

Miina Ruoti

# PUU- JA RAKENNUSLEVYJEN KÄYTTÖ JÄYKISTÄVÄNÄ RAKENTEENA

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Tarkastaja: Sami Pajunen  
Joulukuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Miina Ruoti: Puu- ja rakennuslevyjen käyttö jäykistävänä rakenteena (The use of wood- and building panels as stiffening structures)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikka

Joulukuu 2021

---

Rakennukset on jäykistettävä vaakakuormia vastaan niiden pystyssä pysymisen takamiseksi. Yksi tapa rakennusten jäykistämiseen on levyjäykistys. Tässä työssä käsitellään puu- ja rakennuslevyjä sekä niiden käyttöä levyjäykistykseen osana. Työn tavoitteena on tarkastella levyjäykistykseen toimintaperiaatetta seinien ja välipohjien osalta perehtymällä levyjäykistykseen rakenteeseen, kiinnityksiin ja kuormien vaikutuksiin levyissä ja levykentissä. Työssä esitellään muutamia olennaisimpia laskentakaavoja levyjäykistykseen mitoitusta varten ja tutustutaan levyjäykistetyin seinien käyttäytymiseen, kun kuormat ylittävät rakenteen kestävyuden. Lisäksi työssä tarkastellaan erilaisia levytyyppejä, joita voidaan käyttää osana levyjäykistystä. Työssä esiteltävät levytyypit ovat vaneri-, LVL-, lastu-, OSB- ja kipsilevyt sekä huokoiset kuitulevyt. Levyjen osalta tutkitaan niiden käyttökohteita, asennusta sekä jäykistäviä ja muuten levyjen käyttöön vaikuttavia ominaisuuksia. Eri levyjen materiaalitietoja on myös esitetty taulukoiden muodossa.

Työ on suoritettu suurimmilta osin kirjallisuustutkimuksena hakemalla tietoa erilaisista lähteistä. Käytettyjä lähteitä ovat muun muassa rakentamista ohjaavat standardit, valmistajien ja asiantuntijoiden verkkosivut sekä aiheeseen liittyvä kirjallisuus. Tässä työssä on myös haastateltu Erno Huttusta Sitowisen Helimäki Akustikoilta levyjen akustisten ominaisuuksien vaikutuksista niiden käyttöön.

Tämä tutkimus osoittaa, että eniten eri levytyyppien jäykkyyteen vaikuttavat levyjen kiinnitys, levyn mitat sekä liukumoduuli G, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa leikkausjännityksen aiheuttamaa muodonmuutosta. Levyjen käyttöä rajoittaa kuitenkin niiden jäykkyysominaisuuksien lisäksi esimerkiksi levyn säänkestävyys sekä akustiset ominaisuudet. Pientaloissa levyjäykistys on yleisesti käytetty jäykistämismenetelmä, mutta esimerkiksi kerrostaloissa sen käyttöä rajoittavat rakennukselle tulevat suuremmat kuormat.

Avainsanat: levyjäykistys, puulevyt, kipsilevyt, seinien jäykistys, välipohjat

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty Sitowisen toimeksiannosta. Kiitän Katja Rodionovaa sekä Sami Pajusta hyvästä ohjauksesta ja avusta työn aikana. Kiitokset myös Erno Huttuselle ajastasi ja suostumisesta haastatteluun.

Haluan kiittää myös perhettä ja ystäviäni heidän osoittamastaan tuesta ja mielenkiinnosta aiheita kohtaan.

Tampereella, 16.12.2021

Miina Ruoti

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. LEVYJÄYKISTYKSEN TOIMINTAPERIAATE .....	3
2.1 Seinien ja välipohjien rakenne.....	3
2.2 Levyjen kiinnitys ja seinien ankkurointi .....	5
2.3 Levyjäykistyksen kestävyys.....	7
2.3.1 Nurjahdus, kiepahdus ja levyjen lommahdus .....	8
2.3.2 Voimien jakautuminen.....	8
2.3.3 Levyjen mitoitus .....	11
2.3.4 Jäykistysseinän murtotapoja .....	14
3. PUU- JA RAKENNUSLEVYJEN OMINAISUUDET .....	17
3.1 Levyjen materiaaliominaisuudet .....	17
3.2 Vanerilevyt .....	20
3.3 LVL-levyt.....	22
3.4 Lastulevyt.....	24
3.5 OSB-levyt.....	25
3.6 Huokoiset kuitulevyt .....	26
3.7 Kipsilevyt.....	27
4. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	29
LÄHTEET .....	31

LIITE A: LEVYN KIINNITYSTAPAKERTOIMET

LIITE B: TYÖSSÄ ESITETYT KAAVAT

LIITE C: SPURCE WEATHERGUARD DOP

LIITE D: METSÄ WOOD BIRCH DOP

LIITE E: WISA SPURCE DOP

LIITE F: WISA BIRCH DOP

LIITE G: KOSKISTANDARD DOP

LIITE H: KERTO LVL Q-PANEL DOP

LIITE I: STORA ENSO LVL X DOP

LIITE J: EGGER OSB 3 & 4 DOP

LIITE K: KNAUF KXT 9 & GYPROC GTS 9 DOP

# KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Levyjäykistetyin seinän rakenne .....</i>	<b>3</b>
<b>Kuva 2.</b>	<i>Levyjäykistetyin välipohjan rakenne .....</i>	<b>4</b>
<b>Kuva 3.</b>	<i>Suurimmat standardien mukaiset liitinvälit levyjäykisteissä. ....</i>	<b>5</b>
<b>Kuva 4.</b>	<i>Levyjen liitos apusoijien avulla .....</i>	<b>6</b>
<b>Kuva 5.</b>	<i>Levyjen asettelu levykentissä .....</i>	<b>6</b>
<b>Kuva 6.</b>	<i>Esimerkki jäykistävästä seinästä, joka on jaettu lohkoihin .....</i>	<b>7</b>
<b>Kuva 7.</b>	<i>Välipohjaan kohdistuvat kuormat .....</i>	<b>9</b>
<b>Kuva 8.</b>	<i>Jäykistäväälle seinälle kohdistuvat voimat .....</i>	<b>10</b>
<b>Kuva 9.</b>	<i>Esimerkki voimista, jotka vaikuttavat seinälohkoon, puurunkoon sekä levyyn .....</i>	<b>10</b>
<b>Kuva 10.</b>	<i>Levyn muodonmuutokset vaakavoiman johdosta .....</i>	<b>11</b>
<b>Kuva 11.</b>	<i>Alajuoksuun syntyvät halkeamat .....</i>	<b>15</b>
<b>Kuva 12.</b>	<i>Liitosten pettämisen aiheuttamia ilmiöitä .....</i>	<b>16</b>

# 1. JOHDANTO

Rakennusten jäykistämällä taataan rakennuksen pystyssä pysyminen vaakakuormia vastaan. Suomessa tuulikuormat ovat suurin rakennuksiin vaikuttava vaakakuorma, mutta joissain maissa on otettava huomioon esimerkiksi maanjäristysten aiheuttamat vaakakuormat. (Puuinfo 2021) Muita rakennusten jäykistämisessä huomioitavia vaakakuormia ovat muun muassa ulkoisista pystykuormista aiheutuvat vaakakuormat sekä kellarillisissa rakennuksissa maanpaineesta aiheutuvat kuormat (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006, s. 4; Julku 2015, s. 23). Jäykistävien rakenteiden tehtävänä on siirtää näitä rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien aiheuttamia rasituksia perustuksille ja maaperään (Elementtisuunnittelu 2020). Jäykistävien rakenteiden on täytettävä tietyt lujuus- ja jäykkyyskriteerit rakenteeseen kohdistuvia rasituksia vastaan ja käyttörajatilassa rakenteiden vaakasiirtymien on oltava tarpeeksi pieniä (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006, s. 3).

Rakennusten jäykistämiseen on olemassa useita eri menetelmiä, kuten masto-, kehä-, levy- ja ristikkojäykistys. Tämän kandidaatintyön aiheena on rakennusten jäykistäminen puu- ja rakennuslevyjen avulla. Levyjäykistys on yleisesti käytetty jäykistämismenetelmä pientaloissa, mutta sitä voidaan käyttää myös esimerkiksi teollisuusrakennuksissa ja asuin- ja toimistorakennuksissa (Julku 2015, s. 43). Levyjäykistystä voidaan soveltaa myös kerrostalojen jäykistämiseen, jota muun muassa Mäklin (2017) on käsitellyt opinäytetyössään. Tässä työssä käydään läpi yleiset peruseriaatteen seinien ja välipohjien levyjäykistykseen. Aihetta on rajattu siten, että työssä tarkastellaan pääasiassa Suomessa käytettäviä puupohjaisia materiaaleja sekä kipsilevyjä. Jäykistävien rakenteiden on kestävä niille tulevat vaak- ja pystysuuntaiset kuormat. Tämän lisäksi niiden mitoituksessa on huomioitava jäykisteen materiaali ja rakenne ja jäykistysseinät on tuettava kaatumista ja liukumista vastaan (RIL 205-1-2017).

Tämä työ on jäsennetty siten, että luvussa 2 käsitellään yleisesti levyjäykistykseen toteutusta. Luvussa tarkastellaan seinien ja välipohjien rakennetta ja levyjen kiinnitystapaa sekä perehdytään jäykistetyille rakenteille ja yksittäisille levyille tuleviin kuormiin ja pohditaan niiden vaikutusta rakenteessa. Luvussa esitetään myös yleisesti levyjäykistykseen laskentaan liittyvät kaavat ja käsitellään levyjäykistetyn seinän erilaisia murtotapoja.

Luvussa 3 puolestaan käsitellään tarkemmin eri puu- ja rakennuslevyjen ominaisuuksia. Tässä työssä käsiteltäviä levytyyppejä ovat vaneri-, LVL-, lastu-, OSB- ja kipsilevyt sekä huokoiset kuitulevyt. Suurin osa näistä levytyypeistä on puupohjaisia, joten luvussa tulee levyjen ominaisuuksien lisäksi esille myös puun yleisiä ominaisuuksia. Eri levytyypit käsitellään yksitellen ja niistä käydään läpi levyn ominaisuuksien lisäksi valmistusta, käyttöä ja asentamista. Tämän lisäksi luvussa 3 on taulukoitu eri levyjen materiaalitietoja, joita verrataan keskenään eri levytyyppien ja valmistajien välillä. Tämä työ tehdään suurimmilta osin kirjallisuustutkimuksena. Johtopäätöksen osiossa on kuitenkin haastateltu Erno Huttusta Sitowisen Helimäki Akustikoilta akustiikan huomioimisesta jäykistävien levyjen valinnassa.

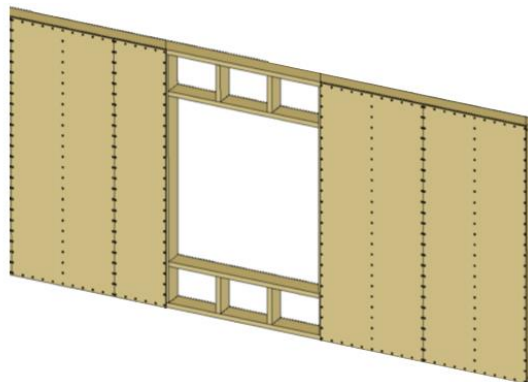
## 2. LEVYJÄYKISTYKSEN TOIMINTAPERIAATE

Levyjäykistykseen toiminnassa on huomioitava useita asioita. Levyjäykisteen rakenne vaihtelee hieman eri rakenneosien, kuten seinien ja välipohjien välillä, samoin kuin levyn kiinnitystapa ja levyjen asettelu. Jäykistävänä rakenteena levyihin kohdistuu erilaisia kuormia, jotka niiden on kestävä. Nämä kuormat jakautuvat jäykistävälle rakenteille eri tavoin ja levyt on laskennallisesti mitoitettava kestäämään niitä.

### 2.1 Seinien ja välipohjien rakenne

Levyjäykistetyt rakenteet koostuvat rungosta ja puu- tai rakennuslevyistä (Levyjäykisteen mitoitusohjelma 2017). Runko voi olla teräsrunko tai puusta tehty rankarunko. Teräsrunkoa käytetään enemmän kipsilevyjen kanssa, ja se koostuu toisiinsa kiinnitettävistä kiskoista ja teräsranangoista (Gyproc 2021). Rankarunko muodostuu puisista pysty- ja vaakapalkista ja juoksuista (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006, s. 11).

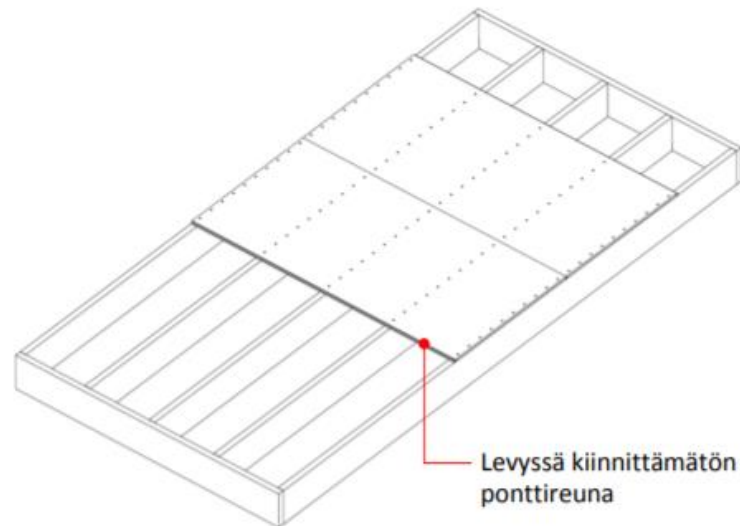
Seinät jäykistetään kuvan 1 osoittamalla tavalla kiinnittämällä levyjä rakennuksen rungon aukkoihin. Jotta levyn jäykistyskapasiteetti on mahdollisimman suuri, tulee yksittäiset levyt kiinnittää kaikilta reunoiltaan (Puuinfo 2021). Levytys voidaan tehdä joko molemmille, tai vain toiselle puolelle runkoa. Jos runko levytetään molemmin puolin, voivat sisä- ja ulkopuolella käytettävät levyt olla samanlaisia tai erilaisia. Tämä pitää kuitenkin huomioida levytyksen kestävyys tarkastelussa, ja se vaikuttaa erityisesti levyjen vaakaleikkauksvoimakkuuteen. (RIL 205-1-2017, s. 156–158) Rungon sisäpuolella olevalla levytyksellä on suuri vaikutus myös seinän palo- ja äänitekniiseen toimintaan (Puuinfo 2021).



**Kuva 1.** Levyjäykistetyn seinän rakenne (muokattu lähteestä Puuinfo 2021)



Välipohjat jäykistetään kiinnittämällä levyjä kuvan 2 mukaisesti palkistoihin. Käytettävät levyt ovat usein pontillisia (Puuinfo 2021). Toisin kuin seinien jäykistämässä levyjä ei kuitenkaan kiinnitetä kaikilta reunoiltaan. Kiinnitystavan vuoksi levyjen jäykistyskapasiteetti ja leikkausjäykkyys ovat alhaisempia kuin kaikilta reunoilta kiinnitetyllä levyllä (Puuinfo 2021).



**Kuva 2.** Levyjäykistetyin välipohjan rakenne (Lahtela 2019, s.49)

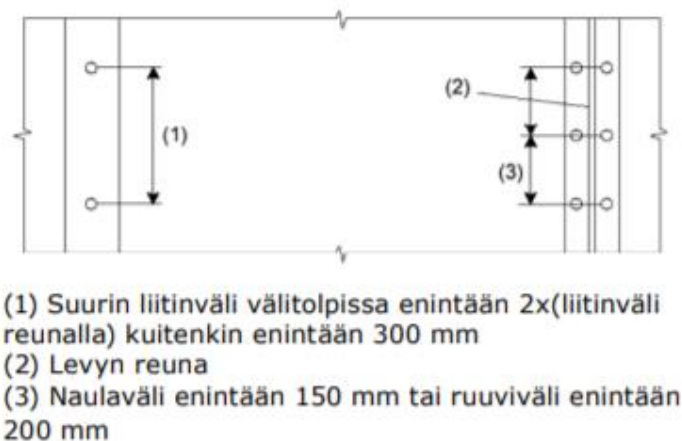
Rankarungon materiaalina käytetään yleisimmin sahatavaraa, joka voi olla joko rakennesahatavaraa tai liimattua sahatavaraa. Rakennesahatavara on tavallisesti kantaviin rakenteisiin tarkoitettua lujuusluokiteltua ja mitallistettua sahatavaraa, jonka tavallisin lujuusluokka on C24. Liimattu sahatavara koostuu saman suuntaisista lamelleista, jotka on liimattu toisiinsa. Sitä käytetään rakennesahatavaran tavoin kantavissa rakenteissa, ja se on lujuusluokiteltua. Molempien tuotteiden raaka-aineena käytetään kuusi- tai mäntysahatavaraa. (Puuinfo 2021)

Muita rankarunkoon sopivia materiaaleja ovat liimapuu ja viilupuu. Liimapuu rakentuu päällekkäisistä lamelleista, jotka on liimattu toisiinsa kiinni. Liimapuu on myös lujuusluokiteltua ja soveltuu kantaviin rakenteisiin. Liimapuun raaka-aineena käytetään kuusi- tai mäntysahatavaraa. Viilupuu eli LVL on valmistettu kuusitukeista sorvatuista viiluista, jotka liimataan päällekkäin. Rankarunkoon soveltuvat pilarit ja palkit ovat LVL-P-luokkaa, jossa P-kirjain tarkoittaa, että päällekkäisissä kerroksissa olevien viilujen syyt kulkevat tuotteessa samaan suuntaan. Viilupuuta voi valmistaa myös kerrannaisliimattuna, mikä tarkoittaa, että useita LVL-P-tuotteita liimataan päällekkäin, jolloin saavutetaan suurempi poikkileikkaus. (Puuinfo 2021)

## 2.2 Levyjen kiinnitys ja seinien ankkurointi

Jäykistävien puu- ja rakennuslevyjen kiinnittämiseen voidaan käyttää nauvoja, ruuveja tai hakasia. Naulat ja ruuvit tulee mitoittaa niiden leikkauskestävyydelle, joka riippuu nauvoilla muun muassa niiden tartuntapituudesta. Levytyksen kiinnityksessä voidaan käyttää joko neliskulmaisia tai pyöreitä nauvoja. Naulaliitosten yksinkertaistettuja mitoitusohjeita voidaan usein soveltaa myös ruuveille. Hakasliitokset tulee mitoittaa standardin SFS-EN 1995-1-1 mukaan. (RIL 205-1-2017) Näiden kaikkien liittimien leikkausvoimakkestävyys on kuitenkin alhainen koko rakenteen kestävyteen verrattuna, joten liitokset ovat usein jäykistyskapasiteetin mitoittava tekijä (Puuinfo 2021).

