

# CLT-LEVYT MAANPINNAN KANTAVUUDEN VAHVISTAJANA PUUNKORJUUSSA

Anne Saloniemi (toim.)



Toimittaja:

Saloniemi, Anne, metsätalousinsinööri (YAMK), asiantuntija, Tulevaisuuden biotalous, Lapin ammattikorkeakoulu.

Kirjoittajat:



Ahoranta Tytti, puutalousinsinööri, projektipäällikkö, Kemin Digipolis Oy



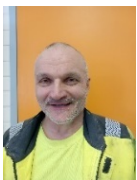
Airaksinen Risto, DI, rakennetekniikka, toimitusjohtaja, rakennesuunnittelija, Insinööritoimisto Airax OY



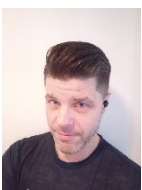
Hilli Anu, Metsätalousinsinööri, FT, metsänhoidon asiantuntija, Suomen Metsäkeskus



Hiltunen Oiva, MMM, lehtori, tulevaisuuden biotalous, Lapin ammattikorkeakoulu



Kinnunen Juha, rakennusinsinööri (AMK), kouluttaja, Ammattiopisto Lappia



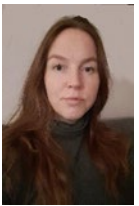
Lindblad Jari, MMM, tutkija, metsä- ja puutuoteteknologia, Luonnonvarakeskus



Lindeman Harri, MMM, tutkija, metsä- ja puutuoteteknologia, Luonnonvarakeskus



Mylly Martti, rakennusinsinööri (AMK), kouluttaja, Ammattiopisto Lappia

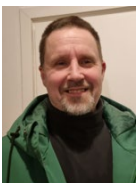


Kirjoittajan kasvot.

Pahkala Helena, metsätalousinsinööri (AMK), yritysten asiakasneuvoja, Suomen Metsäkeskus



Saloniemi Anne, metsätalousinsinööri (YAMK), asiantuntija, CLT-hankkeen projektipäällikkö, tulevaisuuden biotalous, Lapin ammattikorkeakoulu.



Yliniemi Matti, puutalousinsinööri, opettaja, osaamisalavastaava, kouluttaja, Ammattiopisto Lappia.

Tyyppi: Kokoomajulkaisu

Julkaisija: Lapin ammattikorkeakoulu Oy

Julkaisuvuosi: 2023

Sarja: Pohjoisen tekijät - Lapin ammattikorkeakoulun julkaisuja 15/2023

ISBN 978-952-316-478-9 (pdf)

ISSN 2954-1654 (verkkojulkaisu)

URL-linkki: <https://pohjoisentekijat.fi/2023/05/09/clt-levyt-maanpinnan-kantavuuden-vahvistajana-puunkorjuussa/>

Oikeudet: CC BY-SA 4.0

Kieli: suomi

Kannen kuva: Jukka Matti-Tuuri, CLT Finland Oy

## Tiivistelmä

Ilmaston lämpenemisen myötä leudommat talvet pidentävät kelirikkoajoja ja puunkorjuuseen tarvitaan uusia ratkaisuja maaperän vahvistamiseksi eri menetelmin. Suomessa on toteutettu ja on suunnitteilla suuria metsäteollisuusinventointeja, jotka osaltaan lisäävät paineita ympärivuotiseen puunkorjuuseen. Tähän sähköiseen artikkelikokoelmaan on koottu CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hankkeessa toteutettuja toimia ja tuloksia artikkelimuotoon.

Hankkeen päätoteuttaja toimi Lapin ammattikorkeakoulu ja osatoteuttajina Suomen Metsäkeskus, Kemin Digipolis Oy ja Luonnonvarakeskus. Artikkelikokoelma on suunniteltu hankkeen työpakettien mukaisesti, joissa pääteemoina olivat levyjen käytön suunnittelu, tuotesuunnittelun johtaminen, levyjen testaus ja kustannuslaskennat levyjen käytölle. Hankkeen kokonaisbudjetti oli 482 418 euroa ja toteutusaika 1.10.2020-31.8.2023. Hanketta rahoittaa Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.



Elinkeino-, liikenne- ja  
ympäristökeskus



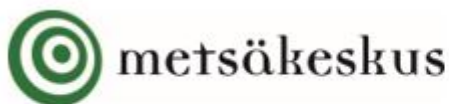
Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020

LAPIN AMK<sup>7</sup>  
Lapland University of Applied Sciences



LUONNONVARAKESKUS



DIGIPOLIS

# Sisällysluettelo

Anne Saloniemi

**Rakennuksista tutut CLT-levyt suometsien puunkorjuussa ..... 6**

Anu Hilli ja Helena Pahkala

**Toimijoiden näkemyksiä CLT-levyn suunnitteluun puunkorjuussa ja levyjen käyttökohteista väliaikaisessa maanpinnan vahvistamisessa ..... 11**

Tytti Ahoranta, Risto Airaksinen ja Anu Hilli

**CLT-levyjen suunnittelu huonosti kantavien maiden puunkorjuuseen ..... 19**

Tytti Ahoranta, Juha Kinnunen, Martti Mylly, Anne Saloniemi, Matti Yliniemi

**CLT-levyt ajoalustana pehmeiden maiden puunkorjuussa – Rakennetekninen analyysi olosuhteiden vaikutuksista CLT-levyjen lujuuteen ..... 30**

Anu Hilli, Oiva Hiltunen ja Helena Pahkala

**Kuormatraktorin ja puutavara-auton kuljettajien näkemykset CLT-levyjen käytettävyydestä puunkorjuussa..... 38**

Harri Lindeman

**CLT-levyt puunkorjuussa – Maastotestausta ..... 45**

Jari Lindblad

**CLT-levyjen käytön kustannukset puunkorjuussa – kauko- ja metsäkuljetus ja asentaminen ajouralle ..... 52**

Helena Pahkala ja Anne Saloniemi

**LOPUKSI ..... 66**

Anne Saloniemi

## Rakennuksista tutut CLT-levyt suometsien puunkorjuussa

Ympärivuotisen puunkorjuun turvaamiseksi tarvitaan uusia ratkaisuja ja menetelmiä maaperän vahvistamiseen. Ilmastonmuutos on vaikuttanut lauhjojen ja lyhenevien talvien yleistymiseen, ja sääolot vaikuttavat pehmeiden maiden kantavuuteen. Kansallisen Metsästrategian 2035 mukaan, noin neljännes Suomen puuntuotannon metsämaasta on suometsiä, joiden hoito on tärkeää muun muassa ilmaston ja monimuotoisuuden kannalta. Lapissa reilu viidesosa hakkuumahdollisuuksista on turvemaiden metsissä (Metsäkeskus 2020). Turvemaiden osuus metsämaasta on suurin Lounais-Lapissa Simossa, jossa turvemaan osuus on 46 prosenttia (Hiltunen & Palander 2020, 47).

Uudet investoinnit lisäävät puun käyttöä ja puun hyvä saatavuus on yksi keskeinen edellytys, jotta uudet investoinnit toteutuvat. Uusien ratkaisujen kehittämisellä voidaan vastata ilmastonmuutoksen asettamiin haasteisiin. (Kansallinen metsästrategia 2035, 15.) Suomessa on toteutettu ja on suunnitteilla suuria metsäteollisuusinvestointeja, jotka osaltaan lisäävät paineita ympärivuotiseen puunkorjuuseen. Tulevaisuudessa puuta hankintaan lisääntyvän puunkäytön takia nykyistä enemmän myös turvemailta (Hiltunen & Palander 2020, 48).

Pitkäaikaiset puutuotteet, kuten CLT (Cross Laminated Timber) -levyt, toimivat hiilen varastona ja korvaavat uusiutumattomien materiaalien käyttöä. Hiilivarastojen näkökulmasta on lisäksi olennaista, että puutuotteiden elinkaari on mahdollisimman pitkä (Maa- ja metsätalousministeriö 2023). CLT-levyt tunnetaan parhaiten rakennusten kantava rakenteena, mutta maan pinnan kantavuuden parantamisena sitä ei ole Suomessa testattu eikä juurikaan tutkittu.

## Hankkeen idea innovaatiotyöpajasta

Ajatus CLT-levyjen käytöstä puunkorjuussa sai alkunsa vuosina 2018-2020 toteutuneessa ROSEWOOD (European Network of Regions on Sustainable Wood Mobilisation) hankkeessa, jossa Suomesta mukana olivat Luonnonvarakeskus ja Lapin ammattikorkeakoulu. Hankkeen pääajatuksena oli kartoittaa uusia, innovatiivisia ja kestäviä keinoja Euroopan puuraaka-aineen liikkeelle saamiseksi. Hankkeessa järjestetyissä innovaatiotyöpajoissa etsittiin uusia ideoita puuraaka-aineen hyödyntämiseen ja liikkeelle saamiseksi myös korjuuolosuhteiltaan haastavista kohteista. Aihe CLT-levyjen käytöstä ympärivuotisen puunkorjuun mahdollistajana nousi ROSEWOOD-hankkeen innovaatioehdotusten pisteytyksessä kärkipaikalle ja sitä alettiin jatkokehittämään pienryhmätoiminnan avulla.

Idea ristiinlaminoitujen massiivipuulevyjen käytöstä maan kantavuuden ja leimikon saavutettavuuden parantamisessa tuli Kemin Digipolis Oy:n puurakentamisen asiantuntijalta. Kemin Digipolis Oy:n CLT-tuotetuntemus perustuu EU-rahoitteisiin innovatiivisten



puurakenteiden tutkimus- ja tuotekehityshankkeisiin, joita on toteutettu vuodesta 2013 lähtien pääasiassa yhteistyössä Ammattiopisto Lappian CLT-oppimisympäristön toimijoiden kanssa. CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hanke sai rahoituksen Euroopan aluekehitysrahastosta Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen kautta vuonna 2020. Hanke osaltaan vastasi myös Lapin Metsäohjelman tavoitteisiin, joissa yhtenä kehittämiskohteena on metsien saavutettavuus.



Kuva 1. CLT-levyt käytössä puunkorjuukohteella (Kuva Harri Lindeman)

## Levyjen suunnittelusta rakennetekniseen analyysiin

CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa- hankkeessa tutkittiin CLT-levyjen käyttöä pehmeiden maiden puunkorjuussa. Hankkeessa kerättiin tietoa maan kantavuuteen liittyvistä haasteista ja vaikutuksista puunkorjuuseen, kartoitettiin potentiaalisia kohteita maastotestien toteuttamiseen yhteistyössä mm. Metsähallituksen kanssa, määriteltiin levyille optimaalinen koko sekä nostoratkaisut, valmistettiin levyt, toteutettiin maastotestit, tehtiin rakennetekninen analyysi ja laskettiin puunkorjuun arvoketjun kannattavuutta. Hanke näyttää suuntaa sille, miten CLT-levyjä voidaan käyttää tilapäisesti maan pinnan kantavuuden parantamiseen huonosti kantavilla mailla ja myös pienten ojen ylityksessä.



Levyjen suunnittelusta vastasi rakennustekniikan DI Risto Airaksinen ja jotta levyt vastaisivat käyttäjien tarpeisiin, osallistettiin metsäkoneyrittäjiä ja metsäalan toimijoita suunnittelutyön alkuvaiheessa työpajojen muodossa. Ensimmäisiä levyjä päästiin testaamaan kesän kynnyksellä 2021 ja viimeisiä syksyllä 2022. Luonnonvarakeskus keräsi aineistoa niin levyjen maaperävaikutuksista kuin levyjen käytön ajanmenekistä.

CLT-levyjen kantavuusvaikutusten simuloinnilla mahdollistettiin CLT-levyjen mallintaminen maastossa ja ennustettiin maastoon jäävään uran syvyyttä sekä levyn alle muodostuvaa painetta. Näitä tuloksia käytettiin CLT-levyjen dimensioiden suunnitteluun.



Kuva 2. Yleisödemostraatiot Hirvaalla Lentokonejängällä syksyllä 2022. (Kuva Anne Saloniemi)

## Viestintää kohderyhmille ja aiheesta kiinnostuneille

Hankkeen aikana testien lisäksi toteutettiin kaksi demonstraatiota (kuva 2), joissa mukana oli metsäalan toimijoita, koneyrityksiä ja opiskelijoita. CLT-Levyjen käyttöä esiteltiin yleisölle syksyllä 2022 Metsähallituksen kohteella Rovaniemellä Lentokonejängällä. Yleisölle esiteltiin levyjen toiminnallisuutta suonotkon ylityksellä aidolla puunkorjuukohteella ja pienen ojan ylityksessä. Levyjen päältä ajettiin täydellä kuormalla, jonka avulla havainnollistettiin levyjen kantavuutta. Samalla keskusteltiin uudenlaisista liiketoimintamahdollisuuksista CLT-levyjä hyödyntäen. Demonstraatioihin osallistuneet saivat myös vastata kyselyyn, jonka avulla kartoitettiin osallistujien näkemyksiä levyjen toimivuudesta.



Hankkeen toimenpiteitä ja tuloksiin liittyvää viestintää suunnattiin metsäalan toimijoille, metsäkonepalveluyrityksiin sekä hankkeen aihepiiriin kuuluviin sidosryhmiin ja kohderyhmien edustajiin. Hankkeen vaikuttavuutta edistettiin yhteistyöllä käynnissä olevien vastaavaan aihepiiriin liittyvien hankkeiden kanssa, kuten esimerkiksi ROSEWOOD4.0- ja Yksityisteiden Puuinfra- hankkeiden kanssa järjestetyssä webinaarissa maaliskuussa 2022.

Hankkeessa tuotettiin [esittelyvideo](#), jossa kerrotaan levyjen käytettävyydestä ja liikuteltavuudesta.



Hankkeesta kirjoitettiin artikkeleita ja julkaistiin uutisia eri verkostoissa mm. Puumieslehdessä, Puufon nettisivuilla, CLT Finland Oy Hoiskon nettisivuilla, Lapin ammattikorkeakoulun Pohjoiset tekijät- blogisivustolla, ja Metsäkeskuksen sivuilla. Hankkeessa julkaistiin myös uutiskirjettä hankkeeseen ja aihealueeseen liittyen. Hankkeen materiaaleja ja dokumentteja löytyy hankekohtaisesta [tietopankista](#) Lapin ammattikorkeakoulun sivustosta.

CLT:n soveltaminen maan pinnan kantavuuden parantamisen ratkaisuna ja uudelleenkäytettävänä kulkuväylänä kiinnosti Suomessa muitakin kuin metsäalan toimijoita. Tämä selvisi Metsäkeskuksen tekemissä haastatteluissa, joissa haasteltiin mm. kaivosteollisuuden, pelastustoimen ja puolustusvoimien edustajia. Hankkeessa pilotoitava menetelmä on herättänyt spontaania mielenkiintoa sellaisissa pk-yrityksissä, joiden liiketoiminta perustuu siihen, että maastoon tulee päästä raskaalla kalustolla mahdollisimman vähän jälkiä jättämättä. Levyjä käyttämällä voisi päästä hyvinkin nopeasti haasteellisiin kohteisiin aikaa säästäen.

Hankkeella lisättiin vähähiilistä taloutta tukevaa tutkimus- ja innovaatiotoimintaa pehmeiden maiden puunkorjuussa. Tämän kokoelmateoksen artikkeleissa pohditaan menetelmän käytettävyyttä, kestävyyttä ja kannattavuutta. Hankkeen toteuttajat olivat Lapin ammattikorkeakoulu, Kemin Digipolis Oy, Suomen Metsäkeskus ja Luonnonvarakeskus.

## Lähteet

Hiltunen, O. & Palander, T. 2020. Puuntuotannon ja puunhankinnan kehittämismahdollisuudet Etelä-Lapin ojitetuilla soilla. Suo - Mires and peat, 71(1), 47-64. Viitattu 3.4.2023. <http://www.suo.fi/article/10401>.

Kansallinen metsästrategia 2035. Maa- ja metsätalousministeriö 2022. Viitattu 17.3.2023.  
<https://mmm.fi/kms>.

Metsäkeskus 2020. Lapin metsäohjelma 2021–2025. Viitattu 16.3.2023.  
<https://arcg.is/zu4Gi>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2023. Viitattu 3.4.2023. <https://mmm.fi/maankayttosektorin-ilmastosuunnitelma/puutuotteet-hiilivarastoina>.

## Toimijoiden näkemyksiä CLT-levyn suunnitteluun puunkorjuussa ja levyjen käyttökohteista väliaikaisessa maanpinnan vahvistamisessa

Puunkorjuuseen tarvitaan uusia ratkaisuja sekä leimikoiden suunnitteluun että maaperän kantavuuden vahvistamiseen. Aktiivisella metsänhoidolla suometsiin on saatu huomattavat puuvarat, joita tullaan hyödyntämään metsäteollisuuden uusien investointien myötä ympärivuotisesti. CLT-levyt tarjoavat mahdollisuuden ympärivuotisen puunkorjuun lisäämiseen.

Turvemaan pintakerroksen kantavuuteen vaikuttaa kasvilajisto ja aluskasvillisuuden sekä puuston tiheys. Tärkein kantavuuteen vaikuttava tekijä on puuston määrä, jonka tulisi olla vähintään 120 m<sup>3</sup>/ha. Muita kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. turvekerroksen paksuus ja laatu, pohjaveden pinnan syvyys ja korjuuajankohdan sääolosuhteet. Suometsissä puunkorjuu ajoittuu pääasiassa talvikauteen, jolloin routa lisää maaperän kantavuutta. Kun routaa ja maanpintaa suojaavaa lumikerrosta ei ole, kantavuus on heikkoa. (Hiltunen & Palander 2020; Lehtonen ym. 2018, Tapio 2023.) Suometsissä kantavuutta joudutaan parantamaan esimerkiksi kokoojaurilla ja varastopaikkojen läheisyydessä, ajourien kosteimmilla kohdin sekä ojien ylityksissä. (Tapio 2023).

Suometsien puunkorjuussa kantavuutta on parannettu pääasiassa havutuksella ja kuitupuun sijoittamisella ajouralle. Lisäksi kantavuutta voidaan parantaa metsäkoneiden varusteratkaisuilla, kuormakokoa rajoittamalla, ajamalla eri raiteilla sekä ajouria leventämällä (Kärhä, Poikela & Keskinen 2010; Tapio 2023). Muita ratkaisuja, joita on kokeiltu ja tutkittu ovat mm. ajosillat, pitkospuu- ja kumimatot (Kontinen 2014; Rossi & Savorin 2015).

Suometsien kesäaikaisessa puunkorjuussa kantavuutta ja sitä parantavia ratkaisuja tulee arvioida jo leimikon suunnittelun yhteydessä (Hiltunen & Palander 2020). Korjuun suunnittelussa voidaan hyödyntää Suomen metsäkeskuksen sivustolla saatavilla olevia [korjuukelpoisuuskarttoja](#) (Suomen metsäkeskus 2021) ja turvemaille laadittua kantavuusluokitusta (Högnäs, Kumpare & Kärhä 2011).

CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hankkeen tavoitteena oli testata ristiinlaminoituja levyjä pehmeiden maiden puunkorjuussa. CLT-levyjen suunnittelun lähtökohdaksi asetettiin niiden rakenteellinen kantavuus metsäkoneiden alla. Lisäksi levyjen tuli olla käsiteltävissä metsätraktorin ja puutavara-auton kuormaimella. Tässä työssä selvitettiin metsäalan toimijoiden näkemyksiä CLT-levyjen suunnittelun tueksi puunkorjuussa sekä muiden toimijoiden näkemyksiä CLT-levyjen mahdollisista käyttökohteista maanpinnan kantavuuden vahvistajana.



## Haastattelut, kyselyt ja työpajat suunnittelun taustalla

Koneyrittäjien ja muiden metsäalan toimijoiden näkemyksiä levyjen suunnitteluun kerättiin hankkeessa järjestetyillä työpajoilla. Työpajoissa selvitettiin muun muassa levyjen sopivaa kokoa ja nosto- ja liittämiskäytöksiä sekä levyjen kuljetusratkaisuja varastopaikalta leimikoille sekä mahdollisia käyttökohteita puunkorjuussa.

Kyselytutkimuksen avulla kartoitettiin yrittäjien ja toimijoiden näkemyksiä CLT-levyjen käytettävyydestä leimikko-olosuhteissa. Kyselytutkimus suoritettiin maasto-demonstraatioiden yhteydessä. Kyselyssä selvitettiin näkemyksiä CLT-levyjen kantokyvystä ja pinnankestävyydestä sekä nosto- ja asennusratkaisujen sujuvuudesta. Vastaukset annettiin asteikolla 1–5, jossa 1=heikko ja 5=erinomainen.

Lisäksi avoimilla kysymyksillä selvitettiin levyjen käytettävyyttä havutukseen ja kuitupuumattoon verrattuna sekä levyjen liiketoimintamahdollisuuksia ja sopivia käyttökohteita. Kyselyyn vastanneissa oli puunhankinnan ketjussa olevia toimijoita ja yrittäjiä, oppilaitoksen edustajia sekä muita aiheesta kiinnostuneita. Kyselyyn vastasi 88 prosenttia demonstraatioissa käyneistä.

Puunkorjuun lisäksi myös muilla aloilla esiintyy väliaikaista kulunparantamistarvetta maastossa. CLT-levyjen mahdollisuuksia maaperän kantavuuden vahvistajana muilla aloilla selvitettiin haastatteluilla.

## Metsäalan toimijoiden näkökulmat levyjen suunnitteluun

Levyjen kooksi esitettiin 1,5 x 4,5 metriä, jolloin niiden käsiteltävyyttä kuormatraktorin kuormaimella pidettiin vielä hyvänä. Levyjen lähikuljetuksessa koneyrittäjät eivät nähneet ongelmia, mikäli levyjen maksimikoko olisi 2,5 x 5 metriä.

Metsäkoneyrittäjät totesivat, että levyjen kaukokuljetus joudutaan suorittamaan erikseen, sillä lavettien kantavuus ei riitä metsäkoneen ja levyjen kuljettamiseen samanaikaisesti. Myöskään levynippua ei ole luvallista kuljettaa laidattomalla lavetilla, sillä voi kuljettaa yksittäisen yhtenäisen kappaleen (Tieliikennelaki 2018). Puutavara-auto nähtiin todennäköisimpänä vaihtoehtona levyjen kuljetukseen leimikoille.

Levyjen nostoratkaisuksi toimijat esittivät erilaisia vaihtoehtoja, kuten vaijeria sekä teräksellä vahvistettua kahvaa. Osa metsäkoneyrittäjistä arvioi teräksisen vaijerin sotkeutuvan teloihin. Koneyrittäjien mukaan nostokahvoja tuli olla vähintään kahdella sivulla (kuva 1).

Levyjen liittämistarve tuli esille sekä työpajoissa että maastotestien yhteydessä tehdyssä kyselyssä. Osa katsoi, että liittämistarvetta ei ole, sillä raskaat levyt tulevat pysymään paikoillaan riittävän hyvin. Toiset olivat sitä mieltä, että levyt tulisi saada liitettyä toisiinsa, sillä levyjen pelättiin nousevan pystyyn koneen ajaessa levyn reunalle, jolloin ne voisivat vaurioittaa renkaita tai konetta. Levyjen liittäminen toisiinsa tulisi olla mahdollista kuormatraktorista käsin. Liittämiskäytöksi esitettiin metallista ketjua tai vaijeria.



