

Jarno Silvast

PURKUPUUN UUDELLEENKÄYTÖN MAHDOLLISUUDET

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Teollinen puurakentaminen

2025



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Jarno Silvast
Työn nimi	Purkupuun uudelleenkäytön mahdollisuudet
Toimeksiantaja	Kira Circularis Hanke
Vuosi	2025
Sivut	66 sivua
Työn ohjaaja(t)	Marko Voutilainen, Verner Laari (Xamk) Saku Penttinen (Kuitulaboratorio)

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tarkastelee purkupuun uudelleenkäytön mahdollisuuksia rakennusallalla, erityisesti kiertotalouden näkökulmasta. Rakennus- ja purkujätettä syntyy huomattavia määriä vuosittain, josta toiseksi eniten on puujätettä. Oikeanlaisilla käsittelymenetelmillä ja selkeällä prosessilla se voi toimia arvokkaana raaka-aineena uudiskohteiden rakentamisessa, korjausrakentamisessa tai jopa sisustuselementtien valmistuksessa. Työn tavoitteena on kartoittaa purkupuun uudelleenkäytön liittyviä hyötyjä, haasteita sekä kehittämismahdollisuuksia.

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) teollisen puurakentamisen laboratoriossa tutkittiin purkukohteesta saatua purkupuuta. Tavoitteena oli selvittää, onko puun lujuus muuttunut vuosien varrella siten, että se vaikuttaisi materiaalin uudelleenkäytettävyyteen. Purkukohteena oli 1960-luvulla rakennettu Armilan U-koulu, joka sijaitsee Lappeenrannassa. Tutkimus toteutettiin case-tutkimuksena, jossa selvitettiin purkupuun käsittelyyn, lajitteluun, lainsäädäntöön, taloudellisuuteen ja ympäristövaikutuksiin liittyviä näkökulmia.

Kestävän kehityksen ja kiertotalouden periaatteiden nouseminen yhteiskunnalliseen keskusteluun voimakkaammin on korostanut tarvetta entistä enemmän materiaalin uudelleenkäytölle. Suomi on asettanut kunnianhimoisia ilmastotavoitteita, joiden saavuttaminen edellyttää rakennusalan siirtymistä kohti ympäristön kannalta kestävämpiä vaihtoehtoja ja ratkaisuja. Purkupuun uudelleenkäyttö on yksi konkreettinen ratkaisu, jolla voidaan vähentää neitseellisen puuaineksen tarvetta, pienentää rakennus- ja purkualan hiilijalanjälkeä sekä luoda uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Opinnäytetyön tulokset osoittivat, että 1960-luvun rakennuksesta purettu puu voi säilyttää riittävät lujuusominaisuudet uudelleenkäyttöä varten, mikäli se on hyväkuntoista eikä sisällä biologisia tai mekaanisia vaurioita. Purkupuua voi soveltaa uudelleen kohteisiin, kun sen laatu varmistetaan luotettavilla menetelmillä. Työssä tuli esiin, että suurimmat haasteet purkupuun hyödyntämiselle liittyvät lainsäädännön puutteisiin, teknisiin haasteisiin ja taloudelliseen kannattavuuteen. Purkupuun uudelleenkäyttö on mahdollista, mutta sen yleistymisen vaatii selkeämpää sääntelyä ja laajempaa alan yhteistyötä.

Asiasanat: uudelleenkäyttö, purkupuua, kiertotalous, lainsäädäntö

Degree title	Insinööri
Author (authors)	Jarno Silvast
Thesis title	Possibilities for the reuse of demolition wood
Commissioned by	Kira Circularis Hanke
Time	2025
Pages	66 pages
Supervisor	Marko Voutilainen, Verner Laari (Xamk) Saku Penttinen (Kuitulaboratorio)

ABSTRACT

This thesis examines the possibilities of reusing demolition wood in the construction industry, especially from the perspective of the circular economy. Significant amounts of construction and demolition waste are generated annually, the second most of which is wood waste. With the right processing methods and a clear process, it can serve as a valuable raw material in new construction projects, renovation sites or even in the creation of interior design elements. The objective of the thesis is to identify the benefits, challenges and development opportunities related to the reuse of demolition wood.

The industrial wood construction laboratory of the South-Eastern Finland University of Applied Sciences (Xamk) studied demolition wood from the demolition site. The aim was to determine whether the strength of the wood has changed over the years to affect the reusability of the material. The demolition site was the Armila U-school built in the 1960s, located in Lappeenranta. The study was carried out as a case study investigating aspects related to the processing, sorting, legislation, economy and environmental impacts of demolition wood.

The stronger emergence of the principles of the sustainable development and the circular economy in the social debate has highlighted the need for more reuse of material. Finland has set ambitious climate targets, the achievement of which requires the construction sector to move towards more environmentally sustainable alternatives and practices. The reuse of demolition wood is one concrete solution that can reduce the need for virgin wood. Reduce the carbon footprint of the construction and demolition industry and create new business opportunities.

The results of the thesis showed that wood extracted from a building in the 1960s can retain sufficient strength properties for reuse. If it is in good condition and does not contain biological or mechanical damage. Demolition wood can be reused to structural objects when its quality is ensured by reliable methods. The work revealed that the biggest challenges to the utilisation of demolition wood are related to legislative shortcomings, technical challenges, and financial incentives. It is possible to reuse demolition wood, but its proliferation requires clearer regulation and wider cooperation in the field.

Keywords: reuse, demolition wood, circular economy, legislation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Tutkimuksen tausta.....	8
1.2	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet.....	8
1.3	Rajaus	9
2	PURKUPUU	9
2.1	Purkupuun määrä ja yleisimmät lähteet.....	9
2.2	Purkupuun lajittelu ja luokittelu	11
2.3	Laadunvarmistusmenetelmät.....	11
2.3.1	Lujuuslajittelun tarkoitus.....	12
2.3.2	Visuaalinen lujuuslajittelu.....	13
2.3.3	Koneellinen lujuuslajittelu.....	13
2.3.4	Rikkomattoman aineenkoetus (Non-destructive testing, NDT)	14
3	LAINSÄÄDÄNNÖT, STANDARDIT JA TUOTEHYVÄKSYNTÄMENETTELYT.....	15
3.1	Uusi rakentamislaki.....	15
3.2	Jätelainsäädäntö.....	16
3.3	Tuotehyväksyntämenettelyt	19
3.3.1	Tyyppihyväksyntä	19
3.3.2	Varmennustodistus	19
3.3.3	Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen	20
4	PURKUPUUN HAASTEET UUDELLEENKÄYTÖSSÄ	21
4.1	Lainsäädännölliset haasteet	21
4.2	Tekniset haasteet	23
4.3	Taloudelliset haasteet.....	24
5	UUDELLEENKÄYTTÖ MAHDOLLISUUDET.....	26
6	KÄYTÄNNÖN ESIMERKKEJÄ	31
6.1	Spolia Design Oy.....	31
6.1.1	Kalusteiden ja sisustuselementtien valmistus purkupuusta	31

6.1.2	Lattiat.....	32
6.1.3	Sisä- ja ulkoverhous	33
6.2	Spolia Design Oy:n Closing loops -hanke.....	33
6.3	Tukholman Östermalmshallen kauppahalli	36
6.4	Starkin ”Rewood” pilotti.....	38
7	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	39
7.1	Tutkimuksessa käytetty laitteisto	42
7.2	Tutkimuksen lähtötietoja	42
7.3	Tutkimuksen suorittaminen	46
8	TULOKSET.....	47
9	YHTEENVETO	53
10	POHDINTA.....	54
	LÄHTEET.....	56
	KUVALUETTELO	62
	TAULUKKOLUETTELO.....	66

KÄSITTEET

Delaminointitesti

Delaminointitestin avulla varmistetaan, että ristiinliimattu puutavara (Cross Laminated Timber) levyjen liimasaumat kestävät pitkäaikaisen kosteus- ja lämpörasituksen

Kimmomoduuli

Kuvaa, kuinka jäykkää materiaali on.

Leikkauslujuus

Tarkoittaa materiaalin kykyä kestää leikkaavaa voimaa murtumatta sivuttais-suunnassa.

Mikrobiviljely

Testin avulla selvitetään, onko puussa mikrobikasvustoa, kuten hometta.

Neitseellinen puumateriaali

Puhdas ja käsittelemätön puu, jota ei ole aikaisemmin käytetty.

Taivutuslujuus

Tarkoittaa materiaalin kykyä kestää murtumatta tai vahingoittumatta kuorman alla.

Vetolujuus

Tarkoittaa materiaalin kykyä kestää vastakkaisiin suuntiin vetävää voimaa.

1 JOHDANTO

Rakennuksia korjataan, puretaan ja uudelleenrakennetaan jatkuvasti, jonka seurauksena vuosittain syntyy huomattava määrä rakennus- ja purkujätettä. Rakentaminen vastaa kolmasosaa Suomen ilmastopäästöistä ja tuottaa kaitosteollisuuden jälkeen toiseksi suurimman määrän jätettä (Nousiainen 2024, 3). Merkittävä osa tästä on puujätettä, jonka määrä on noin 250 000–300 000 tonnia vuodessa (Suomen ympäristökeskus 2024a). Talonrakentamisen osuus rakentamisen kokonaisjättemäärästä on noin 10 prosenttia, josta valtaosa syntyy korjaus- ja purkutoiminnan yhteydessä (Ympäristöhallinnon verkkopalvelu 2024). Suomessa on käynnissä purkubuumi, joka on lähes kaksinkertaistunut runsaassa kymmenessä vuodessa ja yhä nuorempia rakennuksia puretaan tai on purku-uhan alla (Yle 2024).

Kiertotalous on viime vuosina nousut keskeiseksi puheenaiheeksi sekä kansainvälisellä, että kansallisella tasolla, kun etsitään kestäviä ratkaisuja luonnonvarojen hupenemiseen, ilmastonmuutokseen ja jäteongelmiin. Rakentaminen ja nimenoman rakennusten purkaminen aiheuttavat merkittävän osuuden maailmanlaajuisista jätevirroista. Tämän vuoksi rakennusalan materiaalien tehokas kierrättäminen ja uudelleenkäyttö ovat nousseet tärkeiksi keinoiksi vähentää ympäristölle kohdistuvaa kuormitusta. (Nousiainen 2024.) Yksi erityisen mielenkiintoinen materiaali on purkupuuhun, jota syntyy rakennuksista purkutöiden yhteydestä. Purkupuulla on huomattava määrä potentiaalisia käyttökohteita, mutta sen kerääminen, lajittelu, kelpoisuuden osoittaminen ja uudelleenkäyttö vaativat perehtymistä sekä hyviä logistiikan ja suunnittelun ratkaisuja.

Purkupuuhun ja sen uudelleenkäyttöön on alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota vahvistuvan kiertotalousajattelun myötä. Aiemmin purkupuuta on monesti pidetty vähäarvoisena tai pelkkänä polttoaineena energian tuotannossa. Kiristyvät ympäristömääräykset ja valtioneuvoston asetus jätteistä 18.11.2021/978, 4. luku 27. § tavoitteena on hyödyntää rakennus- ja purkujätteestä 70 % muutoin kuin polttoaineeksi ja energiaksi sekä EU:n jätepuitedirektiivi 19.11.2008/98 vuoteen 2020 mennessä rakennus- ja purkujätteelle jäi saavuttamatta. Vuonna 2022 rakennus- ja purkujätteestä hyödynnettiin materiaalina vain 54 %, mikä alittaa EU:n asettaman tavoitteen (Suomen ympäristökeskus 2024a).

1.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksen tausta syntyi kesällä 2024, kun olin mukana Hessundin sillan testiraportissa, jonka tarkoituksena oli osoittaa muottipurkupuun lujuuslajitellun materiaalin uudelleenkäytön mahdollisuuksia. Kohteessa teimme visuaalisen lujuuslajittelun käyttäen pohjoismaista lujuuslajittelun standardia SFS 5878 INSTA 142 - Sahatavaran lujuuslajittelun pohjoismaiset säännöt. Standardin mukaisesti sahatavara lajiteltiin lujuusluokkiin C30, C24, C18 ja C14. Sahatavara kappaleille suoritettiin neljän pisteen taivutustesti EN 408 mukaisesti, josta saatiin arvot jäykkyydelle ja taivutuslujuudelle. Testissä haluttiin tietää vaikuttaako sahatavaran lujuuteen muun muassa mekaaninen vaurio, kuten naularykelmät tai naulapaikka. Tutkimuksen seurauksena syntyi idea opinnäytetyöhön.

1.2 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella purkupuun uudelleenkäytön mahdollisuuksia sekä tuoda esiin haasteita, jotka vaikuttavat purkupuun hyödyntämiseen rakennusalalla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää 1960-luvulla rakennetun Lappeenrannan Armilan U-koulun purkukohteesta saadun purkupuun kunto, onko puun lujuusominaisuuksiin tullut minkäänlaista vaikutusta ajan kuluessa, jotka vaikuttaisivat sen uudelleenkäytettävyyteen.

Tutkimuskohteen purkutyöt toteutti Suomen Purkutekniikka Oy, joka on erikoistunut monipuoliseen purkamiseen ja kierrätyksen edistämiseen lajittelevan purkamisen avulla. Purkutyössä syntyvät jätteet vietiin lopuksi virallisiin vastaanottopisteisiin. Testaaminen tapahtui Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (Xamk) puulaboratoriossa yhteistyössä Kira Circularis -hankkeen kanssa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on vahvistaa tietoisuutta purkupuun merkityksestä osana kiertotaloutta ja kannustaa alan toimijoita hyödyntämään purkupuun materiaalia entistä tehokkaammin. Näin voidaan samalla luoda edellytykset uusille liiketoimintamahdollisuuksille ja lisätä ympäristövastuullisuutta rakentamisessa.

1.3 Rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään rakennuksista puretun puumateriaalin eli purkupuun uudelleenkäyttömahdollisuuksiin. Työssä tarkastellaan, millä tavoin purkupuuta voidaan hyödyntää ja mitä haasteita purkupuun hyödyntämiseen liittyy. Otetaan huomioon lainsäädännöllisiä reunaehtoja, ympäristö ja taloudellisia vaikutuksia. Työssä ei käsitellä muiden purkumateriaalien, kuten betonin, tiilen tai teräksen uudelleenkäyttöä, vaan tutkimus keskittyy nimenomaan puumateriaaliin sekä siihen liittyviin ominaisuuksiin, käsittelymenetelmiin ja viranomaismääräyksiin.

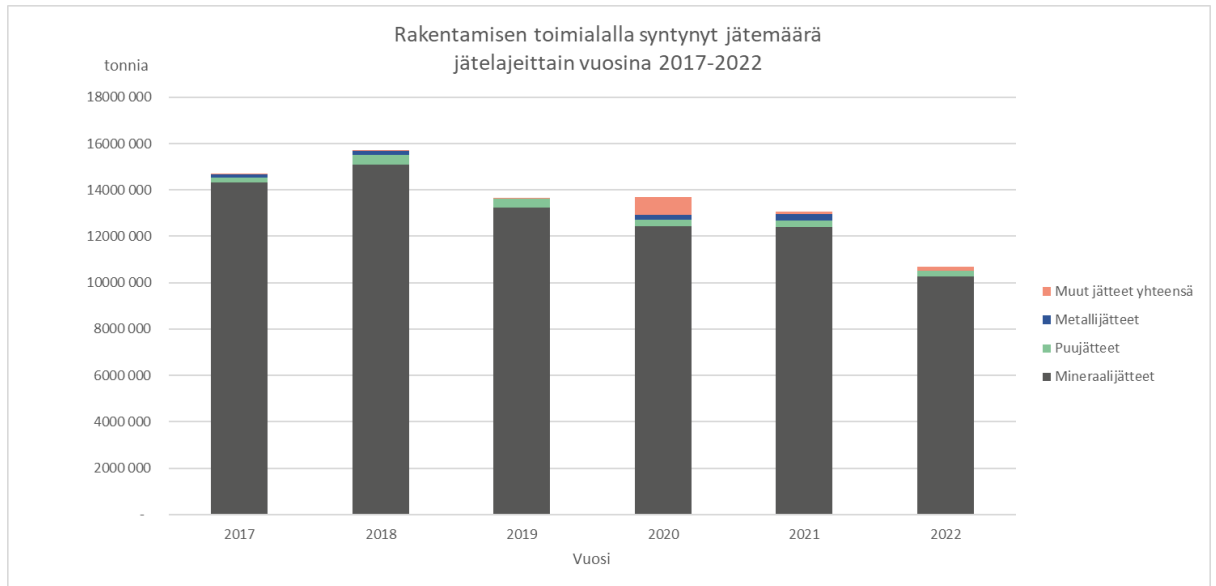
2 PURKUPUU

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n (2014, 4) tutkimusraportin mukaan tilastokeskuksen luokituksessa purkupuuta (3232) erotetaan puhtaasta kierrätyspuusta (315) sen vuoksi, että purkupuuta sisältää usein muun muassa pinnoitteita tai muita epäpuhtauksia. Purkupuuta tarkoitetaan rakennusten ja yleisesti rakenteiden purkamisesta syntyvää puumateriaalia.

Purkupuuhun voidaan lukea monenlaisia puumateriaaleja, kuten hirsiä, paneelleja, sahatavaraa, ovia, ikkunoiden karmeja, liimapuupalkkeja- ja pilareita, sekä runkotavaraa, joiden uudelleenkäyttö sellaisenaan tai jatkojalostamista uusiin tarkoituksiin. Purkupuuta eroaa niin sanotusta neitseellisestä puumateriaalista sisältämiensä pintakäsittelyaineiden, mahdollisten vaurioiden ja erilaisten kiinnikkeiden tavoin. (Häkämies ym. 2019, 30–31.)

