

Teollisuusrakennuksen ulkoseinärakenteen korjaussuunnittelu

Teräsohutellevypintainen tuulettumaton elementtirakenne



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Visamäki, rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

kevät, 2018

Tommi Koskenoja

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Visamäki, Hämeenlinna

Tekijä	Tommi Koskenoja	Vuosi 2018
Työn nimi	Teollisuusrakennuksen ulkoseinärakenteen korjaussuunnittelu Teräsohutlevypintainen tuulettumaton elementtirakenne	
Työn ohjaaja	Anssi Knuutila	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena oli vanhan teollisuusrakennuksen ulkoseinärakenteen korjaus ja energiatehokkuuden parantaminen. Työn aihealuetta käsiteltiin sekä teoreettisesti että soveltaen kohdekiinteistöön. Työn tulokset palvelevat kohdekiinteistön omistavaa ja sen tiloissa toimivaa yritystä. Työssä pyrittiin löytämään teknisesti toimiva kokonaisratkaisu pelti-lämmöneriste-pelti-ulkoseinärakenteen korjauksen toteuttamiselle. Opinnäytetyön tulokset toimivat esisuunnitteluvaiheen tietoina ja suunnitelmina, joita voidaan hyödyntää myöhemmässä suunnitteluvaiheessa.

Työn teoriataustana olivat voimassaolevat rakentamismääräykset ja asetukset, rakennusfysiikan kirjallisuus ja opintoihin sisältyvä rakennusfysiikan materiaali. Työssä hyödynnettiin myös aihealueesta tehtyjä tutkimuksia niin materiaalien kuin kokonaisen rakenteen osalta. Lisäksi teoriapohjana toimi rakennusten kuntoarviointia ja rakennusvaipan lämpö- ja kosteusteknisen toimivuuden arviointia käsittelevä kirjallisuus ja Rakennustieto Oy:n sähköiset kortistot.

Työn tuloksena saatiin selville ulkoseinärakenteen mahdollisia korjausratkaisuja materiaalien ja materiaalipaksuuksien osalta ja tietoa niiden vaikutuksista rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen. Lisäksi saatiin selville hyödyllistä tietoa ulkoseinärakenteen rakennusfysikaalisesta toiminnasta ja rakenteen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavista tekijöistä.

Avainsanat kosteus, lämpö, johtumislämpöhäviö, rakennusvaippa

Sivut 63 sivua, joista liitteitä 12 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Visamäki

Author	Tommi Koskenoja	Year 2018
Subject	Repair desing of an exterior wall structure sandwich element in industrial building	
Supervisor	Anssi Knuutila	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor`s thesis was to study the repairing of exterior wall structures and improving energy efficiency of an old industrial building. This is discussed both theoretically and in practice through target buildings. The results of the thesis will benefit the company that owns and works on the buildings. The aim was to achieve a technically functional overall solution for the repair of an external wall structure made of sandwich element (sheet metal-thermal insulation-sheet metal). Another aim was to obtain information for preliminary plans to be utilized in the future to draw up more detailed plans.

The theoretical background consists of building decrees and regulations and lecture notes and publications on building physics. Also, academic research conducted on the subject was used as a source of information. In addition, information on the building condition assessment found in the literature was utilized. This includes examination of heat and humidity conditions in structures.

As a result of the thesis possible repair solutions were obtained for the exterior wall structures concerning materials and the thickness of materials. Also, the impact of the solutions on the theoretical energy consumption of the building was estimated. In addition, useful information was obtained on the building physics of the exterior wall structure and factors affecting the life cycle of the structure.

Keywords Moisture, heat, loss of heat by conduction, building envelope

Pages 63 pages including appendices 12 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	2
2	TERÄSOHUTLEVYPINTAISET TUULETTUMATTOMAT ELEMENTIT	3
2.1	Paroc-elementti.....	3
2.2	Thermisol-elementti.....	4
2.3	Elementtien pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavat tekijät	5
2.3.1	Pitkäaikaiskestävyys	5
2.3.2	Elementin sisäiset kosteusolosuhteet	6
2.4	Lämmöneristeiden kosteustekniset ominaisuudet.....	7
2.4.1	Veden imeytyminen materiaaliin	7
2.4.2	Kuivuminen	9
2.4.3	Kosteuden diffuusio.....	9
3	TEOLLISUUSRAKENNUKSEN ULKOSEINÄRAKENTEEN KORJAUS.....	10
3.1	Kuntoarviointi.....	11
3.1.1	Ulkoiset rasitukset	11
3.1.2	Sisäiset rasitukset	12
3.2	Rakenteiden arviointi kohteessa.....	12
3.3	P3-paloluokan rakennus.....	13
3.4	Ilmanvaihto.....	14
3.5	Rakentamismääräykset ja ohjeet, energiatehokkuus.....	15
3.5.1	Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot	16
3.5.2	Rakennusvaihan ilmanvuotoluku	17
3.5.3	Energiaa säästävän rakennuksen yleispiirteet	17
4	RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS JA RAKENNUSFYSIKKA.....	18
4.1	Rakenteiden rakennusfysikaaliset toimintakriteerit.....	19
4.2	Ilman kosteus	20
4.3	Vesihöyryn diffuusio.....	21
4.4	Konvektio ja rakenteen sisäinen konvektio	22
4.5	Paine-erot rakenteen yli.....	22
4.6	Kosteuden kondensoituminen	23
4.7	Kosteus- ja mikrobivauriot	25
5	KOHDEKIINTEISTÖN RAKENTEIDEN TUTKIMUS JA KORJAUKSEN ESISUUNNITTELU .	26
5.1	Lämpö- ja kosteustase, rakenteen suhteellisen kosteuden tulokset.....	28
5.2	Lämpö- ja kosteustase, rakenteen suhteellisen kosteuden jakauma	31
5.3	Lisälämmöneristetyn rakenteen U-arvo	33
5.4	Sandwich-rakenteen tiivistyskorjaus	34
5.5	Rakennusvaihan energiatehokkuus ja sen parantaminen	34
5.6	Vaihan energiatehokkuuden osoittaminen	35
5.6.1	Rakennusvaihan johtumislämpöhäviö	36
5.6.2	Rakennusvaihan johtumislämpöhäviö alkuperäisillä rakenteilla	36

5.6.3	Rakennusvaipan johtumislämpöhäviön tarkastelu lisälämmöneristyksellä ja uusilla ikkunoilla.....	38
5.6.4	Rakennusvaipan vuotoilmavirta.....	42
5.6.5	Lämmitysenergian tarve.....	43
6	KORJAUSEHDOTUKSET	45
6.1.1	Ikkunat.....	46
6.1.2	Ulkoseinien tiivistyskorjaus	46
6.1.3	Ulkoseinien lisälämmöneristys, uusi ulkoverhous ja uudet ikkunat	46
7	YHTEENVETO	48
	LÄHTEET.....	50

Liitteet

Liite 1	Rakennusfysiikan kaavakokoelma. Ilman kriittiset vesihöyrynpitoisuudet
Liite 2	Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen paloluokkavaatimukset
Liite 3	Kohteen ulkovaipan riskiarviointi korjaussuunnittelua varten
Liite 4	Ulkoseinän lämpö- ja kosteustaselaskelmat 70 mm:n XPS-lisälämmöneristyksellä

TERMIT

Kuntoarvio

Kuntoarviolla tarkoitetaan kiinteistön rakennusosien, tilojen, teknisten järjestelmien ja ulkoalueiden kunnan selvittämistä pääasiassa aistinvaraisesti. Se on yleispiirteinen arvio korjaus- ja huoltotarpeista, ja se laaditaan rakennus-, LVI- ja sähkötekniikan asiantuntijoiden yhteistyönä.

Rakennusosa

Rakennusosa tarkoittaa rakennuksen aineellista osaa, jota voidaan pitää käsitteellisesti itsenäisenä. Voi muodostua useista eri rakennustuotteista, materiaaleista, järjestelmistä ja laitteista.

Tekninen käyttöikä

Tekninen käyttöikä tarkoittaa rakenteen, rakennusosan, järjestelmän tai laitteen käyttöönoton jälkeistä aikaa, jolloin tekniset toimintavaatimukset täyttyvät. Se perustuu kokemukseen ja käytössä oleviin tietoihin. Tekninen käyttöikä on yleistävä, eikä se ota huomioon paikallisia erityisolosuhteita.

Lämmön siirtyminen johtumalla

Johtumisessa molekyylien liike-energiaa siirtyy molekyylistä toiseen. Siirtymisestä johtuen voidaan puhua lämmön virtauksesta.

Lämmön siirtyminen konvektion avulla

Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Pakotetussa konvektiossa kaasu tai neste liikkuu jonkin ulkopuolisen voiman ansiosta. Luonnollisessa konvektiossa lämpötilaerojen aiheuttamat tiheyserot saavat virtauksen syntymään.

Kosteuden siirtyminen konvektion avulla

Konvektiossa vesihöyryä siirtyy ilmavirran mukana. Ilmavirtaukset syntyvät paine-erojen vaikutuksesta.

Kosteuden siirtyminen diffuusiolla

Diffuusiossa molekyylit pyrkivät tasoittumaan suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön kohdekiinteistönä on tyyppillinen teollisuusrakennus, jonka ulkoseinärakenteet ja yläpohjarakenteet on toteutettu käyttäen erilaisia pelti-lämmöneriste-pelti-sandwich-elementtejä. Kiinteistön vanhemman rakennuskannan ikä on noin 30 vuotta ja uudemman jo yli 15 vuotta, joten kohteen rakennusten tekniset ominaisuudet ja järjestelmät tarvitsevat päivittämistä nykypäivän vaatimustasoon lähivuosina. Rakennusten kokonaisvaltainen korjaustarve tulee selvittää kiinteistöllä tehtävällä kuntoarvioilla, jotta korjaustoimenpiteet saadaan kohdennettua oikein.

Teollisuusrakennusten energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä suurin on rakennusvaihan kautta kuluva energia. Teollisuusrakennuksille on ominaista suuri koko, mikä tarkoittaa laajoja ulkoseinä-, yläpohja- ja alapohjarakenteiden pinta-aloja, joiden kautta rakennuksen lämmitysenergia johdetaan ulkoilmaan tai rakennuspohjaan. Kyseistä energian johtumista kuvataan rakennusvaihan johtumislämpöhäviöllä, minkä suuruutta kyetään arvioimaan laskennallisilla menetelmin.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tuotantorakennuksissa yleisesti käytettyjen pelti-lämmöneriste-pelti-sandwich-elementtien lämpö- ja kosteusteknistä toimivuutta ja pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttavia tekijöitä. Työssä käsitellään myös ulkoseinäelementin ulkopuolisen lisälämmöneristyksen vaikutusta rakenteen sisäisiin kosteus- ja lämpöolosuhteisiin. Tehdyt laskelmat ja niiden tulokset perustuvat työn pohjana olevien rakennusten rakenteiden tietoihin. Lisäksi tarkastellaan kohdekiinteistön rakenteellista energiatehokkuutta kokonaisuutena ja etsitään laskennallisella menetelmällä erilaisia peruskorjausratkaisuja, joilla parannetaan rakennusvaihan energiatehokkuutta. Korjausratkaisut painottuvat ulkoseinärakenteisiin, koska näille rakenteille korjaustyö on fyysisesti helpointa toteuttaa. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kohdekiinteistön ulkovaipan korjaustarve ja laatia esisuunnitteluvaiheen korjaussuunnitelma. Laadittu korjaussuunnitelma perustuu kirjallisuustutkimukseen, kohteessa toteutettuun kuntoarvioon ja laskennallisiin tarkasteluihin.

2 TERÄSOHUTLEVYPINTAISET TUULETTUMATTOMAT ELEMENTIT

Sandwich-elementtivalmistajia on Suomessa useita. Jokainen valmistaja käyttää ydinmateriaalina erilaista lämmöneristettä, mutta elementtien perusrakenne on kaikilla sama: teräsohutlevy-lämmöneriste-teräsohutlevy.

Ydinmateriaalien keskeisimpiä teknisiä ominaisuuksia ovat lämmöneristyskyky, lujuus, kosteustekniset ominaisuudet ja palotekniset ominaisuudet. Lisäksi teräsohutlevyjen erilaisilla pinnoituksilla kyetään vaikuttamaan korroosiokestävyyteen ja lämpökestävyyteen. (Paroc 2017.)

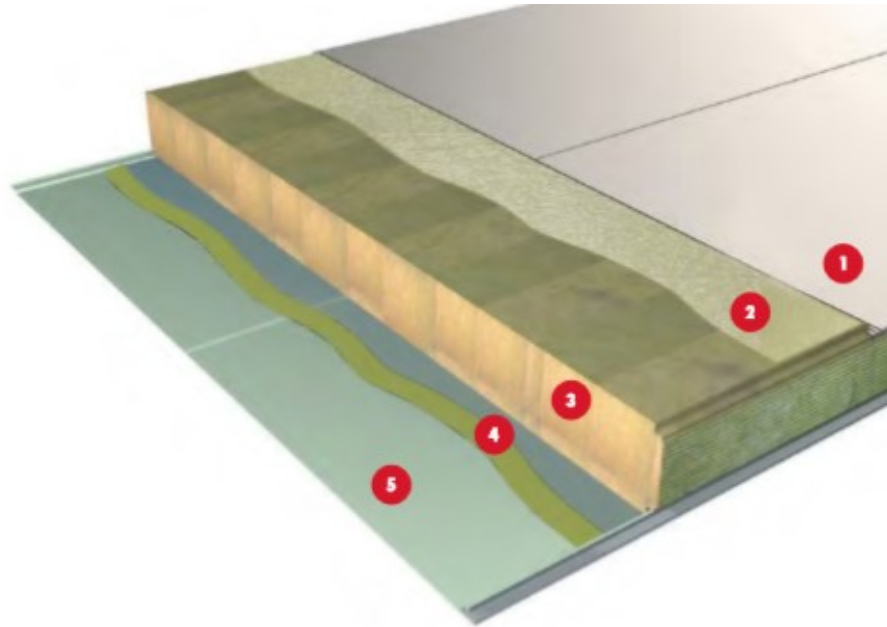
Sandwich-elementtejä käytetään tyypillisesti tuotanto- ja varastorakennuksissa, liike- ja toimitilarakennuksissa, konehuoneissa, kylmiöissä ja maatalousrakennuksissa. Elementtejä voidaan hyödyntää ulkoseinärakenteissa, vesikattorakenteissa, väliseininä ja välikattona. (Thermisol 2016.)

2.1 Paroc-elementti

Elementit ovat kivivillaytimisiä kevytsandwich-elementtejä. Elementin sisä- ja ulkopinnassa on sinkkipinnoitettu teräsohutlevy käyttötarkoituksen mukaisesti. Elementtien lujuus ja pitkäaikaiskestävyys perustuvat teräsohutlevyjen, ydinmateriaalin ja liimasidoksen yhteistoimivuuteen. Teräsohutlevyt ja ydin on liimattu toisiinsa kauttaaltaan. (Paroc 2017.)

Ydinmateriaalina käytetään Paroc structural -kivivillaa, jonka yhdensuuntaiset kuidut takaavat hallitut lujuusominaisuudet. Sen eriste on käsitelty vettä hylkiväksi, ei-hygroskooppiseksi ja ei-kapillaariseksi materiaaliksi. Kosteus ei vaikuta kivivillan ja sideaineen säilyvyyteen. Structural -kivivillaa valmistetaan useita erilaisia laatuja erilaisiin käyttötarkoituksiin. (Paroc 2017.)

Paroc-elementti on yhtenäinen ja kylmäsillaton lämmöneristekerros. Seinärakenteen tiivistäminen toteutetaan elementtien pontteissa olevilla tiivisteillä. Vaaka-asennetussa elementissä normaaleissa olosuhteissa käytetään tiivistettä elementin sisätilan puoleisessa pontissa, jolla estetään sisäilman vesihöyryn pääsy rakenteeseen. Pystyasennetuissa elementeissä tiivisteet ovat aina ulko- ja sisäpontteissa. Vaaka-asennettu elementtiseinä on normaaliolosuhteissa sadeveden tiivis, vaikka tiiviste on ainoastaan sisäpuolella. Jos rakennus sijaitsee tuulisella paikalla tai kyseessä on korkea seinärakenne, käytetään tiivistettä molemmilla pontteilla. (Paroc 2017.)



- 1 Sinkkipinnoitetut teräsohutelvyt, joissa uloin pinnoite käyttöympäristön vaatimusten mukaan.
- 2 Erikoisliima, joka täyttää AST®-laadulle asetetut vaatimukset lujuuden ja pitkäaikaiskestävyyden suhteen sekä täyttää elementtien eurooppalaisen palamattomuusluokituksen A2-s1,d0. Elementin pinnat on liimattu ytimeen kauttaaltaan.
- 3 Palamattomista (A1) PAROC structural -kivivilamelleista valmistettu ydin tarjoaa samanlaiset lujuusominaisuudet jokaisessa elementin poikkileikkauksessa.
- 4 Monikerrosrohjamaalaus varmistaa liiman ja sinkityn teräsohutelvyn välisen liimasidoksen pysyvyyden.
- 5 Paloturvallisen ponttirakenteen ansiosta elementtirakenteet ovat tiiviitä kuumia savukaasuja vastaan ja niillä saavutetaan jopa neljän tunnin (EI 240) palonkestävyys.

Kuva 1. Paroc-elementti (Paroc 2017).

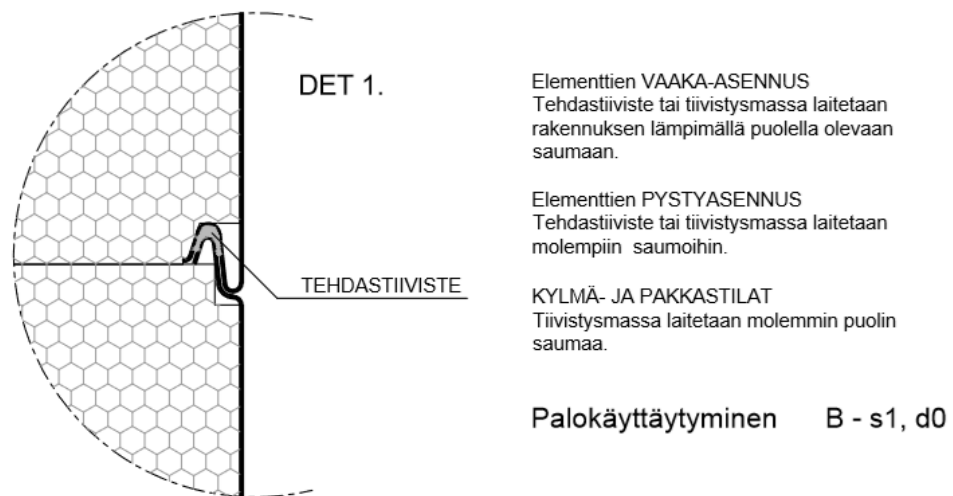
2.2 Thermisol-elementti

Kohteessa käytetty Isora-elementti on nykyisin nimeltään Thermisol. Isora-elementin tärkeimmät tekniset ominaisuudet vastaavat Thermisolin nykyisiä ominaisuuksia.

Elementin ydinmateriaali on paisutettu polystyreeni eli EPS. Elementin sisä- ja ulkopinnassa on pinnoitettu teräsohutelvy käyttötarkoituksen mukaisesti. Elementtien lujuus ja pitkäaikaiskestävyys perustuvat teräsohutelvyjen, ydinmateriaalin ja liimasidoksen yhteistoimivuuteen. Teräsohutelvyt ja ydin on liimattu toisiinsa kauttaaltaan. (Thermisol 2016.)

EPS-ydinmateriaali on terveydelle vaaraton, ja se ei vety, lahoa tai homehdu. Elementtityypillä saavutetaan valmistajan mukaan kosteusteknisesti toimiva rakenne kaikissa olosuhteissa. EPS-lämmöneristeellä on umpisolainen rakenne, jolloin sen vedenimevyys on erittäin vähäistä. (Thermisol 2016.)

Thermisol-elementti on yhtenäinen ja kylmäsillaton lämmöneristekerros. Seinärakenteen tiivistäminen toteutetaan elementtien pönteissa olevilla tiivisteillä. Vaaka-asennuksessa elementissä normaaleissa olosuhteissa käytetään tiivistettä elementin sisätilan puoleisessa pönteissä, jolla estetään sisäilman vesihöyryn pääsy rakenteeseen. Pystyasennetuissa elementeissä tiivisteet ovat aina ulko- ja sisäpönteissä. Vaaka-asennettu elementtiseinä on normaaliolosuhteissa sadeveden tiivis, vaikka tiiviste on ainoastaan sisäpuolella. Jos rakennus sijaitsee tuulisella paikalla tai kyseessä on korkea seinärakenne, käytetään tiivistettä molemmissa pönteissä. (Thermisol 2016.)



Kuva 2. Thermisol-seinäelementti (Thermisol 2016).

2.3 Elementtien pitkäaikaiskestävyyden vaikuttavat tekijät

Rakenteiden ja lämmöneristeiden pitkäaikaisominaisuuksia on tutkittu kokeellisilla tutkimuksilla ja matemaattisilla malleilla. Lähdeaineistona tässä työssä on hyödynnetty Tampereen teknillisen korkeakoulun materiaaliopin laitoksen julkaisua ”Durability of different types of sandwich panels under climatic conditions”(Report 15/1999) ja Paroc Group Oy:n julkaisua ”Moisture Behavior of Building Insulation Materials and Good Building Practices”(Hannu-Petteri Mattila 2017), joka perustuu VTT:n vuosina 2016–2017 tekemään tutkimukseen.

2.3.1 Pitkäaikaiskestävyys

Sandwich-elementtejä valmistetaan kivivilla-, lasivilla-, PUR- ja EPS-lämmöneristeytimellä. Erilaisten lämmöneristeiden välillä on huomattavia eroja kyvyssä vastaanottaa ja luovuttaa kosteutta. Kivi- ja lasivilla ovat avo-

huokoisia lämmöneristeitä, joiden kuituihin kosteus pääsee tunkeutumaan. EPS- ja PUR-lämmöneristeet ovat umpisoluisia, joten niillä ei ole kosteuden siirtymistä tai kosteuskertymien muodostumista mahdollistavaa huokosrakennetta.

Tampereen teknillisen korkeakoulun materiaaliopin laitoksen tutkimuksessa (Report 15/1999) kivivilla-, lasivilla-, polyuretaani- ja laajennettu polystyreeni -ytimelliset elementit altistettiin erilaisille lämpötila- ja kosteusolosuhteille. Pitkäaikaiskestävyyden arvioinnissa käytetään tyypillisenä pohjoismaisena ilmasto-olosuhteena Helsingin ilmasto-olosuhteita. Tällöin tutkimuksilla saatu tieto vastaa todellisia käyttöolosuhteita ja antaa tietoa materiaalien ja elementtien käyttäytymisestä todellisissa rakenteissa.

Koeolosuhteiden jälkeen koe-elementtien lujuus, ulkomitat ja paino mitattiin. Elementtien sisäisen suhteellisen kosteuden huomattiin nousevan korkeammaksi kuin ympäröivän ilman. Talviaika kasvatti elementin sisäistä kosteuspitoisuutta, jolloin saavutettiin suhteellisen kosteuden 100 %:n arvo. Elementtien altistuminen jäätymis-sulamisrasitukselle ei tutkimuksen mukaan kuitenkaan ole kriittinen tekijä pitkäaikaiskestävyyden kannalta (Report 15/1999, 14).

Käyttöikäkokeissa tutkitaan erilaisten materiaalien vanhenemista nopeutusti. Tutkimuksen tuloksena havaittiin kivivillaytimisten elementtien lujuuden olevan 50 vuoden käyttöään jälkeen 80 % alkuperäisestä. Lasivillaytimisten elementtien lujuuden havaittiin olevan noin 30 % alkuperäisestä vastaavassa kokeessa. (Report 15/1999, 27.) Lasivillaytimisillä elementeillä havaittiin ilmankosteuden olevan kriittinen tekijä pitkäaikaiskestävyydelle, etenkin elementin lujuudelle.

