

Samu Löppönen

# Riparakenteen käyttö seinäelementeissä

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Teollisen puurakentamisen koulutusohjelma

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Samu Löppönen
Työn nimi	Riparakenteen käyttö seinäelementeissä
Toimeksiantaja	Punkaharjun Puutaito Oy
Vuosi	2024
Sivut	52 sivua, 2 liitettä
Työn ohjaaja(t)	Petteri Härkönen, Marko Voutilainen

## TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä perehdytään rakenneliimattuun riparakenteeseen ja sen käyttömahdollisuuksiin seinäelementeissä. Kyseistä rakennetta on käytetty aiemmin pääasiassa lattia- ja kattoelementeissä, mutta myös pienissä määrin seinärakenteissa.

Riparakenteella tarkoitetaan rakennetta, joka koostuu seinän sisäpuolisesta pohjalevystä ja siihen kiinnitetyistä runkotolpista eli rivoista. Pohjalevynä voidaan käyttää eri paksuista massiivipuulevyä kohteen mukaan. Ripoina käytetään pääasiassa LVL-tuotteita.

Työssä käydään läpi rakenneliimatun ripaseinäelementin ominaisuuksia, valmistusprosessi, käyttökohteita sekä tuotannon ja rakennusmääräysten asettamat rajoitteet elementtien valmistukseen sekä käyttöön.

Työn tuloksena havaittiin, että riparakennetta on mahdollista käyttää kantavana ja ei-kantavana seinärakenteena. Elementtejä pystytään valmistamaan niin vaaka- kuin pystyelementteinä kohteen mukaan. Teoriassa muovinen höyrynsulku voidaan korvata riittävän paksulla massiivipuulevyllä, jolloin rakenteesta saadaan täysin muoviton. Rakennusfysikaalinen toiminta on tarkoitus varmentaa käytännön testauksella lähitulevaisuudessa. Aiheeseen liittyen on tekeillä rakenteen lujuuteen perehtyviä opinnäytetöitä, joita tullaan jatkossa hyödyntämään rakenteiden mitoituksessa.

**Asiasanat:** puurakentaminen, uudisrakentaminen, ripaseinäelementti

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Samu Löppönen
Thesis title	Use of structurally glued ribbed plate in wall elements
Commissioned by	Punkaharjun Puutaito Oy
Time	2024
Pages	52 pages, 2 appendices
Supervisor	Petteri Härkönen, Marko Voutilainen

## ABSTRACT

This thesis examines using structurally glued ribbed plate structure in wall elements. The structure in question has been used earlier mostly in roof and floor elements, but to some extent also in wall elements.

Ribbed plate structure means a structure which consists of an inner wallboard and a timber frame which is structurally glued to the wallboard. The material in the wallboard can be spruce plywood or LVL plate in different thicknesses depending on the object. Timber frame usually consists of LVL ribs.

This study explores the characteristics of structurally glued ribbed glue plate structure, its potential applications, and restrictions imposed by production and building regulations.

The results of the study indicate that it is possible to use structurally glued ribbed plate both in load-bearing and non-bearing wall structures. It is also possible to manufacture elements in horizontal or vertical direction depending on the object. In theory, vapour-proof plastic can be replaced with spruce plywood or LVL plate as inner wallboard. Functionality from a structural physics point of view will be tested in future. The rigidity of this structure is currently being investigated in two forthcoming thesis studies, which will be used to help structural dimensioning in the future.

**Keywords:** wood construction, new construction, ribbed plate wall element

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RIPARAKENNE SEINÄELEMENTEISSÄ.....	7
2.1	Rakennusfysikaalinen toiminta .....	11
2.1.1	Kosteuden siirtyminen seinärakenteessa.....	11
2.1.2	Pohjalevy höyrynsulun korvaajana .....	13
2.2	Palomitoitus .....	16
2.2.1	Yleiset palomääräykset.....	16
2.2.2	Suojaverhous palotilanteessa .....	20
2.2.3	Puurakenteen kantavuuden mitoitus palotilanteessa .....	21
2.2.4	Ripaseinärakenteen palotekninen toiminta .....	22
2.2.5	Ripaseinärakenteen polttokokeet.....	23
3	RIPASEINÄELEMENTEISSÄ KÄYTETYT MATERIAALIT .....	27
3.1	Puumateriaalit.....	27
3.2	Lämmöneristeet .....	32
3.3	Tuulensuojaeristeet .....	35
3.4	Pintaverhousvaihtoehdot .....	36
3.5	Rakennetyypit.....	38
4	RIPASEINÄELEMENTTIEN TYYPIT JA VALMISTUS.....	39
4.1	Elementtityypit .....	39
4.2	Elementin valmistus.....	41
5	RIPASEINÄELEMENTTIEN KÄYTTÖKOhteita tulevaisuudessa.....	49
6	TULOKSET JA POHDINTA .....	50
	LÄHTEET.....	52

## LIITTEET

Liite 1. Kuvaluettelo

Liite 2. Taulukkoluetelo

## TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

- LVL Viilupuu (engl. laminated veneer lumber, LVL) on sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote.
- CLT Monikerroslevy (engl. Cross Laminated Timber, CLT) koostuu niemensä mukaisesti ristiinliimatuista lautakerroksista. Kerroksia on useita, tavallisimmin kolme tai viisi.
- FEM Elementtimenetelmä (engl. finite element method, FEM) tarkoittaa tietokoneohjelmistolla toteutettua rakenneanalyysia.
- FRAME Tampereen teknillisen yliopiston suorittama rakennusfysiikan projekti Future Envelope Assemblies and HVAC Solutions FRAME (2009–2012)

# 1 JOHDANTO

Kiinnostus teollista puurakentamista kohtaan kasvaa tasaisesti niin Suomessa kuin ulkomailla. Vihreä siirtymä on laajasti puheenaiheena yhteiskunnassamme. Yksi mahdollisuus siihen on puurakentaminen, jolle löytyy maailmanlaajuiset kasvavat markkinat.

Suomalaisen puurakentamisen nykytilaa, haasteita ja mahdollisuuksia on tarkasteltu ympäristöministeriön Puurakentamisen toimenpideohjelmassa 2016–2023. Tehdyistä selvityksistä ja arvioinneista on saatu kuva, että puurakentamisen tuottavuutta olisi helppo parantaa teollisen puurakentamisen ratkaisuilla. Haasteita matkaan tuovat kuitenkin rakentamisen toimijoiden muutoshaluttomuus. (Heino 2022.)

”Uusiutuva puuraaka-aine on ilmaston kannalta yksi parhaista vaihtoehtoista, sillä sen käytöstä aiheutuvat ympäristöpäästöt ja energiankulutus ovat pienet verrattuna esimerkiksi tiileen, betoniin, alumiiniin tai teräkseen.” (Puurakentaminen on ratkaisu).

Puuelementtirakentaminen on painottunut perinteisiin rankarunkoelementteihin ja CLT-elementteihin. Rankarunkoelementit valmistetaan pääosin höyrynsulullisena rakenteena nykyvaatimusten mukaisesti, koska se on helpoin tapa varmistaa, ettei sisäilmankosteus tiivisty haitallisessa määrin rakenteen sisään ja aiheuta sisäilmaongelmia. CLT-elementtejä voidaan käyttää sellaisenaan tai lisätä ulkopuolinen eristekerros parantamaan energiatehokkuutta. Ulkoverhous voidaan myös toteuttaa erillisenä kerroksena, jolloin CLT-pinta on näkyvillä vain sisäpuolella ja saavutetaan parempi suojaus sääolosuhteita vastaan.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakenneliimatun ripalaattaseinäelementin ominaisuuksia, valmistusmenetelmiä ja mahdollisia käyttökohteita puurakentamisessa. Rakennerratkaisuina pyritään käyttämään muovittomia eli ts. höyrynsuluttomia rakenteita. Ihanteellisia eristemateriaaleja ripaseinärakenteeseen olisivat ns. hygroskooppiset eristemateriaalit, mutta nykyiset palomääräykset rajoittavat niiden käyttöä merkittävästi.

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä olemassa oleviin tietoihin rakenneliimattujen ripalaattaseinäelementtien ominaisuuksiin, valmistukseen ja käyttökohteisiin puurakentamisessa. Tietojen pohjalta selvitetään mitkä asiat vaativat vielä tarkastelua, jotta pystytään valmistamaan toimivia, turvallisia ja terveellisiä seinärakenteita.

Työssä käsitellään rakenteen mitta-, lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia sekä palomitoitusta vain teorian tasolla, koska työhön ei sisälly minkään tietyn rakenteen mitoittamista. Rakenteen mitoitukselta ja testaukselta on tekeillä eriliset opinnäytetyöt, jotka täydentävät tämän työn tarjoamaa tietopohjaa.

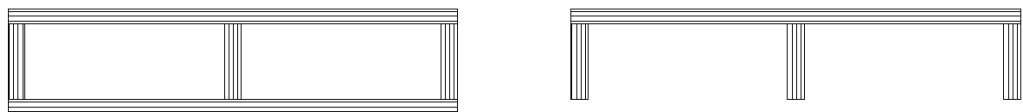
## 2 RIPARAKENNE SEINÄELEMENTEISSÄ

Luvussa 2 tarkastellaan riparakenteen koostumusta, mitoitusperiaatteita ja rakennusfysikaalista toimintaa. Rakennusfysikaalisessa osiossa esitetään myös riparakenteen pohjalevyn käyttö mahdollisena höyrynsulun korvaajana.

### Riparakenne

Riparakenne koostuu yhtenäisestä pohjalevystä ja siihen kiinnitetyistä LVL-riivoista. Rakenne voi olla malliltaan ns. kotelolaatta, jossa on levy molemmissa pinnoissa tai avokotelolaatta, jossa levy on vain toisella puolen rakennetta. Riivat voidaan kiinnittää mekaanisesti, rakenteellisesti liimaamalla tai molempia kiinnitystapoja hyödyntäen.

Ripalaattoja käytetään nykyisin puuelementtirakentamisessa pääasiassa katto- ja lattiaelementeissä. Kuvassa 1 on esitetty riparakenteinen kotelo- ja avokotelolaatta.



Kuva 1. Kotelo- ja avokotelolaatta

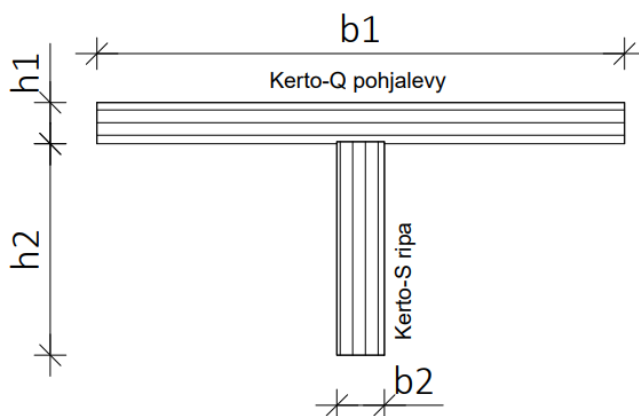
## Riparakenteisen seinäelementin mitoitus

Seinäelementteihin kohdistuu pystykuormia yläpuolisista rakenteista, mahdollisista välipohjista ja hyöty- sekä lumikuormasta, mikäli kyseessä on kantava seinärakenne. Kuorielementit kantavat vain yläpuolisten elementtien painon. Vaakavoimia seinille aiheutuu tuulikuormasta ja rakenteiden epäkeskisyydestä aiheutuvasta lisävaakavoimasta.

Ripaseinäelementtien jäykkyysominaisuuksia on mahdollista tarkastella käsin laskennalla tai FEM-ohjelmistoja käyttäen. Riparakenteen lujuus- ja jäykkyysominaisuuksia tarkastellaan pohjalevyn ja ripojen muodostamien T-poikkileikkausten avulla.

Liitostyyppi vaikuttaa merkittävästi rakenteen kestävyteen ja ominaisuuksiin. Rakenneliimattua liitosta tarkastellaan laskennassa jäykkänä liitoksena, kun taas mekaanisilla kiinnikkeillä tehty liitos toimii joustavana liitoksena. Mekaanisilla kiinnikkeillä toteutetun liitoksen heikkous ovat liitossiirtymät, jotka vaikuttavat negatiivisesti rakenteen jäykkyysominaisuuksiin.

Kuvassa 2 on esitetty pohjalevyn ja rivan muodostama T-poikkileikkaus, jonka perusteella riparakenteita mitoitetaan.



Kuva 2. T-poikkileikkaus

Rakenteen mitoituksessa on oleellista määrittää T-pöikkileikkauksen tehollinen leveys, joka saadaan kaavasta (1). (RIL 205-1: 2017, 143)

$$b_{ef} = \min (b_{c,ef} + b_w) \quad (1)$$

jossa	$b_{ef}$	rakenteen tehollinen leveys	[mm]
	$b_{c,ef}$	laipan toimiva leveys	[mm]
	$b_w$	rivan paksuus	[mm]

Laipan toimivan leveyden enimmäisarvo määräytyy materiaalin mukaan leikkauksen ja lommahduksen suhteen. Toimiva leveys pystytään laskemaan leikkaukselle kaavasta (2) ja lommahdukselle kaavasta (3).

$$b_{c,ef} = (0,1 * h) \quad (2)$$

jossa	$b_{c,ef}$	laipan toimiva leveys	[mm]
	$h$	seinäelementin korkeus	[mm]

$$b_{c,ef} = (20 * h_f) \quad (3)$$

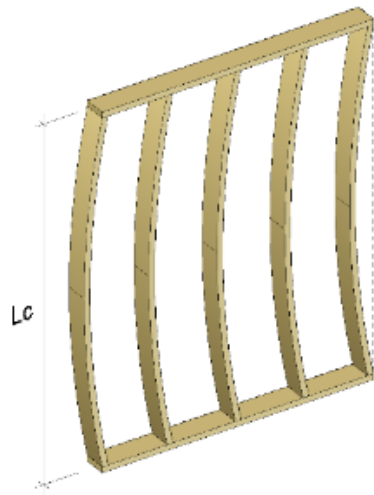
jossa	$b_{c,ef}$	laipan toimiva leveys	[mm]
	$h_f$	pohjalevyn paksuus	[mm]

Seinäelementistä tulee määrittää taivutusjäykkyydet x- ja y-akseleiden suhteen sekä leikkaus- ja nurjahduskestävyys, jotta päästään määrittämään sen kantavuusominaisuuksia.

Rakenteen leikkausvoimakestävyyden ratkaisemiseen käytetään yksinkertaistettua menetelmää, jossa sitä ajatellaan levynä. Rivat osallistuvat levyn jäykkyyteen ja paksuutena käytetään rakenteen tehollista paksuutta.

Riparakenteen heikomman suunnan nurjahdus on estetty pohjalevyllä. Rakenteesta tarvitsee siis tarkastella ainoastaan vahvemman suunnan nurjahdus.

Kuvissa 3 ja 4 on esitetty rakenteen nurjahdussuunnat. Heikomman suunnan nurjahduksessa rakenne pyrkii nurjahtaa seinän suuntaisesti, kun taas vahvemman suunnan nurjahdus tarkoittaa rakenteen muodonmuutosta kohtisuoraan seinälinjaa vasten.