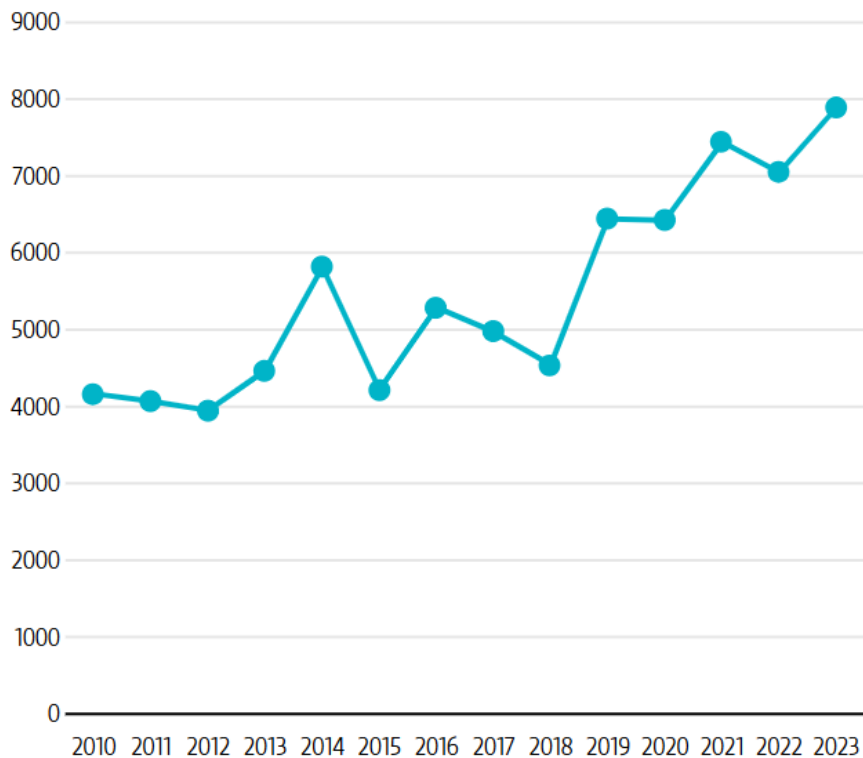
2.1 Purkupuun määrä ja yleisimmät lähteet

Rakentamisen ja rakennusten purkamisen yhteydessä syntyy vuosittain huomattavia määriä purkupuuta tai puujätettä, joka voisi olla potentiaalisesti uudelleenkäyttöön soveltuvaa. Suomen ympäristökeskuksen (2024a) mukaan vuonna 2022 valtaosa rakentamisen jätteistä oli mineraalijätettä 96 % ja toiseksi eniten oli puujätettä 248 000 tonnia kuva 1. Pääosan luvuista muodostaa korjaus- ja purkutoiminta.



Kuva 1. Rakentamisen jätteet (Suomen ympäristökeskus 2024)

Purkupuuta syntyy paljon ja syynä tähän on lähes kaksinkertaistunut rakennusten purkaminen kuva 2. Suomessa purettiin vuonna 2010 yli 4 000 rakennusta, kun vuonna 2023 määrä nousi lähes 8 000 rakennukseen. (Yle 2024.)



Kuva 2. Suomessa puretut rakennukset (Yle 2024)

2.2 Purkupuun lajittelu ja luokittelu

Puretun puutavaran uudelleenkäyttö vaatii huolellista lajittelua poikkileikkauksen, pituuden, pintakäsittelyiden ja vikojen suhteen. Koska purettu puutavara on vaihtelevaa, olisi luontevampaa perustaa lajittelu tiettyihin vaihteluväleihin tarkkojen mittojen sijaan, jotka määrittävät uudelleenkäyttökohteiden edellytysten mukaan. (Huuhka ym. 2018, 60.)

Neitseellisen puutavaran luokittelussa painotetaan ennen kaikkea oksaisuutta ja muita mekaanisia ja biologisia vikoja sekä korkeimpien laatuluokkien vaatimukset ovat suurelta osin visuaalisia. Tämä luokittelu ei kuitenkaan sovellu käytetylle puutavaralle. Purettu puutavara olisi kehitettävä oma laatu- ja lujuusluokittelu, joka soveltuu uudelleenkäytön tyypillisiin vikoihin. (Huuhka ym. 2018, 60.)

Kiertokapula Oy (s.a.) on jätehuolto-yhtiö, joka lajittelee puujätteen kahteen kategoriaan, puhtaaseen puuhun ja purkupuuhun. Puhdas puujäte saa sisältää pieniä määriä ruuveja, nautoja ja saranoita, ja myös lahonnut puu kelpaa puhtaan puun kategoriaan. Purkupuusta saa sisältää myös ruuveja, nautoja, saranoita ja muita mekaanisia epäpuhtauksia myös lahonnut kelpaa purkupuun luokkaan.

Suuremmat määrät purkupuuta sekä puhdasta puuta toimitetaan suoraan hyötyjätekentälle, missä kummallekin jakeelle on omat keräyspaikat tai kasat. Tällä menettelyllä varmistetaan, että materiaalit voidaan ohjata mahdollisimman tehokkaaseen kierrätykseen tai hyötykäyttöön. (Kiertokapula s.a.)

2.3 Laadunvarmistusmenetelmät

Purkupuun kelpoisuuden osoittaminen tulisi aina teettää rakennesuunnittelijalla tai muulla riittävän pätevällä asiantuntijalla, joka arvioi puun kunnan alkuperäisessä kohteessa. Arvioinnissa selvitetään puuhun kohdistuneet rasitukset, kosteus- ja mikrobivauriot. Purun aikana syntyneet sekä mahdollisesti vanhojen kiinnitysten aiheuttamat vauriot, jotka vaikuttaisivat alkuperäisiin lujuus- ja kantavuusominaisuuksiin. Tämä tarkoittaisi rakennuspaikkakohtaista hyväksyntää ja asiantuntijalausuntoja. (Kouvola Innovation, Ytekki Oy s.a., 11.)

2.3.1 Lujuuslajittelun tarkoitus

Lujuuslajittelun tarkoitus on varmistaa, että puutavara täyttää sille asetetut tekniset ja turvallisuuteen liittyvät vaatimukset. Lujuuslajittelulla varmistetaan, että lajitellun puutavaran ominaisuudet, kuten lujuus- ja jäykkyysominaisuudet riittävät. Puun lujuuteen vaikuttaa merkittävästi se, mihin suuntaan kuormitus kohdistuu suhteessa puun syihin. Syiden suuntaisessa kuormituksessa taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyteen. Virheettömällä ja tasa-aineisella puulla taivutuslujuus vastaa vetolujuutta. (Puuinfo Oy 2020a; Puutavaraopas 2023, 7–8.)

Puulla on huomattavasti suurempi vetolujuus syiden suunnassa kuin kohtisuoraan syitä vastaan. Tyypillisesti ero on 10–20 kertainen. Leikkauslujuus on puolestaan vain 10–15 % syiden suuntaisesta vetolujuudesta ja sitä heikentävät erityisesti oksat, halkeamat ja muut esiintyvät viat. (Puutavaraopas 2023, 7–8.)

Puun kimmoisuus ja kulutuskestävyys paranevat puun tiheyden kasvaessa. Kimmomoduuli voi syiden suunnassa olla jopa satakertainen verrattuna arvoon, joka mitataan kohtisuorassa syitä vastaan. Lisäksi säteen suunnassa kimmomoduuli on noin kaksinkertainen verrattuna tangentin suuntaiseen arvoon. (Puutavaraopas 2023, 7–8.)

Puun tiheys on suoraan yhteydessä sen lujuuteen, mitä tiheämpää puu, sitä lujempaa se on. Hidas kasvu tuottaa tiheää puuainesta ja esimerkiksi männynssä sydänpuun osuus kasvaa iän myötä. Koko tuotantoketju metsästä rakennuskohteeseen puun valinnasta, kaadosta ja kuivauksesta vaikuttavat lopulliseen laatuun. Nykyisin rakennuspuu kaadetaan usein huomattavasti nuorempana, eikä sen käsittely ole yhtä huolellista kuin perinteisessä rakentamisessa. Tämän vuoksi sata vuotta vanhasta rakennuksesta purettu puu, joka on alun perin saatu 200-vuotiaasta hongasta, on usein tiheämpää, lujempaa ja lahokestävää kuin uusi neitseellinen puutavara. (Huuhka ym. 2018, 40.)

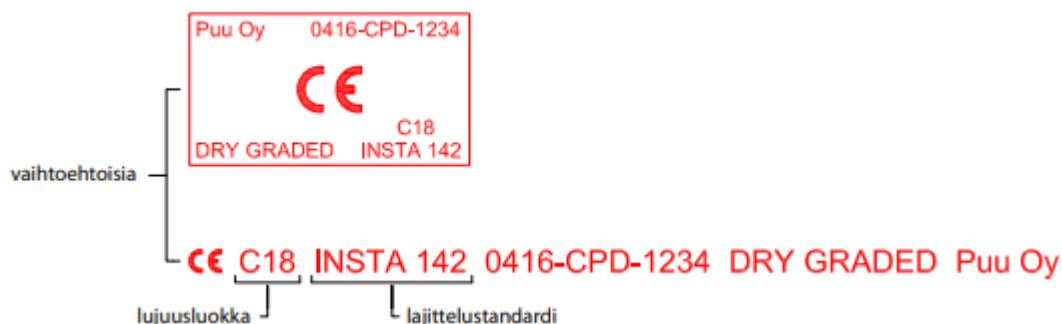
Koska puun ominaisuuksiin vaikuttavat kasvunopeuden ja iän lisäksi myös ilmasto ja kasvupaikka. Tästä syystä saman lajin tiheys ja sydänpuu väri voivat

vaihdella merkittävästi. (Saranpää 1997, 86.) Puun ominaisuudet voivat vaihdella merkittävästi monien eri tekijöiden vaikutuksesta, minkä vuoksi puu on järkevä lajitella tulevan käyttötarkoituksen mukaan. Lajittelussa kiinnitetään huomiota kahteen pääasiaan, kuten puun ulkonäköön ja lujuusteknisiin ominaisuuksiin. Noin 90 % puun laatu- ja lujuuskriteereistä liittyy oksien kokoon, määrään ja sijaintiin. Lujuuslajittelu on yleinen laadunvarmistusmenetelmä, joka voidaan toteuttaa puulle joko visuaalisesti tai koneellisesti. (Puuinfo 2020b; Puutavaraopas 2023, 21.)

2.3.2 Visuaalinen lujuuslajittelu

Visuaalinen lujuuslajittelu perustuu kappaleen silmämääräiseen tarkasteluun, jossa kiinnitetään huomiota esimerkiksi halkeamiin, laatuun, oksien määrään ja sijaintiin sekä kierouteen, vääryyteen ja muihin mahdollisiin vikoihin, joka ei täytä lujuuslajittelun vaatimuksia. (RT 21-11288: 2017, 8.)

Visuaalinen lujuuslajittelu on tärkeä työkalu laadunvarmistuksessa, mutta sen rinnalla tarvitaan usein myös muita menetelmiä kelpoisuuden osoittamiseksi. (Sahateollisuuskirja s.a.)



Kuva 3. Visuaalisen lujuuslajittelun leima (RT 21-11288: 2017)

2.3.3 Koneellinen lujuuslajittelu

Perinteinen koneellinen lujuuslajittelumenetelmä tarkoittaa kappaleen taivuttamista, minkä tuloksena määritetään kimmomoduuli ja sen perusteella lujuusluokka. Nykyään on kuitenkin saatavilla myös huomattavasti kehittyneempiä koneellisia lujuuslajittelumenetelmiä, kuten konenäkö-, ominaistaajuus-, röntgen- ja ultraäänimittaus. (RT21-11288: 2017, 8.)



Kuva 4. Koneellisen lujuuslajittelun leima (RT21-11288: 2017)

2.3.4 Rikkomattoman aineenkoetus (Non-destructive testing, NDT)

NDT-menetelmällä (Non-destructive testing) tarkoitetaan materiaalien ja rakenteiden fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien sekä mahdollisten vi-
kojen tutkimista ilman, että materiaali tai rakenne vahingoittuu ja pysyy eh-
jänä. Kun NDT:tä hyödynnetään jo varhaisessa vaiheessa, voidaan puretta-
van rakenteen osiin purkaminen toteuttaa entistä tarkemmin. Tämä mahdollis-
taa laadun saavuttamisen energia- ja kustannustehokkaammin sekä nopeam-
min. Lisäksi menetelmä on hyödyllinen sekä työnlaadun varmistamisessa, että
tulevan käytön turvallisuuden arvioinnissa. Suurimpana etuna on mahdollisuus
määrittää testatun puumateriaalin parametrejä ja fyysisiä ominaisuuksia missä
tahansa vaiheessa rakenteen elinkaarta. (Seidl ym. 2024.)

Seidelin ym. (2024) mukaan puumateriaalin lujuus- ja tiiveysominaisuuksien
analysointi ja testaus on ratkaisevassa asemassa, jos materiaalia halutaan
uudelleenkäyttää. Uudelleenkäytön päätöksentekoon NDT-menetelmä antaa
tarvittavan tiedon valikoivan purkamisen mahdollisuuksista sekä auttaa tehos-
tamaan uudelleenkäyttöskenaarioita puulle. Purkupaikalta otetun puun lajitte-
lua voidaan tarkentaa NDT-testauksella sekä määrittää puun mekaanisia omi-
naisuuksia suoraan kohteessa. Tämä tehostaa purkamisen suunnittelua ja
puun uudelleenkäyttö mahdollisuuksista saa mahdollisimman todenmukaisen
kuvan.

Rakennusmateriaalien kierrätyksen yleistyessä perinteiset puun lujuusomina-
isuuksien mittaussuunnitelmat, kuten kolmen tai neljän pisteen taivutus eivät
enää vastaa nykypäivän vaatimuksia. Ne muuttavat puun rakenteellisia omi-
naisuuksia niin, että testattavaksi valittu kappale ei enää sovellu uudelleen-
käyttöön. (Seidl ym. 2024.)

3 LAINSÄÄDÄNNÖT, STANDARDIT JA TUOTEHYVÄKSYNTÄMENETTELYT

3.1 Uusi rakentamislaki

1.1.2025 vuoden alusta voimaan tullut rakentamislaki 751/2023 korostaa purkumateriaalien, kuten purkupuun, uudelleenkäytön ja kierrätyksen merkitystä. Uusi rakentamislaki 751/2023 korvaa vaiheittain maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132 vuosien 2025–2026 aikana (Rakennustieto 2025).

Uuden rakentamislain 21.4.2023/751, 5. luku 56. §:n mukaan purkuluvan myöntämisen edellytyksenä on, ettei kaavoitukselle aiheudu haittaa purkamisesta tai rakennetun ympäristön suojelulle. Erityisesti alueilla, joilla rakennukset ovat menettäneet suurimman osan arvostaan, purkaminen on sallittua, jos se johtaa merkittävään purkumateriaalien uudelleenkäyttöön tai kierrätykseen. Tällöin luvan hakijan on esitettävä selvitys purkutyön järjestämisestä sekä rakennusjätteen käsittelystä ja käyttökelpoisten rakennusosien uudelleenkäytöstä.

Uusi rakentamislaki painottaa entistä voimakkaammin kiertotalouden edistämistä, digitalisaation roolia rakentamisessa ja ilmastonmuutoksen hillintää. Erityisen tärkeäksi nousee rakentamislain 751/2023, 4. luku, joka määrittelee rakennusten olennaiset tekniset vaatimukset. Näihin kuuluvat rakenteen lujuus- ja vakausvaatimukset, paloturvallisuus, terveellisyys, melutaso ja energiatehokkuus vaatimukset. Kaikki ovat olennaisia näkökulmia myös rakenteellisten puutuotteiden uudelleenkäytön kannalta. Nämä vaatimukset korostavat rakentamisen kokonaisvaltaista vastuullisuutta. (Ranttila 2024, 19–20.)

Rakentamislaki, 4. luku 39. § painottaa rakennuksen elinkaariominaisuuksien ekologisuutta ja pitkäikäisyyttä. Tämä sisältää vaatimuksen kiinnittää huomiota rakennusosien purettavuuteen ja uudelleenkäytettävyyteen, mikä edistää purkumateriaalien, kuten puun tehokasta hyödyntämistä uudelleen.