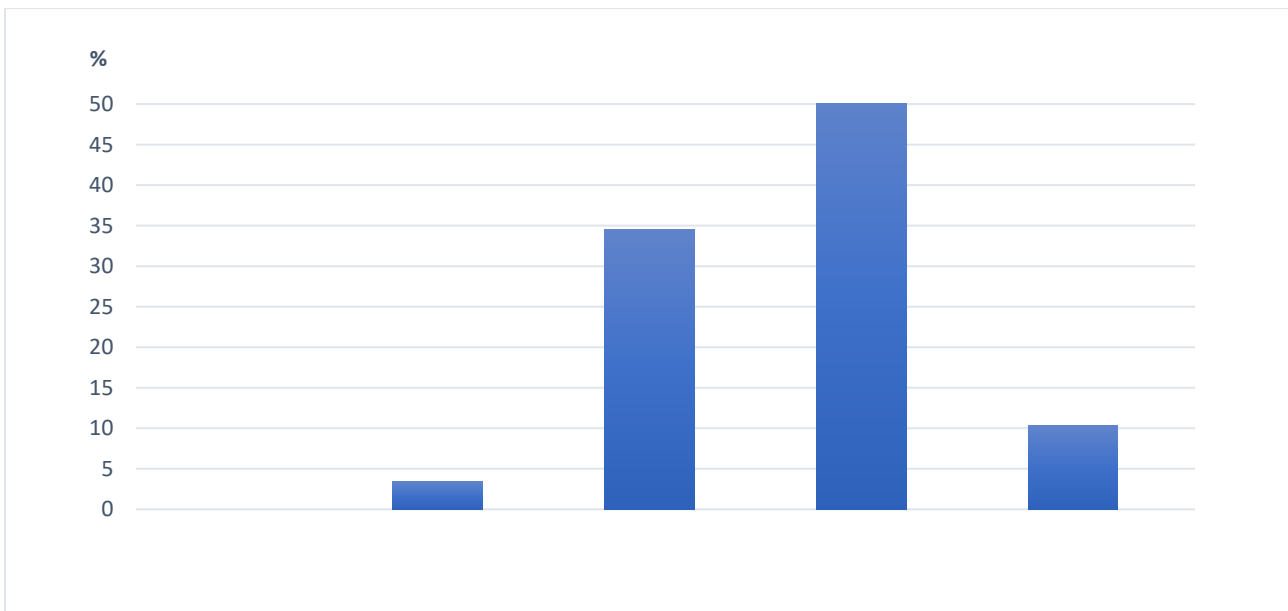
Kuva 1. Teräksellä vahvistettu CLT-levyn nostoratkaisu. (Kuva Jari Lindblad)

Suunnitteluvaiheessa osa metsäkoneyrittäjistä epäili levyjen olevan liukkaita ilman pinnoitusta. Aiemmissa testeissä telan levyisten, kapeiden puisten ajosiltojen ja pitkospuumattojen on todettu olevan liukkaita, jolloin kuormatraktori pyrki liukumaan sivulle päin (Kontinen 2014). Myös maastotesteissä levyn pinnoittaminen kumimatolla kulku-uran kohdalta nousi esiin kehittämisehdotuksena. Koneyrittäjät totesivat, että kumimatot ja harjaterästangot liukuesteenä eivät tule kestäämään telojen alla. Pinnoitteeksi koneyrittäjät esittivät yhtenäistä pinnoitetta, johon tela ei tartu.

CLT-levyjen kestävyys on lautojen yhteen liimauksen ansiota parempi, kuin esimerkiksi pulttaamalla yhteen liitettyjen levyjen kestävyteen verrattuna (Sterling Solutions LLC 2023), joten tarvetta nyt testattujen levyjen pinnoittamiseen ei katsottu tarpeelliseksi. Pinnoite olisi nostanut levyjen painoa sekä lisännyt kustannuksia.

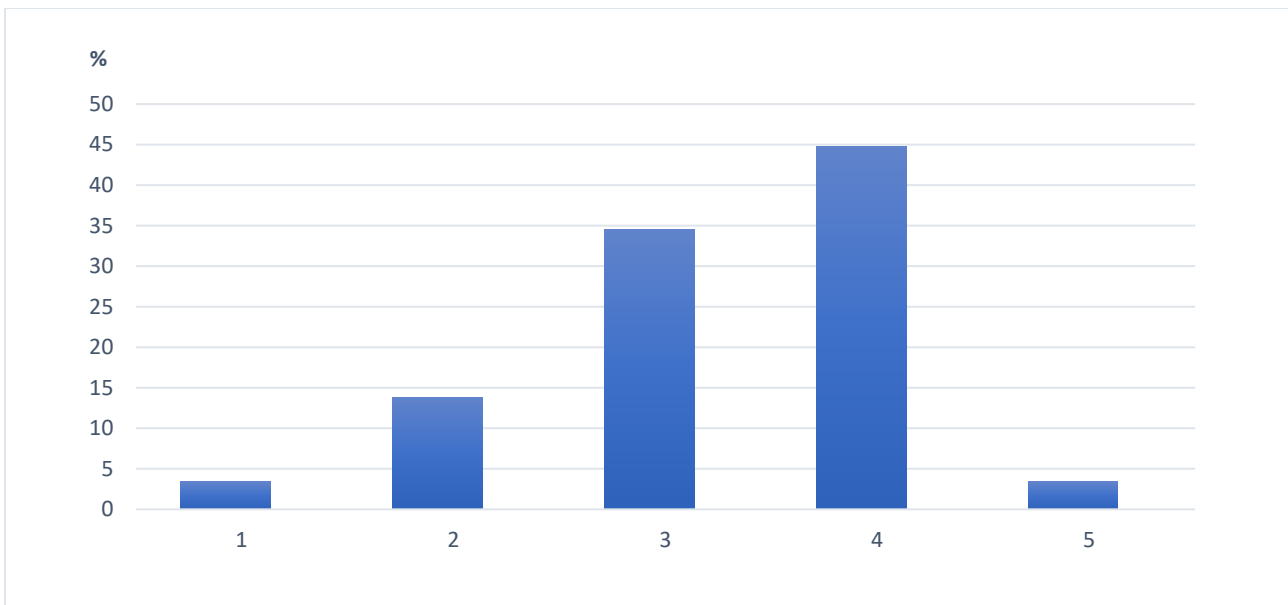
## CLT-levyjen käytettävyys maastossa ja liiketoimintamahdollisuudet

Puunkorjuussa heikko kantavuus aiheuttaa raiteistumista ja maastovaurioita, joita CLT-levyillä voidaan estää. CLT-levyjen käyttökelpoisuus pehmeillä mailla nähtiin hyväksi, sillä 86 prosenttia vastaajista arvioi käyttökelpoisuuden hyväksi tai erinomaiseksi. Levyjen kantokyky puolestaan arvioitiin yli puolessa vastauksista erinomaiseksi ja loputkin vastaajista arvioi sen vähintään tyydyttäväksi. Yli puolet vastaajista arvioi levyjen nostoratkaisut hyväksi (kuva 2).



Kuva 2. Vastaajien arviot levyjen nostoratkaisujen toimivuudesta asteikolla 1–5, jossa 1= heikko ja 5=erinomainen.

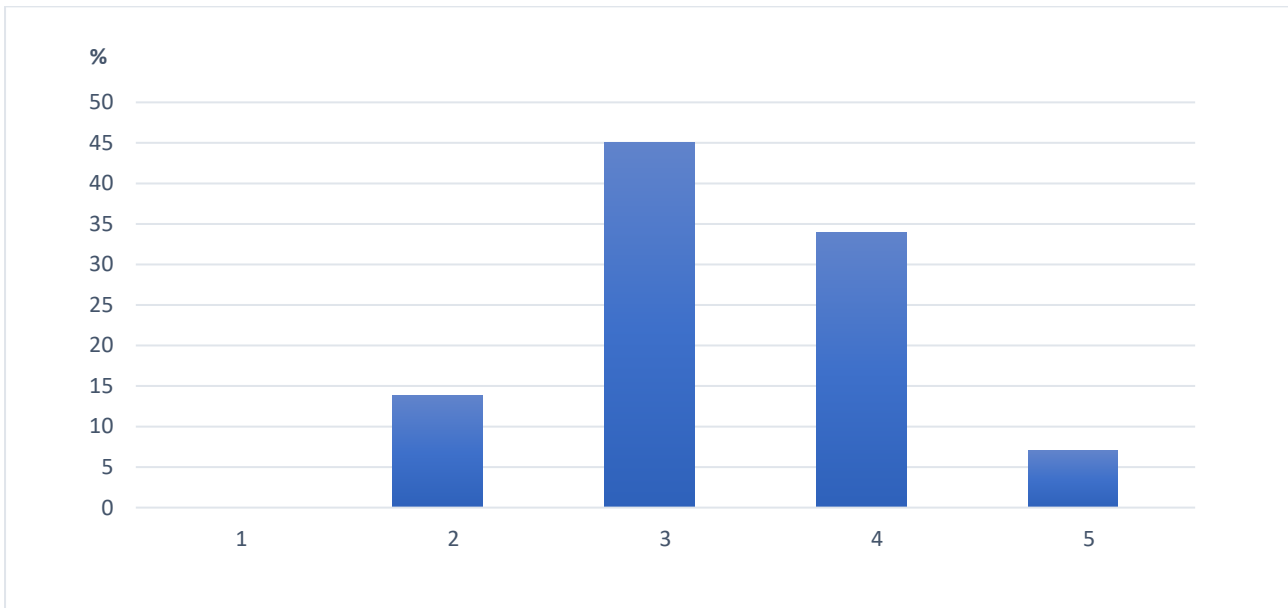
Levyjen sujuvan asennuksen ja purun onnistumiseksi nähtiin levyissä vielä kehittämisen varaa. Levyjen asennus maastoon ja levyjen kokoaminen ajouralta koettiin suhteellisen sujuvaksi. Lähes puolet vastanneista arvioi asennuksen ja levyjen purun sujuvan hyvin. Vastaajista 16 prosenttia epäili ratkaisun toimivuutta ja antoi arvon heikko tai tyydyttävä (kuva 3).



Kuva 3. Vastaajien arviot levyjen sujuvasta asennuksesta ja levyjen kokoamisesta ajouralta, asteikolla 1–5, jossa 1= heikko ja 5=erinomainen.



CLT-levyn pinnankestävyys arvioitiin keskimäärin hyväksi (kuva 4). Pinnankestävyyteen toivottiin metsäkoneiden teloja kestäviä kehittämiskäytöksiä.



Kuva 4. Vastaajien arviot levyjen pinnankestävyydestä, asteikolla 1–5, jossa 1= heikko ja 5=erinomainen.

Vastaajien mukaan CLT-levy oli käytettävyydeltään parempi kuin havutus tai kuitupuumatto ainakin kohteissa, joissa on paksu turvekerros. Useammassa vastauksessa tuotiin esille, että CLT-levyt nähtiin toimivana maanpinnan kantavuuden vahvistamisen ratkaisuna, jos levyjen koko toimitusketju varastolta leimikolle saadaan kuntoon ja kustannukset eivät nousisi liian korkeaksi.

Levyjen käytön kannattavuus herätti myös kysymyksiä. Kannattavuuden parantamiseksi esitettiin muun muassa levyjen keventämisestä ja eripaksuisten levyjen kulutustestejä. Levyjen paksuuden osalta eri toimialoilla ja käyttökohteissa voi olla erilaisia tarpeita.

Suurin osa vastaajista piti CLT-levyjen vuokrauspalvelua potentiaalisimpana liiketoimintamahdollisuutena. Vuokraus voisi olla täyden palvelun paketti tai esimerkiksi kuljetus ja nouto leimikolle tai tien varteen, totesivat vastaajat. Pari vastaajaa näki levyjen olevan mahdollinen kilpailuvaihtoehto, jos talvileimikoita saadaan kesäleimikoiksi.

## CLT-levyjen mahdolliset käyttökohteet puunkorjuussa

CLT-levyjen suunnitteluvaiheessa mahdollisina käyttökohteina nähtiin kokoojauran kantavuuden vahvistaminen ja pienien ojien ja purojen ylitykset. Myös lyhyiden suojuottien ylitykset, joiden kantavuutta jouduttaisiin parantamaan tehdyllä kuitupuulla, sopisivat levyjen käyttökohteiksi. Erityisesti levyillä olisi käyttöä kohteissa, joissa lähikuljetusmatkaa saadaan

lyhennettyä huomattavasti tai talvileimikko kesäkorjuukelpoiseksi. Myös varastopaikkojen kantavuuden vahvistaminen puutavara-autoille nähtiin yhtenä käyttökohteena.

Maastotestauksissa levyjen parhaina käyttökohteina nähtiin lyhyiden suoalueiden ylitykset. Esimerkiksi kesäleimikoilla levyjen käyttö voi lyhentää lähikuljetusmatkaa huomattavasti, jos levyjen avulla kohteelle pääsee lyhyempää reittiä. Vastaajien mukaan kohdevalinnassa oli tärkeää huomioida leimikon riittävä koko, jotta levyjen käyttö olisi kannattavaa.

Pienialaisten purojen ja ojien ylityksessä levyt voisivat olla vastaajien mukaan toimiva ratkaisu. Lisäksi potentiaalisina käyttökohteina nähtiin herkät kohteet, kuten metsälakikohteiden läheisyydessä olevat alueet ja muutoin kulutukseltaan tai lajistoltaan herkät alueet. Useampi vastaajista nosti esiin myös levyjen käyttömahdollisuudet siltaratkaisuihin. Parissa vastauksessa esille nousi levyjen käyttö vaikeasti saavutettavilla kohteilla tai tarve päästä nopeasti maastoon haastavissa olosuhteissa.

## **CLT-levyjen mahdolliset käyttökohteet muilla toimialoilla**

Sähköyhtiöillä levyjen käyttökohteina nähtiin pehmeiden alueiden kantavuuden parantaminen sähköverkkojen rakennusvaiheessa. Ongelmaksi arveltiin levyjen suurta määrätarvetta. Tarvetta pehmeiköllä liikkumiseen arvioitiin tulevaisuudessa olevan yhä enemmän talvien muuttuessa leudommiksi ja johtojen rakentamisen jatkuessa.

Palo- ja pelastustoiminnassa osassa kohteita voi olla tarvetta maanpinnan kantavuuden vahvistamiselle, esimerkiksi kun tarvitaan väliaikainen laskeutumisalusta helikopterille ja maastopaloissa. Myös osassa rakennuspalokohteista tulee tarvetta päästä rakennuksen taakse ja tällöin kantavuus ei välttämättä riitä raskaille ajoneuvoille, jolloin esimerkiksi CLT-levyt voisivat olla ratkaisu.

Puolustusvoimilla CLT-levyjä ei ole toistaiseksi käytetty maanpinnan kantavuuden vahvistajana, vaan käytössä ovat teräs- ja teräsbetonirakenteet. Ylikulun varmentamisratkaisuihin voisi CLT-levyillä olla käyttömahdollisuuksia. Puu nähtiin saatavuuden ja huoltovarmuuden näkökulmasta hyvänä vaihtoehtona.

Esiin nousivat myös mahdolliset käyttökohteet virkistys- ja ulkoilualueiden rakenteissa. Virkistyskäyttöalueiden ja -reittien sekä mönkijä- ja moottorikelkkailureittien siltaratkaisuna CLT voisi olla käyttökelpoinen ratkaisu. Myös suojelualueiden ja perinnebiotooppien ylityksessä levyillä voitaisiin turvata kohteen lajiston säilyvyys.

## **Johtopäätökset**

Metsätraktoreiden kuormatilan koko vaihtelee, sisämitta on yleisimmin 2,5–2,7 metriä ja isommissa levitettävissä kuormatiloissa jopa neljä metriä. Levyjen koko tuli suunnitella niin, että ne ovat kuljetettavissa myös metsätraktoreilla, joissa ei ole levitettävää kuormatilaa.

Lisäksi levyjen suunnittelussa oli huomioitava, että levyjä saadaan puutavara-autossa kuljetettua mahdollisimman tehokkaasti. Puutavara-auton ja metsätraktoreiden kuormainten nostokyky rajaa yksittäisen levyn maksimipainon noin 1000 kiloon.

Metsäalan toimijoiden näkemysten mukaan CLT-levyjä voidaan hyödyntää maanpinnan vahvistamisessa puunkorjuussa, mikäli koko ketju varastopaikalta leimikolle saadaan toimivaksi ja taloudellisesti kannattavaksi. Myös muilla aloilla on useita erilaisia tarpeita maastossa liikkumiseen ja maaperän kantavuuden vahvistaminen voi olla tarpeen. Tällöin puusta tehdyt ratkaisut tarjoavat ekologisen ja huoltovarman ratkaisun.

## Lähteet

- Hiltunen, O. & Palander, T. 2020. Puuntuotannon ja puunhankinnan kehittämismahdollisuudet Etelä-Lapin ojitetuilla soilla. *Suo - Mires and peat*, 71(1), 47-64. Viitattu 3.4.2023. <http://www.suo.fi/article/10401>.
- Högnäs, T., Kumpare, T. & Kärhä, K. 2011. Turvemaaharvennusten korjuukelpoisuusluokitus. *Metsätehon tulosalvosarja* 3/2011. Viitattu 14.3.2023. [https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja\\_2011\\_03\\_Turvemaaharvennusten\\_korjuukelpoisuusluokitus\\_kk\\_th\\_tk.pdf](https://metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulosalvosarja_2011_03_Turvemaaharvennusten_korjuukelpoisuusluokitus_kk_th_tk.pdf).
- Kesla 2016. Kesla traktorin metsävarusteet. Viitattu 11.3.2023. [https://kesla.com/fileadmin/user\\_upload/kesla/Brochures/Tractor\\_forest\\_equipment\\_FIN.pdf](https://kesla.com/fileadmin/user_upload/kesla/Brochures/Tractor_forest_equipment_FIN.pdf).
- Kontinen, K. 2014. Huonosti kantavien maiden ja teiden vahvistamisratkaisut. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tutkimuksia ja raportteja – Research reports 92.
- Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2010. Korpikuusikon harvennus sulan maan aikana. *Metsäteho, Tulosalvosarja* 5/2010.
- Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P. & Peltola, H. 2018. Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. *Hydrology and Earth System Sciences Discuss.* Viitattu 15.3.2023. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-727>.
- Tapio 2023. Metsänhoidon suositukset. Viitattu 15.3.2023. <https://metsanhoidonsuosituks.fi>.
- PuuInfo 2023. Puutieto. Insinööripuutuotteet. Monikerroslevy (CLT). Viitattu 11.3.2023. <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>.
- Rossi, J. & Savornin, T. 2015. Ecobridge -ajosillat: Apuvälineitä pehmeiden maiden puunkorjuuseen. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu. Viitattu 21.3.2023. <https://www.theseus.fi/handle/10024/88167>.



Sterling 2023. THE TIME AND MONEY SAVING DIFFERENCE BETWEEN TERRALAM CLT MATS AND BOLTED ACCESS MATS. Viitattu 10.3.2023.

<https://www.sterlingsolutions.com/blog/clt-mats-vs-bolted-infographic/>.

Suomen metsäkeskus. 2021. Korjuukelpoisuuskartta. Viitattu 10.3.2023.

<https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/metsatietoaineistot/korjuukelpoisuus>.

Tieliikennelaki 10.8.2018/729. Viitattu 14.3.2023.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729#L5P126>.

Tytti Ahoranta, Risto Airaksinen ja Anu Hilli

## CLT-levyjen suunnittelu huonosti kantavien maiden puunkorjukseen

CLT (Cross Laminated Timber) on monikerroslevy, jonka raaka-aineena käytetään lujuusluokiteltua, sormijatkettua ja höylättyä kuusi- tai mäntysahatavaraa. Levy koostuu päällekkäisistä, toisiinsa nähden ristikkäisistä, 90 asteen kulmassa toisiinsa olevista, yhteen liimatuista lautalevykerroksista. CLT-levyjen kerrosmäärä on yleensä pariton. Tavallisesti lautakerroksen eli lamellin paksuus on 20 mm, 30 mm tai 40 mm, mutta myös 50 mm ja 60 mm lamellipaksuuksia käytetään. CLT-levyn paksuus voi olla 60–400 mm, leveys 2950–4800 mm ja pituus 12–20 metriä valmistajasta riippuen. (Puuinfo 2023.) Levyn kerrosten lukumäärään ja vahvuuteen vaikuttaa levyiltä vaadittava kantavuus ja käyttötarkoitus.

Levyjen lujuusteknisen liitoksen muodostaa lautalevykerrosten välillä oleva liimaus (Mylly 2022, 11; Puuinfo 2022). Lappeen suuntaisen liimauksen lisäksi lamellikerroksen laudat voivat olla myös syrjistään liimattuja tai syrjäliimaamattomia. Syrjäliimatussa CLT-levyssä lamellikerroksen laudat on ensin liimattu syrjistään yhtenäiseksi levyksi ja tämän jälkeen levykerrokset liimataan ristikkäin. (Puuinfo 2023.)

Syrjäliimauksella estetään levyn pintalamellien lautojen välisten saumojen kutistuma. Kosteusvaihteluista johtuva kutistuma voi kuitenkin aiheuttaa syrjäliimatun pintalamellin halkeilua. Sen sijaan syrjäliimaamattomassa levyssä lamellien kutistuminen voi näkyä lautojen välisinä rakoina. Kutistumaan voi vaikuttaa käyttämällä raaka-aineena riittävän kuivaa puutavaraa. CLT-levyn valmistusohjeen mukainen puuaineen kosteus on tehdastoimitettuna 10–12 prosenttia. (Puuinfo 2023.)

CLT-levyt ovat tiettyyn kohteeseen suunniteltuja insinööripuutuotteita ja yleisimmin niitä käytetään rakennusten kantavina pysty- ja vaakarakenteina. CLT-levyt voidaan jättää rakennuksen näkyväksi pinnaksi, mikäli palomääräykset eivät ole esteenä. Levyn pinnan laatuluokitus on valmistajakohtainen. Tavallisesti laatuluokat ovat hiottu näkyvä laatu, teollinen näkyvä laatu ja ei-näkyvä laatu. Visuaalisesti heikompileatuista materiaalia voidaan käyttää levyjen välikerroksissa, jolloin raaka-aine tulee hyödynnettyä tarkkaan. (Puuinfo 2019; Puuinfo 2023.)

CLT-levyjen hinta muodostuu suunnittelutyöstä, raaka-aineesta eli käytetyn sahatavaran määrästä, laadusta ja hinnasta sekä valmistukseen liittyvistä kustannuksista. Esimerkiksi lamellikerrosten ja töstöjen määrä vaikuttaa levyjen hintaan, myös mahdollinen pintakäsittely ja reunojen viimeistely lisäävät kustannusta. (Puuinfo 2023; Sahateollisuus 2022.)

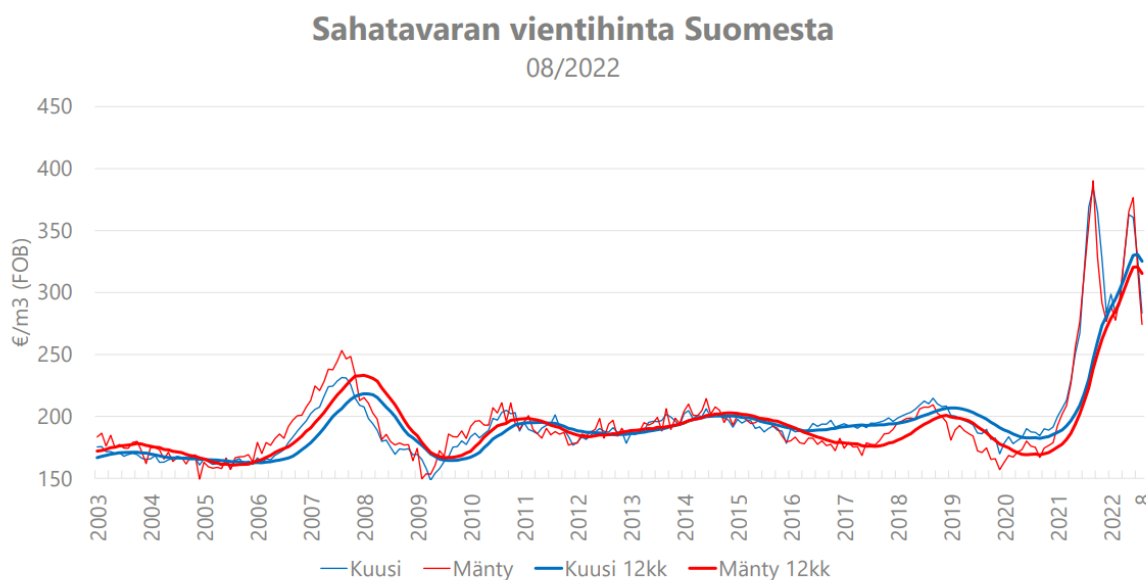
CLT-levyjä ei ole aiemmin Suomessa käytetty puunkorjussa. CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana (CLT Access Matting) -hankkeessa tavoitteena on tutkia levyjen hyödynnettävyyttä pehmeiden maiden puunkorjussa.

