



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

PAULA SALMINEN

# **Lämmöneristeen vaikutus yläpohja- rakenteen kosteustekniseen toimi- vuuteen ja hiilijalanjälkeen**

PORIN TAIDEMUSEON PERUSKORJAUS

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-  
OHJELMA

2023

## TIIVISTELMÄ

Salminen, Paula: Lämmöneristeen vaikutus yläpohjarakenteen kosteustekniseen toimivuuteen ja hiilijalanjälkeen. Porin taidemuseon peruskorjaus.

Opinnäytetyö, AMK

Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma, rakenne-suunnittelu

Toukokuu 2023

Sivumäärä: 73 + 22 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella eri lämmöneristeiden vaikutusta yläpohjarakenteen kosteustekniseen toimivuuteen ja hiilijalanjälkeen sekä tuottaa hiilijalanjäljen laskentaan liittyvää tietoa julkisen korjausrakentamisen suunnitteluun. Tutkimuksessa vertailtavat lämmöneristeet olivat kivivilla, lasivilla, polyuretaani (PIR) sekä puukuitueriste. Opinnäytetyön tutkimus oli tapauskohtainen, joka perustui Porin taidemuseon suurimman näyttelytilan yläpohjarakenteen peruskorjaukseen.

Tutkimusosuudet perustuivat kvalitatiiviseen kirjallisuustutkimukseen. Yläpohjarakenteen kosteusteknistä toimivuutta tarkasteltiin kosteuden kondensoitumisena eli tiivistymisenä rakenteessa. Tarkastelu toteutettiin stationääriseen laskentamenetelmään perustuvalla DOF-Lämpö 2.2 ohjelmalla. Herkkyystarkastelussa käytettiin näyttelytilalle hankesuunnitteluvaiheessa annettuja tavoitteellisia sisäilmaolosuhteita ja tavoitearvojen ylittäviä olosuhteita. Hiilijalanjäljen laskennassa vertailtiin neliömetripohjaisesti rakenteiden tuotevaiheen hiilijalanjälkeä. Lisäksi laskennassa huomioitiin myös purettavien materiaalien jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilijalanjälki. Laskennassa käytettiin rakentamisen tietokannan mukaisia generisiä arvoja, joissa oli huomioitu konservatiivisen arvon kerroin ja materiaalihukka. Hiilijalanjäljen laskenta suoritettiin Excel-ohjelmalla.

Tarkastelussa selvisi, että tavoitteellisissa olosuhteissa rakenteisiin ei tiivistynyt kosteutta. Kosteuden tiivistyminen oli mahdollista sisäilman suhteellisen kosteuden noustessa 60 % RH rakenteessa, jonka lämmöneristeenä oli puukuitueriste. Tiivistymistä tapahtui rakenteessa, kun tarkasteluhetken ulkoilman lämpötila oli (-20) °C ja suhteellinen kosteus 90 % RH. Hiilijalanjäljen laskennassa korkeimmat arvot olivat yläpohjarakenteessa, jonka lämmöneristeenä oli polyuretaani (PIR) ja pienimmät arvot olivat yläpohjarakenteessa, jossa lämmöneristeenä oli lasivilla. Hiilijalanjäljen laskennassa ei huomioitu energiatehokkuutta. Rakenteen lämmöneristävyuden parantuminen voi pienentää elinkaaren käyttövaiheen hiilijalanjälkeä ja näin ollen elinkaaren kokonaistarkastelussa pienentää myös rakenteen hiilijalanjälkeä.

Avainsanat: hiilijalanjälki, korjausrakentaminen, lämmöneriste, kosteus, yläpohja, Porin taidemuseo

## Abstract

Salminen, Paula: The Effect of Thermal Insulation on the Moisture Content of the Roof Structure and Carbon Footprint. The Renovation of the Pori Art Museum.

Bachelor's thesis

Degree Programme in Construction and Municipal Engineering

May 2023

Number of pages: 73 + 22 appendices

The aim of the thesis was to examine the effect of different thermal insulations on the moisture content of the roof structure and the carbon footprint, and to produce information related to the carbon footprint calculation for the planning of public renovation construction. The thermal insulation materials compared in the study were stone wool, glass wool, polyurethane (PIR) and wood fiber insulation. The thesis was a case-specific study, based on the renovation of the roof structure of the largest exhibition space of the Pori Art Museum.

The research parts were based on a qualitative literature review. The moisture performance of the roof structure was examined in terms of moisture condensation in the structure. The examination was carried out with the DOF-Lämpö 2.2 program based on the stationary calculation method. In the sensitivity analysis, the target indoor air conditions given for the exhibition space during the project planning phase and the conditions exceeding the target values were used. In the calculation of the carbon footprint, the carbon footprint of the product phase of the structures was compared on a per-square-metre basis. In addition, the calculation also took into account the carbon footprint of the waste treatment and final disposal of the dismantled materials. The calculation used generic values from the construction database, taking into account the coefficient of conservative value and material loss. The calculation of the carbon footprint was performed using the Excel program.

The examination revealed that moisture does not condense in the structures under the target conditions. The condensation of moisture was possible when the relative humidity of the indoor air increased to 60 % RH in a structure that was insulated with wood fiber insulation. Condensation occurred in the structure when the outside air temperature at the time of examination was (-20) °C and the relative humidity was 90 % RH. In the carbon footprint calculation, the highest values were in the roof structure insulated with polyurethane (PIR), and the lowest values were in the roof structure insulated with glass wool. Energy efficiency was not taken into account when calculating the carbon footprint. The improvement of the thermal insulation of the structure can reduce the carbon footprint of the use phase of the life cycle and thus, in the overall analysis of the life cycle, also reduce the carbon footprint of the structure.

Keywords: carbon footprint, renovation, thermal insulation, humidity, roof structure, Pori Art Museum

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet .....	8
1.2 Tutkimuksen rajaus .....	11
1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto .....	13
2 PORIN TAIDEMUSEO .....	15
2.1 Rakennuksen historiallinen taustaselvitys .....	17
3 KIRJALLISUUSTUTKIMUS OSA 1 – RAKENTEEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS .....	24
3.1 Kosteus .....	24
3.1.1 Kosteus ilmassa .....	24
3.1.2 Kosteuden siirtyminen .....	25
3.1.3 Kosteuslähteet .....	28
3.1.4 Mikrobikasvuston syntyyn vaikuttavat tekijät .....	30
3.2 Lämpö .....	31
3.2.1 Lämmön siirtyminen .....	31
3.3 Laskentaperiaate rakenteen kosteuden tiivistymiselle .....	32
3.4 Ympäristöministeriön ohjeistus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta .....	35
3.5 Yleisimmät yläpohjarakenteen lämmöneristeet .....	37
3.5.1 Mineraalivillat .....	37
3.5.2 Polyuretaanieristeet (PIR/PUR) .....	39
3.5.3 Puukuitueristeet .....	41
4 TAPAUSTUTKIMUS OSA 1 – PORIN TAIDEMUSEON NÄYTTELYTILAN YLÄPOHJARAKENTEEN KORJAUS .....	42
4.1 Näyttelytilan yläpohjarakenteen rakennetutkimukset .....	42
4.2 Näyttelytilan asettamat vaatimukset yläpohjarakenteelle .....	45
4.3 Rakenteen kosteustekninen laskenta .....	45
4.4 Tulokset .....	48
5 KIRJALLISUUSTUTKIMUS OSA 2 – HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA KORJAUSRAKENTAMISESSA .....	52
5.1 Ilmastaselvityksen laadinta korjausrakentamisessa .....	52
5.2 Tuotevaiheen hiilijalanjälki .....	55
5.3 Hiilijalanjäljen huomioiminen julkisessa korjausrakentamisen suunnittelussa .....	56
6 TAPAUSTUTKIMUS OSA 2 – PORIN TAIDEMUSEON NÄYTTELYTILAN YLÄPOHJARAKENTEEN HIILIJALANJÄLKI .....	59

6.1 Laskentateoria.....	59
6.2 Tulokset.....	61
7 YHTEENVETO.....	63
8 POHDINTA .....	65
8.1 Tavoitteiden toteutuminen .....	67
8.2 Tulosten luotettavuus .....	67
8.3 Jatkotutkimusaiheet.....	67
LÄHTEET .....	69
LIITE 1: RAKENNETYYYPIT.....	74
LIITE 2: RAKENNETYYPPIEN LÄMPÖTILA- JA KOSTEUSLASKELMAT ..	81
LIITE 3: HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINNIN ELINKAARIVAIHEET .....	89
LIITE 4: RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTIIN SISÄLTYVÄT OSAT .....	90
LIITE 5: RAKENTEIDEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTATIEDOT .....	91

## 1 JOHDANTO

Sanna Marinin hallitus asetti hallitusohjelmassaan useita tavoitteita, joista rakentamisen laadun parantaminen tulevaisuudessa, hiilineutraalin yhteiskunnan luominen, digitalisaation parantaminen ja luonnon monimuotoisuuden vahvistaminen olivat keskeisiä. Vuonna 2000 Suomessa voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä -asetus (895/1999) ovat olleet kokonaisuudistuksen alla, jotta hallituksen asettamat tavoitteet on mahdollista toteuttaa tulevaisuudessa. Lakia on muokattu useaan otteeseen vuosien aikana, mutta ilmastonmuutoksen tuomat haasteet yhdessä muuttuvan EU:n lainsäädännön kanssa ovat kyseenalaistaneet lain toimivuuden nykyisessä yhteiskunnassa. (Valtioneuvosto, 2022, s. 7.) Lain säädösvalmistelu käynnistyi vuonna 2018 ja eduskunta hyväksyi sen 1.3.2023. Uusi rakentamislaki tulee voimaan vuonna 2025 ja sen myötä uuden rakennuksen sekä laajamittaisesti korjattavan rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta muuttuu pakolliseksi rakennuksen ilmastaselvityksen yhteydessä.

Opinnäytetyössä tutkitaan lämmöneristeen vaikutusta yläpohjarakenteen hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälki on keino mitata rakennuksen, rakenteen tai rakennusmateriaalin ilmastovaikutusta. Hiilijalanjälki tarkoittaa käytännössä tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Opinnäytetyössä hiilijalanjälkilaskenta rajataan elinkaaren alkuvaiheen aiheuttamiin päästöihin, koska nämä yleensä aiheuttavat niin kutsutun hiilipiikin rakentamisessa ja ovat siksi kriittisimmät ilmastovaikutuksen akuutissa ehkäisyssä.

Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2019 rakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmän, jonka tarkoituksena oli ohjeistaa rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaa. Päivitetty luonnosversio arviointimenetelmästä julkaistiin vuonna 2021 yhdessä rakennuksen ilmastaselvityksen asetusluonnoksen sekä perustelumuistion kanssa (Ympäristöministeriö, n.d.). Opinnäytetyö on kirjoitettu

keväällä 2023 ennen uuden rakentamislain hyväksyntää ja sen ohjeistus hiilijalanjälkilaskennasta perustuu vuonna 2021 julkaistuun vähähiilisuuden arviointimenetelmän luonnosversioon sekä perustelumuiistioon.

Opinnäytetyö pohjautuu Porin taidemuseon suurimman näyttelytilan yläpohjarakenteen peruskorjauksen suunnitteluvaiheen tutkimuksiin. Porin taidemuseo on yli 40 vuotta toiminut Porin Etelärannassa sijaitsevassa 1860-luvulla rakennetussa arvokiinteistössä, joka on rakennustaiteellisesti ja historiallisesti suojeltu rakennus. Vähähiilisyys ei sinänsä ole ollut peruskorjauksen keskeinen kriteeri, mutta julkisen tilaajan kannalta vähähiilisuuden huomioiminen korjausrakentamisessa on ollut oleellista ottaa käytäntöön ennen uuden rakentamislain voimaantuloa.

Vähähiilisuuden huomioiminen rakennesuunnittelussa on keskeistä ilmasto-  
muutoksen hillinnässä, mutta se ei yksistään kuitenkaan määritä toimivaa rakennetta. Rakenteen toimivuus on usean tekijän summa. Kosteusolosuhteiden ja kosteuden siirtymisen laskenta on tarpeellista rakenteissa, joissa on erityinen sisäpuolinen kosteus- ja lämpörasitus kuten museoiden kostutetut näyttelytilat (RIL 107-2022 , 2022, s. 16). Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella eri yläpohjarakenteiden kosteusteknistä toimintaa ja erityisesti kosteuden tiivistymistä rakenteessa.

## 1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Tutkimus perustuu Porin taidemuseon peruskorjaushankkeen rakennesuunnitteluun. Peruskorjaushankkeen rakentamisvaiheen suunnittelu aloitettiin syksyllä 2022. Rakentamisvaiheen on tarkoitus alkaa keväällä 2023 ja valmistua kesällä 2024. Hankkeen tilaajana toimii Porin kaupunki, joka on huomionut vähähiilisyyden osana hankkeen rakennesuunnittelun ohjausta. Hankkeen rakennesuunnittelusta vastaa Ramboll Finland Oy.

Nykytaiteeseen erikoistunut Porin taidemuseo on toiminut nykyisessä rakennuksessa vuodesta 1981 lähtien. Heinäkuussa vuonna 2021 rakennuksen länsipäädyn takaosassa syttyi tulipalo, jonka sammutustyöt vaurioittivat rakennuksen länsipäädyn takaosan ulkoseinää, LVI-järjestelmää sekä vesikattorakennettä. Tulipalon syttymissyynä oli takaosaan pysäköidyn rekan räjähdys. Palovahingosta seuranneiden vaurioiden korjaustöiden yhteydessä päätettiin suorittaa samanaikaisesti myös rakennuksen peruskorjaus. Peruskorjauksen tarkoituksena on parantaa rakenneosien rakennusfysikaalista toimintaa, uusia rakennuksen talotekniikkaa sekä parantaa yleisö- ja henkilökuntatilojen esteettömyyttä ja toimivuutta. Aiemmin suunniteltu vesikaton korjaus päätettiin toteuttaa myös peruskorjauksen yhteydessä. (Porin kaupunki, 2023a.)

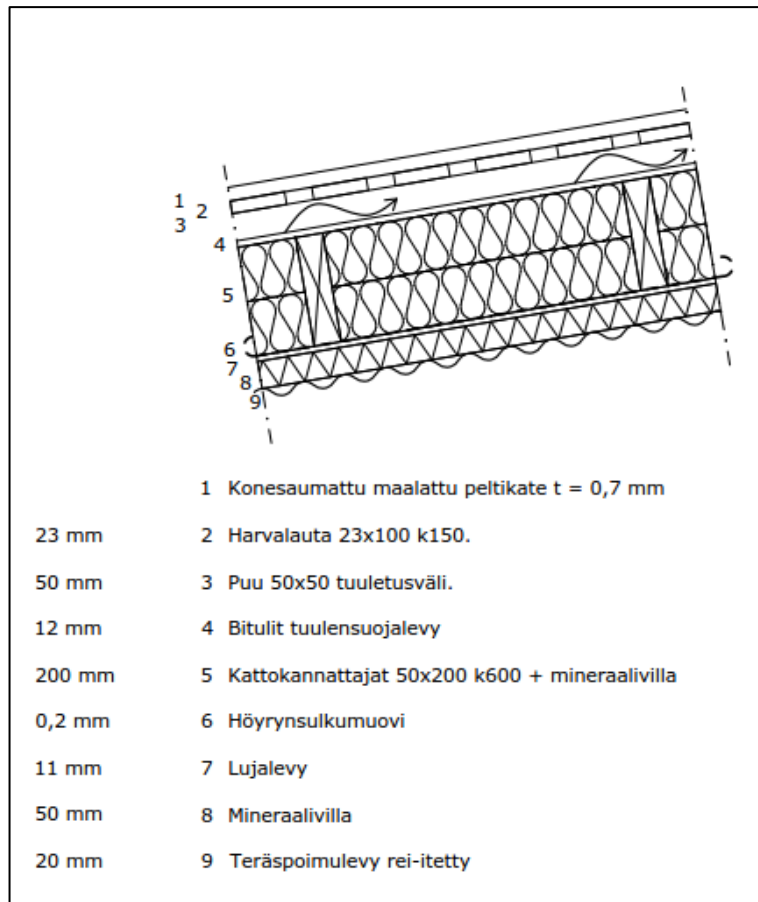
Tutkimusosuus rajattiin taidemuseon suuren näyttelytilan puurunkoiseen yläpohjarakenteeseen. Kyseisellä näyttelytilalla on useita nimityksiä kuten Halli ja näyttelysali. Opinnäytetyössä näyttelytilasta käytetään nimitystä näyttelytila 130A (kuva 1).





Kuva 1. Porin taidemuseon näyttelytila 130A (Porin taidemuseo, n.d.).

Näyttelytilan kantavien teräksisten kattoristikoiden päällä oleva yläpohjarakenne on puurunkoinen 50 mm tuuletusvälillä varustettu rakenne, jonka vesikatteena on konesaumattu maalattu peltikate. Lämmöneristeen paksuus rakenteessa on 200 mm ja vanhassa rakenteessa lämmöneristeenä on ollut mineraalivilla. Lämmöneristeen yläpuolella on 12 mm Bitulit -tuulensuojalevy ja lämmöneristeen alapuolella höyrynsulkumuovi ja 11 mm Lujalevy. Rakenteen sisäpuolisena pintarakenteena on 50 mm ääneneristysvilla (mineraalivilla) ja reiätetty maalattu teräspoimulevy (kuva 2).



Kuva 2. Näyttelytilan 130A yläpohjarakenne.

Alustavien rakennetutkimuksien perusteella yläpohjarakenteen korjaus toteutetaan osittaisella purkamisella ja materiaalien uusimisella. Rakennusvaiheen purkaminen määrittää lopullisen rajauksen rakenteen korjauksessa, jolloin rakenteen todellinen kunto voidaan selvittää.

Tutkimuksessa hyödynnetään Porin taidemuseon peruskorjaushankkeen suunnitteluvaiheen tuloksia. Tutkimuksen lähtökohtana on tarkastella eri lämmöneristeiden vaikutusta näyttelytilan 130A yläpohjarakenteessa. Vertailtaviksi ominaisuuksiksi määriteltiin rakenteen kosteustekninen toimivuus sekä rakenteen hiilijalanjälki.

Tutkimuksen toimeksiantajana toimii Ramboll Finland Oy, joka toimii myös rakennesuunnittelijana Porin taidemuseon peruskorjaushankkeessa. Ramboll Finland Oy on sitouttanut omat perusarvonsa kestävä kehityksen periaatteisiin (Ramboll Finland Oy, n.d.). Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa

ajankohtaista lisätietoa ja ymmärrystä toimeksiantajan korjausrakentamiseen liittyviin projekteihin.

Tutkimuksen tarkoituksena on huomioida myös toimeksiantajan sidosryhmiä. Porin taidemuseon peruskorjaushankkeen tilaajana toimii Porin kaupunki. Painet vähähiilisyden huomioimisessa rakennushankkeissa ovat erityisen suuret kuntasektorilla. Tutkimuksen tavoitteena on selventää eri lähteiden avulla, miten tuleva ilmastomuutokseen liittyvä lainsäädäntö vaikuttaa julkisessa korjausrakentamisessa ja tarjota opastusta sekä työkaluja julkiselle tilaajataholle.

Korjausrakentamisessa huomioidaan aina tutkittavana olevan rakennuksen historia. Tutkimuksessa taustoitetaan myös rakennuksen ja tutkittavan rakenteen historiaa yleistasoisella taustaselvityksellä.

## 1.2 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksen kohde on suojeltu arvorakennus, jonka peruskorjauksen tarkoituksena ei ole ensisijaisesti taloudellisuus tai energiatehokkuus. Tämän johdosta työssä ei huomioida kustannustarkastelua tai korjausrakentamisen energiatehokkuuden vaatimuksia.

Rakenteen materiaaleista keskeisenä tutkimuskohteena on lämmöneristeen vaikutus yläpohjarakenteessa. Lämmöneristeiden vertailu haluttiin toteuttaa mahdollisimman laaja-alaisesti, ja materiaaleiksi valittiin yleisesti yläpohjarakenteissa käytettävät lämmöneristeet kivivilla, polyuretaani (PIR), lasivilla ja puukuitueriste.

Tutkittava rakenne sijaitsee tilassa, jonka sisäilmaolosuhteet ovat tarkkaan määriteltäviä ja hallittuja. Taidemuseon peruskorjaushankkeen suunnitelmissa on määriteltävä näyttelytilan olosuhdesuosituksiksi lämpötila  $+20 \pm 2$  °C ja sisäilman kosteus  $50 \pm 5$  % RH. Tämän johdosta kosteuden siirtymät ja tiivistymisriski rakenteessa ovat keskeisiä rakennusfysikaalisia tarkastelukohtia.

Tutkimuksessa rakenteessa ei huomioida kantavia teräsristikoita, katossa olevia kattoikkunoita tai yläpohjarakenteen liitoksia.

Kosteusteknisten ominaisuuksien lisäksi rakennetta tutkitaan myös vähähiilisyiden osalta. Lämmöneristeen vaikutusta yläpohjarakenteen hiilijalanjälkeen tarkastellaan rakenteen tuotevaiheen päästöillä, koska ne määrittävät korjausrakentamisen rakentamisvaiheesta syntyvän hiilipiikin. Lisäksi tuotesidonnaisissa päästöissä huomioidaan rakentamisvaiheen vanhan rakenteen purkamisesta aiheutuvat päästöt, jotka vaikuttavat myös korjauksesta syntyvään hiilipiikkiin. Rakenteella ei ole energiatehokkuuteen liittyviä kriteereitä, jolloin energian käyttöön liittyviä päästöjä ei huomioida tutkimusosiossa.

Hiilijalanjäljen laskennassa arviointijakson pituus on 50 vuotta. Tutkimuksessa ei huomioida rakennusosien vaihdoista aiheutuvia päästöjä, koska yläpohjarakenteen keskimääräinen tekninen käyttöikä normaaleissa olosuhteissa on määritelty samaksi kuin rakennuksen käyttöikä. Sinkityn peltikatteen tekninen käyttöikä on normaaleissa olosuhteissa noin 60 vuotta, jonka johdosta peltikatteen vaihtoja ei myöskään huomioida laskennassa. (RT 18-10922, 2008, ss. 6,9.)

Tutkimuksesta on rajattu pois kuljetukseen ja rakentamisvaiheeseen perustuvat päästöt. Päästötietokannan taulukkoarvot kuljetuksille ja rakentamiseen pohjautuvat koko rakennuksen rakentamisesta aiheutuviin päästöihin. Pelkän rakenteen päästöjen arvioinnissa taulukkoarvot antavat todellista suuremmat arviot. Rakentamisvaiheen ja kuljetuksen päästöt tulisi määritellä todellisen toteutumana perusteella, jotka saadaan vasta rakentamisvaiheessa.

Positiiviset ilmastovaikutukset eli hiilikädenjälki on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle. Rakenteen puupohjaiset materiaalit toimisivat mahdollisina hiilivarastoina, mutta silloin materiaalit tulisi suunnitella pysyväksi rakennuksessa vähintään 100 vuoden ajan (Ympäristöministeriö, 2021, s. 29). Korjauksen suunnittelukäyttöäksi on määritelty 50 vuotta, jolloin puupohjaisten materiaalien hiilikädenjälki rajataan tutkimuksesta pois.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto

Tutkimus koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen osa käsittelee yläpohjarakenteeseen liittyviä kosteusteknisiä ominaisuuksia ja toinen osa käsittelee korjausrakentamisen vähähiilisyttä. Molemmissa osissa tutkimus perustuu kvalitatiiviseen kirjallisuustutkimukseen ja tapaustutkimukseen.

Kosteustekniseen toimivuuteen liittyvässä kirjallisuustutkimuksessa tutkimusaineisto koostuu alaan liittyvistä julkaisuista. Keskeisinä lähteinä ovat RIL 250-2020 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen, RIL 107-2022 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet sekä RT 103528-ohjekortti Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus perustuu ympäristöministeriön julkaisemaan ohjeistukseen. Lämmöneristeiden rakennusfysikaalisia ominaisuuksien tutkiminen pohjautuu RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka 1, rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset -teokseen.

Rakennuksen ja rakenteen historiallinen taustaselvitys pohjautuu Anu Laurilan tekemään Porin taidemuseon rakennushistoriaselvitykseen, Juhani Saarisen Porin historia III -teokseen sekä Mikko Kätylän Pro gradu -tutkimukseen Pakkahuoneesta modernin taiteen museo?. Lähteinä käytetään myös peruskorjaushankkeen tietoja sekä Satakunnan Museon arkistokuvia.

Yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuuden tarkastelu toteutetaan DOF-Lämpö 2.2 ohjelmalla. Ohjelmalla tarkastetaan neljän eri yläpohjarakenteen kosteustekninen toimivuus. Ohjelman tulosten perusteella tutkitaan rakenteiden kosteuden tiivistymisriskiä. Tarkastelussa materiaalien arvot perustuvat pääosin RIL 255 1-2014 - teoksessa liitteessä 4. esitettyihin materiaaliominaisuuksiin.

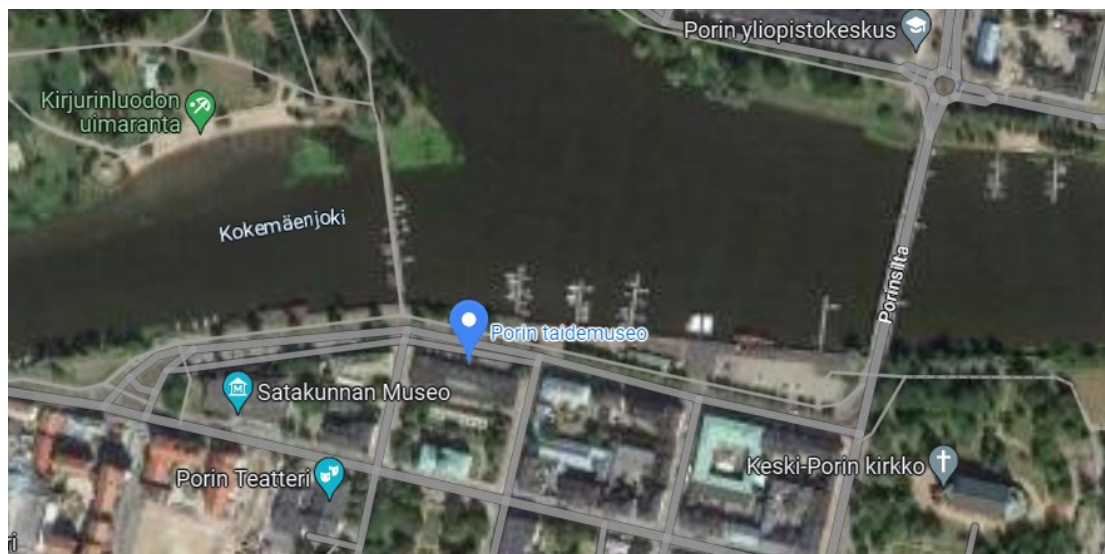
Tutkimuksen toisessa osiossa kirjallisuustutkimus keskittyy julkisen korjausrakentamisen vähähiilisyyteen. Lähteinä käytetään suurelta osin ympäristöministeriön luonnosasetuksia, oppaita ja muita vähähiilisyyden säädösohjaukseen tarkoitettuja asiakirjoja. Keskeisimpinä lähteinä ovat Vähähiilisyyden

arviointimenetelmä 2021 luonnosversio sekä siihen liittyvä perustelumuistio. Kirjallisuustutkimuksessa määritellään myös keskeisiä aiheeseen liittyviä termejä.