Vuoden 2025 alusta voimaan tullut rakentamislaki edellyttää, että rakentamislupaa haettaessa hakija toimittaa selvityksen hankkeessa syntyvistä purkumateriaaleista, rakennuspaikalta pois kuljettavista maa- ja kiviaineksista sekä mahdollisesti esiintyvistä vaarallisista aineista. Nämä tiedot on

toimitettava Rapu-selvitystietojärjestelmään, jonka tavoitteena on tehostaa purkumateriaalien laadukasta kierrätystä ja uudelleenkäyttöä. (Suomen ympäristökeskus 2024b)

Ympäristöministeriön asetus purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksestä 1089/2024 5. § mukaan purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitykseen on sisällytettävä seuraavat tiedot:

- 1) *Pysyvä rakennustunnus tai vastaava kohdetunniste;*
- 2) *Rakentamishankkeeseen ryhtyvän tunnistetiedot;*
- 3) *Hankkeen tyyppi;*
- 4) *1 §:ssä tarkoitetut tiedot purkumateriaaleista;*
- 5) *2 §:ssä tarkoitetut tiedot vaarallisia aineita sisältävistä purkumateriaaleista;*
- 6) *3 §:ssä tarkoitetut tiedot maa- ja kiviaineksista;*
- 7) *4 §:ssä tarkoitetut tiedot pois kuljetetuista rakennus- ja purkujätteistä;*
- 8) *Päiväys; sekä*
- 9) *Selvityksen laatijan nimi.*

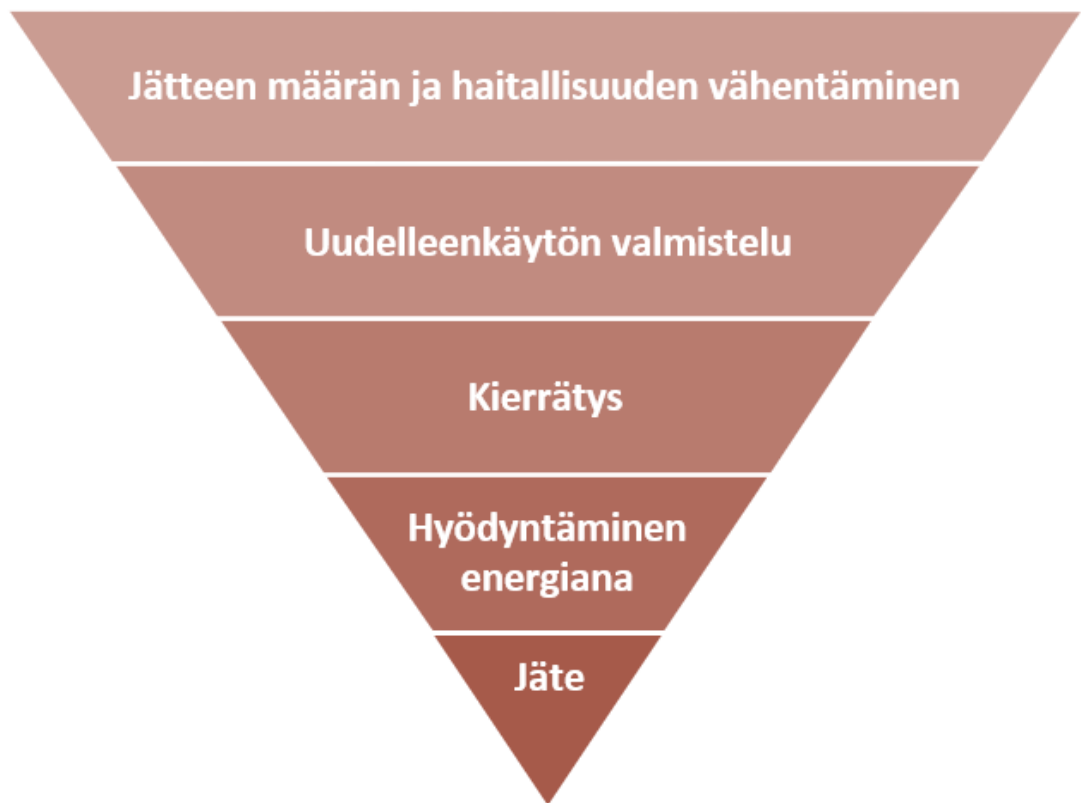
Nämä seuraavat tiedot tulee vähintään ilmoittaa 4 §:n 1 momentissa tarkoitettuun rakennustietovarantoon. Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämään tietokantaan.

Vaikka lainsäädäntö tukee purkumateriaalien uudelleenkäyttöä, Suomessa purkupuun hyödyntäminen on edelleen vähäistä. haasteina ovat kestävän purkutyön korkeammat kustannukset ja prosessin hitaus sekä neitseellisen puumateriaalin hyvä saatavuus, mikä tekee purkupuun käytöstä taloudellisesti vähemmän houkuttelevaa. Purkuyritykset näkivät haasteena myös mahdollisesti uudelleenkäyttöön kelpaavien osien markkinointiin riittämätön aika. (Karelia s.a.)

3.2 Jätelainsäädäntö

Jätelaki 17.6.2011/646 sekä sitä täydentävä lainsäädäntö, valtioneuvoston asetus jätteistä 978/2021 ohjaavat rakennus- ja purkujätteiden käsittelyä. Tavoitteena on edistää kiertotaloutta, vähentää jätteen määrää ja lisätä materiaalien uudelleenkäyttöä sekä kierrätystä.

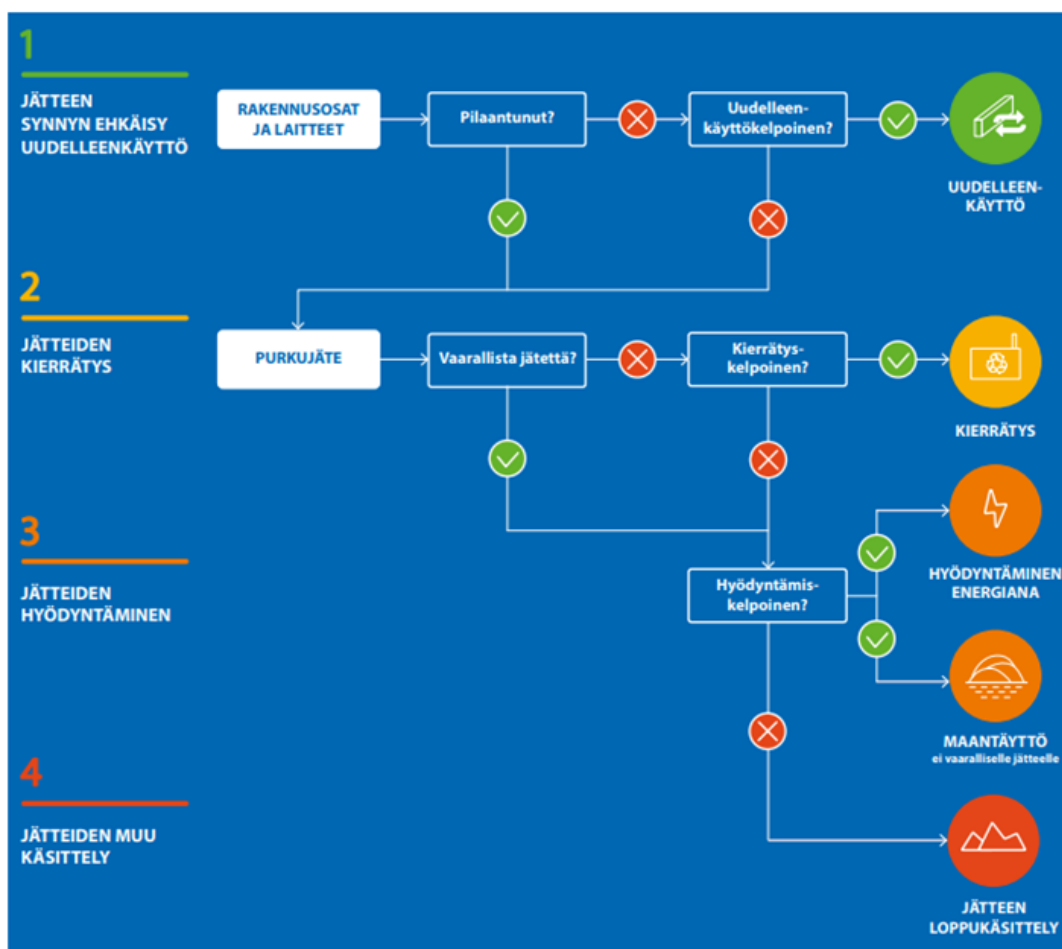
Suomen jätelain, 2. luvun 8. §:n keskeinen periaate on etusijajärjestys, jonka mukaan ensin pyritään vähentämään mahdollisimman paljon jätteen määrää ja haitallisuutta. Mikäli jätettä kuitenkin syntyy, se tulisi ensisijaisesti valmistella uudelleenkäyttöön tai vaihtoehtoisesti kierrättää. Jos kierrätys ei ole mahdollista jätte tulisi hyödyntää muulla tavalla, kuten energiana. Vasta viimeisenä keinona jäte päätyy loppukäsittelyyn. Kuvassa 5 on esitetty Suomen jätelain-säädännön etusijajärjestys.



Kuva 5. Jätehierarkian pyramidi eli etusijajärjestys (Puuinfo Oy 2023)

Jätelain, 2. luvun 11a. § mukaan kunta, tuottaja tai muu taho, joka hoitaa jätteiden ammattimaista keräystä on velvollinen antamaan yrityksille tai yhteisöille mahdollisuuden saada uudelleenkäytön valmisteluun soveltuva jäte. Tämä tapahtuu osoitetusta vastaanotto paikasta siinä tapauksessa, ettei kerääjä itse järjestä kyseisen jätteen uudelleenkäytön valmistelua. Toisin sanoen, jos esimerkiksi kunnallinen jätehuolto kerää puujätettä tai muuta kierrätyskelpoista materiaalia, sen tulee tarjota sopivalle yritykselle tai yhteisölle mahdollisuus ottaa haluamansa osuus materiaalista uudelleenkäyttöä varten, ellei kunta itse valmistelee sitä uudelleenkäyttöön.

Valtioneuvoston asetus jätteistä, 4. luku 25. § rakennusten- ja purkujätteen haitallisuuden ja määrän vähentäminen seuraa jätelain, 2. luku 8. § mukaisesti käyttökelpoiset rakennusosat ja materiaalit otetaan talteen ja käytetään uudelleen, jotta rakennus- ja purkujätettä muodostuu mahdollisimman vähän. Valtioneuvoston asetus jätteistä ohjaa uudelleenkäyttöä korostamalla jätehierarkiaa, erilliskeräystä ja uudelleenkäytön valmistelua. Kuvassa 6 ei ole eri järjestystä kuin jätelaissa, (Lehtonen 2019) on toteuttanut samasta etusijajärjestyksestä, painottaen rakennus- ja purkujätettä. Jätelain hierarkiaan verrattuna se on siis yksityiskohtaisempi opas valitsemaan oikean käsittelytavan materiaalin ominaisuuksien ja kunnon mukaan.



Kuva 6. Suomen jätelainsäädännön mukainen etusijajärjestelmän huomioiminen rakennus- ja purkujätteen osalta (Lehtonen 2019)

3.3 Tuotehyväksyntämenettelyt

3.3.1 Tyyppihyväksyntä

Tyyppihyväksyntä on Suomessa käytössä oleva vapaaehtoinen hyväksyntämenettely niille rakennustuotteille, jotka säädetään ympäristöministeriön tyyppihyväksyntäasetuksessa. Jos rakennustuotteen kelpoisuutta ei voida osoittaa harmonisoidun eurooppalaisen tuotestandardin (CE-merkinnän) tai eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) avulla, valmistaja voi käyttää kansallista hyväksyntämenettelyä, kuten tyyppihyväksyntää, todentaakseen tuotteen kelpoisuuden rakentamiseen. (Eurofins Scientific s.a.; Ympäristöministeriö s.a.)

Tyyppihyväksynnän käyttö perustuu tuotehyväksyntälakiin, laki eräiden rakennustuotteiden hyväksynnästä 21.12.2012/954, 17. § ja sen yhteydessä myönnetään tyyppihyväksyntämerkki, joka on todistus. Tyyppihyväksyntämerkki eroaa varmennustodistuksesta ennen kaikkea laajan tyypitestausten osalta, sillä tyyppihyväksyntä edellyttää akkreditoidussa testauslaboratoriossa suoritettavaa ulkopuolista testausta. (Kiwa s.a.)

3.3.2 Varmennustodistus

1.7.2023 alkaen varmennustodistus korvasi varmennetun käyttöselosteen, kun laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 954/2012 tuli voimaan. Varmennustodistus on myös vapaaehtoinen hyväksyntämenettely, jota käytetään silloin, kun rakennustuotteen kelpoisuutta ei voida osoittaa harmonisoidulla eurooppalaisella tuotestandardilla (CE-merkintä) tai eurooppalaisella teknisellä arviolla (ETA). Tällöin tuotteen valmistaja voi osoittaa tuotteen kelpoisuuden käyttämällä kansallista hyväksyntämenettelyä, kuten varmennustodistusta. (Ympäristöministeriö s.a.)

Varmennustodistuksella valmistaja todentaa, että tuote täyttää kansallisessa lainsäädännössä asetetut vaatimukset ja soveltuu rakennuskäyttöön. Rakennushankkeen yhteydessä rakentaja voi esittää varmennustodistuksen sekä rakennuslupaa haettaessa että rakennusvalvonnalle kelpoisuuden osoittamiseksi. Varmennustodistus on hallinnollisesti kevyempi kuin tyyppihyväksyntä, mikä tekee siitä joustavamman ja usein nopeamman tavan hyväksyttäväksi rakennustuote. (Ympäristöministeriö s.a.)

Vaikka varmennustodistus on vapaaehtoinen, se tarjoaa valmistajalle mahdollisuuden osoittaa tuotteen kelpoisuus esimerkiksi rakennuslupaa haettaessa tai rakennusvalvonnan yhteydessä. Rakennuslupaprosessi helpottuu ja rakennusvalvonta ja lupaviranomaiset voivat luottaa varmennustodistukseen osoittamaan tuotteen kelpoisuuteen, kun muut eurooppalaiset hyväksyntämenettelyt eivät ole käytettävissä. (Ympäristöministeriö s.a.; Kiwa s.a.) On kuitenkin huomioitava, ettei rakennusvalvontaviranomainen voi vaatia varmennustodistuksen tai tyyppihyväksynnän käyttöä tuotekelpoisuuden osoittamiseksi, koska se on valmistajalle vapaaehtoinen menetelmä. Rakennusvalvonta voi vaatia kuitenkin lisäselvityksiä, jos tuotteen kelpoisuutta ei voida todeta mainituilla menetelmillä. (Tukes s.a.)

Rakentamisessa käytettävän puumateriaalin, kuten purkupuun kelpoisuus tulee osoittaa rakennuslupaprosessissa, jos sitä aiotaan käyttää rakenteellisena tai muuna kantava osana uudis- tai korjausrakentamisessa. Mikäli kyseiselle puumateriaalille ei ole saatavilla eurooppalaista CE-merkintää tai eurooppalaista teknistä arviota (ETA), voidaan Suomessa turvautua kansalliseen hyväksyntämenettelyyn esimerkiksi varmennustodistukseen. (Ympäristöministeriö s.a.)

3.3.3 Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen

Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen on yksi kansallisen tuotehyväksyntämenettelyn muodoista, jota käytetään silloin, kun rakennustuotteen kelpoisuutta ei ole muulla tavoin osoitettu. Tämä menettely on erityisen relevantti purkupuun kohdalla. Soveltuvuus arvioidaan ja todetaan suoraan rakennuspaikalla, jos tuotteelle ei ole saatavilla harmonisoitua eurooppalaista tuotestandardia (CE-merkintä), eurooppalaista teknistä arviointia (ETA), tai varmennustodistus ei ole mahdollinen, voidaan silloin turvautua rakennuspaikkakohtaiseen arviointiin. (Zhu ym. 2022, 48; Ympäristöministeriö s.a.)

Uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden, kuten purkupuun uudelleenkäyttöön ei vaadita CE-merkintää, jos tuotetta ei olennaisesti muuteta. Keskeistä on kuitenkin varmistaa rakennuskohteeseen käytettävän materiaalin kelpoi-

suus testaamalla tai muuten osoittamalla sen soveltuvuus aiottuun käyttöön. Lopulta uudelleenkäytettävien tuotteiden soveltuvuus todennetaan rakennuspaikkakohtaisella varmentamisella (Ympäristöministeriö 2022.)

Prosessi rakennuspaikkakohtaisessa varmentamisessa etenee niin, että rakennusvalvontaviranomainen voi velvoittaa rakennushankkeeseen ryhtyvän osoittamaan, että rakennustuote täyttää sitä koskevat olennaiset tekniset vaatimukset laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä, 5. luku 17. §. Rakennustuotteen kelpoisuus voidaan osoittaa rakennuspaikkakohtaisesti asiantuntijalausunnolla tai tuotesertifikaatilla. Asiantuntijalausunto sisältää arvion tuotteen olennaisista ominaisuuksista, tuotannon sisäisestä laadunvalvonnasta sekä ulkopuolisen tahon tekemän varmennuksen, mikäli kyseessä on palo-osastoiva tai kantava tuote. Tuotesertifikaatti puolestaan osoittaa, että tuotteen sertifiointi ehdot täyttyvät, sertifikaatti on voimassa ja laadunvalvonta sekä sen varmennus on voimassa. (Rakennustarkastusyhdistys RTY 2023.)

4 PURKUPUUN HAASTEET UDELLEENKÄYTÖSSÄ

Purkupuun uudelleenkäyttö kohtaa Suomessa haasteita, jotka vaikuttavat sen hyödyntämiseen. Näitä haasteita tässä opinnäytetyössä olen tarkastellut lainsäädännöllisestä, teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta.

4.1 Lainsäädännölliset haasteet

Purkupuun rakennusosien uudelleenkäyttö ja tuotehyväksyntä ovat monimutkaisia prosesseja, joihin liittyy haasteita. Nykyinen EU:n rakennusasetus ja suomen kansallinen lainsäädäntö eivät suoraan huomioi rakennusosien uudelleenkäyttöä. Tämä aiheuttaa epäselvyyttä kelpoisuuden osoittamisessa. Viranomaiset ovat tulkinneet, että uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden tulisi olla CE-merkittyjä, vaikka ohjeistus puuttuu. Uudelleenkäyttöprosessi on monivaiheinen ja sisältää muun muassa purkukartoituksen tai nykyisen MRL-uudistuksessa pakollinen rakennus- ja purkumateriaaliselvitys, rakenteellinen kuntotutkimus ja haitta-aineselvitys, purkutyö sisältäen purkusuunnittelun, logistiikka ja uudelleenkäytön suunnittelun. Rakennusalalle kaivataan pikaisesti selkeytystä uudelleenkäytettävien rakennustuotteiden sääntelyyn ja ohjeistusta sen soveltamiseen, jotta uudelleenkäyttöä voidaan edistää. (Zhu ym. 2022, 50–51.)