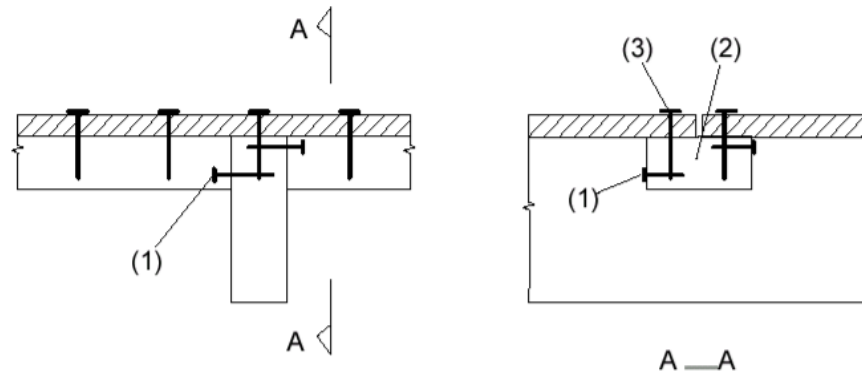
Standardit määräävät ylärajan levyn liitinväleille, joka on esitetty kuvassa 3. Suurin sallittu liitinväli määräytyy sen mukaan, sijaitsevatko liittimet levyn reunalla vai keskellä. Jos kiinnityksessä käytetään nauvoja, saa levyn reunalla naulaväli olla enintään 150 mm. Ruuveja käytettäessä tämä liitinväli levyn reunalla saa olla 200 mm. Levyn keskellä sijaitsevilla välitolpilla liitinväli saa olla enintään kaksinkertainen reunoilla olevaan väliin verrattuna tai 300 mm riippuen siitä, kumpi arvo on pienempi. (RIL 205-1-2017, s. 159) Materiaalista riippuen voidaan joutua käyttämään myös pienempiä liitinvälejä.



**Kuva 3.** Suurimmat standardien mukaiset liitinvälit levyjäykisteissä (Eurokoodi 5. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s.43)

Näitä kiinniketyyppejä sekä liitinvälejä noudatetaan sekä seinien että välipohjien jäykistämässä. RIL 205-1-2017 (2017) -julkaisun mukaan välipohjissa saattaa kuitenkin esiintyä levyreunoja, jotka eivät tukeudu palkkeihin tai vasoihin. Näiden levyreunojen kiinnittämiseen voidaan käyttää esimerkiksi apusoiroja kuvan 4 mukaisesti. Apusoirot

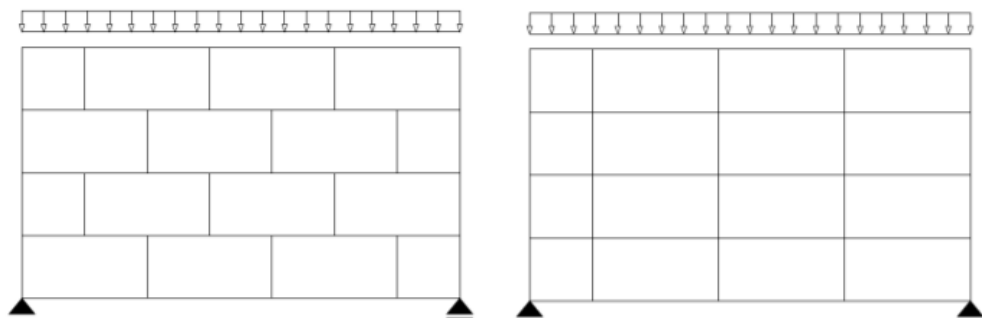
kiinnitetään varsinaiseen levytyksen runkoon vinonaulauksen tai ruuvauksen avulla, jonka jälkeen levyt naulataan tai ruuvataan kiinni apusoiroihin. (RIL 205-1-2017)



- (1) Apusoiron kiinnitys vinonaulauksella tai -ruuvauksella katto- tai lattiavasaan
- (2) Apusoiro
- (3) Levyn naulaus tai ruuvaus apusoiroon

**Kuva 4.** Levyjen liitos apusoirojen avulla (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006, s. 11)

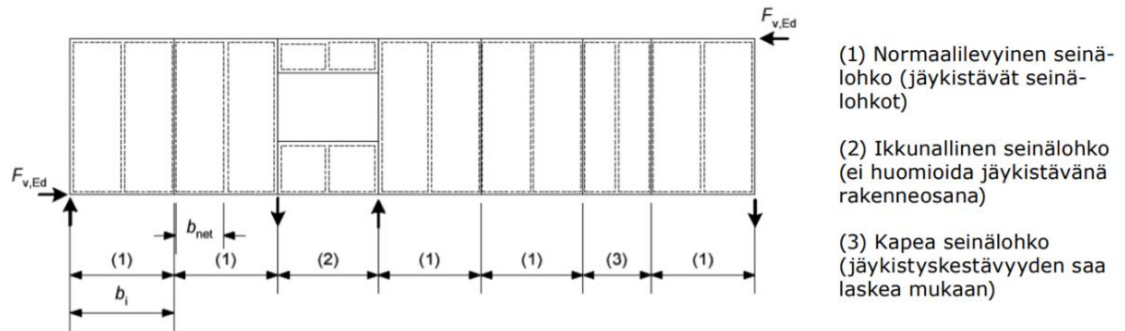
Välipohjien jäykistyksessä kiinnitettyt levyt muodostavat levykenttiä. Levykentissä jäykistävät levyt voidaan asettaa niiden levyjen saumojen kannalta ristikkäin tai niin, että saumat osuvat samoille kohdille. Tätä on havainnollistettu kuvassa 5. Kuvassa vasemmalla on esimerkki ristikkäin ja oikealla kohdakkain asetetuista saumoista.



**Kuva 5.** Levyjen asettelu levykentissä (Lahtela 2019, s. 55)

Kuvassa 6 on esitetty kiinnitettyjen levyjen muodostamista seinälohkoista koostuva jäykistävää seinä. Seinälohkot, joissa on aukkoja, kuten ikkunoita tai ovia, eivät lisää seinän

vaakaleikkausvoimakestävyyttä. Tämän takia näitä seinälohkoja ei huomioida jäykistävinä rakenteina. Ne kuitenkin kytkevät jäykistävät osaseinät toisiinsa ja auttavat näin ulkoisten voimien siirrossa lohkolta toiselle. Muita kapeammat seinälohkot voidaan puolestaan laskea osaksi jäykistävää kokonaisuutta. (RIL 205-1-2017, s. 158)



**Kuva 6.** Esimerkki jäykistävästä seinästä, joka on jaettu lohkoihin (Eurokoodi 5, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s. 43)

Levyjäykistetyt seinät on ankkuroitava alapuoliseen rakenteeseen, jos seinälle tuleva omapaino ei kumoakaan ankkurointivoimaa. Puurunkoiset rakenteet on usein ankkuroitava niiden keveyden takia verrattuna rakenteisiin kohdistuviin kuormiin. (Puuinfo 2021) Ankkurointi voidaan toteuttaa jäykistävien osaseinien päästä tai yksittäisten seinälokkien kohdalta. Seinälokkien kohdalta ankkuroitaessa seinän alajuoksu ankkuroidaan tasavälein kunkin jäykistävän levyn kohdalta. (Eurokoodi 5, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s. 42–43) Ankkurointi estää seinän nousemista paikaltaan ja auttaa seinää ottamaan vastaan kaatumista ja liukumista estäviä voimia (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC 2014, s. 91; Eurokoodi 5, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s. 42).

### 2.3 Levyjäykistykseen kestävyys

Jäykistykseen tulee kestää kaikki siihen kohdistuvat kuormat, eivätkä myöskään käyttö-rajatilan kuormat saa aiheuttaa halkeamia tai suuria taipumia jäykistäviin rakenteisiin (Eurokoodi 5, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s.41). Seinään kohdistuvia ulkoisia vaakakuormia ovat tuulikuorma ja pystyrakenteiden vinoudesta aiheutuvat kuormat (Puurakenteiden jäykistys suunnittelun ohje 2006, s. 11). Vaakakuormien lisäksi jäykistävien seinien tulee kestää niihin yläpuolisista rakenteista kohdistuvia pystykuormia, mikäli seinät toimivat myös kantavana rakenteena, tulee seinien välittää nämä pystykuormat rakennuksen perustuksille. (Puuinfo 2021) Välipohjiin kohdistuu hyötykuormaa, joka sen tulee välittää kantaville seinille. Tämän lisäksi rakenteiden on kestävä

niiden omapaino. Ulkoisten kuormien lisäksi jäykistäville levyille välittyy sisäisiä kuormia nurjahdus- ja kiepahdustuista syntyvistä voimista. Levyjen tulee myös kestää nämä sisäiset kuormat, mutta niitä ei tarvitse viedä perustuksille. (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006)

### **2.3.1 Nurjahdus, kiepahdus ja levyjen lommahdus**

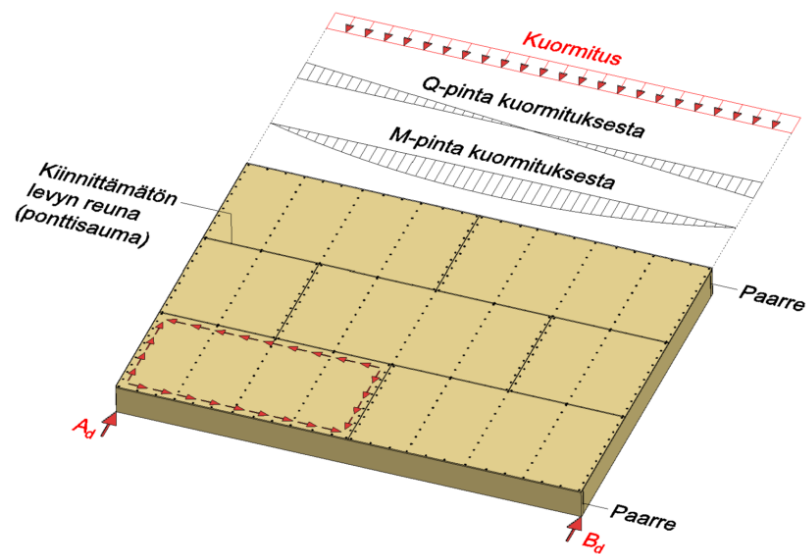
Jäykistävät rakenteet tulee mitoittaa rangan nurjahdusta ja kiepahdusta vastaan. Puuinfo (2021) verkkosivujen mukaan rankarakenteisen rungon nurjahduskestävyyteen voidaan vaikuttaa poikkileikkauksen heikommassa suunnassa levytyksen avulla. Jäykistävä levytys tulee kiinnittää rungon kaikkiin rankoihin, jolloin se estää myös rankojen kiepahdusta. (Puuinfo 2021) Palotilanteessa levyjen toiminta nurjahdus- ja kiepahdustukena saattaa kuitenkin lakata, jolloin rangoille täytyy mahdollisesti suunnitella erillinen tuenta. (Puuinfo 2021)

Rakenteet on myös mitoitettava puu- ja rakennuslevyjen lommahdusta vastaan. Lommahdusta voidaan estää kiinnittämällä levyt myös niiden keskialueella oleviin rankoihin (Puuinfo 2021). Levyn leikkauslommahdusta ei tarvitse huomioida mitoituksessa, mikäli tolppien välin ja levyn paksuuden suhde on alle 100 (Eurokoodi 5, Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje 2020, s. 43). Eli toisin sanoen levyjen mitoitusta leikkauslommahdukselle voidaan välttää pienentämällä tolppien väliä, johon levy kiinnitetään tai suurentamalla levyn paksuutta.

### **2.3.2 Voimien jakautuminen**

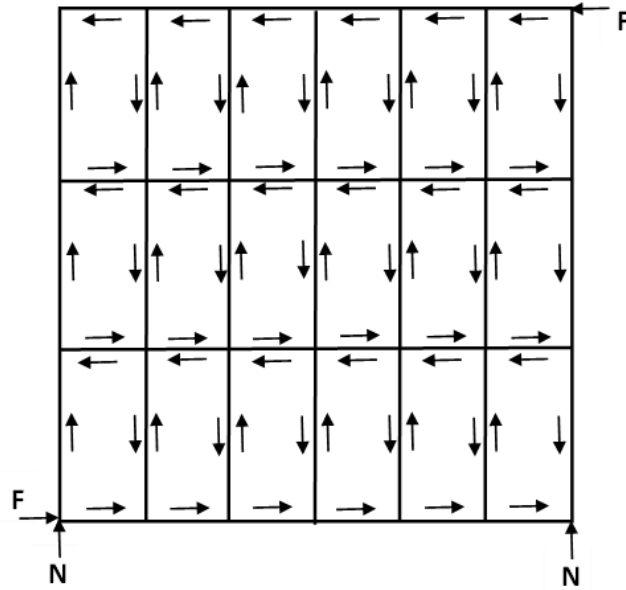
Rakennukseen kohdistuva suurin vaakakuorma on tuulikuorma. Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohjeessa (2006) kerrotaan, että levyjäykistetyn rakennuksen tapauksessa tuulikuorma otetaan vastaan rakennuksen seinillä, ja alimman kerroksen kohdalla puolet siitä siirretään seinän alareunan kautta perustuksille. Toinen puoli kuormasta siirtyy vaakatasossa olevalle levyrakenteelle eli välipohjalle. Välipohja siirtää tämän kuorman, sekä kaikki siihen yläpuolisista rakenteista kohdistuvat kuormat levytyksen kautta päätyseinien yläreunaan vaakakuormaksi. (Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje 2006, s. 5)

Kuvassa 7 on esitetty voimien jakautumista välipohjassa. Rakenteeseen tulevat leikkausvoimat otetaan vastaan jäykistävällä levytyksellä ja kuten kuvasta ilmenee suurimmat leikkausvoimat syntyvät rakenteessa kuormituksen reuna-alueille. Kuormitus aiheuttaa rakenteessa myös taivutusmomenttia. Momentti vastaanotetaan kuormitusta vastaan kohtisuorassa olevilla paarteilla, jotka ovat kuvassa 7 välipohjan pitkät sivut. Seinälle siirtyvät kuormat ovat merkattuna kuvassa voimina  $A_d$  ja  $B_d$ . Välipohjan ja seinien liitosten tulee myös kestää niihin kohdistuvat vaakakuormat sekä välipohjalta tuleva leikkausvoima (Puurakenteiden jäykistyssuunnittelun ohje 2006, s. 5).



