



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ILMATIIVEYDEN HUOMIOON OTTAMINEN MONITOIMIALUE- NAN TAPAISISSA RAKENNUS- HANKKEISSA

TEKIJÄ: Tuomas Karhunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tuomas Karhunen	
Työn nimi Ilmatiiveyden huomioon ottaminen monitoimiareenan tapaisissa rakennushankkeissa	
Päiväys	19.4.2018
Sivumäärä/Liitteet	52+5
Ohjaaja(t) Henri Humala, pt. tuntiopettaja; Antti Kolari, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) NCC Suomi Oy, Ville Kupiainen, työpäällikkö, Jyväskylä	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä laadittiin työohje, miten rakennuksen vaipan ilmatiiveys on otettava huomioon suunnittelu- ja rakennusvaiheessa monitoimiareenan tapaisissa hankkeissa. Opinnäytetyössä tutkittiin Mikkeliin helmikuussa 2018 valmistunutta monitoimiareenaa, Saimaa Stadiumia. Aiheen valintaan vaikutti työohjeen tarve, koska uudisrakennusten energiankulutusta koskevat määräykset ovat kiristyneet. Uusien kiristyneiden ohjeiden pohjalta tilaaja on asettanut vaatimukset rakennuksen energiakulutukselle ja sen seurannalle. Rakennuksen vaipan ilmatiiveydellä on merkitystä, kun rakennetaan energiatehokasta rakennusta. Työohjeen tarkoituksena on kertoa ne toimenpiteet, joiden avulla rakennuksesta saadaan ilmatiiveydeltään laatuvaatimusten mukainen. Opinnäytetyön aihe selveni opinnäytetyöntekijän työharjoittelun aikana monitoimiareenan rakennustyömaalla, työskenneltäessä työmaan runkovaiheen lopusta kohteen luovutukseen asti.</p> <p>Työn tiedonhakumenetelminä käytettiin NCC:n toimintajärjestelmää, sekä kohteen arkkitehti- ja rakennesuunnitelmia. NCC:n toimintajärjestelmän avulla kaikki eri työvaiheiden laadunvalvontaan kuuluvat dokumentit olivat asiakirjapohjina, joita hyödynnettiin opinnäytetyön laatimisessa. Arkkitehti- ja rakennesuunnitelmista saatiin tieto rakennuksen suunnitteluratkaisuista. Lisäksi opinnäytetyöhön etsittiin tietoa Suomen rakennusmääräyskokoelmasta ja ympäristöministeriön asetuksista kuin myös ilmatiiveyteen perehtyneiden asiantuntijoiden artikkeleista.</p> <p>Työn tuloksena valmistui työohje, joka toimii toimintamallina vastaavissa tulevissa hankkeissa. Ilmatiiveydestä ei voi puhua työvaiheena, vaan se on koko hankkeen ajan kulkeva käsite, joka tulee ottaa huomioon suunnitteluratkaisuissa ja rakennustyön toteutuksessa.</p>	
Avainsanat Rakennuksen vaipan ilmatiiveys, energiatehokkuus, suunnitteluratkaisut, laadunvarmistus, ilmatiiveysmittaus	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Tuomas Karhunen			
Title of Thesis Taking Air Tightness in a Multifunctional Arena into Account			
Date	April 19, 2018	Pages/Appendices	52+5
Supervisor(s) Mr. Henri Humala, Lecturer and Mr. Antti Kolari, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Mr. Ville Kupiainen, Project Manager / NCC Suomi Oy, Jyväskylä			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final project was to draw up work instructions for what to take into account when building a multifunctional arena. They include measures that the main contractor has to take into account when building a multifunctional arena to which there are requirements for air tightness set. The topic of this final project was raised when working on the project for the multifunctional arena <i>Saimaa Stadiumi</i> from May 2017 to February 2018 in Mikkeli.</p> <p>The research methods used were the operation system of NCC Co. and design documentations. The documents of quality control were gained from the operation system of NCC Co. which was used when drawing up this thesis. Design solutions were found in design documentations. Other sources of information were The National Building Code of Finland and various scientific papers written by specialists.</p> <p>As a result of this thesis there were work instructions. Their main function is to be an operational model for future projects like a multifunctional arena. When discussing the term <i>air tightness</i>, it has to be considered that it is not just a stage of operation but a concept that the main contractor must take into account in every stage of a building project.</p>			
<p>Keywords</p> <p>air tightness of envelope, energy efficiency, design solutions, quality assurance, air leakage test</p>			

ESIPUHE

Tahdon kiittää NCC Suomi Oy:tä mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö. Kiitos NCC:lle myös siitä, että sain mahdollisuuden työskennellä monitoimiareenan työmaalla hankkeen loppuun asti. Kiitokset ohjaajilleni, jotka olivat NCC:n puolesta Ville Kupiainen ja Savonia ammattikorkeakoulun puolesta Henri Humala. Kiitokset myös harjoittelujakson aikana monitoimiareenan työmaalla olleille toimihenkilöille.

Kuopiossa 19.4.2018

Tuomas Karhunen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustat ja tavoitteet.....	7
1.2	Toimeksiantaja – NCC Suomi Oy	7
1.3	Saimaa Stadiumi	8
1.4	Lyhenteet ja määritelmät.....	9
2	VAIPAN ILMATIIVEYS JA ENERGIATEHOKKUUS	11
2.1	Ilmatiiveys.....	11
2.2	Rakenteellinen energiatehokkuus	11
2.3	Ilman liikkuminen rakennuksen vaipassa	11
2.4	Tilaajan vaatimukset ja seuranta.....	12
2.5	Monitoimiareenan energiaselvitys.....	13
2.6	Energiatodistus	14
3	SUUNNITTELURATKAISUT.....	16
3.1	Suunnittelijoiden vastuu	16
3.2	Monitoimiareenan rakenteet	16
3.3	Rakenteiden liitokset.....	20
3.3.1	Kevyteleментtien liitokset	20
3.3.2	Betonielementtien ja teräsrakenteiden liitokset	22
3.3.3	Yläpohjaliitokset.....	23
3.3.4	Yhdysosan ja jäähallin väliset liitokset	26
3.3.5	Läpiviennit.....	27
4	RAKENNUSTYÖN TOTEUTUS	28
4.1	Valvonnan vastuut	28
4.2	Laatujärjestelmä	28
4.3	Laadunvalvonta ilmatiiveyden kannalta.....	30
4.4	Metallielementtirakentamisen työturvallisuus, laadunvarmistus ja työmenetelmät.....	34
5	MONITOIMIAREENAN ILMATIIVEYSMITTAUS JA ILMAVUOTOPAIKANNUS.....	37
5.1	Mittausolosuhteet	37
5.2	Rakennuksen ilmatiiveysmittaus.....	37
5.3	Ilmavuotokäyrän laskenta.....	41
5.4	Tiiveysmittausraportti.....	42

5.5	Ilmavuotojen paikannus	43
5.6	Toimenpidesuositukset	44
6	POHDINTA.....	47
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	51
	LIITE 1: TYÖOHJE	53

1 JOHDANTO

1.1 Taustat ja tavoitteet

Opinnäytetyössä tutkitaan Mikkelin monitoimiareenan Saimaa Stadiumin ilmatiiveyttä. Rakennushankkeen tilaaja on asettanut ilmatiiveyden ja energiakulutuksen osalta vaatimustasot, jotka valmis rakennus tulisi täyttää. Opinnäytetyössä käsitellään näiden vaatimustasojen täyttämiseen liittyviä asioita työn toteutuksen ja suunnitteluratkaisujen kannalta.

Rakennushankkeen KVR-urakoitsijana toimii NCC Suomi Oy. Työn aiheen sain NCC:n Jyväskylän yksikön työpäälliköltä Ville Kupiaiselta Syksyllä 2017. Aloitin itse työmaainsinööriharjoittelija NCC:llä toukokuussa 2017. Opinnäytetyön taustalla on, että rakennusten energiatehokkuuksien vaatimusten tiukentuessa suunnitteluratkaisut ja rakennustyön toteutus nousevat omaan arvoonsa hankkeeseen ryhtyvän kannalta.

Opinnäytetyössä käsitellään Mikkelin monitoimiareenassa käytettyjä rakenteita. Käsiteltävät rakenteet ovat kevytelementtirakenteiset ulkoseinät, maanvaraiset betoniset alapohjat sekä teräs- ja betonirakenteiset yläpohjat. Rakenteiden liitosten toteutus ja niiden suunnitteluratkaisut ovat pääasiallinen tutkinnan kohde. Pohjatieto opinnäytetyöhön on kerätty Suomen rakennusmääräyskokoelmasta, NCC:n toimintajärjestelmästä, ilmatiiviysmittauksesta, monitoimiareenan lämpökuvauksesta ja rakennuksen vaipan ilmatiiveyteen perehtyneiden asiantuntijoiden artikkeleista.

Opinnäytetyön tavoitteena on, että tutkinnan lopputulemana syntyisi työohje suunnitteluratkaisuja sekä työn toteutusta varten ilmatiiveyden vaatimustason täyttämisen osalta. Uusien rakennuksien rakentamisessa ollaan myös menossa kohti nollaenergiarakennuksia, joten työohjetta voidaan soveltaa NCC:n tulevaisuuden rakennushankkeisiin.

1.2 Toimeksiantaja – NCC Suomi Oy

Opinnäytetyön toimeksiantaja on NCC Suomi Oy:n Jyväskylän alueyksikkö. Alueyksikkö on yksi osa suurta NCC Ab konsernia. NCC on yksi johtavista rakentamisen, kiinteistökehityksen ja infrastruktuurin yrityksistä Pohjois-Euroopassa. Pohjoismaat ovat NCC:n kotimarkkina-aluetta, ja sen toiminta ulottuu koko arvoketjuun aina kiinteistöjen kehittämisestä ja rakentamisesta teollisuuslaitoksiin ja julkisiin rakennuksiin, teihin, maanrakennukseen ja muuhun infrastruktuuriin. NCC:n neljä liiketoiminta-aluetta ovat: NCC Industry, NCC Building, NCC Infrastructure ja NCC Property Development. (NCC.fi.)

NCC Suomi Oy:n Jyväskylän alueyksikkö kuuluu NCC Buildingiin. NCC Building rakentaa kestävästä kehityksen mukaisia asuntoja ja toimistoja sekä yksityisen että julkisen sektorin asiakkaille. NCC Building rakentaa asuntojen ja toimistojen lisäksi myös julkisia tiloja kuten kouluja, sairaaloita ja urheiluhalleja sekä myymälä- ja varastotiloja kaupalliselle sektorille. (NCC.fi.)

NCC Building on NCC:n suurin liiketoiminta-alue, jonka osuus konsernin liikevaihdosta on 45 prosenttia. Rakennustoimintaa harjoitetaan kaikissa Pohjoismaissa, mutta tärkeimmät markkinat ovat Ruotsissa. (NCC.fi.)

1.3 Saimaa Stadiumi

Saimaa Stadiumi on Mikkelin Kalevankankaalle valmistuva monitoimiareena. Saimaa Stadiumi koostuu halli- ja yhdysosasta. Halliosalla (kuva 1) on noin 3000 m² pelikenttäalue, joka mahdollistaa sisäpallolajit monitoimiareenalla. Pelikenttäaluetta ympäröi yleisurheilua varten oleva neljä ratainen juoksurata. Halliosaan lukeutuu myös 750 istumapaikan kiinteä katsomo ja 750 istumapaikan teleskooppikatsomo. Kiinteän katsomon alla on sosiaalityilat, joihin sisältyy useita pukuhuoneita ja sanititiloja.



KUVA 1. Stadiumin halliosa kuvattuna yhdysosan toisesta kerroksesta (Karhunen 2018).

Stadiumin yhdysosalla on kolme kerrosta. Yhdysosan ensimmäisessä kerroksessa (kuva 2) on Stadiumin aula, jonka yhteydessä on infotiski ja keittiö. Yhdysosan ensimmäisessä kerroksessa on myös SuperParkin toimintatiloja. Yhdysosan toinen kerros koostuu työhuoneista, kokoustiloista ja kuntosalilasta. Toisessa kerroksessa on myös ravintolaparvi, jonka kautta siirtyminen jäähallin tiloihin on toteutettu. Yhdysosan kolmannessa kerroksessa on Stadiumin ilmanvaihtokonehuone ja pääosa Superparkin toimintatiloista.



KUVA 2. Yhdysosan aula kuvattuna ensimmäisestä kerroksesta (Karhunen 2018).

1.4 Lyhenteet ja määritelmät

Energiatehokkuus	on rakennuksen energiakäytön hyötysuhde. Energiatehokas rakennus täyttää rakennuksen tarpeet vähemmällä energian käytöllä tai samalla energian käytöllä toteutetaan enemmän tarpeellisia toimintoja.
Höyrinsulku	tarkoittaa ainekerrosta, jonka tehtävänä on estää haitallinen vesi-höyryn diffuusio rakenteeseen tai rakenteessa. Tässä työssä höyrinsululla tarkoitetaan myös sitä ainekerrosta, jonka tehtävänä on myös tehdä rakenteesta ilmanpitävän.
Ilmatiiveys	on rakenteen kykyä estää haitallinen ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.
Laadunvarmistus	on se osa laadunhallintaa, joka keskittyy antamaan luottamuksen siihen, että laatuvaatimukset täyttyvät.
Lämmönläpäisykerroin	eli U- arvo, ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen.

Monitoimiareena	on rakennus, joka tarjoaa eri liikunta- ja harrastusmahdollisuuksia samassa rakennuksessa.
Painekoe	on rakennuksen ilmanpitävyyteen kehitetty koe, jossa rakennus ali- tai ylipaineistetaan, jotta vaipan ilmanpitävyyttä voidaan tutkia.
Putkimansetti	tarkoittaa tässä työssä sitä palokatkotuotetta, joka on palokatkokaulus putkien läpiviennille.
Rakennuksen vaipan ala	on se rakennuksen ala, johon lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ylä- ja alapohja sisämittojen mukaan laskettuna.
Referenssi	on viite tai viittaus aiempaan työn tulokseen pätevyyden osoittamiseksi.
Suunnittelun ohjaus	on työtehtävä, jossa osallistutaan rakennushankkeen eri suunnitteluvaiheisiin yhdessä eri alojen suunnittelijoiden kanssa. Ohjauksen tarkoituksena on luoda paremmat mahdollisuudet rakennuksen toteutusvaiheeseen.
Tasauslaskenta	on toimenpide, jonka avulla osoitetaan rakennuksen lämpöhäviölle asetetun vaatimuksen täyttyminen. Laskennalla osoitetaan, että rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen.
Ulkovaippa	on rakennuksen sisätilojen erottavia rakennekerroksia kylmästä ulkoilmasta.

2 VAIPAN ILMATIIVEYS JA ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Ilmatiiveys

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys on perusta energiatehokkaalle rakennukselle. Kun rakennuksen vaippa on ilmanpitävä, energiakulutus vähenee. Rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. (Rakennusten energiatehokkuus. Suomen RakMK D3 2012, 10.)

Vaipparakenteiden ilmatiiveydestä on puhuttu kymmeniä vuosia, mutta vasta energiatodistuksen myötä on tiiviiden todentaminen yleistynyt. Aikaisemmin on käytetty termiä pullotalo, kun on tarkoitettu tiiviiksi tehtyä taloa, jossa ei ole välttämättä huolehdittu ilmanvaihdosta. (Paloniitty 2013, 155.)

2.2 Rakenteellinen energiatehokkuus

Nykyään Suomessa energiatehokkaiden rakennusten rakentaminen on ilmastonmuutoksen myötä näkynyt uusina määräyksinä, jotka nousevat tärkeiksi tekijöiksi rakennuksia suunniteltaessa ja rakentaessa. Energiatehokkuus näkyy uudisrakennuksissa energian käytön vähentämisenä, uusiutuvan energian käyttämisenä ja rakennuksen rakenteissa. Rakennuksen rakenteissa eristepaksuudet ovat kasvaneet ja rakennusosien liitoksien suunnitteluun käytetään entistä enemmän aikaa.

Rakenteellisella energiatehokkuudella tarkoitetaan rakennuksen tilojen lämmitystarpeen pienentämistä rakenteellisin ja arkkitehtuurin keinoin. Rakenteellisen energiatehokkuuden ratkaisut eivät riipu rakennuksen säädöistä tai käyttäjistä, eivätkä ne edellytä käytön opastusta tuleville käyttäjille. (Rakenteellinen energiatehokkuus – opas 2015, 2.)

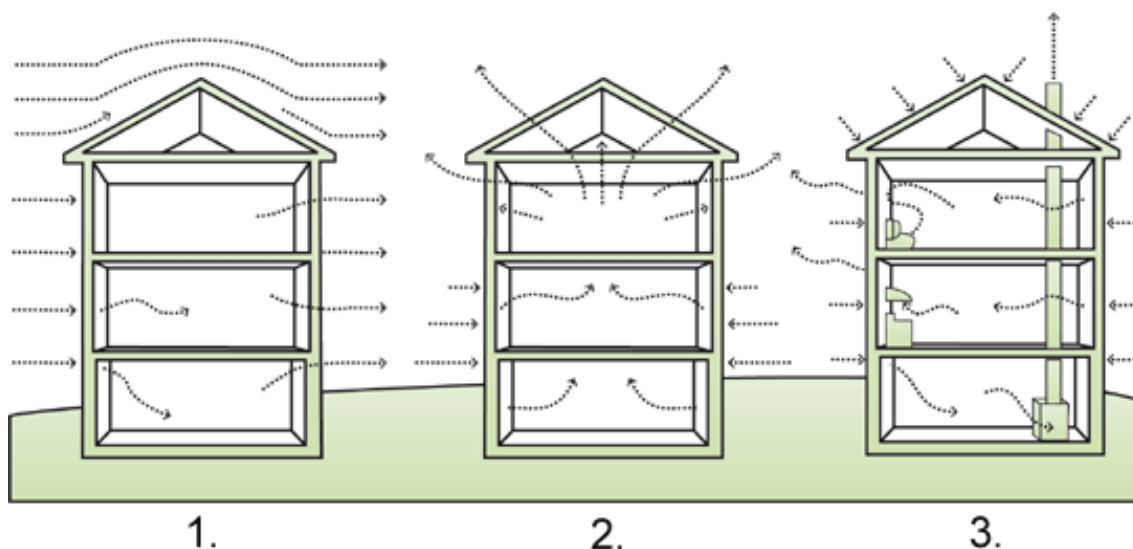
Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) mukainen energiatehokkuustavoite, lähes nollaenergiarakentaminen, on tuonut energiatehokkuuskeskusteluun keskiöön uusiutuvan omavaraisenergian. Kuitenkin ulkovaipan ratkaisut ovat edelleen energiatehokkaan rakentamisen kulmakivenä. (Rakenteellinen energiatehokkuus – opas 2015, 8.)

2.3 Ilman liikkuminen rakennuksen vaipassa

Nettilähteen (Paroc.fi) mukaan, rakennuksen vaipassa ilman liikkuminen aiheutuu ulko- ja sisäpuolen välisestä lämpötila- tai paine-erosta. Aiheuttajina ovat seuraavat kolme ilmiötä (kuva 3):

1. Tuuli. Tuulen paine aiheuttaa ilmavuotoa rakennuksen ikkunoiden kautta. Tuuli työntää kylmää ilmaa sisään tuulenpuoleisista raoista ja lämmintä ilmaa tulee ulos muualta rakenteesta.

2. Savupiippuilmio. Rakennus toimii savupiipun tavoin: lämmin ilma nousee ylöspäin ja voi päästä ulos rakennuksen yläosasta. Kylmää ilmaa virtaa tulee tilalle rakennuksen alapohjan kautta.
3. Tuuletus. Mekaanisissa ja passiivisissa ilmanvaihtojärjestelmissä vaihdetaan sisäilmaa raikkaampaan ulkoilmaan. Paineistetuissa järjestelmissä puhalletaan ilmaa rakennukseen sisään. Paineistamattomissa järjestelmissä ilmaa puhalletaan ulos ja tasapainotetuissa järjestelmissä ilmaa puhalletaan sisään ja ulos yhtä paljon.



KUVA 3. Eri ilmiöt aiheuttavat ilman liikkumisen rakennuksen vaipassa (Paroc.fi)

2.4 Tilaajan vaatimukset ja seuranta

Monitoimiareenan lähtökohtana oli saada liikuntaa ja kulttuuria yhdistäviä tiloja, jotka ovat helposti muunneltavissa. Ilmatiivyydenkin kannalta on tärkeää tilojen toimivuus. Toimivuuden kannalta olennaista on, että eri osatekijät, kuten rakennuksen vaippa, ilmanvaihtojärjestelmä, lämmitysjärjestelmä ja automaatio toimivat hyvin keskenään. Järjestelmien keskinäinen toimivuus ja yhteensopiavuus ovat siten keskinäinen tekijä. (Kauppinen 2011, 124.) Kun keskitytään vain itse rakennukseen ja sen teknisiin ominaisuuksiin, jää rakennuksen elinkaaren aikainen muu käyttö vähemmälle tarkastelulle. Rakennuksen elinkaaren aikaisella muulla käytöllä on myös merkitystä, että tiettyyn käyttötarkoitukseen suunnitellut tilat toimivat myös teknisesti oikein rakennuksen elinkaaren aikana.

Toinen tärkeä tekijä on, että toimivuudelle on asetettu riittävän yksityiskohtaiset ja yksiselitteiset tilaajan vaatimukset ja että niiden toteutuminen voidaan myöhemmissä vaiheissa mitata ja muiden menetelmien avulla todentaa (Kauppinen 2011, 124). Rakennuksessa on oltava energiankäytön mittauksen mahdollistavat mittauslaitteet tai mittausvalmius, jotta rakennuksen energiankäyttöä voidaan seurata tärkeimpien kulutuskohteiden ja rakennuksen koko kulutuksen osalta tai tällainen seurantamahdollisuus on oltava helposti toteutettavissa. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017, 31 §.)

