdimme omista rakennustyömaa suojavarusteista sekä voimassa olevista työturva- ja tieturvakorteista.

Tausta Metsäkeskuksen Wood Circles - kestävä kasvua hankkeessa, jossa on tavoitteena Helsingin kiertotalousklusterin kanssa laatia visuaaliset lujuuslajitteluohjeet purettulle sahatavaralle.

Tavoitteena on nostaa käytetyn puun arvoa ja laajentaa sen käyttömahdollisuuksia osoittamalla sen soveltuvuus myös CE-merkintää vaativissa kohteissa.

Kustannukset Lajittelu, kuljetukset ja testit sisältyvät hankkeen kustannuksiin. Hankkeeseen osallistuvat tahot saavat selvityksessä syntyvät tulokset omaan käyttöönsä maksutta.

Standardi Ohjeistus tulee täydentämään pohjoismaista INSTA 142:2010-standardia.

Pätevyudet: Lajittelun suorittaja Jouni Silvast on KIWA Inspecta) hyväksymä sahatavaran lujuuslajittelu INSTA142-kouluttaja.

Testaukseen valikoitui neljä poikkileikkauskokoa:

- 50 × 100 mm
- 50 × 125 mm
- 50 × 150 mm
- 63 x 180 mm ja
- 100 x 100 mm

Lisäksi otettiin huomioon näitä vastaavat mitallistettujen tuotteiden mitat. Nämä kokoluokat arvioitiin yleisimmiksi ja potentiaalisimmiksi uudelleenkäyttökohteiksi nykyisessä rakentamisessa. Suuremmat dimensioidut kappaleet jätettiin pääosin tutkimuksen ulkopuolelle, koska niiden käyttö nykyisessä uudisrakentamisessa on vähäistä, erityisesti liimapuun käytön yleistymisen vuoksi.

Näytteenotto ja testaus

Tutkimuksen tavoitteena oli kerätä ja testata yhteensä noin 50–100 sahatavarakappaletta, jotka visuaalisesti lajitellaan ja analysoidaan laboratoriossa. Testaukseen sisältyvät:

- Visuaalinen lujuuslajittelu INSTA 142 -periaatteiden pohjalta
- Kimmomoduulin (MOE) mitta
- Taivutusmurtolujuuden (MOR) mitta EN 408 -standardin mukaisesti

Näytteet pyrittiin keräämään siten, että kustakin purkukohteesta saatiin noin 20 kappaletta testaukseen soveltuvaa materiaalia.

Tutkimussuunnitelman laadinnasta, koordinoinnista sekä visuaalisesta lajittelusta, kuljetuksista, tulosten analysoinnista ja raportoinnista vastasi Suomen metsäkeskuksen puutuotealan asiantuntija ja INSTA 142 -lujuuslajittelun kouluttaja Jouni Silvast.

Testimateriaalin valinta ja testausprosessi

Materiaalin valintaprosessi eteni seuraavasti:

1. Esilajittelu purkukohteessa:

Puutavara käytiin läpi silmämääräisesti heti purun jälkeen. Esilajittelussa tarkasteltiin erityisesti kappaleiden pituutta, vaurioita sekä maalaamattomuutta visuaalisen lujuuslajittelun mahdollistamiseksi.

2. Kuljetus ja varastointi:

Valitut kappaleet kuljetettiin välivarastoon, jossa niille tehtiin tarkempi analysointi. Välivarastossa suoritettiin kosteuden mitta ja visuaalinen lajittelu INSTA 142 -standardin mukaisesti.

3. Testikappaleiden valinta:

Laboratoriotesteihin valittiin edustavat otokset viidestä dimensioista:

- 50 × 100 mm, minimitestipituus 2,0 m
- 50 × 125 mm, minimitestipituus 2,5 m
- 50 × 150 mm, minimitestipituus 3,0 m
- 63 × 180 mm, minimitestipituus 3,3 m
- 100 × 100 mm, minimitestipituus 2,5 m

4. Kuljetus laboratorioon ja testaukset:

Käsitellyt ja luokitellut testikappaleet kuljetettiin laboratoriotestaukseen (Mikopolis, XAMK). Jokaisesta kappaleesta mitattiin MOE- ja MOR-arvot taivutustesteillä.

Laboratoriotestaukset suoritti laboratorioinsinööri Tuomas Venäläinen, Mikpoli.

5. Tulosten analyysi:

Testitulokset analysoitiin ja verrattiin visuaalisen lajittelun perusteella arvioituihin ominaisuuksiin. Näin pystyttiin arvioimaan visuaalisen lajittelun luotettavuutta suhteessa mekaaniseen suorituskkyyn.

7. Lajittelumenetelmät ja testauksen tavoitteet

Visuaalinen lujuuslajittelu

Visuaalinen lujuuslajittelu toteutettiin INSTA 142 -standardin mukaisesti. Puutavara luokiteltiin kolmeen lujuusluokkaan:

- T3 (C30)
- T2 (C24)
- T1 (C18)

Lisäksi määritettiin hylkykappaleet, jotka eivät täyttäneet mitään lujuusluokkaa.

Dokumentoinnissa käytettiin valokuvausta, havaintolomakkeita ja kosteuden mittauksia. Visuaalisessa tarkastelussa kiinnitettiin huomiota erityisesti halkeamiin, mekaanisiin vaurioihin, naulanjälkiin ja mahdolliseen biologiseen heikentymiseen.

Mekaaninen testaus

Mekaaniset testit suoritettiin Xamk Mikpolis -laboratoriossa, käyttäen EN 408 -standardia.

Testatuista näytteistä (62 kpl) mitattiin:

- Taivutusmoduuli (MOE)
- Taivutusmurtolujuus (MOR)
- Kosteus ennen ja jälkeen testauksen
- Tiheys laboratoriossa kuivattuna

Testauksen päätavoitteet

1. Arvioida puretun sahatavaran jäljellä olevat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet
2. Tunnistaa kierrätetyn puun ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät, kuten:
 - Mekaaniset vauriot (halkeamat, naulareiät, ylikuormitus)
 - Purkuprosessin vaikutukset
 - Biologiset ja visuaaliset muutokset
3. Laatia ohjeistus visuaaliseen lujuuslajitteluun, joka täydentää INSTA 142 -standardia erityisesti uudelleenkäytettävän puun osalta.

Kierrätetyn sahatavaran erityispiirteet laadunvarmistuksessa

Tavanomaiset laatuluokittelumenetelmät eivät yksin riitä kierrätetyn puutavaran arviointiin. Muiden lujuuteen liittyvien tekijöiden osalta turvauduttiin purkukohteesta saataviin tietoihin esim. haitta-aine raporttiin, mikäli sellainen oli tehty kohteessa.

Tekijä	Vaikutus
Historiatieto	Ikä, alkuperäinen käyttötarkoitus ja kuormitushistoria
Mekaanisten ominaisuuksien muuttuminen	Väsymisilmiöt ja kosteuden aiheuttamat rakenteelliset muutokset
Haitta-aineet	Esimerkiksi vanhat maali- tai kyllästeaineet, asbesti
Biologinen kuormitus	Home, lahottajat tai hyönteisvauriot
Visuaaliset muutokset	Värimuutokset, pintavauriot
Jäänteet	Naulat, ruuvit, betonijäämät tai maali

8. Testierä 1 – Aineisto ja lähtötiedot

Hankkeen ensimmäisessä testivaiheessa kerättiin yhteensä 25 sahatavaranäytettä kolmesta eri purkukohteesta eri puolilta Suomea. Rakennuskohteet edustivat erityyppisiä ja -ikäisiä asuin-, ja vapaa-ajanrakennuksia, joista kerättiin mahdollisimman kattavat tiedot puun käyttökohteista, vaurioista ja historiasta.

Purkukohteet

1. Sastamala – Rivitalo (rakennettu 1982)

- **Käyttötarkoitus:** Kattorakenteet ja kantavat seinät
- **Purkamisperuste:** Korjausvelan vuoksi kannattamaton, heikko käyttöaste
- **Haitta-aineet:** Ei havaittu
- **Biologiset riskit:** Paikallisia hyönteisvaurioita kuoren alla
- **Dokumentointi:** Osittain saatavilla olevat rakennekuvat ja suunnitelmat
- **Lujuusluokka:** Ei merkintää aikaisemmasta lajittelusta



Kuvat 1–3 Sastamalan purkukohteesta, Urpontie 14, 32740 Sastamala. Ulkoseinärunko poikkiesi tässä rakennuksessa leikkauskuvasta. Purettavassa rivitalossa oli ulkoseinässä 2 x 70 mm x 40 mm sahatavararakenne. Purku oli aloitettu sisätiloista, joissa irrotettu mm. ovet sekä jalka- ja kattolistat, jotka vaikuttivat suhteellisen ehjiltä käyttöväiksi uudelleen.

2. Teisko – Asuinrakennus (rakennukset n. 30 ja 100 vuotta vanhoja)

Käyttötarkoitus: Hirsitalon ja varistorakennuksen kattorakenteet ja kantavat seinät

Purkamisperuste: Ei ilmoitettu

Haitta-aineet: Ei havaittu; varsinaista kartoitusta ei tehty

Biologiset riskit: Hyönteisvaurioita havaittu kuoren alla

Dokumentointi: Ei rakennekuvia tai suunnitelmia

Lujuusluokka: Ei merkintää aikaisemmasta lajittelusta

Purku huhtikuussa 2025

Purku-urakoitsija Harri Aaltonen, puh. 0400 633 446

Tilaaaja: Jouko Toivonen rakennuttajapäällikkö p. +358 50 525 8514 Tampereen Tilapalvelut Oy



30 vuotta vanha talousrakennus



30-luvulla rakennettu hirsirunkoinen asuintalo

3. Somero, Venevalkama – Kesämökki (rakennettu 1970)

Käyttötarkoitus: Kattorakenteet ja kantavat seinät

Purkamisperuste: Uuden ympärivuotisen mökin rakentaminen

Haitta-aineet: Ei havaittu; ei tehty haitta-ainekartoitusta

Biologiset riskit: Paikoin lahovaurioita havaittu

Dokumentointi: Ei suunnitelmia tai rakennekuvia

Lujuusluokka: Ei merkintöjä



Kuvat 4–5 Somero, Venevalkama – Kesämökki (rakennettu 1970)

Yhteenveto testierästä 1

Kaikista kohteista kerätty puutavara edusti käyttökohteiltaan **kuormitukselle alttiita rakenteita**, ja puiden historiatiedot olivat osittain jäljitettävissä. Näytteet käytiin läpi **visuaalisessa lujuuslajittelussa välivarastoinnin yhteydessä**, minkä jälkeen ne toimitettiin **laboratoriotesteihin Mikkeliin**.

Tämä ensimmäinen testierä muodosti tärkeän perustan ja aloituksen **visuaalisen lujuuslajittelun ohjeistuksen kehittämiseksi**, sillä se sisälsi monipuolista aineistoa asuin ja vapaa-ajan rakennuksista eri ajoilta.

9. Tulokset

Visuaalisen lujuuslajittelun arviointi

Ensimmäisessä testierässä tehtiin puretun puutavaran **visuaalinen lujuuslajittelu** käyttäen **pohjoismaista INSTA 142 -standardia** (julkaistu Suomessa standardina **SFS 5878**).

Lajittelun tavoitteena oli tunnistaa ominaisuudet, jotka vaikuttavat puun kantavuuteen ja soveltuvuuteen rakenteellisiin käyttötarkoituksiin.

INSTA 142 -standardissa esitetään, mitkä visuaalisesti havaittavat piirteet on otettava huomioon, kun sahatavaraa arvioidaan kantaviin rakenteisiin. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa:

- Oksat ja niiden koko ja sijainti
- Halkeamat
- Vajaasärmäisyys
- Muotoviat
- Vinosyisyys
- Pintavauriot tai lahon merkit

Standardi määrittelee kullekin lujuusluokalle (T1–T3) **raja-arvot**, joiden perusteella lajittelu tehdään. Nämä lujuusluokat muunnetaan eurooppalaisiksi luokiksi **EN 338** -standardin mukaisesti seuraavasti:

- **T3 → C30**
- **T2 → C24**
- **T1 → C18**

Lopullinen tuotteiden CE-merkintä pohjautuu harmonisoituun tuotestandardiin **EN 14081-1:2005+A1:2011**, jossa visuaalinen lujuuslajittelu on yksi hyväksytyistä menetelmistä.

Lajittelun käytännön toteutus

Visuaalinen lajittelu tehtiin kappalekohtaisesti jokaiselle testinäytteelle ennen mekaanista testausta. Lajittelussa arvioitiin puun kuntoa erityisesti purkuprosessista aiheutuneiden vaurioiden (naulanjäljet, halkeamat, mekaaniset vauriot) sekä luonnollisten vikojen (oksat, lahovauriot, vajaasärmäisyys) osalta.

Jokaiselle kappaleelle määritettiin visuaalinen lujuusluokka (**C30, C24, C18 tai hylky**), ja arvio dokumentoitiin valokuvin sekä erilliselle yhteenveto lomakkeelle, johon merkattiin lujuusluokka sekä luokan määrittävä ominaisuuden raja-arvo. Lajittelussa käytettiin apuna visuaalisen lujuuslajittelun **INSTA - 142 tiivistettyä ohjetta**, jossa on kaikki standardin

visuaalisten ominaisuuksien raja-arvot lujuusluokille. **Huom: C14 luokkaa** ei huomioitu purkupuun lajittelussa, sen olemattoman kaupallisen käytön ja kaupallisen kysynnän takia.

INSTA 142 TIIVISTETYT OHJEET

Päivitetty 2.1.2014

Ominaisuudet ja suurimmat sallitut viat, koot tai poikkeamat eri lujuusluokissa				
OKSAT				
Oksan sijainti	Oksan koon suhde vastaavaan syrjään tai lappeeseen			
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Syrjäoksa	1/3	1/2	4/5	1/1
Lapeoksa	1/6	1/4	2/5	1/2
Poikaoksa (pysty sarvioksa)	Ei sallita lainkaan	Syrjällä sallitaan, kuten yksittäinen oksa, jos pituus ≤ kappaleen leveys		Sallitaan
Oksasumma	Suurin sallittu koko on yhtä suuri, kuin suurimman sallitun syrjä- ja lapeoksan mittojen summa			
Parrujen oksat	1/5 (20 %)	2/5 (40 %)	3/5 (60 %)	4/5 (80 %)
Parrujen oksasumma	Enintään neljä kertaa suurimman sallitun yksittäisen oksan mittalukujen summa kaikissa luokissa			
VINOSYISYYS JA VUOSILUSTOT				
Vinosyisyys	Korkeintaan 1:10	Korkeintaan 1:8	Korkeintaan 1:6	Korkeintaan 1:4
Vuosilustojen väli	Keskiarvo enintään 4 mm	Keskiarvo enintään 6 mm	Keskiarvo enintään 8 mm	Ei rajoitusta
HALKEAMAT				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Kuivumishalkeamat, ei läpimenevät	Ei rajoitusta, jos halkeamien syvyys on enintään puolet sahatavaran paksuudesta			Sallitaan koko kappaleen pituudelta. Ei kuitenkaan läpimenevänä. Myös särmän leikkaavat.
Kuivumishalkeamat, yli puolet tavaran paksuudesta	Sallitaan enintään yksi metri, mutta ei enempää, kuin 1/4 kappaleen pituudesta		Sallitaan enintään 1,5 m; korkeintaan 1/2 pituudesta	
	Ei sallita särmää leikkaavia halkeamia			
Kuivumishalkeamat, läpimenevät	Sallitaan ainoastaan kappaleiden päissä, jos halkeaman pituus on enintään kappaleen leveys. Ei kuitenkaan pidempiä kuin 15 cm.			Kokonaispituus ≤ 0,5 m. Päissä ≤ 15 cm.
Kaatohalkeamat	Ei sallita			Vähäisiä
Rengashalkeamat	Ei sallita	Sallitaan leveys ≤ 50 mm (syvyys ≤ 25 mm) ja pituus ≤ 0,5 m		Sallitaan, jos pituus ≤ 1 m
LATVAMURTUMA, SYYHÄIRIÖ JA VAJAASÄRMÄ				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Latvamurtuma ja syyhäiriö	≤ 1/4 lappeen leveydestä keskellä (25 %)	≤ 1/2 lappeen leveydestä keskellä (50 %)		≤ 3/4 lappeen leveydestä (75 %)
Vajaasärmä	Kaikissa lujuusluokissa kappaleen poikkileikkauksessa työstettyjen pintojen on oltava vähintään 2/3 kappaleen reunoilla ja lappeella			

TOLERANSSIT koskevat 20 % kosteuspitoisuutta vastaavia mittoja. Keskimääräinen paksuus ja keskimääräinen leveys eivät saa alittaa tavoitemittoja				
Toleranssi luokka 1.		Sahattu rakennesahatavara		
Paksuus ja leveys	≤ 100 mm	- 1 mm	+ 3 mm	
	≥ 100 mm	- 2 mm	+ 4 mm	
Toleranssi luokka 2.		Höylätty / mitallistettu tavara		
Paksuus ja leveys	≤ 100 mm	- 1 mm	+ 1 mm	
	≥ 100 mm	- 1,5 mm	+ 1,5 mm	
Kosteuden ollessa alueella 20 – 30 %, lisätään nimellismittoihin 0,25 % kutakin alkavaa kosteuden lisääntymisprosenttia kohden. Vastaavasti kosteuden alittaessa 20 %, vähennetään nimellismitoista 0,25 % kutakin vähenevää kosteus% kohden				
LAPEVÄÄRYYS, SYRJÄVÄÄRYYS, KIEROUS JA KUPERUUS				
	T3 (C30) ja T2 (C24)		T1 (C18) ja T0 (C14)	
Lapevääryys	≤ 10 mm 2 metrin matkalla		≤ 20 mm 2 metrin matkalla	
Syrjävääryys	≤ 8 mm 2 metrin matkalla		≤ 12 mm 2 metrin matkalla	
Kierous	≤ 1 mm / 25 mm:n leveyttä kohti		≤ 2 mm / 25 mm:n leveyttä kohti	
Kuperuus	Ei rajoituksia missään luokassa			
Muotovika on riippuvainen kosteudesta ja voi siksi ajan kuluessa muuttua. Muotovika on usein riippuvainen myös puutavaran koosta ja sahaustavasta.				
SINISTYMÄT, VARIVIAAT, SÄÄNVÄRIMUUTOS, KOVA JA PEHMEÄ LAHO				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Sinistymät ja väri- viat	Sallitaan kaikissa lujuusluokissa			
Säätvärimuutos	Sallitaan kaikissa lujuusluokissa			
Kova laho (alkava laho)	Ei sallita		Leveys ≤ 1/4 Pituus ≤ 0,5 m Syvyys < t	Sallitaan
Pehmeä laho	Sallitaan vain lahoissa oksissa			
LYLY, KÄSITTELYVAURIOT, PIHKATASKUT, PIHKAPUU, KAARNAROSO, KORO, KUORI, HYÖNTEISVAURIOT				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Lyly (janhus)	Ei sallita, jos on odotettavissa muodon oleellisesti muuttuvan kuivuessaan. Jos ei muodonmuutoksia, enintään 10 % poikkipinta-alasta.			Sallitaan ≤ 20 % poikkipinta-alasta
Käsittelyvauriot	Ei sallita	≥ 95 % poikkileikkauksesta pitää olla vaurioitumatonta		≥ 85 % poikkileikkauksesta ehjää
Pihkataskut	Sallitaan kaikissa luokissa			
Pihkapuu	Sallitaan kaikissa luokissa			
Kaarnaroso ja/tai koro	Leveys ≤ 1/5 Pituus ≤ 2xb Ei läpimenevä	Leveys ≤ 1/5 Pituus ≤ 3xb (b = leveys) Ei läpimeneviä		Sallitaan, mutta ei läpimenevää
Kuori	Ei sallita missään luokassa			
Hyönteisvaurio	Ei sallita			Vähän

10. Visuaalisen lajittelun tulokset

Ensimmäisen testierän (Teisko, Sastamala. Venevalkama) 25 purkusahatavaran lajittelun tulokset, visuaalisen luokittelun mukaisesti eroteltuna. Mitattu pituus, kosteusprosentti, dimensio sekä ominaisuuden raja-arvo, joka määritteli lujuusluokan.

Purkukohde: Teisko, Venevalkama, Sastamala

Mänty ja Kuusi	C30	C24	C18	Hylky	Pituus (cm)	Dimensio (mm)	Kosteus %	Ominaisuuden raja-arvo
1 Teisko				X	292	50*125	19,8	Kuorta ja hönteisvauriota
2 Teisko		X			291	50*125	18,6	Syrjä-lape naulaojen aiheuttama halkeama
3 Teisko		X			205	50*100	18,1	Mekaaninen vaurio < 5 %
4 Teisko		X			291	50*125	16,2	Lapeoksa syrjä-lape naulat*2
5 Teisko			X		205	52*100	16,9	Syrjä halki koko matka. Syrjäoksa
6 Teisko		X			205	50*100	15,5	Purkuvauriota särmässä
7 Teisko		X			326	50*100	20,5	Vajaata, syrjäoksa
8 Teisko				X	292	50*125	21,4	Purkuvaurio, syrjä
9 Teisko				X	205	50*100	18,2	Särman ylittävä halkeama
10 Teisko				X	230	50*100	18,1	Mek.vaurio, lahoa, runsaasti nautoja
11 Teisko		X			291	50*125	16,5	SO, vajaata
12 Teisko			X		217	45*95	15,1	100v vanha
13 Teisko		X			292	50*125	16,6	Mek. vaurio, oksasumma
14 Teisko		X			292	50*125	20,8	naulahalkema, syrjä-lape, SO
15 Teisko!!			X		226	50*100	30	naulainen, kostea
16 Sastamala				X	269	40*120	12,2	lahoa
17Venevalkama			X		239	45*90	11,3	oksasumma, vajaata
18Sastamala		X			246	50*100	12,1	oksasumma, mekaaninen vaurio
19Sastamala		X			202	40*120	11,5	oksasumma
20Venevalkama				X	239	45*90	13,3	päätyhalkema

Purkukohde: Teisko, Venevalkama, Sastamala

	C30	C24	C18	Hylky	Pituus (cm)	Dimensio (mm)	Kosteus %	Ominaisuuden raja-arvo
21 Teisko!!	X				290	50*120	17,5	naulainen, kostea
22 Teisko			X		290	50*120	12,2	Syrjäoksa. Mek. vaurio
23 Teisko				X	260	50*100	14,1	päätyhalkeama
24 Sastamala				X	261	40*125	14,3	mekaaninen vaurio
25 Teisko				X	230	50*100	16,9	Lahoa, naulainen



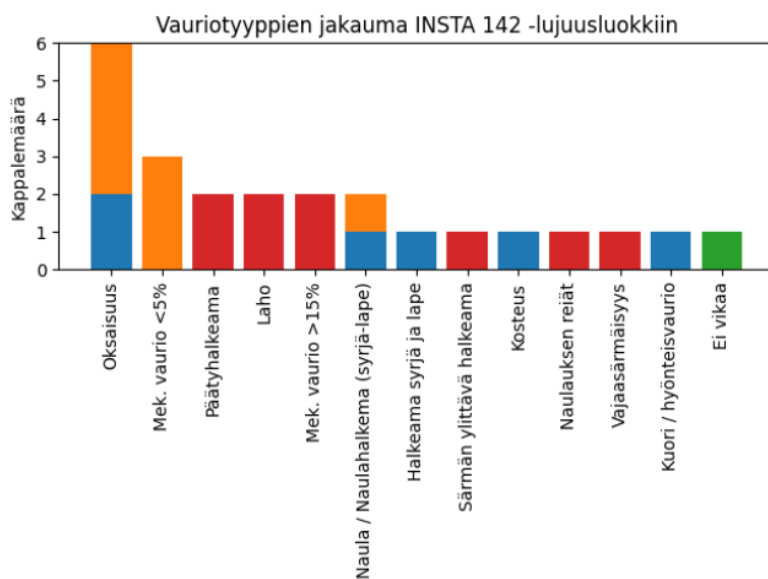
Visuaalisen lajittelun tulokset kootusti. Jokaisesta kappaleesta arvioitiin lujuusluokka sekä lujuusluokan määrittävä ominaisuuden raja-arvo INSTA – 142 standardin mukaisesti. Kosteus mitattiin Gann HT70 tai HT40 sähköisellä vastusmittarilla.