Solumuoviytimisillä elementeillä korkean lämpötilan havaittiin olevan tehokkain elementtiä vahingoittava tekijä. Etenkin PUR-ytimisellä elementillä korkea lämpötila ja lämpötilan syklittäiset muutokset vahingoittivat elementin rakennetta (Report 15/1999, 18). Korkea suhteellinen kosteus tehostaa lämpötilan vaikutusta, jolloin ytimessä tapahtuu mittamuutoksia (lämpölaajeneminen ja supistuminen) ja korroosiota peltipinnoissa. Näillä elementtityypeillä peltipinnan pinnoituksella on tärkeä rooli elementin pitkäaikaiskestävyydessä. Yleisesti ytimen ominaisuudet säilyivät muuttumattomina (report 15/1999, 27).

2.3.2 Elementin sisäiset kosteusolosuhteet

Elementin sisäiset ilmasto-olosuhteet eivät välittömästi seuraa ulkoilman muutoksia. Auringonsäteily, tuuli, lämpötilat, vesihöyryn osapaine-erot sisäilman ja ulkoilman välillä ja vaipan ilmantiheys vaikuttavat elementin sisäiseen ilmasto-olosuhteeseen. Mittauksien ja matemaattisten laskelmien mukaan suurin suhteellinen kosteus elementin sisällä muodostuu lähelle

ulkopintaa. Talviaikana ulkopinnan lämpötila on lähellä tai sama kuin ulkoilman lämpötila. Tämä saattaa aiheuttaa rakenteen sisäistä kosteuden kondensoitumista. Toistuva tai pitkäkestoinen kondenssitila voi aiheuttaa kosteuskertymiä rakenteen sisään.

Paroc Group Oy:n suorittamien mittauksien mukaan vuoden aikajaksolla pohjoiseen suunnatun elementin sisäinen suhteellinen kosteus talviaikana on 90–100 % ja kesäaikana 80–90 %. Vastaavasti etelään suunnatun elementin suhteellinen kosteus on keskimäärin 90 % talviaikana ja kesäaikana 40–80 %. (Report 15/1999, 22.) Mittaustuloksien perusteella voidaan olettaa, että rakenteen sisäistä kondensoitumista tapahtuu talviaikana. Rakenteen ulkopinnan pintalämpötilan vaihtelu on vuoden aikajaksana 90 °C (Report 15/1999, 21–23.)

2.4 Lämmöneristeiden kosteustekniset ominaisuudet

Erilaisten lämmöneristeiden kosteuskäyttäytyminen vaihtelee huomattavasti. Aineen kosteusteknistä käyttäytymistä kuvaavat hygroskooppisuus, kosteuden/veden imeytys- ja kuivumiskyky, vesihöyryn diffuusio materiaalin läpi ja kapillaarisuus. Lämmöneristeen korkea kosteuspitoisuus alentaa materiaalin lämmöneristyskykyä, mutta myös kasvattaa riskiä home- ja mikrobikasvustolle, korroosiolle ja kantavien rakenteiden toiminnalle.

Lämmöneristeille on tehty kokeellisia tutkimuksia, joissa edellä mainittuja ominaisuuksia on selvitetty käytännön sovelluksia vastaavissa olosuhteissa. Kivivillatuotteilla ja lasivillatuotteilla materiaalin tiheys kasvattaa kosteuden sitoutumista materiaaliin. Seuraavat tutkimustulokset kuvaavat tilannetta, jossa materiaalit ovat vapaassa tilassa, eikä niitä ole suljettu ainekerroksien sisään. Tulokset on esitetty Hannu-Petteri Mattilan (Paroc Group Oy) laatimassa ”Moisture behavior of building insulation materials and good building practices” -julkaisussa.

2.4.1 Veden imeytyminen materiaaliin

Alla olevien taulukoiden mittausolosuhde vastaa käytännön tilannetta, jossa materiaali ei ole yhteydessä vapaaseen veteen, mutta on altistettuna ilmankosteudelle. Taulukot kuvaavat kosteuden imeytymistä kg/m³ eri materiaaleihin 23 °C:n lämpötilassa, 75 %:n ja 98 %:n ilman suhteellisessa kosteudessa.

Taulukko 1. Kosteuden imeytyminen lämmöneristeeseen (Mattila 2017, 3).

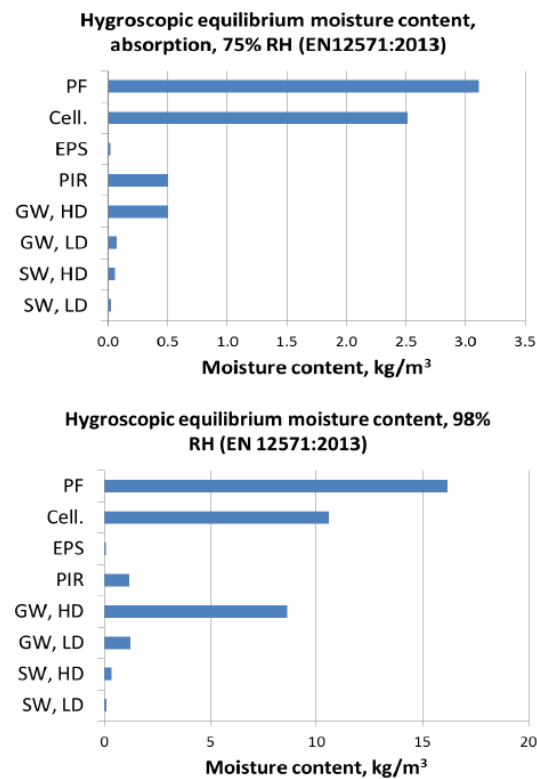


Figure 1. Equilibrium moisture content of materials, calculated based on measurement results in report [1].

Selitykset lyhenteille:

GW=lasivilla, SW=kivivilla, Cell=selluloosa, PF=phenolinen vaahto, HD=korkea tiheys, LD=matala tiheys.

Mittaustulokset kertovat, että avohuokoisista eristemateriaaleista kivivilat imevät itseensä vähemmän kosteutta kuin lasivillatuotteet. Kivivilla imee itseensä kosteutta noin 0,01–0,5 kg/m³ tiheydestä riippuen ja lasivillatuotteet vastaavasti 2–8 kg/m³ tiheydestä riippuen. Mittausolosuhteena on RH 98 %. Avohuokoisista lämmöneristeistä lasivillatuotteet ovat huomattavasti imukykyisempiä kuin kivivilat. Korkeampi kosteuden imukyky voi tarkoittaa, että materiaali on herkempi ”varastoimaan” kosteutta itseensä ja näin ollen herkempi kosteuden aiheuttamille riskeille rakenteissa.

Umpisoluisista lämmöneristeistä EPS:n kosteuden imukyky on noin 0,01 kg/m³ ja PIR-lämmöneristeen 1,5–2 kg/m³. Mittausolosuhteena on RH 98 %. Molemmilla umpisoluisilla lämmöneristeillä on vähäinen kosteuden imukyky.

2.4.2 Kuivuminen

Lämmöneristemateriaaleilla on vastaavasti huomattavia eroja kuivumisajassa alkuperäiseen kosteustasoon verrattuna. Alla olevassa kaaviossa esitetään veden imeytymisajan ja vastaavan vesimäärän kuivumisajan yhteys.

Taulukko 2. Lämmöneristeen kuivuminen (Mattila 2017, 5).

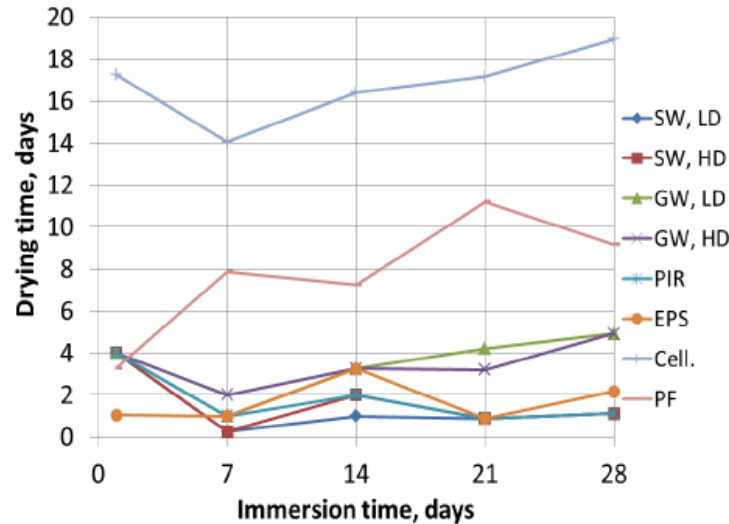


Figure 3. Test specimen drying time after partial immersion test as a function of time [1].

Kuivumisolosuhteet ovat 23 °C:n lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus on 50 %. Kivivillaeristeillä, EPS- ja PIR-eristeillä, kuivumisaika alkuperäiseen kosteustasoon vie 1–2 vuorokautta ja lasivillalla vastaavasti 5 vuorokautta. Avohuokoisilla lämmöneristeillä, kivivillalla ja lasivillalla, materiaalin tiheydellä ei ole juurikaan vaikutusta kuivumisaikaan.

2.4.3 Kosteuden diffuusio

Ilman vesihöyryn diffuusio lämmöneristeen läpi aiheutuu vesihöyryn osapaineen eroista sisä- ja ulkoilman välillä. Sen seurauksena sisäilmasta siirtyy kosteutta seinärakenteen läpi. Diffuusion määrä on tutkimuksessa selvitetty standardin EN 12088 mukaisesti. Kosteuden määrä materiaalissa kasvaa lineaarisesti kuluvan ajan mukaisesti. Vähiten diffuusiota tapahtuu umpisoluisen PIR-materiaalien läpi, jolloin kosteuden määrä on noin 2,5 kg/m² 28 vuorokauden aikana. Kevyen tiheyden kivi- ja lasivillamateriaaleihin kerääntyneen kosteuden määrä vaihtelee 7–8 kg/m² 28 vuorokauden aikana. EPS-lämmöneristeeseen kerääntyy noin 7 kg/m² vastaavassa aikajaksossa. Villamateriaalin tiheyden kasvaessa kasvaa myös siihen sitoutuvan kosteuden määrä aikayksikköä kohden. Korkean tiheyden kivivil-

laeriste kerää noin 17 kg/m^2 ja vastaava lasivillatuote jopa 20 kg/m^2 . Tutkimuksen tulos kertoo selvästi vesihöyryä vastustavan ainekerroksen tarpeellisuudesta tai välttämättömyydestä kosteusteknisesti toimivan rakenteen osana.

Alla on esitettyä taulukko diffuusiotutkimuksen tuloksista.

Taulukko 3. Kosteuden diffuusio (Mattila 2017, 7).

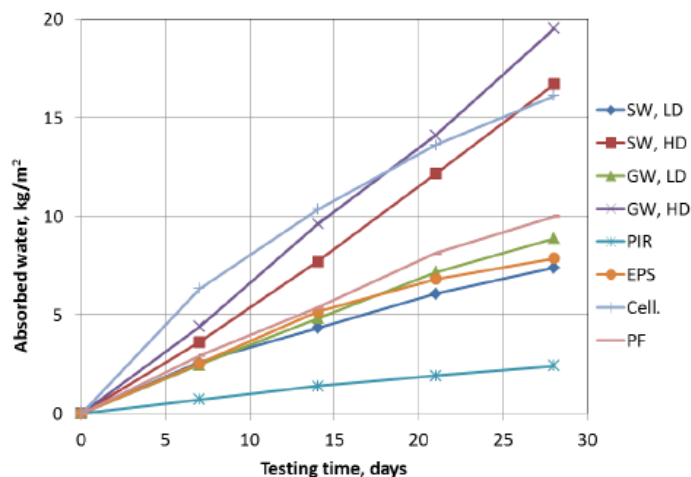


Figure 5. Water absorption into insulation materials by diffusion (12088) as a function of time [1].

3 TEOLLISUUSRAKENNUKSEN ULKOSEINÄRAKENTEEN KORJAUS

Korjaushanketta suunniteltaessa pitää ensimmäisessä vaiheessa selvittää korjattavien rakenteiden kunto ja mahdolliset vauriot, joiden pohjalta kytetään aloittamaan varsinainen korjaussuunnittelu. Vanhat puutteet rakenteiden toiminnassa eivät välttämättä korjaannu paikkaamalla rakenne korjauksen periaateratkaisulla. Tämä tarkoittaa sitä, että korjaustoimenpiteet tulee suunnitella huolellisesti ja kohteen vaatimusten mukaisesti. Mahdolliset ongelmia ja vaurioita aiheuttavat syyt on poistettava, jotta korjauksesta saadaan toimiva ja rakennuksen elinkaarta pidentävä. Rakennuksen ulkovaipan eli ulkoseinien, perustuksien ja vesikattorakenteiden kunto kannattaa kohdekiinteistössä arvioida kokonaisuutena, vaikka ainoastaan ulkoseiniin ollaan toteuttamassa laajempia korjaustoimenpiteitä. Näin toimittaessa poistetaan vesikaton ja perustusrakenteiden aiheuttama vaurioriski lähitulevaisuudessa.

Ympäristöministeriön asetuksessa 782/2017 "Rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta" säädetään, että ennen rakennuksen korjausta tulee suunnittelijan selvittää rakennuksen rakennusaikainen rakennustapa ja rakenteiden kosteustekninen toimivuus.

3.1 Kuntoarviointi

Kuntoarviolla selvitetään rakenteiden kunto ja niissä mahdollisesti esiintyvät vauriot. Vaurioiden laajuuden ja mahdollisen leviämismekanismien löytäminen on ensiarvoisen tärkeää. Kuntoarvio tehdään pääsääntöisesti aistinvaraisesti rakenteita rikkomatta. Kuntoarviota laadittaessa on huomioitava rakenteen kokonaisuus: esimerkiksi julkisivu sisältää julkisivupinnan, pellitykset, ikkunat, ovet, sokkelit, saumaukset, räystäsrakenteet, julkisivuun liitetyt muut osat ja rakenteissa olevat läpiviennit. Rakennekokonaisuuden kunto voi vaihdella huomattavasti eri osissa rakennetta, ja tutkimukset on syytä toteuttaa jakamalla rakennekokonaisuudet lohkoihin. Jäottelulla saadaan kokonaisvaltainen kuva rakenteiden kunnosta. Kuntoarvion pohjalta voidaan laatia julkisivurakenteelle tai vesikattorakenteelle korjaussuunnitelma tai esittää kuntotutkimusta lisätietojen saamista varten. (RT 82-10603 1996, 3).

Kuntoarvioinnissa on tärkeää tiedostaa rakenteisiin vaikuttavat rasitustekijät, jotta vaurioiden syy-seuraussuhteet ja vaurioiden mahdollinen laajenemismekanismi kyetään löytämään.

Rakennusten ulkovaippaan kohdistuvat rasitukset jaetaan ulkoisiin ja sisäisiin rasituksiin. Ulkoiset rasitukset aiheutuvat säätekijöistä ja ulkoilman olosuhteista, joita ovat lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilman epäpuhtaudet. Sisäiset rasitukset aiheutuvat sisäilman vesihöyrystä, rakennuksen sisäisestä ilmanpainesuhteesta, ilman epäpuhtauksista ja itse rakenteesta. (RT 82-10603 1996, 2–3.)

3.1.1 Ulkoiset rasitukset

RT-kortin 82-10603 (1996) mukaan rakennukseen vaikuttavia ulkoisia rasituksia ovat alla esitetyt ilmiöt ja olosuhteet

- Vesi eri olomuodoissaan liottaa materiaalien sideaineesia ja jäätyessään murtaa ja vaurioittaa materiaaleja (koska tilavuus kasvaa). Rakenteen sisään päästyään vesi aiheuttaa kosteusvaurioita ja esimerkiksi joidenkin lämmöneristeiden lämmöneristysominaisuuksien heikkene- mistä. Etenkin viistosateen ja tuulen yhteisvaikutus voi olla vahingol- lista ja aiheuttaa kosteusvaurioita. Rakenne, joka on altis viistosateelle ja sijaitsee ilmansuunnallisesti varjonpuolella, kärsii raskaimmasta kos- teusrasituksesta, koska auringonsäteilyn kuivattava vaikutus ei poista kosteutta.
- Auringon säteily, etenkin UV-säteily, vaikuttaa useimpiin materiaaleih- in vahingollisesti aiheuttaen kemiallisia muutoksia materiaaleissa. Muutokset voivat aiheuttaa esimerkiksi materiaalien lujuuden heikke- nemistä, hapettumista ja värimuutoksia.

- Lämpötilavaihtelu aiheuttaa materiaaleihin lämpölaajenemista ja kutistumista, joka toistuvana ilmiönä saattaa aiheuttaa pintojen halkeilua, murtumista ja kappaleiden vääntyilyä.
- Muodonmuutokset rakenteissa, jotka voivat esimerkiksi aiheuttaa lumi- ja tuulikuormista, lämpöliikkeistä ja perustusten liikkeistä.
- Ilman sisältämät kaasut ja epäpuhtaudet aiheuttavat yleensä materiaaleihin hapettumisreaktioita. Reaktiot ilmenevät materiaalien kovettumisena, haurastumisena tai värimuutoksina. Hiilidioksidi aiheuttaa betonirakenteiden karbonatisoitumista. Ilmassa olevat pakokaasut ja palamisjätteet kuten rikkidioksidi vahingoittavat metalleja ja betonia.
- Biologiset rasitukset kuten mikrobit, homeet ja hyönteiset aiheuttavat materiaalivaurioita ja pilaantumista. Mikrobi- ja homekasvu aiheuttavat ylimääräisestä kosteudesta rakenteessa.

3.1.2 Sisäiset rasitukset

RT-kortin 82-10603 (1996) mukaan rakennukseen vaikuttavia sisäisiä rasituksia ovat alla esitetyt ilmiöt ja olosuhteet

- Sisäilman sisältämä vesihöyry aiheuttaa rakenteille kosteusrasitusta diffuusion tai konvektion vaikutuksesta.
- Sisäilman sisältämät epäpuhtaudet ja kaasut aiheuttavat yleensä materiaaleihin hapettumisreaktioita. Reaktiot ilmenevät materiaalien kovettumisena, haurastumisena tai värimuutoksina. Hiilidioksidi aiheuttaa betonirakenteiden karbonatisoitumista. Ilmassa olevat pakokaasut ja palamisjätteet kuten rikkidioksidi vahingoittavat metalleja ja betonia.
- Rakenteissa olevat vauriot kuten halkeamat ja raot, joista aiheutuu lisääntyntä kosteusrasitusta.

3.2 Rakenteiden arviointi kohteessa

Tämä arvio koskee vesikatto-, perustus- ja ulkoseinärakenteita. Korjaustarveselvitys laaditaan tekemällä kiinteistökierron ja tutkimalla olemassa olevia rakennuspiirustuksia (rakenne-, arkkitehti- ja detaljisuunnitelmat). Suunnitelmien pohjalta kyetään paikallistamaan mahdolliset riskirakenteet, jotka voivat olla myös piileviä. Ulkovaipan riskirakenteet liittyvät sadeveden ja lumen pääsyyn rakenteen sisään sekä auringonsäteilyyn ja ilman epäpuhtauksien aiheuttamiin mahdollisiin vaurioihin. Lisäksi elementtien saumojen ja rakenneliittymien tiivistykset ja lämmöneristyksen puutteet aiheuttavat rakenteille kosteusvaurioitumisen riskin ja hukkaavat lämmitysenergiaa.

3.3 P3-paloluokan rakennus

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017 määritellään eri paloluokkiin P1, P2 ja P3 kuuluvien rakennusten vaatimukset ja rajoitukset.

Asetusta sovelletaan ”uuden rakennuksen rakentamiseen sekä rakennuksen laajentamiseen tai sen kerrosalaan laskettavan tilan lisäämiseen. Asetusta sovelletaan myös rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön, jos rakennus tai sen osa muuttuu korjaus- ja muutostyön seurauksena paloturvallisuuden kannalta vaarallisemmaksi ja rakennuksen paloturvallisuuden parantaminen on sen vuoksi perusteltua korjaus- ja muutostyön laatu ja henkilöturvallisuuden vaarantumisen estäminen huomioon ottaen”. (Asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017.)

Taulukossa 4 esitetään asetuksessa 848/2017 määritellyt P3 paloluokan rakennuksen sallitut kerrosalat ja kerroslukumäärän eri käyttötarkoitusten rakennuksissa. Taulukossa esitetään P3 paloluokan teollisuusrakennuksiin sovellettavat määritykset.

Taulukko 4. P3-paloluokan rakennuksen käyttötarkoitusta ja kokoa koskevat rajoitukset (848/2017, 5).

Rakennus	Kerrosluku enintään	Korkeus ¹⁾ enintään	Kerrosala enintään
1-kerroksinen, yleensä	1	9 m	2 400 m ² (4 800 m ² *)
2-kerroksinen, yleensä	2	9 m	1 600 m ² (2 400 m ² *)
Hoitolaitos	1	9 m	2 400 m ²
Tuotanto- tai varastorakennus	1 ²⁾	14 m	ei rajoitusta
Erillisenä rakennuksena oleva maataloustuotteiden kuivaamo	1	18 m	ei rajoitusta
Autosuoja	1	9 m	ei rajoitusta
Asuinrakennus, jonka päällekkäiset kerrokset kuuluvat eri asuinhuoneistoon	ei sallittu	ei sallittu	ei sallittu

¹⁾ Rakennuksen korkeus on julkisivupinnan ja vesikaton leikkauslinjan korkeus maan pinnasta (MRA 58 §). Tarvittaessa lasketaan rakennuksen nurkkapisteiden korkeuksien keskiarvo.
²⁾ Pääosin 1-kerroksisessa rakennuksessa toisen kerroksen tasolle saa sijoittaa osastoituna enintään 200 m² ja osastoimattomana enintään 50 m² oleellisesti rakennuksen toimintaan liittyviä tiloja.
* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.

Taulukossa 5 esitetään asetuksessa 848/2017 määritellyt P3 paloluokan rakennuksen suurimmat sallitut henkilömäärät. Taulukossa esitetään P3 paloluokan teollisuus- ja tuotantotilan suurin sallittu henkilömäärä ja kerroslukumäärä.

Taulukko 5. P2- ja P3-paloluokan rakennuksen suurin sallittu henkilömäärä tai paikkaluku (848/2017, 5).

Rakennuksen paloluokka	P2			P3	
	1	2	yli 2 kerrosta *	1	2
Kerroksia					
Käyttötarkoitus					
Asunnot, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150 (250 *)
Majoitustilat, majoituspaikkoja	150 (300 *)	50 (100 *)	500	50 (100 *)	10
Hoitolaitokset, hoitopaikkoja	100 (200 *)	25 (50 *)	150	10 (25 *)	ei sallittu
Kokoontumis- ja liiketilat, henkilöitä	ei rajoitusta	250 (500 *)	1 000	500 (1 000 *)	50
Työpaikkatilat, henkilöitä	ei rajoitusta	ei rajoitusta	1 000	250 (500 *)	150
Tuotanto- ja varastotilat, henkilöitä	ei rajoitusta	50 (100 *)	ei sallittu	ei rajoitusta	ei sallittu

P3-luokan rakennuksissa ulkoseinän lämmöneristeille ei aseteta vaatimuksia paloturvallisuuden osalta. Ulkoseinän rakennustarvikkeille asetetaan vaatimuksia ulkoseinän sisäpinnan, tuuletusraon ulkopinnan (usein julkisivumateriaalin tuuletusraon puoleinen pinta) ja ulkopinnan osalta. Tällöin vaatimusluokka on D-s2, d2. Tuuletusraon sisäpinnalle (usein lämmöneriste tai tuulensuojalevy) ei ole vaatimuksia (Liite 2). Kantaville rakenteille ei esitetä vaatimuksia. Osastoivat rakennusosat toteutetaan EI 30 -luokituksen mukaisesti.

3.4 Ilmanvaihto

Rakennusten ilmanvaihdosta säädetään ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017). Asetus koskee uuden rakennuksen sisäilmaston ja ilmanvaihdon suunnittelua ja rakentamista sekä rakennuksen laajennusta ja kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä.

Asetus ei koske maatalouden tuotantorakennuksia eikä asuinrakennuksia, joita käytetään alle neljä kuukautta vuodessa.

