



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennusfysiikka



RAKENNUSFYSIKKA 2017

Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut
24.–26.10.2017, Tampere

Osa 1

Toimittajat Juha Vinha & Henna Kivioja

Tampereen teknillinen yliopisto
Rakennustekniikka
Rakennusfysiikka
Tampere 2017

Painopaikka:
Juvenes Print
Suomen Yliopistopaino Oy
Tampere 2017

ISBN 978-952-15-4022-6

Esipuhe

TTYn rakennusfysiikan tutkimusryhmän ja RIL:n järjestämä rakennusfysiikkaseminaari pidetään nyt viidennen kerran. Tampere-talon tilat ovat uudistuneet viimekertaisen seminaarin jälkeen. Tapahtuman rinnakkaissali on vaihtunut uuteen Duetto-saliin, jossa on enemmän tilaa katsojille ja paremmat puitteet esitysten pitoon. Seminaarijulkaisu on puolestaan saatavilla nyt ensimmäistä kertaa sekä sähköisenä että painettuna kirjana.

Seminaaripäivät on jaettu jälleen eri aihepiirejä koskeviin teemoihin. Ensimmäisen päivän aiheet liittyvät rakennusfysiikan tutkimukseen, suunnitteluun ja ohjeisiin. Toisena päivänä rakennuksen kosteus- ja homeongelmat ja niiden ennaltaehkäiseminen sekä sisäilman laatu ovat esitelmien keskiössä. Kolmannen päivän aihepiireinä ovat pääosin energiatehokkuus ja akustiikka. Kaiken kaikkiaan seminaarissa kuullaan yli 90 puheenvuoroa.

Ympäristöministeriö uudistaa parhaillaan rakentamismääräyskokoelman osia, ja uudet asetukset niin rakennusten energiatehokkuuden kuin kosteusteknisenkin toiminnan osalta astuvat voimaan vuoden 2018 alusta. Uusista kosteusasetuksista on seminaarissa myös esitys. Muitakin rakennusfysiikkaan liittyviä uusia tai valmisteltavana olevia ohjeita esitellään seminaarissa. Näistä voidaan mainita mm. kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausoppaan päivittytyö, joka on parhaillaan käynnissä.

Yhtenä merkittävänä osana seminaarissa on tällä kertaa TTY:n vetämän COMBI-hankkeen tulokset. COMBI-hankkeessa keskitytään palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaikutusten ja ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen. Hankkeessa tarkastellaan palvelurakennusten toimintaa kokonaisvaltaisesti arkkitehtuurin, rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien näkökulmista. Tästä hankkeesta seminaarissa on mukana toistakymmentä esitystä. Näistä voidaan nostaa esiin mm. tutkimukset palvelurakennuksissa mitattujen energiankulutusten eroista laskennallisiin arvoihin verrattuna sekä tavoite-energiankulutuksen pienentämisen vaikutukset elinkaarikustannuksiin, joista on saatu mielenkiintoisia tuloksia.

Kosteus- ja homevauriot ovat perinteiseen tapaan vahvasti edustettuina esityksissä. Rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan liittyviä käytännön kokemuksia sekä uusia hyviä toimintatapoja esitellään entistä enemmän. Esityksissä on mukana myös useita case-kohteissa tehtyjä tarkasteluja. Puukerrostalorakentaminen on alkanut yleistyä myös Suomessa ja puukerrostalorakentamisen kosteusteknistä toimivuutta koskevia esityksiä onkin kuultavissa seminaarissa.

Rakennusten olosuhteiden seurantaan ja hallintaan on alettu kiinnittämään yhä enemmän huomiota, mikä näkyy myös aiheeseen liittyvien esitelmien kasvaneena määränä. Rakennusvirheiden ja kosteusvaurioiden ennaltaehkäisemiseksi kehitetään uusia menetelmiä ja toimintatapoja. Myös rakennusten energiatehokkuuden parantaminen tavoitellulle tasolle edellyttää rakennuksen toimivuuden seuranta- ja hallintaa.

Seminaarissa kuullaan tällä kertaa kolme kansainvälistä ja yksi suomalainen keynote-puheenvuoro. Seminaari alkaa tiistaina kahden kansainvälisen rakennusfysiikan professorin puheenvuoroilla. Toisen tiistain puheenvuoroista pitää Norjan ainoan teknillisen yliopiston NTNU:n rakennusfysiikan professori Stig Geving. Hän on erikoistunut tutkimuksessaan lämmön ja kosteuden siirtymiseen rakenteissa, kosteusteknisiin simulaatioihin, kosteusvaurioihin sekä rakennusaikaiseen kosteudenhallintaan. Viime vuosina hän on keskittynyt myös rakennusten

energiatehokkuuteen. Samana aamuna ääneen pääsee TU Wienin yliopiston rakennusfysiikan professori Thomas Bednar Itävallasta. Hänen tutkimusalueitaan ovat mm. rakennusten energiankulutus, kosteustekninen toiminta ja akustiikka. Hän toimii parhaillaan mm. CIB:n rakennusfysiikkaa käsittelevän W040 ryhmän puheenjohtajana ja on aloittanut siellä uuden kehitystyön, jonka tavoitteena on tielartta kosteusturvallisten rakennusten toteuttamiseksi. Tästäkin kuulemme lisää seminaarissa.

Keskiviikkona sosiaali- ja terveysministeriön neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola kertoo valtionhallinnon suunnitelmista, miten 100-vuotias Suomi pyrkii selättämään rakennusten sisäilmaongelmat. Siinä on haastetta kerrakseen. Valtioneuvosto on käynnistänyt mm. Terveiden tilojen vuosikymmen –nimisen toimenpideohjelman, josta kuulemme seminaarissa. Torstain keynote-puheenvuoron pitää Arkkitehti P. Michael Pelken University of Cambridgesta Englannista. Hän kehittää rakennuksiin uusia innovaatioita ja yhdistää työssään myös arkkitehtuuria ja rakennusfysiikkaa toisiinsa. Hän pyrkii myös luomaan rakennuksia, jotka ovat kestäväen rakentamisen periaatteilla toteutettuja.

Kosteusturvallisen rakentamisen palkinto jaetaan kolmatta kertaa. Tällä kertaa palkintoa tavoitteli lähes 40 kilpailuehdotusta, joista kuusi tuomariston mielestä ansioituneinta ehdotusta esitellään loppukilpailussa. Loppukilpailussa on esillä ehdotuksia usealta eri kosteusturvallisen rakentamisen osa-alueelta käsittäen suunnittelua, toteutusta, koulutusta, laadunhallintaa ja teknisiä ratkaisuja. Voittaja julistetaan taas perinteisesti keskiviikkoiltapäivänä ennen cocktailtilaisuutta.

Seminaarissa rikotaan jälleen useita ennätystä edellisiin seminaareihin verrattuna. Yhteistyökumppaneita on mukana peräti 74 kpl ja heistä näytteilleasettjia 45 kpl. Tämän kertaiseen seminaariin ennakoidaan tulevan myös jälleen yli 500 osallistujaa. Rakennusfysiikka siis kiinnostaa yhä enemmän rakennusalan ammattilaisia ja hyvä niin. On hienoa olla järjestämässä tapahtumaa, jolle on selvästi tarvetta ja kysyntää!

Kiitän kaikkia artikkelien tekijöitä ja esittäjiä, seminaaripäivien puheenjohtajia, tapahtuman organisointiin osallistuneita ihmisiä sekä yhteistyökumppaneita merkittävästä panoksesta seminaarin toteuttamisessa.

Tampereella 9.10.2017

Professori Juha Vinha
TTY, Rakennustekniikka
Seminaarin puheenjohtaja
RIL:n rakennusfysiikan toimikunnan puheenjohtaja

Rakennusfysiikka 2017 -seminaarin yhteistyökumppanit

Seuraavat organisaatiot ovat toimineet Rakennusfysiikka 2017 -seminaarin yhteistyökumppaneina:

ABL-laatat	Passiivikivitalot / Tulilattia Oy
Aeroc Jämerä Oy	Pesulapalvelu Hans Langh Oy
A-Insinöörit Oy	Pietiko Oy
Akukon Oy	Pyhärannan Rakennustuote Oy / PRT-pro
Amodus Oy	Rakennuslehti Oy
Arcada ammattikorkeakoulu	Rakennusteollisuuden koulutuskeskus
Betonyhdistys ry	RATEKO
Christian Berner Oy	Rakennusinsinöörit ja -arkkitehdit RIA ry
COMSOL Oy	Rakennustieto Oy
Delete Finland Oy	RAKLI ry
Dimen Oy	Ramboll Finland Oy
FCG Finnish Consulting Group Oy	Rettig Lämpö Oy
Finnfoam Oy	SAFA
FISE	Saint-Gobain Finland Oy / Weber
Granlund Consulting Oy	Saint-Gobain Finland Oy / Gyproc
Helsingin yliopisto, koulutus- ja kehittämispalvelut	Sisäilmatutkimuspalvelut Elisa Aattela Oy
Icopal Oy	Sisäilmayhdistys ry
IdeaStructura Oy	SKOL ry
Infradex Oy	Stora Enso Oy
Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy	Suomen Sisäilmakeskus Oy
Inwido Finland Oy	Suomen Terveysilma Oy
ISO-Chemie GmbH	Suomen Yliopistokiinteistöt Oy
Jaatimet Oy	Suunnittelutoimisto Dimensio Oy
Kasil Finland Oy	Sweco Finland Oy
Katepal Oy	Tampereen kaupunki / Tampereen Tilakeskus
Kiiruna Talot Oy	Liikelaitos
Knauf Oy	Teknocolor Oy
Labroc Oy	Termater Oy
Lamox Oy / Termotuote	Thermisol Oy
Leanel Oy	Tremco illbruck Oy
Lumon Oy	Turun ammattikorkeakoulu
Läsä Lämmönsäästäjät Oy	Turun yliopisto
Metropolia ammattikorkeakoulu	Uponor Suomi Oy
Mikrobioni Oy	Vahanen Oy
Muottikolmio Oy	Vaisala Oyj
OY Abresto Ab	Vallox Oy
Parmaco Oy	Wiiste Oy
Paroc Oy Ab	Wise Group Finland Oy

SISÄLLYSLUETTELO

OSA 1

Esipuhe	iii
Rakennusfysiikka 2017 -seminaarin yhteistyökumppanit	v
Keynotes	1
Buildings of Tomorrow – Moisture Safe, Nearly-Zero-Energy and BIM Based Solutions Part 1: Experiences and Future Developments in Austria Part 2: CIB W040 Development of Research Road Map – Resilience and Risk Management to Mitigate Moisture Problems in Buildings <i>Thomas Bednar, TU Wien, Austria</i>	3
Innovation Strategies for the Built Environment in Research, Practice, and Teaching <i>Paul Michael Pelken and Vasilena Vassilev, P+ Studio, London, UK</i>	19
A1. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta	37
Riskianalyysi rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamisen työkaluna <i>Anssi Knuutila</i>	39
A-Insinöörit kosteusturva: ennakoiva kosteuden- ja puhtaudenhallintapalvelu hankesuunnittelusta käyttövaiheeseen <i>Mikko Tarri, Arto Kuosku, Joonas Sihvo, Irmeli Nutikka ja Topi Mäkinen</i>	45
Muovimatolla päällystetyt betonilattiat – haasteita uudisrakentamisessa <i>Kiia Miettunen ja Leif Wirtanen</i>	51
Korkean rakentamisen haasteet asuinrakennusten kevyissä julkisivuissa <i>Andreas Linnell</i>	57
A2. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta	63
Kevytsoralla korjatun välipohjan ja täydentävällä lämmöneristeellä tehdyn kevytsorakaton kosteusteknisen toiminnan varmistaminen <i>Klaus Viljanen ja Mikko Pöysti</i>	65
Maanvastaisten seinien lämpö- ja kosteustekninen toiminta <i>Anssi Laukkarinen, Roosa Heiskanen ja Juha Vinha</i>	71
Maanvaraisten alapohjarakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta ja sisäilmälähtöiset virhetulkinnat <i>Ari-Veikko Kettunen</i>	77
Maanvaraisen laatan kapselointikorjausten rakennusfysikaalinen toimivuus ja korjausten vaikutus liittyviin rakenteisiin <i>Heikki Aronen</i>	83

Ylipaineistuksen ja ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan <i>Milla Mattila, Camilla Vornanen-Winqvist, Ilkka Jerkku ja Jarek Kurnitski</i>	91
Havainnot vanhojen pientalojen rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta Remedial-tutkimushankkeessa <i>Arto Köliö, Kaisa Jalkanen ja Petri Annila</i>	97
A3. Määräykset ja ohjeet	103
Rakennuksen kosteusteknistä toimivuutta koskevan asetuksen valmistelu <i>Katja Outinen</i>	105
Valviran uusi asunnontarkastusohje <i>Pertti Metiäinen</i>	111
SULVIN ilmanvaihdon kuntotutkimusohjeistuksen merkitys sisäilmatutkimuksissa rakenneaurioisissa kohteissa <i>Lari Eskola ja Marko Björkroth</i>	117
Uusien puhdistilastandardien vaikutuksista käyttäjän kannalta <i>Pekka Friberg, Elli Laine ja Kaisa Wallenius</i>	123
Käytännön kokemuksia kosteudenhallinnan uusista ohjeista ja toimintamalleista <i>Petri Mannonen</i>	127
A4. Kosteus- ja homevauriot	133
Kosteusvaurioiden vakavuus kuntien rakennuksissa <i>Petri Annila, Jukka Lahdensivu, Jommi Suonketo, Matti Pentti, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	135
Ilmanvaihdon ja painesuhteiden merkitys rakenteille ja sisäilman laadulle; kolme case-tapausta <i>Saija Korpi, Lari Eskola, Terttu Rönkä, Timo Ekola, Sami Mustajoki ja Marko Björkroth</i>	141
Rakennusmateriaalin ja rakenteen vaikutus mikrobilajistoon ja -pitoisuuteen <i>Helena Rintala, Marja Hänninen, Teemu Rintala, Pinja Tegelber ja Teija Meklin</i>	147
Sisäilmaongelmaisen koulun korjausvaihtoehtojen ja purkamisen vertailu – case-tutkimus <i>Ulrika Uotila, Olli Teriö, Paavo Kero, Tero Marttila ja Malin Moisio</i>	153
A5. Rakennusaikainen kosteuden- ja olosuhteiden hallinta	159
Kuivaketju10-toimintamallin periaatteet, jatkokehitys ja kokemukset <i>Sami Saari, Pekka Seppälä, Eveliina Tackett ja Markku Hienonen</i>	161
Puukerrostalon työmaavaiheen lämpö- ja kosteusolosuhteiden mittaukset <i>Anssi Laukkarinen, Sami Musakka, Olavi Penttilä, Olli Teriö ja Juha Vinha</i>	167

Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta <i>Olli Teriö, Olavi Penttilä, Anssi Laukkarinen, Sami Musakka ja Juha Vinha</i>	173
Julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjausohje <i>Toni Pakkala, Jukka Lahdensivu, Arto Köliö ja Petri Annila</i>	179
Olosuhteiden vaikutus rakennustyömaalla <i>Suvi Utriainen</i>	185
A6. Rakennusten olosuhteiden seuranta ja hallinta	191
Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen toiminnan seuraaminen <i>Susanna Ahola ja Jukka Lahdensivu</i>	193
Reaaliaikaiset rakennusfysikaaliset kenttämittaukset – kokemuksia Oulusta <i>Markku Hienonen, Ilkka Räinen, Mikko Mielityinen, Jukka-Pekka Savolainen ja Timo Kauppinen</i>	199
Sisäilman olosuhteiden jatkuva valvonta <i>Janne Heinonen, Virpi Leivo ja Pirkko Pihlajamaa</i>	209
Paine-erot Pirkanmaan ja Helsingin julkisissa palvelurakennuksissa <i>Antti Kauppinen, Mihkel Kiviste, Joni Pirhonen ja Juha Vinha</i>	215
A7. Kosteusturvallisen rakentamisen palkinnon voittajaehdokkaat	223
Asuinrakennusten kosteusvaurioiden korjaukset <i>Eero Nippala ja Terttu Vainio</i>	225
Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausoppaan päivitys <i>Timo Turunen, Susanna Ahola, Jukka Lahdensivu, Inari Weijo, Esko Sistonon ja Petri Annila</i>	231
Kosteudenhallintakoulutus rakennustyömaalle <i>Tero Marttila, Jommi Suonketo, Paavo Kero ja Anne Hyvärinen</i>	237
FISEn rakennusvirhepankki kosteusongelmien ratkaisussa <i>Marita Mäkinen, Timo Turunen, Hannu Kääriäinen, Pekka Väisälä, Gunnar Åström, Helmi Kokotti ja Hannu Pekkarinen</i>	243
Rakennusten toimivuuden varmistus uudis- ja korjausrakentamisen laadunohjausmenetelmänä <i>Markku Hienonen, Ilkka Räinen, Antti Knuuti ja Timo Kauppinen</i>	249
Uusi valesokkelirakenteen korotuskorjausmenetelmä lämpöä eristävällä täyttövalulla sekä rakenteiden tiivistäminen <i>Juha Lappalainen</i>	259
A8. Energiatehokas rakentaminen 1	265
Koulujen ja päiväkotien laskettu ja toteutunut energiankulutus <i>Annu Ruusala ja Juha Vinha</i>	267

Opetusrakennusten energiatehokkuuden arviointi <i>Tiina Sekki, Miimu Airaksinen ja Arto Saari</i>	275
Energiatehokkuus on entistä enemmän sähkötehon hallintaa <i>Juhani Heljo, Jaakko Sorri ja Pirkko Harsia</i>	281
Kustannusoptimaaliset energiakorjaus- ja uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut kunnallisissa palvelurakennuksissa <i>Juha Jokisalo, Paula Sankelo, Kai Sirén ja Juha Vinha</i>	287
Valmistautuminen lähes 0-energiarakentamiseen, Tilakeskuksen uusi rakentamistapa <i>Antti Lakka</i>	293
Suurten kiinteistöjen jäähdytysenergian tuottaminen lämpöpumpulla ja jäähdytyksessä syntyvän lauhde-energian siirtäminen kaukolämpöverkkoon <i>Antti Ahlqvist</i>	299
A9. Energiatehokas rakentaminen 2	305
Kustannusoptimaalisten peruskorjausratkaisuiden energia- ja ympäristötehokkuus 1970-luvun betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa <i>Tuomo Niemelä</i>	307
Arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen <i>Malin Moisio, Taru Lindberg, Tapio Kaasalainen ja Antti Mäkinen</i>	317
Energiatehokkuusinformaatio palvelurakennuksissa <i>Jaakko Sorri, Juhani Heljo, Ulrika Uotila ja Annu Ruusala</i>	325
Energiakortti rakennushankkeen tavoitteiden asettamisessa ja todentamisessa <i>Olli Teriö, Juhani Heljo, Sakari Uusitalo ja Pirkko Pihlajamaa</i>	331
Suuren lämmöneristämättömän maanvastaisen alapohjan vaikutus rakennuksen energiankulutukseen <i>Petteri Huttunen, Juha Rantala ja Juha Vinha</i>	335
U-arvojen mittaukset nopeasti ja tarkasti – periaatteet ja mahdollisuudet <i>Mikael Paronen</i>	343
A10. Toimivat ja kestävät rakennukset	349
Toimivuustarkastusten merkitys rakennuksen elinkaarelle <i>Pirkko Pihlajamaa, Sakari Uusitalo ja Olli Teriö</i>	351
Rakennuksen kokonaisvaltainen laadunhallinta <i>Miika Virtanen</i>	357
Rakennusfysikaalisten riskien huomioiminen kiinteistön ylläpidossa ja riskeihin liittyvän tiedon hallinta – kiinteistönomistajan toimintamalli <i>Johanna Jalas, Timo Turunen, Markku Uusitalo ja Jarmo Perkiö</i>	363
Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset	625

SISÄLLYSLUETTELO

OSA 2

Esipuhe	iii
Rakennusfysiikka 2017 -seminaarin yhteistyökumppanit	v
B1. Kosteudenhallinnan tekniset ratkaisut	371
Uuden betonilattian kuivattaminen Tulilattian Fööni-kuivatusputkistolla <i>Ville Ahvenainen, Pasi Lehtimäki ja Esa Tommola</i>	373
FF-WALL -seinäjärjestelmä <i>Jouni Eronen ja Asso Erävuoma</i>	379
Rakentamisen kuivaketjun varmistaminen teollisuusrakentamisessa – teräslevypintaiset sandwich-seinäelementit <i>Pasi Turpeenniemi ja Erkki Honkakoski</i>	385
Temperierung-menetelmä ja sen soveltaminen massiivirakenteisten seinien kosteusteknisissä korjauksissa <i>Jani Sorasalmi</i>	391
B2. Rakennusfysiikan laskentamenetelmät ja mittauslaitteet	397
Kuorielementtien kuivumisen mallintaminen hydrataation huomioivalla FEM-laskennalla <i>Pauli Sekki, Lauri Korhonen ja Juha Vinha</i>	399
Betonilaatan ja sen kuivatusputkiston toiminnan numeerinen simulointi <i>Timo Karvinen ja Pauli Sekki</i>	407
Alipaineistetun tuulettuvan ryömintätilan rakennusfysikaaliset FEM-simuloinnit <i>Juha Salo, Petteri Huttunen ja Juha Vinha</i>	413
The application and the potential of QUB/e in the Nordic countries: new perspectives for fast in-situ measurements of the building thermal performance <i>Andrea Mazzucco and Jussi Jokinen</i>	423
Mittauslaitteistojen soveltuvuus alipaineistettujen osastojen paine-eron pysyvyyden seurantaan asbestipurkutöissä <i>Timo Jalonen</i>	431
Uusi menetelmä rakennusten vuotoilmavirtojen määrittämiseksi <i>Ilpo Kulmala ja Pertti Pasanen</i>	437
B3. Materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet	441
Lämpötilan vaikutus eristemateriaalien lämmönjohtavuuteen <i>Hanna Kianta</i>	443
Rakennuseristemateriaalien kosteuskäyttäytyminen ja hyvät rakennustavat <i>Hannu-Petteri Mattila</i>	449

Suomessa markkinoilla olevien kalsiumsilikaattilevyjen rakennusfysikaaliset materiaaliominaisuudet	455
<i>Eero Tuominen, Maarit Vainio ja Juha Vinha</i>	
Betonin kosteusteknisten materiaaliominaisuuksien määrittäminen	461
<i>Kari Vänttinen, Eero Tuominen ja Juha Vinha</i>	
Viilupuun (LVL) kosteustekniset ominaisuudet ja käyttö rakennuksessa	471
<i>Niko Laakso</i>	
B4. Sisäilman haitta-aineet	477
Haihtuvat orgaaniset yhdisteet toimistotyyppisen uudisrakennuksen sisäilmassa sekä uusien kalusteiden vaikutus sisäilman VOC-tuloksiin	479
<i>Pirita Suortamo ja Sanna Lappi</i>	
Korjattujen ja korjaamattomien lattiarakenteiden pitkäaikaisseurannan oirekyselyjen tuloksia	487
<i>Pertti Metiäinen ja Helena Mussalo-Rauhamaa</i>	
Onko sisäilmaongelmat ymmärretty oikein?	493
<i>Janne Liimatainen ja Gunnar Laurén</i>	
B5. Sisäilman laatu	499
Rakennusten peruskorjauksessa tai laajennuksessa usein liian vähälle huomiolle jääneitä sisäilman laatua heikentäviä tekijöitä	501
<i>Timo Hautalampi</i>	
Arviointimenetelmä korjaussuunnitteluratkaisujen vaikutuksesta rakennuksen altistumisolosuhteisiin	507
<i>Veli-Matti Pietarinen, Kai Nordberg, Juha Heikkinen, Liisa Kujanpää ja Helmi Kokotti</i>	
Käyttöä turvaavat toimenpiteet kosteus- ja homevaurioituneissa rakennuksissa	517
<i>Kaisa Jalkanen, Hanna Leppänen, Mari Turunen ja Ulla Haverinen-Shaughnessy, Tero Marttila ja Anne Hyvärinen</i>	
Kohti sisäilmasairaalle soveltuvaa rakentamista – kehitystyön lähtökohtia	523
<i>Katja Pulkkinen</i>	
Elinkaarikoulujen pintapölyt ja siivottavuus	529
<i>Leila Kakko</i>	
B6. Sisäilmatutkimukset	533
Uusi sisäilman laadun tutkimusmenetelmä	535
<i>Elisa Aattela</i>	
Uusi menetelmä sisäilmaongelmaisten rakennusten priorisointiin	541
<i>Julia Debbarh</i>	

Työpaikkatilojen jatkuvatoiminen radonmittaus <i>Pasi Arvela</i>	547
B7. Ääneneristys ja meluntorjunta	551
Ilmääneneristävyyden mittauksia koskeva round robin -testi <i>Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen</i>	553
Tampere-talon laajennuksen ja tilamuutosten akustiikkasuunnittelu <i>Jussi Rauhala, Mikko Kylliäinen, Jesse Lietzén, Joose Takala, Ilkka Valovirta ja Mikael Ruohonen</i>	559
Betonirakenteisten alalaattavälipohjien ääneneristävyyden korjaaminen nykytasoon kevytrakennetekniikalla <i>Arto Hyttinen</i>	565
Julkisivurakenteiden ääneneristävyys pientaajuuksilla <i>Valtteri Hongisto, Jukka Keränen ja Jarkko Hakala</i>	571
Kalkkisementtistabiloinnin teknistaloudellinen soveltuvuus liikennetärinän vaimennukseen <i>Timo Huhtala, Mikael Ruohonen ja Mikko Kylliäinen</i>	577
Länsimetron runkomelu ja eristysratkaisut <i>Henri Penttinen, Timo Peltonen ja Timo Markula</i>	583
B8. Huoneakustiikka	589
Avointen oppimisympäristöjen edellyttämät ääniolosuhteet <i>Mikko Kylliäinen ja Rauno Pääkkönen</i>	591
Osallistava melunhallinta ja akustointi – Miten opetustilan ääniympäristöä voidaan parantaa? <i>Jaana Jokitulppo, Sirpa Pirilä, Elina Niemitalo-Haapola ja Leena Rantala</i>	597
Kalusteet osana tilan akustista ratkaisua <i>Rauno Pääkkönen ja Mikko Kylliäinen</i>	603
Ääniolosuhteiden kustannusvaikutukset avotoimistoissa <i>Joni Kemppainen, Henry Niemi, Mikko Kylliäinen ja Antti Mikkilä</i>	609
Hoitohenkilökunnan kokemus sisäympäristöstä Tampereen yliopistosairaalassa <i>Valtteri Hongisto Riikka Helenius ja Isto Nordback</i>	615
Suomalaisten sairaalatiloiden huoneakustiikka; mittauksia ja huomioita <i>Jyrki Kilpikari ja Kalle Lehtonen</i>	621
Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset	625

Keynotes

Buildings of tomorrow - Moisture safe, nearly-zero-energy and BIM based solutions

Part 1: Experiences and future developments in Austria

Thomas Bednar
TU Wien Vienna University of Technology

Abstract

The paper presents important aspects for the design and operation of “Buildings of tomorrow” from an Austrian perspective. The indoor climate with and without a basic ventilation without occupants action, the possibility of decreasing the yearly net-energy-demand of buildings below zero and the moisture safety of constructions especially after renovations are addressed. Concluding that the detailed overview on all components the designers have to deal with is one of the keys a proof-of-concept of a consistent data model model is presented. Clients can be used by all designers to manipulate all items until they find the optimal solution. Industry delivering real components at the end are asked to hand in virtual twins of their products to contractors. In that way the performance of a building is already known at the time the contracts are signed. Also the control algorithm can be programmed and it is not necessary anymore to wait till occupants use the building. In that way “Buildings of tomorrow” will have virtual twins and buildings physics experts will have time to design them with a nearly zero risk for moisture damage.

1. Introduction

The energy system of Europe will be transformed into a resilient, renewable energy sources based system. As the energy consumption inside buildings for lighting, ventilation, heating, cooling, transport is approximately 40% of the energy consumption many measures during renovations try to decrease the energy need without impairing thermal comfort and durability of the building construction. In addition, the use of various forms of energy is associated with all human activities, like office work, cooking, clothes washing etc.

To reduce the energy demand for heating the building envelope is insulated more than in the past. The whole envelope is much more airtight, energy efficient ventilation systems are installed and the equipment is exchanged with energy efficient products. Well designed passive houses showed very good energy performance and thermal comfort. Such successful building projects have been supported by the program “Building of Tomorrow”, which was launched by the Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology in Austria in 1999. With the aid of an active research and technology policy, architecturally ambitious buildings have resulted that employ ecological materials, are exceptionally energy-efficient and at the same time are rewarding to live in and to use. The following paper presents the personal view of the author on the important aspects of a building concept and concludes in a new way to design and operate “Buildings of Tomorrow”

2. Moisture excess in new building without mechanical ventilation

Modern building envelopes are very air-tight. From a durability point of view it is very important not to transport moisture by vapour convection into the cold parts of an envelope. The following summary of a research project focuses on the indoor vapour content in single family buildings without a mechanical ventilation system. The research question was: “How high will be the moisture excess, if the airtightness of the envelope is high and people use the windows as the like it.” [1]

2.1 Description of building stock

The measurements of indoor climate have been done in a suburban residential area in Vienna. 100 similar small single family houses are situated there. The houses are built in a prefabricated wood frame method. In total 28 families agreed to be monitored for one year. The airtightness of the buildings was n_{50} -value = $0,7 \pm 0,2$ 1/h. The average number of occupants was $2,3 \pm 0,7$.



Figure 1. Residential area with similar single family houses. The location of the temperature and humidity sensors are shown in the drawings.

2.2 Measured Indoor Temperature and Moisture Excess

The indoor temperature and humidity was logged for more than one year. The following diagrams show the monthly mean values of the average over all sensors in one house.

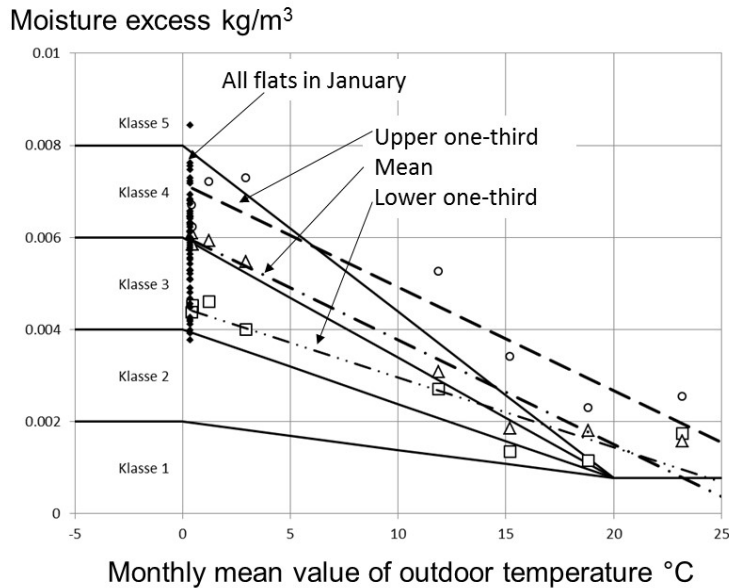


Figure 2. Distribution of the measured moisture excess in January for all 28 houses and the monthly values for an example of the lower, middle and upper third of the distribution. According to EN ISO 13788 half of the houses belong to moister class 4 and only half are within moisture class 3.

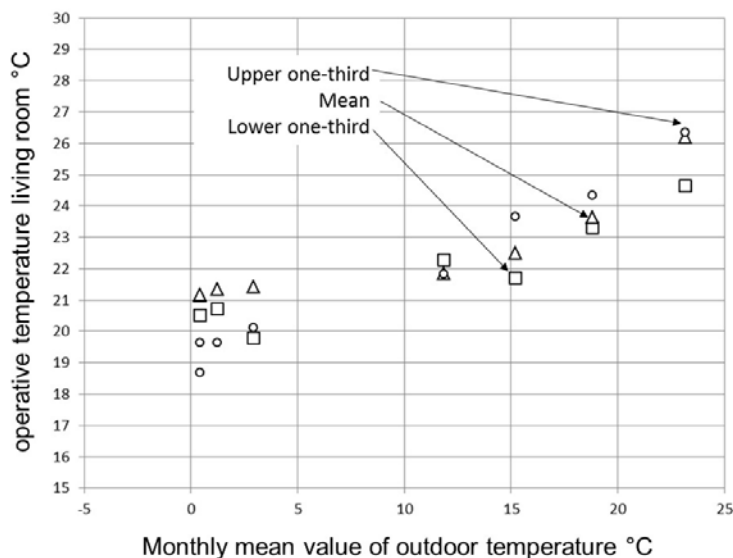


Figure 3. Distribution of the measured operative temperatures for an example of the lower, middle and upper third of the distribution.

As can be seen the temperatures during winter time is between 19°C and 22 °C. Half of the flats are within moisture class 3 and the other half within moisture class 4 according to EN ISO 13788.

Comparing the results to the study of Vinha et.al. 2008 [2] it can be seen that the distribution is similar but shifted by 4 g/m^3 towards higher humidities. The study in Finland included around 60% of houses with supply and extract ventilation systems, 30% with extract ventilation systems and 10% with window ventilation only. Additionally the air-tightness of the envelopes was $n_{50} = 3,9 \pm 1,8 \text{ l/h}$. One can conclude that the shift towards higher relative humidities is due to lack of controlled ventilation together with a very airtight envelope in the Austrian ensemble of single family houses.

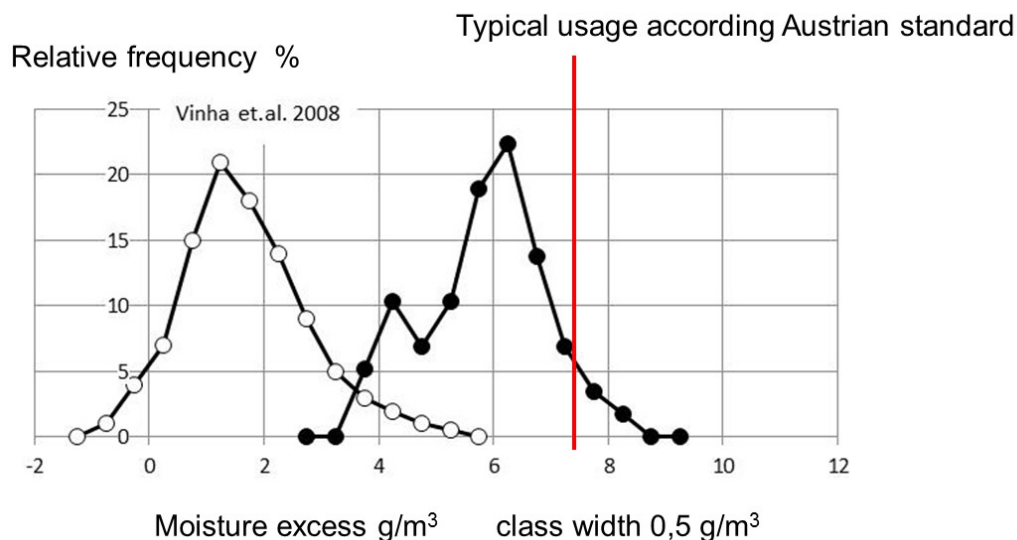


Figure 4. Distribution of the measured moisture excess in January (outdoor temperature 5°C) compared to Vinha et.al. 2008 [2]. The standardized value used in Austrian building physics moisture performance assessments is 7 g/m^3 (ÖNORM B 8110-2:2003).

3. Buildings of tomorrow – Demonstration projects

3.1 Buildings of Tomorrow – Demonstration objects

Since 1999 the Austrian Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology supports research and demonstration of innovative building concepts and components. A good overview over the demonstration projects can be found at

https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/innovative_gebaeude_in_oesterreich_2012_technical_guide.pdf

Since 1999 the focus was on ecological lowest energy buildings. 2008 additionally local conversion of energy had to be part of research or demonstration projects.

3.2 Plus-Plus-Energy High-Rise Office Building TU Wien – Getreidemarkt Object BA

Due to a lot forgoing research projects at TU Wien the idea was born to use one of the ongoing renovation projects to demonstrate the possibility of highest energy efficiency in a city in the middle of Europe. The goal was to use less non-renewable energy from electricity and district heating grid than the building could export to the grid. After the renovation the 11 storey high-rise building is mainly used for offices for institutes of the faculty of mechanical engineering. Office

workplaces, teakitchens and high performance computing. The new IT concept of the university allowed to transfer the high performance computing out of the offices into server-rooms. One server room in the cellar of the building is used as the heating source during winter.

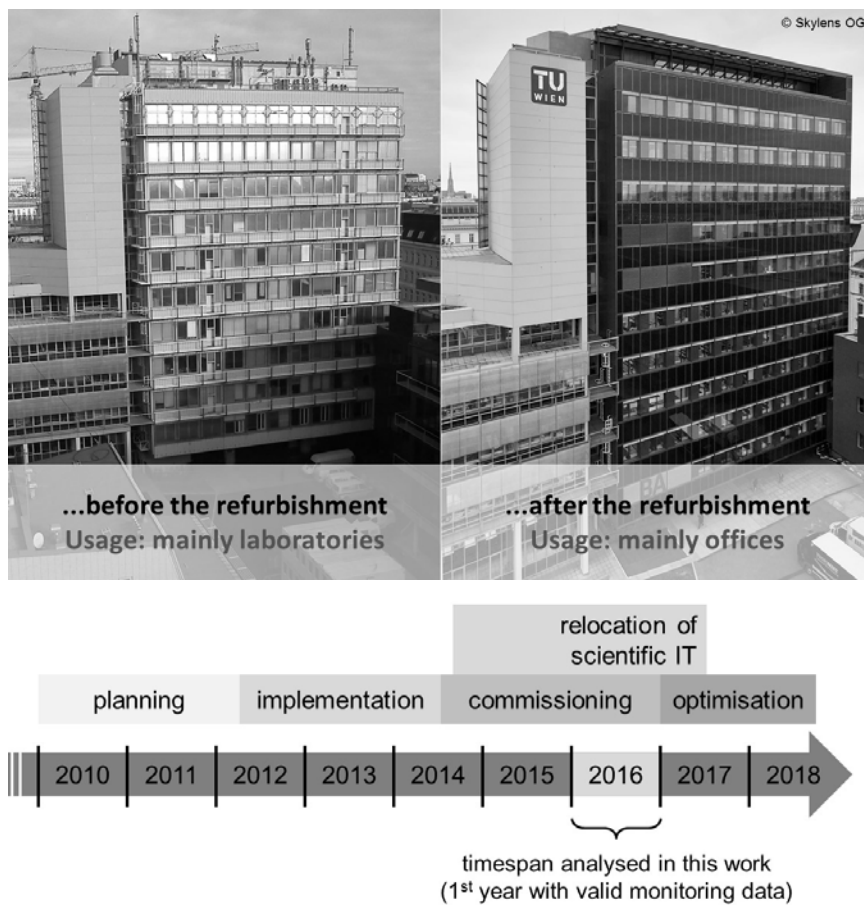


Figure 6. Time line of building project. The first valid monitoring data was collected in 2016. The relocation of scientific IT (simulation server) is still ongoing.

Detailed information can be found at

http://university.at/en/locations/getreidemarkt/plus_energy_office_high_rise_building/overview/

The following figures presents the energy consumption for usage (10 storeys office work, communication, tea kitchen, ...) and building services (heating, cooling, lighting, ventilation, transport) for a typical new building and the very efficient building. Only if all measures can be realized the overall energy consumption will be less than the possible conversion of solar energy into electricity on roof and façade of the building.

Primary energy demand (non-renewable) in kWh/(m²_{GFA}·a)

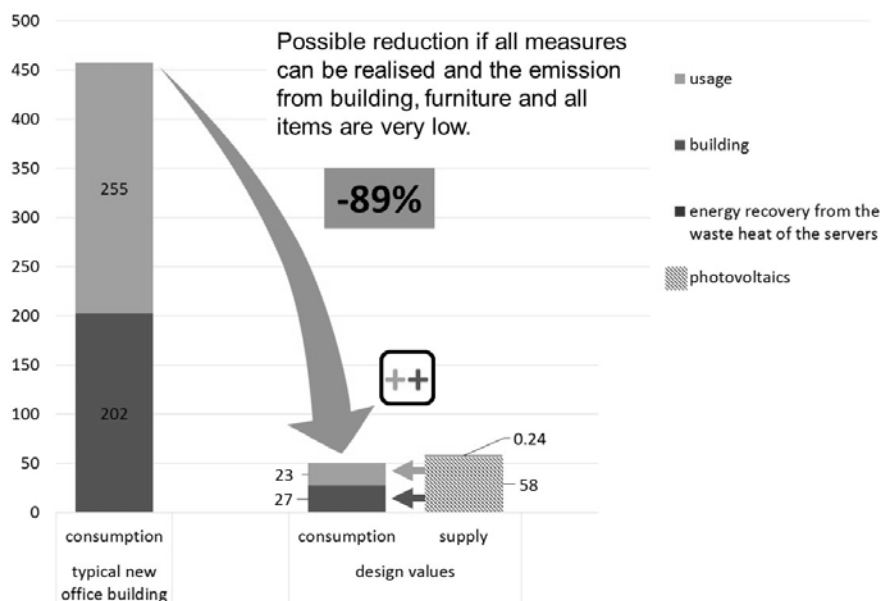


Figure 7. Possible reduction of energy demand if all measures can be realised. The emissions of the building, furniture and all other items limit the possibility of ventilation air flow reduction. The prediction assumes a lowest emitting building.

During 2014 and 2015 the building systems were finalized by the contractors and the monitoring system was validated by the research team. 2016 the first valid monitoring data was available.

Primary energy demand (non-renewable) in kWh/(m²_{GFA}·a)

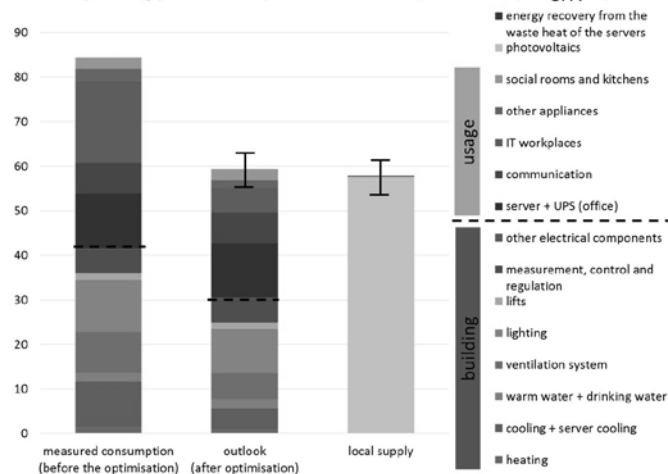


Figure 8. Measured energy consumption before optimisation (2016). The estimation of the energy consumption after complete relocation of simulation servers and optimisation of building and HVAC control (presumable 2018) is promising. The goal of an equal yearly usage and production seems possible.

Due to the very detailed monitoring system the impact of still remaining simulation servers in the offices, some sub-optimal performance of lightning, ventilation and chiller control system could be quantified. The next figure presents the split of the deviation between the minimal achievable energy consumption and the measured energy consumption 2016.

Monitoring 2016 – Reasons for increased consumption

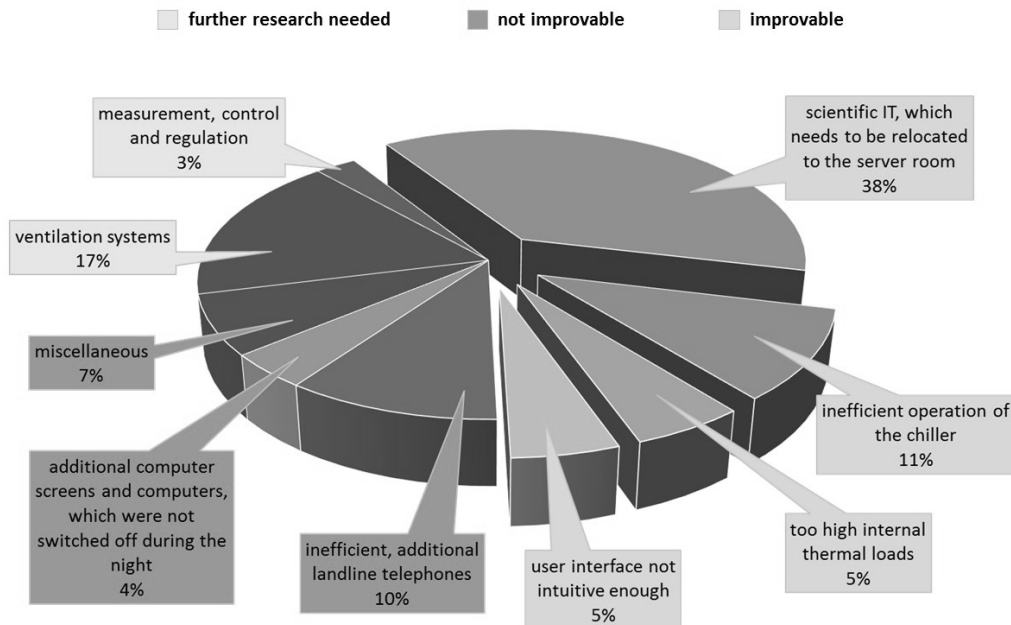


Figure 9. Split of enhanced energy consumption. The use of simulation servers inside the offices instead of an efficient hardware in server rooms, together with suboptimal control of chiller and ventilation system is responsible for more than half of the enhanced consumption.

The energy use for communication could not be realised in the most efficient way as the university invested into a new telephone system a few years ago. As the system has to be used in each building the energy demand for communication is much higher than the most efficient solution.

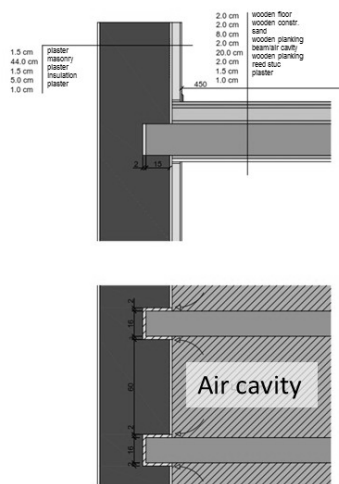
4. Safeguarding Wooden-Beam Ends in Outer Brick Walls

Many buildings Austria have been build around 1900. They are called “Gründerzeithäuser”. Renovating such buildings to a very high energy efficiency level has also been part of several research projects. A summary can be found at

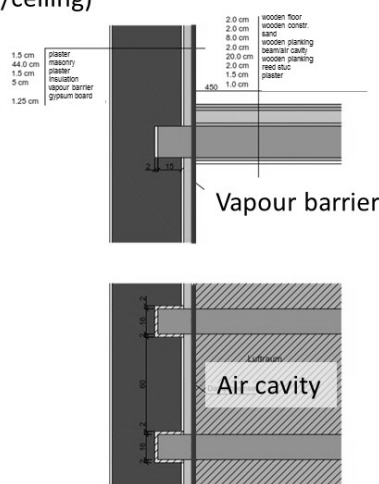
<http://www.gruenderzeitplus.at/ueber/index.php>

A very critical part of the envelope is the connection of the wooden beams in the outer walls of those buildings. During renovations the wooden beam ends are inspected looking for moisture damages. Typically only very small amounts of beam ends suffered from rain water penetration and are typically replaced. Due to protection of the visible image of the buildings very often inside insulations are part of the renovation concept. The following figure shows two different ways how inside insulation could be applied. [3]

Room-by-room interior insulation and continuous air space



Over all continuous interior insulation and separated air spaces (beam head/ceiling)



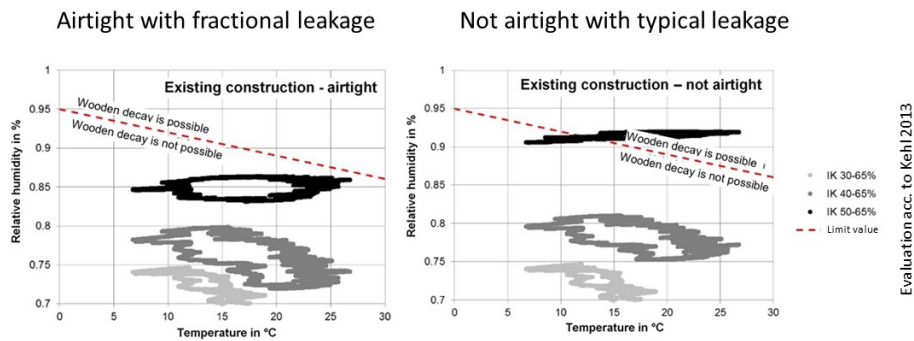
Constructional versions of ceiling to wall connections with inside insulation

Figure 10. Two possible renovation measures for brick walls with wooden beams. A continues air cavity between the beams leads to vapour transport by convection towards the brick wall. A continues air barrier (right side) could protect the beam head. Leakages in the air barrier might remain as a risk for vapour transport towards the cold beam head.

Using a 3D simulation tool (HAM4D_VIE) the conditions around the beam ends can be predicted and rated according the limits for wood decay. The inside insulation decreases the temperature around the beam end. At the same time diffusion could be prevented using vapour barriers or materials with higher vapour resistance. The biggest unknown are air-flows through cracks and holes in the ceiling. The airtightness of brick walls is also not perfect if renders are not completely covering the inner and outer surfaces.

A first assessment of the risk of moisture damages in the old building state (without an inside insulation) can be seen in the following figure. Only if the indoor humidity in winter is high a risk can be concluded from the assessment. The probability of high relative humidity’s in the old

buildings is very low because of a very low air-tightness of the old windows. Changing the windows enhances the probability of high relative humidity's in winter.

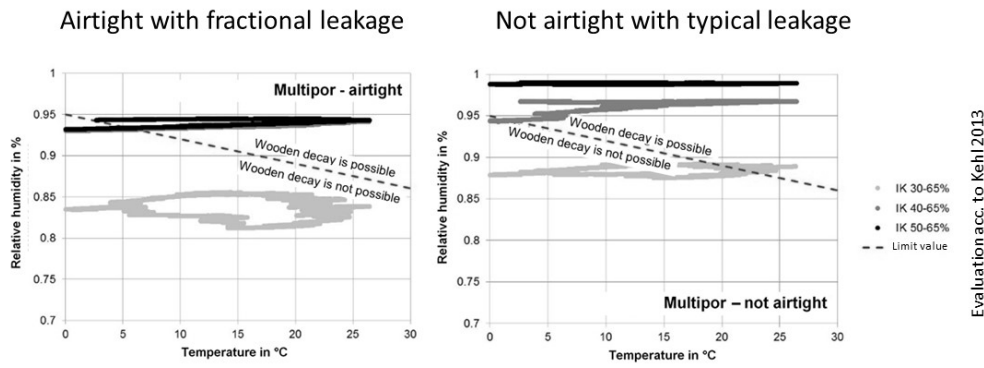


Indoor air RH (winter/summer)	Simulated RH in the critical point		Probability depending upon airtightness	
	Fractional leakage	Typical leakage	n50 = 10/h	n50 = 1,5/h
30 – 65 %	74,6 %	74,7 %	++	+
40 – 65 %	79,8 %	81,0 %	+	+
50 – 65 %	86,4 %	92,4 %	0	+

Figure 11. Relative Humidity close to the beam head. The original construction without an inside insulation only faces risky conditions [4] if the moisture excess of indoor air is high (relative humidity in January above 50%). The air-tightness of the ceiling and wall construction only has a minor influence.

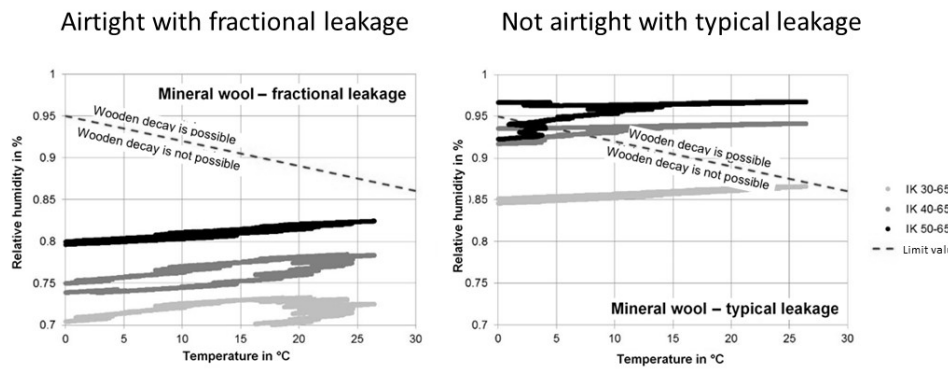
After renovation with an inside insulation the beam ends get much colder. The following figures show the moisture conditions around the beam ends depending on the occurrence of leakages in the ceiling or wall. The risk of wood decay [4] is very high if there is an continues air cavity from inside to the cold beam end in the wall. A second air barrier close to the wall could decrease the risk of vapour convection to the beam end.

It can be concluded that inside insulations of brick walls with wooden beam ends in the outer wall are a very risky construction. Further research is needed to validate convection models for performance assessment of such constructions. But more important seems to be research on the impact of quality assurance measures on-site on the probability of leakages and their sizes.



Evaluation acc. to Keh12013

Indoor air RH (winter/summer)	Simulated RH in the critical point		Probability depending upon airtightness	
	Fractional leakage	Typical leakage	n50 = 10/h	n50 = 1,5/h
30 – 65 %	85,6 %	89,6 %	++	+
40 – 65 %	94,3 %	96,8 %	+	+
50 – 65 %	94,7 %	99,1 %	0	+



Evaluation acc. to Keh12013

Indoor air RH (winter/summer)	Simulated RH in the critical point		Probability depending upon airtightness	
	Fractional leakage	Typical leakage	n50 = 10/h	n50 = 1,5/h
30 – 65 %	73,3 %	86,9 %	++	+
40 – 65 %	76,9 %	95,6 %	+	+
50 – 65 %	82,4 %	98,4 %	0	+

Figure 12. Relative Humidity close to the beam head. The continues air space (upper diagrams) leads to very risky conditions and the airtightness of the ceiling and wall construction only has a minor influence. In case of a continues air barrier the airtightness of the construction is important.

5. BIM as a chance for Building Physics

During the last 20 years, a lot of knowledge about the performance of buildings has been collected. Especially from building physics point of view calculations of the thermal performance, the energy use and the durability of constructions are much more precise. The decision on the optimal building envelope under life cycle considerations needs many variations of the envelope, the building service system. Additionally the concepts have to be tested regarding their flexibility against different future usages and the resilience against future climates is very important. [5]

Since 1975 the idea of using computers instead of drawings is present [6] [7]. Building information modelling is more and more demanded by building owners and from policy makers. Still there's no common data model which can be used from the first design to the operation phase of the building. Because of the Austrian experiences in the demonstration projects a research project has been conducted to formulate a consistent data model. The following figure shows the different ways BIM could be used. The most important one is using a published data model (open BIM) for all design disciplines (big BIM) until the contracts with the contractors are made and the real parameters and the real behaviour is available in a complete virtual building (open-big-real BIM).

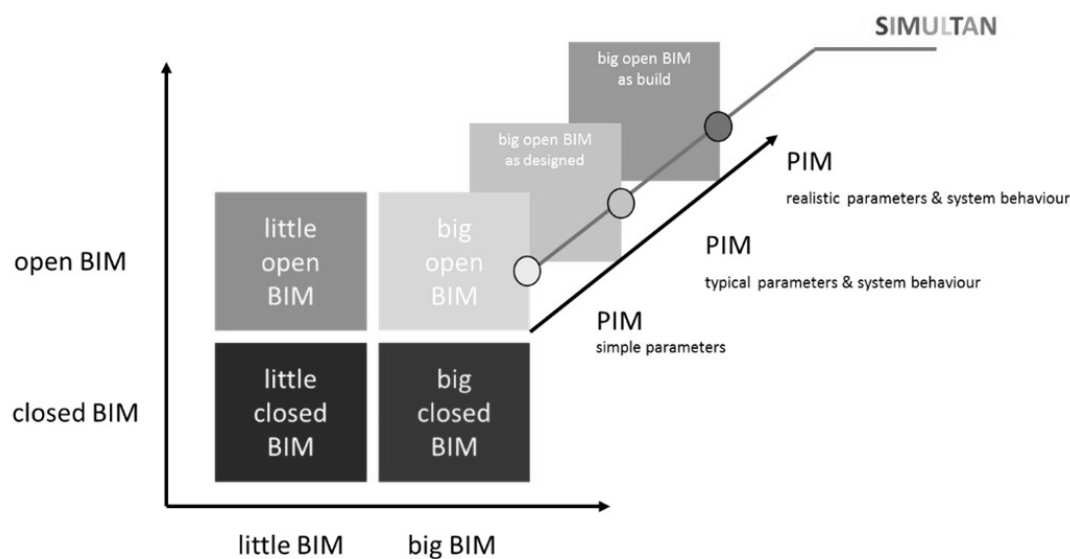


Figure 13. A published data model (open) used by all designers (big) with typical parameters during design and realistic parameters and system behaviour during operation (real) would be the preferable way how building information modelling helps. If only one designer (little) uses BIM with an unpublished (closed) data model the benefits are marginal.

Details on the research project can be found at

<https://nachhaltigwirtschaften.at/en/sdz/projects/simultan-simultaneous-planning-environment-for-buildings-in-resilient-highly-energy-efficient-and-resource-efficient-districts.php>

The proof-of-concept of a consistent data-model for all design disciplines has been presented in October 2017. The important outcomes are a new way of cooperation (regarding the traditional work sharing between architects and building physics designers in Austria).

The next figures present some views on a complete data-model for one of the demonstration projects of a multifamily passive house (used since 2007).

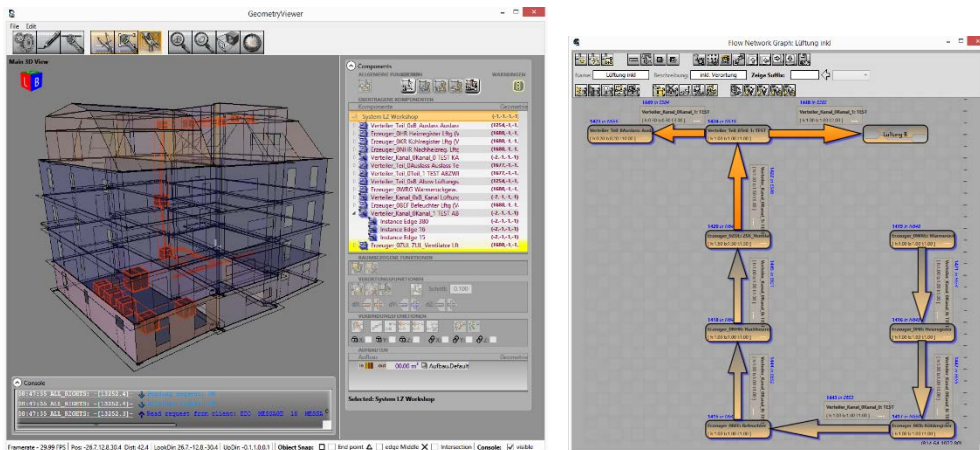


Figure 14. Views on the data model of a multifamily passive house in Vienna. Geometry (left) and system scheme (right).

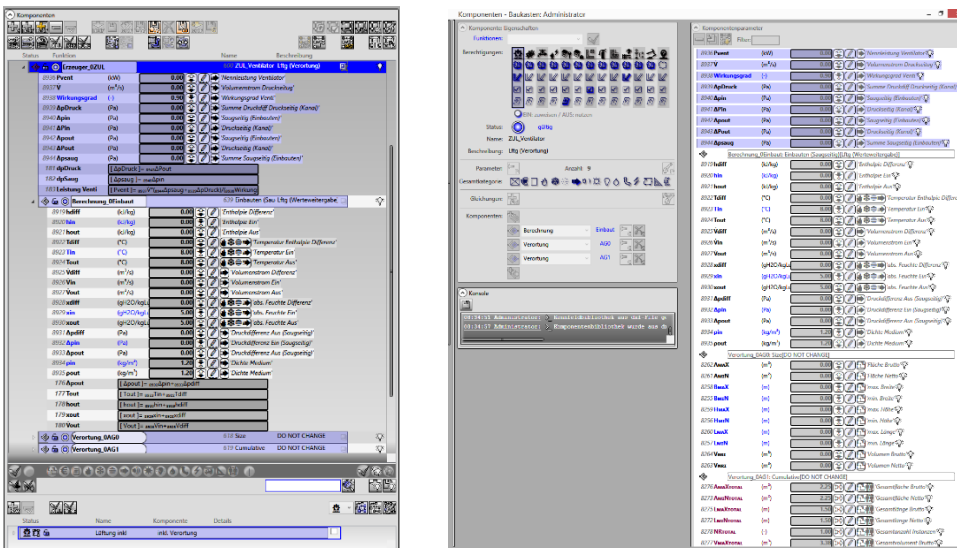


Figure 15. Views on the data model of the ventilation system of a multifamily passive house in Vienna. List of components (left), ownership of components and references between components (right).

The data model can be used to assess the thermal performance, the energy performance and the cost of the building. The building service designer uses the data model for designing the components and the building physics designers for designing the envelope. Both experts knowledge is needed to predict the energy consumption and to calculate energy performance indicators. Traditionally all designers waste a lot of time by redrawing the geometry. The proof-of-concept showed that having a consistent data model for all experts helps them to concentrate on finding an optimal solution.

6. Summary

Current building technologies make it possible to design very energy efficient buildings with a very good thermal comfort. Moisture safety is still an open topic, which needs more knowledge on the impact of quality assurance on-site on the leakage characteristics of the building envelope. Holistic design environment might help to find optimal solutions with nearly zero risk for moisture damages. The further development of such design and operation environments seems very important to decrease the time spend on duplicate work.

References

- [1] Harreither, C.; Morishita, N; Bednar, T: Prediction of indoor climate based on questionnaires. In: Proceedings of the 10th Nordic Symposium on Building Physics (NSB 2014): Lund, Schweden: 15.-19.6.2014
- [2] J. Vinha; M. Korpi; T. Kalamees; L. Eskola; J. Palonen; J. Kurnitski; I. Valovirta; A. Mikkilä, J. Jokisalo; A Research Project on the temperature and humidity conditions, ventilation and airtightness of Finnish detached houses; in IEA Annex 41 Final Report “Boundary Conditions and Whole Building HAM Analysis” edited by K. Kumaran; Chr. Sanders; 2008
- [3] Paul Wegerer, Thomas Bednar; Hygrothermal performance of wooden beam heads in inside insulated walls considering air flows; 11th Nordic Symposium on Building Physics, NSB2017, 11-14 June 2017, Trondheim, Norway
- [4] Kehl, Daniel: Feuchtetechnische Bemessung von Holzkonstruktionen nach WTA – Hygrothermische Auswertung der anderen Art, Beitrag in Holzbau – die neue quadri-ga, Kastner Verlag, Wolnzach 2013.
- [5] APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 Seiten. ISBN 978-3-7001-7699-2
- [6] Eastmann C. (1975) The Use of Computers Instead of Drawings”, AIA Journal; Volume 63, Number 3; pp 46-50
- [7] van Nederveen, G; Tolman F.P. (1992) Modelling multiple views on buildings. Automation in Construction; Volume 1; Number 3; pp 215-224

Part 2: CIB W040 development of research road map – Resilience and risk management to mitigate moisture problems in buildings

Thomas Bednar

Coordinator of CIB Commission W040 “Heat and Moisture Transfer in Buildings”

TU Wien Vienna University of Technology

Abstract

Nearly zero energy buildings are already on the market and more and more renovations focus on achieving a high energy efficiency and a reduced energy consumption by modifying the building envelope, the building service system and the control system. At the same time not every new building is moisture safe and not every change in a building decreases the risk of a moisture damage. The paper describes the process towards a research roadmap (RR) “Resilience and risk management to mitigate moisture problems in buildings”. The RR will be presented June 2019. It will collect the views from hopefully all stakeholders.

1. Introduction

In 2017 the CIB Working Commission “Heat and Moisture transfer in buildings” started to work on a research roadmap which will help to come close to the vision that after 2020 all new buildings will be moisture safe and each change in a building will increase the moisture safety.

2020 was chosen as after 2020 all new buildings will be nearly zero energy buildings.

The basis for the development of the RR are the final reports of IEA Annex 55 [1,2,3,4,5]

The most important task for a successful development of the RR is the structured involvement of all important stakeholder groups.

2. Groups of stakeholders

2.1 Designer with a focus on the building physics performance

A survey will be organized to collect the missing links from the viewpoint of building engineers with a focus on moisture safety. The survey will be carried out within the framework of national events.

2.2 Contractor, Building Owner, Manufacturer

A series of master thesis will be organized to collect the experiences from contractors and building owners about moisture damages. Currently the CIB W040 members are looking for the supervisors of the master projects.

2.3 Researcher

A call for Question papers is currently organized by members of CIB W040. The question papers will be published in English and German.

2.4 Standardization ISO/CEN

After the first collection of views on the necessary steps to moisture safe buildings possible work items and the necessary input will be identified within the ISO TC 163; CEN TC 89 and other related Technical Committees.

3. Presentation of Research Roadmap

The target date for the first version of the research roadmap is the

CIB World Building Congress in Hong Kong,
June 18-21, 2019 at the Hong Kong Polytechnic University

The RR will be revised every third year.

4. How to participate?

If you are interested in taking part in the process – please send an email to

thomas.bednar@tuwien.ac.at
Coordinator of CIB W040

References

Final reports IEA Annex 55 - Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance and Cost (RAP-RETRO); Operating Agent Carl-Eric Hagetoft (Institutionen för bygg- och miljöteknik, Byggnadsteknologi); Göteborg, Chalmers University of Technology, 2015

- [1] Nuno M. M. Ramos, John Grunewald (Editors);
Stochastic Data;
- [2] Hans Janssen, Staf Roels, Liesje Gelder van, Payel Das (Editors);
Probabilistic Tools
- [3] Angela Sasic Kalagasidis; Carsten Rode (Editors);
Framework for probabilistic assessment of performance of retrofitted building envelopes
- [4] Marcus Fink, Andreas Holm, Florian Antretter (Editors);
Practice and guidelines
- [5] Thomas Bednar, Carl-Eric Hagetoft (Editors)
Risk management by probabilistic assessment, Development of guidelines for practice

Innovation Strategies for the Built Environment in Research, Practice, and Teaching

Paul Michael Pelken and Vasilena Vassilev
P+ Studio, London, UK

Abstract

This paper presents various strategies for innovation in architecture and engineering using case study projects from the portfolio of P+ Studio, as part of the keynote speech, “Innovation Strategies for the built environment in research, practice, and teaching.” The presented work is seen in the context of required industry change and better synergies between various built environment industry sectors.

1. Introduction

In the field of architecture and the built environment, the creation of technologically progressive, environmentally ground breaking or economically disruptive solutions for contemporary urban problems have been compromised by slow innovation cycles [1]. While it is acknowledged that we need radical change in order to address issues of energy use, climate change, and building life cycle, we are facing limited progress in all areas, from design to construction, to the operation of our built environment.

Massive increases in urbanization have led to the compounding impact of heat island effects, compromised air quality, unprecedented demand for infrastructure and transportation, energy supply, increased burdens on water and waste systems, [2] among others. Solutions include the transformation of existing urban centres through densification and the implementation of retro-fit solutions, the rapid expansion of existing or the creation of entirely new city developments. In addition to current trends in construction, the existing building stock is comprised of increasingly sophisticated, interconnected, high value assets. Buildings completed today are going to be with us for decades to come, with ambitious current and more drastic future standards governing the demanding development of new solutions throughout all life cycle stages.

Driven by multiple policy and practice as well as environmental trends, sustainable design strategies are no longer a choice, but a serious professional obligation. Sustainability is acknowledged as a key driver for needed innovation, as there is simply “no alternative to sustainable development” [3]. It is important that designers from all disciplines understand the mandate to engage with a sustainable practice, and appreciate this method as an enormous opportunity to collectively develop new design strategies, urban typologies, and advanced building technologies —environmentally friendly, integrated solutions that address energy conservation and the complexity of holistic systems thinking.

These are all complex questions that can only be solved by radically altering the way in which we not only work and practice, but also educate the next generation of creative thinkers. Answers can only be met by overhauling the current outdated system of disciplinary silos in professional education, as well as the relationship between all built environment stakeholders. Built environment professionals are members of a risk-averse community of practice that cannot tolerate failure for policy, safety, operational and financial reasons, amongst many others.

However, a design experiment cannot produce innovative solutions, if failure has been excluded to begin with. Built environment professionals from all disciplines are greatly positioned to innovate. Transient in between the arts and sciences, architectural designers are oftentimes challenged to merely create new versions or variations of what we know, and how it is likely to perform—to change this, it will require commitment and input from all involved parties.

We need to further consider established models and relationships of development, deployment and the dissemination of new knowledge, as well as key objectives that differ between academia and industry. This paper will examine a series of case studies from the portfolio of our practice P+ Studio, which exemplify these potentials and offer a strategy for rethinking the design process itself on various scales.

2. Bridging the gap between research, teaching, and practice

For many architects, an education that is multi-disciplinary in nature and offers collaboration between architecture, science, engineering, and arts, can serve as the foundation for future innovation projects. In order to ensure a robust future with infinite potential to alter the way we design and build our cities, we need to instill a methodology for innovation as well as interdisciplinary research in the new cohort of built environment professionals. Leading to the appointment as Interdisciplinary Design for the Built Environment (IDBE) faculty at the University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership, we have embraced this methodology in the establishment of our practice through work that lies at the intersection of research based design, industry collaboration, and teaching. We have invested in the latter by adapting our office framework to various forms of education, from foundational academic to continued professional educational offerings.