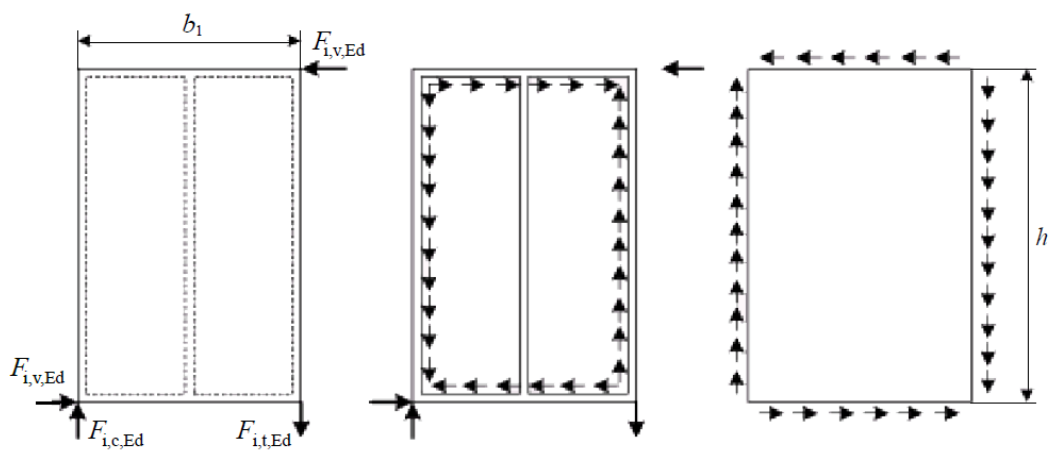
**Kuva 7.** Välipohjaan kohdistuvat kuormat (Puuinfo 2021)

Jäykistetyille seinälle tulee välipohjan välittämän vaakakuorman lisäksi pystykuormia. RIL 205-1-2017 (2017) mukaan seinälle tulevat pystykuormat voidaan siirtää joko alatai yläpuoliselle rakenteelle tai viereisille seinälohkoille. Seinien ankkurointi auttaa voimien siirtämisessä alapuoliselle rakenteelle. (RIL 205-1-2017, s. 158–159) Kuva 8 esittää kuormien jakautumista jäykistävässä seinässä. Kuvassa seinän oikeaan yläreunaan kohdistuu välipohjan välittämä vaakavoima  $F$ . Kuorman aiheuttamat leikkausvoimat otetaan vastaan jäykistävällä levytyksellä ja normaalivoimat reunimmaisilla runkotolpilla. Normaalivoimat on merkattu kuvaan kirjaimella  $N$ .



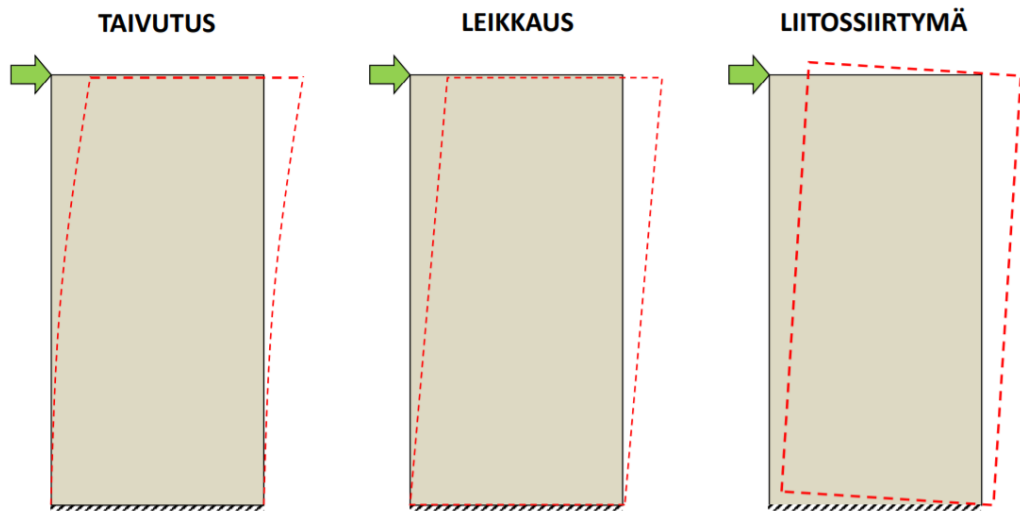
**Kuva 8.** Jäykistävälle seinälle kohdistuvat voimat (muokattu lähteestä Gyproc Käsikirja 2021, s. 456)

Yhdelle seinälohkole tulevat kuormat voivat jakautua kuvan 9 osoittaman esimerkin mukaisesti. Kuvassa vasemmalla on esitetty seinälohkoon kohdistuva vaakakuorma ja tästä kuormasta aiheutuvat tukivoimat. Keskimmäisenä kuvassa on esitetty leikkausvoimat, jotka kohdistuvat rakennuksen runkoon ja se osoittaa myös, kuinka liittimet välittävät näitä voimia levyn ja rungon välillä. Oikealla kuvassa näkyvät levyyn liittimien kautta kohdistuvat leikkausvoimat. Sama periaate voimien siirtymisessä liittimien kautta pätee myös välipohjissa levyjen ja palkiston välillä.



**Kuva 9.** Esimerkki voimista, jotka vaikuttavat seinälohkoon, puurunkoon sekä levyyn (SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC 2014, s. 89)

Yksittäiseen levyyn kohdistuvat voimat aiheuttavat sen, että levy haluaa muuttaa muotoaan tai poistua paikaltaan. Kuvassa 10 on havainnollistettu, miten levy käyttäytyy, kun sen yläreunaan kohdistuu vaakasuuntainen voima. Tämä voima aiheuttaa levyssä kuvan mukaisesti taivutus- ja leikkausvoimia sekä liitossiirtymää.



**Kuva 10.** Levyn muodonmuutokset vaakavoiman johdosta (Lahtela 2019, s. 48)

Yläreunaan kohdistuvan vaakavoiman aiheuttama taivutus näkyy levyssä kuvan 10 mukaisesti levyn yläreunan taipumisella voiman suuntaan, kun levyn alareuna on tuettu. Levyn aiheutuvalla leikkausvoimalla on samanlainen vaikutus levyn muotoon, mutta levyn sivut säilyttävät paremmin suorutensa. Liitossiirtymän tapauksessa levy säilyttää muotonsa, mutta pyrkii kääntymään pois paikaltaan.

### 2.3.3 Levyjen mitoitus

Jäykistävät rakenteet on mitoitettava murto- ja käyttörajatilassa. Murtorajatilassa tarkastellaan vallitsevaa mitoitustilannetta sekä onnettomuustilannetta (Elementtisuunnittelu 2020). Käyttörajatilamitoituksessa käytetään ominaiskuormia ja rakenne mitoitetaan muun muassa liitossiirtymiä, taipumaa sekä värähtelyä vastaan (RIL 205-1-2017 s. 97–99).

Seuraavaksi käydään läpi muutamia yleisiä levyjäykisteiden mitoituksessa käytettäviä kaavoja. Levyjäykisteet tulee mitoittaa muun muassa levyjen leikkausvoimakestävyydelle sekä leikkausjäykkyydelle. Tämän lisäksi levyille määritetään niiden kuormitusta



vastaava siirtymä. Yksittäisen puu- tai rakennuslevyn leikkausvoimakestävyys  $F_{i,v,Rd}$  voidaan selvittää kaavan

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd,i} \cdot b_i}{\gamma_i \cdot s_i} \quad (1)$$

avulla, jossa

$F_{f,Rd,i}$	on liittimen leikkausvoimakestävyys
$b_i$	levyn leveys
$\gamma_i$	Liitteen 1 mukainen kiinnitystapakerroin
$s_i$	levyn liitinjako (RIL 205-1-2017 s.160).

Kaavasta (1) voidaan huomata, että liittimien laadulla ja niiden sijoittelulla on suuri merkitys levyn leikkausvoimakestävyteen ja itse levyjen osalta leikkausvoimakestävyttä voidaan parantaa ainoastaan levyn leveyttä kasvattamalla. Yksittäisen levyn leikkausjäykkyys saadaan selville kaavalla

$$C_{i,v} = \frac{1}{\beta_i \cdot \frac{s_i \cdot h_i^2}{K_{ser,i} \cdot b_i^3} + \frac{h_i}{b_i \cdot G_{mean,i} \cdot t_i}}, \quad (2)$$

jossa

$\beta_i$	Liitteestä 1 saatava kiinnitystapakerroin
$s_i$	levyn liitinjako
$h_i$	levyn korkeus
$b_i$	levyn leveys
$t_i$	levyn paksuus
$G_{mean,i}$	levyn liukumoduuli
$K_{ser,i}$	liittimien siirtymäkerroin (RIL 205-1-2017 s. 159–160).

Liittimien valinnalla ja sijoittelulla on merkitystä myös levyn jäykkyyden laskennassa. Kaavasta (2) nähdään, että levyn jäykkyys kasvaa pienemmällä korkeudella ja suuremalla leveydellä. Levyn jäykkyyteen vaikuttaa sen dimensioiden lisäksi myös levyn liukumoduuli, joka kuvaa materiaalin kykyä vastustaa leikkausjännityksen aiheuttamaa muodonmuutosta. Suurempi liukumoduulin arvo ja paksumpi levy kasvattavat levyn jäykkyyttä. Yksittäisen levyn leikkausvoiman aiheuttama siirtymä voidaan laskea, kun sen

jäykkyys  $C_{i,v}$  tunnetaan. Levyä kuormittavan vaakavoiman  $F_{i,v,Ek}$  perusteella saadaan, että levyn siirtymä on (RIL 205-1-2017 s. 160)

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{C_{i,v}}. \quad (3)$$

Levyn jäykkyys on täten kääntäen verrannollinen siirtymän suuruuteen, jolloin suuremmalla jäykkyydellä levyn siirtymät ovat pienempiä. Levyjonon leikkausjäykkyys ja leikkausvoimakestävyys saadaan määritettyä summaamalla yksittäisten levyjen jäykkyydet ja kestävyudet yhteen (Levyjäykisteen mitoitusohjelma 2017). Tällä periaatteella saadaan täten selville koko seinän tai välipohjan leikkausvoimakestävyys ja leikkausjäykkyys. RIL 205-1-2017 (2017) ohjeen mukaan rakenteen kokonaissiirtymässä huomioidaan leikkausvoiman aiheuttama siirtymä, sekä tarvittaessa momentista johtuva siirtymä. Rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvo on rajoitettu arvoon  $H/300$ , jossa  $H$  on korkeus rakennuksen tarkasteltavassa kohdassa. Hallirakennuksissa vaakasiirtymää ei tarvitse tarkastaa, koska siitä ei yleensä ole haittaa. Kerrostaloissa vaakasiirtymä suositellaan rajoitettavan arvoon  $H/500$  ylimmän kerroksen lattiatasolla. (RIL 205-1-2017)

Välipohjille on myös laskettava niiden taipuman arvo käyttörajatilassa, sillä tämä tulee usein mitoittavaksi. Taipuman loppuarvo saadaan laskettua kaavalla

$$\omega_{net,fin} = \omega_{inst} + \omega_{creep} - \omega_c = \omega_{fin} - \omega_c, \quad (4)$$

jossa

$\omega_{inst}$	hetkellinen taipuma
$\omega_{creep}$	viruman aiheuttama lisätaipuma
$\omega_c$	esikorotus, mikäli sitä käytetään
$\omega_{fin}$	kokonaistaipuma (RIL 205-1-2017 s. 97).

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC (2014) -standardi antaa välipohjan taipumalle tiettyjä raja-arvoja koskien palkkeja, mutta standardissa ei ole esitetty vastaavia arvoja puulevyille. Varsinkin suurilla jänneväleillä myös levyjen taipumat saattavat olla merkittäviä ja niitä olisi hyvä myös laskea ja rajoittaa. RIL 205-1-2017 (2017) -ohje antaa taipuman rajoittamiseen taulukossa 1 esitetyt arvot.

**Taulukko 1.** *Taipumien enimmäisarvot (RIL 205-1-2017 s. 98)*

Rakenne	$\omega_{inst}$	$\omega_{net,fin}$	$\omega_{fin}$
Pääkannattimet	L/400	L/300	L/200
Orret/toisiokannattimet	-	L/200	L/150

Taulukossa 1 pääkannattimella tarkoitetaan levyjäykistettyjen välipohjien tapauksessa palkistoa, johon levyt on kiinnitetty ja toisiokannattimella itse levyjä. L on kannattimen jänneväli. RIL 205-1-2017 (2017) ohjeessa tarkennetaan vielä, että levyjen tapauksessa lopputaipumaa  $\omega_{net,fin}$  laskettaessa levyn kuormituksen oletetaan olevan lyhytaikainen pistekuorma  $Q_k = 2\text{kN}$  sekä levyn omapaino.

### 2.3.4 Jäykistysseinän murtotapoja

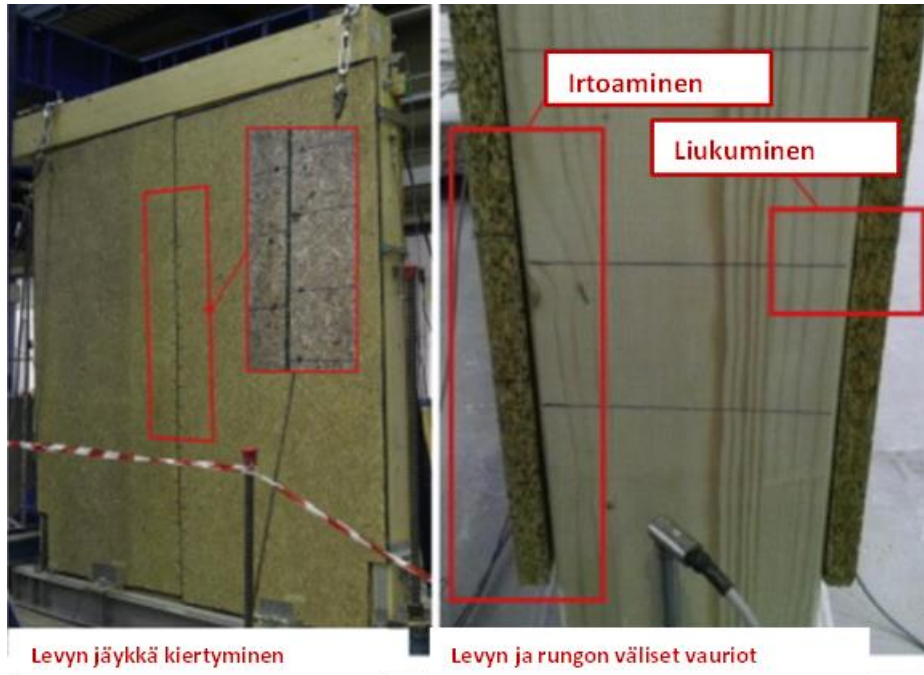
Rakenteeseen kohdistuvat kuormat saattavat joskus ylittää rakenteen todellisen kestävyden, jonka seurauksena tapahtuu rakenteen murtuminen. Jäykistävässä seinässä rakenteen kestävyyttä voi rangan nurjahtamisen ja levyjen lommahduksen lisäksi heikentää huono ankkurointi alapuoliseen rakenteeseen. Caprolu et al. (2015) mukaan ankkurointivoimien tarkoituksena on vastustaa seinän alareunassa vaikuttavia nostavia voimia. Jos ankkurointivoimia ei rakenteessa ole tai ne eivät täysin vastusta nostovoimia, välittävät levyn alareunan kiinnikkeet levyssä vaikuttavia pystysuuntaisia voimia alajuoksulle, johon levy on kiinnitetty. Voimat välittyvät alajuoksun kautta perustuksille, mutta ne ovat jakautuneet epäkeskisesti. Tämän seurauksena alajuoksuun syntyy momenttia, joka saattaa aiheuttaa alajuoksun halkeilua. (Caprolu et al. 2015) Kuvassa 11 on esitetty ensisijaiset huonosta ankkuroinnista johtuvat alajuoksun halkeilutavat kahdessa eri koetilanteessa. Ensimmäisessä kokeessa levytys on vain yhdellä puolella runkoa, toisessa kokeessa rungon molemmin puolin.



**Kuva 11.** Alajuoksuun syntyvät halkeamat (Caprolu et al. 2017)

Kuvassa 11 a-kohdassa näkyy alajuoksun keskelle syntyvä taipuman aiheuttama halkeama. B-kohdassa halkeama sijoittuu alajuoksun sivulle ja aiheutuu nauloissa vaikuttavista pystysuuntaisista leikkausvoimista. Nämä kaksi halkeamatyyppiä ovat hauraita. Kohdassa c rakenteen murtuminen johtuu naulojen taipumisesta ja vetäytymisestä levyn ja alajuoksun välisestä liitoksesta. Molemmissa koetilanteissa hallitseva murtotapa oli a-kohdan murto. (Caprolu et al. 2017)

Mikäli ankkurointi on suunniteltu ja toteutettu kunnolla, säätelevät levyjen ja rungon väliset liitokset pääasiassa jäykistetyin seinän käyttäytymistä (Germano et al. 2015). Liitoksillakin on kuitenkin tietty kestävyys, minkä ylittyessä ne pettävät. Tämä näkyy jäykistävissä seinissä muun muassa levyjen jäykkänä kiertymisenä, kiinnikkeiden vetäytymisenä ulospäin, mikä aiheuttaa levyn irtoamista rungosta sekä levyn liukumisena kiinnikkeiden vääntyessä, kuten kuvassa 12 on osoitettu.