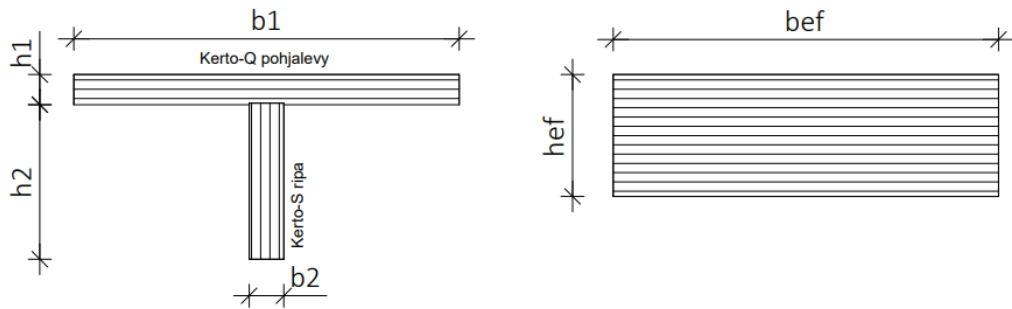
Kuva 3. Seinän heikon suunnan nurjahdus



Kuva 4. Seinän vahvan suunnan nurjahdus

Nurjahduskestävyys pystytään määrittämään käyttämällä puristetun sauvan nurjahduskestävyyden laskentamallia RIL-205-1-2017 mukaisesti. Riparaken-teen nurjahduskestävyys pystytään mitoittamaan käyttäen tehollista poikkileik-kausta sekä rakenteen todellista poikkileikkausta.

Kuvassa 5 on esitetty todellisen ja tehollisen poikkileikkauksen erot.



Kuva 5. Todellinen ja tehollinen poikkileikkaus

Tehollisen poikkileikkauksen paksuus  $h_{ef}$  saadaan kaavasta (4).

$$H_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 * E I_y}{b_{ef} * E_{LVL Q}}} \quad (4)$$

Ripaseinärakennetta on mahdollista analysoida myös FEM-ohjelmistoissa. Haastavia rakenteita mitoittaessa onkin suositeltavaa tehdä laskelmat sekä käsin, että laskentaohjelmistolla, jotta voidaan vertailla saatuja tuloksia ja varmistua rakenteen kestävydestä. (Koskinen, 2021.)

## 2.1 Rakennusfysikaalinen toiminta

### 2.1.1 Kosteuden siirtyminen seinärakenteessa

Kosteus voi siirtyä seinärakenteeseen kolmella tavalla: kapillaarisesti, diffuusiolla tai ilmavirtauksien mukana eli konvektiolla.

Kapillaarinen kosteuden siirtyminen tapahtuu pääasiassa veden pintajännitysvoimien aiheuttaman huokosalipaineen vaikutuksesta, kun materiaali on kosketuksessa veteen tai toiseen kapillaarisella kosteusalueella olevaan materiaaliin. Kosteus voi siirtyä kapillaarisesti kaikkiin suuntiin. Eri materiaaleilla on erilainen kyky siirtää kosteutta kapillaarisesti. Seinärakenteeseen kosteus voi siirtyä kapillaarisesti perustuksista tai alapohjarakenteesta, jonka ehkäisemiseksi alaohjauspuun alla tulee käyttää bitumikaistaa katkaisemaan kapillaarinen kosteuden siirtyminen.

Diffuusiolla vesihöyry siirtyy suuremmasta pitoisuudesta kohti pienempää pitoisuutta. Vesihöyrynpitoisuuseron suuruus vaikuttaa diffuusion voimakkuuteen. Sisäilmassa on lähes poikkeuksetta suurempi vesihöyrynpitoisuus kuin ulkona, koska rakennuksen sisäpuoliset toiminnot aiheuttavat vesihöyrynpitoisuuteen kosteuslisän. Näin ollen vesihöyry siirtyy diffuusiolla lähes aina sisältä ulospäin. Poikkeuksena voi olla lämmin kesäpäivä, jolloin sisäilmaa viilennetään esim. ilmalämpöpumpun avulla, jonka seurauksena diffuusiovirta voi kääntyä toisinpäin. Vesihöyryn kulkuun vaikuttaa rakenteen materiaalit, niiden ominaisuudet ja erityisesti vesihöyrynläpäisevyys. Jos rakenteeseen pääsee enemmän kosteutta, kuin sieltä on mahdollista poistua, syntyy riski kosteusvaurioille.

Konvektiolla tarkoitetaan vesihöyryn siirtymistä ilmavirtauksien mukana, koska se on yksi ilman osakaasu. Konvektion aiheuttama kosteusvaurioriski on yleensä olemassa kylmänä ajanjaksona, jos rakenteessa on ilmavirtauksien jäädyttämiä kohtia, joihin sisäilman kosteus voi tiivistyä siirtyessään sisältä ulospäin. (Sisäilmayhdistys ry, 2008.)

### **Höyrynsulku seinärakenteissa**

Höyrynsululla tarkoitetaan rakennekerrosta, joka omaa riittävän korkean vesihöyrynvastuksen estääkseen sisäilmankosteuden kulkeutumisen diffuusion avulla ulompiin seinärakenteisiin. Sitä käytetään estämään sisäilmankosteuden tiivistyminen seinärakenteisiin varsinkin kylminä ajanjaksoina.

Höyrynsulku asennetaan lähelle seinärakenteen sisäpintaa. Nykyisin on tyypillistä tehdä höyrynsulun sisäpuolelle 48 mm koolaus ja eristyskerros, millä vältytään höyrynsulun rei'ittämiseltä pintalevyjä tai seinään kiinnitettäviä asioita asennettaessa.

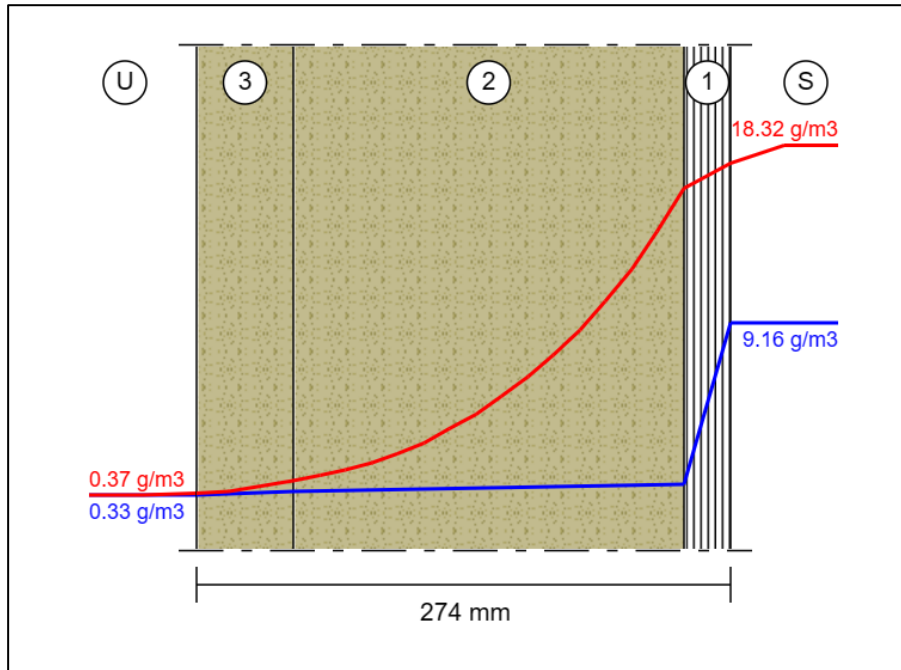
Höyrynsulkuna käytetään yleensä höyrynsulkukalvoa tai sellaisia eristemateriaaleja, jotka toimivat itsessään höyrynsulkuna. Alumiinipintaiset PUR-eristeet ja XPS-eristeet, kuten Finnfoam toimivat höyrynsulkuna sellaisenaan. (Tervo, 2020.)

### 2.1.2 Pohjalevy höyrynsulun korvaajana

Riparakenteisessa seinässä on mahdollista harkita varsinaisen höyrynsulku-kerroksen pois jättämistä pohjalevynä käytettävän massiivipuulevyn suuren vesihöyryn vastuksen takia. Havuvaneri on rakennusfysikaalisesta näkökulmasta paras vaihtoehto rakenteen pohjalevyksi. Rakenteen toiminnan kannalta on tärkeää, että tuulensuojakerroksen vesihöyrynvastus on riittävän pieni, jotta se ei aiheuta diffuusion hidastumista rakenteessa ja luo tällä tavalla liian kosteita olosuhteita eriste- ja tuulensuojakerroksen väliin. Tämä voi aiheuttaa runkotolppien kosteusvaurion kerrosten rajapinnassa.

Rakenteen toimintaa voidaan mallintaa mitoitustilanteessa DOF-lämpö ohjelmalla, josta pystytään tarkastelemaan kastepisteen muodostuminen ja kosteusolosuhteet eri kerrosten rajapinnoissa kulloisessakin sääolosuhteessa. Ohjelma ei kuitenkaan ota huomioon hygroskooppisten eristeiden aiheuttamaa kosteuden tasaantumista tai vesihöyrynvastuksen muutoksia materiaalin kosteuspitoisuuden kasvaessa. Esimerkiksi havuvanerin vesihöyrynvastus muuttuu merkittävästi riippuen sen tasapainokosteudesta.

Kuvassa 6 on esitetty kosteuskuvaaja rakenteesta, jossa pohjalevynä toimii 24 mm havuvaneri, ripoina 51 x 200 Kerto-S tolpat, eristeenä Paroc Extra 200 mm ja tuulensuojana Paroc Cortex 50 mm. Ulkopuolella on hyvin tuulettuva ilmarako, joten tarkastelu päättyy tuulensuojan ulkopintaan. Sininen kuvaaja kertoo rakenteessa olevan kosteuden ja punainen kuvaaja kyllästyskosteuden, eli pisteen, jossa kosteus alkaa kondensoitua vedeksi.



Kuva 6. Seinärakenteen kosteuspitoisuuskäyrät mitoitustilanteessa

Kuvaajan perusteella havaitaan rakenne toimivaksi mitoitustilanteessa, kun ei huomioida kosteuden vaikutusta materiaalien vesihöyrynläpäisevyyteen.

### FRAME-tutkimusprojekti

Tampereen teknillinen yliopisto on suorittanut FRAME-tutkimusprojektin, johon kuului rankarakenteisen seinän sisäpinnan vesihöyrynvastuksen, sekä sisä- ja ulkopinnan välisen vesihöyrynvastussuhteen vaadittujen arvojen määrittäminen laskennallisesti testivuosiin 2050 ja 2100 ilmasto-olosuhteissa.

Tulosten mukaan riittävä vesihöyrynvastus sisäpinnassa on  $Z_{p,i} = 28 \times 10^8$   $m^2sPa/kg$ , mikäli tuulensuojana käytetään 9 mm kipsikartonkilevyä ja 30 mm mineraalivillalevyä. (Vinha, 2013.)

LVL-levyn vesihöyrynläpäisevyys vesihöyrypitoisuuseron suhteen syysuuntaa vastaan kohtisuoraan on  $\delta_{v,LVL} = 0,5 \times 10^{-6} m^2s$ . LVL-levyn vesihöyrynvastus vesihöyryn osapaine-erojen suhteen pystytään määrittämään kaavojen (1) ja (2) avulla. (RIL 255-1-2014.)

$$\delta_{p.LVL} = \frac{\delta_{v.LVL}}{\left(\frac{R}{M_w}\right) * (273,15 + t)} \quad (5)$$

jossa	R	yleinen kaasuvakio	$\left[\frac{J}{kmol \cdot K}\right]$
	$M_w$	veden molekyylimassa	$\left[\frac{kg}{kmol}\right]$
	t	lämpötila	$[^{\circ}C]$

LVL-levyn vesihöyrynvastus vesihöyryn osapaineen suhteen saadaan kaavasta:

$$Z_p = \frac{h_1}{\delta_{p.LVL}} \quad (6)$$

jossa	$h_1$	LVL-levyn paksuus	[m]
-------	-------	-------------------	-----

Suoritetaan laskenta kaavoja hyödyntäen:

$$\delta_{p.LVL} = \frac{0,5 * 10^{-6} m^2 s}{\left(\frac{8314,3 \frac{J}{kmol \cdot K}}{18,02 \frac{kg}{kmol}}\right) * (273,15 K + 0^{\circ}C)} = 3,97 * 10^{-12} \frac{kg}{m s Pa} \quad (7)$$

$$Z_p = \frac{0,027 m}{3,97 * 10^{-12} \frac{kg}{m s Pa}} = 6,81 * 10^9 m^2 * s * \frac{Pa}{kg} \quad (8)$$

Laskennasta saadaan selville, että LVL-levyn vesihöyrynvastus vesihöyryn osapaine-eron suhteen on  $68,1 \times 10^8 m^2 s Pa / kg$  levyn paksuuden ollessa 27 mm. Kun verrataan saatua tulosta alla olevaan taulukkoon, voidaan todeta, että rakenne on mahdollista toteuttaa ilman höyrynsulkua, kun käytetään tuulensuojalevynä joko huokoista 25 mm paksua puukuitulevyä, mineraalivillalevyä tai kipsilevyn ja mineraalivillan yhdistelmää.

Taulukossa 1 on esitetty sisäpinnan vesihöyrynvastuksen ( $Z_{p,i}$ ) ja sisä- sekä ulkopinnan välisen vesihöyrynvastus-suhteen ( $Z_i/Z_e$ ) vaaditut minimiarvot

puurunkoisissa ulkoseinissä vuosien 2050 ja 2100 ilmastoissa, kun sisäilman kosteuslisä on talviaikana 5g/m<sup>3</sup> ja kesäaikana 2g/m<sup>3</sup>. (Vinha 2013).

Taulukko 1. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen ja sisä- sekä ulkopinnan välisen vesihöyrynvastus-suhteen vaaditut minimiarvot

Tuulensuoja	Lämmöneriste							
	Ei-hygroskooppinen				Hygroskooppinen			
	$Z_i/Z_e$		$Z_{p,i} \times 10^8$		$Z_i/Z_e$		$Z_{p,i} \times 10^8$	
	[-]		[m <sup>2</sup> sPa/kg]		[-]		[m <sup>2</sup> sPa/kg]	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	2:1	0,2	3,4	1:1	1:1	~0	1,8
Huokoinen puukuitulevy 12 mm (A13)	5:1	38:1	17,8	128	2:1	40:1	5,1	134
Huokoinen puukuitulevy 25 mm (A2)	2:1	10:1	12,6	60,1	1:1	9:1	5,6	55,3
Havuvaneri 9 mm (A11)	4:1	10:1	80,6	178	3:1	8:1	57,4	150
Tuulensuojakipsilevy 9 mm (A1)	15:1	Ei hyv.	54,7	Ei hyv.	3:1	Ei hyv.	10,9	Ei hyv.
Havuvaneri 9 mm (A11) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	3:1	5:1	61,5	109	2:1	4:1	46,5	72,4
Kipsikartonkilevy 9 mm (A1) + Mineraalivillalevy 30 mm (A3)	1:1	5:1	6,8	28	1:1	2:1	1,6	13

## 2.2 Palomitoitus

### 2.2.1 Yleiset palomääräykset

Rakennukset jaetaan neljään paloluokkaan P0, P1, P2 ja P3. Paloluokissa P1–P3 rakennus suunnitellaan taulukkomitoitusten mukaan. Paloluokka P0 on toiminnallinen palomitoitus, jossa rakennus suunnitellaan osin tai kokonaan perustuen oletettuun palonkehitykseen. Puurunkoinen rakennus on mahdollista toteuttaa kaikissa paloluokissa. (Lahtela, 2021.)