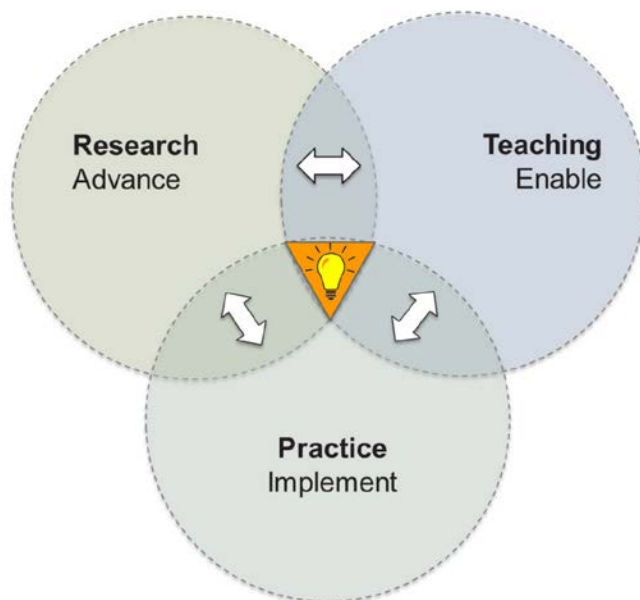


Figure 1. P+ tripod model of relationships and overlaps between research, teaching and practice.

Collaboration potential lies at the direct intersections of all three areas of research, practice and teaching. However, we believe that the greatest innovation potential lies at the overlap of all three (figure 1). We can advance knowledge and the industry through fundamental and applied

research, include students and professionals alike in shaping the next generation of practice models, and test and deploy novel ideas with support from industry. It is hereby crucial to understand drivers and obstacles in the individual sectors and opportunities that the created overlaps provide. Our office P+ Studio is involved in all areas of design, interdisciplinary collaboration and teaching, and we use this constellation to advance our research agenda. We therefore propose that this collaborative model may serve as a testbed for innovation and design.

3. Fostering innovation through interdisciplinary teaching models

Our teaching methodology presents opportunities for exchange between design community, consultant base, industry and academia. Our academic and consulting scope includes the development of new interdisciplinary curricular developments for a range of high ranking academic institutions, as well as progressive organisations like the UK Green Building Council.

As studio instructors, we convey the principles of a critical thinking approach and support a design attitude that allows the students to develop their own language, while developing their abilities to apply this methodology to any given design task in the future. We believe that design emerges from a strong methodology and a multi-faceted systems thinking, while addressing valuable and established aspects of design theory. The technological aspects of this approach should therefore enhance the set of observations and methodologies for an optimization of performance and efficiency.

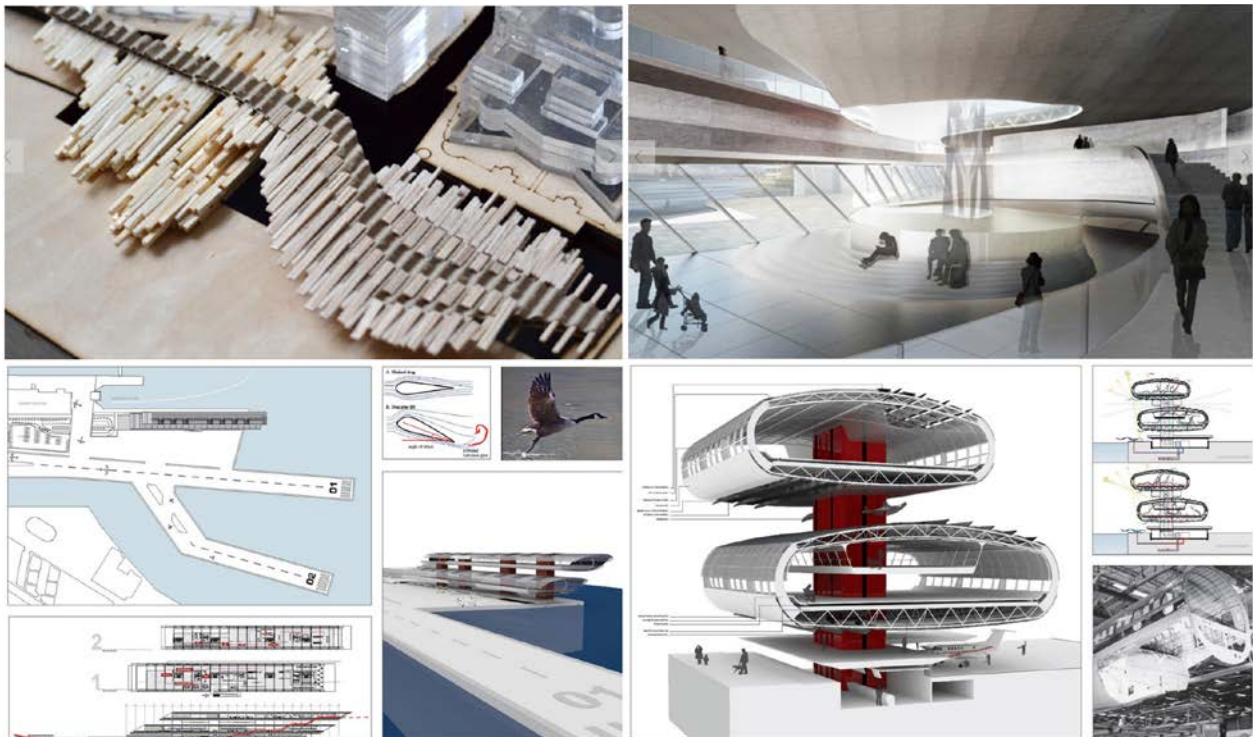


Figure 2. Design Studio teaching examples from Syracuse University School of Architecture.

Our studio briefs typically involve projects that cross the boundary between architecture, art and engineering, and draw from technological criteria and performance aspects as an additional decision making tool set (Figure 2). Our model instils current research practice or trends within the studio parameters of a design problem.

In a design project, we are looking for the creation of 75% feasible and practical solutions (base knowledge), while challenging the students to dedicate 25% to speculation (experimentation). The course offering therefore enables and unlocks innovative solutions for complex issues at a conceptual level, which can later be implemented in real projects.

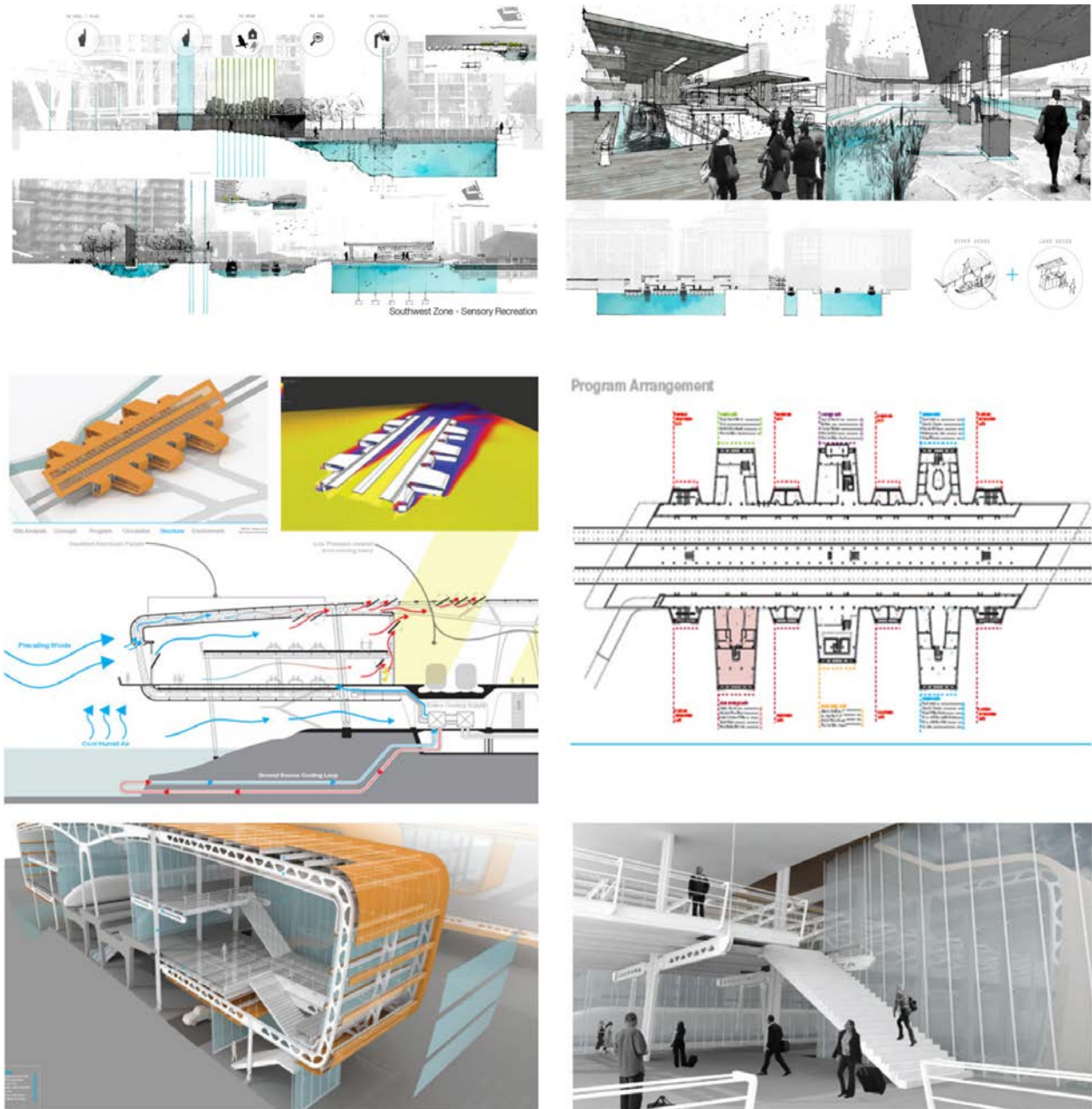


Figure 3. Examples of infrastructural and ecologically themed studios. Top: Floating village in the London Victoria Docks. Bottom: Ecological transport hub.

Design studio challenges are nested in a larger infrastructural or ecological context, which allows students to understand interrelationships in terms of scale and function (Figure 3). In addition, through workshops and seminars, we develop cross-disciplinary agendas that bring together architecture and engineering students from different cultures and academic levels. In a Design-Build studio setting or through funded academic research, we have tested new architectural ideas supported by engineering faculty and students through systems design, performance simulation, prototyping, and lab testing.

3.1 Case study: Botanical Air Cleaning Wall System

One such project is the NASA technology informed development of a novel modular green wall system. As professors at the Syracuse University School of Architecture, New York, we developed the Botanical Air Cleaning Wall System together with Dr. Jensen Zhang, professor and director of the Building Energy & Environmental Systems Laboratory (BEESL), Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University (SU).

As part of the development of the Air Cleaning Technologies (ACT) prototype designed by BEESL and funded by NYSERDA (New York State Energy Research and Development Authority), the wall system is based on the Wolverton filtration technology, a NASA based spinoff technology, which presents a unique opportunity for developing and deploying such an integrated air cleaning device. The device uses a plant root bed of activated carbon, porous shale pebbles, microbes and a wet scrubber to remove Volatile Organic Compound (VOC's) and radon from the air in tightly sealed buildings [4].

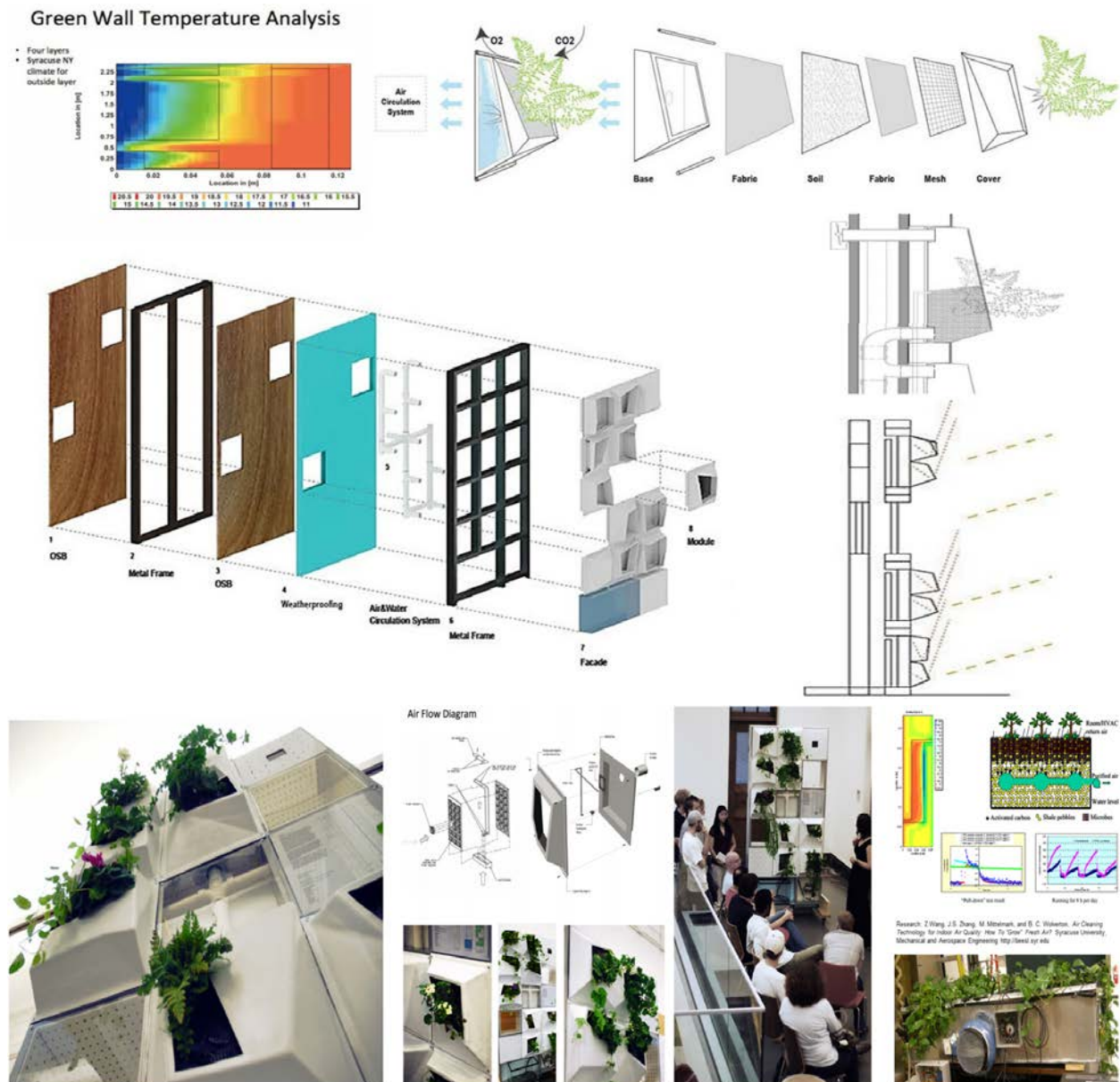


Figure 4. Botanical wall system for air purification.

Unlike conventional green wall systems that are merely screening off the exterior wall, this modular assembly is comprised of a panelized hydroponic planter system, proposed as a permeable part of a typical insulated residential or commercial wall build-up. The current prototype filters air through the plant root bed through an air duct system which brings the refreshed air indoors. The required irrigation system can function as a humidifier during warm and dry seasons, and further improve Indoor Environmental Quality (IEQ).

The current prototype was constructed and designed through a collaborative course with SU Architecture and Engineering students, ranging from the undergraduate to graduate and PhD level. As a case-study, the project challenged the mixed group to explore collaboration not only in the design and construction but also in the simulation and monitoring of the operational wall. The process effectively served as a teaching model for an advanced, research based professional relationship between engineers and architects. Students learned to not only communicate their ideas across disciplines, but also to compromise and effectively implement one another's diverse skill set within a limited budget and tight time constraints. This learning methodology for cross disciplinary cooperation forms the foundation for an innovation driven framework.

3.2 Case study: Self-Sustaining Street Light

Another example of innovation-based research and teaching in the renewable energy sector is the patented product development of a Self-Sustaining Street Light, which combines solar and enhanced wind powered systems, co-generation and battery storage, and highly efficient optically enhanced LED lighting technologies in the design for an off the grid street light (Figure 5).

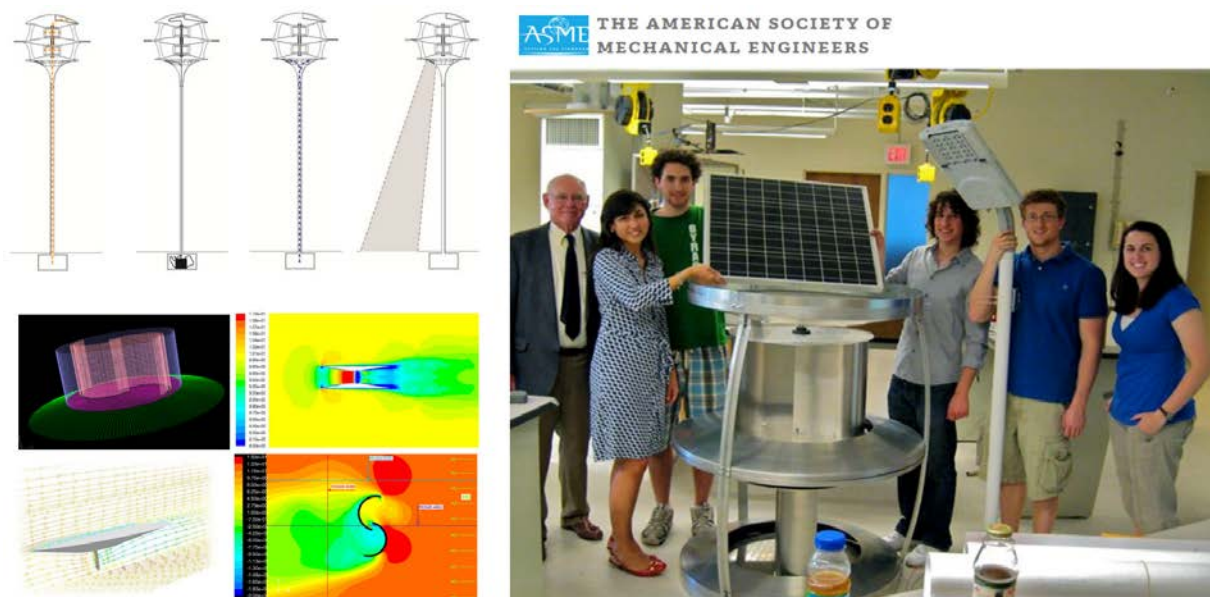


Figure 5. Award winning Self-Sustaining Street Light development.

The project is based on a concept that was developed in collaboration with Dr. Thong Dang, professor at the Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University. The patented innovation (Patent Registration Nr. US 8.282.236B2), developed for the optimized operation of Vertical Axis Wind Turbines (VAWT) in the built environment, introduces a novel efficient design form that can increase wind energy harvesting capacity up to 250%. System startup requirements are reduced for efficient operation at lower wind speeds compared to the base configuration, which is resulting in extended operational hours and increased system efficiencies.

The process included all steps from securing seed and development funds in form of a research fellowship from the New York Center of Excellence for Energy and Environmental Systems, to idea generation, interdisciplinary design studies, engineering and performance optimization in a senior design project with architecture and engineering students, proof of concept, securing additional funds for the patenting process, establishing industry collaborations, securing funds for commercialization efforts, and directing prototyping and lab testing. Initiated through a 4th year engineering capstone study project, the student cohort was comprised of master level engineering students, supported by PhD level teaching assistants, and graduate research assistants from the architecture faculty. The student project was presented at various conferences and honored with the Farnell Design Award by the American Society of Professional Engineers.

The project was further supported by SU's Technology Transfer Department for the patenting process, resulting in both utility and a full US patents. Select design students and PhD researchers staid involved in every step of the prototype development. The project served as a test bed for sustainable product development and real-life applications. The ubiquity of the innovative design in particular led to scalar applications of the patented geometry. Through P+ Studio, we further developed this proven innovation through the design for an energy-plus building, effectively applying university-led research to a new experimental practice-based architectural prototype.

4. Process optimization for building design and energy plus operation

The ability to effectively recognize a principle and apply it to a new prototype (or in this case, a building), while challenging established typologies and feeding the loop of innovation, is another aspect of our integrated practice model. Our spinoff projects from our academic work have led to novel architectural solutions for construction as well as building operation.

4.1 Case study: The Turbine-House

The Turbine-House investigates the possibilities of the use of the patented efficiency principle in smaller scale residential, office or mixed use buildings (Figure 6). The patented principle behind this P+ Studio project was developed at the Syracuse Center of Excellence for Environmental and Energy Systems in New York in collaboration with Dr. Thong Dang from the Syracuse University School of Mechanical and Aerospace Engineering. Investigating the use of prototypical solutions in different scales, the Turbine-House is a direct spinoff project from the Self-Sustaining Street Light.

The building uses an augmented aerodynamic geometry which increases energy output while directly impacting building orientation, massing, and programmatic zoning. Numerous 2D and 3D Computer Fluid Dynamic studies have been used to facilitate the design and geometry optimization process.

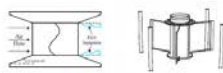
The wind turbine is located at the top of the building for maximum wind exposure. Additional energy generating capacity is provided through a maximized sloped roof surface area that integrates a photovoltaic array and solar thermal heat exchangers. The compact circular building arrangement provides a good surface to volume ratio.



DESIGN RESEARCH – TURBINE HOUSE

VAWT energy components

Rotor and housing design for augmented air flow and increased VAWT performance



Turbine generator, controller and converter equipment on top to minimize vibration and acoustical impact to main building

Main structure decoupled for acoustic separation

VAWT suspension from top structure for acoustic control

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) rotating around shaft in unoccupied technical story

Horizontal VAWT blade support connected to track rotor

Service distribution along main structure

VAWT bearings in track around vertical shaft

Wind Speed (m/s) 3 5 7 9

Power harvesting (kW) 0.2 1 2.7 5.8

* Note: power scales with velocity to the cube

Without developed technology about 40% of kW values



ENVIRONMENTAL STUDIES – TURBINE HOUSE

Energy balance and expected building efficiencies

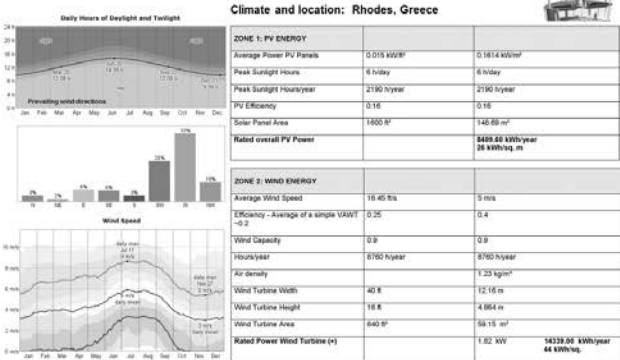


Figure 6. Turbine-House design and renewable energy systems integration.

Various passive strategies and hybrid building technologies have been applied to the design that further inform important design aspects like climate response, environmental zoning, as well as façade design and natural ventilation strategies. Given the circular arrangement, the building can be cost effectively assembled with modular components facilitating type and system standardization [5].

The design provides a sustainable, fully integrated 21st century building solution and represents a novel synergistic approach between advanced architectural design and environmental engineering, pushing disciplinary boundaries of traditional design practice.

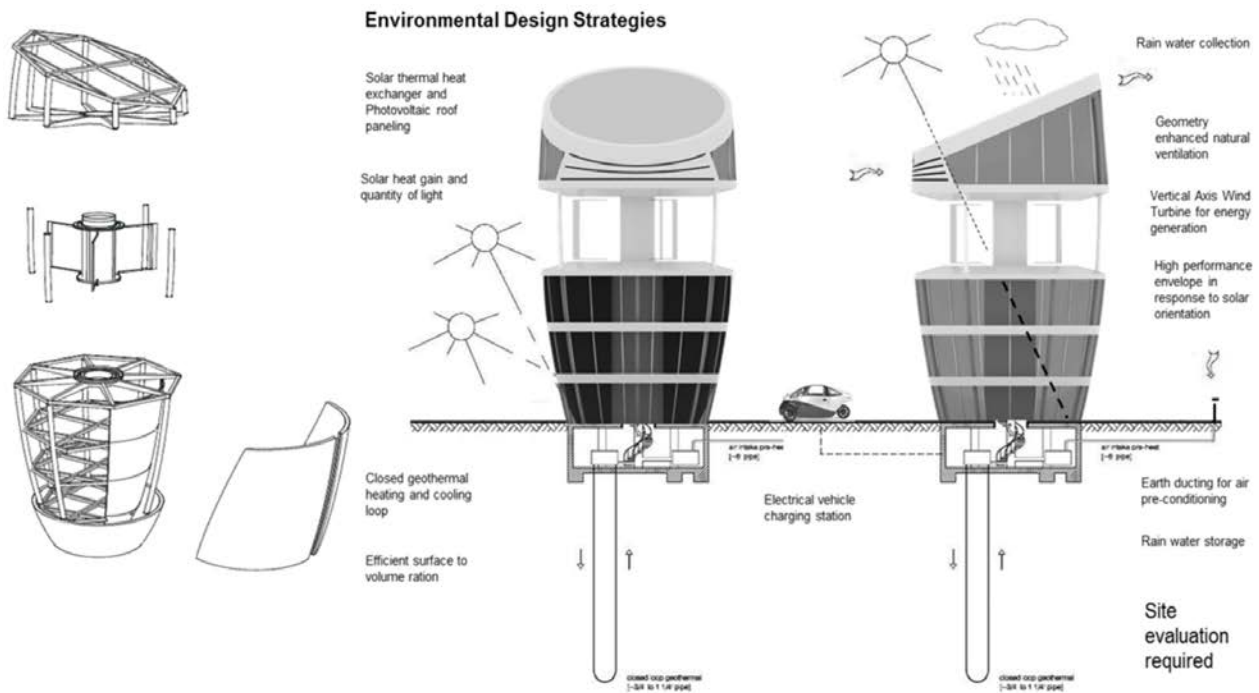


Figure 7. Structural and hybrid environmental design strategies for the Turbine-House.

The residence offers significant energy and cost savings for new development models of similar buildings in areas with weak or no infrastructure. It acts as an “architectural power plant” that feeds back into the grid, supports other neighborhood or site installations such as lighting and charging stations for cars (Figure 7). The building is an experimental prototype that can be optimized for a particular site, program and climate, while providing flexible open spaces with optimal lighting conditions and fantastic views to the exterior (Figure 8).



Figure 8. The Turbine-House as a dynamic living environment and “architectural power plant”.

The building is an experimental prototype that can be further optimized for a particular site, program and climate context. The schematic design of the project has been concluded in preparation for a client pitch that aims at the further development and realization of the project as a next step.

4.2 Case study: The building as a living lab for industry and academic collaboration



Figure 9. New sustainability investments: Wujin Green Building Industry Development Zone.

Exemplary of our approach towards built work is the P+ Demonstration Building in China's first accredited Green Building Expo Demonstration and Industry Development Zone (Figure 9). This experimental project was commissioned by the Chinese Government, designed in an interdisciplinary group between academic and industry professionals, and built in close collaboration with companies from the US and China. The building opened in late 2015 as part of the 8th International Green Building Conference and is currently subject to shared research with several university partners and the International Energy Agency (IEA EBC Annex 68). The project is designed as a living lab for systems and performance research by both academic and industry entities.

The newly established development hub in Changzhou is the first of its kind, promoted and accredited by the Chinese Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Aimed at promoting sustainability and innovation in construction and manufacturing industries, the zone has already attracted major global industry leaders such as Saint-Gobain, Siemens, Bosch Group, General Electric, and the China National Building Materials Group, amongst many others. Academic relationships have been formed with Nanjing University, Zhejiang University, and Southeast University.

The 600m² mixed use building is an experimental prototype that features auditorium and exhibition spaces, offices and residential areas that allow for the testing of a range of industry standards and the demonstration of different green building technologies. The building functions as a laboratory for the implementation and quantitative evaluation of new ideas, serving as a

physical manifestation of our design and collaboration ethos. Conceptualized as a platform for exchange, research and interdisciplinary teaching, the building was awarded the second highest rating from China's Green Building Design Label.



Figure 10. The P+ Demonstration Building: north –east corner with vertical gallery and external platforms and south-east corner with smart louver systems and ‘plug and play’ facades.

With regards to the environmental qualities of the architecture, the compact design of the building provides good surface to volume ratio, provides self-shading overhangs, takes advantage of adjacent water bodies for evaporative cooling combined with monitored natural and hybrid ventilation for occupant comfort. The building is an open ended system in itself that features distinct building zoning and envelope strategies.

The south facade, with its overhang design and smart louver systems is designed to control optimum indoor environmental quality. Responsive façade systems at the east prevent overheating and provide balanced lighting conditions, while circulation spaces at the north act as an environmental buffer zone (Figure 10).

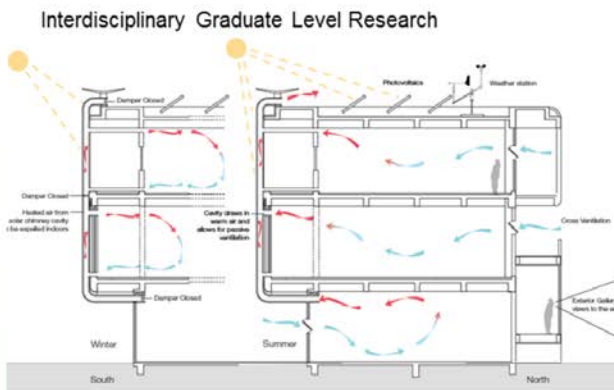
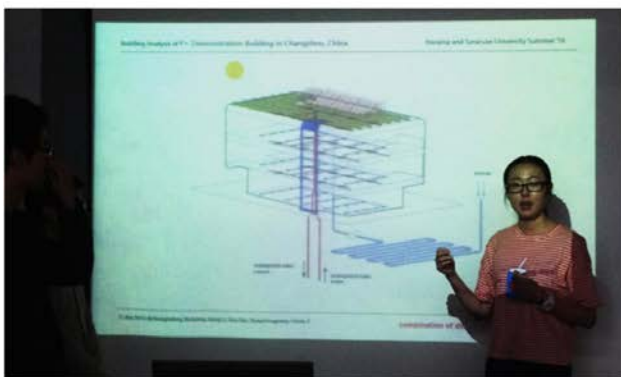
Greeting visitors with its distinct design and located in the central axis of the park, a journey through the building provides a unique experience with exhibition areas and viewing platforms at all sides that provide great views to the rest of the park. As a flexible framework for testing, the south façade can be upgraded with a range of renewable energy and environmental control systems in a ‘plug and play’ fashion according to research needs and emerging technologies. As examples, Trina Solar’s transparent photovoltaic glass solar panels as well as air circulation and electrical monitoring systems are on display for testing and educational purposes.

A prominent feature of the building is the solar chimney, the first of its kind in the Jiangsu Province and designed to set new standards for the use of hybrid technologies in the Chinese market. The device provides naturally enhanced ventilation, reduces cooling loads during the warmer and provides passive heating during the colder months. Its performance is currently being analysed and tested as part of a collaborative study between Nanjing University, Syracuse University, and Zhejiang University.

The roof of the building is equipped with a solar PV array, a white roof for the reduction of heat island effects, and the only weather and climate monitoring station in the park that allows for IAQ measurements and a comparison between indoor and outdoor conditions.

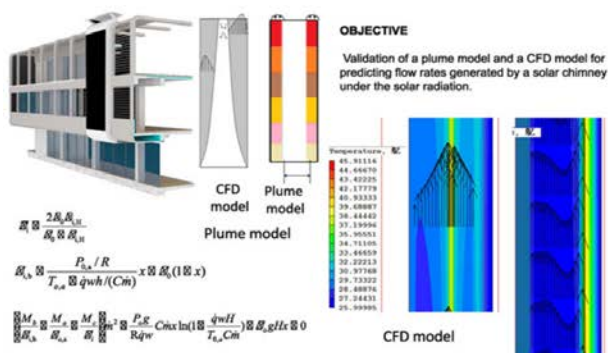
5. Interdisciplinary workflow and collaborative research

The majority of our projects are a direct result of ongoing interdisciplinary relationships. As part of our research, we have begun to define and quantify the working methodologies as well as the management of interdisciplinary projects through various networks and digital structures. These methods have been developed and deployed in both professional and academic settings.



SOLAR CHIMNEY MODEL VALIDATION & PERFORMANCE ENHANCEMENT

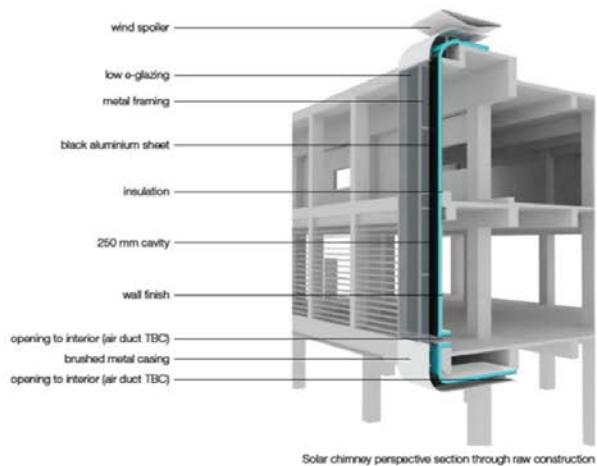
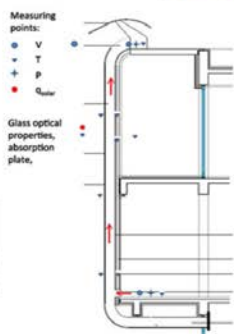
Guoqing He, Zhejiang University, guoqinghe@zju.edu.cn



METHOD

1. Measure flow rate in the solar chimney:
Thermal anemometers, Tracer gas, Atmospheric pressure;
2. Measure temperature in and outside the chimney, temperature of the walls and the glass, T of inlet and outlet;
3. Measure of solar irradiation on the vertical surface, Q_{solar} ;
4. Measure of the wind velocity at the inlet and the outlet.
5. Test of performance with variations:
Change positions of the absorption plate or add extra absorption plate

Percentile	solar irradiation (vertical)	Tamb, oC	Expected heat gain, W/m2	CFM by Plume model
75%	220	18	196	375
50%	138	18	123	334
25%	55	18	49	266



PhD Level Research



Figure 11. Research from the Syracuse University / Nanjing University Center for Sustainability.

5.1 International student collaborations between the USA and China

With participation from the USA and China we have used the Demonstration Building as a case study in an exchange program as part of the International Syracuse University - Nanjing University Center for Sustainability we established (Figure 11). The teaching methodology is based on our US Department of Energy funded development for an interdisciplinary digital design platform, the Virtual Design Studio.

In this capacity, students from design, architecture, and project management have the opportunity to work closely with peers from mechanical and aerospace, electrical, structural and environmental engineering. Following these initial successes, the center is now funded by both universities, has widened activities for exchanges between faculty members and other students, and formed a model for follow up initiatives at both institutions.

5.2. Virtual Design Studio

As part of our methodology for innovation, we have also developed a digital platform for interdisciplinary teaching and design development called VDS: Virtual Design Studio. VDS is a software platform currently under development in support of an integrated, coordinated and optimized design process of buildings and their energy and environmental systems (Figure 12). VDS is intended to assist collaborating architects, engineers and project management team members throughout from the early phases to the detailed building design development. The platform helps to facilitate the workflow and the processing of information in combination with appropriate, task based simulation tools targeted at performance optimization and coordinated systems implementation. It has been developed in collaboration with Dr. Jensen Zhang of Syracuse University, Lixing Gu from the Florida Solar Energy Center and Hugh Henderson, from the CDH Energy Corporation in New York.

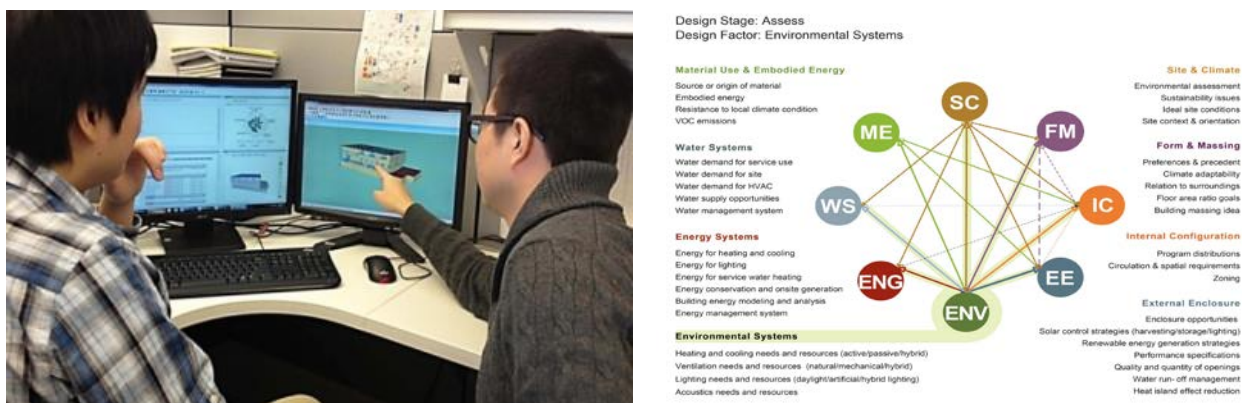


Figure 12. VDS Graphic User Interface and mapping of building system interdependencies.

We have implemented the program in a variety of university level seminar coursework, as well as visiting professorship appointments in China. While the platform development continues, we believe that the tools developed can be used in a variety of academic settings. With a simplified organization of all professional work stages (VDS-ADDAM structure), the interdisciplinary workflow is intended to also be tested in a professional design setting.

5.3 Case study in interdisciplinary collaboration and design: Guangxi Fangchenggang City Peach Blossom Bay Development

On an urban scale, we have tested the VDS platform ideas for the Guangxi Fangchenggang City Peach Blossom Bay Development, supported by the UTRC Climate Engineering Group at Tsinghua University in Beijing, China.

The Guangxi Fangchenggang City Peach Blossom Bay Development is a 400,000 m² mixed use urban development proposal in southern China, with a concentration in sustainable community planning and architectural design (Figure 13). Our project was the second-place winning entry, as part of a developer-commissioned international invited design competition. As a working model,

the Guangxi Fangchenggang City Peach Blossom Bay Development seeks to address the above mentioned issues through an integrated collaborative working model between architects, urban planners and environmental engineers from professional and academic communities in the US and China.

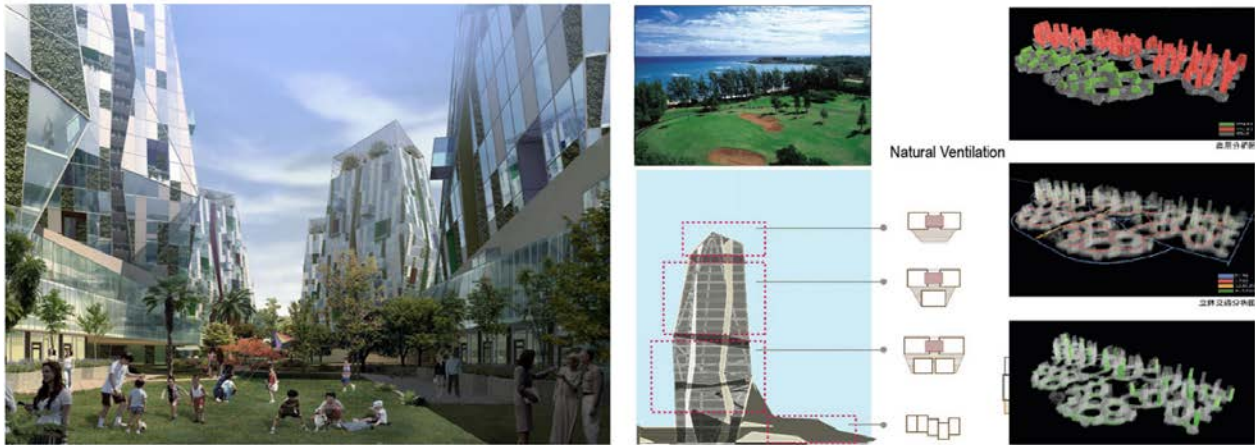


Figure 13. Peach Blossom Bay Development architectural design and urban massing studies.

The goals of the project were to:

- Identify possible new synergies in working methodologies between architects, planners and engineers, to streamline the design process and offer opportunities for ecological systems integration.
- Analyze how simulation technologies applied in the development affect planning strategies, site development aspects and architectural performance optimization principles for energy conservation and enhanced natural ventilation.
- Offer areas of design where further simulation may be warranted in the design process, focusing on urban design, infrastructural community planning and building component efficiencies (macro to micro, multi-zone and multi-scale investigations).
- Combine aspects of alternative social spaces with permaculture and qualities of continuous horizontal and vertical landscapes.

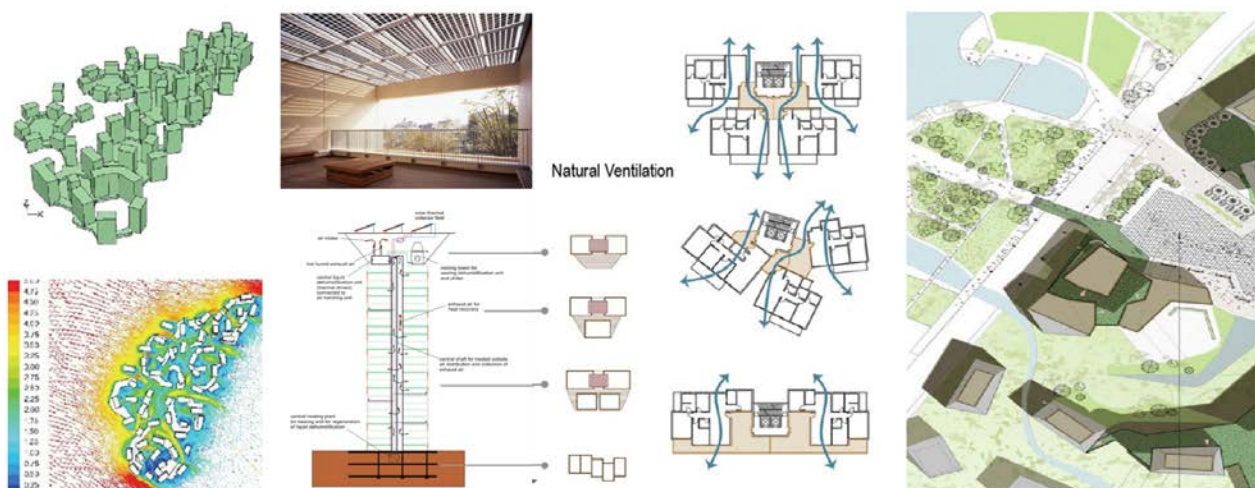


Figure 14. CFD supported design optimization, multi-scale air flow studies, urban landscaping.

The methodology of the design team was primarily focused on mirroring natural systems in the architecture. As part of the design process, the project team developed a strategy for the

introduction of a system of permaculture. In the core of the project, the team designed a continuous landscape and overall site strategy to allow for a rebirth of the natural ecology (previously desecrated by monocultural shrimp farming) and the creation of an increasingly self-sufficient ecosystem. Using simulation technology, the design team modeled aspects of the ecosystem and analyzed its behavior with a focus on several design aspects like water and waste management, biodiversity and life cycle assessment. The plan of the development is derived from the organizational principle of ecological systems, enabling a growth process that provides progressive dense contemporary urban and architectural solutions and maximum flexibility for future planning initiatives.

In order to meet established planning and performance criteria, both architects and engineers focused on the utilization of enhanced natural ventilation through optimized building orientation and massing. Site density and permeable plan configurations had to allow for an 80% efficiency for the use of natural daylight. Using CFD modeling and a detailed climate analysis, an optimized form for the planning of the site was reached, fulfilling both architectural design intent and environmental performance criteria (Figure 14).

6. Conclusion

Through our practice, research, and teaching, we have developed a methodology for innovation that has the ability to transcend disciplines and design issues in the built environment. The complexities facing our urban centers today can only be addressed through an interdisciplinary working mode in order to achieve fully integrated and coordinated design solutions. While most of the work discussed in this paper deals specifically with synergies between research and teaching, a similar aggressive demand for innovation can also be applied to the construction industry, specifically in the distinct areas of project delivery, product development and process optimization.

Given significant energy consumption and carbon contributions, the construction industry is therefore an area where the effects of innovation will be most influential. As an industry primarily driven by schedules, budgets, and profit, how can we innovate in such a risk-adverse stakeholder group?

At the University of Cambridge, we are working on new digital tools that will optimize relationships between architectural design intent, structural and building environmental performance, and aspects of façade system and component manufacturability [6]. Architectural intent is hereby measured against material or assembly design constraints, and performance evaluated in a multi-objective optimization process. This work offers opportunities for combination with and extension of VDS methodologies.

Similar to our practice/research/academic tripod model, we propose that we strike a balance between process and product development as opposed to merely concentrating on project delivery. In this scenario, the market itself can also drive new relationship between product integration, supply chain optimization, and project delivery by shifting focus towards investing in innovation during times of profit surplus, in an effort to ensure continued optimized project delivery when the market is at a downturn.

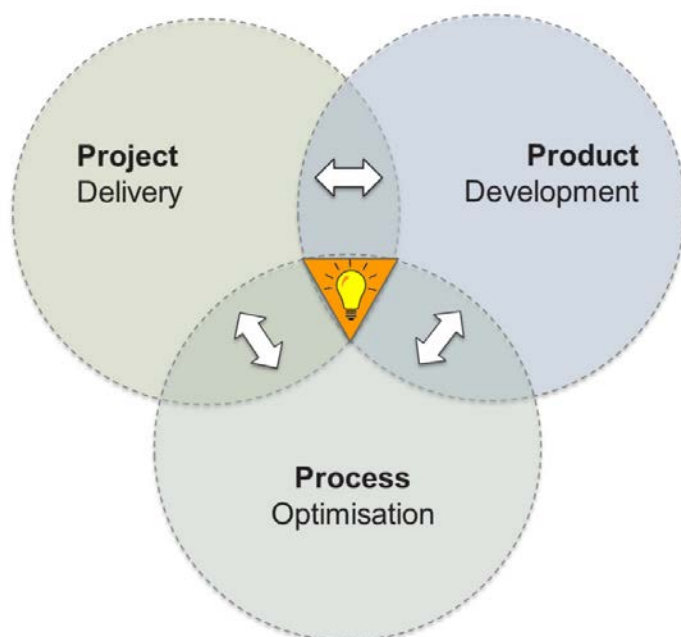


Figure 16. P+ tripod model of relationships and overlaps between key innovation areas.

Technology and Knowledge Transfer mechanisms are vital to developing a culture of innovation and process optimization. As demonstrated in our projects, applying methodologies, concepts, and products devised in the lab to the real world resulted in integrated solutions that would otherwise not have been possible in a typical business setting. Bridging this gap through advocacy and interdisciplinary outreach is therefore key to designing integrated and novel future solutions.

Important steps are being taken to streamline the design and construction process in an effort to modernize the construction industry at large. However, we need truly integrated solutions that render innovation not just as a byproduct of streamlined processes and applied lean commercial incentives—but as the heart of a synergistic approach towards inspiring, high quality architectural design supported by inventive and forward thinking building physics expertise. We therefore believe that we need to radically revisit and cultivate new collaboration models between governmental, industry and academic entities.

References

- [1] United Kingdom, HM Government, Department of Business, Innovation & Skills. "Construction 2025." July 2013. www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/210099/bis-13-955-construction-2025-industrial-strategy.pdf.
- [2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs. "World Population Prospects: The 2017 Revision." 21 June 2017. www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html.
- [3] Nidumolu, Ram, et al. "Why Sustainability Is Now the Key Driver of Innovation." *Harvard Business Review*, Sept. 2009, hbr.org/2009/09/why-sustainability-is-now-the-key-driver-of-innovation.
- [4] Zhang, Jianshun (Jensen) S, et al. Air Cleaning Technologies for Indoor Air Quality (ACT-IAQ): Growing Fresh and Clean Air. *Phytofilter Technologies, Air Cleaning Technologies*

for Indoor Air Quality (ACT-IAQ): Growing Fresh and Clean Air,
phytofilter.com/Syracuse_University_COE-
TAD_Final_Report_using_plant_air_purification_system.pdf.

- [5] Staib, Gerald, et al. "Components and Systems - Modular Construction: Design, Structure, New Technologies." *Components and Systems - Modular Construction: Design, Structure, New Technologies*, Birkhäuser, 2008, pp. 42–43.
- [6] "Towards Facades as Make-To-Order Products – the Role of Knowledge-Based-Engineering to Support Design." *Journal of Facade Design & Engineering*, vol. 5, no. 2, 2017.
BREEAM (2012a). Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Available: <http://www.breeam.org>
Haas, Karin, ed. 2013 Renewable Energy Data Book. Rep. US Department of Energy, Dec. 2014. Web.
Smith, Peter F. *Architecture in a Climate of Change*. Oxford: Architectural Press, 2005.
Transition to Sustainable Buildings. Rep. International Energy Agency, 2013. Web 14 Apr. 2016.

A1 Rakenteiden rakennusfysikaalinen suunnittelu ja toteutus

Riskianalyysi rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamisen työkaluna

Anssi Knuutila
Ramboll Finland Oy

Tiivistelmä

Rakennusfysikaalisen toiminnan varmistaminen on yksi tehtävä rakennushankkeessa, jotta maankäyttö- ja rakennuslain olennaiset tekniset vaatimukset täyttyvät.

Riskianalyysiin perustuva laadunvarmistusmenettely on vaativissa rakennushankkeissa tarpeellista, jollei muuten rakentamisen laadusta voida varmistua. Rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamiseksi tehtävästä riskianalyysistä on kirjallisuudessa hyvin vähän ohjeita ja esimerkkejä. Suunnitteluprojektissa, joka on toiminut tämän artikkelin kokemuseräisen tiedon lähteenä, riskianalyysi perustui riskipalaveriin sekä riskin vastuuhenkilön tekemään selvitykseen riskin suuruudesta ja toimenpide-ehdotukseen riskin poistamiseksi. Työn taustalla tehtiin myös pääasiassa kirjallisuustutkimuksena tehty opinnäytetyö [1].

Tässä esitetään rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamiseksi tehtävän riskianalyysin eräs toteutustapa.

1. Johdanto

Rakennushankkeessa teknisenä tavoitteena on saavuttaa rakennukselle käyttötarkoituksen edellyttämät tekniset ominaisuudet tai suorituskyvyt. Teknisten ominaisuuksien tai suorituskyvyn taso on suunnitteluvaiheessa ennustettavissa kohtuullisen tarkasti ja kontrolloitavissa rakennus- ja käyttövaiheessa [2]. Puutteet rakennuksen suorituskyvyssä voi aiheuttaa riskin, joka haittaa rakennuksen käyttötarkoituksen mukaista käyttöä, aiheuttaa korjauskustannuksia ja mahdollisesti aiheuttaa käyttäjien terveydelle ja hyvinvoinnille haittaa.

Riskianalyysi on rakennusfysikaalisessa suunnittelussa laadunvarmistus selvityksen pääasiallinen työkalu. Riskianalyysin teko on yleistynyt, koska rakennusvalvontaviranomainen voi edellyttää lupamääräyksenä riskianalyysin tekoa vaativissa ja poikkeuksellisen vaativissa rakennushankkeissa. Riskianalyysi on osa erityismenettelyä, jonka ohjeistus tuotiin lakitasolle Maankäyttö- ja rakennuslain [3] uudistuksen 2014 yhteydessä. Erityismenettelyn mukaisesta rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamisesta on RIL julkaissut ohjeen 2016 [4]. Kyseisessä julkaisussa on esitetty yleisperiaatteita riskianalyysistä, mutta ohjeen käyttö edellyttää projektikohtaista soveltamista. Riskianalyysin soveltamisesta rakennushankkeen eri vaiheissa rakennusvalvontaviranomainen voi pyytää esittämään vaiheistussuunnitelman esimerkiksi kosteudenhallintaselvitykseen. Ympäristöministeriön rakennuksen kosteusteknistä toimintaa koskevan asetusluonnoksen [5] mukaan rakennuksen kosteusteknisen toiminnan osoittamisvelvoitetta, rakennushankkeen kosteudenhallinta-asiakirja, on ehdotettu asetustasolle.

Kirjallisuustutkimuksen perusteella rakennusfysikaalisen toiminnan riskianalyysin teosta löydettiin yksi esimerkki. Mutta erilaisten suunnitteluvirheiden ja rakentamisen laaturvirheiden todennäköisyyksistä ei löytynyt arviota [6]. Kirjallisuudessa löytyvästä esimerkissä riskin syy

voidaan jakaa joko suunnitteluvirheeksi tai rakennustyön epätarkkuudeksi. Tässä esimerkissä erilaisten riskien syiden todennäköisyydestä tehtiin kokemuseräinen arvio.

2. Rakennusfysikaaliset riskit rakennushankkeessa

Rakennushankkeissa rakennusfysikaalisen toiminnan puutteiden riskiä kasvattavia tekijöitä on lukuisia. Riskitekijät liittyvät rakennuksen käyttötarkoituksen vaatimuksiin, rakenneratkaisuihin, rakennushankkeen organisaatioon, aikatauluun, suunnittelu ja toteutusresursseihin, valvontaan ja rakennuksen tulevaan käyttäjään. Yhdessä rakennushankkeessa riskitekijöitä on useita ja ne on arvioitava tapauskohtaisesti. Lisäksi riskitekijät joihin voidaan vaikuttaa muuttuvat hankkeen edetessä. Näistä syistä riskianalyysi tulee toistaa hankkeen edetessä useita kertoja.

Rakennushankkeet, joissa yhdistyy erilaiset riskitekijät, ovat vaativia. Vaativien kohteiden onnistunut toteutus edellyttää hyvää ammattitaitoa suunnittelijoilta ja toteuttajilta. Kohteet joihin suunnitellaan rakenteita, joista ei ole aikaisempaa kokemusta, ja rakennusaikataulu on tiukka, kustannuskuri on kova, kaikkien tavoitteiden täytyminen voi olla mahdotonta. Tässä tapauksessa rakennushankkeen tavoitteita ja periaatteellisia rakenneratkaisuja on hyvä arvioida uudestaan.

2.1 Rakennusfysikaalisten riskien analysointi

Rakennushankkeen onnistuminen edellyttää mm. rakennusfysikaalisten riskien hallintaa. Riskien hallitsemisessa riskianalyysi on olennainen työkalu, jolla voidaan arvioida riskien suuruutta ja määrittää tarvittavat tehtävät riskien poistamiseksi hallittavalle tasolle. Rakennushankkeessa riskianalyysiä tehdään usein tiedostamatta. Tällöin riskianalyysi ei ole kovinkaan systemaattista ja jättää suuremman mahdollisuuden virheille. Systemaattisuuden saamiseksi rakennushankkeessa on hyvä pitää riskipalavereja ja kerätä riskit ja niiden suuruudet taulukkaan.

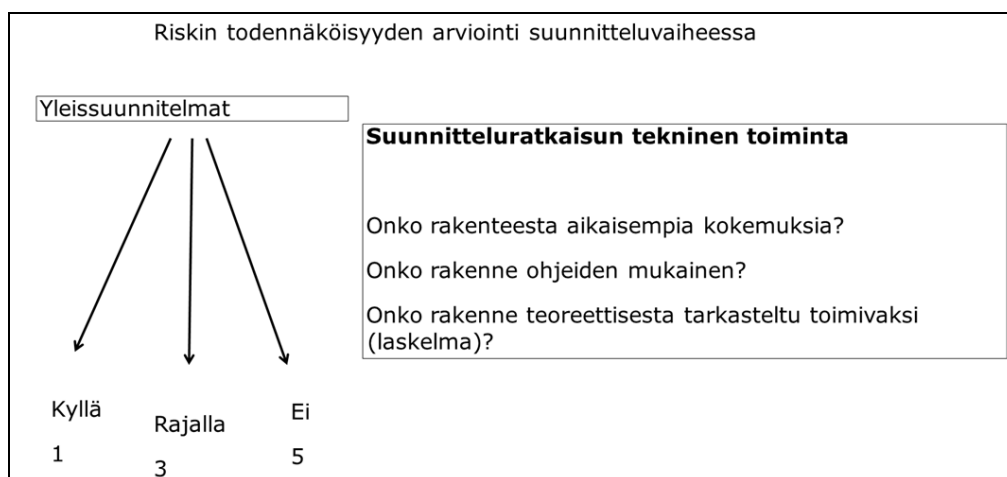
Taulukkomuotoisessa riskianalyysissä riskit on hyvä yksilöidä, arvioida riskin suuruus, arvioida riskin hyväksyttävyyttä, määrittää vastuuhenkilö riskin pienentämiseksi ja määrittää toimenpide riskin poistamiseksi hyväksyttävälle tasolle. Riskien suuruutta ei voida juuri koskaan arvioida tarkasti. Riskin suuruuden arviointitehtävä on hyvä antaa riskin vastuuhenkilölle, jonka tehtäväksi riskin poistaminen voidaan myöhemmin antaa. Vastuuhenkilöllä tulee olla riittävä osaaminen ja kokemus riskin suuruuden arvioimiseksi.

2.2 Riskien analysointi hankkeen alkuvaiheessa

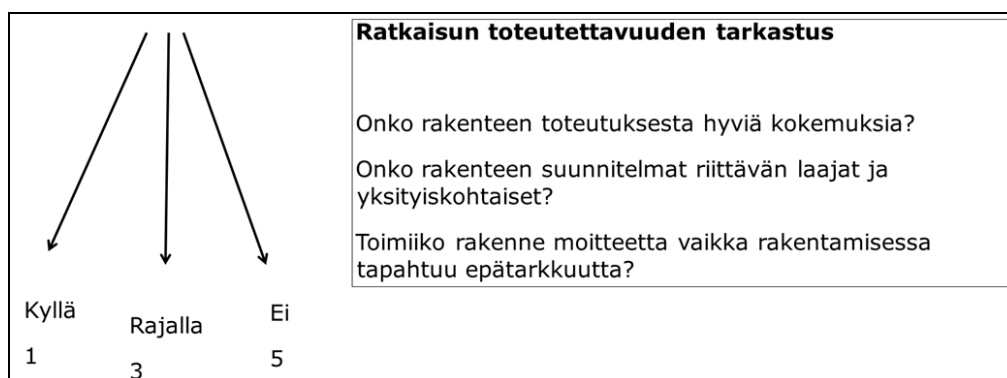
Hankkeen alkuvaiheessa hanke- ja ehdotussuunnitteluvaiheissa päätetään rakennuksen muoto-, laajuus-, käyttötarkoitukset, tavoitteet, vaatimukset ja alustavat rakennetyypit. Nämä päätökset vaikuttavat hyvin oleellisesti suunnittelun ja toteutuksen vaativuuteen sekä kohteen rakennuskustannuksiin. Tässä vaiheessa rakennusfysikaaliset riskit tulee tunnistaa. Riskien tunnistaminen edellyttää rakennusfysiikan ymmärtämistä ja kokemuseräistä tietoa rakenteiden toiminnasta, toteutusmenetelmistä ja vaurioitumismekanismeista. Tässä vaiheessa riskien ottaminen tulee olla tiedostettua, siten että voidaan ottaa vain sellaisia riskejä, jotka ovat poistettavissa tai hallittavissa suunnittelu- ja rakennusvaiheen aikana. Esimerkiksi valittaessa rakenneratkaisu, josta ei ole aikaisempaa kokemusta, lisää lähes aina suunnittelu- ja rakennuskustannuksia verrattuna perinteiseen rakenneratkaisuun. Nämä voivat myös merkittävästi lisätä suunnitteluun ja rakentamiseen kuluva aikaa, jos uuden rakenneratkaisun kehittäminen edellyttää tuotekehittelyä ja rakenteen toiminnan kokeellista varmentamista.

2.3 Rakennusfysikaalisten riskien analysointi suunnitteluvaiheessa

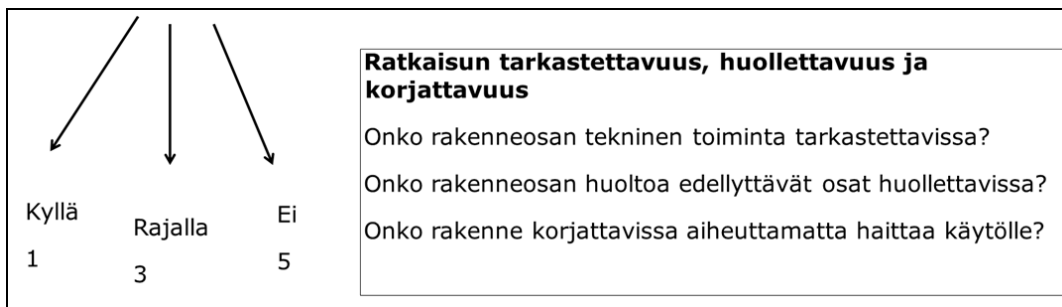
Rakennusfysikaaliset riskit tarkastellaan rakennusosittain suunnittelun edetessä yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheissa. Jotta tarkastelu olisi riittävän systemaattista, riskien analysointi on hyvä tehdä taulukkolaskentaohjelmassa. Rakenneosakohtaisesti tulisi arvioida rakenneosan vaurioitumisriskin todennäköisyys siten, että huomioidaan rakenneosan ratkaisun tekninen toimivuus, toteutettavuus, tarkastettavuus ja huollettavuus. Rakenneosan teknistä toimivuutta tulisi arvioida huomioiden rakenteeseen liittyvät aikaisemmat käyttökokemukset ja/tai teoreettinen toimivuus sekä huomioiden olemassa olevan tiedon määrä. Toteutettavuutta tulisi arvioida työsuorituksen vaativuus sekä suunnitelmien määrä ja laatu huomioiden. Rakenneosan tarkastettavuuden ja huollettavuuden vaikutus vaurioitumisriskiin tulisi arvioida rakenneosan sijainnin, korkeuden, tarkastuksen hankaluuden ja huoltotoimenpiteiden taloudellisten vaikutusten mukaan. Rakenneosakohtaisesti tulisi arvioida myös kuinka suuri seuraus aiheutuu, jos riski toteutuu. Seurausten vakavuudessa tulisi erottaa mahdolliset terveydellisen haitat ja vaurioiden aiheuttaman taloudellisen seurausten mukaan. Riskin todennäköisyyden ja seurausten suuruuden kirjauksessa voidaan käyttää lukuarvoja (1–5), jotta riskin suuruudesta voitaisiin tehdä vertailuluku. Riskiteorioiden mukaan riskin suuruus on sitä suurempi, mitä suurempi on riskin todennäköisyyden ja seurausten suuruuden tulo. Kuvissa 1-4 on esitetty perusteita riskin todennäköisyyden ja riskin seurausten suuruuden arvioinnin muuttamiseksi lukuarvoiksi.



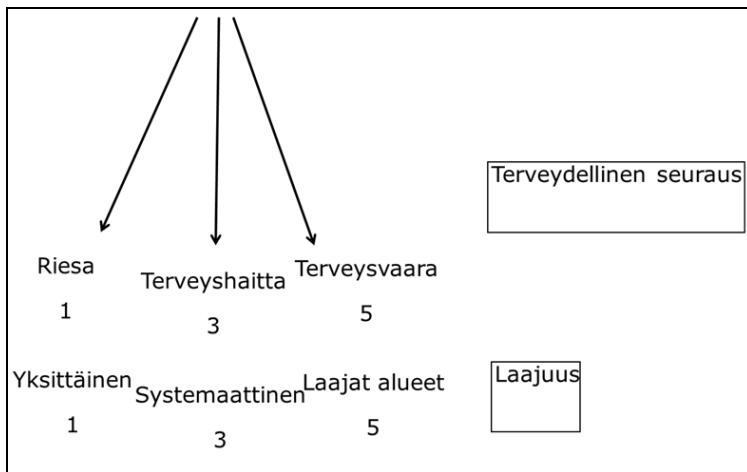
Kuva 1. Suunnitteluratkaisun tekninen toiminta vaikuttaa riskin todennäköisyyteen. Mitä suurempi todennäköisyys on, sen suurempi luku kirjataan taulukkoon. Esim. jos rakenteesta ei ole aikaisempaa kokemusta eikä ole tehty laskelmia, todennäköisyyttä kuvaava luku on 5.



Kuva 2. Ratkaisun toteutettavuuteen liittyvän riskin todennäköisyys.



Kuva 3. Ratkaisun tarkastettavuuden, huollettavuuden ja korjattavuuden vaikutus riskin todennäköisyyteen.



Kuva 4. Riskin terveydellisen ja taloudellisen seurauksen suuruuden määrittäminen.

Riskianalyyseissä erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenneseisiin, jotka eivät ole tavanomaisen rakennustavan ohjeiden mukaisia. Näihin rakenteisiin liittyvien riskien suuruuden selvittäminen ja tiedottaminen muille rakennushankkeen osapuolille on höydyllistä, jotta riskit ovat tiedossa ja vastuhenkilöt voivat päättää tarvittavista toimenpiteistä riskien poistamiseksi. Riskin suuruuden määrittäminen voidaan arvioida määrittämällä riskin todennäköisyyden ja riskin suuruuden tulo. Riskin suuruudesta voidaan määrittää myös vertailulukku kuvien 1–4 todennäköisyyttä ja riskin suuruutta kuvaavien lukujen avulla. Vertailulukun määrittäminen on esitetty seuraavassa kuvassa, kuva 5.

		teoreettinen toiminta	rakennustyon vaativuus	huoltotarve ja huollettavuus	terveydellinen vaikutus	Laajuus			
		hyvä = 1	hyvä = 1	omistus = 1	riisa = 1	suppea = 1			
		rajalla = 2	normaali = 2	vuokra = 2	terveyshaitta = 2	laaja = 2			
		puutteellinen = 5	lepävarma = 5		terveysvaara = 5				
Rakenneosat	Vaarojen tunnistaminen	Ääritilanne	Todennäköisyyksien arviointi			Seurausten arviointi		Riskin suuruuden vertailulukku	Riskin hyväksytävyyden arviointi
			Suunnittelu	toteutus	Käyttö	Terveys	Taloudellinen		
Ikkunat	Seinän kastuminen viistosateesta liitoksen kautta	Myrsky	5	2	1	5	2	0,67	
	Kosteuden tiivistyminen ikkunaan	kirkas yö	5	2	1	1	2	0,29	
Ulkoseinät	kosteustekninen toiminta	syksy	2	5	1	2	2	0,38	

Kuva 5. Riskin suuruutta kuvaavan vertailulukun määrittäminen.

Rakennusfysiikan suunnittelijan tehtävänä on esittää ehdotus tarvittavasta toimenpiteestä riskin poistamiseksi. Tämä toimenpide voi olla rakenneratkaisun muuttaminen, tarkentavien

rakennepiirrosten teko, tarkentavien laskennallisten tarkasteluiden teko tai kokeellisesti tehtävä testi tai tutkimus rakenteen toiminnasta. Riskin hallitsemiseksi tehtävä toimenpide voi liittyä myös rakennusaikaiseen laadunvarmistukseen. Riskien poistamiseksi tarvittavat toimenpiteet edellyttävät ajallisia ja taloudellisia resursseja. Riskien poistaminen edellyttää useimmiten yhteistyötä rakennushankkeen eri osapuolien välillä, sillä jotkin riskit voivat johtua rakennuksen kokonaistoiminnasta, kuten painesuhteiden hallinnasta. Esimerkiksi jos ilmanvaihtojärjestelmällä ei pystytä pitämään sisäilmaa pääasiassa alipaineisena ulkoilmaan verrattuna, tästä saattaa aiheutua merkittävä kosteusvaurioriski rakenteille. Tässä tapauksessa ulkoseinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan varmistaminen edellyttää painesuhteiden saamista hallintaan.

2.4 Toimenpide-ehdotukset riskien pienentämiseksi

Jos yleissuunnitteluvaiheessa riski todetaan hyväksymättömän suureksi, rakennusfysikaalisen suunnittelun toimenpide-ehdotukset liittyvät rakenneratkaisun muuttamiseen, tarkentavaan laskennalliseen tai kokeelliseen selvitykseen tai rakentamisen laatukriteerien ja laadunvarmistustoimenpiteen esittämiseen. Yleissuunnitteluvaiheessa voidaan myös päättää tietyn rakennusosan toimittamista toteutussuunnittelua sisältävänä tuoteosakauppana. Tässä tapauksessa riskin pienentämiseksi esitettävät toimenpiteet liittyvät tuoteosatoimittajalta edellytettäviin suunnittelu- ja laadunvarmistusasiakirjoihin.

2.5 Riskianalyysin vaiheistus

Riskianalyysi on suositeltavaa tehdä ensimmäisen kerran ennen rakennusluvan hakemista. Yleissuunnitteluvaiheessa riskianalyysissä rakennesuunnittelijan tai rakennusfysikaalisen suunnittelijan tulee vastata riskianalyysin teosta. Hankkeen eri tahojen osaamista voidaan hyödyntää riskien arvioinnissa pitämällä riskipalavereja. Riskipalavereilla on myös merkittävä tiedotukseen liittyvä tehtävä.