**Kuva 12.** Liitosten pettämisen aiheuttamia ilmiöitä (muokattu lähteestä Germano et al. 2015)

Germano et al. (2015) ovat testanneet levyjäykistettyjen seinien kestävyttä. He huomasivat kokeessaan, että naulan varren pinnan kuviointilla oli vaikutusta liitoksen kestävyteen. Sileäpintaiset naulat kestivät huonommin kuin naulat, joiden varressa oli kierkeitä tai uria. Hyvällä ankkuroinnilla pystysuuntaiset kuormat eivät myöskään vaikuttaneet enää täysikokoisen levyjäykistetyn seinän toimintaan, vaan liitosten kestäväksi jäi vain levyille tulevia leikkausvoimia. (Germano et al. 2015)

### 3. PUU- JA RAKENNUSLEVYJEN OMINAISUUDET

Kaavojen (1) ja (2) perusteella levyn jäykkyyteen ja leikkausvoimakestävyyteen vaikuttavat levyn koko, eli sen paksuus, leveys ja korkeus sekä materiaalille ominainen liukukerroin  $G$ . Levyn suurimmat mahdolliset mitat ovat pitkälti riippuvaisia levyn valmistustavasta ja -kalustosta sekä muutamien puulevyjen tapauksissa raaka-aineen dimensioista. Valmiita levyjä on kuitenkin useimmiten helppo sahata pienempiin mittoihin. Levylle ominainen liukukerroin tai liukumoduuli voidaan määrittää kokeellisesti leikkausjännityksen  $\tau$  ja liukuman  $\gamma$  suhteena (Salmi & Pajunen 2010, s.57)

$$G = \frac{\tau}{\gamma}. \quad (5)$$

Levytyypin valintaan ja käyttöön jäykistävässä seinissä vaikuttaa varsinaisten jäykistysominaisuuksien lisäksi esimerkiksi levyjen säänkestävyys, eristävyys, palo- ja akustiset ominaisuudet sekä levyjen työstettävyys ja asentamisen helppous.

Kipsilevyä lukuun ottamatta muut tässä työssä käsiteltävät levyt ovat puupohjaisia ja toimivat täten ominaisuuksiltaan monissa tilanteissa puun tavoin. Puuproffa (2021) verkkosivuston mukaan puu on anisotrooppinen aine, mikä tarkoittaa, että sen ominaisuudet vaihtelevat eri suunnissa. Puun lujuus- ja kestävyysominaisuudet ovat yleensä paremmat puun syiden pitkittäissuunnassa (Puuproffa 2021). Puun lujuus on suurelta osin riippuvaista sen tiheydestä ja suurenee tiheyden kasvaessa. Puu on myös hygroskooppinen materiaali, minkä johdosta se kykenee sitomaan ja luovuttamaan kosteutta ilmasta. Kosteuden seurauksena puu pääsee kutistumaan tai turpoamaan, mikä on merkittävää erityisesti sen poikittaissuunnassa. Pitkittäissuunnassa puun kosteuseläminen on vähäistä. (Puuinfo 2021) Puuta lämmitettäessä sen mekaaniset ominaisuudet heikkenevät. Altistuminen pitkäaikaiselle korkealle kuumuudelle heikentää myös puun lujuusominaisuuksia. Koska puu on orgaaninen materiaali, pääsevät siinä elävät mikro-organismit heikentämään puun kestävyysominaisuuksia ajan kuluessa. (Puuproffa 2021)

#### 3.1 Levyjen materiaaliominaisuudet

Eri levyjen materiaalitietoja on koottu alla oleviin taulukoihin. Taulukoissa esitetyt tiedot vaihtelevat hieman levytyypin mukaan, mutta pääasiassa taulukoissa on pyritty esittämään levyn ominaislujuuksia, kimmokertoimia ja liukukerroin tietyille levypaksuudelle

sekä levyn keskimääräinen tiheys. Taulukoissa esitettyjä ominaislujuuksia ovat veto-, puristus- ja leikkauslujuus. Kimmokerroin on esitetty erikseen taivutukselle sekä puristukselle ja vedolle. Tarvittaessa arvot on esitetty syysuunnassa sekä syysuuntaa vastaan kohtisuorassa. Kaikki luvut on esitetty taulukoissa kokonaislukuna. Taulukossa 2 on esitetty eri valmistajien antamia materiaalitietoja havu- ja koivuvanereille. Taulukon arvot on koottu Metsä Woodin, UPM:n ja Koskisen verkkosivuilta tuotteiden suoritusasoilmoituksista (Liitteet C, D, E, F ja G). Materiaalitiedot on esitetty jokaisen tuotteen kohdalla kolmelle eri paksuudelle.

**Taulukko 2. Vanerilevyjen materiaaliominaisuudet**

VANERILEVYT												
	Paksuus (mm)	Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )					Kimmokerroin E (N/mm <sup>2</sup> )				Liuku- kerroin G (N/mm <sup>2</sup> )	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
		Veto ft,k		Puristus fc,k		Leikkaus fv,k	Taivutus		Puristus ja veto			
	t		⊥		⊥			⊥		⊥		⊥
Metsä Wood Spruce WeatherGuard	12	13	5	21	9	4	10235	1765	8430	3570	350	460
	21	10	8	17	13	4	8277	3723	6723	5268	350	460
	30	11	7	18	12	4	7558	4442	7119	4881	350	460
UPM WISA Spruce	12	11	8	17	13	4	9123	2876	6968	5032	350	460
	21	10	8	16	14	4	7547	4453	6408	5592	350	460
	30	10	8	17	13	4	7479	4521	6868	5132	350	460
Metsä Wood Birch	12	40	35	28	24	10	10719	6781	9333	8167	620	680
	21	39	36	27	25	10	9858	7642	9093	8407	620	680
	30	39	37	27	25	10	9519	7981	8993	8507	620	680
UPM WISA Birch	12	40	35	28	24	10	10719	6781	9333	8167	620	680
	21	39	36	27	25	10	9858	7642	9093	8407	620	680
	30	39	37	27	25	10	9519	7981	8993	8507	620	680
KoskiStandard	12	40	35	28	24	10	10719	6781	9333	8167	620	680
	21	39	36	27	25	10	9858	7642	9093	8407	620	680
	30	39	37	27	25	10	9519	7981	8993	8507	620	680

Taulukosta 2 voidaan huomata, että kuusesta valmistettujen havuvanerien veto- ja puristuslujuus vaihtelevat hieman eri valmistajien välillä samassa levyepaksuudessa. Leikkauslujuus ja liukukerroin ovat selvästi levyn paksuudesta riippumattomia ja niiden arvo on sama eri valmistajien välillä. Koivuvanerin kohdalla on taulukoitu arvoja kolmen eri valmistajan tuotteista. Koivuvanerissa kaikki arvot pysyvät samana valmistajasta riippumatta. Koivuvanerin ominaislujuudet, liukukerroin ja tiheys ovat selvästi havuvaneria suurempia. Taulukossa 3 on esitetty materiaalitietoja LVL-levyille. Tiedot on poimittu Metsä Woodin ja Stora Enson antamista suoritusasoilmoituksista (Liitteet H ja I).

**Taulukko 3.** LVL-levyjen materiaaliominaisuudet

LVL-LEVYT										
	Paksuus (mm)	Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )					Kimmokerroin E (N/mm <sup>2</sup> )		Liukokerroin G (N/mm <sup>2</sup> )	Tiheys kg/m <sup>3</sup>
		Veto ft,k		Puristus fc,k		Leikkaus fv,k	II	I		ρ
		II	I	II	I					
Metsä Wood Kerto LVL Q-panel	21-24	19	6	19	9	5	10000	1200	600	510
	27-75	26	6	26	9	5	10500	2000	600	510
Stora Enso LVL, X-laatu	24-75	26	6	26	9	5	10500	2400	600	510

Taulukosta 3 ilmenee, että LVL-levyt ovat ominaisuuksiltaan hyvin tasalaatuisia, sillä lujuuksien arvot pysyvät melkein samoina paksuudesta riippumatta. Levyissä on materiaaliominaisuuksien osalta hyvin vähän vaihtelua eri valmistajien välillä. Lujuusominaisuuksiltaan sekä liukumoduulin ja tiheyden kannalta LVL-levyt sijoittuvat suunnilleen havu- ja koivuvanerien väliin. Taulukoissa ei kuitenkaan ole huomioitu levyjen korkeutta ja leveyttä, joiden osalta LVL-levyillä voidaan saavuttaa suuremmat lukemat.

Lastulevyjä Suomessa valmistaa Koskisen Oy. Jäykistäviksi levyiksi sopivat parhaiten P5 laadun KoskiWall levy seiniin sekä P6 laadun KoskiFloor levy välipohjiin. (Koskisen Oy 2021) Näiden levytyyppien suoritusasoilmoituksissa ei kuitenkaan ole taulukoituna arvoja kaikille eri lujuuksille, sekä kimmo- ja liukumoduuleille, eikä niitä edes vaadita ilmoitettavaksi standardin SFS EN 312 mukaan. Esimerkiksi levyjen liukumoduulia tai tiheyttä ei ole suoritusasoilmoituksissa kerrottu. RIL 205-1-2017 (2017, s. 60) -julkaisu antaa kuitenkin lastulevyille tiheyden arvoksi 600–750 kg/m<sup>3</sup> levyn paksuudesta riippuen. Liukumoduulin arvo P5 laadussa vaihtelee välillä 750–960 N/mm<sup>2</sup> ja P6 laadussa välillä 880–1150 N/mm<sup>2</sup>, niin että pienemmällä levypaksuudella on suurempi tiheyden ja liukumoduulin arvo (RIL 205-1-2017, s. 60). OSB-levyjä ei valmisteta Suomessa, joten taulukkoon 4 on koottu materiaalitietoja Itävallassa perustetun EGGER Groupin verkkosivuilta (Liite J). Materiaalitietoja on esitetty muutamalla eri paksuudella kahdelle eri OSB-levyjen luokalle.



Taulukko 4. OSB-levyjen materiaaliominaisuudet

OSB-LEVYT												
	Paksuus (mm)	Ominaislujuudet (N/mm <sup>2</sup> )					Kimmokerroin E (N/mm <sup>2</sup> )				Liuku- kerroin G (N/mm <sup>2</sup> )	Tiheys kg/m <sup>3</sup>  ρ
		Veto ft,k		Puristus fc,k		Leikkaus fv,k	Taivutus		Puristus ja veto			
			⊥		⊥			⊥		⊥		
EGGER OSB 3	8-10	10	7	16	13	1	1980	3800	3000	3800	50	600
	18-25	9	7	15	12	1	1980	3800	3000	3800	50	600
EGGER OSB 4	8-10	12	9	18	14	7	6780	2680	4300	3200	1090	600
	18-25	12	10	19	16	9	7000	3000	4300	3200	1500	620
	30-40	10	10	15	14	6	6000	3000	4000	3200	1200	600

OSB 4 luokan levyt ovat hieman lujempia, kuin OSB 3 luokan ja niillä on myös selkeästi suurempi liukukerroin. Taulukosta 4 voidaan huomata, että OSB-levyjen ominaisuudet eivät itseasiassa parane paksuutta kasvattamalla, vaan optimaalinen paksuus materiaaliominaisuuksien kannalta on noin 20 mm. Noin 18–25 mm paksuilla OSB 4 luokan levyillä on selkeästi suurin liukukerroin ja suurempi tiheys, kuin muun paksuisilla OSB-levyillä. OSB 4 luokan levyjen liukukerroin on jopa kaksinkertainen myös vanereihin ja LVL-levyihin verrattuna.

Suomessa huokoisia kuitulevyjä valmistaa Suomen Tuulileijona Oy (2021), joka on Suomen Kuitulevy Oy:n tytäryhtiö. Yhtiön valmistamia seinien jäykistykseen soveltuvia tuotteita ovat Runkoleijona ja Tuulileijona nimiset kuitulevyt (Suomen Tuulileijona Oy 2021). Näiden levyjen suoritustasoilmoituksista ei myöskään löydy muista levytyypeistä aikaisemmin taulukoissa esitettyjä tietoja. Huokoisille kuitulevyille ei löydy materiaalitietoja myöskään RIL 205-1-2017 julkaisusta. Myöskään kipsilevyille ei kaikkia lujuusarvoja ole ilmoitettu suoritustasoilmoituksissa. Kipsilevyjä valmistavat Gyproc ja Knauf Oy. Gyprocin (2021) GTS 9 tuulensuojalevy on 9,5 mm paksua ja sille on ilmoitettu liukukertoimeksi 600 N/mm<sup>2</sup> tietyillä kiinnikkeillä. Knauf Oy:n (2021) vastaava tuulensuojalevy KXT 9 on paksuudeltaan myös 9,5 mm, mutta sen liukukertoimeksi on suoritustasoilmoituksessa annettu vain 210 N/mm<sup>2</sup>. Knauf Oy (2021) on ilmoittanut kipsilevystään myös tiheyden, joka on 740 kg/m<sup>3</sup>. Otteet Gyprocin ja Knaufin suoritustasoilmoituksista ovat liitteessä K.

### 3.2 Vanerilevyt

Vaneri on kerroksellinen Suomessa yleisesti käytössä oleva puulevytuote, joka valmistetaan puuviiluista. Vanerit voivat olla rakenteeltaan koivu-, havu- tai sekavanereita. Koivuvanerin valmistuksessa käytetään pelkästään koivuviiluja ja havuvanereissa havuviiluja, jotka ovat pääasiassa kuusta. Sekavanereissa on yhdisteltynä havu- ja koivuviiluja

ja erilaiset yhdistelmät tuottavat erilaista vaneria. Sekavanereita ovat muun muassa combi-, combimirror ja twin-vanerit. (Varis & Akkanen 2017, s. 43)

Vanerin valmistusprosessi alkaa tukkien pehmittämisestä haudonnan avulla, joka parantaa puun muokkautuvuutta. Ennen viilujen sorvaamista tukit on kuorittava ja katkottava sorvaukseen sopiviksi pölleiksi. Sorvauksen jälkeen viilumatto kuivataan vanerin liimaukseen sopivaan kosteustasoon. Valmiit viilut voidaan lajitella erilaisiin laatuluokkiin niissä esiintyvien virheiden, kuten oksankohtien, reikien ja halkeamien määrän ja laadun perusteella. Ennen liimaamista viiluja voidaan saumata tai jatkaa haluttujen dimensioiden saavuttamiseksi. Koivuviilujen nimellispaksuus on 1,5 mm ja havuviiluilla nimellispaksuus on noin 2,0–3,2 mm. Viilut ladotaan ristikkäin, niin että joka toinen kerros viiluja on syysuuntansa nähden poikittain. (Varis & Akkanen 2017) Sekavanereissa pintaviilut ovat aina koivua (Puuinfo 2021). Ladotut viilukerrokset viedään puristimen läpi. Kuumapuristuksessa korkea lämpötila ja paine liimaavat viilut yhteen. (Varis & Akkanen 2017) Liimana käytetään useimmiten säänkestävää fenolihartsiliimaa, joka vaatii kovettuakseen yli 100 asteen lämpötilan (Varis & Akkanen 2017; Puuinfo 2021). Puristuksen jälkeen levyt saavat lopullisen mittansa, kun ne sahataan suorareunaisiksi ja -kulmaisiksi. Lopuksi levyt hiotaan sileiksi ja halutun paksuisiksi. (Varis & Akkanen 2017) Vanerin vakio-paksuudet vaihtelevat 4–30 mm välillä sen suurimman valmistuspaksuuden ollessa 50 mm (Puuinfo 2021).