Ominaisuuksien raja-arvojen jakauma lujuusluokittain

Alla oleva taulukko esittää 25 kappaleen vauriotyyppien jakauman visuaalisen lajittelun INSTA- 142lujuusluokkiin C30, C24, C18 ja Hylky.

Vauriotyyppien jakauma INSTA 142 -lujuusluokkiin

Vauriotyyppi	C18	C24	C30	Hylky	Yhteensä
Oksaisuus	2	4	0	0	6
Mekaaninen vaurio alle 5%	0	3	0	0	3
Päätyhalkeama	0	0	0	2	2
Laho	0	0	0	2	2
Mekaaninen vaurio/purkuvaurio yli 15%	0	0	0	2	2
Naula / Naulahalkema Syrjä-lape kulkeva	1	1	0	0	2
Halkeama syrjä ja lape	1	0	0	0	1
Särmän ylittävä halkeama	0	0	0	1	1
Kosteus	2	0	0	0	1
Mekaaninen vaurio naulauksen aiheuttamat reiät	0	0	0	1	1
Vajaasärmäisyys	0	0	0	1	1
Kuori/ hyönteisvaurio	1	0	0	0	1
Ei vikaa	0	0	1	0	1



11. Analyysi vauriotyypeittäin

Halkeamat purkupuutavarassa.

Halkeamat muodostivat merkittävän osan purkupuutavaran hylkäysperusteista. Tämä korostui erityisesti esilajittelussa, jossa suuri osa halkeamia tai mekaanisia vaurioita sisältävistä kappaleista karsittiin jo ennen varsinaista visuaalista lajittelua sekä taivutustestiä. Kappaleet, joissa vaurio oli selkeästi nähtävissä – kuten laajat halkeamat, lohkeamat tai särmän läpi ulottuvat murtumat – jätettiin pois suuren hylkäysriskin vuoksi.

Halkeamien synty purkupuutavarassa liittyy tyypillisesti purkutyön toteutustapaan. Koneellinen purku suurilla purkukourilla ja voimakkailla otteilla aiheuttaa puuhun jännitystilanteita, jotka laukaisevat halkeamia. Erityisesti purkutyön nopeus, järeän purkukouran käyttö, purkukouran suuntaus ja tartuntakohta vaikuttavat siihen, syntyykö kappaleeseen halkeama tai lohkeama.

Syrjä- ja lapehalkeamat ovat yleisiä silloin, kun kappaleeseen kohdistuu vääntöä tai leikkaavaa voimaa. Ne heikentävät rakenteellista lujuutta erityisesti taivutusrasituksessa, kun halkeama sijaitsee vetojännityspuolella. Visuaalisen lujuuslajittelun näkökulmasta nämä halkeamat ovat suora hylkäysperuste, jos ne ylittävät INSTA 142 -standardin määrittämät raja-arvot pituuden tai syvyyden osalta.

Päätyhalkeamat ovat ongelmallisia, koska ne viittaavat usein sisäisiin jännityksiin, jotka purkautuvat kuivumisen tai ulkoisen rasituksen seurauksena. Vaikka ne eivät aina ulotu pitkälle, niiden vaikutus jatkojalostukseen – esimerkiksi kappaleen sahaamiseen tai liittämiseen – on huomattava. Päätyhalkeama voi edetä kappaleen sisään ja aiheuttaa murtumariskiä käytön aikana, minkä vuoksi ne luokitellaan kriittisiksi vaurioiksi, erityisesti kantavissa rakenteissa. Päätyhalkeamia sallitaan INSTA – 142 standardissa kappaleen leveyden verran, kuitenkin max. 150 mm.

Särmän ylittävät halkeamat ovat kaikkein kriittisimpiä. Ne osoittavat, että kappaleessa on rakenteellinen epäjatkuvuus koko leveyden läpi. Tällainen vaurio voi syntyä erityisesti silloin, kun purkuvoima on kohdistunut kappaleen syrjälle, esimerkiksi vinosti asennetun naulan kautta tai kun purkukoura painaa kappaletta reunasta. Näissä tapauksissa kappale hylätään aina, sillä sen käyttö kantavissa rakenteissa ei ole turvallista.

Yhteenvetona voidaan todeta, että halkeamien synty on usein seurausta raskaasta ja hallitsemattomasta purkumenetelmästä. Niiden ennaltaehkäisy edellyttäisi kevyempiä purkutapoja, esimerkiksi manuaalista irrotusta tai pienempiä tartuntapintoja hyödyntäviä koneita. Halkeamat – erityisesti pääty- ja särmän ylittävät halkeamat – heikentävät puun lujuutta ratkaisevasti ja estävät sen turvallisen uudelleenkäytön kantavissa rakenteissa. Visuaalisessa lujuuslajittelussa ne ovat hylkäysperuste niin sijainnin tai/ja suuruuden perusteella.

Mekaaniset vauriot purkusahatavarassa

Purkuprosessin aikana syntyvät mekaaniset vauriot muodostavat keskeisen ja usein ratkaisevan lujuusluokkaa alentavan tekijän puretussa sahatavarassa. Vaikka purkukohteella tehtiin alkulajittelu, jossa poistettiin pahimmat purkurikkoumat ennen varastointia ja

testausta, mekaaniset vauriot muodostivat edelleen merkittävän osuuden kaikista hylkäykseen johtaneista syistä.

Purkumenetelmät – erityisesti koneellinen purku tai väkivaltainen irrottaminen – aiheuttavat usein rakenteellisia vaurioita, kuten lohkeamia, halkeamia, puristusjälkiä ja reunavaurioita. Nämä syntyvät tyypillisesti, kun kiinnitettyjä rakenteita irrotetaan väkisin, tai kun kappaleet vaurioituvat toisiinsa tai koneiden osiin kohdistuvan mekaanisen rasituksen seurauksena. Usein vaurioiden syntymekanismi liittyy kiinnikkeiden suuntaan – erityisesti silloin, kun naula tai ruuvi on asennettu kulmittain tai lähellä kappaleen särmää. Tällöin irrotusvoima kohdistuu epätasaisesti, aiheuttaen lohkeamia ja repeytymiä kappaleeseen.

Testitulosten perusteella havaittiin, että jos mekaaninen vaurio oli vähäinen (esim. alle 5 % poikkileikkauksesta- INSTA 142), kappale voitiin hyväksyä C24-luokkaan. Sen sijaan selvästi näkyvät, purkamisesta johtuvat suuret lohkeamat tai rakenteen läpi ulottuvat halkeamat johtivat suoraan hylkäykseen. Erityisen kriittisiä ovat vetojännityspuolelle osuvat tai lappeelta syrjälle jatkuvat halkeamat, joiden vaikutus lujuuteen on huomattava. Myös purkukouran aiheuttamat painaumat on niiden syvyyden ja pituuden mukaisesti huomioitava. Painaumien kohdalla syy ovat litistyneet ja oletettavasti aiheuttavat vaurion kohdalle mikrohalkeamia sekä syyn suunnan muutoksia paikallisesti.

Mekaanisten vaurioiden arvioinnissa sovellettiin INSTA 142 -standardin lujuusluokitusohjeita. Vaikka ohjeet on ensisijaisesti suunnattu neitseelliselle sahatavaralle, niitä pystyttiin soveltamaan myös purkupuuhun tapauskohtaisesti. Lajittelijan rooli oli keskeinen: hänen tuli arvioida vaurion vaikutus lujuuteen sekä sen vakavuus ja sijainti. Tämä korostaa visuaalisen lujuuslajittelun asiantuntija-arvion merkitystä – etenkin kun kyse on uudelleenkäytettävästä, mutta purkuprosessissa mekaanisesti vaurioituneesta puusta.

Voidaan todeta, että nykyiset purkumenetelmät eivät vielä riittävästi huomioi sahatavaran uudelleenkäytettävyyttä. Erityisesti kevyempien purkumenetelmien, kuten rakenteiden suunnitelmallisen purkamisen, manuaalisen irrotuksen ja puun vaurioiden ennaltaehkäisyyn, kehittäminen olisi tärkeä askel uudelleenkäytön lisäämiseksi. Lisäksi purkuvaiheessa tapahtuvan vauriokartoituksen ja lajittelun kehittäminen voi mahdollistaa paremman materiaalihyödyn ja säästää resursseja myöhemmässä tarkastelussa ja testauksessa.

Naulareivät ja -vauriot

Naulausten aiheuttamat vauriot – kuten reiät ja halkeamat – heikensivät rakenteen eheyttä, mikäli ne sijaitsivat kappaleen reunassa ja aiheuttivat särmän ylittävän halkeaman. Osan näistä lajittelija sijoitti vielä C24-luokkaan, mutta selkeät naulojen aiheuttamat halkeamat johtivat hylkäykseen. Tämä vaurioluokka on uusi, jota INSTA- 142 ohjeissa neitseelliselle puulle ei ole. Alkueletuksiin nähden naulojen ja kiinnikkeiden vaikutus puun visuaaliseen lujuusluokkaan ja mekaanisen taivutustestin tuloksiin oli kuitenkin vähäinen. Naulojen ja ruuvien aiheuttamat reiät tai lievät vauriot eivät heikentäneet lajittelijan arviota tai taivutustestin tuloksia kappaleen lujuudesta juuri olleenkaan.

Naulojen ja ruuvien aiheuttamat reiät ovat yleisiä purkupuutavarassa, mutta niiden vaikutus kappaleen lujuuteen poikkeaa merkittävästi oksien vaikutuksesta, johon INSTA 142 - visuaalisen lujuuslajittelun ohjeistus ensisijaisesti perustuu. Oksat voivat aiheuttaa puun syiden suunnan poikkeamista pituussuunnasta (ns. vinosyisyyttä), mikä heikentää

merkittävästi sahatavaran mekaanisia ominaisuuksia. Naulanreikä sen sijaan ei yleensä muuta syiden suuntaa eikä aiheuta vastaavia jännityshuippuja kappaleessa.

Tarkastelun ja kirjallisuuden perusteella ei ole olemassa suoraa analogiaa tai virallisia ohjeita, joissa tietty määrä tai kokoisia naulanreikiä rinnastettaisiin oksien aiheuttamaan lujuuden alenemiseen. Kirjallisuudessa viitataan ainoastaan epätäydellisiin tai irtonaisiinoksiin, mutta ei kiinnitysreikien vaikutuksiin. Näin ollen, yksittäiset tai pienet ryhmät naulan- tai ruuvireikiä eivät olleet syy alentaa lujuusluokkaa testiversiossa käytetyssä lajitteluohjeistuksessa.

Sen sijaan huomio kiinnitettiin reikien sijaintiin ja suuntautumiseen kappaleessa. Erityisesti silloin, kun naulan tai ruuvireikä sijaitsee lähellä kappaleen särmää tai naula on ollut asennettuna vinoon kappaleen poikkileikkaukseen nähden, purkutyön yhteydessä syntyy suurempi riski halkeamille. Tällaiset halkeamat voivat ulottua lappeelta syrjälle tai toisin päin, ja ne heikentävät erityisesti kappaleen vetojännityspuolta, mikä on rakenteellisessa käytössä kriittinen.

Naulanreikien pelkkä olemassaolo ei alentanut lujuusluokkaa, mutta niiden sijainti, suuntaus ja niistä mahdollisesti seuranneet vauriot saattoivat vaikuttaa luokitukseen. Luokkaa määritettiin tapauskohtaisesti, hyödyntäen INSTA 142 -standardin ohjeistusta ja lajittelijan teknistä harkintaa.

Laho ja home purkupuutavarassa

Lahot ovat biologisia vaurioita, jotka heikentävät merkittävästi puun teknisiä ominaisuuksia ja käyttökelpoisuutta kantavissa rakenteissa. Ne ovat myös visuaalisesti havaittavia vikoja, joiden tulkinta on yleensä yksiselitteistä lujuuslajittelussa.

INSTA 142 -standardin mukaan neitseellisessä sahatavarassa lahon esiintyminen on melko suora hylkäysperuste. Tämä periaate soveltuu yhtä lailla purkupuutavaraan, koska laho viittaa puun rakenteellisen eheyden menetykseen, jota ei voida palauttaa. Lahon aiheuttama solukon hajoaminen johtaa puun lujuuden merkittävään ja arvaamattomaan heikkenemiseen.

Tässä testierässä havaittiin lahovaurioita kahdessa kappaleessa, ja ne hylättiin suoraan ilman lisäarviointia. Tapaukset vahvistavat sen, että lahon esiintyminen on edelleen yksiselitteinen peruste materiaalin hylkäämiselle, myös purkumateriaalin yhteydessä. Vaikka vaurio oli määrällisesti vähäinen, sen olemassaolo korostaa lahon vakavuutta lujuuden kannalta.

Purkupuutavaran tapauksessa lahon esiintyminen liittyy tyypillisesti rakenne- ja käyttöhistoriaan. Pitkään kosteudelle alttiina ollut puu – esimerkiksi ulkorakenteissa, sokkeleissa tai kylmissä tiloissa – on suuremmassa vaarassa vaurioitua lahottajasisienien vaikutuksesta. Erityisesti rakenteet, joissa ei ole ollut riittävää ilmanvaihtoa tai joissa on esiintynyt vuotoja tai tiivistymistä, muodostavat riskialueen lahon kehittymiselle. Tästä syystä purkupuun arvioinnissa on tärkeää huomioida paitsi kappaleen ulkoiset viat, myös sen sijoittuminen rakennuksessa ja altistumishistoria.

Home sen sijaan on useimmiten esteettinen ja terveystekijä, mutta ei välttämättä suora hylkäysperuste lujuuden näkökulmasta – ellei siihen liity lahon kehittymistä tai merkittävää pintasolukon pehmenemistä. Hometta voi esiintyä esimerkiksi varastoinnin aikana kosteuden vaikutuksesta, ja se voidaan tietyissä tilanteissa poistaa. Tästä huolimatta homeen esiintyminen on merkki kosteusriskistä, joka voi edeltää tai ennakoita lahon kehittymistä.

Yhteenvedon voidaan todeta, että lahon esiintyminen purkupuutavarassa on ehdoton hylkäyskriteeri, ja sen tunnistaminen tulee olla osa visuaalista lajittelua. Lahon riskin ennaltaehkäisy liittyy rakennuksen suunnitteluratkaisuihin, puutavaran suojaamiseen sekä purku- ja varastointiprosessien hallintaan. Homeen osalta tarvitaan tapauskohtaista arviointia sen vaikutuksista sekä mahdollisista puhdistus- ja kunnostusmenetelmistä.

Oksien merkitys purkupuutavaran lujuusluokassa

Oksat ovat yleisesti sahatavaran lujuutta heikentävin luonnollinen ominaisuus, ja niiden vaikutus on keskeinen myös purkupuutavaran visuaalisessa lujuuslajittelussa. Neitseellisessä sahatavarassa oksien koko ja sijainti ovat INSTA 142 -standardin mukaisesti tärkein arviointiperuste, ja niiden on arvioitu vaikuttavan jopa yli 80 %:iin lujuusluokan määräytymisestä. Visuaalinen lajittelu on oksaisuuden suhteen konservatiivinen, mikä johtaa usein aliluokitteluun verrattuna koneelliseen lujuuslajitteluun – erityisesti silloin, kun syrjän oksan koko ylittää luokitusrajat, vaikka oksan vaikutus rakenteelliseen lujuuteen olisi standardissa annettua raja-arvoa pienempi. Tämä tulee selkeästi esille verrattaessa visuaalista lajittelu koneelliseen lajitteluun, jossa kappaleen tiheys on tärkein kappaleen lujuutta indikoiva ominaisuus.

Purkupuutavaran testilajittelussa on sovellettu samoja periaatteita: oksien koko, sijainti ja ryhmittäytyminen ovat edelleen keskeisiä arviointikriteerejä. Oksat ovat merkittävä lujuuden heikkenemiseen vaikuttava tekijä myös purkupuun osalta. Taivutustesteissä selkeästi yleisin murtuman lähtöpiste oli oksan vieressä olevan suurimman syyn suunnan muutoksen kohdassa.

Oksien vaikutusta taivutuslujuuteen arvioidaan usein reikäanalogian avulla, jossa oksa mallinnetaan reiäksi ja lujuus lasketaan jäljelle jäävälle nettopoikkileikkaukselle. Menetelmä on kuitenkin yksinkertaistus, joka ei huomioi jännityshuippuja tai syiden kaartuvuutta oksan ympärillä, mikä voi johtaa virheellisiin arvioihin – erityisesti epäsymmetrisissä tai oksaryhmien tapauksissa. Reikäanalogia ei sovellu vetoon tai puristukseen.

Vedossa oksan vaikutus riippuu sen pinta-alasta ja sijainnista – haitallisin tilanne on, kun oksa sijaitsee poikkileikkauksen reunassa. Puristuksessa vaikutus on vähäisempi, mutta edelleen sidoksissa oksan kokoon.

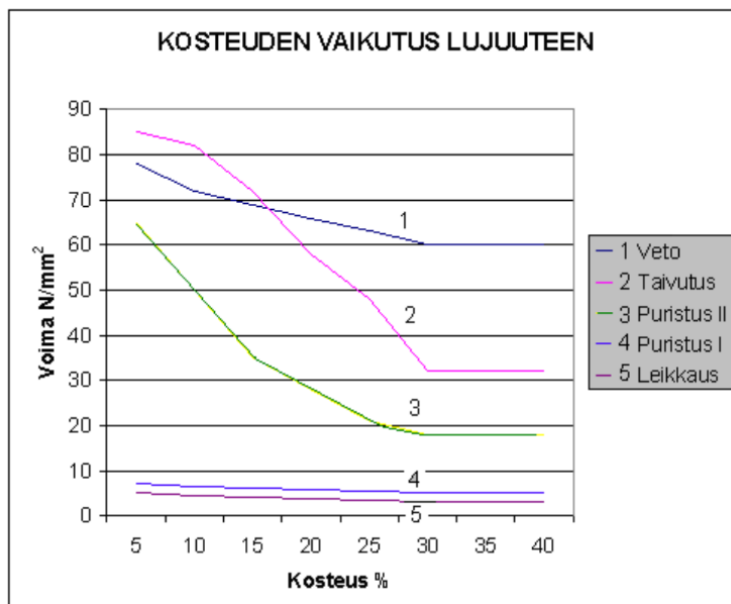
Purkupuutavarassa on tärkeää arvioida myös oksien mahdollinen mekaaninen vaurioituminen, kuivumishalkeamat sekä oksien irtoaminen sekä lähellä oksaa sen aiheuttaman suurimman syyssuunnan poikkeaman lähellä oleva naulanreiän aiheuttama halkeaman alku, joka saattaa etenkin taivutuksen vetopuolella jatkua kuormituksessa. Tällaiset vauriot heikentävät puun lujuutta olennaisesti ja lisäävät epäjatkuvuuksia poikkileikkauksessa.

Oksaisuus on myös testiaineiston purkupuutavarassa merkittävin luonnollinen lujuutta heikentävä tekijä visuaalisessa lajittelussa. Vaikka INSTA 142 -ohjeistus tarjoaa selkeät rajat oksien kokoon ja sijaintiin, niiden soveltamisessa purkumateriaaliin tarvitaan erityistä huomiota kappaleen yleiseen kuntoon, kuormitushistoriaan ja vaurioitumiseen. Lajittelijan tekninen arvio on ratkaisevassa asemassa oksaisuuden vaikutuksen arvioinnissa – sekä yksittäisten oksien että oksaryhmien osalta.

Kosteuden merkitys purkupuun lujuuteen

Purkupuiden kosteuspitoisuus oli todennäköisesti korkea purkupaikalla, johtuen kattamattomasta ja suojaamattomasta varastoinnista. Tästä syystä kosteutta ei mitattu purkuhetkellä. Varsinaiset kosteuden mittaukset tehtiin vasta sisätiloissa tapahtuneen välivarastoinnin ja laboratoriotestauksen yhteydessä, jolloin puun kosteus oli ehtinyt tasaantua testitilojen lämpötilaan ja suhteelliseen kosteuteen, joka vastaa purkupuun vastaavia uudelleenkäytön olosuhteita.

Kosteus vaikuttaa merkittävästi puun lujuusominaisuuksiin silloin, kun se alittaa **puun syiden kyllästymispisteen** (n. 25–30 %). Tämän pisteen yläpuolella kosteuden muutoksilla ei ole vaikutusta puun mekaanisiin ominaisuuksiin. Mitä kuivempaa puutavara on, sitä lujempaa se on.



Kosteuden vaikutus lujuuteen eri voiman suuntautumisen vaikutuksesta. INSTA – 142 koulutusaineisto. Puun ominaisuudet lujuuden kannalta. (Keskitalo, Hentunen, Silvast)

Rakennussuunnittelussa puun kosteus huomioidaan eri kosteusluokkien suunnitteluarvojen kautta. Purkupuun uudelleenkäytössä on tästä syystä tärkeää varmistaa, että puutavaraa varastoidaan ja käytetään käyttöolosuhteita vastaavassa kosteustilassa. Väärä kosteus voi johtaa virheelliseen lujuusluokitukseen tai rakenteellisiin ongelmiin käytön aikana.

Kuori, hyönteisvauriot ja vajaasärmäisyys purkupuutavarassa INSTA 142 -standardin mukaisessa visuaalisessa lujuuslajittelussa kuori, hyönteisvauriot ja vajaasärmäisyys ovat hylkäysperusteita kaikissa lujuusluokissa. Näitä pidetään merkkeinä sahauksen puutteellisuudesta, biologisesta vauriosta tai mitan alituksesta, jotka voivat vaikuttaa puun tekniseen suorituskykyyn.

Kuori ja hyönteisvauriot ja vajaasärmäisyys esiintyivät testiaineistossa yksittäin ja usein yhdessä samoissa kappaleissa. Kuoripinta viittaa siihen, että pintakerros on jäänyt poistamatta sahauksen yhteydessä. Vaikka se ei aina heikennä mekaanista lujuutta, se heikentää puun suojaa kosteutta ja sieniä vastaan. Hyönteisvaurioiden, kuten tuhohyönteisten tekemien reikien, esiintyminen liittyy usein vanhempiin, varastoinnin aikana tai rakenteessa biologiselle rasitukselle altistuneisiin kappaleisiin.

Testimateriaalin kohdalla lajittelija ei aina hylännyt tällaisia kappaleita suoraan, jos vauriot olivat vähäisiä eikä niillä arvioitu olevan vaikutusta lujuuteen. Monissa tapauksissa puu oli ollut vuosikymmeniä kuivassa rakenteessa, ja biologinen toiminta oli jo päättynyt. Silti visuaalinen haitta oli selvä, ja siksi tällainen puutavara edellyttää jatkokäsittelyä – esimerkiksi mitallistavaa höyläystä – ennen uudelleenkäyttöä.