Hanketta rahoitti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta. Tässä artikkelissa selvitetään CLT-levyjen rakennesuunnittelun lähtökohdista puunkorjuun tarpeisiin. Lisäksi selvitettiin lujuusluokitellun että -luokittelemattoman sahatavaran käyttöä maanpintaa vahvistavien CLT-levyjen materiaalina.

## Levyjen suunnittelun lähtökohdat

Lujuusluokittelemattoman sahatavaran hyödyntämisen selvittämiseksi ja siitä valmistetun levyn lujuusvertailua varten tilattiin CLT-levyjä kaksi erää: A-sarjan eli CE-merkittyä EU-vaatimusten mukaisesti valmistettu erä ja B-sarja eli lujuusluokittelemattomasta puutavarasta valmistettu erä. Edellytys tuotteen CE-merkinnälle on, että rakennustuotteella on voimassa oleva harmonisoitu EN standardi (tuotestandardi) jonka ylimenoaika on umpeutunut tai eurooppalainen tekninen hyväksyntä (ETA 18/0621). CLT:llä ei ole vielä CE-merkintää.

Nyt käytetyssä B-sarjan eli lujuusluokittelemattomassa sahatavaramateriaalissa oli vajaa särmää, sinistymää, vähäistä lahoa sekä suuria, että kuivia oksia ja lieviä mittaheittoja. Alustavien tutkimusten mukaan sahatavaran lujuusluokka ei vaikuta CLT:n murtolujuuteen. Sahatavaran lujuusluokkaa pienentämällä saadaan valmistuskustannuksia alemmaksi. Lisäksi sahatavaran saatavuus paranee. (Houtsonen ym. 2017). Sahatavaran hintavaihtelut vaikuttavat siitä valmistettujen jalosteitten hintaan. Kuusisahtavaran vientihinnat ovat vaihdelleet vuosien 2021–2022 välillä 180–325 €/m<sup>3</sup> (kuva 1).



Lähde: Tulli

Kuva 1. Sahatavaran vientihinta Suomesta (Sahateollisuus 2022)



A-sarjan levyt valmistettiin keväällä 2021. Sahatavaran hinta ja kysyntä oli korkealla vuonna 2021 (Metsä Group 2022, Sahateollisuus 2022), joten lujuusluokittelemattoman sahatavaran saaminen oli haasteellista. B-sarjan levyt saatiin valmistettua keväällä 2022 ja B-sarjan levyihin käytetyn hylkysahatavaran hinta oli 180 €/m<sup>3</sup>. Halvimmillaan hylkysahatavaraa voi saada 100–120 €/m<sup>3</sup>.

B-sarjan levyt pyrittiin toteuttamaan A-sarjan rakennesuunnitelman mukaisesti. B-sarjan levyjen valmistuksen raaka-aineeksi käytettiin järeämpää sahatavaraa A-sarjan levyjen valmistukseen verrattuna. Koska A- ja B-sarjan levyjen ulkomitat haluttiin pitää mahdollisimman samanlaisina, jouduttiin B-sarjan levyjen suunnittelussa poikkeamaan A-sarjan levyjen kerrosmääristä.

CLT-levyjen suunnittelun lähtökohta oli, että niiden tulee kantaa puunkorjuussa käytettävät metsäkoneet alustalla, jonka maaperä ei kanna metsäkonetta sulan maan aikana. Puunkorjuussa käytettävien kuormatraktoreiden omapaino on yleisimmin 14 000–20 000 kg ja kantavuus 9000–20 000 kg (John Deere 2023, Komatsu 2023, Ponsse 2023). Toisena lähtökohtana oli, että levyjen tuli olla nostettavissa puutavara-auton ja kuormatraktorin kuormaimella, joiden nostokykyyn vaikuttaa myös ulottuvuus. Levyjen maksimipainoksi asetettiin 1000 kg, jotta levyt olisivat nostettavissa yleisimmillä nosturityypeillä (Kesla 2016, Ponsse 2022).

Kantavuuslaskelmissa metsäkoneen kokonaismassaksi oletettiin 40 000 kg, josta suurempi osuus tulee kuormatilan alle ja kuorma jaettiin levyjen kokonaisleveydelle mitoituksessa. Levyille laadittiin lujuuslaskelmat ja levyjen yksittäiselle kokonaispainolle asetettiin 1000 kilon raja. Levysuunnittelun tueksi CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana -hankkeessa järjestettyjen työpajojen tuloksissa korostui, että levyt tulee olla siirreltävässä puutavara-auton tai kuormatraktorin ohjaamosta poistumatta.

Työpajoissa nousi esiin CLT-levyjen liittäminen toisiinsa. Levyjen liittämismahdollisuutta esitettiin, koska ajateltiin levyjen pysyvän tällöin paremmin paikoillaan. Metsätraktoreiden kuormaimella toimivaa levyjen yhteen liittämiskäytäntöä selvitettiin, mutta sitä ei ollut helppo toteuttaa.

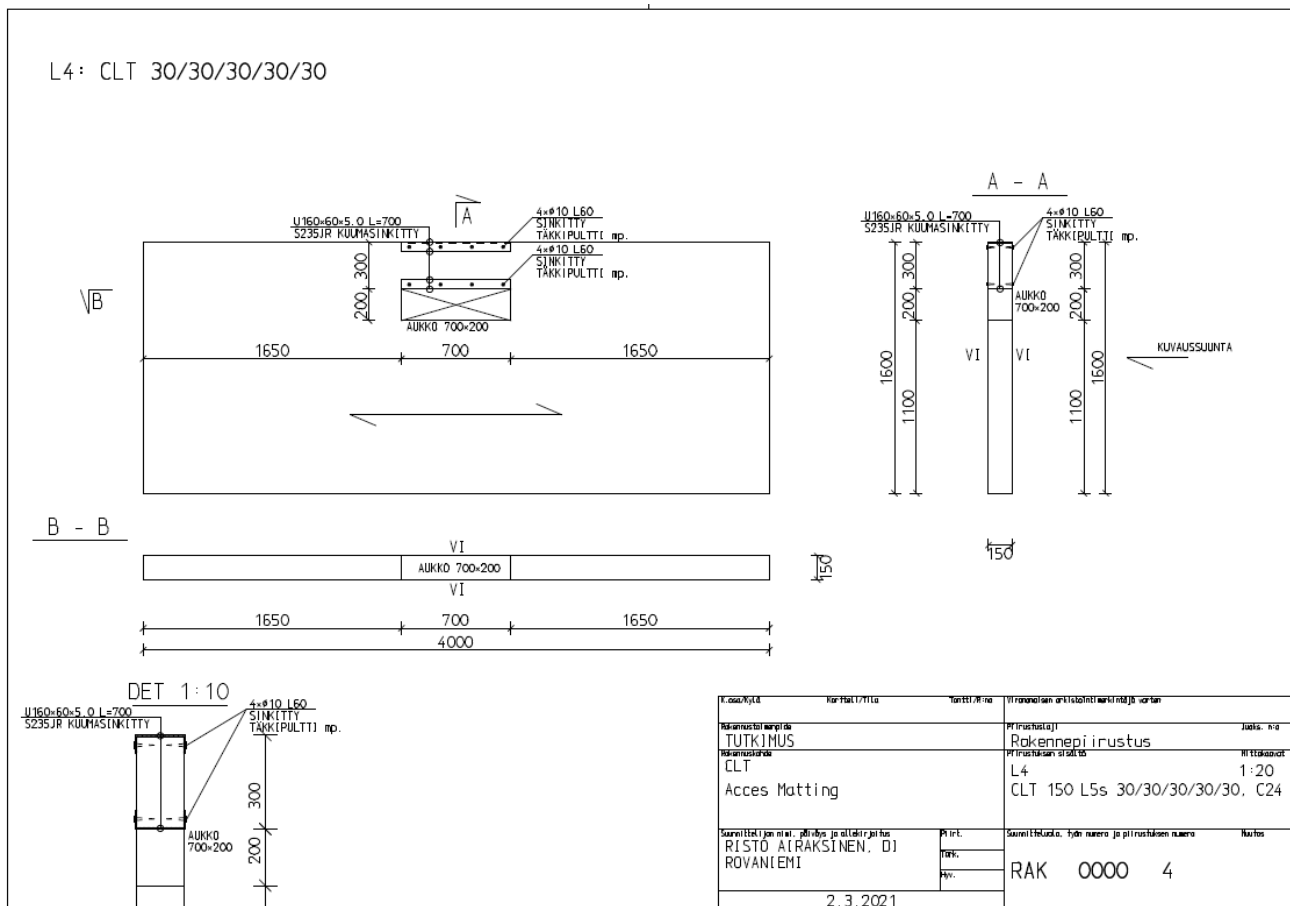
Levyjen nostoratkaisuksi on useita vaihtoehtoja. Puutavara-auton tai kuormatraktorin kuormaimella levyjä voidaan nostaa vaijerista, paksusta nailonkyydestä, metallisesta ketjusta tai levyyn suunnitellusta kahvasta tai rivasta. Levyihin suunniteltiin kaksi erilaista nostoratkaisua.

Levyjen yli ajettavissa metsäkoneissa on pääsääntöisesti telat ja hokit, jotka uppoavat helposti pehmeään havupuusta valmistettuun pintalamelliin. Sen takia lujuuden säilymisen ja pitkäaikaisen keston kannalta on tärkeää, että metsäkoneella levyjen yli ajettaessa levyjä kulutetaan aina samalta puolelta. (Saloniemi & Ahoranta 2022.)

## Levyjen rakennesuunnittelu

Puunkorjuuseen päädyttiin suunnittelemaan pituudeltaan 4000 mm levyjä, joiden leveys oli 1600 mm (kuva 2) tai 2500 mm, sillä ne sopivat sekä kuormatraktorissa eli ajokoneessa että puutavara-autossa kuljetettavaksi. Näihin levyihin tuli viisi 30 mm lamellikerrosta.

Lisäksi ojien ja pienien purojen ylitykseen valittiin 5000 mm pituinen levy, joissa oli seitsemän 30 mm lamellikerrosta. Tällaisella levyllä voidaan tilapäisesti ylittää leveydeltään maksimissaan kahden metrin oja tai puro, jotta levy jää riittävästi penkalle varmistamaan turvallinen ylitys.



Kuva 2. CLT-levyn rakennepiirros 1600 mm leveästä ja 4000 mm pitkästä A-sarjan levystä. (Kuva Risto Airaksinen).

Nostoratkaisuja suunniteltiin kaksi eli 4000 mm pitkiin A- ja B-sarjan levyihin teräksellä vahvistettu levyyn työstettävä 200 mm x 700 mm nostoaukko ja 5000 mm pitkiin A- ja B-sarjan levyjen pintaan kiinnitettävä 60 mm x 40 mm x 700 mm nostoripa. Aukko vahvistettiin kuumasinkityllä teräslevyllä (S355) ja nostamista varten levyn pintaan kiinnitetty tehtiin samasta materiaalista.

Leveydeltään 1600 mm levyihin suunniteltiin työstetty nostoaukko toiselle pitkälle sivulle. Leveydeltään 2500 mm levyihin aukko suunniteltiin molemmille pitkille sivuille, jotta levyjen käyttö olisi helpompaa (kuva 3).



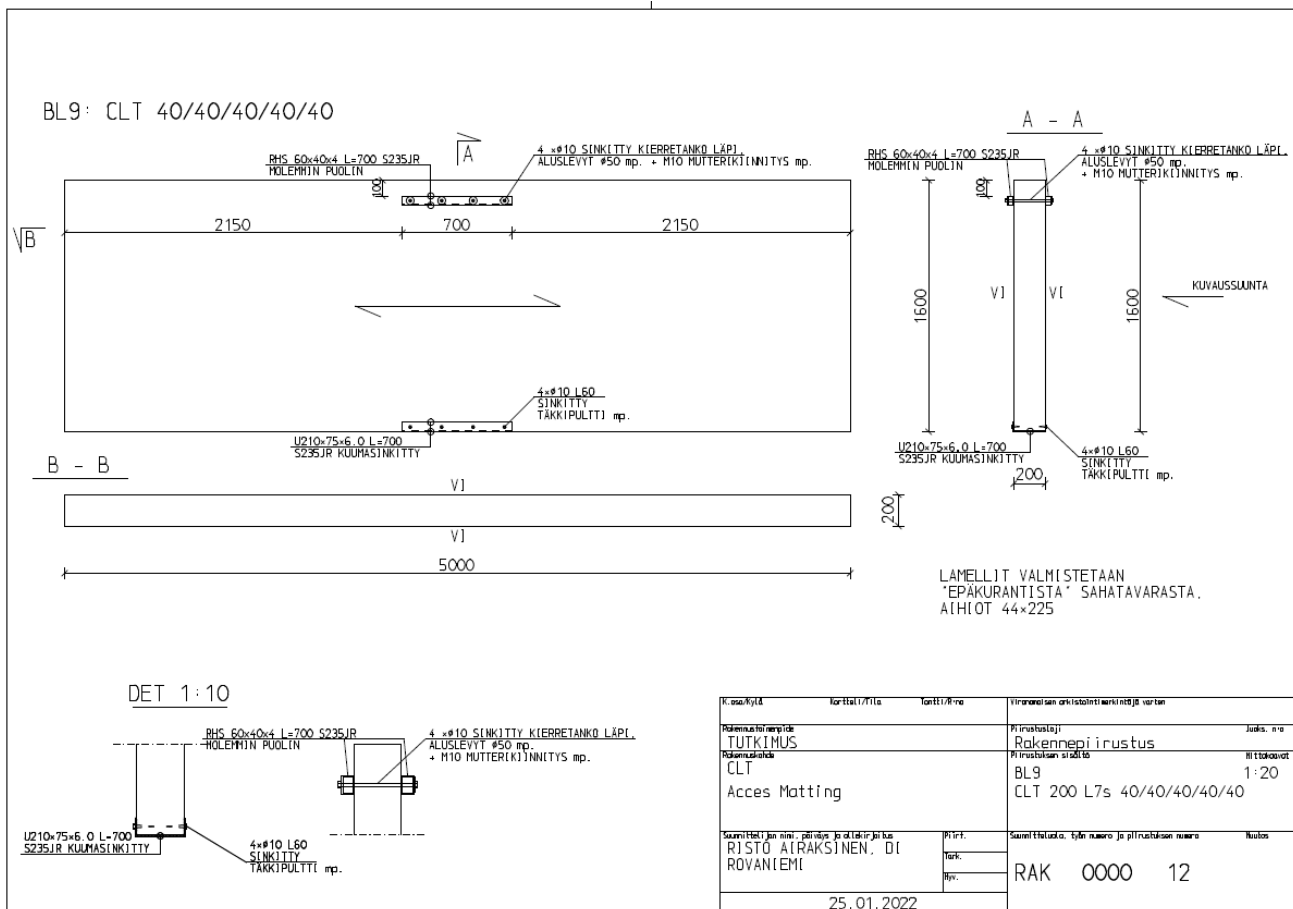
Kuva 3. Käytössä 2500 mm levyisiä CLT-levyjä nostoratkaisuineen. (Kuva Anu Hilli)

Pienten purojen ja ojien ylitykseen tarkoitettua levyä nostoratkaisuksi suunniteltu ripa kiinnitettiin sinkitetyllä kierretangolla ja muttereilla. Nostoripa suunniteltiin 5000 mm pitkän levyn molemmille pitkille sivuille (kuva 4). Sinkitystä teräksestä valmistettu 700 mm pitkä nostoripa nähtiin näissä raskaissa 5000 mm pitkissä ja 1600 mm leveissä levyissä nostoaukkoa turvallisempuna ratkaisuna. Seitsemän kerroksisia levyjä voitiin käyttää maksimileveydeltään kahden metrin ojan tai puron väliaikaiseen ylitykseen.









Kuva 6. CLT-levyn rakennepiirros 5000 mm pitkstä, 1600 mm leveästä ja 200 mm vahvasta 5-kerroksisesta lujuusluokittelemattomasta sahatavarasta valmistetusta levystä. (Kuva Risto Airaksinen)

## Hankkeessa suunniteltujen levyjen hankintahinnat

Levyjen prototyypit valmistettiin tehtyjen suunnitelmien pohjalta ostopalveluina, johon kuuluivat prototyyppien elementtisuunnittelu ja valmistus sekä heloitukset. Levyjen valmistus ja heloitus kilpailutettiin.

Hankkeen aikana valmistettujen levyjen hinnat vaihtelivat 1050–1660 euroon (taulukko 1). Levyjen valmistuksen kustannukset olivat ennakoitua suuremmat poikkeuksellisen suuren ja globaalien sahatavaran hinnan nousun takia.

Taulukko 1. Hankkeen tarpeisiin valmistettujen CLT-levyjen hankintahinnat heloituksineen

Levy	Leveys, mm	Pituus, mm	Kerrokset	Paksuus, mm	Hinta €/kpl
CLT-levy AL4	1600	4000	5	150	1050
CLT-levy AL6	2500	4000	5	150	1510
CLT-levy AL8	1600	4000	7	210	1380
CLT-levy AL9	1600	5000	7	210	1660
CLT-levy BL4	1600	4000	4	160	1080
CLT-levy BL6	2500	4000	4	160	1510
CLT-levy BL9	1600	5000	5	200	1520

## Johtopäätökset

CLT:lle tyypillisellä lautakerrosten ristiin liimauksella saadaan lisättyä merkittävästi massiivipuisen rakenteen lujuutta. Ristiin liimaamalla levystä saadaan jäykkä, mittansa pitävä ja kantava levy. (Sirikka & Pirttinen 2017.) Lisäksi levyn kosteuseläminen on käsittelemättömään puuhun verrattuna vähäistä (Puu-info 2023.)

Hankkeen käyttöön päädyttiin hankkimaan lujuuslajittelusta sahatavarasta valmistetut viisi- ja seitsemänkerroksiset CLT-levyt, joissa lamellin paksuus on 30 mm, sillä 30 mm puutavaran saatavuus katsottiin olevan varmempaa.

Covid19-pandemian takia sahatavaran kysyntä nousi globaalisti ennätystasolle ja kaikenlaisesta sahatavarasta oli Suomessa pulaa. Tästä johtuen lujuuslajittelemattomasta sahatavarasta valmistettujen levyjen raaka-aineeksi jouduttiin valitsemaan, se mitä lopulta onnistuttiin saamaan. Lujuuslajittelemattomasta sahatavarasta saatiin höyläyksen jälkeen valmistettua 4- ja 5-kerroksisia CLT-levyjä, joiden lamellivahvuus oli 40 mm.

Tuotantoon ja maastotesteihin valittiin levyt, joita työpajoihin osallistuneet koneyritykset pitivät toimivina. Alustavissa suunnitelmissa olleista vaijeri- tai polypropeeniköysikahvoista luovuttiin, sillä aiemmissa tutkimuksissa pitkospuumattojen nostolenkkivaijereiden ja kumimattojen teräksisen kiinnitysvaijerin on todettu tarttuvan metsätraktorin teloihin. CLT-levyihin ei suunniteltu liittämiskäytöstä, sillä levyjen liittäminen toisiinsa olisi vaatinut käsityötä ja siten se olisi metsäolosuhteissa haastavaa.

## Lähteet

Ahoranta, T. & Saloniemi, A. 2022. Rakennuksista tutut CLT-levyt maan kantavuuden parantajana. Lapin ammattikorkeakoulun Pohjoiset Tekijät-blogi. Viitattu 4.4.2023. <https://www.lapinamk.fi/blogs/Rakennuksista-tutut-CLT-levyt-maan-kantavuuden-parantajana/0q5cunco/1b33a777-3554-4696-ac10-ac5aad78c0f2>.

CE-merkki. Viitattu 5.4.2023. SERTIFIKAATTI TUOTTEEN SUORITUSTASON PYSYVYYDESTÄ CPR-1274-Fin-19.9.2018-.pdf (hoisko.fi)

ETA 18/061. Viitattu 5.4.2023. [https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/09/ETA-Hoisko\\_final.pdf](https://hoisko.fi/wp-content/uploads/2020/09/ETA-Hoisko_final.pdf).

John Deere 2023. Metsäkoneet. Kuormatraktoreiden vertailu. Viitattu 25.3.2023. <https://www.deere.fi/fi/kuormatraktorit/>.

Houtsonen, T., Karvonen, S., Lipsanen, P., Miettinen, S., Miinalainen, O., Mylly, M., Yliniemi, M. ja Kinnunen, J. 2017. Puuket -hanke. CLT-koe-elementtien kuormituskokeet. Viitattu 25.3.2023. [https://www.tts.fi/files/1148/PUUKET\\_turvallinen\\_puurakentaminen\\_kantavuus\\_Martti\\_Mylly.pdf](https://www.tts.fi/files/1148/PUUKET_turvallinen_puurakentaminen_kantavuus_Martti_Mylly.pdf).

Kesla 2016. Traktorin metsävarusteet. Viitattu 27.3.2023. [https://kesla.com/fileadmin/user\\_upload/kesla/Brochures/Tractor\\_forest\\_equipment\\_FIN.pdf](https://kesla.com/fileadmin/user_upload/kesla/Brochures/Tractor_forest_equipment_FIN.pdf).

Kevarinmäki, A. 2019. CLT-levyjen väliset ruuviliitokset. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -täydennyskoulutus (Vaapu). Viitattu 27.3.2023. <https://puuinfo.fi/koulutus/vaativien-puurakenteiden-suunnittelu-taydennyskoulutus-vaapu/vaapu-videoluennot>.

Komatsu 2023. Kuormatraktorit. Viitattu 27.3.2023. <https://www.komatsuforest.fi/komatsu-mets%C3%A4koneet/kuormatraktorit>.

Metsä Group 2022. Sahatavaran hinta hakee uutta normaalia. 12.9.2022. Viitattu 24.3.2023. <https://www.metsagroup.com/fi/metsafibre/uutiset-ja-julkaisut/uutiset-ja-tiedotteet/artikkelit-videot/2022>.

Mylly, M. 2022. Teollinen puurakentaminen. Opetusmateriaalia teollisen puurakentamisen koulutukseen. Viitattu 5.4.2023. [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fpuuinfo.fi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2022%2F06%2FtPUUr\\_7.3-CLT-levyjen-valmistus.pptx&wdOrigin=BROWSELINK](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fpuuinfo.fi%2Fwp-content%2Fuploads%2F2022%2F06%2FtPUUr_7.3-CLT-levyjen-valmistus.pptx&wdOrigin=BROWSELINK).

Ponsse 2022. Ponsse tuotemallisto. Viitattu 26.3.2023. <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/19280630.pdf>

Ponsse 2023. Kuormatraktorit. Viitattu 26.3.2023. <https://www.ponsse.com/fi/tuotteet/kuormatraktorit#/>.

Puuinfo 2019. Puutavaraopas. Puuinfo Oy. Viitattu 27.3.2023. [https://puuinfo.fi/wpcontent/uploads/2020/06/Puutavaraopas\\_2019\\_netti.pdf](https://puuinfo.fi/wpcontent/uploads/2020/06/Puutavaraopas_2019_netti.pdf).