Ilmanvaihdon keskeisimmät vaatimukset ovat asetuksen 1009/2017 mukaan:

”Ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän on tuotava rakennukseen riittävä ulkoilmavirta ja poistettava sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, liiallista kosteutta, viihtyisyyttä haittaavia hajuja sekä ihmisistä, rakennustuotteista ja toiminnasta sisäilmaan aiheutuvia epäpuhtauksia”. (1009/2017, 8 §.)

”Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja” (1009/2017, 5 §).

”Erytysuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan” (1009/2017, 21 §).

”Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012” -teoksessa määritellään ulkoilmavirran ohjeavoksi keskiraskaassa tehdastyössä 10 l/s/henkilö. Ilman virtausnopeudeksi määritellään työpisteellä talviaikana 0,25 m/s ja kesäaikana 0,5 m/s. Sisäilman ohjeellinen lämpötila on +17 °C.

Ilmanvaihdon poistoilmamäärästä on otettava lämpöä talteen määrä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vastaava vaatimus voidaan myös toteuttaa esimerkiksi rakennuksen vaipan lämmöneristävyttä ja tiiveyttä parantamalla.

3.5 Rakentamismääräykset ja ohjeet, energiatehokkuus

Uuden rakennuksen energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017). Asetuksen mukaan vähimmäisvaatimuksena on, että pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava uuden rakennuksen suunnittelusta siten, että se käyttötarkoituksensa mukaisesti on

- energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen
- rakennuksen lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova
- energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan
- energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholtaan energiatehokas

Vanhan rakennuksen energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset on esitetty ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (2013, 4/13). Asetuksen soveltaminen määritellään seuraavasti:

”Tätä asetusta sovelletaan rakennuksiin, joissa käytetään energiaa valaistukseen, tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen tai jäähdytykseen tarkoituksenmukaisten sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi ja joissa tehdään maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan rakennus- tai toimenpideluvanvaraista korjaus- tai muutostyötä tai joiden käyttötarkoitusta muutetaan.”

Rakennusten energiatehokkuuden laskenta ja vaatimustenmukaisuus osoitetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman energiatehokkuutta määrittävien ohjeiden mukaisesti.

Tämä opinnäytetyö painottuu rakenteelliseen energiatehokkuuteen, joka sisältää rakennusvaipan johtumislämpöhäviön ja vuotoilmavirran eli vaipan ilmantiiveyden tarkastelun. Tarkastelut tehdään olemassa oleville rakenteille. Tarkastelun avulla pyritään löytämään suurimmat johtumislämpöhäviön aiheuttavat rakenteet, joiden peruskorjauksella kyettäisiin saamaan suhteellisesti parhain energiansäästö ja jotka olisivat myös helposti toteutettavissa käytännössä.

3.5.1 Lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot

Rakennuksen lämpöhäviö on rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviö voi olla enintään yhtä suuri kuin vertailuarvoilla määritetty vertailulämpöhäviö. Rakennuksen lämpöhäviöille asetettu vaatimus koskee erikseen rakennuksen lämpimiä ja puolilämpimiä tiloja.

Teollisuusrakennusten lämmöneristystasossa voidaan poiketa rakennusmääräysten edellyttämästä vähimmäistasosta, jos tuotantoprosessit aiheuttavat lämpökuorman, joka vastaa rakennuksen lämmitysenergiatarvetta. Vähimmäistasosta voidaan poiketa myös silloin, kun tuotantoprosessi aiheuttaa niin suuren lämpökuorman lämmityskauden ulkopuolella, että tilassa tarvitaan jäähdytystä.

Lämpimän tai jäähdytettävän kylmän tilan rakennuksen vaipan lämpöhäviön vertailuarvo on laskettava käyttämällä rakennusosien lämmönläpäisykertoimina seuraavia vertailuarvoja:

- ulkoseinä 0,17 W/(m²K)
- yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja 0,09 W/(m²K)
- ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkoja enint. 8 promillea alapohjan pinta-alasta) 0,17 W/(m²K)
- maata vasten oleva rakennusosa 0,16 W/(m²K)
- ikkunat, ovet, savunpoistoluukut, uloskäyntiluukut 1,0 W/(m²K).

Puolilämpimän tilan lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoina käytetään seuraavia vertailuarvoja:

- ulkoseinä 0,26 W/(m²K)
- yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja 0,14 W/(m²K)
- ryömintätilaan rajoittuva alapohja (tuuletusaukkoja enint. 8 promillea alapohjan pinta-alasta) 0,26 W/(m²K)
- maata vasten oleva rakennusosa 0,24 W/(m²K)
- ikkunat, ovet, savunpoistoluukut, uloskäyntiluukut 1,4 W/(m²K).

Ympäristöministeriön asetuksessa 4/13 (2013) rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä erotellaan kolme erilaista tapaa sen toteuttamiselle. Korjaushankkeeseen ryhtyvän on rakennus- tai

toimenpidelupasunnitelmissa esitettävä toimenpiteet, joilla energiatehokkuutta parannetaan rakennusosittain, järjestelmittain tai koko rakennuksesta. Jonkin osa-alueen tekemättä jättämistä voidaan kompensoida tekemällä toinen osa-alue määräysten mukainen vaatimustaso ylittäen.

Vanhan rakennuksen korjaus- ja muutostöissä käytetään rakennusvaipan lämmönläpäisykertoimien vertailuarvoina seuraavia lukuja:

- ulkoseinä: alkuperäinen U-arvo * 0,5, kuitenkin enintään 0,17 W/(m²K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo * 0,5, kuitenkin vähintään 0,60 W/(m²K) tai parempi.
- yläpohja: alkuperäinen U-arvo * 0,5, kuitenkin enintään 0,09 W/(m²K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo * 0,5, kuitenkin vähintään 0,60 W/(m²K) tai parempi.
- alapohja: energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.
- uusien ikkunoiden ja ulko-ovien on oltava vähintään 1,0 W/(m²K). Vanhoja korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.

3.5.2 Rakennusvaipan ilmanvuotoluku

Ilmanvuotoluvulla q_{50} tarkoitetaan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnin aikana rakennusvaipan neliometriä kohden paine-erossa 50 Pa. Rakennusvaipan pinta-ala määritetään kokonaismittojen mukaisesti.

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} laskennallinen vertailuarvo on 2 (m³/(h m²)). Jos ilmanvuotolukua ei ole mittauksin tai muulla soveltuvalla tavalla voitu osoittaa, käytetään q_{50} -arvona 4 (m³/(h m²)), joka on myös sallittu raja-arvo. Ilmanvuotoluku saa ylittää asetetun raja-arvon 4 (m³/(h m²)) jos rakennuksen käytöstä johtuvat rakenteelliset ratkaisut sitä vaativat.

3.5.3 Energiaa säästävän rakennuksen yleispiirteet

Energiaa säästävän rakennuksen rakentamiskustannukset ovat uudisrakennusten osalta arviolta 5 % korkeammat kuin tavanomaisen rakennuksen. Rakennuksen elinkaarikustannukset ovat kuitenkin arviolta 10–30 % alhaisemmat kuin tavanomaisen rakennuksen (KH 90-40073 2007, 3). Korkeampi rakentamiskustannus saadaan takaisin rakennuksen tehokkaalla toiminnalla, joka koostuu tehokkaista rakenteista, materiaaleista ja moderneista teknisistä järjestelmistä.

Hyvällä lämmöneristyksellä ja tiiveydellä saavutetaan tehokas vaipparakenne. KH 90-40073:n (2007, 8) mukaan energiatehokkaita lämmöneristyspaksuuksia ovat

- yläpohjassa 400–600 mm lämmöneristeestä riippuen
- ulkoseinissä 250–300 mm mineraalivillaa
- ulkoseinissä 180–200 mm polyuretaania
- alapohjassa 200–300 mm polystyreeniä.

Rakennuksen ilmanpitävyys on tärkeä osatekijä rakennuksen energiatehokkuudessa. Ilmanvuotoluku q_{50} kuvaa ilmatilavuuden vaihtumisen lukumäärää rakennuksen ulkovaipan läpi 50 Pa:n painerossa vaipan yli. Jokainen q_{50} -kokonaisluvun muutos vaikuttaa lämmöntarpeeseen keskimäärin 7 %. Tavanomainen arvo on 4,0 l/h, joten ilmanpitävyyden ollessa 1,0 l/h säästetään lämmöntarpeesta 21 %. (KH 90-40073 2007, 9.)

Talotekniikan osa-alueella on huomattava määrä erilaisia vaihtoehtoja energiatehokkaan rakennuksen saavuttamiseksi. Ilmanvaihtojärjestelmä ja lämmitysjärjestelmä ovat keskeisimmässä osassa. Vaihtoehtoja ovat:

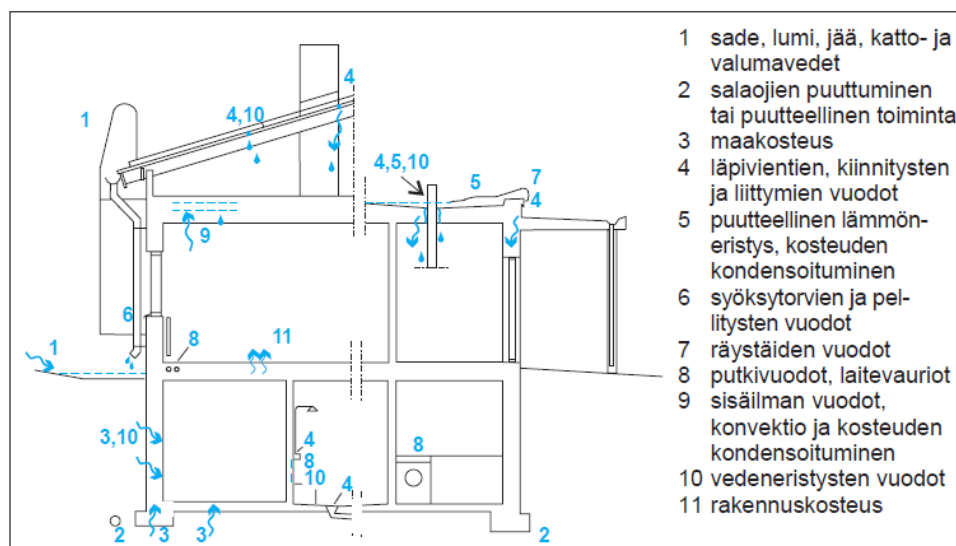
- lämmöntalteenotto poistoilmasta
- ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus
- tuloilman lämmitys ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla
- energiansäästölamput
- valaistuksen ohjaus
- lämpöpumput (maa, ilma, vesi). (KH 90-40073 2007, 10.)

Lisäksi teollisuusrakennuksissa tehokas energiaa säästävä tekninen ratkaisu on suurien ulko-ovien ilmaverhojärjestelmät. Ilmaverhoilla estetään oven avautuessa ulko- ja sisäilman sekoittuminen. Järjestelmä säästää lämmitysenergiaa ja parantaa sisäilmasto-olosuhteita vähentämällä vedon tunnetta ja lämpötilaeroja.

4 RAKENTEIDEN KOSTEUSTEKNINEN TOIMIVUUS JA RAKENNUSFYSIKKA

Rakennuksissa olevat vauriot voivat aiheutua esimerkiksi virheellisistä suunnitteluratkaisuista, rakennusvirheistä, liian suuresta kuormituksesta (kinostunut lumi katolla) tai mekaanisesta vauriosta. Rakenteiden vaurioitumiseen liittyy hyvin usein kosteuden tai vapaan veden pääsy rakenteeseen, mikä johtaa kosteusvaurioon. Toistuva kosteusrasitus aiheuttaa materiaalien homehtumista ja mikrobikasvustoja, jotka aiheuttavat sisäilman laadun heikkenemistä sekä rakenteen laadun, turvallisuuden ja terveellisyyden heikkenemisen. Kosteuden aiheuttamat vauriot rakennuksissa aiheuttavat rakennusten käyttäjille vakavia terveyshaittoja.

Rakennuksen ulkovaipan tarkoituksena on suojata sisätiloja ulkoilman kosteusrasitukselta, eristää lämpöä ja ääntä sekä toimia kantavana rakenteena. Ulkovaippaan kohdistuu sade- ja sulamisvesien aiheuttamaa rasitusta sekä maaperänkosteuden aiheuttamaa rasitusta. Ulkovaipan toimintakyvyn säilymiseksi tulee varmistua ulkopuolisten kosteusrasitusten aiheuttamien haittojen minimoimisesta. Ulkovaipan kosteusteknistä toimivuutta parannetaan usein rakenteessa olevalla tuuletusraolla. Lisäksi tulee varmistua rakenteen kuivumiskyvystä.



Kuva 1.
 Yleisiä rakennuksen kosteuden lähteitä ja vaurioriskejä.

Kuva 3. Rakennuksen kosteuden lähteitä (RT 80-10712 1999, 4).

Rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta säädetään ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017).

4.1 Rakenteiden rakennusfysikaaliset toimintakriteerit

Rakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu on olennainen osa uusien ja vanhojen rakennusten korjaussuunnittelua. RIL 255-1-2014:n mukaan rakennusfysikaalisella suunnittelulla vaikutetaan rakenteiden toimintaan ja rakennuksen ominaisuuksiin ja olosuhteisiin. Rakennusfysikaalisilla toimintakriteereillä ja niihin liittyvillä mitattavilla ja/tai laskennallisesti todennettavilla suureilla voidaan kuvata rakennuksen ja rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Hyväksyttävän toimivuuden ehtona voidaan usein asettaa toimintakriteeriä kuvaavalle suurelle raja-arvo. Rakennusfysikaalista varmuuskerroinajattelua voidaan soveltaa näihin liittyvissä rakennusfysikaalisissa laskelmissa ja hyväksyttävien raja-arvojen asettamisessa.

RIL 255-1-2014:n (24) toimintakriteerit voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen:

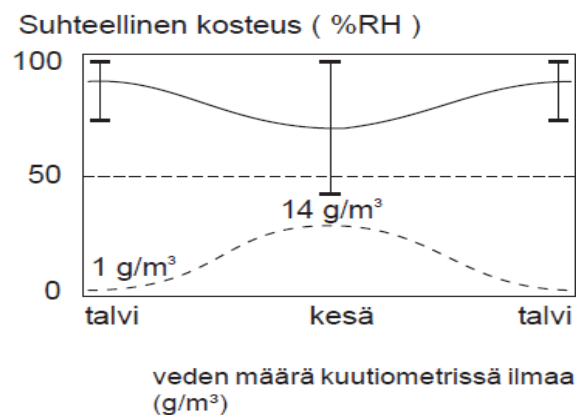
- rakennuksen kokonaistoiminta ja sisäilmasto
 - energiankulutus
 - sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteet
 - kriittiset suhteelliset kosteudet
 - vedon tunne ja sisäpintojen lämpötilat
 - materiaalien emissiot
 - haitallisten aineiden pitoisuudet sisäilmassa

- rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toimivuus
 - kosteuden kondensoituminen
 - homeen ja mikrobien kasvu
 - liimojen ja maalien tartunnan pettäminen
 - rakenteiden lämpötilamuodonmuutokset
 - rakenteiden kosteudenmuodonmuutokset

- rakenteiden ja materiaalien säilyvyys, joihin vaikuttavat lämpö- ja kosteustekniset rasitukset
 - betonin karbonatisoituminen ja betonirauotteiden ruostuminen
 - metallien korrosio
 - materiaalien ja rakenteiden lujuuden heikkeneminen
 - eloperäisen materiaalin lahoaminen
 - materiaalien värimuutokset ja maalipinnan hilseily.

4.2 Ilman kosteus

Ilman kosteuspitoisuuden määrä voidaan ilmoittaa vesihöyryn määränä (g/m^3), vesihöyryn osapaineena (Pa) tai ilman suhteellisenä kosteutena (RH%). Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn määrän suhdetta ilman lämpötilaa vastaavaan kyllästyskosteuteen. Ulkoilman suhteellinen kosteus on talviaikana suurempi kuin kesäaikana, mutta talviaikana ilman sisältämä kosteuden määrä (g/m^3) on alhaisempi kuin kesällä. Auringon säteilyn vaikutuksesta ilman suhteellisen kosteuden vaihtelut ovat kesäaikana suurempia kuin talviaikana.



Kuva 4. Ilman kosteuden vaihtelu eri vuodenaikoina RT 05-10710 (1999, 2).

Kyllästyskosteus on se vesihöyryn määrä, joka tietyssä ilman lämpötilassa voi tiivistymättä nesteeksi enintään olla. Lämmin ilma sisältää enemmän vesihöyryä kuin kylmä ilma.

Huoneilman (sisäilman) kosteuden määrään vaikuttavat ulkoilman kosteus, sisätilojen kosteudentuotto ja ilmanvaihto. Sisätilojen kosteuden tuotolle on annettu ohjearvoja, jotka riippuvat tilojen käyttötarkoituksesta. Taulukossa 6 on esitetty RIL 107-2012 mukaisia kosteuslisiä erilaisille rakennuksille.

Taulukko 6. Kosteuslisät rakennuksien sisäilmassa (RIL 107-2012; Knuutila 2017a).

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talvella ($T \leq 5 \text{ °C}$)	Rakennustyyppi ^{3,4}
1	$> 5 \text{ g/m}^3$ ¹¹	Kylpylät, uimahallit, laitoskeittiöt, pesulat, panimot, kirjapainot, kasvihuoneet, kostutetut tilat, ratsastusmaneesit, maatalouden tuotantorakennukset, eläinsuojat, teollisuuden kosteusrasitetut tilat
2	5 g/m^3	Asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset, hotellit ja majoitusrakennukset, ravintolat, kokoontumis- ja juhlatilat, opetusrakennukset ja päiväkodit, sairaalat ja hoitolaitokset, museot, liikuntahallit ja -tilat, jäähallit ja jäähdytetyt liikuntatilat ^{15,16} , kylmä- ja pakkahuoneet ^{15,16} , talviasuttavat vapaa-ajan asunnot
3	3 g/m^3 ¹²	Vapaa-ajan asunnot, puolilämpimät tai kylmillään olevat rakennukset, varastot ja säilytystilat, ajoneuvosuojat, tekniset tilat, väliaikaiset ja siirrettävät rakennukset

4.3 Vesihöyryn diffuusio

Diffuusiosta ilman sisältämä vesihöyry pyrkii tasoittumaan suuremmasta pitoisuudesta pienempään pitoisuuteen eli suuremmasta osapaineesta pienempään osapaineeseen (RT 05-10710 1999, 1).

Rakennuksen ulkovaippaa rasittaa sisäpuolelta sisäilman sisältämä kosteus. Kosteus pyrkii tasaantumaan diffuusion avulla kylminä vuodenaikoina ulkoilmaan vaipparakenteen läpi. Tämä johtuu siitä, että sisäilman suurempi vesihöyryn määrä eli suurempi vesihöyryn osapaine pyrkii tasaantumaan ulkoilman pienemmän vesihöyryn osapaineen kanssa. Rakenteet suojataan vesihöyryn diffuusiolta höyrynsulun avulla ja konvektiolta ilmansulun avulla. Vesihöyryn diffuusion- ja ilmansulkuna toimii usein sama materiaalikerros. (RIL 255-1-2014, 39–41.)

4.4 Konvektio ja rakenteen sisäinen konvektio

Konvektio on huokoisten ja hyvin ilmaa läpäisevien materiaalien ja rakennusvaipassa olevien rakojen kautta tapahtuvaa ilman virtausta. Rakennusvaipan eri puolilla vallitseva kokonaispaine-ero synnyttää virtauksia rakenteiden läpi. Sisäilman kosteutta voi kulkeutua vaipparakenteisiin konvektiovirtausten mukana. Konvektion syntymistä pyritään hallitsemaan rakenteessa olevan ilmansulkukerroksen avulla. (RT 05-10710 1999, 2–3.)

Avohuokoisissa lämmöneristeissä kuten lasi- ja kivivillaeristeiden sisällä voi esiintyä ilmavirtauksia. Ilmiötä kutsutaan rakenteen tai materiaalin sisäiseksi konvektioksi. Sisäistä konvektiota aiheuttavat tyypillisesti lämpötilaerot, mutta myös tuuli voi aiheuttaa tai voimistaa virtauksia. Sisäinen konvektio heikentää lämmöneristeiden lämmöneristyskykyä ja vaikuttaa rakenteen kosteustekniseen toimintaan keräämällä kosteuskertymiä ilmavirtauksen alueille. (RIL 255-1-2014, 47.)

Sisäisen konvektion riski lisääntyy, kun lämmöneristeellä on hyvä ilmanläpäisykyky ja yhtenäisen lämmöneristekerroksen paksuus kasvaa. Konvektion syntymisen riskiä voidaan rajoittaa käyttämällä tiheämpää lämmöneristettä ja pienentämällä yhtenäisen eristekerroksen paksuutta eristekerrokseen asennettavan ilmansulkukalvon avulla. (RIL 255-1-2014, 47.)

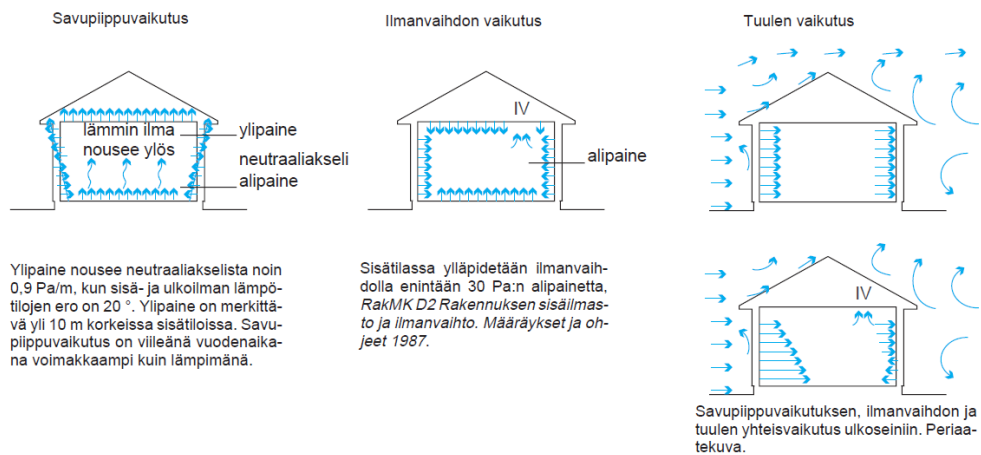
4.5 Paine-erot rakenteen yli

Paine-ero syntyy sisä- ja ulkoilman välille tuulen, lämpötilaerojen ja ilmanvaihdon vaikutuksista. Kun rakennusvaippa on tasatiivis ja sisäilman lämpötila on tasainen, lämpötilaeroista aiheutuva neutraaliakseli sijaitsee yhtenäisen sisäkorkeuden puolivälissä. Ilmanvaihto ja tuuliolosuhteet vaikuttavat paine-eron suuruuteen ja jakautumiseen, joten myös neutraaliakseli mukautuu olosuhteiden mukana. Yläpohjarakenteissa lämpötilaeron aiheuttama paine-ero on samansuuruinen kuin seinän yläosassa. Yläpohjan ollessa harjan muotoinen vaikuttaa suurin paine-ero harjan kohdalla. (RIL 255-1-2014, 70–72.)

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä, painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto, synnyttävät rakennuksen sisälle alipaineen. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto säädetään synnyttämään rakennuksen sisälle vähäisen alipaineen, joka on suuruudeltaan noin 5 Pa. Paine-erolla pyritään tällöin hallitsemaan sisäilman sisältämän vesihöyryn pääsyä rakennusvaippaan eli estämään diffuusiota ja konvektiovirtausten syntymistä. (RIL 255-1-2014, 70–72.)

Olosuhteessa, jossa sisätilassa vallitsee ylipaine ja rakenteen ilmansulussa on vuotokohtia, ilmanpaine-erosta aiheutuva ilmavirtaus sisätilasta ulkoilmaan kuljettaa mukanaan vesihöyryä. Kylmänä vuodenaikana vesihöyry voi kondensoitua (tiivistyä) vedeksi rakenteen kylmässä osassa.