Uudelleenkäytettävän puun hyödyntäminen kohtaavat Suomessa useita lainsäädännöllisiä ongelmia. Nykyinen lainsäädäntö ei merkittävästi tue materiaalien uudelleenkäyttöä ja esimerkiksi EU:n rakennustuoteasetus 9.3.2011/305 keskittyy pääasiassa teollisesti valmistettuihin rakennustuotteisiin, jotka on valmistettu teollisissa prosesseissa ja täyttävät ennalta määrätyt standardit ja sertifioinnit. (Tihinen ym 2022, 8.)

Ranttilan (2024, 50–51) tekemien haastattelujen mukaan uusi rakentamislaki 751/2023 edellyttää vähähiilisiä ratkaisuja, kuten uudelleenkäytettyjä ja uudelleenvalmistettuja tuotteita, mutta niiden sertifiointi vaatimuksia ei ole määriteltä. Lisäksi purettuja rakennustuotteita on saatettu luokitella jätteeksi, vaikka niitä aiotaan käyttää uudelleen. Säädökset eivät näin tunnista eroa rakennusjätteen ja uudelleenkäyttöön soveltuvien tuotteiden välillä. Viranomaiset edellyttävät, että uudelleenkäytön kohde on tiedossa jo purkuhetkellä, joka on epäkäytännöllistä.

Rakentamisen liittyvä lainsäädäntö edellyttää, että kantavien rakenteiden turvallisuus ja lujuus voidaan osoittaa. Puun lujuusominaisuuksien määrittäminen on kuitenkin vaikeaa. Tämän vuoksi rakennesuunnittelijan hyväksynnän lisäksi tarvitaan asiantuntijan lausunto, joka perustuu kunnon ja mahdollisten vaurioiden huolelliseen arviointiin. Haasteena on kuitenkin se, että harva tahoo haluaa ottaa täyden vastuun käytetyn materiaalin ominaisuuksista, sillä lainsäädännön mukaan kantaviin rakenteisiin saa käyttää tuotteita, joiden tekniset tiedot on varmistettu. (Kouvola Innovation, Ytekki Oy s.a., 11.)

Alkuperäiset lujuusluokat purkupuulta eivät välttämättä ole tiedossa ja puun ominaisuudet ovat voineet muuttua käytön aikana. Eurooppalaiset standardit uudelleenkäytettävän puun lujuusluokitteluun puuttuvat kokonaan. Säädökselliset haasteet nousevat esiin sertifiointissa, sillä nykyiset rakennustuotteiden sertifiointimenetelmät eivät sovellu uudelleenkäytettävälle puulle. Huhtikuussa 2025 ainoa mahdollinen hyväksyntätapa on rakennuspaikkakohtainen varmentaminen. Uudelleenkäytettävien rakennusosien sertifiointissa on epäselvyyksiä vastuusta. (Ranttila 2024, 37–38.) Toisin sanoen kuka ottaa lopullisen vastuun varmentamisesta?

4.2 Tekniset haasteet

Rakennusalalla perinteiset toimintatavat muuttuvat hitaasti. Monilla toimijoilla ei ole vielä tarpeeksi tietoa purkupuun käytöstä ja mahdollisesta saatavuudesta. Samoin saattaa olla epäilyksiä materiaalin laadusta tai sen kelpoisuudesta. Koska tutkimustietoa on vielä vähän ja onnistuneita referenssikohteita rajallisesti, uudelleenkäyttöön liittyy epävarmuutta. (Rakennustieto s.a.)

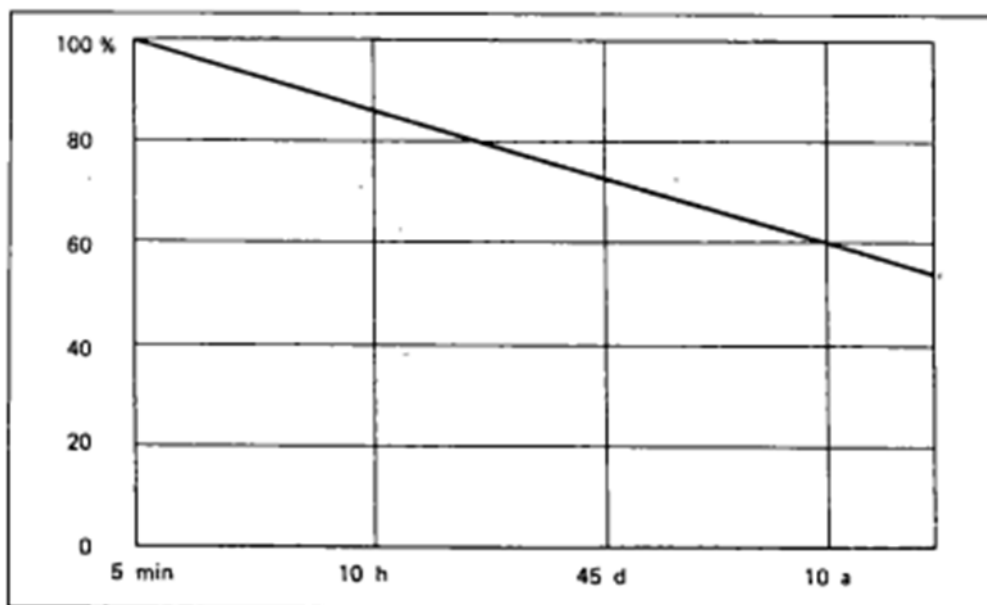
Purkupuun ja uudelleenkäytettävän puun hyödyntämiseen sisältyy teknisiä haasteita. Tekniset ongelmat liittyvät erityisesti lujuuden ja turvallisuuden takaamiseen (Niu ym. 2021, 8). Muita mahdollisia teknisiä ongelmia ovat pitkäaikaisen kuormituksen vaikutukset sekä mekaaniset ja biologiset vauriot. Puurakenteille on ominaista, että pitkäaikaisen kuormituksen aikana tapahtuu virumaa, mikä aiheuttaa pysyviä muodonmuutoksia, kuten taipumaa. Mekaaniset vauriot syntyvät yleensä käytön aikana tai purun yhteydessä. Biologiset vauriot syntyvät usein pitkäaikaisen kosteuden vaikutuksesta. Vauriot ovat tyypillisesti hyönteisiä, lahottajasieniä, bakteereita ja homesieniä, jotka heikentävät rakenteen lujuusominaisuuksia ja kantavuutta sekä voivat aiheuttaa terveyshaittoja. (Huuhka ym. 2018, 44–45.)

Uudelleenkäytettävän puun materiaalin terveysriskit korostuvat erityisesti niiden aineiden osalta, joiden käyttö on kielletty tai tiukasti rajoitettu. Käsittelemätön sahatavara ei lähtökohtaisesti sisällä haitallisia aineita, mutta kosteusrasitus voi kuitenkin altistaa puun mikrobiologisille vaurioille. Käytön aikana puuhun on voinut imeytyä esimerkiksi PAH-yhdisteitä, öljyjä tai muita haitta-aineita ja puunsuojauksessa on saatettu käyttää kreosoottia, joka sisältää terveydelle vaarallisia PAH-yhdisteitä. Lisäksi puun palosuoja-aineina on käytetty bromattuja tai fosforoituja yhdisteitä, joiden tiedetään tai epäillään olevan terveydelle haitallista. (Zhu ym. 2022, 94–95.)

Uudelleenkäytettävän puutavaran mitat ovat tavallisesti pienemmät, lyhyemmät ja epäsäännöllisemmät kuin uuden puutavaran. Samalla vanhan puutavaran kantokyky saattaa jäädä nykyisiä vaatimuksia pienemmäksi, koska mitoituskormat ovat kasvaneet. Myös eristepaksuuksien lisääntyminen vaikuttaa runkopuutavaran poikkileikkaukseen, jolloin vanhat standardit eivät välttämättä enää riitä nykyajan rakentamisen tarpeisiin. (Huuhka ym. 2018, 44.)

Puun lujuuteen ja kimmoisuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten kosteus, kuormitusaika, poikkileikkauksen muoto ja muut puussa mahdollisesti esiintyvät viat. Puun lujuus alkaa parantua, kun kosteus laskee alle niin sanotun rajakosteuden (noin 24 % suomalaisilla havupuilla). Kosteuden vaikutus on huomattavasti voimakkaampi puristuslujuuteen kuin vetolujuuteen. (Pihlajamaa & Jantunen 1995, 34–35.)

Puutavaran kantokyky on suurempi lyhytaikaisissa kuormituksissa kuin pitkäaikaiskestoisissa. Esimerkiksi kuva 7, kun puuta kuormitetaan pitkäkestoisesti 10-vuoden ajan tasaisessa kosteudessa, puu voi sietää vain 60 % tuosta lyhytaikaisesta maksikuormasta turvallisesti ilman vaurioitumista. Tämä ilmiö johtuu siitä, että pitkäaikainen rasitus saa materiaalin pikkuhiljaa väsymään (viruma) ja heikentää sen mekaanisia ominaisuuksia verrattuna lyhytaikaiseen välittömään kuormitukseen. (Pihlajamaa & Jantunen 1995, 36–37.)



Kuva 7. Puun pitkäaikaislujuuden muutos (Pihlajamaa & Jantunen 1995)

4.3 Taloudelliset haasteet

Purkupuun uudelleenkäytön lisääntymisen haasteena on kysynnän ja tarjonnan kohtaamisen vaikeus käytettyjen osien ja materiaalien kelpoisuuden osoittaminen. Tärkeää olisi tukea ja kehittää toimintatapoja, joilla kysyntä ja tarjonta saadaan kohtaamaan. Tämä voidaan saavuttaa purettavien rakennusten ja saneerauspurkukohteiden purkukartoituksella, jossa selvitetään mahdolliset

purkumateriaalit varhaisessa vaiheessa, jotta niille löytyy kysyntää ja markkinoita. (Häkämies 2019, 31.)

Purkukohteet ovat usein yksilöllisiä, minkä vuoksi puumateriaalin lajittelu, kuljetus ja varastointi ovat hankalia. Uudelleenkäytettävän puun saaminen markkinoille voi edellyttää kallista ja aikaa vievää kunnostusta, eikä markkinoilla ole riittäviä taloudellisia kannustimia. (Shorokhova-Palolahti 2024, 65–67.) Purkuurakat kilpailutetaan pääasiassa halvimman hinnan perusteella ilman erikseen asetettuja tavoitteita ja vaatimuksia, mikä ei anna purku-urakoitsijoille taloudellista kannustinta edistää uudelleenkäyttöä. (Häkämies 2019, 31.)

Rakennukset puretaan useimmiten koneellisesti, vaikka käsin purulla voidaan erotella ehjinä enemmän puutavaraa uudelleenkäyttöä varten. Käsin purku on kuitenkin huomattavasti kalliimpaa ja hitaampaa, joten se kannattaa vain harkeissa kohteissa. (Huuhka ym. 2018, 40.)

Teknologiaan ja teollisiin prosesseihin investointi vaikeuttaa puun hyödyntämistä uudelleen. Uudelleenkäytettävän puun käsittely vaatii enemmän työstövaiheita kuin uuden puun käyttö. Jotta käsittely olisi sujuvampaa, se tarkoittaisi investointeja digitaalisiin prosesseihin, kuten automaatioon ja robotiikkaan. (Parigi 2021, 270–280.)

Suurimmat haasteet johtuvat nykyisen vakiintuneen toimitusketjun ja markkinarakenteen puutteesta, mikä vaikeuttaa puun talteenottoa ja uudelleenkäyttöä (Godina ym. 2025, 9–10). Uudelleenkäyttö on projektikohtaista, eikä vakiintuneita markkinapaikkoja tai varastointijärjestelmiä ole vielä tarpeeksi. Puretun puun säilyttäminen varastossa uutta kohdetta odottamassa vaatii tilaa ja aiheuttaa kustannuksia. Uudelleenkäytön laajempi yleistyminen edellyttääkin toimivia logistiikka- ja varastointiratkaisuja. (Kierivä Oy s.a., 25.)

Taloudelliset haasteet kiteytyvät kysymykseen siitä, miten uudelleenkäyttö saadaan kannattavaksi. Suunnitteluvaiheeseen sisältyvät korkeammat kehityskustannukset, purkuun ja varastointiin liittyvät kulut, markkinoiden kehittymättömyys sekä lainsäädännön puutteelliset taloudelliset kannustimet vaikeuttavat uudelleenkäytön yleistymistä. (Talja 2014, 25–26.)

5 UUELLEENKÄYTTÖ MAHDOLLISUUDET

Purkupuun uudelleenkäytön mahdollisuuksia lähdin tarkastelemaan yritys referenssien, käytännön esimerkkien ja tutkimuksien kautta, jossa on otettu huomioon lainsäädännöllistä, ekologista ja taloudellista puolta.

Puun uudelleenkäyttö rakentamisessa on teknisesti mahdollista, mutta edellyttää kehitystä arviointi-, sertifiointi- ja standardointikäytännössä. Laadukkaasti toteutettu kierrätettyjen puurakenteiden hyödyntäminen tukee kestävämpää rakentamista, pienentää ympäristön kuormaa ja edistää kiertotaloutta. Uudelleenkäyttö tarjoaa merkittäviä ympäristöhyötyjä, kuten rakennusjätteen määrän vähentämistä ja materiaalitehokkuuden parantamista. Esimerkiksi sahatarava, liimapuu ja hirsirakenteet ovat lupaavimpia rakenneosia uudelleenkäyttöön, kunhan niiden tekniset ominaisuudet voidaan varmentaa. (Ranttila 2024, 10–11, 51, 63.)

Väljalostajien roolin kehittäminen, jotka muuntavat puujätteen arvokkaaksi raaka-aineeksi. Investoinnin automaattisiin lajittelu- ja laadunvalvontajärjestelmiin tehostavat tätä prosessia, jolloin puu saadaan vastaamaan teollisuuden tarpeita. Samalla teknologian ja innovaation kehitys voi nostaa puun arvon uudelle tasolle. Lainsäädäntö on sekä mahdollistaja että haaste, joten prosessien yksinkertaistaminen ja sääntelyn selkeyttäminen voisivat avata uusia markkinoita ja vähentää yritysten byrokratia rasitetta. Mahdollisuuksista on samalla tavalla jaettava tietoa kuin haasteista. Uudelleenkäytön mahdollisuuksien tietoisuuden lisääminen rakennuttajille, suunnittelijoille ja kuluttajille auttavat alan toimijoita näkemään hyödyn. Koulutuksen, markkinoinnin ja tiedotuskampanjoiden avulla voidaan kasvattaa kysyntää ja murtaa ennakkoluuloja puun uudelleenkäytettävyydestä. (Koskinen 2025.)

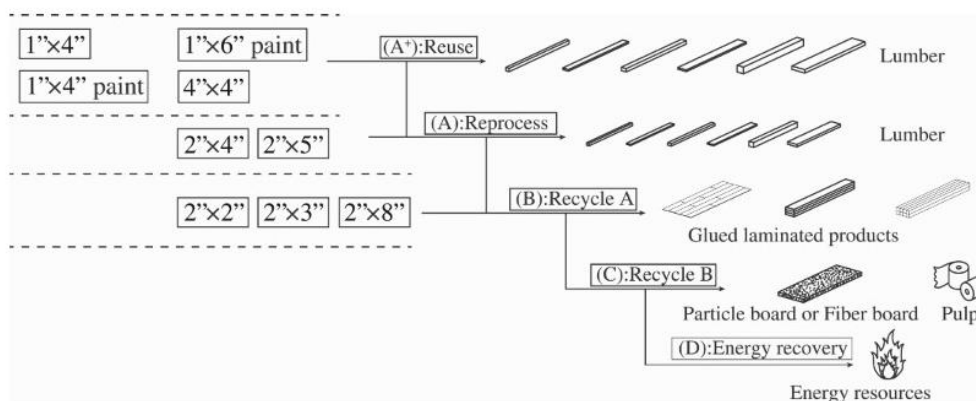
Kuva 8 kokoaa yhteen Tampereen yliopiston tekemän raportin Huuhka ym. (2018, 55) laatijoiden näkemykset eri puurakenteiden uudelleenkäytettävyydestä rakentamisessa ottaen huomioon useita eri näkökulmia. Samalla on kuitenkin syytä muistaa, että puretuille puurakennusosille on olemassa lukuisia erilaisia uudelleenkäyttökohteita. Uudelleenkäyttökohteet voivat löytyä esimerkiksi rakennusprojekteista, mutta myös niiden ulkopuolelta. Käytännössä

nämä kohteet voivat olla vaikkapa huonekaluja, sisuselementtejä, kuormalavoja ja pienesineitä lisäksi roskakatoksia, pihavajoja, tilapäisrakenteita ja muita piharakennelmia. (Huuhka ym. 2018, 56.)