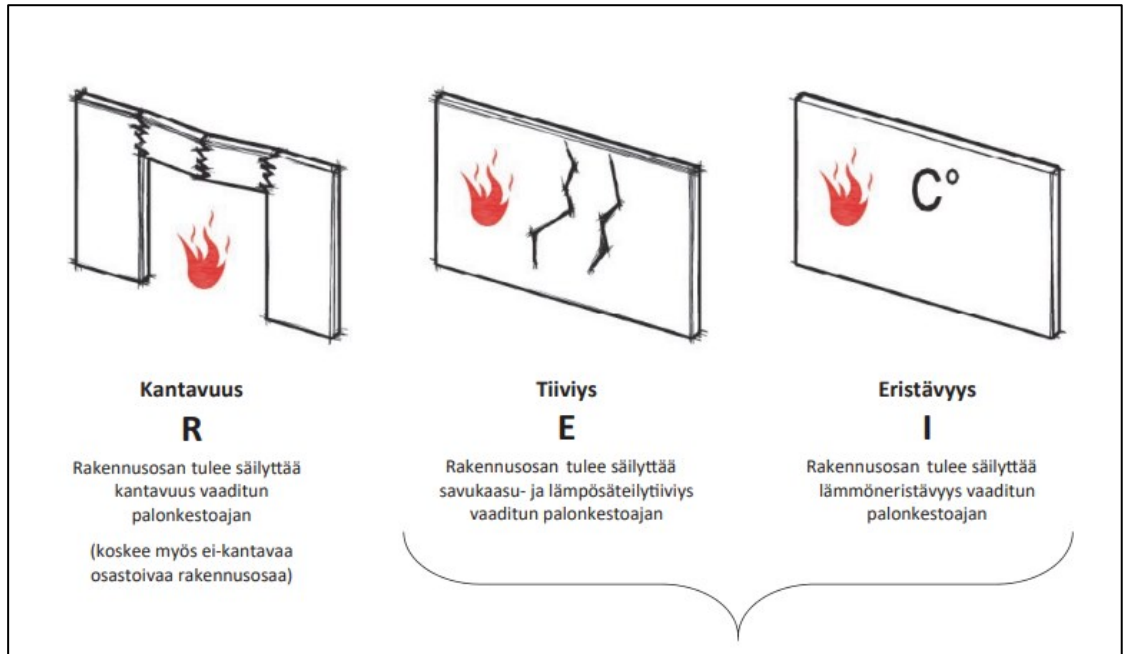
Taulukossa 2 on esitetty rakennus paloluokat ja niiden tyypilliset kohteet.

Taulukko 2. Rakennusten paloluokat

Taulukko 1. Paloluokat.		
Paloluokka	Kuvaus	Tyypillisiä rakennuskohteita
P0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toiminnallisen palomitoituksen mukaan (henkilömäärää ja palokuormaa koskevat tiedot ilmoitettava)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yli 28 m korkea asuinrakennus</li> <li>Yli 28 m korkea työpaikkarakennus</li> </ul>
P1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan kestävän sortumatta palon ja jäähtymisvaiheen aikana ilman, että paloa sammutetaan (yleensä yli 2-kerroksisessa rakennuksessa)</li> <li>Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennukset, jotka eivät ole sallittuja paloluokissa P2 ja P3</li> </ul>
P2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla P1-paloluokkaa lievemmat</li> <li>Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille</li> <li>Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää on rajoitettu käyttötarkoituksesta riippuen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea asuinrakennus</li> <li>Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea hoitolaitos (pois lukien suljettu rangaistuslaitos)</li> <li>Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea majoitusrakennus</li> <li>Enintään 8-kerroksinen 28 m korkea työpaikkarakennus</li> <li>Enintään 4-kerroksinen 14 m kokoontumis- ja liikerakennus</li> <li>1-kerroksinen tuotanto- ja varastorakennus <sup>1)</sup></li> </ul>
P3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakennuksen kantavilta rakenteilta ei yleisesti vaadita palonkestävyyttä, joitakin tapauksia lukuun ottamatta (esimerkiksi osastoivilla rakenteilla myös R-vaatimus)</li> <li>Riittävä turvallisuustaso saavutetaan rajoittamalla rakennuksen kokoa ja henkilömäärää käyttötarkoituksesta riippuen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea asuinrakennus (kerrokset samaa palo-osastoa)</li> <li>Enintään 1-kerroksinen 9 m korkea hoitolaitos</li> <li>Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea majoitusrakennus</li> <li>Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea työpaikkarakennus</li> <li>Enintään 2-kerroksinen 9 m korkea kokoontumis- ja liikerakennus</li> <li>1-kerroksinen 14 m korkea tuotanto- ja varastorakennus <sup>1)</sup></li> </ul>

Kantavat ja osastoivat rakennusosat tulee suunnitella standardipalokäyrän esittämää palotilannetta hyödyntäen REI-luokkavaatimusten mukaisiksi. Rakennusosan palotilanteen kantavuus voidaan osoittaa laskennallisesti Eurokoodi 5:ssä olevilla laskentamenetelmillä. Vaihtoehtoisesti palotilanteen kantavuus voidaan osoittaa standardin mukaisella polttokokeella. (Lahtela, 2021.)

Kuvassa 7 on esitetty kantavan ja osastoivan rakennusosan perusvaatimukset.



Kuva 7. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset

Rakennusosien palonkestovaatimukseen vaikuttaa palokuorma, joka tarkoittaa kokonaislämpömäärää, mikä vapautuu, kun tilassa oleva aine palaa täydellisesti. Siihen kuuluu kantavat, jäykistävät, osastoivat ja muut rakennusosat sekä irtaimisto. Palokuorma ilmoitetaan yksikössä MJ/m<sup>2</sup>. P1–P3 paloluokan rakennuksissa palokuormaa ei tarvitse erikseen määrittää, vaan rakennukset on jaettu erilaisiin palokuormaryhmiin käyttötarkoituksen perusteella. Toiminnallisessa palomitoituksessa palokuorma määritetään aina erikseen. (Lahtela, 2021.)

Taulukoissa 3 ja 4 on esitetty puurungon tyypilliset vaatimukset P2 ja P1 paloluokissa.

Taulukko 3. Puurungon tyypillisiä vaatimuksia P2-paloluokassa

Taulukko 7. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P2-paloluokassa.									
P2	Nimitys	Käyttö	Sprinklaus <sup>2)</sup>	Kerrosala [m <sup>2</sup> ]	Palo-osasto [m <sup>2</sup> ]	Kork. [m]	Krs. [kpl]	Hlö <sup>6)</sup> [kpl]	Runko <sup>7)</sup>
	Päiväkoti (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 1200	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 60
	Myymälä	Liiketila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 300 <sup>8)</sup>	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 60
	Kirjasto	Kokoontumistila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	≤ 250	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	≤ 500	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 1200	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 60
	Pientalo <sup>1)</sup>	Asunto	-	-	huoneistoittain	≤ 9	1..2	ei rajoitusta	R 30
			-	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 45
			pakollinen	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 30
	Rivitalo <sup>2)</sup>	Asunto	-	ei rajoitusta	huoneistoittain	≤ 9	1..2	ei rajoitusta	R 30
			-	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 45
			pakollinen	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 14	3..4	≤ 1000	R 30
	Asuin-kerrostalo <sup>3)</sup>	Asunto	-	ei rajoitusta	huoneistoittain	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	≤ 12000	huoneistoittain	≤ 28	3..8	≤ 1000	R 60
	Toimisto	Työpaikka-tila	-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 9600	≤ 9	1	ei rajoitusta	R 30
			-	ei rajoitusta	≤ 2400	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 4800	≤ 9	2	ei rajoitusta	R 30
			pakollinen	≤ 12000	≤ 2400	≤ 28	3..8	≤ 1000	R 60
	Hotelli <sup>4)</sup>	Majoitustila	-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	1	≤ 150	R 30
			pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 300	R 30
-			ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	2	≤ 50	R 30	
pakollinen			ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	2	≤ 100	R 30	
pakollinen			≤ 12000	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 28	3..8	≤ 500	R 60	
Palvelutalo <sup>5)</sup>	Hoitolaitos	-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	1	≤ 100	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	1	≤ 200	R 30	
		-	ei rajoitusta	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1600 muut tilat	≤ 9	2	≤ 25	R 30	
		pakollinen	ei rajoitusta	≤ 1200 yöpymistilat ≤ 2400 muut tilat	≤ 9	2	≤ 50	R 30	
		pakollinen	≤ 12000	≤ 800 yöpymistilat ≤ 1200 muut tilat	≤ 28	3..8	≤ 150	R 60	

Taulukko 4. Puurungon tyypillisiä vaatimuksia P1-paloluokassa

Taulukko 8. Tyypillisten puurunkoisten rakennusten paloteknisiä vaatimuksia puurungon osalta P1-paloluokassa.							
P1	Nimitys	Käyttö	Palokuormaryhmä	Sprinklaus <sup>1)</sup>	Palo-osasto [m <sup>2</sup> ]	Krs. [kpl]	Runko <sup>2)</sup>
	Päiväkoti (päiväkäytössä) Koulu Ravintola	Kokoontumistila	alle 600 MJ/m <sup>2</sup>	-	≤ 2400	1...2	R 60
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60
	Myymälä	Liiketila	alle 600 MJ/m <sup>2</sup> 600 - 1200 MJ/m <sup>2</sup> 600 - 1200 MJ/m <sup>2</sup> 600 - 1200 MJ/m <sup>2</sup>	-	≤ 300	1...2	R 60
				-	≤ 2400	1...2	R 90
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
				pakollinen	≤ 12000	2	R 60
	Kirjasto	Kokoontumistila	600 - 1200 MJ/m <sup>2</sup>	-	≤ 2400	1...2	R 90
				pakollinen	≤ 24000	1	R 60
pakollinen				≤ 12000	2	R 60	
Toimisto	Työpaikkatila	alle 600 MJ/m <sup>2</sup>	-	≤ 2400	1...2	R 60	
			pakollinen	≤ 24000	1	R 60	
			pakollinen	≤ 12000	2	R 60	

## 2.2.2 Suojaverhous palotilanteessa

Puurunkoisissa rakennuksissa on asetettu vaatimuksia rakenteiden suojaverhouksesta. Suojaverhouksella tarkoitetaan rakennusosan pintaa, joka suojaa alla olevaa rakennetta syttymiseltä, hiiltymiseltä tai muulta vaurioitumiselta määrätyn ajan. Taulukkomitoitukseen perustuvassa suunnittelussa on käytössä suojaverhousluokat K<sub>2</sub>10 ja K<sub>2</sub>30, joista ensimmäinen suojaa palolta 10 min ja jälkimmäinen 30 min. Suojaverhousluokan lisäksi on asetettu vaatimuksia suojaverhouksessa käytettävien rakennustarvikkeiden luokalle. (Lahtela, 2021.)

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty suojaverhousvaatimukset P2-paloluokan rakennuksille eri kerrosmäärällä.

Taulukko 5. Suojaverhousvaatimukset 1–2 kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa

Taulukko 25. Suojaverhousvaatimukset P2-paloluokan rakennuksessa.			
1...2-kerroksinen rakennus, korkeus enintään 9 m			
Nimitys (käyttötarkoitus)	Rakennusosa	Suojaverhous	Suojaverhousta ei vaadita
Päiväkoti <sup>1)</sup> (kokoontumistila) Koulu (kokoontumistila) Ravintola (kokoontumistila) Myymäla (liiketila) Kirjasto (kokoontumistila) Toimisto (työpaikkatila)	Seinäpinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	<ul style="list-style-type: none"> <li>rakennusosassa, jonka lämmöneristeet eristäväältä osaltaan vähintään B-s1, d0 ja muut tarvikkeet vähintään D-s2, d2</li> <li>D-s2, d2-luokan massiivipuuseinässä, jonka tiheys on vähintään 350 kg/m<sup>3</sup></li> <li>seinässä, jossa sisäpinta vähintään B-s1, d0 ja seinä rakennusosana vähintään EI 15</li> <li>pilareissa ja palkeissa, jotka täyttävät luokkavaatimukset R 30 ja D-s2, d2</li> </ul>
	Kattopinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	Ei vaatimusta	Ei vaatimusta
Pientalo (asunto) Rivitalo (asunto) Asuinkerrostalo (asunto)	Seinäpinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	<ul style="list-style-type: none"> <li>rakennusosassa, jonka lämmöneristeet eristäväältä osaltaan vähintään B-s1, d0 ja muut tarvikkeet vähintään D-s2, d2</li> <li>D-s2, d2-luokan massiivipuuseinässä, jonka tiheys on vähintään 350 kg/m<sup>3</sup></li> <li>asunnon pinnoissa, joissa rakennusosan lämmöneristeet eristäväältä osaltaan vähintään D-s2, d2 ja muut tarvikkeet vähintään D-s2, d2</li> <li>pilareissa ja palkeissa, jotka täyttävät luokkavaatimukset R 30 ja D-s2, d2</li> </ul>
	Kattopinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	Ei vaatimusta	Ei vaatimusta
Hotelli (majoitustila) Palvelutalo (hoitolaitos)	Seinäpinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	<ul style="list-style-type: none"> <li>rakennusosassa, jonka lämmöneristeet eristäväältä osaltaan vähintään B-s1, d0 ja muut tarvikkeet vähintään D-s2, d2</li> <li>D-s2, d2-luokan massiivipuuseinässä, jonka tiheys on vähintään 350 kg/m<sup>3</sup></li> <li>pilareissa ja palkeissa, jotka täyttävät luokkavaatimukset R 30 ja D-s2, d2</li> </ul>
	Kattopinnat	K <sub>2</sub> 10, B-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	Ei vaatimusta	Ei vaatimusta
Porrashuone	Ks. luku 7		
Luhtikäytävä	Ks. luku 7		
Parveke	Ks. luku 7		

Taulukko 6. Suojaverhousvaatimukset 3–4 kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa

Taulukko 26. Suojaverhousvaatimukset P2-paloluokan rakennuksessa.			
3...4-kerroksinen rakennus, korkeus enintään 14 m			
Nimitys (käyttötarkoitus)	Rakennusosa	Suojaverhous	Palo-osastossa saa olla suojaverhoamatonta seinä- ja kattopintaa (ks. kuva 22)
Päiväkoti <sup>1)</sup> (kokoontumistila) Koulu (kokoontumistila) Ravintola (kokoontumistila) Myymäla (liiketila) Kirjasto (kokoontumistila)	Seinäpinnat	K <sub>2</sub> 30, A2-s1, d0	<ul style="list-style-type: none"> <li>ei-kantavat väliseinät</li> <li>≤ 20 %, ilman erityisvaatimuksia</li> <li>&gt; 20 % ... ≤ 80 %, jos rakennusosat R 90 ja EI 90</li> <li>&gt; 80 %, jos rakennusosat R 120 ja EI 120</li> </ul>
	Kattopinnat	K <sub>2</sub> 30, A2-s1, d0	
	Lattiapinnat	K <sub>2</sub> 30, A2-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
Pientalo (asunto) Rivitalo (asunto)	Seinäpinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Kattopinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Lattiapinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	-	
Asuinkerrostalo (asunto)	Seinäpinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Kattopinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Lattiapinnat <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
	Ulkoseinän rungon ulkopinnat (tuuletusraon sisäpinta)	K <sub>2</sub> 10, A2-s1, d0	
Porrashuone	Ks. luku 7		
Luhtikäytävä	Ks. luku 7		
Parveke	Ks. luku 7		

## 2.2.3 Puurakenteen kantavuuden mitoitus palotilanteessa

Puurakenteen kantavuus palotilanteessa voidaan mitoittaa laskennallisesti kolmella eri tavalla: suojaamattomana, suojattuna koko palonkeston ajan tai

osittain suojattuna vaaditusta palonkestosta. Ennen varsinaista palomitoitusta on tärkeää selvittää rakenneosien ja koko rakennuksen toiminta stabiliteetin näkökulmasta. Stabiilituenta on suunniteltava niin, että se toimii koko vaaditun palonkestoajan. (Lahtela, 2021.)

Taulukossa 7 on esitetty palomitoituksen periaatteet.