Puuinfo 2022. Massiivipuorakenteiden materiaalivaihtoehdot. Viitattu 28.3.2023. <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/materiaalivaihtoehdot/>

Puuinfo 2023. Puun kosteuskäyttäytyminen. Viitattu 12.3.2023. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puun-kosteuskayttaytyminen/>

Sahateollisuus 2022. Sahatavaran vientihinta 2003-2021. Viitattu 13.4.  
<https://sahateollisuus.com/tilastot/>

Sirkka, A. & Pirttinen, V. 2017. CLT – monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali. Opinnäytetyö, Lapin ammattikorkeakoulu. Viitattu 5.4.2023. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-316-169-6>.

Rakentamisen standardit SFS. [Rakentaminen ja standardit | SFS](#)

Tytti Ahoranta, Juha Kinnunen, Martti Mylly, Anne Saloniemi, Matti Yliniemi

## CLT-levyt ajoalustana pehmeiden maiden puunkorjuussa – Rakennetekninen analyysi olosuhteiden vaikutuksista CLT-levyjen lujuuteen

CLT-levyt tunnetaan paremmin rakennusten kantavana rakenteena. CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hankkeessa levyjä testattiin pehmeillä mailla metsäkoneiden ajoalustoina 15 000–40 000 kg:n kuormituksella. Levyille tehtiin käytön jälkeen rakennetekninen analyysi ja laboratoriotestit Ammattiopisto Lappian toimesta Kemissä. CLT-levyille tehtiin taivutus-, taipuma- ja liimasaumojen leikkauslujuustestit käytön vaikutusten selvittämiseksi. Testien toteutuksesta, tulosten analysoinnista ja raportoinnista vastasivat Ammattiopisto Lappian puurakenneasiantuntijat Matti Yliniemi, Juha Kinnunen ja Martti Mylly.



Kuva 1. Taivutus- ja taipumatestit tehtiin tätä varten valmistetulla taivutustestilaitteella ns. nelipistetaivutuksella Ammattiopiston CLT-oppimisympäristössä Kemissä. (Kuva Matti Yliniemi)

### Testauksen kulku

Todellisissa puunkorjuuolosuhteissa toteutettujen käyttötestausten jälkeen tehtiin sekä A-että B-sarjan CLT-levyille laboratoriotestit mahdollisen rakenteellisten muutosten



selvittämiseksi. Levyille tehtiin taivutus- sekä taipumatestit ja liimasauman leikkauslujuustestit. A-sarjan levyt oli valmistettu lujuusluokitellusta ja B-sarjan levyt lujuusluokittelemattomasta sahatavarasta. Levyjen käyttöttestauksen ja laboratoriotestien tulokset analysoitiin ja koottiin tekniseksi raportiksi.

CLT-levyjen A-sarja oli valmistettu CLT Finland Oy:n tehtaalla Alajärvellä ja B-sarja puolestaan Ammattiopisto Lappian teollisen puurakentamisen oppimisympäristössä Kemissä. Testattavaksi valittiin kumpaakin sarjaa mahdollisimman hyvin ilmentävät levyt, jotka löytyvät taulukosta 1.

Taulukko 1. Ammattiopisto Lappian teollisen puurakentamisen oppimisympäristössä testatuista A- ja B-sarjan CLT-levyistä

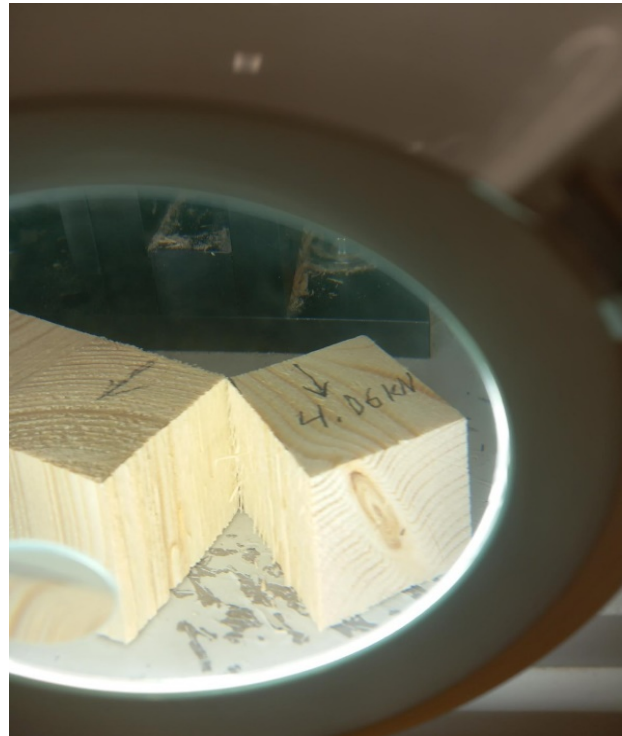
Tunnus	H [mm]	Valmistustapa	Lamellikerrokset	Valmistaja
AL4	150	syrjäliimattu	L5s 30/30/30/30/30	CLT Finland Oy
AL9	210	syrjäliimattu	L7s 30/30/30/30/30/30/30	CLT Finland Oy
BL4	160	syrjäliimaamaton	CLT4k 40/40/40/40	AO Lappia
BL9	200	syrjäliimaamaton	CLT5k 40/40/40/40/40	AO Lappia

Taivutus- ja taipumatestit suoritettiin tätä varten valmistetulla taivutustestilaitteella ns. nelipistetäivutuksella. Nelipistetäivutuksessa levy tuetaan alapäin sen päistä ja kuormitetaan kahdesta kohtaan keskeisesti levyn päältä. Taivutustestit toteutettiin siten, että levyt kuormitettiin murtumiseen asti. Saavutetun kuormituksen perusteella määritettiin levyn taivutuslujuus. Taivutustestit tehtiin tarkkuussahattuun CLT-koekappaleeseen lapetaivutuksena. Testi perustuu standardiin SFS-EN 408. Taipumatestit toteutettiin siten, että levyt kuormitettiin EN 1995-1 mukaiseen taipumarajaan asti ( $L/300 = 9$  mm). Saavutetun kuormituksen perusteella määritettiin levyn kimmomoduuli  $E_{0,mean}$  [N/mm<sup>2</sup>]. Taivutustestissä levyt kuormitettiin murtumiseen asti. Saavutetun kuormituksen perusteella määritettiin levyn taivutuslujuus  $f_{m,d}$  [N/mm<sup>2</sup>].

Liimasauman leikkauslujuustesti tehtiin käyttötarkoitukseen hyväksytyllä testilaitteella (kuva 3). Testattavista CLT-levyistä leikattiin 40 mm x 40 mm kokoisia kappaleita (kuva 4), jotka testattiin testikoneella jokaisen liimasauman kohdalta. Lamellien väliseen liimasaumaan kohdistettiin leikkausjännitys portaattomassa kuormituksessa. Liimasauman leikkauslujuustestit tehtiin standardin SFS EN 14080 ja FrpEN 16351 Timber structures – Cross laminated timber – Requirements -mukaan kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. Leikkaustestissä testattiin kappaleen liimasauman kestävyys. Saatuja testituloksia verrataan ohjearvoihin ja aiemmin testattuihin rakenteellisiin CLT-levyihin.



Kuva 2. Liimasauman leikkauslujuuden testilaite. (Kuva Matti Yliniemi)



Kuva 3. CLT-levyistä leikattiin 40x40 mm<sup>2</sup> kokoisia liimasauman leikkauslujuustestiä varten. (Kuva Matti Yliniemi)

## Olosuhteet ja käyttötapa CLT-levyjen rakenteelliseen lujuuteen vaikuttavina tekijöinä

Lautalevykerrosten välillä oleva liimaus muodostaa levyjen lujuusteknisen liitoksen. (Mylly 2022, 11; Puuinfo 2022). Syrjäliimauksella ei ole erityistä merkitystä levyn ominaislujuuksiin. Taivutusjännitykseen ja kimmomoduuliin vaikuttavat lamellikerrokset, joissa kuormitukset ovat levyn syysuuntaiset.

Myös ympäristötekijät, kuten maaperän kosteus- ja humuspitoisuus, ilmasta tuleva kosteus (vesi- ja lumisateet) sekä mahdolliset hyönteis- ja muut eloperäiset vauriot heikentävät levyjen lujuusominaisuuksia ajan myötä. Testissä ei kuitenkaan näitä tekijöitä huomioitu, koska levyt olivat maastossa suhteellisen lyhyen ajan eikä tarkkoja maaperä- ja ilmastotietoja ole käytettävissä (vaikutusta ei voi todentaa riittävällä varmuudella).

Taivutuksessa levyjen yläpintaan syntyy levyn pituussuuntainen puristusjännitys ja vastaavasti alapintaan vetojännitys. Usein rakenteen uloimpien lamellien alueelle muodostuu suuremmat rasitukset ja siitä syystä uloimpiin lamelleihin käytetään yleensä korkeamman lujuusluokan puuta.

Levyjen taivutus- ja jäykkyysominaisuudet heikkenevät jonkin verran maastossa pelkästään olosuhteiden vaikutuksesta. Pintakerrokset suojaavat kuitenkin hyvin keskikerroksia, joten

keskikerroksissa ei vastaavanlaista heikennystä tapahdu pintalamellikerroksiin verrattuna. Myöskään sahatavaran lujuusluokalla ei ole käytännössä merkitystä maan kantamisen vahvistamiseen käytettävissä levyissä. Tästä voidaan tehdä se johtopäätös, että levyjen valmistamiseen kannattaa käyttää mahdollisimman edullista sahatavaraa.

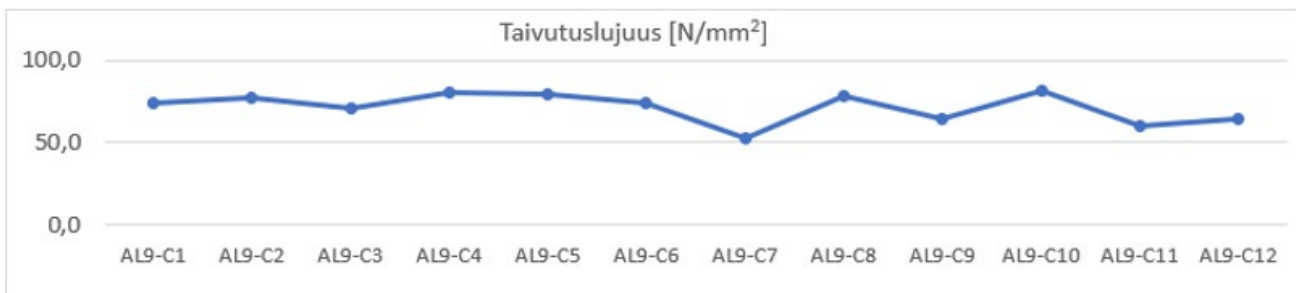
Ajopinnan särkymisellä ei ole kovin paljon merkitystä. Kun toinen puoli on ehjä, pystyy levyn alapuolinen osa ottamaan vastaan taivutusjännityksestä aiheutuvaa vetoa. Siihen, kuinka paljon pintaa voi kuluttaa, kunnes levy on käyttökelvoton, on vaikea vastata. (Ahoranta & Saloniemi 2022.)



Kuva 4. CLT-levyjen puuaineen kosteus mitattiin ja kirjattiin taivutus- ja liimasauman leikkauslujuustestien lähtötiedoiksi. (Kuva Matti Yliniemi)

## Tulokset

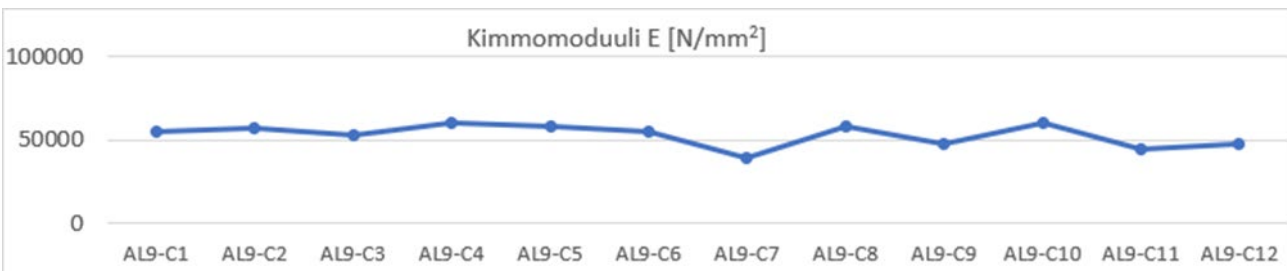
Taivutuslujuudeltaan kestävimmäksi levyksi osoittautui 7-kerroksinen AL9-210-levy, jossa suojaavat pintakerrokset oli yhdensuuntaisesti liimattu (pintalamelli ajosuuntaan nähden). Toinen lamellikerros säilytti näin kantavuuteensa, vaikka pintakerros oli täysin kulunut molemmilta puolilta (symmetrinen rakenne). Tällöin taivutuslujuus vaihteli noin 70–90 N/mm<sup>2</sup> (kuva 5). Tätä levyä oli kuormitettu maastossa pintalamellien suuntaisesti. Mikäli vastaavaa levyä kuormitettiin poikittain pintalamelleihin nähden, tällöin taivutuslujuus oli noin 10 N/mm<sup>2</sup>.



Kuva 5. Kuvaaja A-sarjan 7-kerroksisen, 210 mm vahvuisen AL9-210 levyn taivutuslujuuden mittaustuloksista. Levytyypin taivutuslujuus vaihteli välillä 70–90 N/mm<sup>2</sup>. Levyä oli kuormitettu maastossa pintalamellien suunnassa. (Kuva Ammattiopisto Lappia)

Lujuusluokitelluissa A-sarjan 150 millimetrin paksuissa levyissä taivutuslujuus oli 10–38 N/mm<sup>2</sup>. Myös näissä levyissä oli taivutuslujuudessa hieman eroa, oliko levyjä kuormitettu pintalamellin suuntaisesti vai vastaan. B-sarjan eli lujuusluokittelemattomissa 150 mm ja 200 mm levyissä taivutuslujuus oli 15–40 N/mm<sup>2</sup>.

Kun A-sarjan 150 millimetrin levyä kuormitettiin maastossa pintalamellien suunnassa, levyn kimmomoduuli oli 10 000–25 000 N/mm<sup>2</sup>. Mikäli samaa levyä oli kuormitettu maastossa poikittain pintalamelleihin nähden, tällöin kimmomoduuli oli 1000–7000 N/mm<sup>2</sup>. Puolestaan B-sarjan 160 millimetrin levyn kimmomoduuli oli 10 000 N/mm<sup>2</sup>, kun levyä oli kuormitettu maastossa poikittain pintalamelleihin nähden ja vastaava arvo pintalamellin suunnassa kuormitetulla levyllä oli 3000–23000 /mm<sup>2</sup>. A-Sarjan paksuimman levyn (210 mm) kimmomoduuli oli 50 000 N/mm<sup>2</sup>, kun levyä oli kuormitettu maastossa pintalamellien suunnassa (kuva 6) ja poikittain pintalamelleihin nähden noin 10 000 N/mm<sup>2</sup>.



Kuva 6. Kuvaaja Levyn AL9-210 kimmomoduulin mittaustuloksista. Levyssä 7-kerrosta, joista alimpana ja ylimpänä kaksi saman suuntaista kerrosta vahvuus 210 mm. (Kuva Ammattiopisto Lappia)

Testien tarkoituksena oli myös selvittää lujuusluokaltaan erilaisten sahatavaroiden vaikutusta CLT-levyjen kimmomoduuliin ja taivutuslujuuteen. Testeissä ei havaittu merkittävää eroa levyjen ominaisuuksien osalta niihin käytettyjen sahatavaroiden osalta. Syyksi tähän todettiin sahatavaran heikentävien ominaisuuksien, kuten oksaisuuden, jakaantuminen tasaisesti sekä leveys- (levyvaikutus) että paksuussuunnassa (kerroksellisuus).



Keskilamellien kerrosvahvuudella ei ole merkitystä, koska lujuusominaisuudet ovat riittävät ohuemmillakin lamellikerroksilla. Mitä paksumpia suojaavat pintakerrokset ovat, sitä enemmän levy kestää ajokertoja (kuva 7).



Kuva 7. Mitä paksumpia CLT-levyjen suojaavat pintakerrokset ovat, sitä enemmän levy kestää ajokertoja. (Kuva Matti Yliniemi)

Myös nelikerroksinen levy säilyttää hyvin lujuutensa, jos sitä kuormittaa vain yhdeltä pinnalta (poikittaiset pintalamellit). Ongelmana näissä levyissä on se, että niiden käyttöikä puolittuu, koska kolme alimmaista kerrosta toimivat kantavana rakenteena eikä näitä voi käyttää molemmilta puolilta.

Lamellikerrosten suuntaus vaikuttaa levyjen kestävyteen. Liimasaumatestien mielenkiintoisin tulos saatiin levyille, joiden pintalamellit oli liimattu yhdensuuntaisesti. Näissä koekappaleissa murtokuormat noudattivat myös CLT-tehtaiden normituotannosta saatavia arvoja. Testissä liimasaumat kestivät kuormituksen ja murtuma tapahtui puuaineksessa, mutta murtokuormien hajonta oli pienempää ja päästiin tuotantostandardin mukaiseen tyyppiarvoon.

Huonoiten kantavuus ja jäykkyys säilyi levyissä, joissa pintalamellit ovat kantavina kerroksina. Näissä levyissä taivutus- ja jäykkyysominaisuudet alkavat heikentyä heti pintakerroksen ohetessa käytön seurauksena. Levyjä oli käytetty molemmin puolin, jolloin taivutustestissä alapuolen vetojännityskerros oli metsäkoneiden rikkoma, jolloin vetolujuus oli olematon.





Kuva 8. Kuvassa levy, jonka pintalamellit ovat kantavina kerroksina. Näissä levyissä taivutus – ja jäykkyysominaisuudet alkavat heikentyä heti pintakerroksen ohetessa käytön seurauksena. Vetojännityskerros oli metsäkoneiden rikkoma, jolloin vetolujuus oli olematon. (Kuva Matti Yliniemi)

## Johtopäätökset

Testissä voitiin ottaa kantaa ainoastaan levyjen taivutus- ja jäykkyysominaisuuksien säilymiseen. Koska levyjen kuormituksessa tärkein tekijä on levyihin kohdistuva pintapaine, voi levyt toimia maan kantavuutta parantavana, vaikka niiden lujuusominaisuudet olisivat heikentyneet. Tätä ominaisuutta ei voitu luotettavasti määrittää tehtyjen testien perusteella.

Lujuuden säilymisen ja pitkäaikaisen keston kannalta on tärkeää, että metsäkoneella levyjen yli ajettaessa levyjä kulutetaan aina samalta puolelta (Ahoranta & Saloniemi 2022). Levyjen rakenne kannattaa suunnitella siten, että pintakerros on ajosuuntaan nähden mahdollisimman hyvin kulutusta kestävä.

Kuluvan (suoja) kerroksen jälkeen kiinnitetään huomio kantaviin kerrokseen, erityisesti levyn alapintaan jäävän vetojännityskerroksen on syytä pysyä ehjänä. Taivutukselle rasitetun puolen pitäminen ehjänä lisää käyttökertoja. Toisin kuin rakennuksen vaakarakenteissa, taipuma ei

aiheuta haittaa levyjen käytölle silloin, kun levyjä käytetään kulkuväylänä maan pinnassa. Maan pinnassa käytettävistä levyistä voitaisiin siis tehdä ohuempia pienentämällä sahatavaradimensiota tai vähentämällä kerrosten määrää, kuin nyt testissä olevissa levyissä on.

Käyttötesteissä A-sarjan levyjen yli ajettiin 160–180 kertaa ja B-sarjan levyjen 120–140 kertaa. Kuormatraktoreiden telat ja hokit kuluttivat levyjen pintaa 30–40 mm eli yhden lamellikerroksen verran. Levyt olivat käyttötestien jälkeen edelleen käyttökelpoisia. Levyjen käyttöikään vaikuttavat käyttöolosuhteista ja käyttötavasta johtuva muuttujien joukko. Sitä mikä näistä muuttujista on kriittisin käyttöikää arvioitaessa ei pystytty selvittämään.

Yhdensuuntaisten pintalamellien vuoksi on kosteuseläminen ensimmäisen liimasauman lähellä pienempää, jolloin lamelleihin ei muodostu niin helposti rakoja tai halkeamia, jotka nopeuttavat puuaineksen tuhoutumista. Ilmeisesti myös lamellien reunaliimauksesta on hyötyä pintalamellien yhdensuuntaisissa kerroksissa. Tämä havainto vaatii lisätutkimuksia, koska kyseistä ilmiötä voitaisiin hyödyntää CLT-levyn käyttöluokan parantamisessa. Analyysin perusteella tehtyjä havaintoja voidaan hyödyntää jatkossa maastoon soveltuvan tuotteen suunnittelutyössä.

Saatuja testituloksia verrattiin molempien levytyyppien osalta CLT-laskentamallien ja CLT-tuotannosta tehtyjen koekappaleiden arvoihin. Näissä testeissä ei havaittu sahatavaran lujuusluokalla olevan kovin suurta merkitystä CLT-levyn taivutuslujuus- ja jäykkyysominaisuuksiin. Keskilamellit säilyttävät näin kantavuuteensa niin kauan, kunnes pintalamellit ovat täysin kuluneet molemmilta puolilta. Keskilamellien kerrosvahvuudella ei ole merkitystä, koska lujuusominaisuudet ovat riittävät ohuemmillakin lamellikerroksilla. Mitä paksumpia suojaavat pintakerrokset ovat, sitä enemmän levy kestää ajokertoja.

Hankkeen toteutusaika oli 1.10.2020-31.8.2023 ja sitä rahoitti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.

## Lähteet

Ahoranta, T. & Saloniemi, A. 2022. Rakennuksista tutut CLT-levyt maan kantavuuden parantajana. Lapin ammattikorkeakoulun Pohjoiset Tekijät-blogi. Viitattu 4.4.2023. <https://www.lapinamk.fi/blogs/Rakennuksista-tutut-CLT-levyt-maan-kantavuuden-parantajana/0q5cunco/1b33a777-3554-4696-ac10-ac5aad78c0f2>.

Houtsonen, T., Karvonen, S., Lipsanen, P., Miettinen, S., Miinalainen, O., Mylly, M., Yliniemi, M. ja Kinnunen, J. 2017. Puuket -hanke. CLT-koe-elementtien kuormituskokeet. Viitattu 25.3.2023. [https://www.tts.fi/files/1148/PUUKET\\_turvallinen\\_puurakentaminen\\_kantavuus\\_Martti\\_Myll\\_y.pdf](https://www.tts.fi/files/1148/PUUKET_turvallinen_puurakentaminen_kantavuus_Martti_Myll_y.pdf).

Anu Hilli, Oiva Hiltunen ja Helena Pahkala

## Kuormatraktorin ja puutavara-auton kuljettajien näkemykset CLT-levyjien käytettävyydestä puunkorjuussa

Ilmastonmuutos muuttaa toimintaolosuhteita kantavan tieverkon ulkopuolella. Uudenlaiset ratkaisut maapohjan kantavuuden vahvistamiseen puunkorjuussa ovat tarpeen, sillä metsätalouden investointien myötä puunkypsyntä kasvaa tulevaisuudessa. Uusien innovaatioiden käyttöönotossa tarvitaan tutkimus- ja kehitystyötä sekä käyttäjien kokemuksia.