Rakenne	Soveltuvuus uudelleen-käyttöön	Vauriot, terveyshaitat ja haitta-aineet	Purettavuus, nostettavuus, uudelleen-liitettävyyys	Materiaalin ja osien koko ja/tai laatu	Arvo uudelleen-käyttönä
Hirsirakenteet	+++	+ / ++ *	+++	+++	+++
Rankarakenteet	-	(-)...(0) *	- / 0	- / 0	0
Pien- ja suurelementit, rankarak. tilaelementit, elementiksi muokatut rankarakenteet	0 / +	(-) / (0) *	+	+ / ++	+
Puiset vesikattorakenteet	+	(-) / 0 *	0 / +	+ / ++	+
Naulalevyristikkorakenteet	++	(-) / 0 *	++	++	++
Massiivipuulevyrakenteet	+	+	++	++	++
Kehä- ja ristikkorakenteet	++	(-) – (++)	+++	+++	++
Liimapuupalkit ja –pilarit	+++	(-) – (++)	+++	+++	+++
Välipohjapalkit, sahatavara	0	(-) – (+) *	0	+	0 / +
Välipohjapalkit, viilupuu	++	+	+	++	+++

Kuva 8. Puun uudelleenkäytettävyyden näkökulmia (Huuhka ym. 2018).

Sakaguchi ym. (2017) tutkimuksessaan esittelevät puun kierrätys- ja uudelleenkäyttömahdollisuuksista sen kunnan ja pituuden perusteella, jotka kuvan 9 mukaisesti (A+, A, B, C ja D) luokkaan. Tutkimuksessa A+:ssa pituus on lähes alkuperäinen purkamisen jäljiltä, jolloin puuta voidaan käyttää uudelleen lähes sellaisenaan. A-luokassa pituus on yli 90 % prosenttia alkuperäisestä, joten puu voidaan edelleen hyödyntää pienempinä paloina. B-luokassa puu on vielä hyödynnettävissä, mutta sen kunto ja pituus on alle 90 % alkuperäisestä ja kuvan mukaan se sopii esimerkiksi liimapuuelementtien valmistukseen. C-Luokassa puu on menettänyt huomattavasti pituutta tai vauriot ovat merkittäviä, joten se voidaan prosessoida hakkeeksi. D-luokassa puu on vahingoittunut huomattavasti ja käyttöarvoltaan heikkoa, joten se ohjataan energiatuotantoon.



Kuva 9. Purkupuun uudelleenkäytön mahdollisuuksia puren puun koon perusteella (Sakaguchi ym. 2017)

Rakennuksista peräisin olevan purkupuun yleisin elinkaaren päätepiste on polttoon tai muuhun hävitykseen päätyminen, jolloin puussa varastoitunut hiili vapautuu takaisin ilmakehään eikä sitä luokitella kierrätykseksi kuva 10. Nykyisin suurin osa puusta jalostetaan lyhytikäisiksi tuotteiksi, emmekä näin ollen hyödynnä puun täyttä potentiaalia toimia hiilivarastona (Puuinfo 2023).



Kuva 10. Hiilen kierron haasteet (Puuinfo 2023.)

Rakentaminen tuottaa merkittäviä päästöjä, mutta puun uudelleenkäyttö voi pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä huomattavasti. Uudelleenkäytettävien rakennusosien hiilijalanjälki on tutkitusti vain noin 2–5 % uuden vastaavan tuotteen hiilijalanjäljestä. (Lahdensivu 2023.)

Suomessa metsien valtapuulajit ovat kuusi, mänty ja koivu, joista kuusi ja mänty ovat yleisimmät rakennuspuulajit. Kuusen tiheys vaihtelee yleensä 300–470 kg/m³, männyn 370–550 kg/m³ ja koivun 590–740 kg/m³ välillä. Kun arvioidaan tiheyttä on tärkeää mainita, missä kosteuspiitoisuudessa puun

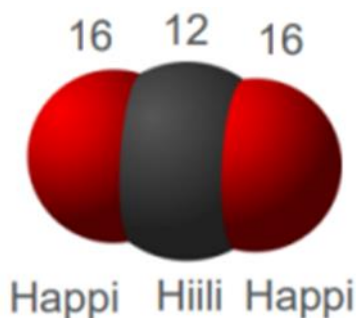
massa ja tilavuus on mitattu, sillä puu elää kosteuden mukaan. Tiheydet voidaan ilmoittaa ilmakehän kosteuden mukaan, jolloin puun kosteus 15 % tai 12 % mittaushetkellä tai kuivatuoretiheytenä, jolloin puu punnitaan kuivana, mutta sen tilavuus määritetään puun ollessa yli kyllästymispisteen noin. 30 %. (Puuinfo 2020a.)

Puusta suunnilleen puolet on hiiltä ja yleisenä nyrkkisääntönä yksi kuutiometri puuta sitoo noin 750 kg hiilidioksidia. Puutuotteet toimivat tehokkaina hiilivarastoina, koska niiden käyttöikä pidentää hiilen sitoutumista ja hidastaa sen vapautumista takaisin ilmakehään. Varastointiajan pituuteen vaikuttavat muun muassa puutuotteen tyyppi, käyttötapa sekä mihin tuote lopulta päätyy elinkaarensa päätteeksi. Puisten rakennusten rakenteissa hiiltä voi säilyä varastoituneena jopa satojen vuosien ajan. (Maa- ja metsätalousministeriö & Ympäristöministeriö 2024.)

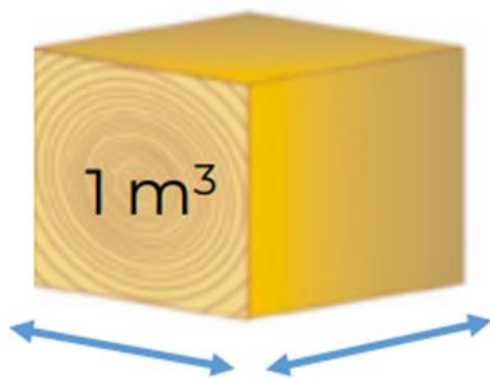
Esimerkkilasku:

Otetaan yksi kuutiometri kotimaista havupuuta kuva 12, joka painaa kuivatuoretiheydessä 409 kg/m^3 , josta noin puolet on hiiltä eli kuution on sitoutunut noin 204,5 kg hiiltä. Sitten kun halutaan saada ilmakehästä sitoutuneen hiilidioksidin kuva 11 määrä yhteen kuution:

$$3,67 \text{ kg} \times 204,5 \text{ kg} = 750 \text{ kg}$$



Kuva 11. Yksi puussa oleva hiilikilo vastaa 3,67 kg hiilidioksidimäärää (Maa- ja metsätalousministeriö & Ympäristöministeriö 2024).



Kuva 12. Yksi kuutiometri havupuuta (Maa- ja metsätalousministeriö & Ympäristöministeriö 2024).

Yksi uudelleenkäytön suunnittelun tärkeimmistä näkökohdista on päästöjen vähentäminen sekä kaatopaikkajätteen määrän vähentäminen, mikä samalla vähentää jätteenkäsittelystä aiheutuvia kustannuksia. Lainsäädännön vaatimukset rakennusjätteen määrälle, kierrätykselle ja verotukselle kiristyvät jatkuvasti ja tätä myötä purkujätteistä koituvat kustannukset voivat nousta merkittävästi. Uudelleenkäyttö ei ainoastaan pienennä ympäristövaikutuksia, vaan voi pienentää yritysten ja rakentajien pitkän aikavälin kustannuksia. Siksi sekä ympäristösyys, että taloudelliset kannustimet tukevat kiertotaloutta edistäviä toimintatapoja. (Talja 2014, 16–18.)

Purkumateriaalien markkinat ovat jakautuneet muutamiin eri segmentteihin, kuten purkutuotteiden että purkumateriaaleista valmistettujen kierrätystuotteiden markkinat. Perinteisillä markkinoilla, kuten esimerkiksi betonimurskeen hyödyntämisessä kannattavuus perustuu suuriin materiaalmääriin ja tuotannon mittakaavaetuihin. Purkutuotteiden uudelleenkäytön markkinoilla korostuu korkealaatuisten pienten määrien purkutuotteiden tarjonta. (Zhu 2022, 109.)

Zhu ym. (2022, 109) esittävät tätä artesaanimarkkinoiksi, jossa volyymi ja tehokkuus eivät ole keskiöissä vaan taloudellista tulosta tavoitellaan laadulla, rajallisen erän purkutuotteilla. Tällaisia ovat esimerkiksi ovet, ikkunat ja liimapuupalkit.

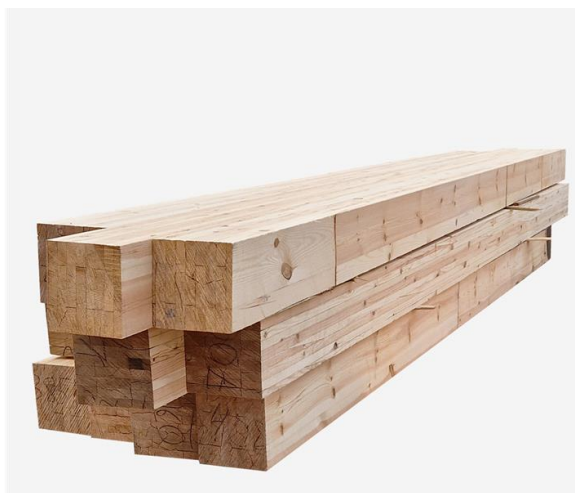
6 KÄYTÄNNÖN ESIMERKKEJÄ

6.1 Spolia Design Oy

Spolia Design Oy on asiantuntijaorganisaatio, joka on erikoistunut purettujen rakennusmateriaalien uudelleenkäyttöön sekä kestävien cleantech-rakennushankkeiden suunnitteluun. Yritys yhdistää kiertotalouden periaatteet innovatiiviseen suunnitteluun ja pyrkii vähentämään rakennusalan ympäristövaikutuksia luomalla laadukkaita ratkaisuja vanhoille materiaaleille. (Spolia Design Oy.)

6.1.1 Kalusteiden ja sisustuselementtien valmistus purkupuusta

Spolia Design Oy:n rakennustuotekaupasta uudelleenkäytettyjä liimapuura-kenteita runkorakentamiseen kuva 13, jotka on mahdollista muokata hankkeen sopiviksi sekä rakenteet voidaan varmentaa ja testata kohteen tarpeisiin.



Kuva 13. Liimapuurakenteet runkorakentamiseen (Spolia Store)



Kuva 14. Liimapuupalkki mäntyä (Spolia Store.)



Kuva 15. Liimapuupilari mäntyä (Spolia Store).

6.1.2 Lattiat



Kuva 16. 10 mm Puuparketti kauppakeskus Arabian toimistosiiven lattiamateriaali (Spolia Store).

6.1.3 Sisä- ja ulkoverhous

Purkukohteesta ehjänä irrotetut liimapuupalkit sahattu ja höylätty julkisivupaneeleiksi kuva 17 ja 18. Tyylikäs, kestävä ja ekologinen valinta rakennuksen ulkoverhousseksi.



Kuva 17. Liimapuupaneeli UTS (Spolia Store).



Kuva 18. Liimapuupaneeli UTS (Spolia Store).

6.2 Spolia Design Oy:n Closing loops -hanke

Spolia Design Oy:n Closing Loops -hanke Helsingin Mustikkamaalle tehdään varastorakennus uudelleenkäytettävistä liimapuista, jotka on purettu Tampereella sijainneessa varastorakennuksessa kuva 19 ja 20. Kohteesta irrotettiin ehjänä primaarirunko ja sekundaarirunko koneellisesti nostamalla.



Kuva 19. Tampereella sijaitseva varastorakennus (Spolia Design Oy)



Kuva 20. Tampereella sijaitseva varastorakennus (Spolia Design Oy)

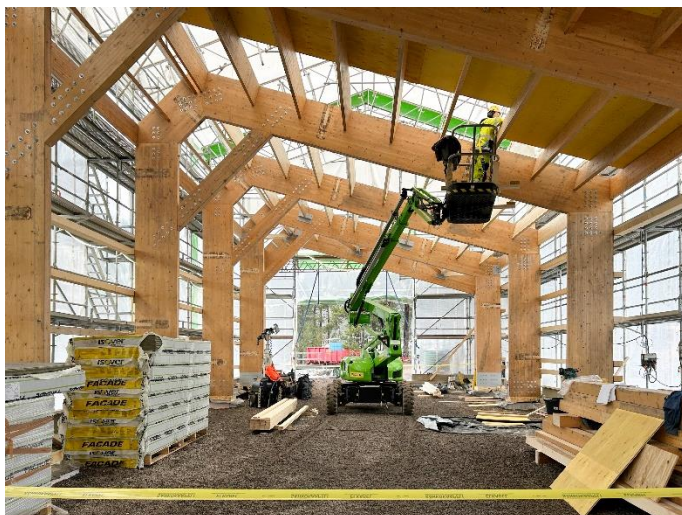
Liimapuut toimitettiin työstettäväksi kahteen paikkaan. Spolian omalle pajalle toimitettiin sekundaaripalkit ja Late rakenteille Turkuun kuljetettiin primaarirunko. Kuvissa 21 ja 22 on tehty uudet liitokset liimapuihin. Liimapuiden poikkileikkausmittoja ei muutettu, vaan ne sahattiin ainoastaan uuteen pituuteen. Kiinnitystä varten niihin asennettiin uudet kiinnitysosat ja pääosin kiinnitystapanäytteiksi käytettiin teräksisiä piilokiinnikkeitä. (Paronen 2025) Rakenteista otettiin näytekappaleet, joille suoritettiin liimasaumojen työmaatestaus, delaminointitestit ja mikrobiviljely. Näiden tulosten perusteella vastaava rakennesuunnittelija arvioi, että liimapuut täyttävät kohteen vaatimukset. Kuvissa 23 ja 24 näkyy varastorakennuksen rungon rakentaminen purettavan kohteen liimapuista. (Spolia linkedin 2025)



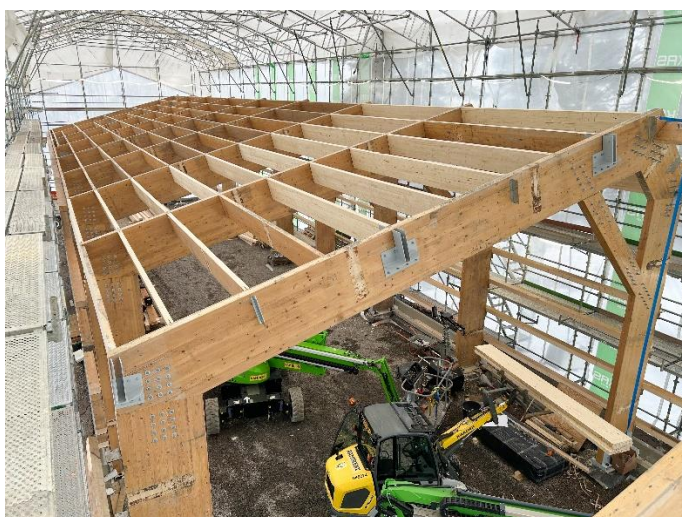
Kuva 21. Turun Late-Rakenteilla asennettiin tappivaarnaliitos purettuihin liimapuihin (Spolia Design Oy)



Kuva 22. Turun Late-Rakenteilla asennettiin pilarikenkä purettuihin liimapuihin (Spolia Design Oy)



Kuva 23.



Kuva 24.

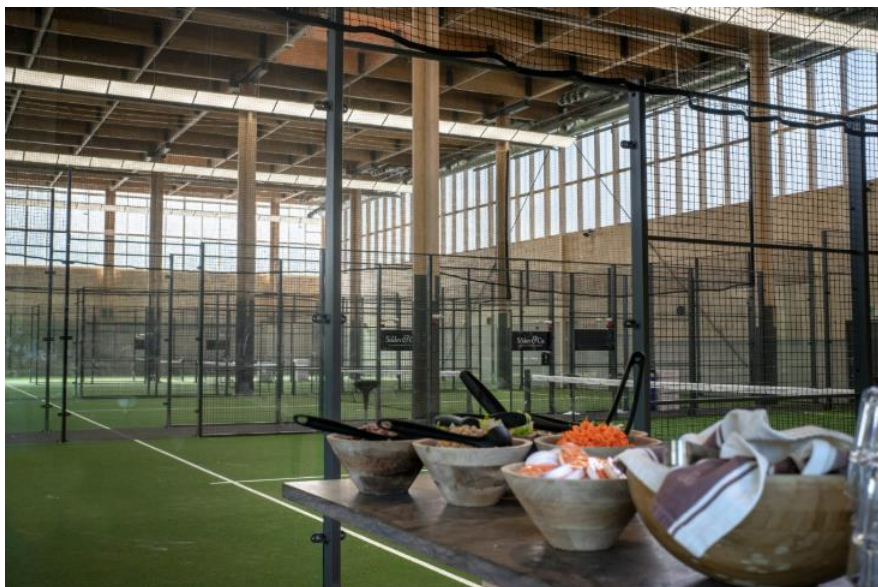
6.3 Tukholman Östermalms hallen kauppahalli

Tukholmassa Östermalmissa toiminut väliaikainen kauppahalli siirrettiin Tukholmasta 500 kilometriä Göteborgin lähellä sijaitsevaan Mölnlycken kaupunkiin padelhalliksi ja ravintolaksi kuva 25 ja 26. Vuonna 2016 Östermalms hallen-kauppahallin remontti tuli ajankohtaiseksi, mutta toiminta kauppahallissa ei voinut keskeytyä, joten ratkaisuksi tehtiin kokonaan puusta väliaikainen kauppahalli. Väliaikaisessa kauppahallissa käytettiin mm. Metsä Woodin Kerto LVL-tuotteita. Remontin päätyttyä väliaikaiselle kauppahallille ei ollut enää tarvetta, joten ruotsalainen Wallenstam kiinteistöyhtiö osti rakennuksen ja purki rakennuksen sekä loi sille uuden tarkoituksen. Huhtikuussa 2022 valmistuneen padelhallin rakennusprojekti kesti hieman yli vuoden, joka piti sisällään

rakennuksen purkamisen, varastoinnin ja kokoamisen Mölnlycken kaupungissa. (Metsä Group 2022; Puuinfo Oy 2022a.)