Taulukko 7. Palomitoitusperiaatteet

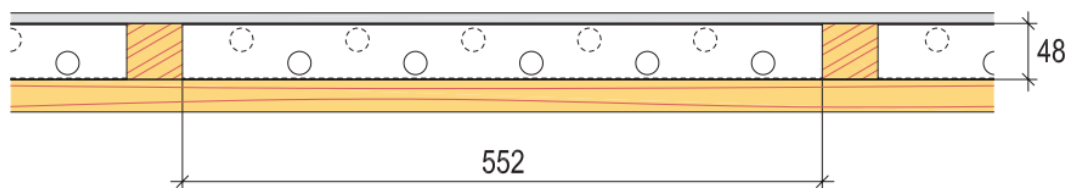
Taulukko 48. Käytettävissä olevat palomitoitusperiaatteet eurokoodin mukaisessa mitoituksessa.			
Palomitoitusperiaate	Ominaisuus	Hiiltyminen	Tyypillinen kohde
Suojaamaton puurakenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenne hiiltyy</li> <li>Kantavuus perustuu teholliseen poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hiiltyminen tapahtuu kyseiselle puutuotteelle ominaisella hiittymisnopeudella/-nopeuksilla koko vaaditun palonkestoajan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Massiiviset rakenteet</li> </ul>
Puurakenne suojattu koko vaaditun palonkestoajan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenne ei hiilly</li> <li>Kantavuus perustuu tapauksesta riippuen teholliseen poikkileikkaukseen tai nimelliseen jäännös-poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hiittymistä ei tapahdu vaaditun palonkestoajan sisällä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoikat rakenteet</li> <li>Liitokset</li> </ul>
Puurakenne suojattu osan vaaditusta palonkestoajasta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenne hiiltyy</li> <li>Kantavuus perustuu tapauksesta riippuen teholliseen poikkileikkaukseen tai nimelliseen jäännös-poikkileikkaukseen palotilanteen rasituksilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenteella on erilaisia mitoituksessa huomioitavia tekijöitä palonkestoajan sisällä:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ei hiilly lainkaan</li> <li>2) hiilty tietyn ajan kuluttua</li> <li>3) hiiltyminen tapahtuu kahdella tai kolmella erilaisella nopeudella</li> </ol> </li> <li>Erilaiset hiittymisnopeudet palonkestoajan sisällä johtuvat mm. seuraavista tekijöistä:               <ol style="list-style-type: none"> <li>1) puurakenne lämpenee palosuojausten takana</li> <li>2) palosuojaus irtoaa tietyn ajan kuluttua</li> </ol> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoikat rakenteet</li> </ul>

## 2.2.4 Ripaseinärakenteen palotekninen toiminta

Rakennuksen ulkoseinillä ei yleensä ole osastointivaatimusta (EI), jolloin ne mitoitetaan ensisijaisesti sisäpuolista paloa vastaan. Mikäli ulkoseinät kuitenkin ovat osastoivat, mitoitetaan ne molemminpuoliselle palolle. Osastoimattoman ulkoseinän tapauksessa tulee kuitenkin huomioida, että palo voi sijaita esimerkiksi parvekkeella ja näin ollen seinän ulkopuolella.

Palosuojaamattoman puujulkisivun käytölle on asetettu ehtoja yli 2-kerroksisessa P2-luokan rakennuksessa sekä hoitolaitosrakennuksissa. Näissä tapauksissa palon leviäminen puujulkisivua pitkin tulee rajoittaa. Tutkimuksissa on havaittu, että palo leviää pääasiassa ulkoverhouksen takana olevassa tuuletusontelossa, eikä niinkään julkisivua pitkin. Tähän on kehitetty ratkaisuksi tuuletusväleihin asennettavat metalliset palokatkot, jotka rajoittavat tulen leviämistä. (Lahtela, 2021.)

Kuva 8 on havainnekuva ontelon palokatko profiilista.

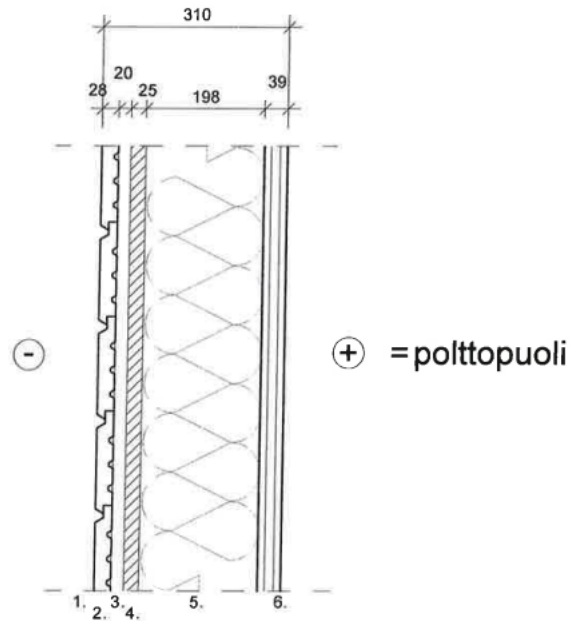


Kuva 8. Havainnekuva ontelon palokatko profiilista

Kantavien ripaseinäelementtien vahvuus on sisäpuolinen LVL-pohjalevy, joka jo itsessään suojaa ripoja sisäpuolista paloa vastaan lähes 60 minuuttia (39 mm pohjalevy). Rakenteen palomitoituksessa on kuitenkin pyrittävä siihen, että pohjalevy ei palaisi kokonaan pois määritellyn palonkeston aikana, koska se vaikuttaa merkittävästi rakenteen stabiiliteettitarkasteluun. Mikäli ulkopinnassa käytetään jäykistävää tuulensuojalevyä, on ripojen nurjahtaminen tuettu molemmilta puolilta, mutta lopullisessa tarkastelussa tulee ottaa huomioon pohjalevyn osuus pystykuormien kannattajana.

### 2.2.5 Ripaseinärakenteen polttokokeet

Ripaseinärakenteelle on tehty polttokokeita VTT:llä vuonna 2017. Testattavana oli 2670 x 2900 mm kokoinen ulkoseinäelementti, jonka rakennetyyppi on esitetty alla.



- |    |        |  |
|----|--------|--|
| 1. |        | Pintakäsittely   |
| 2. | 28 mm  | Ulkoverhouslauta   |
| 3. | 20 mm  | Pystysuuntainen tuuletuskooaus 20x45 k600  |
| 4. | 25 mm  | Runkoleijona 25mm ( $\geq 250 \text{ kg/m}^3$ )  |
| 5. | 198 mm | Pystyrunko Kerto-T k600 39x200 ( $440 \text{ kg/m}^3$ )<br>(runko asennettu Kerto-Q levyyn jyrsiytyyn 2mm syvään uraan)<br>+ Termex Selluvilla 198mm ( $96,5 \text{ kg/m}^3$ ) |
| 6. | 39 mm  | Kerto-Q levy ( $510 \text{ kg/m}^3$ )  |

Kuva 9. Polttokokeessa käytetty rakennetyyppi

Elementissä oli kuusi pystyriipaa, joista neljä oli kantavia. Kiinnitys oli toteutettu mekaanisin kiinnikkein rakenneliimauksen sijaan ja rakennetta kuormitettiin 94kN/m.

Polttokokeessa saavutettiin rakenteelle palonkestävyys REI65, eli se täyttäisi R60 luokan vaatimukset ilman sisäpuolista suojaverhousta.



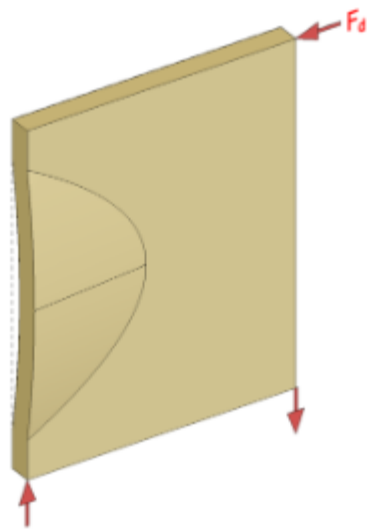
Kuva 10. Koekappale tulen puolelta ennen koetta



Kuva 11. Koekappale kokeen jälkeen

## Hyödyt

Rakenneliimattu ripaseinäelementti on lähtökohtaisesti erittäin jäykkä ja mittatarkka tuote, joka ei vaadi pohjalevyn ja ripojen lisäksi muita jäykisteitä. Rakenne ajatellaan T-poikkileikkauksena, jolloin rivat toimivat uumina ja estävät sisäpuolisen laippana toimivan levyn lommahduksen puristetulla reunalla. Liimattuna rakennetta tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena, kun taas ruuvikiinnitteisenä mitoittavana tekijänä toimivat kiinnikkeet. Kuvassa 12 on esitetty massiivipuulevyn mahdollinen lommahdus.



Kuva 12. Massiivipuulevyn lommahdus puristetulla reunalla

CNC-koneistuksen avulla saadaan pohjalevyyn tarvittavat aukot ja muotoilut millintarkasti oikeaan kohtaan sekä luotua asennusurat rungon osille. Tällä menetelmällä helpotetaan kokoonpanotyötä oleellisesti ja varmistetaan oikeanlainen lopputulos.

## Vertailu CLT- ja rankarunkoon

Materiaalien näkökulmasta ripaseinärakenne on huomattavasti optimaalisempi verrattuna CLT:hen. CLT:ssä on paljon ylimääräistä materiaalia, koska sen mitoituksessa kantavina rakenteina huomioidaan vain kuormituksen suuntaiset lamellit. Riparakenteessa kantosuuntaan nähden poikittaisia viilukerroksia

on huomattavasti vähemmän, kun ajatellaan materiaalin paksuutta. CLT-elementtejä on myös vaikea optimoida, koska elementti koostuu yleensä samasta materiaalista, joka on mitoitettu suurinta rasiitusta vastaan Rankarunkoon verrattaessa ripaseinärakenteen vahvuuksia ovat mekaanisten kiinnikkeiden vähäinen tarve ja helppo kasaustyö. Käytettäessä pinnoitettua havuvaneria pohjalevynä, vältytään kipsilevyjen vaatimalta tasoitustyöltä lähes kokonaan ja koko seinän alalla on tukeva kiinnityspinta kalusteille. Ripaseinäelementillä ei tosin päästä vielä yhtä edullisiin valmistuskustannuksiin, mitä rankarunkoisella elementillä.

### 3 RIPASEINÄELEMENTEISSÄ KÄYTETYT MATERIAALIT

#### 3.1 Puumateriaalit

##### Kerto® LVL Q-panel

Kerto® LVL Q-panel on Metsä Woodin valmistama kantaviin pysty- ja vaakarakenteisiin suunniteltu tuote, joka valmistetaan 3 mm paksuista havupuuvii- luista, jotka on lujuuslajiteltu. Viilut kiinnitetään toisiinsa sään- ja keitonkestävällä fenoli-formaldehydiliimalla ja niistä noin 20 % on ristiin liimattu. Q-panelilla on erinomainen lujuus-painosuhte ja ristiin liimattujen viilujen ansiosta se on erittäin mitta- ja muotopysyvä.

Kuvassa 13 on esitetty Kerto-Q -levyjen tuotemitat.

<b>Tuotemitat</b>		
	MINIMI (mm)	MAKSIMI (mm)
Paksuus	21	75
Leveys/korkeus	200	2 500
Pituus	2 000*	25 000**

\* Lyhyemmät pituudet (< 2 000 mm) ja leveydet (alle 200 mm) on sovittava erikseen.  
\*\* Kun tuotteen leveys on yli 1 830 mm, maksimipituus on 20 000 mm.

<b>Vakiotoleranssit</b>			
	KOKO	MINIMI	MAKSIMI
Paksuus	≤ 27 mm	-1,0 mm	+1,0 mm
	27 < t ≤ 57 mm	-2,0 mm	+2,0 mm
	t > 57 mm	-3,0 mm	+3,0 mm
Leveys/korkeus	< 400 mm	-2,0 mm	+2,0 mm
	≥ 400 mm	-0,5 %	+0,5 %
Pituus	Kaikki	-5,0 mm	+5,0 mm

Kosteuspitoisuudessa 10 ± 2 %. Erikoistoleranssit on sovittava erikseen.

Kuva 13. Kerto® LVL Q-panel tuotemitat ja vakiotoleranssit

Kerto® LVL Q-panel -levyjä on saatavilla lähes minkä mittaisena tahansa. Yleisimmät paksuudet ovat kuitenkin 27, 39, 45, 51, 57, 63, 69 ja 75 mm ja vastaavasti levyjen leveydet 900, 1200/1250, 1800/1820 ja 2400/2500 mm. Levyt tilataan halutun mittaisina. (Kerto LVL Q-panel tuotekortti 2023b.)

Kuvassa 14 on esitetty Kerto-Q -levyjen rakenteet.

<b>Levyjen rakenteet</b>		
<b>NIMELLISPAKSUUS (mm)</b>	<b>VIILUJEN LUKUMÄÄRÄ</b>	<b>RAKENNE</b>
21	7	I-III-I
21	7	II-I-II
24	8	II-II-II
27	9	II-III-II
30	10	II-III-II
33	11	II-III-II
39	13	II-III-III-II
45	15	II-III-III-II
51	17	II-III-III-II
57	19	II-III-III-III-II
63	21	II-III-III-III-II
69	23	II-III-III-III-III-II
75	25	II-III-III-III-III-II

Erikoisrakenteita on saatavilla tilauksesta.

Kuva 14. Kerto® LVL Q-panel levyjen rakenteet

## **LVL by Stora Enso X Laatu**

LVL X on Stora Enson valmistama LVL-levy, joka vastaa ominaisuuksiltaan Kerto-Q levyä. LVL X levyssä on myös noin 20 % viiluista ristiin liimattuja.

Levyn paksuudet ovat 30, 30, 45, 51, 63 ja 75 mm ja vastaavasti leveydet 400, 600, 1 200 ja 2 400 mm. Aihoiden vakiomitta on 13 500 mm, mutta niitä on saatavilla halutussa mitassa aina 24 000 mm asti. (Puumerkki, 2024.)

## **Metsä Wood Spruce havuvaneri**

Havuvaneri on sään- ja keitonkestävä levytuote, joka koostuu 3 mm:n paksuisista fenoliliimalla ristiin liimatuista havupuuviluista. Levyt toimitetaan pääsääntöisesti molemmin puolin hiottuina ja pinta voidaan käsitellä tavanomaisilla maaleilla, lakoilla ja puunsuoja-aineilla.

Levyjä on saatavilla alla olevissa mitoissa, joissa pidempi mitta on pintaviilujen syiden suuntainen.

2 400 / 2 440 / 2 500 mm x 1 200 / 1 220 / 1 250 mm

2 400 / 2 440 mm x 600 / 610 mm

(Metsä Group, 2023c.)

Kuvassa 15 on esitetty havuvanerin vakiopaksuudet.

<b>LEVYJEN PAKSUUDET, RAKENTEET JA PAKSUUSTOLERANSSIT *</b>				
<b>NIMELLIS- PAKSUUS</b>	<b>VIILUJEN LUKUMÄÄRÄ</b>	<b>PAKSUUSTOLERANSSI</b>		<b>PAINO</b>
<b>(mm)</b>	<b>(no.)</b>	<b>min. (mm)</b>	<b>max. (mm)</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>
9	3	8.8	9.5	4.1
12	4	11.5	12.5	5.5
15	5	14.3	15.3	6.9
18	6	17.1	18.1	8.3
21	7	20.0	20.9	9.7
24	8	22.9	23.7	11.0
27	9	25.2	26.8	12.4
30	10	28.1	29.9	13.8

Kuva 15. Havuvanerin vakiopaksuudet

## **WISA® -Paintply**

WISA-Paintply on kevyt ja luja kuusivaneri, joka on päällystetty maalattavaksi sopivalla pinnoitteella. Sileä, tasainen ja halkeilematon pinta on täydellinen useimmille maaleille ja muille pintamateriaaleille. (UPM-Kymmene Oyj, 2018.)

Kuvassa 19 on esitetty WISA-Paintply levyjen vakiomitat.

### Vakiopaksuudet ja painot

Nimellispaksuus (mm)	Min. paksuus (mm)	Max. paksuus (mm)	Paino (kg/m <sup>2</sup> ) noin
12	11,5	12,5	6
15	14,3	15,3	7
18	17,1	18,1	9
21	20,0	20,9	10
24	22,9	23,7	11
27	25,2	26,8	13
30	28,1	29,9	15

Koko- ja paksuusarvot, kun kosteuspiitoisuus on 8–12 %.