Toisen osion tapaustutkimuksessa lasketaan eri yläpohjarakennetyypeille hiilijalanjälki. Rakennetyyppien hiilijalanjälki perustuu neliömetripohjaiseen arvoon, joka ilmoitetaan muodossa  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$ . Laskennan materiaalitiedot pohjautuvat rakentamisen päästötietokannan eli CO2data.fi -tietoihin.

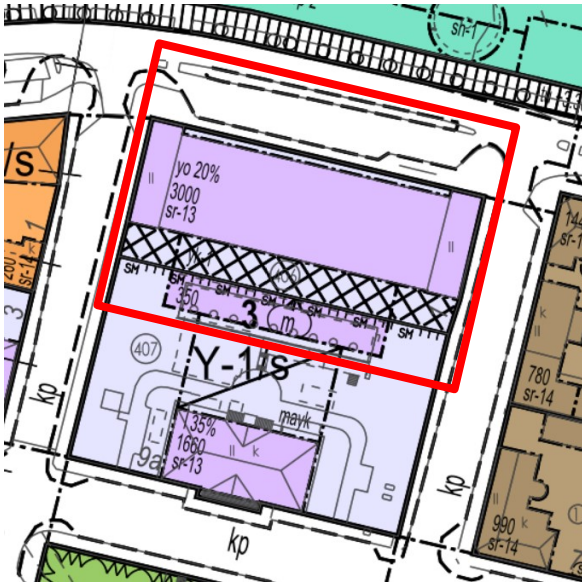
## 2 PORIN TAIDEMUSEO

Porin taidemuseo on toiminut nykyisessä rakennuksessa yli 40 vuotta. Rakennus sijaitsee Kokemäenjoen rannalla Porin kaupunginosassa, jota kutsutaan Etelärannaksi (kuva 3). Alue on osa kansallista kaupunkipuistoa, jossa kaavoitustoimin pyritään säilyttämään valtakunnallisesti arvokasta kulttuurimaisemaa (Porin kaupunki, n.d.).



Kuva 3. Porin taidemuseon sijainti kartalla (Google, 2023).

Kuvaan 4 on merkitty punaisella reunuksella Porin taidemuseon sijainti asemakaavassa. Lähellä rantaa oleva rakennus on taidemuseon päärakennus ja sen takana on vuonna 2000 valmistunut laajennusosa. Rakennus on asemakaavassa merkitty sr-13 -tunnuksella (kuva 4) (Porin kaupunki, 2023).



Kuva 4. Porin taidemuseo asemakaavassa (Porin kaupunki, 2023).

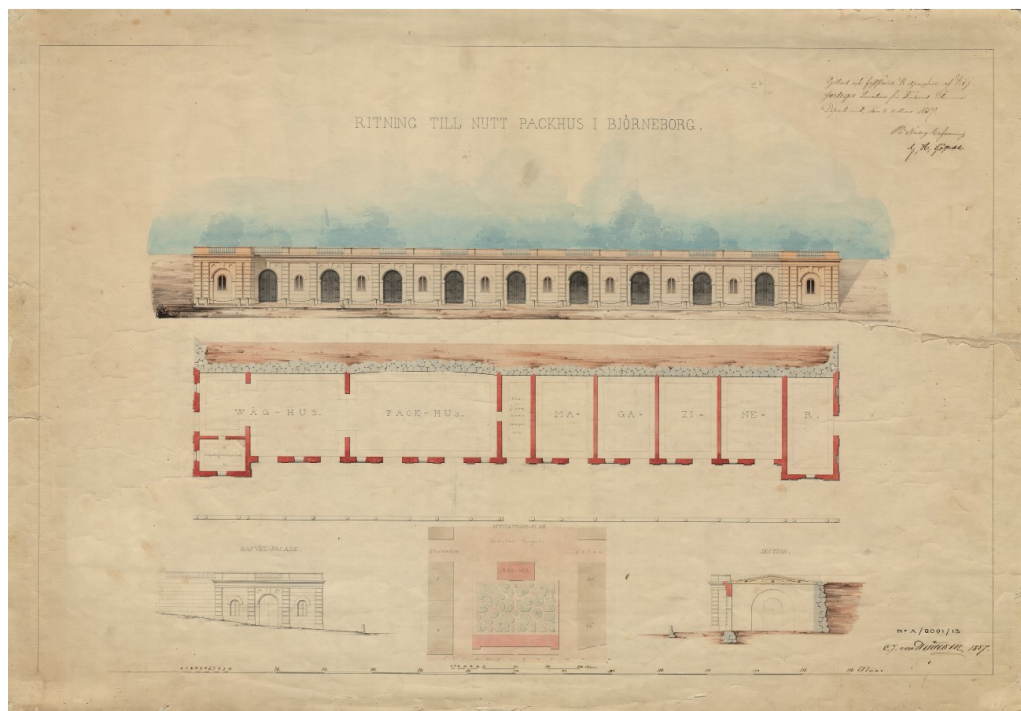
Asemakaavassa on merkintä Y-1/s, joka tarkoittaa: ”Yleisten rakennusten korttelialue, jolla ympäristö säilytetään. Kaikissa toimenpiteissä tulee korostaa ympäristön kulttuurihistoriallisten rakennusten muodostamaa kokonaisuutta.” Lisäksi asemakaavakuvassa näkyy merkintä SM rakennuksen takaosan ja vuonna 2000 valmistuneen laajennusosan välissä. Merkintä tarkoittaa: ”Merkintä, jonka osoittamalla paikalla on kaupunkikuvallisesti tärkeä muuri, johon saa tehdä enintään kolme 170 cm levyistä aukkoa.” (Porin kaupunki, 2023.)

Merkintä on vaikuttanut taakse rakennetun laajennusosan ja päärakennuksen kulkuyhteyteen. Päärakennuksessa sijaitseva suuri näyttelytila 130A on yhdistetty takana olevaan laajennusosaan kahdella muurin läpi menevällä lasikäytävällä. Laajennusosassa on yksi taidemuseon näyttelytiloista, jota kutsutaan Siiveksi. Näiden merkintöjen lisäksi vanhan Pakkahuoneenkadun alueella on voimassa määräys alueella yhtenäisesti käytettävästä päällysteestä (Porin kaupunki, 2023). Pakkahuoneenkatu sijaitsee päärakennuksen takaosassa.



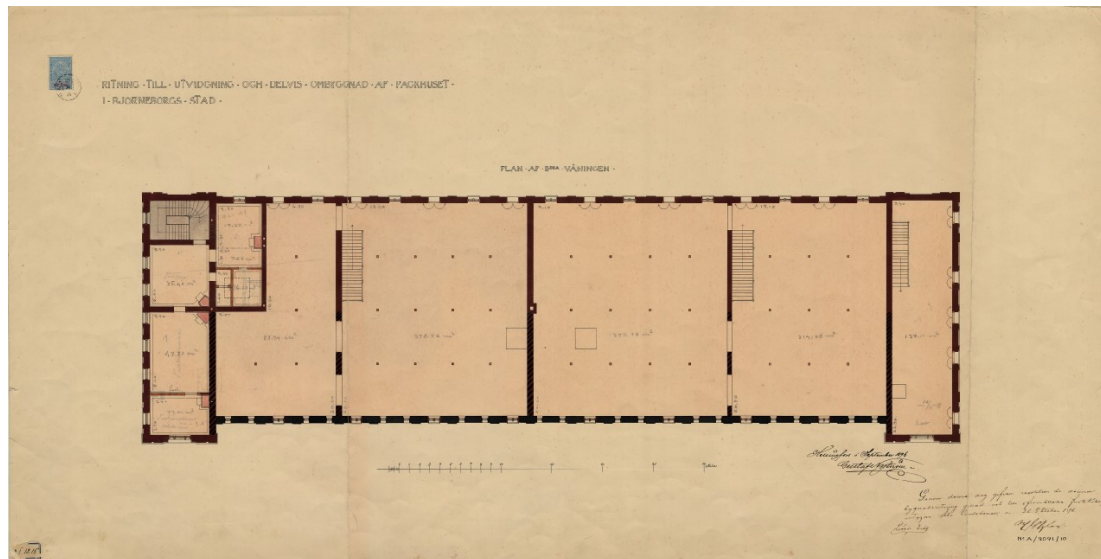
## 2.1 Rakennuksen historiallinen taustaselvitys

Porin taidemuseon rakennus on toiminut alkuperäiseltä tarkoitukseltaan tullija pakkahuoneena ennen kuin tilat muokattiin taidemuseon käyttöön 1970-luvun lopulla. Vuonna 1852 Porissa tapahtuneen tuhoisan tulipalon jälkeen alettiin kaupunkiin suunnittelemaan vakinaista pakkahuonetta. Pakkahuone oli rakennus, jonka tarkoituksena oli toimia tullattavan tavaran käsittely - ja varastointitilana (Projekt Runeberg, 2022). Sopivaksi paikaksi valikoitui raatihuoneen tontin pohjoisreuna. Rakennus valmistui vuonna 1860 ja rakennuksen suunnittelijana toimi kaupunkiarkkitehti Carl Johan von Heideken (kuva 5) (Saarinen, 1972, ss. 129, 134.) Tyyli suunnaltaan rakennus edusti 1800-luvun loppupuolen varhaista uusrenessanssia (Kättylä, 1993, s. 18). Rakennuksen kantavat seinät olivat massiivisia tiilestä muurattuja ja rakennuksen alapohjana oli todennäköisesti maalattia. Rakennuksen takaseinänä toimi raatihuoneen pihan kivimuuripengerrys ja yläpohjarakenne oli puuta. (Laurila, 2022, s. 10.)

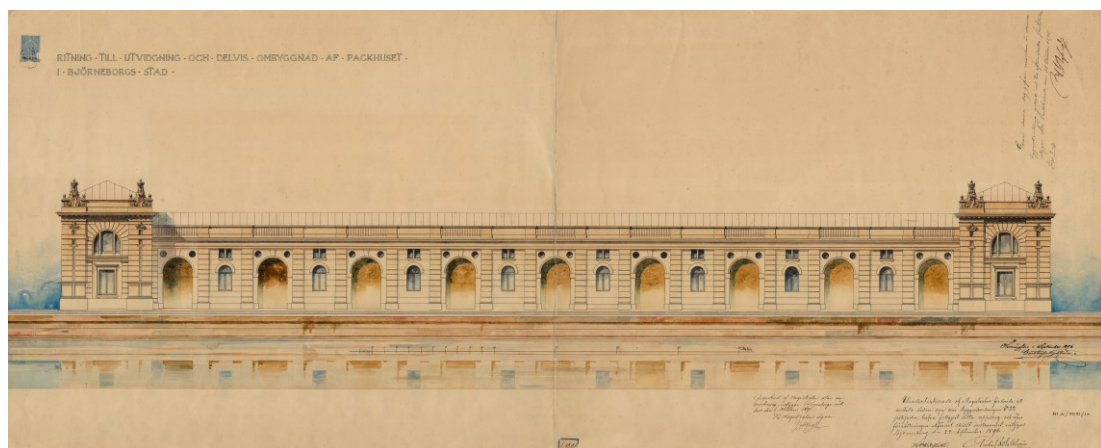


Kuva 5. C.J von Heideken piirustus alkuperäisestä pakkahuoneesta vuodelta 1857 (Laurila, 2022, s. 10).

Porin teollisuussuhdanteen nousun myötä rakennusta laajennettiin vuonna 1897. Laajennus kasvatti rakennuksen pohjapinta-alaa kaksinkertaisesti ja rakennukseen tehtiin myös toinen kerros (kuva 6). Rakennuksen päädyt rakennettiin keskiosaa korkeammaksi ja pieniä ikkunoita lisättiin valaisemaan rakennuksen toista kerrosta (kuva 7). Laajennuksen suunnittelusta vastasi arkkitehti Gustaf Nyström. (Laurila, 2022, s. 13.)



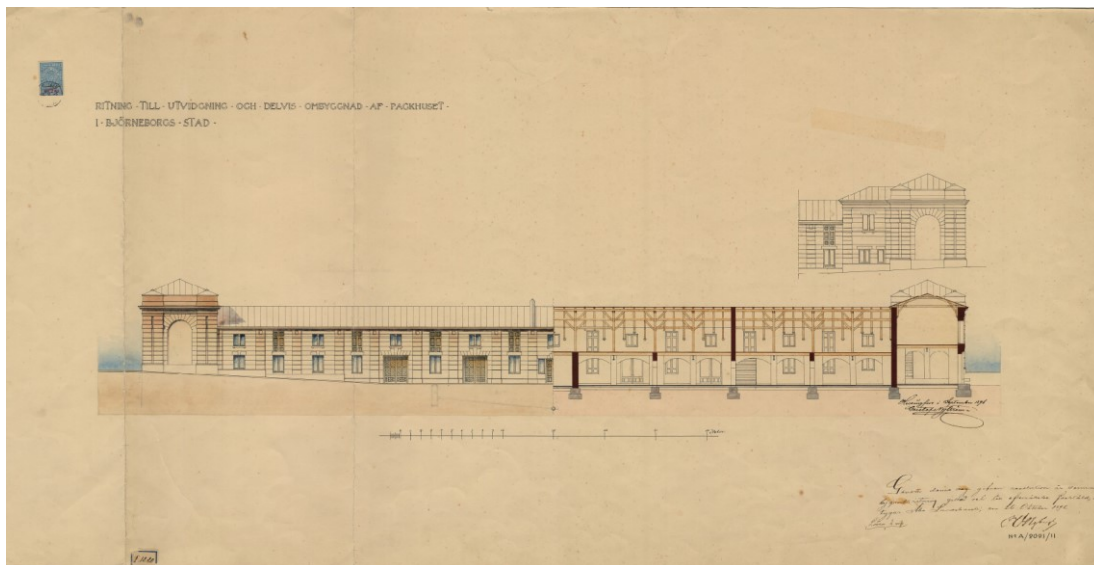
Kuva 6. Gustaf Nyströmin toisen kerroksen pohjapiirustus syyskuulta vuonna 1896 (Laurila, 2022, s. 13).



Kuva 7. Gustaf Nyströmin piirustus laajennuksen pohjoisjulkisivusta syyskuulta vuodelta 1896 (Laurila, 2022, s. 13).

Välipohjat olivat valmistettu puusta ja niiden kantavat primääripalkit teräksestä. Yläpohja oli puurakenteinen ja toisessa kerroksessa oli useita puisia pilareita (kuva 8). Anu Laurila arvelee rakennushistoriaselvityksessään, että tuli aloitti

toimintansa rakennuksessa viimeistään tässä vaiheessa. (Laurila, 2022, s. 11.)



Kuva 8. Gustaf Nyströmin piirustus eteläisestä julkisivusta lokakuulta vuonna 1896 (Laurila, 2022, s. 13).

Kuva 9 on otettu ensimmäisen kerroksen keskeltä varastotilasta eli pakkahuoneesta välillä 1930–1949. Kuvassa lattia rakenne on todennäköisesti maanvarainen betonilaatta (Laurila, 2022, s. 15). Massiivitiiliseinissä on suuret kaari-  
aukot.



Kuva 9. Satakunnan museon kuvakokoelman kuva varastotilasta. (Satakunnan museo kuvakokoelma, 2023). Kuvajaaj tuntematon.

Tullilain uudistukset vuonna 1940 ja 1972 johtivat Mäntyluodon tulliaseman käytön vahvistumiseen ja vähensi tulli- ja pakkahuoneen toimintaa. Tulli- ja pakkahuoneessa toiminta lopetettiin lopulta vuonna 1974. Vuonna 1975 rakennus siirtyi satamalautakunnalta kaupungin omistukseen. (Laurila, 2022, ss. 13-14.)

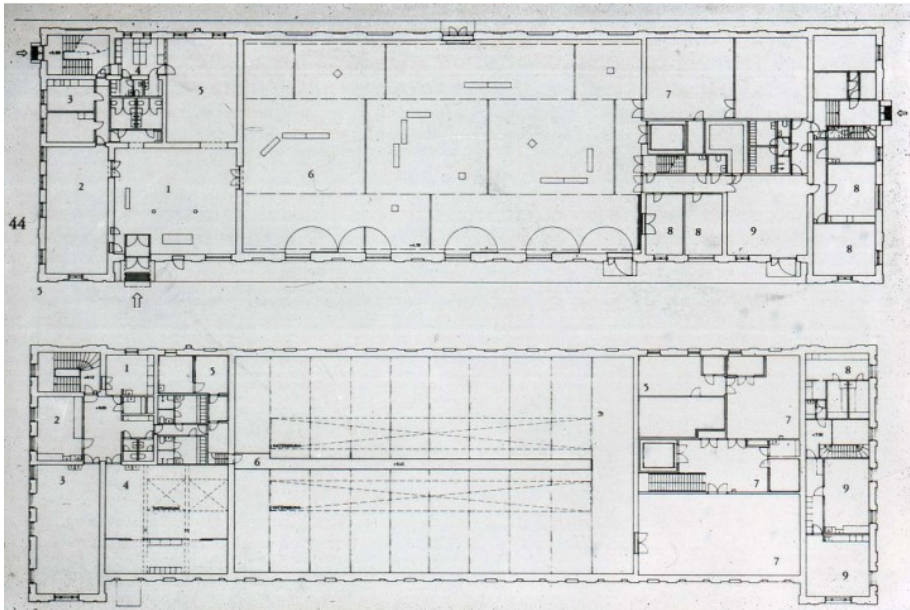
Tullitoiminnan hiipumisen myötä alettiin toteuttaa rakennuksen käyttöä taiteen esittelyssä. Tullikamarin toisessa kerroksessa aloitettiin kunnallisen taidegallerian eli Taidevintin toiminta vuonna 1965. Taidevintti toimi tiloissa vuoteen 1977 asti. (Laurila, 2022, s. 16.) Porin taidemuseon suunnitteluprosessi aloitettiin vuonna 1966 ja se kesti yli kymmenen vuotta. Arkkitehtina toimi Kristian Gullichsen. Rakennuksen museoksi muuttamiseen liittyvät rakennustyöt alkoivat vuonna 1978 tammikuussa ja rakentaminen jaettiin viiteen vaiheeseen. (Laurila, 2022, ss. 21-24.)

Uuden näyttelytilan toteuttaminen edellytti, että rakennuksen keskiosasta purettiin kokonaan pois vanha välipohja ja sen yläpuolella ollut puinen yläpohja (kuva 10). Myös keskellä ollut kantava tiiliseinä sekä väliseinät purettiin. Vanhat ulkoseinät säilytettiin. (Laurila, 2022, s. 53.)



Kuva 10. Kuva Satakunnan museon kuvakokoelmasta näyttelytilan korjauksesta helmikuussa vuonna 1980 (Porkkala, 1980). Vanhan yläpohjarakenteen tilalle asennetaan teräksiset kattoristikot.

Rakennettavaan näyttelytilaan suunniteltiin uusi yläpohjarakenne, johon asennettiin kattoikkunat. Samalla vesikaton pohjoisrängystä palautettiin aikaisemmin purettu kaiderakenne, joka peitti uudet kattoikkunat julkisivunäkymästä (Laurila, 2022, s. 55). Myös näyttelytilan ikkunoita ja ovia uusittiin. Kuvassa 11 on esitetty rakennuksen tasopiirustukset. Ylemmässä piirustuksessa on rakennuksen ensimmäisestä kerroksesta, jonka keskiosassa on esitetty uuden näyttelytilan 130A liikuteltavia seinämiä.



Kuva 11. Toteutuneet pohjapiirrokset Gullichsen-Vormala Ky:n arkistosta (Laurila, 2022, s. 40).

Uusi yläpohjarakenne mahdollisti talotekniikan asennukset kattoristikon sauvojen välistä. Lisäksi keskelle tilan yläosaan rakennettiin kulkusilta (kuva 12). Ulkoseinään upotettiin kattoristikoiden kantavat teräspilarit ja ulkoseinien lisälämmöneristeeksi tehtiin niin kutsuttu syrjäkivimuuraus. Näyttelytila valmistui toukokuussa vuonna 1981. (Laurila, 2022, ss. 53,30.)



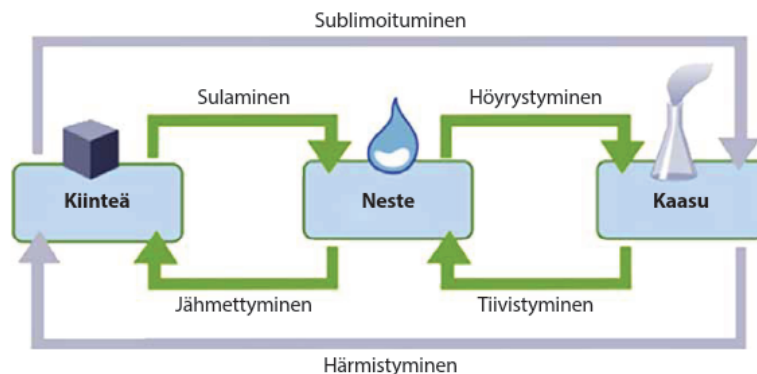
Laajennusosan rakentaminen aloitettiin vuonna 1999 keväällä ja se valmistui vuonna 2000. Suunnittelijana toimivat Arkkitehdit Ky, Kristian Gullichsen sekä Jyrki Haukkavaara. (Laurila, 2022, s. 36.) Laajennusosa yhdistettiin alkuperäiseen rakennukseen kahdella lasikäytävällä, joiden keskiosaan tehtiin veistospiha.

### 3 KIRJALLISUUSTUTKIMUS OSA 1 – RAKENTEEN KOSTEUS- TEKNINEN TOIMIVUUS

Rakenteiden suunnittelussa on ymmärrettävä kosteuden ja lämmön yhteisvai-  
kutuksen rakenteessa rakennuksen terveellisyyden ja kestävyysnäkökulmasta.  
Pitkäaikainen liiallinen kosteus rakenteissa voi aiheuttaa rakenteeseen kos-  
teusvaurioita, jotka puolestaan heikentävät rakennuksen sisäilmaa ja raken-  
teessa olevien materiaalien kestävyyttä.

#### 3.1 Kosteus

Kosteus on kemiallisesti sitoutumatonta vettä. Kuva 14 esittää veden eri olo-  
muodoissa. Vesihöyry on kosteutta kaasumaisessa muodossa, vesi on kos-  
teutta nestemäisessä olomuodossa ja jää puolestaan kosteutta kiinteässä olo-  
muodossa (RT 103528, 2023, s. 2).



Kuva 14. Veden olomuodot (RT 103528, 2023, s. 2).

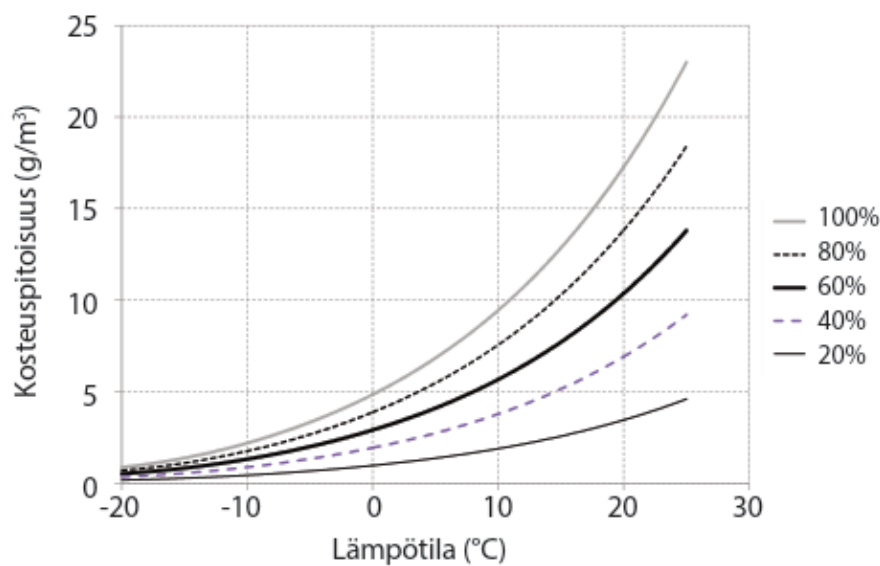
##### 3.1.1 Kosteus ilmassa

Ilmankosteus voidaan määrittellä eri tavoin. Ilman kosteuspitoisuus voidaan il-  
moittaa vesihöyryn osapaineena (Pa), vesihöyryn määränä ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) tai suhteel-  
lisena kosteutena (% RH) (RT 103528, 2023, s. 2). Vesihöyrypitoisuus määrit-  
telee vesihöyryn määrän ilmassa tilavuuden suhteen ja vesihöyryn osapaine  
puolestaan määrittelee vesihöyryn osapaineena ilmapaineesta. Ve-  
sihöyryn kyllästyspitoisuus ja vesihöyryn kyllästysosapaine ilmaisevat molem-  
mat suurinta mahdollista vesihöyryn määrää tai osapainetta ilmassa tietyssä



lämpötilassa. Lämpötilan kasvaminen kasvattaa vesihöyryn kyllästyspitoisuutta ja osapainetta ilmassa (kuva 15). (RIL 250-2020, 2020, s. 92.)

Ilman vesihöyrynpitoisuuden suhdetta vesihöyryn kyllästyspitoisuuteen ilmaistaan suhteellisella kosteudella. Vastaavasti se merkitsee myös vesihöyryn osapaineen suhdetta vesihöyryn kyllästysosapaineeseen. Suhteellisen kosteuden ollessa 100 % RH alkaa kosteus tiivistymään. Ilmiötä kutsutaan kastepisteeksi. (RIL 250-2020, 2020, ss. 92-93.)