Perusominaisuuksiltaan vaneri on hyvin samankaltainen puun kanssa. Vanerin valmistavasta johtuen se on hyvin lujaa, tiivistä ja iskunkestävää. Vanerin kosteuseläminen on noin yksi millimetri metriä vaneria kohden. Se on myös kestävä ja ympäristöystävällinen materiaali. (Puuinfo 2021) Vanerin ominaisuudet vaihtelevat eri vanerityyppien välillä. Variksen ja Akkasen (2017) mukaan koivuvanerilla on vanerityypeistä parhaat lujuus- ja jäykkyysominaisuudet. Se on hyvin iskunkestävää ja sen pintakovuus on ensiluokkaista. Myös koivuvanerin virumiskestävyys on hyvä. Koivuvanerilla on hyvä tasoleikkauslujuus, minkä takia sitä käytetään paljon lattioissa. Sekavanereilla lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat lähes koivuvanerin luokkaa samoin kuin sen muutkin ominaisuudet. (Varis & Akkanen 2017) Tämä johtuu levyn pinnassa olevasta koivuviilusta. Varis ja Akkanen (2017) ovat arvioineet, että ainoastaan levyn saumaleikkauslujuus on sekavanereilla alhaisempi, mistä johtuu sen hieman heikommat lujuusominaisuudet koivuvaneriin verrattuna. Havuvanerilla tai kuusivanerilla on myös hyvät lujuus- ja jäykkyyso-

naisuudet. Havuvanerilevyjen pinta on koivuvaneria pehmeämpää ja levyjen paksuusturpoama on pieni. Havuvaneri on suhteellisen kevyttä ja sitä on helppo työstää. (Varis & Akkanen 2017) Levyjen ominaisuuksia voidaan parantaa myös erilaisten pinnoitteiden avulla. Pinnoituksen avulla voidaan parantaa esimerkiksi vanerin sään-, kulutus-, iskun- ja kemikaalinkestävyyttä sekä kitkaominaisuuksia. (Puuinfo 2021)

Vanerin yleisin käyttökohde maailmanlaajuisesti on rakentaminen. Pinnoittamaton havuvaneri on vanerityypeistä yleisimmin käytetty sen edullisuuden ja hyvien ominaisuuksien takia ja sitä käytetään myös seinissä ja välipohjissa jäykisteenä. (Varis & Akkanen 2017) Seinissä käytettävät vanerilevyt ovat ponttaamattomia ja niitä käytetään lähinnä sisäpuolisten seinien levytyksissä aluslevynä, jolloin niiden päälle tulee jotain muuta materiaalia sisäverhoukseksi. Välipohjissa käytetyt levyt ovat yleensä kaikilta sivuilta pontattuja ja ne sopivat dimensioiltaan parhaiten 400 mm:n tai 600 mm:n palkkijaolle. Vaneria käytetään välipohjissa useimmiten korokealustaisten lattioiden kantavana rakennelevynä. Koivuvaneria käytetään sen parempien lujuusominaisuuksien takia korkeaa laatua tai erittäin suurta lujuutta vaativissa kohteissa. (Puuinfo 2021)

Vanerilevyt tulee asentaa niin, että pintaviilujen syysuunta on kohtisuorassa tolppiin ja palkkeihin. Tämä pätee erityisesti kolmikerroksisille vanerilevyille. Vierekkäiset levyt tulee myös asentaa niin, etteivät levysaumat muodosta ristikuviota. Levyt tulee kiinnittää runkoon kaikilta reunoiltaan. Kiinnityksessä voidaan käyttää nauloja, joiden suositellaan olevan profiloituja ja joiden pituuden tulee olla vähintään kolminkertainen levyn paksuuteen verrattuna, mutta kuitenkin yli 30 mm. Levyt voidaan kiinnittää myös ruuveilla, joiden pituuden tulee puolestaan olla vähintään 2,5 kertaa levyn paksuus tai yli 25 mm. Levy kiinnitetään noin 10 mm päästä levyn reunasta 150 mm kiinnikejaolla. Levyn keskellä olevissa rangoissa kiinnikkeiden väli voi olla 300 mm. (Puuinfo 2021)

### **3.3 LVL-levyt**

LVL tulee sanoista Laminated Veneer Lumber ja Suomessa sitä kutsutaan myös viilupuuksi (Varis & Akkanen 2017, s.161). LVL on rakenteellinen puutuote, joka valmistetaan liimaamalla sorvatuista viiluista. Levyjen lisäksi viilupuutuotteita ovat muun muassa palkit ja pilarit. Viilujen syysuunta on tuotteesta riippuen joko pituussuuntaan tai osa viiluista on liimattu ristiin. (Puuinfo 2021) Ristiviilut vähentävät kosteuselämistä ja täten

voidaan valmistaa myös leveitä laattoja ilman riskiä niiden käyritymisestä. Ristiviilut lisäävät myös LVL-levyjen puristuslujuutta palkin korkeussuunnassa. (Varis & Akkanen 2017, s.165) Levyissä noin viidennes viiluista on poikittain (Puuinfo 2021).

LVL-levyjen raaka-aineena käytetään Suomessa kuusitukkeja ja levyihin kelpaa niiden laminoinnin takia raaka-aineeksi myös tukit, joita muuten pidettäisiin liian viallisina rakenteellisiin tuotteisiin. Laminointi estää myös tuotteen kieroontumista. LVL valmistetaan pääsääntöisesti 3 mm paksuista sorvatuista havuviilumatoista, jotka leikataan viiluarkkeiksi. Koska LVL valmistetaan jatkuvana laattana, mikä vaikeuttaa höyryn poistumista tuotteesta, on tärkeää saada viiluarkit kuivattua tavoitekosteuteensa sorvauksen jälkeen. Tuotetut viiluarkit voidaan lajitella eri luokkiin visuaalisesti tai niiden lujuuuden perusteella. Eri luokan viiluja käytetään eri kohdassa LVL-tuotteen rakennetta esimerkiksi pintaviiluna tai keskiviiluna. Viiluarkin päät on viistottava ennen ladontaa ja liimoitusta. LVL-levyjen liimaukseen käytetään säänkestäviä fenoliformaldehydihartseja. Valittu liima on suuri osa valmistusta ja sitä kuluu tavallisesti noin 80–90 kg/m<sup>3</sup>. LVL puristetaan levyksi korkeassa lämmössä ja paineessa. (Varis & Akkanen 2017, s. 161–181)

LVL-levyjen koko ei ole sidoksissa raaka-aineen kokoon, mikä mahdollistaa järeiden levyjen valmistamisen (Varis & Akkanen 2017, s.161). Levyjen paksuudet vaihtelevat 21–75 mm välillä, mutta kerrannaisliimaamalla voidaan saavuttaa suurempia jopa 144 mm paksuuksia (LVL Handbook Europe 2020; Metsä Wood 2021) LVL-levyjen jänneväli voi olla maksimissaan 2,6 metriä ja kerrannaisliimattuna 4 metriä (LVL Handbook Europe 2020). Levyt ovat myös erittäin mittatarkkoja niiden valmistustavasta johtuen. LVL-levyjen ominaisuuksiin kuuluu niiden tasainen laatu ja hyvä jäykkyys. Levyillä on hyvät lujuusominaisuudet niiden lujuuskeskiarvon ollessa lähellä virheettömän puun lujuutta. LVL on myös kestävä ja puun tavoin kevyt materiaali esimerkiksi teräkseen tai betoniin verrattuna. Levyt kestävät hetkellistä altistumista vedelle, mutta ne myös kutistuvat ja turpoavat kastuessaan ja kuivuessaan puun tavoin. (Varis & Akkanen 2017)

LVL-levyt soveltuvat seinien ja välipohjien jäykistykseen, erityisesti silloin, kun tarvitaan suurta kestävyyttä tai jäykistävälle rakenteelle varattu tila on rajallinen. LVL levyt sallivat rakenteeseen suuren runkovälin ilman levyjen lommahtamisen vaaraa. Suurin LVL levyjen etu on niiden soveltuvuus jäykisteeksi rakenteisiin, joissa on suuria aukkoja, kuten ovia ja ikkunoita. Seinien jäykisteinä käytettävät levyt voivat toimia myös kantavana rakenteena erityisesti levyjen ollessa kerrannaisliimattuja. Tällöin suuremman paksuuden

myötä levyt toimivat myös paremmin palosuojana seinälle. LVL-levyistä voidaan tehdä niiden jäykkyyden ja lujuuden ansiosta normaalia korkeampia levytettyjä seiniä. Parhaimmillaan LVL levy voi kestää noin 30kN kuorman sen pituudesta, paksuudesta, liittimien koosta sekä liitinväleistä riippuen ja rungon materiaalista riippuen. Välipohjissa LVL-levyt ovat hyvä vaihtoehto, mikäli välipohjan korkeutta on rajoitettu. Jäykkyysominaisuuksiensa ja levyjen suuren koon ansiosta voidaan välipohjissa käyttää suurempia välejä lattiapalkkien välillä. LVL-levyt täyttävät myös tällöin voimassa olevat taipumavaatimukset. Levyjen suuren koon takia ne vaativat vähemmän liitoksia. Levyjen kiinnityksessä käytetään ruuveja tai nautoja. Naulojen liitinvälin tulee olla 75–150 mm ja ruuveilla liitinväli on noin 100–200 mm levyjen reunalla. Levyjen keskellä voidaan liitinväli kaksinkertaistaa ilman vaikutusta levyn jäykkyyskapasiteettiin. Pienempi kiinnitysväli puolestaan lisää levyn jäykkyyskapasiteettia. (LVL Handbook Europe 2020, s. 59–96)

### 3.4 Lastulevyt

Lastulevy on pienistä puulastuista liimaamalla valmistettu puutuote. Lastulevy valmistetaan kolmikerroksisena ja sen pintakerroksissa käytetään ohuempia lastuja, kuin keskellä. Tämä tekee lastulevyn pinnasta tiiviin. Lastulevy on huomattavasti normaalia puutavaraa painavampaa, johtuen sen tiheydestä, joka vaihtelee välillä 650–750 kg/m<sup>3</sup>. (Puuinfo 2021)

Lastulevyjen raaka-aineena käytetään Suomessa pääasiassa metsäteollisuuden sivutuotteita kuten sahanpurua ja haketta. Raaka-aineena voidaan käyttää kuitenkin myös kierrätyspuuta tai harvennushakkuista syntyvää pienpuuta. Kaikki raaka-aine prosessoidaan lastuiksi hakettamisen ja epäpuhtauksien poiston jälkeen. Saadut lastut jaotellaan pinta- ja keskilastuiksi, jonka jälkeen lastut liimoitetaan ja kuumapuristetaan levyiksi. Liimana käytetään pääasiassa ureaformaldehydihartsia, jonka määrä on kuitenkin levyssä alle 10 %. Levy voidaan myös pinnoittaa tai siihen voidaan lisätä lisäaineita muun muassa kosteuden- ja palonkeston parantamiseksi. (Varis & Akkanen 2017)

Lastulevy on perusominaisuuksiltaan samankaltainen puun kanssa, mutta sillä ei ole syysuuntaa. Tämä tekee levystä tasalaatuista ja levyn eläminen tason suunnassa on vähäistä. Lastulevyt säilyttävät hyvin suoruutensa ja niitä on helppo työstää. (Varis & Akkanen 2017) Levyssä käytettävän liiman johdosta peruslevyt eivät siedä kosteutta ja lastulevyjä käytetään pääasiassa sisätiloissa (Puuproffa 2021). Lastulevyt voidaan jakaa

seitsemään eri luokkaan P1–P7 niiden lujuusominaisuuksien perusteella (Varis & Akkanen 2017, s. 201).

Lastulevyjä voidaan käyttää seinä- ja lattiarakenteissa. Seinissä levyn käyttö rajoittuu rungon sisäpuolelle ja kerrostaloissa lastulevyjä käytetään ainoastaan kevyissä väliseinärakenteissa. Seinälevyt ovat tyypillisesti noin 9–15 mm paksuja. Tyypillisempi käyttökohte lastulevyille on lattiat, joissa käytetään noin 22 mm paksuja levyjä. Asennettavat levyt ovat ympäriontattuja ja niiden panteissa käytetään PVCa-liimaa. Levyt kiinnitetään kierrenauloilla, joiden pituuden tulee olla vähintään kolme kertaa levyn paksuus tai yli 30 mm tai ruuveilla, joiden pituus on 2,5 kertaa levyn paksuus tai yli 25 mm. (Varis & Akkanen 2017; Puuinfo 2021) Kiinnikeväli levyn reunoissa on 100–200 mm ja levyn keskellä 200–300 mm. Kiinnikkeet sijoitetaan noin 10 mm päähän levyn reunasta. (Puuinfo 2021)

### 3.5 OSB-levyt

OSB eli Oriented Strand Board on pitkistä, suunnatuista lastuista liiman avulla valmistettu rakenteellinen puulevy. OSB-levyä ei valmisteta Suomessa. Levyn suurin tuottaja on Pohjois-Amerikka ja Euroopassa suurimmat valmistajamaat ovat Saksa ja Romania. (Varis & Akkanen 2017)

OSB-levyjen valmistusprosessi on samankaltainen kuin lastulevyjen. Raaka-aineena käytetään noin kolme metriä pitkää tasalaatuista ja pienläpimittaista pienpuuta. Kuorimisen jälkeen puu lastutetaan. OSB-levyjen valmistuksessa käytettävät lastut ovat pitempiä ja leveämpiä kuin lastulevyn valmistuksessa, niiden pituuden ollessa noin 75–150 mm ja leveyden noin 25 mm. Lastujen liimaamiseen voidaan käyttää joko fenoliformaldehydi-, melamiiniureaformaldehydi- tai isosyanaattihartsia ja levyn eri kerroksiin voidaan käyttää erilaista liimaa. OSB-levyt ovat kolmikerroksisia. Pintakerrosten lastut sijoitetaan syy-suuntaan levyn pituussuunnassa ja keskimmäisen kerroksen lastut syy-suunnaltaan niitä vastaan poikittain. Lastumatto saadaan levyksi puristamalla. OSB-levyjen paksuus vaihtelee 6–40 mm välillä. Levyt sahataan usein vakiomittoihin heti valmistuksen jälkeen. Levyn vakio kokoja ovat 2440 x 1200, 2440 x 1220 ja 2500 x 1250 mm. (Varis & Akkanen 2017)

Vaikka levyn valmistustapa on samankaltainen lastulevyjen valmistuksen kanssa, ovat levyt lastujen suuntaamisen takia ominaisuuksiltaan lähempänä viiluista valmistettuja levyjä. OSB-levyjen lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat hyvät ja niitä on myös helppo työstää. (Varis & Akkanen 2017) Levyn valmistuksessa käytetyt hartsipohjaiset liimat lisäävät levyn kosteudenkestävyyttä (European Panel Federation 2018) Levyt jaetaan neljään luokkaan, joista Euroopassa valmistetaan lähinnä OSB/3- ja OSB/4-luokkien levyjä (Varis & Akkanen 2017).

OSB levyjä käytetään pääasiassa rakentamisessa. Levyjä voidaan käyttää seinien ja välipohjien jäykistämiseen. Seinissä levyt voivat toimia myös kantavana rakenteena. Levyjen kiinnityksessä käytetään pääasiassa ruuveja. Nauloja ja hakasia voidaan käyttää kevyesti kuormitetuissa rakenteissa. Kiinnikkeiden tulee olla yli kahdeksan millimetrin päässä levyn reunasta ja yli 25 mm päässä levyn kulmista. (European Panel Federation 2018)

### 3.6 Huokoiset kuitulevyt

Huokoiset kuitulevyt koostuvat puukuiduista, jotka saadaan liitettyä toisiinsa lämmön ja paineen avulla. Kuitujen tarttumiseen toisiinsa vaikuttaa niiden huopautus sekä puun omat tarttumisominaisuudet. Levyyn voidaan lisätä liimaa tai muuta lisäaineita, mutta näiden osuus levystä jää yleensä alle yhden prosentin. (Puuinfo 2021)

Kuitulevyjen raaka-aineena käytetään Suomessa sahanpurua, seulontapurua tai haketta. Raaka-aine tulee ensin seuloa, jonka jälkeen massaa voidaan alkaa käsitellä muun muassa kuiduttamalla ja laimentamalla. Levyt valmistetaan puristamalla noin 200 asteen lämmössä, jossa kuitujen liimautuminen tapahtuu noin 5–20 minuutissa levyn paksuudesta riippuen. Tämän jälkeen levyt voidaan vielä karkaista lujuuden ja kosteudenkeston parantamiseksi. (Varis & Akkanen 2017)

Huokoinen kuitulevy on tiheydeltään alle 400 kg/m<sup>3</sup>, minkä avulla se erotetaan muista kuitulevytyypeistä. Huokoiset kuitulevyt säilyttävät puun hyvät lujuus-, sitkeys- ja lämpimyysominaisuudet. Vaikka levyt ovat tiiviitä, ovat ne myös hengittäviä. (Varis & Akkanen 2017) Hengittäväytensä ansiosta huokoiset kuitulevyt säätelevät kosteustasapainoa,

minkä ansiosta voidaan saavuttaa täysin höyryä läpäisevä rakenne ilman kalvoja tai tuuletusvälejä. Levyt ovat myös helppoja työstää ja asentaa, eivätkä ne aiheuta ollenkaan päästöjä asentamisen jälkeen. (Natural Fibre Board 2021)

Huokoisten kuitulevyjen pääasiallinen käyttökohde on rakentamisessa. Niitä käytetään jäykistävässä seinissä tuulensuojalevynä. (Varis & Akkanen 2017) Jäykisteinä käytettyihin levyihin on usein lisätty hartsia ja vahaa säänkesto-ominaisuuksien parantamiseksi (Puuinfo 2021). Levyjen pienen lämmönjohtavuuden ansiosta ne parantavat myös seinien lämmöneristystä (Varis & Akkanen 2017). Levyjen suuri lämmönvarastointikapasiteetti auttaa estämään sisätilojen lämpenemistä kesällä (Natural Fibre Board 2021). Levyt kiinnitetään kaikilta reunoiltaan runkoon kuumasinkittyjen naulojen, ruuvien tai hakasten avulla. Levyt tulee asentaa runkotolppien suuntaisesti. (Puuinfo 2021)

### 3.7 Kipsilevyt

Kipsilevyt koostuvat kahdesta kartongista ja niiden välisestä kipsiytimestä. Kipsiydin on kipsikiveä, joka on väritön kiderakenteinen materiaali (Knauf Oy 2021). Kipsikiteet ovat kalsiumsulfaattia, johon on sitoutunut vettä (Gyproc Käsikirja 2021, s.442). Levyissä käytettävä kipsi saadaan luonnosta, voimalaitoksista tai kierrätetystä kipsistä (Knauf Oy 2021). Voimalaitoskipsi muodostuu hiilivoimalaitosten savukaasujen puhdistuksessa sivutuotteena (Knauf Levyopas 2011). Kierrätyskipsi on yleensä noin 20 % ytimen painosta. Kartongin materiaalina käytetään kierrätyspaperia. Tämän lisäksi kipsilevyihin tulee erilaisia lisäaineita, kuitenkin yleensä alle yhden painoprosentin verran. (Gyproc Käsikirja 2021) Kipsilevyt valmistetaan jauhamalla ja kalsinoimalla kipsikiveä, josta muodostetaan lisäaineiden kanssa kipsimassaa. Kipsimassa pursotetaan kahden kartongin väliin ja viimeistellään muotoiluraudalla oikeisiin paksuus-, leveys- ja pituusmittoihin, jonka jälkeen levyt kuivataan. (Rakentaja.fi 2014)