### Vakiolevykoot:

1250 x 2500 mm

2440 x 1220

2400 x 1200

2500 x 1250

Kuva 16. WISA Paintply vakiopaksuudet ja -koot

### Kerto® LVL S-beam

Kerto® LVL S-beam on myös Metsä Woodin valmistama kertopuutuote. Se valmistetaan myös 3 mm paksuista lujuuslajitelluista havupuuviiiluista. Erona Q-panel tuotteisiin on se, että kaikkien viilujen syysuunta on tuotteen pituus-suuntainen. Sen etuja on samalla tavalla mitta- ja muotopysyvyys, lujuus sekä materiaalin keveys.

Kuvassa 17 on esitetty Kerto-S tuotteiden vakiomitat.

<b>Tuotemitat</b>		
	MINIMI (mm)	MAKSIMI (mm)
Paksuus	27	75
Leveys/korkeus	40	2 500
Pituus	2 000*	25 000**

\* Lyhyemmät pituudet on sovittava erikseen (< 2 000 mm).  
\*\* Kun tuotteen leveys on yli 1 830 mm, maksimipituus on 20 000 mm.

<b>Vakiotoleranssit</b>			
	KOKO	MINIMI	MAKSIMI
Paksuus	≤ 27 mm	-1,0 mm	+1,0 mm
	27 < t ≤ 57 mm	-2,0 mm	+2,0 mm
	t > 57 mm	-3,0 mm	+3,0 mm
Leveys/korkeus	< 400 mm	-2,0 mm	+2,0 mm
	≥ 400 mm	-0,5 %	+0,5 %
Pituus	All	-5,0 mm	+5,0 mm

Kosteuspitoisuudessa 10 ± 2 %. Erikoistoleranssit on sovittava erikseen.

Kuva 17. Kerto® LVL S-beam tuotemitat ja vakiotoleranssit

Kerto-S tuotteita on mahdollista tilata mittaan sahattuina tai isompana aihiona, josta voidaan työstää sopivat kappaleet kulloiseenkin tarpeeseen. Tuotteen yleisimmät leveydet ovat 200, 220, 240, 260, 300, 360, 400, 250 ja 600 mm ja vastaavasti paksuudet 45, 51, 57 ja 63 mm. Pituuden voi valita vapaasti 2 000–25 000 mm väliltä, mutta alle 2 000 mm pitkistä tuotteista on sovittava erikseen. (Metsä Group, 2023a.)

## Sahatavara

Sahatavara on pituussuuntaan vähintään kahdelta sivulta sahattua puumateriaalia. Sitä voidaan käyttää sahapintaisena sellaisenaan tai jalosteiden raaka-aineena. Yleisesti sahatavarasta rakentaessa käytetään mitallistettua sahatavaraa, joka on karkeahöylätty mittatarkaksi ja lujuusluokiteltu.

Ripaseinärakenteessa käytetään sahatavaraa ainoastaan ulkopuolisiin koolauksiin ja mitallistettua sahatavaraa mahdollisesti sisäpuolen lisäkoolaukseen, jos sellainen halutaan toteuttaa jo tehtaalla.

## 3.2 Lämmöneristeet

### Paroc eXtra -kivivillaeriste

Paroc eXtra on monikäyttöinen pehmeä levyeriste, jota voidaan käyttää ulko- ja väliseinissä, tuulettuvissa julkisivuissa, katoissa ja rossipohjissa. Villoitus asennetaan yleensä kaksikerroksisena, jotta eristelevyjen saumat saadaan liimitettyä ja vältetään saumoista johtuvat kylmäsiilat. Levyjä on nopea käsitellä villaveitsellä tai sahalla ja se on helppo asentaa erilaisiin runkoratkaisuihin. Tuotteen lambda-arvo on 0,036W/mK.

Kivivilla on paloluokaltaan A1, eli täysin palamaton tuote. Se parantaakin osaltaan rakenteiden palonkestävyyttä ja tulee monesti kyseeseen, kun kantavalta seinärakenteelta vaaditaan esim. R60 palonkestoluokkaa. Tuotteella on myös hyvät ääneneristysominaisuudet. (Paroc Group Oy, 2024b.)

Kuvassa 18 on esitetty Paroc eXtra eristelevyjen vakomitat.

Leveys x Pituus	Paksuus
Vakiotuote:	Vakiotuote:
565 x 870 mm puuranka k600 / k900	50, 66, 100, 125, 150, 200 mm
565 x 1170 mm puuranka k600 / k1200	30, 45, 50, 66, 70, 100, 125, 150, 175, 200 mm

Kuva 18. Paroc eXtra vakomitat

### Ekovilla

Ekovilla on kotimainen kierrätetystä puukuidusta valmistettu eriste, jota on saatavilla eristelevyinä tai puhallettavana versiona. Se on hiilineutraali eriste ja se myös varastoi hiiltä koko käyttöikänsä ajan. Eristeelle on myönnetty M1-päästöluokitus, eli se on varmasti turvallinen ja hajuton.

Ekovilla on hygroskooppinen eli ns. hengittävä eristemateriaali. Se siis pystyy sitomaan huoneilman kosteutta itseensä menettämättä eristysominaisuuttaan ja luovuttamaan sitä, kun ympäröivät olosuhteet muuttuvat.

Ekovillalevyjen lämmönjohtavuus on 0,039 W/mK ja paloluokka E. Vastaavasti puhalletun Ekovillan lämmönjohtavuus on 0,038 W/mK ja paloluokka D. (Ekovilla Oy, 2020.)

Kuvassa 19 on esitetty Ekovillalevyjen vakiomitat.

Ulkomitat (mm)	kpl/pkt	m <sup>2</sup> /pkt	m <sup>3</sup> /pkt
45 x 565 x 870	13	6,39	0,29
50 x 565 x 870	12	5,90	0,29
75 x 565 x 870	8	3,93	0,29
100 x 565 x 870	6	2,95	0,29
125 x 565 x 870	5	2,46	0,31
150 x 565 x 870	4	1,97	0,29

Kuva 19. Ekovillalevyn vakiomitat

Ripalaattaseinäelementeissä käytetään pääasiassa puhallettavaa eristevaihtoehtoa, koska sillä vältytään leikkaustyöltä ja mahdollisilta asennusvirheiden aiheuttamilta kylmäsilloilta.

### **Hunton Nativo® Puukuitueriste**

Hunton Nativo® seinäeriste on pääasiassa valmistettu Norjan PEFC-sertifioiduista metsistä peräisin olevasta kuusipuun hakkeesta. Tuote on täysin luonnonmukainen ja varastoi myös hiiltä koko elinkaarensa ajan. Eriste on Ekovillan tavoin hygroskooppinen eli se tasaa ympäröivän ilman kosteutta sitomalla sitä itseensä ja luovuttamalla takaisin ympäristöön olosuhteiden muuttuessa.

Tuote pitää hyvin muotonsa ja on painumaton. Sen suuri tiheys ja jäykkyys estää ilmataskujen syntyminen ja eristelevyn taipumisen. Puukuidun luontaiset ominaisuudet vähentävät ilman liikettä eristeen sisällä tehden siitä hyvän tiiviste-teen ikkunoiden ja runkorakenteiden ympärille. Eristeen ylijäämäpalat voi kierittää puujätteenä.

Hunton Nativo® levyeristeen lämmönjohtavuus on 0,038 W/mK. Eristeeseen on lisätty palonsuoja-ainetta, jolla on saavutettu paloluokka E. Tuotetta on saatavilla myös puhallettavana versiona. (Hunton Oy/Ab, 2020a.)

Kuvassa 20 on esitetty Hunton Nativo puukuitueristeen vakioimitat.

Tuote	Tuote-numero	Dimensio			Pkt/lava	m <sup>2</sup> /pkt	m <sup>2</sup> /lava
		Paksuus	Leveys	Pituus			
Nativo® Puukuitueriste	9931	50	565	870	10	4,424	44,24
Nativo® Puukuitueriste	9932	70	565	870	10	3,441	34,41
Nativo® Puukuitueriste	9934	100	565	870	12	1,966	23,59
Nativo® Puukuitueriste	9935	120	565	870	10	1,966	19,66
Nativo® Puukuitueriste	9936	150	565	870	10	1,475	14,75
Nativo® Puukuitueriste	9937	200	565	870	12	0,983	11,80
Nativo® Puukuitueriste	9907	45	565	1220	10	6,893	68,93
Nativo® Puukuitueriste	9900	50	565	1220	10	6,204	62,04
Nativo® Puukuitueriste	9908	70	565	1220	10	4,825	48,25
Nativo® Puukuitueriste	9909	95	565	1220	10	3,447	34,47
Nativo® Puukuitueriste	9901	100	565	1220	12	2,757	33,09
Nativo® Puukuitueriste	9904	120	565	1220	10	2,757	22,57
Nativo® Puukuitueriste	9905	145	565	1220	8	2,757	22,06
Nativo® Puukuitueriste	9902	150	565	1220	10	2,068	20,68
Nativo® Puukuitueriste	9910	170	565	1220	10	1,930	19,30
Nativo® Puukuitueriste	9913	195	565	1220	12	1,378	16,54
Nativo® Puukuitueriste	9903	200	565	1220	12	1,378	16,54

Kuva 20. Hunton Nativo® eristelevyjien vakioimitat

## Savetettu kutterinlastu

Tulevaisuudessa ripaseinäelementeissä on mahdollisesti vaihtoehtona täysin luonnonmukainen eristemateriaali savetettu kutterinlastu. Puhdas kutterinlastu on perinteinen eriste, jota on käytetty pääasiassa 1940–1950 lukujen rintamamiestaloissa materiaalipulan vuoksi.

Viime vuosina on ollut käynnissä ECOSAFE-hankkeita, joissa on tutkittu kutterinlastulla eristettyjen rakenteiden toimintaa ja savetuksen vaikutusta kutterinlastueristeen rakennusfysikaaliseen toimintaan. Savetuksen vaikutusta materiaaleissa esiintyvien mikrobien aineenvaihduntatuotteisiin on tutkittu kammiomittauksilla. Mittausten perusteella savetus hillitsee homeenkasvua ja rakenteissa varsin yleisen Aox-homeen kasvua, joka on homeenestoaineille resistentti. Hankkeen tulosten perusteella kutterinlastulla on nykyistä laajempi hyödyntämispotentiaali modernissa, kosteusturvallisessa rakentamisessa.

Hankkeessa pyrittiin myös määrittämään homehtumisherkkyyssluokka savete-  
tulle ja puhtaalle kutterinlastulle. Homeindeksin kehittämisessä havaituista  
epäjohdonmukaisuuksista, rakeisen materiaalin homehtuneisuuden arviointiin  
liittyvistä epävarmuustekijöistä ja viljelytulosten ristiriidasta johtuen aihe vaatii  
kuitenkin vielä lisätutkimuksia. Nykyisten tutkimustulosten perusteella ei voida  
vielä tehdä materiaalien jakoa homehtumisherkkyyssluokkiin.

Kutterinlastueristeen lämmönjohtavuusiksi on saatu tutkimusten perusteella:

0,042 W/mK	paras saavutettava taso kuivissa olosuhteissa
0,050 W/mK	tyypillinen olosuhde
0,055 W/mK	paljon hienoaineista sisältävä kutteri

Kutterinlastulla eristettyjen rakenteiden U-arvon laskennassa tulee siis huomi-  
oida mahdollinen eristeen laatu ja sen vaikutus lopputulokseen. (Vinha & Rau-  
nima 2023, 267–284.)

### **3.3 Tuulensuojaeristeet**

#### **Paroc Cortex Pro -tuulensuojaeriste**

Paroc Cortex Pro on energiatehokas ja hyvin paloa kestävä tuulensuojaeriste  
tuulettuviin julkisivuihin. Tuotteeseen on integroitu korkealuokkainen Tyvek Fi-  
reCurb -tuulensuojapinnoite, joka suojaa rakennetta tuulelta ja sateelta antaen  
mahdollisen rakennuskosteuden kuivua ulospäin.

Eristeen lämmönjohtavuus on 0,032 W/mK ja paloluokka A2 – s1, d0. Tuot-  
teen vakiomitta on 1200 x 1800 mm ja saatavilla olevat paksuudet 40, 50 ja 70  
mm (Paroc Group Oy, 2024a.)

#### **Tuuli- ja Runkoleijona® -tuulensuojaeristeet**

Tuuli- ja Runkoleijona ovat Suomen Tuulileijonan valmistamia hengittäviä tuu-  
lensuojaeristeitä. Tuulileijona on 12 mm paksu ja pinnaltaan musta, kun taas  
Runkoleijona on paksuudeltaan 25 mm ja väriltään sininen. Levyt toimivat  
myös rakennuksen runkoa jäykistävänä rakenteena.

Levyjen vakioleveys on 1200 mm ja pituus joko 2700 mm tai 3000 mm. Materiaalin lämmönjohtavuus on 0,049 W/mK ja paloluokitus E.

Ulkoverhouksen asennusta suositellaan mahdollisimman nopeasti sen jälkeen, kun tuuli- tai runkoleijonalevyt on asennettu ja ne ovat säälle alttiina. (Nordic Fibreboard Ltd, 2022.)

### **Hunton Tuulensuojalevy™**

Hunton Tuulensuojalevy™ on bitumilla läpikyllästetty puukuitulevy, jonka pinta on vettä hylkivä. Tuote on diffuusioavoin ja hengittävä, kuten tuuli- tai runkoleijona. Levy toimii myös rungon jäykisteenä ja se on mahdollista jättää verhoilematta jopa 6kk ajaksi.

Tuulensuojalevyä on saatavilla 12 mm ja 25 mm paksuisena ja levyjen vakio- mitat ovat 1200 / 2700/3000 mm. Levyjen lämmönjohtavuudeksi on ilmoitettu 0,049 ja 0,045 W/mK. (Hunton Oy/Ab, 2020b.)

### **Gyproc GTS 9 -tuulensuojakipsilevy**

Gyproc GTS 9 on erittäin tuulitiivis tuulensuojakipsilevy, jonka koostumus laskee talon rakenteisiin kertyvän kosteuden tehokkaasti ulos. Levy voidaan jättää säälle alttiiksi kolmeksi kuukaudeksi ennen ulkoverhouksen asennusta.

Tuotteen paksuus on 9,5 mm, leveys 1200 mm ja pituudet 2700 mm tai 3000 mm. Paloluokitus on A2-s1, d0. (Saint Gobain Finland Oy, 2023.)

## **3.4 Pintaverhousvaihtoehdot**

### **Sisäpinta**

Elementtien sisäpinta pystytään toteuttamaan täysin tilaajan toiveiden mukaisesti. Kerto-Q pohjalevy antaa hyvän ja tukevan kiinnityspinnan mille tahansa sisäpuoliselle kerrokselle. Sisäpuolisia kerroksia voidaan myös asentaa työmaalla elementtien asennuksen jälkeen.

Työmaalla on mahdollista asentaa sisäpuolelle esim. 48 x 48 mm vaakakoolaus, jonka väliin asennetaan 50 mm eristekerros. Tähän rakenteeseen on helppo upottaa sähköasennukset ja pinnoittaa sisäpinta sen jälkeen halutulla materiaalilla.

Jos rakennesuunnitelmat eivät vaadi sisäpuolista eristekerrosta, voidaan tehtaalla asentaa pohjalevyn päälle erilaisia verhou levyjä. Yleisimmin käytetty on perinteinen kipsilevy, joka vaatii kuitenkin paljon käsityötä kiinnityksen ja pinnan tasoituksen osalta. Pohjalevyn pintaan on mahdollista asentaa tehtaalla liimaamalla esim. kovalevy, jolloin saadaan pinnoitusvalmis pinta ilman liittimiä ja saumojen käsittelyä.