Vajaasärmäisyys Tarkoittaa, että sahatavaran reuna ei ole suorakulmainen tai kokonaan sahanterän läpi kulkenut, vaan kappaleessa on puutteellinen särmä. Tämä vaikuttaa erityisesti sahatavaran mittatarkkuuteen ja voi aiheuttaa ongelmia liitoksissa tai kuormituksen jakautumisessa sekä rakenteellisessa käytössä esim. seinälevytyksessä. INSTA 142 -ohjeissa vajaasärmäisyys on hylkäysperuste aina, kun vajaa ylittää 1/3 kappaleen lappeelta tai syrjältä. Tämä siksi, koska se heikentää poikkileikkauksen yhtenäisyyttä ja vaikeuttaa rakenteellista käyttöä.

Purkupuutavarassa vajaasärmäisyys esiintyy yleisimmin vanhemmissa, pieniläpimittaisista tukeista sahatuissa kappaleissa, joissa sahaustarkkuus on ollut heikompi. Historiallisesti vajaasärmäinen puu oli yleisesti käytössä, erityisesti sodan jälkeen, kun sahatavaraa oli rajoitetusti saatavilla. Tämä on tekijä, joka tulee vastaan vanhojen talojen purkutavaraa luokiteltaessa.

Vaikka kuori, hyönteisvauriot ja vajaasärmäisyys ovat visuaalisia hylkäysperusteita, niiden merkitys purkupuutavarassa vaatii tapauskohtaista arviointia. Vaikka ne eivät aina heikennä mekaanista lujuutta, ne vaikuttavat käyttökelpoisuuteen, ulkonäköön ja vaativat usein jatkokäsittelyä ennen uudelleenkäyttöä rakenteissa.

Purkupuun iän vaikutus lujuuteen Puun ikä otettiin yhdeksi seurattavaksi lajittelukriteeriksi. Lajitteluaineistossa oli yksi kappale Teiskon lajittelukohteesta säilynyt 1930 luvulla rakennetun varastorakennuksen soiro. Vanhassa sahatavaraa voi esiintyä ominaisuuksia, jotka parantavat sen mekaanista suorituskykyä. Ennen 1960-lukua kasvatetut puut voivat olla peräisin hitaasti kasvaneista rungoista, joissa vuosilustot ovat tiheämpiä ja puuaineen tiheys suurempi. Tällainen materiaali voi osoittaa korkeita MOE- eli jäykkyysarvoja. Myös oksaisuuden vähäisyys tällaisessa raaka-aineessa voi parantaa sen mahdollisuuksia ylittää lujuusluokan C24 vaatimukset.

Toisaalta puun ikä voi merkitä pitkää käyttöhistoriaa, joka voi heikentää sen rakenneteknisiä ominaisuuksia. Pitkäaikainen altistuminen kosteusrasituksille, kuormituksille ja mahdollisille home- tai lahovaurioille voi aiheuttaa sisäisiä mikroskooppisia murtumia tai halkeamia. Puun kemiallinen vanheneminen, erityisesti selluloosan ja ligniinin hajoaminen, voi ajan myötä vaikuttaa erityisesti vetolujuuteen.

Nykyiset sahatavaran lujuuslajittelustandardit, kuten INSTA 142 ja EN 14081, eivät huomioi ikää erillisenä luokittelutekijänä, vaan keskittyvät kappalekohtaisiin ominaisuuksiin kuten oksaisuuteen, halkeamiin ja muihin visuaalisesti havaittaviin vikoihin. Tämä tarkoittaa, että vanhakin puu voi läpäistä luokituksen, mikäli sen ulkoiset ominaisuudet ja mekaaninen suorituskyky ovat riittävät.

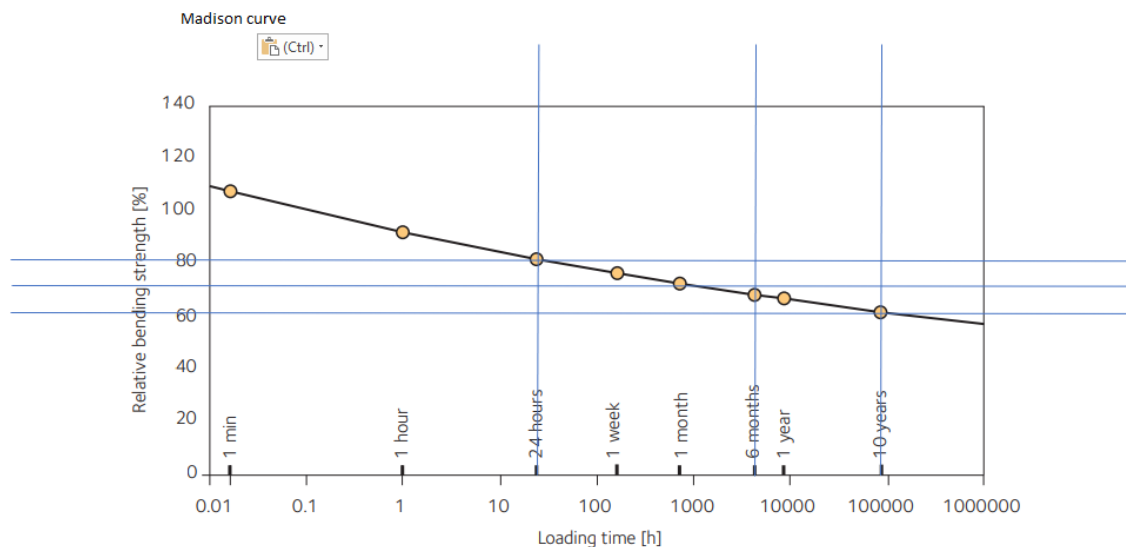
Visuaalisessa lajittelussa 1930- luvulta ollut soiro luokiteltiin konservatiivisesti C18 luokkaan, perustuen mm. Madisonin laboratoriokokeiden ennusteeseen puun lujuuden heikkenemisestä

ajan kuluessa. INSTA – standardin mukaan edellytykset olisi ollut myös korkeammalle luokalle aina C30 asti. Mutta tässä tapauksessa lähdettiin varovaisuusperiaatteella liikkeelle.

Purkupuun kohdalla kuorman vaikutusajan merkitys eli Duration of Load (DOL) on vaikeasti arvioitava ja lujuusluokkaa määriteltäessä huomioitava tekijä lajittelussa. DOL-ilmiö tarkoittaa, että puun kyky kestää kuormitusta heikkenee ajan myötä, mikäli kuorma on pitkäaikainen. Tämä perustuu puun rakenteelliseen ominaisuuteen, jossa jatkuva jännitys voi johtaa rakenteelliseen vaurioon.

Purkupuulla on tyypillisesti pitkä kuormitushistoria, koska se on ollut osa rakennetta useita vuosikymmeniä. Vaikka puu ei ulkoisesti vaikuttaisi vaurioituneelta, sen sisäinen lujuus voi olla alentunut jatkuvan kuormituksen seurauksena. Tämän vuoksi visuaalinen arvio ei yksin riitä, vaan tarvitaan tietoa myös alkuperäisestä käyttökohteesta, kuormitusolosuhteista ja aikajänteestä. Erityisesti kantavissa rakenteissa käytettyjen purkupuiden osalta DOL-vaikutuksen merkitystä olisi hyvä selvittää tarkemmilla lisätestauksilla. Visuaalisessa luokituksessa iän käyttäminen luokituskriteerinä ei ole käyttökelpoinen.

Testiaineiston perusteella puun ikä ei sellaisenaan ollut riittävä tai ratkaiseva tekijä etteikö puutavara soveltuisi uudelleenkäyttöön. Sen sijaan ratkaisevaa on puun käyttöhistoria ja nykytila. Vauriot, halkeamat ja piilevät lahot on tunnistettava ja poistettava esikarsinnan yhteydessä. Vasta tämän jälkeen voidaan edetä visuaaliseen lujuuslajitteluun ja mekaaniseen varmennukseen.



[*SW-DTS-UK-vol1-2022-final.pdf \(woodcampus.co.uk\)](#)

- ❑ Puutavara menettää osan lujuudestaan ajan myötä. **Lujuusarvot, joita käytetään pitkäaikaisen kuormituksen alaisena oleviin sahatavarakappaleisiin, ovat vain noin 60 % laboratorioissa mittatuista lyhytaikaisen kuormituksen arvoista.**
- ❑ Aikavaikutuskertoimen 0,6 (Madisonin käyrä) on tunnustettu ja sitä käytetään taivutuslujuudelle ja muille lujuusominaisuuksille, kaikille sahatavara-alaaduille ja puulajeille. Huom. Kosteuden vaikutus.

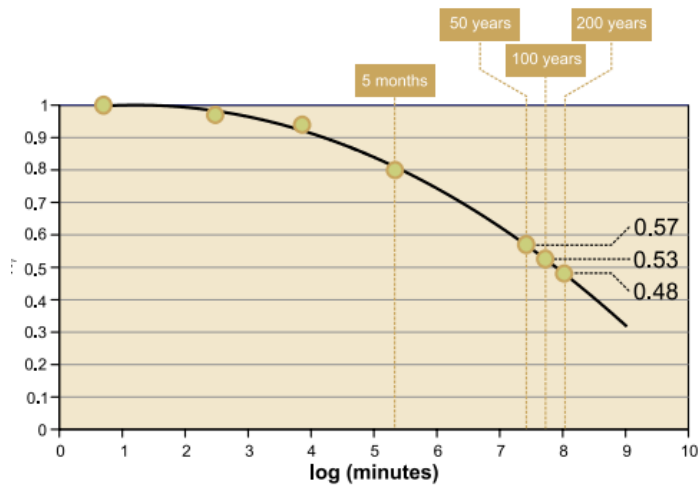


Figure D.1 Duration of Load and

12. Purkupuun taivutustestien tulokset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin visuaalisen lujuuslajittelun ja mekaanisen taivutustestin vastaavuutta purkupuutavarassa. Testaus toteutettiin Mikopolis-tutkimusyksikössä Shimadzu AGX-300kN-laitteistolla standardin EN 408 mukaisella nelipiste-taivutusmenetelmällä. Menetelmässä kuormitus kohdistuu ainoastaan kappaleen keskialueelle, mikä rajoittaa jossain määrin mitattavan rakenteellisen ominaisuuden alueellista kattavuutta. Tavoitteena oli arvioida, kuinka hyvin visuaalisesti määritetty lujuusluokka vastaa todellista mekaanista suorituskkyä. Kappaleiden lyhyt pituus 2,5–3 m antoivat kuitenkin varmuuden luotettavasta tuloksesta taivutustesteissä.



TEST REPORT

4 point bending
Determination of global modulus of elasticity in bending EN 408

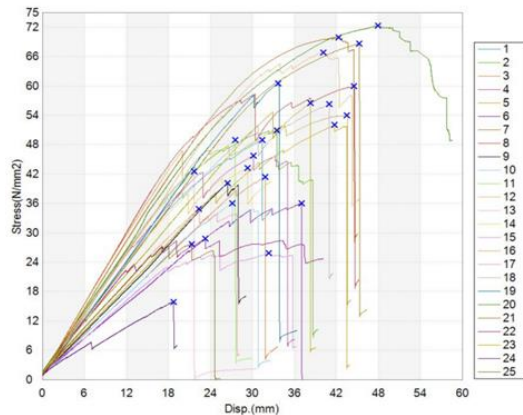
Customer: Metsäkeskus
Test pieces: 50x100, 50x125, 42 x120 purkupu
Factory of origin:
Date of manufacture:
Type of glue:
Test date: 25.6.2025
Operator: Tuomas Venäläinen

Test conditions: 22 °C, RH 51%
Loading speed: 7 mm/min
Test equipment: Shimadzu AGX-300kN

Certified by Shimadzu Corporation
Certificate number: 42F0D-0512C
Classification of testing machine (EN ISO 7500-1)
Range: Compression 0...300 kN Class: 1
Tension 0...300 kN Class: 1

Specimen	Height	Width	Support span	Loading member span	Force	Force	Force	Loading time	Em,g	f _m	Density	Moisture content	Visual grades
	mm	mm	mm	mm	F _{EL}	F _{EL}	F _{max}	s	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
1	126.8	49.3	1800	600	2.18	8.72	21.79	254	11.543	48.9	480.2	14.0	H
2	122.6	49.3	1800	600	2.10	8.39	20.97	286	13.369	50.9	501.4	13.5	C24
3	98.5	49.7	1800	600	1.11	4.43	11.07	274	9.737	41.3	400.6	11.5	C24
4	123.8	50.4	1800	600	1.97	7.86	19.66	254	12.664	45.8	477.4	13.6	C24
5	101.3	51.5	1800	600	1.53	6.11	15.26	350	10.565	52.0	451.0	12.4	C18
6	99.8	50.3	1800	600	1.00	4.01	10.01	309	8.580	36.0	428.3	12.5	C24
7	99.3	50.0	1800	600	1.88	7.52	18.81	392	13.622	68.7	452.6	12.4	C24
8	122.8	49.4	1800	600	2.48	9.91	24.78	385	15.078	59.9	473.9	12.1	H
9	100.7	51.4	1800	600	1.16	4.65	11.62	220	10.409	40.2	482.0	12.8	H
10	98.2	51.3	1800	600	0.99	3.96	9.90	224	9.836	36.0	420.9	11.2	H
11	126.1	49.8	1800	600	2.15	8.61	21.52	244	12.316	48.9	514.3	12.0	C24
12	100.7	45.4	1800	600	1.71	6.84	17.10	339	14.729	66.8	501.3	11.9	C24
13	123.8	50.0	1800	600	1.81	7.25	18.12	195	13.108	42.6	486.6	12.6	C24
14	126.3	50.2	1800	600	1.93	7.71	19.27	259	11.569	43.3	476.1	13.0	C24
15	99.6	50.6	1800	600	0.72	2.88	7.20	275	8.983	25.8	447.0	10.9	C18
16	119.4	41.2	1800	600	1.76	7.06	17.65	369	15.538	54.0	513.8	10.2	H
17	92.6	45.4	1800	600	0.75	3.01	7.53	201	11.839	34.9	524.6	11.2	C18
18	100.2	50.3	1800	600	1.58	6.31	15.77	353	14.062	56.3	470.1	10.3	C24
19	121.1	41.4	1800	600	2.04	8.16	20.41	295	12.163	60.5	426.8	9.6	C30
20	91.5	44.8	1800	600	1.50	6.02	15.04	415	16.880	72.3	512.4	11.5	H
21	121.5	49.7	1800	600	2.85	11.39	28.47	376	14.355	69.9	528.0	12.3	C30
22	125.0	50.6	1800	600	1.27	5.06	12.66	193	11.557	28.8	511.5	11.9	C18
23	97.6	49.6	1800	600	1.48	5.93	14.82	331	12.307	56.5	513.4	11.1	H
24	122.6	41.3	1800	600	0.55	2.19	5.47	153	5.549	15.9	366.5	10.0	H
25	96.6	48.9	1800	600	0.70	2.80	7.00	179	11.780	27.7	473.0	10.8	H

Average	12085.5	47.3	473.3	11.8
Std.	2.472.7	14.8	41.2	1.1
Std. [%]	20.5%	31.3%	8.7%	9.7%
Max	16.880.2	72.3	528.0	14.0
Min	5.549.1	15.9	366.5	9.6
9% Fractal	8.660.4			



Tuomas Venäläinen
Laboratorionsinööri

Aapo Nylén
TKI-yksikön johtaja

Kaikki mitatut Em,g-arvot ylittävät kyseisen visuaalisen lujuusluokan Ec,05-vaatimuksen EN 338 mukaisesti.

Aineistossa ei esiinny kimmomoduulin alituksia.

Purkupuun taivutustulokset – MOE vs MOR analyysi

Tässä osiossa tarkastellaan purkupuun taivutustesteissä saatuja tuloksia tarkemmin.

Erityisesti analysoidaan kimmomoduulin (MOE) ja murtolujuuden (MOR) välistä suhdetta, sekä verrataan tuloksia visuaaliseen lujuuslajitteluun INSTA 142 -standardin mukaisesti.

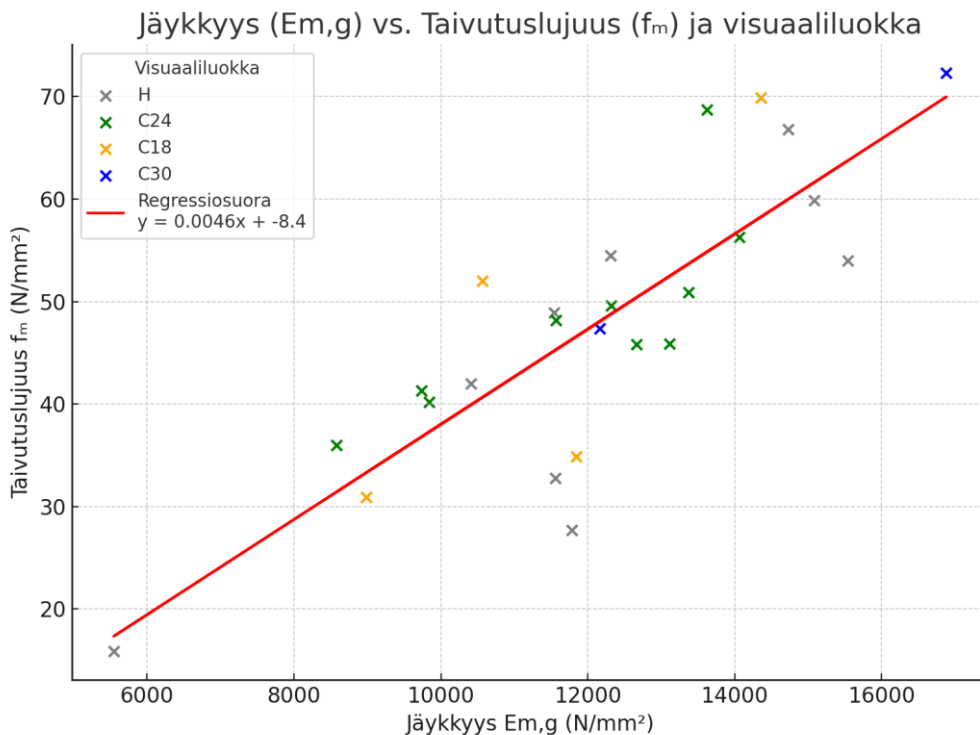
Lineaarinen regressio: Jäykkyys vs. Taivutuslujuus

Tässä analyysissä tarkastellaan purkupuun jäykkyyden (Em,g) ja taivutuslujuuden (f_m) välistä lineaarista yhteyttä 25 näytteen perusteella.

Regressiosuoran yhtälö: $f_m = 0.0046 \times E_{m,g} - 8.4$

Selitysaste (R²): 0.688

Tulkinta: Jäykkyyden kasvaessa taivutuslujuus kasvaa. Yhteys on vahva, mutta vaihtelua selittävät myös purkupuun osalta myös muut tekijät, joita tarkastellaan seuraavassa kappaleessa.



Kuvassa esitetään mittauspisteet ja niihin sovitettu lineaarinen regressiosuora. Värikoodaus osoittaa visuaalisen lujuusluokan (C18, C24, C30 tai Hylky).

Purkupuun jäykkyyden ja lujuuden vaihtelun syyt

Purkupuun mekaanisten ominaisuuksien, kuten jäykkyyden ja taivutuslujuuden, vaihtelu on merkittävä tekijä, joka vaikuttaa sen soveltuvuuteen uudelleenkäytössä, erityisesti kantavissa rakenteissa. Testiaineiston perusteella on havaittavissa, että eri-ikäisistä, eri kohteista ja erilaisista rakenneosista peräisin olevat puukappaleet käyttäytyvät mekaanisesti hyvin eri tavoin. Tämä johtuu useista rakenteellisista ja biologisista tekijöistä, jotka vaikuttavat puun sisäiseen rakenteeseen ja sen lujuusominaisuuksiin.

Yksi merkittävimmistä vaihtelun lähteistä on puun kuormitushistoria ja käyttöikä. Vanhoissa rakenteissa puu on voinut olla altistuneena pitkäaikaiselle kuormitukselle, mikä johtaa väsymisilmiöihin. Nämä tekijät eivät välttämättä näy visuaalisesti, mutta ne heikentävät puun lujuutta. Samalla toiset rakenteet, jotka ovat olleet kevyesti kuormitettuja tai hyvin suojattuja, voivat säilyä lähes uudenveroisina, vaikka ne olisivat vuosikymmeniä vanhoja.

Puun alkuperäinen tiheys ja laatu vaikuttavat myös ratkaisevasti sen mekaanisiin ominaisuuksiin. Tiheys määräytyy suurelta osin puulajin, kasvunopeuden ja kasvupaikan perusteella. Hitaasti kasvanut tiheäsyinen puu on yleisesti jäykempää ja vahvempaa kuin nopeasti kasvanut puu. Tämä luontainen vaihtelu on olennainen tekijä erityisesti sekalaista alkuperää olevassa purkumateriaalissa.

Rakenteiden sijainti vaikuttaa myös merkittävästi. Ulkoilman ja kosteuden rasituksille altistuneet rakenteet – kuten julkisivut, kattorakenteet tai perustukset – voivat sisältää lahovaurioita, homekasvustoa tai kyllästeaineiden aiheuttamia muutoksia. Sisä rakenteissa, kuten väliseinissä tai yläpohjissa, puu säilyy kuivempuna ja teknisesti yhtenäisempänä, mikä mahdollistaa paremman mekaanisen suorituskyvyn uudelleenkäytössä.

Purkutyövaihe itsessään aiheuttaa usein mekaanisia vaurioita. Erityisesti koneellinen purku suurilla koneilla ja purkukourilla aiheuttaa lohkeamia, halkeamia ja muita vaurioita, jotka vaikuttavat kappaleiden käyttökelpoisuuteen. Nämä viat eivät aina näy yksittäisissä taivutustesteissä tai voivat jäädä huomaamatta ilman huolellista visuaalista tarkastelua ja ennakkolajittelua.

Testitulosten perusteella purkupuun mekaanisten ominaisuuksien hajonta on huomattavaa: jäykkyydessä havaittiin $\pm 20,5$ % keskihajonta ja taivutuslujuudessa jopa $\pm 31,3$ %. Tämä on huomattavasti suurempaa kuin neitseellisellä sahatavaralla, jonka sisäinen vaihtelu on tyypillisesti selvästi alhaisempaa. Tämän vuoksi purkupuun hyödyntäminen kantavissa rakenteissa vaatii yksilöllistä kappalekohtaista arviointia, **erityisesti silloin kun sahatavara tulee useasta eri purkukohteesta, myös eräkohtaiset testit tai kenttäolosuhteisiin sopivat NDT – menetelmät tai testilaboratoriossa tehtävät taivutustestit olisivat arvokas lisä tuomaan luotettavuutta materiaalin jatkokäyttöön.**

13. Tulokset ja vertailu visuaalinen vs. taivutustesti

Alla olevassa taulukossa esitetään 25 testikappaleen tulokset: taivutusmoduuli (E_m , g), taivutuslujuus (fm), tiheys, kosteusprosentti, visuaalinen luokitus sekä taivutustulokseen perustuva mekaaninen luokitus. Lisäksi taulukossa on merkitty, vastaako visuaalinen luokitus testissä saavutettua lujuutta. EN 338 -standardi määrittelee eri lujuusluokkien tiheyden, taivutuslujuuden (MOR) ja kimmomoduulin (MOE), ja siihen viitataan testitulosten tarkastelussa.