Kipsilevyn lujuus ja jäykkyys tulevat pääasiassa sen kartonkipäällysteistä. Kipsilevyn ytimeen sitoutunut vesi antaa levyille hyvät palo-ominaisuudet. Kuumennettaessa vesi vapautuu ja poistuu vesihöyryinä hidastaen palon etenemistä. Kipsilevyillä on hyvä akustiset ominaisuudet ja kipsilevyt voivat toimia myös ääneneristeenä. Levyt säilyttävät hyvin muotonsa kosteuden ja lämpötilan vaihteluista huolimatta. Kipsilevyjä ei kuitenkaan saa altistaa yli 50 asteen lämpötiloille kipsiytimen vaurioitumisen estämiseksi. Ilman kosteuden ylittäessä 90 % levyjen lujuus- ja jäykkyysominaisuudet heikkenevät ytimen suuren



huokostilavuuden ja suhteellisen nopean kapillaari-imun takia. Levyt kuitenkin kuivuvat hyvin oikeissa olosuhteissa. (Gyproc Käsikirja 2021, s.490–493)

Kipsilevyjä käytetään paljon jäykistävinä tuulensuojalevyinä, koska ne ovat hyvin vesihöyryä läpäiseviä ja erittäin tuulitiiviitä. Tuulensuojalevyt on käsitelty kosteuskestävyyden parantamiseksi sekä vedenimeytymisen pienentämiseksi, jota kutsutaan levyjen impregnoinniksi. Osa Gyprocin tuulensuojalevyistä muodostuu pintarakenteeltaan kipsikerrokseen upotetusta lasikuitumatosta, joka parantaa entisestään levyn säänkestävyyttä. (Gyproc Käsikirja 2021)

Levyt asennetaan tiiviisti runkoon kiinni ja niiden alareuna jätetään noin 10 mm korkeudelle väli- tai alapohjasta kosteusrasituksen pienentämiseksi. Levytys ei saa myöskään kastua asennusaikana. (Knauf Levyopas 2011; Gyproc Käsikirja 2021) Kipsilevyjen kanssa käytettävien liittimien rungon tulee olla terästä ja niiden tulee olla korroosiosuojattuja, useimmiten kuumasinkityksen tai muun vastaavan avulla. Hakaskiinnitystä voidaan käyttää hallituissa olosuhteissa. Hakaset asennetaan levyn pitkällä sivuilla pystysuoraan ja päätysaumoissa vaaka-asentoon. Levyt tulee kiinnittää kaikilta reunoiltaan. Liitinväleissä noudatetaan standardien mukaisia sääntöjä, jolloin maksimi liitinväli levyn reunalla on nauloilla kiinnitettäessä 150 mm ja ruuveilla 200 mm ja levyn keskellä suurin liitinväli on noin kaksinkertainen reunoihin verrattuna, mutta kuitenkin korkeintaan 300 mm. (Gyproc Käsikirja 2021, s.448) Ruuvin- ja naulankantojen on painuttava kartongin pinnan tason alapuolelle, siten ettei levyn pinta rikkoudu (Knauf Levyopas 2011). Kiinnikkeet on asennettava niin, että niiden vähimmäisetäisyys levyn kartonkireunasta on 10 mm ja leikatusta reunasta 15 mm (Gyproc Käsikirja 2021, s.448).

Vaakakuormien aiheuttamat taipumat ja värähtelyt kasvavat seinäkorkeuden myötä, jolloin kipsilevyjen taivutusjäykkyydellä on suora vaikutus rakennettavien seinien korkeuteen. Tämän lisäksi jäykistävien seinien maksimi korkeuteen vaikuttavat rungon rankojen dimensiot ja materiaali. Myös rankajako sekä kuinka moninkertainen levytys tehdään vaikuttavat korkeuteen. Kipsilevyseinien maksimikorkeudet erilaisilla yleisimmillä rankoilla ja levytyksillä vaihtelevat 3–8 metrin välillä. (Gyproc Käsikirja 2021, s. 464–465)

## 4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tarkasteltiin levyjäykistyksen toimintaa, sekä eri puu- ja rakennuslevytyyppejä ja niiden ominaisuuksia. Levyjäykistys on toimiva menetelmä rakennusten jäykistämiseen, missä on kuitenkin huomioitava monia asioita. Jäykistyksen kestävyysvaikutukset vaikuttavat välittömästi levytyypin lisäksi muun muassa rakennukselle tulevat kuormat, käytetyt kiinnikkeet sekä niiden sijoittelu, levyjen asettelu sekä runko, johon levyt kiinnitetään. Jäykistävien seinien ja välipohjien toiminta eroavat toisistaan esimerkiksi kuormien jakautumisen sekä osittain niiden mitoituksen ja siinä huomioitavien asioiden perusteella.

Levyjäykistys on pientaloissa yleisin jäykistämismenetelmä. Pientaloissa rakenteille tulevat kuormat pysyvät suhteellisen pieninä, minkä takia levyjäykistyksen katsotaan usein olevan kustannustehokkain vaihtoehto. Kerrostalojen osalta mielipiteet levyjäykistyksen kustannustehokkuudesta vaihtelevat. Rankarungon ja levyjäykistyksen yhdistelmää käytettäessä yli 2-kerroksisissa rakennuksissa tulee alimpien kerrosten rankajaosta usein erityisen tiheä, jotta rakenne kestää suuremmat kuormat nurjahtamatta (Puuinfo 2021). Suuremmat materiaalikustannukset ovat yhtenä syynä sille, että seinien levyjäykistys ei ole kerrostalojen osalta suosituin vaihtoehto. Myöskään välipohjat eivät usein ole kerrostaloissa täysin jäykistettyjä. Mäklinin (2017) mukaan puukerrostaloissa välipohjat on usein katkaistava huoneistojen kohdalta rakenteen ääneneristävyyden takia, jolloin sen jäykistävät ominaisuudet heikkenevät. Tämän vuoksi puukerrostalojen jäykistys toteutetaan useimmiten kantavilla ja jäykistävillä väliseinillä. (Mäklin 2017, s.27)

Käytettävän levytyypin valintaan vaikuttaa paljon levyn mitoituksessa käytettävät jäykistävät ominaisuudet, kuten liukumoduuli ja asennettavien levyjen mitat. Tämän lisäksi on kuitenkin huomioitava myös levyjen muita ominaisuuksia. Esimerkiksi jäykistävissä seinissä levyjen valintaa ja käyttöä rajoittavat rakenteen akustiset ominaisuudet. Huttunen (2021) kertoo, että erityisesti asuinrakentamisessa on tiettyjä rajoituksia seinien ääneneristävyyden suhteen. Nämä rajoitukset pätevät erityisesti väliseiniin, mutta myös jonkun verran rakennusten ulkoseiniin. Levyjen tärkein ominaisuus niiden ääneneristävyyden kannalta on levyjen massa. Esimerkiksi vaneri on hyvin kevyt materiaali ja tältä kannalta huono vaihtoehto rakenteisiin, joilta vaaditaan hyvää ääneneristävyyttä. Kipsilevy on yleisin väliseinissä käytetty levy, sen hyvien ääneneristävyysominaisuuksien takia, ja

usein väliseinissä käytetään pelkästään kipsilevyjä. Rakenteen ääneneristävyys ei kuitenkaan ole vain yhdestä levystä riippuvainen, vaan se on monien tekijöiden summa ja erilaisilla rakenneratkaisuilla pystytään usein lopulta saavuttamaan rajoitukset täyttävä ääneneristävyys. Esimerkiksi rakenne, jossa jäykistävänä eli sisimpänä levynä on käytetty havuvaneria ja verhouksena kipsilevyä voi täyttää kaikki rajoitukset, vaikka sen ääneneristävyys kokonaisuudessaan jääkin huonommaksi, kuin rakenteella, jossa kipsilevyä käytetään sekä jäykistävänä rakenteena että verhouksena. Käytännössä ilman kipsilevyjä ei kuitenkaan voida saavuttaa tarpeeksi hyvää ääneneristävyyttä, joten ne ovat melkein aina osana seinärakennetta. (Huttunen 2021)

Ääneneristävyiden ja levyn jäykistävien ominaisuuksien lisäksi levyjen valintaan vaikuttaa muun muassa levyjen saatavuus sekä edullisuus. Esimerkiksi havuvaneria käytetään enemmän kuin koivuvaneria, vaikka koivuvanerin lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat parempia. Ulkoseinissä levytyypin valintaan vaikuttaa myös levyn sään- ja kosteudenkestävyys sekä lämmöneristävyys. Jäykistävien levyjen halutaan myös toimivan tuulen- suojana varsinkin pientaloissa.

Levyjäykistyksestä on suomeksi saatavilla aineistoa lähinnä muutamasta päälähteestä, ja esimerkiksi levyjen murtumisesta tutkimusartikkeleita löytyi vain ulkomaalaisista lähteistä. Saatavilla oleva tieto riittää levyjäykistykseen mitoitukseen, mutta kehittämisen varaa löytyy aina. Tämä työ esittää yksinkertaistetusti levyjäykistykseen toimintaperiaatteet ja voi tulevaisuudessa toimia pohjana tarkemmalle tutkimukselle. Levytyypeistä tehdyt taulukot kokoavat yhteen eri materiaaliominaisuuksia, joista niitä on helppo poimia ja tarvittaessa hyödyntää.

# LÄHTEET

Caprolu, G., Girhammar, U. A. & Källsner, B. (2015). Comparison of models and tests on bottom rails in timber frame shear walls experiencing uplift. Artikkele. Construction & building materials. Vol.94, s.148–163.

Caprolu, G., Girhammar, U. A. & Källsner, B. (2017). Analytical models for splitting capacity of bottom rails in partially anchored timber frame shear walls based on fracture mechanics. Artikkele. Wood Material Science & Engineering. Vol.12 (3), s. 165–188.

EGGER. EGGER Group. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2021): [https://www.egger.com/shop/en\\_FI/](https://www.egger.com/shop/en_FI/)

Elementtisuunnittelu. Betoniteollisuus ry. Verkkosivu. Päivitetty 7.12.2020. Saatavissa (viitattu 13.11.2021): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/rakennejarjestelmat/rakennuksen-jaykistys/jaykistysjarjestelmat>

Eurokoodi 5. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje (2020). 5. painos. Puuinfo. 53 s. Saatavissa (viitattu 6.11.2021): <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>

European Panel Federation: Wood based panels. Verkkosivu. Päivitetty 2018. Saatavissa (viitattu 24.10.2021): <https://europanel.org/the-wood-based-panel-industry/types-of-wood-based-panels-economic-impact/oriented-strand-board/>

Germano, F., Metelli, G. & Giuriani, E. (2015). Experimental results on the role of sheathing-to-frame and base connections of a European timber framed shear wall. Artikkele. Construction & building materials. Vol.80, s. 315–328.

Gyproc, Saint-Gobain Finland Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.11.2021): <https://www.gyproc.fi/>

Gyproc Käsikirja (2021). Kevytrakenejärjestelmät. Saint-Gobain Finland Oy. 511 s. Saatavissa (viitattu 1.11.2021): <https://saint-gobain.emmi.fi/l/tDSJq9b78P9j>

Huttunen E. Diplomi-insinööri. Suunnittelujohtaja. Sitowisen Helimäki Akustikot. Haastattelu 22.11.2021.

Julku, M. (2015). Pientalon kuormitukset ja jäykistys. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. 160 s. Saatavissa (viitattu 5.11.2021): [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93078/Julku\\_Matti.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/93078/Julku_Matti.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Knauf Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.11.2021): <https://knauf.fi/etusivu>

Knauf Levyopas (2011). Kipsilevyrakentajan asennus- ja käyttöopas. Knauf Oy. 56 s. Saatavissa (viitattu 1.11.2021): [https://knauf.fi/fileadmin/user\\_upload/esitteet/knauf\\_levyopas\\_2011.pdf](https://knauf.fi/fileadmin/user_upload/esitteet/knauf_levyopas_2011.pdf)

Koskisen Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.11.2021): <https://koskisen.fi/>

Lahtela T. (2018). Rakenneosan stabiliteettituenta & Levyjäykistys. Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018 (VAAPU-koulutus). Luentoaineisto. Puuinfo. Päivitetty 2.1.2019. Saatavissa (viitattu 6.11.2021): [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/18\\_Rakenneosan-stabiliteettituenta\\_Levyj%C3%A4ykistys\\_p%C3%A4ivitetty-2.1.2019.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/06/18_Rakenneosan-stabiliteettituenta_Levyj%C3%A4ykistys_p%C3%A4ivitetty-2.1.2019.pdf)

Levyjäykisteen mitoitusohjelma (2017). EC 5 / Suomen kansallinen menetelmä. Excel-pohjainen ohjelma. Puuinfo.

LVL Handbook Europe (2020). Finnish Woodworking Industries. Helsinki. 223 s.

Metsä Wood. Metsä Group. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.11.2021): <https://www.metsa-wood.com/fi/Pages/default.aspx>

Mäklin R. (2017). Puukerrostalon jäykistäminen. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. 65 s. Saatavissa (viitattu 4.12.2021): [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/129703/Maklin\\_Reetta.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/129703/Maklin_Reetta.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Natural Fibre Board. European Panel Federation. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.10.2021): <https://natural-fiberboard.eu/>

Puuinfo Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2021): <https://puuinfo.fi/>

Puuproffa. Pro Puu -keskus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2021): <https://puuproffa.fi/>

Puurakenteiden jäykistysuunnittelun ohje (2006). VTT. 33 s. Saatavissa (viitattu 6.11.2021): [https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2006/jaykistys\\_2006.pdf](https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2006/jaykistys_2006.pdf)

Rakentaja.fi (2014). Kipsilevy – luonnonmukainen rakennusmateriaali kodin eri pintoihin. Artikkelit. Schibsted Suomi Oy. Saatavissa (viitattu 1.11.2021): [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/1392/kip-silevy\\_on\\_luonnonmukainen.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/1392/kip-silevy_on_luonnonmukainen.htm)

RIL 205-1-2017 (2017). Puurakenteiden suunnitteluohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 231 s.

Salmi T. & Pajunen S. (2010). Lujuusoppi. Tampere: Pressus Oy. 459 s.

SFS-EN 1995-1-1 + A1 + A2 + AC (2014). Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 3. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 222 s.

SFS-EN 312 (2011). Particleboards. Specifications. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki. 16 s.

Stora Enso. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2021): <https://www.storaenso.com/en>


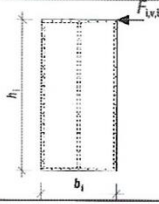
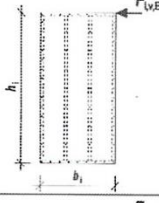
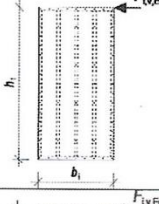
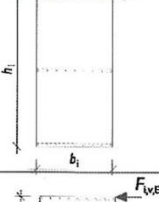
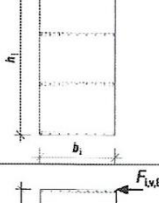
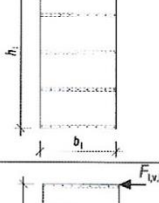
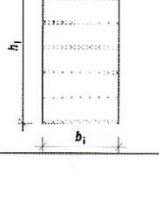
Suomen Tuulileijona Oy. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 22.11.2021): <https://www.tuulileijona.fi/>

UPM Plywood: WISA plywood. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.11.2021): [https://www.wisaplywood.com/fi/?gclid=Cj0KCQiAhMOMBhDhARIsAPVml-Flvkiy50-l9bt5bJmhxyrnECPfi02mmvzgrW4FdK1\\_gpS5sDTTrPtsaAno5EALw\\_wcB](https://www.wisaplywood.com/fi/?gclid=Cj0KCQiAhMOMBhDhARIsAPVml-Flvkiy50-l9bt5bJmhxyrnECPfi02mmvzgrW4FdK1_gpS5sDTTrPtsaAno5EALw_wcB)

Varis R. & Akkanen I. (2017). Puulevyteollisuus. Suomen Puuteollisuusinsinöörien Yhdistys ry. 272 s.