Yleensä sisätilan ylipaineelle herkin rakennusosa on yläpohja, koska sisätilassa lämpimämpi ilma nousee ylös ja viileämpi ilma laskeutuu alas. Lämmin ilma rakennuksen yläosassa aiheuttaa paine-eron kasvun ulkotilaan, esimerkiksi yläpohjan tuuletustilaan, nähden. Paine-ero pyrkii tasoittumaan vuotokohtien kautta.



Kuva 5. Rakennuksen sisäisiä paine-eroja (RT 05-10710 1999, 3).

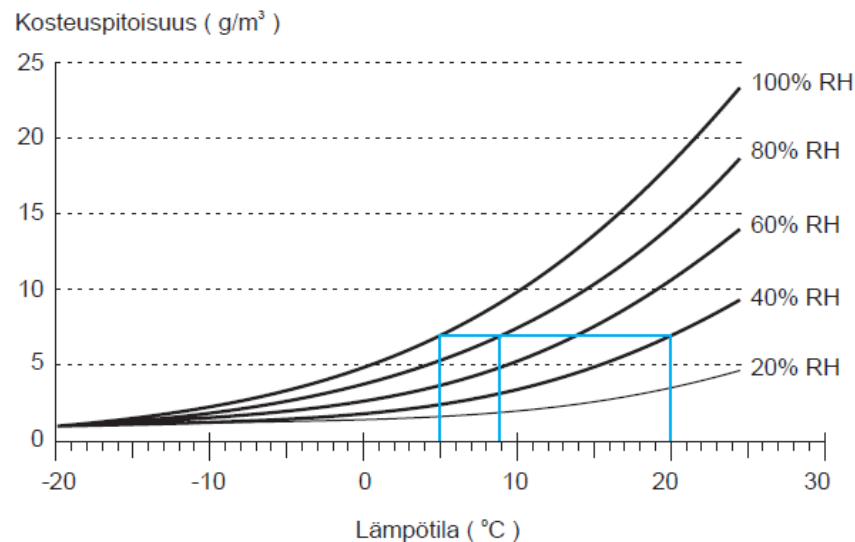
4.6 Kosteuden kondensoituminen

Tietyssä lämpötilassa, kastepisteessä, ilma voi sisältää enintään tietyn määrän vesihöyryä. Tätä vesihöyry- eli kosteusmäärää kutsutaan kyllästyskosteudeksi. Kyllästyskosteus on riippuvainen ilman lämpötilasta siten, että mitä korkeampi lämpötila, sitä suurempi on kyllästyskosteus. Ilma jäähtyy koskettaessaan kylmää materiaalin pintaa. Jos pinnan lämpötila on alle kastepistelämpötilan, se aiheuttaa ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymisen vedeksi materiaalin pinnalle. Tiivistymisreaktio on sama myös huokoisten materiaalien sisällä. Huokosten sisällä oleva huokosilman vesihöyry tiivistyy viileän huokosseinämän pinnalle. (RIL 255-1-2014, 59.)

Rakenteen sisäinen kosteudentiivistyminen materiaalien rajapinnassa on vähäisempää, jos materiaaleilla on tiivis kontaktipinta. Tällöin kapillaarisempi materiaali kykenee imemään itseensä osan lisääntyneestä kosteudesta. Kosteuden tiivistymistä kasvattavat tiiviit pinnat kuten metalli. (RIL 255-1-2014, 59.)

Tilanteessa, jossa materiaalien välillä ei ole tiivistä kontaktia, tiiviiseen pintaan tiivistyy vettä, vaikka toinen materiaaleista olisikin kapillaarinen tai hygrooskooppinen. Rajapintaan tiivistyvä kosteus saattaa myös valua painovoiman vaikutuksesta rakenteen alaosiin ja synnyttää kosteuskertymiä. Kun rajapinnan lämpötila laskee alle +0 °C:n, voi tiivistyvä kosteus muuttua jääksi, eikä se pääse imeytymään kapillaarisempaan materiaaliin. Kapillaarisessa materiaalissa kapillaarinen kosteudentiivistyminen toimii yleensä kaikissa

lämpöolosuhteissa. Useimmissa rakenteissa tapahtuu hallitsematonta kosteuden tiivistymistä. Tiivistyminen on riippuvainen ympäristön olosuhteista, joten sitä tapahtuu usein vain hetkellisesti. (RIL 255-1-2014, 59.)



Kuva 1.

Ilmassa olevan vesihöyryn määrä ilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan, periaatekuva. Tässä kuvassa esitetään värillisellä viivalla esimerkki suhteellisen kosteuden käyrästä käytöstä. Siitä voidaan nähdä rakennusosan likimääräinen lämpötila, jossa vesihöyry kondensoituu. Esimerkissä ilman lämpötila on 20 °C ja suhteellinen kosteus on 40 %. Vesihöyry kondensoituu aineen pinnalle tai sen sisään, kun sen lämpötila on noin 5 °C. Kun aineen suhteellinen kosteus on 80 % ja lämpötila n. 9 °, siinä voi kasvaa mikrobeja. Ilman kyllästyskosteus (vesihöyryn kyllästyspaine ja -pitoisuus) ilman lämpötilan mukaan esitetään Suomen Rakennusinsinöörien julkaisussa RIL 155 Lämmön- ja kosteudeneristys. Lähde: Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen kuntotutkimus. Ympäristöministeriö. Ympäristöopas 28.

Kuva 6. Ilman sisältämän vesihöyryn tiivistymispisteiden kuvaaja (RT 05-10710 1999, 2).

Kuvaajan esimerkki olosuhteen lämpötilassa 20 °C ilman kyllästyskosteuden arvo (kriittinen vesihöyry pitoisuus) on 17,28 g/m³, kun ilman suhteellinen kosteus RH on 100 %. Kun RH on 40 %, on todellinen vesihöyryn määrä silloin $0,40 \cdot 17,28 \text{ g/m}^3 = 6,91 \text{ g/m}^3$. Kuvaajan esittämän kondensoitumista aiheuttavan lämpötilan 5 °C kyllästyskosteuden arvo on 6,84 g/m³, kun RH on 100 %, mikä vastaa laskettua todellista vesihöyrypitoisuutta. Tämä vastaavuus tarkoittaa, että ilman sisältämä vesihöyry tiivistyy vedeksi. (Knuutila 2017b.) Edellisen esimerkin myötä voidaan kuvaajaa hyödyntää likimääräisesti arvioitaessa mahdollista kondensoitumisolosuhtetta, kun ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus tunnetaan. Kuvaaja ei huomioi kondensoitumiseen vaikuttavia muita tekijöitä kuten materiaali-kerroksia ja vesihöyryn sulkua rakenteen sisäpinnassa.

4.7 Kosteus- ja mikrobivauriot

Mahdolliset kosteusvauriot ja niiden riskirakenteet selvitetään kiinteistön kuntoarviossa lähtötietoihin ja kiinteistötarkastukseen perustuen. Jos kuntoarviossa löydetään kosteusvaurioituneita rakenteita tai on epäily kosteusvaurioituneesta rakenteesta, tulee myöhemmin tehdä jatkotutkimuksia tulevia korjaussuunnitelmia varten.

Kosteus- ja mikrobivauriotapauksissa rakenteet ja niiden korjaukset tulee suunnitella niin, että ne ovat kosteusteknisesti toimivia ja kestävät luotettavasti suunnitellun käyttöiän. Ratkaisuissa tulisi pyrkiä siihen, että satunnaiset kosteusvauriot eivät aiheuta rakenteen kastumista laajasti eivätkä aiheuta laajoja vaurioita. Korjausten yhteydessä varmistetaan ilmanvaihdon toimivuus ja sen vaikutukset rakenteille. (RT 80-10712 1999, 1.)

Kosteusvauriota voidaan epäillä, jos rakennuksen käyttäjillä on silmien, ihon ja hengitysteiden ärsytystä ja tulehduksia, kuumeilua, astmaa ja allergioita (myös muita terveyshaittoja voi esiintyä). Mikrobivauriot voivat merkittävästi heikentää sisäilman laatua. Rakennusosissa olevan mikrobikasvun itiöitä ja hajuja voi kulkeutua sisäilmaan rakennusvaipassa olevien vuotojen kautta. Sisätilojen ilmanvaihto ja paine-erot kuljettavat epäpuhtauksia rakennuksen sisällä. Suurimmat itiömäärät esiintyvät usein silloin, kun rakenne kuivuu. Voimakkaimmat hajut esiintyvät usein silloin, kun mikrobikasvusto kasvaa. Laajat ja vakavat mikrobiongelmat voivat estää kokonaisen rakennuksen käytön. (RT 05-10710 1999, 6.)

Home- ja mikrobikasvusto alkavat kasvaa ilman suhteellisen kosteuden ollessa yli 70 % ja lämpötilan yli +0 astetta. Organiset aineet kuten puu tai kipsilevyn pinnoituspahvi ovat suotuisia kasvustojen kasvualustoja, mutta muutkin materiaalit soveltuvat kasvualustaksi. Kun ilman suhteellinen kosteus on yli 90 %, lämpötila noin +20 astetta ja kasvualusta suotuisa, on home- ja mikrobikasvustojen kasvu nopeimmillaan. Mikrobikasvustoilla on tyypillisesti kyky taantua lepotilaan olosuhteiden huonontuessa niiden kasvun kannalta ja vastaavasti herätä uudelleen kasvuun, kun olosuhteet ovat taas suotuisat. (RT 05-10710 1999, 6.)

Materiaalien homehtumisherkkyys voidaan luokitella seuraavasti (RIL 255-1-2014, 61):

hyvin herkkä HHL1

karkeasahattu ja mitallistettu mänty ja kuusi puutavara, höylätty mänty

herkkä HHL2

höylätty kuusi, paperipohjaiset materiaalit, puupohjaiset levyt, kipsilevy

kohtalaisen kestävä HHL3

mineraalivillat, muovipohjaiset materiaalit, kevytbetoni, kevytsorabetoni, karbonatisoitunut vanha betoni, sementtipohjaiset tuotteet, tiilet

kestävä HHL4

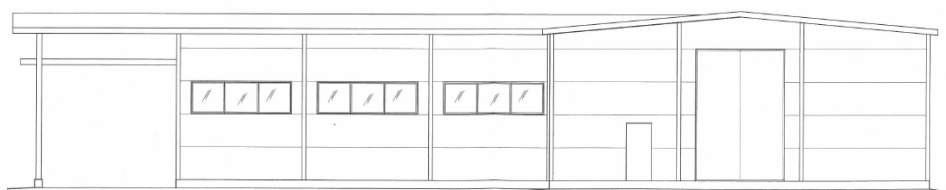
lasi ja metallit, alkalinen uusi betoni, tehokkaita homesuoja-aineita sisältävät materiaalit.

Yleensä home kasvaa materiaalien pinnoilla, mutta avohuokoisilla lämmöneristeillä home voi kasvaa myös lämmöneristeiden sisällä materiaalin huokosissa. Avohuokoisen materiaalin homehtuessa voi homekasvun kokonaismäärä olla huomattavasti suurempi kuin materiaaleissa, joissa home kykenee kasvamaan ainoastaan materiaalin pinnalla. (RIL 255-1-2014, 63.)

5 KOHDEKIINTEISTÖN RAKENTEIDEN TUTKIMUS JA KORJAUKSEN ESISUUNNITTELU

Opinnäytetyön esimerkkikohte on teollisuushalli Varsinais-Suomessa. Kiinteistö käsittää kolme teollisuuskäytössä olevaa tuotantorakennusta ja autokatoksen. Tontti on pinta-alaltaan 6500 m² ja se sijaitsee kaava-alueella. Kiinteistön rakennuskanta on rakennettu neljässä eri vaiheessa. Tässä työssä käsitellään L-muotoisen teollisuushallin rakenteita ja syvennytään sandwich-ulkoseinärakenteen toimintaan ja peruskorjaukseen.

Kiinteistön omistajalla on lähitulevaisuudessa tarkoituksena rakentaa uusi tuotantotila olemassa olevaa rakennusta laajentaen. Laajennuksen yhteydessä myös olemassa olevia rakennuksia aiotaan peruskorjata. Kohderakennus on rakennettu kahdessa osassa, joista ensimmäinen on valmistunut vuonna 1989 ja toinen osa vuonna 2001. Kiinteistö toimii teräsrakenteita valmistavan yrityksen toimitilana.



KOILLISEEN

Kuva 7. Kohdekiinteistö 2001. PLH Oy 2018.

Kiinteistön rakennusten rakenteet ovat tyypillisiä teollisuus- ja tuotantorakennuksille. Runkojärjestelmänä on pilari-palkkirunko, minkä varaan on rakennettu sandwich-elementeistä ulkoseinät ja vesikattorakenteet. Käsiteltävässä kohdekiinteistössä on käytetty kolmentyyppisiä elementtejä, joiden tekniset ominaisuudet poikkeavat hieman toisistaan. Käytetyt elementtityypit ovat Paroc 150 pelti-villa-peltielementti, Isora 150- ja 175-

pelti-polystyreeni-peltielementti ja EKE k-105 -pelti-polyuretaani-peltielementti. Paroc 150 poikkeaa ominaisuuksiltaan kahdesta muusta elementtityypistä alemmalla U-arvolla, mutta vastaavasti paremmalla palonkestävyydellään. Rakennusten rakennusluvan mukainen paloluokka on P3.

Rakennusten kantavat rakenteet on perustettu anturoiden varaan ja alapohja on toteutettu maanvaraisena lämmöneristettynä teräsbetonilaatana. Ulkoseinäelementtien perustuksena toimivat teräsbetoniset sokkelpalkit, jotka tukeutuvat anturoihin. Sokkelipalkeissa on toteutettu sokkelihalkaisu 30 mm:n Finnfoam-lämmöneristeellä.

Rakennukset on salaojitettu, mutta kattosadevesien viemärintijärjestelmää ei ole rakennettu. Katto- ja pintasadevedet johdetaan tontilla oleviin ojiin maanpinnan kallistuksilla.

Korjauksen tavoitteet ja lähtökohdat:

Kohdekiinteistössä ulkoseinäelementtien ulkopuolisella lisälämmönerityksellä pyritään saavuttamaan seinärakenteelle pienempi johtumislämpöviö ja parempi ilmantiiveys. Lisäksi sen avulla saadaan hallittua rakenteeseen kohdistuvia kosteusrasituksia ja mahdollisesti parannetaan seinäelementtien pitkäaikaiskestävyyttä. Lämpötilan nousu lisälämmöneristetyssä rakenteessa osaltaan vähentää kosteuden kondensoitumista elementin ulkopinnan vyöhykkeelle. Lisäksi sen avulla pyritään vähentämään elementin ulkopinnalla tapahtuvaa lämpötilan syklittäistä vaihtelua, materiaalien lämpöliikkeitä ja jäätymis-sulamisrasitusta.

Rakenteeseen kerääntyvän kosteuden kuivumisen mahdollisuudesta tulee varmistua mahdollista lisälämmöneristystä asennettaessa. Lisälämmöneristykseen ulkopuolelle jätetään vähintään 25 mm:n alhaalta ylös tuuletettava tuuletusrako. Tuuletusraon riittävä tuulettavuus tulee tarkastaa erikseen. Tuuletusrako estää tehokkaasti kosteuden siirtymisen ulkopuolelta rakenteeseen. Ulkopintaan asennetaan rakennuksen ulkonäköön soveltuva ja hyvin sääolosuhteita kestävä julkisivumateriaali, esimerkiksi peltiverhoilu.

Kohdekiinteistön omistajalla on tarkoituksena lähitulevaisuudessa rakentaa uusi tuotantotila vuonna 2001 valmistuneen rakennuksen jatkoksi. Uudessa rakennuksessa tulee olemaan paksummat seinäelementit U-arvotason vaatimuksen täyttämiseksi. Vanhan ja uuden rakenteen julkisivulle halutaan yhtenäinen ilme, joten tulevan rakennuksen ulkoseinäelementin ulkopinta määrittelee osaltaan vanhojen seinien lisälämmöneristykseen paksumman ja uuden ulkoverhouksen.

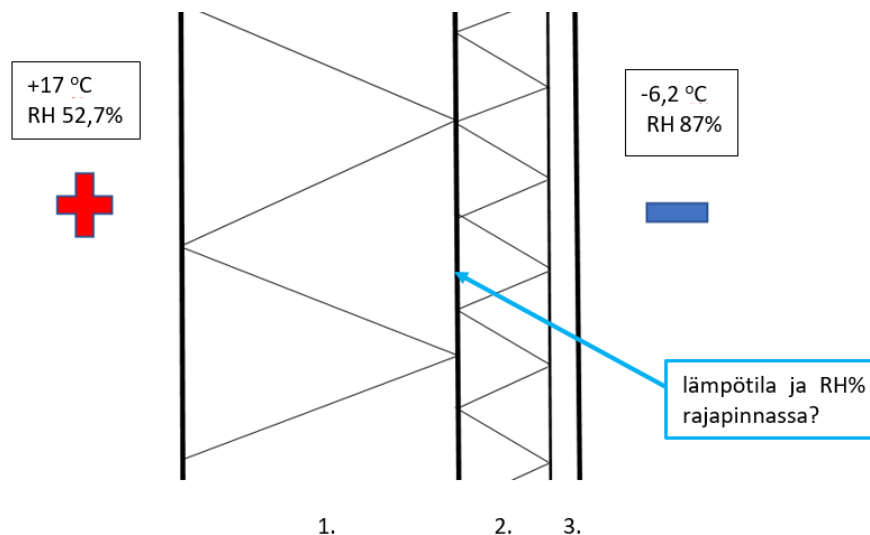
Uuden rakennuksen ulkoseinien elementtityypeiksi soveltuisivat Thermisol 225 mm:n elementti ja Parocin 240 mm:n elementti. Paroc-elementtien käyttö uudessa rakennuksessa antaisi mahdollisuuden paksumman lisälämmöneristykseen asentamiselle vanhoihin ulkoseinäelementteihin.

Paroc-elementillä saavutetaan myös parempi palonkestävyys. Molemmat elementtityypit täyttävät U-arvo vaatimuksen.

Liitteessä 3 on esitetty kohteen rakenteista riskiarviointi, jonka perusteella laaditaan esisuunnitteluvaiheen korjaussuunnitelma.

5.1 Lämpö- ja kosteustase, rakenteen suhteellisen kosteuden tulokset

Seinäelementtien Paroc 150 ja Isora 150 ulkopinnan lämpötilaa tarkasteltiin rakenteen tasapainotilan diffuusiolaskelmilla. Laskelmat tehtiin seinärakenteille ilman lisälämmöneristystä ja erilaisilla lisälämmöneristyvaihtoehdoilla. Käsitellyt rakenneratkaisut esitetään alla olevassa taulukossa. Laskelmien ilmasto-olosuhteena käytetään keskimääräisiä vuoden kylmimmän kuukauden olosuhteita Turun alueella. Ilmasto-olosuhteet ovat taulukoituja arvoja T_m 1961...1990 (RIL 107-2000, Taulukko 1.5).



Rakenneosat:

- 1. olemassa oleva ulkoseinärekenne; Paroc 150 tai Isora 150 sandwichelementti (teräsohutlevy-lämmöneriste-teräsohutlevy)
- 2. ulkopuolinen lisälämmöneriste
- 3. ulkopuolinen vertikaalinen tuuletusrako ja julkisivumateriaali

Kuva 8. Laskelmien rakennemalli (Koskenoja 2018).

Taulukossa 7 esitetään tasapainotilan diffuusiolaskelmien tuloksia. Taulukossa kuvaillaan rakenne, elementin ulkopinnan lämpötila ja elementin ulkopinnan suhteellinen kosteus RH%. Kuvassa 8 esitetään rakennemalli laskelmille, joissa ulkopuolinen lisälämmöneristysmateriaali ja paksuus vaihtelevat (rakennemallin numeroitu osa 2.). Rakennemallissa on myös kuvailtuna olosuhde (lämpötilat ja suhteellinen kosteus), jossa laskelmat on suoritettu.

Taulukko 7. Laskelmien tulokset (Koskenoja 2018).

seinäelementti	lisälämmöneristys; materiaali ja paksuus	elementin ulkopinnan lämpötila °C	elementin ulkopinnan kosteus RH%
Paroc 150	ei ole	-5,9 °C	100 %
Isora 150	ei ole	-6,0 °C	100 %
Paroc 150	polyuretaani 50 mm	+2,0 °C	95 %
Isora 150	polyuretaani 50 mm	+0,3 °C	100 %
Paroc 150	polyuretaani 70 mm	+3,1 °C	88,3 %
Isora 150	polyuretaani 70 mm	+3,0 °C	88 %
Paroc 150	mineraalivilla 50 mm	-0,4 °C	100 %
Isora 150	mineraalivilla 50 mm	-1,8 °C	100 %
Paroc 150	XPS 70 mm	+3,0 °C	88,4 %
Isora 150	XPS 70 mm	+1,1 °C	100 %
Paroc 150	XPS 100 mm	+3,3 °C	88 %
Isora 150	XPS 100 mm	+3,1 °C	88 %

Polyuretaanilisälämmöneristyksillä 70 mm ja XPS 100 mm saavutetaan noin +3,0 °C:n lämpötilaolosuhteet vanhan ulkoseinärakenteen ulkopinnassa molemmilla elementtityypeillä. Suhteellisesti tehokkaampi lisälämmöneristysvaihtoehto on 70 mm:n polyuretaani, joten tarkastellaan saatuja lämpötilan ja RH:n arvoja kastepisteen muodostumisen kannalta yksinkertaistetusti perustuen taulukoituihin kyllästyskosteuden ja sitä vastaavien lämpötilojen arvoihin. (Knuutila 2017b.)

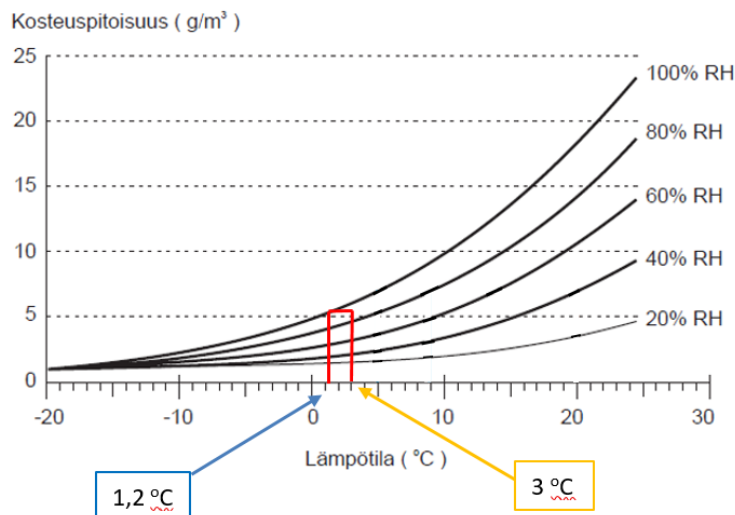
Isora-elementin ulkopinnan lämpötilan ollessa +3,0 °C on lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus (kriittinen vesihöyrypitoisuus) 5,98 g/m³, kun RH on 100 %. Suhteellisen kosteuden ollessa 88,4 % on todellinen lämpötilaa vastaava kosteuden määrä 5,29 g/m³. Kosteusmäärää vastaava kyllästyskosteuden arvo täyttyy lämpötilan ollessa 1,2 °C, jolloin tämä lämpötila toimii kastepisteenä kyseisissä olosuhteissa. Vastaavassa olosuhteessa laskettu vesihöyryn osapaine on 673 Pa, joka vastaa ilman lämpötilan 1,25 °C kriittistä osapainetta, kun RH on 100 %. Tästä voidaan päätellä, että lasketuilla arvoilla +3,0 °C ja RH 88,4 % ei rakenteessa tapahdu kosteuden tiivistymistä. Mahdollisten rakenteessa olevien paikallisten kylmäsiltojen alueella kyseisessä olosuhteessa voidaan olettaa tapahtuvan paikallista kosteuden tiivistymistä alentuneen paikallisen lämpötilan vuoksi.

Kun mietitään vaihtoehtoisena eristratkaisuna 70 mm:n XPS-lämmöneristettä (saavutetaan samat dimensiot rakenteelle), on Isora-elementin ulkopinnan lämpötila +1,1 °C. Tällöin lämpötilaa vastaava kyllästyskosteus on 5,24 g/m³, kun RH on 100 %. Vastaavassa olosuhteessa laskettu vesihöyryn osapaine on 673 Pa, joka vastaa ilman lämpötilan 1,25 °C osapainetta, kun RH on 100 %. Tästä voidaan päätellä, että lasketuilla arvoilla rakenteessa tapahtuisi kosteuden tiivistymistä.