Rakennushankkeessa riskien tyypit ovat erilaisia rakennushankkeen eri vaiheissa. Rakennushankkeen eri vaiheissa myös vaikutusmahdollisuudet ovat erilaiset. Hankkeen alkuvaiheessa voidaan vaikuttaa mm. rakennuksen käyttötarkoitukseen, sijaintiin, periaatteellisiin rakennusratkaisuihin, toteutusorganisaatioon ja rakennusaikatauluun.

Suunnitteluvaiheessa vaikutusmahdollisuudet ovat suunnittelun ohjauksessa ja suunnittelutyössä. Tässä voidaan vaikuttaa rakenneratkaisuiden valintaan. Näiden valinnassa olennaista on löytää hankkeen tavoitteiden täyttäviä rakenneratkaisuja, jotka ovat teoreettisesti hyvin toimivia, rakentamisen epätarkkuudesta johtuvien puutteiden vikasietoisia ja joiden toiminta on tarkastettavissa. Suunnitteluvaiheessa pystytään vaikuttamaan myös rakenneratkaisun käytettävyyteen, korjattavuuteen ja muunneltavuuteen. Suunnitteluvaiheessa voidaan myös vaikuttaa suunnitelmien riittävyteen ja yksityiskohtaisuuteen.

Toteutusvaiheessa voidaan vaikuttaa rakennustyön laatuun ja yksityiskohtien toteutusratkaisuihin. Monesti toteutusvaiheessa määräytyy monien yksityiskohtien toteutusratkaisu. Toteutusvaiheessa rakentamisen laadun varmistamiseksi voidaan tehdä erilaisia laadunvarmistustoimenpiteitä. Rakennushankkeessa luovutusvaihe on myös tärkeä vaihe, jotta rakennuksen tuleva käyttäjä saa tarvittavat tiedot ja ohjauksen rakennuksen käyttämiseen. Myös toteutuksen aikana tulisi varautua aikataulurisktiin, jos havaitaan toteutusvaiheessa riski, joka tulisi poistaa suunnitelmia muuttamalla tai täydentämällä.

3. Yhteenveto

Riskianalyysin käyttäminen osoittautui esimerkkikohteessa erittäin käyttökelpoiseksi tavaksi määrittää vaativan kohteen laadunvarmistuksen toimenpiteet.

Riskien suuruuden määrittämisessä tarvitaan paljon hyvään asiantuntemukseen ja kokemukseen perustuvaa tulkintaa riskeistä. Riskianalyysissä kannattaa hyödyntää mahdollisimman laajaa ja kattavaa organisaatiota riskien hallitsemiseksi. Riskianalyysin käyttämisessä hyvä periaate on yhdistää ne kosteudenhallinnan työpajoihin, joihin osallistuvat koko rakennushankkeen eri osapuolet. Työpajoissa saadaan kerättyä kokemuseräistä tietoa juuri rakennettavaan kohteeseen liittyen.

Riskianalyysissä havaitut lisätoimenpiteiden toteutus edellyttää ajallisia ja taloudellisia resursseja. Jos rakennushankkeessa on tiukka aikataulu ja tiukat taloudelliset vaatimukset, rakenneratkaisuja joista ei ole aikaisemmin kokemusta kannattaa välttää.

Riskianalyysin ohjeistusta rakennusfysikaalisen toiminnan varmistamiseksi tulisi lisätä. Myös joidenkin riskitekijöiden suuruutta kannattaisi tutkia tarkemmin. Yksi esimerkki on rakennushankkeen tiukka aikataulu. Kokemuseräisesti tiedetään, että yksi yleinen kosteusvaurion syy on se, kun aikataulussa ei pystytä joustamaan, vaikka kaikkia riskejä ei ole ehditty edes selvittämään.

Lähdeluettelo

- [1] Knuutila A., Erityismenettely ulkoseinän rakennusfysikaalisessa suunnittelussa, RATEKO, RTA-opinnäytetyö, 2016
- [2] Hens Hugo, Performance based building design 1, ISBN 978-3-433-03022-6, Wilhelm Ernst & Sohn, 2012, Germany
- [3] MRL 132/1999, Valtionhallinto, maankäyttö- ja rakennuslaki, <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132> viitattu 22.8.2017
- [4] RIL 241–2016, Erityismenettelyn soveltaminen, -rakennuksen turvallisuus, terveellisyys ja kulttuurihistorialliset arvot, Rakennusinsinöörien liitto Ry, ISBN 978-951-758-612-2, Grano Oy, 2016
- [5] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toiminnasta, Ympäristöministeriö, luonnos, 21.12.2016, viitattu 16.8.2017 <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B85007C2F-5466-4133-AB94-3F451E473F05%7D/123797> viitattu 22.8.2017
- [6] Hens Hugo, Performance based building design 2, ISBN 978-3-433-03023-3, Wilhelm Ernst & Sohn, 2013, Germany

A-Insinöörit Kosteusturva: ennakoiva kosteuden- ja puhtaudenhallintapalvelu hankesuunnittelusta käyttövaiheeseen

Mikko Tarri, Arto Kuosku, Joonas Sihvo, Irmeli Nutikka ja Topi Mäkinen
A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Tiivistelmä

Kosteuden- ja puhtaudenhallinta käsitetään usein vain työmaavaiheen tehtäväksi. Tosiasiallisesti se on koko elinkaaren kestävä vastuullinen tehtävä, joka pitää tehdä erittäin huolella, jotta rakennus pysyy käyttäjilleen terveellisenä koko käyttökänsä ajan. Lisäksi pitää ymmärtää se, että rakentaminen ja rakennusten ylläpito ovat ihmisten tuottamaa palvelua, jonka merkitys pitää ymmärtää, jotta niitä voidaan tehdä onnistuneesti.

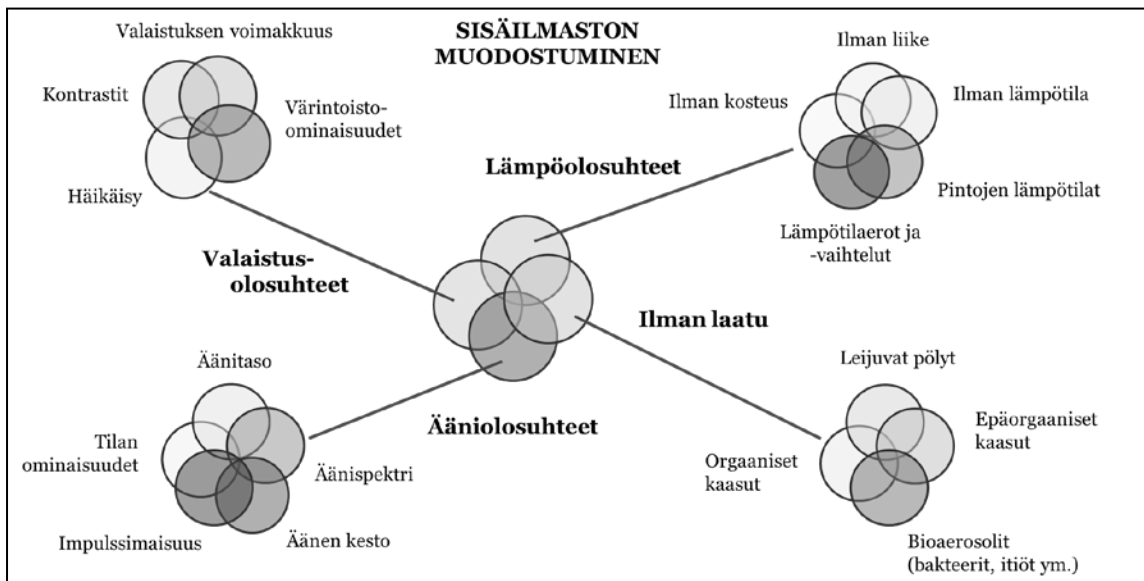
A-Insinöörit Kosteusturva -palvelu on koko rakennushankkeen kattava modulaarinen sarja ohjaavia ja tarkastavia prosesseja, joiden avulla varmistetaan terveellinen rakennustapa. Kosteusturva-palvelu ottaa huomioon teknisten asioiden lisäksi inhimillisen tavan toimia: miksi jotain tehdään, miten jotain tehdään ja miten sitä voidaan korjata, jos toiminta ei ole tavoitteen mukaista. Kosteusturva-palvelu ei korvaa suunnittelu- tai valvontaorganisaatioita vaan toimii niiden ohessa täyttäen eri toimijoiden väliin jääviä ”ei kenellekään kuuluvia” tehtäviä vastuuttaen samalla jo toimeksiantoihin sisältyviä kosteudenhallinnan tehtäviä.

1. Johdanto

Ihmiset viettävät nykyaikana arviolta 90 % ajastaan sisätiloissa. Ei ole samantekevää millaiset olosuhteet sisäilmastossamme vallitsevat, sillä niillä on suuri merkitys yleisen hyvinvointimme ja viihtyvyytemme kannalta. Uusissakin rakennuksissa voi esiintyä huonosta sisäilmastosta aiheutuvia haittoja, mikä voi pahimmassa tapauksessa estää tilojen kunnollisen käyttöönoton. Tyypillisimmät valitukset liittyvät ilmanvaihdon toimintaan, yllälämpenemiseen tai oireisiin, joiden epäillään aiheutuvan rakennuksen sisäilmasta. Sisäilmastoon ja sisäilman laatuun liittyvien ongelmien välttämiseksi sekä terveellisten rakennusten tuottamiseen on 2000-luvun alkupuolella kehitetty erityiset Terve talo- periaatteet ja kriteerit, jotka ovat olleet ajansaatossa käytössä vaihtelevasti. [3]

Merkittävien kosteus- ja homevaurioiden osuus asuinrakennuksien määrästä on pien- ja rivitaloissa arviolta 7–10 % ja kerrostaloissa 6–9 %. Kerrosalaan suhteutettuna voidaan todeta, että kansanvarallisuudesta kokoluokkaan 6–10 % eli 13–28,2 mrd. € on kohdistuu merkittävä kosteus- ja homevaurio. Opetus- ja hoitoalan rakennuksissa merkittäviä kosteus- ja homevaurioita arvioidaan olevan 12–26 % kerrosalasta. Toimistorakennuksissa osuus on pienempi eli 2,5–5 % kerrosalasta. Suoraan kansanvarallisuuteen suhteutettuna em. kerrosala vastaisi suuruusluokkaa 3,3–34,3 mrd. € [2]

Kosteus- ja homeongelmien ja muiden sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi on tehty paljon tutkimusta lukuisissa muissakin eri toimenpideohjelmassa, mutta ongelmia ilmenee edelleen, myös uusissa rakennuksissa. Toimenpideohjelmissa on tuotettu erilaisia ohjeita ja menettelyjä laadun varmistamiseksi, mutta alalle ei ole vakiintunut yhtenäisiä toimintatapoja, joilla olisi varmistettu hyvä ja terveellinen lopputulos. [4]



Kuva 1. Sisäilmaston muodostuminen. [1]

A-Insinöörit Kosteusturva -menetelmä on kehitetty Terve talo -vaatimusten pohjalta ja niiden mukaiseksi. Se erottuu tavanomaisista kosteudenhallintapalveluista sisältämällä myös puhtaudenhallinnan kokonaisuuden – usein nämä tehdään erillään toisistaan, mikä on monissa tapauksissa tehotonta resurssien näkökulmasta ja saattaa johtaa osaoptimoinnin kautta jopa haitallisiin lopputuloksiin. Hyvän sisäilmaston toteutumisen kannalta onkin erittäin tärkeää, että sama organisaatio ja samat henkilöt huolehtivat sekä kosteuden- että puhtaudenhallinnasta. Kosteusturva -palveluun voidaan liittää myös muut sisäilmaston kannalta tärkeät tekijät, akustiikka ja valaistus; palvelun ydin rakentuu kuitenkin kosteudenhallinnan ja puhtauden ympärille.

2. A-Insinöörit Kosteusturva

A-Insinöörit Kosteusturva -palvelun kaikissa vaiheissa fokus on olemassa olevan prosessin parantamisessa, ei sen laajentamisessa. Kosteusturva -menetelmän tavoitteena on antaa tukea ja oikeita suuntaviivoja rakentamisen osa-alueisiin, jotta terveellisen rakentamisen ketju säilyisi ehjänä ilman jo olemassa olevan ja usein ylikuormitetun koneiston raskasta lisäkouluttamista.

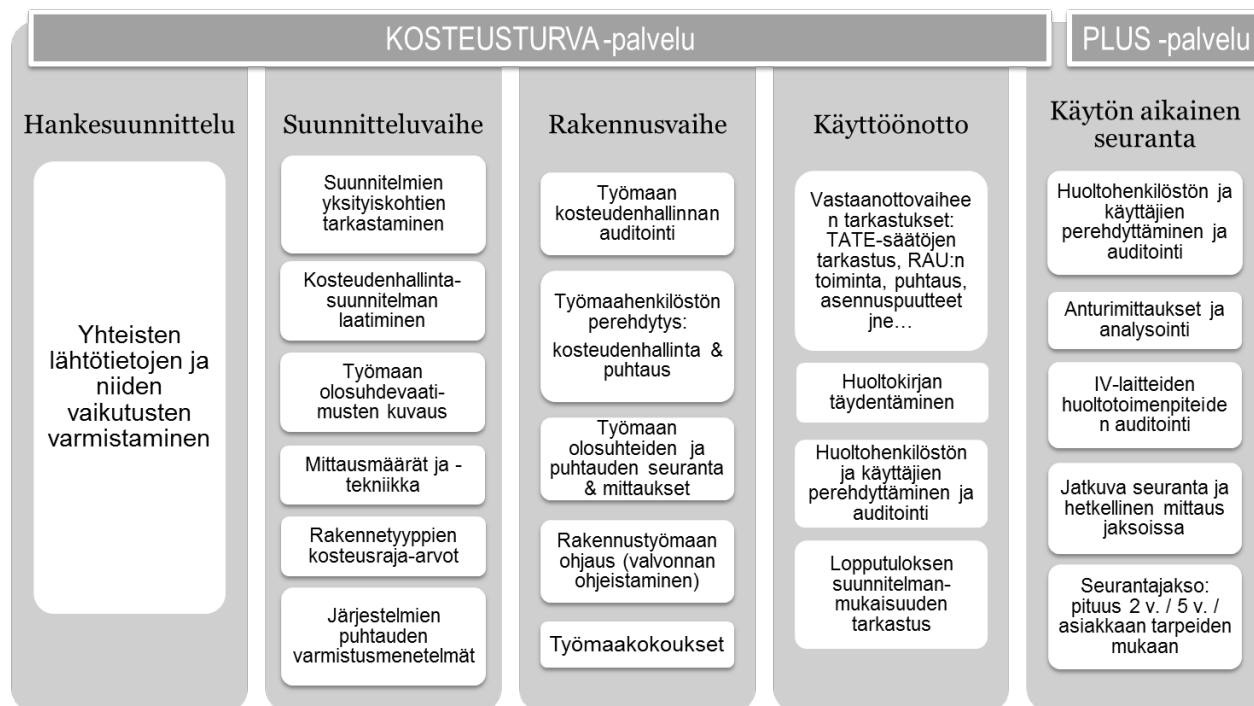
Toisaalta rakennusprosessien muutos viime vuosikymmeninä on synnyttänyt tapauskohtaisesti määrittelemättömiä aukkoja, ”ei kenenkään maata” palveluntuottajien ja prosessin osien väleihin, joista kuitenkin usein on löydettävissä todennäköisiä syitä terveyshaittojen aiheutumiseen. Kosteusturvan tavoitteena on sulkea määrittelemättömät aukot ja yhdistää prosessien rajapinnat tuomalla terveellisen rakentamisen tarpeet ja vaatimukset näkyviksi heti hankkeen alusta alkaen.

2.1 Hankesuunnittelu

Hankesuunnitteluvaiheessa luodaan perusta ja vaatimukset koko hankkeelle. Näin ollen myös koko hankkeen lähtötietojen tulee olla niin täydellisiä kuin mahdollista heti alkuhetkestä lähtien. Terve talo -ohjeistossa annetaan suuntaviivoja mm. siihen, miten eri tasoisten rakennusten sisäilma voidaan toteuttaa tulevan toiminnan vaatimusten mukaisesti. Ohjeet on esitetty tiiviisti, mutta itse lähtötiedot esitetään pirstaleisesti eri dokumenteissa, joista osa on jo varsin vaikeasti

saatavilla. Lisäksi eri alojen asiantuntijat tuntevat luonnollisesti omaa erikoissuunnittelualaansa koskevat yksityiskohdat, mutta hankesuunnitteluvaiheessa yksi asia vaikuttaa usein moneen muuhun asiaan, jolloin myös yhden erikoissuunnittelijan tekemät valinnat vaikuttavat usein monen muun – ellei kaikkien – suunnittelualojen sisältöön.

A-Insinöörit Kosteusturva -palvelussa hankesuunnitteluvaiheen keskiössä ovat juuri nämä lähtötiedot. Terve talo -kriteerit on viety yhteen tietokantatoimintoja hyödyntävään työkaluun, jolla pystytään nopeasti arvioimaan erilaisten muutosten aiheuttamat vaikutukset koko hankkeen osalta. Hankesuunnitteluvaiheessa kaikkien osapuolien saatavilla on noin 10...15 -sivuinen lähtötietoaineisto, joka sisältää sekä itsestäänselvyydet että pienemmätkin yksityiskohdat.



Kuva 2. A-Insinöörit Kosteusturva -palvelun vaiheistus ja sisältö.

2.2 Yleis- ja toteutussuunnittelu

Rakennushankkeen yleis- ja toteutussuunnitteluvaiheiden aikana Kosteusturva-palvelun avulla varmistetaan, että terveellisen rakentamisen edellytykset päätyvät kohteesta laadittuihin suunnitelmiin. Osa tästä tehdään kolmannen osapuolen tarkastuksen periaatteen mukaisesti käymällä läpi tärkeimpiä kosteudenhallinnan kannalta haastavimpia suunnitelmia läpi, mutta tätäkin tärkeämpää on ohjata hankkeen suunnittelijat pitämään asia esillä suunnitelmia laadittaessa. Tämä varmistetaan käyttämällä jo suunnitteluvaiheessa työmaavaiheesta tuttua ”itselle luovuttamisen periaatetta”. Suunnittelijoille annetaan tarkistuslistat, joiden perusteella suunnitelmat käydään läpi jo ennen niiden luovuttamista eteenpäin. Itselle luovutuksen muistio toimitetaan tilaajalle ja hankkeeseen nimetyille A-Insinöörien kosteusturvakoordinaattorille.

Hankesuunnitteluvaiheessa laaditun lähtötietokokonaisuuden perusteella yleissuunnittelua aloitettaessa tiedetään jo, mitkä rakennuksen osat vaativat tarkempaa rakennusfysikaalista tarkastelua. Tämä voi olla joko rakenne-/detaljikohtaista tarkastelua tai syvällisempää kolmiulotteista mallintamista. Vaatimus näiden tekemisestä on siis jo olemassa siinä vaiheessa, kun suunnittelua aloitetaan – ei sen loppuvaiheessa, kun aikataululliset paineet ovat jo

huipussaan. Näin ollen on todennäköisempää, että em. tarkastelut tehdään harkituissa olosuhteissa.

Kosteusturva-palveluun sisältyy myös laajennetun työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen. Kuivumisaika-arviot laaditaan rakennetyyppikohtaisesti ja samalla esitetään myös, miten kuivuminen pitää todentaa anturityyppi- ja määrätietoisesti. Rakenteisiin asennettavan anturiverkoston suunnittelussa otetaan huomioon myös rakennuksen käytön aikaisen mittaustiedon tarve, jolloin rakenteiden kuivumista pystytään seuraamaan vielä rakennuksen käyttöönoton jälkeenkin. [7]

Rakenteiden kuivumista voi tapahtua vain kuivumisolosuhteiden mahdollistamissa rajoissa. Laajennetussa kosteudenhallintasuunnitelmassa annetaan raja-arvot ja vaatimukset myös työmaan olosuhteille sen eri vaiheissa sekä tämän seurantaan liittyvät vaatimukset.

Puhtaudenhallintasuunnitelmassa esitetään rakennuksen eri tilojen ja vaiheiden puhtaudenhallinnan vaatimukset ja menetelmät niiden toteamiseen. Kun kosteuden- ja puhtaudenhallintasuunnittelu tehdään yhdessä, voidaan niihin liittyvät toimenpiteet suunnitella tarkoituksenmukaisesti mm. ohjeellisen vaiheistuksen ja osastointien suhteen. [8]

2.3 Rakennus- / työmaavaihe

Työmaavaiheessa ryhdytään toteuttamaan laadittuja suunnitelmia, niin rakenteiden kuin kosteudenhallinnan suhteen. Tässä vaiheessa hankkeeseen liittyy huomattavan suuri määrä toteuttajia ja toimittajia, jotka eivät ole olleet millään tavalla mukana kosteusturvallisen rakennuksen suunnittelussa ja ovat toteuttamassa rakennusta ”niin kuin aina ennenkin on tehty”. Kosteusturvallisen rakentamisen tavoitteet täytyy pystyä viestimään myös uusille osallistujille.

Rakennustyömaalla työmaan yhteisten pelisääntöjen ja turvallisuusasioiden viestiminen on nykyään jo ”business as usual”. Kosteusturva -palvelun yksi keskeinen tehtävä onkin kouluttaa työmaan perehdytyksestä vastaava tai vastaavat henkilöt, jotka täydentävät omaa perehdytysaineistoaan lyhyellä lisämateriaalilla: MIKSI kosteudenhallintaa tehdään ja MITEN se tällä työmaalla ilmenee? Suuri osa kosteudenhallinnan ongelmista liittyy ajattelemattomuuteen, joskus ymmärtämättömyyteen, mutta sangen harvoin se perustuu pahansuopaisuuteen. Työmaan henkilöstölle pitää siis yksinkertaisesti kertoa, mitä heiltä vaaditaan ennen kuin sitä voidaan vaatia.

Suunnitelmien mukaisen kosteudenhallinnan toteutumista seurataan kahdella eri tavalla. Työmaan turvallisuutta mitataan jo monella työmaalla tutuksi tulleella TR-mittauksella, joka antaa työmaan turvallisuusolosuhteista hyvän kuvan; TR-luvun, joka kirjataan viikoittain työmaapäiväkirjaan. Samaa analogiaa noudattaa myös Kosteusturva-indeksi, jossa on esitetty perustavaa tasoa olevia vaatimuksia ja näille arviointikriteeri. Kosteusturva-indeksi kirjataan viikoittain antamaan kuvaa kosteudenhallinnan tasosta käytännössä. Kosteusturva-indeksin arviointi tehdään työmaahenkilöstön toimesta samaan tapaan kuin TR-mittauskin. [6]

Työmaan kosteudenhallinnan tasoa arvioidaan myös ulkopuolisen tekemillä auditoinneilla. Auditoinnissa arvioidaan ja kirjataan Kosteusturva-indeksin taso työmaapäytäkirjan merkintöjen perusteella ja pistokoeluontoisin mittauksin sekä arvioidaan kosteudenhallinnan laatua. Työmaan kosteudenhallinnan auditointi tehdään 3-4 kertaa työmaavaiheen aikana hankkeen laadusta ja kestosta riippuen.

A-Insinöörien kosteusturvakoordinaattori seuraa sopimuksen ja tarpeen mukaan 2-4 kertaa kuukaudessa kosteudenhallintasuunnitelmassa esitettyjä mittauksia ja varmistaa, että mittaustiedot dokumentoidaan asiaankuuluvalla tavalla. Olosuhdetiedoissa esiintyvän vaihtelun ja rakennetyyppikohtaisen mittaustiedon avulla kuivumisennusteita pystytään päivittämään lähes reaaliaikaisesti ja työmaa voi ohjata toimintaansa proaktiivisesti, ei pelkästään historiatietoon perustuen reaktiivisesti.

Kosteusturvakoordinaattori ei kuitenkaan ole valvoja kaikkien muiden työmaan valvojien lisäksi vaan tuottaa näille lisäinformaatiota ja osallistuu tarvittaessa mm. pinnoitettavuuspäätösten tekemiseen tai puhtaustason riittävyyden arviointiin saatujen mittaustietojen perusteella.

2.4 Käyttöönotto

Käyttöönottovaiheessa A-Insinöörit Kosteusturva -palvelu jakautuu kahteen osaan. Rakenteellisessa mielessä kosteudenhallinnan tärkeimmät tehtävät suoritetaan työmaavaiheen aikana ja käyttöönoton yhteydessä voidaan vain todeta, että rakennus on toteutettu kosteusturvallisesti ja työn aikana esiintyneet poikkeamat on hoidettu asianmukaisesti kuntoon. Ensimmäinen osa kerääkin yhteen kosteuden- ja puhtaushallintaa koskevan dokumentaation, arvion sen kattavuudesta ja työmaalla havaittujen poikkeamien aiheuttamien toimenpiteiden kattavuuden ja onnistumisen.

Kosteusturvan käyttöönottovaiheen toinen osa keskittyy talotekniikkaan, ilmanvaihtoon ja siihen liittyvään automaatioon. TATE-järjestelmät toteutetaan ja valvotaan asianmukaisesti ja niihin liittyvä vastaanotto suoritetaan toimintakokeineen ja -mittauksineen kuten ennenkin, mutta ennen rakennuksen käyttöönottoa LVI-tekniikkaan erikoistunut sisäilma-asiantuntija tekee ensisijaisesti ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuvan sisäilmatutkimukseen verrattavissa olevan tarkastuksen, jonka avulla varmistetaan rakennuksen toimivuus myös TATE:n näkökulmasta. Ilmanvaihdolla ei voi poistaa rakenneteknisiä ongelmia, mutta väärin toimiva ilmanvaihto voi kuitenkin luoda niitä täysin terveissä rakennuksissa.

2.5 Ylläpito

Parhaat sisäilman laadun mittarit ovat tilaa käyttävät ihmiset. Tämän takia terveen rakentamisen arviointia ei saisikaan lopettaa käyttöönottovaiheeseen – jo pelkästään rakennusaikaisen kosteuden poistuminen rakenteista kestää 6–12 kk, minkä takia sisäilmaan liittyviä tekijöitä tulee seurata erityisellä tarkkuudella vähintään parin vuoden ajan. Tämän jälkeen seuranta voidaan keskittää käytön aikaisia kosteusongelmia ennakoivaan toimintaan; oikein suunniteltua anturiverkkoa voidaan hyödyntää vähintään 10 vuoden ajan rakennuksen valmistumisesta proaktiivisen ylläpidon ohjauksessa.

Toisena päähaarana A-Insinöörit Kosteusturva-palvelussa on oma moduulinsa rakennuksen käyttäjiä ja huoltohenkilökuntaa varten. Analogia on sama kuin työmaavaiheessakin – niin käyttäjät kuin huoltohenkilöstökin perehdytetään rakennuksen ominaisuuksiin ja tämän jälkeen näiden toimintaa voidaan arvioida ja tarvittaessa korjata, jos toiminnassa havaitaan rakennusterveyden kannalta puutteita. Aineisto jakautuu neljään osaan: käyttäjille on oma informaatiopakettinsa ja tämän lisäksi on omat perehdytys- ja auditointiaineistonsa rakennustekniselle huoltotyölle, TATE-huoltotyölle ja siivoustyölle. Näiden avulla voidaan tilaajan niin halutessa arvioida ja ohjata kaikkien rakennuksen kannalta keskeisten toimijoiden

toimintaa rakennuksessa ja erityisesti sen terveellisyyden kannalta. [5]

3. Yhteenveto

A-Insinöörit Kosteusturva on Terve talo -kriteerien mukaisesti kehitetty kosteuden- ja puhtaudenhallinnan palvelu, joka sisältää omat prosessit viidelle eri rakentamisen vaiheelle. Kosteusturva-palveluun on integroitu myös puhtaudenhallinnan toimintoja, minkä takia se poikkeaa muista kosteudenhallinnan palveluista.

Kosteusturvassa on huomioitu teknisen suorituksen lisäksi inhimillinen tapa toimia: miksi ihminen tekee jotain, miten hän tekee sen ja miten hänet saa tarvittaessa korjaamaan toimintaansa, jos se poikkeaa tavasta, jolla voidaan toteuttaa terveellisiä rakennuksia.

Kosteusturva-palvelun tilaaja saa käyttöönsä terveen rakennuksen, jonka dokumentaatio on myös kosteuden- ja puhtaudenhallinnan suhteen kunnossa koko hankkeen ajan.

Lähdeluettelo

- [1] Pietiläinen et al. 2008. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta.
- [2] Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat.
- [3] Kuosku, A. 2014. Terveen talon sisäilmastovaatimukset hankesuunnitteluvaiheessa
- [4] Sihvo, J. 2015. Rakennusfysikaalinen laadunhallinta terveen talon suunnittelussa
- [5] Von Hertzen, S. 2015. Rakennuksen ylläpidosta ja käytöstä aiheutuvat kosteusvauriot ja niiden ehkäisy
- [6] Nutikka, I. 2017. Kosteudenhallintapalvelun kehittäminen. Rakennuksen työmaa-aikainen kosteudenhallinta.
- [7] Mäkinen, T. 2014. Kosteudenhallintasuunnittelun kehittäminen
- [8] Korpi, S. 2016. Työmaan puhtaudenhallinta

Muovimatolla päällystetyt betonilattiat – haasteita uudisrakentamisessa

Kiia Miettunen ja Leif Wirtanen
Ramboll Finland Oy

Tiivistelmä

Nykyrakentamisessa yleistyneet rakenteet ja suuret rakenepaksuudet kuivuvat merkittävästi hitaammin kuin teoreettiset laskentakaavat antavat ymmärtää. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden kehitys tuo markkinoille jatkuvasti uusia tuotteita, joiden käyttäytymisestä rakenteissa on usein varsin vähän tietoa. Osassa uudiskohteita onkin ilmennyt ongelmia sisäilman laadussa ja valitettavan usein näissä kohteissa ongelman aiheuttajaksi on havaittu betonirakenteen liian korkea kosteuspitoisuus päällystämisaikana. Näiden edellä mainittujen tekijöiden johdosta olisi ajankohtaista päivittää betonin kuivumisen arviointiin kehitetyt laskentakaavat.

1. Johdanto

Muovimatolla päällystettyihin betonilattioihin alettiin kiinnittää huomiota 1990-luvulla, kun niiden epäiltiin heikentävän sisäilman laatua. Aihepiiriä tutkittiin aktiivisesti 1990-luvun loppupuolella ja 2000-luvun alkupuolella. Aiheesta on julkaistu väitöstyö [1] sekä useita tieteellisiä artikkeleita [mm. 2–7]. Tutkimusten perusteella havaittiin 2-etyyli-1-heksanolin ja TXIB:n indikoivan vauriota ko. lattiarakenteessa. Näille kyseisille yhdisteille on sittemmin määritetty toimenpiderajat Asumisterveysasetuksessa [8]. Yhdeksi merkittäväksi syyksi muovimatolla päällystettyjen betonilattioiden ongelmiin on tunnistettu betonin kosteus, joka on varsin emäksistä. Ongelmia ei tarkennetusta betonin kosteusmittausohjeistuksesta [9,10] huolimatta ole saatu poistettua.

2. Uudisrakentamisen uudet haasteet

Rakennusala kehittyi jatkuvasti ja alalle tuodaan uusia materiaaleja ja uusia rakenneratkaisuja. Yksi merkittävä viime vuosien aikana tapahtunut muutos on ollut pitkien jänneväliden myötä kasvanut betonivalujen paksuus. Uudisrakentamisessa on viime vuosien aikana käytetty yhtenä tavanomaisena ratkaisuna kuorilaattarakennetta, jonka päälle tehdään jopa yli 200 mm paksu jälkivalu. Tämä muutos on johtanut siihen, ettei tällä hetkellä voimassa olevaa ohjeistusta betonin kosteuspitoisuuden arviointisyvyydelle voida sellaisenaan soveltaa. Toinen merkittävä muutos on tapahtunut sementtilaaduissa ja lisäaineissa, joiden myötä lattioissa käytettyjen betonilaatujen ominaisuudet ovat muuttuneet. Kolmas merkittävä muutos on tapahtunut käytetyissä materiaaleissa, kuten muovimatoissa.

2.1 Voimassa oleva ohjeistus koskien betonin kosteuden mittaamista

Tällä hetkellä käytössä oleva ohjeistus koskien betonirakenteiden päällystämisen ajankohtaa on esitetty julkaisussa ”Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi” [9]. Kyseisen ohjeen mukaan betonirakenteen suhteellinen kosteus tulee mitata kuorilaattavälipohjan osalta:

- rakenteen pinnasta (0-10 mm)
- 20–30 mm syvyydeltä
- $0,2 \times$ koko rakenteen paksuudesta

Kuorilaattarakenne muodostuu julkaisun [9] mukaan yleensä 70...100 mm paksusta betonielementistä ja paikalla valettavasta 140...190 mm paksusta jälkivalusta. Rakenne kuivuu sekä ylös- että alaspäin, mutta kuoren tiiveydestä johtuen kuivuminen alaspäin on kuitenkin yleensä ylöspäin tapahtuvaa kuivumista vähäisempää.

Suurempiin jänneväleihin mentäessä on uudisrakentamisessa viime vuosien aikana käytetty yhtenä tavanomaisena ratkaisuna kuorilaattarakennetta jonka päälle valetaan jopa yli 200 mm paksu betonilaatta. Myös itse kuorilaatta on usein pitkistä jännevälistä johtuen paksumpi kuin mitä julkaisussa [9] on esitetty.

2.2 Betonilaadussa tapahtuneita muutoksia

Betonin koostumuksella on merkittävä vaikutus sen kuivumisnopeuteen. Koostumuksen osalta keskeisiä tekijöitä ovat betonin vesisementtisuhde ja sementtimäärä. Käytettävällä sementilläkin on vaikutusta betonin kuivumisnopeuteen, ennen kaikkea sen hydrataationopeuden kautta. Finnsementti lanseerasi markkinoille vuonna 2010 ympäristöystävällisen Plussementin [11]. Plussementti on normaalisti kovettuva portlandseos-sementti jonka seosaineina käytetään masuunikuonaa ja kalkkikiveä. Sitä käytetään yleisesti valmisbetonissa, kuten lattiavaluuihin tarkoitetuissa betoneissa.

Toinen betonin raaka-aineissa tapahtunut muutos koskee betonin työstettävyyttä parantavia tehonotkistimia. Nk. toisen sukupolven tehonotkistimet yleistyivät 2000 –luvun alussa. Ne perustuvat polykarboksylaatti-eetteriin (PCE). Polykarboksylaattipohjaiset tehonotkistimet adsorboituvat hitaasti sementtipartikkelien pinnalle mahdollistaen tehokkaan sementtipartikkelien dispergoitumisen. Betoniin lisättävää vesimäärää voidaan näin ollen entisestään vähentää työstettävyyden kärsimättä ja lopputuotteesta tulee aikaisempaa tasalaatuisempi ja tiiviimpi.

2.3 Lattiarakenteen muut materiaalikerrokset

Betonilattia koostuu tavanomaisesti betonista ja sen päälle asennettavista mahdollisesta pohjusteaineesta, tasoitekerroksesta, liimasta ja päällysteestä. Tasoitteen osalta on viime aikoina alettu yhä enemmän käyttää nk. matala-alkalista tasoitetta. Kalsiumhydroksidin, yhden betonin tavanomaisesta reaktiotuotteista, pH on noin 12,5. Sementissä on lisäksi tyypillisesti natriumia ja kaliumia, joiden hydroksidit nostavat tuoreen betonimassan pH:n tasolle 13 ja jopa sen ylikin. Tasoitteen alkalisuutta saadaan alennettua korvaamalla osa sen normaalista sementistä aluminaattisementillä. Aluminaattisementin pH vesiliuoksena on noin 10–11. Tasoitteen pH:n alentamisella pyritään hidastamaan lattiapäällysteen liimaamiseen käytettävän liiman alkalisesta kosteudesta aiheutuvaa hajoamista. Tasoite saattaa kuitenkin ajan myötä menettää betonin korkeaa pH:ta puskuroivan vaikutuksensa, kun betonista siirtyy kosteutta tasoitekerrokseen. Tästä ilmiöstä ei kuitenkaan ole juurikaan julkaistuja tieteellisiä tutkimuksia.

Liiman koostumuksella on myös vaikutusta sen säilyvyyteen. Lattialiimat perustuvat yleensä akrylaattidispersioon. Useat niistä vapauttavat 2-etyyli-1-heksanolia jo itsessään. Kyseiselle yhdisteelle on määritelty toimenpideraja Asumisterveysasetuksessa [8]. Akrylaattidisersion haaste lattialiiman sideaineena on sen varsin heikko alkalinkestävyys. Tämän seurauksena on matala-alkalisen tasoitteen käyttö suositeltavaa, mutta toisaalta on myös huolehdittava betonin riittävän alhaisesta kosteuspitoisuudesta päällystyshetkellä.

Lattianpäällysteiden osalta keskitytään tässä muovimattoihin. Yksi perinteinen muovimattojen haaste on ollut yleisesti muovin pehmittimenä käytetyt ftalaatit. Niistä on kuitenkin viime

vuosien aikana pyritty luopumaan mattovalmistajien toimesta ja tilalle on haettu korvaavia raaka-aineita. Ftalaaatteja saattaa kuitenkin edelleen esiintyä muovimatoissa, sillä mattovalmistajat käyttävät varsin yleisesti kierrätysmateriaalia valmistusprosessissa. Lattiarakenteen kosteusteknisen toiminnan kannalta on suurempi muutos ollut kuitenkin mattojen kulutuskestävyyttä parantavan pintakerroksen käyttöönotto. Kyseinen pintakerros valmistetaan yleisesti polyuretaanista. Kulutusta kestävä pintakerros tekee matosta kuitenkin myös varsin tiiviin. PUR-pinnoitettujen muovimattojen vesihöyryn suhteellinen diffuusiovastus, s_D , on tyypillisesti kokoluokkaa 40–120 metriä.

Yhteenvedona voidaan todeta, että betonilattiarakenteissa on viime vuosikymmenen alun jälkeen tapahtunut muutoksia, joiden myötä tilanne lattiarakenteiden kokonaistoimivuuden kannalta on jonkin verran muuttunut. Tämän muutoksen seurauksena voi olla tarpeen myös päivittää betonilattian päällystämiseen liittyvää ohjeistusta.

3. Betonilattian kuivumisnopeuden tarkastelu

3.1 Kuivumisnopeuden laskennallinen tarkastelu

Seuraavassa tarkastellaan betonilattian kuivumista esimerkin avulla. Kyseessä on lattiarakenne, jossa on valettu 150 mm paksun kuorilaatan päälle 200 mm paksu jälkivalu. Jälkivalussa on käytetty kolmea eri betonilaatua: C25/30, C30/37 ja C35/45. Betonia on jälkihoidettu 2 viikkoa. Betonin vesisementtisuhde on 0,6.

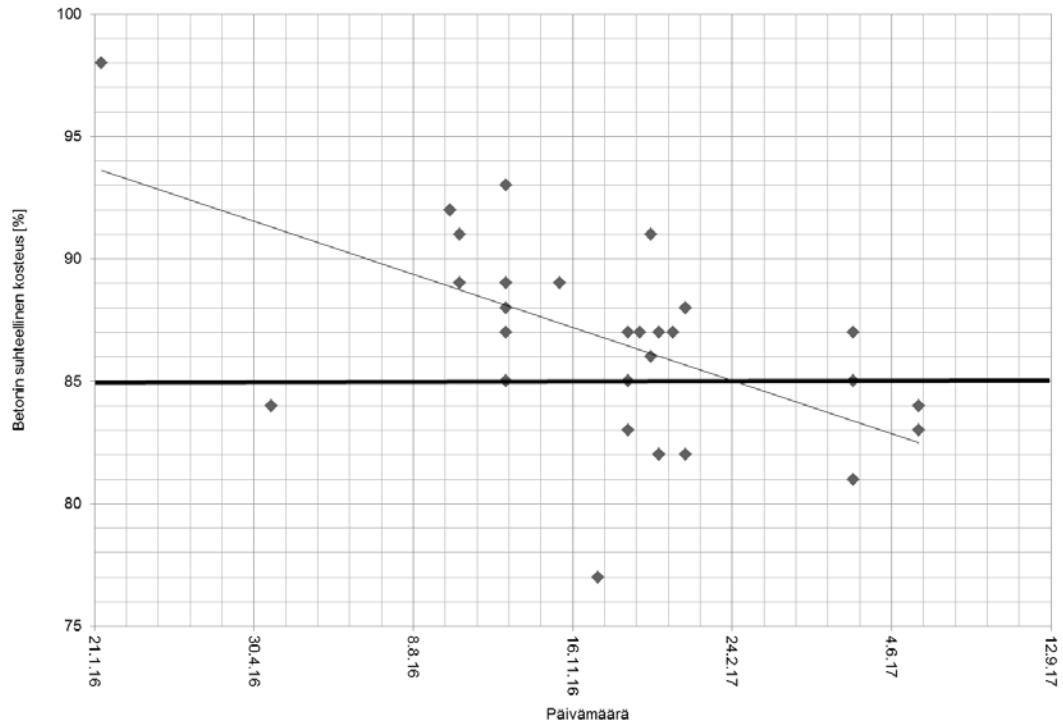
Kuorilaattarakenteen kuivumista on seurattu ja rakenteen pinnoitettavuutta tarkasteltu näytepalamittauksilla RT 14-10984 ohjekortin mukaisesti [12]. Rakenteen kuivumisen arviointisyvyys on $0,2 \times$ koko rakenteen paksuus eli 70 mm. Arviointisyvyys siis vastaa olemassa olevan ohjeistuksen maksimiarviointisyvyyttä. Muut mittaussyvytydet on valittu olemassa olevan ohjeistuksen [9] mukaisesti. Kuivumisolosuhteet ovat olleet varsin hyvät, eli sisäilman suhteellinen kosteus on ollut 35 % RH ja lämpötila +25 °C.

Julkaisussa [9] esitetyn laskentakaavan mukaan kestää betonin kuivuminen arviointisyvyydellä edellä mainituissa olosuhteissa arvoon RH 85 % 14 viikkoa eli noin 3 kuukautta. Olosuhteilla 10 °C ja 80 % RH sekä yli 2 viikon kastumisella saadaan kuivumisaikaksi 51 viikkoa. Olosuhteilla 25 °C ja RH 80 % olisi kuivumisaika 30 viikkoa.

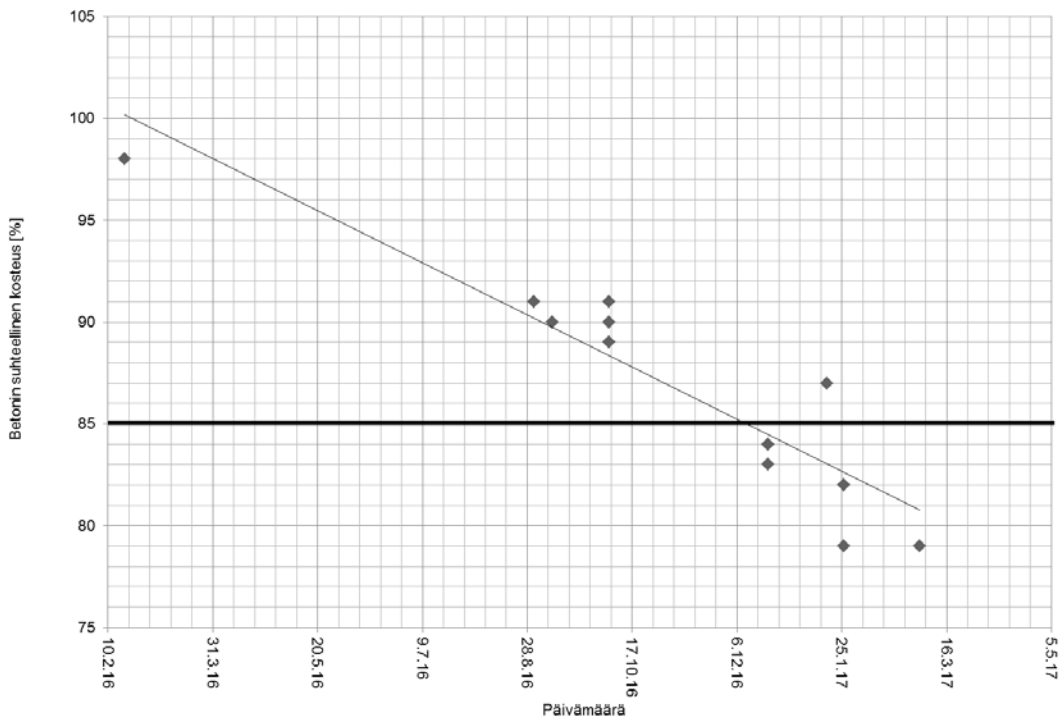
3.2 Kuivumisnopeuden mittaustuloksiin perustuva tarkastelu

Rakenteen kuivumista vertailtiin suhteessa käytettyihin betonilaatuihin sekä rakenteen valuajankohtiin eri vuodenaikoina. Talvella tehdyissä betonivaluissa havaittiin betonilaadun vaihtamisen lyhentävän kuivumisaikoja jopa 3 kk. Talvella tehtyjen valujen kuivumisaikat olivat noin 13 kuukautta (C25/30) ja 10 kuukautta (C30/37).

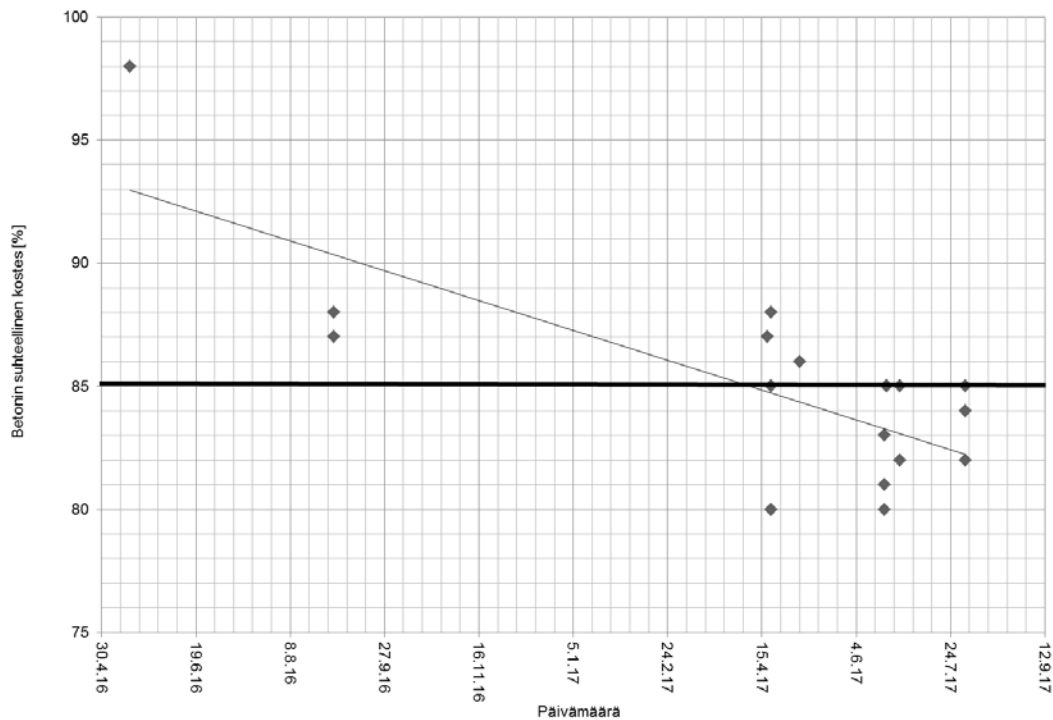
Keväällä ja kesällä tehtyjen valujen kuivumisaikat olivat vertailuilla betonilaaduilla (C30/37 ja C35/45) noin 12 kuukautta, eikä betonilaadun vaihtamisella havaittu olevan enää merkittävää vaikutusta betonin kuivumisaikoihin. Tyypillisesti kesäaikana tehtyjen valujen kuivumisaika on pidempi kuin talvivaluilla. Esimerkkikohteessa yksittäisillä betonilaaduilla kesävalun kuivumisaikat olivat noin kaksi kuukautta pidempiä kuin talvivaluilla vaikka kuivumisolosuhteet olivat edulliset. Lujuusluokan kasvattaminen lyhensi kesävalun kuivumisaikaa suhteessa talvivaluun noin yhdellä kuukaudella.



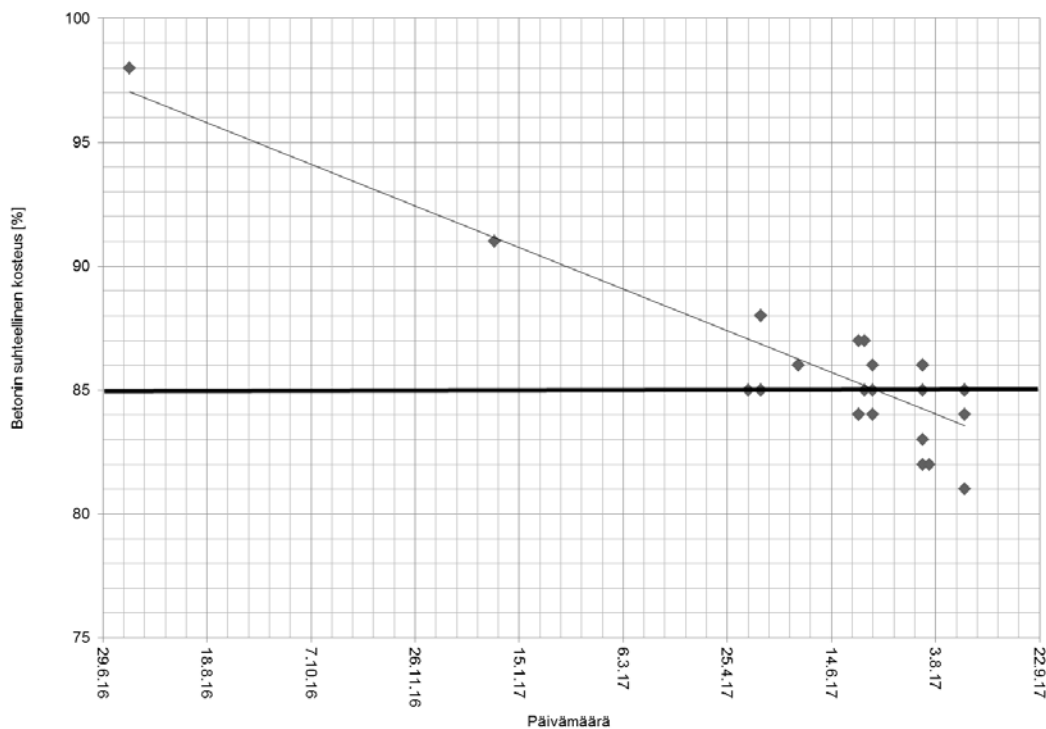
Kuva 1. Talvella valetun betonin C25/30 kosteustmittaustulokset 70 mm syvyydeltä mitattuna.



Kuva 2. Talvella valetun betonin C30/37 kosteustmittaustulokset 70 mm syvyydeltä mitattuna.



Kuva 3. Keväällä valetun betonin C30/37 kosteusmittaustulokset 70 mm syvyydeltä mitattuna.



Kuva 4. Kesällä valetun betonin C35/45 kosteusmittaustulokset 70 mm syvyydeltä mitattuna.

Kosteusmittauksin todennetut kuivumisajat poikkeavat merkittävästi kirjallisuudessa esitetyllä [9] laskentakaavalla saadusta kuivumisajasta. Todellinen kuivumisaika on jopa 3–4 kertaa pidempi kuin teoreettinen kuivumisaika. Laskentakaavoja suuremman rakennepaksuuden lisäksi mahdollisesti myös käytettyjen betonien lujuusluokka saattaa aiheuttaa virhettä laskennalliseen kuivumisaikaan. Mittaustulosten perusteella lujuusluokalla havaittiin olevan merkittävä vaikutus kuivumisaikoihin.

4. Yhteenveto

Olemassa oleva ohjeistus betonirakenteen kuivumisajan arviointiin ei nykyisellään kaikilta osin vastaa uusia rakenteita ja muuttuneita materiaaliominaisuuksia. Esimerkkikohteessa mittauksin todennetut kuivumisajat olivat jopa 4 kertaa pidempiä kuin laskennallisesti määritetty kuivumisaika-arvio. On huomioitavaa, että esimerkkikohteessa kuivumisolosuhteet ovat olleet poikkeuksellisen hyvät.

Esimerkkikohteessa käytetyillä betonilaaduilla on ollut merkittävä vaikutus rakenteen kuivumisnopeuteen vaikka valuajankohdan aiheuttamat erot otetaan huomioon. Betonin lujuusluokan kasvattaminen lyhensi kuivumisaikoja jopa kolme kuukautta.

Osassa uudiskohteita on ilmennyt ongelmia sisäilman laadussa ja valitettavan usein näissä kohteissa ongelman aiheuttajaksi on havaittu betonirakenteen liian korkea kosteuspitoisuus päällystämisaikakohtana. Vaikka tässä esitetyn esimerkkikohteen mittaustuloksissa on käsitelty vain päällystämistä edeltävää rakennekosteutta, niin on hyvin mahdollista, että liian lyhyeksi mitoitettut kuivumisajat aiheuttavat ajan myötä ongelmia tiiviiden lattianpäällysteiden kanssa.

Rakenteiden kuivumisajan arvioinnissa käytettäviä laskentakaavoja olisi suositeltavaa päivittää useiden rakenteiden osalta ja laskentakaavoissa olisi suositeltavaa huomioida myös rakenne ja sen pintakerrokset kokonaisuutena materiaaliominaisuuksissa tapahtuneiden muutosten takia.

Lähdeluettelo

- [1] Sjöberg, A. 2001. Secondary Emissions from Concrete Floors with Bonded Flooring Materials. Chalmers Tekniska Högskola. 188 s.
- [2] Eronen, J. et al. 1998. Päällystettyjen betonilattioiden emissiot. Teknillinen korkeakoulu, Rakennusmateriaalitekniikka. 35 s. + liite 1 s.
- [3] Metiäinen, P. et al. 2003. 2-ethyl-1-hexanol Emissions from Floor Structure and Health Symptoms. Healthy Buildings, Singapore. ss. 36-41
- [4] Villberg, K. et al. 2004. Sisäilman laadun hallinta. VTT Publications 540. 172 s. + liitteet 20 s.
- [5] Järnström, H. 2005. Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571. 76 s. + liitteet 14 s.
- [6] Cain et al. 2005. Odor and Chemestesis from Brief Exposures to TXIB. Indoor Air. ss. 445-457
- [7] Järnström, H. 2007. Reference Values for Building Material Emissions and Indoor Air Quality in Residential Buildings. VTT Publications 672. 73 s. + liitteet 63 s.
- [8] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2016)
- [9] Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Suomen Rakennusmedia Oy. 62 s.
- [10] Merikallio et al. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Suomen Rakennusmedia Oy. 97 s.
- [11] Betoni 3/2014 Sata vuotta suomalaista sementtiä, osa 3 – Jatkuva kehitystyö peilaa tulevaisuuteen, Betoniteollisuus ry, ss. 96-99
- [12] RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen, ohjeet helmikuu 2010, 16 s.

Korkean rakentamisen haasteet asuinrakennusten kevyissä julkisivuissa

Andreas Limnell
Sweco Rakennetekniikka Oy

Tiivistelmä

Korkean rakentamisen ulkopuoliset rasitukset, kuten viistosade ja tuulenpaine, kasvavat merkittävästi, mitä korkeammalle maanpinnasta ja ympäröivistä rakenteista mennään. Julkisivua rasittavat myös pakkaneen, ilman suolapitoisuus, melu, UV- ja lämpösäteilyt. Tehtaalla valmistetut alumiinirunkoiset pienelementit lasiverhouksella, joiden tiiviys on todennettu standardoiduilla testausmenetelmillä, ovat juuri tiiviiden ja säärasituskeston ansiosta nousseet suosioon erityisesti korkeassa rakentamisessa.

Lasi-alumiinielementeissä erityisesti kaksi asiaa vaativat tarkastelua. Elementtien alumiinirunko on merkittävä kylmäsilta, joten lämmöneristävyys on pitkälti lämpökatkoista kiinni. Sisäpuoliset lisäeristykset voivat laskea höyrinsulun lämpötilaa hyvinkin matalaksi, mikäli höyrinsulku on toteutettu pellillä, joka on suoraan kiinni alumiinirungossa. Lämpösäteily on toinen merkittävä asia, joka vaatii tarkastelua, sillä lämpökatkot ovat yleensä muovisia ja ne saattavat vaurioitua liian korkeassa lämpötilassa. Asettamalla höyrinsululle kriittinen lämpötila, joka vastaa tavanomaista puurakennetta ja säätämällä lämpösäteilyä aiheutuvaa lämpökuormaa lasivalinnoilla, voidaan kuitenkin saavuttaa hyvin toimiva julkisivu.

1. Johdanto

Korkea rakentaminen on yleistymässä Suomessa ja se asettaa uusia haasteita varsinkin julkisivuille. Tässä artikkelissa keskitytään asuinrakennusten kevyiden julkisivujen rakennusfysikaalisiin haasteisiin, mutta monet asiat pätevät myös yleisesti korkeassa rakentamisessa. Ensin käydään läpi erilaiset julkisivuun kohdistuvat rasitukset ja tämän jälkeen keskitytään alumiinirunkoisiin pienelementteihin, joita käytetään paljon lasijulkisivuissa.

2. Julkisivun rasitukset korkeassa rakentamisessa

Korkean rakentamisen julkisivuissa esiintyy samat säärasitukset, kuin tavanomaisessa rakentamisessa, mutta yleensä voimakkaampina. Merkittävin ero on se, että tuulen nopeus kasvaa huomattavasti ja sade tulee melkein aina viistoon, välillä myös yläviistoon. Tämä tarkoittaa sitä, että vaipan vedenpitävyys on oltava sataprosenttisen vedenpitävä. Yksinkertainen tiivistys ei yleensä riitä, vaan jossain tilanteessa ulompi tiiviste saattaa vuotaa ja silloin pitää olla vähintään toinen tiivis raja, jonka läpi vesi ei saa tulla. Vuotoveden poistomahdollisuus tulee myös huomioida.

2.1 Ulkopuoliset rasitukset

Korkean rakentamisen ulkopuolisista rasituksista kaikkein merkittävin on sade, mutta myös tuuli, pakkaneen, ilman suolapitoisuus, melu, UV- ja lämpösäteilyt rasittavat ulkoseiniä omalla tavalla ja asettavat sille erinäisiä vaatimuksia. [1]

2.1.1 Viistosade

Viistosateen merkitystä on korostettu FRAME-hankkeen loppuraportissa, sillä Vantaan 2007 testivuoden aikana oli korkean ulkoilman suhteellisen kosteuden lisäksi poikkeuksellisen paljon sadetta. Raportissa on listattu sellaisia rakenteita, jossa sade vaikuttaa niiden kosteustekniseen toimintaan, ja sellaisia, joissa sateen vaikutus on vähäinen tai lähes olematon. [2]

Valitsemalla oikeanlaisen rakennetyypin voi siis vaikuttaa merkittäväällä tavalla saderasituksen vaikutukseen. Vesitiiviydelle on myös olemassa standardoituja testausmenetelmiä. Nämä ovat aina tuotekohtaisia, eli oville ja ikkunoille löytyy oma standardi SFS-EN 12208 ja lasijulkisivuille omat standardit SFS-EN 12154, jossa on määrätty suoritustaso-vaatimukset ja luokat, sekä SFS-EN 12155, jossa on määritetty, miten testaus laboratorio-olosuhteissa tehdään.

2.1.2 Tuulenpaine

Mitä korkeammalle maanpinnasta mennään, sitä voimakkaammaksi tuulenpaine kasvaa. Tämän takia on myös tärkeää, että vaipparakenteet ovat ilmatiiviit. Ilmatiiviydelle on myös olemassa tuotekohtaisia standardoituja testausmenetelmiä, kuten vesitiiviydellekin. Lasijulkisivuille on vastaavasti standardit SFS-EN 12152 ja SFS-EN 12153 ja oville sekä ikkunoille SFS-EN 12207.

2.1.3 Lämpösäteily

Auringosta tuleva lämpösäteily on varsinkin rakennuksen eteläsivulla merkittävä rasitus, mutta myös yöllä, kun taivas on kirkas, lämpösäteily rakenteesta ulospäin voi aiheuttaa rakennusfysikaalisesti haastavia tilanteita. Lasirakenteissa tämän huomaa erityisen helposti, sillä ikkunan ulkopinnassa oleva kondenssi näkyy heti. Yleensä ulkopuolinen kondenssi ei ole rakenteille haitallinen, jos se ei pääse rakenteen sisälle, mutta käyttäjälle se voi olla hyvinkin harmillista, kun ikkunasta ei näe ulos.

Lämpösäteily voi myös aiheuttaa ongelmia erityisesti lasirakenteille toisella tavalla. Kirkas lasi päästää valtaosan lämpösäteilystä läpi ja eristää samalla, joten lämpökuorma voi olla hyvin merkittävä, jos ikkunan kokonaisläpäisevyyttä, eli g-arvoa ei valita oikein. Nämä vaikuttavat paitsi jäähdystystehon tarpeeseen, myös rakenteiden lämpötilaan ja sitä kautta esimerkiksi rakenteiden lämpölaajenemiseen. Seinän umpiosassa, jossa on tumma tai musta tuulensuojalevy lasiverhouksen takana, lämpötilat voivat nousta niin korkeiksi, että materiaalien sulamispisteet jopa ylittyvät. Tämä koskee erityisesti lasirakenteissa käytettyjä PVC-lämpökatkoja, joissa kriittinen lämpötila on noin + 80 °C.

2.1.4 Meluhaitat

Asunnoissa halutaan yleisesti sulkea pois ympäristössä syntyvää melua. Vaippa toimii tässä merkittävänä tekijänä, rungon ja LVI-tekniikan ohella. Katutasolla meluhaitat ovat yleisesti ottaen merkittävämmät, sillä melunlähde on lähempänä, ja mitä kauemmas lähteestä siirrytään, sitä pienempi meluhaitta on. Lentomelun lähde on melkein aina niin kaukana, että rakennuksen korkeus ei vaikuta samalla tavalla lentomelun voimakkuuteen.

Asumisterveysasetus antaa asuinhuoneiston keskiäänitasolle tietyt raja-arvot, jotka eivät saa ylittyä. Taulukossa 1 on esitetty eri tiloille ja kellonajoille ne toimenpiderajat, joiden ylityessä vaaditaan parannusta. Riippuen ympärillä syntyvästä melusta, ulkoseinärakenteelle asetetaan tietty ilmasteneristävyysovaatimus, jotta keskiäänitasot pysyvät raja-arvojen alapuolella. [3]

Taulukko 1. Päivä- ja yöajan keskiäänitasojen toimenpiderajat asunnoissa [3]

Asuinhuoneiston huonetila	Päiväajan keskiäänitaso L_{Aeq} (klo 7–22)	Yöajan keskiäänitaso L_{Aeq} (klo 22–7)
asuinhuoneet ja oleskelutilat	35 dB	30 dB
muut tilat ja keittiö	40 dB	40 dB

2.1.5 Pakkasrasitus

Pakkanen rasittaa erityisesti huokoisia materiaaleja, jotka kastuvat usein. Vesi laajenee jäätyessään ja aiheuttaa vetojännityksiä materiaaleissa tai liitoskohdissa, johon vesi voi kerääntyä. Julkisivussa käytettävien materiaalien pakkasenkestävyys on aina syytä tarkistaa.

2.1.6 UV-säteily

Pintamateriaalien kestävyys vaikuttaa myös UV-säteily, joka vaikuttaa pääasiassa pinnoitteisiin ja tiivisteisiin. UV-säteily haalistaa, hapertaa ja voi aiheuttaa halkeilua.

2.1.7 Suolarasitus

Erityisesti rannikolla ilman mukana kulkeutuu suolaa, joka rasittaa erityisesti teräsovia ja kiinnikkeitä. Ilman suolapitoisuus vaikuttaa myös betonirakenteiden kestävyys.

2.2 Sisäpuoliset rasitukset

Asuinrakennuksissa sisäilma voi olla merkittävä riskitekijä ulkoseinän rakennusfysikaalisessa tarkastelussa. Nykyiset ohjeet, kuten RIL-255-1-2014, antavat sisäilmalle tietyt lähtökohdat rakennusfysikaalista tarkastelua varten, mutta mikään ei estä käyttäjää luomasta vielä haasteellisemmat olosuhteet. Tästä syystä halutaan yleensä varmistaa rakenteen toimivuutta herkkyytarkastelulla, jossa nostetaan sisäilman suhteellista kosteutta hetkellisesti. Tämä on erityisesti asunnoissa hyvä tarkistaa, sillä asukkaita on monenlaisia. [4]

Asuntojen välinen ääneneristävyys ja palo-osastointi ovat asioita, jotka tulee huomioida ulkoseinäliittymissä ja detaljeissa. Ääneneristävyys paranee, jos julkisivuelementtien runko ei jatku asunnosta toiseen, vaan elementtisaumat sijaitsevat asuntojen välissä.

2.2.1 Ilmavuoto

Vaipan ilmatiiviys korostuu korkean rakentamisen myötä, sillä hormivaikutus on verrannollinen rakennuksen korkeuteen, jos kaikki kerrokset yhdistetään yhtenäisellä kuilulla. Mitä isompi vaipan ilmavuoto on, sitä suurempi paine-ero syntyy ylimmän ja alimman kerroksen välille. Tämä tarkoittaa myös sitä, että paine-ero vaipan yli kasvaa ja se vaikuttaa ilmavuotoon. Hormivaikutus on suurimmillaan, kun ulkoilma on viileimmillään ja silloin se vaikuttaa myös vaipan lämpöhäviöön ilmavuodon kautta. [5]

Merkittävä ilmavuoto ulkoseinärakenteessa on myös ongelmallinen, mikäli kostea sisäilma vuotaa eristetilaan, sillä se voi johtaa kosteus- ja homevaurioihin. Tämän takia on syytä valita sellainen rakenne, jossa höyrynsulun toteutusta on mahdollista valvoa ja joka ei helposti vaurioidu työmaalla.

2.2.2 Sisäilman kosteus

Sisäilman kosteus voi etenkin talvella aiheuttaa kondenssiongelmia ulkoseinä rakenteissa. Sisäilman kosteus määritellään ulkoilman kosteutena, johon lisätään tietyn suuruinen kosteuslisä sisätilan käyttötarkoituksen mukaisesti. Asunnoissa kosteusluokka 2 antaa kosteuslisän arvoksi 5 g/m³ talvella, kun ulkolämpötila on alle + 5 °C. Tämä kosteuslisä on hyvä lähtökohta pitkäaikaisessa tarkastelussa, mutta varsinkin asunnoissa ei ole mahdotonta, että sisäilman kosteus nousee hetkellisesti tämän yli. Tästä johtuen on yleistä tuoda rakenteelle kosteusteknistä lisävarmuutta herkkyystarkastelulla, jotta hetkellinen sisäilman suhteellisen kosteuden nousu ei aiheuttaisi suuria riskejä rakenteille. Herkkyystarkastelussa tulee kuitenkin muistaa, että tavanomaisetkaan rakenteet eivät kestä liian ankaria olosuhteita. [4]

3. Alumiinirunkoiset pienenä elementit korkean rakentamisen lasijulkisivuissa

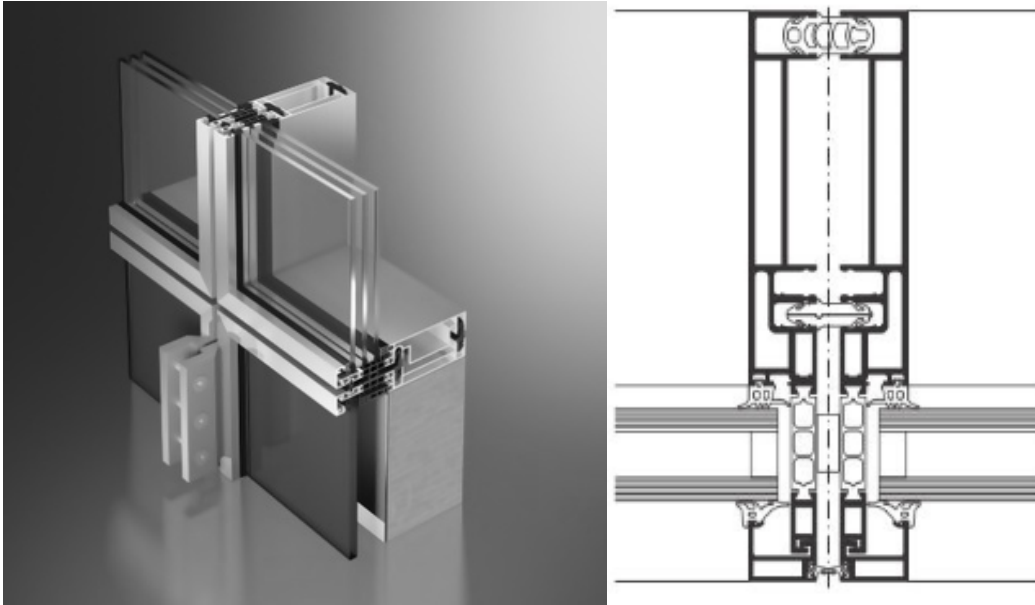
Maailmalla alumiinirunkoiset pienenä elementit ovat yleistyneet kovaa vauhtia korkeassa rakentamisessa. Näissä on yleensä lasiverhous, joka on toteutettu listattomana, eli SG-saumalla (Structural Glazing), joka tarkoittaa, että lasit ovat ainakin osittain liiman varassa. SG-saumalla on kuitenkin järjestäen huonompi lämmöneristävyys listalliseen saumaan verrattuna, sillä ruostumattomasta teräksestä tehdyt kiinnitysosat tulevat todella lähelle ulkopintaa ja lämpökatkot katkeavat kiinnitysosan kohdalta.