## **Ulkopinta**

Ripaseinäelementtien ulkopinta voidaan toteuttaa tehtaalla tilaajan haluamaan vaiheeseen, joko täysin valmiiksi pinnaksi tai johonkin tiettyyn valmiusasteeseen, joka tehdään loppuun työmaalla elementtien asennuksen jälkeen.

Ulkoverhouksen tekeminen työmaalla mahdollistaa saumattoman julkisivun rakennukselle. Se mahdollistaa myös joustavamman elementtijaon, jolloin elementit pystytään valmistamaan huomattavasti kustannustehokkaammin ja asennusystävällisemmin, koska niiden ei tarvitse olla saman levyisiä tai korkeisia.

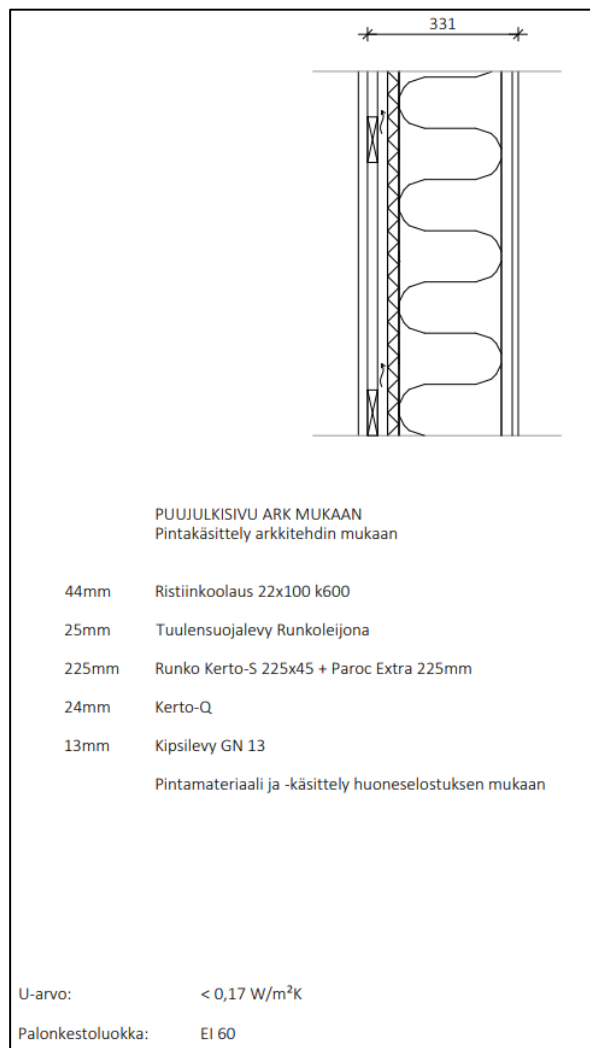
Työmaalla verhoiltaviin elementteihin asennetaan yleensä tuulensuojalevy ja pystykoolaus tehtaalla. Tästä voidaan jatkaa työmaalla joko ulkoverhouksella tai vaakasuuntaisella koolauskerroksella, jos julkisivuun halutaan pystyverhous. Kun elementtien ulkopinta jätetään tuulensuojalevyn ja koolauksen asteelle, tulee huomioida eri tuulensuojalevyvalmistajien suositukset ajasta, minkä levy voi olla sääolosuhteiden rasittamana.

Tehtaalla asennettava ulkoverhous voi olla lähes täysin tilaajan toiveiden mukainen. Pääosin käytetään kuitenkin erilaisia ulkoverhouspaneeleita, jotka on mahdollista asentaa niin vaakaan kuin pystyynkin. Julkisivu voidaan maalata tehtaalla valmiiksi haluttuun sävyyn, jolloin työmaalle ei jää kuin elementti-

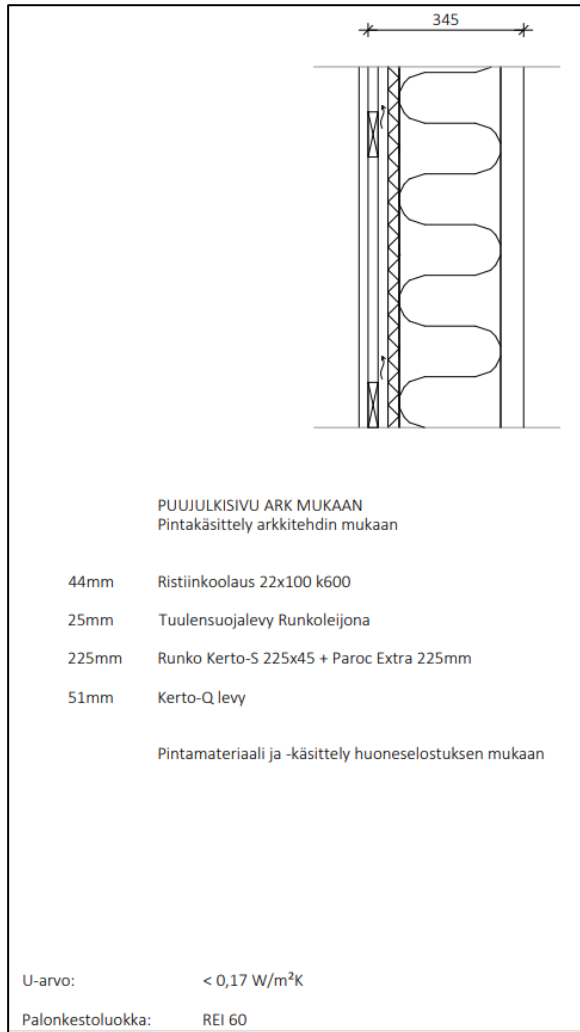
saumojen viimeistely sovitulla tavalla. Pystypaneloiduissa elementeissä pyritään saumat piilottamaan ulkoverhouksen avulla asentamalla elementtien väliset paneelit elementtien asennuksen jälkeen. Vaakaverhous vaatii aina jonkinlaisen näkyvän sauman.

### 3.5 Rakennetyypit

Kuvissa 21 ja 22 on esitetty esimerkkirakennetyypit kantavasta ja ei-kantavasta riparakenteisesta seinästä.



Kuva 21. Ei-kantavan kuorielementin rakennetyyppi



Kuva 22. Kantava ja jäykistävä seinärakenne

## 4 RIPASEINÄELEMENTTIEN TYYPIT JA VALMISTUS

### 4.1 Elementtityypit

#### Kantavat seinäelementit

Kantavien seinäelementtien suunnittelun ja toteutuksen lähtökohtana on rakenteen riittävä kantavuus pysty- ja vaakakuormia sekä onnettomuustilanteen kuormia vastaan. Mitoittava tekijä puurakenteissa on monesti palomitoitus.

Kantavien elementtien rakenteellista kestävyyttä pystytään optimoimaan pohjalevyn paksuudella, ripajaan muutoksilla ja tuulensuojamateriaalilla. Yli 2-kerroksisissa rakennuksissa on myös huomioitava ulkoverhousmateriaalin aiheuttamat vaatimukset palosuojaukselle ja -katkoille.

Elementtien rakennusfysikaalinen toiminta perustuu pohjalevyn paksuuteen ja käytettyyn eristemateriaaliin, kun rakenne toteutetaan höyrinsuluttomana.

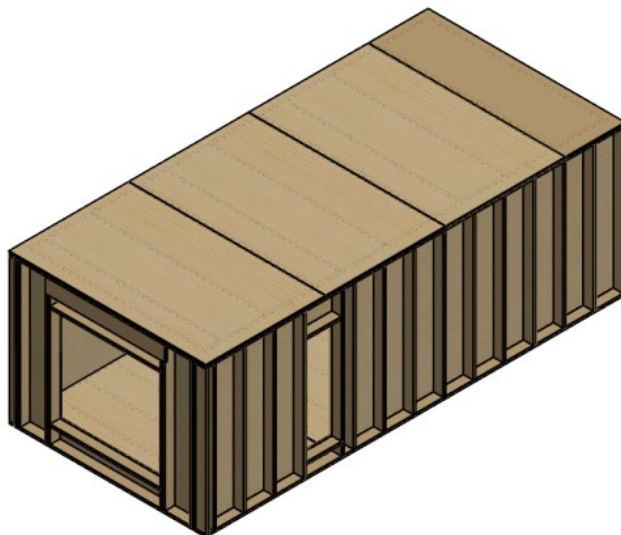
### **Kuorielementit**

Kuorielementtien suunnittelun ja toteutuksen lähtökohtana taas voidaan olettaa olevan rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. Kuorielementteihin ei kohdistu rasituksia kuin yläpuolisista elementeistä ja tuulikuormasta, jonka ne siirtävät kantavilla rakenteille. Riippuen käytetystä eristemateriaalista, voidaan rakennusfysikaalinen toiminta suunnitella toimivaksi muuttamalla pohjalevyn paksuutta höyrinsuluttomissa rakenteissa. Hygroskooppisen eristeen käyttö mahdollistaa ohuemman pohjalevypaksuuden.

Riparakenteinen kuorielementti soveltuu hyvin esimerkiksi betonista rakennetun pilari-palkki rungon kuorirakenteeksi.

### **Tilaelementit**

Riparakenteella on myös mahdollista valmistaa tilaelementtejä, joihin kuuluu myös samalla periaatteella toteutetut ala- sekä yläpohja. Kyseisistä kokonaisuuksista voidaan kasata haluttu lopputulos, kun otetaan sen vaatimat rakenteelliset seikat huomioon. Kuvassa 23 on esitetty 3D-malli täysin riparakenteisesta tilaelementistä.



Kuva 23. Täysin riparakenteisena toteutettu tilaelementti

## 4.2 Elementin valmistus

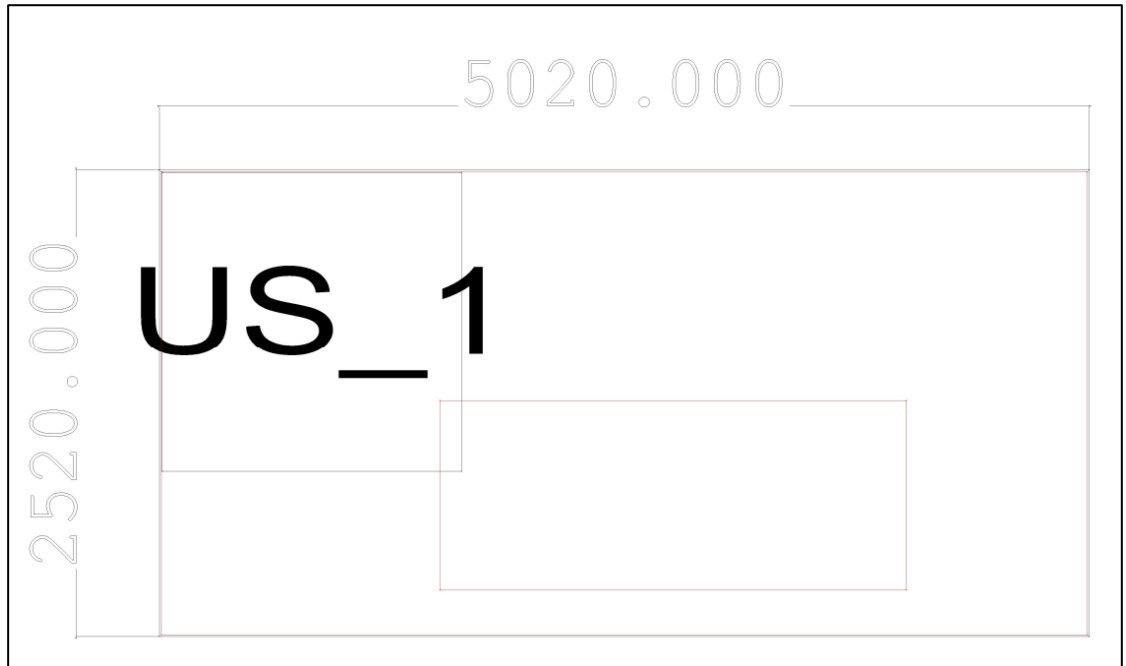
### Pohjalevyaihiot ja rivat

Ripaseinäelementtien valmistusprosessi alkaa pohjalevyaihioista, joista koostuu yleensä valtaosa projektin materiaalmassasta. Tarjousvaiheessa määritetään saatujen lähtötietojen perusteella kohteeseen sopivat elementtikoot ja niiden jakaantuminen rakennuksen julkisivuihin. Työvaihe on tärkeä tehokkaan valmistusprosessin, hukan minimoimisen ja onnistuneen lopputuloksen kannalta.

Kun tiedetään elementtien koot ja lukumäärät, selvitetään minkä kokoisia aihioita elementtien pohjalevyjä varten tarvitaan. Aihoiden leveys määräytyy pääasiallisesti tehtaalta saatavien leveyksien mukaan. Pintaviilujen syysuunta tulee huomioida elementtisuunnittelussa, sillä sen tulisi aina olla pystysuuntainen parempien kestävyysominaisuuksien vuoksi. Tehtäessä vaakaelementtejä joudutaankin yleensä turvautumaan pohjalevyaihioiden viistejatkamiseen, jotta syysuunta saadaan pysymään oikeana. Ahiopituudet määräytyvät elementtien koon mukaan ja projekteissa käytetään useita eri mittaisia aihioita hukan minimoimiseksi.

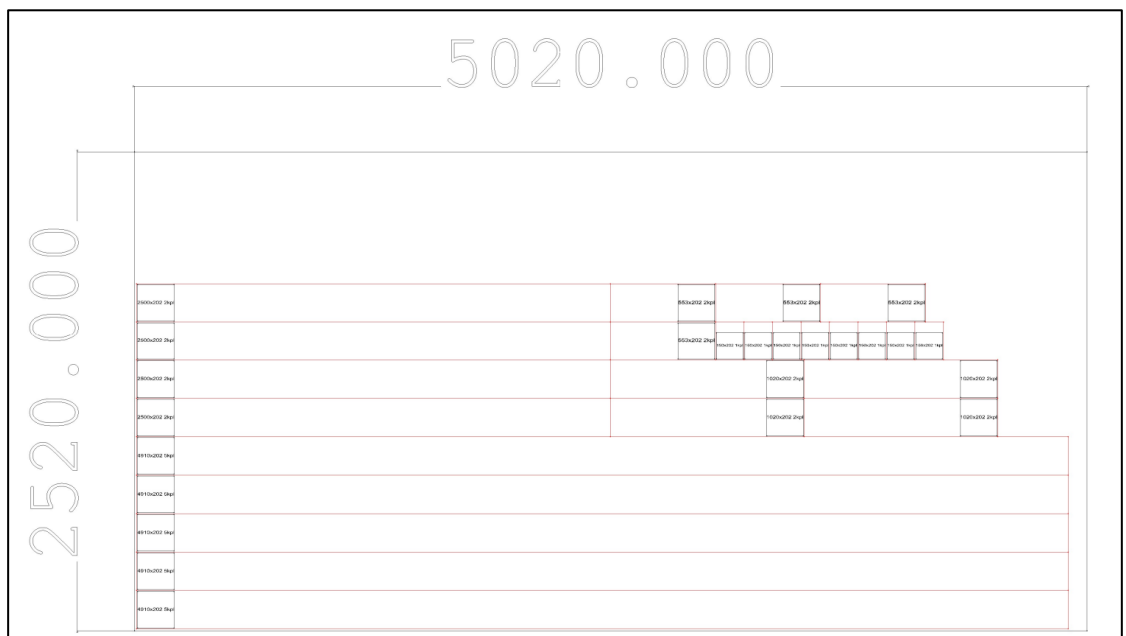
Koneistettavien kappaleiden sovittamista aihioille kutsutaan termillä nestaus, joka johtaa juurensa englanninkieliseen sanaan nesting, mitä käytetään teollisuudessa kuvaamaan leikkauskuvioiden laatimista raaka-ainehävikin minimoimiseksi. Toimeksiantajalla nestaus suoritetaan Easywood ohjelmistolla, jolla myös ohjelmoidaan CNC-työt kappaleisiin.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty kuvakaappaukset Easywood ohjelmistosta, jossa työstettävät kappaleet on sovitettu 5 020 x 2 520 mm kokoiselle aihiolle.