Kappale nro	E_m g (N/mm ²)	fm (N/mm ²)	Visual Grade	Strength Class (test)	Match (Visual vs Test)
1	11543	48,9	Hylky	C27	aliluokiteltu
2	13369	50,9	C24	C35	aliluokiteltu
3	9737	41,3	C24	C20	Yliluokiteltu
4	12664	45,8	C24	C30	aliluokiteltu
5	10565	52	C18	C22	aliluokiteltu
6	8580	36	C24	C16	yliluokiteltu
7	13262	68,7	C24	C35	aliluokiteltu
8	15078	59,9	Hylky	C45	aliluokiteltu
9	10409	40,2	Hylky	C22	aliluokiteltu
10	9836	36	Hylky	C20	aliluokiteltu
11	12316	48,9	C24	C30	aliluokiteltu
12	14729	66,8	C18	C40	aliluokiteltu
13	13108	42,6	C24	C35	aliluokiteltu
14	11569	49,3	C24	C27	aliluokiteltu
15	8983	25,8	C18	C16	yliluokiteltu

16	15538	54	Hylky	C45	aliluokiteltu
17	11839	34,9	C18	C27	aliluokiteltu
18	14062	56,3	C24	C40	aliluokiteltu
19	12163	60,5	C24	C30	aliluokiteltu
20	16880	72,3	Hylky	C50	aliluokiteltu
21	14355	69,9	C30	C40	aliluokiteltu
22	11557	28,8	C18	C27	aliluokiteltu
23	12307	56,5	Hylky	C30	aliluokiteltu
24	5549	15,9	Hylky	Hylky	sama luokka
25	11780	27,7	Hylky	C27	aliluokiteltu

SFS

EN 338:2009 (E)

Table 1 — Strength classes - Characteristic values

		Softwood species												Hardwood species											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70				
Strength properties (in N/mm ²)																									
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70				
Tension parallel	$f_{t0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42				
Tension perpendicular	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6					
Compression parallel	$f_{c0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34				
Compression perpendicular	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5				
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0				
Stiffness properties (in kN/mm ²)																									
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20				
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8				
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33				
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25				
Density (in kg/m ³)																									
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900				
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080				
NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.																									
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.																									
NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																									
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.																									

Vain Metsäkeskus Lounais-Suomi:n käyttöön, enintään kolmelle työasemalle. Ei verkkokäyttöön.

7

Taivutuslujuuden (f_m) keskiarvo 47,3 N/mm² viittaa jopa luokkaan C45.

Kimmomoduuli ($E_{c,05}$ = 8660 N/mm²) ylittää C24-luokan vaatimustason (7400 N/mm²).

Tiheys (keskiarvo 473 kg/m³) ylittää selvästi kaikkien C-luokkien vaatimukset.

Johtopäätös: aineiston perusteella kimmomoduuli ei rajoita C24-luokkaa. Lopullinen lujuusluokka määräytyy taivutuslujuuden ja tilastollisen tarkastelun perusteella.

Tärkein luokittelukriteeri on kuitenkin taivutuslujuus (fm), koska se kertoo puun kantavuudesta. Jäykkyyttä kuvaava MOE ei yksin riitä arvioimaan rakenteellista käyttöä. Siksi tässä raportissa vertailu perustuu taivutuslujuuteen, vaikka MOE:n ja fm:n välinen korrelaatio auttaa ymmärtämään niiden yhteyttä, erityisesti purkupuun vaihtelevassa laadussa.

Tuloksista havaittiin, että visuaalinen lujuusluokitus poikkesi usein taivutustestin perusteella saadusta mekaanisesta luokasta. Useissa tapauksissa visuaalinen arvio aliluokitteli kappaleen lujuuden, erityisesti tapauksissa, joissa kappale arvioitiin luokkaan hylky, mutta taivutuslujuus olisi oikeuttanut korkeampaan luokkaan. Tämä viittaa siihen, että visuaalinen lajittelu on liikaa varman päällä ja voi johtaa potentiaalisen uudelleenkäytön aliarviointiin.

Esimerkiksi seuraavat kappaleet, jotka luokiteltiin visuaalisesti luokkaan H (hylky), saavuttivat taivutustestissä C30-luokan tai yli:

- Testikappale 1 (fm: 48.9 N/mm²)
- Testikappale 8 (fm: 59.9 N/mm²)
- Testikappale 9 (fm: 40.2 N/mm²)
- Testikappale 10 (fm: 36.0 N/mm²)
- Testikappale 16 (fm: 54.0 N/mm²)
- Testikappale 23 (fm: 56.5 N/mm²)

Näiden kappaleiden osalta visuaalinen arvio ei vastannut todellista mekaanista lujuutta.

14. Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin

Testikappale 1. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn kuoren ja hyönteisvaurioiden takia.



Ja taivutustestissä tämä kappale sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
11 543	48,9	480,2	14,0	H

EN – 338 standardin mukaisesti jäykkyys (MOE) C30 luokassa oltava 12000N/mm², josta kappale jäi hiukan sekä taivutuslujuus standardin mukaan 30N/mm² ylittyi reilusti. Kappaleen murtuminen on lähtenyt vetopuolen hyönteis-/kuori, sekä taivutuskohdan vetopuolen suurimmasta oksasta.



Testikappale 8. oli luokiteltu hylkyyn visuaalisesti purkuvaurion takia. Vaurio arvioitiin visuaalisessa lajittelussa yli 15 % poikkileikkauksesta. Kappaleen syrjällä myös syvä halkeama.



Ja taivutustestissä tämä kappale sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1}, F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338

15 078	59,9	473,9	12,1	H
--------	------	-------	------	---

Ylittään sekä jäykkyydelle että taivutuksen C30 luokassa määritellyt rajat. Suorasyisen kappaleen murtuminen on edennyt kappaleen lappeella näkyvän pitkän halkeaman vierestä vuosilustoa seuraten. Mahdollinen pieni rengashalkeama kappaleen päässä.



Testikappale 9. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn särmän ylittävän halkeaman takia



Ja taivutustestissä tämä kappale sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1}, F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338

10 409	40,2	482,0	12,8	H
--------	------	-------	------	---



Taivutuspuolelle laitettu särmän ylittävstä halkeamasta lähtenyt murtuma ylitti taivutuslujuuden C30 – arvon mutta jäi jäykkyudessa alle C24 arvon.

Testikappale 10. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn mekaanisen vaurion sekä naulanreikien takia.



Ja taivutustestissä tämä kappale sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
10 409	40,2	482,0	12,8	H



Nro 10 kappaleen murtuma on lähtenyt lapeoksan ja syrjäöksen vierestä, jossa on lisäksi naula. Kappaleen jäykkyyden arvo jäi alle C24 luokan, mutta taivutuslujuus ylitti C30 luokan.

Testikappale 16. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn lahon takia. Kappale oli irrotettu Sastamalan rivitalokohteen kattoristikosta onnistuneesti suhteellisen ehjänä. Naulalevyn poistaminen rikkoo kappaletta aina.



Ja taivutustestissä tämä kappale sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
15 538	54,0	513,8	10,2	H



Nro 16 kappaleen murtuma on lähtenyt vetopuolen suurehkon särmäoksen suurimmasta syysuunnan poikkeamasta. Kappale sai todella hyvät lukat ylittäen reilusti sekä jäykkyyden että taivutuksen standardin arvot reilusti. Kappale oli myös tiheä 513,8 kg/m³, joka selittää myös hyviä lujuusarvoja.

Muita huomioita testierän kappaleista

Vain yksi kappale sai mekaaniseksi luokaksi taivutuksessa 'Hylky' (Specimen 24, fm: 15.9 N/mm. Merkille pantavaa on, että kappaleen tiheys oli selkeästi alhaisin kaikista testierän 25 purkupuuhäaratavaraa, 366 kg/m³. Keskiarvo kaikilla testiryhmän 1. sahatavaraalla oli 473,3 kg/m³. Lisäksi kattoristikön alapaarten naulalevyn poisto oli aiheuttanut mekaanista vauriota ja halkeamaa, josta murtuma eteni vetopuolen rasituksessa.

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} \cdot F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
5 549	15,9	366,5	10,0	H



Testiryhmän vanhin sahatavara oli 90 vuotta.

Nykyiset sahatavaran lujuuslajittelustandardit, kuten INSTA 142 ja EN 14081, eivät huomioi ikää erillisenä luokittelutekijänä. Eli lujuuslajittelulla puulla ei käytännössä ole parasta ennen päivämäärää. Tämä todistettiin myös testierän vanhimman purkupuun taivutustestissä. Visuaalisessa lajittelussa varovainen arvio oli C18/C24. Ominaisuuksien perustella ilman ikävähennystä INSTA – luokaksi olisi voitu antaa C30. Taivutustesti myös vahvisti tämän oikeaksi. Suorasyinen, tiheä, pienioksainen kappale todistaa testin perusteella, että ikä ei ole lujuutta alentava ensisijainen tekijä.

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1}, F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
14 729	66,8	501,3	11,9	C24



15. Taivutuskoneen mittauksen ja visuaalisen lajittelun eroavaisuudet

Tutkimuksessa käytetty taivutustesti toteutettiin Shimadzu AGX-300kN-laitteistolla nelipiste-taivutusmenetelmällä (EN 408). Tässä menetelmässä kuormitus kohdistuu vain koekappaleen keskialueelle, mikä tarkoittaa, että rakenteelliset ominaisuudet mitataan rajoitetulta osalta kappaletta.

Sen sijaan visuaalinen lujuuslajittelu INSTA- 142-standardin mukaisesti arvioi kappaleen koko pituuden. Arvioinnin kohteena ovat esimerkiksi oksaisuus, halkeamat, vinous ja muut visuaaliset poikkeamat, jotka voivat sijaita missä tahansa kappaleen osassa.

Tällä menetelmällisellä erolla on olennainen merkitys tuloksiin:

- Shimadzu-laitteella mitattu MOE ja MOR kuvaavat paikallista suorituskykyä kuormitetulta alueelta.
- Visuaalinen lajittelu voi arvioida kappaleen lujuusluokan alle mekaanisen testin, vaikka kuormitettavalla alueella ei ole näkyviä virheitä.

Kokonaisuutena visuaalinen tarkastelu toimii tehokkaana ja kustannustehokkaana esikarsintamenetelmänä, mutta kantaviin rakenteisiin käytettävien kappaleiden osalta tarvitaan lisätutkimuksia, kuten EN 408 -standardin mukaisia mekaanisia testejä.

16. Visuaalisen ja mekaanisen lujuusluokituksen vertailu

Taivutustesteissä (EN 408) määritettiin kunkin kappaleen taivutuslujuus (fm), jonka perusteella voitiin määritellä todellinen EN – 338 mukainen lujuusluokka (C30, C24, C18, Hylky). Tätä verrattiin visuaaliseen luokitukseen (INSTA 142). Tuloksista havaittiin, että suurin osa visuaalisista luokituksista oli aliluokiteltuja verrattuna testituloksiin. Tämä osoittaa visuaalisen luokituksen konservatiivisuuden purkupuutavarassa, erityisesti silloin kun oksaisuus, naulanreiät, halkeamat tai pienet mekaaniset vauriot eivät merkittävästi vaikuttaneet kappaleen mekaaniseen suorituskyykyyn.

Arviointimenetelmien erot

Visuaalinen lujuuslajittelu

Visuaalisen luokittelun etuna on, että koko kappale arvioidaan koko pituudelta, päästä päähän. Tämä on merkittävä etu purkupuun kohdalla, jossa vauriot voivat olla paikallisia ja jakautuneet epätasaisesti. Esimerkiksi mekaaniset vauriot tai halkeamat voivat olla sijoittuneet päihin tai yksittäisiin kohtiin, jotka jäävät MOR-testin ulkopuolelle.

Lajittelija tarkastelee visuaalisia virheitä, kuten:

- oksaisuutta ja oksien sijaintia
- halkeamia ja murtumia
- vino- ja kierosyyisyyttä
- vajaasärmäisyyttä
- lahoa ja muita biologisia vaurioita
- mekaanisia vaurioita (esim. purkutyöstä aiheutuneita)

Menetelmä perustuu standardinmukaisiin raja-arvoihin, ja sen etuna on mm. helppo, yksinkertainen ja paikasta riippumaton lajittelu sekä alhaiset kustannukset. Nämä ovat purkupaikalla tai välivarastoinnin aikana helppo järjestää. Merkittävä haittapuoli on kuitenkin arvioinnin subjektiivisuus sekä se, että menetelmä ei huomioi riittävästi kaikkia lujuuteen myönteisesti vaikuttavia ominaisuuksia – erityisesti tiheyttä. Testikappaleiden osalta havaittiin, että tiheys oli keskimäärin korkea, ja sillä oli selvästi suurin vaikutus kappaleiden lujuuteen yksittäisistä ominaisuuksista.

Nelitaivutustesti (MOR)

Neljän pisteen taivutustestissä kappale asetetaan kahden tuen päälle ja siihen kohdistetaan kuormitus kahden pisteen kautta. Näin kuormitus keskittyy tasaisesti kappaleen keskialueelle, jolloin sen taivutuslujuus (MOR) ja jäykkyys (MOE) voidaan mitata objektiivisesti.

Testi antaa tarkkaa ja kvantitatiivista tietoa kappaleen todellisesta suorituskyyvystä, mutta se kuvaa vain osaa puun pituudesta – käytännössä keskialuetta. Tämä voi jättää kappaleiden päissä ja reunavyöhykkeillä esiintyvät vauriot tai heikot kohdat havaitsematta.

Tiheyden vaikutus ja arviointivaikeudet

Tiheys on tärkein yksittäinen puun lujuuteen vaikuttava ominaisuus. Visuaalisessa lajittelussa sitä ei voida luotettavasti arvioida ilman teknisiä apuvälineitä (esim. NIR- tai röntgenmittauksia). Tämä on kriittinen puute erityisesti purkupuun kohdalla, jossa puun alkuperä, kasvuolosuhteet ja mahdollinen biologinen vaurioituminen vaihtelevat suuresti.

Vaurioiden vaikutus mittauksiin

MOR-testissä vauriot kappaleen ulkopuolella taivutusvyöhykkeestä jäävät huomiotta. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa kappale saa hyvät mekaaniset arvot, mutta sisältää silti käyttökelvottomaksi luokiteltavia vaurioita muualla pituudellaan. Visuaalisessa lajittelussa tällaiset vauriot voidaan havaita ja ottaa huomioon.

17. Yhteiskäytön merkitys

Koska molemmissa menetelmissä on puutteita, niiden yhdistäminen antaa luotettavimman arvion. Esikarsinta visuaalisella luokituksella, jonka jälkeen valikoitujen kappaleiden mekaaninen testaus lajittelun oikeuden varmistamisessa. Yksinkertaisempi ja edullisempi keino on yhdistää esilajitteluun visuaalinen lujuuden arviointi sekä kappaletta rikkomaton standardoitujen käsikäyttöisten NDT – laitteiden hyödyntäminen.



Timber Grader MTG, kuvattuna Ligna messuilla 2023. Kuva Jouni Silvast. Laitteisto on hyväksytty käytettäväksi EN 14081 standardin mukaisena koneellisena lujuusluokituslaitteena (machine grading) joissakin versioissa ja on listattu EN 14081-4 yhteydessä.

Purkupuun luotettava hyödyntäminen vaatii menetelmiä, jotka antavat varmuutta materiaalin ominaisuuksista ilman, että kappaleita täytyy rikkoa. Yksi tällainen apuväline voisi olla **Timber Grader MTG**, kannettava käsikäyttöinen mittalaite, joka perustuu puun värähtelyjen

mittaamiseen. Sen avulla voidaan arvioida kappaleen jäykkyyttä eli dynaamista kimmomoduulia (MOE), joka on kantavissa rakenteissa ratkaiseva ominaisuus.

MTG ei anna suoraan tietoa taivutuslujuudesta (MOR), mutta MOE ja MOR kulkevat usein käsi kädessä. Kun tiedetään, että esimerkiksi C24-luokan sahatavara edellyttää keskimäärin 11 000 N/mm² jäykkyyttä, voidaan MTG:n mittauksista päätellä, missä määrin purkupuuerä vastaa tätä tasoa. Näin mittaus ei ole absoluuttinen totuus lujuudesta, mutta se antaa vahvan indikaation siitä, onko materiaali käyttökelpoista.

Käytännössä laitetta voidaan hyödyntää erityisesti niissä kohdissa, joissa visuaalinen arvio jättää epävarmuutta. Otokseen valitut kappaleet mitataan, ja saadut arvot suhteutetaan lujuusluokkiin kuten C18, C24 ja C30. Tulosten avulla voidaan vahvistaa, että visuaalisesti hyväksytty kappale myös todella täyttää jäykkyyksvaatimukset. Tämä lisää luottamusta purkupuun käyttöön ja auttaa samalla vähentämään turhia hylkäyksiä, joita konservatiivinen visuaalinen lajittelu helposti tuottaa.

MTG:n merkitys purkupuun varmennusprosessissa onkin ennen kaikkea sen tuomassa **objektiivisuudessa**. Se tekee näkyväksi sen, mikä silmälle jää arvoitukseksi, ja tuo uudenlaista varmuutta lajittelijan päätösten tueksi. Kun tulokset vielä dokumentoidaan osaksi materiaalipassia tai hyväksyntäprosessia, ne muodostavat tärkeän sillan visuaalisen ja mekaanisen testauksen väliin.

MTG:n vahvuudet ja rajoitteet purkupuun kontekstissa

Ominaisuus	Vahvuudet	Rajoitteet / huomioitavaa
Mittausmenetelmä	Ei-tuhoava (NDT), mittaus perustuu kappaleen värähtelyihin → säilyttää materiaalin käyttökelpoisena.	Mittaus ei anna suoraa tietoa taivutuslujuudesta (MOR), vaan ainoastaan jäykkyyden (MOE).
Luotettavuus	MOE ja MOR korreloivat → mittaus antaa vahvan indikaation kantavuudesta.	Poikkeukselliset viat (halkeamat, painaumat, hyönteisvauriot) voivat heikentää lujuutta ilman, että jäykkyys muuttuu merkittävästi.
Käyttötarkoitus	Soveltuu otantamittauksiin → vahvistaa visuaalista arviointia ja lisää luottamusta lajittelupäätöksiin.	Ei korvaa virallista standardin mukaista mekaanista testausta, jos vaaditaan sertifioituja tuloksia.
Kenttäkäyttö	Kannettava, akulla toimiva, helppo siirtää työmaille ja varastoihin.	Vaatii tasaisen kontaktin ja tukevan alustan → mittausolosuhteet voivat vaikuttaa tulokseen.
Hyöty purkupuun lajittelussa	Vähentää turhia hylkäyksiä, joita varovainen visuaalinen arviointi voi aiheuttaa.	Ei tunnista visuaalisia virheitä → silmämääräinen tarkastus säilyy välttämättömänä rinnalla.
Dokumentointi	Tulokset voidaan tallentaa ja liittää materiaalipassiin → lisää jäljitettävyyttä.	Virallinen hyväksyntä osana standardoituja materiaalipasseja on vielä kehitysvaiheessa.
Käyttökelpoisuus	Sopii tutkimukseen, pilotointeihin ja yritysten omaan laadunvarmennukseen.	Vaatii osaamista tulosten tulkinnassa ja vertailuarvojen tuntemista (esim. C24 ≈ 11 000 N/mm ² MOE).

18. Johtopäätökset visuaalinen vs. taivutustestaus

- Visuaalinen lajittelu kattaa koko kappaleen, mutta ei kykene arvioimaan tiheyttä tai sisäisiä vikoja.
- Taivutustesti tarjoaa objektiivista tietoa keskialueen suorituskyvystä, mutta voi ohittaa kriittisiä pituussuuntaisia vaurioita.
- Kumpikaan menetelmä ei yksinään riitä varmistamaan purkupuun turvallista ja tehokasta uudelleenkäyttöä.
- Menetelmien yhdistäminen ja teknisten apuvälineiden hyödyntäminen (esim. NDT/NIR) lisää luotettavuutta.

Vioista ja visuaalisen luokituksen konservatiivisuudesta

Tietyt viat, kuten vajasärmäisyys, pienet hyönteisvauriot ja lievä kuoren esiintyminen sekä muotoviat ovat esimerkkejä virheistä, joihin visuaalinen lujuuslajittelu reagoi konservatiivisesti. Vaikka näillä vioilla ei välttämättä ole merkittävää vaikutusta kappaleen mekaanisiin lujuusominaisuuksiin, ne voivat johtaa hylkäykseen visuaalisessa arvioinnissa.

Visuaalinen lajittelu pyrkii varman päälle arviointiin. Tämä yllälajittelu johtaa usein siihen, että osa käyttökelpoisesta materiaalista jää hyödyntämättä.

Toisaalta on muistettava, että visuaalinen lajittelu voi havaita sellaisia vikoja, joita nelipistetaivutustesti ei tunnista. Esimerkiksi päätyhalkeamat sekä lahovauriot ja halkeamat, jotka ulottuvat särmän yli, voivat merkittävästi heikentää puun rakenteellista kestävyyttä. Koska nelitaivutustesti kohdistaa kuormituksen vain keskelle kappaletta, tällaiset reunavyöhykkeiden viat voivat jäädä täysin huomaamatta mekaanisessa testauksessa.

Naulan- ja muiden kiinnikkeiden reikien merkitys purkupuun lujuudelle

Purkupuun laboratoriotesteissä esiin nousi yllättävä havainto: naulanreikien olemassaololla ei ollut merkittävää vaikutusta sahatavaran mekaanisiin ominaisuuksiin, erityisesti taivutuslujuuteen.

Perinteisesti on oletettu, että naulanreiät voivat heikentää poikkileikkauksen eheyttä ja siten alentaa lujuusominaisuuksia. Kuitenkin suoritettut EN 408 -standardin mukaiset taivutuskokeet osoittivat, että yksittäiset tai pienet naularyhmät eivät aiheuta merkittävää lujuuden alenemaa. Tämä viittaa siihen, että purkupuun uudelleenkäytettävyyttä voidaan tämän osalta arvioida aiempaa sallivammin niin, että turhia hylkyjä voitaisiin välttää.

Testi 1. Laboratoriotestien perusteella voidaan esittää, että naula- tai ruuvikiinnityksen reiät eivät yksinään oikeuta kappaleen hylkäämistä, vaan niiden merkitys tulee arvioida kokonaisuutena muiden vaurioiden ja sijainnin perusteella. Näin voidaan edistää purkupuun resurssitehokasta hyödyntämistä rakenteellisissa sovelluksissa.

19. Testierä 2 – Aineisto ja lähtötiedot – Turku

Tietojen luovuttajana ja yhteyshenkilönä sekä tilaajan edustajana:

Turun kaupunki Nea Metsänranta Erityisasiantuntija, Kiertotalous & vihreä siirtymä, Turun Tiedepuiston kärkihanke, Elinvoiman palvelukokonaisuus nea.metsanranta@turku.fi +358 (0) 44 9073 598.

Kohteesta tehdyn raportin laatijana:

Spolia Design Oy on purettujen rakennusosien ja materiaalien uudelleenkäyttöön erikoistunut yritys. Spolia® hallitsee ja tarjoaa kiertotalouden konkretian purkutyömaalta asennukseen. Toimitamme uudelleenkäytetyt tuotteet kuin ne olisivat uusia ja annamme niille tuotetakuun. Raportin yhteyshenkilö: Mikko Piitulainen mikko@spolia.fi 050 545 9398

Yhteenveto raportista

Ilmarisenkatu 4-6 Turku: Rakennusosien uudelleenkäytön mahdollisuudet ja vaikutukset

Turun kaupungin tilaama uudelleenkäyttöanalyysi Spolia Oy:ä Ilmarisenkatu 4-6-kiinteistölle osoittaa, että rakennusosien uudelleenkäyttö ei ole ainoastaan teknisesti mahdollista, vaan se voi tuottaa myös merkittäviä ympäristö- ja taloudellisia hyötyjä. Kohteen rakennukset – 1950-luvun tehdas-, varasto- ja toimistorakennukset – purettiin vuoden 2024 aikana, ja purkuhankkeella pyritään edistämään kaupungin siirtymää kiertotalouteen kokeiluluonteisesti. Uudelleenkäyttöä tarkasteltiin erityisesti kantavien puurakenteiden ja betonisten kattotiilien osalta.