Tällaiset järjestelmät ovat nousseet suosioon, sillä niiden valmistusta on helppo valvoa ja niillä saavutetaan heti valmis julkisivuverhous, jolloin vaipan ulkopuolelle ei enää tarvitse mennä asentamaan mitään. Pienen kokonsa vuoksi elementit ovat kevyitä kuljettaa sekä nostaa, eikä niiden tuulipinta-ala ole niin suuri, että asennusta pitäisi pysäyttää kovan tuulen takia kovin usein. Korkeassa rakentamisessa tämä korostuu entisestään suurempien tuulennopeuksien takia. Tiheä saumajako helpottaa myös lämpö- ja muiden liikkeiden hallintaa.

3.1 Järjestelmät

Tänä päivänä monelta valmistajalta löytyy ainakin yksi alumiinirunkoinen pienenä elementti järjestelmä lasijulkisivuihin. Kuvasta 1 näkee kahden eri järjestelmätoimittajan profiilit. Järjestelmät muistuttavat profiileiltaan ja periaatteiltaan hyvin paljon toisiaan, mutta tekniset ominaisuudet voivat vaihdella. Järjestelmät ovat yleisesti alun perin kehitetty keskieuropalaista ilmastoa ajatellen, eivätkä ne aina sellaisenaan sovellu Suomen ilmastoon. Kolminkertaisille lasipaketeille tehdyt järjestelmät ovat kuitenkin eristävyydeltään jo melko hyvää tasoa, sillä lämpökatkot ovat niissä kehittyneemmät.

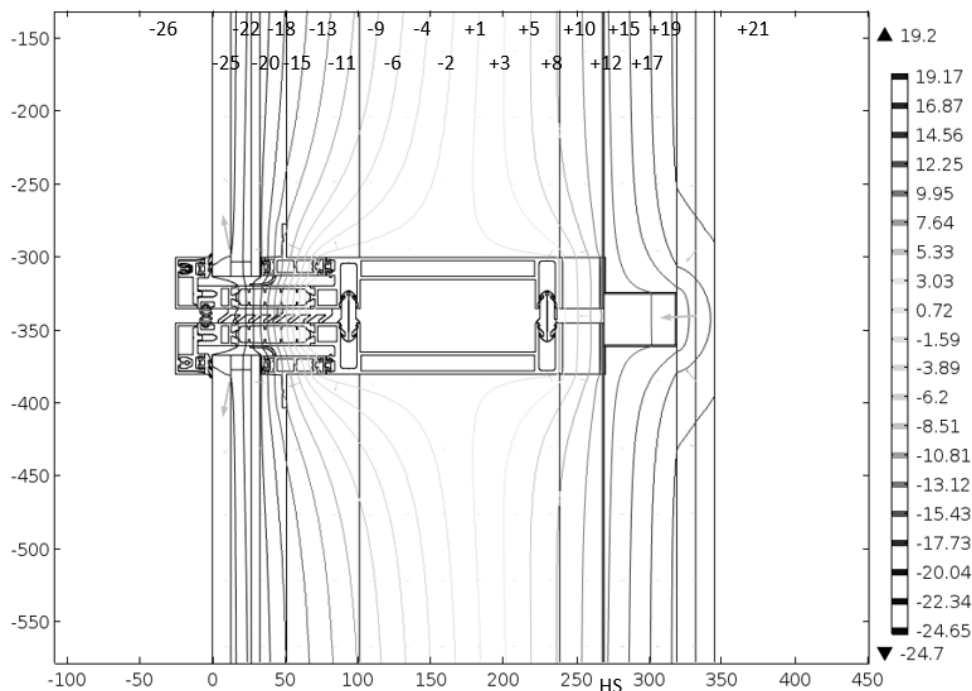
Elementit sisältävät harvoin kuitenkaan pelkästään ikkunaruujuja, vaan niissä on myös umpiosia, joissa on lämpöeristettä. Eristekerrosta kiertää kuitenkin alumiinirunko, joka on merkittävä kylmäsilta. Rungon sisäpuolelle kiinnitetään yleensä teräs- tai alumiinipelti, joka toimii höyrynsulkuna. Höyrynsulkupelti on siinä mielessä hyvä, että se on huolellisesti tiivistetty tehtaalla ja kulkee elementin reunalta reunalle ehjänä ilman ylimääräisiä mutkia. Elementin saumassa kiertää aina EPDM-tiivistenauha, joka yhdistää elementin höyrynsulut toisiinsa. Elementin sisäpuolelle voi myös lisätä ylimääräisen koolauksen, lämmöneristeen ja levytyksen, sillä esimerkiksi sähköpistorasioita ei saa asentaa elementtiin.



Kuva 1. 3D-kuva Schücon USC 65.HI-järjestelmästä vasemmalla ja 2D-leikkaus Wiconan WICTEC EL60-järjestelmästä oikealla.

3.2 Rakennusfysikaalinen tarkastelu

Lasialumiinirakenteista tehdään usein isotermiset laskelmat, jotka näyttävät miten lämpötila vaihtelee poikkileikkauksessa. Tällä pystyy varmistamaan, että höyrynsulku on kastepisteen lämpimämmällä puolella ja että näkyvät pinnat täyttävät asumisterveysasetuksen asettamat toimenpiderajat. Kuvasta 2 näkee, että alumiinirungon ulko- ja sisäpinta ovat saman lämpöisiä, mutta lämpökatkon ansiosta höyrynsulun lämpötila on yli +10 °C.



Kuva 2. Isotermien laskelma Schücon järjestelmästä, johon on lisätty erillinen lämpökatko rungon ja höyrynsulun väliin, koska sisäpuoleinen koolaus eristeineen laskee höyrynsulun lämpötilaa liikaa. Laskettu Comsol Multiphysics 5.2a-ohjelmalla.

Umpiosissa, jotka ovat alttiina auringonsäteilylle, lämpötilat voivat nousta hyvin korkealle ja näissä pitää tarkistaa, etteivät lämpötilat voi nousta yli rakenteessa käytettyjen materiaalien kriittisiä lämpötiloja. Etenkin PVC-lämpökatkot voivat vaurioitua jo noin + 80 °C:ssa. Kun lämpökatko saavuttaa kriittisen lämpötilan se voi käyristyä ja vääntyä, jolloin tiivisteet, jotka ovat siinä kiinni, siirtyvät myös pois paikoltaan. Tämä voi johtaa vuotoihin tai pahimmassa tapauksessa jonkun osan irtoamiseen. Säteilyä voi kuitenkin rajoittaa esimerkiksi auringonsuojakalvoilla, jotka pienentävät säteilyn kokonaisläpäisevyyden.

Lisäkoolauksen ja eristyksen kanssa tulee myös olla tarkka, sillä alumiininen runko on valtava kylmäsilta, ja elementin lämpövastus rungon kohdalla on käytännössä lämpökatkon varassa. Kun höyrynsulun sisäpuolelle lisätään eristettä, eli lämpövastusta, höyrynsulun lämpötila laskee nopeasti. Tällaisessa rakenteessa höyrynsulun 1 : 3 -säätö ei päde. Ulkoseinärakenne muistuttaa kuitenkin lämpötekniisesti tavanomaista puurunkoista ulkoseinärakennetta, jossa höyrynsulun sisäpuolella on vielä lisäkoolaus ja lämpöeriste. Tätä kannattaakin pitää vertailukohtana, kun määritellään höyrynsulun alinta sallittua lämpötilaa. Esimerkiksi U-arvolla 0,17 W/m²K, runkosyvyydellä 175 mm, sekä 50 mm lisäkoolauksella antaa stationäärisellä tarkastelulla höyrynsulun lämpötilaksi 9,7 °C, jos ulkolämpötilaksi asetetaan – 26 °C ja sisälämpötilaksi + 21 °C. Alumiinirunkoiselta seinärakenteelta on siis syytä vaatia vastaavaa lämpötilaa höyrynsulun pinnassa, jotta rakenteen voi todeta kosteusteknisesti toimivaksi.

4. Yhteenveto

Korkeassa rakentamisessa on ensisijaisen tärkeää valita sellainen julkisivuratkaisu, joka lähtökohtaisesti ei ole kovin herkkä säärasituksille. Tässä lasiverhoidut alumiinirunkoiset pienenälementit ovat vahvoilla, sillä ne kestävät säärasitusta ja niillä pystyy saavuttamaan vaadittavan tiiviyden. Nämä elementit ovat kuitenkin lähtökohtaisesti kehitelty lämpimämpään ilmastoon, joten rakennusfysikaalisessa tarkastelussa pitää erityisesti huomioida sisäilmankosteuden aiheuttamat riskit. Tämän lisäksi tulee tarkistaa rakenteessa käytettyjen materiaalien käyttölämpötilat, sillä lämpötilat elementissä voivat auringonsäteilystä johtuen nousta kriittiselle tasolle etenkin muovisissa lämpökatoissa. Asettamalla höyrynsululle kriittinen lämpötila, joka vastaa tavanomaista puurakennetta ja säätämällä lämpösäteilyä aiheutuvaa lämpökuormaa lasivalinnoilla, voidaan kuitenkin saavuttaa hyvin toimiva julkisivu.

Lähdeluettelo

- [1] Nevander, L. E. ja Elmarsson, B. 1994. Fukthandbok. 2.painos. Stockholm, AB Svensk Byggtjänst och författarna. 538 s.
- [2] Vinha J. et al. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tutkimusraportti 159. Tampere, TTY, Rakennustekniikan laitos. 354 s. + 43 liites.
- [3] Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asumisterveysasetus 545/2015. Helsinki. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- [4] RIL 255-1-2014. Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2014. 500 s.
- [5] Ranta-aho I. 2016. Hormivaikutuksen aiheuttamien painesuhteiden ja ilmavirtojen hallinta korkeissa rakennuksissa. Espoo. Aalto-yliopisto. 108 s.

A2. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Kevytsoralla korjatun välipohjan ja täydentävällä lämmöneristeellä tehdyn kevytsorakaton kosteusteknisen toiminnan varmistaminen

Klaus Viljanen¹ ja Mikko Pöysti²

¹ Vahanen Rakennusfysiikka Oy

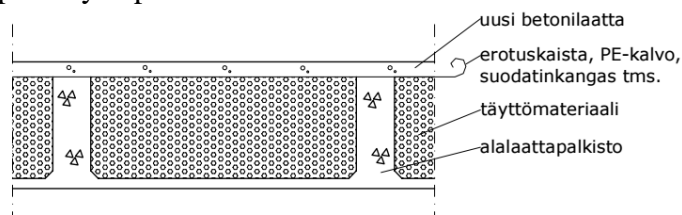
² Leca Finland Oy

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkastellaan kahden kevytsoralla toteutetun rakennetyypin kosteusteknistä toimintaa sekä sitä, miten rakenteet voidaan toteuttaa turvallisesti huomioiden kosteuden hallittu kuivuminen rakenteesta ympäröiviin tiloihin ja ulkoilmaan. Betonirakenteisen välipohjan korjauksessa voidaan välipohjan yläosa korjata uudella betonilaatalla, joka valetaan esimerkiksi kevytsoratäytön päälle. Korjaustyössä on huomioitava niin betonilaatan kuin kevytsorankin sisältämä rakennuskosteus ja varmistettava materiaalien hallittu kuivuminen. Kevytsorakaton toteutusvaiheessa on aina varauduttava sateen esiintymiseen rakennusaikana. Nykyään yleisesti käytetyssä täydentävällä lämmöneristeellä tehdyssä kevytsorakatossa on kiinnitettävä erityistä huomiota rakentamisen aikaiseen kosteudenhallintaan, sillä kosteuden kuivuminen täydentävän eristeen alapuolelta on hidasta. Tämän vuoksi onkin suositeltavaa huomioida yläpohjarakenteen kosteudenhallinta jo suunnitteluvaiheessa valitsemalla kuivumista edesauttava täydentävä eristemateriaali.

1. Johdanto

1900-luvun alkupuolella yleisesti käytetyn välipohjarakenteen kaksoislaattapalkiston korjauksissa vaihdetaan usein rakenteen täyttömateriaali. Uusi täyttömateriaali voi olla esimerkiksi kevytsoraa, jonka päälle voidaan valaa betonilaatta (kuva 1). Korjausmenetelmässä tulee huomioida korjatun rakenteen rakennuskosteus ja sen hallittu kuivuminen ympäristöön. Tutkimuksessa pyritään selvittämään rakennuskosteuden kuivumista em. välipohjasta, kevytsorakerroksessa esiintyviä kosteusolosuhteita kuivumisen aikana sekä betonilaatan alapuolisen höyrynsulkumuovin vaikutusta kevytsoran kosteusolosuhteisiin. Toisessa tarkastelussa käsitellään kevytsorakattoja, joissa rakenteen lämmöneristeen paksuus on tänä päivänä metrin luokkaa, jos rakenne toteutetaan yläpohjan lämmönläpäisykertoimen vertailuarvon $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ tasoisesti. Pyrittäessä ohuempaan ratkaisuun, rakenne voidaan toteuttaa täydentävällä lämmöneristeellä, joka asennetaan kantavan rakenteen päälle ennen kevytsoran asennusta (kuva 4). Tämä lämmöneriste voi olla esimerkiksi mineraalivillaa, polystyreeniä tai polyuretaania. Täydentävän lämmöneristeen käyttö laskee kevytsoran kerrospaksuutta noin puolella, jolloin koko yläpohjan rakennepaksuus laskee merkittävästi. Tutkimuksen toisena tavoitteena on selvittää, miten täydentävä eriste vaikuttaa kevytsorakaton kosteustekniseen toimintaan ja erityisesti kosteudensiirtymiseen höyrynsulun päältä ylöspäin rakenteessa.



Kuva 1. Kaksoislaattapalkiston korjaus uudella täyttömateriaalilla ja pintabetonilaatalla.

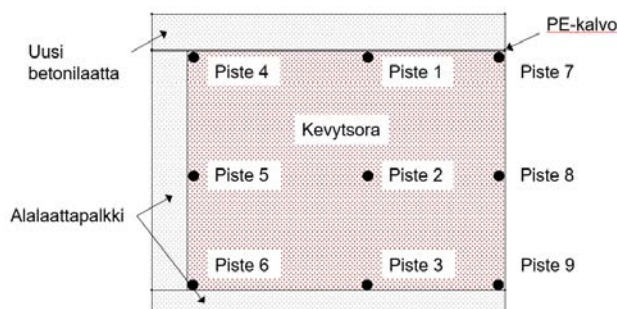
2. Rakennuskosteuden kuivuminen betonirakenteisen välipohjan korjauksessa

2.1 Laskentamallin luonti ja tasapainokosteuskoe

Betonirakenteisten vanhojen välipohjarakenteiden korjauksissa tulee arvioida rakenteen täyttömateriaalin uusimistarve. Kosteus- tai mikrobivaurioitunut orgaaninen täyttömateriaali on yleensä uusittava. Korjauksessa voidaan käyttää kevytsoraa välipohjan uutena täyttömateriaalina. Betonirakenteisessa alalaattavälipohjassa kevytsora asennetaan kuiva- tai märkäpuhalluksella betonirakenteen päälle. Kevytsoran päälle valetaan noin 60–80 mm vahvuinen betonilaatta. Korjausmenetelmässä rakenteen kosteus määrä kasvaa kevytsoran ja tuoreen betonivalun sisältämän rakennuskosteuden vuoksi. Tämän rakennuskosteuden kuivumista vesihöyryn diffuusiolla välipohjaa ympäröiviin tiloihin arvioitiin laskennallisesti Wufi 2D 3.4 -laskentaohjelmalla [1]. Kaksiulotteinen laskentageometria valittiin betonipalkkien jakovälin (1200 mm) perusteella 600 mm levyiseksi alkamaan betonipalkin keskeltä ja ulottumaan kevytsorakerroksen keskelle (kuva 2). Laskentatapauksia oli yhteensä 12, jotka erosivat sillä, kuinka paksu pintabetonilaatta oli, oliko pintabetonilaatan alapuolella höyrynsulkua, paljonko kevytsorassa oli alkukosteutta sekä oliko alapuolinen tila lämmin vai puolilämmin tila. Kuivapuhallettuna kevytsora sisältää alle 1 paino-% kosteutta ja märkäpuhallettuna luokkaa 1,5–3,5 paino-%. Kevytsoran hygroskooppinen tasapainokosteus määritettiin standardien [2] ja [3] mukaisesti ilmastokammio menetelmällä viidellä suhteellisen kosteuden tasolla välillä 33-97 %-RH. Adsorptiolla sitoutuva kosteus määrä on lajikkeella KS 420 K 0,3–0,44 kg/m³ ja kuivumisvaiheessa 0,34–0,47 kg/m³ (taulukko 2). Määritettyä tasapainokosteuskäyrää (desorptio) käytettiin laskennassa kevytsoran materiaaliominaisuutena.

Taulukko 1. Laskentatapaukset ja niissä käytetyt laskentaparametrit.

Tapaus nro	Höyrynsulku	Bet. paksuus [mm]	Kev.sor. kosteus [paino-%]	T sis.[°C]	RH sis. [%]
1	ei	60	0	20	40 ±20
2	ei	80	0	20	40 ±20
3	ei	60	0	10	40 ±20
4	ei	60	2,5	20	40 ±20
5	ei	60	5	20	40 ±20
6	kyllä	60	0	20	40 ±20
7	kyllä	80	0	20	40 ±20
8	kyllä	60	0	10	40 ±20
9	kyllä	60	1	20	40 ±20
10	kyllä	60	1	10	40 ±20
11	kyllä	60	2,5	20	40 ±20
12	kyllä	60	5	20	40 ±20



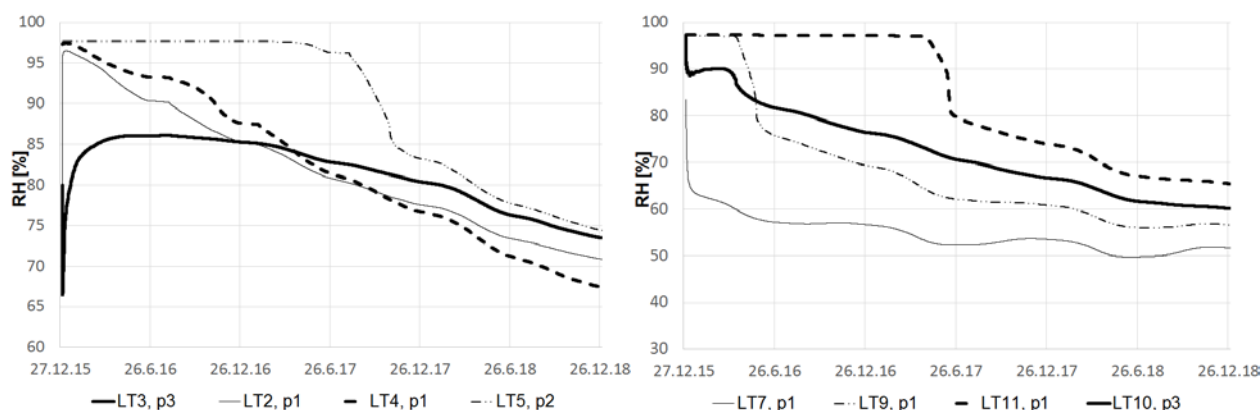
Kuva 2. Välipohjan laskennallisessa tarkastelussa käytetty laskentageometria ja tarkastelupisteet.

Taulukko 2. Tasapainokosteuskokeen tulokset [kg/m^3] kevytsoralajikkeelle KS 420 K [4].

RH [%]	0	33	53	75	85	97
adsorptio	0	0,30	0,31	0,31	0,32	0,44
desorptio	0	0,34	0,35	0,36	0,41	0,47

2.2 Tulokset ja johtopäätökset

Höyrynsuluttomassa rakenteessa uuden betonilaatan kosteus siirtyy osittain alaspäin kevytsoraan ja pitää kevytsoran kosteuden yli 80 % RH tason vähintään vuoden ajan, vaikka kevytsora olisi asennushetkellä kuivaa (kuva 3, vasemmanpuoleinen kuvaaja). Laskentatuloksen perusteella uuden betonilaatan alla on aina suositeltavaa käyttää höyrynsulkua. Höyrynsulullinen rakenne, jossa kevytsoran alkukosteus on 80 % RH tasolla on kosteusteknisesti toimiva (kuva 3, oikeanpuoleinen kuvaaja). Kevytsoran suhteellinen kosteus alenee viikossa tasolle 60–65 % RH. Alkukosteudella 1 paino-% kevytsoran suhteellinen kosteus pysyi yli 75 %:ssa yli puolen vuoden ajan. Tätä korkeammilla alkukosteuksilla, jolloin kevytsora on märkäpuhallettu, voi kevytsoran kosteustaso olla yli 75 % RH usean vuoden ajan. Kevytsoran alkukosteus tulisikin aina pyrkiä minimoimaan (asennus kuivapuhalluksella tai säkkitoimituksena) välipohjajorjauksissa, sillä välipohjarakenteissa ei yleensä ole erillistä kuivatusratkaisua ja kaiken orgaanisen aineksen poistaminen rakenteista on hyvin vaikeaa. Kevytsoran kuivumista voidaan nopeuttaa koneellisella kuivatuksella esimerkiksi asentamalla kevytsoraan salaojaputkisto ja puhallin. Toinen vaihtoehto on antaa kevytsoran kuivua ylöspäin sisäilmaan ennen pintarakenteiden toteutusta. Tätä voidaan tehostaa lämmittämällä välipohjan ala- ja yläpuolista ilmatilaa ja tehokkaalla yläpuolisen tilan ilmanvaihdoilla sekä tarvittaessa ilman kuivauksella.



Kuva 3. Suhteellinen kosteus kevytsorakerroksessa, laskentatapaus (LT) piste (p). Vasemmalla höyrynsuluttomat ja oikealla höyrynsululliset laskentatapaukset.

3. Täydentävällä lämmöneristeellä tehdyn kevytsorakaton kosteusteknisen toiminnan varmistaminen

3.1 Tausta

Yläpohjien lämmöneristystasojen parantuessa kevytsorakatoilla on alettu käyttämään solumuovi- ja mineraalivillalämmöneristeitä täydentävinä lämmöneristeinä vaihtoehtona perinteiselle kevytsorakatonle. Loivissa kattorakenteissa rakenteen kuivumiskyky on keskeinen ominaisuus, jolla varmistetaan rakenteen pitkä elinkaari. Rakenteen materiaalien ja materiaalikerrosten määrän kasvaessa rakenteen rakennusfysikaalinen toiminta voi muuttua, mistä johtuen rakenteen kuivumiskykyä arvioitiin laskennallisesti [5].

3.2 Kevytsorakaton kuivuminen konvektiolla

Koska kevytsorakaton kuivumiskyky perustuu yleensä vesihöyryn konvektioon kevytsorakerroksessa, arvioitiin kevytsoran lämpötilaa (lämpötila määrää ilmaan sitoutuvan vesihöyryn enimmäismäärän) perinteisessä ja täydentävällä eristeellä tehdyssä rakenteessa. Kuivattavan ilmavirtauksen oletettiin tapahtuvan tasaisesti kevytsorakerroksen eri korkeuksilla, jolloin lämpötila ratkaistiin kevytsoran keskikorkeudella. Laskenta tehtiin yksiuotteisesti Wufi Pro 4.2 -ohjelmalla aikariippuvasti vuoden tarkasteluajalla. Täydentävällä eristeellä tehdyssä kevytsorakatossa kevytsoran keskilämpötila on syksyllä ja talvella n. 5 °C alempi ja kesällä n. 3 °C verrattuna perinteiseen kevytsorakattoon. Ilmavirtauksen määrä kevytsorassa arvioitiin aiemman tutkimustiedon [6] perusteella olevan luokkaa 0,0015 m³/sm (missä 1/m tarkoittaa ilmavirtausta metrin kattoleveyttä kohden). Tästä voidaan laskea ilmavirtauksen tuuletusmäärä katoneliölle jakamalla ilmavirtaus tuuletuspituudella. Tuuletuksen kuivatuskyky perustuu kattoon virtaavan ilman kyllästysvajaukseen, joka saadaan laskettua kevytsoran huokosilman kyllästyskosteuden ja ulkoilman absoluuttisen kosteuden erotuksesta (esim. [7] mukaisesti). Kuivumiskykyä arvioitiin katon tuuletuspituuksilla 10 m, 20 m ja 35 m. Tuuletuksen kuivatuskyky laskettiin tunneittain ja kuukausittain Helsingin ulkolämpötilalla (Wufin säätiedosto, joka vastaa julkaisun RIL 107-2000 arvoja) ja vuosittainen kuivatuskyky saatiin kuukausiarvojen summasta. Tuuletuksen kuivatuskyky vuodessa oli perinteisellä katolla 7,6, 13,2 ja 26,5 kg/katto-m² ja täydentävällä eristeellä tehdyssä katolla 4,6, 8,1 ja 16,2 kg/katto-m² (lyhyt tuuletuspituus vastaa maksimikuivumiskykyä ja pisin tuuletuspituus minimikuivumiskykyä). Täydentävä eristys laskee kevytsorakerroksen lämpötilaa, jolloin kuivattavan ilmavirran lämpötila laskee ja samoin ilman kyky sitoa vesihöyryä. Tuuletuksen kuivatuskyky ei kuitenkaan alene täydentävällä eristeellä tehdyssä kevytsorakatossa liiallisesti, vaan on edelleen hyvää luokkaa.

3.3 Kevytsorakaton kuivuminen diffuusiolla täydentävän eristeen alapuolelta

Täydentävällä eristeellä kattorakenteen kuivumiskykyä rajoittaa täydentävän eristeeseen vesihöyryn vastus, mikä hidastaa vesihöyryn siirtymistä eristeeseen alapuolelta ylöspäin kohti kevytsorakerrosta. Vesihöyryn diffuusiota tarkasteltiin tuntikohtaisella laskennalla (kaava 1) ja kokonaiskuivumiskyky laskettiin tästä kuukausittain (taulukko 4) noudattaen taulukon 3 mukaisia laskentatapauksia.

$$g_{diff} = \frac{v_1 - v_2}{Z_v} * 3600 \frac{s}{h} * \frac{1}{1000} \frac{kg}{g} \quad (1)$$

missä g_{diff} = vesihöyryn diffuusiovirta, kg/m²h
 v_1 = vesihöyrypitoisuus täydentävän lämmöneristeeseen alapuolella (g/m³)
 v_2 = vesihöyrypitoisuus (g/m³) kevytsorassa tai ulkoilmassa (ks. taulukko 3)
 Z_v = vesihöyrynvastus (s/m) taulukon 3 mukaiselle diffuusiovirran reitille
 3600 s/h = muunnoskerroin, jolla lasketaan diffuusiovirta tunnissa
 $1/1000 \text{ kg/g}$ = muunnoskerroin, jolla lasketaan diffuusiovirta kiloina

Taulukko 3. Laskentatapaukset ja niissä käytetyt laskentaparametrit.

Tapaus nro	Kuvaus
1	diffuusio täydentävän eristeeseen läpi kevytsor. keskikorkeuteen, RH _{ks} =100 %
2	diffuusio täydentävän eristeeseen läpi kevytsor. keskikorkeudelle, RH _{ks} =80 %
3	diffuusio täydentävän eristeeseen läpi, RH _{ks,ala} =100 %
4	diffuusio täyd. eristeeseen läpi suoraan ulkoilman kosteuspuiteeseen (Hki)

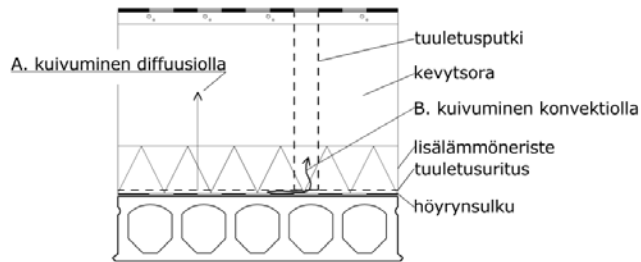
Taulukon 4 mukaisista tuloksista mineraalivillan kuivumiskyky tapauksessa 3 on todennäköisesti todellisuutta suurempi, sillä tapauksessa ei huomioida lainkaan kevytsoran vesihöyrynvastusta, mikä on mineraalivillan vesihöyrynvastukseen verrattuna samaa luokkaa. Tämän perusteella mineraalivillan laskentatapauksen 3 tulosta ei huomioitu. Diffuusiolla vuodessa siirtyvien kosteusmäärien laskennallinen suuruus oli EPS-eristyksellä 0,8–1,3 kg/m² ja mineraalivilla eristyksellä 6,9–9,9 kg/m² eristyspaksuudella 200 mm. Tulosten perusteella täydentävä eriste rajoittaa kosteuden kuivumista rakenteesta ulkoilmaan, jos kosteus sijaitsee eristeen alapuolella.

Taulukko 4. Vesihöyryn diffuusio täydennetyksi lämmöneristetyssä katossa (kg/m²kk) [5].

täydentävä EPS eriste					täydentävä mineraalivillaeriste				
kk	Laskentamalli (taulukko 3)				kk	Laskentamalli (taulukko 3)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	0,11	0,12	0,09	0,13	1	0,80	0,87	2,70	0,99
2	0,12	0,12	0,11	0,13	2	0,87	0,93	3,03	1,01
3	0,10	0,11	0,09	0,13	3	0,77	0,86	2,61	0,97
4	0,10	0,11	0,08	0,13	4	0,73	0,84	2,42	0,99
5	0,06	0,09	0,05	0,11	5	0,48	0,65	1,58	0,85
6	0,04	0,07	0,03	0,10	6	0,29	0,49	0,88	0,77
7	0,04	0,07	0,04	0,08	7	0,33	0,53	1,04	0,57
8	0,03	0,06	0,03	0,07	8	0,25	0,45	0,75	0,55
9	0,06	0,08	0,05	0,09	9	0,45	0,60	1,40	0,70
10	0,08	0,09	0,06	0,11	10	0,58	0,70	1,87	0,80
11	0,09	0,10	0,07	0,11	11	0,65	0,75	2,14	0,81
12	0,10	0,11	0,09	0,12	12	0,74	0,82	2,51	0,91
yht.	0,920	1,13	0,80	1,32	yht.	6,931	8,49	(22,92)	9,92

3.4 Johtopäätökset

Tarkastelujen perusteella täydentävän lämmöneristeen tyyppi vaikuttaa merkittävästi katon kuivumiskykyyn. Täydentävän eristeen valinnassa on huomioitava rakenteeseen todennäköisesti kohdistuvat kosteusrasitukset rakennusaikana ja rakenteen elinkaaren aikana. Mikäli esimerkiksi kattotöiden aikana on todennäköistä, että sadevesi pääsee kantavan rakenteen päälle tai täydentävä eristepaksuus on vähintään 200 mm, on suositeltavaa käyttää vesihöyryä läpäisevää täydentävää lämmöneristettä (esimerkiksi mineraalivillalla, kohta A, kuva 4), mikä mahdollistaa kosteuden nopeamman siirtymisen diffuusiolla ylöspäin tuulettuvaan kevytsorakerrokseen verrattuna vesihöyrytiivimpiin lämmöneristeisiin. Mineraalivillaa käytettäessä on kuitenkin estettävä villan liiallinen kastuminen rakennusvaiheessa. Toinen vaihtoehto on valita täydentäväksi lämmöneristeeksi uritettu levylämmöneriste (yksisuuntaiset urat tai ristiuritus), jolloin urituspinta asennetaan runkolaattaa vasten. Tällöin yläpohjarakenne voidaan tarvittaessa kuivattaa jälkepäin asentamalla vesikatteen läpi rakenteeseen tuuletusputket, jotka ulottuvat lämmöneristeen urituksen tasolle (kohta B, kuva 4). Riippuen kuivatettavan kosteuden määrästä tai halutusta kuivatusnopeudesta, voidaan tuuletusputki varustaa huippuimurilla tai kuivauslaitteistolla. Kolmas vaihtoehto on toteuttaa kattotyöt sääsuojattuna, jolloin kattoon ei pääse ylimääräistä rakennuskosteutta rakennusvaiheessa. Tällöinkin yläpohjarakenteen on kuivatettava materiaalien sisältämä kosteus haittaamatta, mikä oikein toteutetussa kevytsorakatossa tapahtuu parin vuoden kuluessa katon valmistumisesta. Solumuovieristeitä käytettäessä suositeltava täydentävän lämmöneristeen paksuus on alle 200 mm. Lisäksi, täydentävällä lämmöneristeellä tehdyssä katossa on suositeltavaa käyttää paremmin ilmaa läpäisevää kevytsoralajiketta, jolla varmistetaan rakennuskosteuden tehokas kuivuminen.



Kuva 4. Täydentävällä lämmöneristeellä tehdyn kevytsorakaton rakennuskosteuden kuivuminen höyrynsulun päältä tapahtuu diffuusiolla tai konvektiolla.

4. Yhteenveto

Rakenteiden kosteustekninen toiminta tulee varmistaa niin korjaus- kuin uudisrakentamisessakin. Välipohjan korjauksessa rakenteeseen voidaan tuoda lisää kosteutta esimerkiksi pintabetonilaatasta. Jo korjaussuunnitteluvaiheessa tulee välipohjarakenteessa huomioida lisäkosteuden hallittu kuivuminen rakenteesta. Laskennallisen tarkastelun perusteella pintabetonilaatan kosteuden siirtyminen alaspäin rakenteessa voidaan tehokkaasti estää betonilaatan alapuolisella muovikalvolla. Lisäksi laatan alle asennettavan kevytsoran sisältämä kosteus on pyrittävä minimoimaan, sillä kosteus kuivuu välipohjasta hitaasti ympäröiviin tiloihin.

Täydentävää lämmöneristettä käytettäessä kevytsorakaton suunnittelussa on varauduttava lämmöneristekerroksen työnaikaiseen kastumiseen. Kosteustekninen toiminta varmistetaan jo suunnitteluvaiheessa esimerkiksi täydentävän lämmöneristeen valinnalla. Yläpohjarakenteen kuivumiskyky on merkittävästi suurempi avohuokoisilla lämmöneristeillä, joiden vesihöyrynläpäisevyys on lähellä ilman vastaavaa arvoa. Mikäli yläpohjan lämmönläpäisykerroin halutaan alhaiseksi mahdollisimman matalalla rakennekorkeudella, tulee solumuovilämmöneristeitä käyttäessä varmistua rakenteen kuivumiskyvystä esimerkiksi käyttämällä uritettua lämmöneristettä tai yläpohjarakenteen työnaikaisella sääsuojauksella.

Lähdeluettelo

- [1] Kevytsoralla korjatun välipohjan kosteustekninen toimivuus. Tutkimusselostus. Vahanen Rakennusfysiikka Oy. 2016. 16 + 2 s.
- [2] SFS-EN 12571. Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of hygroscopic sorption properties (ISO 12571:2013). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [3] SFS-EN ISO 12570. Rakennusmateriaalien ja tuotteiden lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Kosteuden määrittäminen korotetussa lämpötilassa. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [4] Kevytsoralajike KS 420 K. Tasapainokosteuskoe. Tutkimusraportti. Vahanen Rakennusfysiikka Oy. 2017. 4 s.
- [5] Lisäeristetyin kevytsorakaton rakennusfysiikkaalinen toiminta. Raportti A. Tutkimusselostus. Vahanen Rakennusfysiikka Oy. 2012. 25 + 7 s.
- [6] Leca kevytsorakatto, vanha suunnitteluohje. Numero 06 502.
- [7] Viljanen, K. Loivien kattorakenteiden kosteusmittaus- ja kuivatusmenetelmät. Rakennusfysiikka 2015 -seminaarijulkaisu.

Maanvastaisten seinien lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Anssi Laukkarinen, Roosa Heiskanen ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa käsitellään maanvastaisten seinien rakennusfysikaalista toimivuutta ja esitellään niiden laskentatarkastelujen tuloksia. Maanvastaisiin seiniin vaikuttavat sisä- ja ulkoilman sekä maan olosuhteet yhtä aikaa, aiheuttaen toisiinsa nähden ristiriitaisia vaatimuksia rakenteiden suunnittelulle. Maanvastaisten rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa parantavia toimenpiteitä ovat muun muassa sadekuormien ohjaaminen rakennuksesta pois, kapillaarikatkerroksen käyttäminen ja toimiva salaojitus, maanvastaisen seinän lämmön- ja kosteudeneristyksen asettaminen kantavan seinän ulkopuolelle sekä anturan kautta tapahtuvan diffuusiovirran katkaiseminen. Jos sisäpuolista lämmöneristystä on tarpeen käyttää, tarkastelluista tapauksista parhaiten toimi enintään 50 mm paksu, tehokkaasti kapillaarista vettä siirtävä kalsiumsilikaattieriste.

1. Johdanto

1.1 Yleistä

Maanvastaisella seinällä tarkoitetaan tässä artikkelissa ulkoseinää, joka rajoittuu toiselta puoleltaan maahan ja toiselta puoleltaan lämpimiin huonetiloihin. Maanvastainen seinä toimii yleensä maanpaineseinänä siirtäen maamassasta aiheutuvat vaakasuuntaiset kuormat anturoille, väliseinille ja muille kantaville rakenteille. Seinärakenne saattaa rajoittua yläosastaan osittain ulkoilmaan, jolloin seinän ylä- ja alaosiin kohdistuvat erilaiset lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan rasitukset.

Vanhemmissa pientaloissa on rakennusten alla olevia kellaritiloja voitu käyttää kylmävarastoina, mutta uudemmissa rakennuksissa ja remonttien yhteydessä näitä tiloja on voitu ottaa myös normaaliin asumiskäyttöön. Kellaritiloihin on voitu rakentaa jälkikäteen myös esimerkiksi sauna- ja peseytymistiloja.

Maanvastaisten seinien toteutuksessa on esiintynyt erilaisia puutteita, kuten kapillaarikatkerroksen puuttuminen perusmaan ja maanvastaisten rakenteiden välistä, puutteita salaojissa tai niiden toimivuudessa, seinän vedeneristyksen vuotamista, materiaalien homehtumisen mahdollistavia lämmöneristysratkaisuja ja erilaisten ihmisille haitallisten aineiden käyttöä rakennusmateriaaleissa. Näistä on voinut seurata homeenkasvua seinärakenteissa, pintojen värimuutoksia, maalien irtoilua tai haitallisten aineiden irtoamista sisäilmaan.

Tämän artikkelin tarkoituksena on kuvata laskentatuloksia ja suosituksia maanvastaisten seinärakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Artikkelin perustuu COMBI-hankkeen osana tehtyyn Roosa Heiskanen diplomyöhön, joka sisältää yksityiskohtaisemmat kuvaukset laskentatarkastelujen taustoista, toteutuksesta ja tuloksista [1].

1.2 Olosuhteet maassa

Maanvastaisten seinien lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan vaikuttavat olennaisesti olosuhteet maassa seinän ulkopuolella. Siirryttäessä yksiulotteisessa lämmönjohtumistapauksessa maanpinnalta syvemmälle maahan, ulkoilman vuosittaiset lämpötilavaihtelut vaimenevat ja lähestyvät lopulta maanpinnan pintakerroksen vuosikeskiarvoa. Tarkasteltavasta tapauksesta riippuen lämpötilaolosuhteet ovat tasaantuneet lähelle vuosikeskiarvoa noin 4,5...12,5 metrin syvyydellä maanpinnasta [2, 3].

Rakennus mahdollisine kellarikerroksineen muodostaa maanpinnalle lämmönlähteen, jonka vaikutus on suurin heti rakennuksen vieressä ja vaimenee sekä vaaka- että pystysuunnassa rakennuksesta poispäin. Rakenteiden lämpötekniisiä laskelmia ohjeistava standardi SFS-EN ISO 10211 [4] määrittelee simulointimallin reunojen etäisyydeksi rakennuksesta vähintään $2,5b$, jossa b on rakennuksen leveys. Tällöin esimerkiksi 8 m leveälle rakennukselle simulointimallissa tulisi olla vähintään 20 m maata sekä rakennuksen ala- että ulkopuolella. Laskentamallin reunoilla käytetään edellä mainitussa standardissa adiabaattireunaehdtoa, eli että kyseisten reunojen yli ei tapahdu energian siirtymistä.

Standardissa SFS-EN ISO 13370 [3] esitetään menetelmä ajasta riippuvia simulointeja varten, jossa analyttisesti tai numeerisesti lasketusta koko alapohjan lämpöhäviöstä lasketaan ohuen maakerroksen alapuolinen tehollinen lämpötila. Tämä lämpötila on tarkoitettu asetettavaksi simulointimallissa lattian alapuoliseksi reunaehdoksi.

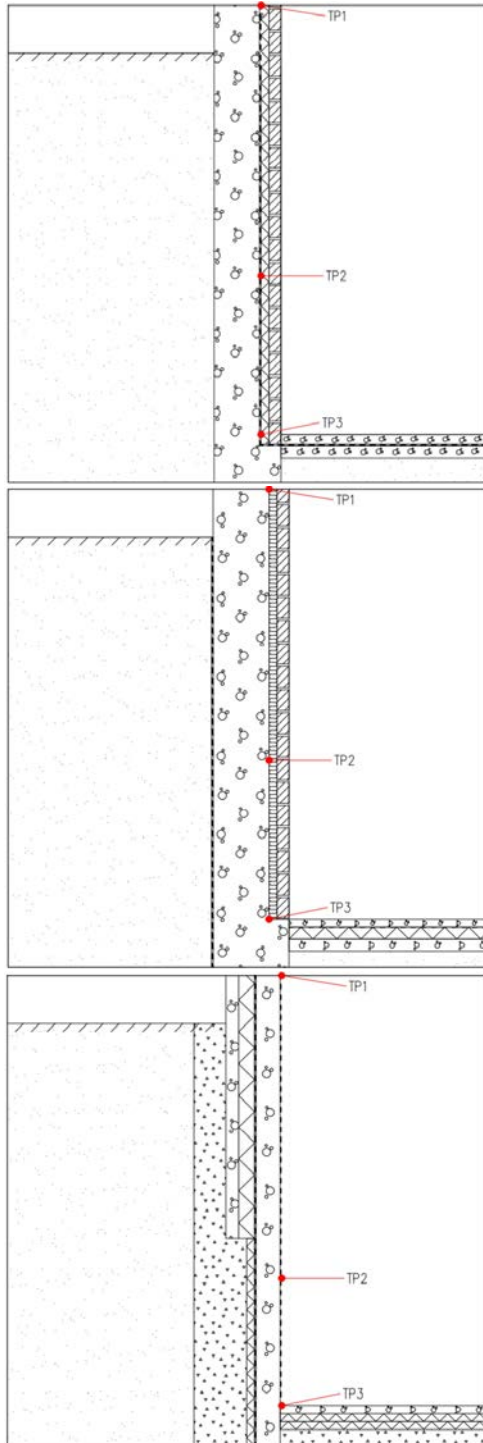
Ilmassa ja maassa oleva kosteus kiertää siten, että sateena taivaalta tuleva vesi pyrkii valumaan maamassojen läpi peruskallion päällä olevaan pohjavesikerrokseen asti, kun taas kapillaariset voimat ja haihtuminen maan pinnasta pyrkivät samaan aikaan nostamaan vettä maasta pois. Näiden lisäksi korkeuserot maan pinnalla ja maassa voivat aiheuttaa veden valumista matalampaa korkeusasemaa kohti. Maan huoneilman olosuhteita viileämpien lämpötilojen ja edellä mainittujen merkittävien kosteuskuormien seurauksena suhteellinen kosteus maassa on Suomen oloissa tyypillisesti 100 % RH tai hyvin lähellä sitä [5]. Suhteellisen kosteuden ollessa jatkuvasti hyvin korkea, aiheuttavat lämpötilaerot vesihöyryn diffuusiovirtauksia matalampaa lämpötilaa kohti.

2. Menetelmät

2.1 Tarkasteltujen rakenteiden, tarkastelupisteiden ja laskennan lähtötietojen kuvaus

Työssä tarkasteltujen rakenteiden perustyyppit on esitetty kuvassa 1. Laskentatarkastelut tehtiin rakennusfysikaalisiin simulointeihin soveltuvalla Delphin 5.8.3 -ohjelmalla. Laskentamallit pyrittiin ensin tekemään yhdistettyinä lämpö- ja kosteusmalleina, mutta tapausten kaksiulotteisen geometrian ja numeerisesti haastavien olosuhteiden vuoksi laskenta jouduttiin jakamaan kunkin rakenteen osalta kahteen osaan: Ensimmäisessä vaiheessa laadittiin kustakin rakenteesta lämpötekniisen toiminnan malli, jossa oli seinä- ja lattiarakenteiden lisäksi kolme metriä perusmaata rakennuksen sivulla ja alapuolella.

Kakkosvaiheessa laskentamalli muodostettiin vain seinä- ja lattiarakenteesta, mutta tällä kertaa yhdistettynä lämpö- ja kosteusmallina. Rakenteiden maata vasten olevien pintojen lämpötiloiksi määritettiin ykkösvaiheen laskelmasta tallennetut rakenteiden pintalämpötilat. Jatkuva vesikontakti hidasti laskentaa niin paljon, että kapillaarinen kosteuden siirtyminen rakenteisiin jätettiin laskentatarkasteluista pois.



Maanvastainen seinä 1959

Sisäpuolinen vedeneristys ja lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Tiilimuraus 75 mm
2. Lastuvillalevy 50 mm
3. Bitumisively
4. Betoni 350 mm
5. Perusmaa

Kosteudeneristyskerros kulki yhtenäisenä lattian ja seinän kautta. Sisäpuolisten korjausten tapauksessa seinän kosteussulku poistettiin. Ulkopuolisten korjausten yhteydessä ulkopuolelle lisättiin kosteussulku.

Maanvastainen seinä 1963

Ulkopuolinen vedeneristys ja sisäpuolinen lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Tiilimuraus 75 mm
2. Mineraalivilla + koolausta 50 mm, koolausta ei huomioitu laskelmissa
3. Betoni 350 mm
4. Bitumisively
5. Perusmaa

Seinän kosteussulku kulki laskentamallissa seinän ulkopinnassa seinän alareunasta maanpinnan tasalle asti. Lattiasa ei ollut erillistä kosteussulkua.

Maanvastainen seinä 1990

Ulkopuolinen vedeneristys ja lämmöneristys

Materiaalikerrokset laskentamallissa sisältä ulos:

1. Betoni 150 mm
2. Bitumikermi
3. EPS-eriste; paksuus maanpinnasta yhden metrin syvyyteen asti 100 mm, jonka jälkeen 50 mm
4. Betoninen kuorielementti; maanpinnasta yhden metrin syvyydelle
5. Salaojasora, vähintään 200 mm
6. Perusmaa

Seinän kosteudeneristyskerros kulki laskentamallissa kantavan seinän ulkopinnassa seinän alareunasta ulkoilmaa vasten olevan osan yläreunaan asti.

Kuva 1. Laskennallisesti tarkastelujen rakenteiden perustyyppit ja tarkastelupisteet. Seinän keskellä oleva tarkastelupiste (TP2) oli noin 1,4 metrin syvyydellä maanpinnasta. Tarkastelupiste TP3 oli lattian yläpinnan tasolla.

Maan suhteelliseksi kosteudeksi asetettiin 100 % RH. Sisäilman olosuhteina käytettiin lämpötilaa 21 °C ja RIL-107-2012, kosteusluokan 2 mukaista kosteuslisää (5 g/m³ talvella ja 2 g/m³ kesällä). Ulkoilman olosuhteina käytettiin rakennusfysiikaalisten testivuosien mukaisia arvoja. Laskennan aloituslämpötila oli 7 °C sekä suhteellinen kosteus vanhoissa rakenteissa 97 % RH ja maassa 99 % RH. Uusien materiaalien ja vanhojen kuivatettavien rakenteiden alkutilanteen suhteelliseksi

kosteudeksi asetettiin 80 % RH (ulkoilman vuosikeskiarvo). Materiaaliominaisuuksina käytettiin lähteen [6] liitteen 2 mukaisia arvoja, joita täydennettiin kalsiumsilikaattilevyjen osalta lähteen [7] mukaisilla tiedoilla.

Laskennasta saatuja lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoja arvioitiin vertailemalla eri tapausten tuloksia toisiinsa kuvaajien avulla sekä suomalaisen homemallin [8] avulla laskettujen homeindeksin maksimiarvojen perusteella. Laskentajakso oli viisi vuotta ja homeindeksin maksimiarvo laskettiin viimeisen vuoden tunnitaisista tuloksista.

3. Tulokset

Taulukoihin 1-3 on koottu otos lähteessä [1] esitetyistä laskentatuloksista ja niissä on pyritty kuvaamaan eri kosteuslähteiden vaikutuksia eri lämmöneristeitä ja niiden sijoittelua käytettäessä. Taulukossa 1 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1959 esimerkkitapauksesta.

Taulukko 1. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1959 esimerkkitapauksesta. up = seinän ulkopinta, sp = seinän sisäpinta.

Tapaus	Rajapinnan materiaalit	Tarkastelupiste			
		HHL	1	2	3
lähtötilanne	bitumi + lastuvilla	2	5,3	0,3	0,0
eristämätön (sisäpuoliset rak. purettu)	betoni + sisäilma	3		~0	
up EPS 100 mm, sp säilytetty	bitumi + lastuvilla	2		~0	
up EPS 100 mm, sp purettu	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm	betoni + EPS	3	2,2	2,8	3,4
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,3	0,0	2,8
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,0	0,0	0,3
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3	1,0	0,0	3,4

Sisäpuolista vedeneristettä käytettäessä sisäilmasta diffuusiolla kulkeutuva kosteus on maanvastaisen seinän sisäpinnassa olevan lastuvillalevyn suurin kosteuslähde. Homeindeksi levyn ulkopinnassa oli korkein ulkoilmaa vasten olevan seinän osan kohdalla, koska kyseisessä kohdassa alhainen lämpötila aiheutti suhteellisen kosteuden nousemisen korkealle tasolle. Sisäpuolisten rakenteiden purkaminen mahdollisti sisäpinnan kuivumisen, mutta lämmöneristämätön rakenne heikentää lämpövihiytisyyttä. Ulkopuolinen lisälämmöneristys ja kosteussulku paransivat rakenteen toimintaa riippumatta siitä, purettiinko vanha rakenne vai ei.

Taulukossa 2 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1963 esimerkkitapauksesta.

Taulukko 2. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1963 esimerkkitapauksesta. up = seinän ulkopinta, sp = seinän sisäpinta.

Tapaus	Rajapinnan materiaalit	Tarkastelupiste			
		HHL	1	2	3
lähtötilanne	betoni + mineraalivilla	3	1,9	1,6	3,4
eristämätön (sisäpuoliset rak. purettu)	betoni + sisäilma	3		~0	
up EPS 100 mm, sp säilytetty	betoni + mineraalivilla	3	0,0	0,0	2,9
up EPS 100 mm, sp purettu	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm, RH alussa 97 %	betoni + EPS	3	2,0	2,2	3,4
sp EPS 50 mm, RH alussa 80 %	betoni + EPS	3	1,5	0,0	3,4
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,2	0	2,7
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3	0,0	0,0	0,3
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3	0,6	0,0	3,4

Lähtötilanteessa seinän yläosassa homeindeksin maksimiarvon tippuminen vuoden 1959

tapaukseen verrattuna johtui todennäköisesti suurelta osin homehtumisherkkyyssluokan muuttumisesta. Seinän alaosassa homeindeksin maksimiarvojen kasvaminen on todennäköisesti johtunut kosteussulun siirtämisestä, joka on mahdollistanut kosteuden nousemisen maasta anturan kautta seinän alaosaan ja sisäpuolisen lämmöneristeen pintaan asti.

Sisäpuolisena eristyksenä enintään 50 mm paksu CaSi 2 -kalsiumsilikaattieriste tuotti homeindeksin $M_{max} < 1$ olevat tulokset. EPS-eristettä on käytetty esimerkkinä solumuovieristeestä, mutta muutama vertailulaskelma tehtiin myös XPS-eristeellä. Tapauksessa, jossa seinän alaosaan nousee kosteutta maasta, XPS-eristeen tai muun vastaavan tiiviimmän materiaalin käyttäminen lähtökohtaisesti hidastaa kosteuden siirtymistä diffuusiolla sisäilmasta seinärakenteeseen, mutta toisaalta hidastaa maasta siirtyvän kosteuden kuivumista seinästä sisäilmaan. EPS-eristeen korvaaminen XPS-eristeellä tai kyseisten eristetyyppien paksuuden muuttaminen ei siis olennaisesti muuttanut laskelmista tehtyjä päätelmiä.

Seinän alkutilanteen suhteellinen kosteus vaikutti tuloksiin, mutta pitkällä aikavälillä (5–10 vuotta) olosuhteet tasaantuvat samoihin olosuhteisiin riippumatta alkutilanteesta. Tällöin rakennusaikaisen kosteuden kuivattaminen on hyödyllistä vain siinä tilanteessa, että käytönaikaiset kosteusolosuhteet ovat rakennusaikaista tilannetta kuivemmat.

Taulukossa 3 on esitetty homeindeksin maksimiarvoja vuoden 1990 esimerkkitalouksesta.

Taulukko 3. Homeindeksien maksimiarvoja vuoden 1990 esimerkkitalouksesta.

Tapaus	Rajapinnan materiaalit	Tarkastelupiste			
		HHL	1	2	3
lähtötilanne	betoni + sisäilma	3		~0	
sp EPS 50 mm, ak 97 % RH	betoni + EPS	3	0,0	0,0	0,8
sp EPS 50 mm, ak 80 % RH	betoni + EPS	3	0,0	0,0	0,6
sp CaSi 1, 50 mm	betoni + CaSi	3		~0	
sp CaSi 2, 50 mm	betoni + CaSi	3		~0	
sp kevytbetoni 50 mm	betoni + kevytbetoni	2/3		~0	

Homeindeksin maksimiarvot olivat sisäpuolisia lämmöneristeitä käytettäessä alhaisempia kuin vuoden 1963 esimerkkitalouksissa, joka oletettavasti johtui samaan aikaan käytetystä ulkopuolisesta lämmöneristyksestä.

Kolmea eri esimerkkitalousta tarkasteltiin myös sisäpuolisella 50 mm paksulla CaSi 2 -eristeellä tulevaisuuden ilmastossa (Jokioinen 2050). Laskentatulosten perusteella homeindeksien maksimiarvot olivat käytännössä samansuuruiset molemmissa ilmasto-olosuhteissa. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että kriittisten tarkastelupisteiden olosuhteet olivat vahvasti kytköksissä sisäilman olosuhteisiin ja maasta tuleviin kosteuskuormiin, jolloin ulkoilman olosuhteiden muuttamisen vaikutus jäi hyvin pieneksi.

4. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti maanvastaisten seinien rakennusfysikaalista toimintaa. Ajasta riippuvien lämpö- ja kosteusteknisten ilmiöiden huomioon ottamisen ja laskenta-ajan kohtuullistamisen yhdistämiseksi tarkasteltavat rakenteet jouduttiin simuloimaan kahdessa osassa, jolloin ensin laskettiin rakenteiden reunojen lämpötilaolosuhteet, joita sitten käytettiin geometrialtaan pienemmän, mutta yhdistetyn lämpö- ja kosteusmallin reunaehtoina.

Ulkoilma, sisäilma ja maa vaikuttavat maanvastaisiin seiniin eri tavoin, jolloin koko rakenteiden

toimivuuden varmistamiseksi joudutaan muun muassa ottamaan huomioon vastakkaisiin suuntiin vaikuttavia kosteuslähteitä. Eristämättömän, massiivisen betonirakenteen sisäpinoilla homeindeksien maksimiarvot pysyvät alhaisella tasolla, mutta tällaisen rakenteen pintalämpötilat voivat laskea liian alhaisiksi ja lämpöhäviöt liian suuriksi.

Tarkastelluista tapauksista parhaiten toimivat ne, joissa sekä lämmön- että kosteudeneriste olivat kantavan rakenteen ulkopuolella, jolloin sisäilmaa vasten olevat rakenteet jäivät näiden lämpimälle ja kuivalle puolelle.

Jos lämmön- ja kosteudeneristeitä ei kuitenkaan ole jostain syystä mahdollista asettaa rakenteen kantavan rakenteen ulkopuolelle, on toissijaisena vaihtoehtona käyttää sisäpuolista lisälämmöneristystä. Tällöin homeen kasvun käynnistymisen raja-arvon ($M_{max} < 1$) toteutti tarkastelluista tapauksista vain enintään 50 mm paksu, tehokkaasti kapillaarista kosteutta siirtävä kalsiumsilikaattieriste ($A_w = 1,1 \text{ kg}^2/(\text{m}^2\text{s}^{0,5})$; $\mu = 3,8$; $K_{l,eff} = 2,3\text{E-}8 \text{ s}$; $\lambda_{dry} = 0,069 \text{ W}/(\text{mK})$).

Nyt tehdyissä laskentatarkasteluissa ei ollut mukana maasta kapillaarisesti nousevaa vettä, vaan ainoastaan diffuusiovirta jatkuvasta 100 % RH olosuhteista. Rakenteisiin kapillaarisesti nouseva vesi voi aiheuttaa vielä nyt tarkasteltuja tapauksia merkittävästi suuremman kosteuskuorman, joten esimerkiksi sadevesien poisjohtamisesta ja salaojien toimivuudesta tulee pyrkiä varmistamaan rakennusten ylläpidon ja korjausten yhteydessä. Myös kosteuden nousua maasta anturan ja perusmuurin kautta tulisi pyrkiä estämään.

Lähdeluettelo

- [1] Heiskanen, Roosa (2016) Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristäminen. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24185>.
- [2] Hagentoft, Carl-Eric (2001) Introduction to Building Physics, Studentlitteratur AB, Lund, Sweden, 379 s.
- [3] SFS-EN ISO 13370 (2017) Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods. Finnish Standards Association SFS, Helsinki, Finland.
- [4] SFS-EN ISO 10211 (2017) Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations. Finnish Standards Association SFS, Helsinki, Finland.
- [5] Rantala, Jukka & Leivo, Virpi (2009) Heat, Air, and Moisture Control in Slab-on-ground Structures, Journal of Building Physics, Vol. 32, Iss. 4, pp. 335–353. <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1744259108093919>.
- [6] J. Vinha, A. Laukkarinen, M. Mäkitalo, S. Nurmi, P. Huttunen, T. Pakkanen, P. Kero, E. Manelius, J. Lahdensivu, A. Köliö, K. Lähdesmäki, J. Piironen, V. Kuhno, M. Pirinen, A. Aaltonen, J. Suonketo, Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 2013, 354 p. Saatavilla osoitteesta: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2949-8>.
- [7] Vainio, Maarit (2016) Kalsiumsilikaattilevyjen ja ontelolaattojen rakennusfysikaaliset kosteusominaisuudet. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma, 67 s. + 19 liites. p. <http://URN.fi/URN:NBN:fi:tty-201611244761>
- [8] T. Ojanen, H. Viitanen, R. Peuhkuri, K. Lähdesmäki, J. Vinha, K. Salminen, Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials, ASHRAE Buildings XI Conference, Dec. 5-9, 2010 Cleawater Beach, Florida, pp. 1–10.

Maanvaraisten alapohjarakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta ja sisäilmälähtöiset virhetulkinnat

Ari-Veikko Kettunen
Vahanan Rakennusfysiikka Oy

Tiivistelmä

Maanvastainen alapohjarakenne on aina ollut yleisin ja kustannustehokas alapohjaratkaisu. Variaatioita on monia, lämmöneristetty ratkaisu on pitkään ollut vallalla. Viime vuosisadan alkupuolelta 1970 luvulle asti käytettiin paljon tavalla tai toisella kosteusherkkiä eristemateriaaleja kuten sementtilastuvillaa, (tuotenimet Tojax, Toja-levy). Ko. rakenteita tutkitaan ja usein löydetään teknisesti hyväkuntoisia lähes uudenveroisia Tojax-levyjä pohjabetonin päältä, ellei ole ollut poikkeavaa kosteusrasitusta, kuten esimerkiksi putkistovuotoja tai vedeneristevaurioita märkätiloissa. Levyistä saattaa kuitenkin löytyä mikrobikasvustoja erityisesti alapinnoiltaan. Nykyaikainen rakentamismääräysten mukainen alapohja poikkeaa vanhoista rakenteista yleensä siten, että pohjabetonia ei tehdä, lämmöneristemateriaali on polystyreeniä ja salaojasoran sijasta on käytetty sepeliä. Nykyaikaisesta rakenteesta löydetään kuitenkin lämmöneristekerroksen alapinnasta myös mikrobikasvustoa, riittävä määrä ravinteita löytyy uudestakin rakenteesta aina, ja kosteus ja lämpötila on riittävä mikrobikasvulle. Eli uuden rakenteen ja vanhan rakenteen välillä ei ole eroa sen osalta, että lämmöneristekerroksen alapinnassa on mikrobikasvua. Ero ko. rakenteiden välillä on siinä, että vanhassa kaksoislaattarakenteessa on ilmatiiveyttä lisäävä pohjalaatta ja uuden rakenteen sepelikerros mahdollistaa ilmavirtaukset alapohjassa paljon helpommin. Sisäilman laadun kannalta rakenteen tiivistäminen uudessa rakenteessa muodostuu entistä tärkeämmäksi.

1. Johdanto

Maanvastainen alapohjarakenne on aina ollut yleisin ja kustannustehokas alapohjaratkaisu. Variaatioita on monia, kuten lämmöneristämätön suoraan sorastuksen päälle valettu pohjalaatta sekä sen yläpuolinen bitumointi ja pintavalu. Jos maapohjan kosteustuotto ei ole äärimmäinen ja bitumoinnissa ei ole säästelyä, on alapohjarakenne saattanut toimia hyvinkin reilut 100 vuotta, eikä peruskorjauksessa kaiken piikkaaminen ole aina välttämätöntä vielääkään.

2. Maanvarainen alapohjarakenne

2.1 Kosteustekninen toiminta

Maanvaraisen alapohjarakenteen kosteustekninen toiminta perustuu kolmeen eri ratkaisuun:

1. Pohjavesi/orsivesi/vajovesi pidetään riittävän alhaalla salaojajärjestelmällä
2. Kapillaarinen veden nousu perusmaasta yläpuolisiin rakenteisiin estetään kapillaarikatkerroksella
3. Vesihöyryn haitallinen diffuusio kapillaarikatkerroksesta estetään lämmöneristekerroksella saavutettavalla lämpötilaerolla

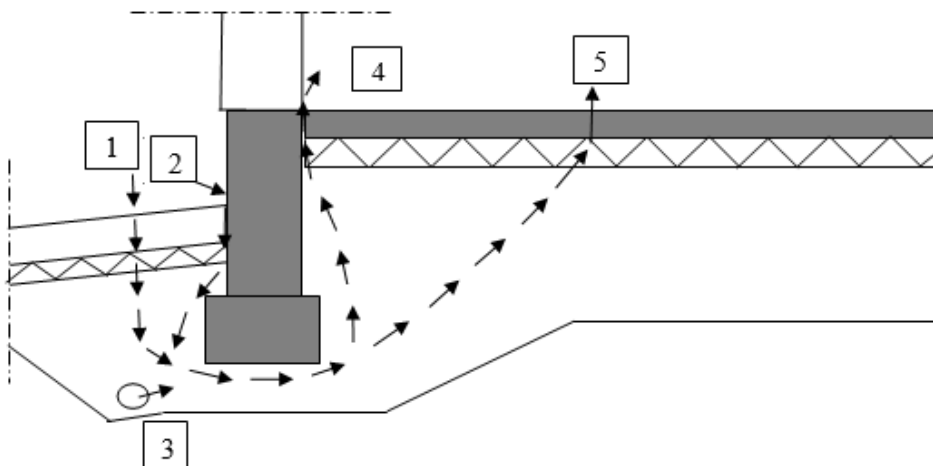
Näillä kolmella ratkaisulla pystytään varmistamaan alapohjarakenteen yläosan, yleensä betonilaatan päällysteineen, kosteustekninen toiminta siten että kosteusvaurioita ei tule, kunhan huolehditaan rakennuskosteuden riittävästä poistumisesta ennen betonilaatan päällystämistä vaurioherkillä materiaaleilla. Alapohjan kapillaarikatko- ja lämmöneristekerroksen alaosan kosteuspitoisuutta ei näillä ratkaisulla kuitenkaan pystytä varmuudella pitämään niin alhaisessa kosteuspitoisuudessa, ettei mikrobikasvulle olisi mahdollisuutta muodostua ko. rakenneosiin.

Kapillaarikatko oikein toimiessaan pysäyttää kapillaarisen vedennousun kapillaarikatkossa, mikä tarkoittaa sitä, että jollakin korkeudella kapillaarikatkoa suhteellinen kosteus on >98 % ja sen yläpuolella suhteellinen kosteus hyvin lähellä 98 %. Eli lämmöneristeen rajapinnassa suhteellinen kosteus voi olla lähellä kapillaarialuetta. Tällöin myös lämmöneristekerroksen alaosassa suhteellinen kosteus on alueella jossa mikrobit voivat kasvaa.

Vanhoissa alapohjarakenteissa on usein käytetty ns. pohjabetonia lämmöneristeen alapuolella. Mikäli kapillaarikatko toimii suunnitellusti, ei tilanne muutu olennaisesti nykyaikaiseen ratkaisuun verrattuna. Pohjabetonin päällä saattaa olla bitumointi, mikä varmistaa ratkaisun kosteusteknistä toimintaa alhaalta päin tulevan kosteuden suhteen, eikä vanhat lämmöneristeet kuten Tojax heikon eristävyytensä takia tai Styrox ohuen kerrospaksuutensa takia aiheuta sisäpuolisen kosteuden tiivistymisriskiä bitumoinnin pinnalle. Mikäli sorasta tehtyä kapillaarikatkokerrosta ei ole tai se ei toimi suunnitellusti, bitumointi estää alhaaltapäin tulevan kosteuden nousun. Bitumisivelyn tekniseksi käyttöäksi on arvioitu noin 40 vuotta, minkä jälkeen bitumin katsotaan haurastuvan ja sen vedeneristysominaisuudet muuttuvat. Mikäli bitumointi on ikääntymisen takia alkanut halkeilla, voi halkeamien kohdille muodostua tällöin kalkki/suola muodostumia mitkä kertovat veden faasimuutoksesta vedestä vesihöyryksi bitumikerroksen kohdalla, eli bitumi toimii edelleen kapillaarikatkona. Kapillaarikatkon toiminta pystytään alapohjarakenteissa selvittämään luotettavasti kosteusmittauksilla eri rakennekerroksista, koska alapohjarakenteet ovat termisesti erittäin stabiileja suuren massansa takia ja veden kapillaari-ilmiossa rakenteissa on suuri hystereesi.

2.2 Ilmavirtaukset alapohjassa ja sisäilma

Rakennukset ovat lämpöteknisen toiminnan takia Suomen ilmasto-olosuhteissa lähes aina alipaineisia alaosaltaan ulkoilmaan verrattuna, Vaikka ilmanvaihto säädettäisiin täysin tasapainoon alaosan alipaineisuus ei savupiippuilmion takia katoa, Tämä tarkoittaa sitä, että ilmavirtaukset pyrkivät tulemaan alapohjarakenteista ja maaperästä huonetilaan. Ko. asiaa on mitattu sadoissa tutkimuskohteissa tuhansista mittauspisteistä. Ilmavirtausten reitit ulkoilmasta huonetilaan voivat olla kuvan 1 mukaisia.



1. Ilmavirtaus pintamaakerrosten läpi salaojasoraan/sepeliin
2. Ilmavirtaus perusmuurilevyn kautta salaojasoraan/sepeliin
3. Ilmavirtaus salaojaputkien kautta salaojasoraan/sepeliin
4. Ilmavirtaus salaojasorasta lämmöneristekerrosten saumojen ja betonilaatan kutistumisen avaamien saumojen kautta huonetilaan.
5. Ilmavirtaus salaojasorasta lämmöneristekerrosten saumojen ja betonilaatan halkeamien ja läpivientien kautta huonetilaan.

Kuva 1. Ilmavirtausten reittejä ulkoilmasta huonetilaan.

Kuvan 1 mukaisten virtausreittienmatkalla ilmavirtaus kulkee vääjäämättä mikrobikasvustoja sisältävien materiaalien läpi (pintamaa rakennuksen ulkopuolella, perusmuurilevy, salaojaputkistot, salaojasora), ja erityisesti kaasumaiset aineenvaihduntatuotteet sekä pienet homesieni-itiöt ja homerihmaston osaset voivat siirtyä ilmavirtausten mukana sisäilmaan.