Kuva 25. Mölnlycken padelhalli (Puuinfo Oy 2022)

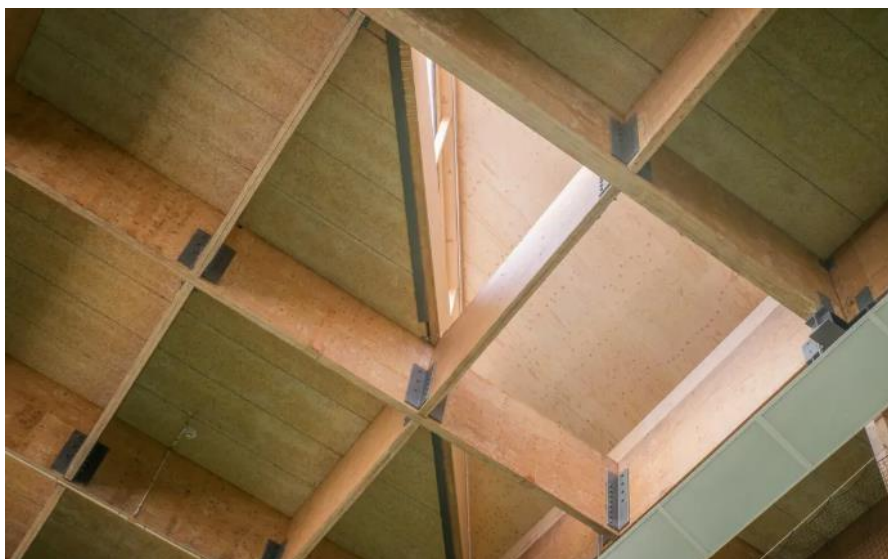


Kuva 26. Mölnlycken padelhalli (Puuinfo Oy 2022)

Rakennuksessa hyödynnettiin esivalmistettuja elementtejä, jonka kattorakenne muodostuu ristikkomuotoon asennetuista Kerto LVL-palkeista kuva 27 ja 28. Lisäksi Kerto LVL-palkit sujuvoittivat myös hallin purkua, välivarastointia ja uudelleen kokoamista, koska kaikki elementit sopivat yhteen. Uudelleen asennuksen yhteydessä kattopalkkeihin ei tarvinnut tehdä lisäyksiä. (Metsä Group 2022.)



Kuva 27. Ristikkomuotoon asennetut Kerto LVL-palkit (Puuinfo Oy 2022)



Kuva 28. Ristikkomuotoon asennetut Kerto LVL-palkit (Metsä Group 2022)

6.4 Starkin ”Rewood” pilotti

Rakennustarvikkeita myyvä Stark pilotoi vuonna 2023 rakennusyhtiö SRV:n ja palveluyritys Lassila & Tikanoja kanssa hanketta, jossa rakennustyömaiden ylijäämä purkupuutavara kerättiin talteen ja ohjattiin uudelleenkäytettäväksi toisissa kohteissa. SRV vastasi Helsingin Lasipalatsin työmaalla (kuva 29) puutavaran keräyksestä ja lajittelusta. L&T puolestaan laati työmaalle jäte- ja lajittelusuunnitelman ja huolehti lajitteluohjeistuksesta sekä toimitti ne Starkin myymälään Martinlaaksoon jätelain vaatimusten mukaisesti. Pilotissa työ-

maalta kerättiin käyttämättä jääneitä tai väliaikaisissa rakenteissa ollutta puutavaraa ja vanerilevyjä, jotka Stark jälleenmyi uudelleenkäytettävänä rakennusmateriaaleina. Tätä uudelleenkäytettävää puutavaraa markkinoitiin REWOOD tuotenimellä (kuva 30), jotka soveltuvat lukuisiin kohteisiin käytettäväksi, kuten huonekalut, sisustaminen ja nikkarointikohteet. (Puuinfo 2023.)



Kuva 29. SRV:n Helsingin Lasipalatsin aukion työmaa (Puuinfo Oy 2023)



Kuva 30. Uudelleenkäytettävän puutavaran REWOOD-logo (Puuinfo Oy 2023)

7 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Testissä käytetyt kappaleet ovat peräisin Lappeenrannan Armilan U-koulusta (kuva 31), joka rakennettiin 1960-luvulla ja ehti palvella opetuskäytössä yli 40 vuotta (Kiviluoma 2024). Rakennus oli tyhjiään useita vuosia, vaikka sille myönnettiin purkulupa jo vuonna 2019. Purkutöitä ei kuitenkaan voitu aloittaa heti, koska rakennuksessa sijaitti väestönsuoja. Purkupäätökseen johti todennäköisemmin rakennuksen kunto. (Väisänen 2024.)



Kuva 31. Armilan U-koulu (Etelä-Saimaa 2024)



Kuva 32. Purkamista



Kuva 33. Purkaminen tehtiin lajittelevana purkuna.



Kuva 34. Testikappaleiden hakupäivä.

7.1 Tutkimuksessa käytetty laitteisto

Testauksessa käytetty laitteisto on Shimadzu AGX-V2 aineenkoestuslaite/ve-
tokone kuva 35, jolla voidaan tehdä monia eri testejä, kuten puristus-, veto-,
repäisy- ja taivutustesti (Bernerlab s.a.). Testissä oli myös mukana Gann
HT70 puunkosteusmittari kuva 36.



Kuva 35. Aineenkoestuslaite Shimadzu AGX-V2



Kuva 36. Puunkosteusmittari Gann HT70

7.2 Tutkimuksen lähtötietoja

Kuvassa 37 näkyvät suoraan purkukohteesta saadut kappaleet, jotka olivat
iäkkäitä ja osoittivat sekä mekaanisia että biologisia käytön jälkiä. Kappaleet

lajiteltiin visuaalisesti pohjoismaisen sahatavaran lujuuslajittelu standardin SFS 5878 INSTA 142 mukaisesti. Liimapuu kappaleet rajattiin pois tutkimuksesta. Kuvassa 38 testikappaleet ovat olleet halliolosuhteissa kuivamassa.



Kuva 37. Purkukohteesta tuotu Savonlinnan puulaboratorioon



Kuva 38. Kuivunut Savonlinnan puulaboratoriossa noin 2 viikkoa

Taulukossa 1 alkuperäisten lähtötietojen perusteella vain 3 kappaletta voitiin luokitella C24-lujuusluokkaan ja loput olisivat menneet hylkyyn, jos tutkimuksessa olisi käytetty vastaavia kappaleita. Kappaleiden mitat vaihtelivat mekaanisista vaurioiden vuoksi purun yhteydessä, joten testejä varten oli mietittävä uudelleen dimensiot, jotka olisivat standardien mukaiset.

Taulukko 1. Alkuperäiset lähtötiedot suoraan purkukohteesta.

Kpl nro.	C30	C24	C18	C14	Hylky	b	h	L	Kosteus %
1.		x				53	127	1820	35,9 %
2.						120	136	2390	21,1 %
3.						120	136	2233	19,2 %
4.		x				52	103	1825	21,0 %
5.					x	52	128	2240	16,4 %
6.					x	52	150	2170	17,9 %
7.		x				50	102	1735	13,0 %
8.					x	50	103	2085	17,5 %
9.					x	52	105	1960	17,7 %

SFS-EN 13183-1 + AC:en ”Moisture content of a piece of sawn timber. Part 1: Determination by oven dry method” standardin mukaan leikattiin muutamasta alkuperäisestä testikappaleesta noin 2–5 cm:n pituiset näytepalat, jotka kuivattiin uunissa kosteuspuitoisuuden määrittämiseksi kuva (39). Kahdesta kappaleesta oli valunut pihkaa, mutta tällä ei ollut merkittävää vaikutusta lopputulokseen. Ennen tätä puun kosteus mitattiin Gann HT70-kosteusmittarilla.



Kuva 39. alkuperäiset koekappaleet uunin jälkeen

Kosteuspitoisuus saatiin standardin EN 13183 kaavasta. Taulukossa 2 tulokset.

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

jossa	m_1	Testipalan massa ennen kuivausta	[g]
	m_0	Testipalan massa uunikuivana	[g]
	ω	Kosteuspitoisuus	[%]

Taulukko 2. Kappaleiden kosteuspitoisuudet

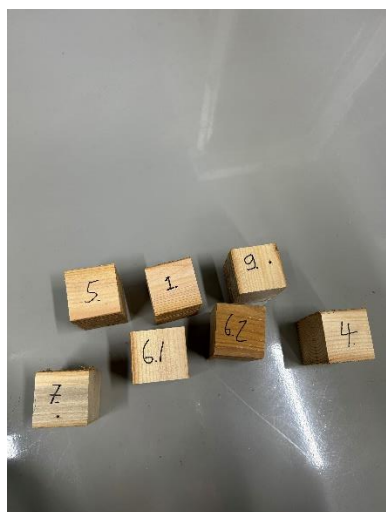
kpl	m_1	m_0	ω
E	56,4	48,5	16,3 %
3	331	303,2	9,2 %
8	107	92,2	16,1 %
9	145,3	124,7	16,5 %

Taulukossa (3) on esitetty testikappaleiden tiedot ja sekä uusi 75 x 50 mm:n dimensio, jota käytettiin testissä. Testi toteutettiin SFS-EN 408 + A1:en standardin ”Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties” mukaisesti.

Taulukko 3. Uudet dimensiot

Name	Thickness	Width	Lower_Support	Upper_Support	Weight	Paksuus_1	Paksuus_2	Leveys_1	Leveys_2	Pituus
Size Unit:	mm	mm	mm	mm	g	mm	mm	mm	mm	mm
7	74,69	51,28	1350	450	2504	73,86	75,51	51,97	50,6	1448
4	76,68	53,07	1350	450	2947	75,84	76,52	53,14	53	1450
1	75,52	52,45	1350	450	2394	75,68	75,37	52,75	52,14	1450
6.1	76,8	53,32	1350	450	2781	76,48	77,32	54,05	52,6	1450
6.2	72,34	53,52	1350	450	2666	73,27	71,41	52,73	54,31	1450
5	74,37	52,12	1350	450	2162	74,84	73,9	52,24	52,01	1450
9	74,39	52,45	1350	450	2796	74,49	74,29	52,84	52,05	1450

Kuten aikaisemmin standardin mukaan testikappaleista leikattiin noin 2–5 cm:n pituiset palat, jotka kuivattiin uunissa kosteuspitoisuuden määrittämiseksi kuva (40).



Kuva 40. Uudet koekappaleet uuniin

Kosteuspitoisuus saatiin standardin EN 13183 kaavasta. Taulukossa 4 tulokset.

$$\omega = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

jossa	m_1	Testipalan massa ennen kuivausta	[g]
	m_0	Testipalan massa uunikuivana	[g]
	ω	Kosteuspitoisuus	[%]

Taulukko 4. Kappaleiden uudet kosteuspitoisuudet

kpl	m_1	m_0	ω
1	79,7	69,8	14,2 %
4	98,4	86,2	14,2 %
5	77,9	68,5	13,7 %
6,1	92,7	81,7	13,5 %
6,2	92	81,1	13,4 %
7	83,2	75	10,9 %
9	93,3	82,4	13,2 %

7.3 Tutkimuksen suorittaminen

Testaus aloitettiin 24.2.2024 Savonlinnan teollisen puurakentamisen laboratoriossa. Testissä oli käytössä taulukon 3 mukaan 7 kappaletta Armilan U-koulusta purettu kappaleet. Taivutustesti suoritettiin neljän pisteen taivutuksena EN 408 mukaisesti. (4 point bending) neljän pisteen testin tarkoituksen tarkoituksena on määrittää sahatavaran mekaaniset ominaisuudet taivutuskuormituksessa.

Testauspäivänä kappaleet sahattiin uusiin mittoihin 75 x 50 mm sekä kappaleet punnittiin ja mitattiin ennen testiä. Testi suoritettiin asettamalla jokainen kappale kahden tukipisteen varaan ja kuormittamalla sitä taivutuksessa tasaisesti yläpuolelta kahdesta pisteestä ja palkin keskitaipumaa mitattiin jatkuvasti kuva 41. Kuormaa nostetaan yleensä tasaisesti siihen asti ennen kuin kappale murtuu tai saavutetaan maksimikuorma kuva 42.



Kuva 41. Testin lähtötilanne



Kuva 42. Saavutettu maksimi

8 TULOKSET

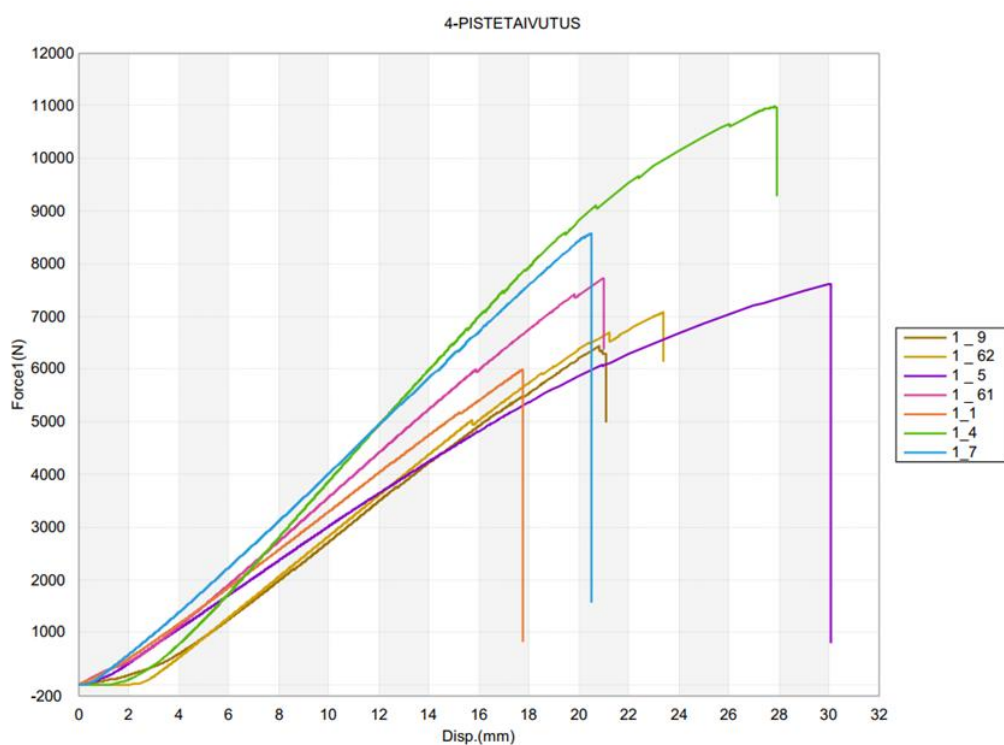
Taivutustestissä saatiin mittaustulokset purkukohteen sahatavaran jäykkyydelle ja taivutuslujuudelle. Taivutuslujuus määritettiin taivuttamalla näytekapaleet murtumiseen asti.

Oheisessa taulukossa 5 on testikappaleiden mitat ja perusominaisuudet, joilla lähdettiin suorittamaan testiä kuva.

Taulukko 5. Lähtötiedot testin suorittamiseen

Kappale	Leveys (mm)	Korkeus (mm)	Massa (g)	Tiheys (kg/m ³)	Kosteus (%)
7	74,69	51,25	2504	451,5	8,5
4	76,68	53,07	2947	502,7	12,6
1	75,52	52,45	2394	416,8	11,5
6,1	76,8	53,32	2781	467,7	12,1
6,2	72,34	53,5	2666	474,9	12,1
5	74,37	52,12	2162	384,6	12,2
9	74,39	52,45	2796	494,3	12,6

Kuvassa 43 näkyy nelipistetaivutuskokeen tulokset 75 x 50 mm sahatavaralle. X-akselilla on siirtymä (Disp.mm) eli kuinka paljon kappale taipui kohdistetun voiman seurauksena. Y-akselilla on voima (Force 1, N) eli kuinka paljon voimaa kohdistettiin kappaleeseen. Monessa testikappaleessa näkyy jyrkkä putoaminen noin 18–30 mm siirtymän kohdalla, tämä kertoo kappaleen murtumisesta tai mahdollisesta rakenteellisesta vauriosta. Maksimivoimat vaihtelevat noin 6000–11000 N välillä. Erot kappaleiden välillä olivat selviä, jotka johtuivat puun ominaisuuksista.



Kuva 43.

Taulukossa 6 on esitetty (F_{max}) eli maksikuorma sekä ($Disp_{max}$) ja ($Disp_{break}$) eli taipumat eri murtumahetkellä. Ero taipumien välillä on, kun kappale alkaa murtua kuorman käyrän kääntyessä alaspäin. Max Display on arvo siitä korkeimmasta pisteestä, joka saavutettiin testin aikana taipumasta x-akselilla. Kun taas Break Display -arvo on hiukan murtuman jälkeen tai tarkalleen siinä kohtaa missä murtuma on tapahtunut x-akselilla. Ero näiden välillä on yleensä pieni, paitsi testikappale 1.