Monitoimiareenan rakennushankkeessa tilaajan asettamat vaatimukset on todennettu ilmatiiveysmittauksella. Tilaajan vaatimuksena on myös, että kohteen energiankulutusta seurataan seuraavan kolmen vuoden ajan, kun kohde on luovutettu. Energiankulutus kattaa suurimman osan monitoimiareenan ylläpitokustannuksista ja ympäristövaikutuksista. Monitoimiareenan energiakulutusta seurataan rakennuksen automaatiojärjestelmän avulla.

2.5 Monitoimiareenan energiaselvitys

Uudisrakennuksien rakennuslupamenettelyyn kuuluu yhtenä osana energiaselvitys, joka laaditaan rakennuslupaa varten. Energiaselvitys rakennuksesta tehdään annettujen lähtötietojen ja suunnitteluarvojen mukaan. Energiaselvityksen tarkoituksena on, että selvityksen pohjalta voidaan todentaa, että uudisrakennus täyttää voimassa olevat energiatehokkuusvaatimukset. Monitoimiareenan energialaskenta on tehty Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 (2012, 33) mukaisen laskentataulukon mukaan. Energialaskennan lähtötiedot ja tulokset täytyy esittää kyseessä olevan taulukon mukaisesti, jotta energialaskelma on määräysten mukainen.

Monitoimiareenan rakennustilavuus on 143 487 rak-m³, julkisivupinta-alaa on 7255 m² ja rakennuksen vaipan kokonaispinta-ala on 21 897 m². Energiaselvityksen yhtenä osana on suorittaa rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskelma. Lämpöhäviöt lasketaan rakennusvaipan sisämitoilla (Rakennusten energiatehokkuus. Suomen RakMK D3 2012, 23). Lämpöhäviöiden tasauslaskelman tarkoituksena on selvittää, mikä on rakennuksen ominaislämpöhäviö. Ominaislämpöhäviöön vaikuttaa rakennusosat, vaipan ilmavuodot ja ilmanvaihto.

Eri rakennusosille, kuten ulkoseinille, ylä- ja alapohjille määritetään suunnitteluarvoista pinta-alat ja lämmönläpäisykertoimet, joiden avulla rakennuksen ominaislämpöhäviö lasketaan. Energiaselvitystä tehtäessä on rakennusosien U-arvoina käytettävä Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 mukaisia lämmönläpäisykertoimia. Suomen rakennusmääräyskokoelma D3 (2012, 13) kohdan 2.5.4 mukaan, rakennuksen ulkoseinän lämmönläpäisykertoimen U vertailuarvona on käytettävä 0,17 W/(m² K) ja yläpohjan vertailuarvona 0,09 W/(m² K). Kyseessä olevia vertailuarvoja on käytetty myös monitoimiareenan ominaislämpöhäviöiden laskennassa.

Rakennuksen vaipan ilmavuotoja kuvataan ilmavuotoluvulla. Ilmavuotoluvulla q₅₀ kuvataan rakennuksen vaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pa:n paine-erolla rakennuksen kokonaismittojen mukaan laskettua rakennuksen vaipan pinta-alaa kohden (m³/(h m²)). Rakennusvaipan pinta-alaan lasketaan ulkoseinät aukotuksineen sekä ala- ja yläpohja (Paloniitty 2017-12-14).

Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku q₅₀ saa olla enintään 4 (m³/(h m²)). Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon 4 (m³/(h m²)), jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. (Rakennusten energiatehokkuus. Suomen RakMK D3 2012, 10.) Monitoimiareenalla tasauslaskennassa ilmanvuotolukuna on käytetty 2 (m³/(h m²)), joka on asetettu myös rakennuksen ilmanvuotoluvun vaatimukseksi.

Ominaislämpölaskennan avulla selvitetään rakennuksen E-luku. Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku (*E-luku*), jonka yksikkönä käytetään kWh_E/(m² a), on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017, 4 §.)

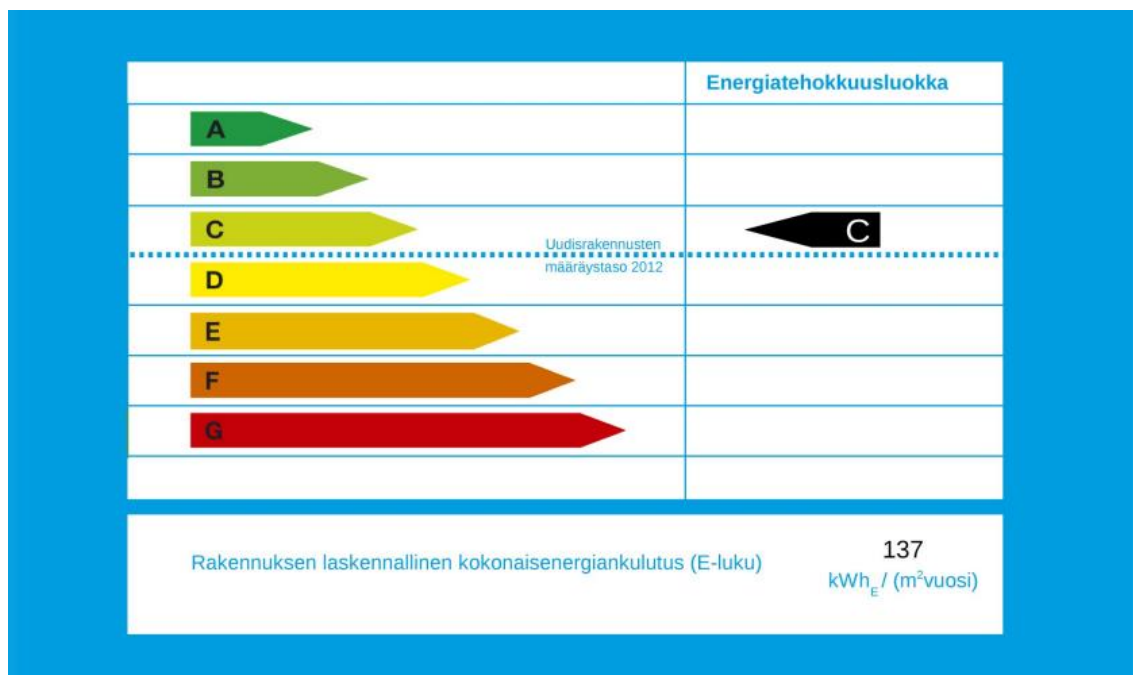
Monitoimiareenan laskennallinen E-luku on 137 kWh_E/(m² a). Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 (2012, 9) kohdan 2.1.4 mukaan, uudisrakennuksen E-luku ei saa ylittää määräysten mukaisia arvoja. Monitoimiareena kuuluu käyttötarkoitukseltaan luokkaan 7, jonka E-luku vaatimukseksi on asetettu 170 kWh_E/(m² a).

2.6 Energiatodistus

Rakennusten energiatehokkuuden edistyessä, rakennusten energiatehokkuuden vertailuun on otettu käyttöön energiatodistus. Energiatodistus on hankittava uudisrakennukselle jo rakennuslupaa varten. Energiatodistuksen hankinnan vastuu on rakennuksen omistajalla. Energiatodistus yleisesti laaditaan jo energiaselvityksen yhteydessä. Energiatodistuksen saa laatia henkilö, jonka pätevyys on todettu ja voimassa, joka on rekisteröity energiatodistusten laatijoista pidettävään rekisteriin ja jonka osalta toiminnan harjoittamisen yleiset edellytykset täyttyvät (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 2013, 12 §).

Energiatodistuksesta saadaan selville rakennuksen arvioitu energiatehokkuus. Energiatodistuksessa rakennuksen energiatehokkuus ilmaistaan rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luku) sijoittumista luokitteluasteikolle kuvaavalla tunnuksella (kuva 4). Rakennukset jaetaan niiden käyttötarkoituksen mukaan ryhmiin, joilla kullakin on oma luokitteluasteikkonsa. (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 2013, 9 §.)

Ympäristöministeriö on asettanut rakennuksen energiatodistusta koskevia säädöksiä (1048/2017), joiden pohjalta energiatodistus tulee laatia. Energiatodistuksessa käytetään rakennuksen käyttötarkoitukskohtaisia energiatehokkuuden luokitteluasteikkoja ja kirjaimia A-G (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 2017, 3 §). Energiatodistus tulee laatia ympäristöministeriön asetuksen (1048/2017) liitteen 3 mukaiselle energiatodistuslomakkeelle.



KUVA 4. Monitoimiareenan rakennuslupavaiheen energiatodistuksessa on esitetty rakennuksen energiatehokkuusluokka ja laskennallinen kokonaisenergiankulutus (E-luku) (Insinööritoimisto AX-LVI Oy 2016-10-07).

Koska rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen vaikuttaa myös vaipan ilmatiiviys, on energiatodistus laadittava uudelleen, kun rakennus on käyttöönotettu. Rakennuslupavaiheessa laaditussa energiaselvityksessä ilmavuotojen tasauslaskennassa vaipan ilmavuotolukuna on käytetty $2 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Kun käyttöönotetun rakennuksen ilmatiiviys on mitattu ilmatiiviyksmittauksen avulla, saadaan rakennuksen todellinen ilmavuotoluku selville, jonka kautta myös todellinen kokonaisenergiakulutus. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on tehtävä merkintä rakennustyön tarkastusasiakirjaan siitä, että rakennustyö vastaa energiaselvityksessä esitettyä (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017, 34 §).

Kun viranomainen tai laitos tarjoaa julkisia palveluja yleisön käyntien kohteena olevissa tiloissa, joiden kerrosala yhdessä rakennuksessa ylittää 250 neliometriä, voimassa olevassa rakennuksen energiatodistuksessa oleva energiatehokkuutta kuvaava luokittelusteikko on asettava selvästi nähtäville alkuperäisenä tai jäljennöksenä (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 2013, 7 §).

3 SUUNNITTELURATKAISUT

3.1 Suunnittelijoiden vastuu

Rakennusten ilmanpitävyydessä on tärkeää, että asetetaan tavoitetaso, joka suunnittelu- ja toteutusvaiheen toimenpitein toteutetaan. Tämä edellyttää työmaalla ohjeistamista sekä myös suunnitteludetaljien kehittämistä (Kauppinen 2011, 130). Suunnitteluvaiheessa määritetään nykyistä yksityiskohtaisemmin ne ulkovaipan tiiveyteen vaikuttavat rakenneosat ja rakennedetaljit, joiden toteuttaminen ohjeistetaan työmaalle (Kauppinen 2011, 124). Yksityiskohtaisempi suunnittelu liitosdetaalien parissa on saanut alkunsa kiristyneistä määräyksistä, jotka ovat asetettu koskemaan uusien rakennuksien energiatehokkuutta.

Rakenteiden tiiviillä liitoksilla voidaan varmistua siitä, että rakennukselle asetettu tavoitetaso saadaan toteutettua. Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden tavoitetasoksi asetetaan yleisesti ilmanvuo- toluku, joka on asetettu rakennuksen energiaselvitys vaiheessa. Lähtökohtaisesti suunnittelussa pyritään siihen, että rakenteiden keskinäiset liitokset ovat ilmanpitäviä. Huonosti toteutettu suunnittelu yleensä näkyy suunnitelmapuutteina, jolloin mahdollisesti joidenkin rakenteiden liitokset ovat unohdettu suunnitella. Viimeistään suunnitelmapuute tulee vastaan työmaalla, kun liitos olisi tarkoitus toteuttaa. Suunnittelijoiden vastuu rakennuksen tiivyyden kannalta on suunnitella rakennus liitoksi- neen niin, että suunnitelmat ovat toteuttamiskelpoiset, jotta rakennukselle asetettu tavoitetaso saadaan saavutettua.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (2017, 3 §) mukaan pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava uuden rakennuksen suunnittelusta siten, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti on:

- 1) energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen;
- 2) on rakennuksen lämpöhäviöiltään vähäiselle energiatarpeelle edellytykset luova;
- 3) on energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tarpeeltaan sekä käytettäessä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaisteholtaan.

Lisäksi täytyy korostaa sitä, että ilmanpitävyys on vain yksi energiatehokkuuteen vaikuttava tekijä. Rakennuksen vaipan, taloteknisten järjestelmien, sääolosuhteiden ja käytön yhteisvaikutus ja järjestelmien yhteen sovittaminen määrää lopulta rakennuksen toimivuuden (Kauppinen 2011, 125).

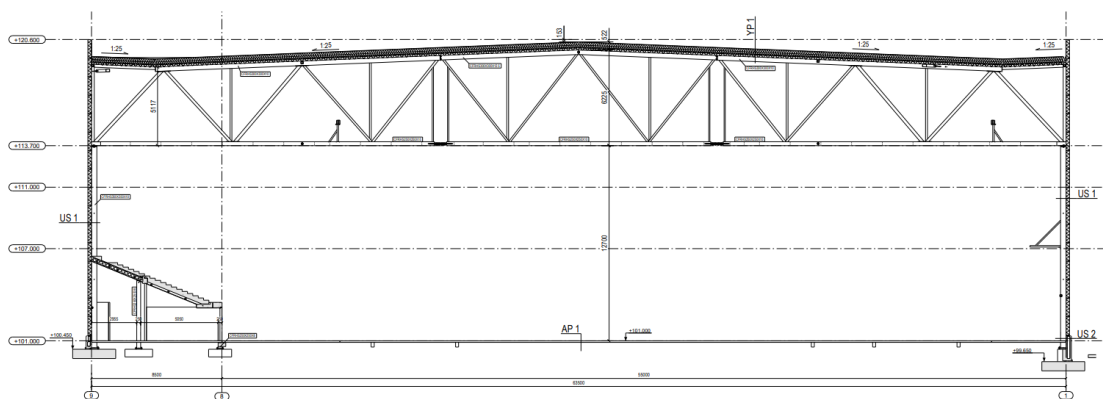
3.2 Monitoimiareenan rakenteet

Monitoimiareena on toteutettu KVR-hankkeena. KVR-urakointi tarkoittaa, että pääurakoitsijan vastuulla on huolehtia hankkeen toteutuksesta sekä suunnittelusta. Suunnittelun kannalta se tarkoittaa sitä, että pääurakoitsijan vastuulla on myös huolehtia suunnittelun ohjauksesta. Monitoimiareenan

suunnittelussa on käytetty hyväksi tietomallinnusta. Kolmeulotteisen tietomallin etuna on, että kaikki rakennuksesta tuotetut tiedot voidaan yhdistää ja eri suunnittelutilanteissa voidaan käyttää samaa tietolähdettä. Tietomallin avulla voidaan tehdä törmäystarkasteluja, jonka avulla vähennetään suunnitelmien ristiriitaisuuksia. Tietomallien käyttö suunnitteluvaiheessa on yleistynyt sen monikäyttöisyyden vuoksi. Tietomallia pystytään hyödyntämään myös rakentamisvaiheen aikana työmaalla.

Tietomallinnus ei ole vielä mennyt niin pitkälle, että perinteisistä kaksiulotteisista piirustuksista voitaisiin luopua. Etenkin liitoksien suunnittelu vaatii tarkempia detaljeja, koska jokainen suunniteltava rakennus on ominaisuuksiltaan erilainen. Monitoimiareenan rakennesuunnittelusta on vastannut SS-Teracon Oy. Monitoimiareenan rakenteet ovat selvitetty laadittujen rakennesuunnitelmien ja rakennusselosteen avulla.

Monitoimiareenalla on kantava teräsrunko (kuva 5). Teräsrunko koostuu teräspilareista, jotka täytetään runkovaiheessa betonilla. Monitoimiareenan kattoristikot ovat myös teräsrakenteiset. Betonirakenteisia rakennusosia ovat välipohjat ontelolaatoin, ja perustukset sokkelielementein.



KUVA 5. Monitoimiareenan runkoleikkaus halliosalta (SS Teracon Oy 2016-10-17).

Monitoimiareenan julkisivut ovat kevytelementtirakenteiset (kuva 6). Monitoimiareenan julkisivuista suurimman osan kattaa Ruukin sandwich-paneelit. Ruukki sandwich-paneeli on kustannustehokas rakennuselementti, joka koostuu kahdesta maalipinnoitetusta teräsohuttelevystä ja niiden välisestä eristekerroksesta. Eristemateriaalina käytetään mineraalivillaa. Valmistajan ilmoittama lämmönläpäisykerroin on $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. (Ruukki.com.)

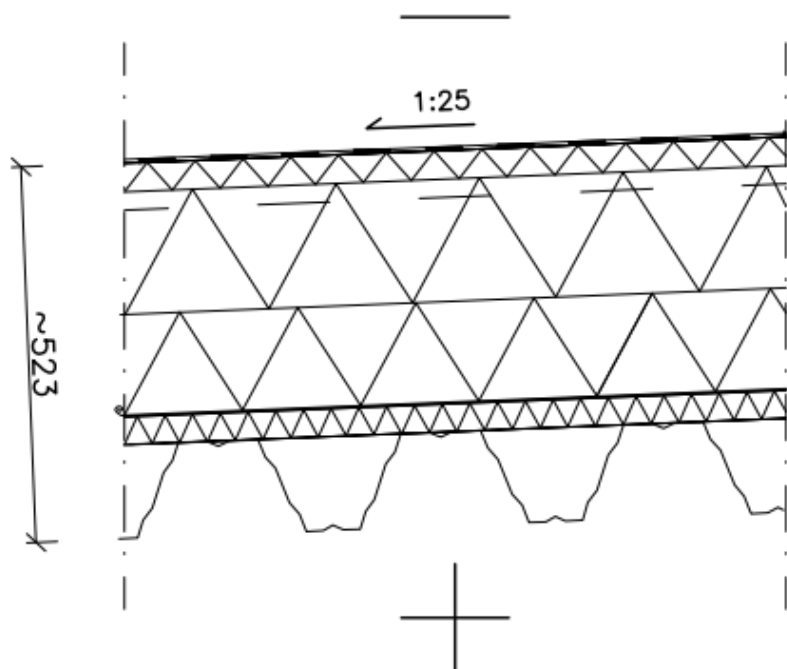


KUVA 6. Sandwich-paneeli julkisivu kuvattuna monitoimiareenan sisäänkäyntikatokselta (Karhunen 2017).

Monitoimiareenan yhdysosan aulatilassa julkisivut koostuvat pääasiallisesti lasiseinästä. Lasijulkisivu on tehty alumiinirunkoisena. Lasielementit ovat suunniteltu suuriksi, kuten myös sandwich-paneelit. Suuret lasielementit ovat kustannustehokas ratkaisu, kun lasijulkisivua on paljon. Alumiinirunkoiset julkisivulasit ovat yleinen valinta liikerakennuksissa. Julkisivulasit nousevat sokkelin päältä aina kolmanteen kerrokseen asti molemmin puolin aulatilaa.

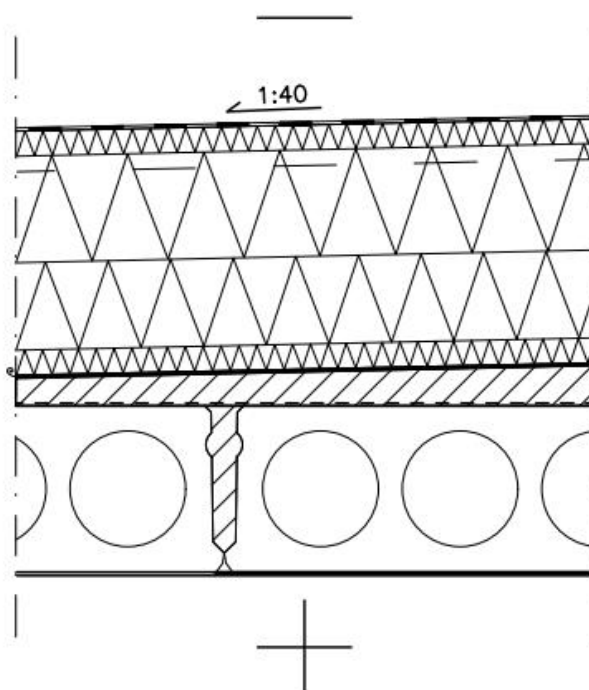
Hyvät luonnonvalo-olosuhteet ovat kestävänsä rakentamisen periaatteiden mukaisen rakennuksen oleellinen laatutekijä. Ikkunapinta-alojen suurentaminen kasvattaa ulkovaipan lämpöhäviötä. Ikkuna-aukotuksien suunnittelussa energiatehokkuutta koskevien tarkastelujen vastapainona voidaan tarkastella myös sisätilojen luonnonvalo-olosuhteita laskennallisten tunnuslukujen ja sisätilojen päivänvalosimuloinnin avulla. (Rakenteellinen energiatehokkuus – opas 2015, 2.)

Halliosan yläpohjan kantavaosa on teräksiset poimulevyt (kuva 7). Kantavat poimulevyt ovat samaa tuoteperhettä kuin sandwich-paneelit. Eli kantavat poimulevyt kuuluvat myös Ruukin tuotteisiin. Muu yläpohjarakenne koostuu mineraalivillaeristeestä, höyrynsulkumuovista ja pintahuovasta. Teräksisten poimulevyjen sisäpinnalla on kivivillalevyt, joiden pääasiallinen tehtävä on ääneneristys, mutta kivivillalevyt vaikuttavat myös vesikattorakenteen ominaislämpöhäviöön sekä ilmatiiviyteen. Yläpohjarakenteen lämmönläpäisykerroin on $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.