2.3 Vanha/uusi rakenne

Vanhoissa rakenteissa käytettiin kapillaarikatkona soraa, tiivistä kalvoa, bitumikerrosta tai lämmöneristekerrosta. Mikäli kapillaarikatkona käytettiin tiivistä kalvoa tai bitumikerrosta, salaojasoran sijasta saatettiin käyttää pohjabetonin alla hiekkaa, jonka vedenläpäisy oli riittävän suuri niin, että salaojitusjärjestelmä toimii riittävän hyvin. Hiekan ilmanläpäisevyys vanhan rakenteen alla saattoi olla tuhannesosa nykyaikana kapillaarikatkona käytettävän sepelin ilmanläpäisevyyteen [1] verrattuna. Vanhassa alapohjarakenteessa käytetty pohjabetoni joka on suoraan lämmöneristeessä kiinni vaikuttaa myös merkittävästi ilman virtausreitteihin estäen epäpuhtauksien kulkeutumista maaperästä ja lämmöneristekerroksen alaosasta huonetilaan. Eli sisäilmaan alapohjan kautta kulkevien epäpuhtauksien hallinta vaatii uusissa alapohjarakenteissa huomattavasti tarkempaa rakenteiden tiivistystä kuin vanhoissa kaksoislaattarakenteisissa alapohjissa. Vanha rakenne saatetaan peruskorjauksissa korjata nykyohjeistuksen mukaiseksi, mutta lopputulos voi olla huonompi kuin alkuperäinen, ellei alapohjan tiiveyden kiinnitetä erityistä huomiota.

3. Esimerkki onnistuneesta korjauksesta

Noin 600m² kaksikerroksisen koulurakennuksen alapohjassa havaittiin pintamateriaalien irtoamista kosteuden vaikutuksesta merkittävilta alueilta. Kohteen alapohjarakenne oli seuraava:

- päällyste
- betonilaatta

- tojax
- kosteuseristys
- betonilaatta
- sorastus
- perusmaa (kallio).

Rakenteen kosteusjakaumamittausten perusteella alapohja oli kastunut pahasti putkivuodon seurauksena laajalta alueelta. Kohteeseen asennettiin alapohjaan alipaineistus/tuuletusratkaisu pistemäinen imumenetelmällä (radonimuri), alapohja kuivui muutamassa kuukaudessa. Alapohjan pintamateriaalit uusittiin vaurioituneilta kohdilta. Kohteessa tehtiin tarkastuskäynti n, kuuden vuoden päästä korjauksesta, eikä kohteessa ollut mitään sisäilma eikä rakenteellisia ongelmia havaittu, ja alapohjan alipaineistusratkaisu toimi moitteettomasti.

4. Esimerkki epäonnistuneesta alapohjan korjauksesta/2/

Kohde on 1970-luvulla rakennettu betonirunkoinen kaksikerroksinen sairaalarakennus, jota peruskorjattiin 2000 luvun alussa. Kohteen peruskorjauksessa uusittiin koko alapohjarakenne vanhoja sorastuksia myöden. Vanha alapohjarakenne oli seuraava:

- päällyste
- betonilaatta
- tojax
- kosteuseristys
- betonilaatta
- sorastus
- perusmaa (kallio).

Uusi alapohjarakenne oli seuraava:

- pintamateriaali
- teräsbetonilaatta
- suodatinkangas
- lämmöneriste EPS 100 mm
- sepeli
- perusmaa

Kohteessa oli ennen korjausta merkittäviä sisäilmaongelmia ja korjauksen jälkeen oireilu jatkui niin voimakkaana, että osa tiloista jouduttiin tyhjentämään. Vaikka korjauksesta kului useita vuosia, niin oireilu jatkui. Kohteen uusi alapohjarakenne tehtiin rakentamismääräyskokoelman mukaisesti, mutta alapohjan ilmatiiveyttä eikä alipaineisuutta varmistettu. Kohteen alapohjassa ollut sorastus vaihdettiin korjauksessa sepeliksi.

5. Yhteenveto

Nykyaikaiset maanvaraiset alapohjarakenteet toimivat kosteusteknisessä mielessä hyvin, sepelikerroksen toimiessa kapillaarikatkona, mutta samalla maanvaraisista alapohjarakenteista on tullut sisäilman laadun kannalta huomattavasti herkempiä. Ne ovat ilmavirtausten kannalta muuttuneet hyvin lähelle tuulettumatonta ryömintätilaista alapohjaa. Vanhan kaksoislaatta alapohjan korjauksessa kannattaa edetä maltillisesti. Nykyaikaiset rakenteet voivat pahimmassa tapauksessa johtaa korjauksen pahaan epäonnistumiseen. Vanha rakenne oikein tiivistettynä ja

alipaineistettuna on huomattavasti varmempi ja edullisempi ratkaisu kuin huonosti toteutettu uusi rakenne.

Alapohjan osalta ollaan sisäilman laadun varmistamisessa aina tiivistysten ja painesuhteiden hallinnan varassa. Ko. väite on helppo testata, kun tehdään reikä lattiaan ja haistellaan, minkälaista ilmaa reiästä tulee. Testiä voi tehostaa imemällä ilmaa reiästä, vaikka pölynimurilla.

Lähdeluettelo

- [1] Sääksvuori, P. Tiiveyden ja vesipitoisuuden vaikutus murskeen ilmanläpäisevyyteen. Espoo, Teknillinen Korkeakoulu, Talonrakennustekniikka 2000 33 s.
- [2] Kettunen, A-V. Maanvastaisten alapohjarakenteiden korjaaminen; Esimerkkejä onnistumisista ja epäonnistumisista. Sisäilmastoseminaari 2013

Maanvaraisen laatan kapselointikorjauksen rakennusfysikaalinen toimivuus ja korjauksen vaikutus liittyviin rakenteisiin.

Heikki Aronen
Wise Group Finland Oy

Tiivistelmä

Artikkelissa tarkastellaan epoksipohjaisilla tuotteilla tehtävien maanvastaisen rakenteen kapselointikorjauksen rakennusfysikaalisia toimintaedellytyksiä kerrostalokohteen kellarissa. Tarkastelu tehtiin mallintamalla kohteiden nykyiset maanvastaiset rakenteet ja niille suunnitellut korjaukset rakennusfysikaalisella simulointiohjelmalla.

Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa tutkittiin kahdessa vaiheessa: ensin tarkasteltiin yksittäisiä rakennetyyppejä sekä niiden kosteuspitoisuutta ja toisessa osassa kaikkia maanvastaisia rakenteita yhdessä rakenneliittymineen. Mallinnuksessa käytetyt materiaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet saatiin rakennusfysiikan julkaisuista, tuotetoimittajilta ja simulointiohjelman omasta materiaalikirjastosta. Mallinnukset toteutettiin nykyhetken ilmastossa käyttäen TTY:n ja Ilmatieteenlaitoksen kehittämiä rakennusfysikaalisia testivuosia ja sisäilman olosuhteena käytettiin RIL 107-2012 oppaan, luokan kaksi (2) mukaista kosteuslisää. Simulointituloksia analysoidessa apuna käytettiin VTT:n ja TTY:n kehittämää homemallia.

1. Johdanto

Kapselointikorjaukset ja rakenteiden tiivistyskorjaukset ovat olleet viime vuosina usein esillä rakennusalan mediassa. Korjausrakentamisen volyyymi kasvaa vuosittain ja sisäilmakorjauksia tehdään yhä enenevässä määrin. Yhtenä korjaustapana sisäilmakorjauksissa käytetään kapselointikorjausta, jossa pyritään estämään sekä diffuusion että konvektion avulla kulkeutuvien epäpuhtauksien ja haitta-aineiden siirtyminen sisäilmaan. Kapselointikorjaus onkin usein haihtuvien yhdisteiden tapauksessa ainoa vaihtoehtoinen korjaustapa rakenteen purkamisen tai alipaineistamisen ohella.

Korjausrakentamisessa maanvastaisten rakenteiden kapseloinnin suunnitteluhaasteet tulevat esiin monissa hankkeissa: esimerkiksi peruskorjauksissa, kun havaitaan haitta-aineita tai mikrobikasvustoa vanhassa rakenteessa, vanhojen teollisuuskiinteistöjen muuttamisessa liike- tai asuinkäyttöön, kun rakenne on jo itsessään saastunut tai vaihtoehtoisesti rakennusmateriaalien keskinäisistä kemiallisista reaktioista vaurioituneissa rakenteissa.

Kapselointikorjaustuotteet toimivat rakenteessa usein myös kosteus- ja höyrünsulkuna, mikä voi johtaa ongelmiin maanvastaisissa rakenteissa. Esimerkiksi maanvaraisen laatan kapselointiin liittyy kosteustekninen riski, kun kapselointiaine asennetaan laatan sisäpintaan. Ilmiö on vastaava muovimattojen osalta: tiivis pintarakenne estää tai hidastaa kosteuden siirtymistä rakenteen läpi ja siten lisää maanvastaisen rakenteen kosteusrasitusta. Edellä mainittu ongelma korostuu vanhoissa rakenteissa, missä ei ole alapuolisia lämmöneristeitä ja mahdollisesti laatan alapuoliset täytöt ovat hienorakeisia. Näissä rakenteissa kosteusrasitus on suuri jo lähtötilanteessa. Lisääntynyt kosteus alapohjassa voi joissain tilanteissa siirtyä rakenneliittymistä ympäröiviin rakenteisiin, joissa kosteus usein aiheuttaa lisäongelmia [1].

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää:

1. Miten kosteus liikkuu tutkituissa rakenteissa ja niiden liittymissä?
2. Mahdolliset riskiratkaisut, jotka vaativat erikoissuunnittelutoimenpiteitä.
3. Onko simuloitavan rakenteen kosteustekninen toimivuus sellainen, että korjaus voisi olla pysyvä?
4. Saadaanko tästä yksittäisen rakenteen mallinnuksesta vedettyä johtopäätöksiä kapselointikorjauksen yleisestä toiminnasta maanvastaisessa rakenteessa?

2. Rakenteiden kapselointi

Kun erotellaan rakenteiden tiivistäminen ja kapselointi käsitteenä toisistaan, tarkoitetaan kapseloinnilla haitallisten haihtuvien yhdisteiden kapselointia rakenteeseen siten, että yhdisteet eivät haitallisina määrinä pääse läpäisemään kapselointikerrosta ja siten huonontamaan sisäilman laatua. Yleisesti kapselointikorjauksen osana käytetään myös rakenteiden tiivistämistä osana korjausjärjestelmää [2].

Kapselointikorjauksella on myös mahdollista säästää merkittävästi korjauskustannuksissa, kun rakenteita ei tarvitse purkaa kokonaan, mikä onkin varmasti syynä menetelmän käyttöön [1].

2.1 Kapselointikorjaustuotteet

Tunnetuimmat tuotteet kapselointikorjauksiin ovat epoksipohjaisia, tuoreena nestemäisiä tuotteita, mutta on havaittu muitakin mahdollisia kapselointituotteita eri rakenteille: esimerkiksi polyamidihöyrynsulkukalvojen on todettu tietyissä kosteusolosuhteissa jossain määrin estävän MVOC-yhdisteiden diffuusiolla siirtymistä, kuten myös joidenkin vedeneristysmassojen [3].

Tässä yhteydessä ei käsitellä kapselointikorjauksien tuotteiden kapselointiominaisuuksia, mutta mainittakoon, että useimmista kapselointikorjauksiin markkinoiduista tuotteista on tehty haihtuvien orgaanisten ja PAH-yhdisteiden läpäisevyytutkimuksia. Kapseloinnissa tulee käyttää vain tuotetyyppejä, joista on tutkimustietoa niiden läpäisevyydestä.

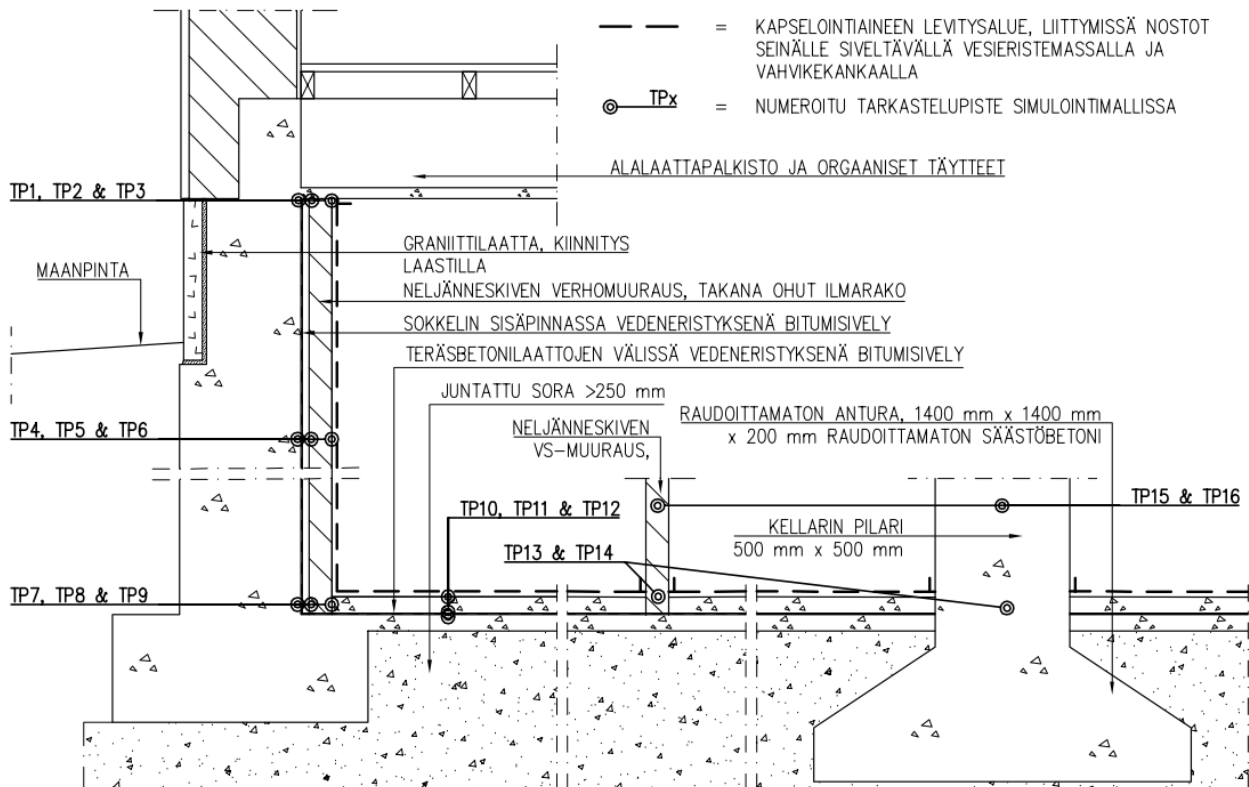
Kapselointiaineiden vaikutuksia rakenteiden rakennusfysikaaliseen toimintaan ei ole juurikaan käsitelty alan kirjallisuudessa, joskin muutamia diplomi- ja opinnäytetöitä on tehty, jotka sivuavat aihetta.

3. Tutkittavat rakenteet ja alustavat riskiarviot

Tutkittavan rakennuksen rakennetyyppien määrä rajattiin kahteen ja ne eivät edusta mitään tiettyä korjauskohdetta, vaan tapauksen rakenteet edustavat aikakaudelleen tyypillisiä ratkaisuja. Tutkittava tapaus on tyypillinen 1920–1960 -lukujen kerrostalojen maanvastainen kellarirakenne, missä vedeneristeenä käytetyssä kivihiipliessä tai bitumisivelyssä on usein haihtuvia yhdisteitä haitallisissa määrin [4]. Kuvassa yksi on simuloitavan tapauksen periaatteellinen rakenneleikkaus, jossa on esitetty myös tarkastelupisteet simuloinnissa. Kapselointikorjaus tehdään rakenteen bitumisivelystä löytyneiden PAH- yhdisteiden takia. Kivihiipliä ja PAH-yhdisteitä tavataan tarkastellun aikakauden rakennuksissa yleisesti [4–5].

Rakenteessa on ulkoseinä ja alapohjalaatta, mitkä molemmat ovat tunnistettuja riskirakenteita liittymiseen [6], mutta tapauksessa analysoitujen rakenteiden materiaalit ovat kuitenkin homeutumisherkkyysluokaltaan kohtalaisen kestäviä (HHL 3) tai kestäviä (HHL 4) [7]. Kapselointikorjauksen muina riskeinä voi pitää kapselointiaineen kiinnipysymisen

tiiliverhouksen pinnassa ja kapseloinnin liittymät tiiliväliseinäin. Varsinkin tapauksessa jossa kosteutta kertyy seinän alareunaan.



Kuva 1. Tutkittavan tapauksen periaatteellinen rakenneleikkaus ja tutkimuspisteet.

Tutkittavat simulointipisteet määritettiin seinän eri korkeuksille ulkopinnan olosuhteiden mukaan (TP1 – TP9), laatalle määriteltiin vain yksi paikka (TP10 – TP12), jossa lämpötila- ja kosteuskäyriä seurattiin, tämän lisäksi laatan liitoskohdat väliseinäin ja pilarin kohdilla tutkittiin omin tarkastelupistein (TP13 – TP16) laatan pinnan tasolla ja noin 300 mm korkeudella lattiapinnasta.

4. Rakenteiden mallinnus, simulointi ja laskentaolettamukset

Perusrakennetyypeille tehtiin niin sanottu yksidimensionaalinen simulointi WUFI Pro ohjelmalla, jotta saatiin vertailukohta rakenteiden liittymien mallinnukselle. Yksittäisten rakennetyyppien mallinnukset tehtiin nykyiselle rakenteelle ja korjaus kahtena eri tapauksena, jolloin erona kahden korjauksen välillä oli kapselointiaineen vesihöyrynvastuksen arvo.

Rakenteiden liittymät mallinnettiin WUFI 2D ohjelmalla ja ainoastaan tiiviimmällä kapselointikorjausvaihtoehdolla. Kaikki simuloinnit tehtiin kolmen vuoden ajanjaksolle, käyttäen aika-askelta 1 h, Jokioisten nykyilmastossa. 2D-simulointi tehtiin kuvassa 1 esitettyjen pistekatkoviivalla esitettyjen rajojen mukaan.

4.1 Ulkoilman olosuhteet

Ulkoilman kanssa kosketuksissa olevien sokkeli ja ulkoseinäarakenteiden ulko-olosuhteina käytettiin TTY:n ja Ilmatieteenlaitoksen kehittämää rakennusfysikaalisen testivuosien mukaista ilmasto-olosuhdetta. Testivuodet on kehitetty nykyilmastolle sekä tulevaisuuden ilmastoille.

Simulointiin valittiin testivuosi Jokioinen 2004. Testivuosien valintakriteerinä oli kosteuden kondensoituminen rakenteen sisälle ja homeen kasvu. Seinärakenteiden ilmansuunnaksi valittiin pohjoinen, joka on mallissa kriittisin, kun ei käsitellä rakenteiden ulkopintaa. [8].

Viistosade rasittaa näissä simuloinneissa vain suoraan ilman kanssa kosketuksissa olevia pintoja, eli sokkelipintaa. Viistosade otettiin huomioon simuloinnissa viistosadekertomella $r_s = 0,07$ s/m [9].

4.2 Maaperän olosuhteet

Laskennan yksinkertaistamiseksi maaperän olosuhteissa ei ole otettu huomioon mahdollista kapillaarisesti siirtyvää kosteutta tai vajovesiä, joka osaltaan parantaa simuloidun tilanteen tuloksia.

Kellarin seinän ulkopinta jaettiin kolmeen yhtä suureen osaan siten, että ylimmän osan ulkopinnan olosuhde on edellä mainittu ulkoilman olosuhde. Seinän keskimmäisen osan tarkasteluissa käytettiin em. ulkolämpötilan arvoja ja maaperän suhteellisen kosteuden arvona vakiota $RH = 97$ %. Seinän alimmalle osalle määriteltiin maanvastaisen ulkopinnan suhteellisen kosteuden arvoksi 100 % ja lämpötilaksi 15 °C.

Alapohjalaatan maanvastaisiksi olosuhteiksi määriteltiin suhteellisen kosteuden arvoksi 100 % ja lämpötilaksi 19 °C, koska laatta on eristämätön. [10].

4.3 Sisäilman olosuhteet

Sisäilman lämpötilana käytettiin 21 °C ja sisäilman kosteuspitoisuus määritettiin kaikissa simulointitilanteissa käytettävän ulkoilmaston lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mukaan siten että sisäilmaan lisättiin myös luokan kaksi (2) mukainen kosteuslisä. [11].

4.4 Käytetyt materiaalit

Simuloinnissa käytetyt materiaalit on pyritty valitsemaan niin, että ne vastaavat vanhoja rakenteita. Pääasiallisesti materiaalit on haettu Wufi:n tietokannasta ja muutamat joita ei ole ollut saatavilla on määritelty vastaavien materiaalien päälle, muuttamalla oleelliset rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Esimerkiksi vanhan betonin vesisementtisuhde on oletettu olevan 0,6. Betonin huokosilman suhteellinen kosteus vaikuttaa kyseisen vesisementtisuhteen omaavalla betonilla diffuusiovastuskertoimeen seuraavanlaisesti: $\mu_{RH\ 35...70\%} = 127,1$; $\mu_{RH\ 70...80\%} = 84,8$; $\mu_{RH\ 80...90\%} = 31,8$; $\mu_{RH\ 90...95\%} = 7,3$. Bitumisivelyn diffuusiovastuskertoimena käytettiin $\mu = 75000$. [9, 12].

Simuloinnissa käytettyjen kapselointituotteiden diffuusiovastukset saatiin valmistajilta. Arvot muunnettiin tarpeen mukaan vastaamaan millimetrin paksuista kerrosta, jolle laskettiin diffuusiovastuskerroin muunnoskaavojen avulla. Käytetyt arvot on esitetty taulukossa yksi alleviivattuna [9]. Kapseloinnin diffuusiovastuskertoimien ollessa aivan eri luokkaa päädyttiin tekemään 1D-simuloinnit kaikista rakenteista (lähtötilanne, tiiviimpi tuote, avoimempi tuote) ja 2D-simulointi vain tiiveimmälle kapselointituotteelle (tuote 1).

Laskennan alussa kaikille materiaaleille on määritelty alkulämpötila 20 °C, pois lukien graniittisokkeli, jonka alkulämpötilaksi määriteltiin 15 °C. Kaikkien materiaalien huokosilman suhteellinen kosteus määriteltiin laskennan alussa 80 %.

Taulukko 1. Simuloinnissa käytettyjen kapselointituotteiden diffuusiovastuskertoimet (* merkityt arvot ovat valmistajan ilmoittamia).

Kapselointituote	Diffuusiovas- tuskerroin, μ [-]	Suhteellinen diffuu- siovastuskerroin, S_d [m]	Vesihöyrynläpäi- sykerroin, W_p [10^{-12} kg/(m^2 sPa)]	Haitta-ainelä- päisevyys- tutkimus
Tuote 1: 0,5 mm	270600 *	135,3 *	1,39	Kyllä
Tuote 1: vertailu 1 mm	128800	128,8	1,46 *	
Tuote 2: 1 mm	820	0,82 *	229,268	Kyllä

5. Simuloinnin tulokset ja johtopäätökset

Simuloinnissa ei ole otettu huomioon vajovesiä tai kapillaarista maaperää, jotka todellisuudessa voivat lisätä maanvastaisten rakenteiden kosteusrasitusta suurestikin.

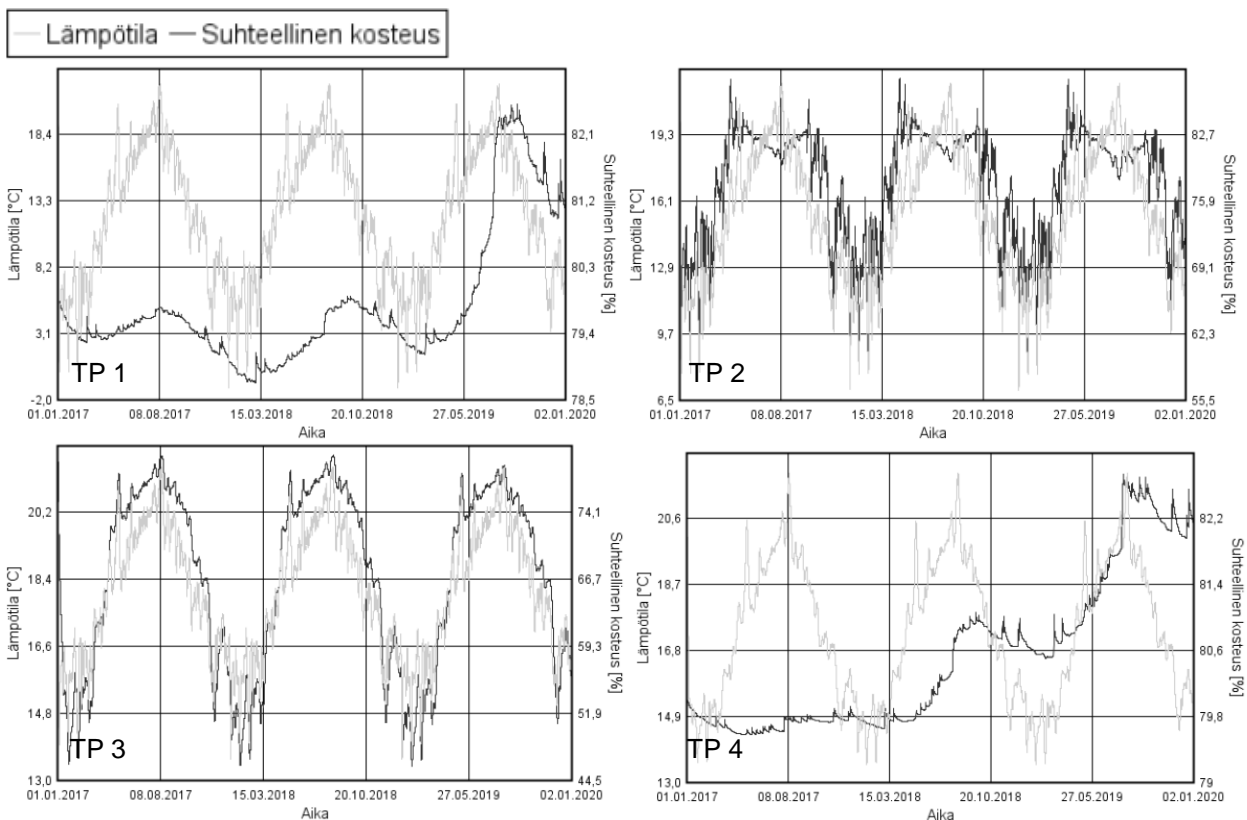
Simuloinnin lopputilanteen tulokset ovat nähtävissä yhteenvetotaulukossa 2, johon on kerätty tarkastelupisteiden lämpötila, suhteellinen kosteus ja analysoitu jokaisen vuoden kosteushuippujen muodostaman käyrän suuntaa. Kosteuskäyrän huippujen suunnalla on tarkoitus analysoida sitä, onko rakenteen kokonaiskosteus mahdollisesti kohoamassa tai laskemassa simuloidun ajan jälkeen.

Taulukko 2. Simulointien keskimääräiset tulokset kerättyinä ja analysoituna kolmen vuoden simuloinnin jälkeen (lopputilanne).

tarkaste- lupiste	Lämpö- tila [°C]	RH [%]	kosteuskäy- rän suunta	tarkastelupisteen sijainti rakenteessa	Rakenteen "ulko- pinnan" olosuhde
TP1	6,9	81	nouseva	betonin ja bitumisivelyn raja	Jokioinen 2004
TP2	12	72	tasainen	ilmaraossa tiilen pinnalla	
TP3	16,2	56	laskeva	tiilen ja kapseloinnin raja	
TP4	15,3	82	nouseva	betonin ja bitumisivelyn raja	T = ulkolämpötila Jokioisilla 2004. RH = 97 %, vakio
TP5	17,4	71	laskeva	ilmaraossa tiilen pinnalla	
TP6	19,1	63	laskeva	tiilen ja kapseloinnin raja	
TP7	~21	80	nouseva	betonin ja bitumisivelyn raja	T = 15 °C, vakio RH = 100 %, vakio
TP8	~21	77	laskeva	ilmaraossa tiilen pinnalla	
TP9	~21	77	laskeva	tiilen ja kapseloinnin raja	T = 15 °C, vakio RH = 100 %, vakio
TP10	~21	88	tasoittunut	alempaan betonilaatan yläp.	
TP11	~21	80	laskeva	ylempään betonilaatan alap.	
TP12	~21	79	laskeva	ylempään betonilaatan yläp.	T = 19 °C, vakio RH = 100 %, vakio
TP13	~21	63	laskeva	VS ylälaatan korkeudella	
TP14	~21	85	nouseva	Pilari ylälaatan korkeudella	
TP15	~21	61	laskeva	VS 300 mm korkeudella	
TP16	~21	77	laskeva	Pilari 300 mm korkeudella	

Tarkastelupisteet 1–3 määriteltiin ratkaisevaksi, vaikka niiden suhteellisen kosteuden arvot eivät olleetkaan simuloinnin korkeimmat. Näiden tarkastelupisteiden tarkoitus oli selvittää mahdollinen kosteus, joka tiivistyy ilmaan yläpintaan tai mahdollinen rakenteessa kapillaarisesti nouseva kosteus kellarin seinärakenteen yläosaan, mihin liittyvän välipohjarakenteen täyhteissä on orgaanista täyttöainesta.

Kuvassa 2 on esitetty tarkastelupisteiden 1–4 lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat koko kolmen vuoden tarkastelun ajalta. Tarkastelupisteessä kolme rakenne pääsee kuivumaan sisäänpäin, huolimatta kapselointikorjauksesta.



Kuva 2. Kuvaajat tarkastelupisteiden 1–4 lämpötilan sekä suhteellisen kosteuden arvoista tunnin välein, kolmen vuoden ajanjakson ajalta.

Kaikkien tarkastelupisteiden tulokset tarkasteltiin VTT:n ja TTY:n kehittämän homemallin avulla homeutumisherkkyysluokassa HHL3. Homeindeksi ei noussut missään tarkastellussa pisteessä edes lähelle homeindeksin arvoa yksi. Tarkastelupisteet TP 1, TP2 ja TP3 tarkasteltiin tämän lisäksi homeutumisherkkyysluokassa HHL1, koska pisteet ovat lähellä esimerkkirakenteen välipohjarakennetta, jonka täytteenä on orgaanista ainesta.

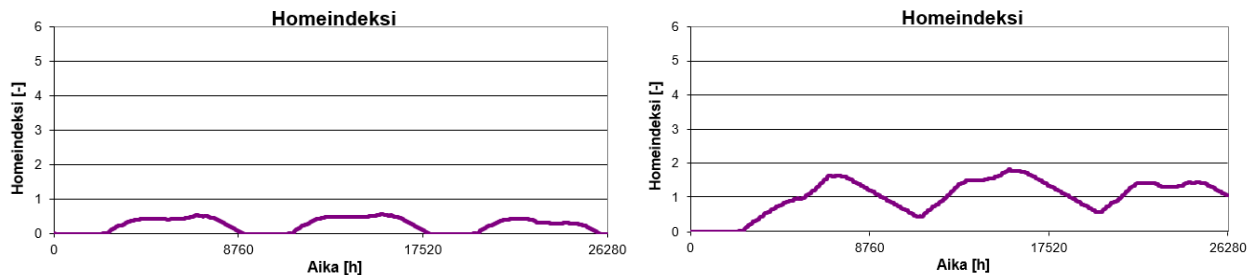
Taulukko 3. Tarkastelupisteiden TP1, TP2 ja TP3 homeindeksit eri homeutumisherkkyysluokissa.

Tarkastelupiste	Kasvunopeuden herkkyyssluokka	Homeen maksimimäärän herkkyyssluokka	Taantumaluokka [C _{mat}]	Maksimi-homeindeksi [M]
TP1	HHL3	HHL3	0,1	0
TP1	HHL1	HHL3	0,5	0,36
TP1	HHL1	HHL1	0,5	0,898
TP2	HHL3	HHL3	0,1	0,004
TP2	HHL1	HHL3	0,5	0,573
TP2	HHL1	HHL1	0,5	1,818
TP3	HHL3	HHL3	0,1	0
TP3	HHL1	HHL3	0,5	0,006
TP3	HHL1	HHL1	0,5	0,048

Taulukossa 3 on tarkastelupisteiden homeindeksitarkastelut eri tilanteissa. Tarkastelut on tehty samoilla lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoilla. Se ei aivan vastaa todellista tilannetta, koska kosteus tasaantuu myös välipohjatäytteisiin, betoniseen alalaataan sekä mahdollisesti tuulettuu sisäilmaan ilmapuotojen kautta, mutta silti ilmaisee selvästi riskin mikrobikasvusta orgaanisen aineksen ollessa kellarin katon välipohjatäytteenä. Taulukon homeindeksitarkastelut on tehty alkuperäisessä tarkastelupisteessä, betonin ja orgaanisen täytteen rajalla (HHL1 – HHL3)

ja orgaanisessa täytteessä itsessään (HHL1 – HHL1).

Taulukosta näkee myös tarkastelupisteen kaksi olevan ainoa, joka ylittää homeindeksin arvon 1, mutta vain orgaanisessa täytössä itsessään. Kyseinen tarkastelupiste sijaitsee ilmapölyssä verhomuurauksen ulkopinnassa. Kuvassa 3 on esitetty homeindeksin kehittyminen kolmen vuoden ajanjakson ajalta tarkastelupisteessä 2 luokassa HHL1.



Kuva 3. Tarkastelupisteen 2 homeindeksikuvaajat homehtumisherkkyysluokassa 1. Arvot taulukon kolme mukaan tarkastelupisteessä 2 (vasemmanpuoleisen kuvaajan $M_{maks}=0,573$ ja oikeanpuoleisen kuvaajan $M_{maks}=1,818$).

Lämpö- ja kosteusteknisen simuloinnin perusteella kosteus liikkui oletetusti rakenteissa sekä niiden liittymissä. Kosteuden muita rakenteita turmelevaa vaikutusta ei ollut kuitenkaan mahdollista mallintaa. Suuri kosteuspitoisuus saattaa vaikuttaa erityisesti vanhan tiiliverhoumuurauksen ja kapselointiaineen keskinäiseen tartuntaan ja siten korjauksen pitkäaikaiskestävyyteen. Simuloinneissa ei myöskään tarkasteltu tilannetta, jossa väliseinä olisi kapseloitu kokonaan. Kyseisessä tilanteessa alapohjalaatan kuivuminen seinän kautta olisi pienentynyt ja seinän kosteuspitoisuus olisi noussut merkittävästi.

Rakennusfysikaalisessa simuloinnissa on myös oletettu bitumisivelyn olevan kokonaisuudessaan ehjä. Jos sivelykerroksessa on vaurioita, vaikuttaa se merkittävästi alapohjarakenteen toimintaan. Korjauksessa tulisi varmistua bitumikerroksen eheydestä esimerkiksi kuntotutkimuksella ja kosteusmittauksin, jolloin voidaan arvioida kapselointikorjauksen soveltuvuutta juuri kyseiseen kohteeseen. Jos maanvastaisten rakenteiden korjaussuunnittelussa päädytään kapselointikorjaukseen, olisi suositeltavaa varmentaa rakenteen kosteuskäyttäytymistä jatkuvatoimisella kosteus- ja lämpömittauksella. Tällöin voidaan verrata mittaamalla suunniteltuihin oletuksiin. Tämä on oleellista varsinkin pitempiaikaisessa korjauksessa.

Maanvastaisten rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen rakennusfysikaalinen simulointi vaatii vielä lisätarkennusta ns. maanvastaisen ilmastodatan luomisessa. Tarkkuuden parantaminen vaatisi myös erilaisten maatäyttöjen luomista materiaalikirjastoon, jotta maaperän kapillaarisuus ja vajovedet voitaisiin ottaa laskennassa huomioon. Myös käytettävän kapselointiaineen vesihöyrynvastukseen tulisi kiinnittää erityistä huomiota sekä saada tutkittua tietoa valmistajalta aineen ominaisuuksista.

Tässä tehtyä mallinnusta ei voi yleistää sellaisenaan ja tilanne voi olla hyvinkin erilainen, kun maanvastaisten rakenteet ovat lämpöeristettyjä. Kellarissa saattaa myös olla usein myös alhaisempi sisälämpötila kuin muussa rakennuksessa, mikä osaltaan vaikuttaa suhteellisen kosteuden arvoihin.

6. Yhteenveto

Rakennusfysikaalisen simulointimalli toimi pääosin odotetulla tavalla. Lattiarakenteen kosteus pääsi poistumaan rakenteesta osittain liittyvien rakenteiden kautta ja kellarin seinärakenteen yläreunan kosteus pysyi korkealla tasolla koko simuloinnin ajan. Laskentamallissa ei ole huomioitu maan kapillaarisuutta eikä vajovesiä ja siten simulointi antaa positiivisemmän kuvan kuin todellisuus. Simuloinnin tuloksena on silti havaittavissa riski mikrobikasvustoon, kun kapseloitavat maanvastaiset rakenteet liittyvät homehtumisherkkiin rakenteisiin.

Jotta rakennusfysikaalista simulointia voidaan käyttää suunnittelun pohjana, tulisi ”ilmastodataa” kehittää maanvastaisille seinärakenteille. Tämä on haasteellista johtuen maa-aineksen ominaisuuksista, rakennuksen sijainnista maastossa, salaojista ja sadevesien hallinnasta, mutta mahdollista.

Lähdeluettelo

- [1] Jokipii, M. 2014. Betonilattioiden VOC-korjausmenetelmien vertailu. Opinnäytetyö. Rakentamisen koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. 84 s.
- [2] Weckström, Anders. 2003. Mikrobiperäisten haihtuvien orgaanisten yhdisteiden diffuusio rakenteiden läpi. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö. 77 s.
- [3] Keinänen, H. 2009. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Diplomityö.
- [4] Komulainen, J., Huttunen, J. ja Säntti, J. 2010. Haitalliset aineet rakennuksissa ja niiden hallinta. Rakentajain kalenteri 2011. s. 98–106
- [5] Neuvonen, P., Mäkiö, E. & Malinen, M. (2002) Kerrostalot 1880 – 1940. Tampere: Rakennustieto Oy.
- [6] Peltola, S. (toim.) 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen, Osa 2, Suunnittelijan opas koulurakennusten sisäilmasto-ongelmien ja kosteusvaurioiden korjaamiseen. Vammala: Opetushallitus.
- [7] Vinha, J., Viitanen, H., Lähdesmäki, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Salminen, K., Paajanen, L., Strander, T., Iitti, H. (2011). Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi. Tutkimusraportti. VTT & TTY.
- [8] Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A. & Palo-82 lahti, T. (2013) Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennuksen energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 159. Tampere.
- [9] RIL 255-1-2014. 2014. Rakennusfysiikka I. Osa 1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. 1. painos. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 500 s. ISBN 978-951-758-545-3.
- [10] Leivo, V. & Rantala, J. 2002. Maanvastaisten alapohjarakenteiden kosteustekninen toimivuus. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Talonrakennustekniikka. Julkaisu 120. 107 s.
- [11] RIL 107-2012. 2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. 2. painos. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. ISBN 978-951-758-545-3.
- [12] RIL 107-1989. 1991. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohje. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Ylipaineistuksen ja ilmanpitävyyden vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan

Milla Mattila¹, Camilla Vornanen-Winqvist², Ilkka Jerkku¹ ja Jarek Kurnitski²

¹ Sweco Asiantuntijapalvelut Oy

² Aalto-yliopisto

Tiivistelmä

Peruskorjattu koulurakennus säädettiin koeluontoisesti ulkoilmaan nähden 5–7 Pa ylipaineiseksi ilmanvaihtoa säätämällä. Taustalla oli ajatus estää rakenteiden epäpuhtauksien pääsy sisäilmaan epätiivien rakenneliitosta kautta. Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella tavoitellun ylipaineisuuden toteutumista sekä ylipaineistuksen vaikutusta rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Tavoiteltu ylipaineisuus toteutui käytännössä jonkin verran vaihtelevasti. Sisäilman kosteuslisän ollessa pieni ylipaineisuus ei aiheuttanut rakenteille kosteusrasitusta kenttämittauksissa tai laskennallisessa tarkastelussa.

1. Johdanto

Tavallisesti rakennus pyritään pitämään lievästi alipaineisena ulkoilmaan nähden kosteusvaurioiden ehkäisemiseksi. Rakennuksen ylipaineisuus työntää lämmintä sisäilmaa rakenteiden epätiiviyden kautta rakenteisiin, jolloin lämpimään ilmaan sitoutunut kosteus voi tiivistyä kylmiin rakenneliitoksiin aiheuttaen kosteusvaurion [1]. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kertyykö tutkimuskohteen vaipparakenteisiin käytännössä kosteutta talvikaudella rakennuksen ollessa ulkoilmaan nähden ylipaineinen.

Tutkimuskohteena on pääkaupunkiseudulla sijaitseva koulurakennus, jossa toteutettiin sisäilmateknisten tutkimusten yhteydessä opetussiiiven ylipaineistus. Koulun C-osaan pyrittiin luomaan ilmanvaihdon määriä säätämällä kauttaaltaan noin 5–7 Pascalin ylipaine ulkoilmaan nähden. Koulun vaipparakenteissa on sisäilmateknisissä tutkimuksissa havaittu mikrobivaurioita sekä epätiiviyttä rakenneliittyä [2]. Ylipaineistuksen tavoitteena oli estää rakenteissa olevien epäpuhtauksien virtaaminen epätiivien rakenneliittyjen kautta sisäilmaan. Ylipaineistusta käytettiin koeluontoisena korjauksena, kunnes varsinaiset korjaustoimenpiteet käynnistyivät.

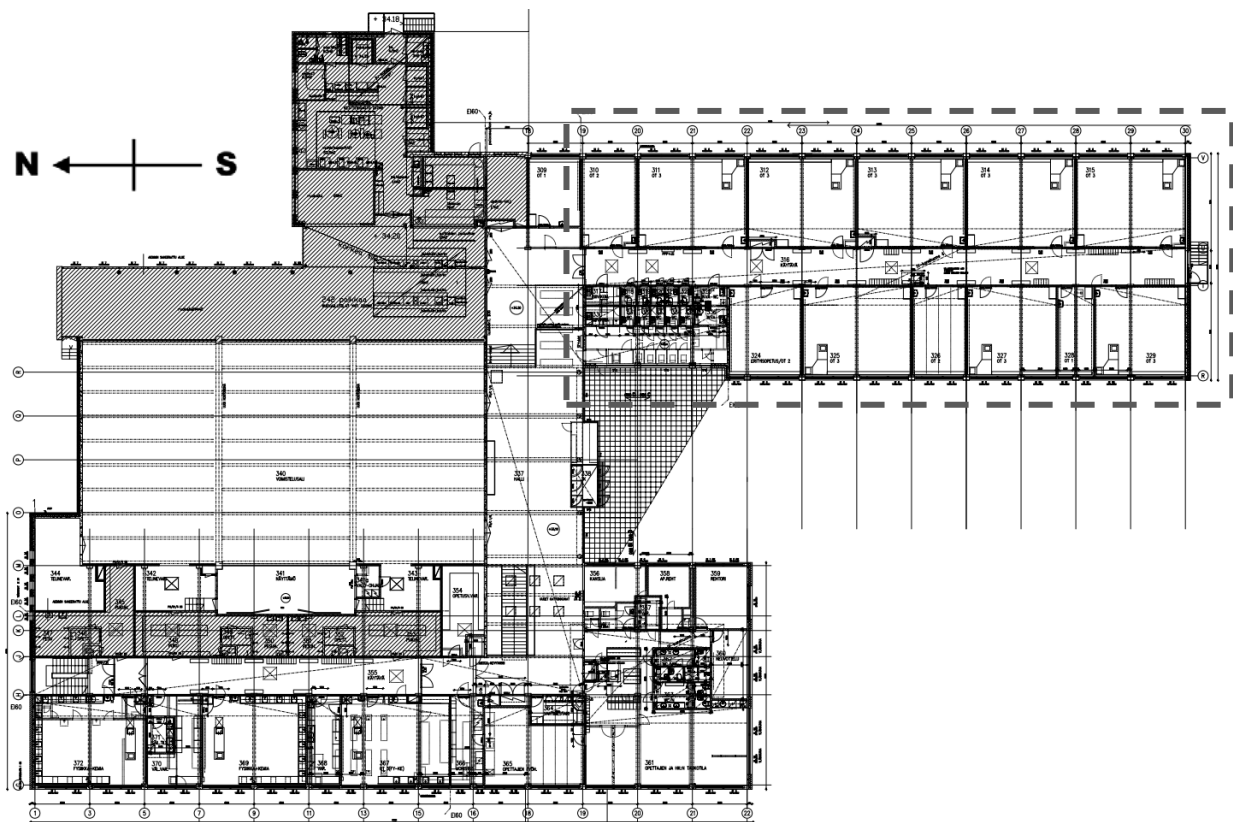
Ylipaineistus ei ole yleinen käytäntö pyrkiä estämään epäpuhtauksien pääsyä rakenteista huoneilmaan. Usein epäpuhtauksien pääsy huoneilmaan pyritään estämään esimerkiksi tiivistämällä rakenneliittyä. Ylipaineistuskokeilun taustalla on ajatus, voiko ylipaineistus toimia tiivistyskorjausten lisäksi tai niiden sijaan suoritettavana toimenpiteenä sisäilman laadunhallinnassa. Tutkimuksessa ei kuitenkaan selvitetä ylipaineistuksen vaikutusta sisäilman epäpuhtauspitoisuuksiin. Tutkimuksessa keskitytään rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ja pyritään selvittämään, aiheutuuko ylipaineistuksesta kosteusrasitusta vaipparakenteille.

Aalto-yliopisto on suorittanut kohteessa sisäilman ja rakenteiden olosuhteiden seurantamittauksia ylipaineistusjakson ajan. Tutkimuksessa analysoidaan mittaustuloksia rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan laskennallisesti kohteen vaipparakenteita Comsol Multiphysics -ohjelmistolla ja arvioidaan ylipaineen aikaansaamien konvektiovirtausten vaikutusta rakenteiden kosteuteen.

Artikkeli perustuu Aalto-yliopistossa tehtyyn diplomityöhön. Diplomityötutkimus kuuluu osaltaan Aalto-yliopiston EURA-hankkeeseen (hankenumero 115376), jota Työsuojelurahasto rahoittaa. Tutkimus kuuluu myös Suomen Akatemian hankkeeseen TOXICPM 289161.

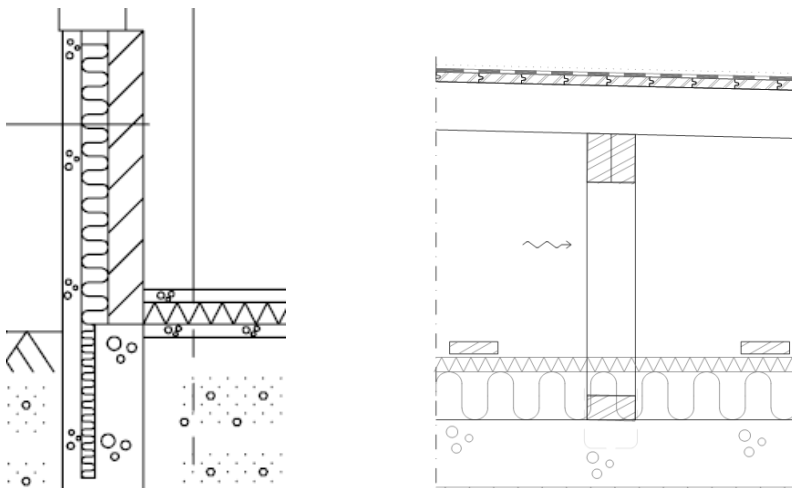
2. Tutkimuskohde

Tutkimuskohde on vuonna 1968 rakennettu ja vuosina 2003–2005 peruskorjattu koulu pääkaupunkiseudulla. Rakennuksessa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Ylipaineistus kohdistui rakennuksen C-osaan, joka on yksikerroksinen, maanvastainen siipi, jossa on luokkahuoneita, käytävä ja wc-tiloja (Kuva 1) [2]. Elokuussa 2016 C-osa ylipaineistettiin noin 5–7 Pascalia ulkoilmaan nähden säätämällä C-osan tuloilmakone täydelle teholle ja vähentämällä saman palvelualueen poistoilman määrää.



Kuva 1. Tutkittava C-osa on pohjakuvan oikeassa ylä laidassa katkoviivalla rajattuna.

C-osan alapohja on maanvastainen kaksoislaattarakenne, jossa on lämmöneristeenä styrox. Lämmöneristeen alapuolella on polyeteenikalvo höyrünsulkuna. Ulkoseinärakenne ikkunan alapuolella koostuu betonisesta ulkokuoresta, mineraalivillalevystä sekä sisäpuolisesta tiilimuurauksesta. Muualla ulkoseinärakenne on pintakäsiteltyä Siporex-elementtiä. Yläpohjassa on kantavana rakenteena betonilaatta, jonka yläpuolella on tuulettuvaan ullakkotilaan rajoittuvaa mineraalivillaa [2]. Rakenteita on havainnollistettu Kuvassa 2.



Kuva 2. Vasemmalla havainnollistava piirros alapohjan ja ulkoseinän liitoksesta ja oikealla yläpohjan rakenne.

3. Kosteuden ja painesuhteiden seurantamittaukset

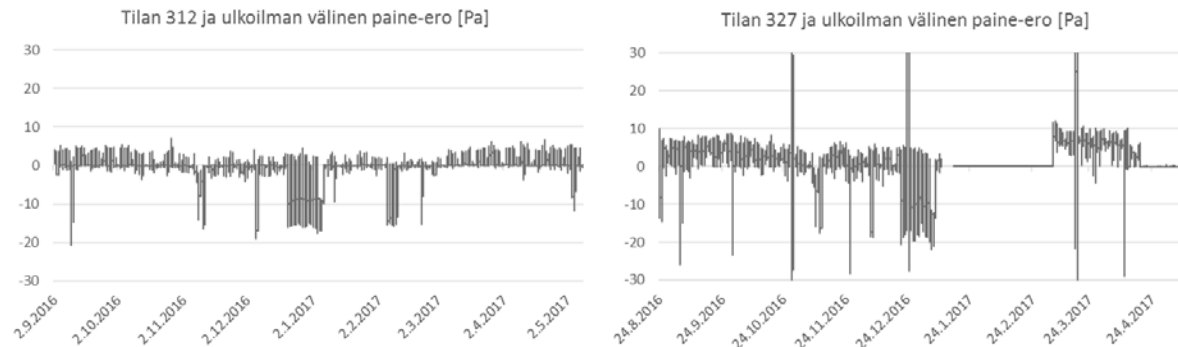
Olosuhdeseuranta toteutettiin jatkuvatoimisina mittauksina aikavälillä 27.10.2016–9.5.2017. Olosuhteita seurattiin kolmessa tilassa: ilmanvaihdon säädöillä ylipaineistetun C-osan luokkahuoneissa 312 ja 327 sekä C-osan viereisessä verrokkitilassa 309. C-osan tavoiteltu ylipaineisuus oli kokeilun ajan noin 5–7 Pascalia. Verrokkitilassa 309 ilmanvaihto oli normaalitilassa. Mittauksissa seurattiin sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa, sisä- ja ulkoilman olosuhteita sekä vaipparakenteiden kosteutta ja lämpötilaa.

Rakenteiden suhteellista kosteutta ja lämpötilaa seurattiin yhteensä kahdeksassa mittapistessä. Tilassa 312 C-osan itäseinustalla oli kaksi mittapistettä ulkoseinässä ikkunan alapuolella, yksi mittapiste alapohjan ja ulkoseinän liitoksessa sekä yksi mittapiste yläpohjan ja ulkoseinän liitoksessa. Tilassa 327 C-osan länsiseinustalla oli yksi mittapiste alapohjassa ja toinen yläpohjassa. Verrokkitilassa 309 oli kaksi mittapistettä ulkoseinässä ikkunan alapuolella. Lisäksi seurattiin sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa tiloissa 312 ja 327 sekä ulkoilman olosuhteita. Mittapistet ja mitatut suureet on esitetty Taulukossa 1.

Taulukko 1. Mittapisteiden nimet, sijainnit ja mittayksiköt.

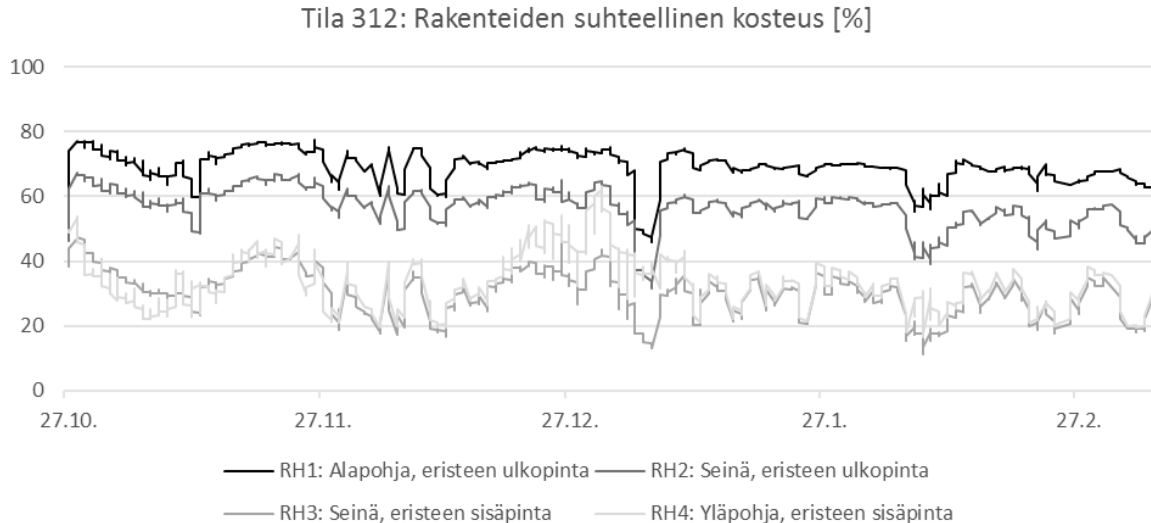
Tila	Mittapiste	Sijainti	Mittayksikkö
312	PE1	Ulko-sisäilma tuuletusikkunan kautta	Pa
312	T&RH1	Ulkoseinä ikkunan alla, eristekerroksen sisäpinta	°C, %, g/m ³
312	T&RH2	Ulkoseinä ikkunan alla, eristekerroksen ulkopinta	°C, %, g/m ³
312	T&RH3	Ulkoseinän ja alapohjan liitos, eristekerroksen ulkopinta	°C, %, g/m ³
312	T&RH4	Ulkoseinän ja yläpohjan liitos, eristekerroksen sisäpinta	°C, %, g/m ³
312	Sisäilma1	Sisäilma	°C, %
327	PE2	Tuuletusikkunan kautta	Pa
327	T&RH5	Alapohja, eristekerroksen sisäpinta	°C, %
327	T&RH6	Yläpohja, eristekerroksen sisäpinta	°C, %
327	Sisäilma2	Sisäilma	°C, %
309	T&RH7	Ulkoseinä ikkunan alla, ylöspäin, eristekerroksen ulkopinta	°C, %
309	T&RH8	Ulkoseinä ikkunan alla, alaspäin, eristekerroksen ulkopinta	°C, %
309	Sisäilma3	Sisäilma	°C, %
	Ulkoilma	Ulkoilma	°C, %

Ylipaineistuksen tavoitteena oli ylläpitää noin 5–7 Pa ylipainetta ulkoilmaan nähden. Tila 312 pysyi seurantajaksoilla 45 % ajasta ylipaineisena ja 0,1 % ajasta ylipaine oli vähintään 5 Pa. Vastaavasti tila 327 pysyi ylipaineisena 74 % ajasta ja 25 % ajasta ylipaine oli vähintään 5 Pa. Seuratuista tiloista 327 pysyi huomattavasti paremmin ylipaineisena. Tulokset osoittavat, että pienen hallitun ylipaineen tekninen toteutus ei ole ihan helppoa ja todennäköisesti vaatisi puhaltimien tiheyskorjatun ohjauksen, jota tässä tapauksessa ei ollut käytössä. Valtaosan ajasta tutkimusalue oli kuitenkin ylipaineinen.



Kuva 3. Tila 327 pysyi suuremman osan ajasta ylipaineisena kuin tila 312.

Seurantamittauksissa rakenteisiin ei havaittu kertyvän kosteutta talven aikana (Kuva 4). Korkeimmat suhteellisen kosteuden arvot mitattiin pisteessä T&RH1, joka sijaitsi tilan 312 alapohjan eristekerroksen ulkopinnassa. Mittapisteen suhteellinen kosteus oli enimmillään 77,7 %RH mittausjakson alkupuolella.

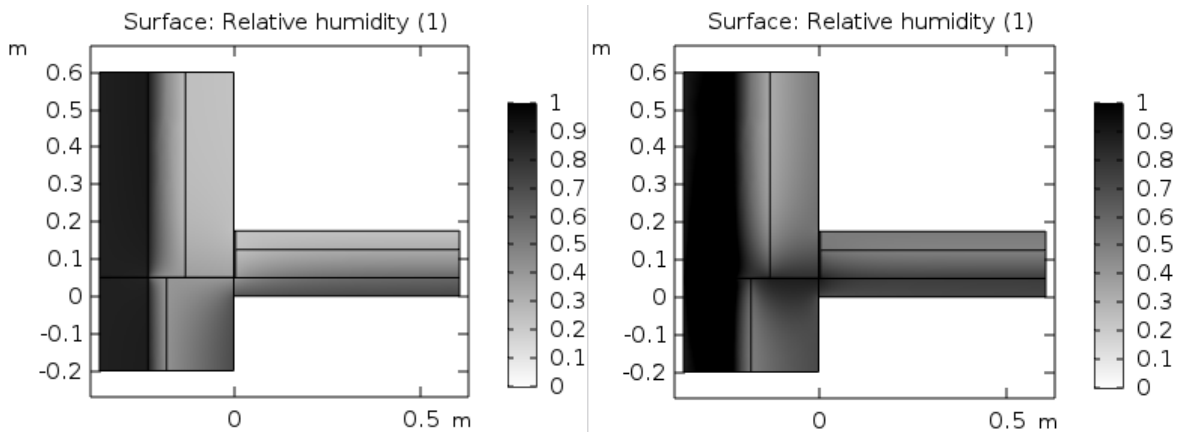


Kuva 4. Suurin mitattu suhteellinen kosteus oli tilan 312 alapohjan eristekerroksen ulkopinnassa.

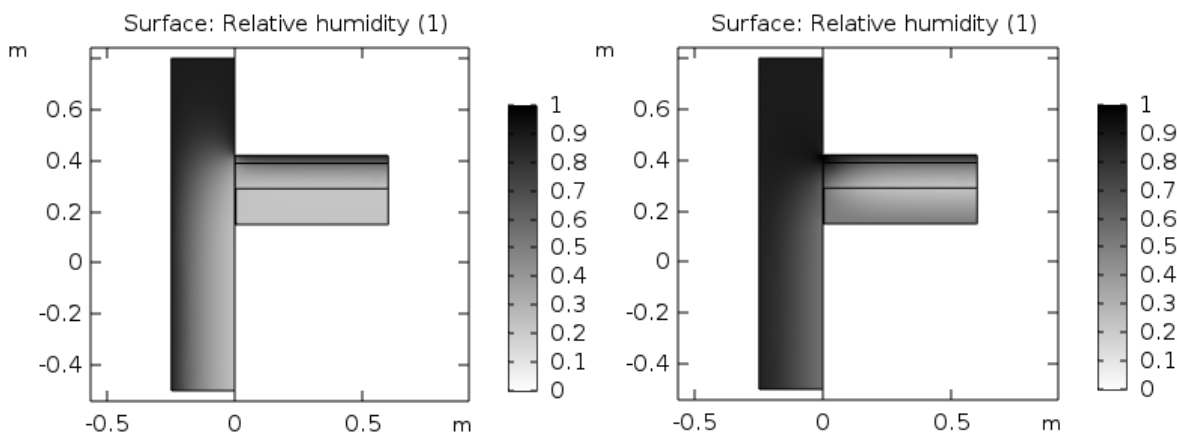
4. Rakenteiden kosteusteknisen toiminnan mallinnus

Vaipparakenteiden kosteusteknistä toimintaa ja konvektion vaikutusta tarkasteltiin Comsol Multiphysics -ohjelmiston avulla. Vaipparakenteista mallinnettiin alapohjan ja ulkoseinän sekä yläpohjan ja ulkoseinän liitos, joita tarkasteltiin talviolosuhteissa. Kyseisissä rakenneliittymissä on havaittu laajoja viivamaisia epätiiviyiskohtia, jotka mahdollistavat sisäilman kosteuden pääsyn rakenteisiin. Rakenneliittymien lämmön- ja kosteudensiirtymistä tarkasteltiin aluksi diffuusiona ja lopuksi tarkasteluun liitettiin epätiiviiin rakenneliitoksen kautta kulkeva konvektiovirtaus.

Tarkastelussa havaittiin, että sisältä ulos liikkuvan konvektiovirtauksen vaikutus rakenteiden kosteuteen riippuu sisäilman kosteuslisän suuruudesta. Mittausajankohtana sisäilma oli niin kuivaa, että sisäilman kosteuslisä oli käytännössä mitätön toimivan ilmanvaihdon takia. Laskentatulosten mukaan ylipaineen aiheuttama konvektiovirtaus ei kastele rakenteita mitatulla sisäilman kosteuslisällä. Sisäilman kosteuslisän ollessa 2 g/m^3 konvektion rakenteita kasteleva vaikutus on edelleen pieni. Kosteuslisän ollessa mitoitusarvon mukaisesti 5 g/m^3 konvektion rakenteita kasteleva vaikutus on jo selkeästi havaittavissa sekä alapohjan ja ulkoseinän että yläpohjan ja ulkoseinän rakenneliittymissä (Kuvat 5 ja 6).



Kuva 5. Alapohjan ja ulkoseinän liitoksen suhteellista kosteutta tarkasteltiin laskennallisesti. Vasemmanpuoleisessa kuvassa sisäilma on kenttämittausten mukaisesti kuivaa, jolloin konvektiolla ei ole vaikutusta rakenteiden kosteuteen. Mitoitusarvon mukaisella sisäilman kosteuslisällä konvektiovirtaus kastelee rakenteita (oik.).



Kuva 6. Yläpohjan ja ulkoseinän liitoksen suhteellinen kosteus sisäilman ollessa kuivaa (vas.) ja mitoitusarvon mukaisella kosteuslisällä (oik.).

5. Johtopäätökset

Kosteuden ja painesuhteiden seurantamittauksissa havaittiin, että ylipaineisiksi tarkoitetut tilat pysyivät todellisuudessa vaihtelevasti ylipaineisina. Mittausten mukaan vaipparakenteisiin ei kertynyt kosteutta talven aikana. Mittauksissa havaittiin sisäilman olleen talvella todella kuivaa, joten sisä- ja ulkoilman kosteussisältö on ollut likimain sama, ja sisäilman kosteuslisä oli lähes mitätön. Toimivan ilmanvaihdon ja sisäilman kuivuuden vuoksi suurempikaan ylipaineisuus ei

oletettavasti olisi aiheuttanut rakenteille kosteusrasitusta. Kenttämittausten perusteella tällaista suoraa johtopäätöstä ei voida kuitenkaan tehdä, koska ylipaineistus ei täysin onnistunut.

Laskennallisesti havaittiin, että sisäilman kosteuslisän ollessa mitatulla tasolla konvektiolla ei ole merkittävää vaikutusta rakenteiden kosteuteen. Konvektion rakenteille aiheuttama kosteusrasitus muuttuu huomattavaksi lähestyttäessä sisäilman kosteuslisän mitoitusarvoa, jolla sisäilman kosteussisältö yli kaksinkertaistuu todellisuudessa mitattuun arvoon nähden. Tutkimuskohteessa havaituissa olosuhteissa ylipaineisuudesta ei vaikuta olevan haittaa rakenteiden kosteustekniselle toiminnalle.

Vaikka ylipaineistuskokeilu ei näytä aiheuttaneen rakenteille kosteusrasitusta, kokeilua ei voida pitää täysin onnistuneena. Ylipaineisuus ei toteutunut tutkimusjakson aikana tavoitellusti. Mikäli ylipaineistusta aiotaan jatkossa kokeilla epäpuhtauksien pitämiseksi rakenteissa, tulee ylipaineistuksen toteutuksessa löytää keinoja tavoitellun ylipaineen varmistamiseksi.

6. Yhteenveto

Ylipaineistuksen tekninen aikaansaaminen ei onnistunut tavoitellusti. Tutkittavat tilat pysyivät vaihtelevasti ylipaineisina. Siksi kenttämittausten perusteella ei voida tehdä rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta liian pitkälle meneviä johtopäätöksiä ylipaineistuksen vaikutuksen puuttumisesta. Kokeilun aikana suoritetuissa seurantamittauksissa rakenteisiin ei kertynyt kosteutta. Seurantamittauksissa sisäilman havaittiin olleen talvella kuivaa, ja sisäilman kosteuslisä todettiin mitättömän pieneksi, mikä johtui luokkahuoneiden toimivasta ilmanvaihdesta. Laskennallisessa kosteuden- ja lämmönsiirron tarkastelussa konvektiovirtaus ei aiheuta rakenteille ylimääräistä kosteusrasitusta mitatulla sisäilman kosteuslisällä. Mitoitusarvon mukaisella kosteuslisällä konvektiovirtauksen aiheuttama kosteusrasitus olisi jo huomattava.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennustietosäätiö. 1999. RT 05-10710. Kosteus rakennuksissa. Ohjetiedosto.
- [2] Sweco Asiantuntijapalvelut Oy. 2016. Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus. Tutkimusselostus.

Havainnot vanhojen pientalojen rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta Remedial-tutkimushankkeessa

Arto Köliö¹, Kaisa Jalkanen² ja Petri Annila³

¹ Insinööritoimisto Renovatek Oy

² Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

³ Rakennusinsinööritoimisto Petri Annila

Tiivistelmä

Yhteensä 14 pientalossa tehtiin alkuvuoden 2017 aikana rakenteiden kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia osana Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) ja Itä-Suomen yliopiston Remedial-tutkimushanketta. Remedial-hankkeen tavoitteena on tunnistaa kosteusvaurioituneille rakennuksille tyypillinen mikrobiprofiili sekä tutkia ihmisen keuhkoepiteelisolukon vastetta kosteusvaurioituneesta rakennuksesta kerätyille hiukkasille.

Talvella ja keväällä 2017 tutkitut pientalot ovat valmistuneet 1920–1980-luvuilla. Kenttätutkimusten yhteydessä kartoitettiin kohteiden rakenteet sekä niihin liittyvät kosteustekniset riskit. Lisäksi tutkittavien rakenteiden kunnosta ja toiminnasta kerättiin tietoa kosteusmittausten, painesuhteiden mittauksen sekä rakenneavausten ja materiaalinäytteenoton avulla. Systemaattisen tutkimusohjelman mukaan tehtyjen tutkimusten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä tätä tutkimusotosta vastaavien pientalojen rakenteiden yleisimmistä ominaisuuksista ja kosteusteknisistä toimivuuspuutteista.

Kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten havainnot rakenteista ja vaurioista eivät selkeästi viitanneet vauriokohteisiin vaikkakin vauriokohteissa havaittujen kosteusteknisen toimivuuden puutteiden ja vaurioiden määrä oli jonkin verran suurempi kuin vertailukohteiksi valituissa rakennuksissa. Vauriokohteet ilmenivät tutkimuksissa kuitenkin selvästi sisätiloissa havaittujen tunkkaisuuden ja hajujen perusteella. Vauriokohteissa havaittiin myös jonkin verran enemmän riskirakenteiksi luokiteltavia rakenteita kuin vertailukohteissa. Yhtä rakennusta lukuun ottamatta kaikissa tutkimuskohteissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon korvausilmareittejä ei pääsääntöisesti ollut järjestetty hallitusti. Rakenteiden tutkimuksiin perustuen kohteiden altistumisolosuhteita arvioitiin soveltamalla tähän tarkoitukseen kehitettyä luokitusta.

1. Johdanto

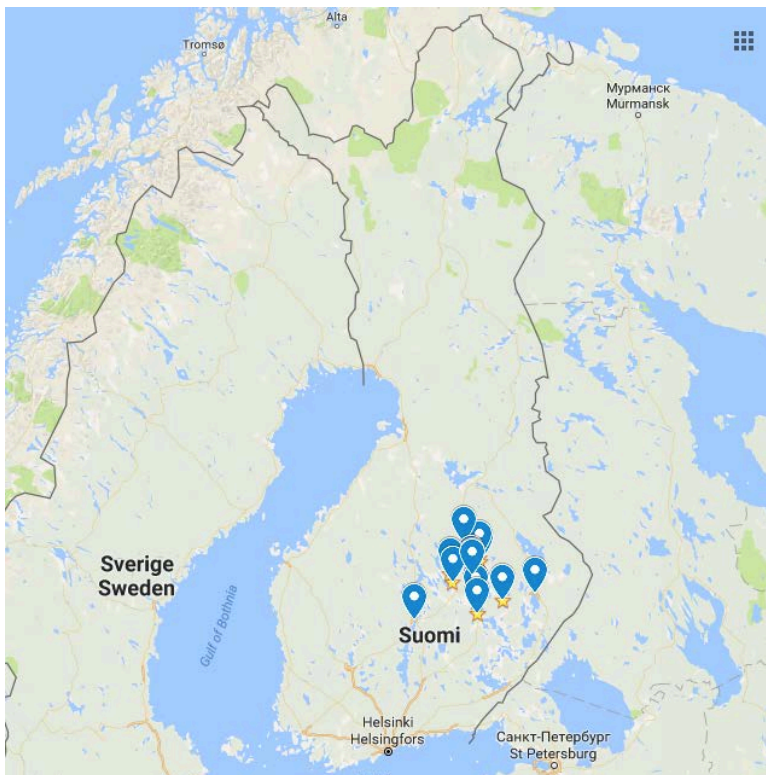
Asuntojen ja oleskelutilojen kunnossapidon perustan asettaa vaatimus, että sisäilma ja sisäolosuhteet eivät saa aiheuttaa tilassa oleskeleville terveyshaittaa (Terveydensuojelulaki 763/1994) [1]. Julkisiin rakennuksiin keskittyvässä tutkimuksessa on havaittu, että oleskelutiloina käytettävissä rakennuksissa esiintyy yleisesti rakenteiden vaurioita [2]. Aikaisemmat asumisterveyttä käsittelevät tutkimukset ovat osoittaneet yhteyden rakenteiden kosteusvaurioiden ja kosteuden sekä terveyshaittojen välillä [3, 4]. Rakenteiden kosteus- ja mikrobivauriot ovat yksi keskeisimpiä näiden terveyshaittojen syntymiseen vaikuttavia tekijöitä rakennusten käyttäjillä. Toistaiseksi ei ole kuitenkaan onnistuttu tunnistamaan, mitkä mikrobit tai tekijät aiheuttavat oireita tai sairastumisia.