Suometsien lisääntyneiden hakkuumahdollisuuksien ja korjuuvaatimusten myötä pehmeiden maiden puunkorjuuseen sopivaa kalustoa on kehitetty. Nykyisin suometsien puunkorjuuseen on saatavilla erikoiskalustoa ja yleiskoneisiin sopivaa lisävarustusta. Tavallista leveämmät ja reunoiltaan pyöristetetyt telat ovat yleisimmin käytetty lisävaruste suometsien puunkorjuussa. Kantavuudeltaan hyvin haastavissa olosuhteissa voidaan käyttää tela-alustaista erikoiskalustoa. (Airavaara ym. 2008; Kärhä, Poikela & Keskinen 2010; Hiltunen & Palander 2020; Tapio 2023.) Maanpinnan kuormitukseen voidaan vaikuttaa muun muassa, akselien lukumäärällä, telaston pituudella, lisäpyöräratkaisuilla ja rengaskoolla sekä -painella. Myös koneen omapainon keventäminen sekä koneen tasapainon ja sivuvakauden parantaminen vähentävät maanpintaan kohdistuvaa kuormitusta. (Airavaara ym. 2008; Kärhä ym. 2010; Tapio 2023.)

Vaikka ratkaisuja maapohjan kantavuuden parantamiseksi ja kuormituksen vähentämiseksi on kehitetty, tarvitaan edelleen uusia ratkaisuja metsätalouden tarpeisiin niin puunkorjuuseen kuin kuljetukseenkin. Ilmaston muutoksen myötä lämpötilan nousu, kasvavat sademäärät ja routajakson lyheneminen heikentävät maapohjan kantavuutta niin metsäteillä kuin leimikoillakin. (Lehtonen ym. 2018). Uusimissa tutkimuksissa selvitetään työkoneiden anturitekniikan hyödyntämistä maaperän kantavuusanalyyseissä ja erilaisten alustaratkaisujen vaikutusta työkoneen ja maaperän tuottavuuteen (OAMK 2023).

Pehmeiden maiden ympärivuotiseen puunkorjuuseen haettiin ratkaisuja CLT-levyt maapinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hankkeessa (Metsälehti 2021). Hanketta rahoitti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta. Hankkeessa testattiin sekä lujuusluokitellusta sahatavarasta valmistettuja CLT-levyjä (Hoisko 2023), että heikompilaatuisesta sahatavarasta valmistettuja levyjä erilaisissa leimikko-olosuhteissa. Hankkeen vuoden 2021 maastotesteissä oli käytettävissä vain lujuusluokitellusta sahatavarasta valmistettuja CLT-levyjä (A-sarja). Vuoden 2022 maastotesteissä käytettiin sekä lujuusluokitellusta että -luokittelemattomasta sahatavarasta (B-sarja) valmistettuja levyjä. Maaperän kantavuutta vahvistavia levyjä käytettiin kokooaurilla ja suojuottien ylityksissä. Lisäksi testattiin maksimileveydeltään kahden metrin ojien ylitykseen käytettäviä levyjä.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää CLT-levyjä käyttäneiden metsäkoneiden ja puutavara-autojen kuljettajien näkemykset ja kokemukset levyjen käytöstä puunkorjuussa, sillä ne ovat tärkeitä levyjen kehittämisen ja käyttöönoton näkökulmasta. Kaikkiaan haastateltiin seitsemää levyjä käyttänyttä kuljettajaa.

## CLT-levyjien käsittelyvyys

Kuljettajien mukaan CLT-levyjien käsittely normaaliin puutavaraan verrattuna oli hieman hitaampaa, mutta sitä ei kuitenkaan koettu haasteellisempaan. Sekä kuormatraktorin että kuormaimen koko vaikuttivat siihen, koettiin levyjen käsittely helpoksi ja nopeaksi. Ojien ylitykseen käytettävät levyt todettiin painaviksi ja ne olivat käytettävyydeltään lähellä maksimikokoa (Taulukko 1.), sillä osa kuljettajista totesi, että juuri ja juuri ylsi ottamaan levyn molemmista reunoista kiinni. Kaksi vastaajista totesi, että pienemmällä kouralla ei kyseisiä levyjä olisi uskaltanut nostaa.

*”Levyt olivat raskaita, niitä oli hidas käsitellä. Vaatii ison koneen, että ne saa oikein asennettua. Ei ollut helppo käsitellä.”*

Taulukko 1. Hankkeessa käytössä olleiden CLT-levyjien koot ja määrät. A-sarjan levyt oli valmistettu lujusluokitellusta ja B-sarjan levyt lujusluokittelemattomasta sahatavarasta.

Levy	Leveys, mm	Pituus, mm	Kerrokset	Paksuus, mm	Määrä, kpl
CLT-levy AL4	1600	4000	5	150	10
CLT-levy AL6	2500	4000	5	150	10
CLT-levy AL8	1600	4000	7	210	2
CLT-levy AL9	1600	5000	7	210	2
CLT-levy BL4	1600	4000	4	160	4
CLT-levy BL6	2500	4000	4	160	5
CLT-levy BL9	1600	5000	5	200	2

Pääosin nyt käytössä olleiden kuormatraktoreiden sekä nostureiden ja kuormainten todettiin sopivan CLT-levyjien käsittelyyn niin teholtaan kuin muilta ominaisuuksiltaan (Taulukko 2). Kaikki vastaajat arvioivat nosturin tehon riittäväksi. Ainoastaan yksi vastaajista totesi, että nosturi olisi voinut olla tehokkaampikin. Lisäksi eräässä haastavassa kohteessa liejun alta levyjen nostaminen oli tuntunut raskaalta.

Taulukko 2. Hankkeessa mukana olleiden kuormatraktoreiden, nostureiden ja kuormainten mallit.

Kuormatraktori	Nosturi	Kuormain
John Deere 1510 G	CF 700-10 S Power Plus	35 Gripper
Komatsu 865	FC	Hultdins SuperGrip 360
Ponsse Buffalo	K100+	35
Timberjack 10D10	-	Gripen 25
Puutavara-auto	Kesla Forester 2010	Kesla



Nostoratkaisuna ajourilla käytettävissä levyissä toimi teräksellä vahvistettu työstetty aukko levyssä (kuva 1). Levyjä oli kuormatraktoreiden ja puutavara-auton kuljettajien mukaan hyvä käsitellä. Ojien ylitykseen tarkoitetut levyt nostettiin metallisesta nostorivastapkuva 1). Tätä ratkaisua pidettiin huonompana levyyn työstettyyn aukkoon verrattuna, sillä siinä nähtiin riskiksi kuormaimen otteen luistaminen ja siten levyn putoamisen vaara. Tämän vuoksi näitä levyjä nostettiin yleensä reunoista. Aukko olisi kuljettajien mukaan parempi nostoratkaisu myös ojien ylitykseen tarkoitettuihin levyihin. Nostoratkaisujen kehittämistä kysyttäessä, nykyisen ratkaisun todettiin toimivan hyvin. Yksi vastaajista esitti, että levyissä oleva aukko voisi olla keskemällä tai molemmissa reunoissa. Tällöin levystä saisi tukevamman otteen, mikä helpottaisi asennusta.

*”Kiinnikkeet pitäisi saada niin hyvin kiinni, jos sellaisia levyihin suunnittelisi. Esimerkiksi koukku ja kettinki hidastaisivat toimintaa. Reikä varmin.”*

*”Jos lähdetään kettinkiratkaisuun ym. niin aikaa menee ja tarvitaan kaksi-kolme henkilöä. Koukkuviritykset eivät välttämättä pysy paikallaan metsäkoneiden alla. Nykyinen nopea ja turvallinen.”*

Leveämpiin levyihin esitettiin kehittämissuunniteluksena kahvaa päätyyn, jotta levyä voitaisiin nostaa tarpeen mukaan miltä tahansa syrjältä. Lisäksi nostoaukon korkeus leveämmillä levyillä saisi olla suurempi, se helpottaisi levyjen käsittelyä. Työstöt nostavat CLT-levyn hintaa ja aukot heikentävät levyn lujuutta.



Kuva 1. Kuormauksessa leveä CLT-levy, jossa nosto teräksellä vahvistetusta aukosta. Maassa olevissa, ojien ylitykseen tarkoitetuissa levyissä nosto tapahtuu metallisesta rivasta. (Kuva Anu Hilli)



Levyjen kuormaus kuormatraktorin tai puutavara-auton kuormatilaan sujui pääosin ongelmitta. Levyt olisi kannattanut kasata tienvarteen järjestelmällisesti kokojärjestyksessä, jolloin levyjen lastaus kuormatraktoriin tai puutavara-autoon olisi ollut helpompaa, sujuvampaa ja kustannustehokkaampaa (3 vastausta). Myös levyjen varastopaikkaan tienvarressa tulee kiinnittää huomiota. Varastopaikan tulee olla riittävän tasainen ja riittävän suuri, jotta seuraava kuljettaja saa levyt helposti kyytiin. Lisäksi todettiin, että oli helppo hahmottaa, miten levyt mahtuivat parhaiten kuormatraktoreiden kuormatilaan.

Kuljettajien mukaan oli hyvä, että testattavana oli useamman kokoisia levyjä, niille on omat käyttökohteensa. Esimerkiksi tienpenkan kohdalla pienemmät levyt todettiin käyttökelpoisimmiksi. Puolestaan leveämmät levyt olivat ajotilanteessa paremmat, koska kapeammat levyt siirtyivät helpommin pois paikoiltaan.

## **CLT-levyjen soveltuvuus kuljetukseen**

Käytössä olleiden kuormatraktoreiden kuormatila soveltui hyvin levyjen kuljettamiseen. Lisäksi todettiin, että osassa kuormatraktoreita pankkojen kaltevuus voi aiheuttaa jonkin verran haasteita leveämmillä levyillä. Levyjen optimaalinen leveys olisi 1,8–2,0 metriä ja kahden vastaajan mukaan 2,4 metrin leveys oli liian suuri. Kuljettajien mukaan asettelu ratkaisi, miten paljon levyjä sai kyytiin. Lisäksi todettiin, että pienen harjoittelun jälkeen, levyjä sai mahtumaan enemmän kuormatilaan.

*”Pienempiä levyjä oli hieman parempi kuljettaa, mutta isotkaan eivät tuottaneet ongelmia.”*

Puutavara-auton kuormaan mahtui juuri ja juuri nyt käytössä olleet levyt (Taulukko 2). Mikäli näitä levykokoja käytettäisiin, ehdotettiin, että puutavara-auton kuljettajille olisi kuormasta hyvä tehdä kartta- tai sivukuva. Kuva kertoisi levyjä ensimmäisen kerran kuljettavalle henkilölle, kuinka levyt saa parhaimmin sopimaan kuormatilaan. Lisäksi todettiin, että suurimman levyn kaventaminen helpottaisi levyjen kuormasta.

Puutavara-autossa pankkojen tolppien sisäväli määrittää kuormatilan leveyden. Käytössä olleessa puutavara-autossa pankkojen sisäleveys oli 2,20 metriä, joten parhaimpia kuljetuksen näkökulmasta olisivat leveydeltään levyt, jotka voidaan kuljettaa lappeellaan. Pituudeltaan nykyiset levyt sopivat hyvin kuljetettavaksi puutavara-autolla.

## **Levyjen asennuksen ja poiston sujuvuus ajouralle**

Levyjen asentamisen ajouralle ja niiden poistamisen ajouralta koettiin pääosin olevan sujuvaa ja helppoa. Kolmen kuljettajan mukaan heidän käyttämä kuormatraktori soveltui hyvin levyjen

asennukseen ajouralle ja levyjen kuormaukseen ajouralta. Koneessa, jossa levyjä oli mahdollisuus asentaa ohjaamon yli, kuljettaja totesi:

*"Hyvin meni. Noin sen pitääkin onnistua, että saa laitettua levyt suoraan eteen."*

Kolme vastaaja totesi, että koneessa olisi pitänyt olla kamera. Kamera parantaisi näkyvyyttä ja samalla levyjen asennus onnistuisi paremmin, sillä kyseisellä konemallilla levyjä ei voinut asentaa koneen etupuolelta.

Hankkeen ensimmäisessä maastotestissä levyjä testattiin kivennäismaalla. Kivennäismaalla esiintyi jonkin verran haasteita levyjen asennuksessa: levyt nousivat helpommin ylös etureunasta levyille ajettaessa ja siirtyivät helpommin paikoltaan. Suolla sen sijaan levyt pysyivät paremmin paikallaan, vaikka uralta piti kääntyä osalla konetyypeistä pois uutta levyä asentaessa. Haasteena levyjen käytölle tällä konetyypillä nähtiin se, että ajourasta pitää tehdä normaalia leveämpi, että siltä mahtuu tarvittaessa poikkeamaan asennuksen yhteydessä. Osalla kohteista kantoja jouduttiin poistamaan levyjen asennuksen helpottamiseksi. Myös kantojen poistaminen nähtiin haasteena.

Yhden vastaajan mukaan CLT-levyjä asensi maastoon ja kuormasi pois nopeammin verrattuna kapulasiltaan eli kuitupuumattoon, mitä normaalisti vastaavassa tilanteessa käytettäisiin.

## **Levyjen käyttö koettiin turvallisena**

Levyjen päältä oli tasaisempi ajaa verrattuna kapulasiltaan, jonka todettiin keinuttavan konetta levyjä enemmän. Osalla testatuista suokohteista havaittiin runsasta joustoa, jolloin ajotuntuma ei ollut kovin vakaa. Levyjen välien kohdalla tuli hyppäys, jonka kuljettajat tunsivat ohjaamossa. Levyt tuli kuljettajien mukaan asentaa toisiinsa kiinni, väliä ei tule jättää. Mikäli levyjen välissä on tilaa, tällöin levyt nousevat helpommin pystyyn levyille ajattaessa. Kuljettajien mukaan levyjen päältä oli turvallisen tuntuista ajaa ja yhtä lukuun ottamatta he olivat valmiita käyttämään levyjä uudestaan.

Levyjen nosto pitää pystyä suorittamaan turvallisesti, koska levyt ovat painavia ja voivat siten helposti aiheuttaa vahinkoa. Ojien ylitykseen tarkoitetuissa levyissä huomattiin selvästi kuormaimen otteen lipsahtamisen vaara, muutoin levyjen siirtely oli kuljettajien mukaan turvallisen tuntuista. Lisäksi todettiin, että pienemmällä kouralla näistä isoista levyistä ei olisi saanut välttämättä otetta molemmista reunoista, jolloin nostaminen olisi vaikeampaa. Kokonaisuudessaan levyjen käyttö ja käsittely koettiin turvallisiksi.

## **CLT-levyjen mahdollisuudet ja haasteet puunkorjuussa**

Kuljettajien mukaan CLT-levyille olisi käyttömahdollisuuksia puunkorjuussa. CLT-levyt mahdollistaisivat kesällä märkien kohteiden hakkuun ja lähikuljetuksen.

*”Kyllä se kesäaikaista hakkuuta parantaisi tietyillä kohteilla. En moitikaan.”*

*”Tien laitaan olisi tullut äkkiä 300 metriä lisää lähikuljetusmatkaa ilman levyjä.”*

Kuormatraktoreiden kuljettajat totesivat levyt kalliiksi, joten levyjen hinta ja käyttökustannus nähtiin merkittävimpinä levyjen käyttöönottoa hidastavina tekijöinä. Osa kuljettajista oli valmis ottamaan CLT-levyt heti käyttöön, mikäli niiden käytöstä maksettaisiin korvaus. Vastaajien mukaan levyjen hintaa tulisi saada alemmaksi esimerkiksi puutavaran laatua heikentämällä tai käyttämällä ohuempaa levyä, toki kantavuus ei saa heikentyä.

Lisäksi yksi vastaajista pohti, johtaisiko levyjen käyttö nykyistä haasteellisimpiin korjuukohteisiin niiden yrittäjien osalta, jotka ottaisivat CLT-levyjä käyttöönsä. Myös vastuukysymykset liittyen levyjen käyttöön, tulisi selvittää ennen niiden käyttöönottoa.

Tärkeimmiksi käyttökohteiksi mainittiin kohteet, jossa ei haluta maastojälkiä tai urapainauksia sekä leimikoissa, jotka saa levyjen ansiosta kesäkohteiksi. Yksi vastaajista mainitsi, että kohteella saisi olla hieman puustoa, että hän ei käyttäisi levyjä ihan avosuolla. Tällöin myös puiden juuristo toisi lisää kantavuutta. Lisäksi tuotiin esiin, että levyjä voisi käyttää pinnoitettujen teiden ylityksissä.

## **Johtopäätökset**

Puunkorjuussa maanpinnan kantavuutta parantaville ratkaisuille nähtiin selkeä tarve ja CLT-levyjä pidettiin yhtenä mahdollisena vaihtoehtona. Haastatteluissa nousi selvästi esiin tarve kustannusten alentamiselle, mikäli CLT-levyjä otettaisiin laajemmin käyttöön. Kustannuksiin vaikuttavat niin levyjen valmistus- kuin käyttökustannukset. Erityisesti kuljettajat olivat kiinnostuneita, voisiko ohuempia tai lujusluokiteltua heikompi laatuista sahatavarasta valmistettuja levyjä käyttää puunkorjuussa. Tämä, johtui siitä, että lujusluokittelemattomasta sahatavarasta valmistetut levyt olivat käytössä vasta hankkeen toisena maastotestikautena.

Kuljettajien kokemusten perusteella levyjen liittämismahdollisuutta toisiinsa tulisi selvittää. Levyjen kiinnitys toisiinsa tulisi tapahtua siten, että ne pääsevät ns. elämään. Muutoin liitos ei todennäköisesti tule kestäväksi. Nyt testatut levyt soveltuvat vain suoralle reitille, mutkia ajouralla ei voi olla tai ne tulee olla kantavalla maaperällä. Voidaanko levyjä suunnitella kantavuuden heikkenemättä erimallisia, jolloin mutkakin saataisiin katettua? Lisäksi voisi selvittää ohuempien, esimerkiksi kolmekerroksisen CLT-levyjen mahdollisuuksia puunkorjuussa.

## Lähteet

Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metlan työraportteja 80. Viitattu 9.3.2023  
<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/535994>.

Hiltunen, O. & Palander, T. 2020. Puuntuotannon ja puunhankinnan kehittämismahdollisuudet Etelä-Lapin ojitetuilla soilla. Suo 71(1): 47–64. Viitattu 9.3.2023.  
<http://www.suo.fi/pdf/article10401.pdf>.

Hoisko 2023. HOISKO CLT -elementin tekniset ominaisuudet. Viitattu 9.3.2023.  
<https://hoisko.fi/clt/tekniset-ominaisuudet/>.

Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. Korpikuusikon harvennus sulan maan aikana. Metsätehon tulosalvosarja 5/2010. Viitattu 9.3.2023.

Lehtonen, I., Venäläinen, A., Kämäräinen, M., Asikainen, A., Laitila, J., Anttila, P. & Peltola, H. 2017. Projected decrease in wintertime bearing capacity on different forest and soil types in Finland under a warming climate. Hydrology and Earth System Sciences Discuss. Viitattu 14.3.2023. <https://doi.org/10.5194/hess-2017-727>.

OAMK 2023. Ilmastonmuutos haastaa alkutuotannon logistiikan – LEVITOI-hanke kehittää uusia työkone- ja laiteratkaisuja maa- ja metsätalouteen. Viitattu 9.3.2023.  
<https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-ja-hanketoiminta/levitoid>.

Metsälehti 2021. CLT-levyt avuksi pehmeiden maiden korjuulle – uusi tutkimushanke käyntiin. Viitattu 20.3.2023. <https://www.metsalehti.fi/uutiset/uusi-tutkimushanke-kayntiin-clt-levyt-avuksi-pehmeiden-maiden-korjuulle/#fc5200f9>.

Harri Lindeman

## CLT-levyt puunkorjuussa – Maastotestausta

Puunkorjuu on totuttu tekemään talvella, kun routa vahvistaa ja lumi suojaa maanpintaa. Lämpimät ja lyhyet talvet vaikuttavat talvikorjuuolosuhteisiin heikentävästi ja turvemailla voi olla roudattomia talvia, kun ennen jäätymistä satanut lumipeite suojaa maata pakkasilta. Korjuuolosuhteiden kannalta hyvä kuiva kesä voi olla parempi kuin sula ja märkä talvi. Ympärivuotinen puuntarjonta on tärkeää puuta jalostavalle teollisuudelle ja ympärivuotinen puunkorjuu on elintärkeää puunkorjuu- ja kuljetusyrityksille sekä näiden yritysten työntekijöille. Kehittämällä sulan maan aikaista puunkorjuuta mahdollistetaan ympärivuotinen kannattava metsätalous.

Koneellisen puunkorjuun onnistuminen vaatii riittävää maaperän kantavuutta ja kulkukelpoisuutta sekä koneiden maastoliikkuvuutta. Perinteisesti puunkorjuun kohteet luokitellaan korjuukelpoisuuden mukaan talvi-, kesä- ja kelirikkokohteiksi, joissa kelirikkokohteet voi korjata milloin vain, kesäkohteet kuivahkolla kesäkelillä ja talvikohteet jäätyneen maan aikaan. Muuttuneissa olosuhteissa luokittelusta on tehtävä monipuolisempi ja herkempi vastaamaan erilaisiin olosuhteisiin. Kuivien kesäkelien tehokas hyödyntäminen vaatii oikea-aikaisuuden lisäksi myös ratkaisuja heikosti kantavan maaperän vahvistamiseen. Koneiden maastoliikkuvuutta on parannettu rakentamalla useampi pyöräisiä koneita ja varustelemalla renkaita ja telejä ketjuilla ja teloilla (Ala-Ilomäki ym. 2011). Viimeisen 15 vuoden aikana pehmeiden maiden puunkorjuussa ovat yleistyneet kantavat telat, joilla metsäkoneen maahan kohdistuvaa pinta-alaa on saatu laajennettua merkittävästi. Lisäksi on kokeiltu erilaisia telakoneita pehmeiden maiden puunkorjuussa, mutta ne eivät ole saavuttaneet merkittävää asemaa.



Kuva 1. Metsäkoneiden erilaisilla kantavilla telaratkaisuilla pienennetään pintapainetta. (Kuva Harri Lindeman)



Tyypillisesti puunkorjuussa maaperää on vahvistettu levittämällä hakkuussa kertyvät hakkuutähteet. Hakkuutähteiden määrä on puustosta riippuvainen ja monesti heikosti kantavissa kohteissa ja alueilla puustoa on vähän, joten hakkuutähteiden kertymä jää pieneksi. Hakkuutähteiden kantavuuden vaikutukseen vaikuttaa myös puulaji ja hakkuutähteiden läpimitta. Männyn oksat ovat hauraampia kuin kuusella sekä koivulla, jolloin kantavuutta parantava vaikutus kestää vähemmän yliajoja. Raskaammin kuormitetuilla urilla ja erityisen heikosti kantavissa kohdissa on käytetty yleensä kuitupuupölkyistä tehtyä telaa, jossa puutavara asetellaan uralla kantavuutta parantamaan. Kuitupuun käyttö aiheuttaa menetyksiä puutavaran laadussa ja usein myös määrässä.



Kuva 2. Harvennushakkuussa kertyy rämeellä melko vähän hakkuutähteitä suojaamaan maaperää. (Kuva Harri Lindeman)

Maaperän kantavuuden parantamiseen on myös kokeiltu erilaisia levyjä ja mattoja. Renkaista valmistettuja kumimattoja, puusta vaijerilla yhdistettyjä pitkospuumattoja sekä puisia ajosiltoja on testattu menestyksekkäästi painumien estämisessä. Puisia ajosiltoja on käytetty myös ojien ylityksessä. (Kontinen 2014). Erilaisten ajosiltojen ja mattojen käyttö on kuitenkin jäänyt vähäiseksi käytännön puunkorjuussa.

CLT-levyt (Cross Laminated Timber) on rakenteellisesti jäykkiä ristiin liimattuja puulevyjä, joita voi käyttää muilla tavoin kiinnitettyjen puulevyjen asemesta kantavuutta parantavana



ratkaisuna. CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) - hankkeessa, maastokokeiden tavoitteena on testata CLT-levyjen käytettävyyttä, kestävyyttä ja maaperää suojaavaa vaikutusta sulan maan aikaisessa puunkorjuussa. Maastokokeissa tuotetaan aineistoa myös CLT-levyjen käytön kustannuslaskentaan. Hanketta rahoitti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.