Taulukko 6. maksimikuorma ja taipumat

Kappale	F_{max} (kN)	$Disp_{max}$ (mm)	$Disp_{break}$ (mm)
7	8,58	20,5357	20,5372
4	10,98	27,8258	27,9140
1	5,99	17,7599	17,7612
6,1	7,71	20,9863	20,9933
6,2	7,07	23,3723	23,3734
5	7,62	30,1098	30,1122
9	6,43	20,8148	21,0797

EN 408 -standardin mukaisessa nelipistetäivutuskokeessa kimmomoduuli (Global modulus of elasticity in bending, $E_{m,g}$) kuvaa, kuinka jäykkä materiaali on taivutuksessa. Toisin sanoen, kuinka paljon kappale vastustaa muodonmuutosta voiman kasvaessa. Kimmomoduulikaava purettu osiin taulukossa 7, jonka alapuolella on itse kaava.

Taulukko 7. Kimmomoduulin kaava purettu osiin

Symbolit	Tarkoitus
$E_{m,g}$	Kimmomoduuli (N/mm ²)
l	Tukien väli (mm)
a	Etäisyys tuesta kuormituspisteeseen (mm)
h	Poikkileikkauksen korkeus (mm)
b	Poikkileikkauksen leveys (mm)
F_1, F_2	Määritetyt kuormitustasot maksimikuormasta (N tai kN)
w_1, w_2	Taipumat samoilla kuormilla (mm)
G	Puun leikkausmoduuli (N/mm ²)

$$E_{m,g} = \frac{3al^2 - 4a^3}{2bh^3 \left(2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} - \frac{6a}{5Gbh} \right)} \quad (3)$$

Taulukossa 8 on ilmoitettu murtokuorma eli suurin saavutettu kuorma ennen kappaleen murtumista. Taulukossa on myös ilmoitettu taivutuslujuus (bending

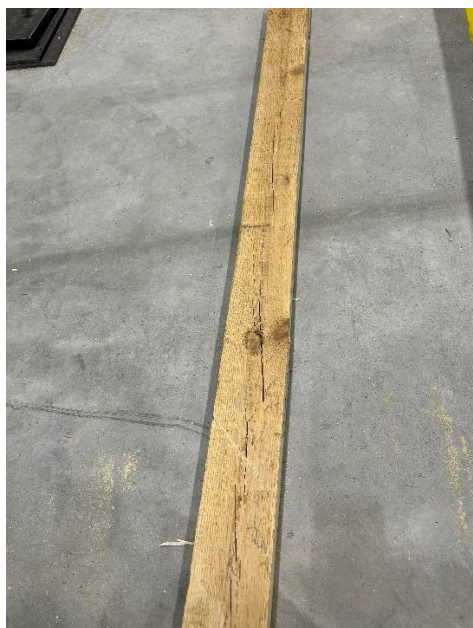
strength), joka ilmoittaa taivutusjännityksen kestävyuden ennen kappaleen murtumista.

Taulukko 8. maksimikuorma, taivutuslujuus ja murtotapa

Kappale	F_{max} (kN)	f_m (N/mm ²)	Murtotapa
7	8,58	40,51	Leikkausmurtuma
4	10,98	47,48	Leikkausmurtuma
1	5,99	27,03	Vetomurtuma alapinnassa
6,1	7,71	33,10	Vetomurtuma alapinnassa
6,2	7,07	34,09	Leikkausmurtuma
5	7,62	35,68	Vetomurtuma alapinnassa
9	6,43	29,91	Leikkausmurtuma

Murtotavat taivutuskokeessa oli vetomurtuma alapinnasta tai leikkausmurtuma. Vetomurtuma alapinnasta tarkoittaa, että kappale murtuu tai katkeaa syiden suuntaisesti puun alaosaan. Murtuminen voi tapahtua halkeamasta, oksan kohdasta tai muusta kappaleelta heikentävästä paikasta. Leikkausmurtuma tarkoittaa puolestaan, jossa murtokohta kulkee yleensä vaakasuunnassa syy-suuntaan kappaleen keskellä. Kappaleissa oli naulareikiä ja naularykelmiä, mutta ne eivät olleet syy murtumiseen.

Kuvassa 44 näkyy taivutustestissä tapahtunut leikkausmurtuma syiden suuntaisesti kappaleen keskellä.



Kuva 44. Testikappale (7) leikkausmurtuma

Kuvassa 45 on ollut isoja naularykelmiä testikappaleessa, mutta ne eivät olleet syy murtumiseen, vaan kyseessä oli leikkausmurtuma.



Kuva 45. Testikappale (4) Leikkausmurtuma

Kuvassa 46 on tapahtunut vetomurtuma kappaleen alapinnassa. Murtuman syynä on oletettavasti ollut oksan sijainti ja koko. Kuten myös kuvassa näkyy naularykelmä ei ollut vaikuttanut kappaleen lujuuteen.



Kuva 46. Testikappale (6.1) vetomurtuma kappaleen alapinnassa

Kuvassa 47 on myös tapahtunut vetomurtuma kappaleen alapinnassa oksan vieressä.



Kuva 47. Testikappale (5) vetomurtuma kappaleen alapinnassa

Kuvassa 48 näkyy oksan ja naulan reiän aiheuttama vetomurtuma kappaleen alapinnassa. Testi osoittaa, että naula reikä voi vaikuttaa yhdessä oksan kanssa merkittävästi vaikuttaa puun lujuuteen. Kuten tuloksista näkynyy kyseisen testikappale on heikoin muihin verrattuna.



Kuva 48. Testikappale (1) vetomurtuma kappaleen alapinnassa oksan ja naulan yhteisestä vaikutuksesta lujuuteen

Taulukossa 9 on testien tulosten koonti.

Taulukko 9. Tulosten koonti

Kappale	Leveys	Korkeus	Etäisyys tukipisteiden välillä	Etäisyys kuormitus pisteen välillä	Voima		
					F _{0,1}	F _{0,4}	F _{max}
	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN
7	74,69	51,25	1350	450	0,86	3,43	8,58
4	76,68	53,07	1350	450	1,10	4,39	10,98
1	75,52	52,45	1350	450	0,60	2,40	5,99
6,1	76,8	53,32	1350	450	0,77	3,08	7,71
6,2	72,34	53,5	1350	450	0,71	2,83	7,07
5	74,37	52,12	1350	450	0,76	3,05	7,62
9	74,39	52,45	1350	450	0,64	2,57	6,43

Aika	E _{m,g}	f _m	Tiheys	Kosteus
	F _{0,1} -F _{0,4}			
s	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ²	%
205,36	10567,2	40,5105	451,5	8,5
278,26	11624,4	47,4805	502,7	12,6
177,6	7996,73	27,034	416,8	11,5
209,87	8744,78	33,1013	467,7	12,1
233,73	9994,16	34,0934	474,9	12,1
301,1	7952,21	35,679	384,6	12,2
208,15	8689,6	29,9097	494,3	12,6

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millaisia mahdollisuuksia ja haasteita purkupuun uudelleenkäyttö kohtaa rakennusalalla. Työssä tarkasteltiin purkupuun uudelleenkäyttöön vaikuttavia tekijöitä seuraavista näkökulmista, kuten taloudellisia, lainsäädännöllisiä, ekologisia ja teknisiä haasteita sekä mahdollisuuksia. Työ perustuu kirjallisuuskatsaukseen, käytännön esimerkkeihin ja tutkimukseen, jossa analysoitiin 1960-luvulla rakennetusta Armi-lan U-koulusta puretun puun lujuusominaisuuksia.

Tutkimuksessa selvisi, että purkupuun ominaisuudet voivat erota neitseellisestä puutavarasta vanhan puun tiheyden ja kasvutavan osalta. Purkupuun voi osassa tapauksessa olla jopa lujempaa ja kestävämpää kuin uusi sahatavara, edellyttäen että se on säilynyt ehjänä ilman biologisia ja mekaanisia vaurioita. Purkupuun käyttö vaatii kuitenkin huolellista lajittelua, laadun ja kunnon puolesta sekä lisää mahdollista testausta, jotta pystytään osoittamaan purkupuun kelpoisuus. Työssä toteutettu nelipistetäivutustesti EN 408 – standardin mukaisesti osoitti, että osa testatuista kappaleista säilytti lujuutensa kiitettävästi. Testissä selvisi kuitenkin, että yksittäiset naularykelmät ja naulat eivät vaikuta

puun lujuuteen, vaan kuten testikappale (1) osoitti, että naulan ja oksan yhdistelmä voi vaikuttaa merkittävästi kappaleen lujuuteen.

Purkupuun uudelleenkäytön hyödyntämisessä on potentiaalia, mutta sen hyödyntäminen edellyttää lainsäädännön selkeyttämistä, markkinoiden kehittämistä ja alan toimijoiden sitoutumista. Esimerkit Spolia Desing Oy:stä, Starkin Rewood-pilotista ja Östermalmshallenin projektista osoittavat, että uudelleenkäyttö on mahdollista. Uudelleenkäyttö ei voi jäädä yksittäisten hankkeiden tai pilottien varaan.

10 POHDINTA

Purkupuun uudelleenkäyttöön liittyy edelleen merkittäviä haasteita, erityisesti laatu- ja turvallisuusvaatimusten, lainsäädännön, standardoinnin, teknisten testausmenetelmien ja viranomaisvaatimusten osalta. Mutta tulevaisuudessa lisääntyvä osaaminen sekä kehittyvät markkinat, sääntely ja teknologia voivat tehdä puun uudelleenkäytöstä entistä houkuttelevamman ja varteenotettavan vaihtoehdon rakentamisessa.

Mikäli rakennuksia puretaan yhä enemmän ennen niiden teknisen käyttöiän päättymistä, olisi hyvä ottaa huomioon purkuvaiheen suunnittelussa mahdollinen uudelleenkäyttö. Tämä tarkoittaisi yhteistyötä rakennushankkeeseen ryhtyvän kanssa, joka mahdollistaisi uudelleenkäytön huomioon ottamisen jo suunnitteluvaiheessa.

Tällainen toteuttaminen edellyttää kuitenkin toimivampaa yhteistyötä eri toimijoiden välillä sekä kehittyneempää ja selkeämpää markkinarakennetta, joka tukee uudelleenkäyttöä rakentamisessa. Nykyinen lainsäädäntö ei vielä riittävästi vastaa kiertotalouden ja rakennusosien uudelleenkäytön tarpeisiin. Erityisesti puutteelliset ohjeistukset materiaalien teknisten ominaisuuksien arvioinnista, turvallisuudesta ja siitä kuka on lopulta vastuussa vaikeuttavat hyödyntämistä. Uudelleenkäytön kelpoisuuden osoittaminen on käytännössä mahdollista vain rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen tai asiantuntijalausunnon avulla. EU:n rakennustuoteasetus 305/2011 ja rakentamislaki 751/2023 eivät myöskään tarjoa selkeitä ja yhtenäisiä menettelytapoja materiaalien sertifiointiin ja standardointiin.

Mikäli rakennuksia puretaan yhä enemmän niiden teknisen käyttöiän päättymistä, olisi hyvä ottaa huomioon purkuvaiheen suunnittelussa mahdollinen uudelleenkäyttö. Tällä on omat haasteensa, kuten logistiikka, käsittely ja varastointi toisin sanoen puuttuu ”välialostuskeskus”, jossa kaikki edellä mainittu tapahtuisi. Uudelleenkäyttö ei ole yksittäinen toimenpide, vaan kokonaisvaltainen prosessi, jonka onnistuminen edellyttää yhteistyötä monen tahon välillä, kuten suunnittelijoiden, rakennuttajien, purkuyritysten ja rakennusvalvonnan välillä. Tällöin purkupuun täysi potentiaali voidaan saada mukaan rakentamisessa.

LÄHTEET

Alakangas, E., Kurki-Suonio, K., Tikka, T., & Fredriksson, T. 2014. Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön. VTT Tutkimusraportti. vol. VTT-M-01931-14. Jyväskylä: VTT Technical Research Centre of Finland. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-M-01931-14.pdf> [viitattu 19.1.2025].

Berner Oy s.a. Aineenkoestuslaitteet ja vetokoneet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bernerlab.fi/tuote/shimadzu-agx-v/> [viitattu 15.5.2025].

Eurofins Scientific s.a. Rakennustuotteiden tyyppihyväksyntä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.eurofins.fi/expertservices/palvelut/sertifiointi-ja-tuotehyvaeksyntae/rakennustuotteiden-sertifiointi/rakennustuotteiden-tyypihyvaeksyntae/> [viitattu 18.1.2025].

Godina, M., Gowler, P., Rose, CM., Wiegand, E., Mills, HF., Koronaki, A., Ramage, MH. & Shah, DU. 2025. Strategies for salvaging and repurposing timber elements from existing buildings in the UK. *Journal of Cleaner Production* 489,144629. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144629> [viitattu 29.3.2025].

Huuhka, S., Köliö, A., Annila, P., & Poti, A. 2018. Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin & Rakennustekniikan laboratoriot. Muuttuva rakennettu ympäristö. Numero 4. Tutkimusraportti 165. E-kirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2> [viitattu 13.2.2025].

Huuhka, S., Vainio, T., Moisio, M., Lampinen, E., Knuutinen, M., Bashmakov, S., Köliö, A., Lahdensivu, J., Ala-Kotila, P & Lahdenperä, P. 2021. Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjaukset. Ympäristöministeriön julkaisusarja 2021:9. Helsinki: Ympäristöministeriö. E-kirja. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-221-1> [viitattu 20.2.2025].

Häkämies, S., Lähdesmäki-Josefsson, K., Pitkämäki, A., Gaia Consulting Oy., Lehtonen, K & Ytekki Oy. 2019. Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Loppuraportti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://puutuoteteollisuus.fi/images/puufaktaa/ymparisto-kiertotalous-yms/Puupohjaisen%20rakennus-%20ja%20purkuj%C3%A4tteen%20kiertotalous.pdf> [viitattu 30.1.2025].

Jätelaki 17.6.2011/646.

Jätepuitedirektiivi 19.11.2008/98.

Karelia-ammattikorkeakoulu s.a. Rakennus- ja purkupuun uudelleenkäyttö on Suomessa vielä vähäistä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.karelia.fi/2023/08/rakennus-ja-purkupuun-uudelleenkaytto-on-suomessa-viela-va-haista/> [viitattu 17.2.2025].

Kierivä Oy s.a. Selvitys rakennusosien uudelleenkäytön mahdollistavasta prosessista. Powerpoint-diasarja. Saatavissa: https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2024/09/Selvitys-rakennusosien-uudelleen kayton-mahdollista-vasta-prosessista_Tilaa jalle.pdf [viitattu 16.2.2025].

Kiertokapula s.a. Puujäte. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://kiertokapula.fi/jatelajit/puujate/> [viitattu 8.2.2025].

Kiviluoma, P. 2024. Tältä näyttää ränsistyneessä Armilan U-koulussa – Purkua viivästyttäneen väestönsuojan koko hämmästyttää. *Etelä-Saimaa*. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://www.esaimaa.fi/paikalliset/7831677> [viitattu 21.3.2025].

Koskinen, S. 2025. Puun kiertotalouden tiellä seisoo joukko haasteita, jotka vaativat päättäväisiä toimia. 27.2.2025. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2025/02/27/tuhkasta-timantiksi-puun-kiertotalouden-tiella-seisoo-joukko-haasteita-jotka-vaativat-paattavaisia-toimia/> [viitattu 26.3.2025].

Kouvola Innovation & Ytekki Oy s.a. Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö; kelpoisuuden osoittaminen. Reuse-hanke. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://puutuoteteollisuus.fi/images/puufaktaa/ymparisto-kiertotalous-yms/Raportti_Rakennusmateriaalien%20uudelleen%C3%A4ytt%C3%B6_REUSE%20Kinno_Ytekki%20Oy.pdf [viitattu 13.1.2025].

Lahdensivu, J. 2023. Rakennuksen elinkaariominaisuudet muuttavat suunnittelua. 31.5.2023. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2023/05/31/rakennuksen-elinkaariominaisuudet-muuttavat-suunnittelua/> [viitattu 1.3.2025].

Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä 21.12.2012/954.

Maa- ja metsätalousministeriö & Ympäristöministeriö. 2024. Puutuotteet hiilen varastona Suomessa. Maa- ja metsätalousministeriö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://mmm.fi/documents/1410837/7764238/Puutuotteet+hiilivarastoina+16092020.pdf/d834c572-03c9-efa5-79fa-4a31b1602fc7/Puutuotteet+hiilivarastoina+16092020.pdf?t=1721125063433> [viitattu 23.2.2025].

Maankäyttö- ja rakentamislaki 5.2.1999/132.

Metsä Group. 2022. Ruotsin suurimmassa uudelleenkäyttöprojektissa Tukholman väliaikainen kauppahalli muutettiin padelhalliksi. 18.11.2022. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/uutiset-ja-julkaisut/artikkelit/padel-halli/?utm_source=pr&utm_campaign=padel_hall [viitattu 16.3.2025].

Moksu, M. 2024. Suomi hävittää nyt 1970- ja 1980-luvun rakennuksia ennätystahtia – selvitimme miksi niitä ei enää korjata. *Yle*. Verkko-lehti. Päivitetty 15.5.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20088333> [viitattu 10.1.2025].

Niu, Y., Rasi, K., Hughes, M., Halme, M & Fink, G. 2021. Prolonging life cycles of construction materials and combating climate change by cascading: The case of reusing timber in Finland. *Resources, Conservation and Recycling* 170, 105555. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105555> [viitattu 5.2.2025].