Kuva 15. Periaatekuva miten ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan voidaan arvioida vesihöyryn määrä ilmassa (RT 103528, 2023, s. 2). Esim. ilman lämpötilan ollessa 0 °C ja suhteellinen kosteus 100 % RH ilman vesihöyryn määrä on noin 5 g/m<sup>3</sup>. Tämä tarkoittaa myös, että ilman vesihöyryn kyllästyspitoisuus on saavutettu.

### 3.1.2 Kosteuden siirtyminen

Ympäröivä ilman kosteus vaikuttaa rakenteessa oleviin materiaaleihin. Huokoinen materiaali on **hygroσκοoppinen** eli se sitoo (absorptio) ja luovuttaa (desorptio) ympäröivää ilman kosteutta. Materiaalin hygroσκοoppinen tasapainokosteuskäyrä ilmaisee materiaalin tasapainotilaa ympäristön suhteellisen kosteuden kanssa. Esimerkiksi suhteellisen kosteuden ollessa 60 % RH kuutio mäntyä sitoo kosteutta noin 50 kg ja kuutio kivivillaa puolestaan sitoo kosteutta

vain noin 0,3 kg. Tämä osoittaa, että männyllä on suuri kosteuskapasiteetti ja se sitoo kosteutta noin 200 kertaa enemmän kuin kivivilla. Materiaalin kosteuskapasiteetin ollessa suuri materiaali kostuu ja kuivuu myös hitaammin kuin pienemmän kosteuskapasiteetin omaava materiaali. Materiaalien eri kosteuskapasiteetit tulee huomioida rakenteiden kosteusteknisessä tarkastelussa ja suunnittelussa. (RIL 250-2020, 2020, s. 94 ja 95.)

Materiaalin ollessa kosketuksissa vapaan veden kanssa vesi voi **kapilaarisesti** imeytyä materiaaliin huokosissa vaikuttavan kapilaari-imun kautta. Huokosten koko vaikuttaa kapilaari-imun voimakkuuteen. Pienemmät huokokset, erityisesti < 0,5 mm, siirtävät kapilaarisesti kosteutta enemmän kuin suuremmat huokokset. (RIL 250-2020, 2020, s. 95.) Kosteus voi siirtyä kapilaarisesti niin vaaka- kuin pystysuunnassa (RT 103528, 2023, s. 4).

Rakenteessa eri puolella vallitsevat erot vesihöyrynpitoisuuksissa aiheuttavat **diffuusiota**. Sisäilma sisältää yleensä enemmän vesihöyryä, jonka johdosta diffuusion suunta on usein sisältä ulospäin vaipparakenteessa. Diffuusio korostuu erityisesti talvella ulkoilman ollessa huomattavasti kuivempaa kuin sisäilma. (RT 103528, 2023, s. 3.)

Kosteus voi siirtyä myös ilman osakaasuna ilmavirran mukana, jolloin siirtymistä kutsutaan **konvektioksi**. Ilma pyrkii samalla tavalla tasapainotilaan kuin vesihöyry, jolloin ilma virtaa suuremmasta kokonaispaineesta pienempään. Painesuhteeseen vaikuttavat tuuli, lämpötilaerot ja ilmanvaihto rakennuksessa. Konvektiossa kulkeutuvat kosteusmäärät voivat olla huomattavasti suurempia kuin diffuusiossa kulkeutuvat. (RIL 250-2020, 2020, s. 108.) (RT 103528, 2023, s. 4.)

Kun sisäilma on ulkoilmaa lämpimämpi, ulkoilman tiheys ja paine kasvavat. Tämä synnyttää alipainetta rakennuksen sisälle. Vaipparakenteen ilmavuodot vaikuttavat paine-eroihin aiheuttamalla rakennuksen vapaan tilan korkeuden puoliväliin niin sanotun neutraaliakselin. Neutraaliakselin yläpuoliset osat ovat ylipaineisia ja vastaavasti alapuoliset alipaineisia ulkoilmaan verrattuna. Paine-erot korostuvat talvella lämpötilaerojen kasvaessa. Vaipparakenteen

ilmavuotokohdissa ylipaine voi kuljettaa sisäilman kosteutta rakenteisiin ja aiheuttaa kosteusvaurioita yläpohjarakenteisiin. (RIL 250-2020, 2020, s. 150.)

Konvektiossa ilma voi jäähtyä virtauksen myötä ja aiheuttaa näin kosteuden tiivistymistä rakenteisiin. Tätä voidaan kutsua myös **kondensoitumiseksi**. Kondensoituminen tapahtuu, kun ilman kosteus on suurempi kuin lämpötilan vesihöyryn kyllästyspitoisuus. Tästä seuraa, että vesihöyry muuttuu nesteeksi esimerkiksi kiinteän aineen pinnalle tai materiaalin huokosiin. Pystysuorilla ja kaltevilla kiinteän aineen pinnoilla vesi voi jatkaa kulkuaan painovoimaisesti. (RT 103528, 2023, s. 4.)

Materiaalin **vesihöyrynläpäisevyys**  $\delta_p$  [kg(msPa)] tai  $\delta_v$  [(m<sup>2</sup>/s)] määrittelee kuinka paljon vesihöyryä materiaali päästää lävitseen. Materiaalin **vesihöyrynvastus**  $Z_p$  [(m<sup>2</sup>sPa)/kg] tai  $Z_v$  [s/m] puolestaan kuvaa materiaalin vesihöyryn virtausta vastustavaa ominaisuutta. (Siikanen, 2014, ss. 72-73.) Eri ainekerrosten vesihöyrynvastus saadaan jakamalla homogeeninen ainekerroksen paksuus aineen vesihöyrynläpäisevyydellä (Björkholtz, 1997, s. 56). Mitä suurempi materiaalin vesihöyrynvastus on sitä vähemmän vesihöyryä siirtyy diffuusiolla materiaalin läpi. Materiaalien vesihöyrynvastukset tulee pienentyä sisältä ulospäin rakenteessa kosteusteknisen toimivuuden kannalta (RT 103528, 2023, s. 3).

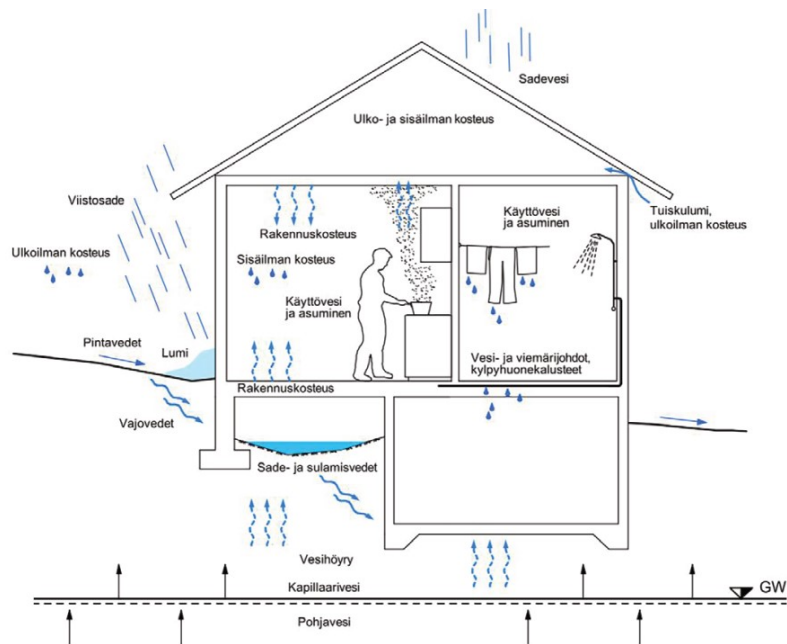
Kosteuden siirtymistä pyritään estämään ilman- ja höyrynsulkumateriaaleilla vaipparakenteessa. Höyrynsulku sijaitsee rakenteen lämpimällä puolella ja sillä tulee olla riittävä vesihöyrynvastus. Avohuokoisilla lämmöneristeillä tulee olla myös yhtenäinen tuulensuoja lämmöneristeen ulkopinnassa. Tuulensuojan tulee kestää kosteutta, vastata kohteen paloteknistä vaativuutta sekä puurakenteissa olla myös lämpöä eristävä. (RIL 107-2022, 2022, ss. 30-31.) Avohuokoisella lämmöneristeellä olevassa vaipparakenteessa sisäpuolisen höyrynsulun vesihöyrynvastuksen tulisi olla vähintään viisinkertainen ulkopuolella eristettä olevaan tuulensuojaan verrattuna (RIL 107-2022, 2022, s. 34).

Epätiivis höyrynsulku tai sopimaton vesihöyrynläpäisevyys rakenteessa voivat johtaa vesihöyryn tiivistymiseen vedeksi rakenteen sisällä ja näin ollen

aiheuttaa rakenteeseen kosteusvaurioita. Myös vaipparakenteessa olevien läpivientien sekä ikkunoiden ja ovien liitoksien on oltava tiiviitä.

### 3.1.3 Kosteuslähteet

Kuvassa 16 on esitetty rakennuksen eri kosteuslähteitä. Yläpohjarakenteissa keskeisimmät kosteuslähteet ovat ulkoapäin tulevat sade ja lumi. Sateen kosteusrasitukseen vaikuttavat tuuli ja rakennuksen sijainti. Tuulen paine voi siirtää vettä ja lunta rakenteiden sisäosaan esimerkiksi räystään tuuletusrakojen kautta. (RIL 250-2020, 2020, s. 97 ja 98.) Tuuletusrakojen suunnittelussa tulee leikin huomioida myrskypeltien oikea sijoitus.



Kuva 16. Yleisimmät kosteuslähteet rakennuksessa (RT 103528, 2023, s. 5).

Jään muodostuminen vesikattorakenteisiin voi tukkia vedenpoistojärjestelmiä, jolloin sulamisvesi ei kulkeudu hallitusti pois rakenteesta. Sisäisiä kosteuslähteitä voivat olla ihmisen, laitteen tai putkirikon aiheuttamia. Myös lämmöntalteenottolaitteet voivat palauttaa osan sisäilman kosteudesta takaisin rakennuksen sisään (RIL 250-2020, 2020, s. 104).

Ulkoilman vesihöyrypitoisuus ja suhteellinen kosteus vaihtelevat merkittävästi vuoden aikojen mukaan. Jos rakenteen vesihöyrypitoisuus on pienempi kuin ulkoilman, voi ulkoilmassa oleva vesihöyry siirtyä rakenteisiin kondensoitumalla tai hygroskooppisesti. Sisäilman suhteellinen kosteus seuraa ulkoilman suhteellisen kosteuden muutoksia, jolloin kesäaikaan suhteellinen kosteus on korkeimmillaan ja talviaikaan pienemmillään. Sisäilman suhteelliseen kosteuteen vaikuttaa myös esimerkiksi rakennuksen sisällä syntyvä kosteustuotto sekä rakennuksen ilmanvaihto. Rakennuksen sisällä tapahtuvan toiminnan aiheuttamaa kosteuslisää voidaan arvioida esimerkiksi taulukon 1 mukaan. (RIL 250-2020, 2020, ss. 99, 102-104.)

Taulukko 1. Kosteusluokittainen sisäilman kosteuslisän mitoitusarvo (RIL 250-2020, 2020, s. 104).

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ )	Rakennustyyppi <sup>3), 4)</sup>
1	$> 5 \text{ g/m}^3$	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	$5 \text{ g/m}^3$	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, majoitus- ja liikerakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat <sup>5)</sup> , kylmä- ja pakkashuoneet <sup>5)</sup> , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	$3 \text{ g/m}^3$	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot, säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

1) Kosteusluokan 1 rakennuskohteissa sisäilman kosteuslisä ja lämpötila on aina arvioitava kohdekohtaisesti. Kosteuslisä voi olla rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan  $5...20 \text{ g/m}^3$ .

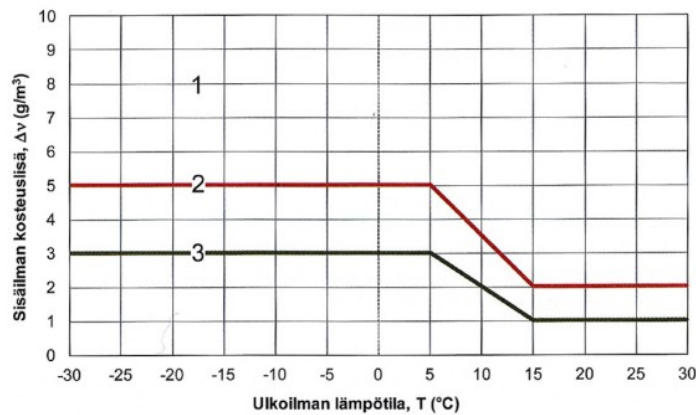
2) Kosteusluokan 3 rakennuskohteissa kosteustekninen mitoitus tehdään käyttäen talvella kosteuslisän arvoa  $3 \text{ g/m}^3$ , ellei voida luotettavasti osoittaa, että pienempikin kosteuslisä riittää tarkasteltavassa kohteessa.

3) Rakennustyyppiä jaotellen käyttötarkoitukseluokkiin on lueteltu *Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 10/10/2017*

4) Rakennusta suunniteltaessa tulisi ottaa huomioon, että rakennuksen käyttötarkoitusta saatetaan joskus myöhemmin muuttaa, jolloin myös sen kosteusluokka voi muuttua.

5) Jäähdytettyjen tilojen kosteusluokkaa valittaessa on otettava huomioon, että sisäilman kosteuslisä voi nousta suureksi sisätilan mahdollisten lämpötilamuutosten yhteydessä. Jäähallit ja muut jäähdytetyt liikuntatilat, joiden lämpötila nostetaan ajoittain korkeaksi ja joita käytetään ajoittain kosteusluokan 1 mukaisissa tarkoituksissa, kuuluvat kosteusluokkaan 1.

Kuvassa 17 on esitetty sisäilman kosteuslisän muutokset ulkolämpötilan mukaan. Sisäilman lämpötilana on 21 °C, jolloin huomioidaan myös jäähtyksen aiheuttama vaikutus sisäpintojen viilenemiseen kesäaikana (RIL 250-2020, 2020, s. 104).



Kuva 17. Sisäilman kosteuslisän mitoitusarvot ulkolämpötilan funktiona eri kosteusluokissa (RIL 250-2020, 2020, s. 105).

Rakentamisvaiheen aikana materiaalit ovat voineet altistua myös kosteudelle esimerkiksi kuljetuksen tai varastoinnin aikana. Suuret sisäpuoliset valut voivat myös aiheuttaa sisätilaan ylimääräistä kosteusrasitusta, joka tulisi huomioida rakentamisvaiheessa.

### 3.1.4 Mikrobikasvuston syntyyn vaikuttavat tekijät

Pitkäaikainen kosteus materiaalissa yhdessä lämpötilan vaikutuksen kanssa voivat altistaa materiaalin mikrobikasvustolle. Lika ja materiaalin ulkosäilytys lisäävät alttiutta mikrobikasvuston syntymiseen. Myös rakenteisiin jäävä korjaustöiden aikainen mikrobipitoinen purkupöly voi edesauttaa mikrobikasvuston syntymistä rakenteisiin jätettäviin materiaaleihin. (RT 103528, 2023, s. 8.) Satunnainen kastuminen voi myös johtaa mikrobikasvuston kehittymiseen. Home voi mennä niin sanotusti horrostilaan, kun olosuhteet muuttuvat vähemmän otolliseksi ja aktivoitua taas, kun olosuhteet muuttuvat.

Materiaalin kosteuskäyttäytymisellä, kuten hygroskooppisuudella tai kapillaarisuudella, on myös vaikutusta materiaalin homehtumisherkkyyteen. Taulukossa 2 on esitetty eri materiaalien homehtumisherkkyysluokkia. Taulukossa esimerkiksi huokoinen puukuitulevy on luokiteltu hyvin herkäksi ja mineraalivilla kohtalaisen herkäksi. Materiaaleissa on kuitenkin huomioitava, että koostumukset saattavat vaihdella eri tuotevalmistajien mukaan, jolloin materiaalin valmistajalta tai maahantuojalta tulee varmistaa tuotteen tarkka luokitus. (RT 103528, 2023, s. 8.)

Taulukko 2. Rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokitus (RT 103528, 2023, s. 9).

Homehtumisherkkyysluokka		Rakennusmateriaalit
HHL1	Hyvin herkkä	Karkeasahattu ja mitallistettu puutavara (mänty, kuusi ja lehtipuut), höylätty mänty, koivuvaneri, käsittelemätön huokoinen puukuitulevy, kartonkipintainen kipsilevy
HHL2	Herkkä	Höylätty kuusi, paperipohjaiset bitumoidut/käsitellyt tuotteet ja kalvot, puupohjaiset liimatut levyt, havuvaneri, bitumoitu/käsitelty huokoinen kuitulevy
HHL3	Kohtalaisen herkkä	Mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet, kuitusementtilevy, lasikuitupintainen kipsilevy
HHL4	Kestävä	Lasi ja metalli, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homeensuoja-aineita sisältävät materiaalit.

## 3.2 Lämpö

Kosteuden ja lämmön vaikutus toisiinsa on keskeistä rakennusfysiikassa. Kosteus lämmöneristeessä heikentää sen lämmöneristyskykyä. Vastaavasti rakenteiden pintalämpötilat ovat riippuvaisia ilman ja kiinteän aineen välillä tapahtuvasta lämpötilan muutoksesta. Huonosti eristetyssä rakennuksessa kosteus voi tiivistyä helpommin rakenteiden pinnoille verrattuna hyvin lämmöneristettyyn rakennukseen. (Björkholtz, 1997, ss. 8,30.)

### 3.2.1 Lämmön siirtyminen

Lämpö on energiaa, joka siirtyy lämpötilaerojen seurauksesta (Inkinen & Tuohi, 2011, s. 379). Lämpö voi siirtyä rakenteessa johtumalla, konvektiolla tai

säteilyllä. Lämmön siirtyminen johtamalla on riippuvainen materiaalin lämmönjohtavuudesta. Johtuminen tapahtuu korkeammasta lämpötilasta matalampaan (Inkinen & Tuohi, 2011, s. 410). Samoin kuin kosteus, myös lämpö liikkuu konvektiolla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että lämpö liikkuu ilman tai veden avustuksella. Rakenteiden pinnoilla ilmavirtaus vaikuttaa pinnan lämpötilaan ja puolestaan rakenteen sisällä rakenteen lämpötilan jakaumaan. (RIL 250-2020, 2020, s. 110.)

Lämpö liikkuu myös säteilyllä. Aineiden pinnat emittoivat eli lähettävät sähkömagneettisen säteilyn muodossa energiaa (Inkinen & Tuohi, 2011, s. 418). Lämpösäteily voi olla lyhyt- tai pitkäaaltoista. Keskeistä on pintojen välinen lämpötilaero sekä pinnan kyky lähettää ja vastaanottaa lämpösäteilyä. (RIL 250-2020, 2020, s. 110.) Erityisesti tuuletetuissa yläpohjarakenteissa yöllä poistuva lämpösäteily rakenteen pintaosasta voi laskea katteen lämpötilan alle ulkoilmassa olevan lämpötilan, jolloin kosteus voi tiivistyä katteen alapintaan (Sisäilmayhdistys ry, n.d.).

Kylmäsillat vaipparakenteessa aiheuttavat materiaalipinnan lämpötilan laskua ja voivat mahdollistaa kosteuden kondensoitumisen. Esimerkiksi kantavat runkorakenteet sekä liitos- ja läpivientikohdat voivat toimia rakenteessa kylmäsilltoina. (RIL 250-2020, 2020, s. 115.)

### 3.3 Laskentaperiaate rakenteen kosteuden tiivistymiselle

Rakenteen sisäpinnalle ei tiivisty kosteutta, jos rakenteen pintalämpötila on suurempi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila. Vaikuttavia tekijöitä kosteuden tiivistymiseen rakenteessa ovat rakenteen lämmönvastus, sisäpinnan lämmönvastus, sisäilman kosteuspitoisuus sekä ulkoilman lämpötila. (Björkholtz, 1997, s. 64.) Kuvassa 18 on esitetty eri lämpötilojen kastepistelämpötilat ja kyllästymiskosteus.



t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa	t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa	t °C	v <sub>k</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>k</sub> Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Kuva 18. Ilman ominaisuudet normaalissa ilmakehän paineessa 101325 Pa (Björkholtz, 1997, s. 44).

Rakenteen sisällä tapahtuvaa kosteuden tiivistymistä tarkastellaan graafisesti lämpötila- ja kosteusjakauman avulla. Lämpötilajakauma saadaan laskemalla rakenteen rajapintojen lämpötilat kaavalla (1) (Björkholtz, 1997, ss. 66-67).

$$t_x = t_s - \frac{\sum m_x}{\sum m} * (t_s - t_u) \quad (1)$$

missä,

$\Sigma m$  =koko rakenteen lämmönvastus [(m<sup>2</sup>K)/W]

$t_s$  =sisäilman lämpötila [°C]

$t_u$  =ulkoilman lämpötila [°C]

$t_x$  =tarkasteltavan pinnan x lämpötila [°C]

$\Sigma m_x$  =lämmönvastus sisäpinnasta kohtaan x [(m<sup>2</sup>K)/W]

Kyllästymiskosteus rakenteen kerroksissa on verrannollinen kerroksien lämpötilaan. Ainekerroksien vesihöyryn osapaine lasketaan kaavalla (2) (Björkholtz, 1997, ss. 66-67).

$$p_x = p_s - \frac{\sum Z_x}{\sum Z} * (p_s - p_u) \quad (2)$$

missä,

$p_s$  = vesihöyryn osapaine sisäilmassa [Pa]

$p_u$  = vesihöyryn osapaine ulkoilmassa [Pa]

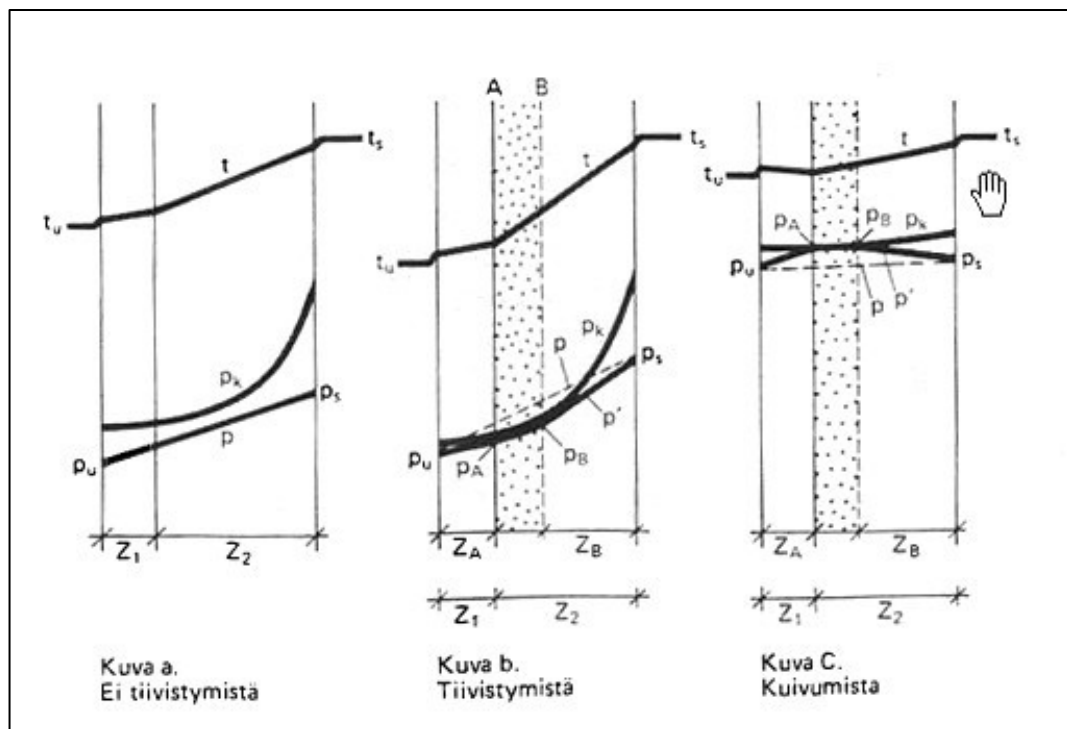
$p_x$  = vesihöyryn osapaine kohdassa x [Pa]

$\sum Z_x$  =kerroksien diffuusiovastusten summa sisäpinnasta tarkasteltavaan kerrokseen

$\sum Z$  =koko rakenteen vesihöyrynvastus [ $m^2sPa/kg$ ]

$\sum Z_x$  =sisäpinnasta kohtaan x olevien kerrosten vesihöyrynvastusten summa [ $m^2sPa/kg$ ]

Kuvassa 19 on esitetty, miten eri kosteusjakaumien perusteella voidaan arvioida, syntyykö rakenteen sisälle tiivistymistä. Kuvassa ylin  $t$ -käyrä mukailee rakenteen rajapintojen lämpötiloja. Sen alapuolella oleva  $p_k$ -käyrä esittää lämpötilaa vastaavaa kyllästymispainetta ja vastaavasti  $p$ -käyrä kuvaa rakenteessa vallitseva vesihöyryn osapainetta.



Kuva 19. Lämpötila- ja kosteusjakauma epähomogeenisessa seinärakenteessa. (Björkholtz, 1997, s. 68).

Jos vesihöyryn osapaine on korkeampi kuin lämpötilaa vastaava kyllästymispaine, rakenteeseen tiivistyy kosteutta eli suhteellinen kosteus on 100 % RH. Vaikka graafisesti  $p$ -käyrä leikkaisi  $p_k$ -käyrän ei suhteellinen kosteus voi nousta yli 100 % RH. Tässä tilanteessa graafista tulosta voidaan korjata piirtämällä  $p$ -käyrälle tangentti  $p'$  kuten kuvassa 19 kohdassa b on esitetty. Jos puolestaan  $p_u$  ja  $p_s$  -käyrät ovat pienempiä kuin  $p_k$  -käyrä, alueella A-B tapahtuu kuivumista sisään ja ulos päin kohdan c:n mukaisesti.

### 3.4 Ympäristöministeriön ohjeistus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta

Vuonna 2020 julkaistiin ohjeistus ympäristöministeriön rakennusten kosteusteknistä toimivuutta käsittelevälle asetukselle (782/2017). Ohjeistuksen tarkoituksena on selventää pykäläkohtaisesti edellä mainitun asetuksen määräyksiä. Ohjeistuksessa on huomioitu sekä asetuksen perustelumuuksio että ajantasainen valtakunnallinen ohjeistus. Ohjeistus ei ole velvoittava, mutta se on kuitenkin hyvää rakentamistapaa noudattava ja siksi se on suositeltavaa ottaa huomioon suunnittelussa sekä toteutuksessa. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 2.)