## Maastokokeet

Hankkeessa CLT-levyt suunniteltiin työpaketissa 2 (Tutkimusmenetelmän ja -kohteen rajaus) ja 3 (Tuotesuunnittelut ja prototyypit). Metsäkoneen kuljettajia osallistettiin suunnittelussa, jotta levyjen käytettävyyttä saataisiin toimivaksi. Levyjen käytettävyyttä havainnoitiin kaikkien kokeiden yhteydessä ja kokeiden yhteydessä keskusteltiin kuljettajien kanssa levyjen käsiteltävyydestä.

CLT-levyjen kulutuskestävyyttä testattiin kaikissa ajokokeissa. Ensimmäisessä maastokokeessa Hirvaalla levyjen käsiteltävyyttä ja kulutuksen kesto kokeiltiin kantavalla kivennäismaalla. Seuraavat kokeet toteutettiin heikosti kantavilla turvemailla, joissa kantavuus oli niin heikko, että operointi metsäkoneella ei olisi onnistunut ilman levyjä.

Taulukko 1. CLT-levyjen maastokokeet

Aika	Paikka	Toimenpide
6/21	Hirvas	Käsittely ja kesto
8/21	Petäjäinen	Turvemaan ajokoe
9/21	Narkaus	Turvemaan ajokoe
8/22	Lentokonejätkä	Turvemaan ajokoe ja demonstraatio
9/22	Lentokonejätkä	Turvemaan ajokoe ja demonstraatio

Maastokohteille suunniteltiin koealoja, kohteen muodosta ja ajotavasta riippuen. Petäjäisen kohteella testattavana oli noin 32 metriä pitkä turvemaanotkon ylitys, joka jaettiin kolmeksi koealaksi pituussuunnassa. Narkauksen kohteelle suunniteltiin neljä koealaa noin 250 metrin lenkille turvemaalla. Koealoista kaksi suojattiin levyillä ja toiset olivat verrokkeina. Korjuuolosuhteet olivat kuitenkin niin heikot, että levyjen testaaminen osoittautui mahdottomaksi suunnitellulla menetelmällä, jossa osa turvemaasta on vahvistettu ja osa ei. Erityisesti kantavuus oli heikkoa ajolenkin päässä, jossa olisi pitänyt pystyä kääntymään metsäkoneella.

Lentokonejätkän kohteella suunniteltiin kaksi koeuraa, 66 ja 70 metriä pitkinä turvemaanotkon yli. Molemmille testiurille sijoitettiin kolme koealaa pitkillä. Maaperästä mitattiin piikkisiipikairalla leikkausmoduuli (Ala-Ilomäki 2013) ja penetrometrillä tunkeutumisvastus. Turvemaan kantavuus perustuu kantavaan pintakerrokseen, jota vahvistavat puiden ja muun kasvillisuuden juuret. Pintakerroksen lujuutta mitataan

piikkisiipikairalla. Kantavuuden osalta turve on heikosti kantavaa ja sen ominaisuuksia mitataan penetrometrillä. Metsäkoneeliikenteen aiheuttamia painumia mitattiin tasolaserin avulla. Ennen levyjen asentamista, merkattiin pystyyn jäävän puun runkoon taso, josta mitattiin etäisyys mittauspisteiden lähtökorkeuteen. Kuormitusajojen jälkeen mittaus toistettiin mittauspisteistä ja painuma laskettiin näiden erotuksena.

## Tulokset

CLT-levyjen käytettävyys todettiin kokeissa toimivaksi. Joka kohteella levyt pystyttiin asentamaan haluttuun paikkaan. Puutavara-autolla levyjen siirtely onnistui hyvin ja kuormaimen koura sai pääosin otteen levyistä. Kuormatraktorilla levyjen kuormaaminen ja purkaminen onnistui hyvin. Levyjen asentaminen heikosti kantavalle maalle onnistui eri kuormatraktoreilla vaihtelevasti. Levyt olisi helpoin asentaa suoraan joko koneen ohjaamon yli eteen tai kuormatilan taakse siten, että kuormatraktori pystyy toimimaan kovalta maalta tai jo asennetuilta levyiltä. Koneen taakse asentamista vaikeuttaa kuormatilassa olevat asentamattomat levyt. Osalla kuormatraktoreista nosturin liikkuvuus tai näkyvyys ohjaamon eteen on rajoittunut



Kuva 3. Kuormatraktorin nosturin ulottuvuus ja liikeratojen laajuus vaikuttivat CLT-levyjen käsittelyyn. (Kuva Harri Lindeman)

CLT-levyjen kulutuskestävyys osoittautui testien osalta riittäväksi, mutta testien aikana levyihin aiheutui merkittävää kulumaa. Levyjen kestävydestä ja kulumisesta raportoidaan erillisellä osaraportilla. Levyjen kulumiseen vaikuttaa silmämääräisesti arvioiden erittäin merkittävästi metsäkoneen renkaiden ja telien varustelu. Hyväkuntoiset ketjut ja telat pureutuvat levyyn enemmän kuin kuluneet telat. Teloissa erityisesti hokkien kunto ja kulmien terävyys vaikuttavat kulumiseen (kuva 4).



Kuva 4. Metsäkonetelan hokin jälki uudessa levyssä. Renkaiden ja telien varustelu vaikuttaa CLT-levyjen kulumiseen merkittävästi. (Kuva Harri Lindeman)

Turvemaakohteiden maaperä oli joka kohteella heikosti kantavaa. Kulkukelpoisuus oli niin heikko, ettei metsäkoneilla operointi olisi onnistunut ilman maaperän vahvistamista. Tunkeutumismittaus oli mittausten mukaan hyvin heikko joka kohteella (taulukko 2).

Taulukko 2. Tunkeutumismittaus mittausten tulokset koelaitteittain, kPa, 0-40 cm.

Koela\Kohde	1	2	3	4
1	0,25	0,30	0,34	0,31
2	0,24	0,38	0,24	0,28
3	0,35	0,35	0,28	0,29
4		0,32		
Keskiarvo	0,28	0,34	0,29	0,30



Leikkausmodulissa oli suurehkoja vaihteluita erittäin heikosta kohtuulliseen lujuusarvoon (taulukko 3).

Taulukko 3. Turvemaan pintakerroksen leikkausmoduulin mittaustulokset koelaitteilla

Koela\Kohde	1	2	3	4
1	48,7	66,4	65,4	41,0
2	35,1	165,6	47,2	20,8
3	56,7	93,6	56,8	18,3
4		101,0		
Keskiarvo	46,8	106,7	56,4	26,7

Painumien mittaus ja arviointi on erittäin haastavaa, kun käytetään CLT-levyjä kaltaisia suuria ja jäykkien levyjä. Käytännössä levy enimmäkseen tasoittaa turvemaan pintaa, ja mittaushavainnot ovat välillä positiivisia ja välillä negatiivisia. Mättäisen kohtaan aiheutuu painumia ja painanteet täyttyvät. Keskimäärin painumaa aiheutuu muutaman senttimetrin verran.



Kuva 5. CLT-levyjä käytettäessä turvemaan pintakerros puristuu ja tasoittuu. Kuvassa levyt olivat sijoitettuna paikoilleen noin kuukauden ajan. (Kuva Harri Lindeman)

## Johtopäätöksiä

CLT-levyt ovat käyttökelpoisia vahvistamaan maaperän kantavuutta puunkorjuussa. Levyjen kantavuus on hyvä ja painumat jäivät vähäisiksi. Testikohteissa levyjen kannattavuus oli riittävää. Heikoimmin kantavissa kohdissa levyt aseteltiin aluksi liian etäälle toisistaan ja levyt keinuivat koneen alla. Ongelma korjaantui siirtämällä levyt lähekkäin. Erittäin heikosti kantavissa olosuhteissa voisi olla apua levyjen yhteen liittämisestä. Levyjen asentaminen oli osalle kuormatraktoreita haastavaa aiheuttaen ajanmenekkiä tai tarvetta apu työvoimalle. Mikäli levyjen käyttö yleistyy, pitää levyjen kanssa toimivat konemallit selvittää.

Kaiken kaikkiaan CLT-levyjen käytölle haasteet löytyvät kustannuksista, niin käyttö kuin valmistus, sekä sovittamisesta puunkorjuun logistiikkaketjuun. Avoimelle suolle kuormatraktori voi asentaa levyt suoraan, mutta poistettaessa puustoa hakkuukoneella tarvitaan jo kaksi konetta yhtä aikaa työmaalle haastaen normaalit puunkorjuun rutiinit.

## Lähteet

Ala-Illomäki, J., Högnäs, T., Lamminen, S. & Sirén, M. 2011. Equipping a conventional wheeled forwarder for peatland operations. *International Journal of Forest Engineering* 22(1): 7-13.

Ala-Illomäki, J. 2013. Spiked shear vane - a new tool for measuring peatland top layer strength Piikkisiipikaira - uusi väline turvemaan pintakerroksen lujuuden mittaukseen. *Suo - Mires and Peat* 64(2-3): 113-118.

Kontinen, K. 2014. Huonosti kantavien maiden ja teiden vahvistamisratkaisut. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Tutkimuksia ja raportteja – Research reports 92

Jari Lindblad

## CLT-levyjen käytön kustannukset puunkorjuussa – kauko- ja metsäkuljetus ja asentaminen ajouralle

Suomen metsätalousmaasta reilu kolmannes on soita, joilla kasvaa noin neljännes puuston kokonaismäärästä. Kaikkiaan ojitettujen suometsien määrä on yli viisi miljoonaa hehtaaria. (Luke, Tilastot)

Metsäteollisuudessa on tehty runsaasti investointeja viime vuosina. Vaikka investointien määrä on kiivaan vaiheen jälkeen taittumassa, on investointien arvo edelleen korkealla tasolla (Elinkeinoelämän keskusliitto). Investointien seurauksena tuotantokapasiteetti on kasvamassa. Samanaikaisesti puuntuonnin vähentyminen, ja Venäjän osalta päättyminen, luo painetta kotimaisen puun kysynnälle (Metsäsektorin suhdannekatsaus) ja samalla puunhankinnan ja -korjuun lisäämiselle myös suometsissä. Lisäksi leudommat ja lyhentyvät talvet ja pidentyvät kelirikkoajat huonontavat edellytyksiä pehmeiden maiden puunkorjuussa.

CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa (CLT Access Matting) -hankkeessa toteutettiin kustannuslaskelmat CLT-levyjen käytöstä osana puunkorjuuta. CLT-levyjen kuljettamisessa ja asentamisessa on tarkoituksena käyttää tavallista puutavaran kuljettamiseen ja käsittelyyn käytettävää kalustoa. Hankkeessa tutkittiin puutavara-auton ja metsätraktorin soveltuvuutta, ajanmenekkiä ja kustannuksia CLT-levyjen kaukokuljetuksessa korjuukohteelle ja edelleen levyjen metsäkuljetuksessa ja asentamisessa ajouralle. Hanketta rahoitti Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus Euroopan aluekehitysrahastosta.

### Aineisto ja menetelmät

#### Kenttäkokeet

Hankkeessa toteutettiin erikseen järjestettyjä kenttäkokeita vuosien 2021–2022 aikana. Kenttäkokeiden toteutuspaikoiksi valittiin kohteita, joissa oletettu korjuulohko sijaitsi lyhyehkön suovyöhykkeen tai turvemaan takana, ja CLT-levyjä käytettäisiin puunkorjuun kokoojauran kantavuuden parantamiseen sen heikosti kantavissa kohdissa.

Vuonna 2022 kenttäkokeet toteutettiin Rovaniemen Lentokonejängällä. Kokonaisuutena kenttäkokeisiin sisältyivät:

- 1) CLT-levyjen kuljetus korjuukohteille puutavara-autolla,
- 2) levytettävän ajouran merkintä ja mittaukset,
- 3) CLT-levyjen asennus ajouralle metsätraktorilla,
- 4) ajotestit, joissa ajouraa ylitettiin kuormatulla metsätraktorilla,
- 5) CLT-levytyksen purku metsätraktorilla ja
- 6) painumamittaukset.



CLT-levyt kuljettiin 2.8.2022 puutavara-autolla Hirvaalta Lentokonejängälle, jossa toteutettiin kaksi kenttäkoetta tekemällä CLT-levyillä vahvistetut ajourat noin 200 metrin etäisyydellä toisistaan (jatkossa Lentokonejänkä 1 ja Lentokonejänkä 2). Kenttäkokeet ja niiden toimenpiteet ajoittuivat seuraavasti:

#### Lentokonejänkä 1

- CLT-levyjen asennus metsätraktorilla ajouralle 3.8.2022
- Yliajotestejä kuormatulla metsätraktorilla 16.8.2022
- Yleisötilaisuus ja demonstraatio 17.8.2022
- CLT-levytyksen purku metsätraktorilla ajouralta 6.9.2022

#### Lentokonejänkä 2

- CLT-levyjen asennus metsätraktorilla ajouralle 7.9.2022
- Yliajotestejä kuormatulla metsätraktorilla 7.–8.9.2022
- Yleisötilaisuus ja demonstraatio 8.9.2022
- CLT-levytyksen purku ajouralta ja siirto Hirvaalle syyskuussa 2022 (ei videoitu)

Kenttäkokeiden lisäksi CLT-levyjä käytettiin Pohjois-Suomen Metsämarkkinat Oy:n Ranualla sijainneella todellisella korjuukohteella loka–marraskuussa 2022. Menettelyllä saatiin urakanantajan ja kuljettajien kokemuksia levyjen käytettävyydestä, ja myös tietoa levyjen kulutuskestävyydestä.

### **Aikatutkimus**

Lentokonejängän kenttäkokeissa, samoin kuin Ranuan korjuukohteella, CLT-levyjen käsittelyyn liittyvät työt suurelta osin videoitiin. Työt sisälsivät levyjen kuormauksen ja purkamisen puutavara-autolla, levyjen kuormauksen metsätraktoriin ja asettelun ajouralle sekä lopuksi levytyksen purkamisen ajouralta ja siirron tienvarsivarastoon metsätraktorilla.

Videoita käytettiin aikatutkimukseen määrittämällä kaikkien edellisten kuormausyhteyksien yksittäisten työvaiheiden (levyyn tarttuminen, levyn nostaminen, levyn asettaminen, kuormaimen palauttaminen) kestot.

Aikatutkimukseen, eli ns. kellotukseen, käytettiin Luken Excel-pohjaista TimeStudies -työkalua, joka mahdollistaa työvaiheiden keston tarkan erittelyn ja aikatutkimuksen mittausaineiston muodostamisen.

Taulukossa 1 on esitetty videoilta määritettyjen työvaiheiden lukumäärät tehtävän työn ja ajoneuvon mukaan.

Taulukko 1. Aikatutkimuksessa videoilta mitattujen työvaiheiden lukumäärät (n) ajoneuvon ja tehtävän työn mukaan.

Ajoneuvo	Työ	Työvaihe			
		Levyyn tarttuminen	Levyn nosto	Levyn asettelu	Palautus
Puutavara-auto	Kuormaus varastolla	62	62	59	61
	Purku varastolla	67	67	66	66
Metsätraktori	Kuormaus varastolla	86	86	84	72
	Asennus ajouralle	64	63	72	58
	Kuormaus ajouralta	67	65	65	57
	Purku varastolla	59	59	60	59

Kustannuslaskentaa varten määritettiin laskennallisesti yksittäisen CLT-levyn käsittelyn kuormaus syklin keston keski- ja hajontaluvut jokaista toteutettavaa työtä kohti. Levyjen käsittelyyn liittyvien töiden kuormaus syklien kokonaisajat muodostuvat siihen kuuluvien neljän työvaiheen (taulukko 1) keston summana. Aikatutkimusaineistossa työvaiheiden kestot olivat jakaumiltaan vinoja. Siten esimerkiksi aikatutkimusaineistosta määritettyjen aritmeettisten keskiarvojen käyttö keskilukuina ei ollut mielekäästä.

Kuormaus syklien keston määrittäminen tehtiin hyödyntämällä Monte Carlo -simulointimenetelmää, joka soveltuu moniulotteisiin ongelmaratkaisuihin erityisesti tilanteissa, joissa lähtötiedoissa on epävarmuutta (esim. Raychaudhuri, 2008). Määrittäminen tehtiin siten, että jokaiselle työvaiheen kestolle määritettiin aikatutkimusaineiston perusteella todennäköisyysjakauma. Näiden vinojen jakaumien muotona käytettiin kolmiojakaumia siten, että jakaumien kärkinä olivat aikatutkimusaineiston 1, 50 (mediaani) ja 99 prosenttipisteet. Kuormaus syklien kestolle generoitiin uusi laskenta-aineisto toistamalla 1000 kertaa laskenta, jossa 1) jokaisen työvaiheen kestolle poimittiin satunnainen arvo annetusta jakaumasta ja 2) summattiin arvot kuormaus syklin kestoksi. Näin muodostettu laskenta-aineisto mahdollisti kuormaus syklien keston todennäköisyysjakauman määrittämisen. Käytännössä kuormaus syklien kestolle määritettiin keskiarvo ja keskihajonta, joiden perusteella voitiin määrittää normaalijakauma oletukseen perustuvat todennäköisyysjakaumat (taulukko 2).

Taulukko 2. Yhden kuormaus syklin keston keskiarvot ja keskihajonnat ajoneuvon ja tehtävän työn mukaan.

Ajoneuvo	Työ	Kuormaus syklin kesto (s)	
		keskiarvo	keskihajonta
Puutavara-auto	Kuormaus varastolla	38	6
	Purku varastolla	37	7
Metsätraktori	Kuormaus varastolla	41	8
	Asennus ajouralle	98	25
	Kuormaus ajouralta	76	16
	Purku varastolla	35	6

## **Puutavara-auton kustannusperusteet**

CLT-levyjen käytön ja logistiikan kustannuslaskennassa hyödynnettiin Luken muissa projekteissa kehitettyjä puutavaran korjuu- ja kuljetuskustannusten laskentatyökaluja. *Costing models for road, rail and sea transport of roundwood* on excelpohjainen laskentatyökalu puutavaran kaukokuljetuksen kustannuslaskentaan (Väätäinen ym. 2021). Laskentatyökalun avulla pystytään määrittämään muun muassa puutavara-auton vuositason keskimääräinen käyttötuntikustannus (€/h). Laskentatyökalussa käytetään taustatietoina kuljetusmatkoja (keskimääräinen kaukokuljetusmatka ja varastojen väliset siirtymät), tieluokkien jakaumia, ajonopeuksia, kuormaus- ja purkuajoja sekä polttoaineen kulutuksia. Edellisten lisäksi laskentatyökalussa otetaan kattavasti huomioon puutavara-auton hankintahinta, elinkaari, vakuutukset ja muut vastaavat vuosittaisiin kiinteisiin kustannuksiin vaikuttavat tekijät, sekä muuttuvat toiminnalliset kustannukset, joihin sisältyvät muun muassa polttoainekustannukset.

Kustannustekijöille tehtiin indeksikorjaus vuoden 2022 tasolle. Laskentatyökalun avulla puutavara-auton täysperävaunuyhdistelmälle määritettiin käyttötuntikustannus 108 €/h ja pelkälle vetoautolle käyttötuntikustannus 98 €/h. Näitä käyttötuntikustannuksia käytettiin CLT-levyjen kaukokuljetuksen kustannuslaskennassa.

## **Metsätraktorin kustannusperusteet**

Metsätraktorin käyttökustannusten laskennassa hyödynnettiin Lukessa kehitettyä puunkorjuun systeemianalyysimallia, joka on konekustannuslaskentaan kehitetty laskentatyökalu Excel-ympäristössä (Väätäinen ym. 2023). Laskentatyökalu mahdollistaa puutavaran korjuun kustannusten ja suoritemäärien määrittämisen erilaisissa toimintaympäristöissä. Laskentamallissa otetaan kattavasti huomioon puunkorjuun tuotokseen, tuottavuuteen ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät, mukaan lukien hakkuutapa- ja runkokokojakaumat, tuottavuusmallit, korjuutoiminnan parametrit (mm. kokonaistyöajat ja työajan jakautuminen) ja koneiden kustannustekijät (mm. hankintahinnat, kiinteät kustannukset, toiminnalliset kustannukset, työkustannukset). Laskentamalli tuottaa tulokset yhdelle korjuuketjulle siten, että hakkuukone ja metsätraktori edustavat keskimääräistä yleiskonekokuoluokkaa.

Laskennan lähtöparametrit, oleellisesti myös kustannustekijät, oli määritetty vuoden 2022 lopun tasolle (Väätäinen ym. 2023). Laskentatyökalulla määritettiin metsätraktorin vuositason käyttötuntikustannukseksi 94 €/h. Tätä käyttötuntikustannusta käytettiin CLT-levyjen metsäkuljetuksen, asennuksen ja muun metsätraktorilla tehtävän käsittelyn kustannuslaskennassa.

## **Levyjen mitoitus ja kuljetuskapasiteetti**

Kenttäkokeissa käytettiin mitoitukseltaan erilaisia CLT-levyjä. Levykoot olivat 1600 x 4000 mm, 2500 x 4000 mm tai 1600 x 5000 mm, joista jälkimmäiset suunniteltiin pienten oijen

ylitykseen. Lisäksi levyt erosivat toisistaan kerrosten määrien ja paksuuksien ja siten levyn paksuuksien suhteen.

Kustannuslaskentaa varten levyjen laskennallinen mitoitus vakioitiin, pyrkimyksenä kuljetuslogistiikan ja kuljetuskapasiteetin käytön kannalta tarkoituksenmukaiset mitat. Levyjen pituudeksi, joka käytännössä määrittää levyistä tehtävän ajouran leveyden, asetettiin kenttäkokeissa käytettyjen levyjen mukaisesti 4000 mm. Kenttäkokeissa saatujen havaintojen perusteella levyjen leveydet (etenemä ajouralla) eivät olleet puutavara-auton kuormatilan käytön kannalta parhaita mahdollisia. Kapeammassa levyissä (leveys 1600 mm) tilavuuskapasiteetin ja kuormatilan leveyden käyttö jäi vajaaksi. Toisaalta leveämpiä levyjä (leveys 2500 mm) ei pystytty asettamaan kuormatilaan lappeelleen. Laskennallisena leveytenä käytettiin näiden väliltä olevaa arvoa 2000 mm. Levyjen oletettiin koostuvan neljästä 40 mm kerroksesta, jolloin levyjen paksuus olisi 160 mm. Laskennassa levyjen ulkomitoiksi siis muodostui 2000 x 4000 x 160 mm. Lisäksi laskennassa otettiin huomioon kaksi mitoiltaan 300 x 700 mm nostoaukkoa. Kenttäkokeiden levyissä nostoaukkojen koko oli 200 x 700 mm, joka osoittautui tietyissä tilanteissa hieman ahtaaksi.

Mitoiltaan 2000 x 4000 x 160 mm CLT-levyn tilavuus nostoaukot (300 x 700 mm) vähennettynä on 1213 dm<sup>3</sup>. Jos puuaineen kuivatuoretiheydeksi oletetaan 400 kg/m<sup>3</sup> ja kosteudeksi (wet basis) 20 prosenttia, saadaan levyn tuoretiheydeksi 500 kg/m<sup>3</sup> ja painoksi 606 kg.

Laskelma CLT-levyjen kuljetuskapasiteetista tehtiin kokonaispainoltaan 76 000 kg 9-akseliselle puutavara-autolle (Tieliikennelaki). Kokonaispainon oletettiin jakautuvan siten, että vetoauton kokonaispaino on 35 000 kg (kantavuus nosturin kanssa 16 500 kg) ja perävaunun 41 000 kg (kantavuus 32 500 kg). Kuormatilan korkeutena käytettiin 3000 millimetriä.