# LIITE A: LEVYN KIINNITYSTAPAKERTOIMET

Lähde: RIL 205-1-2017

Nro	Kiinnitystapa	$\gamma$ -kerroin	$\beta$ -kerroin
1		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)}$
2		$\sqrt{\frac{4}{\left(2+\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{9}{\left(\frac{b}{h}+3\right)^2}}$	$\frac{4}{2\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{6}{1+3\left(\frac{h}{b}\right)}$
3		$\sqrt{\frac{9}{\left(3+2\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{81}{\left(3\frac{b}{h}+10\right)^2}}$	$\frac{6}{3\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 2\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{18}{3+10\left(\frac{h}{b}\right)}$
4		$\sqrt{\frac{36}{\left(6+5\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{144}{\left(4\frac{b}{h}+15\right)^2}}$	$\frac{12}{6\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 5\left(\frac{h}{b}\right)^3} + \frac{24}{4+15\left(\frac{h}{b}\right)}$
5		$\sqrt{4\left(\frac{h}{b}\right)^2 + 1}$	$\frac{2}{\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 4$
6		$\sqrt{\frac{9}{4}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{100}}$	$\frac{9}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + 3$
7		$\sqrt{\frac{36}{25}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{16}{25}}$	$\frac{8}{5\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{5}$
8		$\sqrt{\frac{36}{49}\left(\frac{h}{b}\right)^2 + \frac{81}{196}}$	$\frac{9}{7\left(\frac{h}{b}\right)^2} + \frac{12}{7}$

## LIITE B: TYÖSSÄ ESITETYT KAAVAT

**Kaava (1): leikkausvoimakestävyys 2.3.3 s.12, lähde: RIL 205-1-2017 s.160**

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd,i} \cdot b_i}{\gamma_i \cdot s_i} \quad (1)$$

$F_{f,Rd,i}$	on liittimen leikkausvoimakestävyys
$b_i$	levyn leveys
$\gamma_i$	Liitteen 1 mukainen kiinnitystapakerroin
$s_i$	levyn liitinjako

**Kaava (2): leikkausjäykkyys 2.3.3 s.12, lähde: RIL 205-1-2017 s.159–160**

$$C_{i,v} = \frac{1}{\beta_i \cdot \frac{s_i \cdot h_i^2}{K_{ser,i} \cdot b_i^3} + \frac{h_i}{b_i \cdot G_{mean,i} \cdot t_i}}, \quad (2)$$

$\beta$	Liitteestä 1 saatava kiinnitystapakerroin
$s$	levyn liitinjako
$h$	levyn korkeus
$b$	levyn leveys
$t$	levyn paksuus
$G$	levyn liukumoduuli
$K$	liittimien siirtymäkerroin

**Kaava (3): siirtymä 2.3.3 s.13, lähde: RIL 205-1-2017 s.160**

$$\omega_i = \frac{F_{i,v,Ek}}{C_{i,v}} \quad (3)$$

$C_{i,v}$	Levyn jäykkyys
$F_{i,v,Ek}$	kuormittava vaakavoima

**Kaava (4): taipuman loppuarvo 2.3.3 s.13, lähde: RIL 205-1-2017 s.97**

$$\omega_{net,fin} = \omega_{inst} + \omega_{creep} - \omega_c = \omega_{fin} - \omega_c \quad (4)$$

$\omega_{inst}$	hetkellinen taipuma
$\omega_{creep}$	viruman aiheuttama lisätaipuma
$\omega_c$	esikorotus, mikäli sitä käytetään
$\omega_{fin}$	kokonaistaipuma

**Kaava (5): liukumoduuli 3 s. 17, lähde: Salmi & Pajunen s.57**

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (5)$$

$\tau$	leikkausjännitys
$\gamma$	liukuma



# LIITE C: SPURCE WEATHERGUARD DOP

Metsä Wood Spurce Weatherguard havuvanerilevy, ote suoritusasoilmoituksesta. (Metsä Wood 2021)

## 7. ILMOITETUT SUORITUSTASOT

PERUSOMINAISUUDET		SUORITUSTASO								
Lujuus- ja jäykkyysominaisuudet rakenteelliseen käyttöön:		Hiottu Metsä Wood havuvaneri								
		Nimellispaksuus (mm)								
		9	12	12	15	18	21	24	27	30
		Viilujen lukumäärä								
		3	4	5	5	6	7	8	9	10
Karakteristinen taivutuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	22,9	20,6	25,6	23,1	21,5	20,7	20,5	19,4	18,9
	⊥	3,0	6,5	8,1	11,1	12,3	12,7	12,4	13,4	13,7
Keskimääräinen taivutus-kimmokerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	9178	8237	10235	9237	8615	8277	8205	7752	7558
	⊥	422	1363	1765	2763	3385	3723	3795	4248	4442
Karakteristinen puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	15,5	11,5	21,1	17,6	19,7	16,8	22,3	16,4	17,8
	⊥	8,5	12,5	8,9	12,4	10,3	13,2	7,7	13,6	12,2
Karakteristinen vetolujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	9,3	6,9	12,6	10,6	11,8	10,1	13,4	9,8	10,7
	⊥	5,1	7,5	5,4	7,4	6,2	7,9	4,6	8,2	7,3
Keskimääräinen puristus- ja veto-kimmokerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	6212	4591	8430	7034	7886	6732	8936	6566	7119
	⊥	3388	5009	3570	4966	4114	5268	3064	5434	4881
Karakteristinen paneelileikkauslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	3,5								
	⊥	3,5								
Keskimääräinen paneelileikkauksen liukukerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	350								
	⊥	350								
Karakteristinen tasoleikkaukslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	1,42	0,94	1,58	1,63	1,76	1,41	2,15	1,46	1,50
	⊥	NPD	NPD	0,81	0,87	0,64	1,18	0,39	1,12	0,72
Keskimääräinen tasoleikkauksen liukukerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	45,1	35,5	66,1	50,5	71,4	51,8	142,9	52,1	63,2
	⊥	NPD	NPD	20,9	29,1	24,9	37,4	24,6	41,3	35,2

II = pintaviilun syysuuntaan

⊥ = kohtisuoraan pintaviilun syysuuntaa vastaan

Tämän suoritusasoilmoituksen materiaaliarvoja käytetään EN 1995 (Eurokoodi 5) mukaisissa rakenteellisissa laskelmissa.

# LIITE D: METSÄ WOOD BIRCH DOP

Metsä Wood Birch koivuvaneri, ote suoritustasoilmoituksesta. (Metsä Wood 2021)

## 7. ILMOITETUT SUORITUSTASOT

PERUS-OMINAISUUDET		SUORITUSTASO													
Lujuus- ja jäykkysominaisuudet rakenteelliseen käyttöön:		Hiottu Metsä Wood koivuvaneri													
		Nimellispaksuus (mm)													
		4	6,5	9	12	15	18	21	24	27	30	35	40	45	50
		Viilujen lukumäärä													
		3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	25	29	32	35
Karakteristinen taivutuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	65,9	50,9	45,6	42,9	41,3	40,2	39,4	38,9	38,4	38,1	37,6	37,2	37,0	36,8
	⊥	10,6	29,0	32,1	33,2	33,8	34,1	34,3	34,4	34,5	34,6	34,7	34,7	34,8	34,8
Keskimääräinen taivutus-kimmokerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	16471	12737	11395	10719	10316	10048	9858	9717	9607	9519	9389	9296	9243	9198
	⊥	1029	4763	6105	6781	7184	7452	7642	7783	7893	7981	8111	8204	8257	8302
Karakteristinen puristuslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	31,8	29,3	28,3	27,7	27,4	27,2	27,0	26,9	26,8	26,7	26,6	26,5	25,6	26,4
	⊥	20,2	22,8	23,7	24,3	24,6	24,8	25,0	25,1	25,2	25,3	25,4	25,5	26,4	25,6
Karakteristinen vetolujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	45,8	42,2	40,8	40,0	39,5	39,2	39,0	38,8	38,7	38,5	38,4	38,3	37,0	38,1
	⊥	29,2	32,8	34,2	35,0	35,5	35,8	36,0	36,2	36,3	36,5	36,6	36,8	38,0	36,9
Keskimääräinen puristus- ja veto-kimmokerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	10694	9844	9511	9333	9223	9148	9093	9052	9019	8993	8953	8925	8631	8895
	⊥	6806	7656	7989	8167	8277	8352	8407	8448	8481	8507	8547	8575	8869	8605
Karakteristinen paneelileikkauslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	9,5													
	⊥	9,5													
Keskimääräinen paneelileikkauksen liukukerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	620													
	⊥	620													
Karakteristinen tasoleikkaukslujuus (N/mm <sup>2</sup> )	II	2,77	3,20	2,68	2,78	2,62	2,67	2,59	2,62	2,57	2,59	2,57	2,56	2,55	2,54
	⊥	NPD	1,78	2,35	2,22	2,39	2,34	2,41	2,39	2,43	2,41	2,43	2,44	2,47	2,46
Keskimääräinen tasoleikkauksen liukukerroin (N/mm <sup>2</sup> )	II	169	199	206	207	207	206	206	206	205	205	204	204	192	203
	⊥	NPD	123	155	170	178	183	186	189	190	192	193	195	208	196

II = pintaviilun syysuuntaan

⊥ = kohtisuoraan pintaviilun syysuuntaa vastaan

Tämän suoritustasoilmoituksen materiaaliarvoja käytetään EN 1995 (Eurokoodi 5) mukaisissa rakenteellisissa laskelmissa.

# LIITE E: WISA SPURCE DOP

UPM WISA spruce havuvaneri, ote suoritustasoilmoituksesta. (UPM Plywood 2021)

Nimellispaksuus		9	12	15	18	21	24	27	30	40	50
Viilujen määrä		3	5	5	7	7	9	9	11	13	17
Ilmoitetut suoritustasot		Suoritustaso									
Ominaislujuus, taivutus N/mm <sup>2</sup>	$f_{m \parallel}$	28,7	22,8	23	20,4	18,9	19,4	19,3	18,7	16,8	15,6
	$f_{m \perp}$	3,8	11,4	11,2	13	14,3	13,1	13,8	13,3	14,9	15,9
Ominaislujuus, puristus N/mm <sup>2</sup>	$f_{c \parallel}$	19,3	17,4	17,5	16,7	16	17	15,5	17,2	15,5	14,7
	$f_{c \perp}$	10,7	12,6	12,5	13,3	14	13	14,5	12,8	14,5	15,3
Ominaislujuus veto N/mm <sup>2</sup>	$f_{t \parallel}$	11,6	10,5	10,5	10	9,6	10,2	9,3	10,3	9,3	8,8
	$f_{t \perp}$	6,4	7,5	7,5	8	8,4	7,8	8,7	7,7	8,7	9,2
Keskimääräinen kimmomoduuli, taivutus N/mm <sup>2</sup>	$E_{m \parallel}$	10050	9123	9201	8170	7547	7751	7702	7479	6723	6227
	$E_{m \perp}$	539	2876	2799	3830	4453	4249	4298	4521	5277	5773
Keskimääräinen kimmomoduuli, veto ja puristus N/mm <sup>2</sup>	$E_{t,c \parallel}$	7733	6968	7013	6682	6408	6800	6182	6868	6211	5880
	$E_{t,c \perp}$	4267	5032	4987	5318	5592	5200	5818	5132	5789	6120
Ominaislujuus, paneelleikkaus N/mm <sup>2</sup>	$f_{v \parallel}$	3,5	3,5		3,5						
	$f_{v \perp}$	3,5	3,5		3,5						
Ominaislujuus, tasoleikkaus N/mm <sup>2</sup>	$f_r \parallel$	1	1		1						
	$f_r \perp$	NPD	0,6		0,8						
Keskimääräinen liukumoduuli, paneelleikkaus N/mm <sup>2</sup>	$G_{v \parallel}$	350	350		350						
	$G_{v \perp}$	350	350		350						
Keskimääräinen liukumoduuli, tasoleikkaus N/mm <sup>2</sup>	$G_r \parallel$	45	50		50						
	$G_r \perp$	NPD	30		40						
Pistekuormitetun rakenteen lujuus ja jäykkyys		NPD									
Iskunkestävyys rakenteissa		NPD									
$k_{mod}$ ja $k_{def}$ arvot EN 1995-1-1 mukaisesti.											

Yhdenmukaistettu standardi EN 13986:2004+A1:2015

Edellä yksilöidyn tuotteen suoritustaso on ilmoitettujen suoritustasojen joukon mukainen. Tämä suoritustasoilmoitus on asetuksen (EU) N:o 305/2011 mukaisesti annettu edellä ilmoitetun valmistajan yksinomaisella vastuulla.

# LIITE F: WISA BIRCH DOP

UPM WISA birch koivuvaneri, ote suoritusasoilmoituksesta. (UPM Plywood 2021)

Nominal thickness		6,5	9	12	15	18	21	24	27	30	32	35	40	45	50
Number of plies		5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	29	33	37
Essential characteristics															
Characteristic bending strength N/mm <sup>2</sup>	$f_{m\parallel}$	44,6	46,4	42,9	41,3	40,2	39,4	38,9	38,4	38,1	37,8	37,6	37,2	36,9	36,7
	$f_{m\perp}$	18,5	27,4	33,2	33,8	34,1	34,3	34,4	34,5	34,6	34,6	34,7	34,7	34,8	34,8
Characteristic compression strength N/mm <sup>2</sup>	$f_{c\parallel}$	29,3	28,3	27,7	27,4	27,2	27,0	26,9	26,8	26,7	26,7	26,6	26,5	26,5	26,4
	$f_{c\perp}$	22,8	23,7	24,3	24,6	24,8	25,0	25,1	25,2	25,3	25,3	25,4	25,5	25,5	25,6
Characteristic tension strength N/mm <sup>2</sup>	$f_{t\parallel}$	42,2	40,8	40,0	39,5	39,2	39,0	38,8	38,7	38,5	38,4	38,4	38,3	38,2	38,1
	$f_{t\perp}$	32,8	34,2	35,0	35,5	35,8	36,0	36,2	36,3	36,5	36,6	36,6	36,8	36,8	36,9
Mean MOE in bending N/mm <sup>2</sup>	$E_{m\parallel}$	11400	10850	10719	10316	10048	9858	9717	9607	9519	9448	9389	9296	9227	9173
	$E_{m\perp}$	4270	6060	6781	7184	7452	7642	7783	7893	7981	8052	8111	8204	8273	8327
Mean MOE in compression and tension N/mm <sup>2</sup>	$E_{t,c\parallel}$	9844	9511	9333	9223	9148	9093	9052	9019	8993	8972	8953	8925	8904	8887
	$E_{t,c\perp}$	7656	7989	8167	8277	8352	8407	8448	8481	8507	8528	8547	8575	8596	8613
Char. panel shear N/mm <sup>2</sup>	$f_{v\parallel}$	9,5	9,5	9,5											
	$f_{v\perp}$	9,5	9,5	9,5											
Char. Planar shear N/mm <sup>2</sup>	$f_{r\parallel}$	3,2	2,6	2,6											
	$f_{r\perp}$	1,8	2,4	2,4											
Mean MOR in panel shear N/mm <sup>2</sup>	$G_{v\parallel}$	620	620	620											
	$G_{v\perp}$	620	620	620											
Mean MOR in planar shear N/mm <sup>2</sup>	$G_{r\parallel}$	170	205	205											
	$G_{r\perp}$	120	160	180											
Strength and stiffness under point load	NPD														
Impact resistance	NPD														
$k_{mod}$ and $k_{def}$ values according to EN 1995-1-1															

Harmonised standard EN 13986:2004+A1:2015

The performance of the product identified above is in conformity with the set of declared performances. This declaration of performance is issued, in accordance with Regulation (EU) No 305/2011, under the sole responsibility of the manufacturer identified above.