Ohjeistuksessa pyritään huomioimaan myös ilmastonmuutoksen vaikutukset rakenteiden toimivuudessa lisäämällä rakenteen vikasietoisuutta. Toisin sanoen suunnitella ja toteuttaa rakenne niin, että vähäiset virheet rakentamisprosessissa eivät vielä aiheuta rakenteiden vaarallista vaurioitumista. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 2.)

Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muuttuessa asetusta voidaan noudattaa joustavasti korjattavan kohteen edellytyksillä ja vaatimuksilla. Korjaus- ja muutostyötä ei tarvitse toteuttaa kohtuuttomilla toteutustavoilla. Jos rakennus on ollut kosteusteknisesti toimiva, ei kosteustekniseen toimivuuteen tarvitse tehdä muutoksia. Jos korjauksen syynä on esimerkiksi teknisen käyttöiän loppuminen tai vaurioituminen muusta syystä kuin kosteustekniseltä toimivuudeltaan, korjaus voidaan toteuttaa rakennusaikaista rakentamistapaa mukaillen. Erityisesti kulttuurihistoriallisesti arvokkaissa

rakennuksissa alkuperäistä rakennustapaa on hyvä noudattaa, vaikka esimerkiksi rakennuksen vaipparakenteissa vikasietoisuuteen liittyvät toteutukset eivät vastaisi ohjeistuksen suosituksia. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 10.)

Jos korjaus- ja muutostyöllä tai käyttötarkoituksen muuttuessa on tarve parantaa rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta, voidaan asetusta noudattaa. Asetuksen mukaisesti tulee toimia, jos rakenne aiheuttaa terveydellistä uhkaa tai vaurioittaa rakennusta ja sen kosteusteknistä toimintaa. Esimerkkinä ovat yleisesti todetut riskirakenteet. Tapauskohtainen arviointi korjaustavasta ja -tarpeesta on aiheellista suorittaa, kuten myös sisäilma- ja kosteustekniset kuntotutkimukset. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 10.)

Ohjeistuksen mukaan yläpohjarakenteita suunnitellessa tulee varmistua rakenteen kokonaisuuden toimivuudesta. Toisin sanoen rakenteessa käytettävien materiaalien ja rakenneratkaisuiden tulee olla yhteensopivia. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 44.)

Höyryn- ja ilmansulkumateriaalit tulee asentaa huolellisesti, jolloin sisäilman kosteuden siirtyminen yläpohjarakenteisiin voidaan estää. Erityisesti saumat, reunat sekä läpivientikohdat tulee toteuttaa tiiviisti ja tiivistyksessä on huomioitava rakenteiden mahdolliset muodonmuutokset ja liikevarat. Höyrynsulkua voidaan käyttää myös rakenteen ilmansulkuna. Höyrynsulkuna toimivan materiaalin tai rakenteen vesihöyrynvastus tulee olla tarpeeksi riittävä. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 44.)

Yläpohjarakenteiden höyrynsulkumateriaaleina on usein bitumikermi tai muovikalvo, jolloin tiivistyskohdissa tulee käyttää kyseiseen tuotteeseen sopivia tiivistystarvikkeita. Höyrynsulun tukeminen tiheällä harvalaudoituksella tai rakennuslevyllä höyrynsulun ala- tai yläpuolelle tulee myös ottaa huomioon suunnittelussa. Tuennan vapaaväli on enintään 250 mm, jos tuenta tapahtuu harvalaudoituksella höyrynsulun alapuolella. Korjaus- ja muutostyössä ilman ja höyrynsulkutiiveyttä pitää parantaa, jos vanhassa rakenteessa se on aiheuttanut vauriota kosteustekniseen toimivuuteen. (Ympäristöministeriö, 2020, ss. 44-45.)

Yläpohjarakenteeseen ulko- tai sisäpuolelta tuleva kosteus poistetaan rakenteesta tuuletuksen avulla. Tuuletustilan tulee olla yhtenäinen, avoin ja siellä ei saa olla suljettuja alueita. Tuuletustilan korkeus määräytyy katon laajuuden, rakenteen, lämmöneristysmateriaalin sekä kaltevuuden mukaan. Yhtenäisyys on huomioitava korvaus- ja poistoilma-aukkojen suunnittelussa. Korvausilma-aukko suunnitellaan mahdollisemman alas ja poistoilma-aukot puolestaan niin ylös kuin mahdollista. Yläpohjissa, joissa on puurakenne, lämmöneristeen pintaan asennettava tuulensuojalevyn tulee kestää epäsäännöllistä kosteutta, eristää lämpöä sekä sen vesihöyrynläpäisevyys tulisi olla hyvä. Jos tuuletusväli katkeaa, pitää tuuletuksen jatkuvuus varmistaa mahdollisesti viereiseen tuuletustilaan tai alipainetuulettimen avulla. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 45.)

Lisälämmöneristyksessä on huomioitava, ettei tuuletusväliä suljeta tai ettei se pienene, jolloin rakenteen tuuletus voi heikentyä. Lämmöneristeen asennuksessa on huomioitava myös riittävät tuuletusvälit etenkin räystäösosassa, jotta lämmöneristeessä oleva kosteus voi haihtua pois. (Ympäristöministeriö, 2020, s. 45.)

### 3.5 Yleisimmät yläpohjarakenteen lämmöneristeet

Lämmöneristeen lämmöneristysominaisuuden taustalla voi olla useampi vaikuttava tekijä, mutta niin sanotuissa perinteisissä lämmöneristeissä kyse on paikallaan olevan ilman matalasta lämmönjohtavuudesta. Myös lämpötilan lasku alentaa ilman lämmönjohtavuutta. Lämmöneristeitä valmistetaan eri materiaaleista. Yleisempiä yläpohjarakenteessa käytettäviä eristeitä ovat mineraalivillat, solumuoveista valmistetut polyuretaanilämmöneristeet sekä luonnonkuitupohjaiset puukuitueristeet. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 260.)

#### 3.5.1 Mineraalivillat

Mineraalivillat koostuvat epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisista sideaineista. Ne on usein käsitelty myös öljyllä. Öljy parantaa eristeen kykyä sitoa pölyä ja hylkiä vettä. Mineraalivillat jaotellaan raaka-aineen mukaisesti kivi-,

lasi- ja kuonavilloihin. Lisäksi on myös silikaattivilla, joka on välimuoto kuonaja kivivillasta. Kivivillan valmistukseen käytetään eri kivilajeja kuten gabroa, dolomiittia ja anortosiittia, sekä pieniä määriä öljyä ja kovetettua hartsia. Lasivilla koostuu pääosin kierrätyslasista, mutta voi osittain sisältää myös lasin valmistukseen käytettyjä raaka-aineita eli kvartsihiekkää, kalkkikiveä sekä soodaa. Kivivillan kuitujen paksuus vaihtelee 4–12  $\mu\text{m}$  ja lasivillan puolestaan 3–6  $\mu\text{m}$ . Kivivillan kuitujen keskipituus on 2–4 mm ja lasivillan 5–10 mm. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 261.)

Ilman osuus tilavuudesta vaihtelee eri mineraalivillatuotteiden kesken riippuen tiheydestä, kuitujen ominaisuuksista sekä sideainemäärästä, mutta yleisesti ilman määrä on 92–98 %. Levymuodossa olevan mineraalivillan lämmönjohtavuus eli  $\lambda$  on noin 0,031–0,041 W/(mK). Puhalletun mineraalivillan lämmönjohtavuus on levymäistä mineraalivillaa suurempi. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 261.)

Lämpö kulkeutuu mineraalivillassa säteilyllä, konvektiona ja johtumalla. Mineraalivillassa olevat kuidut ja ilmahuokokset kuljettavat johtumalla lämpöä. Villassa oleva huokosverkosto aiheuttaa niin kutsutun sisäisen konvektion eli lämpö siirtyy silloin ilmapirran mukana. Siirtymismuodon voimakkuuteen vaikuttavat useat osatekijät kuten keskilämpötila ja tiheys. Mineraalivillan ilmanläpäisevyys on oleellinen ominaisuus, koska se määrittelee paljonko lämpösäteilynä siirtyvää lämpövirtaa kulkeutuu eristeen sisällä. Ilmanläpäisevyys on sitä suurempi, mitä pienempi tiheys on. Ilmanläpäisevyys eli  $L$  on levymäisillä tuotteilla  $100 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$  ja puhalletuilla  $100\text{-}500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$  (RIL 255-1-2014, 2014, s. 262). Pinnan suuntainen ilmanläpäisevyys on yleensä 1,5–2 kertaa suurempi kuin keskiosan. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 261.)

Mineraalivillan kyky sitoa vettä hygroskooppisesti on heikko ja kapilaarisesti se ei sido vettä. Mineraalivillan lämmöneristekykyyne ei vaikuta suhteellisen kosteuden vaihtelut. Eristeen diffuusinen vesihöyrynläpäisevyys on suuri, jolloin ilmapirrat ja diffuusio kuljettavat kosteutta rakenteen sisällä. Mineraalivillan vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  on keskimäärin  $20\text{-}30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . (RIL 255-1-2014, 2014, s. 262.)

### 3.5.2 Polyuretaanieristeet (PIR/PUR)

Polyuretaanieristeet ovat solumuovilämmöneristeitä. Solumuovilämmöneriste on nimensä mukaisesti muovista valmistettu materiaali, jolla on solumainen rakenne. Solut voivat olla suljettuja tai avoimia. Suomessa yleisempiä solumuovieristeitä ovat polystyreenistä valmistetut EPS ja XPS, polyuretaani eli PUR sekä polyisosyanyraatista valmistettu PIR. EPS-eriste valmistetaan paisutetusti ja XPS-eriste valmistetaan ekstruusiomenetelmällä eli suulakepuristamalla. (RIL 255-1-2014, 2014, ss. 264-265.)

Polyuretaanista valmistetut eristeet PUR ja PIR ovat umpisoluisia. PUR-eristeen raaka-aineena on punneaineen lisäksi polyoli ja MDI eli polymeerinen difenyylimetaani-isosyaniitti. PIR-eristeen raaka-aineina polyuretaanin lisäksi käytetään myös polyisosyanyraattia. Punneaineena voidaan käyttää pentaania, hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) tai eri punneaineiden sekoituksia. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 266.) Polyuretaanieriste voi olla levymäinen tai ruiskutettava massa.

Raaka-aineiden sekoittaminen keskenään aiheuttaa kemiallisen reaktion. Polyuretaanisolumuovi on usein väriltään vaalea, mutta muuttuu UV-säteilylle altistuessaan kellertäväksi. UV-säteilylle altistuminen kuluttaa myös eristeen pintaa. Polyuretaanimassa on hyvin tarttuvaista ennen kovettumistaan. Tarttumiskyky useisiin pintamateriaaleihin on hyvä ja pintatartunnan jälkeen massa muodostaa ohuen yhtenäisen kalvon. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 266.)

Polyuretaanin lämmöneristysominaisuus perustuu solujen sisältämän kaasuseoksen lämmöneristävyteen. Solujen määrä ja materiaalin tiheys määrittelevät myös eristeen lämmönjohtavuuden. Soluissa olevan kaasun eli hiilidioksidin tai pentaanin lämmönjohtavuus on ilman lämmönjohtavuutta pienempi. Eristeen pitkäaikaista lämmönjohtavuutta arvioidessa on kuitenkin huomiotava ilman hidaskäyttö diffuusio soluihin. Diffuusion vaikutus soluissa vaikuttaa kolmen ensimmäisen vuoden aikana ja muuttuu sen jälkeen hyvin vähäiseksi. Eristeen pinnoittaminen diffuusiotiiviillä laminaatilla hidastaa diffuusiota. Tämä vaikutus eristeen lämmönjohtavuudessa on huomiotava valmistajien lämmönjohtavuusarvoissa. Diffuusiotiiviisti pinnoitettu uretaanieristeen

lämmönjohtavuus  $\lambda$  vaihtelee 0,022–0,023 W/(mK) ja vastaavasti diffuusioavoimella pinnoitteella olevan levyn lämmönjohtavuus on 0,024–0,027 W/(mK). (RIL 255-1-2014, 2014, s. 266.)

Polyuretaanieristeen kyky sitoa kosteutta hygrooskooppisesti tai kapilaarisesti on heikkoa, koska sen solurakenne umpinainen ja tiivis. Polyuretaani on myös hyvin ilmatiivis. Eristeen vesihöyrynläpäisevyys on vähäistä, minkä vuoksi sitä voidaan käyttää myös höyrynsulkuna. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 266.) Lämmönieristeen toimiessa myös höyrynsulkuna on polyuretaanilevyjen saumakohdissa asennustyön yhteydessä huomioitava höyryn- ja ilmansulkurakenteen eheys. Saumakohdat on tiivistettävä polyuretaanivaahdolla tai vastaavanlaisella pintoja liimaavalla tiivistysmassalla. Jos saumoja tiivistetään polyuretaanivaahdolla, tulee sauman leveyden olla noin 10–20 mm ja syvyyden vähintään 20 mm. Ohuemmat saumat eivät välttämättä kestä rakenteen muodonmuutoksia ja paksumpiin saumoihin voi vaahdotuksessa syntyä onkaloita. Saumat tulee teipata ilmatiiviuden varmistamiseksi. (RIL 107-2022, 2022, ss. 50-51.)

Pinnoittamattoman eli hiotun eristeen vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  on 0,01–0,2\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s vaihtelun perustuen tuotteen vaahdon koostumukseen. Pinnoitetun eli laminoituneen eristelevyn vesihöyrynläpäisevyys riippuu siitä, onko laminaatti diffuusioavoin vai diffusiotiivis. Diffuusioavoimella pinnoitteella vesihöyrynläpäisevyys on saman arvoinen kuin hiotun. Vastaavasti diffusiotiiviisti pinnoitetun eristeen vesihöyrynläpäisevyys vaihtelee karkeasti arvioituna välillä 0,005–0,01\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s. (RIL 255-1-2014, 2014, ss. 266-267.)

Umpisoluisen ruiskutettavan polyuretaanin lämmönjohtavuuteen vaikuttaa eristekerroksen paksuus. Mitä paksumpi eristekerros sitä parempi on materiaalin lämmönjohtavuus. Keskimääräisesti ruiskutettavan polyuretaanin lämmönjohtavuus on 0,025–0,027 W/(mK) ja sen vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  vaihtelee välillä 0,05–0,3\*10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s. Tehdyn tutkimuksen mukaan ruiskutettavan polyuretaanieristekerroksen paksuus on oltava vähintään 35 mm, jos eristekerrosta käytetään rakenteessa höyrynsulkuna. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 267.)



### 3.5.3 Puukuitueristeet

Puukuitueristeen lisäksi luonnonkuitupohjaisia eristeitä ovat myös pellavakeriste sekä kaislasta, hampusta, oljesta, maissista tai lampaanvillasta valmistetut eristeet (RIL 255-1-2014, 2014, ss. 263,264). Puukuitueristeet koostuvat selluloosaa, ligniiniä ja hemiselluloosaa sisältävistä muutaman millimetrin kokoisista putkimaisista rakenteista. Puukuitueristeen valmistuksessa voidaan käyttää sekä kierrätysmateriaalia että uutta puukuitua. Kierrätysmateriaalina käytetään puhdasta sanomalehtikeräyspaperia, jonka palonestoa parannetaan lisäämällä siihen boorimineraaleja. Eriste, joka on valmistettu uudesta puukuidusta, perustuu puupohjaisiin happivalkaistuihin ja bakteerivapaisiin sellukuituihin. Boorimineraaleja lisätään parantamaan materiaalin biologista kestävyttä sekä palonkestävyyttä. Puun oma ligniini toimii seoksessa sideaineena. (RIL 255-1-2014, 2014, ss. 262-263.)

Puukuitueriste voidaan asentaa puhaltamalla, ruiskuttamalla tai levyinä. Asennustapa vaikuttaa eristeen lämmönjohtokykyyn. Ruiskutetun eristeen  $\lambda$  on 0,041 W/(mK), puhalletun eristeen 0,038–0,040 W/(mK) ja levymäisen eristeen paksuuden ollessa 25–50 mm lämmönjohtavuus  $\lambda$  voi olla 0,037–0,044 W/(mK) välillä. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 263.)

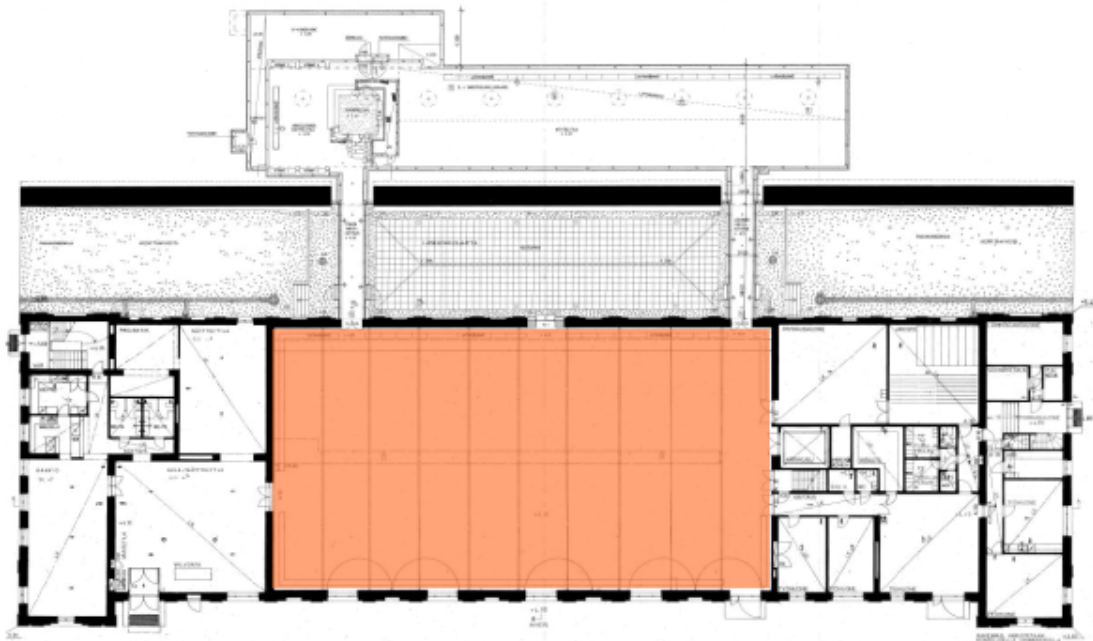
Puukuitueristeen ilmanläpäisevyys vaihtelee valmistusraaka-aineen mukaan. Uudesta puukuidusta valmistetun eristeen ilmanläpäisevyys  $L$  on noin  $50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$  ja kierrätysmateriaalista valmistetun eristeen ilmanläpäisevyys vaihtelee välillä  $65\text{--}130 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{msPa})$ . (RIL 255-1-2014, 2014, s. 263.)

Puukuitueriste on hygroskooppinen materiaali ja se vastaa lähes puutavaran hygroskooppisuutta. Eristeen vesihöyrynläpäisevyys  $\delta_v$  on suhteellisen sama asennustavasta riippumatta ja se on puukuitueristeellä noin  $10\text{--}20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . (RIL 255-1-2014, 2014, s. 263.)

## 4 TAPAUSTUTKIMUS OSA 1 – PORIN TAIDEMUSEON NÄYTTELYTILAN YLÄPOHJARAKENTEEN KORJAUS

### 4.1 Näyttelytilan yläpohjarakenteen rakennetutkimukset

Porin taidemuseossa on useampi näyttelytila. Opinnäytetyössä keskitytään rakennuksen keskellä olevaan suurimpaan näyttelytilaan 130A (kuva 20).



Kuva 20. Porin taidemuseon ensimmäisen kerroksen pohjapiirustus vuodelta 1997 tekijänä Arkkitehdit Ky. Kuvassa punaisella on merkitty näyttelytila 130A. Mukailtu. (Laurila, 2022, s. 44.)

Näyttelytilassa on uusittu vuonna 2013 valaisin- ja sähkötekniikkaa. Samalla tilaan on rakennettu av-järjestelmiä. Valaisimien yleisilme pysyi samanlaisena, ja lisäominaisuutena tilaan tuli himmennys sekä turvavalaistus. Myös kattoikkunoiden tiivistyksiä on uusittu vuonna 2015. (Laurila, 2022, s. 62.) Kuvassa 21 on esitetty näyttelytila tyhjennettynä.



Kuva 21. Näyttelytila 130A tyhjennettynä (Porin kaupunki, 2023).

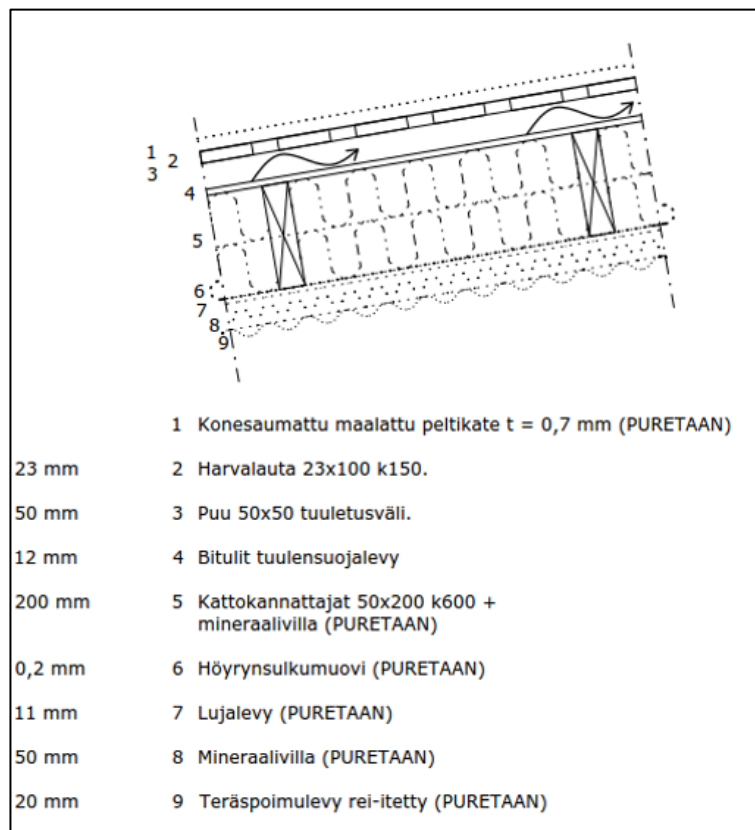
Vuonna 2021 tapahtuneen tulipalon sammutustyö ei aiheuttanut kosteusvaurioita näyttelytilan yläpohjarakenteisiin. Sen sijaan näyttelytilan yläpohjarakenteen keskeisimmät ongelmat olivat kattoikkunoiden liitoksien epätiiviydestä aiheutuvat kosteusvauriot. Tulevassa peruskorjaushankkeessa on tarkoitus uusida kattoikkunoiden uloimmat osat ja uudelleen tiivistää sisäpuoliset lasiosat. Kuvassa 22 on esitetty pohjoissivun vesikattolapteen kattoikkunat vuonna 2021. Kattokaltevuudeltaan jyrkän vesikaton katteena on konesaumattu maalattu peltikate.



Kuva 22. Vesikaton kattoikkunat vuonna 2021. Kuva Ramboll Finland Oy.

Näyttelytilan yläpohjarakenteisiin tehtiin rakenneavauksia, joissa selvitettiin itse rakenne ja rakenteen nykyinen kunto. Yläpohjarakenne alhaalta ylöspäin on kantava teräsristikko ja teräsorret, Luja-levy, höyrynsulku, puukoolaus, lämmöneriste, Bitulit-levy, tuuletusväli, harvalaudoitus sekä sinkitty peltikate. Tilan sisäverhous on rei'itetty aaltopelti. Rakenne on hyvin tuulettuva.

Rakenneavausten perusteella havaittiin lämmöneristeiden tummumista, joka viittasi rakenteen ilmatiiveyden olevan aiheellista korjata. Rakenteen runko-osa oli avatuilta osilta kunnossa. Kuvassa 23 on esitetty purkurakennetyyppi YP2, jossa on määritelty purettavat ja säilytettävät osat rakenteesta. Rakenneavauksien perusteella alustava suunnitelma on säilyttää näyttelytilan yläpohjan puurunko sekä sen yläpuolinen tuulensuojalevy. Lämmöneristeet ja muut alapuoliset materiaalit uusitaan. Samalla uusitaan myös vesikaton kate. Nykyisessä rakenteessa ei ole aluskatetta. Korjauksen yhteydessä rakenteeseen asennetaan bitumikermi aluskatteeksi ja sen alapuolelle vaneri.



Kuva 23. Yläpohjan purkurakennetyyppi YP2.

## 4.2 Näyttelytilan asettamat vaatimukset yläpohjarakenteelle

Porin taidemuseon rakennus on asemakaavaan merkitty historiallisesti arvokkaaksi rakennukseksi. Tämä tarkoittaa, että rakennuksen julkisivun tai vesikaton rakennustaiteellista tai historialista arvoa ei saa heikentää muutos- tai korjaustöiden vaikutuksesta. Suojelumerkintä estää rakenteen kasvattamista sekä materiaalien muuttamista ulkoisesti.

Peruskorjauksen yhteydessä näyttelytilan talotekniikka tullaan uusimaan. Näyttelytilan 130A sisäilmaolosuhteet on määritelty hankesuunnitteluvaiheen LVIAJ-järjestelmäkuvauksessa. Kesä- ja talviajan sisäilman lämpötilaksi on asetettu  $+20 \pm 2^\circ \text{C}$  ja sisäilman kosteudeksi  $50 \pm 5\% \text{ RH}$ .