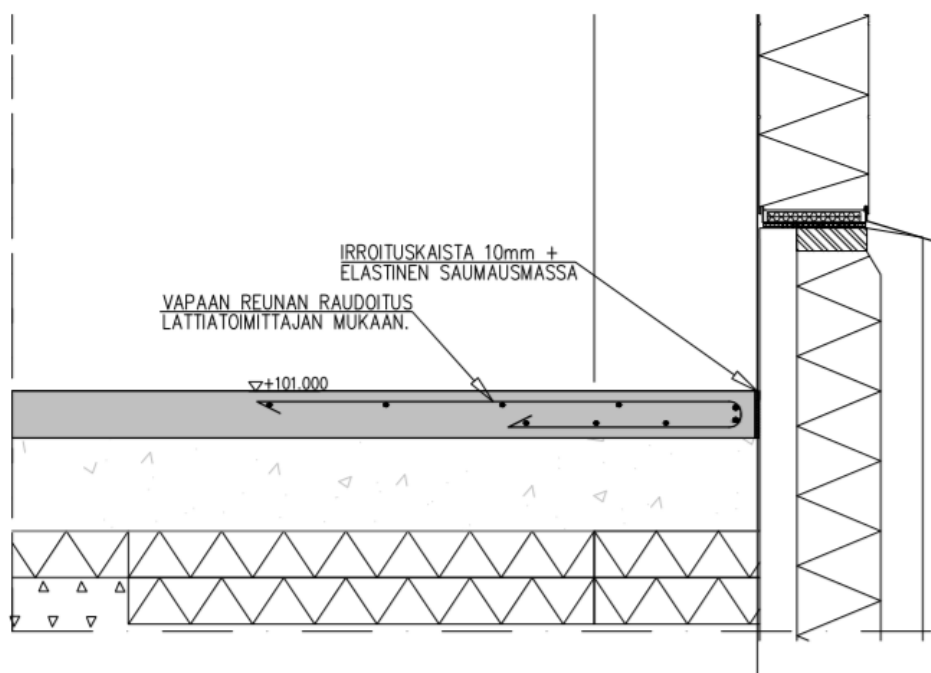
KUVA 7. Monitoimiareenan yläpohja halliosalla (SS Teracon Oy 2017-02-27).

Monitoimiareenan yhdysosalla yläpohjarakenteen kantavaosa on ontelolaatat (kuva 8). Yhdysosan yläpohjarakenteissa ontelolaattojen päälle on valettu betonilaatta, jolla katon kaadot ovat toteutettu. Yhdysosalla vesikattorakenteessa ei ole käytetty höyrynsulkumuovia betonilaatan vuoksi. Yhdysosan vesikattorakenne koostuu alus- ja pintakermistä, joiden väliin mineraalivillakerrokset asennetaan. Alus- ja pintakermi ovat bitumikermejä. Aluskermi on sijoitettu valetun betonilaatan päälle, joka toimii rakenteen höyrynsulkuna. Myös yhdysosan yläpohjarakenteen lämmönläpäisykerroin on $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.



KUVA 8. Monitoimiareenan yläpohja yhdysosalla (SS-Teracon Oy 2017-02-27).

Monitoimiareenan alapohjarakenne koostuu sepelin ja eristekerroksien lisäksi betonisesta maanvaraisesta laatasta. Maanvarainen betonilaatta kattaa koko rakennuksen lattiapinta-alan halli- ja yhdysosalla. Maanvaraisen laatan liittyminen sokkelirakenteeseen on tehty elastiseksi irrotuskaistalla ja elastisella saumamassalla (kuva 9). Liitos rakenteiden kesken täytyy tehdä huolellisesti, koska betonilaatta kutistuu koko käyttöiän ajan, jolloin liitos voi revetä pahimmassa tapauksessa. Liitoksen repeäminen aiheuttaa ilma- sekä radonvuotoja. Monitoimiareenalla radonin poisto on toteutettu radonputkiston avulla. Rakennuksen perustuksissa on käytetty paikallavalettuja anturalaattoja sekä betonielementtisokkeleita.



KUVA 9. Monitoimiareenan alapohjarakenne ja maanvaraisen betonilaatan liittyminen betonisokkeliin (SS-Teracon Oy 2017-04-04).

3.3 Rakenteiden liitokset

Rakenteiden liitoksien tiivydellä on suuri merkitys monitoimiareenan vaipan ilmatiivyyteen. Keskeisiä liitoksia ovat kevytelementtien keskinäiset liitokset, kevytelementtien liittyminen rakennuksen perustuksiin, yläpohjaan ja ikkunoihin. Yhtä tärkeitä liitoksia ovat myös betonielementtien ja teräsrakenteiden liitokset, jotka ovat kosketuksissa ulkoilman kanssa. Monitoimiareena on myös liitetty toiseen rakennukseen Mikkelin jäähalliin. Rakennuksen yhdysosan ja jäähallin väliset liitokset ovat myös ilmatiivyyden kannalta merkittäviä, koska uuden ja vanhan rakenteen liittäminen vaatii erityishuomiota, jotta ilmatiiveys liitoksissa on varmistettu.

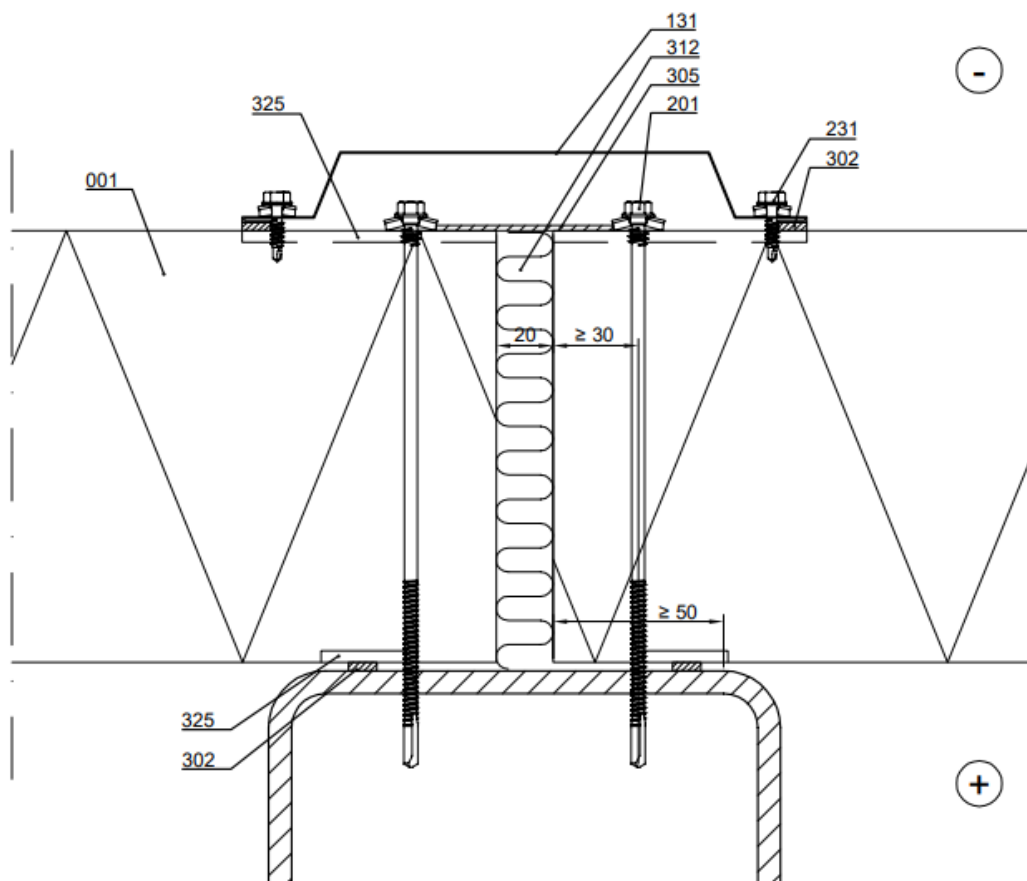
3.3.1 Kevytelementtien liitokset

Kevytelementtien keskinäiset liitokset ovat suunniteltu toteutettavaksi Ruukin Sandwich panel SPA:n asennus- ja huolto-ohjeen mukaisesti. Rakennuksen ulkoseinien kevytelementit ovat vaaka-asennettuja. Ruukin asennusohje kevytelementeille on pitkälle viety tuotekehitys, joka palvelee rakenteiden

toimivuutta eri liitostilanteissa. Asennusohjeessa on myös numeroitu työn suoritusjärjestys, joka helpottaa työmaan toteutusta. Asennusohjeesta löytyy myös erillinen kappale tiivistämiselle.

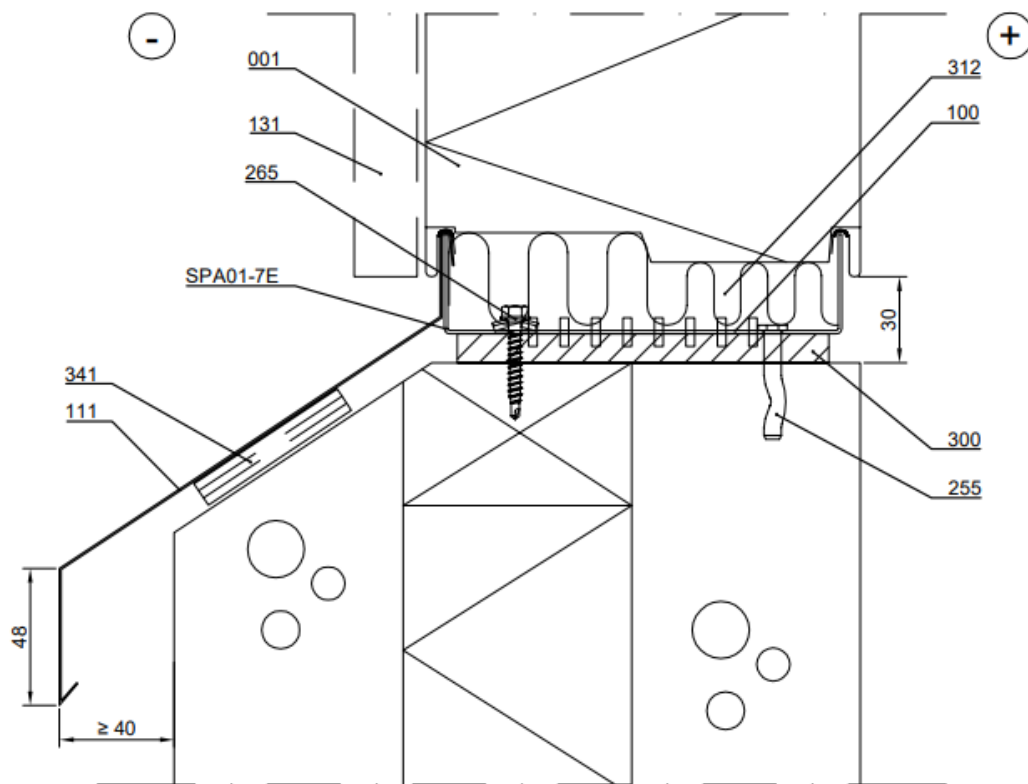
Ruukki myös tarjoaa sandwich-paneeleille ulkoseinädetaljit, joista voidaan tarkemmin tarkastella liitoksien toteutusta. Detaljeista löytyy liitokset eri runkorakenteille (kuva 10), sokkeleille (kuva 11) ja ylä- sekä alapohjille. Ennen työvaiheen toteutusta Ruukki toimittaa sähköisesti asennus- ja huolto-ohjeen sekä ulkoseinädetaljit paneelien tilaajalle.

Ruukin sandwich-paneelien ympärille on rakennettu myös suunnittelupalvelu, jota on hyödynnetty Saimaa Stadiumin suunnitteluvaiheessa. Ruukin suunnittelemissa liitoksissa on hyvin yleistä, että käytetään erikseen suunniteltua tiivistenauhaa eri liitostapauksiin. Tällä varmistetaan, että liitos on varmasti ilmatiivis eri liitostapauksissa. Kaikki kevytelementtien keskinäiset liitokset pellitetään valmistajan detaljien mukaan. Pellitykset asennetaan niin, että ne ohjaavat veden aina rakenteesta pois päin. Valmiissa rakennuksen vaipassa ei saa olla näkyvillä yhtään sandwich-rakenteen eristeitä.



- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> 001. Sandwich panel SPA | <input type="checkbox"/> 305. /EA3JSN7525/ Saumanauha Nordic |
| <input type="checkbox"/> 131. /EA1JV1/ Pystysaumalista | <input type="checkbox"/> 312. /EAWS___/ Mineraalivillasoiro |
| <input type="checkbox"/> 201. Itseporautuva elementtiruuvi, tiivisteellinen aluslevy | <input type="checkbox"/> 325. /EA3SM310___/ Elastinen tiivistysmassa |
| <input type="checkbox"/> 231. Listaruuvi, tiivisteellinen aluslevy | asennuksen yhteydessä ulkopuolen naarasponttiin |
| <input type="checkbox"/> 302. /EA3SS410/ Tiivistenauha | peitelistan leveyttä vastaavalle matkalle |
| /EA3SS510/ Tiivistenauha EPDM listatiiviste | ja sisäpuolelle runkotiivisteeseen kohdalle |
| (vaativissa ilmasto-olosuhteissa, esim. rannikkoalueilla) | |

KUVA 10. Vaaka-asennetun Sandwich-paneelin pystysauman vaakaleikkaus. Sandwich-paneelin liitos teräspilariin (Ruukki Construction Oy 2017-05-04)

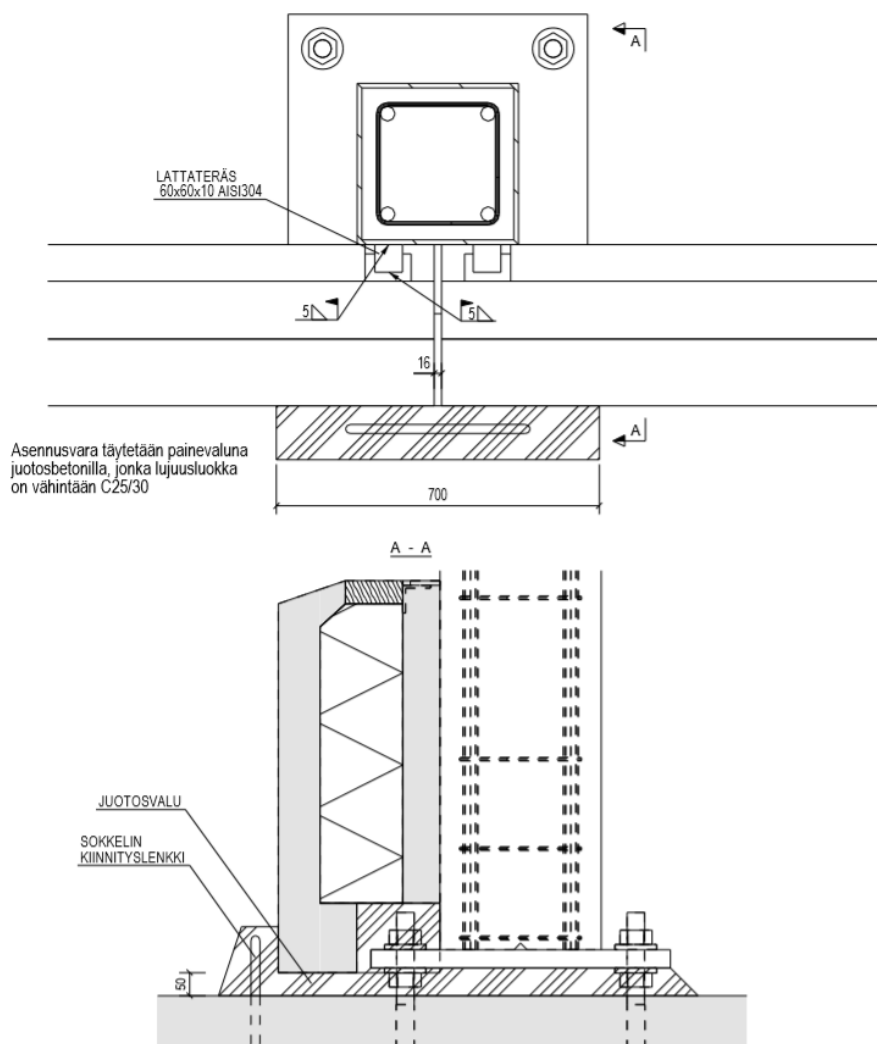


- 001. Sandwich panel SPA
- 100. /EA1U___/ Sokkelikisko
- 111. /EA1P3___/ Sokkeliliista (as. paneeliasennuksen yhteydessä)
- 131. /EA1JV1/ Pystysaumalista
- 255. /S5R48038/ Spike kiinnike, betoni k600
- 265. /S3H55042WA4B/ Kiinnitysruuvi, puu k600
- 300. /EA3SP___10/ Sokkelinauha
- 312. /EAWS___/ Mineraalivillasoiro
- 341. Vaneri, tarvittaessa

KUVA 11. Vaaka-asennetun Sandwich-paneelin ja sokkelin liitoksen pystyleikkaus (Ruukki Construction Oy 2017-05-04)

3.3.2 Betonielementtien ja teräsrakenteiden liitokset

Betonielementtisokkelien ja kantavien teräspilareiden liitoksissa on myös mahdollisuus ilmavuodoille (kuva 12). Sokkelirakenteesta noin 30 cm jää maanvaraisen lattiapinnan yläpuolelle, jolloin liitos on kosketuksissa ulkoilman kanssa. Asennusvarat teräs- ja betonirakenteiden anturan liitoksessa täytetään painevaluna juotosbetonilla. Liitosdetaljista ei ilmene tiivistämisen kannalta tehtäviä toimenpiteitä betonisokkeleiden välisessä liitoksessa. Sokkelirakenne jää suurimmaksi osaksi maan alle. Betonielementtisokkelin sisäkuoren ja teräspilarin välissä ilmalla on tilaa liikkua, joka voi aiheuttaa ilma-vuodon maanvaraisen lattian alta betonielementin ja teräspilarin liitokseen.

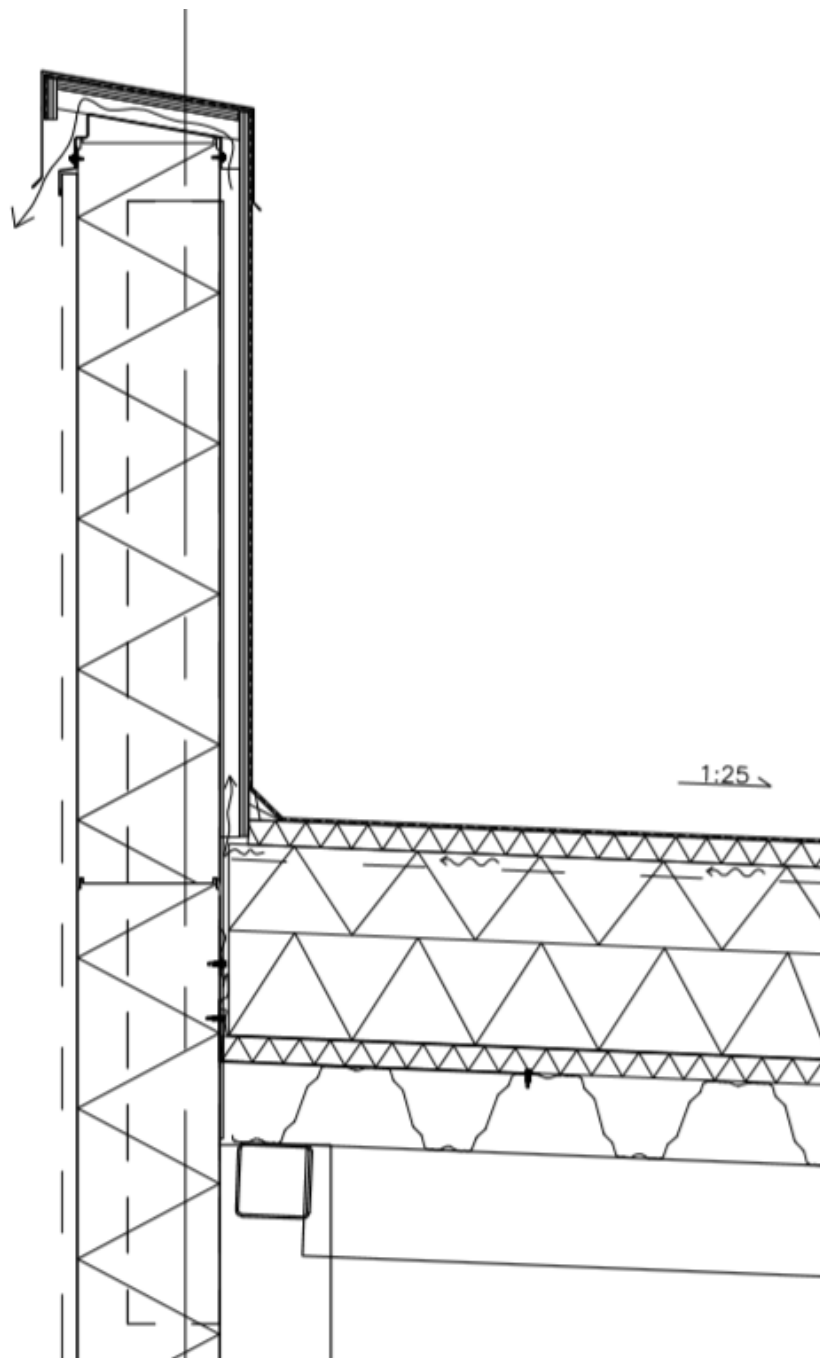


KUVA 12. Betonielementtisokkelin ja teräspilarin liitosdetalji (SS Teracon Oy 2017-02-07)

3.3.3 Yläpohjaliitokset

Hallin tuuletettu räystäärakenne on toteutettu siten, että kevytelementteinä nousee yläpohjarakenteen yli (kuva 13). Useimmissa tapauksissa kantava poimulevy on kallistettu katon harjan suuntaisesti, mutta räystäsrakenne on suunniteltu rakennuksessa siten, että vastakallistus kattokaivoille tehdään koko yläpohjarakenteelle. Seinän ja yläpohjan liitoksessa kantavan poimulevyn päälle asennetaan eristeen tukilista, jonka päälle ensimmäinen eristelevy asennetaan. Eristelevyn päälle asennetaan höyrynsulkumuovi. Höyrynsulkumuovilla rakenteesta tehdään ilmanpitävä. Höyrynsulkumuovi limitetään vähintään 200 mm muovien liitoskohdassa, jonka jälkeen liitos teipataan tiiviiksi. Höyrynsulkumuovin ylösnosto kiinnitetään kevytelementin sisäpeltiin sileällä listalla. Lista kiinnitetään sisäpeltiin kiinnitykseen soveltuvalla listaruuvilla. Liittymäkohdassa on huolehdittava siitä, että ylösnosto jää sen verran löysäksi, ettei esimerkiksi rakenteen painuminen riko höyrynsulkua.