Ilmarisenkadun kiinteistössä todettiin olevan kaksi merkittävää rakennusosaa, joiden uudelleenkäyttö on teknisesti realistista: **sahatavarasta valmistetut kantavat puurakenteet sekä betonikattotiilet**. Puurakenteet – pilareita, välipohjapalkkeja ja ristikoita – arvioitiin hyväkuntoisiksi ja helposti purettaviksi erityisesti silloin, kun ne oli liitetty toisiinsa pulttien, ei naulojen avulla.

Ristikkorakenteen liitosdetalji



Ristikkorakenteen liitosdetalji (Spolia Design Oy ja Turun kaupunki)



Kantava puuristikko (Spolia Design Oy ja Turun kaupunki)

Analyysissa käsiteltiin myös rakennusosien teknistä kelpoisuutta. Puurakenteista otetuissa materiaalinäytteissä ilmeni mikrobikasvustoa, joka ei kuitenkaan viitannut kosteuden aiheuttamiin vaurioihin. Ennen uudelleenkäyttöä nämä rakenteet on puhdistettava homesuolalla

Spolia Oy:n tekemä kustannus-hyötyanalyysi osoitti selvästi, että sahatavaran uudelleenkäyttö on taloudellisesti kannattavaa – erityisesti kuluttajamarkkinahintojen näkökulmasta. Sahatavaran uudelleenkäytön kustannushyöty laskettiin noin 3 060 euroksi ja samalla saavutetaan 564 kg CO₂e hiilisäästö.

Uudelleenkäytön toteutus edellyttää suunnitelmallisuutta ja toimivaa prosessia. Spolian mallissa prosessi etenee seitsemässä vaiheessa – **inventointi, irrotus, testaus, kunnostus, varastointi, asennus ja huolto – ja vaatii yhtenäistä dokumentointia**. Markkinoinnin ja myynnin osalta raportti korostaa kaupallisen B2B-toimijan merkitystä, sillä **nykyiset markkinapaikat eivät sovellu ammattimaiseen uudelleenkäytettävien tuotteiden liiketoimintaan**. Tuotteet tulisi markkinoida hyvissä ajoin ennen purkua, mieluiten siten, että ne voidaan myydä suoraan käyttöpaikkaan ilman pitkäaikaista varastointia.

Tulevia purkuhankkeita varten esitettiin kolme vaihtoehtoista toimintamallia. Ensimmäisessä tilaaja käyttää rakennusosia itse ja säilyttää omistajuuden. Toisessa uudelleenkäyttötoimija ottaa vastuun irrotuksesta, käsittelystä ja myynnistä. Kolmannessa tuotteet myydään sellaisinaan huutokauppaamisilla alustoilla, mutta tämä ei sovellu systemaattiseen rakentamiseen, sillä tuotteiden laatu ja vastuut jäävät epäselviksi.

Yhteenvetona voidaan todeta, että uudelleenkäyttöä Ilmarisenkadun kohteessa kannattaa edistää erityisesti puurakenteiden osalta. Taloudelliset ja ekologiset perusteet puoltavat ehjänä purkamista, kunhan prosessi suunnitellaan huolellisesti. Betonitiilien kohdalla on

syytä harkita tapauskohtaisesti, onko käyttö perusteltua pelkästään hiilisäästön perusteella. Koko hanke tarjosi Turun kaupungille arvokasta oppia tulevia purkuprosesseja varten ja tukee siirtymää kohti resurssiviisaampaa rakennettua ympäristöä.

Visuaalisen ja taivutustestin lajittelun tulokset

Purkukohde: Turku. Lajiteltu 21.6.2025

Kuusi								
	C30	C24	C18	Hylky	Pituus(cm)	Dimensio(mm)	Kosteus %	Ominaisuuden raja-arvo
1 Turku				X		63*180	17,3	päätyhalkeama
2 Turku				X		63*180	21,4	vajaasärmä
3 Turku			X	X		63*180	18,6	Poikaoksa
4 Turku	X					63*180	20,9	
5 Turku		X				63*180	16,5	naulareiät
6 Turku			X			63*180	19,0	Syrjäoksa, Kuori
7 Turku		X				63*180	18,7	Mek.vaurio. Naulareiät
8 Turku				X		63*180	18,0	Poikaoksa, Hyönteisvaurio, Kuori
9 Turku		X				63*180	18,7	Mek. vaurio, lievä
10 Turku			X			63*180	15,9	Halkeama, syrjäoksa
11 Turku		X				63*180	18,8	SO, LO, mekaaninen vaurio
12 Turku				X		63*180	24+	Laho
13 Turku				X		63*180	17,1	Hyönteisv. Vajaasärmä
14 Turku				X		63*180	18,6	Kuorta, Hyönteisv, so, vajaas.
15 Turku			X			63*180	18,0	vinosyisyys, halkeama



TEST REPORT

4 point bending

Determination of global modulus of elasticity in bending EN 408

Customer:	Metsäkeskus
Test pieces:	63 x 180 purkupuu

Test conditions: 22 °C, RH 46%

Loading speed: 12 mm/min

Test equipment: Shimadzu AGX-300kN

Factory of origin:
Date of manufacture:
Type of glue:

Certificated by Shimadzu Corporation
Certificate number: 4ZF0D-0512C

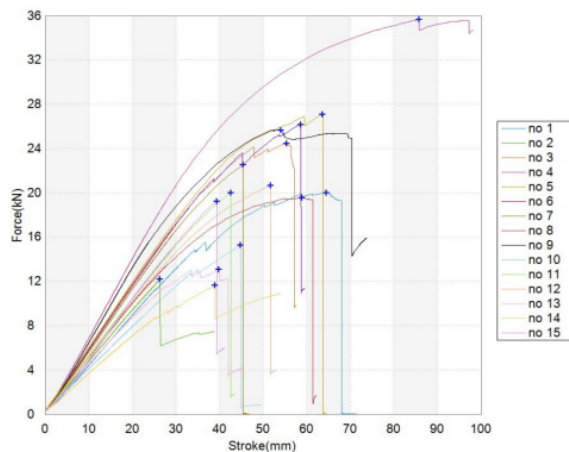
Classification of testing machine (EN ISO 7500-1)

Range:	Compression 0...300 kN	Class: 1
Range:	Tension 0...300 kN	Class: 1

Test date: 15.8.2025
Operator: Tuomas Venäläinen

[illegible]

Average	9870.4	32.6	480.5	17.5
Std.	1 838.5	9.9	56.1	0.8
Std. [%]	18.6%	30.4%	11.7%	4.8%
Max	13 598.1	55.8	610.1	19.2
Min	6 940.2	19.1	402.5	16.3
5% Fractal	7 591.6			



Tuomas Venäläinen
Laboratorioinsinööri

Aapo Nylén
TKI-yksikön johtaja

**Kaikki Em,g-arvot ylittävät visuaalisen luokittelun mukaisen Ec,05-vaatimuksen.
Kimmomoduuli ei rajoita lujuusluokkaa tässä aineistossa.**

Analyysiraportti: Nelipistetaivutustestit Turun purkupuulle

Johdanto

Tässä analyysiraportissa esitetään 15 purkupuukappaleen nelipistetaivutustestin tulokset standardin EN 408 mukaisesti. Testit suoritettiin Xamkin Mikropoliksen laboratoriossa 15.8.2025 käyttäen Shimadzu AGX-300kN-testilaitetta. Tavoitteena oli arvioida materiaalin taivutuslujuus (fm), jäykkyys (Em,g), tiheys ja kosteusprosentti sekä vertailla tuloksia visuaaliseen lujuusluokitteluun.

Testin kuvaus

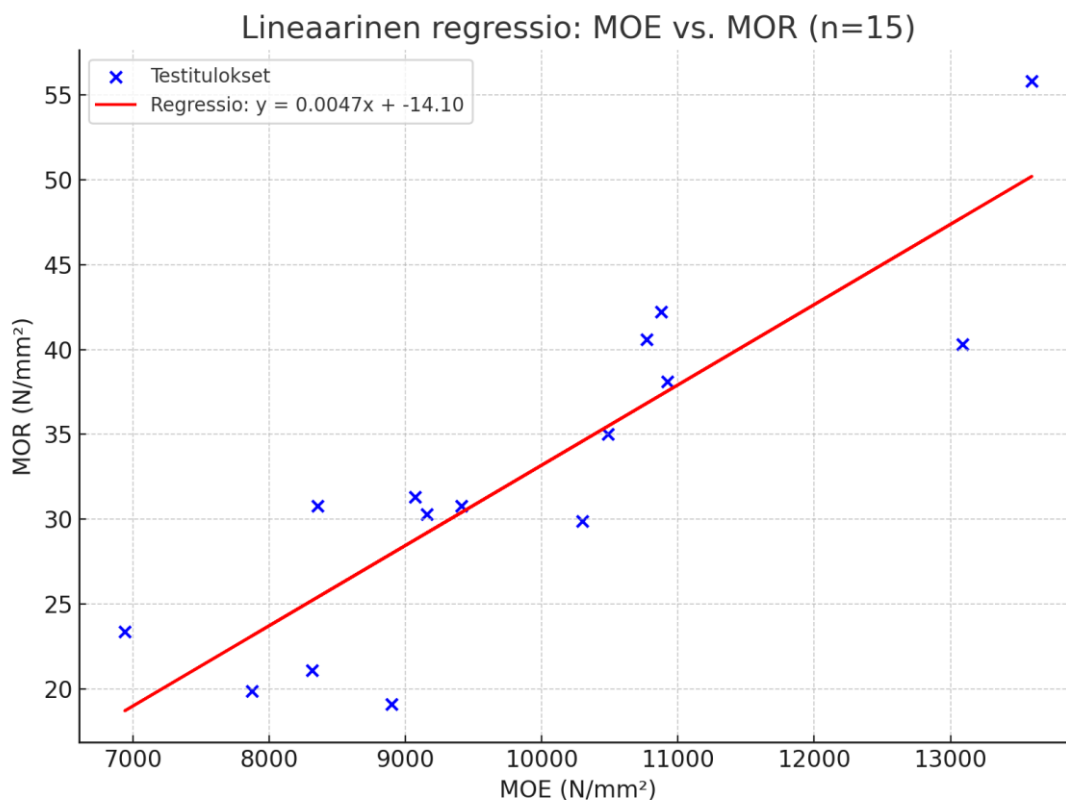
Nelipistetaivutustestissä kappale asetettiin 3240 mm tuentavälille, ja kuormitus annettiin 1080 mm kuormitusvälillä. Kuormitus kohdistettiin tasaisesti kahdessa pisteessä keskiosaan. Testausnopeus oli 12 mm/min, ja testiympäristön lämpötila oli 22 °C, suhteellinen kosteus 46 %. Näytteet olivat mitoiltaan noin 63 x 180 mm.

Tulokset ja analyysi

Testissä mitattiin seuraavat arvot: taivutuslujuus (f_m), kimmomoduuli ($E_{m,g}$), tiheys ja kosteusprosentti. Tulokset osoittivat suurta vaihtelua kappaleiden välillä, mikä on tyypillistä purkupuulle.

Keskeisiä havaintoja:

- Keskimääräinen $E_{m,g}$ oli 9870,4 N/mm², ja f_m keskiarvo oli 32,6 N/mm²
- Keskimääräinen tiheys oli 480,5 kg/m³ ja kosteusprosentti 17,5 %
- Suurin mitattu taivutuslujuus oli 55,8 N/mm² ja pienin 19,1 N/mm²
- $E_{m,g}$ vaihteli 6 940 – 13 598 N/mm² välillä
- 5 % fractile-arvo oli 7591,6 N/mm²
- Näytteet luokiteltiin C18, C24, C30 tai hylätyiksi visuaalisin perustein



Analyysi: MOE vs. MOR – Lineaarinen regressio purkupuulla

Lineaarinen regressio: MOE vs. MOR

Lineaarisessa regressioanalyysissä tarkasteltiin 15 kappaleen taivutustesteissä mitattua kimmomoduulia (MOE) ja taivutuslujuutta (MOR). Tulosten perusteella muodostettiin paras mahdollinen suora kuvaamaan näiden muuttujien välistä yhteyttä.

Regressiokuvassa:

- Siniset pisteet kuvaavat yksittäisiä puukappaleita.
- X-akseli edustaa MOE-arvoja (N/mm^2) ja Y-akseli MOR-arvoja (N/mm^2).
- Punainen suora on regressioviiva, joka ennustaa MOR:n käyttäytymistä MOE:n funktiona.

Tulokset

Regressioanalyysin keskeiset tunnusluvut ovat seuraavat:

- Korrelaatiokerroin (R): 0.879
- Selityskerroin (R^2): 0.772

Luvut osoittavat, että MOE:n ja MOR:n välillä on vahva positiivinen lineaarinen yhteys, ja että yhteys on tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p \ll 0.05$). MOE (Kimmomoduuli) selittää noin 77 % MOR:n vaihtelusta.

Taivutustestissä taivutuslujuuden (fm) keskiarvo $32,6 \text{ N/mm}^2$ viittaisi jopa luokkaan C35.

Kimmomoduulin (Em,mean) keskiarvo $9\,870 \text{ N/mm}^2$ jää alle C24-luokan vaatimustason.

Tiheys (keskiarvo $480,5 \text{ kg/m}^3$) ylittää kirkkaasti kaikkien C-luokkien (softwood) vaatimukset.

Visuaalinen vs. Mekaaninen lujuusluokittelu

Tässä analyysissä tarkastellaan 15 kappaleen puutavarajoukon visuaalista lujuusluokittelua (INSTA 142) ja mekaanista luokittelua (EN 408 taivutustesti). Tavoitteena on selvittää, kuinka hyvin visuaalinen arvio vastaa kappaleiden todellista suorituskkyä ja mitä eroja menetelmien välillä esiintyy.

Kappale nro	Visuaalinen I.	Em_g (N/mm ²)	fm (N/mm ²)	Taivutustesti	Vertailu visuaalinen/taivuutustesti
1	Hylky	8356	30,8	C30	aliluokiteltu
2	Hylky	8900	19,1	C18	aliluokiteltu
3	Hylky	10922	38,1	C30	aliluokiteltu
4	C30	13598	55,8	C50	aliluokiteltu
5	C24	10875	42,2	C40	aliluokiteltu
6	C18	10770	40,6	C40	aliluokiteltu
7	C24	10484	35	C35	aliluokiteltu
8	Hylky	9155	30,3	C30	aliluokiteltu
9	C24	13088	40,3	C40	aliluokiteltu
10	C18	6940	23,4	C20	aliluokiteltu
11	C24	9412	30,8	C30	aliluokiteltu
12	Hylky	9073	31,3	C30	aliluokiteltu
13	Hylky	7871	19,9	C18	aliluokiteltu
14	Hylky	8315	21,1	C16	aliluokiteltu
15	C18	10297	29,9	C27	aliluokiteltu

Luokitusvertailun yhteenveto

Kumpaa verrataan: MOE vai MOR?

1. Taivutuslujuus (fm,k) – karakteristinen arvo (keskeisin ominaisuus)
2. Kimmomoduuli (Em,mean) – keskiarvo
3. Tiheys (ρk) – karakteristinen arvo

Näistä tärkein luokittelukriteeri on taivutuslujuus (MOR, fm), koska se kuvaa puun kantavuutta ennen murtumista. MOE (Em) kuvaa jäykkyyttä, mutta ei yksin riitä arvioimaan kappaleen turvallista käyttöä rakenteissa.

Tästä syystä visuaalisen luokituksen tarkkuutta arvioitaessa on raportissa valittu tulosten vertailuun taivutuslujuuden (fm) arvot. MOE:n ja MOR:n välinen korrelaatio voi kuitenkin auttaa ymmärtämään, kuinka hyvin jäykkyys ennustaa murtolujuutta erityisesti purkupuun vaihtelevassa laadussa.

Tämä osoittaa visuaalisen luokittelun olevan varovainen ja turvallinen, mutta samalla materiaalitehottomuutta aiheuttava. Visuaalinen lajittelu ei kykene tunnistamaan korkealaatuista materiaalia, mikä johtaa aliarviointiin erityisesti uudelleenkäytettävän puun kohdalla.

Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin

Kappale nro	Visuaalinen l.	Em_g (N/mm ²)	fm (N/mm ²)	Taivutustesti	Vertailu visuaalinen/taivuutustesti
1	Hylky	8356	30,8	C30	aliluokiteltu
2	Hylky	8900	19,1	C18	aliluokiteltu
3	C18	10922	38,1	C30	aliluokiteltu
7	C24	10484	35	C35	aliluokiteltu

Testikappale 1. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn Päätyhalkeaman takia yli 150 mm.



Ja taivutustestissä tämä kappale nro 1. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
8 356	30,8	474,4	16,9	H

Vaikka kappale sai testauksessa (MOR) arvoksi yli 30 N/mm², olisi kappale pitänyt hylätä päätyhalkeman takia huolimatta lajittelumenetelmästä. Murtuman aiheuttajan oksaryhmä lappeella ja syrjässä.

Testikappale 2. oli luokiteltu visuaalisesti hylkyyn vajaasärmän ja kasvuvian, vinosyisyyden takia.



Ja taivutustestissä tämä kappale nro 2. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
8 900	19,1	574,8	18,3	H

Kappale sai taivutuksessa (MOR) arvoksi vain 19,1 N/mm². Visuaalisen lajittelun tulos hylky on perusteltu huolimatta jäykkyyden (C16) ja lujuuden (C18) EN338 mukaisista arvoista. Tiheys oli testierän toiseksi korkein. Huimat 574,8 kg/m³. Huima luku männylle. Murtuman aiheuttajana kasvuvian aiheuttama vinosyisyys.

Testikappale 3. oli luokiteltu visuaalisesti Hylky/C18 luokkaan suuren poikaoksen ja naulanreikien perusteella.



Ja taivutustestissä tämä kappale nro 3. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338

10 922	38,1	494,9	16,5	
--------	------	-------	------	--

C18



Kappaleen nro 3 ennustettu murtuma oli suuri poikaoksa, josta murtuma myös tapahtui. Kappaleen nro 3 jäykkyyden perustella luokaksi saatiin taivutustestissä C22 lähes C24 luokka ja taivutuslujuuden luokaksi C35. Kuvassa näkyvillä naulan reillä lappeella ja syrjällä ei näyttänyt olevan lujuutta alentavaa vaikutusta.

Testikappale 12. oli luokiteltu visuaalisesti hylky - luokkaan pehmytlahon perusteella





Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
9 073	31,3	444,6	19,2	H

Kappaleen 12 keskellä oli pitkällä matkalla pehmytlahoa. Lahokappaleet lajitellaan kaikissa visuaalisen sekä koneellisen lajittelun menetelmissä hylkyyn. Kappaleen suuren poikkileikkauksen ja siten ehjän puun osuuden takia, kappale sai kuitenkin kohtuulliset lujuusarvot taivutustestissä. Kimmomoduuli (C18) ja taivutuslujuus (C30) luokat.

Testikappale 7. oli luokiteltu visuaalisesti C24 luokkaan mekaanisen vaurion sekä naulanreikien takia.





Kappaleen nro 7. murtumakohta taivutuksessa oli mekaanisesta vauriosta sydänpuolella kappaletta. Visuaalisessa lajittelussa kappale oli arvioitu naulanreikien sekä mekaanisen vaurion takia luokkaan C24. Taivutuksessa murtumakohta eteni mekaanisen vaurion kohdalta kappaletta pituussuuntaisesti. Taivutuksessa jäykkyyden luokaksi saatiin (C22-C24) ja taivutuslujuudeksi (C35)

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
10 484	35,0	435,0	18,2	C24

19. Testierä 3 – Aineisto ja lähtötiedot – Porvoo ja Tampere

Purkukohteiden esittelyt, Suomenkylä Porvoo ja Lamminpään koulun keittiö – ja ruokalarakennus, Tampere

Suomenkylän päiväkoti, Porvoo

Suomenkylän päiväkoti sijaitsi osoitteessa Malmintie 2, 06500 Porvoo. Kohde oli historiallisesti kerroksellinen, sillä sen vanhin osa ajoittui 1900-luvun alkuun, ja rakennusta oli laajennettu 1960- ja 2010-luvuilla. Rakennuksessa oli runsaasti puuta sekä kantavissa että ei-kantavissa rakenteissa: vanhoissa osissa runkorakenteet olivat hirsi- ja puurunkoisia, ulkoseinät paneloituja, ja uudemmissa osissa yläpohjat toteutettu puurunkoina. Myös sisäverhouksissa oli käytetty puupaneeleita ja puukuitulevyä. Purkamisen syynä oli kosteusvauriot etenkin alapohjan rakenteissa.

Osa rakennuksesta oli perustettu kallion varaan ja osittain maanvaraiselle alapohjalle. Kellarissa oli betonirakenteita, joiden yhteydessä todettiin kapseloituja haitta-aineita kuten PAH-yhdisteitä ja asbestia. Tämä rajoitti joidenkin materiaalien uudelleenkäyttämahdollisuuksia, mutta erityisesti vanhat hyväkuntoiset runkopuut ja hirret tarjosivat potentiaalia esimerkiksi rakennusrestaurointiin. Purkutöissä painotettiin ehjänä irrotettujen ja saastumattomien suurten palkkien kohdalla puuosien talteenottoa sekä niiden jatkokäyttöä. Mutta suurin osa puuosista oli liian järeän kaluston käytön takia rikkovaa purkua. Tällaisen suuren puurakennuksen kohdalla olisi ollut mahdollisuus irrottaa kantavia puurakenteita ehjänä ja saada merkittävä määrä puutavaraa uudelleenkäyttöön.



Suomenkylän päiväkodin purkutöissä painotettiin ehjänä irrotettujen ja saastumattomien suurten palkkien kohdalla puuosien talteenottoa sekä niiden jatkokäyttöä. Mutta suurin osa puuosista oli liian järeän kaluston käytön takia rikkovaa purkua.

Lamminpään koulun keittiö- ja ruokalarakennus, Tampere

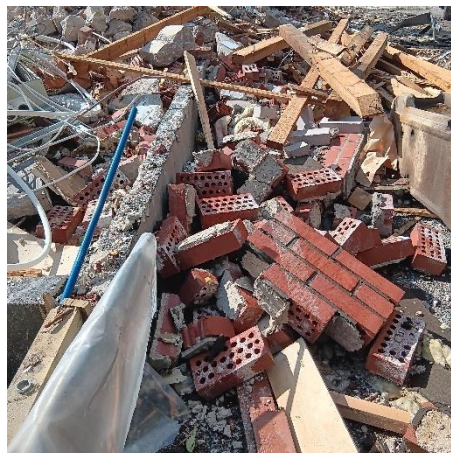
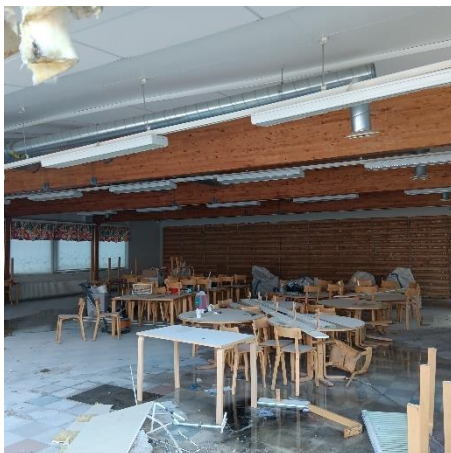
Lamminpään koulun keittiö- ja ruokalarakennus sijaitsi osoitteessa Kortesuontie 27, Tampere. Rakennus valmistui vuonna 1972, ja sen laajuus oli noin 460 neliömetriä. Kohde purettiin kesä–heinäkuussa 2025.