## 4.3 Rakenteen kosteustekninen laskenta

RIL 255-1-2014-teoksessa sivulla 55 määritellään rakennusfysikaalisen laskentatarkastelun toteutus kahdeksan kohdan mukaisesti:

1. Laskentatehtävän ja tarkasteluperiaatteiden määrittely
2. Toimintakriteerien ja niihin liittyvien raja-arvojen valinta
3. Ulko- ja sisäympäristön olosuhteiden määrittely
4. Laskentamenetelmän tai -ohjelman valinta
5. Materiaaliominaisuuksien määrittely
6. Tarkasteltavan rakenteen tai rakennuksen mallintaminen
7. Tarkasteltavien suureiden ratkaiseminen
8. Laskentatulosten analysointi

**Laskentatehtävän** tavoite oli tutkia eri yläpohjarakenteiden kondensoitumisriskiä. Yläpohjarakenteet eroavat toisistaan runkorakenteessa olevan lämmöneristeen suhteen, jolloin voitiin tutkia, onko eristeen valinnalla merkitystä rakenteen kosteusteknisessä toimivuudessa. Rakennetyypit on määritelty tarkemmin liitteessä 1. Lämmöneristeen määrä oli kaikissa rakennetyypeissä 200 mm. Tutkittavat lämmöneristeet olivat kivivilla, lasivilla, polyuretaani (PIR) ja puukuitueriste.

Laskennan **toimintakriteerit** rajoittuivat rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan kriteereihin. **Ulko- ja sisäympäristön olosuhteiden** määrittelyssä käytettiin yksikköinä lämpötilaa [ $^{\circ}\text{C}$ ] ja suhteellista kosteutta [% RH]. Laskennan tarkoituksena oli tutkia rakenteen vikasietoisuutta eri olosuhteissa kuormittamalla sisätilan lämpötilaa ja suhteellista kosteutta yli annettujen tavoitearvojen. Ulkoilman lämpötila asetettiin ( $-20$ )  $^{\circ}\text{C}$  ja ulkoilman suhteellinen kosteus määriteltiin 90 % RH. Sisäilman olosuhteet määriteltiin olosuhde A:ksi ja olosuhde B:ksi. Olosuhde A:ssa sisäilman lämpötilaksi asetettiin  $+21$   $^{\circ}\text{C}$  ja suhteelliseksi kosteudeksi 50 % RH. Olosuhde B:ssä sisäilman lämpötilaksi asetettiin  $+20$   $^{\circ}\text{C}$  ja suhteelliseksi kosteudeksi 60 % RH.

Laskennassa ei huomioitu talviaikaista kosteuslisän mitoitusarvoa, joka taulukko 1 mukaan on määritelty museorakennukselle  $5\text{ g/m}^3$  ( $T \leq 5^{\circ}\text{C}$ ). Laskennassa syötettiin sisä- ja ulkoilman lämpötilat sekä suhteelliset kosteudet, jolloin sisä- ja ulkoilman väliset olosuhde-erot määrittelevät sisäilman kosteuslisän.

Kosteustekninen **laskenta toteutettiin** DOF-Lämpö 2.2 ohjelmalla, joka on stationäärinen lämpötila- ja kosteuslaskentaohjelma. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmassa on tyypillisesti valmiit materiaalikirjastot sekä ulkoilman kuukausittaiset lämpötila- ja suhteellisen kosteuden arvot eri paikkakunnilta. (RIL 255-1-2014, 2014, s. 76.) Ohjelmassa laskettiin RakMk:n mukaisia U-arvoja ja kosteuskäyttäytymistä  $\lambda_n$  arvoilla.

Tarkasteluhetket määriteltiin ohjelman ”3:n päivän kylmin” -valinnan mukaan. Laskennassa **materiaaliominaisuudet** määriteltiin eri lähteiden mukaan. Lämmönjohtavuus ja vesihöyrynläpäisevyys määriteltiin teoksen RIL 255 1-2014 Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikkaalinen suunnittelu ja tutkimukset liitteen 4 tiedoista (taulukko 3). Tiedot arvioitiin epäsuotuisampien arvojen perusteella. Tiheydet määriteltiin rakentamisen päästötietokannan arvoista ja rakenteessa oleva teräksinen kylmäsilta määriteltiin C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Lämmöneristys, ohjeet 2012 materiaalitiedoilla. Laskennassa ei huomioitu hinnoittelua.

Taulukko 3. Laskennassa käytettävien materiaalien tietoja. Lyhenteissä T=kerroksen paksuus, LJ=lämmönjohtavuus ja VHL=vesihöyrynläpäisevyys.

Materiaali:	T [mm]	LJ [W/(mK)]	VHL [kg/msPa]	Materiaalilähde:
Kivivilla	200	0,037	1,90E-10	RIL 255 1-2014, taulukko L4.8. s.412
Lasivilla	200	0,037	1,60E-10	RIL 255 1-2014, taulukko L4.8. s.412
Polyuretaani (PIR) alumiini-pinta	200	0,023	3,90E-14	RIL 255 1-2014, taulukko L4.10. s.416
Puukuitueriste (huok, bitum.)	200	0,042	1,50E-10	RIL 255 1-2014, taulukko L4.9. s.414
Höyrynsulkumuovi (LDPE)	0,2	0,4	4,44E-16	RIL 255 1-2014, taulukko L4.5. s.406 ja VHL DOF-Lämpö kirjastomateriaali
Kuitusementtilevy	10	0,3	1,10E-11	RIL 255 1-2014, taulukko L4.21. s.440
Puukuitulevy (huok., bitumi)	12	0,049	1,40E-11	RIL 255 1-2014, taulukko L4.7. s.410
Kylmäsilta: Teräsorsi (8,3%)	50	30		C4 s.20, (ruostumaton)
Kylmäsilta: Puu (8,3%)	50	0,13		RIL 255 1-2014, taulukko L4.17. s.432

**Rakenteen tiedot** koottiin yläpohjarakennetyyppien mukaisesti. Rakennetyyppejä oli yhteensä neljä kappaletta. Rakenteessa huomioitiin myös kylmäsilat. Laskenta-asetuksissa kylmäsilat huomioitiin laskennassa mahdollisimman samoilla kohdilla (peräkkäin). Kylmäsiltojen yhteydessä käytettiin kokonaislämmönvastuksen laskennassa arvoja:

Alalikiarvon (K-arvon ylälikiarvo) painotuskerroin 1,0

Ylälikiarvon (K-arvon alalikiarvo) painotuskerroin 0,0

Rakenteessa ei huomioitu rakenteen sisäpuolista rei'itettyä teräspoimulevyä, eikä hyvin tuulettuvan ilmatilan ulkopuolisia kerroksia. Sisäpuolen pintavastuksena oli 0,10 m<sup>2</sup>K/W standardin SFS-EN ISO 6946:2017 taulukko 7 mukaan. Ulkopuolen pintavastuksena oli sama kuin sisäpuolen eli 0,10 m<sup>2</sup>K/W. (RIL 225-2023, 2023, ss. 26,28,113).

**Tulokset** esitettiin graafisina lämpötila- ja kosteusjakaumina. Kosteusmäärien yksikkönä käytettiin g/m<sup>3</sup>. Laskentaohjelman tulokset on esitetty liitteessä 2. Ilman kyllästymiskosteus oli määritelty normaalissa ilmakehän paineessa 101,325 kN/m<sup>2</sup>. Kondensoitumisen määrää ohjelmassa arvioitiin esistandardin prEN ISO 13788 mukaisilla kaavoilla. (D.O.F. tech Oy, 2003, ss. 26,27.)

#### 4.4 Tulokset

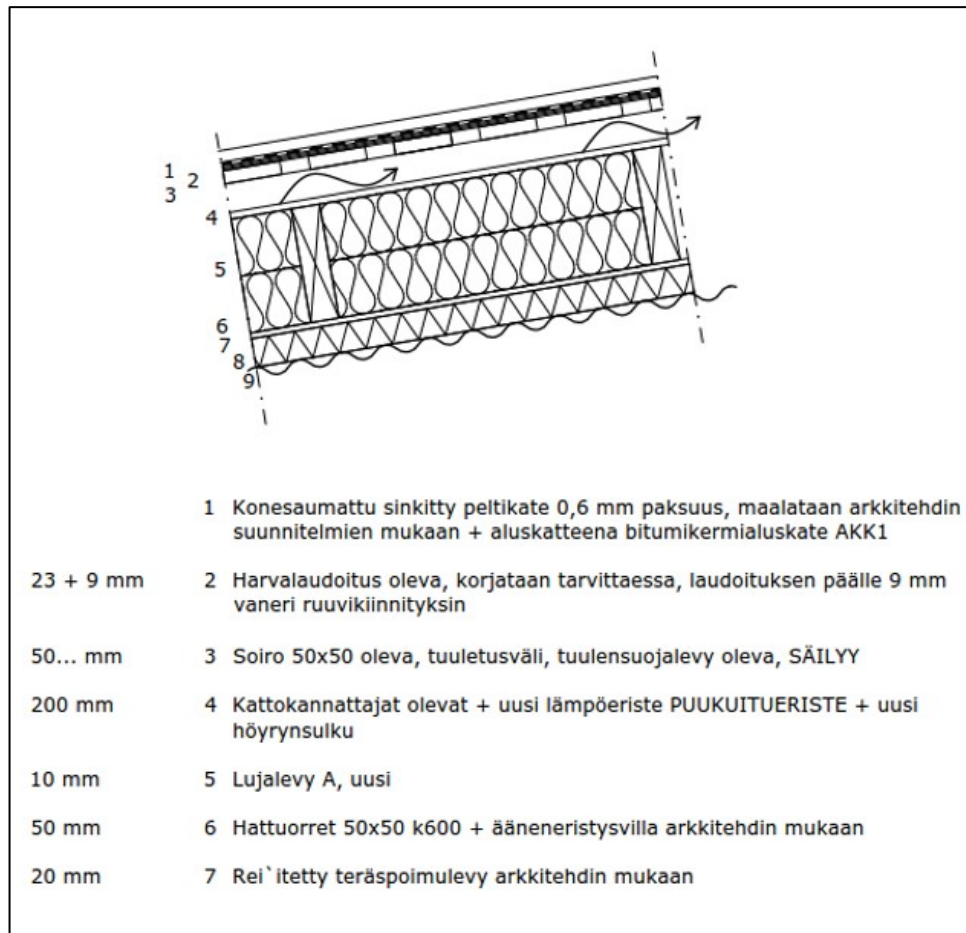
Lämpö- ja kosteuslaskelmien perusteella näyttelytilan sisäilmaolosuhteiden ollessa annettujen raja-arvojen puitteissa olosuhde A:ssa kondenssiriskiä ei esiinny rakenteissa. Sisäilman suhteellisen kosteuden noustessa 60 % RH kosteus tiivistyi yläpohjarakenteessa, jossa lämmöneristeenä oli puukuitueriste. Taulukossa 4 on esitelty tarkemmin olosuhde B:n tuloksia. Taulukossa olevat lyhenteet ovat  $KK$ =kyllästymiskosteus,  $KM$ =kosteusmäärä,  $T$ =rajapinnan lämpötila ja  $SK_{max}$ =suhteellisen kosteuden maksimiarvo.

Taulukko 4. Olosuhde B:n tulokset.

	$SK_{max}$ [%]	$T$ [°C]	$KK$ [g/m <sup>3</sup> ]	$KM$ [g/m <sup>3</sup> ]
Kivivilla YP3	97,8	11,79	10,57	10,34
Lasivilla YP4	97,8	11,79	10,57	10,34
PIR YP5	90	-20	0,88	0,79
Puukuitueriste YP6	100	10,99	10,06	10,34

Yläpohjarakenteessa YP6 kondensoitumisriski oli suurin höyrynsulkumuovin sisäpuolisella pinnalla sekä kuitusementtilevyn ja ääneneristysvillan rajapinnassa. Kuvassa 24 on esitetty YP6-rakennetyyppi ja kuvassa 25 on kyseisen rakenteen kosteusmäärät ja lämpötilat eri rajapinnoissa. Kuvassa 26 on esitetty mahdollisen kondenssin riskikohta lämmöneristeen ja höyrynsulkumuovin kohdalla. Kuvassa kosteusmäärää osoittava sininen käyrä leikkaa yläpuolella olevan kyllästymiskosteutta osoittavan punaisen käyrän.

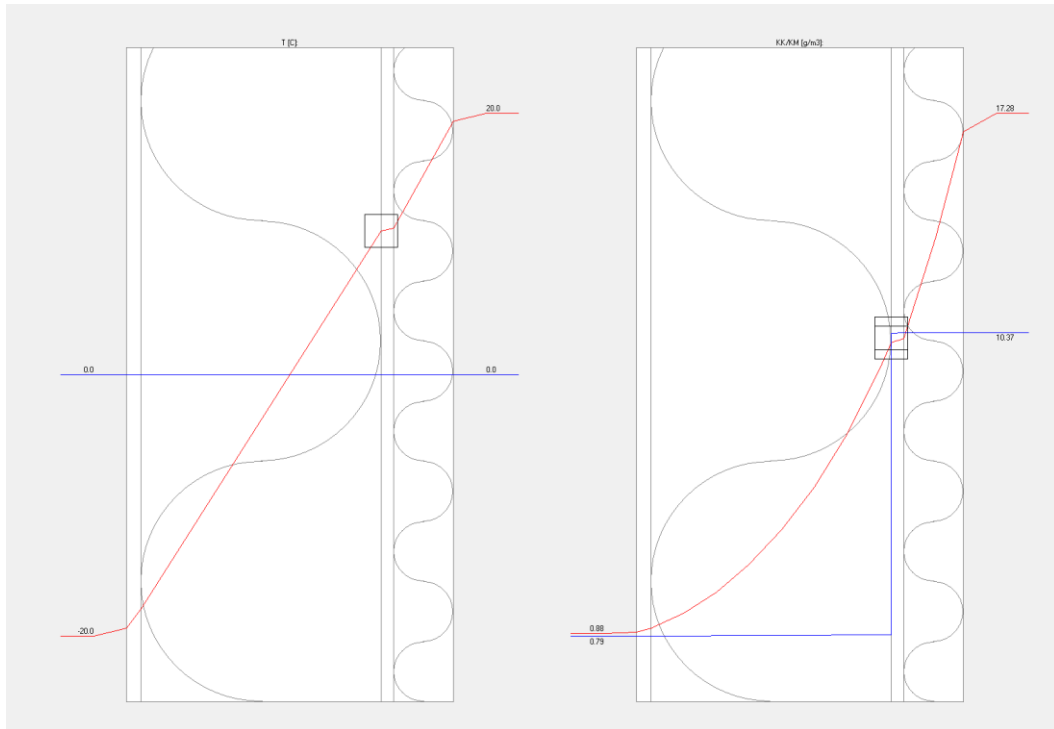




Kuva 24. Rakennetyyppi YP6, jonka lämmöneristeenä on puukuitueriste.

SK <sub>max</sub> = 100.0 %, Tiivistymisvaara					
Piste:	T [c]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.39	0.92	0.79	85.6	0.00
2	-17.91	1.05	0.81	76.9	0.00
3	10.99	10.05	0.83	8.3	0.00
4	10.99	10.06	10.34	100.0	0.00
5	11.19	10.19	10.36	100.0	0.00
6	19.39	16.69	10.37	62.1	0.00
S	20.00	17.28	10.37	60.0	0.00

Kuva 25. Ohjelman tuloksissa esitetty laskenta-arvot eri rakennekerroksissa rakenteessa YP6 olosuhteissa B.



Kuva 26. Ohjelman tuloksissa esitetty mahdollinen kondensoitumiskohta rakenteessa YP6 höyrynsulkumuovin sisäpuolisella rajapinnalla.

Taulukon 3 mukaan puukuitueristeellä oli heikoin lämmönjohtavuus muihin lämmöneristeisiin verrattuna. Laskennassa ainekerroksen lämmönvastus saadaan, kun ainekerroksen paksuus jaetaan ainekerroksen lämmönjohtavuudella. Tästä johtuen myös puukuitueristeen lämmönvastus oli muita lämmöneristeitä huonompi ja rakenne oli kylmempi lämmöneristeen ja höyrynsulkumuovin rajapinnassa. Kylmempi ainekerroksen lämpötila aiheutti suhteellisen kosteuden nousemisen, joka puolestaan johti kosteuden tiivistymiseen.

Ohjelmalla testattiin puukuitueristeen ainekerroksen kasvattamisen vaikutusta kosteuden tiivistymiseen. Ainekerrosta kasvattamalla lisää 30 mm kosteuden tiivistyminen rakenteessa väheni, jolloin  $SK_{max}$  oli vain 97,4 % RH. Rakenteen kasvattaminen ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista, koska vesikaton rakennustaiteellista tai historiallista arvoa ei saa heikentää muutos- tai korjaustöiden vaikutuksesta.

Sisäpuolella olevan ääneneristävillan korkea lämmönvastus suhteessa rakenteeseen puolestaan aiheuttaa kosteuden tiivistymisen kuitusementtilevyn ja ääneneristävillan rajapinnassa. Ohjelman avulla testattiin myös

ääneneristysvillan lämmönvastuksen pienentämistä kerrospaksuuden vähentämisellä ja huonommalla lämmönjohtavuusarvolla. Taulukossa 5 on esitetty, miten ääneneristysvillan arvot vaikuttivat kosteuden tiivistymiseen rakenteessa.

Taulukko 5. Ääneneristysvillan (lasivillan) testaus eri ainekerrosvahvuudella ja lämmönjohtavuus arvoilla.

T [mm]	$\lambda$ [W/(mK)]	SK <sub>max</sub> [% RH]
50	0,037	100,0
40	0,037	94,7
50	0,042	98,0

Ääneneristysvillan kerrospaksuuden ollessa 40 mm kondenssiriski väheni. Ainekerroksen pienentäminen saattaa kuitenkin heikentää rakenteen äänen eristävyttä. Lämmönjohtavuutta alentaessa arvoon 0,042 W/(mK) myös kosteuden tiivistyminen rakenteessa väheni. Arvo vastasi puukuitueristeen lämmönjohtavuutta.

## 5 KIRJALLISUUSTUTKIMUS OSA 2 – HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA KORJAUSRAKENTAMISESSA

Ihmisen toiminnasta aiheutuvaa maapallon ilmaston lämpenemistä kutsutaan ilmastonmuutokseksi. On arvioitu, että maapallon lämpötila on kohonnut noin 1,0 asteen esiteollisesta ajasta. Lämpötilan kohoamisen kriittisenä rajana katsotaan olevan 1,5 astetta, jotta maapallon ekosysteemit toimisivat nykyisellä tavalla. Lämpötilan nousun rajoittaminen vaatii kuitenkin nopeita toimia päästöjen vähentämiseksi sekä ilmakehän hiiltä sitovien hiilinielujen lisäämistä. (RT 103170, 2020, s. 3.)

Lämpötilan nousun taustalla on kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä. Kasvihuonekaasut päästävät maan pinnalle auringon säteilyä, mutta eivät päästä lämpöä poistumaan avaruuteen, jonka seurauksesta maapallon lämpötila nousee. Kasvihuonekaasuja on useita, kuten vesihöyry, metaani ja hiilidioksidi. Yli puolet Suomen kasvihuonekaasuista syntyvät rakennetusta ympäristöstä eli rakentamisesta, rakennusten käytöstä ja liikenteestä. (RT 103170, 2020, ss. 1-3.)

### 5.1 Ilmastaselvityksen laadinta korjausrakentamisessa

Suunnitteilla olevassa kaavoitus- ja rakentamislaisissa on esitetty velvoite ilmastaselvityksen laatimisesta. Ilmastaselvityksessä uuden rakennuksen tai rakentamislupaa vaativan laajamittaisesti korjattavan rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki tulisi arvioida rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmää käyttäen. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 6.) Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan rakennuksen elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Hiilikädenjälki on taas rakennushankkeen myönteiset ilmastovaikutukset, jotka syntyvät rakennushankkeen ansiosta. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 8.) Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen lisäksi tulisi rakentamisluvan yhteydessä toimittaa materiaaliseloste, joka sisältäisi tiedot rakentamisessa käytettävistä materiaaleista ja niiden alkuperästä sekä rakennuksen osista (Ympäristöministeriö, 2023).

Vastuu Ilmastaselvityksen laatimisesta on perustelumuistion mukaan pääsuunnittelijalla, rakennussuunnittelijalla tai erityissuunnittelijalla (Ympäristöministeriö, 2021, s. 32). Uuden rakennuksen hiilijalanjäljelle on tarkoitus asettaa raja-arvot rakennuksen käyttötarkoituluokan mukaisesti (Ympäristöministeriö, 2021, s. 3).

Kaavoitus- ja rakentamislaisissa uusi rakennus tarkoittaa kokonaan uuden rakennuksen rakentamista tai rakennuksen laajennusta. Laajamittainen korjaus määritellään seuraavasti: ”korjausta, jossa rakennuksen vaippaan tai rakennuksen teknisiin järjestelmiin liittyvien korjausten jälleenrakentamiskustannuksiin perustuvat kokonaiskustannukset ovat yli 25 prosenttia rakennuksen arvosta, rakennusmaan arvo pois lukien” (Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020, 1 luku 3 § 3 mom.).

Ilmastaselvityksen laadinta ei koske korjattavia erillispientaloja tai laajamittaisesti korjattavaa rakennusta, jonka energiatehokkuutta ei ole tarkoitus parantaa korjaustyön aikana. Myös uusissa rakennuksissa, joita ei tarvitse suunnitella ja rakentaa lähes nollaenergiarakennukseksi, ilmastaselvitystä ei tarvitse huomioida. Ilmastaselvitys voidaan kuitenkin laatia rakennuksille, jotka ovat vaatimusten ulkopuolella. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 32.)

Rakennuksen hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen arvioinnissa käytettävä rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä pohjautuu eurooppalaisiin kestävän rakentamisen standardeihin EN 15643, EN 15978 ja EN 15804+A2 sekä EU:n Level(s)-menetelmään. Uuden rakennuksen hiilikädenjälki ja hiilijalanjälki arvioidaan rakennuksen koko elinkaaren ajalta ja laajamittaisessa korjattavassa rakennuksessa korjaukseen kohdistuvalta toimenpidealueelta. Toimenpidealueella tarkoitetaan rakennusosaa, jota laajamittainen korjaus koskee. Osat, joihin laajamittainen korjaus ei kohdistu, jätetään arvioinnissa huomioimatta. Elinkaaren vaiheet korjattavassa rakennuksessa perustuvat korjauksen jälkeiseen aikaan. Kuviossa 1 on esitetty standardiin EN 15643 perustuvat eri elinkaaren vaiheet. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 6-7.) Liitteessä 3 on esitetty vaiheet tarkemmin.



Kuvio 1. Rakennuksen elinkaarivaiheet. Mukailtu. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 10.)

Hiilijalanjäljen arvioinnissa korjattavan rakennuksen elinkaari eli arviointijakson pituus on 50 vuotta. Se on sama kuin uudisrakennuksen arviointijakso. Vaikka rakennus olisi 100 vuoden ikäinen korjauksen ajankohtana, korjauksessa vähähiilisyys arvioidaan seuraavat 50 vuotta eteenpäin. Aiempia korjaustoimenpiteitä ei huomioida takautuvasti. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 13-14.)

Rakennuksen energian käytöstä aiheutuvat päästöt määritellään energiaselvityksen mukaisilla ostoenergian määrillä, jotka kerrotaan energiamuodon päästökertoimella. Kuljetusmatkat ja työmaan energia voidaan arvioida päästötietokannan taulukkoarvoilla tai todellisiin kulutuksiin perustuvilla arvoilla. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 15.)

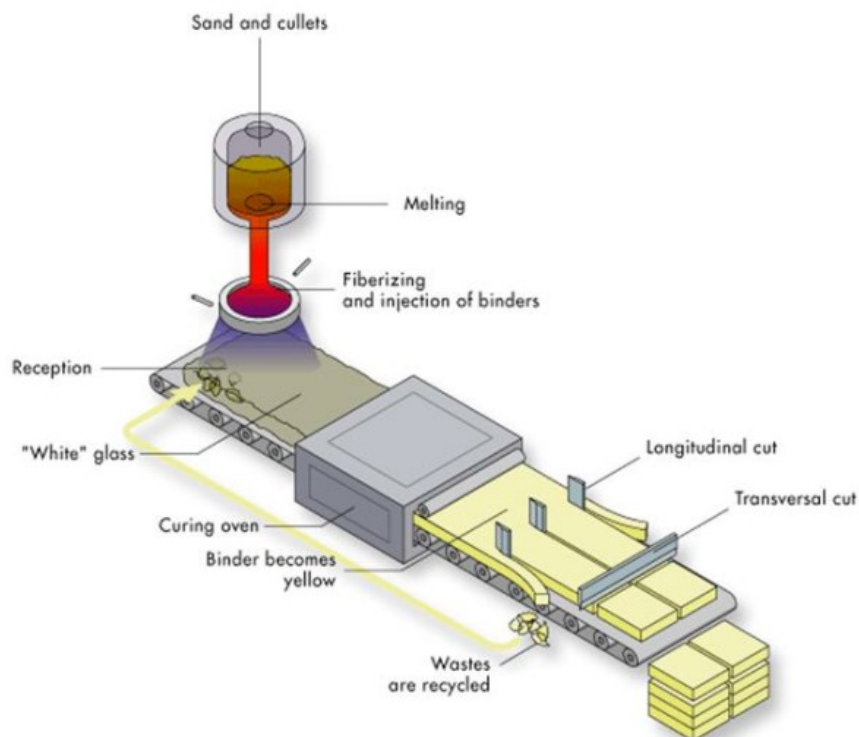
Rakennuksen elinkaaren aikaiset korjaustoimenpiteet kuten vanhan osan korvaaminen uudella vaikuttavat myös rakennuksen hiilijalanjälkeen. Rakennustuotteen vaihtovälin määrittäminen liittyy olennaisesti tuotteen suunnittelukäytöikä, koska sen perusteella määritellään elinkaariarvioinnissa tuotteen vaihtojen lukumäärä (Ympäristöministeriö, 2021, s. 21). Mitä useammin tuote vaihdetaan elinkaaren aikana, sitä enemmän kasvihuonekaasupäästöjä se aiheuttaa.

Vähähiilisyiden arvioinnin tuloksissa rakennuksen ja rakennuspaikan hiilijalanjäljet esitellään erikseen eri elinkaaren vaiheiden mukaisesti. Hiilijalanjälki esitetään positiivisena ja hiilikädenjälki negatiivisina. Luvut pyöristetään kahden desimaalin tarkkuuteen. Rakennuksen hiilijalanjälki ilmaistaan yksikössä  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{hum}^2/\text{a}$  ja rakennuspaikan hiilijalanjälki yksikössä  $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{rp-m}^2/\text{a}$ .

(Ympäristöministeriö, 2021, s. 33.) Lyhenne CO<sub>2</sub>e tarkoittaa hiilidioksidiekvivalenttia, joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävää vaikutusta muutettuna vastaamaan hiilidioksidin vastaavaa vaikutusta (Ympäristöministeriö, 2021, s. 38).