Tarkastetaan edellinen päätelmä Isora-elementille luvussa 7.6 Kosteuden kondensoituminen sivulla 22 esitetyllä kuvaajalla *Kondensoitumisen tarvitsemat lämpötilat*:

Isora 150 + 70 mm -polyuretaanieriste. Olosuhteena elementin ulkovoikyöhykkeen lämpötila +3 °C ja RH 88,4 %, joille luetaan kuvaajasta vastaava kastepistelämpötila.

Taulukko 8. Lämpötilaa vastaava tiivistymispiste rakenteessa (Koskenoja 2018).



Kuvaaja ilmoittaa vastaavan kastepistelämpötilan 1,2 °C kuten kriittisten vesihöyrypitoisuuksien ja vastaavien lämpötilojen taulukoidut arvotkin.

Tulosten tulkinta

Tulosten perusteella Isora-elementin parempi lämmöneristyskyky vähentää lämpövirtaa sisältä ulos ja näin laskee elementin ulkovoikyöhykkeen lämpötilaa erilaisista lisälämmöneristyksistä huolimatta. Tulosten mukaan lämpötilan nousu elementin ulkovoikyöhykkeellä alentaa myös siellä esiintyvää suhteellista kosteutta. Lämpötilan noustessa huokosilman vesihöyrykapasiteetti kasvaa, jolloin kriittinen kosteus ja kondenssin muodostuminen vähenevät. Myös teräsohutlevyn ja ulkovoikyöhykkeen lämmöneristämateriaalin pintalämpötilat nousevat, jolloin kondensoitumisen tarvitsema viileä materiaalin pinta lämpenee. Laskelmien pohjalta 70 mm:n polyuretaanilisälämmöneristys olisi edellä mainituista toimivin vaihtoehto nostaten molempien elementtityyppien ulkopinnan lämpöolosuhteita keskimääräisissä ulkoilman olosuhteissa tietyllä sisäilman vesihöyryn lisällä (esimerkkiolosuhde). Paroc 150 -lisälämmöneristäminen polyuretaani 70 mm -eristeellä nostaa ulkopinnan lämpötilaa 9,0 °C ja Isora 150 ulkopinnan lämpötilaa 8,9 °C. Vaihtoehtoisesti Paroc 150 -lisälämmöneristäminen XPS 70 mm -eristeellä nostaa ulkopinnan lämpötilaa 8,9 °C ja Isora 150 ulkopinnan lämpötilaa 7,3 °C. Liitteessä 4 on esitetty laskentapohja ja lämpö-

ja kosteustaselaskelmat molemmille elementtityypeille 70 mm XPS -lisälämmöneristyksellä.

Seinärakenteen lisälämmöneristyksen toteuttamisen taloudellisuuden perusteella jatkossa tässä työssä käsitellään ainoastaan XPS-lämmöneristevaihtoehtoja, koska XPS- ja polyuretaanituotteiden välillä on huomattava hintaero (euroa/m²), mikä vaikuttaa korjaustoimenpiteen kokonaiskustannukseen ja takaisinmaksuaikaan merkittävästi.

5.2 Lämpö- ja kosteustase, rakenteen suhteellisen kosteuden jakauma

Seinärakenteen suhteellisen kosteuden jakautuminen rakenteen sisällä riippuu sisä- ja ulkolämpötilasta, ulkoilman suhteellisesta kosteudesta, sisäilman suhteellisesta kosteudesta sekä rakenteen materiaalien ominaisuuksista, joita ovat lämmönjohtavuus ja vesihöyrynvastus. Seinärakenteen RH-jakauman laskenta on neljävaiheinen. Vaiheiden järjestys on

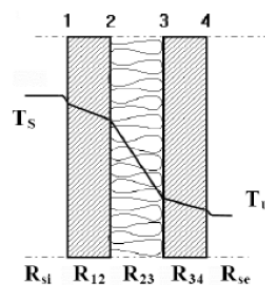
- rakenteen sisäinen lämpötilajakauma
- kriittisen vesihöyrynsapaineen määrittäminen
- rakenteen sisäinen vesihöyryn osapaineen jakauma
- rakenteen sisäinen RH-jakauma.

Seinärakenteen lämpötilajakauman määrittäminen:

Rakenteen sisäisen lämpötaseen avulla saadaan ratkaistua lämpötila yksittäisessä pisteessä, kuten kahden materiaalin rajapinnassa. Tasapainotilanteessa lämpötilajakauma muuttuu materiaalikerrosten lämmönvastusten suhteessa. Jokaiselle materiaalikerrokselle määritetään oma suhteellinen lämmönvastus. Seinärakenteen sisä- ja ulkopinnalla on omat pintavastuksensa.

Rakenteen lämpötilat

Rakenteen lämpötilajakautuma voidaan laskea, kun tunnetaan ainekerrosten lämmönvastukset ja pintavastukset sekä sisä- ja ulkolämpötilat T_s ja T_u .



Lämpötilat rajapinnoissa i :

$$T_1 = T_s - \frac{R_{si}}{R_T} (T_s - T_u)$$

$$T_2 = T_s - \frac{R_{si} + R_{12}}{R_T} (T_s - T_u)$$

$$T_n = T_s - \frac{R_{si} + R_{12} + \dots + R_n}{R_T} (T_s - T_u)$$

Ainekerroksissa rajapintojen välillä lämpötilan oletetaan muuttuvan lineaarisesti

Rakenteen lämmönvastus:

$$R_T = R_{si} + R_{12} + R_{23} + \dots + R_{se} ; \quad R_{12} = d_{12}/\lambda_{12} \quad \text{jne.}$$

Kuva 9. Lämpötilajakauma (Knuutila 2017b, 12).

Taulukossa 9 esitetään laskelmissa käytettäviä pintavastuksia, jotka kuvastavat lukuarvallisesti rakenteen sisä- ja ulkopinnan lämmönjohtumista rajoittavaa vastusta. Pintavastuksen numeerinen suuruus vaihtelee lämpövirran suunnan mukaan.

Taulukko 9. Rakenteen pintavastukset (Knuutila 2017b, 11).

Pintavastukset R_{si} tai R_{se}

Pintavastus $m^2 K/W$	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
sisäpuolen pintavastus (R_{si})	0,10	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus (R_{se})	0,04	0,04	0,04

Materiaalikerroksen oma suhteellinen lämmönvastus määritetään kaavalla:

Lämmönsiirtymisvastus

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R_T = \sum R_i$$

Kuva 10. Materiaalin lämmönsiirtymisvastuksen määrittäminen (Knuutila 2017b, 12).

Kriittisen vesihöyrynosapainejakauman määrittäminen:

Kun seinärakenteen sisäinen lämpötilajakauma on määritetty, voidaan kriittinen vesihöyryn osapainejakauma määrittää rakenteessa yksittäisten pisteiden lämpötilojen perusteella. Määrittäminen voidaan tehdä käyttäen taulukoituja arvoja, jotka on esitetty kaavakokoelmassa (Liite 1).

Rakenteen sisäinen vesihöyryn osapaineen jakauma:

Tasapainotilanteessa vesihöyryn osapainejakauma muuttuu seinärakenteen materiaalikerrosten vesihöyrynvastusten suhteessa. Materiaaliominaisuuksia on esitetty rakennusfysiikan kaavakokoelmassa sekä materiaalivalmistajien tuotetiedoissa. Osapaine voidaan määrittää yksittäisessä pisteessä, kuten kahden materiaalin rajapinnassa.

$$p_{2-3} = p_s - \frac{Z_{p1} + Z_{p2}}{Z_{p1} + Z_{p2} + \dots + Z_{pn}} \cdot (p_s - p_u)$$

Kuva 11. Vesihöyryn osapaineen määrittäminen (Knuutila 2017a).

P_s = vesihöyryn osapaine sisäilmassa

P_u = vesihöyryn osapaine ulkoilmassa

Z_p = materiaalikerroksen vesihöyrynvastus.

Rakenteen sisäinen RH-jakauma:

Rakenteen sisäinen suhteellisen kosteuden jakauma määritetään kriittisen vesihöyrynsapaineen ja vesihöyryn osapaineen mukaan seuraavasti:

$$\text{Suhteellinen kosteus} = \frac{\text{Vallitseva vesihöyryn osapaine}}{\text{Kyllästystilan vesihöyryn osapaine}} \times 100 \%$$

Laskelmien suorittaminen:

Laskelmat tehtiin Excel-pohjaisessa laskentamallissa lämmöneristeiden suunnitteluarvojen ja materiaalikerroksien mukaisesti. Laskelmat perustuvat rakennusfysiikan lämpö- ja kosteustaseeseen ja suhteellisen kosteuden jakaumaan (Knuutila 2017a). Laskentakaavat ja laskentajärjestys on esitetty edellä, ja liitteessä 4 on esitetty lisälämmöneristetyn rakenteen laskelmat molemmilla elementtityypeillä. Laskelmat antavat likiarvotuloksen rakenteen toiminnasta ja tulee huomioida todellisen lämpö- ja kosteuskäyttäytymisen olevan monimutkaisempaa riippuen monista eri tekijöistä. Materiaaliominaisuudet perustuvat rakennusfysiikan kaavakokoelmaan (Knuutila 2017b). Teräsohutellevylle ei monista lähteistä huolimatta löytynyt suoraa kosteudenläpäisyn Z_p -arvoa, joten laskelmissa on käytetty likiarvoa, joka vastaa vesihöyryä läpäisemätöntä ainekerrosta. Ulkolämpötila on Turussa vuoden kylmimmän kuukauden keskilämpötila $-6,2$ °C ja kylmimmän kuukauden keskimääräinen ilman suhteellinen kosteus RH 87 %. Sisäilman kosteuslisänä on käytetty 5 g/m^3 , joka vastaa normaaleja asuintiloja. Metalliteollisuuden tuotantotilan kosteustuotto on yleensä melko vähäinen tilojen käyttötarkoituksesta johtuen, mutta ajoittain muun muassa autojen pesu sisätiloissa nostaa kosteustasoa merkittävästi, joten kosteuslisä on ”varmalla puolella”.

5.3 Lisälämmöneristetyn rakenteen U-arvo

Ulkoseinärakenteen U-arvon tulee täyttää muutos- ja korjaustöiden asettama ehto rakenneosan energiatehokkuuden parantamiselle. Ulkoseinille

tämä tarkoittaa, että rakenteen tulee täyttää määräysten mukainen vertailutaso $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ tai vanha U-arvo $\cdot 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Laskelma on tehty Puurakenteen U-arvo versio 1.03.xls -ohjelmalla (Puuinfo.fi n.d.).

Taulukko 10. U-arvojen vertailu (Koskenoja 2018).

elementtityyppi	alkuperäinen U-arvo	lisälämmöneristys	Uusi U-arvo
Isora 150	$0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	70 mm XPS	$0,158 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Paroc 150	$0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	70 mm XPS	$0,187 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Isora 150	$0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	100 mm XPS	$0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Paroc 150	$0,26 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	100 mm XPS	$0,172 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Laskelman perusteella Paroc 150 -seinäelementin lisälämmöneristäminen 70 mm:n XPS-levyllä ei täytä U-arvovaatimusta. Samanaikaisesti tehdyillä muilla korjaustoimenpiteillä kuten ikkunoiden uusimisella ja rakenteen tiivistämisellä sekä Isora-elementin vaatimustasoa paremmalla U-arvolla saadaan mahdollisesti aikaan vaatimustasot täyttävä kokonaisratkaisu. Käyttämällä ulkopuolisena lisälämmöneristysenä Paroc 150:n 100 mm:n XPS-lämmöneristettä saavutetaan $0,172 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$:n U-arvo, joka on vaatimustason $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ mukainen, mutta 100 mm:n lämmöneriste kasvat-
taa rakenteen kokonaispaksuutta ja vaikuttaa myös korjauksen kokonaiskustannukseen.

5.4 Sandwich-rakenteen tiivistyskorjaus

Korjaustoimenpiteen onnistumisen kannalta on oleellista, että korjaus toteutetaan aina kokonaisuutena. Tilanteessa, jossa vain osa ilmavuotoreiteistä tiivistetään, saattaa jäljelle jääneiden ilmavuotoreittien vuodot kasvaa ja lopputulos olla huonompi kuin alkuperäinen tilanne. Tiiveyskorjauksen yhteydessä on usein myös tarpeellista korjata tai tasapainottaa rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä. Tiiveyskorjauksessa pitää huomioida alusrakenteen muodonmuutokset lämpötilan ja kosteuden vaihteluista ja tiivistysmateriaalien tartunnasta alusrakenteena olevaan materiaaliin. Tiiveyskorjauksen käyttöikä on kokemuseräisen tiedon pohjalta 10–15 vuotta (Liite 2 lausuntokierros 3/2018, 153–155).

5.5 Rakennusvaipan energiatehokkuus ja sen parantaminen

Kiinteistön energiatalous on laaja kokonaisuus, joka koostuu rakenteiden ominaisuuksista ja laadusta, ilmanvaihdon- ja lämmitysjärjestelmän toiminnasta sekä kiinteistön käyttäjien käyttötottumuksista. Kiinteistön käyttäjien tietoisuus omien käyttötottumuksiensa vaikutuksesta rakennuksen energiataloudessa on tärkeässä osassa energiankäytön tehostamisessa.

Kiinteistössä olevien vanhojen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien säädöllä ja huollolla saadaan myös optimoitua vanhojen järjestelmien toimintaa ilman suuria taloudellisia investointeja.

Tuotantorakennuksien rakenteista ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan eli rakennusvaipan osuus rakennuksen lämpöhäviöstä on merkittävin. Erityisesti ulkoseinät ovat korkeita ja leveitä, jolloin jo tuulen jäähdyttävä vaikutus on huomattava. Rakennuksen Ikkunoiden ja ovien tiiveys on myös tärkeää vaipan ilmapuotojen hallinnassa.

Rakennuksen energiatehokkuutta on lain mukaan parannettava luvanvaraisen korjaustyön yhteydessä aina, kun se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti järkevää. Korjaustoimenpiteet voivat kohdistua rakennuksen teknisiin järjestelmiin, rakenteisiin tai rakennusosiin. Jos kiinteistössä ei ole muuta korjaustarvetta, ei energiatehokkuutta tarvitse yksistään alkaa parantamaan. Kiinteistönomistajalla on oikeus valita käytettävät keinot energiatehokkuuden parantamiseksi.

Tuotantorakennuksissa on usein suuria ovia materiaalin kuormaukseen ja vastaanottoon. Ovien laadulla ja tiiveydellä on huomattava vaikutus vaipan kokonaistoimivuudessa. Suurten ovien käyttö tulisi minimoida lämmityskaudella suurten hetkellisten lämpöhukkien välttämiseksi.

5.6 Vaipan energiatehokkuuden osoittaminen

Vaipan energiatehokkuuden keskeisimmät osa-alueet ovat lämmöneristyskyky ja tiiveys. Rakennusten energiatehokkuuden laskenta ja vaatimustenmukaisuus osoitetaan Suomen rakentamismääräyskokoelman Energiatehokkuus-osan mukaisesti (2018) mukaisesti. Lisäksi tarvitaan kohteen yksilölliset suunnittelu-arvot. Kun kyseessä on vanha rakennus, pitää rakenteiden suunnittelu-arvot määrittää laskelmia varten.

Rakennuksen energiankulutustietojen kannalta on välttämätöntä selvittää rakenteiden tekniset ominaisuudet lämmönläpäisyn osalta sekä tarkastella rakenneosien tiiveyttä laskennallisesti. Tiiveystarkastelun tarkkuus vastaa paremmin todellisia olosuhteita, jos rakennuksessa toteutetaan tiiveysmittaus. Muutoin käytetään määräyksissä annettua arvoa.

Vanhan rakennuksen maanvastaisen alapohjan lämpötekniisiä ominaisuuksia on vaikeaa parantaa, varsinkin jos alapohjan tulee kantaa koneista ja laitteista aiheutuvia kuormituksia ja vanhan alapohjarakenteen kosteusteknisestä toimivuudesta ei ole varmuutta. Määräyksissä ei vaadita alapohjarakenteen lämmöneristävyyden parantamista korjaus- ja muutostöiden yhteydessä. Tästä syystä alapohja rajataan nyt tarkastelujen ulkopuolelle ja käsitellään rakennusvaipan muita rakennusosia.

Laskelmien kautta kyetään löytämään mahdolliset rakenteiden heikot osat alueet ja näin saadaan korjaustoimenpiteet kohdistettua oikeisiin rakenteisiin.

5.6.1 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöllä tarkoitetaan lämpövirran suuruutta sisältä ulos. Lämpövirta on sitä suurempi, mitä heikompi on rakenteen lämmöneristävyys. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviön määrää kuvataan yksiköllä kWh, mikä kuvastaa rakennusvaipan läpi häviävän lämpöenergian määrää. Hävinnyt lämpö pitää korvata lämmitysjärjestelmän tuottamalla lämmöllä.

Rakennusvaipan kokonaisjohtumislämpöhäviö määritetään summaamalla rakennusosakohtaiset johtumislämpöhäviöt.

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviön määrittäminen:

- johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (Suomen rakentamismääräyskokoelma, Energiatehokkuus-osa 2018, 17 ja 18)
- rakennusosakohtainen johtumislämpöhäviö (mt., 18)
- rakennusvaipan kylmäsiltojen aiheuttama johtumislämpöhäviö (mt.); viivamaisten kylmäsiltojen ohjearvoja esitetään lähteen taulukoissa 3.1–3.3 sivulla 19.

5.6.2 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö alkuperäisillä rakenteilla

Rakennusosan johtumislämpöhäviö määritetään alla esitetyllä kaavalla

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

Ilman keskimääräiset lämpötilat eri kuukausina T_m 1961...1990 (RIL 107-2000 Taulukko 1.5.). RIL 107-2000 julkaisussa esitetään vuoden keskimääräisiä lämpötiloja, joista olen hyödyntänyt laskelmissani vuoden kylmimmän kuukauden keskimääräistä lämpötilaa, jolloin saadaan lämmitysenergian kulutushuippu määritettyä. Vuoden keskiarvo lämpötilaa hyödynnetäessä saadaan määritettyä rakennuksen keskimääräinen lämmitysenergiantarve johtumislämpöhäviön avulla.

Alla esitettävissä taulukoissa 11 ja 12 on rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden laskelmat vuonna 2001 valmistuneelle hallirakennukselle. Taulukoissa esitetään rakennusosakohtaiset johtumislämpöhäviöt vuoden keskimääräisessä lämpötilassa ja vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti. Laskelmien tarkkuustaso on likimääräinen, minkä avulla kyetään arvioimaan kunkin rakennusosan suhteellista osuutta ja kokonaisjohtumislämpöhäviön suuruutta.

Taulukko 11. Vuonna 2001 rakennettu halli.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150	250	0,26	19
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	4,1
yläpohja	EKE 105	200	0,22	13
ikkunat	2*lasi	29,4	2	17,3

johtumislämpöhäviö yhteensä 53,4 kWh/vrk

Taulukko 12. Vuonna 2001 rakennettu halli.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150	250	0,26	36,2
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	7,72
yläpohja	EKE 105	200	0,22	24,5
ikkunat	2*lasi	29,4	2	32,4

johtumislämpöhäviö yhteensä 100 kWh/vrk

Alla esitettävissä taulukoissa 13 ja 14 on rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden laskelmat vuonna 1989 valmistuneelle hallirakennukselle. Taulukoissa esitetään rakennusosakohtaiset johtumislämpöhäviöt vuoden keskimääräisessä lämpötilassa ja vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti. Laskelmien tarkkuustaso on likimääräinen, minkä avulla kyetään arvioimaan kunkin rakennusosan suhteellista osuutta ja kokonaisjohtumislämpöhäviön suuruutta.

Taulukko 13. Vuonna 1989 rakennettu halli.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150	300	0,23	19,3
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	3,5
yläpohja	Isora 175	310	0,22	19,9
ikkunat	1*lasi	30	3	26,4

johtumislämpöhäviö yhteensä 69,2 kWh/vrk

Taulukko 14. Vuonna 1989 rakennettu halli.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150	300	0,23	36,8
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	6,6
yläpohja	Isora 175	310	0,22	38
ikkunat	1*lasi	30	3	50,2

johtumislämpöhäviö yhteensä 131,6 kWh/vrk

Rakenneosista ikkunoiden vaikutus rakennusvaipan johtumislämpöhäviöön on suurin. Varsinkin vanhemman hallin ikkunoiden lämpöhäviö on huomattava suhteessa muihin rakennusosiin. Ikkunoiden osuus rakennuksen johtumislämpöhäviöstä on noin 35,6 %. Korjattaessa ikkunat vastaamaan nykyisiä määräyksiä, joissa ikkunoille annetaan ylärajaksi 1,0 W/m²K, saadaan jo huomattava energian säästö.

5.6.3 Rakennusvaipan johtumislämpöhäviön tarkastelu lisälämmöneristyksellä ja uusilla ikkunoilla

Rakennusosan johtumislämpöhäviö määritetään alla esitetyllä kaavalla

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

Ilman keskimääräiset lämpötilat eri kuukausina T_m 1961...1990 (RIL 107-2000 Taulukko 1.5). RIL 107-2000 julkaisussa esitetään vuoden keskimääräisiä lämpötiloja, joista olen hyödyntänyt laskelmissani vuoden kylmimmän kuukauden keskimääräistä lämpötilaa, jolloin saadaan lämmitysenergian kulutushuippu määritettyä. Vuoden keskiarvo lämpötilaa hyödynnettäessä saadaan määritettyä rakennuksen keskimääräinen lämmitysenergiantarve johtumislämpöhäviön avulla.

Alla esitettävissä taulukoissa 15–18 on rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden laskelmat vuonna 2001 valmistuneelle hallirakennukselle. Taulukoissa esitetään rakennusosakohtaiset johtumislämpöhäviöt ja ulkoseinien osalta 70 mm:n ja 100 mm:n XPS-lämmöneristysvaihtoehdoilla. Laskelmien tarkkuustaso on likimääräinen, minkä avulla kyetään arvioimaan kunkin rakennusosan suhteellista osuutta ja kokonaisjohtumislämpöhäviön suuruutta.

Taulukko 15. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 70 XPS.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150+70 XPS	250	0,187	13,7
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	4,1
yläpohja	EKE 105	200	0,22	13
ikkunat	uusi	29,4	0,9	7,75

johtumislämpöhäviö yhteensä 38,55 kWh/vrk

Taulukko 16. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 100 XPS.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

Rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150+100 XPS	250	0,17	12,4
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	4,1
yläpohja	EKE 105	200	0,22	13
ikkunat	uusi	29,4	0,9	7,75

johtumislämpöhäviö yhteensä 37,3 kWh/vrk

Taulukko 17. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 70 XPS.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150+70 XPS	250	0,187	26
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	4,1
yläpohja	EKE 105	200	0,22	13
ikkunat	uusi	29,4	0,9	14,7

johtumislämpöhäviö yhteensä 57,8 kWh/vrk

Taulukko 18. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 100 XPS.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Paroc 150+100 XPS	250	0,17	23,7
ulko-ovi	Paroc 50	18	0,77	4,1
yläpohja	EKE 105	200	0,22	13
ikkunat	uusi	29,4	0,9	14,7

johtumislämpöhäviö yhteensä 55,5 kWh/vrk

Alla esitettävissä taulukoissa 19–22 on rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden laskelmat vuonna 1989 valmistuneelle hallirakennukselle. Taulukoissa esitetään rakennusosakohtaiset johtumislämpöhäviöt ja ulkoseinien osalta 70 mm:n ja 100 mm:n XPS-lisälämmöneristyksillä. Laskelmien tarkkuustaso on likimääräinen, minkä avulla kyetään arvioimaan kunkin rakennusosan suhteellista osuutta ja kokonaisjohtumislämpöhäviön suuruutta.