Purku-urakasta vastasi Mevaset, jonka yhteyshenkilöinä toimivat Seppo (puh. 0400 644 401) sekä työmaapäällikkö Jari Järventausta (puh. 0400 834 888). Tilaajana toimi Tampereen kaupunki, Elinvoiman palvelualue, Kiinteistöt, tilat ja asuntopolitiikka. Yhteyshenkilönä kaupungilla oli kiinteistöpäällikkö Tanja Tiihonen (puh. +358 400 289 161, tanja.tiihonen@tampere.fi).

Rakennuksen purku toteutettiin hallitusti kesäaikaan, ja kohteen materiaalien hyödyntämisessä korostettiin joiltain osin kierrätystä purkumateriaalien osalta. Puuosien osalta ehjänä purkaminen ei kuitenkaan näyttänyt toimivan. Vaan suurin osa puutavarasta oli rikkoutunutta. Rakennus edusti tyypillistä 1970-luvun koulurakentamista, mikä tekee siitä arvokkaan vertailupisteen muiden samankaltaisten kohteiden purkuhankkeille. Tampereen kaupunki painotti hankkeessa materiaalien kierrätyksen ja lajittelun merkitystä osana kestävän kiinteistönhallinnan käytäntöjä.



Lamminpään kohteessa oli ajateltu myös materiaalien kierrätystä mm. kalusteiden ja tiilien osalta. Rakenteiden puuosien kierrätys oli kuitenkin heikkoa.



Visuaalisen lajitteelun ja taivutustestien tulokset

Purkukohde: Porvoo ja Tampere

Lajittelija: JS

pvm 31.8.2025

Kappale nro								
	C30	C24	C18	Hylky	Pituus (cm)	Dimensio (mm)	Kosteus %	Ominaisuuden raja-arvo
1 Porvoo			X		250-300	50*100	12,7	Mek. vaurio. Oksasumma
2 Porvoo		X			250-300	50*100	12	Vajaasärmä, syrjäoksa
3 Porvoo				X	250-300	50*125	12,4	Särmähalkeama Mekaaninen vaurio
4 Porvoo		X			250-300	50*100	15	Lape/syrjäoksa
5 Porvoo			X		250-300	50*100	17,2	Syr-Lape naulahalkeama
6 Lamminp.		X			250-300	50*100	14,9	Syrjäoksa
7 Lamminp.		X			250-300	50*100	15,1	Syrjä-Lape naula
8 Lamminp.		X			250-300	50*100	16,9	Mek. Vaurio syrjä
9 Lamminp.		X			250-300	50*100	15,3	Lapeoksa
10 Lamminp.		X			250-300	50*100	15,3	Syrjäoksa
11 Lamminp.		X			250-300	50*100	17,3	Syrjäoksa
12 Lamminp.		X			250-300	50*100	14,3	Mek. vaurio
13 Lamminp.			X		250-300	50*100	17,4	Syrjäoksa
14 Lamminp.				X	250-300	50*100	16,5	Mek.vaurio / Syrjäoksa
15 Lamminp.			X		250-300	50*100	20,5	Syrjäoksa
16 Lamminp.		X			250-300	50*100	15,5	Oksasumma
17 Lamminp.		X			250-300	50*100	20,6	
18 Lamminp.		X			250-300	50*100	18,0	
1 Parru Porvoo, 10.9	X					100*100		
2 Parru Porvoo, 10.9		X				100*100		Mekaaninen vaurio
3 Parru Porvoo, 10.9	X					100*100		
4 Parru Porvoo, 10.9		X				100*100		Oksasumma



Mikpolis

TEST REPORT

4 point bending

Determination of global modulus of elasticity in bending EN 408

Customer: Metsäkeskus
Test pieces: 50x100
Porvoo ja Lamminpää purkupuut

Test conditions: 22 °C, RH 65%
Loading speed: 7 mm/min

Test equipment: Shimadzu AGX-300kN

Factory of origin:
Date of manufacture:
Type of glue:

Certificated by Shimadzu Corporation
Certificate number: 4ZF0D-0512C

Test date: 11.9.2025
Operator: Tuomas Venäläinen

Classification of testing machine (EN ISO 7500-1)
 Range: Compression 0...300 kN Class: 1
 Range: Tension 0...300 kN Class: 1

[illegible]

Average	9239,1	32,7	474,6	15,6
Std.	1 587,5	5,7	23,9	1,6
Std. [%]	17,2%	17,4%	5,0%	10,0%
Max	12 291,1	42,0	517,3	19,0
Min	6 561,5	21,1	441,7	13,1
5% Fractal	6 921,6			

Testeistä 4 ja 15 E_m -arvo alittaa kyseisen visuaalisen luokan E_c -vaatimuksen.

Muut näytteet täyttävät vaatimuksen. Alitukset ovat yksittäistapauksia eivätkä viittaa systemaattiseen kimmomoduulin alisuoriutumiseen.

*Testiraportti MOR ja MOE taivutustestit dimensio 50*100 Lamminpää Tampere ja Suomenkylä, Porvoo.*

Testausmenetelmä

Puumateriaalin ominaisuuksia tutkittiin EN 408 -standardin mukaisella 4-pisteen taivutuskokeella. Koe-erä koostui sahatusta purkupuumateriaalista, jonka poikkileikkaus oli 50x100 mm. Testauspaikkana toimi Xamk Mikopolis -laboratorio Mikkeliissä. Mittauksissa tarkasteltiin taivutusmoduulia (E_m , G), murtolujuutta (f_m), tiheyttä ja kosteuspitoisuutta sekä tehtiin visuaalinen lajittelu viitaten standardeihin INSTA 142 ja EN 338.

Tulokset

Testitulokset osoittivat seuraavaa:

- Keskimääräinen taivutusmoduuli (Em,g): 9 239 N/mm²
- Keskimääräinen murtolujuus (fm): 32,7 N/mm²
- Keskimääräinen tiheys: 474,6 kg/m³
- Keskimääräinen kosteuspitoisuus: 15,6 %
- Lajitteluluokat: valtaosa C24, osa C18, muutama hylky
- Vaihtelu: Em,g hajonta 17,2 %, murtolujuus hajonta 17,4 %

Analyysi

Purkupuu täytti useimmiten C24-lujuusluokan vaatimukset, mikä osoittaa hyvää soveltuvuutta uudelleenkäyttöön kantavissa rakenteissa. Osa näytteistä jäi C18-luokkaan tai hylättiin, mikä kertoo materiaalin luonnollisesta vaihtelusta ja purkupuun luonteesta. Tiheys oli korkeahko ($474,6 \text{ kg/m}^3$), mikä tukee hyviä lujuusominaisuuksia. Kosteuspitoisuus oli 13–19 % välillä, mikä on käyttökelpoisen sahatavaran tasolla, mutta aiempiin testieriin nähden korkeahko.

Kimmomoduulissa ja taivutuslujuuksissa ei päästy samalle korkealle tasolle, kuin edeltävissä testierissä samalla dimensiolla. Osasyynä oli korkeammat kosteuspitoisuudet testierässä 3.

	Kappale nro	Visuaalinen l.	m _g (N/mm)	fm (N/mm ²)	Taivutustesti	Vertailu visuaalinen/taivuutustesti
	1	C18	9258	38.9	C30	aliluokiteltu
	2	C24	8706	30.0	C18	yliluokiteltu
	3	Hylky	9366	30,5	C30	aliluokiteltu
	4	C24	7263	28,8	C24	sama
	5	C18	11984	34.8	C30	aliluokiteltu
	6	C24	8749	29.2	C24	Sama
	7	C24	12291	42.0	C40	aliluokiteltu
	8	C24	10481	39.1	C35	aliluokiteltu
	9	C24	8996	35.1	C35	aliluokiteltu
	10	C24	10912	39,3	C30	aliluokiteltu
	11	C24	6985	21,1	C18	Yiluokiteltu
	12	C24	8932	30,1	C30	aliluokiteltu
	13	C18	8576	31.0	C30	aliluokiteltu
	14	Hylky	7505	32.3	C30	aliluokiteltu
	15	C24	6561	23,7	C18	Yiluokiteltu
	16	C24	9925	28,1	C24	Sama
	17	C24	9931	35.5	C35	Aliluokiteltu
	18	C24	9880	38.7	C35	Aliluokiteltu

Yhteenveto purkupuun testituloksista (50x100 mm sahatavara, Porvoo & Lamminpää) Vertailu visuaalinen ja taivutustesti.

Taivutustestissä taivutuslujuuden (fm) keskiarvo $32,7 \text{ N/mm}^2$ vastaa C30-luokkaa, ja yksittäiset kappaleet ylsivät jopa C40-tasolle.

Kimmomoduulin (Em,g) keskiarvo $9\,239 \text{ N/mm}^2$ jäi alle C24-luokan vaatimustason ($11\,000 \text{ N/mm}^2$).

Tiheys (keskimäärin n. 475 kg/m^3) ylittää selvästi kaikkien C-luokkien vähimmäisvaatimukset.

Vertailussa 78 % kappaleista oli visuaalisesti aliluokiteltu, 11 % ylikuokiteltu ja 11 % sai saman luokan.

Analyysi

Kimmomoduulin keskiarvo jäi hieman alle C24-vaatimuksen ($\geq 11\,000\text{ N/mm}^2$), mutta korkein arvo ylitti rajan ($11\,394\text{ N/mm}^2$). Taivutuslujuus oli kaikissa kappaleissa yli C24-vaatimuksen ($\geq 24\text{ N/mm}^2$), ja keskiarvo ($44,1\text{ N/mm}^2$) vastaa C35–C40-tasoa. Tiheys (448 kg/m^3) ylitti selvästi kaikkien C-luokkien vähimmäisvaatimukset. Kosteus (12,7–13,6 %) oli käyttökelpoisen sahatavaran tasolla. Visuaalisesti kappaleet sijoittuivat C18–C30-luokkiin, mutta taivutuslujuuden perusteella osa olisi korkeammassa luokassa.

Johtopäätökset

Porvoon 100×100 mm purkupuun testit osoittavat selvästi, että 100*100 palkin purkupuulla on säilynyt hyvät lujuusominaisuudet. Puiden taivutuslujuus oli yllättävän hyvä – monessa tapauksessa niin korkea, että se vastasi uuden sahatavaran C35–C40-luokkia. Tämä kertoo, että sillä voi parhaimmillaan olla jopa paremmat ominaisuudet kuin uudella sahatavaralla.

Visuaalinen lajittelu ei kuitenkaan kertonut koko totuutta. Silmämääräisesti osa kappaleista näytti heikommalta kuin mitä ne todellisuudessa olivat. Esimerkiksi kappaleet P3 ja P4 arvioitiin alempiin luokkiin, vaikka testien mukaan ne kestivät paljon enemmän taivutusta. Tämä korostaa sitä, että pelkkä silmämääräinen arvio ei välttämättä riitä, jos halutaan hyödyntää purkupuun koko potentiaali.

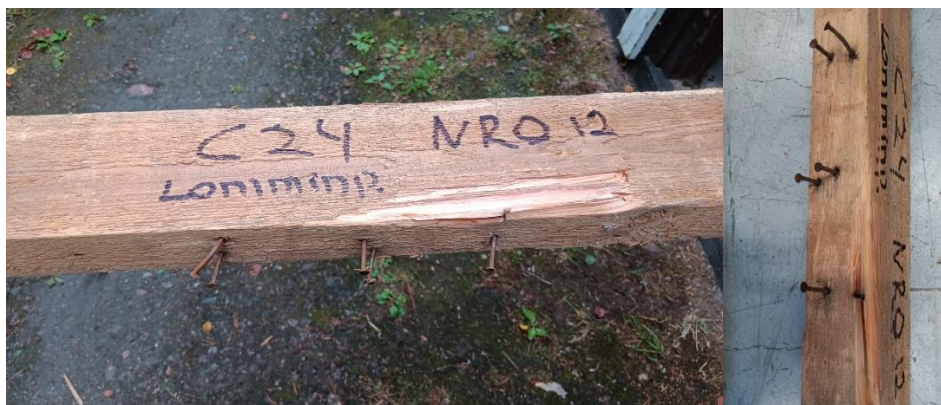
Tuloksista kävi myös ilmi, että jäykkyys eli kimmomoduuli oli heikompaa, kuin itse lujuus. Vaikka kappaleet kestivät hyvin taivutusta, niiden jäykkyys jäi keskimäärin alle C24-vaatimusten. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että purkupuun voi kyllä olla vahvaa, mutta sen taipuminen voi olla suurempaa kuin uuden puun. Käyttökohteessa tähän pitää kiinnittää huomiota.

Tarkastellaan näitä kappaleita tarkemmin

12	C24	8932	30,1	C30
13	C18	8576	31,0	C30
15	C24	6561	23,7	C18
16	C24	9925	28,1	C24

aliluokiteltu
aliluokiteltu
Yliluokiteltu
Sama

Testikappale 12. oli luokiteltu visuaalisesti C24 luokkaan mekaanisen vaurion takia

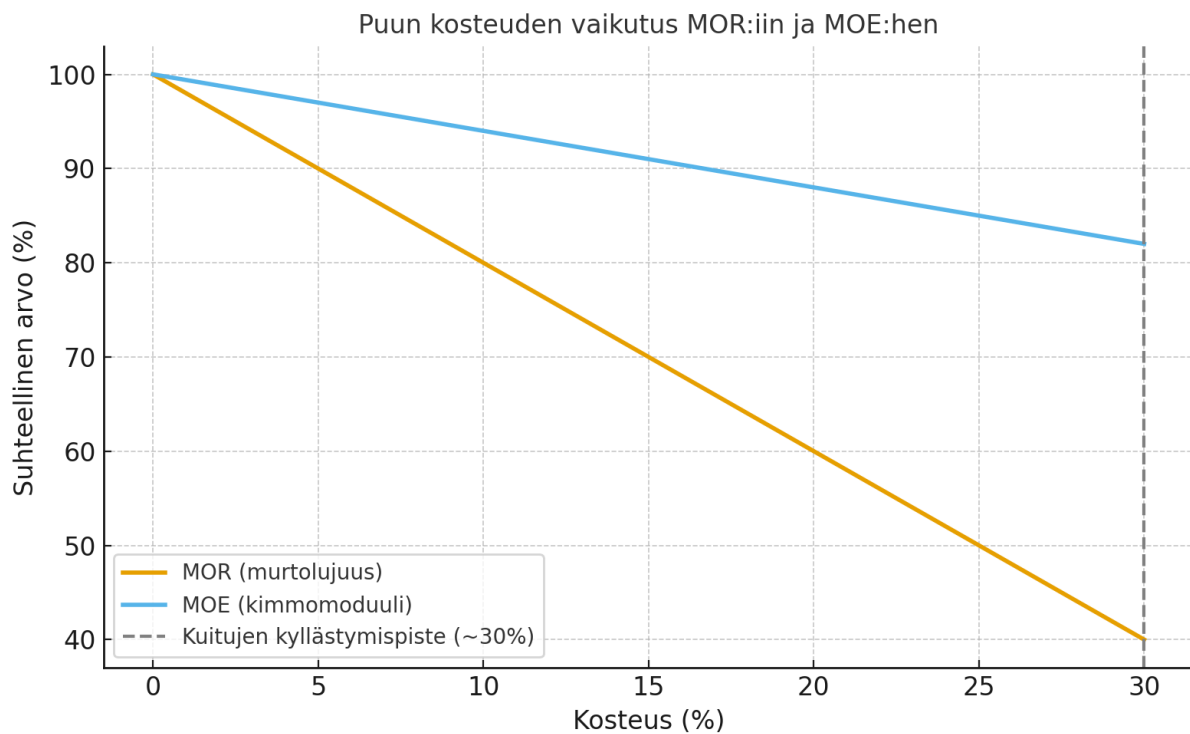




Ja taivutustestissä tämä kappale nro 12. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} - F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
8 932	30,1	443,5	14,4	C24

Murtuma lähti taivutuksessa vetopuolelle jätetystä mekaanisesta vauriosta. Kappaleen kosteus oli 14,4 ja tiheys 443,5 kg/m³. MOR osalta kappale olisi juuri ja juuri luokkaa C30 ja MOE – arvon perusteella C18 – luokkaa. visuaalisesti kappale luokiteltiin C24.

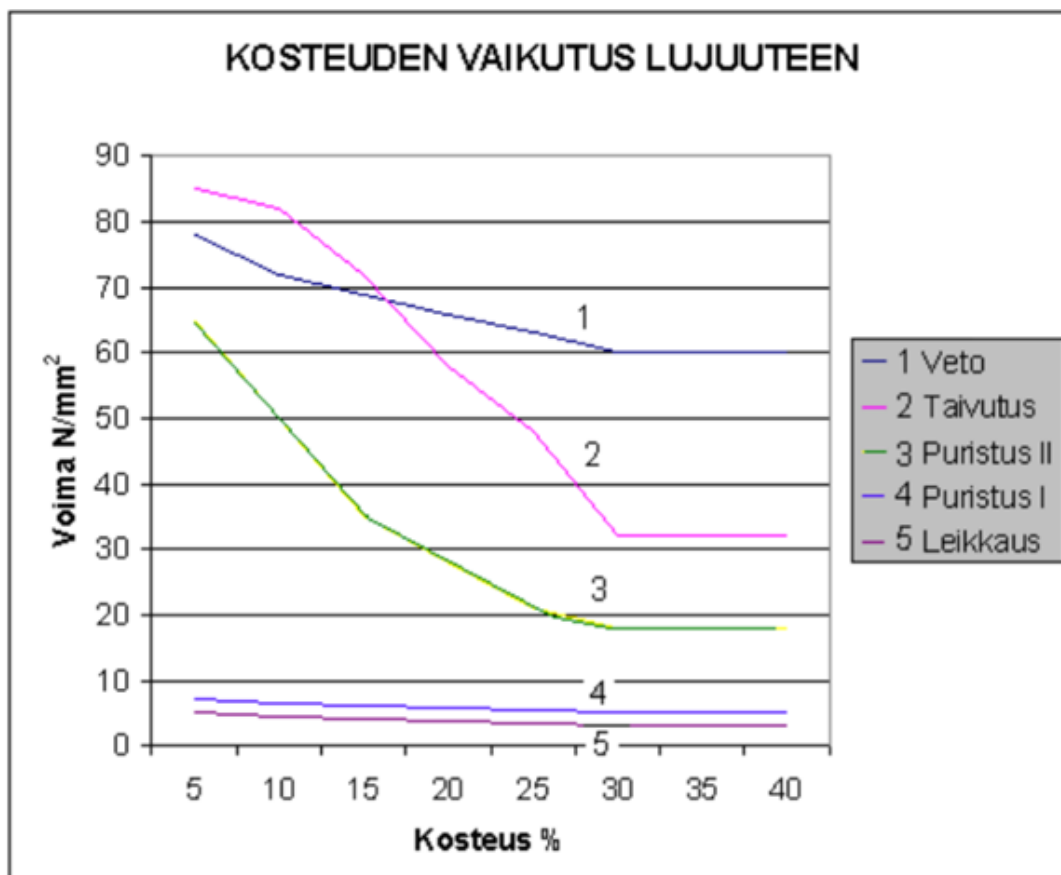


Lähde: mukailtu FPL (2010) Wood Handbook; Kollmann & Côté (1968); EN 384/408 tausta-aineisto

Kosteudella on suuri vaikutus puun lujuuteen sekä jäykkyyteen, että murtolujuuteen. Kuitenkin ero testierän kappaleilla suhteellisesti olisi ollut noin 10 % luokkaa kosteuden arvolla n. 10 % vs. kosteus n. 15 %. Kimmomoduulin osalta näiden kosteuksien välillä on n. 5 % ero. Kosteus vaikuttaa enemmän **MOR:iin (murtolujuus)** kuin **MOE:hen (jäykkyys)**. Tämä tarkoittaa, että märkä puu taipuu lähes yhtä jäykästi kuin kuivempi, mutta murtuu paljon helpommin.

Puun kosteudella on vaikutusta sekä **MOR:iin (Modulus of Rupture, murtolujuus)** että **MOE:hen (Modulus of Elasticity, kimmomoduuli)**, mutta vaikutuksen voimakkuus ei ole ihan sama:

- **MOR (lujuus / murtokuorma):**
→ Kosteuden kasvaessa puun lujuus laskee selvästi. Jo 12 %:n kosteuden jälkeen lujuus alkaa heikentyä, ja esimerkiksi 30 %:n kosteudessa murtolujuus voi olla vain noin 40–50 % siitä, mitä se on kuivana. MOR on siis hyvin herkkä kosteudelle.
- **MOE (jäykkyys / taipuma):**
→ MOE laskee myös kosteuden kasvaessa, mutta vähemmän jyrkästi kuin MOR. Jäykkyys voi pudota esimerkiksi 10–20 % kuivasta tilasta aina kuitujen kyllästymispisteeseen (~30 %) asti.



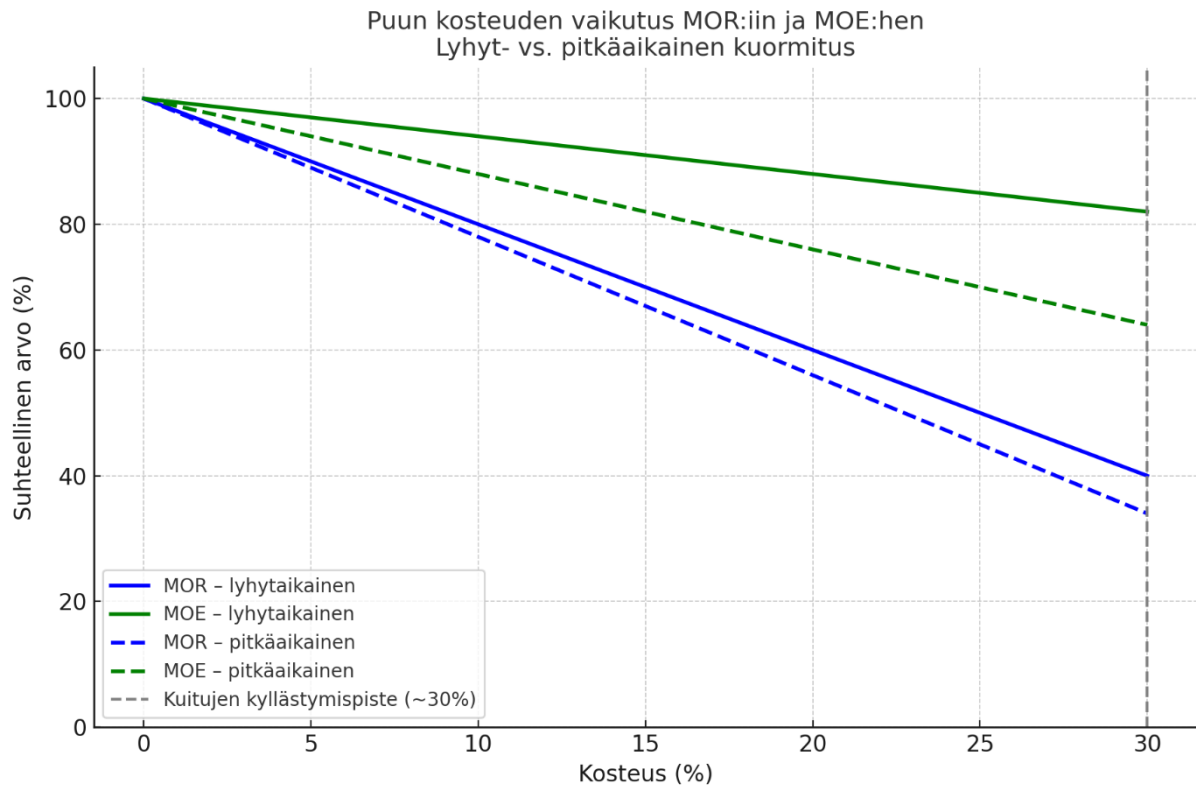
Testikappale 13. oli luokiteltu visuaalisesti C18 luokkaan kookkaan syrjäöksen takia



Ja taivutustestissä tämä kappale nro 13. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f _m	Density	Moisture content	Visual grades
F _{0.1} - F _{0.4}				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
8 576	31,0	459,6	17,8	C18

Murtuma lähti taivutuksessa vetopuolella olevasta syrjäöksasta. Kappaleen kosteus oli 17,8 ja tiheys 459,6 kg/m³. MOR osalta kappale olisi juuri ja juuri luokkaa C30 ja MOE – arvon perusteella C16 – luokkaa. visuaalisesti kappale luokiteltiin C18.