# LIITE G: KOSKISTANDARD DOP

Koskisen KoskiStandard koivuvaneri, ote suoritustasoilmoituksesta. (Koskisen Oy 2021)

## 7. Ilmoitetut suoritustasot

Yhdenmukaistettu standardi EN 13986:2004 + A1:2015

KOSKISEN KOIVUVANERI																			
Nimellinen paksuus	Vilujen lukumäärä	Ominaisuuslujuus						Keskimääräinen kimmomoduuli				Ominaislujuus				Keskimääräinen liukumoduuli			
		Taivutus N/mm <sup>2</sup>		Puristus N/mm <sup>2</sup>		Veto N/mm <sup>2</sup>		Taivutus N/mm <sup>2</sup>		Veto ja puristus N/mm <sup>2</sup>		Paneeli- leikkaus N/mm <sup>2</sup>		Taso- leikkaus N/mm <sup>2</sup>		Paneeli- leikkaus N/mm <sup>2</sup>		Taso- leikkaus N/mm <sup>2</sup>	
		f <sub>m  </sub>	f <sub>m⊥</sub>	f <sub>c  </sub>	f <sub>c⊥</sub>	f <sub>t  </sub>	f <sub>t⊥</sub>	E <sub>m  </sub>	E <sub>m⊥</sub>	E <sub>t,c  </sub>	E <sub>t,c⊥</sub>	f <sub>v  </sub>	f <sub>v⊥</sub>	f <sub>r  </sub>	f <sub>r⊥</sub>	G <sub>v  </sub>	G <sub>v⊥</sub>	G <sub>r  </sub>	G <sub>r⊥</sub>
4	3	65.9	10.6	31.8	20.2	45.8	29.2	16471	1029	10694	6809	9.5	9.5	2.8	NPD	620	620	169	NPD
6,5	5	50.9	29.0	29.3	22.8	42.2	32.8	12737	4763	9844	7656			3.2	1.8			169	123
9	7	45.6	32.1	28.3	23.7	40.8	34.2	11395	6105	9511	7989			2.7	2.4			206	155
12	9	42.9	33.2	27.7	24.3	40.0	35.0	10719	6781	9333	8167			2.8	2.2			207	170
15	11	41.3	33.8	27.4	24.6	39.5	35.5	10316	7184	9223	8277			2.6	2.4			207	178
18	13	40.2	34.1	27.2	24.8	39.2	35.8	10048	7452	9147	8352			2.7	2.3			206	183
21	15	39.4	34.3	27.0	25.0	39.0	36.0	9858	7642	9093	8407			2.6	2.4			206	186
24	17	38.9	34.4	26.9	25.1	38.8	36.2	9717	7783	9052	8448			2.6	2.4			206	189
27	19	38.4	34.5	26.8	25.2	38.7	36.3	9607	7893	9019	8481			2.6	2.4			205	190
30	21	38.1	34.6	26.7	25.3	38.5	36.5	9519	7981	8993	8507			2.6	2.4			205	192
35	25	37.6	34.7	26.6	25.4	38.4	36.6	9389	8111	8953	8547			2.6	2.4			204	193
40	29	37.2	34.7	26.5	25.5	38.3	36.8	9296	8204	8925	8575			2.6	2.4			204	195
45	33	37.0	34.7	26.5	25.5	38.2	36.8	9259	8241	8914	8586			2.6	2.5			203	195
50	37	36.8	34.8	26.4	25.6	38.1	36.9	9198	8302	8895	8605			2.5	2.5			203	196

# LIITE H: KERTO LVL Q-PANEL DOP

Metsä Wood LVL Q-panel LVL-levy, ote suoritusasoilmoituksesta. (Metsä Wood 2021)

## 7. ILMOITETUT SUORITUSTASOT

PERUSOMINAISUUDET	SYMBOLI	SUORITUSTASO	
		KERTO-Q PAKSUUS 21 - 24 mm	KERTO-Q PAKSUUS 27 - 75 mm
<b>Kimmo- ja liukumoduuli</b>		N/mm <sup>2</sup> tai kg/m <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup> tai kg/m <sup>3</sup>
<u>Kimmoduuli, keskiarvo</u>			
Syiden suuntaan, pitkittäin	$E_{0,mean}$	10000	10500
Syiden suuntaan, poikittain	$E_{90,mean}$	1200 <sup>1</sup>	2000
Syitä vastaan kohtisuoraan, syrjä	$E_{90,edge,mean}$	2400	2400
Syitä vastaan kohtisuoraan, lape	$E_{90,flat,mean}$	NPD	NPD
<u>Kimmoduuli, ominaisarvo</u>			
Syiden suuntaan, pitkittäin	$E_{0,k}$	8300	8800
Syiden suuntaan, poikittain	$E_{90,k}$	1000 <sup>1</sup>	1700
Syitä vastaan kohtisuoraan, syrjä	$E_{90,edge,k}$	2000	2000
Syitä vastaan kohtisuoraan, lape	$E_{90,flat,k}$	NPD	NPD
<u>Liukumuoduuli, keskiarvo</u>			
Syrjä	$G_{0,edge,mean}$	600	600
Lape, syiden suuntaan	$G_{0,flat,mean}$	80	120
Lape, syitä vastaan kohtisuoraan	$G_{90,flat,mean}$	22	22
<u>Liukumuoduuli, ominaisarvo</u>			
Syrjä	$G_{0,edge,k}$	400	400
Lape, syiden suuntaan	$G_{0,flat,k}$	60	100
Lape, syitä vastaan kohtisuoraan	$G_{90,flat,k}$	16	16
<b>Lujuus, ominaisarvot</b>			
<u>Taiyutuslujuus</u>			
Syrjä (korkeus 300mm)	$f_{m,0,edge,k}$	28.0	32.0
Kokovaikutuskerroin	$s$	0.12	0.12
Lape, syiden suuntaan	$f_{m,0,flat,k}$	32.0	36.0
Lape, syitä vastaan kohtisuoraan	$f_{m,90,flat,k}$	7.0 <sup>1</sup>	8.0
<u>Puristuslujuus</u>			
Syiden suuntaan	$f_{c,0,k}$	19.0 <sup>2</sup>	26.0 <sup>2</sup>
Syitä vastaan kohtisuoraan, syrjä	$f_{c,90,edge,k}$	9.0	9.0
Syitä vastaan kohtisuoraan, lape (kuusi)	$f_{c,90,flat,k}$	2.2	2.2
Syitä vastaan kohtisuoraan, lape (mänty)	$f_{c,90,flat,k}$	3.3	3.3
<u>Vetolujuus</u>			
Syiden suuntaan (pituus 3000mm)	$f_{t,0,k}$	19.0	26.0
Syitä vastaan kohtisuoraan, syrjä	$f_{t,90,edge,k}$	6.0	6.0
Syitä vastaan kohtisuoraan, lape	$f_{t,90,flat,k}$	NPD	NPD
<u>Leikkauslujuus</u>			
Syrjä	$f_{v,0,edge,k}$	4.5	4.5
Lape, syiden suuntaan	$f_{v,0,flat,k}$	1.3	1.3
Lape, syitä vastaan kohtisuoraan	$f_{v,90,flat,k}$	0.6	0.6
<b>Tiheys</b>			
Tiheys, keskiarvo	$\rho_{mean}$	510	510
Tiheys, ominaisarvo	$\rho_k$	480	480

<sup>1</sup> Rakenteelle I-III-I arvoja 14.0, 2900 ja 3300 voidaan käyttää arvojen 7.0, 1000 and 1200 sijasta.

<sup>2</sup> Käyttöluokassa 2 suositellaan arvojen 19.0 N/mm<sup>2</sup> ja 26.0 N/mm<sup>2</sup> jakamista luvulla 1.2.

Tämän suoritusasoilmoituksen materiaaliarvoja käytetään EN 1995 (Eurokoodi 5) mukaisissa rakenteellisissa laskelmissa.

# LIITE I: STORA ENSO LVL X DOP

Stora Enso LVL-levy X-laatu, ote suoritustasoilmoituksesta. (Stora Enso 2021)

## 7. Ilmoitetut suoritustasot

Suoritustasot on ilmoitettu harmonisoiden Eurooppalaisen Standardin EN 14374:2004 Timber Structures – Structural laminated veneer lumber – Requirements mukaisesti, rakenteelliselle LVL-tuotteelle.

Perusominaisuudet	Suoritustaso	Yhdenmukaistettu tekninen eritelmä
<b>Paksuus</b>	24 – 75 mm	EN 14374:2004
<b>Lujuus, ominaisarvot</b>		
Taivutuslujuus syrjä, syiden suuntaan kokovaikutuskerroin lape, syiden suuntaan lape, kohtisuoraan syitä vastaan	32 N/mm <sup>2</sup> 0,12 36 N/mm <sup>2</sup> 8 N/mm <sup>2</sup>	
Vetolujuus, syiden suuntaan kohtisuoraan syitä vastaan, syrjä	26 N/mm <sup>2</sup> 6 N/mm <sup>2</sup>	
Puristuslujuus, syiden suuntaan kohtisuoraan syitä vastaan, syrjä kohtisuoraan syitä vastaan, syrjä	26 N/mm <sup>2</sup> 9 N/mm <sup>2</sup> 2,2 N/mm <sup>2</sup>	
Leikkauslujuus, syrjä, syiden suuntaan lape, syiden suuntaan lape, syitä vastaan kohtisuoraan	4,5 N/mm <sup>2</sup> 1,3 N/mm <sup>2</sup> 0,6 N/mm <sup>2</sup>	
Kimmomoduuli, syiden suuntaan, keskiarvo syiden suuntaan, 5 % fraktiili kohtisuoraan syitä vastaan, syrjä, keskiarvo kohtisuoraan syitä vastaan, syrjä, 5 % fraktiili kohtisuoraan syitä vastaan, lape, keskiarvo kohtisuoraan syitä vastaan, lape 5 % fraktiili	10 500 N/mm <sup>2</sup> 8 000 N/mm <sup>2</sup> 2 400 N/mm <sup>2</sup> 2 000 N/mm <sup>2</sup> 2 000 N/mm <sup>2</sup> 1 700 N/mm <sup>2</sup>	
Liukumoduuli, syrjä, keskiarvo syrjä, 5 % fraktiili lape, keskiarvo lape 5 % fraktiili	600 N/mm <sup>2</sup> 400 N/mm <sup>2</sup> 120 N/mm <sup>2</sup> 100 N/mm <sup>2</sup>	
<b>Tiheys</b>		
Keskiarvo 5 % - fraktiili	510 kg/m <sup>3</sup> 480 kg/m <sup>3</sup>	
<b>Palokäyttäytyminen</b>	D-s1, d0	
<b>Formaldehydiemissio</b>	E1	
<b>Biologinen kestävyys</b>	4	

# LIITE J: EGGER OSB 3 & 4 DOP

EGGER OSB 3 levy, ote suoritustasoilmoituksesta. (EGGER 2021)

Tärkeimmät ominaisuudet		Yksikkö	Levyn paksuus [mm]					Yhdenmukaistetut tekniset vaatimukset
			8 - 10	> 10 - <18	18 - 25	> 25 - 32	>30 - 40	
Ominaisvoimakkuus								
Taivutus $f_m$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	18.0	16.4	14.8	NPD	NPD	EN 13986:2004+A1:2015
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	9.0	8.2	7.4	NPD	NPD	
Veto $f_t$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	9.9	9.4	9.0	NPD	NPD	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	7.2	7.0	6.8	NPD	NPD	
Paine $f_c$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	15.9	15.4	14.8	NPD	NPD	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	12.9	12.7	12.4	NPD	NPD	
Paine $f_{c,90}$ $\perp$ levytasoon nähden		N/mm <sup>2</sup>	6.8	6.8	6.8	NPD	NPD	
Leikkaus $f_v$ $\perp$ levytasoon nähden		N/mm <sup>2</sup>	1.0	1.0	1.0	NPD	NPD	
Leikkaus $f_r$ levytasossa		N/mm <sup>2</sup>						
Laskennalliset arvot jäykkyydelle								
Taivutus $E_m$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	1980	1980	1980	NPD	NPD	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	3800	3800	3800	NPD	NPD	
Veto $E_t$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	3000	3000	3000	NPD	NPD	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	3800	3800	3800	NPD	NPD	
Paine $E_c$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	3000	3000	3000	NPD	NPD	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	1080	1080	1080	NPD	NPD	
Leikkaus $G_v$ $\perp$ levytasoon nähden	0° - pääakseli / 90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	50	50	50	NPD	NPD	
	Leikkaus $G_r$ levytasossa	N/mm <sup>2</sup>	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	
Lävistyslujuus (hard body impact)		N/mm <sup>2</sup>	NPD	18.0	16.4	14.8	NPD	
Aukonreunanlujuus		N/mm <sup>2</sup>	EN 1995-1-1:n mukaan, jakso 8					
Levyjäykkyys		N/mm <sup>2</sup>	EN 1995-1-1:n mukaan					
Käyttöön soveltuvuus seinä EN 12871	Pehmeä isku EN 596	-	hyväksytty					
	Levyn paksuus	mm	t $\geq$ 9 mm					
Käyttöön soveltuvuus lattia mukaan EN 12871 (pääakseli, 0°)	EGGER Ergo Board DIN 4103-1		$\geq$ 12 mm Einbaufeldklasse 1 und 2					
	Kuormitusluokka	-		A	A			
Käyttöön soveltuvuus katto EN 12871 (pääakseli, 0°)	Levyn paksuus	mm		$\geq$ 15	$\geq$ 18			
	Tukiväli	mm		$\leq$ 410	$\leq$ 625			
Käyttöön soveltuvuus katto EN 12871 (pääakseli, 0°)	Kuormitusluokka	-		H	H			
	Levyn paksuus	mm		$\geq$ 12	$\geq$ 18			
Käyttöön soveltuvuus katto EN 12871 (pääakseli, 0°)	Tukiväli	mm		$\leq$ 625	$\leq$ 833			

EGGER OSB 4 levy, ote suoritustasoilmoituksesta. (EGGER 2021)

Tärkeimmät ominaisuudet		Yksikkö	Levyn paksuus [mm]					Yhdenmukaistetut tekniset vaatimukset
			8 - 10	> 10 - <18	18 - 25	> 25 - 30	>30 - 40	
Ominaisvoimakkuus								
Taivutus $f_m$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	24,5	25	25	25	20	EN 13986:2004+A1:2015
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	13	15	15	15	15	
Taivutus $f_{m,0,k}$ Levyn lataaminen	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	NPD	24	22	20	18	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	NPD	17	17	17	15	
Veto $f_t$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	11,9	12	12	12	10	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	8,5	10	10	10	10	
Paine $f_c$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	18,1	19	19	17	15	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	14,3	16	16	15	14	
Paine $f_{c,90}$ $\perp$ levytasoon nähden		N/mm <sup>2</sup>	NPD	10	10	10	10	
Leikkaus $f_v$ $\perp$ levytasoon nähden		N/mm <sup>2</sup>	6,9	9	9	8	6	
Leikkaus $f_r$ levytasossa		N/mm <sup>2</sup>	1,1	1,6	1,6	1,6	1,6	
Laskennalliset arvot jäykkyydelle								
Taivutus $E_m$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	6780	7000	7000	7000	6000	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	2680	3000	3000	3000	3000	
Taivutus $E_m$ Levyn lataaminen	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	NPD	4200	4200	4000	4000	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	NPD	3200	3000	3000	3000	
Veto $E_t$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	4300	4300	4300	4300	4000	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	3200	3200	3200	3200	3200	
Paine $E_c$	0° - pääakseli	N/mm <sup>2</sup>	4300	4300	4300	4300	4000	
	90° - sivuakseli	N/mm <sup>2</sup>	3200	3200	3200	3200	3200	
Leikkaus $G_v$ $\perp$ levytasoon nähden		N/mm <sup>2</sup>	1090	1500	1500	1300	1200	
Leikkaus $G_r$ levytasossa		N/mm <sup>2</sup>	60	160	160	160	160	
Aukonreunanlujuus		N/mm <sup>2</sup>	EN 1995-1-1:n mukaan, jakso 8					
Levyjäykkyys		N/mm <sup>2</sup>	EN 1995-1-1:n mukaan					
Käyttöön soveltuvuus seinä EN 12871	Pehmeä isku (soft body impact) EN 596	-	hyväksytty					
	Levyn paksuus	mm	t $\geq$ 9 mm					
Käyttöön soveltuvuus lattia EN 12871 (pääakseli, 0°)	Kuormitusluokka	-		A	A	D/C3		
	Levyn paksuus	mm		$\geq$ 15	$\geq$ 18	30/30		
Käyttöön soveltuvuus katto EN 12871 (pääakseli, 0°)	Tukiväli	mm		$\leq$ 410	$\leq$ 625	$\leq$ 600/ $\leq$ 800		
	Kuormitusluokka	-		H	H			
Käyttöön soveltuvuus katto EN 12871 (pääakseli, 0°)	Levyn paksuus	mm		$\geq$ 12	$\geq$ 18			
	Tukiväli	mm		$\leq$ 625	$\leq$ 833			



## LIITE K: KNAUF KXT 9 & GYPROC GTS 9 DOP

Knauf-sertifikaatti rakenteiden jäykistys, ote suoritustasoilmoituksesta. (Knauf Oy 2021)

Levy	Käyttö	Paksuus t (mm)	Neliöpaino (kg/m <sup>2</sup> )	Liukumoduuli G (N/mm <sup>2</sup> )
KN 13	Normaali kipsilevy	12,5	8,2 -0,2/+0,4	150
KEK 13	Erikoiskova kipsilevy	12,5	10,2 -0,2/+0,4	200
KXT 9	Tuulensuojakipsilevy	9,5	7,0 -0,2/+0,4	210
KXT 13	Tuulensuojakipsilevy	12,5	10,2 -0,2/+0,4	130
KPS 15	Palokipsilevy	15,5	13,3 -0,4/+0,4	150

Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy tuotesertifikaatti, ote suoritustasoilmoituksesta. (Gyproc 2021)

Kiinnike	Levy- tyyppi	Käyttö- luokka	Ominais- leikkaus- lujuus [N]	Siirtymä- kerroin [N/mm]	Kimmo- moduuli pituus- suunta [N/mm <sup>2</sup> ]	Kimmo- moduuli poikki- suunta [N/mm <sup>2</sup> ]	Liuku- moduuli [N/mm <sup>2</sup> ]	Ominais- leikkaus- lujuus [N/mm <sup>2</sup> ]
QU 32	GTS 9	2	450	1300	2400	1700	600	1,36
QU 32	GTS 9	3	300	-	2400	1700	520	1,17
TC 25x35 NK-R	GR 13 <sup>1)</sup> / GL 15	1	450	800	3500	2600	690	1,78
Duo-Fast 2,5x35	GR 13 <sup>1)</sup> / GL 15	1	450	800	3500	2600	690	1,78
Senco BG 16 2,5x35	GR 13 <sup>1)</sup> / GL 15	1	450	800	3500	2600	690	1,78
(HJ15, DPN)	GTS 9	2	400	800	2400	1700	600	1,36
(HJ15, DPN)	GTS 9	3	250	-	2400	1700	520	1,17
BTC (NKS)	GR 13 <sup>1)</sup> / GL 15	1	500	900	3500	2600	690	1,78

<sup>1)</sup> Testattu GEK 13 11,5 kg/m<sup>2</sup> -levyllä. GR 13 on >11,5 kg/m<sup>2</sup> (11,9 kg/m<sup>2</sup> nimellinen) ja GRI /GRIE ovat 11,5kg/m<sup>2</sup>