Remedial-tutkimushankkeen tavoite on tunnistaa kosteusvaurioiden mikrobiologiset

tunnusmerkit ja kosteusvaurioihin sekä niiden mikrobistoon liittyvät solusignaalit ihmisten keuhkoepiteelissä. Tutkimushankkeen aineistona käytetään mikrobeja, jotka on havaittu kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen sisäilmassa. Tutkimushankkeen aineisto kerättiin kosteusvaurioituneista pintaloista sekä saman ikäisistä vertailukohteista. Rakennuksen vauriotila varmistettiin kosteus- ja sisäilmateknisillä kuntotutkimuksilla. Renovatek Oy:n vastuulla hankkeessa on näiden kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten toteuttaminen kohderakennuksissa. Tutkimushankkeen ensimmäisen vaiheen aikana on tarkastettu 14 pientalon rakenteet. Vastaava, noin 16 pientalon otos tutkitaan vuoden 2018 alkupuolella. Tämä artikkeli kokoaa yhteen näiden kosteusteknisten tutkimusten havaintoja.

2. Tutkimuskohteet ja tutkimusmenetelmät

Remedial-tutkimushankkeen kenttätutkimusten yhteydessä toteutetaan kahdessa vaiheessa samansisältöinen rakenteiden kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus 30 eri-ikäisessä pientalossa vuosina 2017–2018. Talven ja kevään 2017 aikana tutkittiin 14 pientalon rakenteet. Ensimmäisessä vaiheessa tutkitut kohteet on rakennettu vuosina 1924–1982. Kaikki kohteet ovat puurunkoisia, joihin liittyi betonisia kellari- ja alapohjarakenteita. Vanhin kohde (rakennettu 1924) oli hirsirunkoinen. Tutkimuskohteet sijaitsivat Itä-Suomen alueella noin 150 km säteellä Kuopiosta (kuva 1).



Kuva 1. Tutkimuskohteiden maantieteellinen sijainti (ruutukaappaus, Google-maps).

Tutkittavat kohteet valittiin jakamalla potentiaaliset tutkimuskohteet kahteen ryhmään: indeksi- eli vauriokohteisiin (6 kohdetta) ja vertailukohteisiin (8 kohdetta). Jako eri ryhmiin tehtiin muun muassa kunnan asumisterveysviranomaisen antaman arvion perusteella. Vertailukohteet etsittiin kyselyiden avulla vauriokohteen ympäristöstä saman aikakauden rakennuksista. Tutkimusten aikana kaksi vertailukohdetta osoittautui potentiaalisiksi vauriokohteeksi.

Tutkittavien pientalojen rakenteille tehtiin seuraavat tutkimukset mukaillen ohjeita [5, 6]:

- rakennuksen piirustusteiden tarkastelu, mikäli piirustuksia oli saatavilla
- rakenteiden aistinvarainen tarkastus (rakenteiden rasitus ja riskit)
- ennalta tiedostettujen riskirakenteiden kartoitus pintakosteudenosoittimella
- tarvittaessa rakenteen kosteusmittaus (materiaalinäytteestä, ei tasaantumisaikaa kohteella)
- katselmuksen ja terveystarkastusraportin perusteella rakenteiden tutkiminen rakenneavauksilla
- ilmapuotoreitin selvittäminen (rakenteesta sisäilmaan) aistinvaraisesti ja savukynällä sekä lämpökuvauksella
- tutkittavien tilojen painesuhteiden selvittäminen (hetkellinen mittaus, ilmanvaihdon normiasetus, maksimiasetus)
- tarvittaessa materiaalinäytteiden ottaminen mikrobianalyysijä ja/tai haitta-ainetutkimuksia varten. Materiaalien analyysit tehtiin THL:n laboratoriossa.
- tutkimusten raportointi talon omistajalle sekä tutkimushanketta varten.

Tarkastusten talvinen ajankohta huomioon ottaen rakennusten ulkopuolisten kuivatusrakenteiden kuntoa ei pystytty tarkastamaan kaikissa kohteissa kauttaaltaan.

Asukkaiden altistumistodennäköisyyttä kohteiden kosteus- ja mikrobivaurioille arvioitiin soveltamalla Työterveyslaitoksen esittämää altistusolosuhteiden luokitusta työpaikoille [7]. Luokituksen soveltamisessa otettiin huomioon kaksi kriteeriä: mikrobivaurioiden laajuus ja ilmapuotoreitit vaurioituneista rakenteista. Materiaalien mahdollisia kuitulähteitä, M1-luokitusta tai tilan sisäilman laadun viite- ja ohjearvoja ei ollut mahdollista käyttää kriteereinä tutkituissa kohteissa.

3. Tutkimushavainnot

Yleisesti tarkastellun ajanjakson rakennukset eivät enää ole alkuperäiskuntoisia, vaan niihin on monesti tehty eriasteisia korjaustoimenpiteitä elinkaarensa aikana. Tyypillisiä korjaustoimenpiteitä ovat seinien ja yläpohjien lisälämmöneristys, sokkelin ja perusmuurin vedeneristys sekä märkätilojen korjaukset, ja nämä ovat tyypillisiä myös tarkastelluissa taloissa. Seuraavassa on esitetty muutamia koottuja havaintoja tarkastuskohdekohtaisesti. Havaintojen perässä on esitetty sulkeissa kyseisen havainnon yleisyys koko otoksessa. Taulukossa 1 on esitetty havaintojen osuus otoksesta jaettuna vaurio- ja vertailukohteiden kesken.

Maanpintojen ja ulkoalueiden muotoilu oli tutkimuskohteissa yleisesti puutteellinen. Tyypillisesti maanpinta oli kallistettu rakennusta kohti (8/14). Myös rakennuksen sokkelikorkeus oli kahdessa kohteessa matala niin, että maanpinta oli kellarikerroksen ikkunoiden tasalla. Sadevesijärjestelmässä havaittiin useassa kohteessa (5/14) puutteita, mikä puutteellisesti kaadettujen vierustäyttöjen yhteydessä kohottaa perustusten kosteusrasitusta.

Puolessa tutkituista taloista alapohjaan ja/tai kellarin maanvastaiseen seinärakenteeseen liittyi kohonnut kosteusvaurion riski, eli rakenne on nk. riskirakenne (9/14). Tyypillisesti riskirakenne muodostui sisäpuolelta eristetyistä maanvastaisesta seinästä. Alapohjasta ja kellarin seinärakenteista tehtiin myös kenttätutkimusten yhteydessä yleisesti havaintoja kosteus- ja mikrobivaurioista (6/14).

Yleisimmät ulkoseinien ja julkisivujen havainnot liittyivät ulkoseinärakenteen puutteelliseen tuulettuvuuteen (8/14). Näissä tapauksissa seinärakenne oli tiiliverhottu ulkopinnastaan tai purueristetty rankarunkoinen seinä. Kosteusvaurioihin viittaavia havaintoja tehtiin kahdessa kohteessa. Ikkunoihin liittyvät havainnot liittyivät ikkunan puutteelliseen tiiviyteen (4/14). Merkittäviä vaurioita ei havaittu.

Yleisin havainto rakennusten kuivissa sisätiloissa oli tunkkainen tai mikrobiperäinen haju (6/14). Hajulle ei välttämättä löydetty selkeää lähdettä. Tyypillisesti haju kuitenkin liittyy epätiiviyksiin muiden rakennusosien läpi. Märkätiloihin liittyvät vauriohavainnot olivat melko yleisiä ja esiintyivät joko havaintoina kohonneesta kosteuspitoisuudesta tai selkeinä kosteusvaurioina (5/14). Useisiin kohteisiin oli tehty märkätilojen korjauksia.

Yläpohjien ja vesikattojen kulkureitit ja turvallisuus olivat yleisesti puutteellisia, ja suurta osaa rakenteita ei voitu tarkastaa (6/14). Tarkastetuista yläpohjista kahdessa kohteessa havaittiin puutteita yläpohjan tuulettuvuudessa. Kahdessa kohteessa tehtiin selkeä kosteusvaurion havainto.

Rakennusten ilmanvaihto oli yhtä kohdetta lukuunottamatta toteutettu painovoimaisena (13/14). Yhdessä kohteessa korvausilma oli osana lämmitysjärjestelmää. Kahdessa kohteessa poistoa oli tehostettu märkätiloissa. Yleisesti tutkituissa rakennuksissa ei ollut hallittuja korvausilmareittejä (12/14).

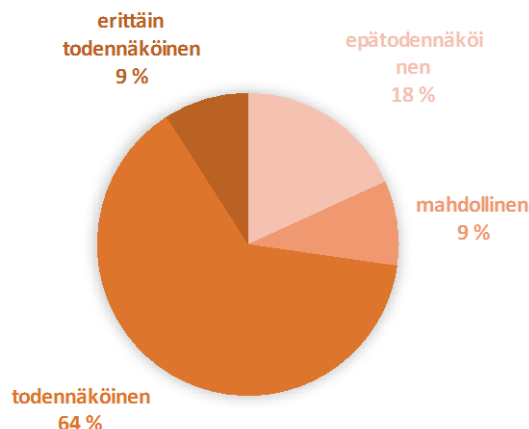
Taulukko 1. Yhteenveto kosteus- ja sisäilmateknisistä kuntotutkimuksista.

	indeksikohteet (N=8)	vertailukohteet (N=6)
Vierustäyttöjen kaatojen tai korkeusaseman puutteet	5/7 (yhtä kohdetta ei voitu arvioida)	3/6
Puutteet sadevesijärjestelmässä	3/8	2/6
alapohjan tai kellarin seinärakenteen kosteusvaurioriski	5/8	4/6
alapohjan ja/tai kellarin kosteus- ja/tai mikrobivauriohavainnot	4/8	2/6
ulkoseinärakenteen puutteellinen tuulettuvuus	5/8	3/6
Kuivien sisätilojen tunkkainen ilma/hajut	6/8	0/6
Märkätilojen rakenteiden kohonnut kosteuspitoisuus	3/8	2/6
Märkätilojen rakenteiden kosteusvauriot	3/8	2/6
Yläpohjan kosteusvauriot	2/6	0/2
Yläpohjan tuulettuvuuden puutteet	1/6	1/2
Painovoimainen ilmanvaihto	8/8	5/6 (yhdessä osana lämmitys.)
Ei hallittuja korvausilmareittejä	7/8	5/6

Kohteiden altistusolosuhteiden luokitus soveltaen Työterveyslaitoksen luokitusta työpaikoille [7] on esitetty kuvassa 2. Luokituksen mukaan yli 70 %:ssa tutkituista rakennuksista altistumisen todennäköisyys oli joko ”todennäköinen” tai ”erittäin todennäköinen” (yksittäinen kohde). Työpaikoille tarkoitetun luokituksen soveltaminen asuinrakennusten arvioimiseen osoittautui

kuitenkin epävarmaksi sillä yleisesti muun muassa ilmanvuotoreittien merkityksen arvioiminen oli hankalaa. Asuinrakennusten luokitusta voitaisiin kehittää ottamalla kriteeristöissä huomioon esimerkiksi kosteus- ja mikrobivaurioiden sijaintia sekä vauriokohtien lukumäärää, huonetilojen käyttötarkoitusta sekä kulku- ja ilmayhteyksiä toisiinsa ja asukkaiden oleskeluaikoja eri huonetiloissa.

KOhteiden Luokitus Yhteensä



Kuva 2. Altistusolosuhteiden luokitus mikrobivaurioille tutkituissa pientaloissa.

4. Yhteenveto

Remedial-tutkimushankkeen yhteydessä tehtyjen pientalojen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä tehtiin yleisesti seuraavia huomioita:

- maanpinnan kallistusten ja sadeveden ohjauksen toteutuksessa esiintyi yleisesti puutteita, jotka kohottavat maanvastaisten rakenteiden kosteusrasitusta
- useissa kohteissa havittiin sisäpuolisia lämmöneristekerroksia maanvastaisissa seinissä/alapohjissa (riskirakenne)
- useissa kohteissa havittiin ulkoseinä rakenteen tuulettuvuuden puutteita
- vuotoreitit/hajulähteet olivat yleisiä
- pääsääntöisesti rakennuksissa oli painovoimainen hallitsematon ilmanvaihto. Tällöin painesuhteita ei voida hallita ja vuotoreittien varmistaminen tutkimusten yhteydessä on hankalaa. Käytön aikana paine-erot rakennuksen vaipan yli jäävät painovoimaisen ilmanvaihdon tapauksessa normaalisti pieniksi.
- Rakennusten altistumisen luokitukseen sovellettiin työpaikkojen luokitusta. Tämän luokituksen mukaan yli 70 % tutkituista kohteista altistus oli vähintään ”todennäköinen”.

Tutkimuksissa kerätyt havainnot rakenteista ja vaurioista eivät selkeästi viitanneet vauriokohteisiin vaikkakin vauriokohteissa havaittujen kosteusteknisen toimivuuden puutteiden ja vaurioiden määrä oli jonkin verran suurempi kuin vertailukohteiksi valituissa rakennuksissa. Vauriokohteet ilmenivät tutkimuksissa kuitenkin selvästi sisätiloissa havaittujen tunkkaisuuden ja hajujen perusteella. Vauriokohteissa havittiin myös jonkin verran enemmän riskirakenteiksi luokiteltavia rakenteita kuin vertailukohteissa. Yhtä rakennusta lukuun ottamatta kaikissa tutkimuskohteissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Ilmanvaihdon korvausilmareittejä ei pääsääntöisesti ollut järjestetty hallitusti.

Lähdeluettelo

- [1] Terveydensuojelulaki 763/1994. [www] www.finelx.fi. viitattu 14.8.2017
- [2] Annala, P.J., Hellemaa, M., Pakkala, T.A., Lahdensivu, J., Suonketo, J., Pentti, M. 2017. Extent of moisture and mould damage in structures of public buildings, Case Studies in Construction Materials, Volume 6, 2017, Ss 103-108.
- [3] Bornehag, C.-G., Blomquist, G., Gyntelberg, F., Järholm, B., Malmberg, P, Nordvall, L., Nielsen, A., Pershagen, G. & Sundell, J. (2001) Dampness in Buildings and Health – Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to “Dampness” in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). *Indoor Air* 2001; 11: 72-86
- [4] Bornehag, C.-G., Sundell, J., Bonini, S., Custovic, A., Malmberg, P., Skerfving, S., Sigsgaards, T. & Verhoeff, A. (2004) Dampness in buildings as a risk factor for health effects, EUROEXPO: a multidisciplinary review of the literature (1998-2000) on dampness and mite exposure in buildings and health effects. *Indoor Air* 2004; 14: 243-257.
- [5] Pitkäranta, M.(toim.) 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016, Ympäristöministeriö. 234 s.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje: asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriö. 93 s.
- [7] Lappalainen, S., Reijula, K., Tähtinen, K., Latvala, J., Hongisto, V., Holopainen, R., Kurtto, P., Lahtinen, M., Rautiala, S., Tuomi, T., Valtanen, A. 2016. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos. 73 s.

A3. Määräykset ja ohjeet

Rakennuksen kosteusteknistä toimivuutta koskevan asetuksen valmistelu

Katja Outinen
Ympäristöministeriö

Tiivistelmä

Vuodelta 1998 oleva Suomen rakentamismääräyskokoelman rakennuksen kosteutta käsittelevä määräys- ja ohjeosa RakMK C2 on päivittymässä uuteen ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta. Asetusvalmistelun taustalla on vuonna 2013 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslain muutos (958/2012), joka edellyttää kaikkien rakentamismääräysten uusimista nykyisen perustuslain edellyttämään muotoon vuoden 2017 loppuun mennessä.

Uudessa asetuksessa merkittävää on soveltamisalan laajentuminen uuden rakennuksen rakentamisesta olemassa olevan rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön, laajennukseen sekä käyttötarkoituksen muutokseen. Uutena asiana asetukseen on nostettu velvoite huolehtia koko rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisesta. Huomioitavaa on myös se, että asetuksessa esitetään jatkossa vain velvoittavia säännöksiä, ohjeita ei enää anneta asetuksessa. Asetus tulee voimaan 1.1.2018.

1. Johdanto

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 1.1.2013 voimaan tulleella muutoksella (958/2012) muutettiin muun muassa rakennuksen terveellisyyttä koskevaa sääntelyä vastaamaan perustuslain 80 §:n säädöstasoa ja asetuksenantovaltuutta koskevia vaatimuksia. Uusi asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta annetaan maankäyttö- ja rakennuslain rakennuksen terveellisyyttä koskevan olennaisen teknisen vaatimuksen (117 c §) nojalla. Kyseisen pykälän mukaisesti rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että se on terveellinen ja turvallinen rakennuksen sisäilma, kosteus-, lämpö- ja valaistusolosuhteet sekä vesihuolto huomioon ottaen.

Nykyisen perustuslain edellytysten mukaisesti sitovat määräykset ja käytännön toteutusta ohjaavat ohjeet on erotettava nykyistä selkeämmin erilleen. Lakimuutoksen johdosta Suomen rakentamismääräyskokoelman kaikki osat uudistetaan vuoden 2017 loppuun mennessä. Uudistetut säännökset (asetukset) kootaan ympäristöministeriön ylläpitämään Suomen rakentamismääräyskokoelmaan.

Ns. kosteusasetuksen valmistelussa on huomioitu myös eduskunnan kirjelmä rakennusten kosteus- ja homeongelmista (EK 5/2013 vp) vuodelta 2013. Kirjelmässä eduskunta edellytti, että säädösvalmistelussa otetaan rakennusten terveellisyyden paremmin huomioon. Lisäksi on löydettävä tosiasialliset keinot rakennusten terveellisyyttä koskevien säädösten ja määräysten noudattamiseksi. Eduskunta edellytti myös toimenpiteitä rakennustyömaiden kosteudenhallinnan parantamiseksi.

2. Asetusvalmistelu

Rakennusten toimivuudesta kosteuden kannalta on säädetty ympäristöministeriön määräyksillä ja ohjeilla (RakMK C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet, 1998). Ympäristöministeriön asetuksella rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta annetaan edellä mainittuihin määräyksiin ja ohjeisiin pohjautuvat uudistetut velvoittavat säännökset, jotka korvaavat RakMK C2:n.

2.1 Valmistelutyö ministeriössä

Asetusluonnos on valmisteltu virkatyönä ympäristöministeriössä. Asetusvalmistelun tueksi teetettiin konsulttiselvityksiä, joissa arvioitiin mm. nykymääräysten toimivuutta (C2 Kosteusmääräysten toimivuuden arviointi, Vahanen Rakennusfysiikka Oy) ja rakennusten korjaus- ja muutostöissä tarvittavia säädöksiä (Rakennusten kosteusteknistä turvallisuutta koskevat säädökset korjaus- ja muutostöissä, Rakennustarkastusyhdistys RTY ry). Kosteusmääräysten uudistusta on tehty samanaikaisesti uudisrakentamisen energiamääräysten valmistelun kanssa ja osana tätä valmistelua on tarkasteltu energiatehokkaiden uudisrakennusten kosteusteknistä toimivuutta (Energiatehokkaiden uudisrakennusten rakenteiden kosteustekninen toimivuus, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy). Tämän lisäksi on teetetty kansainvälinen selvitys, jossa on tarkasteltu kosteusmääräysten lisäksi kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoja koskevia määräyksiä (Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistoja sekä rakennuksen kosteusteknistä toimivuutta koskevien määräysten ja ohjeiden kansainvälinen vertailu, Sweco Rakennetekniikka Oy). Em. selvitykset löytyvät ministeriön internet-sivulta valmisteilla olevia rakentamismääräyksiä käsittelevältä sivulta (ym.fi -> Maankäyttö ja rakentaminen -> Lainsäädäntö ja ohjeet -> Rakentamismääräyskokoelma -> Valmisteilla olevat).

2.2 Lausuntokierros ja ilmoitusmenettely

Asetusluonnos oli julkisella lausuntokierroksella 22.12.2016–3.3.2017 välisen ajan. Muutamille tahoille annettiin pyynnöstä jatkoaikaa 4.4.2017 asti. Lausuntopyyntö lähetettiin kaikkiaan 110 eri taholle ja lisäksi lausuntopyyntö julkaistiin ministeriön internet-sivuilla. Lausuntoja saatiin kaikkiaan 51 kpl. Lausunnoista on laadittu lausuntoyhteenveto, joka on luettavissa ministeriön internet-sivuilta (ym.fi -> Ajankohtaista -> Lausuntoyhteenvedet). Lausuntoja käsiteltiin ja asetusluonnosta muokattiin lausuntojen perusteella kevään ja kesän 2017 aikana.

Asetusluonnoksen lausuntoversion käsittelyn aikana luonnoksen sisältöä on selkeytetty ja täsmennetty. Työssä on huomioitu myös pääministeri Juha Sipilän hallituksen hallitusohjelman mukainen tavoite säädösten sujuvoittamisesta ja normien purkamisesta. Lausuntoversiossa ollutta epätasapainoa yksityiskohtaisten ja yleisempien säädösten välillä on tasoitettu siirtämällä yksityiskohtaisempia tekstejä käsiteltäväksi asetuksen tueksi annettavaan ympäristöministeriön ohjeeseen, joka valmistuu vuonna 2018.

Päivittynyt asetusluonnos on lähetetty heinäkuussa 2017 Euroopan komissiolle direktiivissä (EU) 2015/1535 edellytetyyn teknisten määräysten ilmoitusmenettelyyn (tekninen notifikaatio, ilmoitusmenettelyn numero 2017/345/FIN). Menettelyn tavoitteena on ennakoida ja ehkäistä EU:n sisämarkkinoiden esteiden kehittymistä ja huolehtia siitä, että säädökset ovat yhdenmukaisia EU:n lainsäädännön ja sisämarkkinoiden periaatteiden kanssa. Komissio ja muut jäsenmaat voivat antaa menettelyn aikana lausunnon ilmoitetusta määräyksestä, mikäli ne katsovat että ehdotuksesta voi aiheutua esteitä tavaroiden vapaalle liikkuvuudelle. Kosteusasetuksen osalta ilmoitusmenettelyn odotusaika on 24.7.–25.10.2017, minkä jälkeen, mikäli menettelyssä ei ole tullut lausuntoja, ympäristöministeriö voi antaa uuden asetuksen.

3. Asetusluonnoksen sisältö

Tässä seminaariartikkelissa esitellään asetuseruonnoksen pääasiallista sisältöä sellaisena kuin se on 21.7.2017 päivätyssä luonnoksessa [1] huomioiden kuitenkin asetuseruonnoksen alkusyksyllä tehtäväksi ajatellut muutokset. Päivitettyssä asetuseruonnoksessa on kaikkiaan 7 lukua ja 30 velvoittavaa pykälää. Artikkelin kappalejako ja kirjoitusasu eivät noudata asetuseruonnoksen kirjoitusasua. Huomioitavaa on lisäksi se, että asetuseruonnoksen sisältö ja tekstit voivat vielä muuttua asetuseruonnoksen loppuvaiheessa. Kokonaisuudessaan heinäkuinen versio asetuseruonnoksesta on haettavissa komission ns. TRIS-tietokannasta osoitteesta <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/fi/search/>.

3.1 Yleistä

Asetuseruonnos koskee uuden rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden suunnittelua ja rakentamista. Asetuseruonnos koskee myös rakennuksen laajennusta, kerrosalaan laskettavan tilan lisäämistä, korjaus- ja muutostyötä sekä rakennuksen käyttötarkoituksen muutosta.

3.1.1 Rakennuksen kosteusteknisen toimivuuden olennaiset tekniset vaatimukset

Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtäviensä mukaisesti huolehdittava rakennuksen suunnittelusta siten, että rakennus käyttötarkoituksensa mukaisesti täyttää sen kosteustekniselle toimivuudelle asetetut olennaiset tekniset vaatimukset. Suunnittelijan on rakennuksen korjaus- ja muutostyössä selvitettävä rakennuksen rakennusaikainen rakentamistapa ja rakenteen kosteustekninen toimivuus.

Rakennuksen, rakenteiden ja rakennusosien on oltava sisäiset ja ulkoiset kosteusrasitukset huomioon ottaen kosteusteknisesti toimiva niiden suunnitellun teknisen käyttöiän ajan. Rakennuksen liian suuri kosteuspitoisuus tai kosteuden kertyminen rakennuksen osiin tai sisäpinnoille ei saa vaurioittaa rakennusta eikä aiheuttaa rakennuksessa oleskeleville terveyshaittaa.

3.1.2 Rakennuksen kosteustekninen toimivuus rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa

Rakennuksen korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa rakennuksen kosteustekniseen toimivuuteen ei tarvitse tehdä muutoksia, jos rakennus on kosteusteknisesti toimiva. Korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa kosteusteknisesti toimiva rakenne, jonka tekninen käyttöikä on loppunut tai joka on kosteustekniseltä toiminnaltaan vaurioitunut, voidaan korjata rakennusaikaista tapaa noudattaen. Jos rakenteessa ei ole kosteustekniseltä toimivuudeltaan muutosta vaativaa suunnittelu- tai toteutusvirhettä, on korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa ensisijaisesti noudatettava alkuperäisen rakenteen toimintatapaa. Korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa voidaan noudattaa uutta asetusta, jos tarkoituksena on parantaa rakennuksen kosteusteknistä toimivuutta. Jos rakennusaikainen rakenne on omiaan aiheuttamaan terveyshaittaa tai vaurioita rakennuksen kosteustekniselle toimivuudelle, on korjaus- ja muutostyössä tai käyttötarkoituksen muutoksessa aina noudatettava uutta asetusta.

3.2 Yleiset kosteustekniset periaatteet

3.2.1 Rakennuksen kosteustekninen toiminta

Sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry, vesi, lumi tai jää ei saa haittaa aiheuttaen kulkeutua rakenteisiin. Sadevesi tai lumi ei saa kulkeutua eikä kosteus saa kerääntyä vaipparakenteeseen myöskään ikkunoiden, ovien tai muiden vaippaan liittyvien rakenteiden, rakennusosien ja laitteiden kautta. Rakennuksen vaipan ja sen rakennekerrosten ja liitosten on muodostettava kokonaisuus, joka estää tuulta, viistosadetta ja tuulenpainetta kuljettamasta vettä vaipan pintaa pitkin rakenteisiin.

Sekä rakennuskosteuden että rakenteisiin ulko- tai sisäpuolelta satunnaisesti kulkeutuvan kosteuden on voitava poistua haittaa aiheuttamatta. Pinnoiltaan kastuvien rakenteiden on kestävä veden vaikutus.

3.2.2 Rakenteiden ilmanpitävyys ja höyrytiiviys

Rakennuksen vaipan liitoksineen sekä rakennuksen sisä rakenteiden ilmanpitävyyden ja höyrytiiviyyden on estettävä vesihöyryn rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta haitallinen siirtyminen rakenteisiin. Rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyyteen uusien rakennusten ja rakennusten laajennusten ja kerrosalaan laskettavan tilan lisäämisen osalta sovelletaan rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta annettavan ympäristöministeriön asetuksen 21 §:ää.

3.2.3 Rakennuksen alus- ja vierustäytöt

Uuden rakennuksen alla, ryömintätilan alustäytössä ja rakennuksen vieressä salaojituskerroksen toimivassa vierustäytössä ei saa olla humusmaata, kosteuden vaikutuksesta hajoavia tai lahoavia orgaanisia aineita eikä rakennusjätettä. Rakennuksen perustuksia, perusmuuria tai alapohjaa koskevassa korjaus- ja muutostyössä kyseistä säädöstä on noudatettava ainoastaan korjattavilta tai muutettavilta osin.

3.3 Rakennushankkeen kosteudenhallinta

3.3.1 Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatiminen ja sisältö

Pääsuunnittelijan on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä hankkeen yleistiedot, vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa, toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä kosteudenhallinnan henkilöresurssit. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä myös tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä.

Vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisesta rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen pohjautuen. Kosteudenhallintasuunnitelman sisältöön sovelletaan rakentamisen suunnitelmista ja selvityksistä annetun ympäristöministeriön asetuksen (216/2015) 15 §:ää. Suunnitelmaan on sisällyttävä lisäksi tiedot rakennustyömaan kosteudenhallinnasta vastaavista rakennusvaiheen vastuuhenkilöistä.

3.3.2 Rakennustuotteiden ja -osien suojaus sekä rakenteiden kuivuminen ja kuivatus

Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava rakennustuotteiden ja keskeneräisten rakennusosien suojaamisesta kastumiselta ja epäpuhtauksilta työmaavarastoinnin ja rakentamisen aikana. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava siitä, että rakenteissa olevan kosteuden ja rakennuskosteuden kuivumisaste mahdollistaa rakenteiden peittämisen kuivumista hidastavalla ainekerroksella, pinnoitteella tai rakenteella vaurioita aiheuttamatta. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön on huolehdittava kosteusmittauksin rakenteiden asianmukaisesta kosteuspitoisuudesta seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä varten.

3.4 Rakennuspohjan kuivatus

Erityissuunnittelijan on suunniteltava maanpinnan kuivatus ja hulevesien hallinta siten, että hulevedet johdetaan pois rakennuksen vierestä hulevesijärjestelmän avulla. Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuspohjan salaojitus veden kapillaarivirtauksen katkaisemiseksi ja pohjavedenpinnan pitämiseksi riittävällä etäisyydellä rakennuksen alapohjasta sekä perustusten kuivatusvesien johtamiseksi pois perustusten vierestä ja rakennuksen alta. Rakennuspohja voidaan jättää salaojittamatta, jos erityissuunnittelija on varmistunut perustamis- ja pohjaolosuhdeselvityksen perusteella, että perusmaan vedenläpäisykyky ja pohjaveden korkeus eivät ole omiaan aiheuttamaan haittaa rakennuksen kosteustekniselle toimivuudelle.

3.5 Rakennuksen alapohja ja maanvastaiset seinärakenteet

3.5.1 Maanvastainen ja ryömintätilainen alapohja

Maanvastaisen alapohjan lattian yläpinnan on oltava vähintään 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella lukuun ottamatta osittain tai kokonaan maanpinnan alapuolella olevien tilojen lattioita. Jos lattian yläpinta on erityisestä syystä viereiseen maanpintaan verrattuna alempana kuin 0,3 metriä maanpinnan yläpuolella, erityissuunnittelijan on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen.

Alapohjan alapuoliseen ryömintätilaan ei saa kerääntyä vettä. Ryömintätilan on tuuletettava. Ryömintätilan kosteus ei saa aiheuttaa haittaa rakenteiden toiminnalle ja kestävyydelle. Ryömintätilaan on oltava pääsy sen tarkastamista ja siellä sijaitsevien laitteiden ja järjestelmien huoltamista varten.

3.5.2 Maanvastaiset seinärakenteet sekä vedenpaineen alaiset rakenteet

Maanvastaisen ulkoseinän rakenteen on estettävä ympäröivän maan kosteuden sekä hulevesien haitallinen tunkeutuminen seinärakenteeseen vedeneristyksellä tai vedenpaineen eristyksellä taikka rakenteellisesti hallitulla vedenpoistolla, joka mahdollistaa kellarin seinän kuivumisen ulospäin. Vedeneristyksen tai vedenpaineen eristyksen on oltava maanvastaisen ulkoseinärakenteen ulkopinnassa tai ulkopuolisen, maata vasten olevan lämmöneristyksen sisäpuolella.

Vedenpaineen alaisten rakenteiden on kestävä jatkuvan vedenpaineen vaikutus rakenteen suunnitellun käyttöajan ajan. Tällaisissa rakenteissa on oltava vedenpaineeneristys, joka estää ulkopuolisen veden haitallisen tunkeutumisen rakenteeseen.

3.6 Yläpohja ja ulkoilman vastaiset seinä- ja kattorakenteet

3.6.1 Ulkoseinän rakenteet ja ulkoverhous

Ulkoseinän ja sen eri kerrosten on muodostettava kokonaisuus, joka estää veden haitallisen kulkeutumisen rakenteiden sisään. Ulkoseinän ja sen eri kerrosten sekä ulkoseinään liittyvien rakenteiden ja ulkoseinän liitosten vesihöyrynvastuksen ja ilmatiiviuden on oltava sellainen, ettei seinän kosteuspitoisuus sisäilman vesihöyryn diffuusion tai konvektion vuoksi muodostu rakenteen kosteusteknisen toimivuuden kannalta haitalliseksi. Jos rakenteessa on käytetty ilmansulkua tai höyrynsulkua, on saumojen, reunojen ja läpivientikohtien oltava tiiviitä.

Seinärakenteen ulkoverhouksen taakse ei saa joutua vettä tai ulkoverhouksen taakse tunkeutuneen veden ja kosteuden on päästävä poistumaan rakenteita vahingoittamatta. Ulkoverhouksen taustan on oltava tuuletettava, ellei kosteus pääse muutoin poistumaan.

3.6.2 Veden poisjohtuminen vesikatolta ja yläpohjan rakenteet

Vesikatolla rakenteineen ja liitoksineen on oltava katteelle sopiva kaltevuus ja tiiviys veden poisjohtamiseksi. Yläpohjan kerrosten ja tuuletuksen on estettävä vesihöyryn diffuusiosta tai ilmavirtauksista johtuva, haittaa aiheuttava kosteuden kertyminen yläpohjarakenteeseen.

3.7 Märkätila

Vesi ei saa valua tai siirtyä kapillaarivirtauksena märkätilan rakenteista ympäröiviin rakenteisiin ja huonetiloihin. Märkätilan lattiapäällysteen ja seinäpinnoitteen on toimittava vedeneristykseenä tai lattiassa päällysteen alla ja seinässä pinnoitteen takana (lukuun ottamatta löylyhuonetta ja wc-tilaa) on oltava erillinen vedeneristys. Märkätilan lattian kaltevuuden on oltava sellainen, että vesi valuu lattiakaivoon. Vedeneristyksen ja lattiakaivon liitoksen on oltava tiivis.

4. Yhteenveto

Uusi asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta korvaa nykyiset, vuodelta 1998 olevat kosteusmääräykset ja -ohjeet (RakMK C2, määräykset ja ohjeet, 1998). Nykyisistä määräyksistä poiketen uudessa asetuksessa annetaan säännöksiä myös rakennuksen korjaus- ja muutostyöhön ja käyttötarkoituksen muutokseen. Lisäksi uutena asiana on velvoite koko rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksestä ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelmasta. Asetus tulee voimaan 1.1.2018.

Lähdeluettelo

- [1] Luonnos ympäristöministeriön asetukseksi rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta, luonnos 21.7.2017 (2017/345/FIN) Euroopan komission nettisivut <http://ec.europa.eu>, Euroopan komissio -> Growth -> Sisämarkkinoiden toiminta ja säännöt -> Tools and Databases -> TRIS -> Hae tietokannasta

Valviran uusi asunnontarkastusohje

Pertti Metiäinen

Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto, Valvira

Tiivistelmä

Valvira on julkaissut kuntien terveydensuojeluviranomaisille asunnontarkastusohjeen asunnon terveyshaitan selvittämiseksi. Terveyshaittoja asunnossa aiheuttavien tekijöiden selvittäminen edellyttää riittäviä perustietoja rakennustekniikasta, talotekniikasta, rakennusterveyshaittoihin liittyvistä olosuhdetekijöistä ja lainsäädännön vaatimuksista. Valvonnan lisäksi kuntien terveydensuojeluviranomaiset antavat asukkaille hallintoasian käsittelyyn ja terveydensuojeluun liittyvää ohjausta ja neuvontaa. Ohjeella asunnon terveyshaitan selvittämisprosessiin selvennetään hallinnollisten menettelyjen ja rakennuksen teknisen tutkimisen osalta terveydensuojelulain tulkintaa ja sen soveltamista epäiltäessä terveyshaittaa asunnossa. Tavoitteena on yhdenmukaistaa asunnontarkastuskäytäntöjä niin, että tarkastusmenettelyt ovat lainsäädännön mukaisia, rakennusten terveyshaitat selvitetään tehokkaasti ja terveydensuojeluviranomaisten resurssit ovat riittävät laadukkaan valvonnan järjestämiseksi.

1. Johdanto

Asumisterveyteen liittyvistä terveydensuojeluviranomaisen tehtävistä säädetään terveydensuojelulaisissa (763/1994) [1]. Valviran uusi asunnontarkastusohje [2] täydentää sosiaali- ja terveysministeriön asetusta asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015) [3] ja Valviran vuonna 2016 laatimaa asumisterveysasetuksen soveltamisohjetta [4].

2. Terveydensuojelulain soveltaminen asunnontarkastuksissa

Terveydensuojelulain tarkoituksena on sen 1 §:n mukaan väestön ja yksilön terveyden ylläpitäminen ja edistäminen sekä ennalta ehkäistä, vähentää ja poistaa sellaisia elinympäristössä esiintyviä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa. Terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveyden häiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä. Asumisterveyskysymyksissä terveydensuojeluviranomainen arvioi sitä, esiintyykö rakennuksessa tai tilassa sellaisia olosuhdetekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa.

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen olosuhteista on säädetty terveydensuojelulain 26 §:ssä ja asumisterveysasetuksessa. Asumisterveysasetuksessa on säädetty yleisimmille fysikaalisille, kemiallisille ja mikrobiologisille tekijöille toimenpiderajoja. Toimenpiderajalla tarkoitetaan pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jolloin sen, kenen vastuulla haitta on, tulee ryhtyä terveydensuojelulain 27 §:n tai 51 §:n mukaisesti toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Terveydensuojelulain tarkoittamana terveyshaittana pidetään altistumista terveydelle haitalliselle aineelle tai olosuhteelle siten, että sairauden tai sen oireiden paheneminen tai syntyminen on mahdollista.

Lain 27 §:ssä on säädetty toimenpiteistä, jos asunnossa tai muussa oleskelutilassa todetaan terveyshaitta. Kun terveydensuojeluviranomainen on todennut haitan olemassaolon, haitasta vastuussa olevan on ryhdyttävä viipymättä toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja poistamiseksi. Tällä tarkoitetaan sitä, että toimenpiteisiin on ryhdyttävä niin pian kuin mahdollista sen jälkeen, kun tarve on ilmennyt. Kun terveyshaitan aiheuttaja ja merkitys tilan käyttäjille on selvitetty, arvioidaan tarvittavien toimenpiteiden kiireellisyys.

Terveydensuojeluviranomainen määrittelee toimenpiteiden aikataulun terveyshaitan perusteella siten, että se on terveyshaitan poistamisen kannalta mahdollinen ja eri asianosaisten näkökulmasta oikeudenmukainen.

Terveydensuojeluviranomainen voi määrätä terveydensuojelulain 27 §:n 2 momentin perusteella haitasta vastuullisen tahon ryhtymään viipymättä toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi, poistamiseksi tai rajoittamiseksi.

Terveydensuojeluviranomainen voi lain 27 §:n 3 momentin mukaisesti myös kieltää tai rajoittaa asunnon tai muun oleskelutilan käyttöä, jos

1. terveyshaitta on ilmeinen ja aiheuttaa välitöntä vaaraa,
2. haittaa ei voida selvitysten mukaan korjata, eikä muita toimenpiteitä voida pitää riittävinä tai
3. edellä mainittua terveydensuojeluviranomaisen määräystä ei ole noudatettu ja muita toimenpiteitä ei voida pitää riittävinä.

Määräysten antamisen (selvittämisvelvoite, mittaamisvelvoite, korjausvelvoite tai näiden yhdistelmä, käytön kieltö tai rajoittaminen yms.) tulee lain 27 §:n 4 momentin mukaan perustua aina asunnon tarkastukseen.

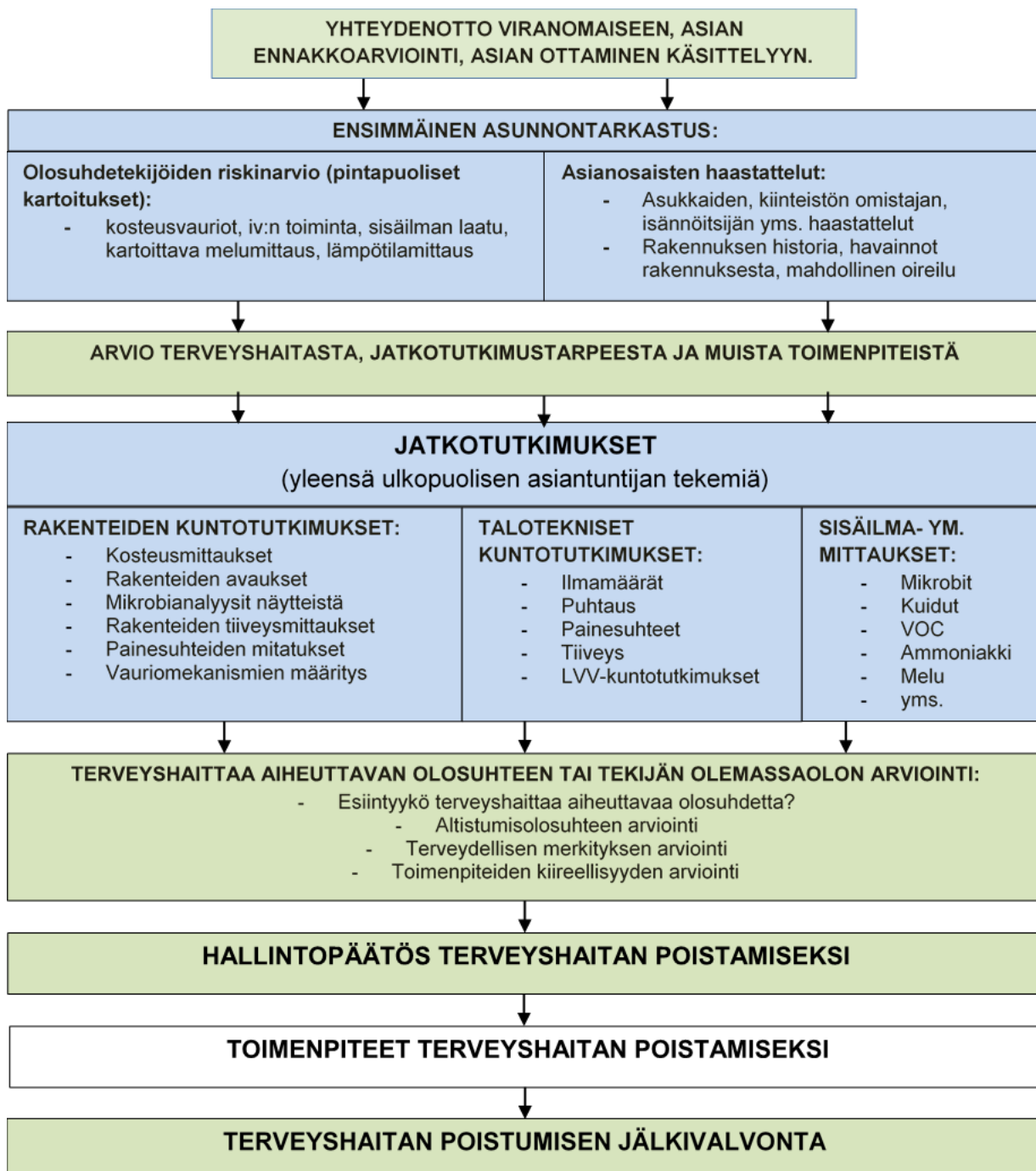
Terveyshaitan poistamiseksi annettavien määräysten on perustuttava terveydensuojeluviranomaisen tekemään tarkastukseen sekä riittäviin ja luotettaviin mittauksiin, näytteisiin, tutkimuksiin, selvityksiin tai havaintoihin. Tarkastusta on tarvittaessa täydennettävä lisäselvityksillä, jotka voivat olla viranomaisen tai ulkopuolisen asiantuntijan tekemiä. Terveydensuojelulain 45 §:n nojalla terveydensuojeluviranomaisella on oikeus tehdä tai teettää tarkastuksia ja niihin liittyviä tutkimuksia. Ulkopuolisten asiantuntijoiden käytöstä on säädetty terveydensuojelulain 49 § - 49 d §:ssä ja rakennusten kosteus- ja homevaurioihin sekä sisäilmaongelmiin liittyvien asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista asumisterveysasetuksen 21 §:ssä ja liitteessä 3.

2.1 Neuvonta ja ohjaus terveydensuojelussa

Terveydensuojelulain mukaista neuvontaa annetaan sekä tarjoamalla sitä yleisesti saataville, että tietyille asiakkaalle. Yleisluontoista neuvontaa ovat esimerkiksi internetissä julkaistu kirjallinen aineisto tai sidosryhmälle annettu koulutus. Asiakkaalle annetaan yksilöllisempää neuvontaa erilaisissa asiakaspalvelutilanteissa, myös asian käsittelyn yhteydessä.

2.2 Asunnontarkastus

Asunnontarkastus toteutetaan terveyshaitan selvittämiseksi ja lisäselvitystarpeen arvioimiseksi sekä aina ennen TsL 27 §:n mukaisten velvoitteiden antamista.



Tarkastuksella voidaan tehdä perusselvityksiä ja havaintoja, joiden pohjalta voidaan joskus arvioida suoraan terveyshaitan olemassaolo tai siihen mahdollisesti johtava tekijä (esimerkiksi ilmanvaihtokanavat tukossa, selvä silmin havaittava kosteusvaurio tai home sisäpinnoilla).

Asuntojen ja muiden oleskelutilojen valvonnassa on kiinnitettävä huomiota seuraaviin seikkoihin:

1. maaperän saastumisesta tai muusta siihen verrattavasta rakennuksen ympäristössä esiintyvistä tekijästä ei saa aiheutua terveyshaittaa rakennuksessa tai sen läheisyydessä oleskeleville;
2. kylmänä vuodenaikana asumiseen tai oleskeluun käytettävien tilojen lämmitys on järjestetty tarkoituksenmukaisesti;

3. rakennus on ottaen huomioon sen käyttötarkoitus riittävän tiivis ja siinä on riittävä lämmöneristys;
4. rakennus täyttää fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten tekijöiden osalta terveydensuojelulain 32 §:n nojalla säädetty vaatimukset; sekä
5. rakennuksessa on riittävä ilmanvaihto ottaen huomioon siellä olevien ihmisten määrä ja harjoitettava toiminta.
6. rakennuksen käyttötapa on tavanomainen ja käyttötarkoituksen mukainen.

Edellä mainituilla vaatimuksilla on asunnon kunnon ja terveydellisten olojen kannalta tärkeä merkitys. Terveystaitea aiheuttavan fysikaalisen, kemiallisen tai mikrobiologisen tekijän arviointi tulee tehdä asumisterveysasetuksen ja sen soveltamisohjeen mukaisesti.

Ensimmäisen asunnontarkastuksen tarkoituksena on selvittää, onko asunnossa syytä epäillä terveydensuojelulain mukaista terveystaitea. Asunnontarkastuksen sisältö ja toteutus vaihtelevat erityyppisissä terveystaiteaepäilyissä esimerkiksi taulukossa 1 esitetyllä tavalla.

Taulukko 1. Esimerkkejä asunnontarkastuksen sisällöstä ja toteutuksesta erityyppisissä terveystaiteaepäilyissä.

Sisältö ja toteutus / terveystaiteaepäily	Haastattelu	Asiakirjat	Aistinvarainen tarkastelu	Olosuhde-mittaus/tarkastelu
Kosteus-homevaurio	X	rak.piirustukset, mahd. aiemmat tutkimusraportit ja aiemmat korjaukset	haju, vauriojäljet	sisäilman lämpötila ja RH, pintakosteuskartoitus, ilmapuodot merkkisavun avulla
Materiaalipäästö	X	mahd. aiemmat tutkimusraportit	haju, vauriojäljet	sisäilman lämpötila ja RH, pintakosteuskartoitus
Lämpötila	X			sisäilman lämpötila pintalämpötilat, ilmapuodot merkkisavun avulla
Ilmanvaihto	X	ilmanvaihdon mittauspöytäkirja	haju, venttiilien ja kanavien puhtaus	sisäilman lämpötila ja RH, iv:n toiminnan tarkastus tai mittaus, ilmapuodot merkkisavun avulla
Tupakansavu	X		haju	ilmavirtaukset merkkisavun avulla
Melu	X	rak.piirustukset, mahd. muutokset huoneilojen sijainnissa	äänien erottuminen ja kiusallisuus	melumittaus
Siivottomuus	X		haju, näköhavainnot	
Hyönteiset	X		näköhavainnot	

Käytännössä ensimmäisellä asunnontarkastuksella tehdään asuntoon riskikartoitus, jossa käydään läpi tarkastuksen kohteena olevat tilat sekä niiden mahdolliset rakenteelliset, talotekniset tai muusta vastaavasta syystä aiheutuvat riskitekijät.

Mittaukset, näytteenotot, tutkimukset, selvitykset ja mahdolliset rakenteiden kuntotutkimukset tehdään yleensä jatkoselvityksinä viranomaisen velvoitteen mukaisesti ulkopuolisen asiantuntijan tekemänä ja haitasta vastuussa olevan tilaamana.

2.3 Terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen arviointi

Terveydensuojelulaissa, Asumisterveysasetuksessa ja sen soveltamisohjeessa kuvataan terveyshaittaa aiheuttavien fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten olosuhteiden ja tekijöiden yleiset arviointiperusteet, eri tekijöiden toimenpiderajat sekä laadukkaan mittaamisen periaatteet.

Terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen vakavuuden arviointi perustuu altistumisolosuhteiden ja altistumisen kokonaisarviointiin. Tässä huomioidaan asumisterveysasetuksen 3 §:n mukaisesti altistumisen todennäköisyys, toistuvuus ja kesto, mahdollisuudet välttyä altistumiselta tai poistaa haitta sekä poistamisesta aiheutuvat olosuhteet ja muut vastaavat tekijät. Altistumisen toistuvuus, kesto ja mahdollisuus välttyä altistumiselta liittyvät luonnollisesti rakennuksen käyttöön ja niistä tietoa on hankittava rakennuksen käyttäjältä.

Jotta terveyshaitan poistamiseksi voidaan antaa oikein mitoitettu ja perusteltu velvoite, pelkkä terveyshaittaa aiheuttavan olosuhteen tai tekijän olemassa olon toteaminen ei riitä. Viranomaisten tulee arvioida sitä, kuinka merkittävästä haitasta on kyse, jotta toimenpiteet terveyshaitan poistamiseksi voidaan eri osapuolien oikeusturvan näkökulmasta mitoittaa ja aikatauluttaa oikeassa suhteessa todettuun haittaan.

Altistumisen todennäköisyyteen vaikuttavat mm., missä epäpuhtauslähde sijaitsee ja miten laaja ja/tai voimakas se on. Mikäli epäpuhtauslähde sijaitsee tiloissa, joissa oleskellaan toistuvasti, on altistuminen todennäköisempää kuin, jos se sijaitsee esimerkiksi varastotilassa, jossa ei oleskella. Altistuminen on myös todennäköisempää, jos epäpuhtauslähde on rakennuksen sisäpinnalla tai sisäpuolisessa rakenteessa kuin, jos se on ulkopuolisessa rakenteessa. Kun epäpuhtauslähde on rakenteen sisällä, merkittävää on, onko rakenteesta tai tilasta ilmayhteys sisätilaan ja mitkä ovat paine-erot tilojen ja rakenteiden välillä. Rakennuksen tai sen osan suuri alipaineisuus lisää ilmavuotoriskiä rakenneliitosten ja rakenteiden läpivientien kautta, jolloin ilmavuodon mukana epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan saattaa lisääntyä. Rakenteessa olevan epäpuhtauslähteen vaikutusta sisäilman laatuun arvioidaan siis vaurion sijainnin ja mahdollisesti rakenteessa olevan vaurion ollessa kyseessä, rakenteen tiiviiden sekä mahdollisten ilmavuotoreittien perusteella. Epäpuhtauksien kulkeutumiseen ja pitoisuuteen sisäilmassa vaikuttaa myös ilmanvaihdon toiminta.

2.4 Toimenpidekehotus

Asunnontarkastus voi johtaa tilanteeseen, jossa todetaan, että terveyshaitan toteaminen ei ole mahdollista ilman lisäselvityksiä. Selvitys- tai tutkimustarve voi kohdistua esimerkiksi johonkin rakenneosaan (vaatii rakenneosan avaamista ja näytteiden ottoa). Terveyshaitan selvittämisestä vastuussa olevan tahon tulee noudattaa saamaansa kehotusta, sillä kyse on viranomaisen perustellusta vaatimuksesta ryhtyä toimenpiteisiin. Lisäselvityksille annetaan määräaika.

2.5 Korjauskehotus

Mikäli terveyshaittaa aiheuttavia tekijöitä tai olosuhteita todetaan (voi olla useita), niin kiinteistön omistajaa tai haitan aiheuttajaa kehotetaan ryhtymään tarvittaviin toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi tai vähintäänkin rajoittamiseksi. Kehotukseen liittyy määräaika.

2.6 Korjausmääräys

Mikäli viranomaisen korjauskehotusta ei noudateta, siirrytään pakottavampiin toimenpiteisiin. Terveydensuojelulain 27 §:n nojalla kunnan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa sen, jonka menettely tai toimenpide on aiheuttanut terveyshaittaa, ryhtymään toimenpiteisiin haitan poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Korjausmääräys annetaan sille, jonka toiminta tai menettely aiheuttaa terveyshaittaa. Korjausten valmistumiselle annetaan määräaika.

2.7 Hallintopakkomenettely

Hallintopakkoa käyttämällä on tarkoitus saada säännöstä tai muun velvoitetta rikkova toimimaan lainmukaisesti. Hallintopakon käyttäminen edellyttää aina erityistä säännöstä, joka määrittelee viranomaisen toimivallan laajuuden ja perusteet. Mikäli haitan aiheuttaja ei ole ryhtynyt (TsL 27 §:n tai 51 §:n perusteella annetun kehotuksen mukaisiin) toimenpiteisiin haitan poistamiseksi tai sen rajoittamiseksi annettuun määräaikaan mennessä, kunnan terveydensuojeluviranomainen voi tehostaa TsL 53 §:n nojalla antamaansa kieltoa tai päätöstä, esimerkiksi uhkasakon avulla.

2.8 Terveydensuojeluviranomaisten määräysten toteutumisen valvonta

Jälkivalvonnalla viranomainen varmistaa, että viranomaisen antamat velvoitteet terveyshaitan poistamiseksi on tehty. Korjaussuunnitelma ja -työaikataulut pyydetään jo ennen korjauksen aloitusta. Korjaustyön dokumentaatio auttaa terveydensuojeluviranomaista arvioimaan korjausten onnistumista. Jälkivalvontaan kuuluu lisäksi asunnon jälkitarkastus tai -tarkastuksia, sekä mahdollisia seurantamittauksia ja/tai näytteenottoja.

Kun terveydensuojeluviranomainen on todennut terveyshaitan poistuneen, niin asian viranomaiskäsittely päättyy siihen.

Lähdeluettelo

- [1] Terveydensuojelulaki 763/1994
- [2] Ohje asunnon terveyshaitan selvittämisprosessiin, Ohje 4/2017, Valvira 2017
- [3] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015)
- [4] Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Ohje 8/2016, Valvira 2016

SuLVIn ilmanvaihdon kuntotutkimusohjeistuksen merkitys sisäilmatutkimuksissa rakennevaurioisissa kohteissa

Lari Eskola ja Marko Björkroth
A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Tiivistelmä

Rakenteiden lisäksi sisäilmaongelmista kärsivissä rakennuksissa tutkitaan myös ilmanvaihdon toimintaa. Tähän on kehitetty uusi ohjeistus ja toimintamalli. Vuonna 2013 julkaistiin SuLVIn (Suomen LVI-liitto) uusi ohjeistus ilmanvaihdon kuntotutkijoille. Sulvi on aloittanut kuntotutkijoiden koulutuksen vuonna 2016. Kuntotutkijoille on saatu FISE pätevyysvaatimukset vuonna 2016.

Ohjeistus on tarkoitettu toimintamalliksi selvittäessä rakennuksen olemassa olevan ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa, energiatehokkuuden parantamismahdollisuuksia sekä sisäilmaongelmaisten kohteiden ilmanvaihdon ongelmakohtia.

Kuntotutkimusohjeistusta on käytetty useissa sisäilmaongelmakohteissa ilmanvaihtojärjestelmän tutkimisessa. Tyypillisiä yhteisiä ongelmia ovat olleet oppilasmääriin suhteutettuna liian pienet ilmavirrat sekä suuret painesuhde-erot, jotka ovat aiheuttaneet sisäilmaongelmia.

Kuntotutkimusohjeistus on tarjonnut hyvän pohjan ilmanvaihtojärjestelmien tutkimuksille myös sisäilmaongelmaisissa kohteissa.

1. Johdanto

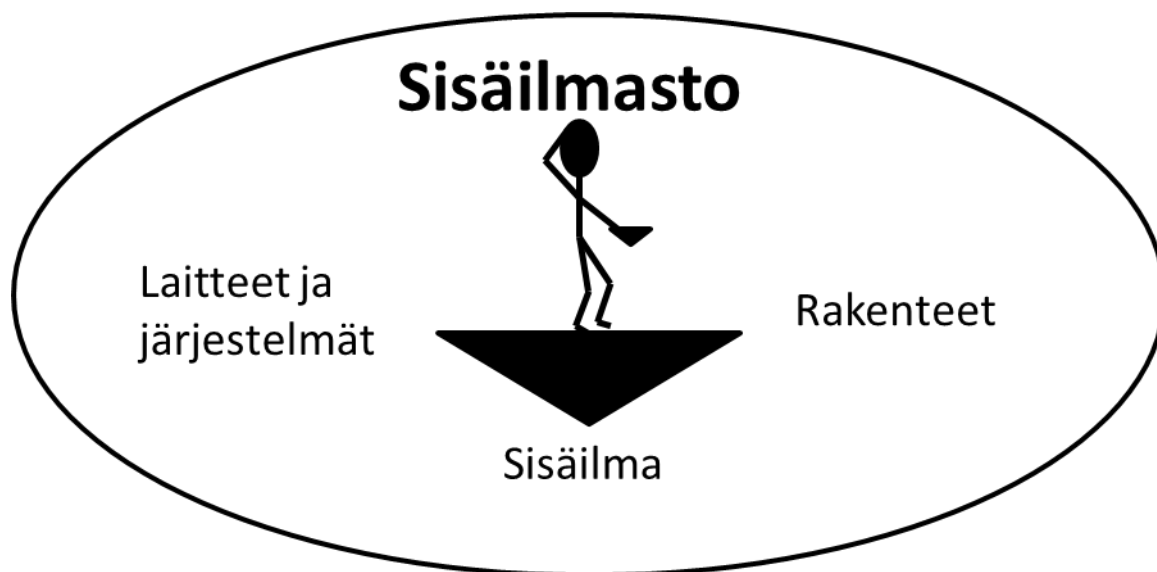
Ilmanvaihdon kuntotutkimuksia ja -arvioita ovat Suomessa tehneet koulutukseltaan, osaamiseltaan ja kokemukseltaan eritasoiset toimijat. SuLVIn ilmanvaihdon kuntotutkimusohjeistus [1] pyrkii yhdenmukaistamaan ilmanvaihtojärjestelmien kuntotutkimuksia ja nostamaan kuntotutkimusten tasoa sekä tekijöiden että tilaajien työn helpottamiseksi.

Kuntotutkimusohjeistus julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 2013 ja ohjeistuksen mukaisen koulutuksen SuLVI aloitti vuonna 2016. Vuoden 2016 aikana määritettiin FISE pätevyysvaatimukset ja Ilmanvaihdon kuntotutkijan FISE pätevyyttä on voinut hakea vuoden 2017 aikana.

Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 *Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto* rakennus veloitetaan suunnittelemaan ja rakentamaan kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto [2-4].

Vuodesta 1987 D2:ssa on korostettu sitä, että ilmanvaihdon tulee olla hallittua eikä sisäilma saa sisältää haitallisia määriä kaasumaisia tai hiukkasmuodossa olevia epäpuhtauksia tai mikro-organismeja [5].

Koska sisäilmastoon vaikuttavat sekä talotekniset järjestelmät että rakenteet ja niiden toiminta, ei sisäilmaongelman selvittäminen ole yksinkertainen tehtävä. Sisäilmaongelmien syy on harvoin riippuvainen vain yhdestä yksittäisestä tekijästä.



Kuva 1. Rakennuksen sisäilmaston vaikuttavat tekijät.

On tärkeää huomata, että sisäilmaongelmilla ei välttämättä ole mitään tekemistä homeen kanssa. Suurin osa vastaan tulleista sisäilmaongelmista on liittynyt muuhun kuin home- tai kosteusvaurioihin.

Sisäilmaongelmien syitä voivat olla rakennuksen puutteellinen ilmanvaihto, väärät huonelämpötilat, vaipparakenteen ilmapuodot tai liian suuret ali- ja ylipaineet. Tästä syystä jo tutkimusten alkuvaiheessa on syytä tarkistaa ilmanvaihdon ja taloteknisten järjestelmien toiminta – onko ilmanvaihto riittävää, toimivatko järjestelmät oikein ja minkälaiset ovat rakennuksen painesuhteet.

Tutkittujen kohteiden analysoinnin perusteella tulisi varsinainen kohteen tutkimus aloittaa aina ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmistä, jos sisäilmasto-ongelman aiheuttajaa ei tunneta.

2. Ilmanvaihdon kuntotutkimus

Ilmanvaihtojärjestelmien tarkoituksena on taata rakennukseen riittävä ilmanvaihto.

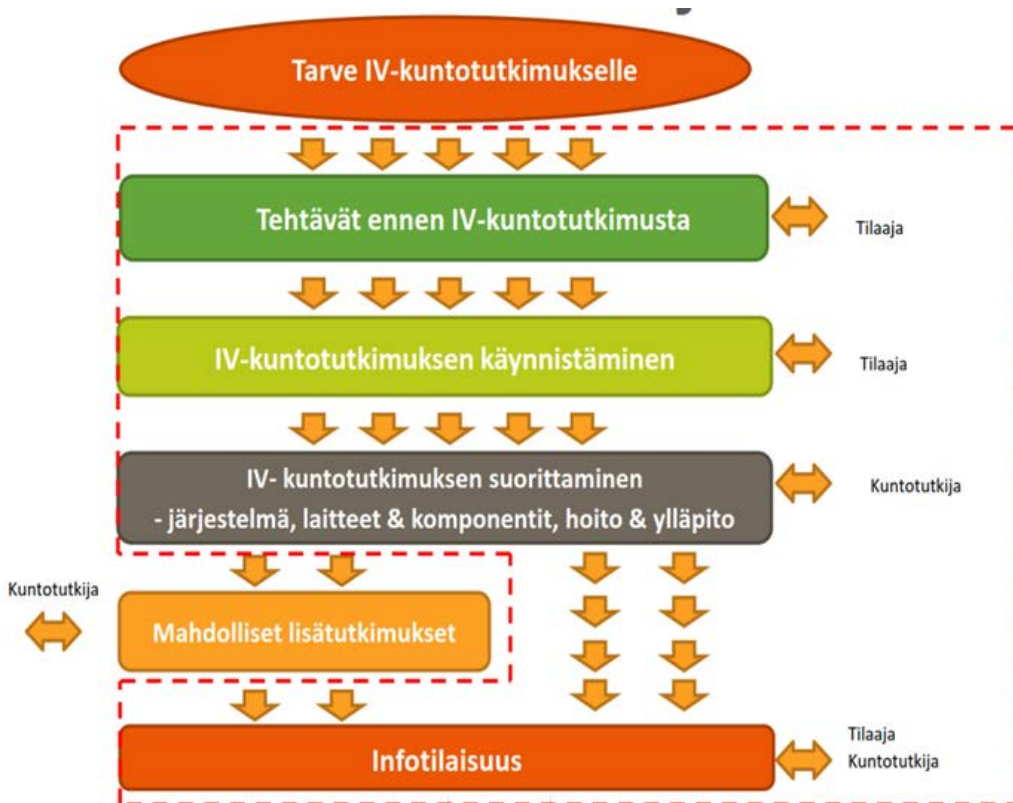
Ilmanvaihdon kuntotutkimuksessa kuntotutkija keskittyy ilmanvaihtojärjestelmän ja sen laitteiden ja komponenttien kunnan selvittämiseen sekä hoidon ja ylläpidon arviointiin aistien varaisten havaintojen ja perusmittausten avulla. SuLVI:n Ilmanvaihdon kuntotutkimukseen kuuluu myös rakennusautomaation ja jäähdytysjärjestelmien toiminnan selvittäminen.

Ilmanvaihdon kuntotutkimuksen käynnistäminen liittyy yleensä

- kiinteistön elinkaareen, vanhenemiseen ja energiatehokkuuteen tai
- rakennuksessa todetun sisäilmaongelman selvittämiseen ja sen edellyttämään korjausselvitykseen.

Kuntotutkijan työ jakautuu toimitilakohteissa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa tehdään valmistelevat tehtävät, joihin kuuluu lähtötietojen hankkiminen ja niihin tutustuminen.

Kuntotutkimuksen toisessa vaiheessa tehtävään tutkimuksen perusosaan kuuluu järjestelmien yleisarviointi ja ylläpidon arviointi, jotka perustuvat tutkimusta varten hankittuihin materiaaleihin ja kohdekäyntiin sekä haastatteluihin. Kolmannessa vaiheessa tehdään yksityiskohtaisemmat tutkimukset, joiden yhteydessä suoritetaan järjestelmän toiminnasta kertovat mittaukset. Asuntojen iv-kuntotutkimukselle on oma ohjeistuksensa, ja ne tehdään yleensä yhtenä kokonaisuutena ilman jakoa perus- ja yksityiskohtaisiin tutkimuksiin. Kaikki kuntotutkimuksen vaiheet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. SuLVI:n Ilmanvaihdon kuntotutkimuksen vaiheet.

Kaikissa tapauksissa SuLVI:n ilmanvaihdon kuntotutkimuksen tuloksena tulee olla suuntaviivat IV-järjestelmän ongelmien poistamiseksi ja parannusten toteuttamiseksi, joita käytetään korjaus- tai uusimissuunnittelun lähtötietoina. Joissakin tapauksissa iv-kuntotutkimuksen yhteydessä voidaan havainnoida tarvittavia tutkimuksia mm. rakenteiden osalta.

Ilmanvaihdon kuntotutkimus ei ole aina samanlainen toimenpidesarja kaikille rakennuksille, vaan jokainen tutkimus on suunniteltava ottaen huomioon olemassa olevat järjestelmät ja kuntotutkimukselle asetetut tavoitteet.

3. Kuntotutkimuksen merkitys sisäilmavaurioisissa kohteissa

Tutkimusten perusteella sisäilmasto-ongelmien ratkaisemiseksi on pyritty löytämään hyvään lopputulokseen johtavia menetelmiä. Vaikka sisäilmaongelmien korjaamiseen on käytetty useita menetelmiä, niin kokonaisuutta ei välttämättä ole hallittu riittävällä tasolla. Ongelmista ei ole päästy eroon tai ne ovat uusiutuneet. Sisäilmaongelman tutkimisessa lähestymistavan tulee olla monialainen, sillä sisäilmaongelmiin voivat vaikuttaa monet tekijät. Tutkijalla tulee olla syvällistä asiantuntemusta ilmanvaihtojärjestelmistä, rakennusautomaatiosta ja rakenteista sekä niiden

ominaisuuksista. Monesti vika rakenteissa tai järjestelmissä ei ole löydettävissä, ellei kaikkia osaluokkia osata tutkia samanaikaisesti.

Rakentamismääräysten lisäksi ohjeistusta löytyy myös mm. sisäympäristön tavoitearvoille, joiden avulla voidaan määrittellä mitattavissa olevat tavoitetasot [6]. Ohjeistus ei aina ole yksiselitteistä ja se voidaan käsittää monella tavalla, jos rakennuksen toimintaa ei ymmärretä:

On huolehdittava myös siitä, ettei paine-ero ulko- ja sisäilman välillä tule liian suureksi koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa tai huoneistossa.

Tällä hetkellä sisäilmaongelmaisten rakennusten tutkimiseen ja korjaamiseen löytyy runsaasti ohjeita ja oppaita [7-10]. Kokonaisuus on usein hyvin jäsennelty, mutta hankaluuksia voi syntyä yksittäisten tekijöiden suhteen.

Järjestelmien toimintaa tulee tarkastella ohjeistuksen mukaan ja tutkimustuloksia verrata rakentamisen aikana voimassa olleeseen rakentamismääräyskokoelman D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto osaan.