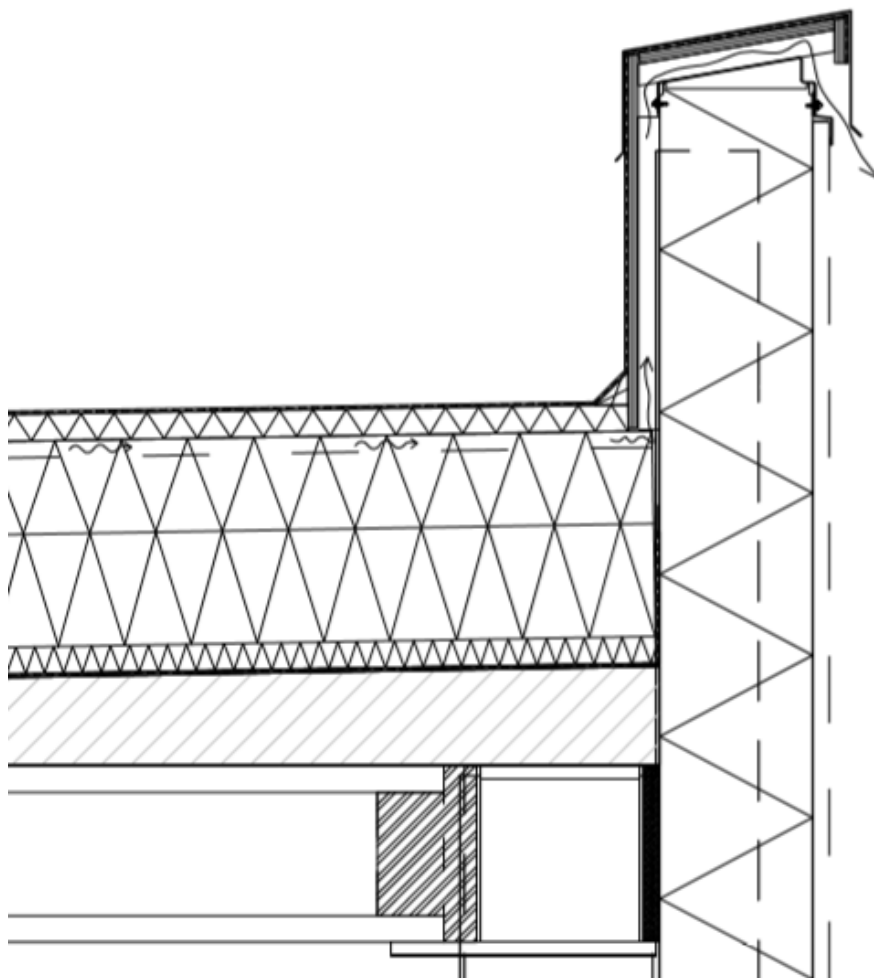
Yläpohjarakenne koostuu neljästä eristekerroksesta. Rakenteen tuuletus saadaan aikaan, kun pintakermiä toiseksi lähimmän eristekerroksen yläpinnassa on uritus. Urituksen täytyy olla rakenteessa yhtenäinen, jotta tuuletus varmasti toimii koko rakenteessa. Viimeisen eristekerroksen päälle liimaetaan pintakermi, jonka avulla yläpohjarakenteesta saadaan vedenpitävä.



KUVA 13. Halliosan räystäärakenne tuuletettu (SS Teracon Oy 2017-02-27)

Yläpohjan ja ulkoseinän liitos toteutetaan samalla tavalla myös hallin päätyräystäällä. Rakennuksen yhdysosalla rakenteen kantava osa muuttuu kantavasta poimulevystä ontelolaataksi (kuva 14). Yhdysosan kattorakenteessa ei ole käytetty höyrynsulkumuovia vaan höyrynsulku saadaan aikaiseksi aluskermin avulla. Kun aluskermi liimataan betonialustaan, on ennen liimaustoimenpidettä tehtävä betonialustalle tartuntasively bitumiliuoksen avulla. Tartuntasivelyn jälkeen aluskermi liimataan kauttaaltaan kuumennetulla bitumilla. Aluskermi limitetään vähintään 200 mm aluskermin liitoskohdissa.

Höyrinsulun tulee myös liittyä primääri- ja seinärakenteisiin siten, että se on ehjä ja yhtenäinen. Aluskermin ylösnosto kiinnitetään kevytelementin sisäpeltiin liimaamalla. Ylösnoston korkeus on oltava vähintään 300 mm. Yhdysosan yläpohjarakenne on höyrinsulun jälkeen täysin samanlainen kuin halliosan yläpohjarakenne.



KUVA 14. Yhdysosan räystäärakenne tuuletettu (SS Teracon Oy 2017-02-27)

Monitoimiareenalla on siis käytetty yläpohjarakenteissa kahta eri höyrinsulkumateriaalia muovia sekä bitumikermiä. Höyrinsulkujen asennus tehtiin kohteessa talviaikaan, joka tulee huomioida asennustyötä tehdessä. Bitumikermillä on huomattavasti paremmat kylmäominaisuudet, kun taas muovia käytettäessä ulkoilman lämpötilan tulee olla vähintään + 5 °C.

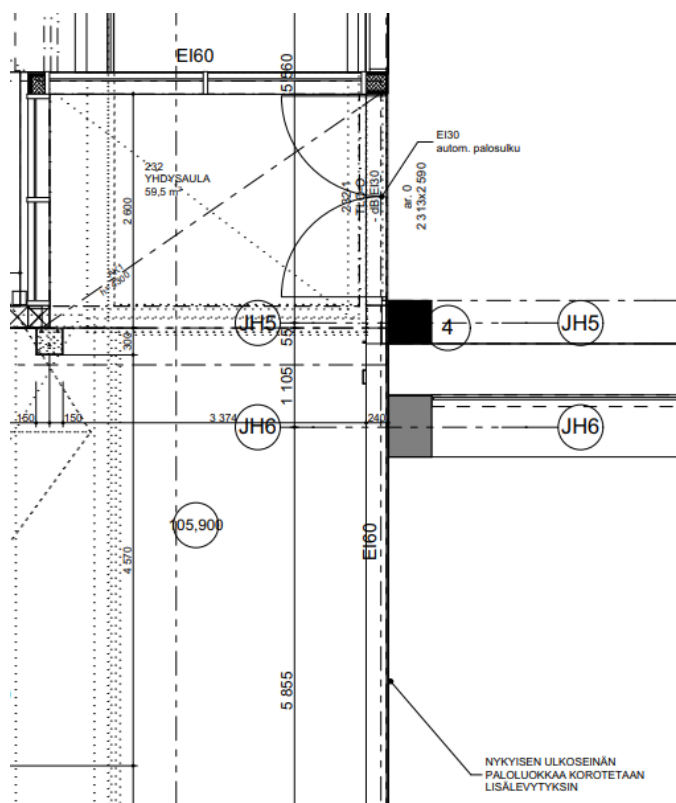
Höyrinsulkumateriaalien liitoksien tekeminen ei yleensä onnistu myöskään märissä olosuhteissa. Mikäli työn jatkuminen halutaan varmistaa keskeytyksittä, on yläpohjarakenteen päälle asennettu

sääsuoja asennustöiden ajaksi. Monitoimiareena rakennuksena on niin suuri, ettei sääsuojan tekeminen yläpohjarakenteen päälle olisi ollut kannattavaa. Tällöin asennusolosuhteiden varmistamisella on iso merkitys, jotta limitykset ja teippaukset saadaan varmasti pitäviksi. Höyrynsulkumateriaalin tulee myös olla liitettävissä erilaisiin läpivienteihin luotettavasti vallitsevissa asennusolosuhteissa.

3.3.4 Yhdysosan ja jäähallin väliset liitokset

Monitoimiareena yhdistyy Mikkelin jäähallin kanssa, joten yhdysosan ja jäähallin välisissä liitoksissa voi olla mahdollisuus myös ilmavuotokohdille. Jäähallin peltiseinä on purettu monitoimiareenan yhdysosan toisen kerroksen välipohjaan asti. Yhdysosan toisen kerroksen välipohjan ja jäähallin seinän liitoksessa teräksinen vaakapalkki on kiinnitetty elastisesti jäähallin ulkoseinään. Liitoksen jäähallin seinään tulee olla tiivis, jottei ilmavuotokohtia tule toisen kerroksen katon rajaan. Yhdysosan ja jäähallin välisistä liitoksista ei ole erikseen rakennesuunnitelmia, jossa tiivistys toimenpiteet tulisivat esille.

Kun kaksi rakennusta liitetään toisiinsa ovat kahden eri rakennuksen palo-osastoa vastakkain (kuva 15). Arkkitehtipiirustuksesta selviää palo-osastojen välisen seinän palonkestoluokka EI60. Tiivistystoimenpiteet tehdään palokatkoina. Palokatkojen tarkoituksena on estää kuumuuden ja savukaasujen leviäminen palo-osastosta toiseen. Monitoimiareenalla rakenteiden liittymiskohtien saumat ovat toteutettu siten, että sauma on sullottu mineraalivillalla. Lopullinen tiivistys on tehty paloakryyillä osastoivaa rakennusosaa vastaavaksi. Palo-osastoidun seinän läpi kulkeviin läpivienteihin asennetaan seinän molemmin puolin putkimansetit, jotka estävät putken sisäisten kaasujen leviämisen palo-osastosta toiseen. Putken ulkopuolinen tiivistys tehdään, kuten rakenteiden liittymiskohtien saumaus.



KUVA 15. Yhdysosan ja jäähallin välinen seinä (Arkkitehtitoimisto Heikki Kirjalainen Oy 2016-12-30).

Yhdysosan kolmannessa kerroksessa, joka nousee jäähallin yläpohjan yläpuolelle, on toteutettu kevytelementeillä, kuten muut rakennuksen julkisivut. Kevytelementit ovat asennettu toisen kerroksen välipohjassa olevan vaakapalkin päälle.

3.3.5 Läpiviennit

Rakennuksen vaipan tiiveyteen vaikuttaa myös rakennuksessa olevat läpiviennit. Yleisimpiä läpivientejä ovat lämpö-, vesi-, viemäri-, ilmanvaihto-, tieto- ja jätejärjestelmien kanavat, putket ja johdot. Läpivientejä on rakennuksessa yleisesti ulkoseinissä, ylä- ja alapohjassa. Läpivientien tiivistystoimenpiteet tulee tehdä rakenteeseen soveltuvalla tavalla.

Monitoimiareenan ulkoseinän rakenne on ulko- sekä sisäpuolelta tarkasteltuna samanlainen. Kahden teräsohutlevyn välissä on mineraalivillakerros. Tiivistystoimenpiteet läpivienneille on toteutettu siten, että väljemmät läpiviennit ovat aluksi sullottu mineraalivillalla tai tiivistykseen soveltuvalla solumuovitiivisteellä. Lopullinen tiiviys saadaan aikaan tiivistysmassalla, joka tehdään rakenteen molemmiin puolin. Mikäli LVIS-läpivienteihin on ollut saatavilla sandwich-rakenteeseen soveltuva läpivientikappale, on sitä käytetty tiivistyksen varmistamiseksi.

Yläpohjarakenteen läpivientien tiivistys on toteutettu käyttäen valmisosa rakenteisia läpivientiholkeja. Sähköputkituksilla eikä rasioilla saa puhkoa reikiä höyrynsulkuun. Höyrynsulun asentamisessa on tärkeää, että se on varmasti kauttaaltaan ehjä. Halliosan yläpohjarakenteessa, jossa höyrynsulkuna on käytetty muovia, on läpivientien liittymät tiivistetty teippaamalla. Yhdysosan läpiviennit on liitetty käyttäen läpivientitiivisteitä. Läpivientien liittymät ovat tiivistetty kuumennetulla kumibitumikermillä, jossa höyrynsulkuna on bitumikermi.

Vesikatolla puhaltimille ja poistoryhmille on tehty 300 mm:ä korkeat jalustat, johon vedeneriste nostetaan edellä mainittuun korkeuteen. Jalustat on pellitetty kuumasinkityllä teräspellillä. Pellityksen päälle tai laitteiden läpivientien osalle ei saa jäädä tasaisia kohtia, ettei sulamisvedet patoudu läpivientien kohdalle. Pellityksen tarkoituksena on myös ohjata vesi pois liittymäkohdista.

Vaikka monitoimiareenan alapohjarakenne on maanvastainen betonilaatta, on läpivientien tiivistys tehtävä betonilaatan kuivumisen vuoksi. Alapohjarakenteessa läpivientien tiivistyksessä on käytetty tiivistysnauhaa, joka kiedotaan läpivientiputken ympärille. Alapohjalaatan betonoinnin jälkeen betonilaatan yläpinnan yläpuolelle tullut osa poistetaan ja läpiviennin tiivistys viimeistellään täyttämällä saatu varaus elastisella saumamassalla.

4 RAKENNUSTYÖN TOTEUTUS

4.1 Valvonnan vastuut

Lopullinen ulkovaipan toimivuus riippuu aina siitä, miten työmaalla kyseiset asiat tehdään. Käytettävissä olevien tulosten perusteella näyttää siltä, että ns. tavanomaisia menetelmiä käyttämällä, mutta kiinnittämällä erityistä huomiota ilmanpitävyyteen vaikuttaviin asioihin voidaan saavuttaa hyväksi katsottava tiiviystaso. (Kauppinen 2011, 124.)

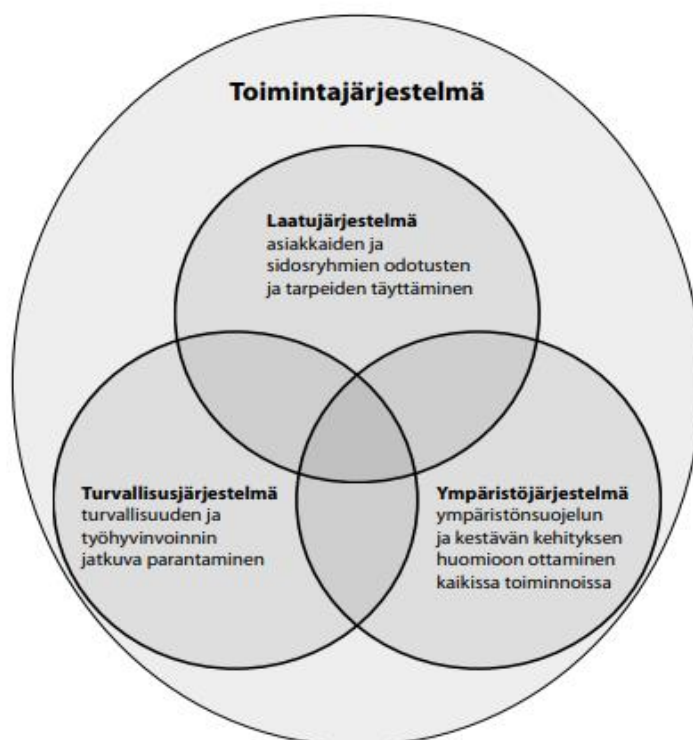
Nykyrakentamisessa yleinen malli kulkee siten, että suuret rakennusliikkeet toimivat pääurakoitsijana ja tilaavat eri rakennusvaiheet muilta rakennusurakoitsijoilta. Suurissa rakennushankkeissa, kuten monitoimiareena hankkeessa, on käytetty eri rakennusvaiheisiin eri urakoitsijaa. Näin ollen ilmatiiveyden kannalta työvaiheiden toteutus vaatii ennalta suunnittelua ja systemaattista valvomista, jotta rakennustyö tiivistyksineen toteutetaan oikein. Rakennustyön toteuttamisen valvonnan vastuu on pääurakoitsijalla, mutta lopullisen valvonnan tekee rakennuttajaa edustava työmaan valvoja. Eri rakennusvaiheisiin valitaan pääurakoitsijalta työn toteutusta valvova työnjohtaja.

Ennen kuin rakennustyö aloitetaan, on työn toteutukseen pääurakoitsijan toimesta tilattava urakoitsija. Yleisenä ajatuksena voidaan pitää, että rakennusvaiheen toteuttajaksi valitaan urakoitsija, joka on erikoistunut kyseiseen työvaiheeseen. Valitettavan usein urakoitsijan valinnassa painottuu enemmän urakkatarjouksessa saatu asennustyön hinta kuin referenssit kyseisistä töistä. Tästä voi haitta-vaikutuksena tulla epävarmuutta asennustyöstä ja epätietoisuutta työmenetelmistä. Huolellinen työn toteutus on edellytys liitoksien onnistumisille, jotta niistä saadaan ilmanpitäviä.

Rakennustyön aikana noudatetaan rakennukselle suunniteltua rakennusselostusta. Rakennusselostuksesta selviää laatuvaatimukset eri työvaiheille. Tarjouspyyntövaiheessa pääurakoitsijan vastuulla on tuoda laatuvaatimukset esille urakasta tarjoavalle rakennusurakoitsijalle. Kun rakennusurakoitsija on valittu rakennustyön toteuttajaksi, esimerkiksi kevytelementtien asennustyöhön, on pääurakoitsijan vastuulla seurata, että vaaditut laatuvaatimukset täyttyvät rakennustyön aikana.

4.2 Laatujärjestelmä

Suurilla rakennusliikkeillä, kuten NCC:llä on oma toimintajärjestelmänsä (kuva 16). Laatujärjestelmä on yksi osa sitä. Laatujärjestelmää pyritään kehittämään eteenpäin jatkuvasti. Eri rakennusvaiheille on suunniteltu tietyt toimenpiteet, jolla voidaan varmistua, että tavoiteltu laatu saavutetaan. Ilmatiiveyden kannalta laadunvarmistus alkaa jo rakentamisen valmisteluvaiheessa, jolloin ilmatiiveyden kannalta asetetut tavoitteet asetetaan. Työmaan laadunvarmistukseen kuuluu rakentamis- ja viimeistelyvaiheen aikana tehtävät laadunvarmistustoimenpiteet.



KUVA 16. Toimintajärjestelmä (Rakennustieto Oy 2017, 11).

Työmaalla tapahtuville tuotannon laadunvarmistustoimilla varmistetaan ja todennetaan, että tehty tuote vastaa sopimuksenmukaista laatua. Laadunvarmistustoimet eri työvaiheiden ja urakoiden osalta esitetään laadunvarmistusmatriisissa, joka laaditaan työmaan aloituspalaverin yhteydessä. Laadunvarmistusmatriisista vastaavat vastaava työnjohtaja, projektipäällikkö tai työpäällikkö. (Rakennustieto Oy 2017, 11.)

NCC:n toimintajärjestelmässä teknisen laadun varmistaminen on kuvattu seuraavanlaisesti: Teknisen laadun varmistaminen tehdään laadunvarmistusmatriisin määrittelemässä laajuudessa. Tehtävä- ja työkokonaisuuden suunnittelu, ohjaus ja todennus toteutetaan toistuvalla prosessilla, joka sisältää:

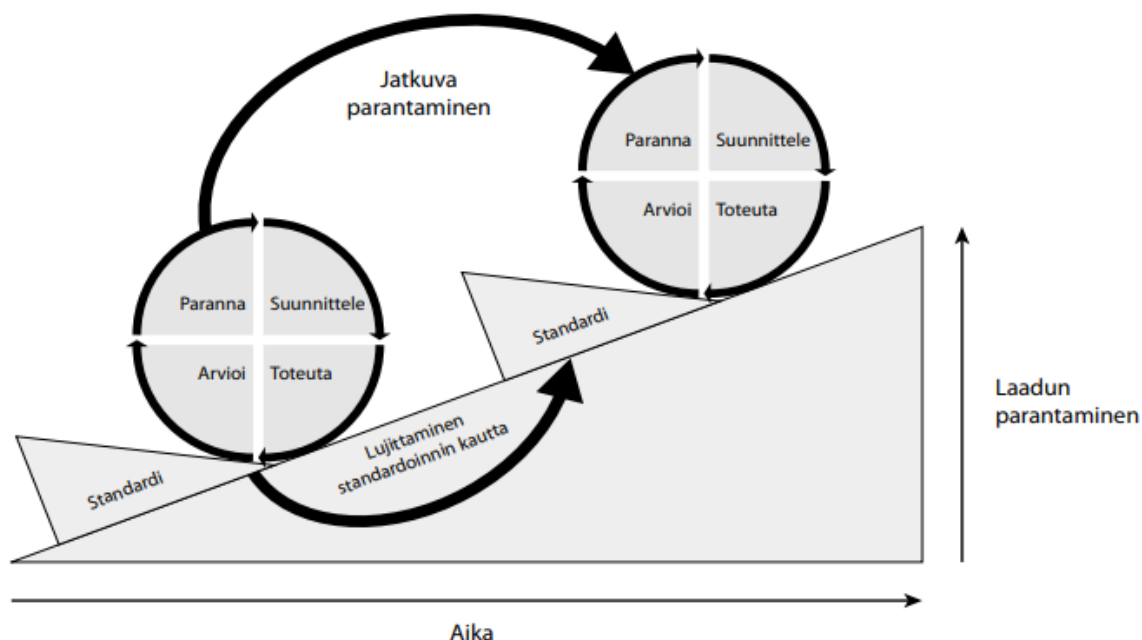
- työvaiheen tehtäväsuunnitelman
- työvaiheita edeltävän aloituspalaverin
- mestan vastaanoton työvaiheen aloittamiseksi
- mallityön tekemisen ja tarkastamisen
- mittauksia, tarkastuksia ja testejä
- työvaiheen osavastaanottoja
- työvaiheen vastaanottokatselmuksen ja päättämisen

Tuotannon perussuunnitelmia on päivitettävä työmaan aikana, erityisesti niissä tapauksissa, joissa perussuunnitelmista on poikettu. Tuotannosuunnitelmien päivittämisestä vastaavat työmaan toimihenkilöt.