Lähde: mukailtu FPL (2010) Wood Handbook; Kollmann & Côté (1968); EN 1995-1-1 (Eurocode 5); Dinwoodie (2000)

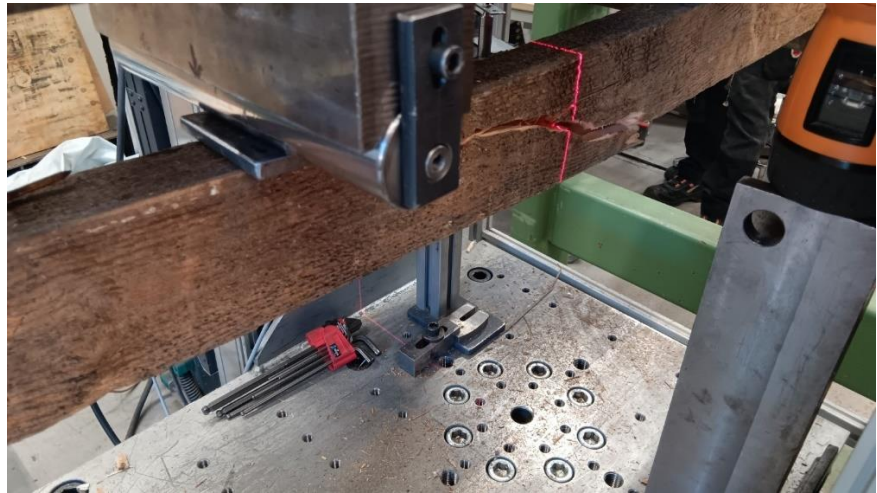
Kosteuden vaikutus MOR:iin ja MOE:hen

Puun kosteudella on merkittävä vaikutus sen mekaanisiin ominaisuuksiin. Lyhytaikaisissa kuormitustilanteissa kosteus heikentää erityisesti **MOR:ia (murtolujuus)**, kun taas **MOE (kimmomoduuli)** laskee maltillisemmin.

Tilanne muuttuu, kun kuormitus on pitkäaikaista ja puu altistuu samalla kosteudelle. Tällöin **viruminen** voimistaa kosteuden vaikutusta ja heikentää erityisesti puun jäykkyyttä. MOE:n aleneminen voi tällöin olla suhteessa voimakkaampaa kuin MOR:n. Tämä näkyy rakenteissa käytännössä lisääntyneenä taipumana ja käyttörajoituksina jo ennen varsinaista murtumista.

Eurocode 5 (EN 1995-1-1) huomioi tämän ilmiön ns. **k_{mod}-kertoimilla**, jotka pienentävät sekä lujuus- että jäykkyyssarvoja kosteissa ja pitkäaikaisissa kuormitustilanteissa. Käytännön suunnittelussa tämä tarkoittaa, että pitkäaikaisessa kuormituksessa jäykkyyden heikkeneminen voi muodostua kriittisemmäksi rajoitteeksi kuin lujuuden aleneminen.

Testikappale 15. oli luokiteltu visuaalisesti C18 luokkaan kookkaan syrjäöksen takia



Ja taivutustestissä tämä kappale nro 15. sai (MOE) ja (MOR) arvot:

Em,g	f_m	Density	Moisture content	Visual grades
$F_{0.1} \cdot F_{0.4}$				
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
6 561	23,7	483,6	19,0	C24

Olettamana on, että testikappaleista osa on toistuvien lämpötilaerojen sekä kosteuserojen takia menettänyt lujuutta. Miksi purkupuu voi käyttäytyä kosteuden suhteen herkemmin kuin uusi puu: sen soluseinä ei enää ole kemiallisesti yhtä eheä. Käytännössä tämä tarkoittaa,

että **murtolujuus (MOR j MOE) laskevat kosteuden kasvaessa jyrkemmin** ja kappaleiden väliset erot korostuvat, vaikka tiheys ja ulkoinen olemus näyttäisivät hyviltä.

20. Purkupuun erityispiirteet kosteuden ja ikääntymisen näkökulmasta

Purkupuuta eroaa monin tavoin uudesta, neitseellisestä sahatavarasta. Sen historia ulottuu usein vuosikymmenien taakse, ja tänä aikana se on voinut altistua lukemattomille kosteus- ja lämpötilavaihteluille sekä erilaisille käyttöolosuhteille. Tämä pitkä elinkaari jättää jälkensä puun rakenteeseen ja voi näkyä testituloksissa toisinaan yllättävänä haurastumisena tai ominaisuuksien epätasaisuutena.

Yksi merkittävä tekijä voi olla **mikrohalkeamien syntyminen soluseinämissä**. Toistuvat kuivumisen ja kostumisen syklit aiheuttavat jännityksiä, jotka voivat ajan myötä johtaa hienojakoisiin halkeamiin. Näiden kautta kosteus pääsee helpommin tunkeutumaan rakenteeseen, mikä heikentää solujen mekaanisia sidoksia ja altistaa puun nopeammalle lujuuden heikkenemiselle.

Lisäksi puun pitkäaikainen ikääntyminen voi tuoda mukanaan **kemiallisia muutoksia**. Selluloosaketjujen lyhentymisen (depolymerisaatio) ja hemiselluloosan osittainen hajoaminen (**Rowell, R.M. (2005). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press**) vähentävät puun kykyä kantaa kuormaa, vaikka ulkoisesti kappale näyttäisi hyväkuntoiselta.

Ligniinin haurastuminen on toinen ilmiö: lämpötilavaihtelut ja mahdollinen auringon UV-säteily voivat muuttaa ligniiniä jäykemmäksi ja hauraammaksi, mikä lisää halkeilutaipumusta erityisesti puun pinnassa.

Rakenteissa pitkään kuormitettuna olleella puulla on lisäksi oma **virumishistoriansa**. Vuosikymmenten aikana kuorman alla tapahtunut pysyvä muodonmuutos voi näkyä etenkin jäykkyyden (MOE) heikkenemisenä, vaikka tiheys ja murtolujuus (MOR) saattaisivat edelleen olla korkeita. Toisin sanoen kappale voi kantaa hyvin, mutta taipua enemmän kuin uusi sahatavara.

Näiden tekijöiden seurauksena purkupuuta voi käyttäytyä kosteuden suhteen herkemmin kuin neitseellinen puu. Erityisesti murtolujuus voi laskea kosteuden kasvaessa jyrkemmin, ja yksittäisten kappaleiden väliset erot saattavat olla suuria. Tämä näkyy käytännössä siten, että osa purkukappaleista toimii erinomaisesti, jopa paremmin kuin uusi sahatavara, kun taas toiset voivat olla huomattavasti heikompia.

Kemialliset ikääntymisprosessit purkupuun rakenteessa

Purkupuuta eroaa uudesta sahatavarasta siinä, että sen solukot ja soluseinämät ovat altistuneet vuosikymmenien ajan kosteuden, hapen, lämpötilavaihtelujen ja valon yhteisvaikutukselle. Tämä pitkäaikainen altistus voi johtaa kemiallisiin muutoksiin, jotka heikentävät puun mekaanisia ominaisuuksia.

1. Selluloosan depolymerisaatio

Selluloosa muodostaa soluseinämän kantavan rungon. Pitkän aikavälin kosteuden ja hapettumisen vaikutuksesta selluloosaketjut voivat lyhentyä (depolymerisaatio). Tämä vähentää puun kykyä siirtää jännityksiä ja siten heikentää sen lujuutta.

- Lähde: Kollmann & Côté (1968), Rowell (2005), Fenqel & Wegener (1984).

2. Hemiselluloosan hajoaminen

Hemiselluloosa on hygroskooppisin puun rakenneosia. Se reagoi herkästi kosteuden ja lämpötilan vaihteluihin ja voi hydrolysoitua tai hajota osittain. Hemiselluloosan väheneminen lisää puun haurauden riskiä ja nopeuttaa kosteuden siirtymistä soluseinämän läpi, mikä altistaa rakenteen muille vaurioille.

- Lähde: Rowell (2005), Hill (2006).

3. Ligniinin haurastuminen

Ligniini toimii soluseinämän "liimana", joka antaa jäykkyyttä ja suojaa. Auringon UV-säteily, lämpötilavaihtelut ja hapettuminen hajottavat ligniiniä ja tekevät siitä hauraampaa. Tämä näkyy erityisesti pinnassa värimuutoksina, halkeiluna ja rapautumisena, vaikka puun sisäosa säilyisikin lujana.

- Lähde: Fengel & Wegener (1984), Hon & Shiraishi (2001), Rowell (2005), Pandey (2005).

Testikappale 16. oli luokiteltu visuaalisesti C24 luokkaan oksasumman takia



Em,g F _{0.1} · F _{0.4}	f _m	Density	Moisture content	Visual grades
N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	%	EN 338
9 925	28,1	474,9	15,4	C24

Kappaleen murtuma sijoittui odotetusti oksaryhmän kohdalle. MOR arvo oli sama, kuin visuaalisen lajittelun tulos C24 ja jäykkyyden osalta kappale oli C22 luokkaan.

21. Loppuyhteenveto lajittelusta, testeistä ja tuloksista

Tässä raportissa on tarkasteltu purkupuun ominaisuuksia ja sen soveltuvuutta uudelleenkäyttöön kantavissa rakenteissa. Aineisto koostui useista eri purkukohteista kerätyistä näytteistä, jotka analysoitiin sekä visuaalisesti että mekaanisesti (EN 408 - taivutustestit).

Tulokset osoittavat, että merkittävä osa purkupuutavarasta säilyttää edelleen erittäin hyvät mekaaniset ominaisuudet. Taivutuslujuus (MOR) asettui useissa tapauksissa tasolle 32–44 N/mm², ja yksittäisissä kappaleissa saavutettiin yli 50 N/mm² arvoja. Nämä tulokset vastaavat C30–C40 -lujuusluokkia ja ylittävät selvästi yleisesti käytetyn C24-luokan vaatimustason (≥ 24 N/mm²).

Kimmomoduulin (MOE) osalta testitulokset osoittivat, että valtaosa kappaleista täyttää vähintään C24-luokan jäykkyyksivaatimuksen. Aiempi tulkinta, jonka mukaan kimmomoduuli rajoittaisi lujuusluokkaa, ei tarkemman analyysin perusteella ole perusteltu. Yksittäisiä alituksia esiintyi, mutta ne eivät osoita systemaattista jäykkyyden heikkenemistä aineistossa.

On kuitenkin huomioitava, että näytemäärät lujuusluokittain ovat rajallisia. Tämän vuoksi keskiarvojen ja yksittäisten tulosten perusteella ei voida tehdä EN 384 -standardin mukaista tilastollisesti varmennettua 5 % fraktiilianalyysiin perustuvaa lujuusluokan määrittystä. Tulokset ovat siten suuntaa antavia, mutta teknisesti merkittäviä.

Keskeinen havainto lajittelusta on, että suurin osa taivutusmurtoon johtaneista ominaisuuksista ei ollut purkuprosessin aiheuttamia vaurioita, vaan puun luonnollisia ominaisuuksia, kuten oksaisuutta, tiheyttä ja syiden suuntaa. Testiaineiston esilajitteluvaiheessa purkupaikalla poistettiin selkeästi mekaanisesti rikkoutuneet kappaleet, mikä osaltaan varmisti testattujen kappaleiden teknisen laadun.

Visuaalinen lujuuslajittelu osoittautui konservatiiviseksi: noin 78 % kappaleista oli visuaalisesti aliluokiteltu suhteessa niiden todelliseen taivutuslujuuteen, kun taas ylikuokittelua esiintyi vain noin 11 %. Tämä tukee ei-tuhoavien testausmenetelmien (NDT) käyttöönottoa visuaalisen arvioinnin rinnalla, jotta materiaalin koko potentiaali voidaan hyödyntää turvallisesti ja tehokkaasti.

Kosteusmittaukset (12–16 %) ja tiheydet (tyypillisesti 440–475 kg/m³) osoittivat, että purkupuun materiaalirakenne on monin paikoin hyvin säilynyt. Tulokset eivät viittaa yleiseen rakenteelliseen heikkenemiseen, vaan yksittäisten kappaleiden välinen vaihtelu liittyy ensisijaisesti luonnolliseen materiaalivaihteluun ja käyttöhistoriaan.

Käytännön johtopäätös on, että purkupuun hyödyntäminen kantavissa rakenteissa on teknisesti mahdollista ja turvallista, kun sen ominaisuudet varmistetaan asianmukaisella lajittelu- ja testausmenettelyllä. INSTA 142 -ohjeisto tarjoaa tähän hyvän perustan, jota voidaan täydentää purkupuun erityispiirteitä koskevilla rajatuilla lisäohjeilla (esim. purkuhalkeamat, kiinnikevauriot, kosteuden hallinta).

Purkupuuharjoitus tarjoaa merkittävän resurssin osana kestävästä rakentamisesta ja kiertotaloutta. Sen tehokas hyödyntäminen ei ole ensisijaisesti tekninen ongelma, vaan kysymys siitä, miten sen ominaisuudet tunnustetaan, todennetaan ja hyväksytään osaksi rakennusalan käytäntöjä.

Johtopäätökset – Purkupuun soveltuvuus kantaviin rakenteisiin

Keskeinen havainto:

Suurin osa taivutusmurtoon johtaneista ominaisuuksista johtui puun luonnollisista kasvupiirteistä (tiheys, oksaisuus, vinosyisyys), ei purkuperäisistä vaurioista. HUOM!! Testiaineistoa valittaessa suoritettiin purkupaikalla esilajittelu, jolloin selkeästi hylkykappaleet hylättiin testiaineistosta.

→ **INSTA 142 -ohjeet riittävät purkupuun lajitteluun, täydennettynä purkuun ja käsittelyyn liittyvillä ohjeilla.**

Taivutuslujuus (MOR) usein yli C24-vaatimusten, osa kappaleista C30–C40-tasoa.

Kimmomoduuli (MOE) jäi keskimäärin hieman alle C24-tason (9 000–10 000 N/mm²), hajonta suuri.

Visuaalinen lajittelu konservatiivista → 78 % aliluokiteltu, potentiaalia hyödyntämättä.

NDT-menetelmät (koputtava kone, linjakosteusmittarit) parantavat luotettavuutta ja vähentävät turhia hylkyksiä.

Hallittu purku ja selkeät ohjeet edellytys turvalliselle käytölle.

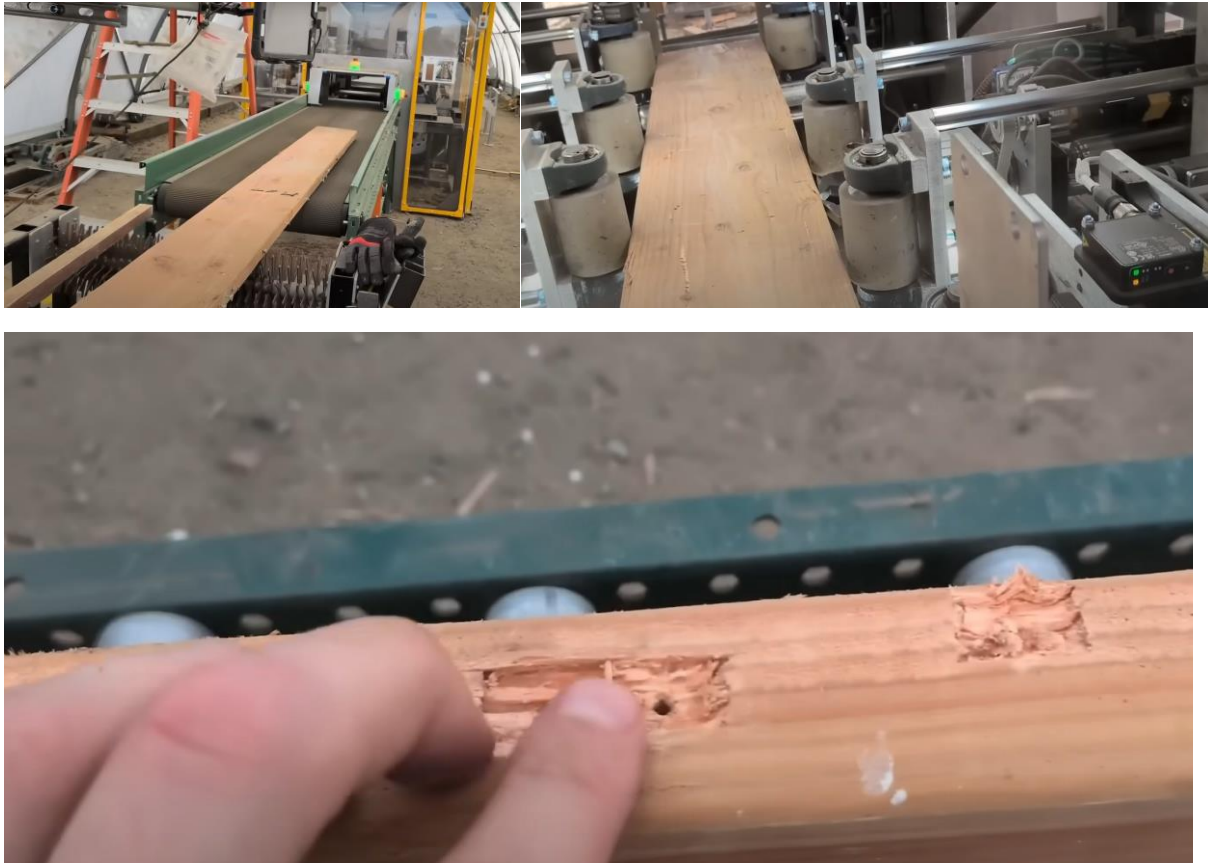
Purkupuuharjoitus ei ole vain kierrätysmateriaali – se on realistinen ja turvallinen vaihtoehto uudelle sahatavaralle. Kun sen käyttö varmistetaan standardien täydennyksillä, testauksella ja koulutuksella, voidaan säästää luonnonvaroja ja vahvistaa puurakentamisen roolia hiilineutraalissa tulevaisuudessa.

22. Purkupuun teollinen prosessi ennen markkinoille saattamista

Purkupuun laajamittainen saattaminen markkinoille edellyttää teollista, linjastopohjaista käsittelyä, jossa yhdistyvät visuaaliset ja koneelliset menetelmät. Vain näin voidaan varmistaa sekä kustannustehokkuus että riittävä luotettavuus, jotta materiaali hyväksytään laajasti rakennuskäyttöön. Prosessi on jäsennetty tässä esityksessä kuuteen päävaiheeseen.

Ensimmäinen vaihe olisi **vastaanotto ja esiluokittelu**. Purkupuuerät otetaan vastaan laitokselle, ja niille annetaan erätunnisteet ja alkuperätiedot. Silmämääräisellä tarkastuksella erotetaan selvästi käyttökelvottomat kappaleet, kuten lahovaurioiset ja homeiset puut.

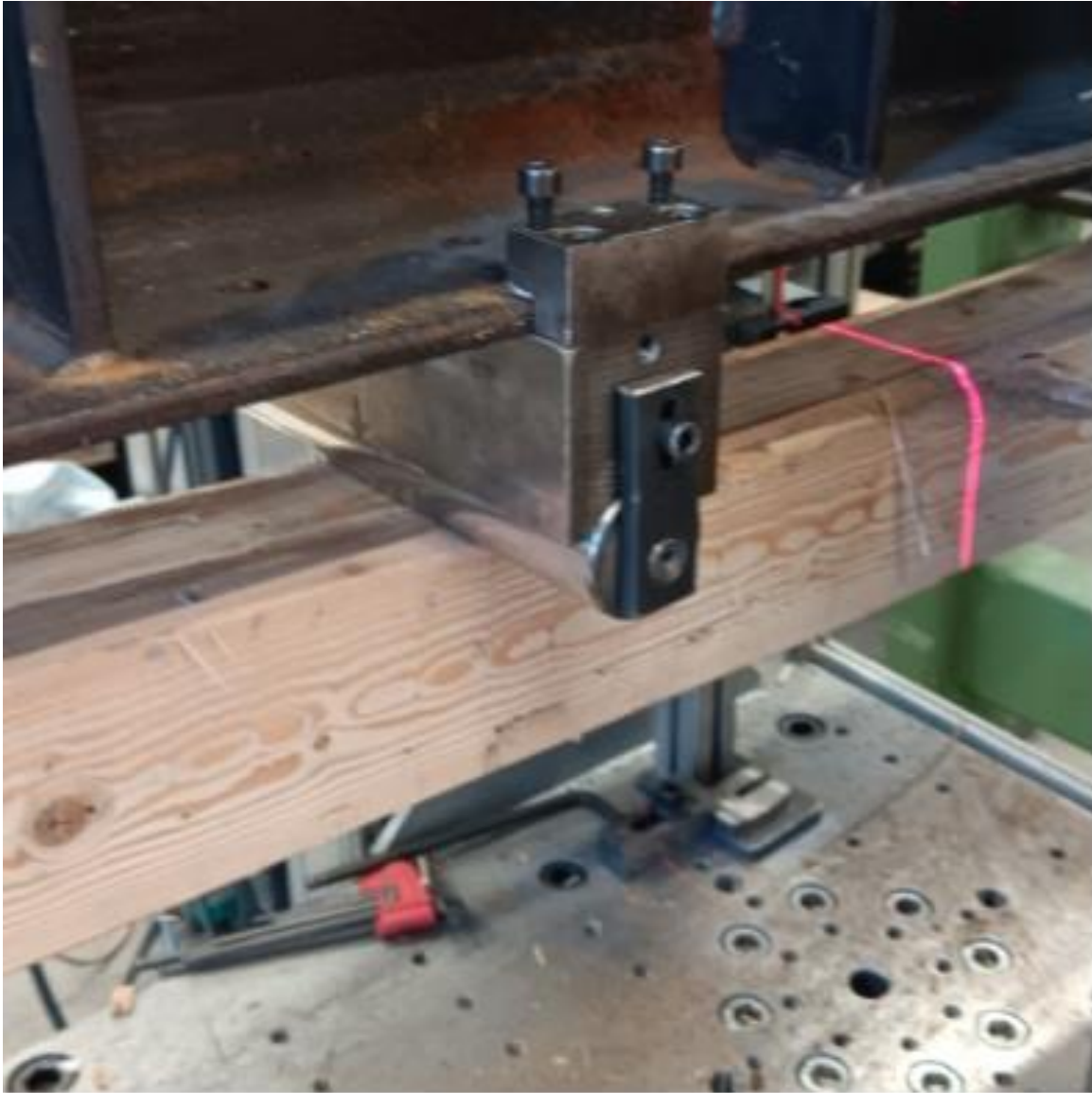
Toinen vaihe on **puhdistus, harjaus ja esihöyläys**. Mekaaniset harjat poistavat lian, hiekan ja betonijäämät ja mahdollisen homeen, jotka voisivat vaurioittaa jatkoprosessoinnissa käytettäviä koneita. Naulat ja ruuvit poistetaan metallinpaljastimien avulla tai robotisoidulla naulanpoistoteknologialla, kuten **Urban Machine -järjestelmällä**. Tämän jälkeen kappaleet esihöylätään, jolloin pinnan vauriot ja värjäymät poistuvat ja puu mitallistuu linjaston jatkokäsittelyä varten.