## 5.2 Tuotevaiheen hiilijalanjälki

Tuotteiden valmistuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt määritellään tuotevaiheen hiilijalanjälkenä. Tuotevaiheen (A1-3) päästöt syntyvät tuotteen raaka-aineen hankinnasta ja käsittelystä (A1), raaka-aineiden kuljetuksesta valmistukseen (A2) ja tuotteen valmistuksesta (A3). Edellä mainittuihin vaiheisiin sisältyy kaikkien materiaalien, tuotteiden ja energian hankinta. Myös vaiheista syntyvän jätteen käsittely uusiokäyttövaiheeseen asti, syntyvän jätteen loppusijoitus sekä raaka-aineena käytettävän kierrätysmateriaalien käsittely ovat osa tuotevaiheen päästöjä. (SFS-EN 15804:2012+A2:2019, 2019, s. 21.) Kuvassa 27 on esitetty lasivillan tuotevaiheen päästöjä aiheuttava valmistusprosessi.



Kuva 27. Lasivillan valmistusprosessi (Saint-Gobain Finland Oy, 2022, s. 6).

Tuotevaiheen päästöt lasketaan lupavaiheessa kansallisen päästötietokannan eli CO2data.fi -palvelun mukaisilla yleisluontoisilla arvoilla, joissa on huomioitu konservatiivisen arvon kerroin (CO2data.fi, 2022). Konservatiivisen arvon kerroin on 1,2 ja sen tarkoituksena on tasoittaa tuotekohtaisien päästömäärien vaihteluväliä (Hiilineutraalisuomi, 2023). Tuotevaiheen laskennassa voi käyttää myös tuotteen ympäristöselosteen tietoja (EPD), jos jo suunnitteluvaiheessa on määritelty tietty tuote toteutukseen. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 14.)

Jos tuotteen tietoja ei löydy edellä mainituilla tavoilla, on mahdollista käyttää myös muuta päästötietokantaa tai vertaisarvioidun tieteellisen tutkimuksen tietoja, jotka sopivat Suomen oloihin ja ne ovat alle 10 vuotta vanhoja. Rakennuksen käyttöönoton yhteydessä olisi suositeltavaa käyttää laskennassa tuotteiden ympäristöselosteiden tietoja toteutuksessa käytettyjen tuotteiden mukaan. (Ympäristöministeriö, 2021, ss. 14-15.) Vähähiilisuuden arviointiin kuuluvat rakennusosat on määritelty tarkemmin liitteessä 4. Rakennuksen materiaalmäärät voidaan koota tietomallinnuksen avulla tai määrälaskennan mukaan.

### 5.3 Hiilijalanjäljen huomioiminen julkisessa korjausrakentamisen suunnittelussa

Hankintalain 1397/2016 yhtenä tavoitteena on julkisten hankintojen toteuttaminen ympäristönäkökohdat huomioiden (Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016, 1 luku 2 §). Ympäristöministeriön julkaisemassa Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit -oppaassa on määritelty vähähiilisen korjausrakentamisen suunnitteluun liittyviä suosituksia. Opas on julkaistu vuonna 2017 eli kaksi vuotta ennen ensimmäistä rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän julkaisua. Oppaan ohjeistukset rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin eivät perustu nykyiseen vähähiilisuuden arviointimenetelmään, minkä johdosta oppaan suositukset tulee huomioida suuntaa antavina toimenpiteinä.



Oppaan suositusten tarkoituksena on mahdollistaa peruskorjaushankkeiden toteutus säädöstasoa vähähiilisemmin. Suositukset perustuvat enimmäkseen Euroopan komission vihreän julkisen rakentamiseen liittyviin suosituksiin. Oppaan esittämät laatuvaatimukset on laadittu kestävän kehityksen näkökulmasta, mutta hankkijan on aina hankkeen kokonaisuuden kannalta valittava tapauskohtaisesti keskeisimmät laatuvaatimukset omassa hankkeessaan. (Ympäristöministeriö, 2017, ss. 14-15.)

Korjaushankkeen materiaaleihin liittyvät vähähiilisyyskriteerit suunnitteluvaiheen hankinnoissa olivat muun muassa rakennusmateriaalien elinkaaren hiilijalanjäljen laskenta osana suunnittelupalveluita sekä purkukatselmuksen sisällyttäminen hankkeeseen. Rakennusmateriaalin hiilijalanjäljen laskennan avulla hankkeessa voidaan suunnitteluvaiheessa arvioida kustannustehokkaimmat ratkaisut vähentää rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä. Purkukatselmuksen avulla pystytään tunnistamaan kiertotalouden kannalta potentiaalisemmat tavat purettavien materiaalien uudelleenkäyttöön. (Ympäristöministeriö, 2017, s. 23.)

Rakennusosien uudelleenkäyttö vähentää päästöjä, koska aiemmin käytettyjen tilaelementtien, rakennusosien, materiaalien ja tuotteiden valmistusta tai uudelleenkäyttöön tehtyjä valmisteluja ei sisällytetä rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin. Myös toiselta työmaalta jääneitä käyttämättömien tuotteiden uudelleenkäyttöä ei tarvitse sisällyttää arviointiin. Ehtona on kuitenkin, että uudelleenkäytetyt materiaalit ja tuotteet on huomioitu jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. (Ympäristöministeriö, 2021, s. 18.) Ennakoivan purkukatselmuksen avulla voidaan ajoissa jo tunnistaa sopivat materiaalit ja liittää ne osaksi suunnittelua.

Suunnitteluvaiheen vähähiilisyyskriteereissä suositellaan käyttämään tuotteita, jotka ovat kierrätettyjä tai sisältävät uusiutuvia materiaaleja. Kyseisten materiaalien osuus tulisi olla noin 10 % kaikkien rakennus- ja täyttömateriaalien massasta. Kierrätetyillä materiaaleilla, kuten lasilla, betonilla, bitumilla, teräksellä tai uusiomaa-aineksella vältetään ympäristöä kuormittavien raaka-ainesten käsittelyä ja tuetaan siirtymistä kiertotalouteen. Suunnitteluvaiheessa

on kuitenkin huomioitava, että uusiutuvien ja kierrätettävien tuotteiden vähimmäisvaatimuksen toteuttaminen on kustannustehokasta, tekniset vaatimukset huomioivaa, vähentää rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä sekä tukee rakennuksen energiatehokkuutta. (Ympäristöministeriö, 2017, s. 23.)

Vähähiilisen korjausrakentamisen suunnittelussa soveltuvuusvaatimuksena ovat muun muassa referenssit hiilijalanjälkilaskennan osaamisesta sekä aiempi kokemus vähähiilisyyden huomioimisesta korjaushankkeissa. Valintakriteerit, joista on mahdollista saada lisäpisteitä, voivat olla esimerkiksi innovatiiviset suunnittelumenetelmät hiilijalanjäljen pienentämiseen kustannustehokkaasti sekä toteutuneen hiilijalanjäljen vastaaminen alkuperäisesti suunniteltua. (Ympäristöministeriö, 2017, s. 31.)

## 6 TAPAUSTUTKIMUS OSA 2 – PORIN TAIDEMUSEON NÄYTELYTILAN YLÄPOHJARAKENTEEN HIILIJALANJÄLKI

### 6.1 Laskentateoria

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla eri yläpohjarakenteiden hiilijalanjälkeä. Laskennassa hiilijalanjälki arvioitiin tuotevaiheen A1-3 sekä purettavien materiaalien jätteenkäsittely- ja loppusijoitusvaiheiden C3-4 aiheuttamien päästöjen mukaan. Laskenta perustui neliömetripohjaiseen laskentaan, jossa materiaalineneki laskettiin yläpohjarakenteen yhtä neliometriä kohden. Päästöarvot on ilmaistu muodossa kgCO<sub>2</sub>e eli hiilidioksidiekvivalenttikiloina. Yläpohjarakenteen kattoikkunat ja savunpoistoluukut rajattiin laskennasta pois.

Yläpohjarakenteen hiilijalanjälki määriteltiin Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän 2021 mukaisesti. Laskennassa käytettiin Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen päästötietokannan rakennustuotteiden keskimääräisiä päästötietoja, joissa on huomioitu konservatiivisen arvon kerroin ja hukka.

Yläpohjarakenteessa arviointiin ensin säilytettävät ja purettavat materiaalit purkutyyppin YP2 mukaisesti (kuva 23). Rakenteessa ääneneristysvillan välissä olevat teräksiset hattuurret oletettiin uudelleenkäytettäväksi. Purkumateriaalien päästöarvot määriteltiin rakentamisen päästötietokannan tietojen perusteella, joista selviää materiaalin purkujätteen käsittelytapa ja käsittelytavan mukainen päästöarvo. Taulukossa 6 on esitetty purkutuotteiden käsittelytavat.

Taulukko 6. Purkutuotteiden käsittely (CO2data.fi, 2022).

Konesaumattu peltikate t=0,7 mm	Jätteenkäsittely, metallit
Mineraalivilla	Lasivilla > 100 % Final disposal > Jätteenpoltto
Höyrynsulkumuovi	Höyrynsulku >100 % Energy recovery > Jätteenkäsittely, muovi (energiahyödyntäminen)
Lujalevy	Kuitusementtilevy > 100 % Final disposal > Jätteenpoltto
Mineraalivilla	Lasivilla > 100 % Final disposal > Jätteenpoltto
Teräspoimulevy rei-itetty	Jätteenkäsittely, metallit

Päästötietokannan materiaalien päästöarvot on esitetty muodossa kgCO<sub>2</sub>e/kg. Purettavien materiaalien menekki yhtä neliometriä kohden muutettiin kilogrammoiksi tilavuuden ja tiheyden avulla. Laskennassa käytetyt tiheydet määriteltiin rakentamisen päästötietokannan tietojen mukaan (taulukko 7). Materiaalin aiheuttama purkuvaiheen hiilijalanjälki (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) laskettiin kertomalla materiaalin päästöarvo purettavan materiaalin massalla.

Taulukko 7. Purkumateriaalien laskenta.

YP2 / 1m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg	kgCO <sub>2</sub> e/kg	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Konesaumattu peltikate t=0,7 mm	0,001	7850	5,5	0,002	0,01
Mineraalivilla	0,200	40	8,0	0,057	0,46
Höyrynsulkumuovi	0,000	925	0,2	3,000	0,56
Lujalevy	0,011	1300	14,3	0,057	0,82
Mineraalivilla	0,050	40	2,0	0,057	0,11
Teräspoimulevy rei-itetty	0,001	7850	4,7	0,002	0,01

Yläpohjarakenteet jaettiin neljään eri rakennetyyppiin YP3, YP4, YP5 ja YP6. Uusittavien materiaalien määrät määriteltiin samalla tavalla kuin purettavien materiaalien. Taulukossa 8 on esitetty eri lämmöneristeiden laskentatiedot. Puukuitueristeen tiedot määriteltiin päästötietokannassa olevan selluvillalevyn mukaan. Taulukossa 9 on YP3 -rakennetyypin uusittavien materiaalien laskentatiedot (CO2data.fi, 2022). Liitteessä 5 on esitetty eri rakennetyyppien tarkemmat laskelmat.

Taulukko 8. Rakennetyyppien laskennassa käytettyjen lämmöneristeiden päästötietokannan tiedot materiaalin tiheydestä, päästöistä ja hukasta.

	LASIVILLA	SELLUVILLA-LEVY	KIVIVILLA	PIR
kg/m <sup>3</sup>	20	50	63	31
kgCO <sub>2</sub> e/kg	1,2	1,02	1,5	4,5
Hukka	1,03	1,03	1,03	1,03

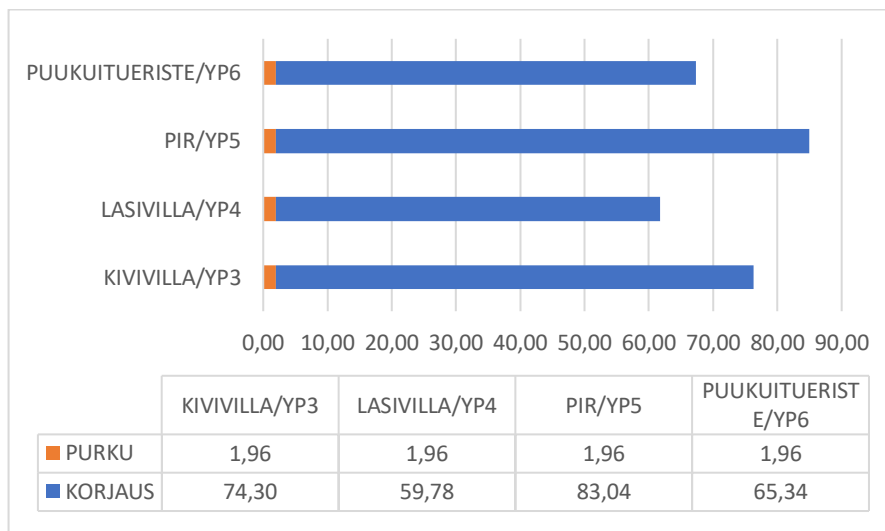
Taulukko 9. Uusittavien materiaalien laskentatiedot rakennetyypistä YP3.

1m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	hukka	kg	kgCO <sub>2</sub> e/kg	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Konesaumattu peltikate t=0,6 mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,82	3,64
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,36	1,63
KIVIVILLA	0,200	63	1,03	13,0	1,50	19,47
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,60	0,53
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,15	15,70
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68
Rei-itetty teräspoimulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33

Eri materiaalien päästöt laskettiin yhteen jokaisen rakennetyypin kohdalla. Lopputulos ilmoitettiin muodossa kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Tuloksessa ei ole huomioitu arviointijakson pituutta, jolloin tulos määrittelee yläpohjarakenteen yhden neliömetrin koko elinkaaren aikaisen päästömäärän.

## 6.2 Tulokset

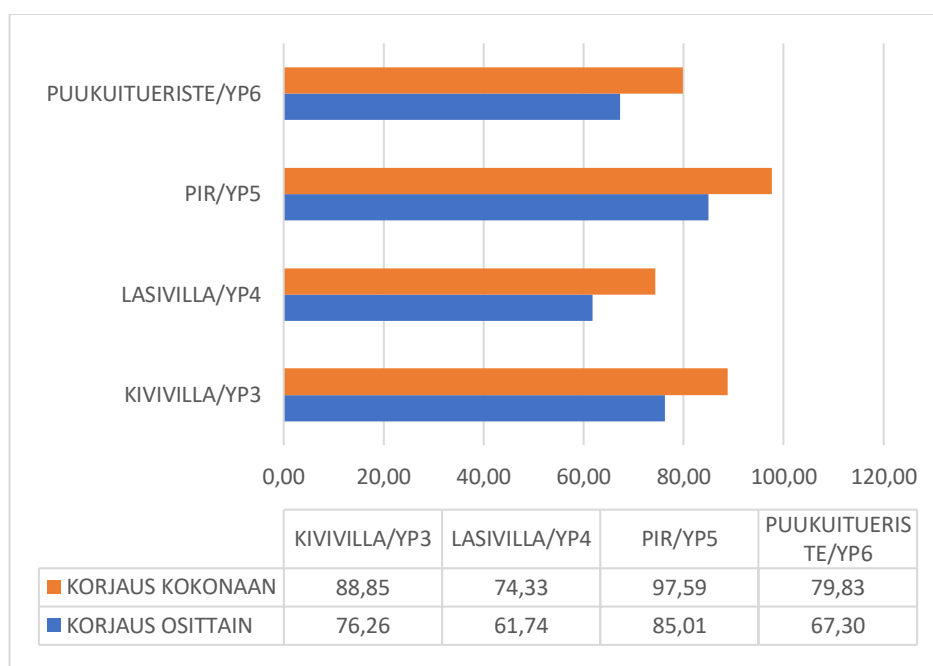
Kuviossa 2 on esitetty eri rakennetyyppien hiilijalanjälki, jossa on huomioitu uusittavien materiaalien valmistus (A1-3) ja purkumateriaalien käsittelystä ja loppusijoituksesta syntyvät päästöt (C3-4). Purkuvaiheesta syntyvät päästöt olivat samansuuruiset kaikissa yläpohjarakenteissa, koska kaikissa rakenteissa purkaminen toteutui samalla tavalla.



Kuvio 2. Eri yläpohjarakenteiden hiilijalanjäljet osittain korjatussa rakenteessa.

Yläpohjarakenteiden hiilijalanjäkilaskennassa suurimmat päästöt syntyivät yläpohjarakenteesta, jonka lämmöneristeenä oli polyuretaani. Pienin hiilijalanjälki oli yläpohjarakenteella, jonka lämmöneristeenä oli lasivilla. Päästöarvot olivat noin 40 % suuremmat polyuretaania sisältävässä yläpohjarakenteessa verrattuna lasivillaan sisältävään rakenteeseen.

Porin taidemuseon peruskorjaushankkeen suunnittelussa arvioitiin myös päästöt, jotka syntyisivät koko yläpohjarakenteen purkamisesta ja uudelleen rakentamisesta. Laskenta toteutettiin samalla tavalla kuin osittain korjattavan rakenteen. Tarkemmat tiedot laskennasta löytyvät liitteestä 5. Kuviossa 3 on vertailtu osittain korjatun yläpohjarakenteen päästöjä kokonaan korjattuun.



Kuvio 3. Osittain ja kokonaan korjatun yläpohjarakenteiden hiilijalanjäljet.

Osittain ja kokonaan korjattavan rakenteen vertailussa kokonaan korjattavan yläpohjarakenteen päästöt olivat keskimääräisesti noin 18 % korkeammat kuin osittain korjattavassa yläpohjarakenteessa. Kokonaan korjattavan rakenteen purusta aiheutuvat materiaali-päästöt olivat 22 % korkeammat kuin osittain pu-rettavan rakenteen.

## 7 YHTEENVETO

Näyttelytilan tavoitteellisissa sisäilmaolosuhteissa rakenteisiin ei laskentaohjelman mukaan tiivistynyt kosteutta. Sisäilman suhteellisen kosteuden noustessa 60 % RH ja sisäilman lämpötilan ollessa +20 °C kondensoitumisriski kasvoi rakenteessa, jonka lämmöneristeenä oli käytetty puukuitueristettä. Tiivistymishetkellä ulkoilman lämpötila oli (-20)° C ja ohjelman ulkoilman suhteellisena kosteutena oli 90 % RH. Kosteuden tiivistyminen esiintyi höyrynsulkumuovin sisäpuolisessa pinnassa sekä kuitusementtilevyn ja ääneneristysvillan rajapinnassa.

Laskentaohjelmalla testattiin myös eri keinoja vähentää kosteuden tiivistymistä puukuitueristettä sisältävässä yläpohjarakenteessa. Testauksessa havaittiin, että lisäämällä lämmöneristettä 30 mm tai huonontamalla ääneneristysvillan lämmönjohtavuutta rakenteeseen ei tiivistynyt enää kosteutta. Vesikattorakenteen kasvattaminen ei kuitenkaan käytännössä ole mahdollista, koska rakennuksen julkisivu on suojeltu.

Kosteuden tiivistyminen rakenteessa voi aiheuttaa mikrobikasvuston syntymistä rakennusmateriaaliin. Materiaalin kosteuskäyttäytymisellä, kuten hygroσκοoppisuudella tai kapilaarisuudella, on vaikutusta materiaalin homehtumisherkkyyteen. Rakennusmateriaalien homehtumisherkkyysluokituksessa erityisesti puupohjaiset materiaalit ovat luokiteltu joko hyvin herkiksi tai herkiksi. Kosteus heikentää myös lämmöneristeen eristyskykyä.

Porin taidemuseon vanhassa yläpohjarakenteessa on lämmöneristeenä mineraalivilla. Alustavien rakennetutkimuksien perusteella yläpohjarakenteessa ei ollut havaittavissa muita kosteusvaurioita kuin kattoikkunoiden liitoskohdat. Ympäristöministeriön ohjeistuksessa korjaustyössä voi kosteusteknisen toimivuuden määritellä myös vanhan rakenteen mukaisesti, jos voidaan osoittaa, että vanha rakenne on toiminut kosteusteknisesti hyvin (Ympäristöministeriö, 2020, s. 10). Rakenteen todellinen kunto kuitenkin saadaan selville vasta purkutöiden yhteydessä.

Tutkittavana rakennuksena oli kulttuurihistoriallisesti suojeltu rakennus, jonka peruskorjauksen motiivina ei ollut energiatehokkuuden lisääminen. Tulevassa kaavoitus- ja rakentamislaisissa ei esitetä tämän tapaiselle korjaukselle vaatimuksia korjauksen hiilijalanjäljen laskennasta.

Vähähiilisyys ei ole ollut keskeinen tekijä Porin taidemuseon peruskorjauksessa, mutta vähähiilinen rakennesuunnittelu on tärkeä saada osaksi julkisen tahon hanketoimintaa ennen uuden rakentamislain voimaantuloa. Korjauksen hiilijalanjäljen laskenta mahdollisemman aikaisessa vaiheessa, mahdollistaa tuotevaiheen päästöjen vertailun. Vähähiilisyttä voidaan lisätä myös korjaushankkeessa esimerkiksi uusiokäyttämällä purettavia materiaaleja. Materiaalien hyötykäyttöä on mahdollista kartoittaa purkukatselmuksen avulla. Kierrätettävät materiaalit tulee kuitenkin huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jotta ne katsotaan olevan vähennyskelpoisia hiilijalanjäljen tuotevaiheen laskennassa.

Hiilijalanjäljen laskennassa huomioitiin korjauksessa purettavien ja uusittavien materiaalien päästöt. Pienin hiilijalanjälki oli yläpohjarakenteessa, jonka lämmöneristeenä oli lasivilla. Suurin hiilijalanjälki oli yläpohjarakenteessa, jonka lämmöneristeenä oli polyuretaanieriste PIR. Suuremman hiilijalanjäljen päästöt olivat noin 40 % korkeammat pienempään hiilijalanjälkeen verrattuna.

Osittain korjattavan rakenteen hiilijalanjälkeä verrattiin myös kokonaan korjattavaan rakenteen hiilijalanjälkeen. Vertailussa kokonaan korjattavan rakenteen korjaus aiheutti keskimääräisesti 18 % enemmän kasvihuonekaasupäästöjä osittain korjattavaan verrattuna. Kokonaan purettavan rakenteen purkumateriaaleista aiheutuvat päästöt olivat noin 22 % korkeammat kuin osittain purettavien materiaalien.



## 8 POHDINTA

Ilmastomuutoksen aiheuttamat säärasitukset tulevat haastamaan rakenteiden kosteusteknistä toimivuutta tulevaisuudessa, minkä seurauksena rakenteiden suunnittelussa vikasietoisuus tulee huomioida entistä paremmin. Kondenssirisikin arvioiminen laskentaohjelman avulla on suuntaa antava toimenpide. Käytännössä ohjelman käyttö ja tulosten tulkinta vaatii ammattitaitoa, jotta laskennasta saatu tieto on käyttökelpoista. Rakenteeseen kertyvä kosteus ja rakenteen kuivuminen tulisi olla tasapainossa rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta.

Laskentaohjelman laskentateoria perustuu aina tiettyihin oletuksiin, jotka eivät sisällä todellisia muuttujia, kuten esimerkiksi asennusvirheitä tai rakentamisvaiheen aikana rakenteisiin siirtynyttä kosteutta. Rakennusfysikaalisen toimivuuden lisäksi rakentamisvaiheessa oikein toteutettu asennustyö ja valvonta ovat yhtä tärkeitä tekijöitä rakenteen kosteusteknisessä toimivuudessa kuin rakenteen kosteustekninen suunnittelu.

Hiilijalanjätkilaskelmissa käytetyt materiaalitiedot olivat rakentamisen päästötietokannasta. Rakenteiden hiilijalanjäljen laskenta tuotevalmistajan ympäristöselosteen mukaisilla arvoilla olisi voinut pienentää saatuja arvoja, koska tuotevalmistajien ympäristöselosteissa on huomioitu tarkemmin päästöihin vaikuttavat tekijät kuten kierrätyksen hyödyntäminen materiaalin valmistuksessa. Ympäristöselosteiden avulla olisi voinut myös valita vertailuun eri lämmöneristeiden vähähiilisimmät vaihtoehdot.

Korjausrakentamisen hiilijalanjälki on haasteellinen toteuttaa, koska suunnittelu ja korjaustyö ovat usein riippuvaisia toisistaan. Alustava suunnitelma voi muuttua radikaalisesti sen jälkeen, kun rakenne avataan. Todellinen kunto ja mahdolliset vauriot selviävät vasta yleensä purkuvaiheessa. Hiilijalanjäljen huomioiminen korjaushankkeessa vaatii myös uudenlaista resurssointia. Tilaajan tulee jo hankesuunnitteluvaiheessa huomioida vähähiilisen suunnittelun

vaatimat resurssit osaksi hankkeen budjettia, jotta vähähiilisyys voidaan sitouttaa hankkeeseen.

Rakennetyypin hiilijalanjälkilaskenta perustui neliömetripohjaiseen laskentaan. Korjausrakentamisessa neliömetripohjaiset arviot on hyvä suhteuttaa myös korjattavien rakenteiden kokonaismääriin. Tutkimuksessa kyseessä oli sama rakenneosia, jolloin vertailussa korjattava kokonaispinta-ala on sama. Peruskorjaushankkeessa vähähiilisyys oleellisemmat vaikutusmahdollisuudet voidaan hahmottaa parhaiten, kun vertaillaan eri rakenneosien kokonaismääriä toisiinsa.

Hiilijalanjäljen laskenta on yksi tekninen ominaisuus rakennesuunnittelussa. Esimerkiksi muunneltavuuden lisääminen rakennuksessa kasvattaa materiaa- limääriä ja näin myös tuotesidonnaisten päästöjen osuus kasvaa. Muuntojous- tavuuden lisääminen on kuitenkin kiertotalouden ja rakennuksen elinkaaren kannalta oleellinen ominaisuus. Hiilijalanjäljen arviointi on hyvä suhteuttaa ko- konaisuuteen, eikä hiilijalanjäljen tulisi yksistään ohjata materiaalivalintoja ra- kennusteknisesti huonompiin vaihtoehtoihin ja siten vaikuttaa rakenteen tur- vallisuu-teen ja terveellisyyteen.

Yläpohjarakenteiden energiatehokkuutta ja käyttövaiheen hiilijalanjälkeä ei tarkasteltu tässä työssä. Lasivillan lämmönjohtavuusarvo on teknisesti hei- kompi kuin PIR-eristeen. Energiatehokkuuden huomioiminen laskelmissa olisi saattanut pienentää hiilijalanjäljen käyttövaiheen päästöjä ja näin ollen vähen- tänyt PIR-eristeen päästöjä muihin lämmöneristeisiin nähden.