Rakentamisvaiheen aikana laadun seuraamisen tueksi on kehitetty erilaisia ohjelmia, joilla laadun valvonnasta tehdään helpompaa työmaan työnjohdolle. NCC:llä työmaan laadunvarmistusmatriisi on liitetty Congrid pilvipalveluohjelmistoon.

Dokumentointi ja tarkastukset ovat tärkeässä roolissa yrityksen laadun ja turvallisuuden onnistumisessa. Rakennusalalla kehitetään jatkuvasti kustannustehokkaampia ja aikaa säästäviä rakennusteknisiä ratkaisuja, joten vaadittavan dokumentaation määrä kasvaa samassa suhteessa. Tähän vaikuttavat sekä yritysten johdon halu parantaa, ohjata ja valvoa asiakkaalle tarjottavan lopputuotteen laatua, että viranomaisilta ja muilta tahoilta tulevia vaatimuksia. (Congrid.fi)

Työnjohdon on myös oltava dokumentoinnin ja tarkastuksien lisäksi vuorovaikutuksessa asennustyötä tekevään urakoitsijaan. Hyvä laatu syntyy hyvästä vuorovaikutuksesta. Silloin vastuu suunnittelusta ja toteutuksesta annetaan niille, jotka todellisuudessa tekevät työn. Sen edellytyksenä on, että järjestelmään kuuluvat toimet tehdään niin kuin ne on suunniteltu. Samalla on myös huolehdittava siitä, että parhaita tunnettuja menettelytapoja noudatetaan ja kehitetään jatkuvasti (kuva 17). Laatujohtamisen onnistumiseksi yrityksen toimintatapojen ja tavoitteiden tulee olla selkeitä. Laadukas toiminta syntyy tavoitteiden ymmärtämisestä ja niihin sitoutumisesta. Kaikkien työmaalla työskentelevien on koettava tavoitteet omakseen. Laadun tulee olla jokaisen työmaan tuotantoon osallis-tuvan korvien välissä. Kun jokaisella on todellinen ymmärrys, mitä laatu on ja halu ottaa vastuu laadusta, huonoa laatua ei pääse syntymään. (Rakennustieto Oy 2017, 9.)



KUVA 17. Jatkuva laadun parantaminen (Rakennustieto Oy 2017, 9).

4.3 Laadunvalvonta ilmatiiveyden kannalta

Kun mietitään laadunvalvontaa ilmatiiveyden kannalta, tulee ensimmäiseksi mieleen eri ilmatiiveyden mittausmenetelmät ilmatiiveysmittauksesta lämpökamerakuvaukseen. Näillä menetelmillä voidaan

varmistua siitä, että rakennus on tiivis, mutta suurin osa laadunvalvonnasta tapahtuu jo ennen työtehtävien alkua ja niiden aikana (kuva 18).



KUVA 18. Työlle asetettujen vaatimuksien toteuttamista seurataan ja työtä ohjataan haluttuun laatu-tasoon. Tämä työnaikainen laadunvarmistus ja ohjaus jatkuvat koko tehtävän keston ajan. (Rakennustieto Oy 2017, 24).

Ennen varsinaisen työtehtävän alkua on työnjohdon selvitettävä vaadittu laatutaso eri työvaiheisiin. Perinteisesti ennen tehtävän alkua pidetään aloituspalaveri työtehtävän suorittavan urakoitsijan kanssa. Työmaan aloituspalavereissa, ns. laatuviireissä välitetään työntekijöille toimintaan kohdistamat rakennuttajan vaatimukset ja yhdessä työntekijöiden kanssa suunnitellaan keinot, joiden avulla vaatimukset saavutetaan ja potentiaaliset ongelmat vältetään (Rakennustieto 2017, 18).

Aloituspalaverin jälkeen seuraavana toimenpiteenä on varmistuttava, että aloitusedellytykset työtehtävälle ovat kunnossa. Edellytykset työn aloittamiselle todetaan työnjohdon ja urakoitsijan kesken mestan vastaanotossa. Mestän vastaanotossa olisi hyvä myös tarkastella, kuinka asennustyö tulisi aloittaa ja onko muita mahdollisia edellytyksiä, joita asennustyö vaatii. Esimerkiksi rakennustarvikkeiden varastointi, edeltävät ja seuraavat työvaiheet.

Työnjohdon on hyvä tutustua eri liitoksiin ilmatiivyyden kannalta, joita asennustyön aikana tulee vastaan. Monitoimiareenalla tällaisia liitoksia kevytelementtiasennuksessa ovat sokkeli- ja ikkunaliitokset, elementtien väliset liitokset ja ulko- sekä sisänurkkien liitokset. Perehtymällä liitoksiin etukäteen, on työnjohdolla selkeä kuva siitä, minkälainen liitos pitää olla, ennen kuin ensimmäinen elementti asennetaan paikalleen. Ensimmäisestä asennuksesta tehdään laadunvarmistus toimenpiteenä mallityö.

Mallityön avulla konkretisoidaan työn laatutaso. Työryhmän ensimmäiseksi valmistunut työkohte tarkistetaan, havaitut poikkeamat korjataan haluttuun laatutasoon ennen seuraavaan kohteeseen siirtymistä ja työkohte hyväksytään referenssiksi seuraaville työkohteille (Rakennustieto Oy 2017, 18). Mallityö antaa laadun suunnan työryhmälle, jota he alkavat toteuttaa. Kevytelelementtien asennuksessa erilaisia liitoksia tulee paljon. Työnjohdon vastuulla on seurata asennustyön etenemistä ja varmistua siitä, että laatutaso pysyy samana koko asennustyön ajan.

Suurissa asennustöissä, kuten kevytelementtiasennuksessa on hyvä tehdä säännöllisesti laatutarkastuksia eri osakohteille ja mahdollisia työvaiheen osavastaanottoja. Monitoimiareenalla laatutarkastuksien tekemiseen käytettiin Congrid pilvipalveluohjelmistoa. Ohjelmiston avulla voidaan valita:

- tarkastuksen nimi
- tarkastuksen kohteena oleva työvaihe
- alue, johon tarkastus kohdistuu
- tarkastuksen kuvaus

Kun tarkastus on suoritettu, voi ohjelmistosta tuottaa suoraan laatutarkastusta koskevan dokumentin (kuva 19).

Mikkelin Areena
Työ 13202
NCC Suomi Oy

Laatutarkastus 40
Mikkeli Areena, Lohko A (katsomot ja pukuhuoneet), 1.krs
02.05.2017, Viikko 18



Pvm.	Työvaihe / Tarkastus	Alue	
02.05.2017	3061 Pelti-villa-pelti -elementin asennus / Osakohteen tarkastus	Mikkeli Areena, Lohko A (katsomot ja pukuhuoneet), 1.krs	EL

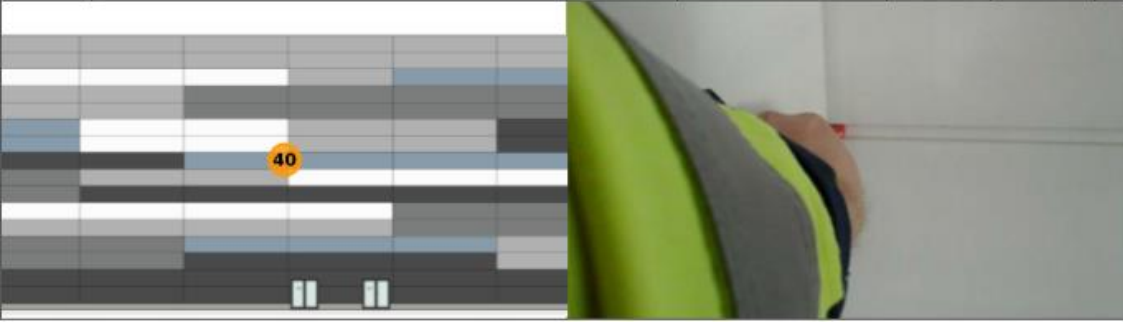
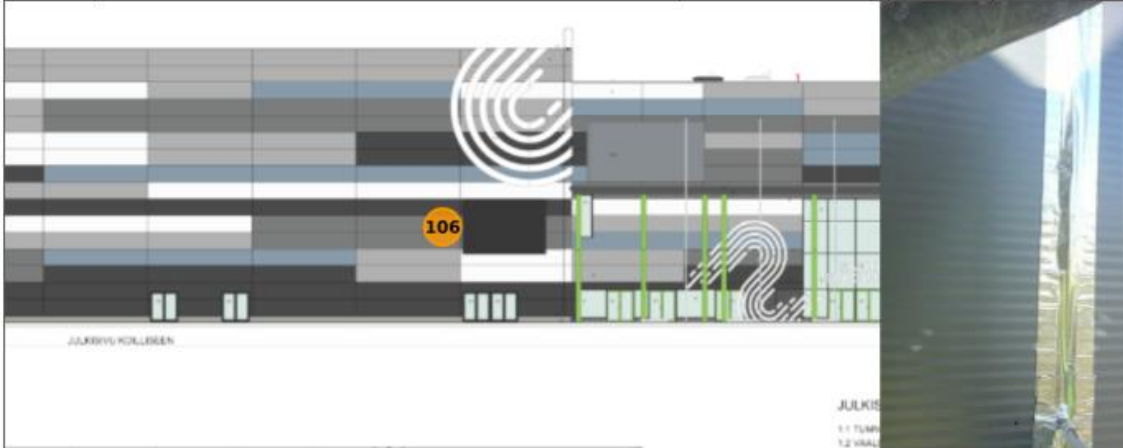
Hyväksyjät	Osallistujat
	Eemeli Leminen

Tila	Kuvaus
⊙	1. Julkisivuelementit ja niiden kiinnikkeet ovat suunnitelmien mukaisia ja elementit ovat oikean värisiä
✓	2. Rakenteessa ei esiinny hammastuksia ± 5 mm 👉 Elementit eivät ole pontissaan. 04.05.17 08:57 Leminen: ✓ Hyväksytyt
✓	3. Julkisivujärjestelmän pinnat ovat ehyitä ja suoria 10.05.17 08:02 Leminen: ✓ Hyväksytyt
⊙	4. Julkisivujärjestelmän pinnat ovat puhtaita ja siistejä
⊙	5. Valokuvia on otettu detaljeista, liitoksista sekä yleisilmeestä.
✓	6. Paneelin kiinnityksessä on käytetty kiinnikkeitä vähintään kaksi kappaletta paneelin päässä ja nurkka-alueilla kolme 24.05.17 10:28 Leminen: ✓ Hyväksytyt
⊙	7. Asennusaikaiset raot ja reiät seinän ulkopinnassa on tiivistetty
⊙	8. Peite- ja ulkonurkkalistat on asennettu nurkkien pystysaumoihin ja niiden kiinnityspintojen alle on asennettu tiivistysnauha
⊙	9. Työkohte on siivottu kaikista työstä aiheutuneista jätteistä

Lisätietoja	Sää 02.05.2017
	 Sää kello 10:49 Selkeää Lämpötila: 8,9 °C Tuuli: 5.3 m/s

KUVA 19. Congrid ohjelmistosta tuotettu laatutarkastusdokumentti koskien kevytelementtien asennusta lohkolla A.

Kuvasta 19 voidaan huomata, että laatutarkastuksessa on käsitelty useita kohtia, joilla on vaikutusta rakennuksen vaipan ilmatiiveyteen. Rakenteen liiallisella hammastuksella, elementtien liian vähäisellä kiinnityksellä, asennusaikaisten rakojen ja reikien tiivistämättä jättämisellä ja kiinnityspintojen alle asennettavien tiivistysnauhojen pois jättämisellä on negatiivinen vaikutus rakennuksen vaipan ilmatiiveyteen. Laatutarkastusdokumenttiin voidaan ottaa mahdollisista virheistä ja puutteista valokuvia, joista virhe on helpommin havaittavissa (kuva 20).

ID	Kuvaus	Vastuuyritys	Luotu	Hyväksytty	
40	Piha-alueet, Hallin pääsisäänkäynni puoleinen sivusta, Seinä: 2. None. Elementti ei pohjassa	Scandic Standard	05.05.17		EL
					
ID	Kuvaus	Vastuuyritys	Luotu	Hyväksytty	
106	Piha-alueet, Hallin pääsisäänkäynni puoleinen sivusta, Seinä: 6. None. Kiinnitys puutteellinen	Scandic Standard	24.05.17		EL
					

KUVA 20. Laatutarkastusdokumentista ilmenee virheen kuvaus, vastuuyritys, havainnon päivämäärä, havainnon sijainti ja valokuva.

Congridin kaltaiset pilvipalveluohjelmistot tehostavat rakennustuotannon valvontaa. Pilvipalveluohjelmat toimivat nykyisin myös mobiililyökaluna työmailla, jolloin laatutarkastuksien tekemiseen ei tarvitse enää tulostaa erillisiä tarkastuskortteja. Edellisiin laatutarkastuksiin voi myös aina palata, lisätä havaintoja ja kuitata havainnot korjatuiksi. Työnjohdon on myös helppo toimittaa virhe- ja puutelista suoraan urakoitsijalle ennen kuin varsinainen vastaanottotarkastus työtehtävästä tehdään.

4.4 Metallielementtirakentamisen työturvallisuus, laadunvarmistus ja työmenetelmät

Rakennuksen vaippa koostuu pääasiassa ulkoseinistä, ylä- ja alapohjasta. Monitoimiareenan kaltaisissa hankkeissa ulkoseinien asennustyöllä on suuri merkitys, että rakennuksen vaipasta saadaan ilmanpitävä. Ulkoseinien asennustyö on myös vaarallinen työvaihe, jolloin rakennustyön aikaisen työturvallisuuden noudattaminen ja valvominen ovat todella tärkeitä.

Ennen työvaiheen aloitusta ensimmäisenä laadunvarmistus toimenpiteenä on varmistaa resurssien saanti. Kevytelelementtiasennuksesta vastaavan työnjohtajan tulee selvittää:

- elementtien saanti ja niiden toimitus
- asennustyön aikana käytettävät tarvikkeet ja kalusto
- asennustyön suorittava työryhmä, elementtiasentajien ja hitsaajien pätevyys.
- suunnitelmien toteutuskelpoisuus, etenkin liitosdetaljien osalta ennen asennustyön aloitusta.
- edeltävän työvaiheen valmius asennustyön aloittamiseksi

Elementtitoimitukset on suunniteltava siten, että turhaa varastointia työmaalla vältetään. Vastaanoton yhteydessä tarkistetaan, että elementtien laatu ja kunto sekä elementtikuorman lastausjärjestys ovat suunnitelmien mukainen. Elementtitoimituksesta tulee käydä ilmi valmistaja, tyyppi ja tarvittaessa asennussuunta ja muut asennusohjeet. (Rakennustieto Oy 2017, 168.)

Työnjohtajan on varattava tilaa elementtien varastoinnille, siirroille ja nostoille. Tilan varauksessa on otettava huomioon asennusjärjestys, elementtien koko ja paino. Varastoinnin ja siirtojen aikana on noudatettava elementtitoimittajan ohjeita siten, etteivät elementit ja tarvikkeet vaurioidu varastoinnin tai siirtojen aikana. Valmiiksi pintakäsiteltyjen elementtien käsittelyssä on noudatettava erityistä varovaisuutta. (Rakennustieto Oy 2017, 168.)

Ennen kuin asennustyö aloitetaan, on työnjohtajan varmistuttava myös siitä, että edeltävä työvaihe on valmis asennustyön aloittamiseksi. Kevytelelementtien kiinnitysalustan tulee täyttää sille asiakirjoissa asetetut vaatimukset. Sokkelielementtien asennus tulee olla tarkastettu ja hyväksytty. Mittapisteiden suunnittelu on hyvä tehdä hyväksi käyttäen erillistä mittamiestä, yhteistyössä työryhmän kanssa.

Viimeisenä toimenpiteenä ennen asennustyön aloitusta on varmistuttava, että olosuhteet asennustyölle ovat hyvät. Kova tuuli asennustyön aikana tuo suuren tapaturmariskin elementtien keveyden ja korkealla työskentelyn vuoksi. Kovalla tuulella (10 m/s) nostoissa arvioidaan vaarat ja noudatetaan erityistä varovaisuutta. Erittäin kovalla tuulella (15 m/s) työskentely keskeytetään. (Rakennustieto Oy 2017, 168.)

Työnjohtajan on perehdytettävä työryhmä käyttämään asianmukaisia suojavarusteita. Kaikki NCC:n työmailla työskentelevien tulee saada ennen työn aloittamista suullinen perehdytys, joka sisältää

työmaan järjestys- ja turvallisuussääntöjen lisäksi myös riskien läpikäynnin. Suojavarustukseen kuuluu turvakengät, kypärä 3-/4-pisteen leukahihnalla, silmäsuojaimet ja huomiovaatteet. Kuulosuojaimia ja suojakäsineitä on käytettävä, mikäli työvaihe sen vaatii.

Koneiden ja telineiden kunto on myös tarkastettava ennen asennustyön aloitusta. Telineillä ja nostolaitteille tulee tehdä käyttöönottotarkastukset. Kevytelelementtiasennuksen aikana on putoamisvaara, eikä kiinteää putoamissuojaa ei ole, on asennuksen aikana käytettävä nostinta. Turvavaljaiden käyttö on myös pakollista, jos asennustyön aikana käytetään teleskooppinostinta henkilökorilla. Turvavaljaat tulee kiinnittää turvallisesti koriin ja henkilöstöllä tulee olla siihen dokumentoitu osaaminen. Kirjalliset asennusohjeet on toimitettava asennustyötä tekeväälle työryhmälle ennen asennustyön aloitusta.

Nostojen aikana tarkastetaan, että elementit on kunnolla kiinnitetty, nostot tapahtuvat niille suunnitelluista nostokohdista, nostolenkit ovat kunnossa eivätkä nostoketjut ole kiertyneet. Asentajilla ja nosturinkuljettajalla tulee olla näkö- tai puhelinyhteys työnaikana. (Rakennustieto Oy 2017, 169.) Nostoalue tulee myös rajata huomiovärillä varustetulla lippusiimalla, jottei nostoalueella tehdä muita töitä asennustyön aikana. Kevytelelementtien asennuksessa on myös mahdollista käyttää nostovälineenä imukuppeja, joiden avulla esimerkiksi vaurioituneen elementin vaihtaminen kahden elementtien välistä on helppoa.

Asennuksen edetessä tarkistetaan elementtien välisten saumojen sekä elementtien ja alustan välisten saumojen tiiviys, esimerkiksi mineraalivillakaistan avulla, sekä äänen- ja kosteudeneristys (Rakennustieto Oy 2017, 169). Mikäli asennustyö jää kesken, on elementit suojattava suojamuovilla, jottei vesi pääse kastelemaan paljaana olevaa eristekerrosta. Asennuksen aikana on myös varmistettava siitä, ettei kiinnitystarvikkeista aiheudu värvirheitä tai muita vikoja elementteihin (Rakennustieto Oy 2017, 169). Asennuksen aikana on myös huolehdittava siitä, että työmesta on siisti ja järjestyksessä. Kaikkien työmailla olevien henkilöiden tulee ylläpitää siisteyttä työskentelyn aikana. Siisteys ja järjestys työmaalla on tärkeää sen kannalta, ettei työmaan muut osapuolet altistu vaaroille.

Elementin sijainti on aina varmistettava ennen lopullista kiinnitystä mittapisteiden avulla. Mittapisteiden avulla varmistetaan elementin oikea asema, linjaukset, liitokset, riittävät tukipinnat ja oikea korko. (Rakennustieto Oy 2017, 169). Lopullinen säätö kevytelementille tehdään säätämällä elementin asentoa.

Kun asennustyö on tehty, pidetään asennustyöstä vastaanottotarkastus. Työnjohtajan varmistuttava siitä, että kevytelelementtien asennustyö täyttää sopimusasiakirjoissa esitetyt laatuvaatimukset mittatarkkuuden, saumojen, kiinnityksien ja pintojen laadun osalta. (Rakennustieto 2017, 169.) Vastaanottotarkastuksessa tarkastetaan elementtien tiivis kiinnittyminen alustaan, kosteudeneristys alustasta, ikkuna-aukkojen tarvittava suojaus, elementtien liitokset keskenään, elementtipintojen kunto ja elementtien oikea asema rakenteessa siten, että ne vastaavat sopimusasiakirjojen vaatimuksia.

Kun vastaanottotarkastus on pidetty, on silloin luotu edellytykset aloittaa uusi työvaihe, esimerkiksi vesikattotyöt. Kevyteleментtiasennus työvaiheena monitoimiareenalla on niin suuri, ettei ole aika-
taulullisesti järkevää odottaa, että koko asennustyö tehdään loppuun ennen seuraavan työvaiheen
aloitusta. Kevyteleментtien asennustyö vaatii useampia osakohdevastaanottoja, jolloin osa asennus-
työstä tarkastetaan etukäteen. Silloin asennustyön järjestys tulee olla hyvin suunniteltu, jotta voi-
daan luoda edellytykset vesikattotöiden aloitukselle. Tällöin etuna on myös se, että kevyteleментti-
asennuksesta vastaava työnjohtaja on mukana tarkastamassa, kun vesikattorakenne liitetään ke-
vyteleментteihin. Mahdolliset virheet liitoksen toteutuksessa ovat silloin epätodennäköisemmät.