Kuva 24. 5000 x 2500 seinäelementin pohjalevyn nestaus aihiolle EasyWood ohjelmistossa. Reunoissa riittää 10 mm työstövara, jotta aihion reunat saadaan oikaistua.

Elementteihin tulevat rivat tilataan tehtaalta määrämittäisinä tai koneistetaan tarvittaessa aihioista. Tehtaat eivät toimita alle 2 000 mm tuotteita, joten kaikki sitä lyhyemmät runkokuut valmistetaan aihioista koneistamalla.



Kuva 25. Havainnekuva elementin ripojen nestauksesta, jos päätettäisiin tehdä rivat työstämällä. Mustat ääriviivat kuvaavat aihiota ja punaiset viivat ripojen ulkoreunoja, joiden mukaan koneistaisi rivat irti aihioista.

## CNC-koneistus

Toimeksiantaja käyttää elementtiprojekteissa pääasiassa 5-akselista Biesse CNC-työstökoneita. Sillä on mahdollista toteuttaa perustyöstöjen lisäksi myös 3D-työstöt jopa 300 mm materiaalivahvuuteen asti. Koneen työstöalue on n. 36 m x 4 m.

Työstöalueena toimivat alipainepöydät, jotka ovat kiskoilla ja siirreltävässä. Pöydät on myös mahdollista muuttaa palkeiksi, mikä mahdollistaa työstöt, joissa on tarve viedä terä pöytäpinnan alapuolelle. Alipaine pitää työstettävän kappaleen kiinni pöydässä.

Koneistuksia ohjelmoidaan samalla EasyWood ohjelmalla, millä nestataan työstettävät kappaleet aihioille. Ohjelma simuloi työstön täydellisesti ja ilmoittaa välittömästi, jos esimerkiksi jyrshintapin istukka on vaarassa upota aihioon tai poranterä liian syväälle koneistuspöytään.

Kuvassa 26 on esitetty CNC-työstölinja ja -kone.



Kuva 26. Biesse-työstökeskus ja -pöydät

Komponenttien koneistukset aloitetaan yleensä pohjalevystä. CNC-koneistus mahdollistaa pohjalevyn työstön täysin suorakulmaiseksi haluttuihin määrämittäisiin. Työstöjen avulla saadaan tehtyä aukot, läpiviennit ja syvennykset elementin pohjalevyyn. Levyyn koneistetaan myös 2 mm urat ripojen asennuskohtiin, mikä helpottaa kokoonpanoa huomattavasti.

Kaikki alle 2 000 mm pitkät tai muuten muotoilua vaativat rivat koneistetaan myös aihioista, koska niitä ei pystytä tilaamaan suoraan tehtaalta.

Kuvassa 27 on esitetty pohjalevy, johon on koneistettu urat ripojen asennusta varten.



Kuva 27. Koneistettu pohjalevy odottamassa ripojen rakenneliimausta

### **Ripojen rakenneliimaus pohjalevyyn**

Rakenneliimaukseen käytetään paineilmakäyttöistä puristinlinjaa, jonka puristusalue on n. 3,5 m x 12 m. Puristinlinja on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Rakenneliimaukseen käytettävä puristinlinja

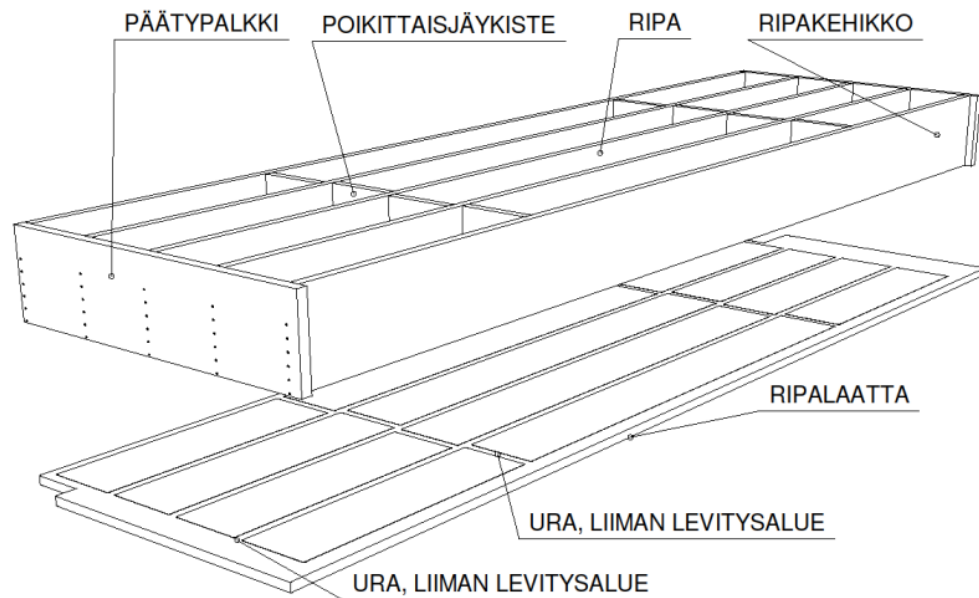
Komponentit tulevat yleensä liimauskokoonpanoon heti työstöjen jälkeen määrämittäisenä ja tarvittavilla työstöillä muokattuna. Rivat voivat olla peräisin myös tehtaalta, mikäli ne on tilattu määrämittaan sahattuna eivätkä ole vaatineet työstämistä. Komponentit tarkastetaan huolellisesti ennen liimauksen aloittamista. On tärkeää, että määrät, mitat ja työstöt ovat oikeat.

Kun määrät, mitat ja työstöt on todennettu oikeiksi komponenteista, mitataan kosteusprosentit ja lämpötilat. Seuraava vaihe on komponenttien tasaannuttaminen, koska liimausta varten puukomponenteilta vaaditaan vähintään 18°C lämpötila ja puun kosteuspitoisuuden on oltava 8–18 % välillä. Puun kosteuspitoisuudella tarkoitetaan puussa olevan veden painon suhdetta puun absoluuttiseen kuivapainoon. Liimattavien komponenttien kosteusero saa olla enintään 5 %. Tuotantohallissa on ns. tasaannutus pääty toimenpidettä varten. Alueen lämpötila on oltava vähintään 17°C ja ilman suhteellinen kosteus vähintään 35 %.

Elementtien tuotantoon käytettävä liima on Standardin EN15425 mukainen Loctite HB S Purbond®. Liiman tyyppi on 1, mikä tarkoittaa, että se soveltuu täysin säälle alttiisiin rakenteisiin. Käytössä on liimat HB S 209 ja 409, jotka eroavat toisistaan avoimen ajan ja puristusajan suhteen. Liiman HB S209

avoin aika on 20 min ja puristus aika 50 min, kun taas HB S409 vastaavat ajat ovat 40 min ja 100 min.

Kuvassa 29 on esitetty havainnekuva rungon liimauksesta pohjalevyyn ja kuvassa 30 kuva elementistä, joka on liimauksessa.



Kuva 29. Rungon liimaus



Kuva 30. Elementti liimauksessa

Liimauksen aikana saumoille tehdään silmämääräinen tarkastus. Liiman tulisi pursuta näkyvästi rivan molemmilta puoliilta koko matkalta. Luonnollisesti tarkastusta ei voida tehdä kaikille rivoille tai niiden sivuille, mutta se suoritetaan

siltä osin, kun se on mahdollista. Ylimääräinen liima poistetaan märkänä tai sen kuivuttua täysin.

Ripalaatoista otetaan koekappaleita, joista mitataan liimasaumojen paksuus ja määritetään niiden leikkauslujuus. Koekappaleina käytetään 32 mm poratappi-kappaleita. Koekappaleita otetaan 6 kpl testattavasta elementistä. Jokaisesta tuotantoerästä testataan yhden ripalaatan koekappaleiden leikkauslujuus. Testauspöytäkirjat tallennetaan sähköisesti ja niiden säilytysaika on 10 vuotta.

Kuvassa 31 on esitetty kuva rakenteesta poratusta koekappaleesta, jossa on rivan ja pohjalevyn liitoskohta.



Kuva 31. Koekappale, jossa näkyy pohjalaatan ja rivan liitos

### **Eristäminen ja pintamateriaalit**

Pohjalevyn ja ripojen rakenneliimauksen jälkeen elementin runko siirretään sille varattuun kokoonpanopaikkaan kasaustyötä varten. Kokoonpano aloitetaan mahdollisten sähköputkitusten asennuksella, joiden paikat on esiporattu pohjalevyn työstön yhteydessä.

Eristys tehdään joko levy- tai puhalluseristeillä. Levyeristys toteutetaan rungon vahvuisena yhdestä levystä tai useammasta eristekerroksesta. Useampaa eristekerrosta käytettäessä tulee vaakasaumat limittää, jolloin päästään hie- man yhdestä levystä tehtyä eristystä parempaan lopputulokseen.

Elementin ulkopuolelle heti eristekerroksen päälle asennetaan tuulensuojaeriste, joka kiinnitetään runkotolppiin. Jäykät eristelevyt kuten Hunton tai Runkoleijona kiinnitetään huopanauloilla tai ruuveilla valmistajan ohjeiden mukaisesti. Pehmeät tuulensuojaeristeet, kuten Paroc Cortex Pro, vaativat erilliset naulausvälikkeet, joiden avulla eriste kiinnitetään runkoon.

Tuulensuojakerroksen päälle kiinnitetään pystykoolaukset, jotka varmistavat julkisivun toimivan tuuletuksen ja antavat pohjan seuraaville kerroksille. Elementti voidaan jättää tähän vaiheeseen tai tehdä ulkoverhous täysin valmiiksi tilaajan vaatimusten mukaan.

Sisäpintaan asennetaan tarvittaessa pintakerrokset valmiiksi tilaajan vaatimusten mukaan.

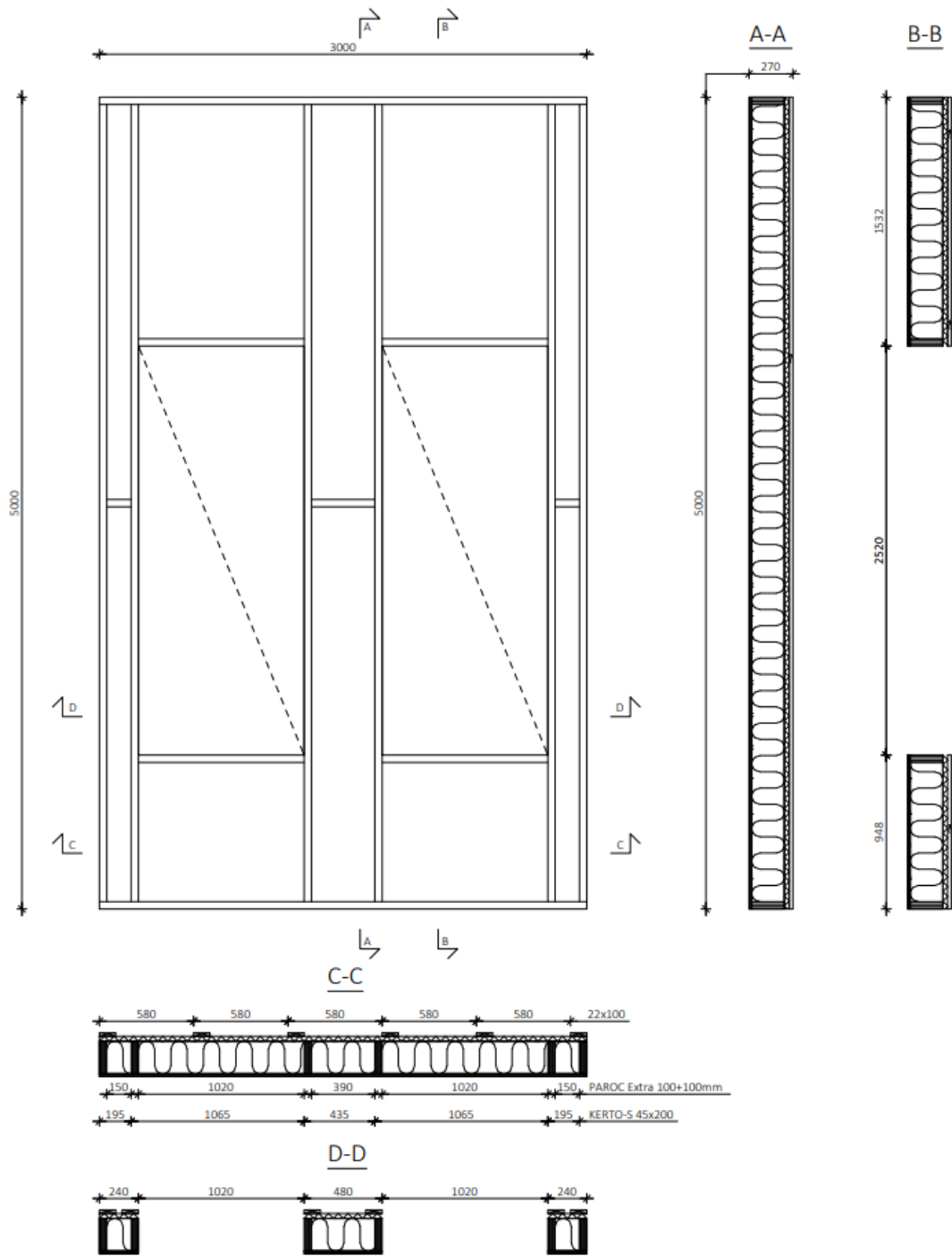
### **Pakkaus ja kuljetus**

Yksittäiset elementit pakataan muoviin, joka suojaa niitä jokaiselta sivulta. Muovin kiinnityksessä käytetään niittejä, teippiä ja muovivannetta. Pakkauksen aikana varmistetaan, että muovi on ehjä eikä laske kosteutta tai likaa pakkauksen sisäpuolelle.

Ripaseinäelementeistä tehdään kuljetusta varten nippu. Elementtien alle kiinnitetään sen levyiset aluspuut. Aluspuiden tulee olla samassa linjassa, koska kuorma kiinnitetään niiden kohdalta autoon. Elementtinippu suojataan vielä erikseen muovilla, jotta varmistettaisiin lian ja kosteuden pysyminen ulkopuolella.

### **Elementtipiirustus**

Kuvassa 32 on esitetty mittapiirustus pystyelementistä, jonka leveys on 3 m ja korkeus 5 m.