Rakennuksen ilmanvaihto vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin. Vaipan tiiveyden vaikutus ilmanvaihtoon riippuu vuotoreittien sijainnista sekä rakennuksen painesuhteista. Jos rakennus on säädetty alipaineiseksi ja ilmapuotoja on runsaasti, myös todellinen vuotoilman osuus saattaa olla huomattavan suuri. Painesuhteiden määrittämiseksi on hyvin niukasti ohjeistusta. Tavoitearvoja on annettu mm. Asumisterveysoppaassa [7].

Monesti muun muassa rakennuksen painesuhteet vaihtelevat järjestelmien toiminnan mukana ja ongelmat saattavat olla pahimmillaan silloin, kun rakennuksessa ei ole käyttäjiä. Alipaineisuuden aiheuttamat vuodot rakenteissa saattavat johtaa sisäilmaongelmiin, jos korvausilma rakennukseen tulee hallitsemattomien vuotoreittien kautta rakennuksen vaipan läpi. Tutkituissa tapauksissa rakennuksen alipaineisuus on vaihdellut 5 ja 24 Pascalin välillä vuorokauden ajasta riippuen. Rakennuksen painesuhteet tulisi tapauskohtaisesti sovittaa rakennuksen toimintaan. Myös ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmät tulisi valita kohteen ehdoilla.

Rakennusten tiiveyden taso on parantunut viime vuosina huomattavasti. Tällä hetkellä tiiveimmät mitatut q50 luvut ovat olleet 0,1-0,5 m³/(m² h). Vielä 2000-2010 tehdyissä tutkimuksissa rakennusten keskimääräinen ilmanpitävyys q50 luku on vaihdellut 1,7 ja 5,7 välillä [11].

Kun rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja painesuhteet on selvitetty, voidaan arvioida niiden vaikutusta rakennuksen sisäilmaongelman poistamiseen.

Seuraavissa esimerkkitapauksissa tutkimus suoritettiin kuntotutkimusohjeistuksen mukaisesti [1, 10].

3.1 Esimerkkitapaus: rakennus 60- luvulta

Koulurakennus on rakennettu 60-luvun puolivälissä ja peruskorjattu vuosituhatluvun vaiheessa. Ilmanvaihtojärjestelmä on uusittu kokonaan ja luokkien mitoitusilmavirrat ylittävät rkmk D2 ohjearvot. Peruskorjauksen jälkeenkin on tehty korjaustoimenpiteitä, kuten muottilaudoitusten poisto ryömintätiloista.

Rakenteet ovat pääosin alkueräiset. Tiili-villa-tiili -rakenteisissa ulkoseinissä on todettu paikallista mikrobivaurioitumista ja alapohjissa pintalaatan alle sijoitetut lastuvillaeristeet, ns. tojavillalevy,

ovat laajalti vaurioituneet. Rakennus on yöaikaan huomattavan alipaineinen, 10–15 Pa, mm. luokkiin sijoitettujen vetokaappien vaikutuksesta. Alipaineisuus mahdollistaa epäpuhtauksien kulkeutumisen huoneilmaan liikuntasaumojen, ulkoseinien liittymien ja betonirakenteiden halkeamien kautta.

Koska myös rakenteet vaativat laajempia korjaustoimenpiteitä joudutaan rakennuksen säilyttämistä ja korjaamisen kannattavuutta selvittämään tarkemmin.

3.2 Esimerkkitapaus : rakennus 80-luvulta

Rakennuksessa esiintyy yläpohjan epätiivyyden lisäksi muitakin epätiiviyttä rakenneliittymiä, kuten ikkuna- ja ulkoseinärakenteiden liittymät, alapohjan- ja seinärakenteiden liittymät sekä ryömintätilaa vasten olevan alapohjan läpiviennit. Epätiivien rakenneliittymien kautta tapahtui ilmavuoroja rakenteista sisäilmaan. Tilojen ilmavirrat ovat alamittaiset nykyiseen käyttötarkoitukseen suhteutettuna ja ilmanvaihtokoneet elinkaarensa lopulla.

Kantavien rakenteiden osalta täytyy tehdä lisäselvityksiä - voiko uudet ilmanvaihtokoneet sijoittaa katolle tai rakennuksen sisälle. Rakenteiden korjausten osalta päätös voidaan tehdä vasta, kun käyttötarkoitus varmistuu.

Rakennuksen korjaaminen on teknisesti mahdollista, mutta rakennus on arvioitu liian pieneksi tuleviin tilatarpeisiin nähden, minkä vuoksi korjaamisen vaihtoehdoksi on nostettu sen korvaaminen uudisrakennuksella. Rakennuksen kohtalo on toistaiseksi auki.

3.3 Esimerkkitapaus : rakennus 90-luvun lopulta

Rakenteet ovat hyvässä kunnossa, eikä rakennetutkimuksissa ei ole löydetty vaurioita sisäilmaan yhteydessä olevista rakenteista. Ilmavuodot rakenteiden läpi ovat vähäisiä ja ongelmatiloissa on tehty tiivistyskorjauksia. Käyttäjät kärsivät sisäilmaongelmista.

Ilmanvaihtojärjestelmän tutkimusten yhteydessä havaittiin anturivikoja ja virheellisiä asetusarvoja sekä puutteita säädöissä, jotka vaikuttavat erittäin paljon rakennuksen painesuhteisiin. Sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero vaihteli tilasta riippuen noin 10 Pa alipaineesta noin 22 Pa ylipaineeseen. Tämän seurauksena rakennuksessa on paljon hallitsemattomia ilmavirtauksia eri tilojen sekä vaipparakenteen vuotoreittien läpi. Myös lämmitysjärjestelmän toiminta on ollut puutteellista ja osa sisätiloista liian viileitä.

4. Yhteenveto

Sulvin ilmanvaihdonkuntotutkimus ohjeen avulla pyritään nostamaan kuntotutkimusten tasoa sekä tekijöiden että tilaajien työn helpottamiseksi. Kuntotutkijoiden FISE pätevyysvaatimukset on tehty vuonna 2016. Ohjeistus on tarkoitettu käytettäväksi sisäilmavaurioiden rakennusten tutkimisessa, kun selvitetään ilmanvaihdon toimintaa.

Ohjeistuksen mukainen tutkimus jakautuu kahteen vaiheeseen. Perusvaiheessa selvitetään lähtötietoja ja laaditaan mittaussuunnitelma.

Tutkimusvaiheessa edetään mittaussuunnitelman mukaisesti ja mittauksia kohdistetaan havaittuihin ongelmakohtiin. Lopputuloksena kaikki ilmanvaihtoon liittyvät tulokset kootaan yhteen raporttiin, jonka perusteella voidaan päättää tarvittavista korjauskohteista.

Ilmanvaihdon kuntotutkimus on osa rakennuksen kokonaisvaltaista tutkimusta, jossa selvitetään sisäilmaongelman ja käyttäjien oireilun syytä. Sekä ilmanvaihdon että rakenteiden tutkiminen tulee suorittaa kuntotutkimusohjeistuksen mukaisesti.

Lähdeluettelo

- [1] www.sulvi.fi/ajankohtaista/projektit/iv-kuntotutkimushanke
- [2] RakMk D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012.
- [3] RakMk D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010.
- [4] RakMk D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003.
- [5] RakMk D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 1987.
- [6] RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. (2009).
- [7] Asumisterveysopas 2009 3. korjattu painos. STM1 ISBN 978-952-9637-38-6. Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja terveys-lehti 2009. 2009 s. 200
- [8] Salonen, H., Lappalainen S., Lahtinen M., Holopainen R., Palomäki E., Koskela H., Backlund P., Niemelä R., Pasanen A., Reijula K. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. 1. painos. Työterveyslaitos. ISBN 978-952-261-048-5. 2011 s. 124.
- [9] Asikainen, V., Peltola, S. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus 2008. ISBN 978-952-13-3851-9. s. 248.
- [10] Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Toim. Pitkäranta, Miia. Ympäristöministeriö 2016. ISBN 978-952-11-4625-1
- [11] Vinha, J., Korpi, M., Kalamees, T., Jokisalo, J., Eskola, L., Palonen, J., et al. Asuinrakennusten ilmanpitävyys sisäilmasto ja energiatalous. Tampereen teknillinen yliopisto, 2009.

Uusien puhdastilastandardien vaikutuksista käyttäjän kannalta

Pekka Friberg, Elli Laine ja Kaisa Wallenius
Inspecta Oy

Tiivistelmä

Puhdastilojen lisääntymisen ja niiden käytön monipuolistumisen myötä on ollut tarvetta viime vuosina tarkentaa ja lisätä puhdastiloihin ja niissä käytettäviin laitteistoihin ja koneisiin liittyviä standardeja. Puhdastilojen toiminnallisen kunnon seuranta perustuu tilojen luonteeseen ja käyttötarkoitukseen pohjautuvien riskiarviointien perusteella laadittuun seurantasuunnitelmaan, jonka laadinta on tilojen haltijan vastuulla. Näissä riskiarvioinneissa tulee huomioida myös asioita, joita ei ole esitetty puhdastilastandardeissa. Puhdastilojen toiminnallisen kunnon luotettava varmentaminen edellyttääkin laajaa puhdastilojen, niiden rakenteiden ja kiinteistöjärjestelmien sekä puhdastiloissa käytettävien laitteistojen ja koneiden tuntemusta.

1. Johdanto

Puhdastilojen käyttö eri toimialoilla on merkittävästi monipuolistunut viimeisen vuosikymmenen aikana ja puhdastilojen määrä on lisääntynyt. Samanaikaisesti puhdastilastandardien kehitystyö on ollut voimakasta. Viime vuosina julkaistut uudet ja uudistuneet puhdastilastandardit ovat merkittävästi lisänneet puhdastilojen haltijoiden ja käyttäjien vastuuta liittyen tilojen toiminnalliseen toteutukseen ja niiden kunnon seurantaan. Tämä on korostunut etenkin sijoitettaessa puhdastiloja sellaisiin rakennusten osiin, joita ei ole alun perin suunniteltu puhdastilakäyttöön.

2. Standardeista

Puhdastiloihin ja niiden järjestelmiin sekä puhdastiloissa käytettäviin laitteistoihin liittyy lukuisa määrä erilaisia standardeja. Varsinaisia puhdastilastandardeja ovat SFS-EN ISO 14644 ja SFS-EN ISO 14698. Näistä ensimmäisestä on julkisesti saatavissa osat 1–10 ([1] – [10]) ja 13–14 ([11] – [12]). Jälkimmäinen on nykyisessä muodossaan kaksiosainen [13] ja [14]. Muut kysymykseen tulevat standardit liittyvät suoraan tai välillisesti puhdastilojen järjestelmiin tai niissä käytettäviin laitteistoihin.

Standardi SFS-EN 14644 on uudistunut monilta osiltaan viimeisten vuosien aikana ja siihen on tullut mukaan uusia osia. Puhdastilojen hiukkaspitoisuuteen perustuvaa puhtausluokitusta [1] ja puhdastilan hiukkaspitoisuuteen perustuvaa ilmanpuhtauden seuranta [2] koskevien standardin osien sisältö muuttui merkittävästi vuoden 2015 lopulla. Standardiin on liitetty myös ilman [8] ja pintojen [10] kemikaalipitoisuuksiin perustuvat luokitukset sekä pintojen hiukkaspitoisuuksiin [9] perustuva luokitus ja pintojen puhdistusta [11] käsittelevä osa. Vuonna 2016 standardiin on liitetty myös puhdastiloissa käytettävien laitteiden soveltuvuutta käsittelevä osa [12].

Myös uusia puhdastilastandardien osia on työn alla. Näistä pisimmällä ovat tällä hetkellä puhdastilojen ja suodattimien energiatehokkuuteen liittyvä ISO:n (International Organization for Standardization) teknisessä komiteassa 209 valmisteilla oleva standardi ja CEN:n (European

Committee for Standardization) teknisessä komiteassa 243 valmisteilla oleva biokontaminaatiota koskeva laajennus. Näistä jälkimmäinen on lähinnä elintarviketeollisuuden tarpeisiin suunnattu.

3. Puhdastilan toiminnallinen kunto

3.1 Seurantasuunnitelma

Puhdastiloja käytetään hyvin erilaisissa käyttötarkoituksissa. Yleisesti puhdastilojen luokitus [1] perustuu ilmassa olevien hiukkasten määrään ja niiden toiminnallista kuntoa seurataan riskiarvioihin perustuvan seurantasuunnitelman mukaisilla mittauksilla ja tarkistuksilla [2].

Standardeissa esitettyjen lisäksi viranomaiset tai tilan haltija voivat asettaa muita erilaisia käyttötarkoitukseen liittyviä vaatimusrajoja puhdastilan toiminnallisen kunnan varmistamiseksi. Seurantasuunnitelmaan tulee sisällyttää myös nämä vaatimukset ja niiden seuranta.

Seurantasuunnitelman laadinnasta, käyttöönotosta ja ylläpidosta vastaa puhdastilojen haltija. Standardimuutokset ja uudet standardit ovat merkittävästi lisänneet puhdastilojen haltijan painetta käyttää ulkopuolisia konsultteja riskiarvioinneissa ja seurantasuunnitelman laadinnassa, koska näissä arvioinneissa on huomioitava laaja-alaisesti myös esimerkiksi rakenteiden ja kiinteistöjärjestelmien vaikutus arvioon.

3.2 Ajan vaikutus

Puhdastilastandardeissa ei huomioida ajan vaikutusta puhdastilan rakenteiden ja järjestelmien kuntoon. Käytännössä puhdastilaa tulee riskiarvioissa kuitenkin käsitellä vähintään neliluotteisena tilana, jossa aika on neljäs ulottuvuus. Pelkästään ajan vaikutuksesta esimerkiksi puhdastilan tiivistysten toiminnallinen kunto heikkenee. Tätä vaikutusta korostaa vielä rakenteisiin ja järjestelmiin kohdistuvan tärinän aiheuttamat kumulatiiviset vauriot.

Ajan vaikutuksen huomiointi riskiarvioinneissa edellyttää yleensä perehtyneisyyttä puhdastilojen toimintaan, rakenteisiin ja kiinteistöjärjestelmiin.

3.3 Ilman virtaus

Normaalitilanteissa ilmanvaihto on merkittävin puhdastilan toiminnalliseen kuntoon vaikuttava tekijä. Tilojen riskiarvioinneissa tulee huomioida myös ilmanvaihdon virhetilanteiden vaikutus puhdastilojen ilman laatuun. Tämän merkitys korostuu etenkin niissä tapauksissa, joissa ilmanvaihtoa tai sen seuranta ei ole asennettu suunnitelmien mukaisesti.

Riskiarvioinneissa tulee huomioida myös kunkin puhdastilan tulo- ja poistoilmaelinten sijoittelun vaikutus ilman liikkeisiin puhdastilassa ja tilan ilman kontaminoitumiseen. Vastaavasti tulee huomioida tilassa olevien laitteiden sijoittelun vaikutus näihin ilman virtauksiin. Myös henkilö- ja materiaalivirtojen järjestelyillä voi olla merkittävä vaikutus ilmanvirtauksiin puhdastilassa sekä ilman epäpuhtauksien määrään ja jakautumiseen.

3.4 Muita tekijöitä

Puhdastilojen riskiarvioinneissa tulee huomioida tarpeen mukaan myös ilmaa rasittavat kemialliset tekijät. Samoin tulee huomioida pintojen kontaminoituminen hiukkasten tai

kemiallisten tekijöiden vaikutuksista ja pintojen puhtaanapidon vaikutus puhdastilan ilman laatuun. Riskiarviointeihin on sisällytettävä myös puhdastiloissa käytettävien koneiden ja laitteistojen vaikutukset puhdastilan ilman laatuun.

Riskiarvioinneissa tulee pyrkiä varautumaan myös valmisteilla olevien standardien ja viranomaismäärysten mukaisiin vaatimusmuutoksiin.

Yleisesti tulee riskiarvioinneissa huomioida ristikontaminaation vaara riippuen puhdastilojen käyttötarkoituksesta. Tyypillisesti tämä korostuu lääkevalmistuksen, biotekniikan ja elintarviketeollisuuden tiloissa sekä laboratorio-olosuhteissa.

Tilojen toiminnallista kuntoa seurataan seurantasuunnitelmaan sisällytetyillä mittauksilla. Riskiarviointien yhteydessä on syytä huomioida myös se, että nämä mittaukset voidaan toteuttaa puhdastiloissa luotettavasti ja järkevällä tavalla.

4. Yhteenveto

Puhdastilojen toiminnallista kuntoa tarkkaillaan seurantasuunnitelman mukaisilla mittauksilla. Seurantasuunnitelma pohjautuu tilojen luonteeseen ja käyttötarkoitukseen perustuviin riskiarviointeihin. Riskiarviointien laadinnassa on huomioitava myös sellaisia asioita, joita ei ole esitetty puhdastilastandardeissa. Tästä johtuen puhdastilojen toiminnallisen kunnan kokonaisvaltainen varmentaminen edellyttää laaja-alaista kokemusta puhdastiloista ja rakenteiden, kiinteistöjärjestelmien ja puhdastiloissa käytettävien laitteistojen tuntemusta.

Lähdeluettelo

- [1] SFS-EN ISO 14644-1:2015. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus. (ISO 14644-1:2015). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [2] SFS-EN ISO 14644-2:2015. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 2: Puhdastilan ilmanpuhtauden seuranta hiukkaspitoisuuden perusteella. (ISO 14644-2:2015). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [3] SFS-EN ISO 14644-3:2005. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 3: Test methods. (ISO 14644-3:2005). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [4] SFS-EN ISO 14644-4:2001. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 4: Suunnittelu, rakentaminen ja käynnistys. (ISO 14644-4:2001). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [5] SFS-EN ISO 14644-5:2004. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 5: Käyttö. (ISO 14644-5:2004). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [6] SFS-EN ISO 14644-6:2007. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 6: Sanasto. (ISO 14644-6:2007). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [7] SFS-EN ISO 14644-7:2004. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 7: Separative devices (clean air hoods, gloveboxes, isolators and mini-environments). (ISO 14644-7:2004). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [8] SFS-EN ISO 14644-8:2013. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC). (ISO 14644-8:2013). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [9] SFS-EN ISO 14644-9:2012. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 9: Classification of surface cleanliness by particle concentration. (ISO 14644-9:2012). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

- [10] SFS-EN ISO 14644-10:2013. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 10: Classification of surface cleanliness by chemical concentration. (ISO 14644-10:2013). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [11] SFS-EN ISO 14644-13:2017. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 13: Cleaning of surfaces to achieve defined levels of cleanliness in terms of particle and chemical classifications. (ISO 14644-13:2017). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [12] SFS-EN ISO 14644-14:2016. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 14: Laitteen käyttöön soveltuvuuden arviointi ilman hiukkaspitoisuuden perusteella. (ISO 14644-14:2016). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [13] SFS-EN ISO 14698-1:2003. Puhdastilat ja puhtaat alueet. Biokontaminaation valvonta. Osa 1: Yleiset periaatteet ja menetelmät. (ISO 14698-1:2003). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- [14] SFS-EN ISO 14698-2:2003. Cleanrooms and associated controlled environments. Biocontamination control. Part 2: Evaluation and interpretation of biocontamination data. (ISO 14698-2:2003). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Käytännön kokemuksia kosteudenhallinnan uusista ohjeista ja toimintamalleista

Petri Mannonen
Vahanen Rakennusfysiikka Oy

Tiivistelmä

Viime vuosien aikana työmaiden kosteudenhallintaa on viety eteenpäin useilla eri rintamalla. Kosteudenmittaajat ovat pätevämpiä kuin aikaisemmin ja suojaukseen ja rakennusaikaiseen lämmitykseen ja kuivatukseen kiinnitetään entistä enemmän huomioita. Nykyään kosteudenhallintaa aletaan miettimään jo hankevaiheessa, jolloin rakennuttaja määrittää vaadittavan kosteudenhallinnan tason. Myös rakennusvalvonnoilla on ollut tässä kehityksessä tärkeä rooli, kun ne ovat osaltaan painottaneet kosteudenhallintaa ja sen suunnitelmallista toteuttamista aikaisempaa enemmän. Viimeisimpänä esimerkkinä tästä on Kuivaketju10-mallin käyttöönotto, joka tuo koko rakennusprosessin kestäväen kosteudenhallintamallin. Vahanen Rakennusfysiikka Oy on mukana kuivaketju10-mallin mukaisena kosteudenhallintakoordinaattorina muutamassa alkaneessa rakennushankkeessa, ja mallista on siten kertynyt jo jonkin verran kokemuksia.

1. Johdanto

Työmaan kosteudenhallinta on muuttunut ja kehittynyt viime vuosina. Aiheesta on kirjoitettu uusia julkaisuja, joissa esitetyt toimintamallit ovat osin jo vakiintuneet käytäntöön. Rakentamisen kosteutta koskevat määräykset ovat päivittymässä ja niissä työmaan kosteudenhallinta on nostettu aikaisempaa keskeisempään rooliin. Lisäksi rakennusvalvonnat ovat alkaneet vaatia työmailta aikaista kattavampia kosteudenhallintatoimenpiteitä. Edellä mainitusta tekijöistä johtuen työmaan kosteudenhallintakäytännöt ovat osittain muuttumassa.

2. Kosteudenhallinnan nykynäkymiä

RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen [1] -kirjalla oli ilmestyessään merkittävä rooli alan kehittämisessä. Siihen koottiin kattavasti yhteen kosteudenhallintaan liittyvää tietoutta. Uutta oli myös kosteudenhallinnan ottaminen mukaan jo hankkeen suunnitteluvaiheessa. RIL250 antaa kosteusriskiluokan ja kosteudenhallinnan menettelytavan valinnan (normaali tai tehostettu) perusteella kosteudenhallinnan toimenpidesuositukset, jotka eroavat laajuudeltaan riskiluokan ja menettelytavan mukaan. Ohjeet käsittävät suunnitteluvaiheen, toteutuksen ja käytön. Kirja on otettu laajasti käyttöön rakennusalalla.

Rakentamismääräyskokoelman osa C2 Kosteus, Määräykset ja ohjeet (1998) [2] on uudistumassa asetukseksi. Uudistettu versio tulee ohjaamaan ja tehostamaan kosteudenhallintaa. Jo varsin pitkällä olevan luonnosversion mukaan kosteudenhallinnan etukäteissuunnittelua ja vastuutusta tullaan lisäämään. Muun muassa kosteudenhallinnan päälinjojen pitää uuden C2:n mukaan olla mietittynä suunnitteluvaiheessa. Myös useiden kaupunkien rakennusvalvonnat ovat jo jonkin aikaa vaatineet lupavaiheessa alustavaa kosteusasioiden mietintää.

Myös koulutuksessa on nähty tarvetta lisäpanostukselle. Meneillään on kehitysprojekti, jossa mietitään työmaan henkilökunnan kosteudenhallintakoulutusta ja koulutuksen sisältöä. Ajatuksena kehitysprojektissa on ollut vakiosisältöinen koulutus, jonka suorittuaan kurssilainen saisi todistuksen samalla tavalla kuin työturvallisuuskorttikoulutuksessa. Kurssin sisältöä on tarkoitus testata koeluontoisesti työmaalla loppuvuodesta 2017.

Huomattavaa on, että kosteudenhallinnassa merkittävässä roolissa ovat rakennusvalvonnat. Ne ovatkin viime vuosina lisänneet kosteudenhallinnan painoarvoa osana rakennuslupavaatimuksia.

Vahanan Rakennusfysiikka Oy on tarjonnut kosteudenhallintapalveluita jo 90-luvun jälkipuoliskolta alkaen. Toimeksiannot ovat vaihdelleet suunnitelmien rakennusfysikaalisesta tarkastuksesta ja rakennustyön aikaisesta kosteusteknisestä valvonnasta aina kosteusmittauksiin. Joissain hankkeissa on toteutettu kaikki osa-alueet, joissakin vain osa. Mukana on ollut sekä uudis- että korjauskohteita.

Edellä mainitut käynnissä olevat uudistukset ovat muuttaneet myös Vahasen kosteudenhallinnan käytäntöjä. Valveutuneet rakennuttajat ovat ottaneet viime vuosina kosteudenhallinta-asiakirjan tai kosteudenhallintaselvityksen osaksi urakka-asiakirjojaan, joiden sisältöä olemme konsultoineet tai olleet sitä tekemässä. Myös osa rakennusvalvonnoista on alkanut vaatia vastaavaa asiakirjaa jo rakennuslupavaiheessa, mikä on osaltaan lisännyt niiden konsultointipalveluita. Myös rakennusaikaisen kosteusteknisestä valvonnan kysyntä on lisääntynyt viime vuosina, eivätkä ne rajoitu enää pelkästään suuriin tai kosteusteknisesti vaativiin kohteisiin.

Selvästi suurimpana viimeaikaisista muutoksista on ollut kevättalvesta 2017 julkistettu Kuivaketju10-malli [3]. Kymmenen suurimman kaupungin rakennusvalvonnat linjasivat viime keväänä ottavansa Kuivaketju10:n käyttöön yhtenä kosteudenhallintamenetelmänä. Joissain kaupungeissa on päätetty, että uusissa rakennushankkeissa käytettävä kosteudenhallintamalli on joko Kuivaketju10 tai vastaava, saman tasoinen malli. Uusissa rakennushankkeissa onkin, rakennusvalvontojen suosituksesta tai määräyksestä, alettu ottamaan Kuivaketju10-mallia käyttöön.

Seuraavassa käydään läpi lyhyesti Kuivaketju10-mallin perusidea. Mallissa on ajatuksena ottaa kosteudenhallinta mukaan rakennusprosessiin jo sen alusta aina luovutusvaiheeseen, ja haluttaessa aina käyttövaiheeseen asti. Tässä mallissa kosteusriskien hallinta perustuu ketjuun, jossa riskit torjutaan rakennusprosessin kaikissa vaiheissa ja torjunnan onnistuminen todennetaan luotettavalla tavalla. Toimintamalli sisältää Kuivaketju10-riskilistan ja -todentamisohjeen, joissa on esitetty kymmenen keskeisintä kosteusriskiä. Näiden kosteusriskien hallinnalla vältetään yli 80 prosenttia kosteusvaurioiden seurannaiskustannuksista.

- | | | | |
|-----------|---|------------|--|
| 1. | Rakennuksen ulkopuolelta tuleva kosteus vaurioittaa perustuksia ja lattiarakenteita. | 6. | Vesiputkien rikkoutumiset aiheuttavat kiinteistöön laajoja vesivahinkoja. |
| 2. | Sadevesi pääsee tunkeutumaan ulkoseinärakenteen sisälle. | 7. | Huonosti toteutetussa märkätilassa kosteus vaurioittaa ympäröivät rakenteet. |
| 3. | Vesikatteen läpäisevä vesi tunkeutuu aluskatteen vuotokohdista yläpohjaan. | 8. | Kosteiden betonirakenteiden päällystäminen aiheuttaa päällystemateriaalin turmeltumisen. |
| 4. | Kosteutta siirtyy ilmansulkukerroksen vuotokohdista ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin, jonne sitä tiivistyy vedeksi. | 9. | Materiaalien ja rakenteiden kastuminen vaurioittaa rakennuksen. |
| 5. | Väärin mitoitettu ja säädetty ilmanvaihto ei poista ylimääräistä kosteutta vaan pakottaa sen siirtymään rakenteisiin. | 10. | Huonolla ylläpidolla rakennus rapistuu hitaasti mutta varmasti. |

Kuva 1. Kuivaketju10-mallin kymmenen keskeisintä kosteusriskiä.

Kuivaketju10-mallissa on tehty ohjekortit projektin eri vaiheille (tilaaminen, suunnittelu, työmaatoteutus, käyttöönotto, käyttö) ja eri osapuolille.

Keskeisessä roolissa mallissa on kosteudenhallintakoordinaattori, joka tulee mukaan projektiin jo suunnitteluvaiheessa ja nimensä mukaisesti koordinoi työmaan kosteudenhallintaa. Kuvassa 2 on esitetty keskeisimmät koordinaattorin tehtävät.



Kuva 2. Kosteudenhallintakoordinaattorin keskeiset tehtävät.

Vahanan Rakennusfysiikka Oy:llä oli loppukesästä 2017 puolisen tusinaa Kuivaketju10-kosteuskoordinaattoritoimeksiantoa. Mallin uutuudesta johtuen kokemuksia on kertynyt lähinnä suunnitteluvaiheesta ja rakentamisen alkuvaiheesta. Mallilla toteutettavia rakennuksia on hoivakodeista aina perinteiseen asuntotuotantoon. Tilaajana on sekä rakennuttajia, että rakennusliikkeitä. Seuraavassa muutamia alkuvaiheen havaintoja uudesta mallista.

Aikaisemmat Vahasen kosteudenhallintatoimeksiannot ovat koskeneet yhtä tai kahta rakennusprosessin vaihetta. Kohteeseen on saatettu tehdä suunnitteluvaiheessa suunnitelmien rakennusfysikaalinen tarkastus, mutta varsinaisessa rakennusvaiheessa ei enää ole oltu mukana. Useimmiten toimeksianto on koskenut rakennusvaihetta ja tällöin rooli on ollut valvoa ja ohjata kosteudenhallintaa työmaalla kosteudenhallintakierrosten avulla. Osallistuttaessa vain johonkin

rakennusprosessin vaiheeseen on ollut olemassa riski, että kosteudenhallinnan laatuketju on saattanut katketa jossain vaiheessa. Uuden mallin hyvä puoli onkin se, että siinä panostetaan kosteudenhallintaan koko rakennusprosessin ajan ja projektiin asetetaan henkilö, kosteudenhallintakoordinaattori, jonka vastuulla asia on. Lisäksi Kuivaketju10 hyvässä mielessä pakottaa useampia rakentamiseen osallistuvia osapuolia miettimään kosteudenhallintaa omasta näkökulmastaan. Esimerkiksi suunnittelijoiden tulee käydä riskilistä läpi suunnitelmia tehdessään sekä muokata todentamislista, jonka avulla työ tarkistetaan ja todetaan kosteusteknisesti toimivaksi, kohteeseen sopivaksi.

Kuivaketju10-mallin mukaan toimittaessa kosteudenhallinnan asiantuntija tulee mukaan projektiin jo rakennuslupavaiheessa. Koordinaattori tulee nimetä rakennuslupaa haettaessa, ja koordinaattori on mukana rakennuksen käyttöönottovaiheeseen asti. Rakennusprojekti voi kestää lupavaiheesta valmistumiseen 2-3 vuotta, jopa pidempäänkin. Yhden henkilön sitominen projektiin näin pitkäksi ajaksi on koettu jossain tapauksissa haastavaksi.

Mallin mukaan suunnittelijat käyvät riskilistan perusteella suunnitelmansa läpi ja tekevät kohteeseen tarkennetun riskilistan ja siihen perustuvan todentamisohjeen, jotka sitten käydään yhdessä kosteuskoordinaattorin kanssa läpi. Tämä tulee lisänä suunnittelijoiden nykyisiin töihin, ja on osittain heidän ammattipätevyytensä ulkopuolella olevaa asiaa. Epäily on, että suunnittelijoille mallissa esitetyt tehtävät tulevat osittain koordinaattorin tehtäväksi tai koordinaattori saa tukea heitä ainakin mallin sisäänajovaiheessa.

Kosteuskoordinaattorin tehtävät on joissain tapauksissa ajateltu lisättävän rakennustöiden valvojalle. Molemmat käyvät työmaalla valvomassa, että rakennustyö etenee suunnitelmien mukaisesti, ja jotkut ovat nähneet näiden kahden tehtävän sisällöissä osittaista päällekkäisyyttä. Toisaalta koordinaattorin tulee ottaa kantaa suunnittelijoiden riskilistaan ja sen todentamisohjeeseen. Tämä vaatii koordinaattorilta kykyä katsoa suunnitelmien toimivuutta rakennusfysikaalisesta näkökulmasta ja antaa tarvittaessa parannusehdotuksia niin suunnitelmiin, kuin todentamisohjeeseenkin. Samoin hän käy tarvittaessa läpi LVIS-suunnitelmat ja on mukana rakennuksen käyttöönottovaiheessa varmistamassa, että koneet ja järjestelmät toimivat suunnitellusti. Nämä taasen vaativat LVIS-alan koulutusta tai -kokemusta. Näin ollen kosteuskoordinaattorin toimi vaatii käytännössä useamman eri asiantuntijan ajoittaista työpanosta, jolloin koordinaattorin toimen hoitaminen liittämällä se yhden henkilön, rakennustöiden valvojan, töiden lisäksi vaikuttaa epärealistiselta toimintamallilta. Tästä johtuen Vahanen Rakennusfysiikassa kuivaketju10-projekteihin on nimetty aina useampi henkilö eri osakokonaisuuksia varten sekä lisäksi projektiin nimetyille kosteuskoordinaattorille vielä varamies. Se, että koordinaattorin tehtävään otettaisiin perinteinen, ”yhden miehen valvontayrityksen” työntekijä, ei edellä kerrotun perusteella näytä realistiselta toimintamallilta, mikäli todellisuudessa halutaan toimia kuivaketju10-mallin mukaisesti. Yhdellä ihmisellä ei riitä taito kaikkien osa-alueiden hoitamiseen. Valitettavasti tätäkin mallia on yritetty, sillä kentältä on tullut tietoa, että koordinaattoritehtäviä on tarjottu hoidettavaksi kiinteällä kuukausiveloituksella hintatasolla, jonka puitteissa ei todellisuudessa pystytä hoitamaan kuin murto-osa koordinaattorin velvoitteista.

Kuivaketju10-mallin ollessa vielä varsin uusi eivät toimintamallit ole vielä vakiintuneet, mikä on tullut esille mm. rakennusvalvontojen hieman erilaisissa tulkinnoissa joka osaltaan on aiheuttanut jossain määrin sekaannusta. Menetelmän mukana tulee laadunvarmistamisen tueksi tehtyjä pohjia (todentamisohje), jotka ovat ladattavissa kuivaketju10.fi-sivuilta. Rakennustyömailla on käytössä erilaisia rakennusliikkeiden tekemiä tarkistuslistoja, joista keskeisin on rakennusvalvonnan vaatima tarkastusasiakirja. Tarkastusasiakirjassa ja Kuivaketju10-todentamisohjeessa on jossain määrin

päällekkäisiä asioita. Tämän vuoksi hankkeen alussa tulee käydä läpi, mitä tarkastuksia dokumentoidaan mihinkin listaan, jotta välttyttäisiin turhalta työltä. Kuivaketju 10-malliin liittyen on käynnistetty RALA:n kehityshanke, joka tähtää Kuivaketju10:n sähköistämiseen. Hankkeen edetessä Kuivaketju10:n tehtävät kuitataan tehdyksi järjestelmään, jolloin esimerkiksi koordinaattorin raportit muodostuvat järjestelmästä automaattisesti ja eri osapuolet pysyvät ajan tasalla projektin etenemisestä. Kehitteillä ja käytössä on jo myös kaupallisia, sähköisiä Kuivaketju10-mallin todentamisohjeita. Suotavaa olisi, että mallin mukanaan tuoma lisäraportointitarve saataisiin hoitumaan mahdollisimman sujuvasti näillä järjestelmillä. Kokemusta on myös siitä, että sähköisten järjestelmien myötä näennäisten puutelistojen teko on helpottunut, kun työmaalla saa vaivattomasti kännykällä ja sopivalla ohjelmistolla kuvalla varustetun poikkeamailmoituksen järjestelmään, josta menee tieto esim. valvojalta rakennusliikkeelle. Näistä listoita on joskus tullut pitkiä ja esille on tullut valitettavasti myös tapauksia, joissa oleellinen asia hukunut tietotulvaan.

Ensikokemusten perusteella Kuivaketju10-malli on ehkä hieman raskas pienille ja kosteusteknisesti helpoille kohteille. Jos järjestelmä koetaan liian työlääksi siitä saatuun hyötyyn nähden, käy helposti niin, että se jää käyttämättä. Tämän vuoksi tulisi harkita niille omaa, kevyempää menettelyä, ja tällainen malli on saatujen tietojen mukaan kehitteillä.

Rakennustyömaalla on aina käytännössä myös rakennusteknisten töiden valvoja, ja osa Kuivaketju10-todentamisohjeen tarkistettavista asioista osa on aikaisemmin kuulunut hänelle. Tämän vuoksi rakennusprojektissa tulee alussa sovittaa yhteen koordinaattorin ja valvojan tehtävät, jotta vältetään päällekkäiseltä työltä ja toisaalta sovitut tarkistukset tulevat myös tehtyä.

3. Yhteenveto

Työmaan kosteudenhallinta on muuttunut ja kehittynyt voimakkaasti viime vuosien aikana. Aiheesta on tullut runsaasti uutta oppimateriaalia, joista on muodostunut toimintamalli ja runko kosteudenhallinnan suunnittelulle ja toteutukselle. Kosteudenhallintaa ohjeistavat määräykset ovat myös uudistumassa ja niissä tullaan painottamaan aikaisempaa enemmän suunnitelmallista rakennusprosessin kosteudenhallintaa sekä vastuutusta. Merkittävä tekijä kosteudenhallinnan alalla on uusi Kuivaketju10-malli, jonka rakennusvalvonnat ovat ottaneet käyttöön välittömästi sen valmistumisen jälkeen. Rakennusvalvonnan otettua aktiivisen roolin uuden mallin käyttöönotossa on sitä otettu käyttöön jo lukuisissa nyt käynnissä olevissa tai rakennusvaiheeseen juuri menevissä rakennusprojekteissa. Vahanen Rakennusfysiikka Oy on mukana useissa Kuivaketju10 mallilla toteutettavissa rakennushankkeissa kosteudenhallintakoordinaattorina.

Ensikokemuksina voidaan sanoa, että malli tuo kokonaisvaltaisemman kosteudenhallinnan mallin rakentamiseen. Lisäksi kuivaketju10-mallissa aikaisempaa useampi rakentamisen osapuoli osallistuu nyt tavalla tai toisella kosteudenhallinnan suunnitteluun tai toteutukseen mikä lisää heidän tietouttaan kosteudenhallinnasta.

Lähdeluettelo

- [1] RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. 2011. Suomen Rakennusinsinöörien liitto Ry. 240 s.
- [2] Suomen rakentamismääräyskokoelma, C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet.1998.
- [3] Kuivaketju10, internetsivut (www.kuivaketju10.fi)

A4. Kosteus- ja homevauriot

Kosteusvaurioiden vakavuus kuntien rakennuksissa

Petri Annila, Jukka Lahdensivu, Jommi Suonketo, Matti Pentti, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuntien hallinnoimien rakennusten kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten raporttien avulla eri rakenteista mitattuja kosteuspitoisuuksia ja tämän perusteella arvioida kosteusvaurioiden vakavuutta eri rakenteissa. Tutkimusaineistoa oli 291 rakennuksesta ja kosteusmittauksia kaikkiaan 3113 kappaletta. Tutkimuksen perusteella pääosa kosteusmittauksista kohdistetaan maanvastaisiin alapohjiin, maanvastaisiin seiniin sekä ryömintätalallisiin alapohjiin. Näistä rakenteista mitataan myös eniten korkeita kosteuspitoisuuksia (suhteellinen kosteus yli 80 %). Tarkastelun perusteella kaiken ikäisistä rakennuksista ja kaikista rakenteista on mitattu kyseisen raja-arvon ylittäviä kosteuspitoisuuksia. Tuloksista ei voida selkeästi nähdä rakennuksen iän tai rakennetyypin muuttumisesta seuranneita kehityssuuntia. Tarkastelun perusteella rakenteiden kastuminen on ulkopuolisesta kosteusrasituksesta riippuvaista.

1. Johdanto

Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisun [1] mukaisesti merkittäviä kosteus- ja homevaurioita esiintyy arviolta 2,5–26 % rakennuksista riippuen rakennuksen käyttötarkoituksesta. Kuntien hallinnoimissa palvelurakennuksissa korjaustarve on arvioitu suurimmaksi. Kosteus- ja mikrobivaurioiden ja muiden sisäilmaongelmien korjaamisessa keskeisessä roolissa ovat ongelmien laajuuden selvittämiseksi tehtävät kuntotutkimukset, joita koskevaa ohjeistusta on päivitetty *Ympäristöopas 2016 – Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus* – oppaassa [2]. Oppaan päivityksen myötä myös kuntotutkimuksien ohjeistus on päivittynyt sille tasolle, millä tutkimuksia on käytännössä suoritettu jo useiden vuosien ajan Suomessa.

Aiemmat tutkimukset [3-5] ovat osoittaneet, että kosteus- ja mikrobivaurioiden syntymisestä korjausprojektin päättymistä seuraavan olosuhteiden tasaantumisjakson loppuun kuluva ajanjakso on huomattavan pitkä – usein vuosia. Lisäksi käynnissä olevan COMBI-tutkimushankkeen yhteydessä on havaittu, että kuntarakennukset ovat keskimääräisesti moniongelmaisia siinä vaiheessa, kun niiden korjaamisen valmistelu aloitetaan kuntotutkimuksen suorittamisella [6]. Nämä seikat alleviivaavat tarvetta kehittää aiempaa tehokkaampia toimintatapoja, menetelmiä ja malleja kosteus- ja mikrobivaurioiden varhaisempaan tunnistamiseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten raporttien avulla kosteusvaurioiden vakavuutta eri rakennosissa.

2. Kirjallisuusselvitys

2.1 Kosteusmittaukset ja mikrobinäytteet

Kosteus- ja sisäilmateknisissä kuntotutkimuksissa otetaan useita erilaisia näytteitä ja tehdään erilaisia mittauksia useista syistä, näitä on käsitelty mm. Ympäristöopas 2016 julkaisussa [2]. Yksittäisten näytteenottojen ja mittausten syitä ovat ainakin:

- vaurion vakavuuden selvittäminen oletusta vakavimmin vaurioituneesta kohdasta
- vertailuarvon määrittäminen oletetusta vaurioitumattomasta rakenteesta
- vaurion laajuuden tai kosteusjakauman määrittäminen
- satunnaisotanta tai riskin tutkiminen vaurioitumisen selvittämiseksi.

Kuntotutkimusraporteissa raportoidaan pääsääntöisesti vain mittaustulokset sekä tutkittu rakenne ja materiaali. Mittauksen syytä ei pääsääntöisesti kerrota raporteissa, ei edes vertailunäytteiden osalta, eikä tätä voida jälkikäteen päätellä raporteista.

Tuoreissa tutkimuksissa [7, 8] on vertailu eri rakenteista otettujen mikrobinäytteiden home- ja bakteeripitoisuuksia. Keskimääräiset homepitoisuudet ja bakteerien kokonaispitoisuudet olivat korkeimmat alapohjarakenteissa. Lajikohtaisesti tarkastellen indikaattorimikrobien esiintymisessä oli merkittäviä eroja rakenteittain. [7] Molemmissa julkaisuissa todetaan aihepiirin vaativan lisätutkimusta.

3. Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmä

Tutkimusaineistona oli käytössä 291 palvelurakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen raportti. Näistä kohteista 168 oli tehdyn tulokinnan mukaan tutkittu kuntotutkimuksissa perusteellisesti nykyistä Ympäristöopas 2016 mukailleen. Loppujen kohdalla (123 rakennusta) tutkimus oli osittainen, eli se oli rajattu koskemaan esimerkiksi vain kellarikerroksen tiloja. Aineiston tutkimuksia on suoritettu ympäri Suomen, mutta suuret kaupungit Helsinki, Tampere ja Turku ovat selkeästi edustettuina aineistossa. Lisäksi kohteita on edellä lueteltuja pienemmistä kunnista maantieteellisesti laajalta alueelta Etelä- ja Keski-Suomen kunnista. Aineistossa on tutkimusraportteja kattavasti kuntotutkimustoimintaa harjoittavista yrityksistä. Aineiston voidaan katsoa edustavan kattavasti kuntotutkimustoimintaa Suomessa ja tutkimuksen kohteena olevien kuntien rakennusten kuntoa.

Tutkimusta varten kuntotutkimusraporteista syötettiin rakennusten perustiedot sekä kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyvät tiedot TTY:n kosteus- ja mikrobivaurioita käsittelevään tietokantaan. Tässä tutkimuksessa tietokannasta on hyödynnetty rakenteen sisältä tehtyjen kosteusmittausten porareikämittausten, viiltomittausten sekä rakenteen sisällä olevan ilmatilan tai eristetilan mittausten) tulokset. Ulkoilman tai maaperän olosuhteita koskevat mittaukset on jätetty huomiotta, esimerkiksi alapohjalaatan alta, ryömintätilasta sekä ulkoseinän tuuletusvälistä.

4. Tulokset

4.1 Kosteusmittausten lukumäärä

Tutkimusaineistona käytössä olleissa rakennuksissa oli suoritettu yhteensä 3113 kosteusmittausta, jotka ovat jakautuneet rakenteisiin taulukon 1 mukaisesti. Mittauksista 58 % koski maanvastaisia alapohjarakenteita, 12 % maanvastaisia ulkoseiniä, 10 % ulkoseiniä, 9 % ryömintätilallisia alapohjia, 7 % välipohjia, 4 % väliseiniä ja 1 % yläpohjia.

Taulukko 1. Kosteusmittausten yleisyys perusteellisesti tutkituissa rakennuksissa.

	Ennen 1950	1950–1959	1960–1969	1970–1979	1980–1989	Jälkeen 1990
maanvastainen alapohja	192	286	409	471	307	149
maanvastainen seinä	56	63	124	57	58	0
ulkoseinä	16	28	40	119	66	47
ryömintätilallinen alapohja	26	24	53	11	18	147
välipohja	41	39	40	13	45	28
väliseinä	15	32	10	45	14	2
yläpohja	5	5	0	7	3	2

Kun tarkastellaan vain niitä 168 rakennusta, joissa suoritettu kuntotutkimus on raportin perusteella arvioitu kattavaksi (Ympäristöopas 2016 sisältää mukailevaksi), on mittausten lukumäärä yhteensä 1436. Näistä mittauksista 54 % on alapohjista, 16 % maanvastaisista seinistä, 9 % ulkoseinistä ja välipohjista, 5 % ryömintätilallisista alapohjista sekä väliseinistä ja 1 % yläpohjista. Ero näiden kahden jakauman välillä on siten korkeintaan 4 prosenttiyksikön suuruinen.

Kaikkien kosteusmittausten jakaumasta eri rakenteisiin havaitaan selkeästi, että kosteusmittauksia kohdistetaan erityisesti maanvastaisiin alapohjaan, maanvastaisiin seiniin sekä ryömintätilallisiin alapohjiin, sillä 79 % kaikista mittauksista on näistä rakenteista.

Tarkasteltaessa kosteusmittausten lukumäärää perusteellisesti tutkituissa 168 rakennuksessa voidaan tehdä yllättävänä pidettävä havainto: rakennuksen ikäryhmästä riippuen 21–44 % kohteista ei ole tehty lainkaan kosteusmittauksia. Tätä selittää osaltaan muut kuntotutkimuksissa käytössä olevat tutkimusmenetelmät joiden avulla voidaan luotettavasti määrittää rakenteen korjaustarve myös ilman kosteusmittausta. Niissä rakennuksissa joissa on maanvastainen alapohjarakenne, on kosteusmittauksia tehty 47–77 % kohteista. Yläpohjarakenteinen kohdalla mittauksia on tehty vähiten 0–12 % kohteista. Muiden rakenteiden mittaustiheys sijoittuu näiden kahden väliin taulukon 2 mukaisesti. Taulukkoon on kerätty kosteusmittausten yleisyys eri rakenteista ja ikäryhmistä. Prosentteja laskiessa on huomioitu vain ne rakennukset, joissa on ollut kyseinen rakenneosa.

Taulukko 2. Kosteusmittausten yleisyys perusteellisesti tutkituissa rakennuksissa.

	Ennen 1950	1950–1959	1960–1969	1970–1979	1980–1989	Jälkeen 1990
rakennuksessa ei ole tehty kosteusmittauksia	44 %	21 %	31 %	39 %	26 %	25 %
maanvastainen alapohja	53 %	72 %	68 %	47 %	77 %	75 %
maanvastainen seinä	6 %	34 %	41 %	33 %	47 %	0 %
ulkoseinä	11 %	18 %	14 %	36 %	14 %	13 %
ryömintätalallinen alapohja	27 %	43 %	20 %	25 %	40 %	0 %
välipohja	19 %	29 %	26 %	19 %	31 %	40 %
väliseinä	4 %	18 %	10 %	17 %	6 %	0 %
yläpohja	4 %	12 %	0 %	6 %	3 %	0 %

4.2 Kosteusvaurion vakavuus

Eri-ikäisten rakennusten ja niissä olevien rakenteiden kosteusvaurioiden vakavuutta selvitettiin tilastollisin tarkasteluin. Keskeisessä roolissa tässä tarkastelussa oli selvittää, kuinka suuressa osuudessa mittauksista saadaan korkea suhteellinen kosteus mittaustulokseksi. Mittauksista 5–45 %, rakenteesta riippuen, suhteellinen kosteus oli yli 80 %. Yli 90 % suhteellinen kosteus saatiin 5–30 % mittaustuloksista. Kunkin rakenteen korkeiden kosteuspitoisuuksien mittaustulosten osuus rakenteen kaikista mittauksista on esitetty taulukossa 3. Todennäköisimmin raja-arvot ylittävä korkea kosteuspitoisuus mitataan maanvastaisista alapohjista, ryömintätalallisista alapohjista, maanvastaisista seinistä sekä väliseinistä.

Taulukko 3. Korkeiden kosteuspitoisuuksien osoittaneiden mittausten osuus kaikista mittauksista.

	> 80 % RH	> 85 % RH	> 90 % RH
maanvastainen alapohja	45 %	35 %	25 %
maanvastainen seinä	37 %	31 %	21 %
ulkoseinä	18 %	15 %	11 %
ryömintätalallinen alapohja	41 %	27 %	11 %
välipohja	26 %	23 %	19 %
väliseinä	36 %	35 %	30 %
yläpohja	5 %	5 %	5 %

Vertailemalla taulukoita 1–3 voidaan havaita, että mittauksista suurin osa kohdistetaan rakenteisiin, joissa myös todennäköisesti mitataan korkeita kosteuspitoisuuksia.

Taulukkoon 4 on koottu rakenteiden kosteusmittausten keskiarvo ja keskihajonta. Luonnollisesti korkein keskimääräinen kosteuspitoisuus saavutetaan niissä rakenteissa, joissa korkeiden mittaustulosten osuus on korkea (vrt. taulukko 3). Taulukkoa tulkittaessa on tärkeä muistaa, ettei mittausten syitä tunneta, jolloin ei voida tehdä oletuksia rakenteen keskimääräisestä kosteustasosta.

Taulukko 4. Kosteusmittausten keskiarvo ja keskihajonta.

	keskiarvo	keskihajonta
maanvastainen alapohja	74 % RH	19 % RH
maanvastainen seinä	68 % RH	21 % RH
ulkoseinä	57 % RH	21 % RH
ryömintätillallinen alapohja	71 % RH	17 % RH
välipohja	59 % RH	24 % RH
väliseinä	65 % RH	25 % RH
yläpohja	42 % RH	19 % RH

Tarkastelu suoritettiin myös siten, että tarkasteltiin kutakin rakenneosaa kuuteen taulukon 1 mukaiseen ikäryhmään jaettuna. Tämän tarkastelun tunnusluvuista ei havaittu selkeitä johdonmukaisuuksia, mitä ainakin osin selittää se, että välipohjissa, väliseinissä ja yläpohjissa otoskoko pienenee ja yksittäisen mittaustulokset merkitys kasvaa. Tarkastelun perusteella ei voida todeta kosteuspitoisuuden olevan korkeampi vanhemmassa rakennuskannassa tai selkeästi erottaa rakenteiden kehitysten aiheuttamia muutoksia kosteuspitoisuudessa. Tarkastelun perusteella rakenteen kastuminen riippuu ulkoisista tekijöistä, jolloin kaikkiin tarkastelun alla oleviin rakenteisiin voi muodostua olosuhteet, joissa huokosilman suhteellinen kosteus on yli 80 %.

5. Keskustelu

Jälkikäteen ei voida todentaa kosteusmittauksen alkuperäistä syytä, eikä siten arvioida millaista tulosta kuntotutkija on kosteusmittauksesta oletanut. Tämän johdosta mittauksia ei voida jakaa niiden alkuperäisen syyn mukaisiin ryhmiin, mikä mahdollistaisi tarkemmat tarkastelut. Mittaustekniikan tai kosteusmittaukseen käytettyjen mittalaitteiden vanhentuneen kalibroinnin mahdollisia mittavirheitä ei myöskään voida arvioida kaikista raporteista. Edelleen kosteusmittauksia on tehty samankin rakenneryhmän sisällä erilaisista rakenteista, erilaiselta syvyydeltä ja erilaisissa kosteusolosuhteissa. Nämä muuttujat heikentävät yksityiskohtaisen tarkastelun luotettavuutta.

Tarkastelun tuloksista voidaan kuitenkin selkeästi havaita, että kaiken ikäisistä rakennuksista ja kaikista rakenteista on mitattu korkeita kosteuspitoisuuksia. Tämä viittaa siihen, että ulkopuolinen kosteusrasitus ja sen suuruus on merkittävä tekijä mietittäessä rakenteiden kosteusvaurioitumista tai sen estämistä rakenteiden kosteusturvallisella suunnittelulla.

Esimerkiksi voidaan ottaa 80-luvun välipohjat, jotka 168 rakennuksen aineistossa olivat 88 % betonisia. Sisäolosuhteissa oleva massiivinen tai elementtirakenteiden betonivälipohja tuskin pääsee kastumaan heikon rakennusfysikaalisen toiminnan johdosta rakenteen läpi tapahtuvan kosteusvirran seurauksena. Kun rakennukset on tutkittu 2000-luvulla, voidaan sulkea pois myös rakentamista seuranneen korkean kosteuspitoisuuden mahdollisuus. Tämän rakennetyypin kohdalla 22 % kosteusmittauksista kuitenkin ylitti 80 % suhteellisen kosteuden. Ulkoisista tekijöistä johtuen tähänkin rakennetyypiin syntyi olosuhteet, joissa mikrobikasvu on mahdollista, jos rakenteessa tai sitä vasten on kosteudelle herkkiä materiaaleja, kuten puupohjaisia rakennustuotteita tai orgaanisia pinnoitteita.

Kosteusturvallisuutta tarkastellaan usein vain vaipparakenteiden osalta. Rakenteiden suunnittelussa painoarvoa pitäisi antaa myös mahdollisille tavanomaisuudesta poikkeaville kosteusrasituksille, sekä miettiä miten mahdollinen poikkeava kosteusrasitus voidaan havaita ja miten rakennetta voidaan tämän jälkeen korjata. Rakenteiden kosteusturvallisuutta ja vikasetoisuutta parantamalla voitaisiin todennäköisesti vaikuttaa kosteusvaurioiden määrään

tulevaisuudessa. Ketjun tosin pitää jatkua suunnittelijan pöydältä, työmaan kautta kiinteistön ylläpitoon, huoltoon ja käyttöön koko sen elinkaareksi.

6. Yhteenveto

Tehdyn tarkastelun perusteella suurin osa kosteusmittauksista kohdistetaan maanvastaisiin rakenteisiin sekä alapohjiin, kaikista mittauksista 79 % on tehty näistä rakenteista. Samalla näiden rakenteiden kaikkien mittausten keskimääräinen suhteellinen kosteus on myös korkein: 68,4–74,0 % RH. Tuloksista voidaan havaita, että kaikista rakenneosista on mitattu korkeita kosteuspitoisuuksia: rakenteesta riippuen mittauksista 5-45 % on saatu mittaustuloksena yli 80 % suhteellinen kosteus. Suoritettujen tarkastelujen perusteella kaikkiin rakenteisiin voi siis muodostua olosuhteet, joissa mikrobikasvu on mahdollista.

Lähdeluettelo

- [1] Reijula, K., Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E. ja Reiman, M. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. 1. painos. Espoo. 178 s. + 27 liites. ISBN 978-951-53-3455-8.
- [2] Pitkäranta, M. (toim.) 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö, rakennettun ympäristön osasto. 202 s. + 32 liites. ISBN 978-952-11-4626-8.
- [3] Annala, P. J., Lahdensivu, J., Suonketo, J. ja Pentti, M. 2015. Practical Experiences from Several Moisture Performance Assessments. Building Pathology and Rehabilitation. Volume 5. Recent Developments in Building Diagnosis Techniques. João M.P.Q. Delgado (editor). pp. 1-20. ISBN 978-981-10-0466-7.
- [4] Asikainen V. 2008. Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Osa 1 Kiinteistön omistajan opas sisäilmaongelmaisten koulurakennusten kunnan tutkimiseen ja korjaushankkeisiin. Opetushallitus, 43 s.
- [5] Haverinen-Shaughnessy, U., Hyvärinen, A., Putus, T. ja Nevalainen, A. 2008. Monitoring success of remediation: seven case studies of moisture and mould damaged buildings. Science of the Total Environment 399 (2008): 19-27.
- [6] Annala, P., Lahdensivu, J., Suonketo, J., Pentti, M., Laukkarinen, A. ja Vinha, J. 2017 Eri ikäisten kuntarakennusten korjaustarve. Sisäilmastoseminaari 2017. Sisäilmayhdistys ry. Aalto yliopisto, Energiatekniikan laitos. SIY Raportti 35. Säteri, J. ja Ahola, M. (toim.). ss. 39-44. ISBN 978-952-5236-45-3.
- [7] Meklin, T., Rintala, H. ja Hänninen, M. 2017a. Mikrobit eri rakenteista otetuissa materiaaleissa. Sisäilmastoseminaari 2017. Sisäilmayhdistys ry. Aalto yliopisto, Energiatekniikan laitos. SIY Raportti 35. Toimittajat Säteri, J. ja Ahola, M. ss. 221-226. ISBN 978-952-5236-45-3.
- [8] Meklin, T., Rintala, H., Hänninen, M. ja Rintala, T. 2017. Microbial growth on different types of building materials – survey of indicator microbes. Healthy Buildings 2017 Europe. July 2-5, 2017, Lublin, Poland. ISBN: 978-83-7947-232-1.

Ilmanvaihdon ja painesuhteiden merkitys rakenteille ja sisäilman laadulle; kolme case tapausta

Saija Korpi, Lari Eskola, Terttu Rönkä, Timo Ekola, Sami Mustajoki ja Marko Björkroth
A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Tiivistelmä

Rakenteissa esiintyvillä kosteus- ja mikrobivaurioilla, mikrobivaurioiden sijainnilla ja laajuudella sekä vaurioituneiden rakenteiden tiiveydellä on merkitystä sisäilman laatuun sekä rakennuksessa vallitseviin altistumisolosuhteisiin. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta voi omalta osaltaan lisätä epäpuhtauksien kulkeutumista vaurioituneista rakenteista sisäilmaan tai pahimmassa tapauksessa lisätä rakenteiden vaurioitumisriskiä.

Rakenteiden ja ilmanvaihdon toiminnasta löytyi case kohteissa ongelmia, jotka vaikuttivat rakennuksen sisäilmastoon.

Rakennuksissa käytettyjen rakenneratkaisujen epätiivius, rakenteissa todetut vauriot sekä ilmanvaihtojärjestelmissä todetut puutteet huomioiden, muodostuu tutkittujen rakennusten korjausaste korkeaksi.

1. Johdanto

Erityisesti julkisten rakennusten, kuten koulujen ja päiväkotien sisäilmaongelmien tuottamat haitat on julkisessa keskustelussa todettu yhdeksi tärkeimmistä rakennusalan ongelmista. Ongelmia on sekä uusissa että vanhoissa rakennuksissa.

Tutkimusten ja korjausten onnistumisen haasteena on ongelmien laaja-alaisuus, mikä tekee niiden korjaamisesta vaikeaa ja kallista. Sisäilmaongelmiin on useita syitä ja suurin osa liittyy rakenteisiin tai ilmanvaihtoon. Tässä artikkelissa käydään läpi kolmen koulurakennuksen tutkimuksissa löytyneitä ongelmia. Tutkituissa rakennuksissa on ollut sisäilmaongelmia ja tutkimusten perusteella rakennuksissa on ongelmia rakenteiden ja ilmanvaihdon toiminnassa. Tutkimukset on tehty soveltaen Ympäristö opas 2016 [1] ja SuLVIn ilmanvaihdon kuntotutkimusohjeistusta [2].

2. Case kohteet

Tässä tutkimuksessa käydään läpi kolmen vuoden 2017 alussa tutkitun koulurakennusten rakenteissa todettujen vaurioiden vaikutusta sisäilman laatuun sekä ulkoilman ja sisätilojen välisten painesuhteiden vaikutusta rakenteissa todettujen epäpuhtauksien kulkeutumiseen sisätiloihin. Koulurakennuksista kaksi on 60-luvulta ja yksi 80-luvulta.

2.1 Case 1: Rakennus 60-luvulta

Rakennuksen erityispiirteinä on sisäpinnastaan rapatut sementtilastuvillalevy -eristeiset ("toja"-levy) ulkoseinä- ja sokkelirakenteet sekä epätiivitit ulkovaipparakenteet.

Koulu on jouduttu siirtämään väistötiloihin rakenteissa todettujen vaurioiden laajuuden ja vakavuuden vuoksi.

2.2 Case 2: Rakennus 60- luvulta

Peruskorjattu koulurakennus, mutta rakenteiden ja ilmanvaihdon kanssa on edelleen haasteita. Rakennuksen ulkoseinärakenteet ovat sisäpuolelta katsottuna puutteellisesti tuulettuvia betoni-villa-tiili -rakenteita. Sokkelihalkaisun lämmöneristeenä on ainakin paikoin käytetty korkkia, joka on vaurioherkkä materiaali, varsinkin jos eriste on ulkopuolista maanpintaa alempana.

2.3 Case 3: Rakennus 80-luvulta

Rakennuksessa erityispiirteenä on yläpohjarakenteessa olevan alkuperäisen Thermopol-höyrynsulkurakenteen puutteellinen toiminta. Rakennuksessa esiintyy yläpohjan epätiiveyden lisäksi muitakin epätiiviyttä rakenneliittymiä, kuten ikkuna- ja ulkoseinärakenteiden liittymät, alapohjan- ja seinärakenteiden liittymät sekä ryömintätilaa vasten olevan alapohjan läpiviennit.

Koulu siirtyy väistötiloihin rakenteissa todettujen vaurioiden, epätiivien rakenteiden ja ilmanvaihtojärjestelmässä todettujen puutteiden korjauksen ajaksi.

3. Tutkimustulokset

Rakennuksien tutkimukset aloitettiin sisäilmaongelmiin yhdistetyn oireilun takia ja tässä esitetään kohdekohtaisesti tarkempien tutkimusten tuloksia.

3.1 Case 1

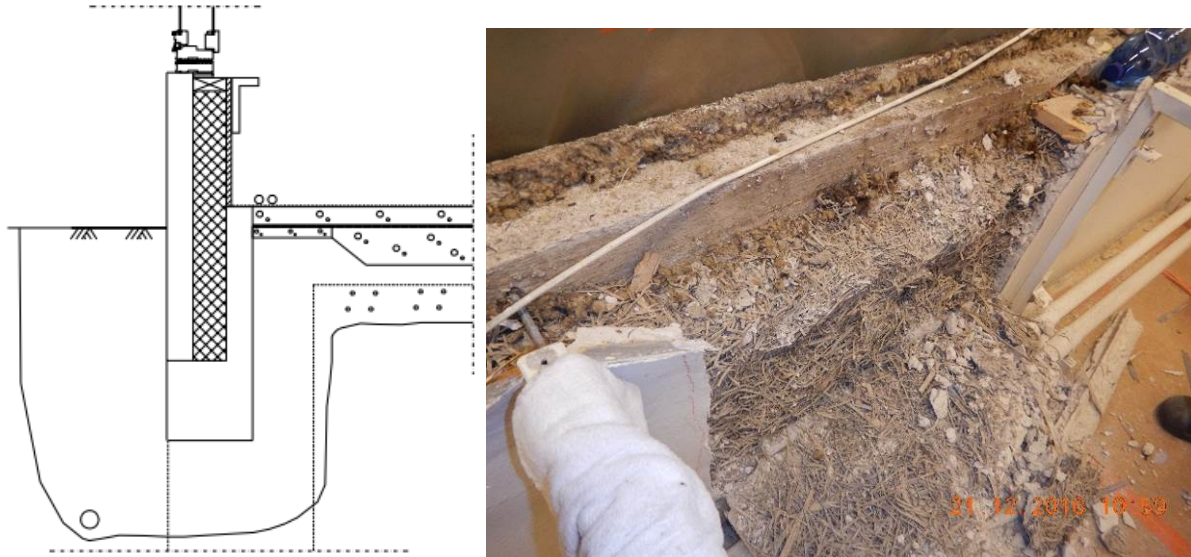
Lähtötietojen perusteella tutkimuksen kohteena olevassa koulurakennuksessa on esiintynyt vuosien varrella erilaisia sisäilmaan liitettyjä oireita. Useissa huoneissa on koettu maakellarin hajua. Korjaavina toimenpiteinä rakennuksessa on tehty painuneiden maanvaraisten lattioiden nostotöitä sekä ikkuna- ja ulkoseinärakenteiden liittymien tiivistyskorjauksia kesällä-syksyllä 2016.

3.1.1 Rakenteiden ongelmat

Tutkimustulosten, havaintojen ja näyteanalyysien perusteella merkittävimpänä sisäilman laatuun vaikuttavana häiritsevä tekijänä on sokkeli- ja ulkoseinärakenteiden lämmöneristeiden (toja-eriste) kosteus- ja mikrobivauriot. Rakenteisiin on etenkin ikkunoiden alapuolisille sokkeliosille muodostunut laajamittaisia mikrobivaurioita, joiden syynä on puutteellinen ulkopuolinen kosteudenhallinta ja erityisesti epätiiviyt ikkunoiden vesipellitusten liittymät. Sokkelihalkaisussa ei ole alkuperäisissä rakennepiirustuksissa esitettyä kosteudeneristystä. Ikkunoiden vanhoissa ikkunatilkkeissä (pellavarive) esiintyy korkeita PAH-yhdisteiden pitoisuuksia.



Kuva 1. Ikkunoiden vesipellitykset ovat vuotaneet ja betonisokkelissa esiintyy halkeamia, minkä johdosta ikkunan alla olevissa kiinnityspiissa esiintyy lahovaurioita. Peruskorjauksen yhteydessä on uudet ikkunat asennettu alkuperäisten karmien sisään. Alkuperäisten karmien tilkiväleissä on pellavarivettä, jonka PAH-yhdisteiden pitoisuudet ovat korkeita. PAH-yhdisteiden hajua on imeytynyt alkuperäisiin puusiin.



Kuva 2. Ikkunoiden alapuolella ja sokkelihalkaisussa olevassa toja-eristeessä esiintyy selviä viitteitä materiaalin mikrobivaurioista. Toja-eristeen sisäpinnassa on rappaus.

Ulkovaipparakenteissa todettiin epätiiviyttä rakenneliittymiä aistinvaraisesti ja merkkiainekokeiden avulla. Epätiiviyden rakenneliittymien kautta on mm. ulkoseinän mikrobivaurioituneista lämmöneristeistä mahdollista sekoittua ilmaa ja epäpuhtauksia sisäilmaan päin. Epätiiviyttä rakenneliittymiä todettiin lisäksi mm. ulkoseinärakenteessa ikkunoiden yläpuolella sekä kattoikkunoiden liittymissä, joiden kautta sisätilat ovat suoraan yhteydessä yläpohjarakenteiden lämmöneristeisiin.

3.1.2 Ilmanvaihdon ongelmat

Ilmanvaihtojärjestelmä oli saneerattu vuosituhannen vaihteessa. Ilmavirrat ovat rakentamismääräysten minimitasoa, mutta eivät vastaa käyttäjien tarpeita. Tästä syystä järjestelmä tulisi uusiksi, vaikka koneet eivät vielä ole käyttöikänsä lopussa. Rakennus oli alipaineinen ja hallitsemattomia ilmavuotoja oli runsaasti.

3.2 Case 2

Kohde oli peruskorjattu 90-luvun lopulla, korjauksia oli tehty mm. sisäilmaongelmien takia. Osa ongelmista oli saatu korjattua ja sisäilmaan liitetty oireilu oli vähentynyt huomattavasti. Rakennuksen ryömintätila oli puhdistettu, asbesti oli poistettu ja maanvaraiset lattiarakenteet uusittu. Myös ilmanvaihtojärjestelmä oli uusittu peruskorjauksen yhteydessä ja luokkien ilmavirrat oli mitoitettu suurillekin opetusryhmille riittäviksi. Kattorakenne oli uusittu ja se oli edelleen erittäin hyvässä kunnossa.

Haasteeksi olivat jääneet orgaaniset materiaalit, jotka olivat osittain tai kokonaan rakenteiden sisällä sekä kellaritiloissa.

3.2.1 Rakenteiden ongelmat

Alapohjarakenne osoittautui vuosien saatossa vaurioituneeksi. Lämmöneristeenä oli käytetty toja-levyä betonisen pintalaatan alla. Levy oli vaurioitunut ja poistaminen vaatii kaikkien lattioiden avaamista.

Osasta maata vasten olevista seinärakenteista löytyi bitumisivelyä, jossa oli raja-arvot ylittävä määrä PAH-yhdisteitä ja mikrobivaurioituneita kipsilevyjä. Myös ulkoseinärakenteista löytyi mikrobikasvustoa. Sokkelirakenteiden sisältä löytyi myös kerros korkkilevyä, joka on ajan kuluessa vaurioitunut kosteuden vaikutuksesta.