5 MONITOIMIAREENAN ILMATIIVEYSMITTAUS JA ILMAVUOTOPAIKANNUS

5.1 Mittausolosuhteet

Luotettavan tiiveysmittauksen tekeminen vaatii riittävän vakaan paine-ero-olosuhteen. Standardi SFS EN 13829 kehottaa olemasta suorittamatta koetta, jos tuulen nopeus ylittää 6 m/s tai arvon 3 Beaufortin asteikolla, koska tällöin tiiveysmittauksesta ei saada täysin luotettavaa tulosta. Standardi suosittelee myös, että tiiveysmittausta ei tulisi tehdä, mikäli sisä- ja ulkolämpötilojen erotus kerrottuna rakennuksen korkeudella ylittää arvon 500 m°C, koska silloin savupiippuilmioilla on liian suuri vaikutus mittaustuloksiin. (Paloniitty 2013, 157.)

5.2 Rakennuksen ilmatiiveysmittaus

Rakennuksen tiiveysmittaus on puolueeton ja erittäin luotettava rakennuksen vaipan ilmanpitävyyden laadunvalvontamittaus. Mittaus on yksinkertainen, edullinen ja antaa selkeän kuvan siitä, millä tasolla tutkittavan rakennuksen ilmatiiveys on. Mittaus kannattaa tehdä jo rakennusvaiheen aikana, koska silloin voidaan puuttua jo ilmenneisiin vuotokohtiin ja korjata ne helposti sekä edullisesti. (Paloniitty 2013, 160.) Rakennusten lopullisen tiiveysmittaustuloksen tulee olla mitattu valmiista rakennuksesta. Rakennusaikaiset mittaukset ovat osa laadunvalvontaprosessia, mutta niitä ei voida pitää lopullisina mittaustuloksina. (Paloniitty 2013, 156.)

Rakennusten omalla ilmanvaihtojärjestelmällä tehdyt tiiveysmittaukset saattavat sisältää mittausepätarkuutta. Tulosten virhemarginaali voi suurimmillaan olla +20 prosenttia. Tulevaisuudessa suurten rakennusten ilmanvaihtojärjestelmät kannattaisi varustaa muutamilla lisäantureilla ja ohjausyksiköillä, koska silloin rakennuksen ilmanpitävyys voidaan mitata helposti "nappia painamalla" (Paloniitty 2013, 161).

Suuremmissa rakennuksissa mittaus pyritään tekemään aina kaupallisilla kalibroiduilla mittauslaitteilla. Mittaus kannattaa tehdä useamman sertifioidun tiiveysmittaajan yhteistyöhankkeena, jolloin saadaan riittävästi puhaltimia sekä mittausjärjestelyapua. (Paloniitty 2013, 161.)

Ennen ilmatiiveysmittauksen suorittamista rakennuksessa, on esivalmistelut suoritettava onnistuneen painekokeen ja luotettavan tuloksen saavuttamiseksi. Tiivistämällä on estettävä, ettei paineistetussa rakennuksessa kulje vuotoilmaa viemäreiden, ilmanvaihtokanavien, tulisijan, liesituulettimen tai vesi- ja viemäri liittymien aukkojen kautta. (Paloniitty 2013, 158.)

Monitoimiareenalla tiiveysmittaus suoritettiin 8.12.2017. Tiiveysmittauksen ajankohta oli viimeistelyvaiheen aikana, jolloin rakennuksen vaippa tiivistyksineen oli valmis. Rakennuksen ilmanvaihtokoneiden sulkupellit suljettiin koneellisesti sekä tarkastettiin, että pellit sulkeutuivat tiiviisti. Monitoimiareenan ovet suljettiin ja jäähallin ja yhdysosan välinen suojaseinä teipattiin tiiviiksi mittausten ajaksi (kuva 21).



KUVA 21. Monitoimiareenan yhdysosan ja jäähallin välinen suojaseinä teipattiin tiiviiksi ennen mittauksen aloitusta. Kuva jäähallin puolelta. (Karhunen 2017.)

Rakennuksen tilojen ilmanpitävyyttä mitataan niin sanotulla paine-eromenetelmällä, jossa tutkittavaan tilaan aiheutetaan paine-ero ulkoilmaan nähden. Paine-ero saadaan aikaan ilmatiiveysmittaukseen tarkoitetulla puhaltimella. Puhallin asennetaan ikkunan tuuletusluukun tai ulko-oven paikalle (kuva 22). Puhaltimena voidaan käyttää myös rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa. (Paloniitty 2013, 156.)

Monitoimiareenan tiiveysmittaus suoritettiin paine-eromenetelmällä standardin SFS-EN 13829 menetelmän B mukaisesti 50 Pascalin paine-erolla, joka vastaa nykyisin ISO 9972 Europe 2016 standardia. Mittaus suoritettiin alipaineisena. Tiiveysmittauksen tavoitteena oli selvittää ulkovaipan ilmanvuotoluku. Tutkimuksen suorittamiseen varattiin kaksi erillistä, kalibroitua tiiveysmittauslaitteistoa. Ilmamäärien ja paine-erojen tutkimiseen käytettiin Retrotec:in DM-32 paine-eromittareita. Tiiveysmittauksen suoritti Paloniitty Oy.



KUVA 22. Monitoimiareenalla puhallin asennettiin halliosan metalliulko-oveen. (Karhunen 2017.)

Mittausohjelmaan syötetään ulko- ja sisäilman lämpötilat sekä ulkoilman vallitseva paine. Ilmakehän paineen antamisessa pitää olla tarkkana eri yksiköiden kanssa, jottei lasketut ilmamäärät karkaa käsistä. Ulko- ja sisäilman välille luodaan paine-ero puhaltimella. Alipainemittauksessa ilmaa puhalletaan rakennukseen sisältä ulos ja ylipainemittauksessa ilmaa imetään ulkoa sisälle rakennukseen. (Paloniitty 2013, 159.)

Ennen varsinaista tiiveysmittausta tehdään manuaalialajo. Siinä puhallin ohjataan tyristorisäätimellä ja rakennukseen ajetaan 50 Pa:n alipaine. Tämän toimenpiteen tavoitteena on:

- mitata, saadaanko rakennukseen riittävä alipaine
- kokeilla, mitä kutistusrenkaita voidaan tai aiotaan käyttää
- selvittää, onko rakennukseen jäänyt tiivistämättömiä ilmanvuotopaikkoja, kuten esimerkiksi viemärit. (Paloniitty 2013, 159.)

Manuaalialajon jälkeen suoritetaan niin sanottu valitsevan paine-eron mittaus, jossa puhallin aukko on peitetty. Paine-eromittauksella mitataan tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttama paine-ero. Tätä paine-eroa kutsutaan lähtöpaineeksi. Lähtöpaine-ero mitataan yleensä 5-10 kertaa muutaman sekunnin mittausarjana, josta lähtöpaineen keskiarvo lasketaan. Lähtöpaine-eron pitäisi olla alle 5 Pa. Jos kuitenkin 5 Pa ylitetään, silloin tulee tehdä myös ylipainemittaus ja käyttää ali- ja ylipainemittausten keskiarvoa. (Paloniitty 2013, 159.)

Edeltävien toimenpiteiden jälkeen puhaltimella luodaan valittu paine-ero. Tasaisen paine-eron saavuttamiseksi tarvittava puhaltimen paine-ero mitataan. Ilmavirtaus täytyy mitata vähintään viidellä tasaisin välein olevalla paine-erolla siten, että suurin paine-ero on vähintään 50 Pa. Mittauksessa käytettävät paine-erot voidaan valita itse. (Paloniitty 2013, 159.)

50 Pa:n paine-eron ylläpitämiseksi tunnin aikana tarvittava ilmamäärä (Q) jaettuna tutkittavan tilan ilmatilavuudella (V) antaa tulokseksi niin sanotun ilmanvuotoluvun n_{50} (Paloniitty 2013, 156). Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo, montako kertaa rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa rakennuksen vaiipan vuoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pa:n ali- tai ylipaine (kuva 23) (Paloniitty 2013, 155). Ilmamäärää voidaan jakaa myös vaiipan alalla [A], jolloin tulokseksi saadaan ilmanvuotoluku q_{50} . Ilmanvuotoluku n_{50} esitetään yksikössä 1/h, vaihtoa tunnissa. Ilmanvuotoluku q_{50} esitetään yksikössä ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$). (Paloniitty 2013, 156.)

$$n_{50} = Q_{50}/V$$

n_{50} = Rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla (1/h)

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla ($\text{m}^3/(\text{h})$)

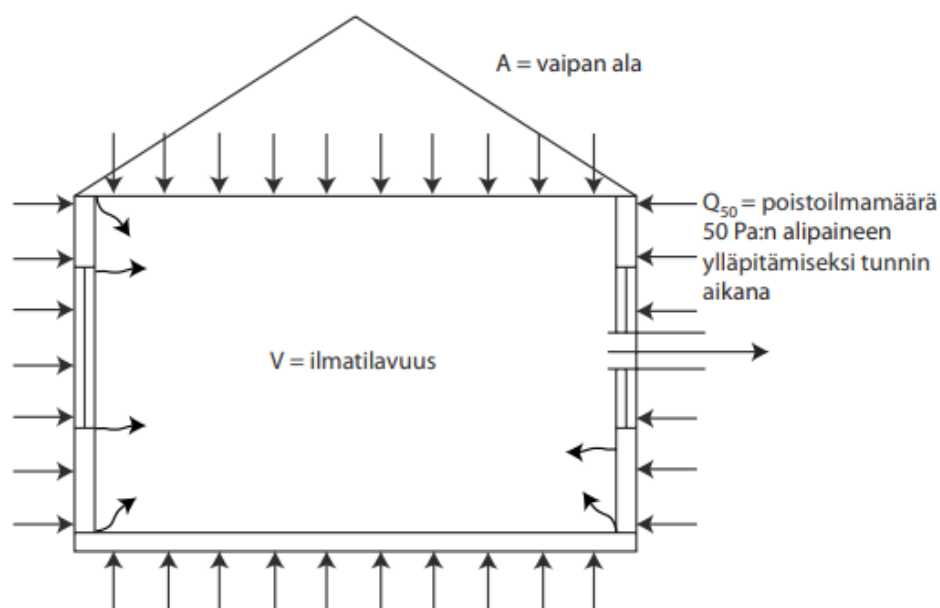
V = rakennuksen/mitattavan osan sisätalavuus (m^3)

$$q_{50} = Q_{50}/A$$

q_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa paine-erolla ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$)

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla ($\text{m}^3/(\text{h})$)

A = rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala (m^2) (Paloniitty 2013, 156.)



KUVA 23. Vaipan tiiveysmittauksen periaate (Rakennustieto Oy 2013, 157.)

Loppupaineen mittausta suoritetaan puhallussarjan jälkeen, jossa puhallinlaukko on kokonaan peitetty. Loppupaine-ero mitataan myös 5-10 kertaa muutaman sekunnin mittaussarjana, josta loppupaineen keskiarvo lasketaan. Paine-eroa ei voi hyväksyä, jos lähtö- ja loppupaineen ero on yli 5 Pa. Kun mittaukset ovat suoritettu kaikissa paine-eroissa ja ilmavirtaukset on saatu, mallintaa tietokoneohjelma näiden tietojen pohjalta rakennuksen ilmanvuotokäyrän. (Paloniitty 2013, 159.)

5.3 Ilmanvuotokäyrän laskenta

Kuristusrenkaan tiedosta ja puhaltimen akselin paine-erosta ohjelmisto laskee niin sanotun mitatun ilmamäärän. Mitatun ilmamäärän lämpötila korjautuu automaattisesti ohjelmassa. Ilman lämpötila vaikuttaa mitattuun ilmamäärään, koska ilman lämpötila vaikuttaa myös ilman tiheyteen. Siksi on tärkeää, että mittaja mittaa sekä ilmoittaa sisä- ja ulkoilman lämpötilan oikein. Ohjelmaan pitää myös ilmoittaa, tehdäänkö mittauksia sisältä vai ulkoa käsin. Mikäli ohjelma ei tee lämpötilakorjausta, tulee mittajan itse määrittää se, mikäli puhaltimen läpi virtaava ilma ei vastaa lämpötilaltaan kalibrointilämpötilaa, joka on yleensä +20 °C. (Paloniitty 2013, 160.)

Korjatut ilmavirtaukset syötetään ohjelmaan, ja ohjelma piirtää mitattujen pisteiden kautta käyrän. Ohjelman piirtämää käyrää kutsutaan rakennuksen vuotokäyräksi (building leakage curve). Ilmanvuotojen mallintaminen tietyssä paine-erossa $V_{\Delta pr}$ perustuu kaavaan:

$$V_{\Delta pr} = C_L * (\Delta_{pr})^n$$

$V_{\Delta pr}$ = ilmavirtaus tietyllä paine-erolla [m^3/h]

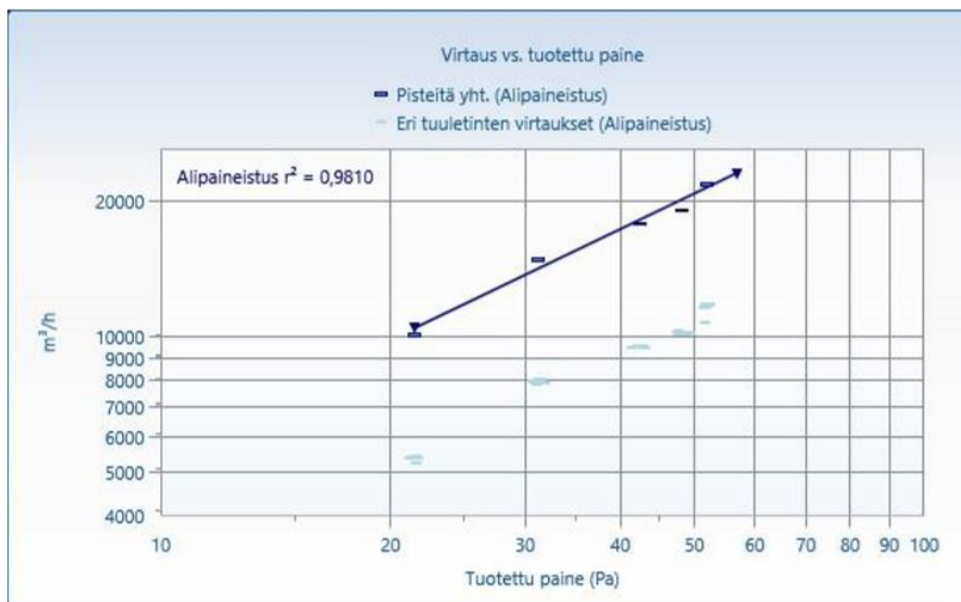
C_L = ilmanvuotokerroin [$m^3/(h*Pa^n)$]

Δ_{pr} = tietty paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolella [Pa]

n = virtauksesta johtuva eksponentti, joka yleensä vaihtelee 0,5:n ja 1,0:n välissä. Tätä voidaan kutsua myös ilmanvuotokäyrän kaltevuudeksi.

Näillä matemaattisilla laskentaparametreilla lasketaan, mikä ilmamäärä on, kun ilmanvuotokäyrä leikkaa 50 Pa:n paine-eron. Tästä saadaan vuotoilmavirta 50 Pa:n paine-erossa. (Paloniitty 2013, 160.)

Ohjelma laskee mittaussarjasta vuotokäyrän, jossa saadaan myös korrelaatiokerroin prosentteina. Tämä on vastaavuussuhde sille, kuinka hyvin mittauspisteet osuvat laskennalliselle ilmanvuotokäyrälle (kuva 24). (Paloniitty 2013, 160.)



KUVA 24. Monitoimiareenan ilmapuotokäyrä (Paloniitty Oy 2017-12-14).

5.4 Tiiveysmittausraportti

Monitoimiareenan tiiveysmittauksesta Paloniitty Oy laati tiiveysmittausraportin. Tiiveysmittausraportti on kirjallinen tutkimusraportti, joka sisältää tiiveysmittauspöytäkirjan lisäksi seuraavat tiedot:

- tilaajan yhteystiedot
- tutkimuksen tavoite
- johdanto ja selitysosa tiiveysmittaukseen
- tutkimuksessa käytetyt menetelmät
- tiivistysmenetelmät ja -paikat
- arvioitu virhetoleranssi
- havainnot ja johtopäätökset. (Paloniitty 2013, 160.)

Tiiveysmittaus suoritettiin kerralla koko rakennukseen. Kohteen suunniteltu ilmapuotoluku on $q_{50} 2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Mittaustulokseksi saatiin rakennuksen ilmanvuotoluvuksi $q_{50} 0,95 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Tulosten kokonaisepätarkkuutena voidaan pitää 5%. (Paloniitty 2017-12-14). Monitoimiareenan tiiveysmittausluokitus on B (kuva 25).

TIIVEYSMITTAUSLUOKITUS		q_{50}
Alle 0,6	A	
0,7-1,0	B	1,0
1,1-1,5	C	
1,6-2,0	D	
2,1-3,0	E	
3,1-4,0	F	
Yli 4,1	G	

KUVA 25. Monitoimiareenan tiiveysmittausluokitus (Paloniitty Oy 2017-12-14).

5.5 Ilmavuotojen paikannus

Monitoimiareenalla tiiveysmittauksen lisäksi tehtiin ilmanvuotojen paikannus. Rakennuksen ilmavuotopaikat raportoitiin tiiveysmittausraporttiin erikseen lämpökuvauksmittausraporttina. Ilmavuotojen paikannus tehdään lämpökuvauksena lämpökameralla (kuva 26).



KUVA 26. Lämpökamera, jonka avulla mahdolliset ilmanvuotopaikat havaitaan (Karhunen 2017).

Lämpökuvauksella on aineetta rikkomaton (NDT) menetelmä, jolla arvioidaan rakennusten, rakenteiden ja rakennusmateriaalien toimivuutta, laatua ja kuntoa. Lämpökuvauksen avulla voidaan selvittää myös taloteknisten järjestelmien, kuten lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien, toimintaa. Lämpökuvauksella käytetään uudisrakennusten laadunvalvontamittauksissa sekä vanhojen rakennusten kuntotutkimuksissa sekä yhtenä tutkimusmenetelmänä energiakatselmuksissa. (Kauppinen 2012, 145.)

Lämpökuvauksella selvitetään rakenteiden pintalämpötiloja, joihin vaikuttavat:

- tutkittavan rakennuksen vaippa
- rakennuksen lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien toimivuus
- rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus
- rakennusautomaatiojärjestelmien toimivuus
- sisäiset kuormat
- sääolosuhteet (Kauppinen 2012, 146.)

Jos ulkorakenteessa on eristepuute, alue näkyy lämpökuvassa ympäristöään kylmempänä. Ulkoseinärakenteiden pintalämpöjakauma ei koskaan ole tasainen, koska rakennuksen painesuhteet vaikuttavat pintalämpötiloihin. Lämpökuvauksen tulosten avulla voidaan päätellä, milloin kyseessä on rakennetekninen ominaisuus, kuten kylmäsilta tai milloin kyseessä on puute tai virhe. (Kauppinen 2012, 146.)

Mikäli rakennuksen ulkovaippa on epätiivis ja rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä ei ole tasapainotettu, silloin ulkoseinän ja lattian liitoksissa mahdollisten vuotokohtien kautta tuleva kylmä ilmavirtaus jäädyttää rakenteita sekä aiheuttaa vetoa. Ulkoseinän ja lattian liitoksien vuotokohdat havaitaan helpommin kuin ulkoseinän ja yläpohjan vuotokohdat. (Kauppinen 2012, 146.) Korkeassa rakennuksessa, kuten monitoimiareena, rakennuksen alaosassa vallitsee alipaine ja mahdollisesti rakennuksen yläosassa on nollatilanne tai lievä ylipaine ulkoilmaan nähden.

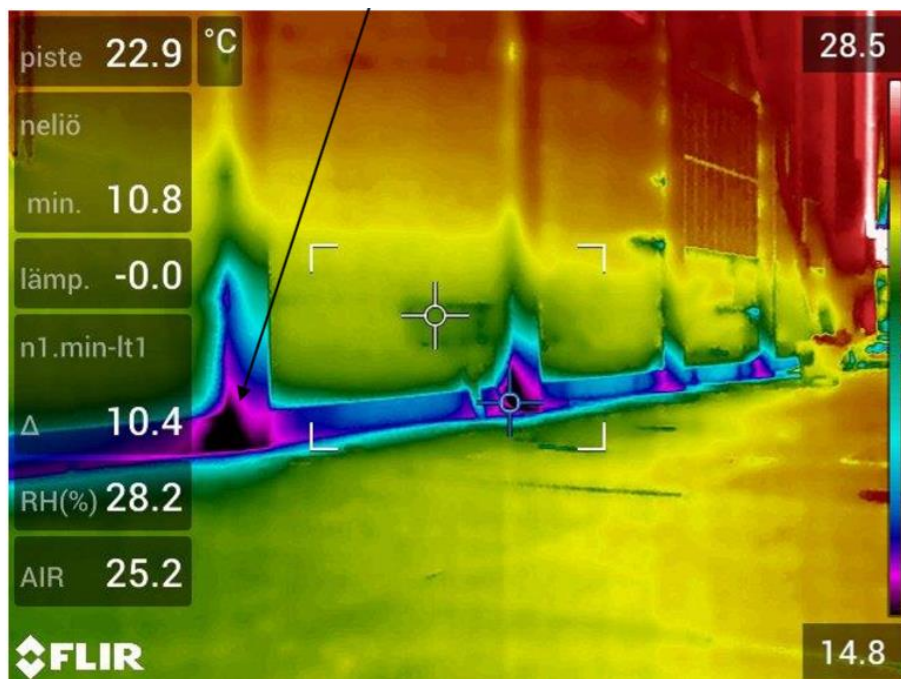
Tavanomaisissa käyttöolosuhteissa ei rakenteiden puutteita välttämättä havaita silloin, kun mahdollinen vuotoilman virtaussuuntaus on rakennuksesta ulospäin. Painesuhteiden muuttuessa alipaineiseksi, ilmavuodot voidaan havaita. (Kauppinen 2012, 146.)