Laskelmissa ei huomioitu lämmöneristeiden taloudellisia vaikutuksia. Läm- möneristeiden materiaalikustannukset sekä erilaiset asennustavat voivat vai- kuttaa myös korjaustyön kokonaiskustannuksiin. Energiatehokkuuden huomi- oiminen olisi voinut vaikuttaa myös energiakäytön kustannuksiin.

## 8.1 Tavoitteiden toteutuminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella lämmöneristeen kosteusteknistä vaikutusta korjattavassa yläpohjarakenteessa sekä laskea korjattavan yläpohjarakenteen hiilijalanjälki. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin kirjallisuuden avulla tutkimuskohteen historiaa, kosteuden rakennusfysikaalisia vaikutuksia sekä tutkittavien lämmöneristeiden ominaisuuksia. Opinnäytetyön tutkimusosuus oli laaja-alainen ja tutkimuksen osa-alueet olivat erilaisia. Asetetut tavoitteet toteutuivat, mutta kosteustekninen toimivuus ja hiilijalanjälki olisivat vaatineet laaja-alaisempaa tarkastelua, jotta tuloksia olisi mahdollista hyödyntää enemmän.

## 8.2 Tulosten luotettavuus

Opinnäytetyön tapaustutkimusten laskentateoriat ja materiaalitiedot ovat esitetty työssä ja näiden tietojen pohjalta laskennan tulokset ovat toistettavissa. Kosteusteknisen toimivuuden tutkimusosuuksissa käytetyt lähteet perustuivat ajankohtaisiin teoksiin.

Hiilijalanjälkilaskenta perustui vuonna 2021 julkaistujen ympäristöministeriön luonnostason ohjeistuksiin. Uuden rakentamislain myötä laskentamenetelmiin voi tulla muutoksia, jotka vaikuttavat laskennan tuloksiin. Korjausrakentamisen hiilijalanjäljen laskenta ei ole vielä yhtä vakiintunutta kuin uudisrakentamisen, mikä hankaloittaa myös tulosten arviointia ja yleistettävyyttä. Lisäksi laskennan rajaus ja laskennan perustuminen tapauskohtaiseen tutkimukseen hankaloittavat tulosten vertailtavuutta muihin tutkimustuloksiin.

## 8.3 Jatkotutkimusaiheet

Yläpohjarakenteiden kosteusteknistä toimivuutta tulisi tarkastella myös epästationäärisellä lämpö- ja kosteuslaskentaohjelmalla, jolloin rakenteen kosteusteknistä käyttäytymistä voidaan tarkastella laaja-alaisemmin. Kosteusteknisen toimivuuden lisäksi yläpohjarakenteen energiatehokkuutta olisi hyvä

tutkia, jolloin saataisiin myös lisätietoa lämmöneristeen vaikutuksista rakenteen energiatehokkuuteen.

Rakenteen hiilijalanjäljen laskenta tulisi toteuttaa huomioiden kaikki korjauskentämisen elinkaarivaiheet. Laskenta tulisi pohjautua peruskorjauksessa toteutuneisiin tietoihin arvioinnin sijaan. Myös taloudellisen seurannan liittäminen tutkimukseen olisi aiheellista.

## LÄHTEET

Björkholtz, D. (1997). Lämpö ja kosteus, Rakennusfysiikka. 2. painos. Rakennustieto Oy.

CO2data.fi. (2022). Suomen ympäristökeskuksen rakentamisen päästötietokanta. Haettu 17.2.2023 osoitteesta <https://co2data.fi/rakentaminen/>

D.O.F. tech Oy. (2003). DOFLÄMPÖ versio 2.2-ohjekirja. Haettu 9.4.2023 osoitteesta <https://www.dof.fi/www/files/DOF-lampo.pdf>

Google. (2023). [Google Maps -karttapalvelu Porin taidemuseo]. Haettu 15.4.2023 osoitteesta <https://www.google.fi/maps/@61.4908721,21.7910515,612m/data=!3m1!1e3>

Hiilineutraalisuomi. (2023). Usein kysytyt kysymykset. Database content and methods. Haettu 23.4.2023 osoitteesta [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen\\_paastotietokanta/Usein\\_kysytyt\\_kysymykset\(59988\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta/Usein_kysytyt_kysymykset(59988))

Inkinen, P.; & Tuohi, J. (2011). Momentti 1. Insinöörifysiikka. Otava.

Kättylä, M. (1993). Pakkahuoneesta modernin taiteen museo? [pro gradu-tutkielma, Helsingin yliopisto].

Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016. Haettu 22.2.2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161397#Pidm45053755906784>

Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020. Haettu 25.2.2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733#Pidm45053753999808>

Laurila, A. (2022). Porin taidemuseon rakennushistoriaselvitys [ei julkaistu].

Porin kaupunki. (2023). Porin kaupungin karttapalvelu. Haettu 17.2.2023 osoitteesta

<https://kartta.pori.fi/IMS/?layers=Asemakaava&lon=Vireill%C3%A4%20olevat%20asemakaavat&cp=6819609,22489034&z=0.5>

Porin kaupunki. (2023a). Taidemuseon peruskorjaukselle myönnetty valtionavustus - korjaustyöt alkavat keväällä 2023 [valokuva]. Haettu 26.2.2023 osoitteesta <https://www.pori.fi/uutinen/etusivun-uutiset/taidemuseon-peruskorjaukselle-myonnetty-valtiovavustus-korjaustyot-alkavat-kevaalla-2023/02/01/2023/>

Porin kaupunki. (n.d.). Porin kansallinen kaupunkipuisto. Haettu 17.2.2023 osoitteesta <https://www.pori.fi/asuminen-ja-ymparisto/puistot-ja-metsat/porin-kansallinen-kaupunkipuisto/>

Porin taidemuseo. (n.d.). Maire Gullichsenin taidesätiön kokoelma [valokuva]. Haettu 26.2.2023 osoitteesta <https://www.poriartmuseum.fi/kokoelmat/maire-gullichsenin-taidesaation-kokoelma/>

Porkkala, J. (1980). Porin taidemuseon rakennustyömaa [valokuva]. Satakunnan museo kuvakokoelma. Haettu 13.4.2023 osoitteesta <https://satakunnanmuseum.fi/Record/satakunnanmuseum.6C1FF2C0-42EF-4138-B71B-8B343C6C7C8B?sid=2962724472>

Projekt Runeberg. (2022). Tietosanakirja 1909–1922. Haettu 10.4.2023 osoitteesta <http://runeberg.org/tieto/7/0050.html>

Ramboll Finland Oy. (n.d.). Yritys. Haettu 11. 2. 2023 osoitteesta [https://fi.ramboll.com/ramboll\\_finland\\_oy](https://fi.ramboll.com/ramboll_finland_oy)

RIL 107-2022. (2022). Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. RIL ry.

RIL 225-2023.(2023). Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. RIL ry.

RIL 250-2020. (2020). Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

RIL 255-1-2014. (2014). Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Tammerprint.

RT 103170. (2020). Ilmastonmuutos. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. Haettu 24.2.2023 osoitteesta <https://kortistot.rakennustieto.fi>

RT 103528. (2023). Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Rakennustieto. Haettu 14.2.2023 osoitteesta <https://kortistot.rakennustieto.fi>

RT 18-10922. (2008). Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Haettu 24.2.2023 osoitteesta <https://kortistot.rakennustieto.fi>

Saarinen, J. (1972). Porin historia III. Porin kaupunki.

Saint-Gobain Finland Oy. (2022). Environmental Product Declaration. Isover premium 33, premium 33 roll. Haettu 23.2.2023 osoitteesta <https://www.isover.fi/dokumentit/epd/epd-insulation-hyvink-premium33-premium33roll.pdf>

Satakunnan museo kuvakokoelma. (2023). [valokuva]. Haettu 13.4.2023 osoitteesta <https://satakunnanmuseo.finna.fi/Record/satakunnanmuseo.1FADE70D-6143-4A13-BD6E-C5096D1385E3>

SFS-EN 15804:2012+A2:2019. (2019). Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. Haettu osoitteesta <https://online.sfs.fi>

Siikanen, U. (2014). Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Rakennustieto Oy.

Sisäilmayhdistys ry. (n.d.). Kosteustekninen toiminta. Rakenteiden lämpötekniikka. Haettu 15.2.2023 osoitteesta <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Rakenteiden-lampotekniikka>

Valtioneuvosto. (2022). Hallituksen esitys eduskunnalle rakentamislainsiksi ja siihen liittyviksi laeiksi. Haettu 22.2.2023 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f807d311e>

Ympäristöministeriö. (2012). Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Lämmöneristys, ohjeet. 2012 Luonnos.

Ympäristöministeriö. (2017). Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Haettu 17.2.2023 osoitteesta <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/80654>

Ympäristöministeriö. (2020). Ohje rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. Haettu 17.2.2023 osoitteesta [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje\\_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA\\_E374\\_4983\\_A396\\_CC15D6830B7B-156354.pdf/323bffe4-19f4-9b97-6c59-d314db622cb4/Ohje\\_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA\\_E374\\_4983\\_A396\\_CC15D6830](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830B7B-156354.pdf/323bffe4-19f4-9b97-6c59-d314db622cb4/Ohje_Rakennusten-kosteustekninen-toimivuus-2020-F3A686EA_E374_4983_A396_CC15D6830)

Ympäristöministeriö. (2021). Perustelumuuksio. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Luonnos. Haettu 17.2.2023 osoitteesta <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö. (2021). Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2021. Luonnos. Haettu 17.2.2023 osoitteesta



<https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>


Ympäristöministeriö. (2023). Rakennuksen ilmastaselvityksen ja materiaaliselosteen lausuntoyhteenvedot julkaistu - avoin keskustelutilaisuus vähähiilisen rakentamisen ohjauksesta tulossa 6.3. Haettu 8.5.2023 osoitteesta <https://ym.fi/-/rakennuksen-ilmastaselvityksen-ja-materiaaliselosteen-lausuntoyhteenvedot-julkaistu-avoin-keskustelutilaisuus-vahahiilisen-rakentamisen-ohjauksesta-tulossa-6.3>

Ympäristöministeriö. (n.d.). Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Haettu 22.2.2023 osoitteesta <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

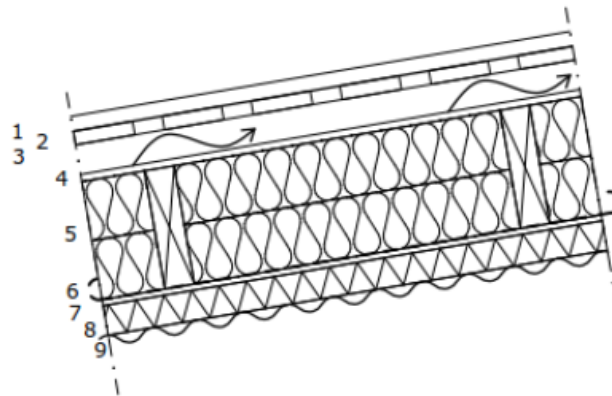
## LIITE 1: RAKENNETYYPIT

Tunnus	Päiväys	Muutos	Muuttanut	Päiväys	Tarkastanut

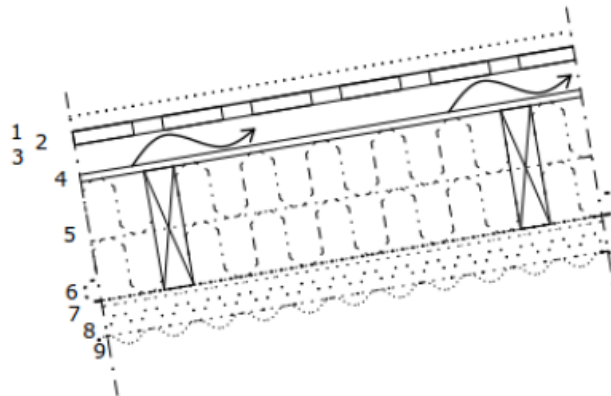
K.osa/Kylä <b>1</b>	Kortteli/Tila <b>3</b>	Tontti/Rno <b>407</b>	Viranomaisten merkintöjä		
Rakennustoimenpide <b>KORJAUS</b>			Piirustuslaji <b>RAKENNE</b>	Juokseva no	
Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ  28100 PORI</b>			Piirustuksen sisältö <b>RAKENNETYYYPIT</b>	Mittakaava <b>1:10</b>	
 Ramboll Finland Oy Gallen-Kallelankatu 8 28100 Pori puh. 020 755 611 etunimi.sukunimi@ramboll.fi			Suunn.ala <b>RAK</b>	Työnumero	Tiedosto
			Piirustusno <b>1</b>	Muutos	
Suunnittelija (nimi, tutkinto, allekirj.) <b>Paula Salminen</b>			Piirt. <b>PASAL</b>	Tark. <b>MIKKOL</b>	Päiväys <b>24.2.2023</b>

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnumero		<b>YP 1</b>
	Päiväys 24.2.2023	Tekijä PASAL	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisälto <b>NÄYTTELYTILA 130A VANHA RAKENNE</b>		



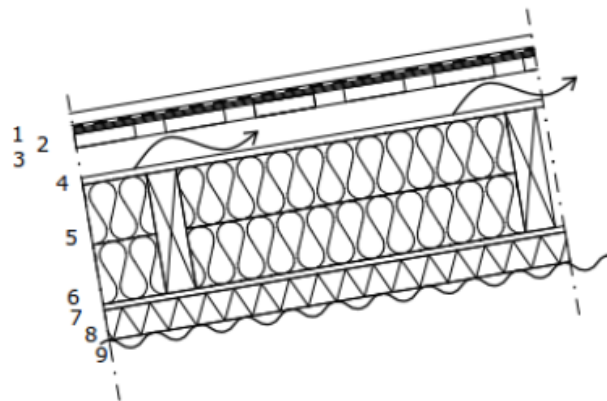
- |        |   |
|--------|---|
|        | 1 Konesaumattu maalattu peltikate t = 0,7 mm    |
| 23 mm  | 2 Harvalauta 23x100 k150.                       |
| 50 mm  | 3 Puu 50x50 tuuletusväli.                       |
| 12 mm  | 4 Bitulit tuulensuojalevy                       |
| 200 mm | 5 Kattokannattajat 50x200 k600 + mineraalivilla |
| 0,2 mm | 6 Höyrynsulkumuovi                              |
| 11 mm  | 7 Lujalevy                                      |
| 50 mm  | 8 Mineraalivilla + hattuorret 50x50 k600        |
| 20 mm  | 9 Teräspoimulevy rei'itetty                     |

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnumero		<b>YP 2</b>
	Päiväys 24.2.2023	Tekija PASAL	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisältö <b>NÄYTTELYTILA 130A PURKUTYYPPI</b>		



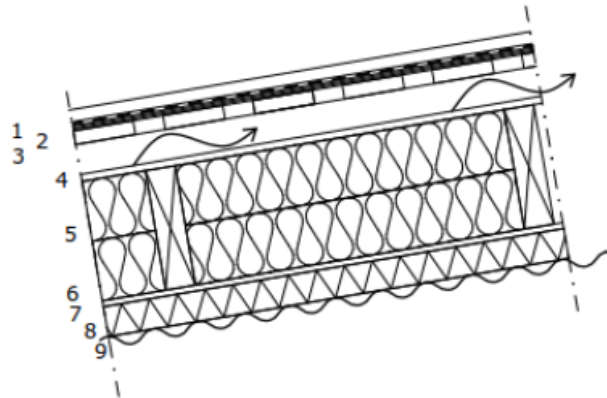
- |        |  |
|--------|--|
|        | 1 Konesaumattu maalattu peltikate $t = 0,7$ mm (PURETAAN)  |
| 23 mm  | 2 Harvalauta 23x100 k150.                                  |
| 50 mm  | 3 Puu 50x50 tuuletusväli.                                  |
| 12 mm  | 4 Bitulit tuulensuojalevy                                  |
| 200 mm | 5 Kattokannattajat 50x200 k600 + mineraalivilla (PURETAAN) |
| 0,2 mm | 6 Höyrynsulkumuovi (PURETAAN)                              |
| 11 mm  | 7 Lujalevy (PURETAAN)                                      |
| 50 mm  | 8 Mineraalivilla (PURETAAN) + hattuorret 50x50 k600        |
| 20 mm  | 9 Teräspoimulevy rei'itetty (PURETAAN)                     |

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnumero		<b>YP 3</b>
	Päiväys 24.2.2023	Tekijä PASAL	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisältö <b>NÄYTTELYTILA 130A UUSI RAKENNE KIVIVILLA</b>		



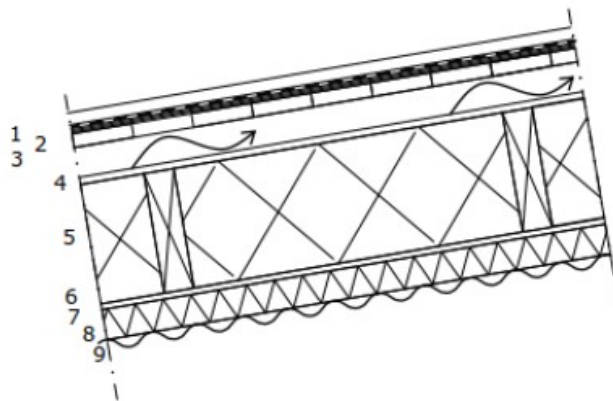
- |           |  |
|-----------|--|
|           | 1 Konesaumattu sinkitty peltikate 0,6 mm paksuus, maalataan arkkitehdin suunnitelmien mukaan + aluskatteena bitumikermialuskate AKK1 |
| 23 + 9 mm | 2 Harvalaudoitus oleva, korjataan tarvittaessa, laudoituksen päälle 9 mm vaneri ruuvikiinnityksin                                    |
| 50... mm  | 3 Soiro 50x50 oleva, tuuletusväli, tuulensuojalevy oleva, SÄILYY   |
| 200 mm    | 4 Kattokannattajat olevat + uusi lämpöeriste KIVIVILLA + uusi höyrynsulku  |
| 10 mm     | 5 Lujalevy A, uusi   |
| 50 mm     | 6 Hattuorsi 50x50 k600 + ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan  |
| 20 mm     | 7 Rei`itetty teräspoimulevy arkkitehdin mukaan   |

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnumero		<b>YP 4</b>
	Päiväys 24.2.2023	Tekijä PASAL	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisältö <b>NÄYTTELYTILA 130A UUSI RAKENNE LASIVILLA</b>		



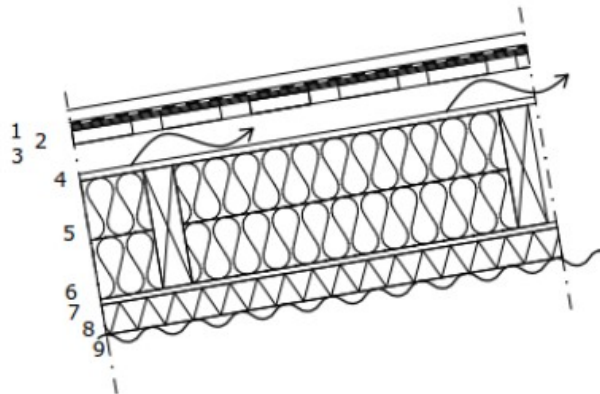
- |           |  |
|-----------|--|
|           | 1 Konesaumattu sinkitty peltikate 0,6 mm paksuus, maalataan arkkitehdin suunnitelmien mukaan + aluskatteena bitumikermialuskate AKK1 |
| 23 + 9 mm | 2 Harvalaudoitus oleva, korjataan tarvittaessa, laudoituksen päälle 9 mm vaneri ruuvikiinnityksin                                    |
| 50... mm  | 3 Soiro 50x50 oleva, tuuletusväli, tuulensuojalevy oleva, SÄILYY   |
| 200 mm    | 4 Kattokannattajat olevat + uusi lämpöeriste LASIVILLA + uusi höyrynsulku  |
| 10 mm     | 5 Lujalevy A, uusi   |
| 50 mm     | 6 Hattuurret 50x50 k 600 + ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan  |
| 20 mm     | 7 Rei'itetty teräspoimulevy arkkitehdin mukaan   |

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnumero	<b>YP 5</b>
	Päiväys 24.2.2023	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisältö NÄYTTELYTILA 130A UUSI RAKENNE POLYURETAANI (PIR)	



- |           |   |
|-----------|---|
|           | 1 Konesaumattu sinkitty peltikate + aluskatteena bitumihuopa AKK1               |
| 23 + 9 mm | 2 Harvalaudoitus oleva, korjataan tarvittaessa, laudoituksen päälle 9 mm vaneri |
| 50... mm  | 3 Soiro 50x50 oleva, tuuletusväli, ei pureta                                    |
| 13 mm     | 4 Tuulensuojalevy oleva, ei pureta  |
| 200 mm    | 5 Kattokannattajat olevat + uusi lämpöeriste PIR 200 mm alumiinipintainen       |
| 10 mm     | 5 Lujalevy A  |
| 50 mm     | 6 Hattuurret 50x50 k600 + ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan                  |
| 20 mm     | 7 Rei'itetty teräspoimulevy arkkitehdin mukaan                                  |

Suunnittelija <b>RAMBOLL</b>	Työnnumero		<b>YP 6</b>
	Päiväys 24.2.2023	Tekija PASAL	
Rakennuskohde <b>PORIN TAIDEMUSEO OPINNÄYTETYÖ</b>	Sisältö <b>NÄYTTELYTILA 130A UUSI RAKENNE PUUKUITUERISTE</b>		



- |           |  |
|-----------|--|
|           | 1 Konesaumattu sinkitty peltikate 0,6 mm paksuus, maalataan arkkitehdin suunnitelmien mukaan + aluskatteena bitumikermialuskate AKK1 |
| 23 + 9 mm | 2 Harvalaudoitus oleva, korjataan tarvittaessa, laudoituksen päälle 9 mm vaneri ruuvikiinnityksin                                    |
| 50... mm  | 3 Soiro 50x50 oleva, tuuletusväli, tuulensuojalevy oleva, SÄILYY   |
| 200 mm    | 4 Kattokannattajat ovat + uusi lämpöeriste PUUKUITUERISTE + uusi höyrynsulku   |
| 10 mm     | 5 Lujalevy A, uusi   |
| 50 mm     | 6 Hattuurret 50x50 k600 + ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan   |
| 20 mm     | 7 Rei`itetty teräspoimulevy arkkitehdin mukaan   |



## LIITE 2: RAKENNETYYPPIEN LÄMPÖTILA- JA KOSTEUSLAS- KELMAT

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP3a

<b>Rakenteen päätiedot:</b> U-arvo: 0.201 W/m2K Paksuus: 272.200 mm Pinta-ala: 1.00 m2 Paino: 69.44 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 1.259e+05 m2hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 7.945e-06 g/m2hPa Lämmönvastus: 4.971 m2K/W Pintavastus, ulko: 0.100 m2K/W Pintavastus, sisä: 0.100 m2K/W Kulma (0-90): 10.000	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>						Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)	
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:		
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00		
2 Kivivilla	200.00	0.0370	1.900000e-10	0.00	63.00		
3 Höyrynsulkumuovi (LD	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00		
4 Kuitusementilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00		
5 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00		
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):		
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---		
5 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---		
T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi							

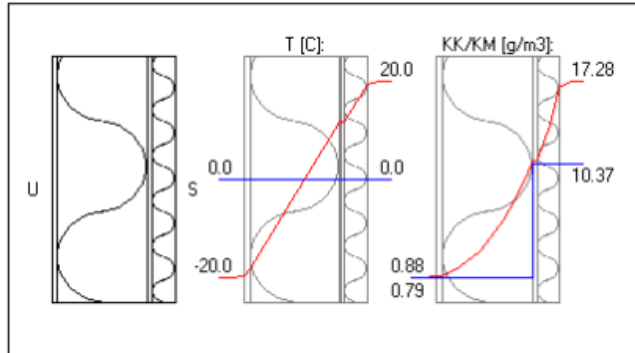
<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>					<b>3:n päivän kylmin (0.0 h)</b>					<b>Lisätiedot:</b>					
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:										
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00										
1	-19.43	0.92	0.79	85.8	0.00										
2	-18.05	1.03	0.80	77.7	0.00										
3	12.58	11.10	0.82	7.4	0.00										
4	12.59	11.10	9.13	82.3	0.00										
5	12.78	11.23	9.15	81.5	0.00										
6	20.43	17.73	9.16	51.6	0.00										
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00										
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus															

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP3b

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo: 0.201 W/m<sup>2</sup>K  
Paksuus: 272.200 mm  
Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
Paino: 69.44 kg  
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.259e+05 m<sup>2</sup>hPa/g  
Vesih. läpäisykerroin: 7.945e-06 g/m<sup>2</sup>hPa  
Lämmönvastus: 4.971 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, ulko: 0.100 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, sisä: 0.100 m<sup>2</sup>K/W  
Kulma (0-90): 10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2 Kivivilla	200.00	0.0370	1.900000e-10	0.00	63.00
3 Höyrynsulkumuovi (LD)	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00
4 Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
5 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
5 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:****3:n päivän kylmin (0.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.45	0.92	0.79	85.9	0.00
2	-18.09	1.03	0.81	78.2	0.00
3	11.79	10.57	0.83	7.8	0.00
4	11.79	10.57	10.34	97.8	0.00
5	11.98	10.69	10.36	96.9	0.00
6	19.45	16.74	10.37	61.9	0.00
S	20.00	17.28	10.37	60.0	0.00

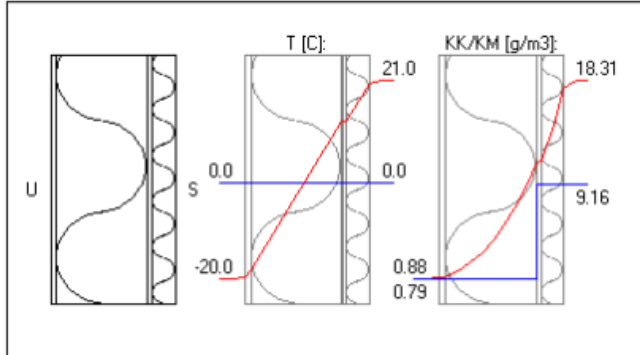
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP4a