Taulukko 19. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 70 XPS.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150+70 XPS	300	0,158	13,9
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	3,5
yläpohja	Isora 175	310	0,22	19,9
ikkunat	uusi	30	0,9	7,9

johtumislämpöhäviö yhteensä 45,2 kWh/vrk

Taulukko 20. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 100 XPS.

Vuoden keskilämpötilan mukaisesti, Turussa 4,8 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150+100 XPS	300	0,15	13,2
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	3,5
yläpohja	Isora 175	310	0,22	19,9
ikkunat	uusi	30	0,9	7,9

johtumislämpöhäviö yhteensä 44,5 kWh/vrk

Taulukko 21. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 70 XPS.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150+70 XPS	300	0,158	26,4
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	3,5
yläpohja	Isora 175	310	0,22	19,9
ikkunat	uusi	30	0,9	15

johtumislämpöhäviö yhteensä 64,8 kWh/vrk

Taulukko 22. Johtumislämpöhäviö, kun lisälämmöneristys 70 XPS.

Vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti, Turussa helmikuu -6,2 astetta ja t=24 tuntia.

rakenne	materiaali	pinta-ala m ²	W/m ² K	kWh/vrk
ulkoseinä	Isora 150+100 XPS	300	0,15	25,1
ulko-ovi	Paroc 50	15,3	0,77	3,5
yläpohja	Isora 175	310	0,22	19,9
ikkunat	uusi	30	0,9	15

johtumislämpöhäviö yhteensä 63,5 kWh/vrk

Tulosten tulkinta:

Laskelmien mukaiset tulokset on koottu taulukoihin 23 ja 24. Taulukoissa esitetään johtumislämpöhäviöiden suuruudet koko kiinteistön osalta vuoden keskilämpötilan mukaisesti ja vuoden kylmimmän kuukauden mukaisesti. Vertailun tulokset esitetään prosentuaalisesti, mikä ilmentää muutoksen suuruuden selkeästi.

Taulukko 23. Vertailu rakennusvaipan johtumislämpöhäviölle.

Rakennuksen peruskorjaus sisältää ulkoseinien lisälämmöneristämisen 70 mm:n XPS-eristeellä ja ikkunoiden vaihdon uusiin 0,9 W/m²K:n U-arvolla.

rakennukset kokonaisuutena	vuoden keskilämpötilan mukaan kWh/vrk	vuoden kylmin kuukausi mukaisesti kWh/vrk
alkuperäiset rakenteet	122,6 kWh/vrk	231,6 kWh/vrk
peruskorjatut rakenteet	84,1 kWh/vrk	122,6 kWh/vrk
muutos kWh/vrk	38,5 kWh/vrk	109,6 kWh/vrk
muutos %	31,4 %	47,3 %

Taulukko 24. Vertailu rakennusvaipan johtumislämpöhäviöille.

Rakennuksen peruskorjaus sisältää ulkoseinien lisälämmöneristämisen 100 mm:n XPS-eristeellä ja ikkunoiden vaihdon uusiin 0,9 W/m²K:n U-arvolla.

rakennukset kokonaisuutena	vuoden keskilämpötilan mukaan KWh/vrk	vuoden kylmin kuukausi mukaisesti KWh/vrk
alkuperäiset rakenteet	122,6 KWh/vrk	231,6 KWh/vrk
peruskorjatut rakenteet	81,8 KWh/vrk	119 KWh/vrk
muutos KWh/vrk	40,8 KWh/vrk	112,6 KWh/vrk
muutos %	33,2 %	48,6 %

Esisuunnitteluvaiheen laskelmat antavat likiarvon peruskorjauksen tuoman energiansäästön suuruudesta. Korjauksen takaisinmaksuaika saadaan arvioitua korjauksen kustannuksien ja saatavan energiansäästön pohjalta. Korjauskustannuksien arvioimista varten on myöhemmässä suunnitteluvaiheessa pyydettävä materiaalintoimittajilta materiaalien hinnat todellisten määrien mukaisesti. Mahdollisilta urakoitsijoilta on pyydettävä tarjoukset työn kustannuksista.

5.6.4 Rakennusvaipan vuotoilmavirta

Vuotoilmavirta rakennusvaipan läpi aiheutuu tuulen ja lämpötilaerojen aiheuttamasta paine-erosta. Vuotoilmavirran suuruuteen vaikuttavat rakennuksen sijainti, korkeus, ilmanvaihtojärjestelmä ja rakennusvaipan ilmanpitävyys eli tiiveys. Vuotoilmavirtaan ei lasketa kuuluvan ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttaman alipaineen aikaansaamaa vuotoilmavirtaa vaipan läpi.

Vanhan rakennuksen vuotoilmavirran suuruutta voidaan myös arvioida mittauksen avulla. Mittaus antaa todellisen kuvan rakennuksen tiiveydestä, kun taas laskennallinen tarkastelu perustuu enemmän olettamuksiin ja määräyksissä annettuihin arvoihin.

Vuotoilmavirta määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman Energiatehokkuus-osan (2018, 21) mukaisesti kaavalla:

$$q_{v,vuotoilma} = q_{50} / (3600 * x) * A_{vaippa}$$

q_{50} -arvona käytetään määräyksen mukaista 4 m³/(h*m²), koska rakennuksen tiiveyttä ei ole mitattu tai muulla luotettavalla tavalla osoitettu.

Valitaan kertoimelle $x=24$, joka vastaa rakennuksen korkeutta.

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = 0,0534 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tällöin vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on 66 kWh/vrk.

Vertailuna valitaan q_{50} -arvoksi $2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja $x=24$.

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = 0,0267 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tällöin vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on 33 kWh/vrk..

Vertailuna valitaan q_{50} arvoksi $1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ja $x=24$

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = 0,0133 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tällöin vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve on 16,5 kWh/vrk.

Edellinen vertailu osoittaa rakennusvaipan tiiveyden vaikutuksen rakennuksen lämpöenergian tarpeeseen. Kun q_{50} -vuotoilma-arvo puolittuu, puolittuu myös lämpöenergian tarve. Q_{50} arvolla 1, joka on jo varsin korkea tavoitetaso, saavutetaan 49,5 kWh/vrk:n energian säästö. Säästö vastaa 75 %:n tasoa.

5.6.5 Lämmitysenergian tarve

Lämmitysenergian tarve alkuperäisillä rakenteilla

Rakennusten päälämmitysjärjestelmänä ovat polttoöljykäyttöiset lämminilmakehittimet. Kohteen rakennuksissa on kulunut polttoainetta keskimäärin 4800–5500 litraa vuodessa. Sähkön kulutus on keskimäärin 25000–30000 kWh vuodessa, ja se kuluu pääasiassa koneiden käyttöön ja hitsauslaitteisiin.

Rakennuksen kokonaislämpöhäviö rakenteiden osalta on rakennusvaipan johtumislämpöhäviö ja vuotoilmavirta. Huomioidaan nyt ainoastaan rakennusvaipan johtumislämpöhäviö vuoden keskimääräisen lämpötilan mukaan alkuperäisillä rakenteilla = 122,6 kWh/vrk, mikä vastaa 44749 kWh/vuosi -tarvetta.

Huomiona on, että maanvaraisen alapohjan johtumislämpöhäviötä ei ole huomioitu laskelmissa, koska kyseisen rakennusosan energiatehokkuuden parantaminen on hankalaa ja rakentamismääräykset eivät velvoita maanvaraisen alapohjarakenteen energiatehokkuuden parantamista korjausten yhteydessä.

Polttoaineen tarpeen määrittäminen

$$PA_{\text{lämmitys, osto}} = Q_{\text{lämmitys}} / Q_{\text{polttoaine, omin}}$$

jossa

$PA_{\text{lämmitys, osto}}$ rakennukseen ostettava polttoainemäärä mittayksikössä

$Q_{\text{lämmitys}}$ lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus, kWh/a
 $Q_{\text{polttoaine, omin}}$ polttoaineen tehollinen lämpöarvo, kWh/polttoaineen mittayksikkö

Polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/dm³ ja lämmitystarve on rakennusvaipan johtumislämpöhäviö, niin saadaan tulokseksi 4 400 litraa/vuosi. Kustannuksena tämä vastaa noin 4 400 euroa/vuosi.

Kun otetaan huomioon rakennusvaipan vuotoilmavirta arvolla $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, on lämmöntarve vuoden keskimääräisen lämpötilan mukaan 122,6 kWh/vrk + 66 kWh/vrk = 188,6 kWh/vrk.

Polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/dm³ ja lämmitystarve on rakennusvaipan johtumislämpöhäviö + rakennusvaipan vuotoilmavirta, niin saadaan tulokseksi 6 800 litraa/vuosi. Tulos on huomattavasti ylitse todellisen kulutuksen, joten voidaan todeta, että polttoaineen kulutuksen perusteella rakennusvaippa on todellisuudessa tiiviimpi kuin $q_{50} = 4 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$, jota määräyksen mukaan käytetään laskenta-arvona. Tätä tukee myös se, että alapohjan johtumislämpöhäviötä ei ole huomioitu.

Lämmitysenergian tarve peruskorjatuilla rakenteilla

Peruskorjatuilla rakenteilla (70 mm:n XPS ja uudet ikkunat) rakennusvaipan johtumislämpöhäviö vuoden keskimääräisen lämpötilan mukaan = 84,1 kWh/vrk, mikä vastaa 30 696 kWh/vuosi -tarvetta.

Huomiona on, että maanvaraisen alapohjan johtumislämpöhäviötä ei ole huomioitu laskelmissa, koska kyseisen rakennusosan energiatehokkuuden parantaminen on hankalaa kohde kiinteistössä.

Polttoöljyn tehollinen lämpöarvo on 10 kWh/dm³ ja lämmitystarve on rakennusvaipan johtumislämpöhäviö, niin saadaan tulokseksi 3 069 litraa/vuosi. Kustannuksena tämä vastaa noin 3 070 euroa/vuosi.

Taulukossa 25 esitetään vertailu korjaustoimenpiteiden vaikutuksesta lämmitysenergian (polttoaineen) kulutukseen.

Taulukko 25. Vertailu polttoaineen kulutuksesta 70mm XPS lisälämmöneristyksellä ja uusilla ikkunoilla 0,9 W/m²K.

rakenne	laskennallinen kulutus johtumislämpöhäviöstä
alkuperäinen	4 400 litraa/vuosi
peruskorjattu	3 070 litraa/vuosi
muutos litroina	1 330 litraa/vuosi
muutos euroina	1 330 euroa/vuosi
muutos-%	30,2 %

Taulukossa 26 esitetään vertailu korjaustoimenpiteiden vaikutuksesta lämmitysenergian (polttoaineen) kulutukseen.

Taulukko 26. Vertailu polttoaineen kulutuksesta 100mm XPS lisälämmöneristyksellä ja uusilla ikkunoilla 0,9 W/m²K

rakenne	laskennallinen kulutus johtumislämpöhäviöstä
alkuperäinen	4 400 litraa/vuosi
peruskorjattu	2 980 litraa/vuosi
muutos litroina	1 420 litraa/vuosi
muutos euroina	1 420 euroa/vuosi
muutos-%	32,3 %

Tuloksia vertailemalla voi todeta, että rakennusten lämmittämiseen kuluvan polttoaineen kulutuksen vähentymisen perusteella 100 XPS ei ole selkeästi parempi lisälämmöneristykseen vaihtoehto. Kasvanut korjauksen kokonaiskustannus paksumman lämmöneristemateriaalin vuoksi ei ole välttämättä kilpailukykyinen verrattuna 70 XPS -lisälämmöneristykseen.

6 KORJAUSEHDOTUKSET

Rakennusten energiatehokkuutta voi parantaa kevyillä ratkaisuilla tai kokonaisvaltaisella energiaremontilla. Kevyet ratkaisut ovat edullisia ja helposti toteutettavissa. Niitä ovat rakenteissa olevien saumojen tiivistäminen, rakenneliittymien tiivistäminen sekä ikkunoiden huoltokorjaus tai vaihtaminen. Rakennusvaipan tiivistäminen on myös tehokas tapa, kuten aiemmin esitetyt tulokset rakennusvaipan vuotoilmamääristä osoittivat.

Kokonaisvaltainen energiaremontti vaatii huolellista suunnittelua ja kattaa ulkoseinien lisälämmöneristykseen ja uuden verhouksen. Lisäksi on mahdollista toteuttaa yläpohjan lisälämmöneristys, joka voidaan toteuttaa helpoiten yläpohjan sisäpintaan asennettavilla lämmöneristelevyillä. Kyseistä vaihtoehtoa ei ole tässä työssä laskelmien avulla osoitettu. Tämä nostaa myös korjauskustannuksia. Toinen vaihtoehto yläpohjan lisälämmöneristämiseksi on tehdä ulkopuolinen lisäeristys ja asentaa uusi vesikate.

Vaihtoehtona on myös parantaa kiinteistössä olevia järjestelmiä. Ilmanvaihdon poistoilman lämmön talteenoton lisäys toisi merkittäviä säästöjä. Koneellisen tuloilman rakentaminen ja poistoilman lämmön talteenoton hyödyntäminen tuloilman lämmityksessä olisi toimiva ratkaisu.

6.1.1 Ikkunat

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöiden perusteella on tehokkainta uudistaa rakennusten ikkunat. Ikkunoiden johtumislämpöhäviö on noin 36 % vaipan johtumislämpöhäviöstä. Uudistamalla ikkunat tasoon 0,9 W/m²K saadaan ikkunoiden johtumislämpöhäviön osuus laskettua 16,6 %:iin vaipan johtumislämpöhäviöstä. Energian säästönä tämä tarkoittaa 28,1 kWh/vrk vuoden keskilämpötilan mukaan laskettuna. Energian säästö vuositasolla on noin 10 200 kWh keskilämpötilan mukaan laskettuna.

Jos ikkunoiden uusimiseen ryhdytään, tulee tehdä tarkemmat laskelmat ikkunatoimittajan antamalla teknisillä arvoilla. Korjauksen kannattavuuteen vaikuttaa myös takaisinmaksuaika, jonka saa laskettua ikkunatoimittajien antamien tarjousten pohjalta.

6.1.2 Ulkoseinien tiivistyskorjaus

Ulkoseinät ovat elementtirakenteiset. Elementtien päätysaumat on peitetty suojapellityksillä ulkopuolelta. Korjausehdotuksena on, että pellitykset poistetaan ja elementtien saumojen tiivistykset tarkastetaan ja korjataan. Lämpöä eristävä tiivistys voidaan toteuttaa joustavalla polyuretaanivaahdolla, jonka päälle toteutetaan tiivistys esimerkiksi elementtisaumaussmassalla. Pellitykset asennetaan paikoilleen, kun tiivistystyö on toteutettu.

Ulkoseinien ja vesikaton liittymä on tarkastettava poistamalla pellitykset sisä- ja ulkopuolelta. Rakenteiden liittymä tiivistetään joustavalla polyuretaanivaahdolla ja ulkopuolella esimerkiksi elementtisaumaussmassalla. Pellitykset asennetaan paikoilleen, kun tiivistystyö on toteutettu. Katon ja ulkoseinän liittymä on lämpötekniisesti kriittinen, koska rakennuksen yläosa on herkin ylipaineelle, jolloin lämmintä ja kosteaa sisäilmaa pääsee virtaamaan rakenteen läpi. Ilman sisältämä kosteus voi tiivistyä vedeksi kylmillä pinnoilla ja aiheuttaa kosteusvaurioita.

6.1.3 Ulkoseinien lisälämmöneristys, uusi ulkoverhous ja uudet ikkunat

Kuten edellä on esitetty, saadaan ulkoseinien ulkopuolisella lisälämmöneristämällä ja ikkunoiden uusimisella huomattavaa säästöä energiankulutukseen. Lämmitykseen käytettävän polttoaineen vuosikulutus alenee yli 30 %. Ulkopuolinen ulkoseinärakenteen korjaus toteutetaan P3-luokan mukaisesti vaadittavilta osin (D-s2, d2).

Toteutettaessa kyseinen korjausratkaisu tulisi myös suorittaa seuraavat korjaukset:

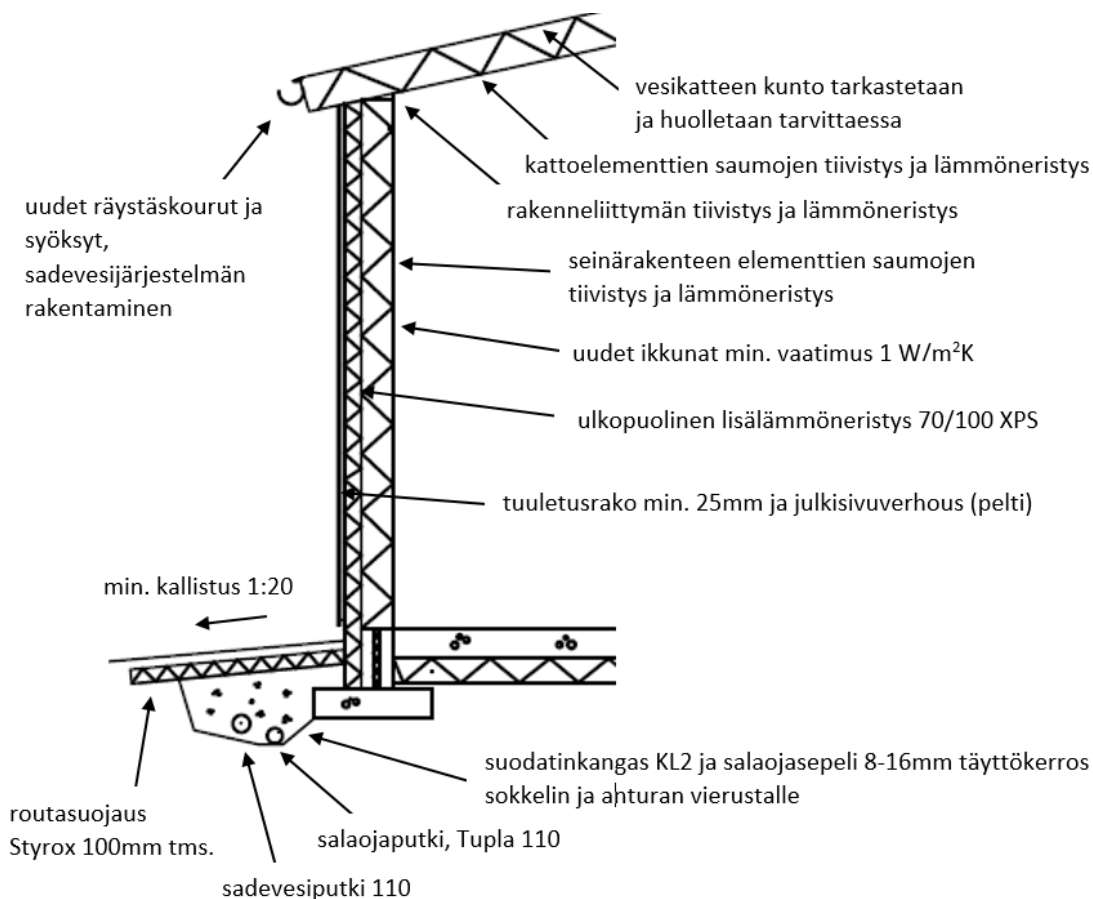
- salaojien uusiminen
- sadevesiviemäröinnin uusiminen
- sokkelin lisälämmöneristys (seinärakenteen mukaisesti)

- patolevytyks ja veden ohjaukseen betoniviiste sokkelin alakulmaan
- salaojasorastus sokkelin ja anturan vierustalle
- routaeristeet
- pintamaan muotoilu pois rakennuksesta
- pintavesien hallinta yleisesti (johtaminen ojiin ja kaivoihin).

Korjausehdotukset perustuvat tunnettuihin teknisiin käyttöikiin sekä puutteisiin eri rakennusosissa. Rakennuksen perustusten ja alapohjan kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen muiden korjaustoimenpiteiden yhteydessä on tarkoituksenmukaista. Kokonaiskorjausratkaisulla saadaan lämpö- ja kosteusteknisesti toimiva rakennus.

Ulko-ovia ei laskelmissa ”parannettu”, koska ne täyttävät U-arvovaatimuksen. Ulko-ovien toimivuutta kannattaa korjausten yhteydessä parantaa esimerkiksi uusimalla tiivisteet. Ovilehtien ulkopuolista lisälämmöneritystä voi myös harkita, mutta toimenpiteellä ei varmastikaan saavuteta merkittäviä hyötyjä energiataloudellisesti.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään on järkevää toteuttaa parannuksia muiden korjaustoimenpiteiden yhteydessä. Lämmön talteenoton lisääminen poistoilmalaitteistoon on hyödyllinen investointi rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen kannalta. Samassa yhteydessä tulee kiinnittää huomiota tuloilmalaitteistoon ja sen riittävyteen. Työskentelystä peräisin olevien sisäilman epäpuhtauksien hallintaan on rakennuksessa jo käytössä useita kohdepoistolaitteistoja, mutta korjausten yhteydessä tätäkin kannattaa kehittää.



Kuva 12. Ehdotus korjauskokonaisuudesta (Koskenoja 2018).

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli mielenkiintoinen ja opettavainen projekti. Se antoi uutta tietoa siitä, kuinka laaja-alainen jo ainoastaan korjaussuunnittelun esisuunnitteluvaihe on, jossa hahmotellaan korjaushankkeen ääri viivoja. Korjausten tulee pohjautua todelliseen korjaustarpeeseen ja tehtävien korjaustoimenpiteiden hyödyistä ja oikeasta toteutustavasta pitää varmistua.

Opinnäytetyöstä saamani tieto pohjautuu kirjallisuusselvitykseen ja suoritamiini laskelmiin, joilla arvioin rakennusten rakennusvaipan alkuperäistä energiankulutustasoa ja vertailin sitä erilaisilla lisälämmöneristysvaihtoehdoilla. Lisäksi arvioin laskennallisesti nykyisten ikkunoiden suhteellista vaikutusta rakennusten energiakulutukseen. Vertailuksi tein laskelmia, joissa ikkunat uusitaan määräysten mukaiseen U-arvotasoon ja joissa tämän vaikutus otettiin huomioon yksittäistoimenpiteenä ja yhdessä lisälämmöneristykseen kanssa. Laskelmat osoittivat, että ikkunat ovat rakennusvai-

pan heikoin osa-alue. Uusimalla ikkunat vuoden 2018 määräysten mukaiseen U-arvovaatimukseen saavutetaan suhteellisesti paras hyöty rakennusvaipan johtumislämpöhäviötä pienennettäessä.

Ulkoseinien ulkopuolisella lisälämmöneristyksellä ja sen myötä uudella julkisivurakenteella saavutetaan muitakin hyötyjä kuin energian säästö. Rakennuksen ulkoseinät ovat sääolosuhteille alttiina, joten uudet ulkopuoliset rakenteet ja julkisivuverhouksen tuuletusrako parantavat ulkoseinän toimivuutta viistosadetta, auringon lämpöä ja tuulta vastaan.

Ulkoseinien ulkopuolisella lisälämmöneristyksellä saavutetaan myös lämpötilan nousua vanhan ulkoseinärakenteen ulkopinnalla. Lämpötilan nousu alentaa riskiä kosteuden tiivistymiselle ja kertymiselle rakenteen sisään. Rakenteen sisäisen lämpötilan nousua ja sen vaikutusta kosteusmäärään ja suhteellisen kosteuteen on arvioitu tasapainotilan diffuusiolaskelmilla. Erilaisilla lisälämmöneristysvaihtoehdoilla laaditut laskelmien tulokset on esitetty opinnäytetyössä (Taulukko 8). Laskelmien perusteella lämpötilan nousu rakenteessa alentaa suhteellista kosteutta rakenteen sisällä RH 88–90 % -tasoon, kun vastaavissa olosuhteissa alkuperäisillä rakenteilla on RH 100 %. Lämpöolosuhteena tämä vastaa 7–9 celciusasteen nousua rakenteesta riippuen. On tärkeää huomioida, että laskelmat antavat ainoastaan likiarvotuloksia ja niihin vaikuttaa huomattava määrä erilaisia epä-tarkkuustekijöitä (rakenteen/materiaalin homogeenisuus, ilmavirtaukset rakenteessa, paine-erot, lämpötilaerot tms.).