Monitoimiareenalla ilmavuotojen paikannus tehtiin tiiveysmittauksen jälkeen, jolloin koko rakennus oli alipaineinen. Silloin mahdolliset ilmavuotokohdat voidaan havaita lämpökameran avulla rakennuksen sisäpuolelta.

5.6 Toimenpidesuosituksiset

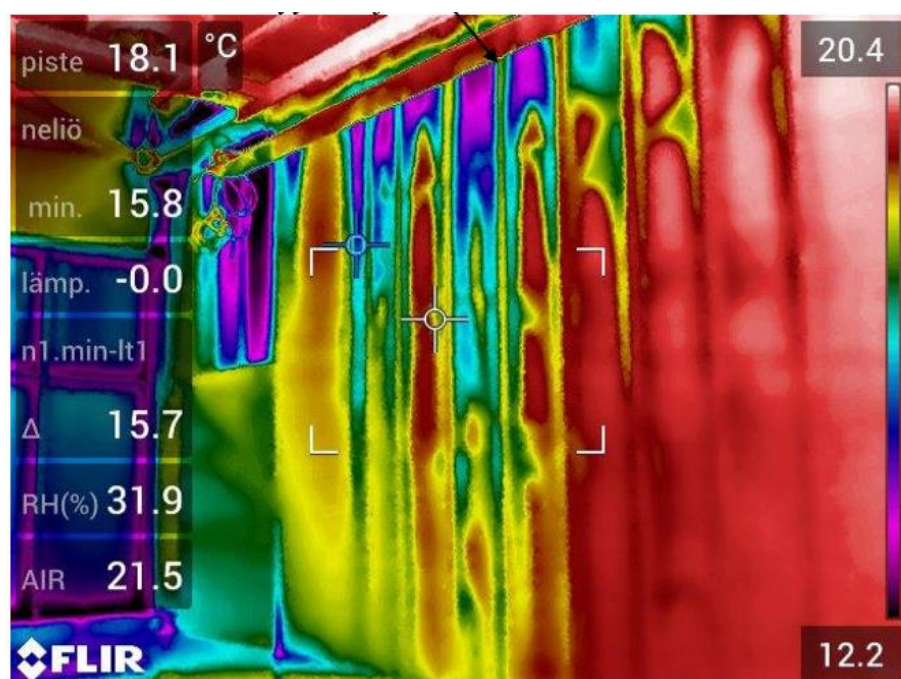
Lämpökuvauksen avulla monitoimiareenan rakenteista ja niiden liitoksista havaittiin puutteet ja virheet, jotka aiheuttavat ilmavuotoa rakennuksen vaipassa. Tiiveysmittausraportin yhtenä osana on toimenpidesuosituksiset, jossa tiiveysmittausraportin laatija suosittelee tekemään toimenpiteet virheiden ja puutteiden korjaamiseksi.

Ensimmäinen selvä ilmavuotoa aiheuttava kohta on rakennuksen sokkeleiden ja pilareiden liitokset. Monitoimiareenan halliosalla lähes kaikissa pilarin ja sokkelin liitoksissa on takana ilmavuotoa, ja ne suositellaan tiivistettäväksi (kuva 27). Kuvassa oikealla olevan lämpöasteikon mukaan, lämpökameralla otettu kuva kertoo rakenteessa olevan pintalämpötilan. Kuvasta voidaan havaita, että pilarin ja sokkelin liitoksessa pintalämpötila on selvästi kylmempi kuin muualla rakennuksen vaipassa. Etenkin liituskohdat ovat selvästi kylmempinä.



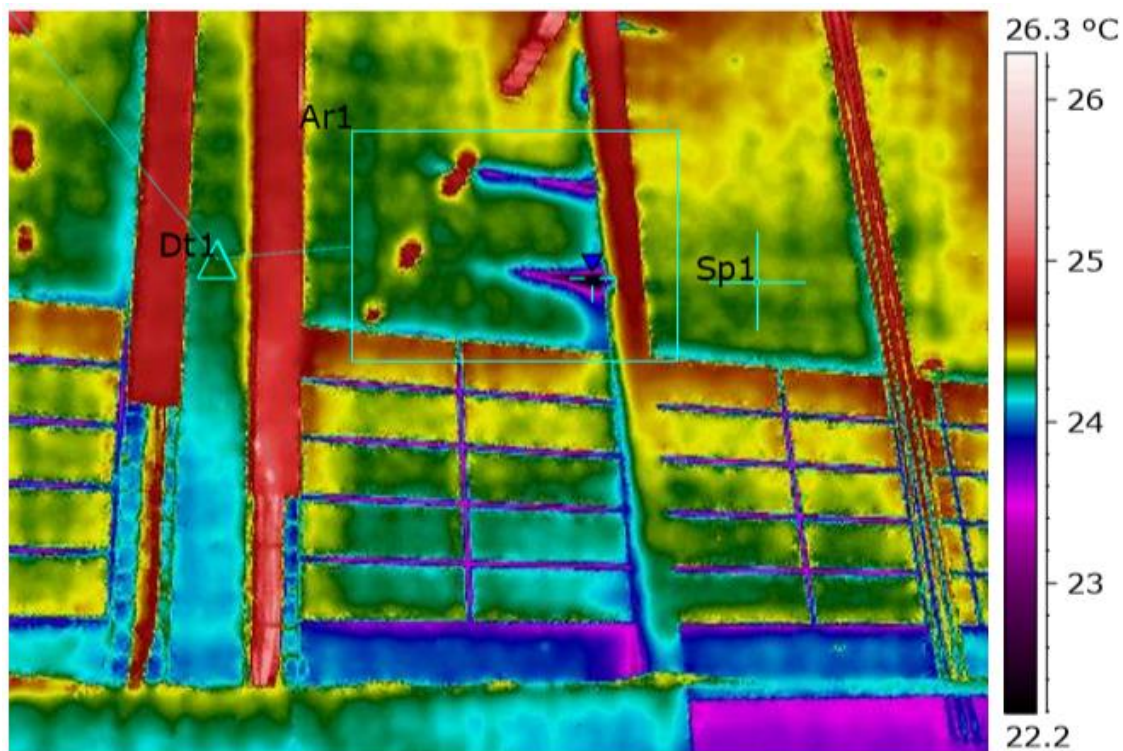
KUVA 27. Lämpökamerakuva halliosalta sokkeleiden ja pilareiden liitoksesta (Paloniitty Oy 2017-12-14).

Toinen selvä ilmavuotokohta oli monitoimiareenan toisen kerroksen yhdysojan ja jäähallin välisen seinän liittymäkohta. Liittymäkohdassa on suuri rakenteen sisäinen ilmavuoto, joka on syytä korjata (kuva 28). Kuvasta voidaan havaita, että seinän yläosan liittymäkohdassa oleva ilmavuoto on niin suuri, että ilmavuoto voidaan havaita lähes koko seinärakenteesta. Seinä on yhteydessä jäähallin tuulettuvaan yläpohjaan, jolloin seinärakenne on yhteydessä ulkoilmaan. Ilmavuodon on aiheuttanut puutteellinen eristys ja tiivistys seinän yläosassa.



KUVA 28. Lämpökamerakuva monitoimiareenan yhdysosan ja jäähallin välisestä seinästä (Paloniitty Oy 2017-12-14).

Lisäksi rakennuksen vaipasta löytyi muu lievempi ilmavuoto, joiden korjausta raportin laatija suosittelee harkittavan korjattavaksi (kuva 29). Kuvasta voidaan havaita, että sandwich-paneelin saumoissa on lieviä ilmavuotokohtia. Oikealla olevan lämpöasteikon mittausalue on säädetty pienemmälle lämpötilan vaihteluvälille, jolloin lievemmät ilmavuodot myös voidaan havaita helpommin.

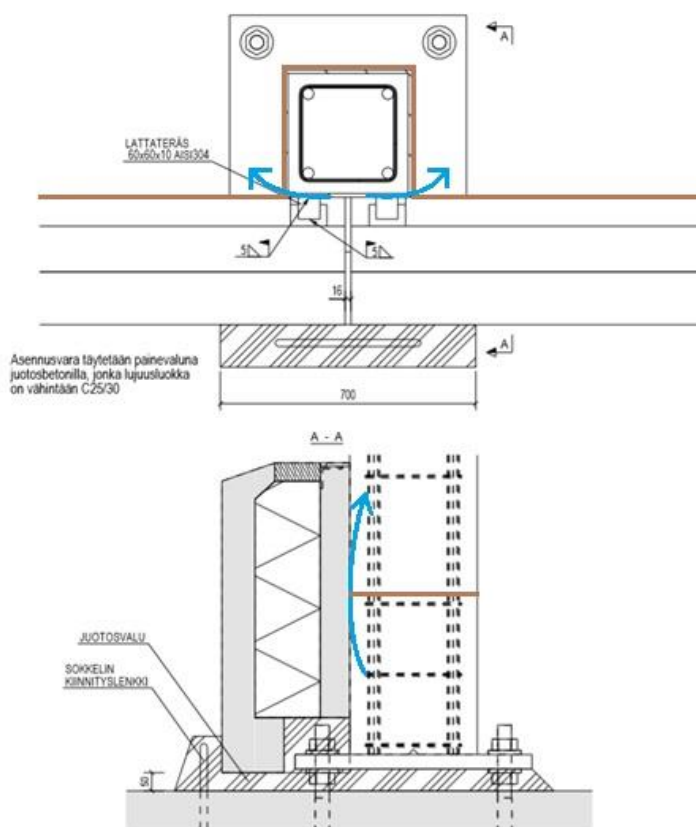


KUVA 29. Lämpökamerakuva halliosalta kevytelementtiseinästä (Paloniitty Oy 2017-12-14).

6 POHDINTA

Ilmatiiveysmittauksen tulosten perusteella voidaan todeta, että monitoimiareena rakennushankkeena on ollut onnistunut ilmatiiveyden kannalta. Monitoimiareena on rakennuksena hyvin suuri, joten vaipan ala on huomattavasti suurempi kuin esimerkiksi pientalossa. Kun rakennuksen vaipan ala kasvaa, on virheiden todennäköisyys myös suurempi. Toisaalta voidaan myös ajatella, että kun vaipan ala on suuri, niin liitoksissa olevilla virheillä ei ole niin suurta merkitystä vaipan ilmanvuotolu-
vun q_{50} kannalta. Silloin suunnitteluvaiheessa valituilla rakenneratkaisuilla ja rakenteiden lämmönläpisykerroimilla on suurempi merkitys rakennuksen energiatehokkuuden kannalta. Myös ulkoseinära-
kenteen ja lämmitysjärjestelmän on toimittava hyvin yhteen, jotta rakennukseen saadaan hyvä si-
säilma ja lämpöviihtyvyys. Rakennuksen vaipan ilmatiiveys on vain yksi osa siitä kokonaisuudesta,
joka vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuksen energiatehokkuuteen voidaan vai-
kuttaa parhaiten suunnitteluratkaisuilla.

Monitoimiareenalla ilmatiiveyden kannalta epäkohdiksi ilmeni teräspilareiden ja betonielementtisok-
keleiden keskinäiset liitokset. Rakennesuunnitelmissa tai rakennuslosteessa ei ilmene tiivistystoi-
menpiteitä kyseessä olevien rakenteiden liitoksiin. Ongelmana ilmatiiveyden kannalta on, että lattia-
pinnan yläpuolelle tuleva rakenne on suorassa yhteydessä betonilaatan alapuolella olevan ilman
kanssa, ja vajavaisesta tiivistämisestä syntyy pilarin ja sokkelin liitokseen ilmavuoto (kuva 30). Ku-
vassa maanvaraisen laatan elastinen saumamassa on kuvattu ruskealla viivalla, joka tekee betonilaa-
tan ja sokkelin liitoksesta ilmatiiviin. Teräspilarin ja betonielementtisokkelin liitos kuitenkin jää tässä
tapauksessa tiivistämättä, josta vuotoilma pääsee nousemaan rakennuksen sisätiloihin. Vuotoilma on
kuvattu kuvassa sinisellä.



KUVA 30. Havainnekuva vuotoilman liikkumisesta teräspilarin ja betonielementtisokkelin välisessä liitoksessa (Karhunen 2018).

Toinen suuri epäkohta oli monitoimiareenan liittyminen vanhaan rakennukseen Mikkelin jäähalliin. Monitoimiareenan suunnitelmissa ei ollut selkeää suunnitelmaa siitä, kuinka liitos olisi tullut käytännössä toteuttaa. Rakennusten välinen seinä on osastoiva, jolloin seinän rajapintojen tiivistyksen on tehnyt rakennusten palosuojauksen ammattilainen. Lämpökamerakuvauksen avulla saatiin selville, että ilmapuoto on seinärakenteen sisäinen, joka johtui vajavaisesta eristyksestä seinän yläosassa. Muuten liitos oli oikein toteutettu.

Kevytelementtien liitoksissa toisiinsa ei havaittu juurikaan ilmapuotoja. Opinnäytetyössä tarkasteltiin pääasiassa kevytelementtiasennuksen laadunvarmistusta. Monitoimiareenalla kevytelementtiseinien asennus on ollut teknisesti helppoa, jolloin työsaavutus lyhyessä ajassa on melko suuri. Tällöin virheiden määrä voi kasvaa, kun elementtejä asennetaan suhteellisen paljon jo päivän aikana. Laadunvarmistus toimenpiteitä oli kuitenkin tehty paljon, jotta haluttuun laatuun päästiin eli vähäisiin ilmapuotoihin. Laadunvarmistuksessa käytetty Congrid ohjelmisto toi tehokkuutta tarkastuksien tekemiseen ja ohjelmisto sopii suuren työvaiheen tarkastustyökaluksi hyvin. Kun tarkastuksien tekemisestä tehdään helppoa, niin työnjohtajan kynnyks tarkastuksien tekemiseen laskee paljon. Sandwich-paneeli tuotteena ja lisäpalveluineen ovat myös onnistunut suunnitteluratkaisu monitoimiareenalla. Selkeät asennusohjeet ja tekninen tuki elementtiasennuksesta toimivat työmaalla hyvin. Vähäiset ilmapuodot paneelien keskinäisissä saumoissa kertovat asennustyön huolimattomuudesta. Huolimattomasti tiivistetty tai asennettu paneeli aiheuttaa paneelin liitokseen ilmapuodon.

Vesikaton ilmanpitävyys oli myös monitoimiareenalla hyvä. Suunnitteluratkaisuna höyrynsulku-
muovin käyttö talviolosuhteissa aiheuttaa riskin, joka voi vaikuttaa negatiivisesti liitoksien pitävyyteen. Lämpökamerakuvauksessa ei tosin ilmennyt yhtäkään ilmanvuotoa kummallakaan vesikattorakenteella. Vesikattorakenteen asennustöistä ei myöskään ollut tehty laadunvarmistus toimenpiteitä kovinkaan paljon. Tämän vuoksi liitoksien laadunvarmistustoimenpiteitä ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä. Kuitenkin asennustyö oli tehty onnistuneesti, joka kertoo ammattitaitoisista asentajista sekä laadukkaista suunnitelmista. Yläpohjarakenteista laaditut suunnitelmat ovat yksityiskohtaiset, joka luo hyvät edellytykset asennustyön onnistumiselle.

Kun rakennetaan jo lähtökohtaisesti ilmatiivistä rakennusta, on jokaisen osapuolen ennakointi tärkeässä osassa ennen suunnittelu- ja rakennusvaihetta. Suunniteltua työn toteutusta ei voi painottaa liiaksi myöskään ilmatiiviiden kannalta. Työnjohtajan tulee jo hyvissä ajoin perehtyä rakennuksessa oleviin rakenteisiin, etenkin liitoksiin. Tässä vaiheessa viimeistään liitoksissa olevat epäkohdat tulevat esille, ja ne voidaan katsoa suunnittelijan kanssa yhdessä läpi. Työnjohtajalta ei ole väärin kyseenalaistaa eri ratkaisuja, vaan sillä saadaan varmuus myös työnjohtajalle itselleen.

Kun siirrytään toteutusvaiheeseen, on työnjohtajan oltava työtehtävän päällä seuraamassa työnjälkeä ja teettää tarpeeksi monta laadunvarmistustoimenpidettä, jotta tiiviys rakenteissa on pitävä.

Laadunvarmistustoimenpiteiden aikana on myös hyvä kyseenalaistaa asennustyötä tekevän työryhmän ratkaisut. Yleisesti työryhmä on tehnyt useita erilaisia rakennuksia, jolloin esimerkiksi liitoksien limitykset ja kiinnitystavat saattavat kulkea samana rakennuksesta toiseen. Työnjohtajalla täytyy olla viimeisin tieto siitä, mitkä ovat rakennukselle asetetut laatuvaatimukset eri rakenteiden osalta. Jotkut liitosratkaisut eivät välttämättä toimi rakenteellisesti oikein, jos ne on tehty suunnitelmista poiketen.

Usein sama työnjohtaja ei välttämättä vastaa koko vaipan rakenteista, esimerkiksi monitoimiareenan työmaalla eri työnjohtajilla oli vastuualueina kevytelementtiseiniä asennus ja vesikattotyöt. Tässä korostuu työmaan toimihenkilöiden yhteistyö. Työnjohtajien on syytä toimia yhdessä, kun ensimmäisiä liitoksia aloitetaan toteuttaa. Vastuu asennustyön onnistumisesta on työnjohtajalla. Työnjohtajan kannattaa asennoitua jo ensimmäisten sokkeliliitoksien aikana siihen, että rakenteesta saadaan ilmatiivis. Kriittisimpien liitoksien kanssa on myös syytä pyytää rakennesuunnittelijan ja valvojan näkemys, kun liitosta aloitetaan toteuttaa. Lopullisen vastuun rakennustyöstä ottaa rakennusvaiheen vastuuhenkilö eli vastaava työnjohtaja. Suurilla työmailla, kuten monitoimiareenalla yhden työnjohtajan vastuulla voisi olla esimerkiksi rakennuksen ilmatiiveys, jolla saadaan varmuus siihen, että liitoksiin ollaan oikeasti perehdytty kunnolla sekä eri työvaiheet vastaavat laadullisesti tavoiteltua laatutasoa tiiveyden kannalta.

Ilmatiiveysmittaus ja lämpökamerakuvaus tulisi tehdä hyvissä ajoin, kun rakennuksen vaippa on saatu tiiviiksi ja sääolosuhteet ovat mittaukselle otolliset. Mittaus ja kuvaus on tehtävä silloin kahdessa osassa, jolloin ensimmäisellä kerralla mahdolliset vuotokohdat saadaan paikannettua mahdollisia korjaustoimenpiteitä varten. Kun mittaus ja kuvaus jätetään työmaan aikatauluun nähden myöhemmälle, mahdollisten korjaustoimenpiteiden tekeminen on hankalampaa. Toisella mittauskerralla voidaan myös todeta, että mahdolliset ilmavuotokohdat on korjattu. Lopullinen tiiviysluku on myös mitattava valmiissa rakennuksessa, jolloin työnaikaisia häiriötekijöitä ei ole vääristämässä mittaustulosta.

Energiankulutus ja energian säästäminen ovat erittäin suuri puheenaihe kaikilla teollisuuden aloilla tällä hetkellä. Sen vuoksi myös rakennuksen energiatehokkuutta koskevat määräykset ja ohjeet ovat kiristyneet entisestään. Monitoimiareenan suunnitteluvaihe ajoittuu vuosien 2015 – 2016 väliselle ajalle, jolloin rakennusten energiatehokkuuden osalta noudatettiin Suomen rakennusmääräyskoelma D3:n määräyksiä ja ohjeita. Silloin liikuntahalleille asetettu E-luku vaatimus oli, että uudisrakennus ei saa ylittää $170 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$ raja-arvoa. Rakennusten käyttötarkoituksen mukaiseen laskettuun E-lukuun koskeva määräys on kiristynyt sen jälkeen. Uuden Ympäristöministeriön asetuksen (1010/2017) kohdan 4 § mukaan, liikuntahallien E-luku vaatimuksena on, että uudisrakennus ei saa ylittää $100 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$ raja-arvoa. Kiristyneiden määräyksien myötä, vasta valmistunut monitoimiareena ei enää täyty käyttötarkoituksen mukaisen lasketun E-luvun osalta koskevaa määräystä. Monitoimiareenalle tehdyn energiaselvityksen mukaan monitoimiareenan E-luku oli $137 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Jotta laskennallista E-lukua saataisiin laskettua suurissa rakennuksissa, kuten monitoimiareenassa, tulisi rakennuksessa hyödyntää uusiutuvia energialähteitä. Monitoimiareenan nykyisissä suunnitteluratkaisuissa uusiutuvia energialähteitä ei ole käytetty, joilla saataisiin laskettua monitoimiareenan ostoenergian kulutusta. Monitoimiareenan vaipan rakenneratkaisut ja vaipan ilmatiiveys ovat jo nyt hyvällä tasolla, ettei niihin pelkästään panostamalla saada laskettua ostoenergian kulutusta. Kiristyneiden määräysten myötä, uusiutuvien energialähteiden käyttö vastaavissa rakennuksissa alkaa olla lähes välttämätöntä, jotta laskennallinen E-luku saadaan alle $100 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ a})$ raja-arvon. Monitoimiareenan kaltainen rakennus mahdollistaa suuren vaipan alansa ansiosta mahdollisuuden käyttää esimerkiksi aurinkopaneeleita. Aurinkopaneelien tuottamalla energialla voidaan vähentää ostoenergian kulutusta merkittävästi. Monitoimiareenan yhteen julkisivuun tullaan asentamaan tulevaisuudessa aurinkopaneeleja, mutta aurinkopaneelien tuottamaa energiaa ei vielä suoranaisesti hyödynnetä rakennuksen energiatarpeisiin.