Edellisillä oletuksilla puutavara-autoon olisi tilavuuskapasiteetin rajoissa lastattavissa 3 x 18 levyn nippua, yhteensä 54 levyä. Tällöin kuorman paino olisi noin 32 700 kg, eli kantavuudesta jäisi käyttämättä noin 16 200 kg.

## **Kustannuslaskenta**

Kustannuslaskennat toteutettiin tilanteissa, joissa korjuukohteella käytettäisiin 18 levyä (vetoauton kuorma) tai 54 levyä (täysperävaunun kuorma). Kaukokuljetuksen kustannukset laskettiin kuljetusmatkan suhteen erilaisilla tyhjänä ajon osuuksilla. Kustannuslaskenta perustui laskentatyökalun (Väätäinen ym. 2021) avulla määritettyihin ajoaikoihin sekä levyjen kuormauksen ja kuorman purkamisen ajanmenekkeihin, ja edellisestä muodostuvaan kokonaistyöaikaan. Levyjen käsittelyn, siis kuormauksen ja kuorman purkamisen, ajanmenekit määritettiin kuljetettavien levyjen määrän ja taulukossa 2 esitettyjen ajanmenekkien perusteella. Kokonaiskustannuksen laskennassa käytettiin puutavara-auton käyttötuntikustannusta.

Metsätraktorin kustannuslaskenta toteutettiin CLT-levyjen käsittelyyn liittyvien töiden ajanmenekkien (taulukko 2) ja levyjen metsäkuljetuksen ajanmenekkien perusteella

määritettiin arviot kokonaiskustannuksista. Laskennan muuttujia olivat kuljetettavien levyjen määrä, kuljetusmatka, ajonopeus ja kuorman koko, jota käytettiin kuormien määrän laskentaan. Lisäksi laskennassa käytettiin levyjen käsittelyyn liittyvien töiden kuormaussykliä ajanmenekkejä, jotka määritettiin aiemmin kuvatulla tavalla hyödyntäen Monte Carlo -simulointia. Näiden tietojen perusteella määritettiin levyjen käyttöön liittyvien töiden, eli levytyksen asennuksen ja poistamisen, kuorma-, purku- ja ajoajat ja kokonaisajanmenekit. Edelleen kokonaiskustannukset määritettiin käyttötuntikustannuksen perusteella.

Laskennassa muuttujille annettiin odotusarvot, joiden perusteella pystyttiin tuottamaan metsätraktorin käytön kokonaiskustannuksen odotusarvot. Jotta kokonaiskustannukselle pystyttiin määrittämään arvio todennäköisestä vaihteluvälistä, annettiin laskennassa käytettävien muuttujien arvojen vaihdella annetun todennäköisyysjakauman mukaisesti. Kuten edellä kuormaussykliä kestojen laskennassa (Monte Carlo -simulointi), laskenta toistettiin 1000 kertaa muodostaen siten laskenta-aineisto levyjen käyttökustannukselle metsätraktorin osalta. Tuloksena määritettiin paitsi kustannusten odotusarvot, myös 95 prosentin vaihteluvälit.

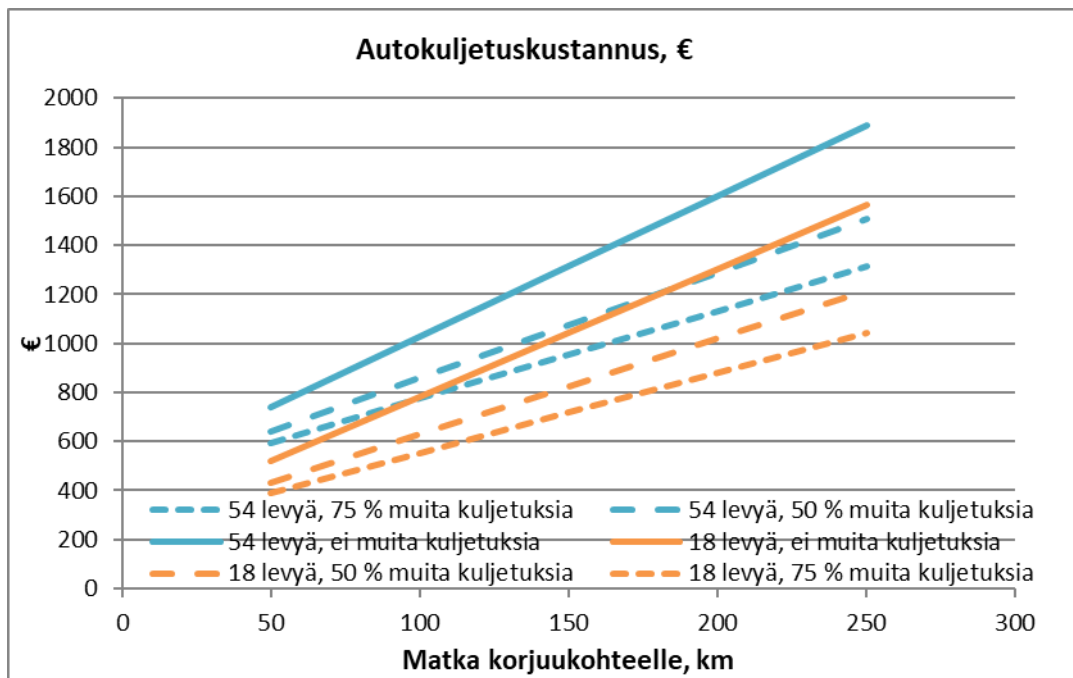
Laskennassa metsätraktorin käyttötuntikustannuksena käytettiin arvoa 94 €/h, jonka annettiin vaihdella  $\pm 10$  €/h tasajakauman mukaisesti. Metsätraktorin ajonopeutena käytettiin arvoa 4 km/h ( $\pm 1$  km/h, tasajakauma) ja kuorman kokona 10 CLT-levyä ( $\pm 3$  CLT-levyä, tasajakauma). Kuorman koon vaihtelu vaikutti laskennassa kuormien määrään vaihteluun, millä on merkitystä erityisesti metsäkuljetusmatkan pidentyessä. Kuormaussykliä kestot poimittiin odotusarvon ja keskihajonnan perusteella määritetystä normaalijakaumasta taulukon 2 mukaisesti.

## **Tulokset**

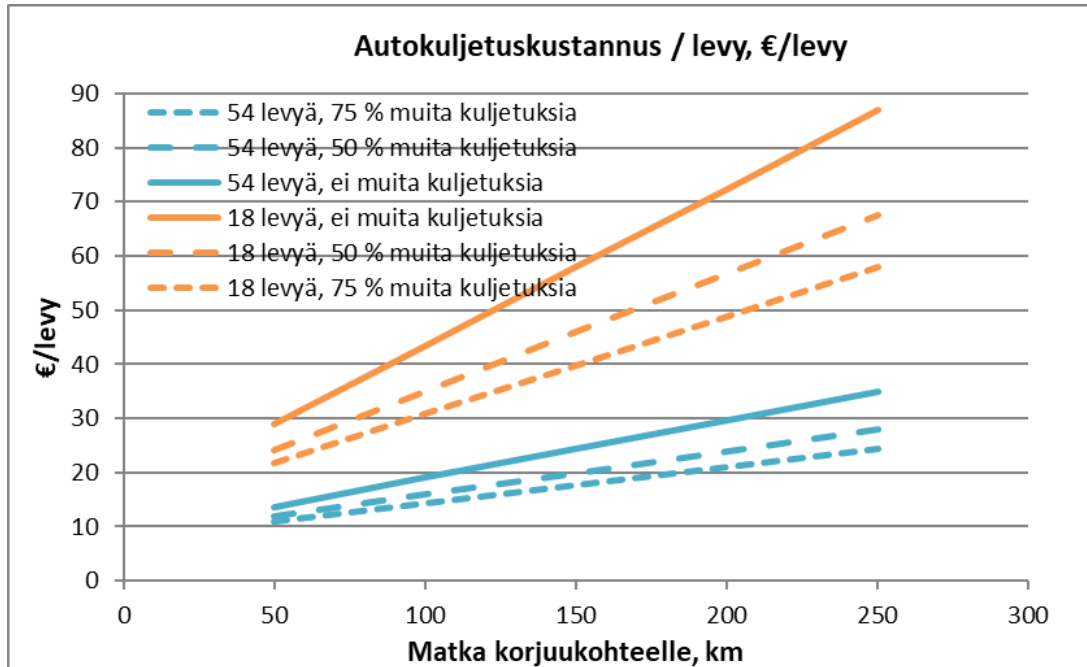
### **Levyjen autokuljetus**

Levyjen autokuljetuskustannukset on laskettu tilanteissa, joissa kuljetettavien levyjen määrä olisi täysi vetoauton kuorma (18 levyä) tai täysi täysperävaunukuorma (54 levyä). Kuvassa 1 on esitetty levyjen autokuljetuksen kokonaiskustannukset ja kuvassa 2 yksikkökustannukset (€/levy) vetoauton kuormalla (18 levyä) tai täysperävaunukuormalla (54 levyä) kuljetusmatkan suhteen. Kuljetusmatka tarkoittaa tässä yhden suuntaista etäisyyttä levyjen varastopaikasta korjuukohteelle. Kustannus sisältää sekä levyjen viennin korjuukohteelle, että noudon korjuukohteelta käytön jälkeen. Muiden kuljetusten osuus tarkoittaa tyhjänä ajon korvautumista muilla, käytännössä puutavaran, kuljetuksilla. Kuvaaja ”ei muita kuljetuksia” osoittaa tilannetta, jossa paluumatka levyjä korjuukohteella vietäessä ajetaan lähtöpaikkaan kokonaisuudessaan tyhjänä, ja vastaavalla tavalla menomatka levyjä korjuukohteelta noudettaessa. Kahdessa muussa tilanteessa 50 tai 75 prosenttia tästä tyhjänä ajosta pystyttäisiin korvaamaan puutavaran kuljetuksilla.





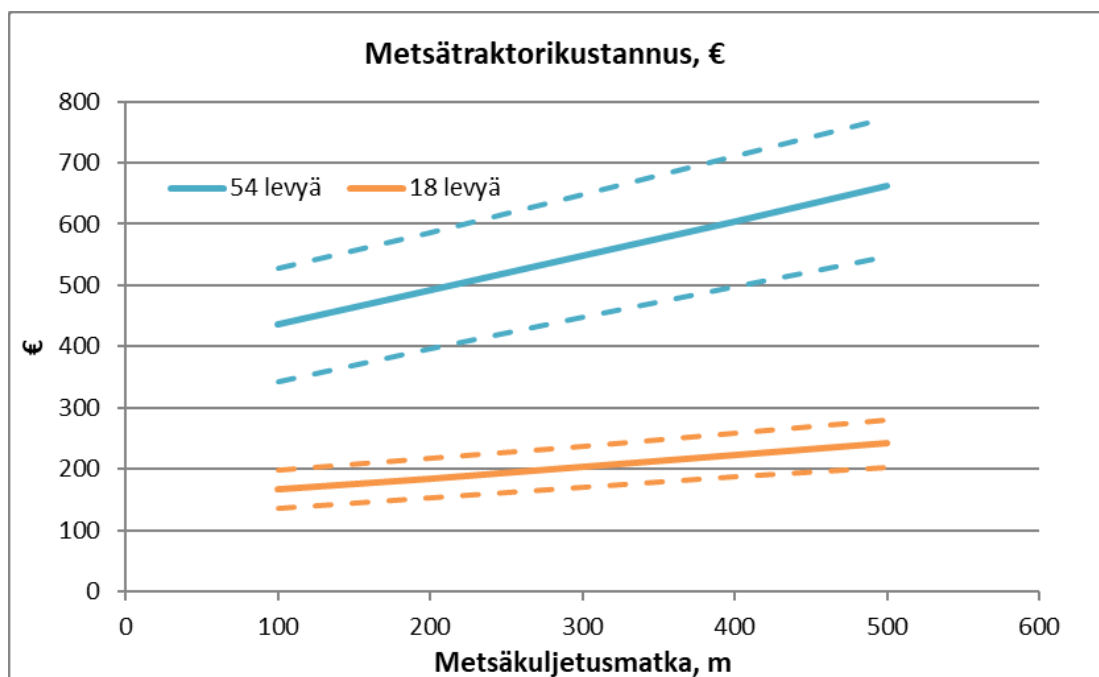
Kuva 1. Levyjen autokuljetuksen kokonaiskustannukset vetoauton kuormalla (18 levyä) tai täysperävaunu kuormalla (54 levyä) kuljetusmatkan (yhden suuntainen matka korjuukohteelle) suhteen. Muiden kuljetusten osuus tarkoittaa tyhjänä ajon korvautumista muilla, esim. puutavaran, kuljetuksilla. (Kuva Jari Linblad)



Kuva 2. Levyjen autokuljetuksen yksikkökustannukset (€/levy) vetoauton kuormalla (18 levyä) tai täysperävaunu kuormalla (54 levyä) kuljetusmatkan (yhden suuntainen matka korjuukohteelle) suhteen. Muiden kuljetusten osuus tarkoittaa tyhjänä ajon korvautumista muilla, esim. puutavaran, kuljetuksilla. (Kuva Jari Linblad)

Kun etäisyys korjuukohteelle oli noin 50 kilometriä, oli levyjen kaukokuljetuskustannus tarkastelluissa tilanteissa 400–800 euroa (kuva 1). Jo verraten lyhyelläkin kuljetusmatkalla ajoaika muodostaa suurimman tai vähintään merkittävän osuuden kuljetuskustannuksista. Lähinnä tästä syystä levyjen kaukokuljetuksen kokonaiskustannus ei kasva samassa suhteessa kuljetettavien määrän suhteen. Sama on todettavissa kuvan 2 kuljetuksen levykohtaisista yksikkökustannuksista; vetoauton kolmanneksen suuruisella levymäärällä yksikkökustannus oli 2–3-kertainen täysperävaunukuormaan verrattuna. Kuljetuskustannus kasvoi jyrkästi kuljetusmatkan suhteen, ja toisaalta muiden kuljetusten ketjuttaminen ja tyhjänä ajon korvaaminen vaikuttivat oleellisesti kustannusten tasoon.

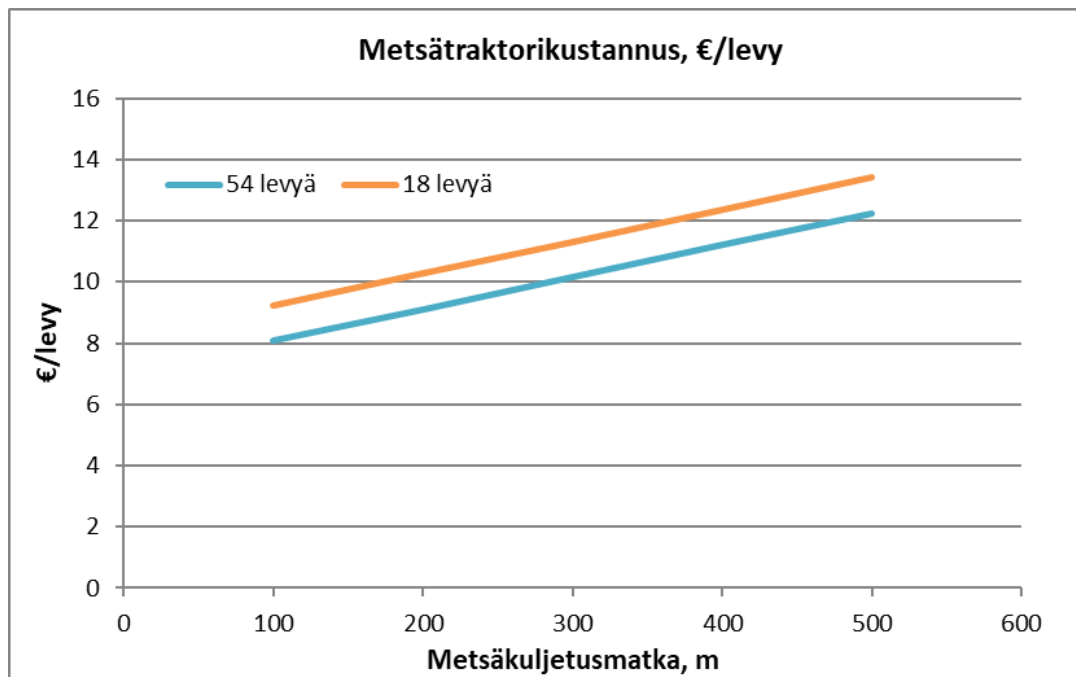
### Levyjen metsäkuljetus ja asennus ajouralle



Kuva 3. Levyjen metsäkuljetuksen kokonaiskustannukset 18 levyllä (vetoauton kuorma) ja 54 levyllä (täysperävaunukuorma) metsäkuljetusmatkan (levyjen siirtomatka tienvarsivarastosta) suhteen. Kokonaiskustannus sisältää levyjen kuormauksen ja kuljetuksen, asennuksen ajouralle, levytyksen purkamisen ja kuljetuksen tienvarsivarastoon. (Kuva Jari Linblad)

Kuvassa 3 on esitetty levyjen metsäkuljetuksen kokonaiskustannukset ja kuvassa 4 yksikkökustannukset (€/levy) 18 levyllä (vetoauton kuorma) ja 54 levyllä (täysperävaunukuorma) metsäkuljetusmatkan suhteen. Metsäkuljetusmatka tarkoittaa tässä levyjen yhden suuntaista kuljetusmatkaa tienvarsivarastosta niiden käyttöpaikalle ajouralle. Kustannukset sisältävät levyjen kuormauksen tienvarressa, kuljetuksen, asennuksen ajouralle, purkamisen ajouralta sekä siirtämisen takaisin tienvarsivarastoon. Yhtenäiset viivat osoittavat kustannusten odotusarvon ja katkoviivat 95 prosentin vaihteluvälin. Voidaan ajatella, että 95 korjuukohteella sadasta kustannukset olisivat kyseisellä vaihteluvälillä.

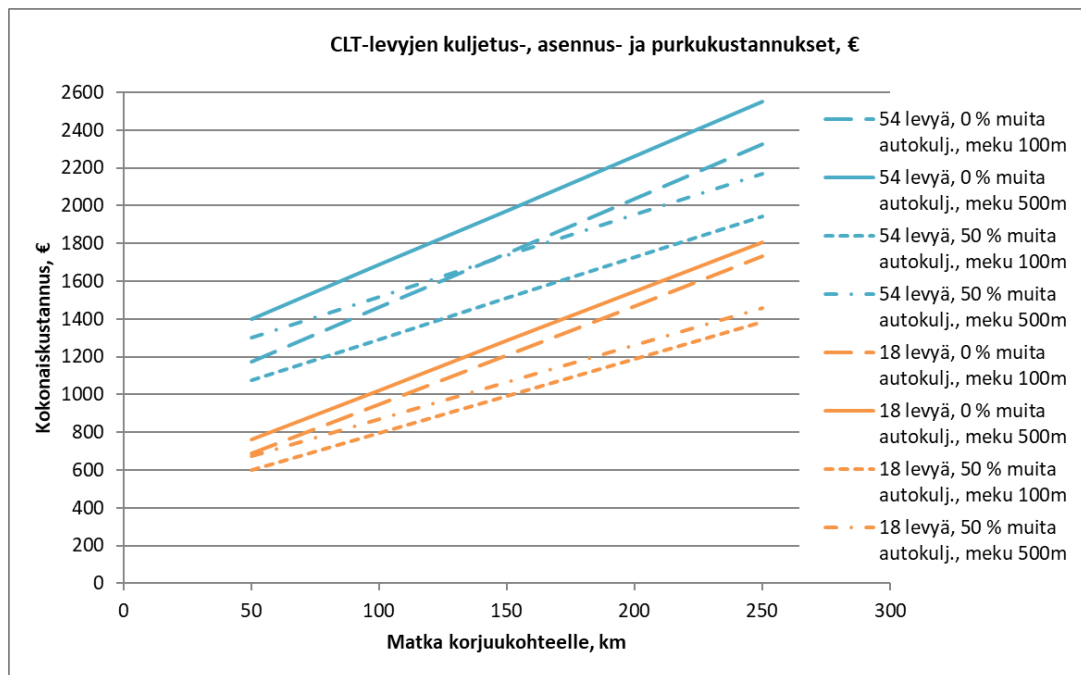
Metsätraktorilla tehtävissä toimenpiteissä levyjen käsittely muodostaa selvästi suurimman ajanmenekin ja siten kustannuksen. 18 levyn tapauksessa kokonaiskustannusten nousu metsäkuljetusmatkan suhteen on selvästi loivempi kuin 54 levyn tapauksessa, jossa ajomatkaa kertyy suuremman kuormien määrän vuoksi enemmän (kuva 3). Yksikkökustannukset ovat pienimmillään 8–9 €/levy tasolla ja kasvavat noin 1 €/levy kun metsäkuljetusmatka pidentyy sadalla metrillä (kuva 4). Yksikkökustannukset kasvavat lähes lineaarisesti levyjen määrän suhteen.



Kuva 4. Levyjen metsäkuljetuksen yksikkökustannukset 18 levyllä (vetoauton kuorma) ja 54 levyllä (täysperävaunukuorma) metsäkuljetusmatkan (levyjen siirtomatka tienvarsivarastosta) suhteen. Yksikkökustannus sisältää levyjen kuormauksen ja kuljetuksen, asennuksen ajouralle, levytyksen purkamisen ja kuljetuksen tienvarsivarastoon. (Kuva Jari Linblad)

### Logistiikan kokonaiskustannukset

Kuvassa 5 on esitetty levyjen kauko- ja metsäkuljetuksen kokonaiskustannukset kaukokuljetusmatkan (etäisyys korjuukohteelle) suhteen tilanteissa, joissa 1) levyjen määrä on 18 tai 54 kappaletta, 2) kaukokuljetuksen tyhjänä ajosta voidaan korvata muilla kuljetuksilla 0 tai 50 prosenttia ja 3) metsäkuljetusmatka on 100 tai 500 metriä. 50 kilometrin kaukokuljetusmatkalla logistiikkakustannukset olivat edellä määritellyissä tilanteissa 18 levyllä 600–800 euroa ja 54 levyllä 1000–1400 euroa. Kaukokuljetusmatkan ohella kokonaiskustannukseen vaikuttaa merkittävästi se, korvataanko tyhjänä ajoa muilla kuljetuksilla. Lisäksi tyhjänä ajon osuus vaikuttaa kokonaiskustannuksen nousun nopeuteen; jos tyhjänä ajoa ei korvata muilla kuljetuksilla (0 prosenttia), kasvoi kokonaiskustannus kaukokuljetusmatkan suhteen 5–6 euroa/km. Vastaavasti silloin, kun tyhjänä ajosta korvattiin 50 prosenttia, oli kasvu noin 4 euroa/km.