Opinnäytetyön tuloksina on saatu selville erilaisten ulkopuolisten lisälämmöneristysten ja ikkunoiden uusimisen vaikutus rakennuksen rakennusvaipan johtumislämpöhäviöön. Vaikutukset on laskettu myös euromääräisenä ja prosentuaalisesti. Yhteenvetona voidaan todeta lisälämmöneristuksen ja uusien ikkunoiden pienentävän lämmityksestä aiheutuvia kuluja yli 30 % vuodessa.

Tämän opinnäytetyön tulokset palvelevat yritystä, joka on sekä omistaja että toimija kyseisissä tuotantotiloissa. Tarkempien korjaussuunnitelmien pohjaksi tulee laatia vielä lisää selvityksiä ja laskelmia eri korjausvaihtoehdoista ja korjausten laajuudesta. Korjausratkaisujen taloudellista kannattavuutta tulee vertailla tarkemmin myöhemmässä vaiheessa, jotta saadaan toteutettua taloudellisesti järkevä ja takaisinmaksuajaltaan kohtuullinen korjauskokonaisuus. Tässä työssä esitetyt tulokset toimivat korjaussuunnittelun lähtötietojen hankintana ja ehdotuksena toteutettavasta korjauskokonaisuudesta esisuunnittelutasolla (Kuva 11). Ennen varsinaisten korjaussuunnitelmien laatimista suosittelen tekemään kohteessa laajempia ja yksityiskohtaisempia rakenteiden kuntotarkastuksia. Tällöin menetelminä voidaan hyödyntää myös lämpökuvausta ja rakennuksen tiiveysmittausta.

LÄHTEET

Björkholtz, D. (1997). *Lämpö ja Kosteus. Rakennusfysiikka*. 3 painos 2004. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Kerkkäinen, T. & Tiainen, T. (1999). *Durability of different types of sandwich panels under climatic conditions. Report 15/1999*. Tampereen teknillisen korkeakoulu. Materiaaliopin laitos. Materiaali saatu pyynnöstä.

Knuutila, A. (2017a). Rakennusfysiikka 2. Moodle-materiaali. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 25.3.2018 osoitteesta <https://moodle.hamk.fi/course/view.php?id=18294§ion=5>

Knuutila, A. (2017b). Rakennusfysiikan kaavakokoelma. Ilman kriittiset vesihöyryn pitoisuudet. Opetusmateriaali. Hämeen ammattikorkeakoulu.

PLH Oy (2018). Kohdekiinteistön huoltokirja, rakennuslupapaperustukset ja muut tekniset dokumentit. Saatavissa yritykseltä.

Kosteus -ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden korjausopas (2018). Liite 2, lausuntokierros 3/2018. Haettu 29.3.2018 osoitteesta <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=98f75839-c787-49b4-bb26-d336261bec32>

Mattila, H. (2017). Moisture Behavior of Building Insulation Materials and Good Building Practices. Paroc Group Oy. Materiaali saatu pyynnöstä.

Paroc Panels System Oy (n.d.). Paroc-elementit. Haettu 19.5.2018 osoitteesta https://az750602.vo.msecnd.net/netxstoreviews/assetOriginal/90551_Paroc_Panel_System_Technical_Guide_FI_Elokuu_2017.pdf

RIL 255-1-2014. *Rakennusfysiikka 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2014.

RT-kortti 05-10710 (1999). *Kosteus Rakennuksissa*. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 1999. Haettu 9.3.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

RT-kortti 14-10850 (2005). *Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekninen toimivuus*. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 2005. Haettu 27.2.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

RT-kortti 18-10922 (2008). *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot*. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 2008. Haettu 16.1.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

RT-kortti 18-11086 (2012). *Liike -ja palvelukiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje*. Helsinki: Rakennustieto Oy 2012. Haettu 17.1.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

RT-kortti 80-10712 (1999). *Rakennuksen kosteus ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen*. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 1999. Haettu 9.3.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

RT-kortti 82-10603 (1996). *Julkisivun korjaustarpeen arviointi. Korjausrakentaminen*. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS 1996. Haettu 16.5.2018 Rakennustieto Oy:n sähköisestä tietokannasta.

Suomen rakentamismääräyskokoelma (2018). Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 28.3.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B4332AA81-75E1-4CA0-B208-B0ACB60A267F%7D/133692>

Suomen rakentamismääräyskokoelma 82017). Ympäristöministeriön asetus, uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto, 1009/2017. Ympäristöministeriö 2017. Haettu 19.4.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7BAAD7DB92-F571-4766-A3F1-BFF63383191B%7D/133875>

Thermisol-elementit (n.d.). Haettu 19.5.2018 osoitteesta <http://www.thermisol.fi/uploads/pdf/materiaalipankki/rakennekuvat-seinäelementit-10-2016.pdf>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, 782/2017. Ympäristöministeriö 2017. Haettu 28.3.2018 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>

Ympäristöministeriön asetukset rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus -ja muutostöissä, 4/13 ja 2/17. RT RakMk-21739. 2017. Haettu 3.2.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B924394EF-BED0-42F2-9AD2-5BE3036A6EAD%7D/31396>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 1010/2017. Ympäristöministeriö 2017. Haettu 28.3.2018 osoitteesta <http://www.ym.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>

Rakennusfysiikan kaavakokoelma. Ilman kriittiset vesihöyrynpitoisuudet.

-Kriittiset vesihöyrynpitoisuudet ν_k ja -osapaineet p_k

Lämpötila [°C]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	Lämpötila [°C]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	Lämpötila [°C]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	Lämpötila [°C]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]	vesihöyrynpitoisuus [g/m³]
-20	102.3	0.88	-13	200.4	1.67	-6	379.4	3.08	1	658.6	5.21
-19.9	103.1	0.88	-12.9	202.3	1.68	-5.9	382.6	3.1	1.1	663.5	5.24
-19.8	104	0.89	-12.8	204.3	1.7	-5.8	385.8	3.13	1.2	668.4	5.28
-19.7	104.9	0.9	-12.7	206.3	1.72	-5.7	389.1	3.15	1.3	673.4	5.32
-19.6	105.8	0.9	-12.6	208.3	1.73	-5.6	392.3	3.18	1.4	678.3	5.35
-19.5	106.7	0.91	-12.5	210.4	1.75	-5.5	395.6	3.2	1.5	683.3	5.39
-19.4	107.6	0.92	-12.4	212.4	1.77	-5.4	398.9	3.23	1.6	688.4	5.43
-19.3	108.6	0.93	-12.3	214.5	1.78	-5.3	402.3	3.26	1.7	693.4	5.47
-19.2	109.5	0.93	-12.2	216.5	1.8	-5.2	405.6	3.28	1.8	698.5	5.51
-19.1	110.5	0.94	-12.1	218.6	1.82	-5.1	409	3.31	1.9	703.7	5.54
-19	111.5	0.95	-12	220.8	1.83	-5	412.4	3.33	2	708.8	5.58
-18.9	112.5	0.96	-11.9	222.9	1.85	-4.9	415.8	3.36	2.1	714	5.62
-18.8	113.6	0.97	-11.8	225	1.87	-4.8	419.3	3.39	2.2	719.2	5.66
-18.7	114.6	0.98	-11.7	227.2	1.88	-4.7	422.7	3.41	2.3	724.4	5.7
-18.6	115.7	0.98	-11.6	229.4	1.9	-4.6	426.2	3.44	2.4	729.7	5.74
-18.5	116.7	0.99	-11.5	231.6	1.92	-4.5	429.7	3.47	2.5	735	5.78
-18.4	117.8	1	-11.4	233.8	1.94	-4.4	433.2	3.49	2.6	740.4	5.82
-18.3	118.9	1.01	-11.3	236	1.95	-4.3	436.8	3.52	2.7	745.7	5.86
-18.2	120.1	1.02	-11.2	238.3	1.97	-4.2	440.3	3.55	2.8	751.1	5.9
-18.1	121.2	1.03	-11.1	240.5	1.99	-4.1	443.9	3.58	2.9	756.6	5.94
-18	122.4	1.04	-11	242.8	2.01	-4	447.5	3.6	3	762	5.98
-17.9	123.5	1.05	-10.9	245.1	2.03	-3.9	451.2	3.63	3.1	767.5	6.02
-17.8	124.7	1.06	-10.8	247.4	2.04	-3.8	454.8	3.66	3.2	773	6.06
-17.7	125.9	1.07	-10.7	249.7	2.06	-3.7	458.5	3.69	3.3	778.6	6.1
-17.6	127.1	1.08	-10.6	252.1	2.08	-3.6	462.2	3.72	3.4	784.2	6.15
-17.5	128.4	1.09	-10.5	254.4	2.1	-3.5	465.9	3.74	3.5	789.8	6.19
-17.4	129.6	1.1	-10.4	256.8	2.12	-3.4	469.7	3.77	3.6	795.5	6.23
-17.3	130.9	1.11	-10.3	259.2	2.14	-3.3	473.4	3.8	3.7	801.2	6.27
-17.2	132.2	1.12	-10.2	261.6	2.16	-3.2	477.2	3.83	3.8	806.9	6.31
-17.1	133.5	1.13	-10.1	264.1	2.18	-3.1	481	3.86	3.9	812.6	6.36
-17	134.8	1.14	-10	266.5	2.2	-3	484.9	3.89	4	818.4	6.4
-16.9	136.1	1.15	-9.9	269	2.21	-2.9	488.7	3.92	4.1	824.2	6.44
-16.8	137.5	1.16	-9.8	271.5	2.23	-2.8	492.6	3.95	4.2	830.1	6.49
-16.7	138.8	1.17	-9.7	274	2.25	-2.7	496.5	3.98	4.3	836	6.53
-16.6	140.2	1.18	-9.6	276.5	2.27	-2.6	500.5	4.01	4.4	841.9	6.57
-16.5	141.6	1.2	-9.5	279	2.29	-2.5	504.4	4.04	4.5	847.9	6.62
-16.4	143	1.21	-9.4	281.6	2.31	-2.4	508.4	4.07	4.6	853.9	6.66
-16.3	144.4	1.22	-9.3	284.2	2.33	-2.3	512.4	4.1	4.7	859.9	6.71
-16.2	145.9	1.23	-9.2	286.8	2.35	-2.2	516.4	4.13	4.8	866	6.75
-16.1	147.3	1.24	-9.1	289.4	2.38	-2.1	520.5	4.16	4.9	872.1	6.8
-16	148.8	1.25	-9	292	2.4	-2	524.5	4.19	5	878.2	6.84
-15.9	150.3	1.27	-8.9	294.6	2.42	-1.9	528.6	4.22	5.1	884.4	6.89
-15.8	151.8	1.28	-8.8	297.3	2.44	-1.8	532.8	4.26	5.2	890.6	6.93
-15.7	153.3	1.29	-8.7	300	2.46	-1.7	536.9	4.29	5.3	896.8	6.98
-15.6	154.9	1.3	-8.6	302.7	2.48	-1.6	541.1	4.32	5.4	903.1	7.03
-15.5	156.4	1.32	-8.5	305.4	2.5	-1.5	545.3	4.35	5.5	909.4	7.07
-15.4	158	1.33	-8.4	308.1	2.52	-1.4	549.5	4.38	5.6	915.8	7.12
-15.3	159.6	1.34	-8.3	310.9	2.54	-1.3	553.7	4.41	5.7	922.1	7.17
-15.2	161.2	1.35	-8.2	313.6	2.57	-1.2	558	4.45	5.8	928.6	7.21
-15.1	162.8	1.37	-8.1	316.4	2.59	-1.1	562.3	4.48	5.9	935	7.26
-15	164.4	1.38	-8	319.2	2.61	-1	566.6	4.51	6	941.5	7.31
-14.9	166.1	1.39	-7.9	322.1	2.63	-0.9	571	4.55	6.1	948.1	7.36
-14.8	167.7	1.41	-7.8	324.9	2.65	-0.8	575.3	4.58	6.2	954.6	7.41
-14.7	169.4	1.42	-7.7	327.8	2.68	-0.7	579.7	4.61	6.3	961.3	7.46
-14.6	171.1	1.43	-7.6	330.7	2.7	-0.6	584.2	4.65	6.4	967.9	7.5
-14.5	172.8	1.45	-7.5	333.6	2.72	-0.5	588.6	4.68	6.5	974.6	7.55
-14.4	174.5	1.46	-7.4	336.5	2.74	-0.4	593.1	4.71	6.6	981.3	7.6
-14.3	176.3	1.48	-7.3	339.4	2.77	-0.3	597.6	4.75	6.7	988.1	7.65
-14.2	178	1.49	-7.2	342.4	2.79	-0.2	602.1	4.78	6.8	994.9	7.7
-14.1	179.8	1.5	-7.1	345.3	2.81	-0.1	606.7	4.82	6.9	1001.7	7.75
-14	181.6	1.52	-7	348.3	2.84	0	611.3	4.85	7	1008.6	7.8
-13.9	183.4	1.53	-6.9	351.4	2.86	0.1	615.9	4.88	7.1	1015.6	7.85
-13.8	185.2	1.55	-6.8	354.4	2.88	0.2	620.5	4.92	7.2	1022.5	7.9
-13.7	187	1.56	-6.7	357.4	2.91	0.3	625.2	4.95	7.3	1029.5	7.96
-13.6	188.9	1.58	-6.6	360.5	2.93	0.4	629.9	4.99	7.4	1036.6	8.01
-13.5	190.8	1.59	-6.5	363.6	2.96	0.5	634.6	5.03	7.5	1043.7	8.06
-13.4	192.7	1.61	-6.4	366.7	2.98	0.6	639.3	5.06	7.6	1050.8	8.11
-13.3	194.6	1.62	-6.3	369.9	3	0.7	644.1	5.1	7.7	1058	8.16
-13.2	196.5	1.64	-6.2	373	3.03	0.8	648.9	5.13	7.8	1065.2	8.22
-13.1	198.4	1.65	-6.1	376.2	3.05	0.9	653.7	5.17	7.9	1072.4	8.27

tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m³]	tila [°C]	höyryn- osapaine [Pa]	höyry- pitoisuus [g/m³]
8	1079.7	8.32	14	1603.4	12.1	20	2337.8	17.28	26	3357.1	24.32
8.1	1087.1	8.38	14.1	1613.7	12.18	20.1	2352.2	17.38	26.1	3376.9	24.46
8.2	1094.4	8.43	14.2	1624.1	12.25	20.2	2366.7	17.49	26.2	3396.9	24.59
8.3	1101.9	8.48	14.3	1634.5	12.32	20.3	2381.3	17.59	26.3	3417.1	24.73
8.4	1109.3	8.54	14.4	1645.1	12.4	20.4	2396	17.69	26.4	3437.3	24.87
8.5	1116.8	8.59	14.5	1655.6	12.47	20.5	2410.7	17.79	26.5	3457.6	25.01
8.6	1124.4	8.65	14.6	1666.2	12.55	20.6	2425.5	17.9	26.6	3478	25.15
8.7	1132	8.7	14.7	1676.9	12.63	20.7	2440.4	18	26.7	3498.5	25.29
8.8	1139.6	8.76	14.8	1687.7	12.7	20.8	2455.4	18.1	26.8	3519.2	25.43
8.9	1147.3	8.82	14.9	1698.5	12.78	20.9	2470.5	18.21	26.9	3539.9	25.57
9	1155	8.87	15	1709.4	12.86	21	2485.6	18.31	27	3560.8	25.71
9.1	1162.8	8.93	15.1	1720.3	12.93	21.1	2500.9	18.42	27.1	3581.7	25.85
9.2	1170.6	8.99	15.2	1731.3	13.01	21.2	2516.2	18.53	27.2	3602.8	26
9.3	1178.5	9.04	15.3	1742.3	13.09	21.3	2531.6	18.63	27.3	3624	26.14
9.4	1186.4	9.1	15.4	1753.4	13.17	21.4	2547.1	18.74	27.4	3645.3	26.29
9.5	1194.3	9.16	15.5	1764.6	13.25	21.5	2562.6	18.85	27.5	3666.7	26.43
9.6	1202.3	9.22	15.6	1775.9	13.33	21.6	2578.3	18.96	27.6	3688.2	26.58
9.7	1210.4	9.27	15.7	1787.2	13.41	21.7	2594	19.07	27.7	3709.8	26.73
9.8	1218.4	9.33	15.8	1798.5	13.49	21.8	2609.8	19.18	27.8	3731.6	26.87
9.9	1226.6	9.39	15.9	1810	13.57	21.9	2625.8	19.29	27.9	3753.4	27.02
10	1234.8	9.45	16	1821.5	13.65	22	2641.7	19.4	28	3775.4	27.17
10.1	1243	9.51	16.1	1833	13.73	22.1	2657.8	19.51	28.1	3797.5	27.32
10.2	1251.3	9.57	16.2	1844.6	13.82	22.2	2674	19.62	28.2	3819.7	27.47
10.3	1259.6	9.63	16.3	1856.3	13.9	22.3	2690.3	19.73	28.3	3842	27.62
10.4	1268	9.69	16.4	1868.1	13.98	22.4	2706.6	19.85	28.4	3864.4	27.77
10.5	1276.4	9.75	16.5	1879.9	14.07	22.5	2723	19.96	28.5	3886.9	27.93
10.6	1284.8	9.81	16.6	1891.8	14.15	22.6	2739.5	20.08	28.6	3909.6	28.08
10.7	1293.4	9.88	16.7	1903.7	14.23	22.7	2756.2	20.19	28.7	3932.3	28.23
10.8	1301.9	9.94	16.8	1915.8	14.32	22.8	2772.9	20.31	28.8	3955.2	28.39
10.9	1310.5	10	16.9	1927.8	14.41	22.9	2789.6	20.42	28.9	3978.2	28.54
11	1319.2	10.06	17	1940	14.49	23	2806.5	20.54	29	4001.4	28.7
11.1	1327.9	10.12	17.1	1952.2	14.58	23.1	2823.5	20.66	29.1	4024.6	28.86
11.2	1336.7	10.19	17.2	1964.5	14.66	23.2	2840.6	20.77	29.2	4048	29.02
11.3	1345.5	10.25	17.3	1976.9	14.75	23.3	2857.7	20.89	29.3	4071.4	29.18
11.4	1354.3	10.32	17.4	1989.3	14.84	23.4	2874.9	21.01	29.4	4095	29.33
11.5	1363.3	10.38	17.5	2001.8	14.93	23.5	2892.3	21.13	29.5	4118.8	29.49
11.6	1372.2	10.44	17.6	2014.4	15.02	23.6	2909.7	21.25	29.6	4142.6	29.66
11.7	1381.2	10.51	17.7	2027	15.1	23.7	2927.2	21.37	29.7	4166.6	29.82
11.8	1390.3	10.57	17.8	2039.7	15.19	23.8	2944.9	21.49	29.8	4190.7	29.98
11.9	1399.4	10.64	17.9	2052.5	15.28	23.9	2962.6	21.62	29.9	4214.9	30.14
12	1408.6	10.71	18	2065.3	15.37	24	2980.4	21.74	30	4239.2	30.31
12.1	1417.8	10.77	18.1	2078.3	15.47	24.1	2998.3	21.86			
12.2	1427.1	10.84	18.2	2091.3	15.56	24.2	3016.3	21.98			
12.3	1436.4	10.91	18.3	2104.3	15.65	24.3	3034.4	22.11			
12.4	1445.8	10.97	18.4	2117.5	15.74	24.4	3052.6	22.23			
12.5	1455.2	11.04	18.5	2130.7	15.83	24.5	3070.8	22.36			
12.6	1464.7	11.11	18.6	2143.9	15.93	24.6	3089.2	22.49			
12.7	1474.3	11.18	18.7	2157.3	16.02	24.7	3107.7	22.61			
12.8	1483.9	11.25	18.8	2170.7	16.11	24.8	3126.3	22.74			
12.9	1493.5	11.32	18.9	2184.2	16.21	24.9	3145	22.87			
13	1503.2	11.39	19	2197.8	16.3	25	3163.7	23			
13.1	1513	11.46	19.1	2211.5	16.4	25.1	3182.6	23.13			
13.2	1522.8	11.53	19.2	2225.2	16.5	25.2	3201.6	23.26			
13.3	1532.7	11.6	19.3	2239	16.59	25.3	3220.7	23.39			
13.4	1542.6	11.67	19.4	2252.9	16.69	25.4	3239.8	23.52			
13.5	1552.6	11.74	19.5	2266.8	16.79	25.5	3259.1	23.65			
13.6	1562.6	11.81	19.6	2280.9	16.89	25.6	3278.5	23.78			
13.7	1572.7	11.88	19.7	2295	16.98	25.7	3298	23.92			
13.8	1582.9	11.96	19.8	2309.2	17.08	25.8	3317.6	24.06			
13.9	1593.1	12.03	19.9	2323.4	17.18	25.9	3337.3	24.19			

Ulkoseinän ulkopinnan ja tuuletusvälin pintojen paloluokkavaatimukset.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017, 16.