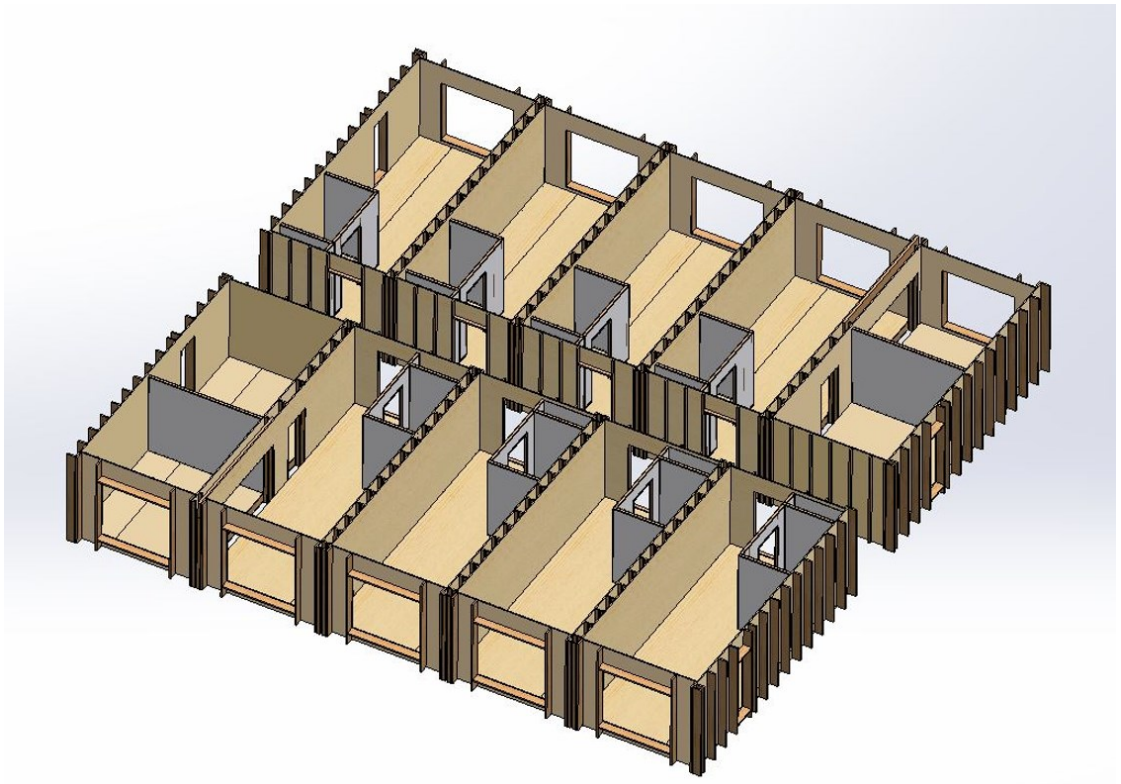
Kuva 32. Mittapiirustus mallielementistä

## 5 RIPASEINÄELEMENTTIEN KÄYTTÖKOhteITA Tulevaisuudessa

Toimeksiantajalla on vakaa pyrkimys kehittää riparakenteen käyttöä seinäelementeissä ja jatkaa niiden markkinointia sekä vakiinnuttamista puuelementtirakentamisessa.

Elementtejä on teoriassa mahdollista käyttää niin hallirakentamisessa, pien- ja kerrostaloissa sekä lisäkerrosrakentamisessa joko kantavina rakenteina, kuorielementteinä tai kevyinä väliseinäratkaisuinä. Ripaseinärakennetta voidaan hyödyntää yhtä hyvin niin taso- kuin tilaelementeissä.

Kuvassa 33 on esitetty 3D-malli riparakenteisista moduuleista tehdystä asuin-kerrostalon kerroksesta.



Kuva 33. Havainnekuva ripaseinäelementeistä toteutetusta kerroksesta

## 6 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyöprosessi perehdytti hyvin riparakenteisen seinäelementin valmistukseen, ominaisuuksiin ja käyttömahdollisuuksiin sekä rakennusmääräysten asettamiin rajoituksiin. Prosessi kasasi hyvin olemassa olevaa tietoa yhteen ja loi myös uusia ideoita rakenteen kehitykselle.

Riparakenteisia seinäelementtejä pystytään valmistamaan niin vaaka- kuin pystyelementteinä. Pystyelementtien maksimitat ovat 3 000 x 12 000 mm, jolla päästään, jopa 4. kerrokseen asti. Vastaavasti vaakaelementin maksimitat ovat 12 000 x 3 000 mm, mutta rakenne vaatii aihion viistejatkamista, jotta elementin leveyttä pystytään kasvattamaan.

Erillinen höyrynsulkukerros voidaan korvata riittävän paksulla pohjalevyllä. Havuvaneri omaa suuremman vesihöyrynvastuksen, joten se on rakennusfysikaalisesti parempi vaihtoehto. Kantavissa seinärakenteissa joudutaan kuitenkin pääasiassa käyttämään paksumpaa LVL-levyä sen parempien lujuusominaisuuksien takia. Rakennusfysikaalisesti parhaimpia eristevaihtoehtoja olisivat hygroskooppiset eristeet, mutta rakenteesta saadaan myös toimiva mineraalivillaaeristyksellä. Rakennusfysikaalisesta toiminnasta on tarkoitus tehdä tulevaisuudessa myös käytännön testaukset, joilla pystytään varmentamaan pohjalevyllä korvattavan höyrynsulun pois jättäminen.

Aiheeseen liittyvät opinnäytetyöt, jotka käsittelevät rakenteen lujuusominaisuuksia laskennallisesti ja käytännön tasolla tulevat antamaan hyvän pohjan rakenteiden mitoitukselle tulevaisuudessa. Pohjalevyn ja sen viistejatkosten vaikutus rakenteen kestävyteen on tärkeässä roolissa rakenteita suunniteltaessa.

Yhdistämällä kaikki edellä mainitut tutkimukset ja niiden tulokset pystytään riiparakenteisia seinäelementtejä tarjoamaan jatkossa entistä paremmin perustein eri käyttökohteisiin optimoituina, joko vaihtoehtoina rankarunko, CLT tai betonielementeille. Kohteisiin, joissa pystytään jättämään sisäpinta ilman suojaverhusta, tullaan hyödyntämään sisäpuolisena levynä pinnoitettua WISA-  
Paintply vaneria, jolla luodaan helposti pinnoitusvalmis sisäpinta ilman työläitä tasoitusvaiheita.

## LÄHTEET

Ekovilla Oy. 2020. Ekovilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ekovilla.com/tuotteet/> [viitattu 19.1.2024].

Heino, P. 2022. Teollinen puurakentaminen on murrosvaiheessa. Ympäristöministeriö. Kolumni 6.6.2023. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/nakokulma-teollinen-puurakentaminen-on-murrosvaiheessa> [viitattu 19.1.2024].

Hunton Oy/Ab. 2022a. Hunton Nativo® käsikirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2020/04/hunton-nativo-kasikirja-0422-fi-web.pdf> [viitattu 22.1.2024].

Hunton Oy/Ab. 2022b. Hunton tuulensuojalevy tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2018/12/tuulensuojalevy\\_tuotekortti-updated-06-2019-new.pdf](https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2018/12/tuulensuojalevy_tuotekortti-updated-06-2019-new.pdf) [viitattu 22.1.2024].

Koskinen. T. 2021. Ripaseinärakenteen kantavuus ja jäykkyysominaisuudet tilaelementtikerrostalossa. Tampereen yliopisto. Rakennustekniikka. Diplomityö. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202105285544> [viitattu 20.3.2024].

Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_nettili\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettili_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Metsä Group. 2023a. Kerto LVL S-beam tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto\\_lvl\\_sbeam\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto_lvl_sbeam_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 19.1.2024].

Metsä Group. 2023b. Kerto LVL Q-panel tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto\\_lvl\\_qpanel\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto_lvl_qpanel_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 19.1.2024].

Metsä Group. 2023c. Spruce Ply tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/832493da2a7142c5906ef197409c5579/metsa\\_wood\\_spruce\\_product\\_datasheets\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/832493da2a7142c5906ef197409c5579/metsa_wood_spruce_product_datasheets_fi.pdf) [viitattu 16.5.2024].

Paroc Group Oy. 2024a. Paroc Cortex Pro tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.paroc.com/-/media/uploaded-product-docs/2024/01/02/08/12/paroc-cortex-pro-fi.pdf?dmc=1&ts=20240122t0648081488> [viitattu 22.1.2024].

Paroc Group Oy. 2024b. Paroc eXtra. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.paroc.com/tuotteet/rakennuseristeet/yleiseristeet-eristelevyt-ja-eristematot/paroc-extra> [viitattu 19.1.2024].

Puurakentaminen on ratkaisu. Metsä Group. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.metsagroup.com/fi/uutiset-ja-julkaisut/muut/kampanjat/urban-carbon/puurakentaminen-on-ratkaisu> [viitattu 19.1.2024].

Puumerkki. 2024. LVL by Stora Enso X Laatu. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.puumerkki.fi/tuotteet\\_ja\\_tuotemerkit/tuotemerkit/stora\\_enso\\_wood\\_products/lvl\\_by\\_stora\\_enso\\_x\\_laatu.html](https://www.puumerkki.fi/tuotteet_ja_tuotemerkit/tuotemerkit/stora_enso_wood_products/lvl_by_stora_enso_x_laatu.html) [viitattu 16.5.2024].

Saint Gobain Finland Oy. 2023. GTS 9 tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.gyproc.fi/documents/tuotekortti/gyproc-gts-9.pdf> [viitattu 22.1.2024].

Sisäilmayhdistys ry. Kosteusvauriot. 2008. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lyyti.fi/att/cfe5005f2002/bc1599b9462a658959ac5b5b967559f2341383d4> [viitattu 20.3.2024].

Tervo. H. 2020. Höyrynsulun tiivistäminen ja tiivistystyön laadunvarmistus. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202003093196> [viitattu 10.4.2024].

UPM-Kymmene Oyj. WISA-Paintply tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wisaplywood.com/siteassets/documents/brochures/wisa-paintply-fi-fs.pdf> [viitattu 16.5.2024].

Nordic Fibreboard Ltd. 2022. Tuulileijona tuotteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tuulileijona.fi/tuotteet/> [viitattu 22.1.2024].

Vinha J., Raunima T. (toim) 2023. Rakennusfysiikka 2023: Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 24.–26.10.2023. Seminaarijulkaisu. Tampere. Tampereen yliopisto. E-kirja. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-3120-7> [viitattu 16.5.2024].

Vinha. J. ym. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8> [viitattu 22.1.2024].

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Kotelo- ja avokotelolaatta. Löppönen, S. 2024.

Kuva 2. T-poikkileikkaus. Löppönen, S. 2024.

Kuva 3. Seinän heikon suunnan nurjahdus. Puuinfo. 2020. Rakenteet. Pilari-Palkkirakenteet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/seinien-jaykistys/> [viitattu 28.1.2024].

Kuva 4. Seinän vahvan suunnan nurjahdus. Puuinfo. 2020. Rakenteet. Pilari-Palkkirakenteet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/seinien-jaykistys/> [viitattu 28.1.2024].

Kuva 5. Todellinen ja tehollinen poikkileikkaus. Löppönen, S. 2024.

Kuva 6. Seinärakenteen kosteuspitoisuuskäyrät mitoitustilanteessa. Löppönen, S. 2024.

Kuva 7. Kantavan ja osastoivan rakennusosan palonkestävyyden perusvaatimukset. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_nettil\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Kuva 8. Havainnekuva ontelon palokatkoprofiilista. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_nettil\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_nettil_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Kuva 9. Polttokokeessa käytetty rakennetyyppi. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 10. Koekappale tulen puolelta ennen koetta. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 11. Koekappale kokeen jälkeen. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 12. Massiivipuulevyn lommahdus puristetulla reunalla. Puuinfo. 2020. Rakenteet. Pilari-Palkkirakenteet. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/seinien-jaykistys/> [viitattu 28.1.2024].

Kuva 13. Kerto® LVL Q-panel tuotemitat ja vakiotoleranssit. Metsä Group. 2023. Kerto LVL Q-panel tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/content-sets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto\\_lvl\\_qpanel\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/content-sets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto_lvl_qpanel_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 19.1.2024].

Kuva 14. Kerto® LVL Q-panel levyjen rakenteet. Metsä Group. 2023. Kerto LVL Q-panel tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentsets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto\\_lvl\\_qpanel\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentsets/f8ff384a208d4786959efa4bca9fab2c/kerto_lvl_qpanel_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 19.1.2024]

Kuva 15. Havuvanerin vakiopaksuudet. Metsä Group. 2024. Spruce Ply tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/832493da2a7142c5906ef197409c5579/metsa\\_wood\\_spruce\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/832493da2a7142c5906ef197409c5579/metsa_wood_spruce_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 14.4.2024]

Kuva 16. WISA Paintply vakiopaksuudet ja -koot. UPM-Kymmene Oyj. 2024. Wisa-Paintply tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.wisaplywood.com/siteassets/documents/brochures/wisa-paintply-fi-fs.pdf> [viitattu 14.4.2024].

Kuva 17. Kerto® LVL S-beam tuotemitat ja vakiotoleranssit. Metsä Group. 2023a. Kerto LVL S-beam tuotekortti. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto\\_lvl\\_sbeam\\_product\\_datasheet\\_fi.pdf](https://www.metsagroup.com/contentassets/e39dfa793cc343918376a4166feda0c4/kerto_lvl_sbeam_product_datasheet_fi.pdf) [viitattu 19.1.2024].

Kuva 18. Paroc eXtra vakioimitat. Paroc Group Oy. 2024b. Paroc eXtra. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fi.paroc.com/tuotteet/rakennuseristeet/yleiseristeet-eristelevyt-ja-eristematot/paroc-extra> [viitattu 19.1.2024].

Kuva 19. Ekovillalevyn vakioimitat. Ekovilla Oy. 2020. Ekovilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ekovilla.com/tuotteet/> [viitattu 19.1.2024].

Kuva 20. Hunton Nativo® eristelevyjen vakioimitat. Hunton Oy/Ab. 2022a. Hunton Nativo® käsikirja. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://hunton.fi/wp-content/uploads/sites/16/2020/04/hunton-nativo-kasikirja-0422-fi-web.pdf> [viitattu 22.1.2024].

Kuva 21. Ei-kantavan kuorielementin rakennetyyppi. Löppönen, S. 2024.

Kuva 22. Kantava ja jäykistävä seinärakenne. Löppönen, S. 2024.

Kuva 23. Täysin riparakenteisena toteutettu tilaelementti. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 24. 5000 x 2500 seinäelementin pohjalevyn nestaus aihiolle EasyWood ohjelmistossa. Reunoissa riittää 10 mm työstövara, jotta aihion reunat saadaan oikaistua. Samu Löppönen. 2024.

Kuva 25. Havainnekuva elementin ripojen nestauksesta, jos päätettäisiin tehdä rivat työstämällä. Mustat ääriviivat kuvaavat aihiota ja punaiset viivat ripojen ulkoreunoja, joiden mukaan kone työstäisi rivat irti aihioista. Samu Löppönen. 2024.

Kuva 26. Biesse työstökeskus ja työstöpöydät. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 27. Koneistettu pohjalevy odottamassa ripojen rakenneliimausta. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 28. Rakenneliimaukseen käytettävä puristinlinja Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 29. Havainnekuva rungon liimauksesta. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 30. Elementti liimauksessa. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 31. Koekappale, jossa näkyy pohjalaatan ja rivan liitos. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

Kuva 32. Mittapiirustus mallielementistä. Löppönen, S. 2024.

Kuva 33. Havainnekuva ripaseinäelementeistä toteutetusta kerroksesta. Punkaharjun Puutaito Oy. 2024.

## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Sisäpinnan vesihöyrynvastuksen ( $Z_{p,i}$ ) ja sisä- sekä ulkopinnan välisen vesihöyrynvastus-suhteen ( $Z_i/Z_e$ ) vaaditut minimiarvot puurunkoisissa ulkoseinissä vuosien 2050 ja 2100 ilmas-toissa, kun sisäilman kosteuslisä on talviaikana 5g/m<sup>3</sup> ja kesäaikana 2g/m<sup>3</sup>. Vinha, J. ym. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8> [viitattu 22.1.2024].

Taulukko 2. Rakennusten paloluokat. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Taulukko 3. Puurungon tyypillisiä vaatimuksia P2-paloluokassa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Taulukko 4. Puurungon tyypillisiä vaatimuksia P1-paloluokassa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Taulukko 5. Suojaverhousvaatimukset 1–2 kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Taulukko 6. Suojaverhousvaatimukset 3–4 kerroksisessa P2-paloluokan rakennuksessa. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

Taulukko 7. Palomitoitusperiaatteet. Lahtela, T. 2021. Paloturvallinen puutalo, asuin- ja toimitilarakentaminen. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja\\_netti\\_kokonainen.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Palokirja_netti_kokonainen.pdf) [viitattu 8.3.2024].