Kolmannessa vaiheessa tehdään **lopullinen lajittelu ja luokittelu**. Tässä vaiheessa voidaan käyttää useita eri menetelmiä erikseen tai yhdistää useita menetelmiä: röntgen-, laser- ja NIR-skannaus mittaavat tiheyttä ja havaitsevat sisäisiä vikoja, kun taas akustinen koputtava kone arvioi kappaleen jäykkyyttä resonanssin perusteella.



Visuaalinen tarkastus täydentää koneellista lajittelua tunnistamalla näkyvät halkeamat ja purkuvauriot. Samanaikaisesti linjalla toimiva kosteusmittari seuraa jokaisen kappaleen kosteuspitoisuutta reaaliaikaisesti. Lajittelun tulosta valvotaan jatkuvasti, ja lisäksi tehdään eräkohtaisia mekaanisia taivutustestejä (EN 408) sekä kemiallisia analyysejä haitta-aineiden tunnistamiseksi. Näiden tulosten perusteella kappaleet luokitellaan lujuusluokkiin, kuten C18, C24 tai C30.



Neljäs vaihe on **sahatavaran prosessointi**. Tässä vaiheessa kappaleet höylätään lopullisiin mittoihinsa ja tarvittaessa yhdistetään sormijatkamalla pidemmiksi kokonaisuuksiksi. Liimaustekniikoiden avulla voidaan valmistaa myös liimapuuaihiota tai muita rakennusosia. Prosessoinnin tavoitteena on, että purkupuuta täyttää samat laatu- ja mittavaatimukset kuin uusi sahatavara ja on siten helposti hyödynnettävissä rakentamisessa.



Höyläyksellä saadaan vanhakin puu näyttämään uudelta. Sormijatkamisella lyhyetkin kappaleet voidaan hyödyntää ja samalla saadaan luja uudenveroinen rakenne.

Viides vaihe on **dokumentointi ja materiaalipassi**. Jokainen kappale kirjataan tietokantaan, johon tallennetaan sen mitat, luokka, alkuperä, linjakosteusmittarin tulokset, tehdyt testit ja prosessointivaiheet. Näin syntyy digitaalinen materiaalipassi, joka takaa materiaalin jäljitettävyyden ja hyväksyttävyyden markkinoilla.

Kuudes ja viimeinen vaihe on **markkinoille saattaminen**. Hyväksytyt kappaleet toimitetaan asiakkaille kantaviin rakenteisiin tai muihin käyttökohteisiin. Ei-kantaviin rakenteisiin ja sisustukseen soveltuvat erät ohjataan omiin tuoteryhmiinsä, ja sivutuotteet, kuten hylky, puru ja lastu, ohjataan energiakäyttöön tai komposiittien raaka-aineeksi.

23. Täydennetyt visuaaliset ohjeet purkupuun lujuuslajittelulle

INSTA 142 -standardi muodostaa edelleen perustan sahatavaran visuaaliselle lujuuslajittelulle. Purkupuun kohdalla standardi on kuitenkin täydennettävä, sillä käyttö ja purkutyö tuovat esiin erityisiä ominaisuuksia ja vaurioita, joita ei uudessa sahatavarassa esiinny.

Tässä raportissa esitetyt ohjeet rakentuvat INSTA 142:n pohjalle, mutta niihin on lisätty **purusta aiheutuvien ominaisuuksien raja-arvot** sekä **fysikaaliset tiheyden ja kosteuden rajat**. Näin lajittelu kattaa sekä puun luonnolliset kasvuperäiset ominaisuudet että käytön ja purun synnyttämät erityispiirteet.

Purkuun liittyvät erityispiirteet

Täydennykset koskevat erityisesti:

- **Naulanreiät ja kiinnikkeiden poistot** – sallittavuus riippuu reiän sijainnista ja siitä, syntykö särmän ylittäviä halkeamia.
- **Purkuhalkeamat** – lappeen tai syrjän halkeamat sallitaan vain rajoitetusti, eivätkä ne saa olla läpimeneviä tai poikkileikkauksen kantavuutta heikentäviä.
- **Mekaaniset vauriot ja purkukourien painaumat** – kriittinen uusi osa-alue: painaumat ja rikkoumat arvioidaan poikkileikkauksen säilymisen perusteella, ja korkeimmassa luokassa niitä ei sallita lainkaan.

Hygienia ja vauriot

Lisäksi ohjeet määrittelevät, että **pintahome on sallittu vain, jos se voidaan poistaa mekaanisesti** (harjaus tai höyläys). Sen sijaan **laho** johtaa aina hylkäykseen.

Yhteenvetona täydentävälle lajitteluohjeelle

24. Purkupuun eräkohtainen kosteuden ja tiheyden valvonta

Pääasiallinen kosteuden valvonta toteutetaan käytännössä **kalibroidulla piikkimittarilla (esim. Gann HT40)**. Mitataan **vähintään 2–3 kohtaa / kappale**, molemmista päistä + keskeltä, eräkohtaisesti.

Tiheyden määrittämisessä käytetään INSTA – 142 ohjeen mukaista keskimääräisen vuosikasvun mukaista ohjeistusta. Lustoväli toimii **kasvunopeuden ja tiheyden suuntaa-antavana indikaattorina**.

25. Visuaalinen lujuuslajittelu ja purkupuun erityispiirteet INSTA 142 -koulutuksessa

Visuaalinen lujuuslajittelu on keskeinen osa puutuotteiden laadunvarmistusta, erityisesti silloin, kun puuta käytetään kantavissa rakenteissa. Suomessa käytössä oleva INSTA 142 -standardi ohjaa visuaalista lujuuslajittelua ja määrittelee sallitut virheet, ominaisuudet ja niiden mittaustavat. Perinteisesti lajittelu on kohdistunut uuteen, sahattuun puutavaraan, mutta kasvavan kiertotalouspainotuksen myötä myös rakennuksista purettavan puutavaran (ns. purkupuun) hyödyntäminen on lisääntynyt.

Purkupuun lajittelu vaatii erityisosaamista, sillä materiaali voi sisältää piileviä tai visuaalisesti poikkeavia ominaisuuksia, jotka vaikuttavat lujuuteen. Näitä voivat olla esimerkiksi kosteusvauriot, naulojen tai ruuvien aiheuttamat vauriot sekä mekaaniset vauriot purkuvaiheessa.

INSTA 142 -standardin ohjeita voidaan täydentää purkupuun osalta lisäämällä erillisiä harjoituksia koskien mm.:

- kosteuspitoisuuden ja tiheyden arviointia (esim. HT-40-mittari, vuosiluston leveys)
- mekaanisten vaurioiden arviointia purkusahatavarassa
- taivutustestien tekemistä neitseellisellä sekä purkusahatavaralla
- NDT-laitteiden käyttöä ja tulosten dokumentointia

Purkupuun asianmukainen hyödyntäminen edellyttää, että visuaalisen lujuuslajittelun koulutuksissa käsitellään näitä erityispiirteitä. Kurssien tulee tarjota sekä teoreettista että käytännön osaamista: INSTA 142 -standardin tulkintaa purkupuun näkökulmasta, harjoituksia eri-ikäisillä ja vaurioituneilla näytteillä sekä keskustelua siitä, milloin purkupuuta voidaan hyväksyä kantaviin rakenteisiin ja milloin se tulee hylätä. Koulutuksessa tulisi käsitellä myös valokuva- ja mittauspohjaista dokumentointia, joka mahdollistaa jäljitettävyyden ja hyväksyttävyyden erityisesti työmaakohtaisessa käytössä.

Kiertotalouden edistäminen rakennusallalla ei onnistu ilman luotettavia ja käytännössä toimivia menetelmiä materiaalien uudelleenkäyttöön. Visuaalinen lujuuslajittelu purkupuun osalta on tärkeä askel kohti kestäväää ja resurssiviisasta puurakentamista. Tämä edellyttää jatkuvaa koulutusta ja osaamisen päivittämistä standardien mukaisesti – ja niiden täydentämistä silloin, kun uusi materiaalivirta sitä vaatii.

Purkupuun käyttö kantavissa rakenteissa ei tällä hetkellä kuulu CE-merkityn sahatavaran piiriin. Koulutuksessa tulee selvittää, missä tilanteissa purkupuuta voi olla vaihtoehto, ja mitä erillisiä arvioita tai vastuullisuuden toimenpiteitä se edellyttää rakennushankkeessa.

Suomen Sahayrittäjät ry on ottanut purkupuun lajittelun osaksi INSTA 142 -standardin mukaista visuaalista lujuuslajittelukoulutusta. Koulutuksessa käsitellään jatkossa purkupuun visuaalisen arvioinnin erityispiirteet, soveltuvuusluokituksen kriteerit sekä käytännön esimerkit. Tavoitteena on lisätä osaamista, varmistaa materiaalin turvallinen käyttö sekä edistää kiertotaloutta puurakentamisessa.

Purkupuun lujuuslajittelu edellyttää hyväksytysti suoritettua visuaalista lujuuslajittelukurssin, josta annetaan todistus viideksi vuodeksi kerrallaan.

TODISTUS

Testi Mikko
(xxxxx70-1234)

On osallistunut Suomen Sahavirtajien ry:n järjestämille ja Inspecta Kiwa Oy:n hyväksymälle INSTA 142 standardin (SFS 3878) mukaiseen näytölle. Ahvenaa olivat INSTA 142 ohjeen mukaisesti lajitusten valvuttavasta tekijästä sekä puun ominaisuudet lajituksen kannalta.

Lajittelujärjestelmän varmistaminen näytölle suoritettiin hien viikset lajitella ja leimata rakennusmateriaa varajohtoisuuden INSTA 142 – standardin mukaisiin lajitusluokkiin C30, C24, C18 ja C14 yrityksen laajennusjärjestelmän ohjeiden noudattamiseksi. Koulutuskeskus on laajennusjärjestelmän lajittelun ohjeistusta uudelleenkäytössä varten.

Oikeus on voimassa viisi vuotta suorituspäivästä lähtien.

Lajittelujärjestelmä on
Vnr 2356
Paikka ja päivämäärä
Lempäälä 19.10.2025

allkijöintokset

Joumi Salmi

Vastaava Kouluttaja

 **SUOMEN
SAHAVIRTAJAT**

www.sahavirtajat.fi

Todistus voidaan uusia vastaavalla lisäkoulutuksella, jolloin lajitteluoikeus jatkuu edelleen viiden vuoden jaksoissa. **Suomen Sahayrittäjät ry** on ottanut **purkupuun lajittelun** osaksi **INSTA 142 -standardin mukaista visuaalisen lujuuslajittelun koulutusta**. Koulutuksessa käsitellään purkupuun visuaalisen arvioinnin erityispiirteet, soveltuvuusluokituksen kriteerit sekä käytännön esimerkit. Tavoitteena on lisätä osaamista, varmistaa materiaalin turvallinen käyttö sekä edistää kiertotaloutta puurakentamisessa.

Puretun kohteen lajittelusta voidaan antaa rakennusvalvonnalle pöytäkirja lajittelun suorittamisesta sekä toimittaa puretun rakennuksen tarkemmat kohdetiedot sekä osoittaa INSTA – 142 lujuuslajitteluoideuden voimassaolo. Alla malli tarkastuspöytäkirjasta:

TARKASTUSPÖYTÄKIRJA	
Yrityksen / henkilön Nimi / Logo	
Olen suorittanut INSTA 142 -visuaalisen lujuuslajittelun kurssin pohjoismaisen standardin SF5 5878 (INSTA 142) mukaisesti. Lajittelu perustuu harmonisoitujen tuotestandardiin EN 14081-1:2005+A1:2011. Pohjoismaiset lujuusluokat (T), jotka on määritelty INSTA 142 -standardissa, muunnetaan eurooppalaisiksi lujuusluokiksi (C) standardien EN 338 ja EN 1912 perusteella. Kurssilla on lisäksi käsitelty purkupuun visuaalisen lujuuslajittelun erityispiirteet ja raja-arvot, mikä antaa valmiudet purkupuun lujuuslajittelun visuaaliseen toteuttamiseen.	
LAATU: PURKUPUU, erillisellä liitteellä puretun rakennuksen kohdetiedot tarkemmin.	
Nimike / Dimensio: 50*100 Määrä: 20m3 Tilaus nro. / tunniste 1	
Kosteus	16 %
	Visuaalinen lujuusluokka SF5 (5878 mukaan)
	C24
Paikka X.X.2025	
Allekirjoitus: _____	
Lajittelijatunnus: /	
Yrityksen osoite:	

26. Liitteenä puretulle sahatavaralle laadittu ohjeistus, jota käytetään yhdessä INSTA - 142 standardin ohjeita täydentämässä.

Tässä esitetty ohjeistus täydentää INSTA 142 -standardia ja sitä tulee käyttää yhdessä INSTA 142 standardin sekä sen määrittelemien ominaisuuksien raja-arvojen kanssa. Mikäli ohjeistus on ristiriidassa INSTA - 142 standardin ominaisuuksien raja-arvojen kanssa käytetään purkupuuhjeistoa.

PurkuPuu visuaaliset ohjeet lujuuslajittelulle TIIVISTETTY OHJEET

Ominaisuudet ja suurimmat sallitut viat, koot tai poikkeamat eri lujuusluokissa			
Naulan reiät, Oletuksena, että käytetään runkonaulan läpimittoja 2,1–4 mm			
Reiän sijainti ja suuntautuminen	Lujuusluokat		
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)
Lappeelta lappeelle Yksittäiset naulan reiät sekä naularyhmät	Ei rajoitusta		
Lappeelta lappeelle naulan reiät särmästä alle 10 mm	Sallitaan yksittäiset sekä vähäinen määrä naulanreiä, mikäli ei halkeamaa	sallitaan, mikäli ei särmän ylittävää halkeamaa	sallitaan, mikäli ei särmän ylittävää halkeamaa
Lappeelta syrjälle ja syrjältä lappeelle suuntautuvat naulan reiät	Sallitaan yksittäiset sekä vähäinen määrä naulanreiä, mikäli ei särmän ylittävää halkeamaa	Sallitaan yksittäiset sekä vähäinen määrä naulanreiä, mikäli ei särmän ylittävää halkeamaa	
Home/laho			
Hometta pinnassa Vihreitä, sinertäviä, harmaita tai mustia laikkuja pinnassa, usein pölymäistä	Pintahome sallittu, jos poistettavissa mekaanisesti harjauksen ja/tai höyläyksen avulla	Pintahome sallittu, jos poistettavissa mekaanisesti harjauksen ja/tai höyläyksen avulla	Pintahome sallittu, jos poistettavissa mekaanisesti harjauksen ja/tai höyläyksen avulla
Laho /valko- tai ruskealahot)	Ei sallita	Ei sallita	Ei sallita
Purkuhalkeamat ja mekaaniset purkuvaurio			
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)
Purusta aiheutuneet mekaaniset halkeamat	Sallitaan kappaleen lappeella, syvyys alle puolet kappaleen paksuudesta. Ei särmän ylittäviä.	Sallitaan kappaleen lappeella ja syrjällä, syvyys puolet kappaleen paksuudesta, ei särmän ylittäviä.	Sallitaan kappaleen lappeella ja syrjällä, ei läpimeneviä, ei särmän ylittäviä.
Purusta aiheutuneet kiinnikkeiden poiston halkeamat	Sallitaan, ei särmän ylittäviä	sallitaan, ei särmän ylittäviä	Sallitaan
Mekaaniset vauriot			
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)
Purusta aiheutuneet mekaaniset vauriot ja rikkoumat	Ei sallita	Poikkileikkauksen tulee olla ≥95 % ehjää. Purkukourien painaumat: eivät sallittuja.	Poikkileikkauksen tulee olla ≥95 % ehjää.
Kosteus ja tiheys			
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)
Kosteus	max. 18 % ok Yli 18 % kuivattava yli 24 % hylky	max. 18 % ok Yli 18 % kuivattava yli 24 % hylky	max. 18 % ok Yli 20 % kuivattava yli 24 % hylky
Vuosirengasväli	≤ 3 mm	max.3–4 mm	max.4–5 mm

Ominaisuudet ja suurimmat sallitut viat, koot tai poikkeamat eri lujuusluokissa				
OKSAT				
Oksan sijainti	Oksan koon suhde vastaavaan syrjään tai lappeeseen			
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Syrjäoksa	1/3	1/2	4/5	1/1
Lapeoksa	1/6	1/4	2/5	1/2
Poikaoksa (pysty sarvioksa)	Ei sallita lainkaan	Syrjällä sallitaan, kuten yksittäinen oksa, jos pituus ≤ kappaaleen leveys		Sallitaan
Oksasumma	Suurin sallittu koko on yhtä suuri, kuin suurimman sallitun syrjä- ja lapeoksan mittojen summa			
Parrujen oksat	1/5 (20 %)	2/5 (40 %)	3/5 (60 %)	4/5 (80 %)
Parrujen oksasumma	Enintään neljä kertaa suurimman sallitun yksittäisen oksan mittalukujen summa kaikissa luokissa			
VINOSYISYYS JA VUOSILUSTOT				
Vinosyisyys	Korkeintaan 1:10	Korkeintaan 1:8	Korkeintaan 1:6	Korkeintaan 1:4
Vuosilustojen väli	Keskiarvo enintään 4 mm	Keskiarvo enintään 6 mm	Keskiarvo enintään 8 mm	Ei rajoitusta
HALKEAMAT				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Kuivumishalkeamat, ei läpimenevät	Ei rajoitusta, jos halkeamien syvyys on enintään puolet sahatavaran paksuudesta			Sallitaan koko kappaleen pituudelta. Ei kuitenkaan läpimenevänä. Myös särmän leikkaavat.
Kuivumishalkeamat, yli puolet tavaran paksuudesta	Sallitaan enintään yksi metri, mutta ei enempää, kuin 1/4 kappaleen pituudesta		Sallitaan enintään 1,5 m; korkeintaan 1/2 pituudesta	
	Ei sallita särmää leikkaavia halkeamia			
Kuivumishalkeamat, läpimenevät	Sallitaan ainoastaan kappaleiden päissä, jos halkeaman pituus on enintään kappaleen leveys. Ei kuitenkaan pidempiä kuin 15 cm.			Kokonaispituus ≤ 0,5 m. Päissä ≤ 15 cm.
Kaatohalkeamat	Ei sallita			Vähäisiä
Rengashalkeamat	Ei sallita	Sallitaan leveys ≤ 50 mm (syvyys ≤ 25 mm) ja pituus ≤ 0,5 m		Sallitaan, jos pituus ≤ 1 m
LATVAMURTUMA, SYYHÄIRIÖ JA VAJAASÄRMÄ				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Latvamurtuma ja syyhäiriö	≤ 1/4 lappeen leveydestä keskellä (25 %)	≤ 1/2 lappeen leveydestä keskellä (50 %)		≤ 3/4 lappeen leveydestä (75 %)
Vajaasärmä	Kaikissa lujuusluokissa kappaleen poikkileikkauksessa työstytyjen pintojen on oltava vähintään 2/3 kappaleen reunoilla ja lappeella			

TOLERANSSIT koskevat 20 % kosteuspitoisuutta vastaavia mittoja. Keskimääräinen paksuus ja keskimääräinen leveys eivät saa alittaa tavoitemittoja				
Toleranssi luokka 1.		Sahattu rakennesahatavara		
Paksuus ja leveys	≤ 100 mm	- 1 mm	+ 3 mm	
	≥ 100 mm	- 2 mm	+ 4 mm	
Toleranssi luokka 2.		Höylätty / mitallistettu tavara		
Paksuus ja leveys	≤ 100 mm	- 1 mm	+ 1 mm	
	≥ 100 mm	- 1,5 mm	+ 1,5 mm	
Kosteuden ollessa alueella 20 – 30 %, lisätään nimellismittoihin 0,25 % kutakin alkavaa kosteuden lisääntymisprosenttia kohden. Vastaavasti kosteuden alittaessa 20 %, vähennetään nimellismitoista 0,25 % kutakin vähenevää kosteus% kohden				
LAPEVÄÄRYYS, SYRJÄVÄÄRYYS, KIEROUS JA KUPERUUS				
	T3 (C30) ja T2 (C24)	T1 (C18) ja T0 (C14)		
Lapevääryys	≤ 10 mm 2 metrin matkalla	≤ 20 mm 2 metrin matkalla		
Syrjävääryys	≤ 8 mm 2 metrin matkalla	≤ 12 mm 2 metrin matkalla		
Kierous	≤ 1 mm / 25 mm:n leveyttä kohti	≤ 2 mm / 25 mm:n leveyttä kohti		
Kuperuus	Ei rajoituksia missään luokassa			
Muotovika on riippuvainen kosteudesta ja voi siksi ajan kuluessa muuttua. Muotovika on usein riippuvainen myös puutavaran koosta ja sahaustavasta.				
SINISTYMÄT, VARIVIAT, SÄÄNVÄRIMUUTOS, KOVA JA PEHMEÄ LAHO				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Sinistymät ja väri- viat	Sallitaan kaikissa lujuusluokissa			
Säänvärimuutos	Sallitaan kaikissa lujuusluokissa			
Kova laho (alkava laho)	Ei sallita	Leveys ≤ 1/4 Pituus ≤ 0,5 m Syvyys < t		Sallitaan
Pehmeä laho	Sallitaan vain lahoissa oksissa			
LYLY, KÄSITTELYVAURIOT, PIHKATASKUT, PIHKAPUU, KAARNAROSO, KORO, KUORI, HYÖNTEISVAU- RIOT				
	T3 (C30)	T2 (C24)	T1 (C18)	T0 (C14)
Lyly (janhus)	Ei sallita, jos on odotettavissa muodon oleellisesti muuttuvan kuivuessaan. Jos ei muodonmuutok- sia, enintään 10 % poikkipinta-alasta.			Sallitaan ≤ 20 % poik- kipinta-alasta
Käsittelyvauriot	Ei sallita	≥ 95 % poikkileikkauksesta pitää olla vaurioitumatonta		≥ 85 % poikkileik- kauksesta ehjää
Pihkataskut	Sallitaan kaikissa luokissa			
Pihkapuu	Sallitaan kaikissa luokissa			
Kaarnaroso ja/tai koro	Leveys ≤ 1/5 Pituus ≤ 2xb Ei läpimenevä	Leveys ≤ 1/5 Pituus ≤ 3xb (b = leveys) Ei läpimeneviä		Sallitaan, mutta ei lä- pimenevää
Kuori	Ei sallita missään luokassa			
Hyönteisvaurio	Ei sallita			Vähän