Käyttötarkoitus ja paloluokka	Ulkoseinän ulkopinta	Tuuletusvälin ulkopinta	Tuuletusvälin sisäpinta	Ehdot luokkien käytölle
Yli 56 m korkea rakennus	A2-s1, d0	A2-s1, d0	A2-s1, d0	
P1-paloluokan enintään 56 m korkea rakennus, yleensä	B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0	1)
Enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus, yleensä	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	6)
– asuinrakennus, kun korjaus- ja muutostyössä on käytetty lisälämmöneristystä, joka ei täytä eristävältä osaltaan B-s1, d0 -vaatimusta ja jonka paksuus on enintään 100 mm	B-s2, d0	B-s2, d0	B-s1, d0	7)
– ulkoseinän ulkopinnan osa mikäli osaa ympäröivät rakenteet suojaavat seinäpintaa palon leviämiseltä	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	6)
– asuinrakennus, ylin kerros	D-s2, d2	D-s2, d2	A2-s1, d0	6) 4)
Yli 14 m ja enintään 28 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	B-s1, d0*	1) 2) 3) 4) 5)
Enintään 14 m korkea asuin- ja työpaikkarakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	1) 2) 3) 4)
1–2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea tuotanto- tai varastorakennus sekä kokoontumis- ja liikerakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	3) 4) 5) 6) 8)
P2-paloluokan rakennus				
Yli 2-kerroksinen ja enintään 28 m korkea rakennus, yleensä	B-s2, d0 *	B-s2, d0 *	K ₂ 10, A2-s1, d0*	
– asuin-, majoitus- ja työpaikkarakennus sekä kokoontumis- ja liikerakennus	D-s2, d2 *	D-s2, d2 *	K ₂ 10, A2-s1, d0*	2) 3) 4) 5)
Yli 2-kerroksinen ja enintään 14 m korkea asuinrakennus, jonka kellarit ja kerrokset kuuluvat asuinnoittain samaan asuinhuoneistoon	D-s2, d2	D-s2, d2	B-s1, d0	2) 3) 4)
Enintään kaksikerroksinen rakennus, yleensä	D-s2, d2	D-s2, d2	D-s2, d2	
– hoitolaitokset	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) ³⁾	B-s2, d0 (D-s2, d2 *) ³⁾	B-s1, d0	
P3-paloluokan rakennus	D-s2, d2	D-s2, d2	ei vaatimusta	
<p>Parvekkeissa noudatetaan ulkoseinän ulkopinnan vaatimuksia. Kuitenkin enintään 28 metriä korkean rakennuksen varatiekäyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen vaatimus, pois lukien lattiat, on B-s2, d0. Edellä mainitusta poiketen, P2-paloluokan yli 2-kerroksisen rakennuksen parvekkeen palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos parveke on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita. Avoimen luhtikäytävän osalta noudatetaan uloskäytävälle asetettuja vaatimuksia. Kuitenkin 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen luhtikäytävän seinät ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa. Yli 2-kerroksisen P2-paloluokan rakennuksen luhtikäytävän palkit ja pilarit voivat olla D-s2, d2 -luokkaa, jos luhtikäytävä on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla. Vaatimukset eivät koske vähäisiä pintoja, kuten käsijohteita. Julkisivuverhoilun kiinnitystarvikkeet voivat vähäisessä määrin olla D-s2, d2 -luokkaa enintään 28 m korkeassa rakennuksessa.</p> <p>1) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI 30 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K₂ 30, A2-s1, d0 suojaverhouksella.</p> <p>2) Lukuun ottamatta ensimmäistä kerrosta ja varateiden ylä- ja alapuolella olevia pintoja, joiden osallistuminen paloon voi vaarantaa varatien käytön.</p> <p>3) Palon leviämisen tuuletusväliin on oltava rajoitettu kerroksittain ja palon leviäminen vaakasuunnassa osastoidun porrashuoneen ulkoseinän tuuletusväliin on oltava estetty.</p> <p>4) Palon leviämistä julkisivusta ullakkoon ja yläpohjaan on rajoitettava niin, että se vastaa EI 30-rakennusosaa.</p> <p>5) Julkisivurakenteen laajojen osien putoamista palon sattuessa on rajoitettava.</p> <p>6) Jos lämmöneriste ei eristävältä osaltaan täytä B-s1, d0-vaatimusta, ulkopinnan pintarakenteiden on suojattava eristettä palolta niin, että suojaus vastaa EI 15 rakennusosaa tai tuuletusvälin sisäpinta on varustettava K₂10, A2-s1, d0 suojaverhouksella.</p> <p>7) 25 §:n mukaista eristekerroksen katkaisua vaakasuunnassa ei edellytetä, jos huomautuksen 6) vaatimukset täyttyvät.</p> <p>8) Ulkoseinän ikkunoineen ja muine aukkoineen on täytettävä EI 30 vaatimus.</p> <p>* Rakennus on varustettu tarkoitukseen sopivalla automaattisella sammutuslaitteistolla.</p>				

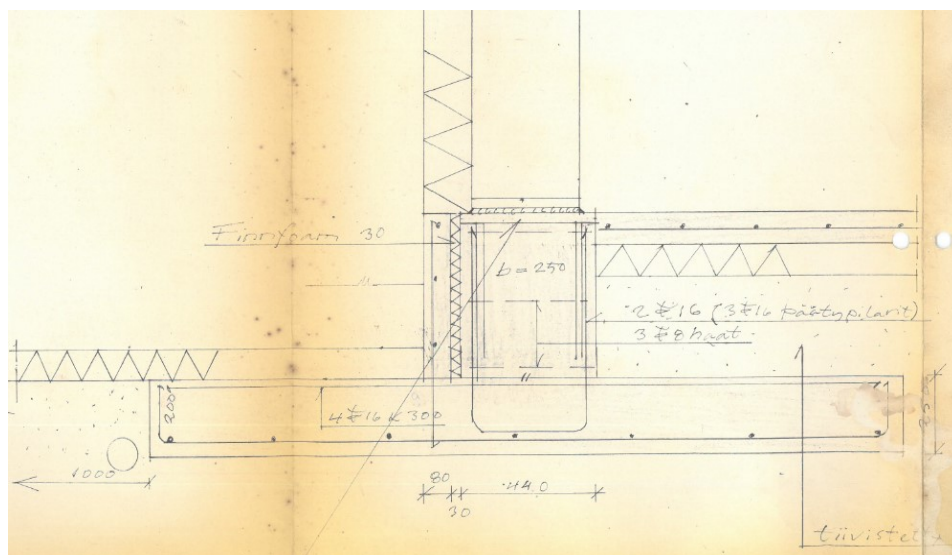
Kohteen ulkovaipan riskiarviointi korjaussuunnittelua varten

Koskenoja Tommi 2018

Arvio sisältää rakennusvaipan mahdollisia vaurioiden aiheuttajia sekä kiinteistökierröksellä havaittuja puutteita ja vaurioita. Vaurioiden arviointi painottuu kosteusrasitusta aiheuttaviin syihin. Riskiarviointi toimii kohteen alustavien korjaussuunnitelmien pohjatietoina. Kiinteistökierröksellä tehtyjä havaintoja dokumentoitiin valokuvin.

Arviointi perustuu vanhojen suunnitelmien tutkimiseen etsien niistä mahdollisia riskirakenteita sekä kiinteistökierrökseen.

Salaojat ja perustusten kuivatus



- Rakennuksen perustusten ja alapohjan korkeusasema suhteessa ympäröivään maastoon on riskitekijä. Alapohjan tulee olla riittävästi ylempänä, jotta vältetään mahdolliset kosteusvauriot.
- Salaojien toimimattomuus: putket ovat teknisen käyttöikänsä päässä ja saattavat olla tukkeutuneet, koska täyttökiviaines on hienoa hiekkaa eikä suodatinkangasta ole käytetty erottamaan maa-aineksia. Maaperän painumat ovat saattaneet synnyttää salaojiin notkoja, jotka vaikeuttavat veden poistumista.
- Kattosadevesille ei ole omaa poistoputkistoa, jolloin sadevesiä päätyy salaojiin ja se rasittaa perustuksia.
- Salaojien toimintavarmuudesta ei ole tietoa. Salaojien huoltoa ei ole toteutettu säännöllisesti.
- Perustusten alustäyttö on hienorakeista kiviainesta, jolloin kapillaarinen veden nousu saattaa olla runsasta anturan kautta sokkeliin.

Maanvarainen alapohja

- Kattosadevesien johtaminen rakennuksen vierustalle aiheuttaa suuren kosteusriskin; roiskevedet kastelevat sokkeliä ja seinän alaosia, sadevesi pääsee salaojiin, vesi kulkeutuu alapohjan alle ja aiheuttaa kosteusrasitusta alapohjaan.
- Alapohjan täyttö toteutettu hienorakeisella maa- tai kiviaineksella, jolloin vesi pääsee kapillaarisesti nousemaan rakenteisiin (RH 100 % alapohjan alla). Salaojien toimiminen on välttämätöntä, jotta kosteusrasitusta saadaan rajoitettua.
- Puisten rakennusosien kosketuspinta betoniin (kantavat liimapuupilarit).
- Pintavesiä ei ole ohjattu hallitusti pois rakennuksen vierustalta ja tonttialue on hyvin tasainen (vastakallistukset puuttuvat).
- Alapohjan korkeusasema suhteessa ympäristöön; perustettu liian matalalle tai ympäröivä maanpinta on noussut vuosikymmenten aikana. Lattiapinta on ympäröivää maanpintaa ylempänä keskimäärin 150–200 mm.
- Puutteellinen roudaneristys voi aiheuttaa perustusten routimisliikkeitä ja vaurioittaa rakenteita. Halkeamista vesi pääsee kulkeutumaan betonirakenteeseen ja jäätyessään syntyy mahdollisesti rapautumista.
- Sokkelin lämpöhalkaisu on toteutettu puutteellisesti tai sitä ei ole. Voi aiheuttaa betonirakenteen lämpötilan voimakasta laskua talvikausiin ja sisäilman kosteus voi tiivistyä rakenteeseen lattiarakenteen reuna-alueilla.
- Piha-alueen pintavesien poisjohtamisessa on puutteita.

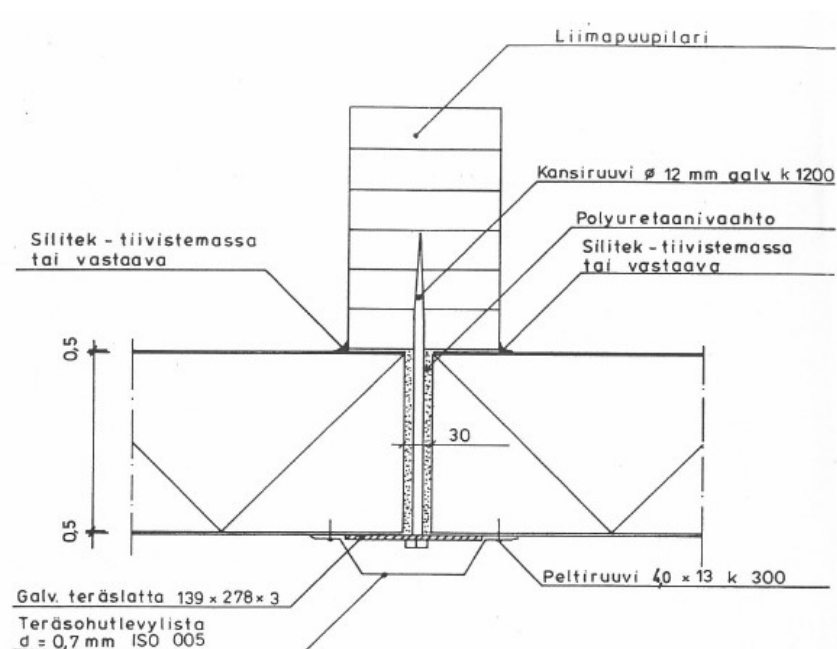


Kuva 13. Tuotantohallin käyttämätöntä takapiha-aluetta.

Kuva 14. Kuvassa 10 on havaittavissa pahoin heinittynyt piha-alue, jossa ei aistinvaraisesti tarkasteltuna ole pintamaan kallistuksia, jolloin pintavedet jäävät rakennuksen vierustoille. Rakennusta ympäröivä maanpinta on myös melko lähellä sisätilojen lattian pintaa, mikä voi aiheuttaa kosteusrasitusta alapohja- ja ulkoseinä-rakenteisiin.

Ulkoseinät

Seinäelementtien sauma ja liittyminen kantavaan pilariin:



- Vesivuodot ikkunoiden ja ovien seinäliittymistä, joista kosteus voi päästä seinärakenteeseen.
- Vesivuodot räystäs -, ikkuna- ja kynnyspelleistä, joista kosteus voi päästä seinärakenteeseen.
- Sadevesikourujen ja syöksytorvien vesivuodot, joista kosteus voi päästä seinärakenteeseen.
- Ulkoseinien tekniikka- ja rakenneasennukset, kuten hormi ja huoltoportaat, kiinnitysten mahdolliset vesivuodot rakenteeseen.
- Matalasta perustamistavasta johtuen ulkoseinän alapää on lähellä maanpintaa, jolloin kosteutta voi päätyä seinään esimerkiksi talviaikana seinustalle kinostuneesta lumesta tai kesäaikana sadeveden

roiskeista. Myös seinien vieressä kasvava kasvillisuus voi pitää seinärakennetta kosteana.

- Kosteudeneristyksen puuttuminen seinärakenteen ja betonisokkelin/laatan väliltä.
- Seinäelementtien alapään liittyminen betonisokkeliin; miten ilman/höyrinsulku on toteutettu (tiiviste, uretaani tms.?)
- Seinäelementtien pystysaumojen tiivistys ja lämmöneristys.
- Ilman/höyrinsulun ilmavuodot; rakenneliittymät, läpiviennit ja sähköasennukset.
- Puutteellinen lämmöneristys tai lämmöneristyksen vuotokohdat.
- Rakenteelliset kylmäsillat.
- Elementtiseinien saumojen puutteellinen tiivistys ja suojaaminen vedeltä ovat mahdollisia.



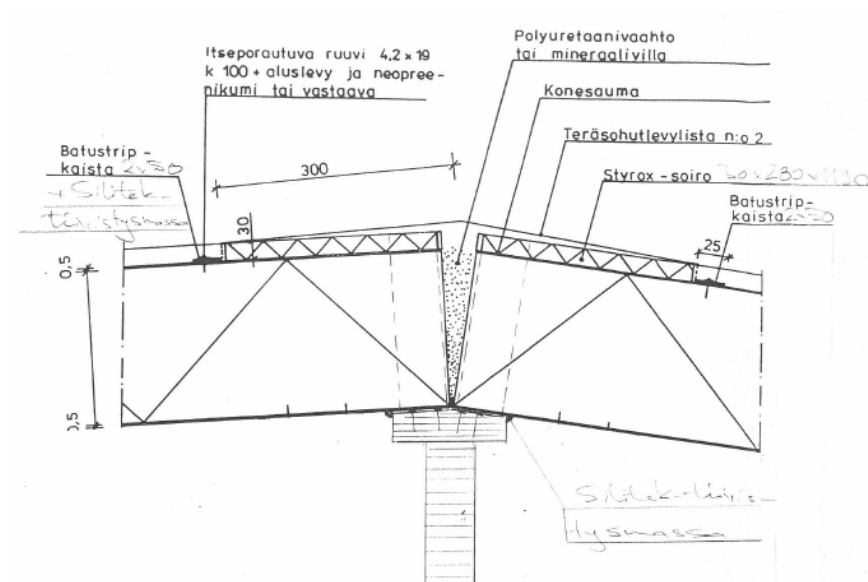
Kuva 15. Seinäelementtien sauma. Saumapelti on poistettu tarkastusta varten ja osoittautui, että sauman eristyksessä on puutteita. Lisäksi näkyvissä lieviä kosteuden aiheuttamia jälkiä (tummunut materiaali).

Ikkunat ja ovet

- Vesipeltien kaltevuudet ja toteutus ovat paikoin puutteellisia (tiivistysmassojen hapertuminen ja kovettuminen).
- Ulkopuolisten tiivistysmassojen, listojen ja tiivisteiden puutteellinen asennus tai vauriot.
- Mahdollisesti ikkunankarmien puutteellinen tiivistäminen ja eristäminen, jotka aiheuttavat ilmavuotoja rakenteen läpi.
- Mahdollisesti sisäilman kosteuden tiivistyminen ikkunan lasipinnalle.

Yläpohja ja vesikatto

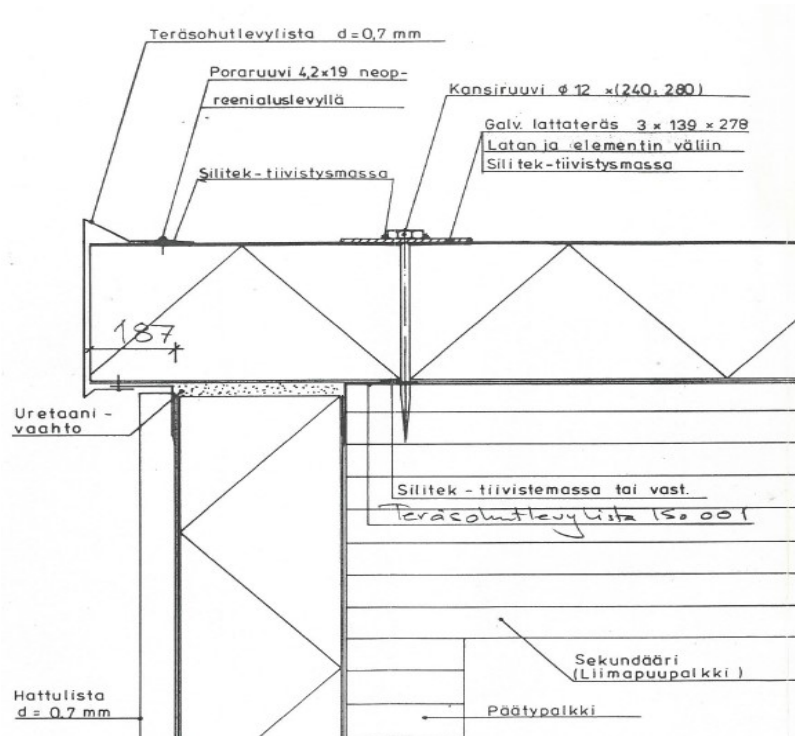
Kattoelementtien harjaliitos:



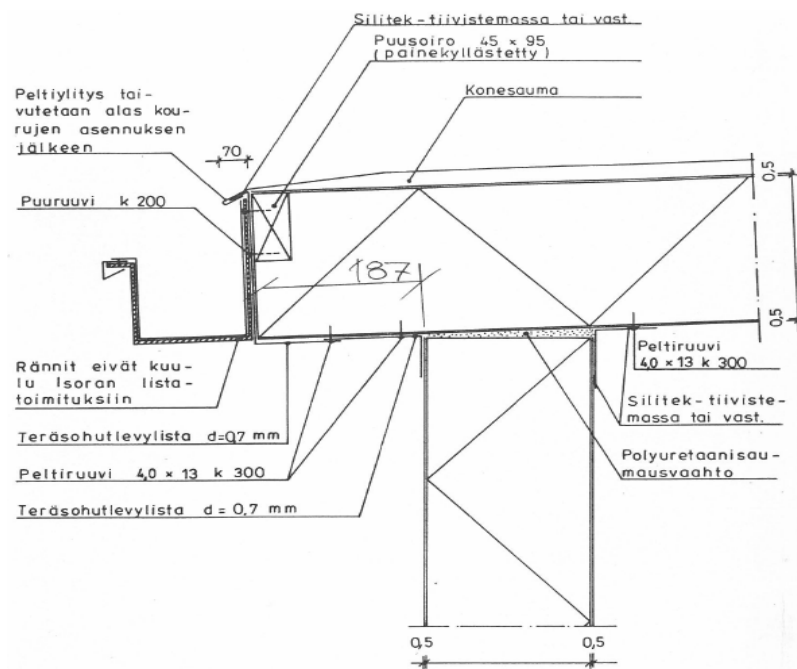
- Ilman-/höyrynsulkua ei ole tai se on väärin toteutettu. Sisätiloissa on havaittavissa lieviä kosteusjälkiä harjalinjalla, mikä viittaa kyseisiin puutteisiin harjarakenteessa.
- Ilman-/höyrynsulun ilmavuodot; rakenneliittymät, läpiviennit ja sähköasennukset.
- Puutteellinen lämmöneristys tai lämmöneristykseen vuotokohdat. Sisätiloissa on havaittavissa lieviä kosteusjälkiä harjalinjalla, mikä viittaa kyseisiin puutteisiin harjarakenteessa.
- Rakenteelliset kylmäsilat.
- vesikatteen vuodot riskinä, koska vesikatteen käyttöikä on jo pitkällä. Tilojen käyttäjät eivät ole havainneet vuotoja, eikä sisätiloissa ole havaittavissa kosteusjälkiä. Vesikate on aistinvaraisesti tarkasteltuna hyvässä kunnossa.

- Kantavan rakenteen painumat ja liikkeet voivat vaurioittaa yläpohjarakennetta; rakenteiden liikkeitä voi aiheuttaa esimerkiksi suuri lumikuorma tai rakennuksen perustusten painumat.

Kattoelementin ja seinäelementin liittyminen pätyrystäällä:



Kattoelementin ja seinäelementin liittyminen sivurystäällä:





Kuva 16. Seinäelementin ja kattoelementin liitos sivuräystäällä.

Kuvassa 13 on selkeästi havaittavissa ruoste- ja likakertymiä räystäsrakenteen alapuolella, jossa sijaitsee seinäelementin ja kattoelementin liittymä. Vauriojälkien perusteella voidaan olettaa liittymän tiivistysten ja lämmöneristysten olevan korjauksen tarpeessa.

Vesikatto

- Alusrakenteen painumat ja liikkeet voivat vaurioittaa vesi- ja aluskattetta; rakenteiden liikkeitä voi aiheuttaa esimerkiksi suuri lumi-kuorma tai rakennuksen perustusten painumat.
- Mahdollinen vuotoilma sisätiloista, jonka sisältämä kosteus tiivistyy rakenteisiin.
- Mahdolliset vesikatteen vuodot (ei viitteitä vuodoista).
- Katolla olevien tekniikka- ja rakenneasennusten kiinnitysten aiheuttamat vuodot (tiivistysmassojen hapertuminen).
- Sadevesikourujen ja syöksytorvien tukkeutuminen.
- Auringon lämmön vaikutus vesikatteeseen; lämpöliike saattaa vaurioittaa saumoja tai materiaaleja.
- Räystä- ja myrskypeltien osittain puutteellinen toteutus.

**Paroc 150 -ulkoseinäelementin lisälämmöneristys 70 mm:n XPS-lämmöneristelevyllä.
Lämpö- ja kosteustaselaskelma materiaalikerrosten rajapinnoissa**

Ulkoilmanlämpötila -6,2 °C, RH 87% ja sisäilman lämpötila 17 °C.

Tommi Koskenoja 2018

Materiaali	Paksuus	Materiaalin lämmönjohtavuus	Materiaalin lämmönvastus	Osuus rakenteen kokonaislämmönvastuksesta		Lämpötilan muutos	Lämpötila
	d	λ	R (d/ λ)	R / Rtot		$\Delta T = R/R_{tot} * (T_s - T_u)$	
	m	W/m °C	m ² °C/W		%	°C	°C
							17
Sisäpinta			0,13	0,0251	2,51	0,6	
							16,4
teräsohutlevy	0,005	50	0,000	0,0000	0,00	0,0	
							16,4
mineraalivilla	0,15	0,05	3,000	0,5800	58,00	13,5	
							3,0
teräsohutlevy	0,005	50	0,000	0,0000	0,00	0,0	
							3,0
XPS	0,07	0,035	2,000	0,3868	38,68	9,0	
							-6,0
Ulkopinta			0,04	0,0077	0,77	0,2	
							-6,2
			Rtot =	5,170			
				Sisälämpötila	Ts	17	
				Ulkolämpötila	Tu	-6,2	
				Lämpötilaero	Ts-Tu	23,2	

höyrynosapaine, max	Materiaalikerroksen kosteudenläpäisyvastus	Osuus rakenteen kokonaiskosteuden- läpäisyvastuksesta	Suhteellinen kosteus	höyrynosapaine
(taulukosta)	Zp		RH %	p
	Zp*10 ⁹	Zp/Ztot		
1940			52,7	1022,4
1868,1			54,7	1022,4
	10000	0,499		
1868,1			36,1	673,9
	1,5	0,000		
762			88,4	673,8
	10000	0,499		
762			42,7	325,4
	25	0,001		
379,4			85,6	324,7
373			87	324,5
	Ztot =	20026,5		

	°C	g/m3 (100 %)	RH%	g/m3, todellinen	P
Ulkoilma	-6,2	3,03	87	2,64	324,5
Sisäilman kosteuslisä				5,00	
Sisäilma	17	14,49	52,7	7,64	1022,4
				Ps - Pu	697,9

Tulokset:

Elementin ulkopinnan lämpötila 3,0 °C ja suhteellinen kosteus 88,4 %.

**Isora 150 -ulkoseinäelementin lisälämmöneristys 70 mm:n XPS-lämmöneristelevyllä.
Lämpö- ja kosteustaselaskelma materiaalikerrosten rajapinnoissa.**

Ulkoilmanlämpötila -6,2 °C, RH 87 % ja sisäilman lämpötila 17 °C.

Tommi Koskenoja 2018

Materiaali	Paksuus	Materiaalin lämmönjohtavuus	Materiaalin lämmönvastus	Osuus rakenteen kokonaislämmönvastuksesta		Lämpötilan muutos	Lämpötila
	d	λ	R (d/ λ)	R / Rtot		$\Delta T = R/R_{tot} * (T_s - T_u)$	
	m	W/m °C	m ² °C/W		%	°C	°C
							17
Sisäpinta			0,13	0,0201	2,01	0,5	
							16,5
teräsohutlevy	0,005	50	0,000	0,0000	0,00	0,0	
							16,5
polystyreeni	0,15	0,035	4,290	0,6640	66,40	15,4	
							1,1
teräsohutlevy	0,005	50	0,000	0,0000	0,00	0,0	
							1,1
XPS	0,07	0,035	2,000	0,3096	30,96	7,2	
							-6,1
Ulkopinta			0,04	0,0062	0,62	0,1	
							-6,2
			Rtot =	6,460			
				Sisälämpötila	Ts		17
				Ulkolämpötila	Tu		-6,2
				Lämpötilaero	Ts-Tu		23,2

höyrynosapaine, max (taulukosta)	Materiaalikerroksen kosteudenläpäisyvastus Zp	Osuus rakenteen kokonaiskosteuden- läpäisyvastuksesta Zp/Ztot	Suhteellinen kosteus RH %	höyrynosapaine p
	Zp*10 ⁹			
1940			52,7	1022,4
1879,9			54,4	1022,4
	10000	0,499		
1879,9			35,9	674,3
	25	0,001		
663,5			101,5	673,4
	10000	0,499		
663,5			49,0	325,4
	25	0,001		
376,2			86,3	324,7
373			87	324,5
Ztot =	20050			

	°C	g/m3 (100 %)	RH%	g/m3, todellinen	P
Ulkoilma	-6,2	3,03	87	2,64	324,5
Sisäilman kosteuslisä				5,00	
Sisäilma	17	14,49	52,7	7,64	1022,4
				Ps - Pu	697,9

Tulokset:

Elementin ulkopinnan lämpötila 1,1 °C ja suhteellinen kosteus 100 %