Opinnäytetyö aiheena on laaja tutkittavan rakennuksen suuruuden ja käsiteltävän aiheen vuoksi. Aiheen laajuus aiheutti ongelmia opinnäytetyön aikana, koska asioita olisi voinut käsitellä todella monelta eri kantilta, kuten esimerkiksi miten rakenteiden kosteustekniset ominaisuudet vaikuttavat rakennuksen rakenneratkaisuihin, ja sitä kautta ilmatiiveyteen. Opinnäytetyön aikana olen onnistunut sisäistämään ja tuomaan esille rakennuksen energiatehokkuutta ja rakennuksen ilmanpitävyyttä koskevia asioita. Aihe on myös rakentamisessa esillä nykypäivän rakennushankkeissa, joten tulen varmasti työskentelemään aiheen parissa tulevaisuudessa. Oman ammatillisen kehittymisen vuoksi, opinnäytetyön aiheen valinta oli onnistunut. Opinnäytetyön etenemistä kuitenkin häiritsi työskentely samanaikaisesti monitoimiareenan työmaalla kohteen luovutukseen asti.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkimuksen pohjalta tuottaa työohje (liite 1). Työohjeessa on tuotu esille ne asiat, mitä pääurakoitsijan on otettava huomioon, kun aloitetaan suunnitella ja rakentaa tilaajan vaatimusten mukaista energiatehokasta ja ilmatiivistä rakennusta. Työohjeessa on tuotu ne pääperiaatteet esille, joiden avulla saadaan varmistus siitä, että rakennuksesta saadaan myös laadullisesti vaatimuksien mukainen. Työohjeen laatiminen oli mielestäni helppoa työmaainsinööriharjoitteluni vuoksi, koska pääsin lukemaan ja laatimaan työmaa-aikaisia suunnitelmia jo harjoittelujaksion aikana. Työohjeesta on varmasti hyötyä myös uusille harjoittelijoille ja toimihenkilöille, jotka ovat aloittamassa työuraansa NCC:llä.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ARKKITEHTITOIMISTO HEIKKI KIRJALAINEN OY 2016-12-30 Työpohjapiirustus 2 kerros 1-100 [arkkitehtipiirustus]. NCC Mikkeli Areena projektipankki [verkkajulkaisu]. Sijainti: Mikkeli: Saimaa Stadiumin arkkitehtipiirustukset

Congrid.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-13-03] Saatavissa: <http://www.congrid.fi>

Insinööritoimisto AX-LVI Oy 2016-10-07 Energiatodistuksen luokitteluasteikko [digikuva]. Energiaselvitys 7.10.2016. Sijainti: Mikkeli: NCC:n toimintajärjestelmä Pro 3.

KAUPPINEN, Timo 2011. Rakentajain kalenteri 2011. Helsinki: Rakennustieto Oy.

KAUPPINEN, Timo 2012. Rakentajain kalenteri 2012. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LAKI RAKENNUKSEN ENERGIATODISTUKSESTA 2013/50, 7,9,12 § [verkkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050>

NCC.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-22-01] Saatavissa: <https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-building/> Polku: NCC.fi. Tietoa NCC:stä

Paloniitty Oy 2017-12-14. Tiiviysmittausraportti 14.12.2017. Sijainti: Mikkeli: NCC:n toimintajärjestelmä Pro 3.

Paloniitty Oy 2017-12-14. Ilmavuotokäyrä [digikuva]. Ilmatiiveyden testiraportti 14.12.2017. Sijainti: Mikkeli: NCC:n toimintajärjestelmä Pro 3.

PALONIITTY, Sauli 2013. Rakentajain kalenteri 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Paroc.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-28] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa> Polku: Paroc.fi. Knowhow. Energiatehokkuus. Rakennusten suunnittelu. Rakennuksen vaippa.

RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUS. Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. [Viitattu: 2018-22-01]. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

Rakennusteollisuus.fi. Rakenteellinen energiatehokkuus – opas [verkkoaineisto].2015[viitattu 2018-30-01]. Saatavissa: http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/opaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf

RAKENNUSTIETO OY. 2017. Rakennustyön laatu 2017. Helsinki

Ruukki.com [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-29-01] Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tuotteet/sandwich-paneelit> Polku: Ruukki.com. Tuotteet. Sandwich-paneelit

RUUKKI CONSTRUCTION OY 2017-05-04. SPA ulkoseinädetailjit [rakennepiirustus]. Sandwich-paneelien dokumentit [verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://www.ruukki.com/fin/b2b/tukipalvelut/dokumentit/sandwich-paneelien-dokumentit> Polku: Ruukki.com. Tukimateriaalit. Dokumentit. Sandwich-paneelien dokumentit

SS-TERACON OY 2016-10-17 Runkoleikkaus B-B [rakennepiirustus]. NCC Mikkeli Areena projektipankki [verkkajulkaisu]. Sijainti: Tampere: Saimaa Stadiumin rakennepiirustukset

SS-TERACON OY 2017-01-23 Elementtidetaljit [rakennepiirustus]. NCC Mikkeli Areena projektipankki [verkkajulkaisu]. Sijainti: Tampere: Saimaa Stadiumin rakennepiirustukset

SS-TERACON OY 2017-02-27 Rakennetyypit [rakennepiirustus]. NCC Mikkeli Areena projektipankki [verkkajulkaisu]. Sijainti: Tampere: Saimaa Stadiumin rakennepiirustukset

SS-TERACON OY 2017-04-04 Alapohjaleikkaukset [rakennepiirustus]. NCC Mikkelin Areena projekti-pankki [verkkajulkaisu]. Sijainti: Tampere: Saimaa Stadiumin rakennepiirustukset

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS RAKENNUKSEN ENERGIATODISTUKSESTA 2017/1048, 3,4 § [verkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048>

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN ASETUS UUDEN RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA 2017/1010, 3,4,31,34 § [verkoaineisto]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

ILMATIIVEYDEN HUOMIOON OTTO SUUNNITTELU – JA RAKENTAMISVAIHEESSA

Tähän työohjeeseen on listattu ne toimenpiteet, jotka KVR-urakoitsijan on otettava huomioon, kun rakennuksen vaipalle on asetettu ilmatiiveyden kannalta vaatimuksia. Rakennuksen energiakulutusta koskevat määräykset ovat kiristyneet nyt ja tulevat kiristymään myös tulevaisuudessa. KVR-urakoitsijan on vastattava tilaajan asettamiin vaatimuksiin entistä huolellisemmin. Työohjeen tarkoituksena on helpottaa toimihenkilöiden arkea, tuomalla esiin ne toimenpiteet, joiden avulla rakennuksesta saadaan energiakulutusta koskevien määräysten ja ilmatiiveydeltään laatuvaatimusten mukainen. Työohjeessa myös sivutaan NCC:n nykyistä työmaan laadunvalvontaprosessia, joten työohjetta voidaan myös hyödyntää muiden työvaiheiden tarkastuslistana, kun käsitellään työvaiheiden laadunvalvonnan toimenpiteitä.

SUUNNITTELUVAIHEEN TOIMENPITEET

Suunnitteluvaiheen toimenpiteet koskevat rakennushankkeen suunnittelun ohjausta. Lähtökohtaisesti rakennukselle on jo alustavissa suunnitelmissa mietitty rakennuksen muoto, ulkoseinän rakenne ja mitä toimintoja rakennuksessa on tarkoitus toteuttaa. Ilmatiiveyden kannalta on tärkeää, että rakennuksen käyttötarkoitus ja rakennuksen vaipan ratkaisut toimivat hyvin keskenään. Suunnittelun ohjauksessa on kiinnitettävä seuraaviin asioihin huomiota:

ENERGIANKULUTUS JA RAKENNUKSEN RAKENTEET

- Selvitä mitkä ovat uudisrakennukselle energiankulutusta koskevat määräykset Suomen ympäristöministeriön asetuksista. Laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku määrätään rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi liikuntahalli kuuluu luokkaan 7. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010> □
- Rakennuksen energiakulutukseen vaikuttaa ulkoseinärakenteen sekä ylä- ja alapohjan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo. Ympäristöministeriön asetuksissa on määrätty vähimmäisarvot, jotka rakenteen tulisi täyttää. Määräykset lämmönläpäisykertoimista löytyvät myös yllä olevasta linkistä. □
- Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet määräävät, minkälaisia rakenteita rakennuksessa voidaan käyttää. Tässä vaiheessa suunnittelua on hyvä miettiä, mitä vaihtoehtoja on käytettävissä ja perehtyä eri tuotevalmistajien rakennustuotteisiin. Myös rakenteiden keskinäisiä liitoksia olisi hyvä jo tarkastella tässä vaiheessa, ettei liitoksien suunnittelusta ja toteutuksesta tule hankalaa myöhemmin. Hyvänä esimerkkinä on käyttää saman tuotevalmistajan tuotteita sekä ulkoseinäettä yläpohjarakenteessa, jolloin rakenteiden keskinäisiin liitoksiin ollaan jo perehdytty tuotevalmistajan osalta. □

- Rakenteiden keskinäiset liitokset määräävät pääasiassa, mikä on tulevan rakennuksen ilmanvuotoluku q_{50} . Vuotoilmavirta otetaan huomioon myös E-luvun laskennassa. E-luvun laskennassa käytetään rakennuksen vaipan ilmanvuotolukuna suunnitteluarvoa, joka on $2 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Suunnitteluarvoa voidaan pitää melko suurena, joten tässä vaiheessa suunnittelua on päätettävä mihin ilmanvuotolukuun rakennuksessa aiotaan pyrkiä, mikäli kohteesta halutaan ilmatiiveydetään parempi. Ilmanvuotolukua ei kannata laskea liian alas suurissa hankkeissa. Määräysten suositusarvona pidetään $1 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$. Lopullinen ilmanvuotoluku on todennettava ilmatiiveysmittauksella, kun rakennus on valmis. □
- Rakennuslupavaiheeseen tarvitaan uudisrakennuksesta energiaselvitys ja alustava energiatodistus. Energiaselvityksen saa laatia henkilö, joka kuuluu Asumisen rahoitus – ja kehittämiskeskus ARA:n energiatodistusten laatijoista ylläpitämään rekisteriin. Ohjeet energiaselvityksen ja energiatodistuksen laadintaa saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048> □
- Energiaselvitykseen tarvitaan myös lämmitysjärjestelmän energiankäyttö. Lämmitysjärjestelmän energiankäyttö on suurin osa rakennuksen energiankulutusta. Mikäli rakenneratkaisuilla ei päästä vielä lähelle vaadittua laskennallista energiatehokkuuden vertailuarvoa (E-luku) on suunnittelussa otettava huomioon myös uusiutuvien energialähteiden käyttö osana lämmitysjärjestelmää. □

RAKENTEIDEN LIITOKSET

- Kun rakennuksen muoto, rakenteet, ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmä ovat edenneet suunnittelussa siihen vaiheeseen, että alustavaa energiaselvitystä on pystytty laatimaan, on seuraavaksi suunnittelussa mietittävä rakenteiden keskinäisiä liitoksia. Rakennetyypit määräävät pitkälti, mitä ilmansulkumateriaaleja rakenteiden liitoksissa voidaan käyttää. Suunnittelussa on otettava huomioon myös tulevien materiaalien asennusolosuhteet. Esimerkiksi höyrynsulkumuovia ei suositella asennettavaksi talviaikaan. □
- Suunnitteluvaiheen aikana on asetettava laatuvaatimukset eri työvaiheille. Ilmatiiveyden kannalta se tarkoittaa, että materiaalien keskinäiset limitykset, rakenteiden ja eri läpivientien tiivistystoimenpiteet ovat oltava selvästi esillä rakennuksen rakennustapaselosteessa. Eri rakenteille on myös määrättävä, mitä kiinnikkeitä on käytettävä sekä niiden kiinnitysväli. Laatuvaatimukset ovat tärkein työkalu työmaalla työskenteleville työnjohtajille, koska niiden pohjalta valvotaan rakennustyön toteutusta. □
- Kun rakennuksen vaipan ilmatiiveyteen panostetaan, on suunnittelussa panostettava liitosdetaljeihin. Selkeät liitosdetaljit helpottavat työmaalla rakennustyön toteutusta. Varsinkin hankalempiin liitoksiin on syytä panostaa, jotta mahdolliset asennusvirheet saadaan karsittua pois. Ulkoseinien keskinäiset liitokset, ulkoseinien liitokset ylä- ja alapohjaan sekä aukot (ovet ja ikkunat) ovat suunniteltava huolellisesti. □

RAKENNUSVAIHEEN TOIMENPITEET

Rakennusvaiheen toimenpiteet koskevat työmaalla toimivia toimihenkilöitä. Ilmatiiveys ei ole työvaihe, vaan ilmatiiveyden kannalta tehtäviä toimenpiteitä on useissa eri työvaiheissa. Toimenpiteet, joita tehdään, on pääasiassa yhtenä osana työvaiheiden laadunvalvontaa. Laadunvalvonnan tarkoituksena on saada rakenteista ja niiden liitoksista suunnitelmien ja laatuvaatimusten mukaisia. Rakennusvaiheen toimenpiteet jaetaan kolmeen eri osa-alueeseen:

TYÖVAIHETTA EDELTÄVÄT TOIMENPITEET

- Selvitä työvaiheelle asetetut laatuvaatimukset. Laatuvaatimukset ovat hyvä jo tässä vaiheessa siirtää osaksi omaa tarkastuslistaa Congrid ohjelmistoon, jotta ne ovat valmiina, kun työvaiheen tarkastukset ovat ajankohtaisia. Laatuvaatimukset työvaiheelle löytyvät rakennusselosteesta.
- Selvitä työvaiheessa tarvittavien resurssien saanti. Tämä tarkoittaa sitä, että mitä kalustoa ja tarvikkeita asennustyössä tarvitaan, millä työryhmällä asennustyö aiotaan toteuttaa, jotta se pysyy suunnitellussa aikataulussa ja rakennusmateriaalien varastointi työmaan aikana. Jos rakennusmateriaalit eivät kuulu tilattuun urakkaan, on silloin myös selvitettävä rakennusmateriaalien saanti ja niiden toimitus.
- Perehdy työvaiheen aikana tarvittaviin suunnitelma-asiakirjoihin. Työvaihetta koskevat suunnitelmat tulee tarkastaa siten, että ne ovat toteuttamiskelpoisia. Etenkin liitosdetaljien läpikäynti on tässä vaiheessa tärkeää, jotta liitosten suunniteltu toteutus on selkeästi ymmärrettävissä myös asennustyötä tekeväälle työryhmälle. Rakennusselosteesta tulee tarkastaa, mitä muita vaatimuksia asennustyölle on asetettu. Esimerkiksi mitä tiivistystoimenpiteitä tulee tehdä rakenteissa oleville läpiviennille.
- Vaikuta urakoitsijan valintaan. Etenkin suurissa työvaiheissa, kuten julkisivuelementtien asennus on syytä valita urakoitsija, jolla on asennustyöstä kokemusta. Yleisesti urakoitsija tullaan hankkimaan hyvissä ajoin ennen alkavaa työvaihetta. Tässä vaiheessa on syytä tarkastella urakoitsijan valintaa siltä kannalta, että mikäli asennustyötä suorittavalla työryhmällä ei ole riittävästi aiempaa kokemusta asennustyöstä, tulee siitä varmasti ongelmia asennustyön aikana, joka saattaa johtaa huonossa tapauksessa työvaiheen venymiseen ja sitä kautta muiden työvaiheiden aloitukseen. Työvaiheen myöhästyminen ja mahdolliset asennusvirheet työvaiheen aikana voivat tuoda myös lisäkustannuksia.
- Urakoitsijan perehdyttäminen alkavaan työvaiheeseen. Työmaan vastuulla on perehdyttää etenkin asennustyötä tekevä työryhmä työmaan turvallisuus- ja järjestyssääntöihin. Tässä vaiheessa asennustyötä valvovan työnjohtajan on käytävä läpi asennusjärjestys ja asennustyöhön varatut tilat urakoitsijan kanssa. Ilmatiiveyden kannalta on tärkeää, että asennustyötä tekevä työryhmä on myös perehtynyt rakennuksen suunnitelma-asiakirjoihin. Keskeisimmät laatuvaatimukset

asennustyön aikana on hyvä selventää asennusryhmälle ennen asennustyön aloitusta. Jos työvaiheeseen on laadittu kirjalliset asennusohjeet, ne ovat hyvässä vaiheessa myös toimittava urakoitsijalle. □

- Varmistu siitä, että edeltävä työvaihe on valmis oman työvaiheesi aloittamiseksi. Esimerkiksi elementtisokkeleiden asennustyö on jo niin pitkällä, että julkisivuelementtien asennus voidaan aloittaa. Mestän vastaanottoja voi tehdä useampiakin, jos työvaihe sitä vaatii. □

TYÖVAIHEEN AIKAISET TOIMENPITEET

- Tarkista asennustyössä tarvittavien materiaalien kunto sekä että ne vastaavat suunnitelma-asiakirjojen mukaisia tuotteita. Nostokalustolle ja telineille täytyy tehdä myös käyttöönottotarkastukset ennen asennustyön aloitusta. □
- Asennustyön aikana on tarkkailtava asennusolosuhteita. Esimerkiksi kovalla tuulella asennustyötä ei voida tehdä, jos asennustyössä käytetään nostinta ja työskennellään korkealla. Kova tuuli voi aiheuttaa tapaturmariskin. Myös asennuksen aikaista lämpötilaa on syytä tarkkailla, koska jotkin rakennusmateriaalit vaativat lämpimämmät olosuhteet asennukselle. Liian kylmässä lämpötilassa asennetut rakennusmateriaalit saattavat pettää liitoksistaan myöhemmin. Esimerkiksi höyrynsulkumuovi, joka on ilmatiiveyden kannalta tärkeässä osassa rakennetta. □
- Kun asennustyö on aloitettu, on asennustyöstä tehtävä mallityö. Mallityössä on tarkastettava etenkin liitoksien toteutus. Materiaalien limitykset, rakenteiden tiivistystoimenpiteet ja kiinnitys täytyy vastata asennustyölle asetettuja laatuvaatimuksia, jotka ovat selvitetty jo ennen alkavaa työvaihetta. □
- Suuret työvaiheet on hyvä jakaa osakohteisiin, jolloin jokaisesta osakohteesta tehdään oma tarkastus. Osakohdetarkastuksissa käytetään samaa tarkastuslistaa kuin mallityössä. Tällöin laatu pysyy samana koko asennustyön ajan. Mikäli eri osakohteissa on erilaisia rakenteellisia suunnitteluratkaisuja, on ne otettava huomioon tarkastusta tehdessä. Erilaisia rakenteellisia suunnitteluratkaisuja voivat olla esimerkiksi aukot, läpiviennit, palo-osastot tai rakenteen liittyminen toiseen rakenteeseen. Etenkin rakenteen liittyminen toiseen rakenteeseen on otettava huomioon, koska ne ovat rakenteen ilmanpitävyyden kannalta kriittisimpiä. □

TYÖVAIHEEN JÄLKEISET TOIMENPITEET

- Kun työvaiheen asennustyö on suoritettu loppuun, tehdään asennustyöstä vastaanottotarkastus. Vastaanottotarkastus kannattaa jakaa suuremmissa työvaiheissa eri osakohteisiin, jonka avulla luodaan edellytykset seuraavan työvaiheen aloitukselle. Vastaanottotarkastuksessa vielä tarkastetaan, että asennustyö vastaa suunnitelma-asiakirjojen mukaisia laatuvaatimuksia. Rakenteiden mittatarkkuus, kiinnitys ja tiivistystoimenpiteet ovat ne asiat, joiden pitää vastata laatuvaatimuksia, jotta rakenne on ilmanpitävyydeltään oikeanlainen. □

- Ilmatiiveyden laadunvalvontaan kuuluu myös ilmatiiveysmittaus ja lämpökamerakuvaus. Kun rakennusaikaiset työvaiheet ovat edenneet siihen pisteeseen, että rakennuksen vaippa on saatu tiiviiksi, voidaan ilmatiiveysmittaus toteuttaa. Ilmatiiveysmittaus ja lämpökamerakuvaus kannattaa tilata tehtäväksi lähes heti, kun rakennuksen vaippa on saatu tiiviiksi. Silloin mahdolliset ilmavuotokohdat voidaan korjata hyvissä ajoin. Jos ilmatiiveysmittaus jätetään rakennusaikana ajallisesti myöhemmäksi, on korjaustoimenpiteiden tekeminen aina hankalampaa. □

- Ilmatiiveysmittaus kannattaa jakaa kahteen osaan. Ensimmäinen mittaus tulee tehdä edellä mainittuna ajankohtana ja toinen mittaus myöhemmin. Toisessa mittauksessa todetaan mahdolliset ilmavuodot korjatuksi sekä rakennuksen todellinen ilmanvuotoluku lopullista energiaselvitystä ja energiatodistusta varten. □

- Korkeissa rakennuksissa on myös huomioitava ilmatiiveysmittauksen olosuhteet. Sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksella on merkitystä korkeissa rakennuksissa savupiippuilmiön vuoksi. Myös liian kovalla tuulella suoritettu mittaus on epäluotettava. Ilmatiiveysmittaaja on varmasti tietoinen olosuhdevaatimuksista, mutta työmaalla olevien toimihenkilöiden on myös hyvä tietää tämä tuloksen luotettavuuden vuoksi. □