Kuva 5. Levyjen kauko- ja metsäkuljetuksen kokonaiskustannukset 18 levyllä (vetoauton kuorma) ja 54 levyllä (täysperävaunukuorma) 100 ja 500 metrin metsäkuljetusmatkalla (meku) kaukokuljetusmatkan suhteen, kun kaukokuljetusmatkan tyhjänä ajosta voidaan korvata 0 tai 50 prosenttia muilla kuljetuksilla. (Kuva Jari Linblad)

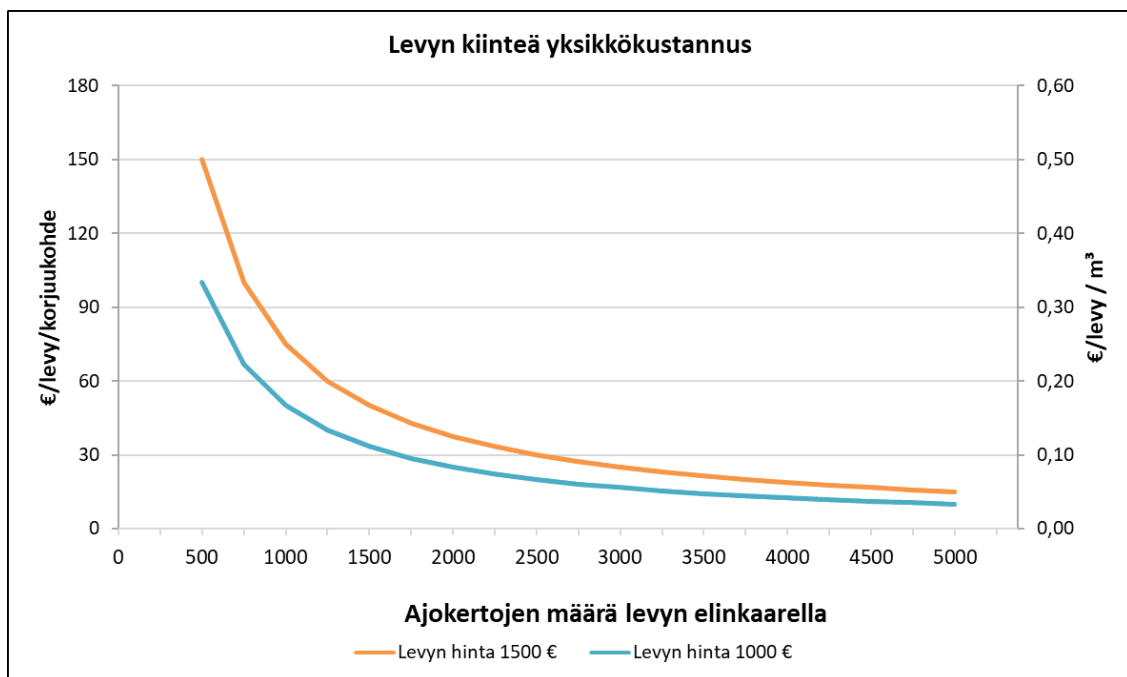
### CLT-levyjen käytön kiinteät kustannukset

Tätä hanketta varten suunniteltuja ja valmistettuja CLT-levyjä käytettiin kenttäkokeissa ja yhdellä puunkorjuukohteella. Kokonaisuudessaan ns. A-sarjan levyille kertyi noin 160–180 yliajokertaa ja myöhemmin valmistetuille B-sarjan levyille 120–140 yliajokertaa. Ajokerrat muodostuivat pääosin kuormatraktorin ajosta sekä kuormattuna että tyhjänä, ja hakkuukoneen ajokerroista.

Taulukossa 3 on esitetty arvio levyjen käytön kiinteistä kustannuksista elinkaaren aikana, elinkaaren pituuden suhteen. Elinkaaren pituus on määritetty yliajokertojen lukumääränä käyttämällä pienimpänä arvona 200 ajokertaa. Arvio elinkaaren aikana levyjen kautta kuljetettavasta puumäärästä on määritetty ajokertojen ja metsätraktorin kuormakoon 12 m<sup>3</sup> perusteella. Edelleen arvio korjuukohteiden määrästä, joilla levyjä voitaisiin elinkaaren aikana käyttää, on määritetty kuljetettavan kokonaispuumäärän ja korjuukohteelle annetun puumäärän 300 m<sup>3</sup> perusteella. Levyjen kappalehinta käytettiin 1500 euroa, mikä vastaa tätä hanketta varten valmistettujen levyjen hintatasoa. Vastaava tarkastelu on esitetty myös kuvassa 6, jossa on tarkasteltu levyjen kiinteää kustannusta elinkaaren teoreettisen ajokertojen määrän suhteen, kun levyn hankintahinnaksi annetaan 1500 tai 1000 euroa.

Taulukko 3. Arvio levykohtaisista yksikkökustannuksista (kiinteä kustannus) elinkaaren aikana, elinkaaren pituuden mukaan.

Levyjen elinkaari			Yksikkökustannus, €	
Ajokerrat, kpl	Kuljetettava puumäärä, m <sup>3</sup>	Korjuukohteet, kpl	kustannus/levy/korjuukohte, €/levy/korjuukohte	kustannus/levy/puumäärä, €/levy/m <sup>3</sup>
200	1200	4	375	1,25
500	3000	10	150	0,50
1000	6000	20	75	0,25
2000	12000	40	38	0,13



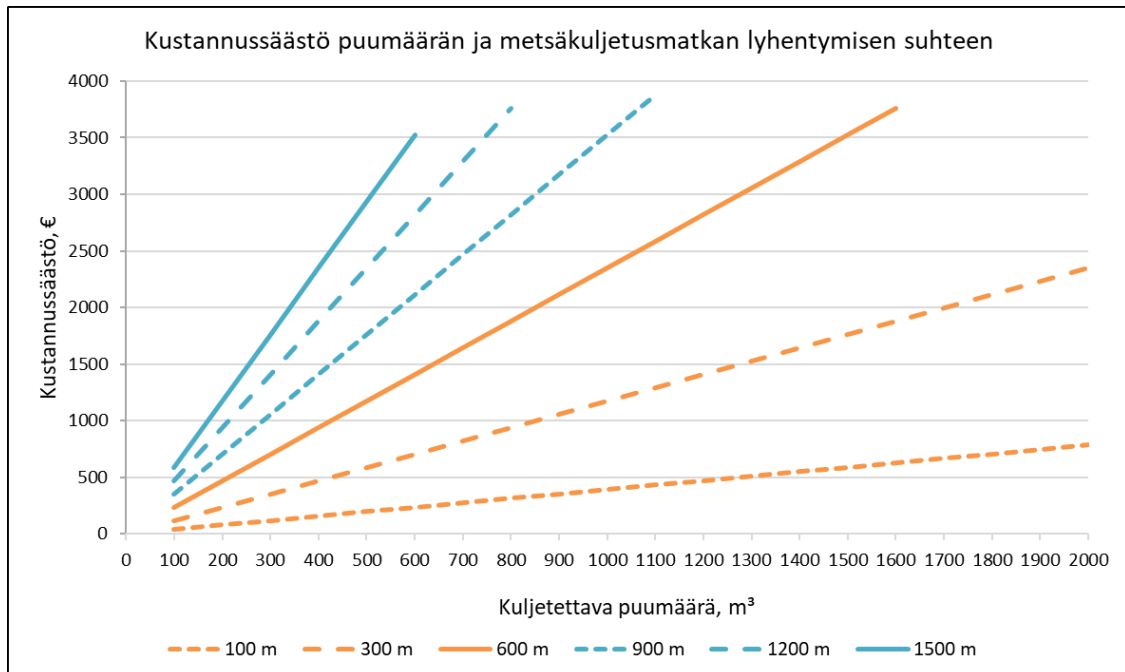
Kuva 6. Arvio levykohtaisesta kiinteästä kustannuksesta elinkaaren ajokertojen lukumäärän suhteen. (Kuva Jari Linblad)

### Puutavaran metsäkuljetusmatkan lyhentämisellä saavutettava kustannussäästö

Kuvassa 7 on esitetty arvio puutavaran metsäkuljetuksen kustannussäästöä puunkorjuun tilanteessa, jossa levyjen käytöllä pystyttäisiin lyhentämään metsäkuljetusmatkaa. Kustannussäästö on esitetty erilaisilla metsäkuljetusmatkan lyhenemillä (100–1500 metriä) kuljetettavan puutavaran kokonaistilavuuden suhteen. Laskennassa käytettiin samoja metsäkuljetuksen käyttötuntikustannuksia ja keskimääräistä ajonopeutta kuin levyjen metsäkuljetuskustannuksiin liittyvissä laskelmissa. Puutavaran kuormakokona käytettiin 12 kuutiometriä. Esimerkiksi noin 600 euron kustannussäästö saavutettaisiin tilanteessa, jossa



puutavaran metsäkuljetusmatkan lyhenemä on 300 metriä ja kuljetettava puumäärä 500 kuutiometriä.



Kuva 7. Puutavaran metsäkuljetuksen kustannussäästö metsäkuljetusmatkan lyhenemän ja kuljetettavan puumäärän suhteen. (Kuva Jari Linblad)

## Tulosten tarkastelu

CLT-levyjen käytön logistiikkakustannusten määrittäminen puunkorjuussa perustui keskeisesti Luken laskentatyökaluilla määritettyihin puutavara-auton ja metsätraktorin käyttötuntikustannuksiin. Laskentatyökaluissa otetaan kattavasti huomioon käyttötuntikustannuksen muodostamiseen vaikuttavat tekijät. Laskentatyökalut ovat Luken asiantuntijoiden laatimia, ja niiden sisältöön ovat vaikuttaneet ja sisältöä arvioineet myös muut tutkimusorganisaatiot ja käytännön toimijat. Laskentatyökaluissa ja edelleen käyttötuntikustannuksissa on otettu huomioon viime aikojen voimakas kustannustason nousu. Kustannuslaskennassa käytetyt käyttötuntikustannukset ovat todennäköisesti todenmukaisella tasolla. Tulosten käyttäjät voivat kuitenkin tarvittaessa suhteuttaa esitetyt tulokset muihin käyttötuntikustannuksiin.

Logistiikkakustannusten määrittäminen perustui osaltaan levyjen laskennalliseen mitoittamiseen ja edelleen puutavara-auton kuljetuskapasiteetin määrittämiseen. Kokonaispainoltaan 76 000 kg:n puutavara-autolle määritetty kuljetuskapasiteetti 54 levyä on laskennallinen, eikä sitä luonnollisesti ollut mahdollista todentaa kenttäkokeissa. 54 levyä täyttäisi puutavara-auton tilavuuskapasiteetin, mutta kantavuutta jäisi käyttämättä. Kantavuuden osalta on syytä varautua siihen, että levyt olisivat merkittävästi oletettua painavampia, mikä varsinkin

kosteuden muuttumisen ja levyihin tarttuvan ja kuormaan kulkeutuvan maan ja turpeen vuoksi on mahdollista.

54 levyllä, joiden leveydet ovat 2000 mm, muodostetun ajouran nimellispituus on 108 metriä. Käytännössä ajouran pituus olisi suurempi, sillä levyjen asettaminen täysin kiinni toisiinsa ei ole yleensä muun muassa alustan epätasaisuuksien vuoksi mahdollista. Tarkemmalla levyjen mitoituksella suhteessa kuljetuskapasiteetin ajouran suurinta nimellispituutta voisi olla pidentävissä yli 108 metrin, mutta ei kuitenkaan todennäköisesti merkittävästi.

Levyjen kaukokuljetuksessa suurimman ajanmenekin ja siten kustannuksen muodostaa ajoaika jo melko lyhyilläkin kuljetusmatkoilla. Aikatutkimuksen tulosten perusteella levyjen kuormaus ja kuorman purkaminen puutavara-autolla olisi kohtalaisen sujuvaa ja ajanmenekkien hajonta pientä. Edellisistä syistä levyjen käsittelyn tehokkuuden parantamisella on vähäinen potentiaali kaukokuljetuksen kokonaiskustannuksen kannalta. Sen sijaan oleellista olisi pystyä korvaamaan tyhjänä ajoa puutavaran kuljetuksilla ja ketjuttamaan levyjen käyttöä ja siirtoa korjuukohteelta toiselle.

Metsätraktorilla tehtävissä toimenpiteissä levyjen käsittely muodostaa selvästi suurimman ajanmenekin ja siten kustannuksen. Kenttäkokeiden kokemusten ja aikatutkimuksen tulosten perusteella kuormaus varastolla ja kuorman purkaminen varastoon ovat verraten sujuvia työvaiheita. Sen sijaan varsinkin asennus ajouralle on aikaa vievää. Lisäksi asennuksen ajanmenekkiin ja ylipäättään työn sujumuuteen vaikuttavat merkittävästi muun muassa koneen tyyppi, näkyvyys ja levyjen tartuntaratkaisut.

Metsätraktorilla tehtävien toimenpiteiden kokonaiskustannusten laskennallinen 95 prosentin vaihteluväli on varsin laaja etenkin 54 levyllä, suuruusluokkaa yli  $\pm 100$  euroa (kuva 3). Vaihtelun taustalla on levyjen käsittelyyn liittyvien ajanmenekkien (kuormaus, asennus, purku, siirto tienvarteen), ajonopeuden ja kuormakoon vaihtelut; suurella levyjen määrällä vaihtelut näissä tekijöissä kertautuvat kokonaiskustannuksessa. Vaihteluväli kuvaa suuntaa antavasti kaluston sopivuuden, kuljettajan tottumuksen ja ylipäättään työn sujumisen vaikutusta kokonaiskustannukseen. Levyjen käsittelyyn ja erityisesti asennuksen tehostamiseen liittyvillä parannuksilla ja ratkaisuilla olisi siten kohtalainen potentiaali kokonaiskustannusten pienentämiseksi.

Käyttötestien perusteella ei pystytty tarkasti määrittämään mahdollisten ajokertojen määrää levyjen elinkaaren aikana. Levyjen käytön kiinteiden kustannusten tarkastelua varten voidaan arvioida suuntaa antavasti, että testattuja levyjä olisi voitu käyttää 2–3 kertainen ajokertojen määrä toteutuneeseen verrattuna. Suuruusluokkana tämä voisi tarkoittaa 300–500 ajokertaa levyn elinkaaren aikana. Tällä ajokertojen määrällä levyjen kiinteä kustannus korjuukohdetta tai kuljetettua puutavaramäärää kohti muodostuu huomattavan korkeaksi. Levyjen elinkaarta pitäisi pystyä pidentämään 5–10 kertaiseksi, jotta kiinteä kustannus tasaantuu.

Luonnollisesti levyjen hankintahinta vaikuttaa kiinteisiin yksikkökustannuksiin. Hankkeessa suunniteltujen levyjen valmistuksen aikana sahatavaran hinta oli pitkän ajan tasoon verrattuna huomattavasti korkeammalla (Sahateollisuus ry, 2022). Levyjen käytön kiinteiden

yksikkökustannusten kannalta levyjen hankintahinta on oleellinen, mutta miltei tärkeämmäksi kustannuksien ja edelleen levyjen käyttömahdollisuuksien kannalta muodostuu niiden elinkaaren pituus.

Levyjen käytöllä voitaisiin saavuttaa puunkorjuun suoria kustannussäästöjä tilanteissa, joissa puutavaran metsäkuljetusmatkaa voitaisiin lyhentää merkittävästi ja kuljetettava puutavaramäärä olisi suurehko. Levyjen käyttömahdollisuuksia tulisi pystyä arvottamaan ja arvioimaan suorien kustannussäästöjen lisäksi sulan maan aikaisten korjuumahdollisuuksien parantamisen kannalta.

## Lähteet

Elinkeinoelämän keskusliitto. Investointitiedustelu: tammikuu 2023. Teollisuuden kiinteät investoinnit ja suunnitelmat 2021–2023.

<https://ek.fi/tavoitteemme/talospoliitiikka/suhdannetiedustelut/investointitiedustelu-tammikuu-2023/>

Luonnonvarakeskus, Tilastot. <https://www.luke.fi/fi/tilastot>.

Metsäsektorin suhdannekatsaus 2022–2023. Viitainen, J., Mutanen, A. & Karvinen, S. (toim.) 2022. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 86/2022.

<https://jukuri.luke.fi/handle/10024/552362>

Raychaudhuri, S. 2008. Introduction to Monte Carlo simulation. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. <https://www.informs-sim.org/wsc08papers/012.pdf>

Sahateollisuus ry. 2022. Tilastot. Sahatavaran vientihinta 2003–2021.

<https://sahateollisuus.com/tilastot/>

Tieliikennelaki 729/2018. 1.6.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2018/20180729>.

Väätäinen, K., von Hofsten, H., Noreland, D., Ingeborg, C., Lazdins, A. 2021. A common Nordic-Baltic costing framework for road, rail and sea transport of roundwood. Nibio rapport vol. 7, nr. 8, 2021. Norsk Institutt for bioekonomi. 32 s.

Väätäinen, K., Mutanen, A., Anttila, P., Laitila, J., Routa, J., Kniivilä, M., Ahtikoski, A. & Lindblad, J. 2023. EU-politiikkojen mahdollisia vaikutuksia puun korjuukustannuksiin: kustannuslaskentamallin kehittäminen ja skenaariotarkastelu. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 37/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 39 s.

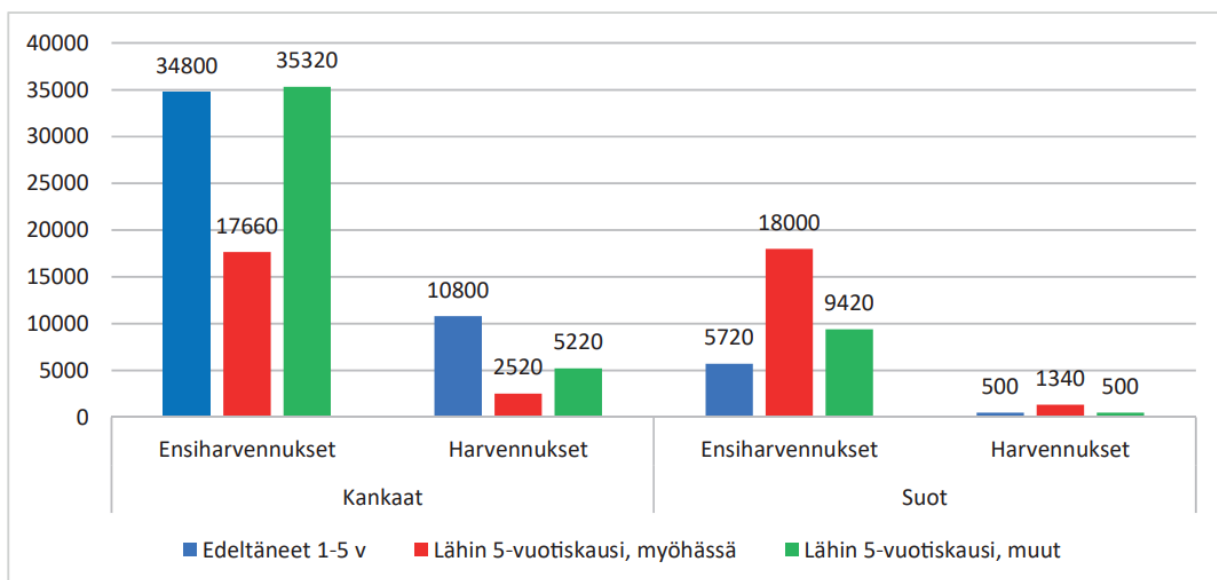
## Helena Pahkala ja Anne Saloniemi

### LOPUKSI

Suometsien puunkorjuu ajoittuu ensisijaisesti talvikaudelle, mutta leutojen talvien yleistyminen vähentää talvikorjuumahdollisuuksia. Etelä-Lapin metsämaasta (puusto kasvaa vähintään 1 m<sup>3</sup>/ha vuodessa) on 22 % turvemilla, joka vastaa kokonaispuuston määrästä 21 %. Turvemaiden kasvatushakkuiden osuus vuosien 2015–2025 kestävästä hakkuusuunnitteesta on noin 20 %. (Hiltunen & Palander 2020, 47.)

On odotettavissa, että kasvavan puunkäytön vuoksi puunkorjuu lisääntyy tulevaisuudessa myös turvemilla (Hiltunen & Palander 2020, 47). Tarvitaan uusia ratkaisuja, jotka mahdollistavat ympärivuotisen pehmeiden maiden puunkorjuun ja pääsyn heikosti kantaville kohteille. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen Euroopan aluekehitysrahaston kautta rahoittamassa CLT-levyt maanpinnan kantavuuden vahvistajana puunkorjuussa -hankkeessa kehitettiin ja testattiin CLT-levyjä pehmeiden maiden ympärivuotisessa puunkorjuussa ja etsittiin uusia ratkaisuja väliaikaisen kulun parantamiseksi metsässä sekä pienten ojien ylityksessä.

Etelä-Lapissa turvemilla ensiharvennuksia VMI11 (valtakunnan metsien inventointi) mukaan edeltäneeltä 5-vuotisjaksolta on tehty yhteensä 5720 ha (kuva 1). VMI11 mukaan turvemilla myöhässä olevia ensiharvennuksia on kaikkiaan 90 000 ha. Kivennäismaiden ja turvemaiden pinta-aloihin suhteutettuna myöhässä olevien ensiharvennusten määrä on turvemilla kolminkertainen verrattuna kangasmaihin. (Hiltunen & Palander 2020, 47.)



Kuva 1. VMI11 mukaan Etelä-Lapissa toteutuneiden ensiharvennusten sekä harvennusten määrä kankailla ja turvemilla (sininen palkki). Hakkuuehdotukset lähimmälle 5-vuotiskaudelle (punainen ja vihreä palkki). (Hiltunen & Palander 2020, 47.)

## Tarve uusille ratkaisulle ja jatkokehitykselle

Alustavien selvitysten mukaan levyille olisi käyttöä maanpinnan kantavuuden vahvistajana eri toimialoilla. Esimerkiksi malminetsinnässä tai ympäristökatastrofien torjunnassa levyjä käyttämällä voitaisiin päästä hyvin nopeasti haasteellisiin kohteisiin. Siirreltävät CLT-levyt ovat myös ekologinen ratkaisu ja ne edistävät kiertotaloutta. Levyjen kulutuskestävyyttä parantamalla pidennetään levyjen säilymistä hiilivarastoina. Levyjen tekniset ratkaisut ovat helposti muokattavissa tuleville käyttäjäkunnille sopiviksi.

Uusilla innovaatioilla luodaan valmiuksia liiketoimintaan. Jotta CLT-levyt saadaan aktiiviseen käyttöön esimerkiksi puunkorjuussa, tulee niiden käytön olla kannattavaa ja tuoda lisäarvoa käyttäjälleen. Taloudellisen kestävyuden lisäksi on otettava huomioon ekologinen kestävyys. CLT-levyillä voidaan parantaa maanpinnan kantavuutta ja säästää maanpintaa.

Hankkeen aikana levyjen liiketoimintamallin osalta nousi keskusteluihin, omistaako levyt puuta korjaava yritys, puuta ostava teollisuus vai ulkopuolinen levyjä vuokraava yritys. Kohderyhmille (metsäteollisuuden yrityksille, metsäpalvelu- ja puunkorjuuyrityksille, pelastuslaitokselle, puolustusvoimalle ja energiayhtiölle) järjestettävissä testitilaisuuksissa ja kyselyissä esille nousi potentiaalisesti liiketoimintamalliksi levyjen vuokraus erilaisina palvelupaketteina. Liiketoimintamalli muotoutuu lopulta käyttäjäkunnan, käyttökohteiden ja tarpeen mukaan. Tarkempi paikkatietoanalyysi todellisten korjuukohteiden määrästä sekä selvitys levyjen käyttäjäkunnasta tukisi levyjen markkinoille saattamista.

Levyjen käyttökustannuksiin vaikuttavat mm. kuormaus- ja purkukustannukset, siirtokustannukset, hakattavan leimikon koko ja levyjen lopullinen elinkaaren pituus. Levyjen käytön kannattavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti niiden käyttökerrat, joten oleellista olisi saada levyjen kulutuspintaan ratkaisuja kestävyuden lisäämiseksi. Aiheesta on jo keskusteltu levyjä valmistavien organisaatioiden kanssa.

Hankkeen tulokset on koottu tähän artikkelikokoelmaan jatkohyödyntämistä varten. Hankkeen aikana edistettiin yritysten, tutkimuslaitosten ja oppilaitosten välistä yhteistyötä ja levyjen jatkokehittelystä ja käyttökohteista on jo keskusteltu.

## Lähteet

Hiltunen, O. & Palander, T. 2020. Puuntuotannon ja puunhankinnan kehittämismahdollisuudet Etelä-Lapin ojitetuilla soilla. *Suo - Mires and peat*, 71(1), 47-64. Viitattu 3.4.2023. <http://www.suo.fi/article/10401>.