Nousiainen, R. 2024. Vaihtoehtoja purkamiselle: Katse olemassa olevan rakennuskannan monipuolisiin arvoihin. Ympäristöministeriö & Hämeen ELY-keskus. Selvitystyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2024042219907> [viitattu 24.1.2025].

Parigi, D. 2021. Minimal-waste design of timber layouts from non-standard reclaimed elements: A combinatorial approach based on structural reciprocity. *Sage Journals* 36, 4. Pages 270-280. Verkkolehti. Saatavissa: <https://doi.org/10.1177/09560599211064091> [viitattu 7.3.2025].

Paronen, S. 2025. Sähköpostiviesti 10.3.2025. Spolia Desing Oy.

Pihlajanmaa, T & Jantunen, J. 1995. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. Maatalouden tutkimuskeskus. Vakolan tutkimusselostus 70. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014082233096> [viitattu 28.2.2025].

Puuinfo Oy. 2020a. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/> [viitattu 23.1.2025].

Puuinfo Oy. 2020b. Sahatavaran lujuus ja CE-merkintä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/sahatavaran-lujuuslajittelu-2/> [22.1.2025].

Puuinfo Oy. 2022. Suursuosittu Tukholman väliaikainen kauppahalli muuntui upeaksi padelhalliksi Ruotsin suurimmassa uudelleenkäyttöprojektissa. Artikkel. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/11/23/suursuosittu-tukholman-valiaikainen-kauppahalli-muuntui-upeaksi-padelhalliksi-ruotsin-suurimmassa-uudelleenkaaytoprojektissa/> [viitattu 8.3.2025].

Puuinfo Oy. 2023a. Puutavaraopas. PDF-dokumentti. Päivitetty 9.10.2023. Saatavissa: https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2023/10/Puutavaraopas_2023_lowres-1.pdf [viitattu 25.1.2025].

Puuinfo Oy. 2023b. Puurakentamisen ympäristövaikutukset. Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot. Powerpoint-diasarja. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/koulutus/oppimateriaalit/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/> [viitattu 25.3.2025].

Puuinfo Oy. 2023c. Stark pilotoi rakennustyömaan uudelleen käytön mahdollisuuksia edistääkseen kiertotaloutta. Artikkel. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2023/04/03/stark-pilotoi-rakennustyomaan-puutavaran-uudelleenkaayton-mahdollisuuksia-edistaakseen-kiertotaloutta/> [viitattu 5.3.2025].

Rakennustieto. 2025. Uusi rakentamislaki voimaan 1.1.2025. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.1.2025. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/rakentamislaki#purkuluvat> [viitattu 19.3.2025].

Rakennustuoteasetus 9.3.2011/305.

Rakentamislaki 21.4.2023/751.

Ranttila, H. 2024. Technical requirements for assessment and certification of existing timber structures for reuse in construction. Aalto yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Pro gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202406164391> [viitattu 15.1.2024].

RT 21-11288. 2017. Rakennustieto. Puutavara sahattu ja höylätty.

Sahateollisuuskirja s.a. Laatulajittelu ja lujuuslajittelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://sahateollisuuskirja.fi/laatulajittelu-ja-lujuuslajittelu/> [viitattu 14.1.2025].

Sakaguchi, D., Takano, A & Hughes, M. 2017. The potential for cascading wood from demolished buildings: Potential flows and possible applications through a case study in Finland. *Sage Journals* 8, 4. Pages 208-215. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1080/20426445.2017.1389835> [viitattu 22.2.2025].

Saranpää, P. 1997. Puun rakenne, ominaisuudet ja kasvu. Metsätieteen aikakauskirja. Numero 1. Metsäntutkimuslaitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018061525899> [viitattu 26.1.2025].

Seidl, L., Keya, S., Seiwald, L., Hage, S., Huber, H., Pakarinen, T & Matveinen, M. 2024. Talteenotetun puun uudelleenkäyttö rakentamisessa – Rikkomaton aineenkoetus varhaisen päätöksenteon tukena. 29.5.2024. Verkko-lehti. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2024/05/29/talteenotetun-puun-uudelleenkayttö-rakentamisessa/> [viitattu 16.3.2025].

Shorokhova-Palolahti, N. 2024. Reuse of wood products left after demolition: challenges, facilitation and Green Public Procurement's role. A Case Study for Helsinki City. Turku University of Applied Sciences. Degree program in Business Management. Master's thesis. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202403285425> [viitattu 1.2.2025].

Spolia Desing Oy. 2025. LinkedIn. Tilapäivitys. Saatavissa: <https://www.linkedin.com/company/spolia-design-oy/posts/> [viitattu 18.3.2025].

Suomen ympäristökeskus. 2024a. Rakentamisen jätteet. WWW-dokumentti. Päivitetty 8.10.2024. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kierratys-ja-jatteet/valtakunnallisen-jatesuunnitelman-seuranta/rakentamisen-jatteet> [viitattu 10.1.2025].

Suomen ympäristökeskus. 2024b. Purkumateriaalin ja rakennusjätteen selvitystietojärjestelmä. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.3.2025. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi/luvut-ja-veloitteet/jatteiden-kerays-kuljetus-ja-valitys-suomen-sisalla/purkumateriaalin-ja-rakennusjätteen-selvitystietojarjestelma?utm_source=chatgpt.com [viitattu 28.2.2025].

Talja, A. 2014. Rakennusten suunnittelu uudelleenkäyttöä ja kierrätystä varten. VTT Tutkimusraportti. vol. VTT-R-00736-14. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-00736-14.pdf> [viitattu 16.2.2025].

Tihinen, H., Suikkanen, T., Pirilä, M & Toorikka, A. 2022. Rakenteiden ja materiaalien ehjänä purkaminen sekä uudelleenkäyttö. Karelia ammattikorkeakoulu. Selvitystyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-275-351-9> [viitattu 27.1.2025].

Topten. 2023. Rakennustarkastusyhdistys RTY. Rakennustuotteen kelpoisuuden osoittaminen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://toptenrava.fi/tulkinta-kortti/rakennustuotteiden-kelpoisuuden-osoittaminen-b/> [viitattu 20.3.2025].

Tukes s.a. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Rakennustuotteen käyttö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://tukes.fi/rakennustuotteet/rakennustuotteen-kaytto#f53a17d9> [viitattu 14.1.2025].

Tyyppihyväksyntä ja tyyppihyväksyntämerkintä s.a. Kiwa Tarkastus Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/sertifiointi-arviointi-ja-todentaminen/tyyppihyvaksynta-ja-tyyppihyvaksyntamerkki/> [viitattu 18.1.2025].

Tyyppihyväksyntä s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/tyyppihyvaksynta> [viitattu 18.1.2025].

Tähtinen, K. 2022. Rakennusosien uudelleenkäyttöä tulee kirittää hallitusti ja tutkittuun tietoon pohjautuen. Rakennustieto. Blogi. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/post/rakennusosien-udelleenkattoa-tulee-kirittaa-hallitusti-ja-tutkittuun-tietoon-pohjautuen> [viitattu 16.2.2025].

Valtioneuvoston asetus jätteistä 18.11.2021/978.

Varmennustodistus rakennustuotteille s.a. Kiwa Tarkastus Oy. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi/palvelumme2/sertifiointi-arviointi-ja-todentaminen/varmennustodistus-rakennustuotteille/> [viitattu 14.1.2025].

Varmennustodistus s.a. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/varmennustodistus> [viitattu 18.1.2025].

Väisänen, R. 2024. Armilan vanhan U-koulun väestönsuojalle löytyi väliaikainen korvaaja Lappeenrannassa. Yle. Verkkolehti. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20109475> [viitattu 21.3.2025].

Ympäristöministeriö. 2022. Rakennustuotteiden uudelleenkäyttö on Suomessa mahdollista rakennuspaikkakohtaista varmentamista käyttäen. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/-/rakennustuotteiden-udelleenkatto-on-suomessa-mahdollista-rakennuspaikkakohtaista-varmentamista-kayttaen> [16.1.2025].

Ympäristöministeriön asetus purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksestä 31.12.2024/1089.

Zhu, Y., Lonka, H., Tähtinen, K., Anttonen, M., Isokääntä, P., Knuutila, A., Lahdensivu, J., Mahiout, S., Mäntylä, A-M., Raimovaara, M., Rantio, T., San-

tonen, T & Teittinen, T. 2022. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisuuden näkökulmasta. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:15. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-253-4> [viitattu 15.1.2025].

KUVALUETTELO

Kuva 1. Rakentamisen jätteet. Suomen Ympäristökeskus. 2024. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/fi/kestava-kierto-ja-biotalous/kierratys-ja-jatteet/valtakunnallisen-jatesuunnitelman-seuranta/rakentamisen-jatteet> [viitattu 10.1.2025].

Kuva 2. Suomi hävittää nyt 1970- ja 1980-luvun rakennuksia ennätystahtia – selvitimme, miksi niitä ei enää korjata. Moku, M. 15.5.2024. Saatavissa: <https://yle.fi/a/74-20088333> [viitattu 11.1.2025].

Kuva 3. Puutavara sahattu ja höylätty. RT 21-11288. 2017. Rakennustieto

Kuva 4. Puutavara sahattu ja höylätty. RT 21-11288. 2017. Rakennustieto

Kuva 5. Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot. Puurakentamisen ympäristövaikutukset. Puuinfo. 2024. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/koulu-tus/oppimateriaalit/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/>

Kuva 6. Purkutyöt – opas tekijöille ja teettäville. Ympäristöministeriö. Lehtonen, K. 2019. s.25. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161884/YM_2019_29.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Kuva 7. Järeän sahatavaran mekaaniset ominaisuudet. Vakolan tutkimusse-
lotus 70. Pihlajamaa, T. & Jantunen, J. 1995. s 36. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014082233096>

Kuva 8. Puurakenteiden uudelleenkäyttömahdollisuudet. Tampereen teknilli-
nen yliopisto. Arkkitehtuurin & Rakennustekniikan laboratoriot. Tutkimusra-
portti. Huuhka, S., Köliö, A., Annila, P., & Poti, A. 2018. s 55. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2>

Kuva 9. The potential for cascading wood from demolished buildings: Potential
flows and possible applications through a case study in Finland. *Sage journals*
8. 4. Sakaguchi, D., Takano, A. & Hughes, M. 2017. Saatavissa: [https://doi-
org.ezproxy.xamk.fi/10.1080/20426445.2017.1389835](https://doi-org.ezproxy.xamk.fi/10.1080/20426445.2017.1389835)

Kuva 10. Teollisen puurakentamisen opetusmateriaali -aineistot. Puurakenta-
misen ympäristövaikutukset. Puuinfo. 2024. Saatavissa: [https://puu-
info.fi/koulu-tus/oppimateriaalit/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-
aineistot/](https://puu-info.fi/koulu-tus/oppimateriaalit/teollisen-puurakentamisen-oppimateriaali-tpuur-aineistot/)

Kuva 11. Puutuotteet hiilen varastona Suomessa. Maa- ja metsätalousministe-
riö & Ympäristöministeriö. 2024. Saatavissa: [https://mmm.fi/docu-
ments/1410837/7764238/Puutuotteet+hiilivaras-
toina+16092020.pdf/d834c572-03c9-efa5-79fa-4a31b1602fc7/Puutuotteet+hi-
livarastoina+16092020.pdf?t=1721125063433](https://mmm.fi/documents/1410837/7764238/Puutuotteet+hiilivaras-toina+16092020.pdf/d834c572-03c9-efa5-79fa-4a31b1602fc7/Puutuotteet+hiilivarastoina+16092020.pdf?t=1721125063433)

Kuva 12. Puutuotteet hiilen varastona Suomessa. Maa- ja metsätalousministe-
riö & Ympäristöministeriö. 2024. Saatavissa: [https://mmm.fi/docu-
ments/1410837/7764238/Puutuotteet+hiilivaras-
toina+16092020.pdf/d834c572-03c9-efa5-79fa-4a31b1602fc7/Puutuotteet+hi-
livarastoina+16092020.pdf?t=1721125063433](https://mmm.fi/documents/1410837/7764238/Puutuotteet+hiilivaras-toina+16092020.pdf/d834c572-03c9-efa5-79fa-4a31b1602fc7/Puutuotteet+hiilivarastoina+16092020.pdf?t=1721125063433)

Kuva 13. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/liimapuu-1?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 14. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/liimapuupalkki?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 15. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/liimapuupilari?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 16. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/puuparketti?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 17. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/liimapuupaneeli-1?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 18. Kuvakaappaus Spolia Store sivuilta. Spolia Store. 2025. Saatavissa: <https://store.spolia.fi/shop/product/liimapuupaneeli-1?tm=rakennustuotekauppa>

Kuva 19. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 20. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 21. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 22. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 23. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 24. Kuvakaappaus sähköpostiviestistä. Spolia Desing Oy. Paronen, S. 2025.

Kuva 25. Kuvakaappaus uutisesta. Puiinfo. 2022. Saatavissa: <https://puu-info.fi/2022/11/23/suursuosittu-tukholman-valiaikainen-kauppahalli-muuntui-upeaksi-padelhalliksi-ruotsin-suurimmassa-uudelleenkayttoprojektissa/>

Kuva 26. Kuvakaappaus uutisesta. Puiinfo. 2022. Saatavissa: <https://puu-info.fi/2022/11/23/suursuosittu-tukholman-valiaikainen-kauppahalli-muuntui-upeaksi-padelhalliksi-ruotsin-suurimmassa-uudelleenkayttoprojektissa/>

Kuva 27. Kuvakaappaus uutisesta. Puiinfo. 2022. Saatavissa: <https://puu-info.fi/2022/11/23/suursuosittu-tukholman-valiaikainen-kauppahalli-muuntui-upeaksi-padelhalliksi-ruotsin-suurimmassa-uudelleenkayttoprojektissa/>

Kuva 28. Kuvakaappaus artikkelit & referenssit sivulta. Metsä Group 2022. Saatavissa: https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/uutiset-ja-julkaisut/artikkelit/padel-halli/?utm_source=pr&utm_campaign=padel_hall

Kuva 29. Kuvakaappaus uutisesta. Puuinfo. 2023. Saatavissa: <https://puu-info.fi/2023/04/03/stark-pilotoi-rakennustyomaan-puutavaran-uudelleen-kayton-mahdollisuuksia-edistaakseen-kiertotaloutta/>

Kuva 30. Kuvakaappaus uutisesta. Puuinfo. 2023. Saatavissa: <https://puu-info.fi/2023/04/03/stark-pilotoi-rakennustyomaan-puutavaran-uudelleen-kayton-mahdollisuuksia-edistaakseen-kiertotaloutta/>

Kuva 31. Kuvakaappaus Etelä-Saimaan artikkelista. Etelä-Saimaa. Kokkonen, A. 2024. Saatavissa: <https://www.esaimaa.fi/paikalliset/7963642>

Kuva 32. Purkukohteesta. Silvast, J. 25.1.2025

Kuva 33. Purkukohteesta. Silvast, J. 25.1.2025

Kuva 34. Purkukohteesta. Silvast, J. 17.1.2025

Kuva 35. Testauslaitteesta. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 36. Kuvakaappaus verkkosivuilta. Kosteusmittari. 2025. Saatavissa: https://www.kosteusmittari.fi/tuotteet.html?id=1/12&srsId=AfmBOooSK0CGDOHw1uFyY_ZocoQHwI7Us-NXzJI9mbePn2hvbZOWHrsJc

Kuva 37. Purkukohteen kappaleista. Silvast, J. 17.1.2025

Kuva 38. Purkukohteen kappaleista kuivuneena. Silvast, J. 31.1.2025

Kuva 39. Kuvakaappaus sähköpostiviesti. Kuitulaboratorio. Tutkimusinsinööri. Malmstedt, F. 2025

Kuva 40. Koekappaleista ennen uunia. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 41. Testin lähtötilanne. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 42. Saavutettu maksimi. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 43. Kuvakaappaus sähköpostiviesti. Kuitulaboratorio. Projektipäällikkö. Luukkainen, J-P. 2025

Kuva 44. Testikappaleen leikkausmurtuma. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 45. Testikappaleen leikkausmurtuma. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 46. Testikappaleen vetomurtuma kappaleen alapinnassa. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 47. Testikappaleen vetomurtuma kappaleen alapinnassa. Silvast, J. 24.2.2025

Kuva 48. Testikappaleessa vetomurtuma alapinnassa oksan ja naulan yhteisestä vaikutuksesta lujuteen. Silvast, J. 24.2.2025

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Itse tehty taulukko. Alkuperäiset lähtötiedot suoraan purkukoh-
teesta. Silvast, J. 29.1.2025

Taulukko 2. Itse tehty taulukko. Kappaleiden kosteuspitoisuudet. Silvast, J.
2.2.2025

Taulukko 3. Kuvankaappaus excel. Uudet dimensiot. Kuitulaboratorio. Projek-
tipäällikkö. Luukkainen, J-P

Taulukko 4. Itse tehty taulukko. Kappaleiden uudet kosteuspitoisuudet. Sil-
vast, J. 15.5.2025

Taulukko 5. Itse tehty taulukko. Lähtötiedotestin suorittamiseen. Silvast, J.
2025

Taulukko 6. Itse tehty taulukko. Maksimikuormat ja taipumat. Silvast, J. 2025

Taulukko 7. Itse tehty taulukko. Kimmomoduulin kaava purettu osiin. Silvast,
J. 2025

Taulukko 8. Itse tehty taulukko. Maksimikuorma, taivutuslujuus ja murtotapa.
Silvast, J. 2025

Taulukko 9. Itse tehty taulukko. Tulosten koonti. Silvast, J. 2025