**Rakenteen pää tiedot:**

U-arvo:	0.201 W/m2K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	61.55 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.259e+05 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.941e-06 g/m2hPa
Lämmönvastus:	4.971 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.100 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
	<b>KERROS:</b>	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1	Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2	Lasivilla	200.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
3	Höyrynsulkumuovi (LD)	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00
4	Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
5	Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
	<b>KYLMÄSILTA:</b>	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2	Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
5	Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:****3:n päivän kylmin (0.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.43	0.92	0.79	85.8	0.00
2	-18.05	1.03	0.80	77.7	0.00
3	12.58	11.10	0.83	7.5	0.00
4	12.59	11.10	9.13	82.3	0.00
5	12.78	11.23	9.15	81.5	0.00
6	20.43	17.73	9.16	51.6	0.00
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

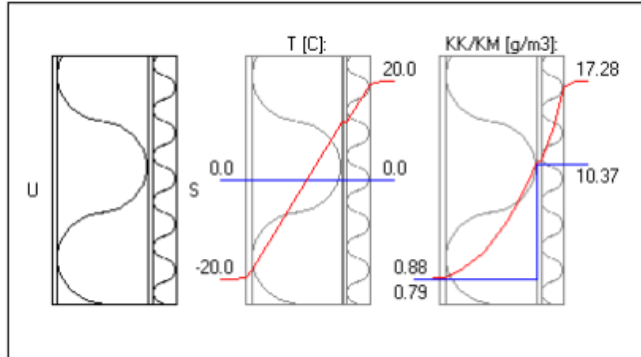
**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP4b

**Rakenteen päättiedot:**

U-arvo: 0.201 W/m<sup>2</sup>K  
Paksuus: 272.200 mm  
Pinta-ala: 1.00 m<sup>2</sup>  
Paino: 61.55 kg  
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 1.259e+05 m<sup>2</sup>hPa/g  
Vesih. läpäisykerroin: 7.941e-06 g/m<sup>2</sup>hPa  
Lämmönvastus: 4.971 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, ulko: 0.100 m<sup>2</sup>K/W  
Pintavastus, sisä: 0.100 m<sup>2</sup>K/W  
Kulma (0-90): 10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2 Lasivilla	200.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
3 Höyrynsulkumuovi	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00
4 Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
5 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
5 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:**

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.45	0.92	0.79	85.9	0.00
2	-18.09	1.03	0.81	78.2	0.00
3	11.79	10.57	0.83	7.9	0.00
4	11.79	10.57	10.34	97.8	0.00
5	11.98	10.69	10.36	96.9	0.00
6	19.45	16.74	10.37	61.9	0.00
S	20.00	17.28	10.37	60.0	0.00

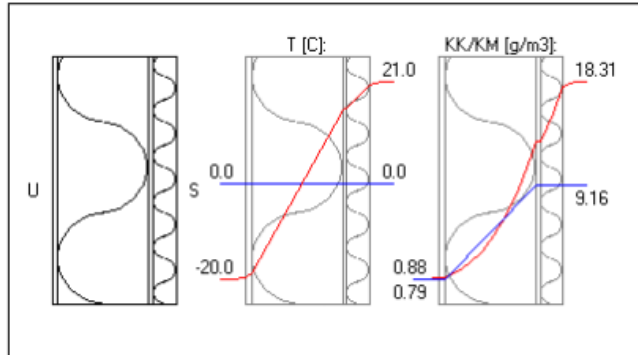
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisäilä: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP5a

**Rakenteen päätiiedot:**

U-arvo:	0.148 W/m2K
Paksuus:	272.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	63.38 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.425e+06 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.017e-07 g/m2hPa
Lämmönvastus:	6.771 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.100 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00	
2 Polyuretaani	200.00	0.0230	3.900000e-14	0.00	31.00	
3 Kuitusementilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00	
4 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00	
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):	
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---	
4 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---	

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:****3:n päivän kylmin (0.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.61	0.91	0.79	87.1	0.00
2	-18.66	0.98	0.79	80.5	0.00
3	15.22	13.03	9.16	70.3	0.00
4	15.35	13.13	9.16	69.7	0.00
5	20.61	17.91	9.16	51.1	0.00
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00

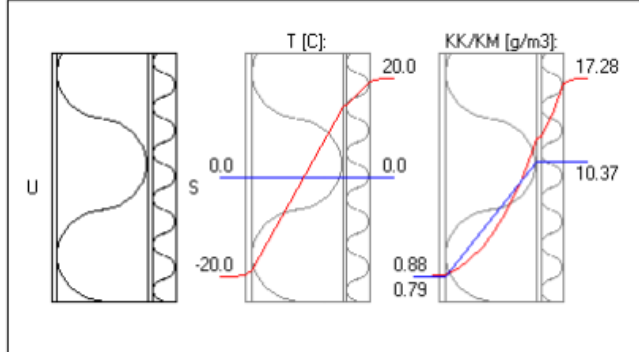
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP5b

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo:	0.148 W/m2K
Paksuus:	272.000 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	63.38 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.425e+06 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.017e-07 g/m2hPa
Lämmönvastus:	6.771 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.100 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2 Polyuretaani	200.00	0.0230	3.900000e-14	0.00	31.00
3 Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
4 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
4 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:**

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.62	0.90	0.79	87.2	0.00
2	-18.69	0.98	0.79	80.7	0.00
3	14.36	12.37	10.37	83.8	0.00
4	14.48	12.47	10.37	83.2	0.00
5	19.62	16.91	10.37	61.3	0.00
S	20.00	17.28	10.37	60.0	0.00

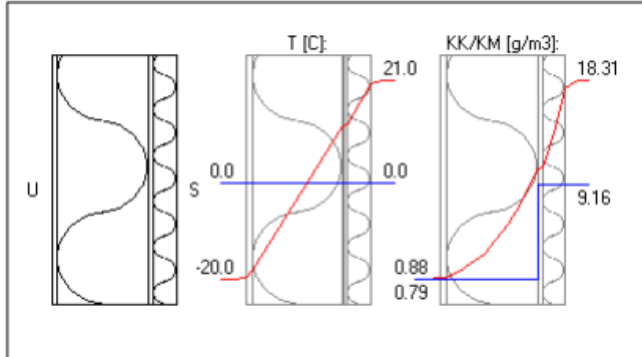
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP6a

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo:	0.220 W/m <sup>2</sup> K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.00 m <sup>2</sup>
Paino:	67.06 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.259e+05 m <sup>2</sup> hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.940e-06 g/m <sup>2</sup> hPa
Lämmönvastus:	4.555 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, ulko:	0.100 m <sup>2</sup> K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m <sup>2</sup> K/W
Kulma (0-90):	10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2 Puukuitueriste	200.00	0.0420	1.500000e-10	0.00	50.00
3 Höyrynsulkumuovi (LD	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00
4 Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
5 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00
KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
5 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:**

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.38	0.92	0.79	85.4	0.00
2	-17.85	1.05	0.80	76.3	0.00
3	11.76	10.55	0.83	7.9	0.00
4	11.77	10.56	9.13	86.5	0.00
5	11.97	10.69	9.15	85.6	0.00
6	20.38	17.67	9.16	51.8	0.00
S	21.00	18.31	9.16	50.0	0.00

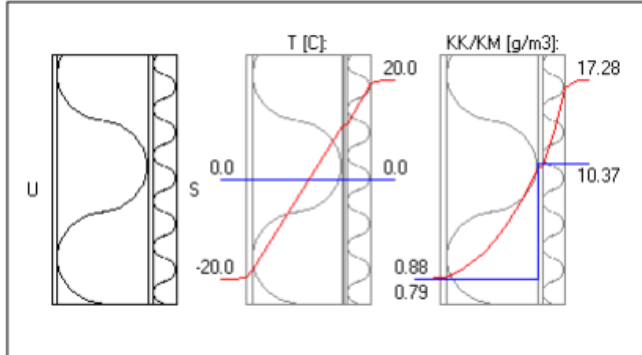
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**

Rakennuskohde: Porin taidemuseo	Sisältö: Yläpohja	
Suunnittelija: Paula Salminen	Päiväys: 21.4.2023	Tunnus: YP6b

**Rakenteen päätiedot:**

U-arvo:	0.220 W/m2K
Paksuus:	272.200 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	67.06 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.259e+05 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.940e-06 g/m2hPa
Lämmönvastus:	4.555 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.100 m2K/W
Pintavastus, sisä:	0.100 m2K/W
Kulma (0-90):	10.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puukuitulevy, huok.	12.00	0.0490	1.400000e-11	0.00	260.00
2 Puukuitueriste	200.00	0.0420	1.500000e-10	0.00	50.00
3 Höyrynsulkumuovi	0.20	0.4000	4.444444e-16	0.00	980.00
4 Kuitusementtilevy	10.00	0.3000	1.100000e-11	0.00	1300.00
5 Lasivilla	50.00	0.0370	1.600000e-10	0.00	20.00

KYLÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2 Puu	0.1300	8.3	0.00	474.00	---
5 Teräsorsi	30.0000	8.3	0.00	7900.00	---

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA=Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

**Lämpötilat ja kosteudet:**

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.39	0.92	0.79	85.6	0.00
2	-17.91	1.05	0.81	76.9	0.00
3	10.99	10.05	0.83	8.3	0.00
4	10.99	10.06	10.34	100.0	0.00
5	11.19	10.19	10.36	100.0	0.00
6	19.39	16.69	10.37	62.1	0.00
S	20.00	17.28	10.37	60.0	0.00

**Tiivistymisvaara! (SK\_max = 100.0 %)**

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

**Lisätiedot:**



## LIITE 3: HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINNIN ELINKAARIVAIHEET

<b>Taulukko 2. Arvioitavat rakennuksen elinkaaren vaiheet.</b>			
Vaihe	Rajaus	Peruste	
<b>A. Ennen käyttöä</b>	A1–3 Tuotteiden valmistus	Arvioidaan	Rakennusmateriaalien ilmastovaikutukset ovat tutkimusten mukaan merkittäviä. Niiden määrä voidaan arvioida tarkasti suunnitteluvaiheessa.
	A4 Kuljetukset työmaalle	Arvioidaan	Vaikka kuljetusten vaikutus elinkaaren hiilijalanjälkeen ei ole kovin suuri, se voidaan kohtuullisen luotettavasti arvioida. Kuljetusten vähentämisestä on myös muita hyötyjä ympäristölle ja yhteiskunnalle.
	A5 Työmaa-toiminnot	Arvioidaan	Rakennustyömaiden vähähiilisuuden parantamiseksi tehdään toimenpiteitä. Näiden toimien vaikuttavuuden tekeminen näkyväksi edellyttää rakennushankkeissakin arviointia.
<b>B. Käytön aikana</b>	B1 Tuotteiden käyttö	Ei arvioida	Vaikutus on hyvin vähäinen ja arviointi hankalaa. Koskisi kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa lähinnä talotekniikan laitteiden mahdollisia kylmäainevuotoja.
	B2 Kunnossapito	Ei arvioida	Vaikutus on vähäinen, eikä suunnitteluvaiheessa voida tehokkaasti vaikuttaa kunnossapidossa käytettäviin laitteisiin ja tuotteisiin.
	B3 Korjaukset	Ei arvioida	Odottamattomista rikkoontumisesta johtuvia korjaustarpeita on hankala arvioida riittävän luotettavasti.
	B4 Rakennustuotteiden vaihdot	Arvioidaan	Rakennustuotteiden tekniseen käyttöikänsä liittyvästä kulumisen ja vaihtotarve voidaan arvioida kohtuullisen luotettavasti. Lisäksi vaihtojen sisällyttäminen on perusteltua, jotta vältettäisiin osaoptimointia valitsemalla vähähiilisiä mutta lyhytikäisiä rakennustuotteita.
	B5 Laajamittaiset korjaukset	Ei arvioida uusissa rakennuksissa	Laajamittaisten korjausten yhteydessä tehdään yleensä merkittäviä muutoksia rakenteisiin, talotekniikkaan ja jopa tilajärjestelyihin. Tällaisia muutoksia on erittäin vaikea arvioida ennakoivasti. Tämän vuoksi laajamittaisiin korjaushankkeisiin tehdään erillinen vähähiilisuuden arviointi.
	B6 Energian käyttö	Arvioidaan	Energian kulutus on keskeinen rakennuksen vähähiilisyyteen vaikuttava tekijä.
	B7 Veden käyttö	Ei arvioida	Veden käytön vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen on vähäinen, mutta arviointi vie aikaa. Käyttöveden lämmittämisestä aiheutuvan energian hiilijalanjälki sisältyy kohdan B6 arviointiin.
	B8 Käyttäjien toimet	Ei arvioida	Käyttäjien toimien arviointi edellyttäisi hankekohtaisesti tehtäviä skenaarioita, joiden tarkkuutta voi olla vaikea varmistaa.
<b>C. Käytön jälkeen</b>	C1 Purkutytöt	Arvioidaan	Rakennuksesta purettavien materiaalien määrä tiedetään tarpeeksi tarkasti suunnitteluvaiheessa. Käytön jälkeisten vaiheiden lukeminen mukaan elinkaariarviointiin mahdollistaisi kiertotaloutta edistävien suunnitteluratkaisujen avulla saavutettavien hyötyjen arvioinnin.
	C2 Kuljetukset käsittelyyn	Arvioidaan	
	C3 Jätteenkäsittely	Arvioidaan	
	C4 Loppusijoitus	Arvioidaan	
<b>Elinkaaren ulkopuolel</b>	D Muut vaikutukset	Arvioidaan osana hiilikädenjälkeä	Kiertotalouden ja muiden ilmatoratkaisujen hyötyjen arviointi voidaan tehdä EN- ja EN ISO-standardien pohjalta. D-moduulin arviointi sisältyy myös muissa pohjoismaissa käyttöön tuleviin arviointimenetelmiin.

## LIITE 4: RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN ARVIOINTIIN SISÄLTÄVÄT OSAT

<b>Taulukko 1. Arviointiin sisältyvät osat.</b>		
<i>Numerot viittaavat Talo 2000 –luokitukseen. Tarkempi rajausta kansallisessa päästötietokannassa.</i>		
	<b>Sisältyy arviointiin</b>	<b>Ei sisälly arviointiin</b>
Alueosat	1.1.1 Maaosat 1.1.2 Tuennat 1.1.3 Päällysteet 1.1.5 Alueen rakenteet	- Raivaukset, kaivannot ja kanaalit (1.1.1.1 – 1.1.1.3) - Alueen varusteet (1.1.4) - Tuotteiden pakkaukset - Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakenteet tai rakennukset - Kasvillisuus, maaperä ja vesistö
Rakennusosat	1.2.1 Perustukset 1.2.2 Alapohja 1.2.3 Runko 1.2.4 Julkisivut, ovet ja ikkunat 1.2.5 Ulkotasot ja parvekkeet 1.2.6 Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet - Savunpoistorakenteet - Tuotteiden pakkaukset
Tilaosat	1.3.1 Jako-osat (väliseinät, ovet, portaat) 1.3.2 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät) pintakäsittelyineen 1.3.3 Tilavarusteet (kiintokalusteet, keittiölaitteet) 1.3.4.2 Hormit ja tulisijat 1.3.5 Tilaelementit (mm. kylpyhuonemuodulit)	- Listat ja kulmavahvikkeet - Kaiteet (1.3.1.4) - Tilaopasteet (1.3.3.5) - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumat ja muut kiinnikkeet - Tuotteiden pakkaukset
Talotekniikka	- Lämmitysjärjestelmän pääosat - Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat - Ilmastointijärjestelmän pääosat - Jäähdytysjärjestelmän pääosat - Sprinklerijärjestelmän pääosat - Sähköjärjestelmän pääosat - Hissit ja liukuportaat	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaation järjestelmät - Varavirtajärjestelmät - Erilliset koneet ja laitteet - Tuotteiden pakkaukset
Arvioinnin tarkkuus	Voit jättää arvioinnin ulkopuolelle enintään yhden painoprosentin arviointiin sisältyvistä rakennusosista.	
Taulukkoarvojen käyttö	Voit käyttää kansallisessa päästötietokannassa olevia taulukkoarvoja helpottamaan rakennusosien arviointia.	

## LIITE 5: RAKENTEIDEN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTATIEDOT

Tilveys ja päästöarvo CO2data.fi Korjauksen suunnittelukäyttöikä		Version 1.00.008, 2022-12-06 50 vuotta	
<b>NÄYTELTYILÄ - PURKU</b>			
<b>KORJAUS</b>			
<b>YP2 VANHA RAKENNE</b>			
<b>1m<sup>2</sup></b>			
Konesaumattu peittikate t=0,7 mm	0,001	7850	5,5
Mineraalivilla	0,200	40	8,0
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	0,2
Lujalevy	0,011	1300	14,3
Mineraalivilla	0,050	40	2,0
Teräspoinmulevy rei-tietty	0,001	7850	4,7
<b>UUSI</b>			
<b>YP1 VANHA RAKENNE</b>			
<b>1m<sup>2</sup></b>			
Konesaumattu peittikate t=0,7 mm	0,001	7850	5,5
Harvalausta k150	0,014	474	6,5
Puu k600	0,005	474	2,4
Bituliitt tuulensuojalevy	0,012	260	3,1
Kattokannattajat k600	0,020	474	9,5
Mineraalivilla	0,200	40	8,0
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	0,2
Lujalevy	0,011	1300	14,3
Hattuorsi	0,050	40	1,1
Mineraalivilla	0,001	7850	2,0
Teräspoinmulevy rei-tietty	0,001	7850	4,7
<b>Lisätiedot:</b>			
	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg</b>
			<b>kgCO<sub>2</sub>e/kg</b>
			<b>kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>
			<b>Lisätiedot:</b>
			C3-4
			0,011 Jätteenkäsittely, metallit
			0,131 Jätteenkäsittely, puupohjaiset materiaalit
			0,047 Jätteenkäsittely, puupohjaiset materiaalit
			0,062 Jätteenkäsittely, puupohjaiset materiaalit
			0,190 Jätteenkäsittely, puupohjaiset materiaalit
			0,456 Lasivilla> 100 % Final disposal>Jätteenpoltto
			0,555 Höyrynsulku>100%energy recovery>Jätteenkäsittely, muovi (energiatyydyntäminen)
			0,815 Kultusenemettely>100%Final disposal>Jätteenpoltto
			0,114 Lasivilla> 100 % Final disposal>Jätteenpoltto
			0,009 Jätteenkäsittely, metallit
			2,40
			1,96

## NÄYTTTELYTILA - KORJAUS

YP3 KIVIVILLA	m3	kg/m3	hukka	kg	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2	Lisätiedot:
1m2					A1-3		
Konessaumattu pettikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy katteisiin ja seinin, kuumasinkitty
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,82	3,64	Bitumikermitkate, aluskerni TL2/TL3
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,36	1,63	Vaneri, pinoittamaton havuvaneri
KIVIVILLA	0,200	63	1,03	13,0	1,50	19,47	Kivillälaeriste kattoihin, theys 63kg/m3
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,60	0,53	Höyrynsulku
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,15	15,70	Kuitusementtilevy
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustikkalevy, lasvilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A
Rei-tetty teräspoinnulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy katteisiin ja seinin, kuumasinkitty
						74,30	

YP4 LASIVILLA	m3	kg/m3	hukka	kg	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2	Lisätiedot:
1m2					A1-3		
Konessaumattu pettikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy katteisiin ja seinin, kuumasinkitty
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,82	3,64	Bitumikermitkate, aluskerni TL2/TL3
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,36	1,63	Vaneri, pinoittamaton havuvaneri
LASIVILLA	0,200	20	1,03	4,1	1,20	4,94	Lasvillaeriste
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,60	0,53	Höyrynsulku
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,15	15,70	Kuitusementtilevy
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustikkalevy, lasvilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A
Rei-tetty teräspoinnulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy katteisiin ja seinin, kuumasinkitty
						59,78	

<b>YP5 POLYURETAANI (PIR)</b>									
<b>1m<sup>2</sup></b>									
	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>hukka</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e/kg</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>	<b>Lisätiedot:</b>		
					<b>A1-3</b>				
Konesaumattu peitikkate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy kattoisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Bitumihiuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,82	3,64	Bitumikermitkate, aluskermi TL2/TL3		
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,36	1,63	Vaneri, pinnoittamaton havuvaneri		
PIR alumiini	0,200	31	1,03	6,4	4,50	28,74	PIR-eriste		
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,15	15,70	Kuitusementtilävy		
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustiikkalävy, lasivilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A		
Reiitetty teräspoinmulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy kattoisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
						<u>83,04</u>			
<b>YP6 PUUKUITUERISTE</b>									
<b>1m<sup>2</sup></b>									
	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>hukka</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e/kg</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>	<b>Lisätiedot:</b>		
					<b>A1-3</b>				
Konesaumattu peitikkate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy kattoisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Bitumihiuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,82	3,64	Bitumikermitkate, aluskermi TL2/TL3		
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,36	1,63	Vaneri, pinnoittamaton havuvaneri		
PUUKUITUERISTE	0,200	50	1,03	10,3	1,02	10,51	Selluvillalävy		
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,60	0,53	Höyrynsulku		
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,15	15,70	Kuitusementtilävy		
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustiikkalävy, lasivilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A		
Reiitetty teräspoinmulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,10	15,33	Teräslävy kattoisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
						<u>65,34</u>			

## NÄYTTELYTLILA - UUSI

YP3 KIVIVILLA	m3	kg/m3	hukka	kg	kgCO2e/kg	kgCO2e/m2	Lisätiedot:
<b>1m2</b>					A1-3		
Konesaumattu peittikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,820	3,64	Bitumikermitkate, aluskerni TL2/TL3
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,360	1,63	Vaneri, pinoittamaton havuvaneri
Harvalaudoitus	0,014	474	1,10	7,2	0,088	0,63	Höyätävара
Soiro	0,005	474	1,10	2,6	0,088	0,23	Höyätävара
Tuulensuojalevy	0,012	260	1,03	3,2	1,020	3,28	Selluvillalevy
Kattokannattajat k600	0,020	474	1,10	10,4	0,088	0,92	Höyätävара
KIVIVILLA	0,200	63	1,03	13,0	1,500	19,47	Kivivillaeeriste kattoihin, tiheys 63kg/m3
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,600	0,53	Höyrynsulku
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,150	15,70	Kuitusementtilevy
Hattuorsi			1,05	1,1	3,100	7,10	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustiikkalevy, lasvilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A
Reiitetty teräspoinmulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
						86,46	
<b>YP4 LASIVILLA</b>	<b>m3</b>	<b>kg/m3</b>	<b>hukka</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2e/kg</b>	<b>kgCO2e/m2</b>	<b>Lisätiedot:</b>
<b>1m2</b>					A1-3		
Konesaumattu peittikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,820	3,64	Bitumikermitkate, aluskerni TL2/TL3
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,360	1,63	Vaneri, pinoittamaton havuvaneri
Harvalaudoitus	0,014	474	1,10	7,2	0,088	0,63	Höyätävара
Soiro	0,005	474	1,10	2,6	0,088	0,23	Höyätävара
Tuulensuojalevy	0,012	260	1,03	3,2	1,020	3,28	Selluvillalevy
Kattokannattajat k600	0,020	474	1,10	10,4	0,088	0,92	Höyätävара
LASIVILLA	0,200	20	1,03	4,1	1,200	4,94	Lasivillaeeriste
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,600	0,53	Höyrynsulku
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,150	15,70	Kuitusementtilevy
Hattuorsi			1,05	1,1	3,100	7,10	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustiikkalevy, lasvilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A
Reiitetty teräspoinmulevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy katteisiin ja seiniin, kuumasinkitty
						71,94	

<b>YP5 POLYURETAANI (PIR)</b>									
<b>1m2</b>									
	<b>m3</b>	<b>kg/m3</b>	<b>hukka</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2e/kg</b>	<b>kgCO2e/m2</b>	<b>Lisätiedot:</b>		
Konesaumattu peittikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,820	3,64	Bitumikernnikate, aluskernni TL2/TL3		
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,360	1,63	Vaneri, pinoittamaton havvaneri		
Harvalaudoitus	0,014	474	1,10	7,2	0,088	0,63	Höylätavara		
Soiro	0,005	474	1,10	2,6	0,088	0,23	Höylätavara		
Tuulensuojalevy	0,012	260	1,03	3,2	1,020	3,28	Selluvillalevy		
Kattokannattajat k600	0,020	474	1,03	9,8	0,088	0,86	Höylätavara		
<b>PUUKUITUERISTE</b>	<b>0,200</b>	<b>50</b>	<b>1,03</b>	<b>10,3</b>	<b>1,020</b>	<b>10,51</b>	<b>Selluvillalevy</b>		
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,600	0,53	Höyrynsulku		
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,150	15,70	Kuitusementtilevy		
Hattuorsi			1,05	1,1	3,100	7,10	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustikkalevy, lasivilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A		
Rei-tetty teräspoinmlevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
						<b>95,20</b>			
<b>YP6 PUUKUITUERISTE</b>									
<b>1m2</b>									
	<b>m3</b>	<b>kg/m3</b>	<b>hukka</b>	<b>kg</b>	<b>kgCO2e/kg</b>	<b>kgCO2e/m2</b>	<b>Lisätiedot:</b>		
Konesaumattu peittikate t=0,6mm	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Bitumihuopa aluskate	0,002	1833	1,10	4,4	0,820	3,64	Bitumikernnikate, aluskernni TL2/TL3		
Vaneri 9 mm	0,009	480	1,05	4,5	0,360	1,63	Vaneri, pinoittamaton havvaneri		
Harvalaudoitus	0,014	474	1,10	7,2	0,088	0,63	Höylätavara		
Soiro	0,005	474	1,10	2,6	0,088	0,23	Höylätavara		
Tuulensuojalevy	0,012	260	1,03	3,2	1,020	3,28	Selluvillalevy		
Kattokannattajat k600	0,020	474	1,03	9,8	0,088	0,86	Höylätavara		
<b>PUUKUITUERISTE</b>	<b>0,200</b>	<b>50</b>	<b>1,03</b>	<b>10,3</b>	<b>1,020</b>	<b>10,51</b>	<b>Selluvillalevy</b>		
Höyrynsulkumuovi	0,0002	925	1,10	0,2	2,600	0,53	Höyrynsulku		
Lujalevy	0,010	1300	1,05	13,7	1,150	15,70	Kuitusementtilevy		
Hattuorsi			1,05	1,1	3,100	7,10	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
Ääneneristysvilla arkkitehdin mukaan	0,050	40	1,03	2,1	1,30	2,68	Akustikkalevy, lasivilla 40 mm, äänenvaimennusluokka A		
Rei-tetty teräspoinmlevy arkkitehdin mukaan	0,001	7850	1,05	4,9	3,100	15,33	Teräsl levy kattaisiin ja seiniin, kuumasinkitty		
						<b>77,44</b>			