Liikuntasaumojen toteutus havaittiin puutteelliseksi. Saumoja ei oltu tiivistetty ja liikuntasamaan oli jätetty kovalevyt, jotka olivat vaurioituneet.

Vaikka vauriot ovat rakenteille tyypillisiä oli epäpuhtauksien leviämisen estäminen sisätiloihin haastava toteuttaa.



Kuva 3. Toja-levy eristeenä lattian alla.

3.2.2 Ilmanvaihdon ongelmat

Ilmanvaihdon peruskorjauksen yhteydessä toteutetut toimenpiteet oli kohdistettu ilmavirtojen kasvattamiseen, mutta painesuhteisiin ei oltu kiinnitetty riittävästi huomiota. Painesuhteet

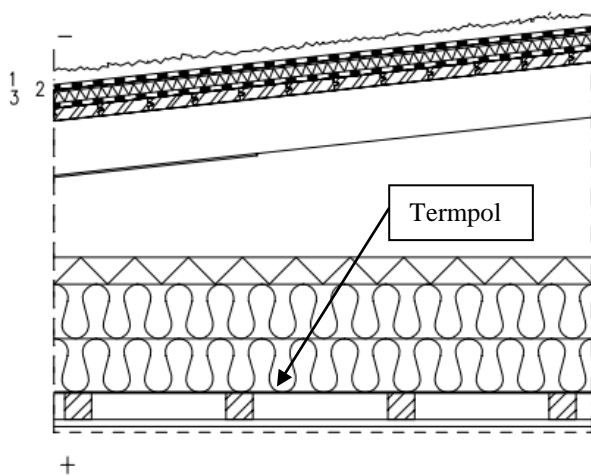
vaihtelivat huomattavasti päivän aikana rakennuksen käytön mukaan ja hallitsemattomia ilmavirtoja rakenteiden läpi esiintyi useissa paikoissa. Yöaikaan esiintyi tyypillisesti 10–15 Pa alipaineisuutta.

3.3 Case 3

Saatujen lähtötietojen perusteella koulurakennuksessa on vuosien varrella koettu sisäilman laatuun liitettyjä oireita ja erityisesti yksi luokkasiipi on koettu ongelmallisimmaksi alueeksi. Kohteessa on tehty lukuisia kosteudenhallintaa parantavia toimenpiteitä, mm salaojien uusinta ja lisäykset, kattovesi- ja pihavesiviemäriöintien uusinta ja ryömintätilojen puhdistukset, vesikatteiden osittainen uusinta. Ongelmallisimmaksi koetussa luokkasiivessä on tehty lattiapinnoitekorjauksia ja rakenneliittymien tiiveyttä parantavia toimenpiteitä.

3.3.1 Rakenteiden ongelmat

Merkittävimpana sisäilman laatuun vaikuttavana häirtatekijänä ja rakenteiden toiminnan kannalta puutteena voidaan pitää yläpohjarakenteessa olevan alkuperäisen termopol-höyrynsulkurakenteen toimintaa. Yläpohja- ja ulkoseinärakenteiden yläosassa oleva levyrakente ei ole ilma- tai vesihöyrytiivis johtuen levyrakenteiden saumojen teippauksen epätiiveydestä ja levyjen toteutustavasta mm. rakenneliittymien kohdilla. Yläpohjassa sekä ulkoseinärakenteiden yläosassa olevien Thermopol -levyjen takapinnoille on muodostunut näkyvää, mikrobikasvustoon viittaavaa kasvustoa. Vaurioita todettiin kaikissa rakenneavauspisteissä.



Kuva 4. Yläpohjan rakennetyyppi. Termopol -höyrynsulkulevyjen liitosten teippaukset ja liittymät ulkoseinä- ja yläpohjarakenteisiin ovat epätiivisiä.



Kuva 5. Termopol-levyn takapinnalla esiintyy mikrobikasvustoihin viittaavia tummentumia ja paikoin levyssä esiintyy mikrobivaurioita.

4. Johtopäätökset

Case tapauksissa esiteltiin näille rakennuksille tyypilliset ongelmat, jotka eivät rajoitu vain yhteen yksittäiseen tilaan, vaan kattavat koko rakennuksen. Edellä esitetyt rakenteisiin ja ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat ovat todennettavissa tutkimuksissa.

Pelkästään rakenteissa todettujen kosteus- ja mikrobivaurioiden ja rakenteiden tiiveyden parantaminen voi vaatia mittavia rakenteiden purku- ja uudelleenrakennustoimenpiteitä. Rakenteiden korjaus ja kaikkien sisäilman laatuun vaikuttavien haittatekijöiden poistaminen/poissulkeminen voi joissain tapauksissa olla kustannuksiltaan lähes uudisrakennuksen kustannusten tasoinen.

5. Yhteenveto

Rakenteet ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminta tutkittiin sisäilmaongelmaisissa kohteissa. Rakenteiden ja ilmanvaihdon toiminasta löytyi ongelmia, jotka vaikuttivat rakennuksen sisäilmastoon.

Rakennuksissa käytettyjen rakenneratkaisujen epätiivisyys, rakenteissa todetut vauriot sekä ilmanvaihtojärjestelmissä todetut puutteet huomioiden, muodostuu tutkittujen rakennusten korjausaste korkeaksi.

Korjauksissa tulee kiinnittää erityistä huomiota rakenteiden korjausmenetelmiin, ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan sekä järjestelmän säätöön, jotta rakennuksen painesuhteet ovat rakennukselle sopivia.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Toim. Pitkäranta, Miia. Ympäristöministeriö 2016. ISBN 978-952-11-4625-1
- [2] www.sulvi.fi/ajankohtaista/projektit/iv-kuntotutkimushanke.

Rakennusmateriaalin ja rakenteen vaikutus mikrobilajistoon ja -pitoisuuteen

Helena Rintala¹, Marja Hänninen¹, Teemu Rintala², Pinja Tegelberg¹ ja Teija Meklin¹

¹Mikrobioni Oy, Kuopio

²Aalto Yliopisto, Tietotekniikan laitos

Tiivistelmä

Rakennusten kosteus- ja mikrobivaurioiden syyt ja syntymekanismit ovat moninaiset ja mikrobilajistoon vaikuttavat useat tekijät. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon rakennusmateriaali ja se, mistä rakenteesta näyte on otettu, vaikuttavat mikrobilajistoon ja pitoisuuksiin.

Tutkimuksessa analysoitiin mikrobituloksia noin 6000 rakennusmateriaalinäytteestä, jotka oli lähetetty laboratorioon tutkittavaksi. Näytteistä oli analysoitu mikrobi suoraviljelymenetelmällä ja näytteet luokiteltiin annettujen tietojen perusteella materiaali- ja rakenneluokkiin tilastollisia analyysejä varten.

Tulosten perusteella mikrobien kokonaismäärät eri kasvatusalustoilla ja useiden lajien tai sukujen esiintymisfrekvenssit ja pesäkemäärät erosivat tilastollisesti merkitsevästi materiaalien ja rakenteiden välillä. Lajistoa kokonaisuutena vertaavan Bray-Curtis dissimilariteetti-indeksin avulla havainnollistettu kuva näytteiden mikrobiologisista eroavaisuuksista osoitti, että rakenne ja materiaali eivät kuitenkaan yksinään ole mikrobilajistoon määräävästi vaikuttavia tekijöitä. Jatkossa onkin tarkoitus selvittää tarkemmin indeksin perusteella erottuneiden näyteryhmien muita ominaisuuksia.

1. Johdanto

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa on esitetty toimenpiderajoja rakennusmateriaalien mikrobipitoisuuksille ja määrille. Ohjeen mukaan toimenpiderajoja ei voida soveltaa ulkoilman tai maaperän kanssa kosketuksissa olevan materiaalinäytteen tulostulkintaan. Toisaalta voidaan olettaa, että valveutuneet näytteenottajat ottavat näytteitä harvemmin esimerkiksi suorassa maaperäkontaktissa olevista materiaaleista, jolloin ohjeiden soveltamiselle ei pitäisi olla esteitä. Mikrobien kasvuun vaikuttavat eniten kosteus, ravinteet ja lämpötila. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu mm. että orgaanisilla materiaaleilla, kuten puulla, havaitaan yleensä suurimmat mikrobipitoisuudet [1]. Niillä on mikrobeille helposti saatavilla olevaa ravintoa. Toisaalta ajan mittaan, ilman puhdistusta, mille tahansa materiaalille kertyy orgaanista ainesta, jota mikrobi voivat hyödyntää ja mikrobikasvu on mahdollista, jos kosteutta riittää. Mikrobeilla on vaihteleva kyky sietää kuivuutta. Itiöitä muodostavat mikrobi, kuten homeet ja sädesienet, sietävät kosteuden vaihteluita ja kuivuutta itiöidensä avulla. Myös homelajien välillä on eroja. Esimerkiksi *Aspergillus* ryhmä *Restrictii*n homeet sietävät erittäin kuivia olosuhteita. Lämpötila vaikuttaa enemmänkin kasvua hidastavasti silloin kun se ei ole mikrobille optimaalinen.

Mikrobien lähteinä rakennuksiin toimivat erityisesti ulkoilma, maaperä (jalkojen mukana kulkeutuva pöly ja rakenteiden suora kosketus ympäristöön) ja jossain määrin mikrobeja kulkeutuu myös mm. vaatteiden tai lemmikkieläinten mukana. Mikrobeja kertyy rakennuksiin

myös rakennuksen käyttäjien toimien seurauksena. Jos rakennustarvikkeita varastoidaan huolimattomasti, voi niihin kertyä mikrobistoa jo rakennusvaiheessa. Kun rakenteet kostuvat, mikrobikasvu alkaa. Lopulliseen lajistoon rakennusmateriaalilla vaikuttavat todennäköisesti kosteusvaurion synty tapa, itse materiaali, kosteusolosuhteet ja niiden vaihtelu ajan myötä, rakenne, rakenteen ikä, jne. Kosteus näytteenottohetkellä ei kuitenkaan välttämättä korreloi todettujen mikrobipitoisuuksien kanssa [2].

2. Materiaalit ja menetelmät

Tässä selvityksessä tarkastellaan rakennusmateriaalinäytteiden aineistoa (n=6177), jotka on lähetetty analysoitavaksi Mikrobioni Oy:n laboratorioon. Näytteistä on määritetty mikrobilajisto ja määrä semikvantitatiivisesti käyttäen suoraviljelytekniikkaa. Suoraviljelyssä materiaali hienonnetaan ja sitä levitetään suoraan kasvatusalustalle noin 0,5 ml. Analyysissä kaikkien mikrobien pesäkemäärät on laskettu 150 pesäkkeeseen asti aina kun se on ollut mahdollista. Jos malja on kasvanut täyteen pesäkkeitä, pesäkemääräksi on merkitty 150. Jos täydellä maljalla on ollut selvästi havaittavissa useampi laji arvion mukaan yli 150 pesäkkeenä, kaikkien näiden lajien kohdalle on merkitty 150. Näin ollen kokonaispesäkemäärän ylittäessä noin 150, mikrobien määrät ovat arvioita.

Aineisto luokiteltiin annettujen rakennetietojen mukaan neljään eri rakenneluokkaan; 1) ulkoseinärakenteet (n=2841), 2) alapohja- ja maanvastaisen seinän rakenteet (n=787), 3) katto ja yläpohjarakenteet (n=275) sekä 4) yleiset sisätiloihin liittyvät rakenteet (mm. väliseinä, välipohja, n=1932). Näytteet luokiteltiin myös materiaalin perusteella kahdeksaan luokkaan; eristevillat (n=3416), puu (n=793), puru (n=357), kipsilevy (n=114), styrox (n=44), muovi (n=81), paperi (n=234) ja keraamiset materiaalit, kuten betoni ja tasote (n=468).

Tulokset analysoitiin käyttäen SPSS (v. 23) ja R (versio 3.3.1 (2016-06-21)) [3] ohjelmia. Bray-Curtis dissimilariteetti-indeksiin [4] laskemiseen käytettiin R:n vegan-pakettia [5] ja 2D-projektoiden tuottamiseen t-SNE-pakettia [6].

3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Suurimmat mikrobipitoisuudet havaittiin alapohjasta ja maanvastaisista rakenteista otetuissa näytteissä. Elatusalustasta riippuen, 43%:ssa (M2) ja 57%:ssa (DG18) näytteitä todettiin ohjearvon ylittävä mikrobipitoisuus, eli mikrobikasvu. Tämä on linjassa sen kanssa, että alapohjasta ja maanvastaisista rakenteista löydetään myös enemmän kosteusvaurioita kuin ulkoseinistä, kattorakenteista tai välipohjista [7]. Pienimmät pitoisuudet havaittiin yläpohjasta/kattorakenteista otetuissa näytteissä; 25/32 %:ssa näytteitä todettiin mikrobikasvu. Sisätiloista ja ulkoseinistä otetuista näytteistä n. 30/40 %:ssa oli mikrobikasvu. Kaikissa rakenteissa havaittiin DG18-alustalla useammin tulkintarajan ylittäviä pitoisuuksia kuin M2-alustalla. DG18 alusta suosii kuivemmassa ympäristössä viihtyviä lajeja.

Taulukossa 1 on esitetty joidenkin yleisimpien mikrobien esiintymisfrekvenssejä eri rakenteissa. Kaikissa rakenteissa yleisimmin esiintynyt mikrobisuku oli *Penicillium* ja yleisin indikaattorimikrobi sädesienet. Myös Reiman ym. [8] totesivat omassa tutkimuksessaan sädesienten olevan rakennusmateriaalinäytteissä yleisin indikaattori. Ulkoseinässä, alapohjassa ja maanvastaisissa rakenteissa sekä sisätiloissa yleisimmät indikaattorihomeet olivat *Aspergillus* ryhmä *Restrictii* ja *Aspergillus versicolor*. Katto- ja yläpohjanäytteissä yleisimmät indikaattorihomeet olivat *Eurotium* sp., *Chaetomium* sp. ja *Paecilomyces* sp. Myös hiivat olivat

katto- ja yläpohjanäytteissä yleisempiä kuin muissa rakenteissa. Mikrobin esiintymisfrekvenssit erosivat tilastollisesti merkitsevästi rakenteiden välillä useiden mikrobin osalta (Pearson chi-squared homogeneity test).

Taulukko 1. Joidenkin yleisimpien mikrobin esiintymisfrekvenssit (%) eri rakenteissa.

Mikrobi	Alusta	ulkoseinä	alapohja/ maanv.seinä	katto ja yläpohja	sisätila
<i>Penicillium</i> sp. ^{1,2}	M2	68	74	65	65
<i>Cladosporium</i> sp. ^{1,2}	M2	23	11	19	11
<i>Aspergillus</i> sp. ^{1,2}	M2	10	13	4	13
steriilit ^{1,2}	M2	21	19	24	16
hiivat ^{1,2}	M2	9	6	15	8
<i>Acremonium</i> sp. ^{*,1,2}	M2	5	9	5	5
<i>A. fumigatus</i> ^{*,1,2}	M2	5	2	7	3
<i>A. ryhmä Restrictii</i> ^{*,1,2}	DG18	22	24	8	14
<i>A. sydowii</i> ^{*,2}	M2	2	2	1	3
<i>A. ustus</i> ^{*,1,2}	M2	1	1	1	2
<i>A. versicolor</i> ^{*,1,2}	M2	21	31	4	18
<i>Chaetomium</i> sp. ^{*,1,2}	M2	6	11	9	7
<i>Engyodontium</i> sp. ^{*,1,2}	M2	3	2	<1	1
<i>Eurotium</i> sp. ^{*,2}	DG18	13	16	14	12
<i>Exophiala</i> sp. ^{*,1,2}	M2	2	1	7	1
<i>Geomyces</i> sp. ^{*,1,2}	M2	3	1	3	1
<i>Mucor</i> sp. ^{1,2}	M2	2	3	5	3
<i>Oidiodendron</i> sp. ^{*,1,2}	M2	<1	1	3	1
<i>Paecilomyces</i> sp. ^{*,1,2}	M2	4	5	9	8
<i>Scopulariopsis</i> sp. ^{*,1,2}	M2	1	1	<1	2
<i>Stachybotrys</i> sp. [*]	M2	1	1	1	1
<i>Tritirachium</i> sp. ^{*,1,2}	M2	1	4	<1	2
<i>Ulocladium</i> sp. [*]	M2	3	3	5	4
<i>Wallemia</i> sp. ^{*,1,2}	DG18	5	6	<1	3
sädesienet ^{*,1,2}	THG	43	53	28	47

*Indikaattorimikrobi;

¹ tilastollisesti merkitsevä ero frekvensseissä eri rakenteiden välillä;

² tilastollisesti merkitsevä ero pesäkemäärissä eri rakenteiden välillä.

Myös rakennusmateriaalien välillä oli eroja mikrobipitoisuuksissa ja lajistossa ja mikrobin esiintymisfrekvenssit erosivat tilastollisesti merkitsevästi myös materiaalien välillä useiden mikrobin osalta (Pearson chi-squared homogeneity test). Yleisin mikrobisuku kaikilla materiaaleilla oli *Penicillium* sp. ja yleisimmät indikaattorimikrobit sädesienet ja *Aspergillus versicolor*, lukuun ottamatta purua, jolla yleisimmät indikaattorit olivat sädesienet ja *Aspergillus* ryhmä *Restrictii* (Taulukko 2). Aiemmissä tutkimuksissa on tehty samansuuntaisia havaintoja homelajien ja -sukujen yleisyydestä eri materiaaleilla [1]. Esimerkiksi *Acremonium* sp., *Engyodontium* sp. ja *Tritirachium* sp. olivat molemmissa tutkimuksissa yleisiä keraamisilla materiaaleilla edellä mainittujen indikaattorien lisäksi, kun taas puulla tai puupohjaisilla materiaaleilla yleisiä olivat hiivat ja *Paecilomyces* sp. Hyvärisen tutkimuksessa käytettiin laimennossarjamenetelmää, ja tämä voi olla syynä joillekin havaituille eroille mikrobin yleisyydessä.

Mikrobien kokonaismäärät M2-, DG18- ja THG-alustoilla, indikaattorihomeiden yhteenlaskettu summa ja sädesienten sekä useiden yksittäisten lajien tai ryhmien pesäkemäärät erosivat tilastollisesti merkitsevästi eri rakenne- ja materiaaluokissa (Kruskal-Wallis) (Taulukot 1 ja 2).

Taulukko 2. Joidenkin yleisimpien mikrobien esiintymisfrekvenssit (%) eri materiaaleilla.

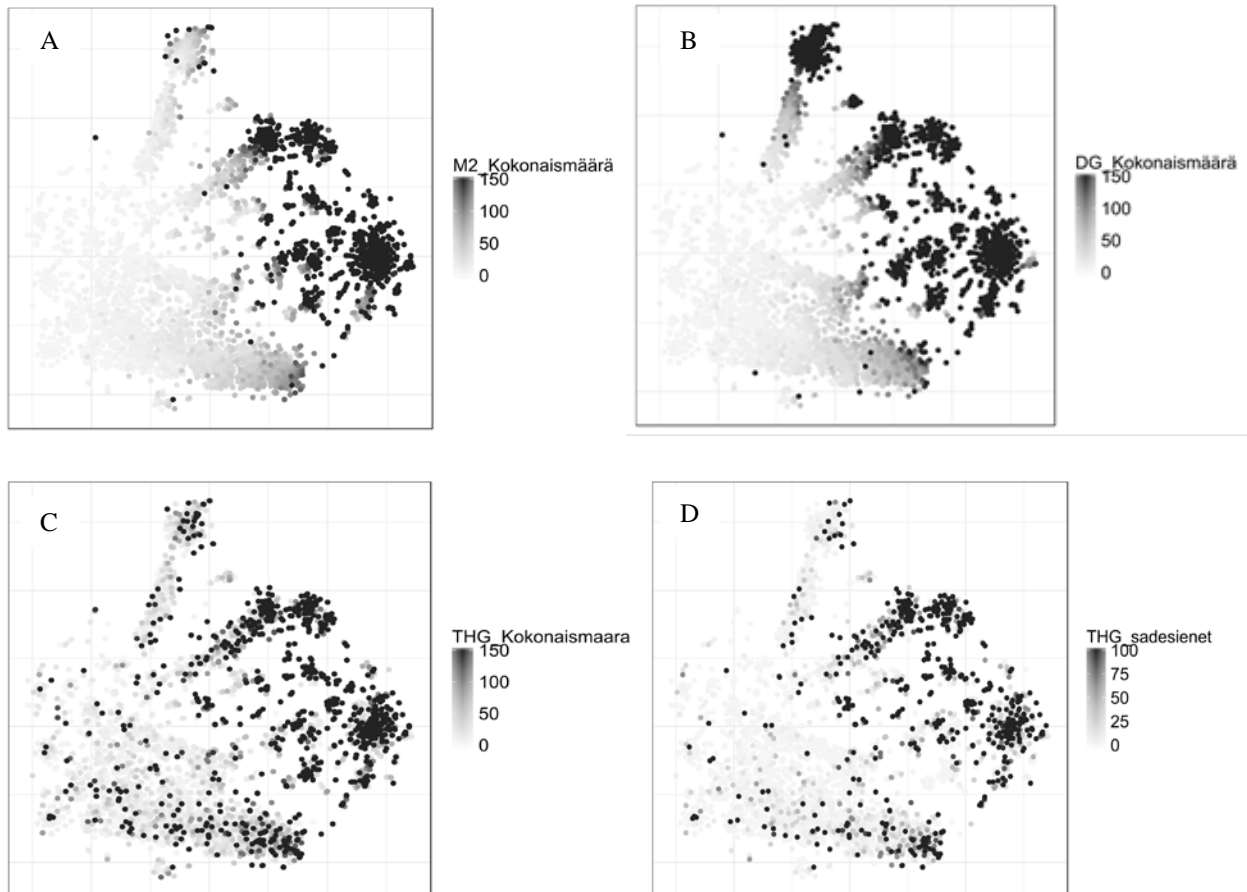
Mikrobi	alusta	villa	puu	puru	kipsi-levy	styrox	muovi	paperi	keraamiset
Penicillium sp. ^{1,2}	M2	66	70	77	75	66	56	70	53
Cladosporium sp. ^{1,2}	M2	22	12	6	12	7	12	13	9
Aspergillus sp. ^{1,2}	M2	10	9	7	14	11	9	16	15
steriilit ^{1,2}	M2	21	16	17	19	18	23	20	14
hiivat ^{1,2}	M2	9	11	5	8	2	2	7	6
Absidia sp.	M2	1	1	2	<1	5	<1	1	1
Acremonium sp. ^{*,1,2}	M2	4	7	5	4	11	11	5	11
A. fumigatus ^{*,1,2}	M2	5	3	3	4	<1	<1	5	<1
A. ochraceus ^{*,1,2}	M2	2	1	1	1	9	6	2	3
A. ryhmä Nigri ^{1,2}	M2	2	2	4	4	<1	5	3	2
A. ryhmä Restrictii ^{*,1,2}	DG18	21	17	25	11	14	23	13	5
A. sydowii ^{*,1,2}	M2	2	2	1	4	<1	<1	1	5
A. ustus ^{*,1,2}	M2	1	<1	2	1	<1	<1	3	2
A. versicolor ^{*,1,2}	M2	22	17	8	13	45	42	17	25
Aureobasidium sp. ^{1,2}	M2	2	3	4	<1	<1	2	2	1
Chaetomium sp.*	M2	7	7	7	12	9	12	8	7
Engyodontium sp. ^{*,1,2}	M2	2	1	<1	2	2	<1	<1	4
Eurotium sp. ^{*,1,2}	DG18	14	12	19	7	5	14	13	6
Exophiala sp. ^{*,1,2}	M2	2	2	3	2	<1	<1	<1	1
Geomyces sp. ^{*,1,2}	M2	3	2	2	1	<1	<1	<1	1
Mucor sp. ^{1,2}	M2	2	2	6	3	5	1	4	2
Oidiodendron sp. ^{*,1,2}	M2	1	1	<1	3	5	1	<1	<1
Paecilomyces sp. ^{*,1,2}	M2	4	6	16	8	5	7	11	1
Scopulariopsis sp. ^{*,1,2}	M2	<1	2	1	<1	<1	5	<1	6
Stachybotrys sp. ^{*,1,2}	M2	1	1	<1	6	2	2	1	2
Trichoderma sp.*	M2	1	2	2	1	2	<1	1	2
Tritirachium sp. ^{*,1,2}	M2	1	3	<1	2	2	5	1	8
Ulocladium sp. ^{*,1,2}	M2	4	3	2	8	<1	<1	6	2
Wallemia sp. ^{*,1,2}	DG18	5	3	1	8	2	7	3	1
sädesienet ^{1,2}	THG	42	52	33	40	57	52	46	59

*Indikaattorimikrobi;

¹ tilastollisesti merkitsevä ero frekvensseissä eri materiaalien välillä;

² tilastollisesti merkitsevä ero pesäkemäärissä eri materiaalien välillä.

Mikrobilajistoon ja pitoisuuksiin perustuen laskettiin Bray-Curtis dissimilariteetti-indeksi [4]. Laskennassa näytteitä verrattiin pareittain ottaen huomioon yhteiset lajit ja niiden pesäkemäärät. Kuvassa 1 on esitetty analyysin 2D-projektio. Projektio tuotettiin käyttäen t-distributed stochastic neighbourhood embedding -menetelmää, joka pyrkii säilyttämään alkuperäisten etäisyyksien jakauman mahdollisimman hyvin projisiossa. Tämä tarkoittaa, että läheiset pisteet ovat yleensä samankaltaisia Bray-Curtis indeksin mukaan.



Kuva 1A-D. 2D-projektio Bray-Curtis dissimilariteetti-indeksistä. Pisteet on väritetty M2- (A) tai DG18-alustalla (B) todetun homepesäkkeiden kokonaismäärän tai THG -alustalla todetun bakteeri- (C) tai sädesienepesäkkeiden (D) kokonaismäärän mukaan.

Bray-Curtis-indeksin perusteella näytejoukosta erottui selvästi muutama ryhmä, joissa mikrobien kokonaismäärät olivat suuret ja joissa esiintyi tiettyjä samoja indikaattorihomeita. Näitä ryhmiä tarkasteltiin tarkemmin sekä rakenteen, että materiaalin suhteen. Osoittautui, että näissä ryhmissä näytteet jakautuivat eri rakenne- ja materiaaliluokkiin samassa suhteessa kuin muussakin näytejoukossa. Näin ollen sen enempää materiaali kuin rakennekaan ei todennäköisesti ole yksinään näytteen kokonaismikrobikoostumusta määräävä tekijä, vaikka tilastollisesti merkitseviä eroja eri materiaali- ja rakenneluokkien välillä havaittiinkin yksittäisiä lajeja tai ryhmiä tarkasteltaessa. Tosin jako neljään rakenneluokkaan on erittäin karkea ja kosteustekniset olosuhteet voivat vaihdella luokkien sisällä paljonkin. Jatkoselvityksessä onkin pohdittava paitsi tarkempaa luokkajakoa, myös muiden tekijöiden huomioon ottamista.

4. Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan todeta eroja eri rakenteiden ja materiaalien välillä sekä mikrobien kokonaismäärissä, että yksittäisten mikrobien esiintymisessä. Kuitenkin, jos lajistoa tarkastellaan kokonaisuutena ottaen koko lajikirjo huomioon, rakenne tai materiaali eivät todennäköisesti yksinään ole määräävässä asemassa lajiston kehittymisessä. Tarvitaan jatkotutkimuksia yhteistyössä rakennusteknisten asiantuntijoiden kanssa paremman ymmärryksen saavuttamiseksi siitä, mitkä tekijät vaikuttavat mikrobilajistoon rakennuksen eri osissa.

Lähdeluettelo

- [1] Hyvärinen, A., Meklin, T., Vepsäläinen, A. ja Nevalainen, A. 2002. Fungi and actinobacteria in moisture-damaged building materials – concentrations and diversity. *International Biodeterioration & Biodegradation* 49:27-37.
- [2] Meklin T, ym., 1999. In: *Bioaerosols, Fungi and Mycotoxins: Health effects, Prevention and control*. Ed. Eckardt Johanning. Printed by. Boyd Printing Company, Inc., Albany, New York.
- [3] R Core Team (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- [4] Bray, J.R. and Curtis, J.T. 1957. An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27:325-349.
- [5] Oksanen, J., Blanchet, F.G., Friendly, M., et al. 2017. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-3. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- [6] van der Maaten, L.J.P. and Hinton, G.E. 2008. Visualizing High-Dimensional Data Using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research* 9(Nov):2579-2605.
- [7] Annala, P.J., Hellemaa, M., Pakkala, T.A., Lahdensivu, J., Suonketo, J., Pentti, M. 2017. Extent of moisture and mould damage in structures of public buildings. *Case Studies In Construction Materials* 6: 103-108.
- [8] Reiman, M., Rautiala, S. ja Kujanpää, L. 2014. Fungi related to moisture damages in buildings. *Indoor Air* 2014, July 7.-12., Hong Kong, China. Paper no. 686.

Sisäilmaongelmaisen koulun korjausvaihtoehtojen ja purkamisen vertailu – case-tutkimus

Ulrika Uotila, Olli Teriö, Paavo Kero, Tero Marttila ja Malin Moisisio
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Mikrobivaurioituneen julkisen rakennuksen korjaus- ja purkuvaihtoehtojen vertailu on usein haastavaa. Tässä case-tutkimuksessa mikrobivaurioituneen koulun korjaus- ja purkuvaihtoehtoja on vertailtu toiminnalliset, tekniset ja taloudelliset seikat huomioon ottaen. Korjausvaihtoehdot on jaoteltu kolmeen eri luokkaan korjausasteen perusteella ja lisäksi vertailussa on mukana koulun purkaminen ja uudisrakennus. Julkisen rakennuksen kokonaisvaltaisen arvioinnin lähtökohdiana on kattava kuntotutkimus. Sen perusteella voidaan arvioida korjausastetta ja teknistä käyttöikä, jotka ovat keskeisiä muuttujia taloudellisessa tarkastelussa. Toiminnallisuutta on haastavampi arvioida ja vertailla numeerisesti. Päätöksen tekoon vaikuttaa merkittävästi myös riski ja huoli sisäilmaoireilun jatkumisesta.

1. Johdanto

Kouluissa on viime aikoina ilmennyt paljon sisäilmaongelmia ja rakennusten korjausvaihtoehtojen ja purkamisen vertailu ja arviointi on työlästä ja monitahoista. Tässä case-tutkimuksessa esitetään menetelmä mikrobivaurioituneen julkisen rakennuksen korjausvaihtoehtojen ja purkuvaihtoehdon kokonaisvaltaiseen arviointiin. Tutkimuksen case-kohteena on Pirkanmaalla sijaitseva nelikerroksinen lukiorakennus. Kokonaisvaltaisessa tarkastelussa sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi huomioidaan terveellisyyden lisäksi myös toiminnalliset, tekniset ja taloudelliset seikat.

2. Korjaamisen ja purkamisen vaihtoehdot

Korjausvaihtoehdot voidaan luokitella kevyeen, keskiraskaaseen ja raskaaseen korjaukseen. Myös täydellinen tai osittainen purkaminen ja uusien tilojen rakentaminen ovat vaihtoehtoja. Taulukossa 1 on esitetty eri korjausvaihtoehtojen soveltuvuutta eri tarkoituksiin sekä niiden laajuutta ja sisältöä.

Taulukko 1. Korjausvaihtoehtojen luokittelua.

Korjausluokka	Kevyt korjaus	Keskiraskas korjaus	Raskas korjaus
Käyttöikä ennen seuraavaa peruskorjausta	Alle 10 vuotta	Yli 20 vuotta	Noin 50 vuotta
Tilamuutokset	Vähäisiä tilamuutoksia	Melko paljon tilamuutoksia	Paljon tilamuutoksia tai teknisiä muutoksia
Korjauskustannukset	10-30 % uudisrakennuksen hinnasta	30-80% uudisrakennuksen hinnasta	Uudisrakennuksen tasoa
Soveltuva kohde	Lyhytaikainen tarve rakennuksen käytölle	Käyttötarkoituksen oletetaan säilyvän pitkään ennallaan	Rakennuksella merkittävää yhteiskunnallista arvoa.

Kevyt korjaus käsittää toiminnan jatkamisen kannalta vain välttämättömät toimenpiteet, ja näin ollen se mahdollistaa käytön jatkumisen enintään noin kymmeneksi vuodeksi eteenpäin. Kevyen

korjauksen valinta on perusteltu tilanteessa, jossa rakennusta on tarve käyttää vain suhteellisen lyhyt aika tulevaisuudessa. Keskiraskaan korjauksen käyttöä arvioidaan kymmeniä vuosia ja sitä voisi edelleen uusilla korjauksilla jatkaa. Korjaus käsittää merkittäviä tilamuutoksia, vaurioituneiden rakennusosien uusimista, toiminnallisia parannuksia kuten esteettömiä kulkureittejä. Raskaassa korjauksessa rakennus korjataan lähes uutta vastaavaan kuntoon. Se tarkoittaa käytännössä kantavan rungon ja portaiden säilyttämistä. Täydentävät rakenteet, pintamateriaalit ja talotekniikka uusitaan kokonaan. Kustannuksiltaan raskas korjaus on samaa suuruusluokkaa uudisrakennuksen kanssa.

Osittainen purkaminen sopii kohteisiin, joissa tilojen tarve on selvästi muuttunut alkuperäisestä ja osaa tiloista ei käytetä tai niiden toiminnallisuus ei vastaa nykykäyttöä. Osittainen purkaminen voi olla perusteltua myös silloin, kun rakennuksen yksittäisen osan rakenteet ovat pahasti vaurioituneita. Täydellinen purkaminen tulee kyseeseen, jos rakennuksessa on merkittäviä toiminnallisia puutteita, se on teknisesti erittäin huonokuntoinen eikä sillä ole erityistä rakennushistoriallista tai yhteiskunnallista arvoa.

3. Toiminnallinen, tekninen ja taloudellinen tarkastelu

Julkisen rakennuksen sisäilmaselvitysprosessi alkaa terveyshaittaepäilystä ja päättyy korjaus- tai purkupäätökseen. Julkisen terveyshaittaepäilyn rakennuksen sisäilmaselvitysprosessi on esitetty kuvassa 1. Korjaus- ja purkuvaihtoehtojen kannattavuutta tarkastellaan toiminnallisesta, teknisestä ja taloudellisesta näkökulmasta. Lisäksi on huomioitava terveellisyys ja eri vaihtoehtoihin liittyvät riskit ja niiden todennäköisyys.



Kuva 1. Sisäilmaselvitysprosessi rakennuksessa, jossa epäillään terveyshaittaa.

Toiminnallisuutta voidaan arvioida muun muassa nykyisen tilaohjelman ja tulevan käyttötarkoituksen mukaan. Tilaohjelman lisäksi on arvioitava, kuinka tilat ja niiden sijoittelu palvelevat tulevaisuudessa käyttötarkoituksessaan. Toiminnallisuutta arvioidessa on lisäksi otettava huomioon rakennuksen esteettömyys ja sen parantamismahdollisuudet.

Teknistä tarkastelua edeltää kohteessa suoritettavat ja suoritettavat kuntotutkimukset ja sisäilmaselvitykset. Niiden avulla saadaan selville lähtötiedot korjausvaihtoehtojen tekniselle suunnittelulle. Ennen yksityiskohtaisen suunnittelun aloittamista on tunnettava rakenteiden kunto, niiden vauriot sekä sisäilmaongelmien laajuus ja niiden syyt. Kuntotutkimuksen perusteella voidaan arvioida eri rakenteiden tulevia käyttöikä ja korjausaikataulua. Lisäksi on hyvä tarkastella myös rakennuksen energiankulutusta.

Taloudellisessa tarkastelussa vertaillaan korjaus- ja uudisrakentamismahdollisuuksien purku- ja rakentamiskustannuksia sekä rakennuksen ylläpitokustannuksia. Tilojen hoito-, kunnossapito- ja

energiakustannukset saattavat vaihdella huomattavasti eri vaihtoehtojen välillä. Niistä syntyvät erot saattavat kumota rakentamisvaiheessa olevat näennäiset edulliset kustannukset. Vaikka uudisrakennus voi olla rakentamiskustannuksiltaan korjausta kalliimpi vaihtoehto, niin ylläpitokustannuksiltaan uudisrakennus voi kuitenkin olla esimerkiksi 10 prosenttia edullisempi. Korjausrakentamiseen liittyy usein teknisiä ja taloudellisia riskejä. On lukuisia esimerkkejä siitä, että sisäilmaongelmat jatkuvat, vaikka korjaukseen on käytetty suuria taloudellisia panostuksia. Vanhan rakennuksen korjaaminen voi joskus synnyttää myös uusia ongelmia, joita rakennuksessa ei ole ennen korjausta ollut.

4. Case-tutkimus

Case-kohde on valmistunut kahdessa vaiheessa vuosina 1958 ja 1967. Kuntaan rakennetaan uusi lukiorakennus, ja case-kohteen käyttöä yläkouluna selvitetään. Nykyinen rakennus voisi korjattuna toimia yläkouluna tai rakennus voitaisiin purkaa ja tilalle voitaisiin rakentaa kokonaan uusi yläkoulu. Mahdollista olisi myös nykyisen rakennuksen osittainen purku ja uuden osan rakentaminen.

4.1 Rakennuksen kunto

Rakennuksesta on tehty kuntoarvioita ja sisäilmaselvitys. Ainakin kolmessa luokassa on todettu sisäilmahaittoja, joten syyt sisäilmahaittoihin olisi löydettävä ja korjattava. Sisäilmahaittojen syyinä ovat todennäköisesti kevyiden ulkoseinien kosteusvauriot, mutta muutkin mahdollisuudet olisi tutkittava tai poissuljettava ennen korjauspäätöksen tekoa. Sisäilmaselvityksen mukaan merkittävimmät syyt sisäilmahaittoille ovat ulkoseinärakenteiden vauriot ja puutteelliset tiivistykset sekä alapohjarakenteen tiiviyden puutteet.

Kantavat ulkoseinät ovat betoni- ja tiilirakenteisia ja kevyet ulkoseinät ikkunoiden kohdalla kuitusementtiverhoiltuja puurakenteita. Ulkoseinien tiilimuurausten välisiä saumauksia on laajasti kulunut pois ja kevyiden ulkoseinien levyissä esiintyy halkeamia. Levyrakenteiset ulkoseinät tulisi uusia kuntoarvioiden perusteella kokonaan. Niissä olevat ikkunat on kuitenkin vaihdettu puu-alumiini-ikkunoiksi 2008-2009. Rakennuksen ulkoseinillä on betonipilareita, jotka aiheuttavat kylmäsiltoja ja heikentävät energiatehokkuutta. Muutenkin seinien energiatehokkuus on heikko eikä seinien kuntoa ole perusteellisesti tutkittu.

Vesikatteessa sekä sauma-alueiden liitoksissa on monin paikoin pitkälle edennyttä korroosiota sekä vesikatteessa painumia, joihin on kehittynyt myös ruostetta. Mikäli rakennuksen käyttöikä halutaan jatkaa merkittävästi, olisi yläpohjan lämmöneristyksiä sekä tuuletusratkaisuja lisättävä ja uusittava vesikaton pinta kokonaisuudessaan.

Kellaritiloissa on ollut kosteusongelmia ja kellarin seinät olisi korjattava ulkopuolelta. Epätiiviyden vuoksi rakenteissa olevat epäpuhtaudet kulkeutuvat huonetiloihin sisäilman ollessa alipaineinen ulkoilmaan nähden. Märkätiloissa olisi syytä tehdä perusparannus. Suurin osa vesijohdoista ja viemäreistä sekä lämpöjohdoista ovat alkuperäisiä. Alkuperäiset LV-järjestelmät ovat uusimisen tarpeessa. Koulussa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja se on osittain uusittu vuonna 1990. Kohteen alkuperäisiä betonikanavia on edelleen käytössä. Niiden lisäksi vähintäänkin taloautomaatio olisi uusittava. Rakennuksen sähkölaitteisto on osittain peruskorjattu 1990-luvun alussa.

Koulun piha-alueilla esiintyy asfalttisilla paikoitusalueilla halkeilua sekä routavaurioita, lisäksi sadevedet lammikoituvat routavaurioiden vuoksi. Maanpinnan kallistukset rakennuksen vierustoilla ovat vähäisiä ja salaojien toiminnasta ei ole tietoa.

4.2 Toiminnallinen tarkastelu

Nykyisen rakennuksen korjaamista puoltaa kohteen suojelumerkintä sekä sen sivistyshistoriallinen arvo. Myös selkeä luokkajako ja tilojen muunneltavuus mahdollistaisivat kohteen käytön perusparannettuna. Nykyinen rakennus on pohjaratkaisultaan melko selkeä tasoeroja lukuun ottamatta. Rakennuksen keskiosassa on käytävä, jonka kautta suureen osaan tiloista kuljetaan. Yksinkertaisen pohjaratkaisun ja pilari-palkkirakenteen vuoksi tilat ovat myös helposti muunneltavissa. Esimerkiksi luokkatiloja voi helposti yhdistää isommiksi tiloiksi tai pieniä varastotiloja yhdistellä kevyitä väliseiniä purkamalla. Nykyiset luokkatilat ovat hyvin valoisia suurien ikkunoiden ja niiden suuntauksen vuoksi.

Arkkitehtonisesti rakennus on melko neutraali ja sopii hyvin ympäristöönsä. Nykyisessä rakennuksessa auditorioon ja ruokalaan on käynti suoraa ulkoa, mikä helpottaa tilojen hyödyntämistä myös esimerkiksi iltakäytössä.

Rakennuksen purkua toiminnallisesti puoltavat lukuisat liikkumista haittaavat tasoerot, huono orientoitavuus sekä tilojen käyttötarkoitukseen liittyvät puutteet. Nykyisessä rakennuksessa on noin 15 eri korkeustasoa, mikä aiheuttaa suuren esteettömyysongelman. Rakennusta on vaikea saada täysin esteettömäksi, vaikka kohteeseen rakennettaisiin hissi. Rakennuksen runsaat tasoerot heikentävät lisäksi orientoitavuutta.

Tiloihin siirtyminen tuntuu epäjohdonmukaiselta, eikä rakennuksessa ole selkeää kokoavaa tilaa. Esimerkiksi pääaula on matala eikä sieltä ole selkeää reittiä luokkatiloihin. Joihinkin luokkatiloihin kuljetaan auditorion ja parven kautta, mikä hankaloittaa auditorion muuta käyttöä. Rakennuksen käytävät ovat paikoin hyvin matalia, osa jopa alle 190 cm. Oviaukkojen ja käytävien mataluus saattaa vaikeuttaa poistumisteiden järjestämistä. Poistumistiemääräyksen mukaan käytävän korkeuden olisi oltava vähintään 210 cm. Käytävät ovat osittain myös hyvin hämäriä.

Merkittävimpiä eroja uudessa tilaohjelmassa ja vanhassa rakennuksessa ovat kotitalous- ja teknisen työn luokat, jotka nykyisistä tiloista puuttuvat. Niiden lisäksi tarvittaisiin vielä noin viisi luokkatilaa perusopetukseen. Uusi yläkoulun tilaohjelma vaatii noin 300–500 hyötyneliötä enemmän tilaa kuin mitä nykyisessä rakennuksessa on. Tämän vuoksi nykyiseen rakennukseen pitäisi rakentaa laajennusosa tai muuten ratkaista lisätilojen sijoittelu. Nykyisessä rakennuksessa on varastotiloja, joita yhdistelemällä voitaisiin saada hieman lisää tilaa opetukseen. Mikäli tilamuutokset tehtäisiin, uuden tilaohjelman mukaiset tilat voitaisiin sijoittaa korjattavaan rakennukseen, mutta toiminnallisuudeltaan ne eivät vastaisi uusia tiloja ja todennäköisesti ainakin osa luokkatiloista jäisi melko ahtaiksi.

4.3 Tekninen tarkastelu ja korjausvaihtoehdot

Korjausvaihtoehtoina vertaillaan kevyttä, keskiraskasta ja raskasta korjausta sekä vanhan rakennuksen purkamista ja uuden koulun rakentamista vanhan paikalle. Myös osittaista purkua ja siihen liittyvää uudisrakentamista voidaan harkita, mikäli rakennuksen tietyillä osilla nähdään korkeaa arkkitehtonista arvoa.

4.3.1 Kevyt korjaus

Kevyt korjaus käsittää toiminnan jatkamisen kannalta vain välttämättömät toimenpiteet, ja se mahdollistaa käytön jatkumisen enintään noin kymmeneksi vuodeksi eteenpäin. Kevyt korjaus sisältää esimerkiksi muutamien tilojen homeettomaksi siivouksen, rakennuksen tiivistyskorjauksen ja ilmanvaihdon tasapainotuksen sekä vähäisiä tilamuutoksia. Tulevat käyttäjät ovat lukiolaisen sijasta yläkoululaisia, joten rakennukseen on tehtävä teknisen työn tilat sekä kotitalousluokka. Kevyen korjauksen heikkoutena ovat mikrobiriskit sekä mahdollisesti jatkuvat sisäilmahaitat.

4.3.2 Keskiraskas korjaus

Keskiraskaan korjauksen käyttöikäksi arvioidaan yli 20 vuotta ja sitä voisi edelleen uusilla korjauksilla jatkaa. Keskiraskaassa korjauksessa täydentävän kuntotutkimusten teko hankkeen alkuvaiheessa on perusteltua, jotta kaikkien rakenteiden todellinen kunto saadaan selvitettyä. Keskiraskas korjaus käsittää pahasti vaurioituneiden kevyiden ulkoseinien uusimisen ja vesikaton uusimisen. Ilmanvaihto, lämmönjako sekä viemärit uusittaisiin myös kokonaan, lisäksi tilat olisi siivottava homeettomiksi. Kohteessa olisi syytä tehdä myös tiivistyskorjauksia ja alapohjalaatan korjauksia. Pihojen kallistuksia olisi tarkistettava ja korjattava samoin kuin mahdollisesti salaojia. Rakennukseen olisi lisättävä myös esteettömyyttä helpottava hissi, jonka toteutus olisi melko haastava monia eri kerrostasoja sisältävässä kohteessa. Rakennukseen olisi lisättävä myös määräysten mukaiset poistumistiet. Kohteen uusi ja nykyinen tilaohjelma eroavat melko paljon, joten väliseiniä olisi purettava ja uusittava tilamuutosten vuoksi. Lisäksi kohteeseen pitäisi rakennetaan teknisen työn tilat sekä kotitalousluokat sekä sisäpiha pitäisi muuttaa lämpimäksi tilaksi tilantarpeen vuoksi.

4.2.3 Raskas korjaus

Raskas korjaus on vaihtoehto, jolla rakennus korjataan lähes uutta vastaavaan kuntoon. Raskaassa korjauksessa vain kantava runko ja portaat säilytetään, ja muuten rakennuksen tilat ja järjestelmät uusitaan kokonaan.

4.4 Taloudellinen tarkastelu

Taloudellisessa tarkastelussa vertaillaan keskiraskasta korjausta ja uudisrakennusta vanhan rakennuksen paikalle. Alustavan selvityksen jälkeen oli todettavissa, että kevyt korjaus ei tule olemaan taloudellisesti ja toiminnallisesti perusteltua, koska tilamuutokset kuitenkin nostavat kustannuksen melko korkealle ja yläkoululla odotetaan olevan tarvetta pitkälle tulevaisuuteen. Pitkä käyttöikä voidaan saavuttaa vähintään keskiraskaalla korjauksella. Raskas korjaus on kustannuksiltaan hyvin lähellä uudisrakennuksen tasoa, joten uudisrakennusvaihtoehto antaa myös raskaaseen korjausvaihtoehtoon tarvittavat tarkastelutiedot.

Uudisrakennuksen ja korjatun rakennuksen investointikustannukset sekä hoito-, kunnossapito- ja energiakustannuksia on laskettu TAKU-ohjelman avulla. Koulun keskiraskaan korjauksen investointikustannukset ovat noin 9,5 miljoonaa euroa ja uudisrakennuksen 11,5 milj. euroa sisältäen myös vanhan rakennuksen purkukustannukset. Uudisrakennus olisi tiloiltaan hieman suurempi kuin nykyinen koulurakennus keskiraskaan korjauksen jälkeen. Uudisrakennus olisi korjattavaa rakennusta energiatehokkaampi, minkä vuoksi vuosittaiset lämmityskustannukset olisivat uudiskohteessa selkeästi vanhaa rakennusta pienemmät. Veden ja sähkön vuosittaiset kustannukset yhteensä olisivat korjatussa kohteessa samaa suuruusluokkaa uudisrakennuksen kanssa.

Taulukko 2. Vaihtoehtojen vuosittaiset kustannukset.

Vuosikustannukset [€]	Korjaus	Uudisrakennus
Siivous	99568	92991
Isännöinti	16043	16482
Hoito ja huolto	49894	43375
Vuosikorjaus	41587	39155
Muut	8800	8900
Vesi	11975	6585
Sähkö	34739	33191
Lämmitys	36977	21407
Sisäinen pääomavuokra	489840	519000
Yhteensä	857923	849586

Ylläpitokustannukset ovat korjattavalle kohteelle noin 30600 euroa ja uudiskohteelle noin 27500 euroa kuukaudessa. Sisäinen vuokra 20 vuoden aikajänteelle laskettuna on korjattavalle kohteelle noin 40 800 euroa kuukaudessa ja uudisrakennukselle 43 200 euroa. Laskennassa on käytetty 3 %:n korkoa. Kuukausittaiset kustannukset olisivat siten uudisrakennuksessa laskennallisesti noin 700 € eli yhden prosentin verran suuremmat korjausvaihtoehdossa.

Taloudellisessa tarkastelussa korjausinvestoinnin keskeisiä muuttujia ovat korjausaste ja käyttöikä. Kevyessä korjausvaihtoehdossa investointi pitäisi kuolettaa lyhyessä ajassa lyhyen käyttöiän vuoksi. Keskiraskaan korjauksen korjausasteeksi muodostui noin 80% eli korjauskustannus on 80% vastaavan kokoisen uuden rakennuksen kustannuksista. Kuitenkin keksiraskas korjaus on elinkaarikustannuksia vertaamalla hieman kalliimpi vaihtoehto kuin rakennuksen purkaminen ja uuden koulun rakentaminen.

5. Yhteenveto

Mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausvaihtoehtojen määrittäminen, arviointi ja vertailu on monitahoinen kysymys. Toiminnallisuus kohteessa on tärkeää, mutta sitä on hyvin haastavaa arvioida numeerisesti ja vertailu on monesti subjektiivista. Arvioinnissa pitäisi tietää, millaisessa oppimisympäristössä tulevana vuosikymmeninä olisi hyvä opettaa ja oppia.

Vaihtoehtojen teknisessä vertailussa haasteina ovat erityisesti korjausasteeseen ja tekniseen käyttöikään liittyvät kysymykset. Niiden arviointia helpottaa kuitenkin perusteelliset kuntotutkimukset. Tässä selvityksessä korjausastetta kuvattiin kolmeportaisella asteikolla kevyt, keskiraskas ja raskas korjaus. Vastaavasti niillä saadaan eripituisia käyttöikäjä rakennukselle. Case-kohteessa keskiraskaan korjauksen korjausasteeksi muodostui noin 80%, jolloin teknisen käyttöiän voidaan ajatella olevan uudisrakennuksen tasoa.

Case-kohteessa lopullisessa päätöksenteossa toiminnallisuus jää keskeiseksi korjaus- tai purkupäätöksen perusteluiksi, koska tekniset ja taloudelliset erot vaihtoehtojen välillä näyttävät jäävän melko pieniksi. Voidaan olettaa, että toiminnallisuus olisi uudisrakennuksessa korjausvaihtoehtoja parempi, mutta vanhan koulurakennuksen kulttuuriarvo puoltaa säilyttämistä ja korjaamista. Rakennuksen terveellisyys on äärimmäisen tärkeää, minkä vuoksi päätöksenteossa on otettava huomioon sisäilmaoireilun jatkumisen riski joko mikrobien poistamisen epäonnistumisesta tai psykologisista seikoista johtuen. Luotettavan kokonaisvaltaisen arvioinnin lähtötiedoksi tarvittaisiin vielä kattavampia kuntotutkimuksia kohteesta.

A5. Rakennusaikainen kosteuden- ja olosuhteiden hallinta

Kuivaketju10-toimintamallin periaatteet, jatkokehitys ja kokemukset

Sami Saari¹, Pekka Seppälä², Eveliina Tackett² ja Markku Hienonen²

¹ Rakentamisen Laatu RALA ry

² Rakennusvalvonta Oulu

Tiivistelmä

Kuivaketju10 on rakennusalan yhdessä kehittämä koko rakennushankkeen kattava kosteudenhallinnan toimintamalli. Mallissa on kuvattu laadukkaat kosteudenhallinnan menettelytavat ja niiden edellyttämät tehtävät hankkeen tilaajalle, suunnittelijoille, urakoitsijoille ja käyttöönoton ammattilaisille sekä rakennuksen ylläpitäjille. Tarkkaan määriteltyjen tehtävien avulla pyritään torjumaan hankkeen kosteusriskit rakennusprosessin kaikissa vaiheissa.

Rakentamisen Laatu RALA ry on ottanut vetovastuun Kuivaketju10:n jatkokehityksestä ja ylläpidosta. Ensimmäisessä vaiheessa RALA on sähköistänyt toimintamallin verkkopohjaiseksi maksuttomaksi palveluksi. Muita painopistealueita ovat esimerkiksi asiaan liittyvän koulutuksen kehittäminen yhdessä rakennusalan kouluttajien kanssa.

Kokemukset mallin käytöstä ovat olleet positiivisia. Se on lisännyt järjestelmällisyyttä hankkeisiin ja laajentanut kosteudenhallinnan kattamaan selkeästi kaikki rakennushankkeen vaiheet. Palautetta kentältä kerätään kuitenkin aktiivisesti, jotta mallia saadaan jatkokehitettyä oikeaan suuntaan.

1. Johdanto

Kosteuden aiheuttamat ongelmat niin vanhassa kuin uudessakin rakennuskannassa ovat merkittävä riski sekä kansanterveydelle että -taloudelle. Viime vuosina ongelmia tuntuu nousseen esiin entistä enemmän tai ainakin niiden laajuuteen on havahduttu. Usein ongelmat olisi voitu välttää hyvin yksinkertaisilla toimenpiteillä tilaamis-, suunnittelu-, rakentamis- tai käyttövaiheessa.

Kosteudenhallinta ja rakennusten rakentaminen laadukkaasti ei ole vaikeaa tai kallistakaan. Reitit kosteuden kulkeutumisen rakennuksiin ja sen ympäristöön tunnetaan, joten kyse on näiden riskikohtien hallinnasta ja huolellisesta suunnittelusta, toteutuksesta ja oikeanlaisesta käytöstä. Avuksi kuivana rakentamisen onnistumiseen ovat ympäristöministeriö, rakennusvalvonnat sekä rakennusalan toimijat yhdessä kehittäneet Kuivaketju10-toimintamallin, jonka avulla rakentamisen kuivaketju saataisiin pysymään katkeamattomana ja rakennusten kosteuskestävyys parantumaan.

Kuivaketju10:n perusajatuksena on keskittyä kriittisimpiin riskitekijöihin rakennushankkeen kaikissa vaiheissa sekä rakennusten käytössä ja ohjeistaa kuinka minimoida kosteusongelmien mahdollisuus. 80-20 –periaatteen mukaisesti voidaan suurin osa riskien realisoitumisesta estää keskittymällä 20 prosenttiin riskien aiheuttajista. Tässä artikkelissa kuvataan Kuivaketju10:n periaate, toimintamallin jatkokehitys, sähköinen palvelu sekä kokemukset toimintamallin käytöstä.

2. Kuivaketju10-toimintamallin periaatteet – katkeamaton ketju tilaamisesta käyttöön

Kuivaketju10:n käyttö lähtee liikkeelle tilaajasta. Tilaajan tulee hankkeen alussa sitoutua toimintamallin käyttöön ja esittää vaatimus siitä hankkeen muihin vaiheisiin. Sen lisäksi hänen tulee varmistaa, että hankkeessa on käytössä riittävät resurssit, rahoitus, aika ja osaaminen, toimintamallin onnistumisen takaamiseksi. Tilaajan varhainen sitoutuminen ja panostaminen on kriittisimpiä paikkoja Kuivaketju10:n onnistumisessa. Ilman sitoutunutta tilaajaa, joka luo resurssit Kuivaketju10:n toteutukselle, ei rakennushankkeen muilla osapuolilla ole mahdollisuutta toteuttaa Kuivaketju10:ä kokonaisvaltaisesti.

Resurssien varmistamisen lisäksi tilaajan tulee kiinnittää hankkeeseen suunnittelusta ja urakoinnista riippumaton kosteudenhallintakoordinaattori. Koordinaattorin vastuulla on huolehtia ja raportoida, että Kuivaketju10:n kriteeristö toteutuu rakennushankkeen kaikissa vaiheissa. Koordinaattori toimii tilaajan edustajana ja valvojana varmistaen, että rakennushankkeen eri osapuolet toimivat toimintamallin mukaisesti.

Koordinaattorin tehtävänä on varmistaa, että suunnittelijat ovat huomioineet Kuivaketju10-riskilistan omissa suunnitelmissaan ja lisäksi tarkastelleet onko kohteessa muita riskikohtia, jotka tulisi erityisesti huomioida suunnittelussa. Työmaavaiheessa koordinaattori seuraa ja ohjaa Kuivaketju10:n toteutumista ja urakoitsijan suorittamaa dokumentointia riskejä sisältävien työvaiheiden onnistuneesta toteutuksesta. Koordinaattorin rooli ei vähennä muiden tahojen vastuuta omasta työstään. Suunnittelijoiden tulee keskenään ja urakoitsijoiden kanssa tehdä tiivistä yhteistyötä, jotta voidaan varmistaa suunnitelmien toimivuus ja toteutettavuus työmaalla.

Suunnittelijan tehtävä Kuivaketju10:n toteuttamisessa on huomioida Kuivaketju10-riskilista ja yhdessä muiden toimijoiden kanssa käydä se läpi siten, että kyseisen hankkeen erityispiirteet suhteessa riskilistaan tulevat huomioiduksi. On tarpeen tarkastella hanketta kriittisesti ja löytää tekijät, jotka juuri kyseisessä hankkeessa voivat aiheuttaa riskejä. Kaikki Kuivaketju10-riskilistan riskit eivät ole mahdollisia jokaisessa hankkeessa ja toisaalta useissa hankkeissa on erilaisia riskejä, joita listalta ei löydy. Riskilistan päivytyksen jälkeen suunnittelijan tehtävä on luonnollisesti toteuttaa suunnittelu siten, että riskit minimoidaan.

Työmaavaiheessa Kuivaketju10:n toteuttaminen on tarkkuutta ja kosteudenhallintaa. Oleellista on myös yhteistyö suunnittelijoiden kanssa. Työmaan on hyvä kommunikoida suunnittelijoiden suuntaan mm. suunnitelmien toteuttamiskelpoisuudesta, vastaan tulevista mahdollisista ongelmista ja siitä kuinka ne ratkaistaan (työmaan ei tule itsenäisesti tehdä muutoksia suunnitelmiin ja toteutusratkaisuihin). Työmaavaiheessa tärkeintä on todentaa ja dokumentoida suunnitteluvaiheessa lopullisesti määritetyllä tavalla kosteusriskejä sisältävien työvaiheiden onnistunut toteutus. Kosteudenhallinta ja kuivana rakentaminen ovat tärkeä osa Kuivaketju10:n onnistumista.

Kuivaketju10:n käyttö jatkuu koko rakentamisvaiheen ulottuen myös käyttöönoton laadun varmistamiseen. Käyttöönottovaiheeseen tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota ja varata siihen aikaa. On kosteudenhallinnan kannalta oleellista, että rakennuksen toimivuus ja mm. teknisten laitteistojen säädöt saadaan kohdalleen ennen varsinaista käyttöä. Oleellista on ulottaa toimintamalli myös rakennuksen käyttöön saakka, sillä kaikkein huolellisimminkaan rakennettu talo ei kestä, jos käyttäjä laiminlyö ylläpidon ja huolellisen käytön. Käyttäjille on välttämätöntä

antaa koulutusta oikeanlaisesta käytöstä.

3. Kuivaketju10:n tulevaisuus – verkkopalvelu, koulutus ja jatkokehitys

Rakentamisen Laatu RALA ry on ottanut vetovastuun Kuivaketju10:n jatkokehityksestä ja ylläpidosta. Jatkokehityksen kärkenä on alkuvaiheessa mallin sähköistäminen verkkopohjaiseksi palveluksi. Verkkopalvelun avulla toimintamallin käyttö on sujuvampaa. Palvelun eri ominaisuuksilla saadaan lisäksi parannettua rakennushankkeiden avoimuutta, sekä tuotettua lisäarvoa hankkeille.

Jatkokehityksen suuntaa ohjaamaan on perustettu ohjausryhmä, jossa on jäsen RALasta, Oulun rakennusvalvonnasta ja ympäristöministeriöstä. Ohjausryhmä tärkeimpinä tehtävinä on hyväksyä Kuivaketju10-toimintamalliin tehtävät merkittävät sisällölliset muutokset ja ohjata kokonaan uusien toimintamallin osa-alueiden kehitystä. Kehittämisen osalta tullaan jatkamaan yhteistyötä myös koko rakennusalan kanssa, samaan tapaan kuin alkuperäisen Kuivaketju10:n kehityshankkeen aikana.

3.1 Toimintamallin sähköistäminen

Kuivaketju10-toimintamalli on pohjimmiltaan laadukas kosteudenhallinnan prosessi, jossa eri toimijoille on määritelty tarkoin heiltä vaadittavat tehtävät. Alun perin eri toimijoiden tehtävät kuvattiin Kuivaketju10:n ohjekorteissa. Toimintamallin sähköistyksessä nuo tehtävät vietiin osaksi verkkopohjaista palvelua.

Verkkopalvelu on maksutta rakennusalan käytössä. Sen pilottivaihe käynnistettiin kesäkuussa 2017. Käyttäjien palautetta kerätään edelleen aktiivisesti, jotta palvelusta saataisiin kehittyä aidosti käyttökelpoinen työkalu Kuivaketju10:n toteutukseen.

Tilaaja eli rakennushankkeeseen ryhtyvä avaa palveluun projektin omalle hankkeelleen ja kytkee projektiinsa kosteudenhallintakoordinaattorin, suunnittelijat, pääurakoitsijan ja muut toimijat, joilla on tehtäviä Kuivaketju10:ssä. Palvelussa toimijoilla on käytössään Kuivaketju10:n edellyttämät tehtävä- ja tarkistuslistat. Tehtävien toteutukset kuitataan palveluun, jonka avulla eri toimijoiden ja kosteudenhallintakoordinaattorin on helppo seurata Kuivaketju10:n prosessin oikeanlaista etenemistä.

Kuivaketju10:n mukaisesti toteutettavien hankkeiden avoimuutta tullaan lisäämään. RALAn verkkosivujen kautta tulee mahdolliseksi hakea käynnissä olevat tai valmistuneet Kuivaketju10-hankkeet. Hankkeita voisi hakea esimerkiksi paikkakunnan tai valmiusasteen perusteella.

Verkkopalvelun kautta toteutetulle rakennukselle voi hakea Kuivaketju10-statuksen. Status on tae siitä, että hankkeen tuottamien ja kosteudenhallintakoordinaattorin varmentamien tietojen perusteella hankkeessa on noudatettu Kuivaketju10:n prosessia oikein tilaamisen alkuvaiheesta aina käyttöönottoon saakka. Tulevaisuudessa statusta voisi uusia Kuivaketju10:n mukaisen käytön ja ylläpidon perusteella.

Tilaaminen	Suunnittelu	Työmaatoteutus	Käyttöönotto	Käyttö
<h2>Tilaaminen</h2> <p> i Tilaaminen i Kosteudenhallintakoordinaattori, yleisohje ja tilaaminen </p>				
Tehtävälista	TL	KHK	Valmis	
Kosteudenhallintakoordinaattorin kiinnittäminen hankkeeseen	✓	✓	✓	
Kuivaketju10:n kirjaaminen pakollisena vaatimuksena suunnittelutarjouspyyntöihin ja -sopimuksiin	✓	✓	✓	
Kuivaketju10:n kirjaaminen pakollisena vaatimuksena urakkatarjouspyyntöihin ja -sopimuksiin	✓	✓	✓	
Rakennushankkeen kokonaisaikataulun realistisuuden arviointi	✓	✓	✓	

Kuva 1. Kuivaketju10:n verkkopalvelun pilottiversio.

3.2 Koulutuksen kehittäminen

Uutena toimintamallina Kuivaketju10 on synnyttänyt laajaa koulutustarvetta. Aiheesta on pidetty useita puheenvuoroja rakennusalan erilaisissa tilaisuuksissa vuodesta 2015 lähtien, siten että kuulijoina on ollut yhteensä lähes 10 000 henkilöä. Lähtökohta on kuitenkin aina se, että Kuivaketju10:iin ei liity mitään pakollista koulutusta. Asiat voi yhtä lailla omaksua vapaasti verkossa olevan materiaalin avulla.

Kuivaketju10:n koulutukseen liittyvää yhteistyötä on tehty myös rakennusalan koulutustahojen kanssa. Erityistä tarvetta ala on nähnyt vapaaehtoiselle kosteudenhallintakoordinaattorin koulutukselle. Laadukasta koulutusta tarvitaan ja se luonnollisesti tukee koordinaattorin tehtävässä toimimista. Pelkkä koulutus ei kuitenkaan korvaa ammattitaitoa, oikeanlaista asennetta ja riittäviä resursseja.

Koulutuksellisiin haasteisiin pyritään vastaamaan yhdessä koko alan kanssa. Kuluneen syksyn ja tulevan talven aikana Rakennusteollisuus toteuttaa yhdessä RALAn ja Rakennustarkastusyhdistyksen kanssa 12 paikkakunnan maksuttoman koulutuskiertueen, jonka yhtenä pääaiheena on Kuivaketju10. Lisäksi Kuivaketju10:n verkkosivuille tullaan avaamaan kysy/vastaa -pankki yleisimpiä toimintamalliin liittyviä kysymyksiä varten.

3.3 Kuivaketju10:n jatkokehitys

Vaikka toimintamalli on otettu hyvin rakennusalalla vastaan, tulee sitä kuitenkin tulevaisuudessa edelleen jatkokehittää. Mallin jatkokehittämistäkin silmällä pitäen on perustettu pilottiryhmä, jossa on jäseniä rakennushankkeen kaikista vaiheista. Ryhmän kautta saadaan lisää konkreettista tietoa mallin toimivuudesta käytännössä, sekä saadaan kerättyä helposti palautetta. Yhteistyötä mallin kehittämiseksi jatketaan myös muiden rakennusalan yhdistysten ja rakennusvalvontojen kanssa.

Jatkokehityksen tavoitteena tulee olla entistä tehokkaammin kosteus- ja homeongelmaan pureutuva toimintamalli. Silti mallin tulee säilyä jatkossakin rakennusalan toimijoille käytännöllisenä työkaluna koko rakennushankkeen kosteudenhallinnan prosessin varmistamiseksi.

4. Kokemukset Kuivaketju10:n käytöstä

Maaliskuussa 2017 RTY-päivillä Turussa yhteisen julkilausuman myötä rakennusalan eri osapuolet, Rakennustarkastusyhdistys RTY, Rakennusteollisuus RT, RAKLI, Rakentamisen Laatu RALA, SKOL ja ympäristöministeriö, sitoutuivat ottamaan käyttöön yhteiset toimintatavat, jotka parantavat kosteudenhallintaa rakennushankkeissa ja kiinteistöjen käytön aikana merkittävästi.

Kymmenen suurinta rakennusvalvontaa ovat sitoutuneet edellyttämään lupamääräyksenä koko rakennushankkeen kattavaa kosteudenhallintaselvitystä. Myös suuri joukko keskisuurten ja pienten kuntien rakennusvalvonnoista edellyttää kosteudenhallintaselvitystä lupaehtona. Ennen rakennusluvan myöntämistä, tulee hankekohtaisesti esittää toimintamallit, joilla varmistetaan suunnittelussa, rakentamisessa ja rakennuksen käyttöönotossa ja käytössä kuivaketjun katkeamattomuus. Rakennushankkeeseen ryhtyvä voi tehdä yksilöllisen kosteudenhallintaselvityksen, jonka kattavuus arvioidaan ennen rakennusluvan myöntämistä. Tarvittaessa voidaan käyttää lain sallimia erityismenettelyitä kuten ulkopuolista tarkastusta. Jos rakennushankkeeseen ryhtyvä sitoutuu käyttämään Kuivaketju10-toimintamallia koko rakennushankkeessa, niin erillistä selvitystä ei edellytetä.

Valtakunnallisesti mielenkiinto Kuivaketju10:iin on ollut merkittävää. Palautetta, kehittämisideoita ja kysymyksiä on tullut lähes päivittäin. Eniten kysymyksiä on herättänyt kosteudenhallintakoordinaattorin vaatimustaso, vastuut ja riippumattomuus. RTYn ja pientaloteollisuuden yhteistyöryhmä on tekemässä pientaloille räätälöityä Kuivaketju10-toimintamallia, joka on hieman suppeampi kuin suurten kohteiden vastaavaa. Myös monet yritykset ovat kehittäneet palveluita, tuotteita ja materiaaleja tukemaan toimintamallia.

Toimintamalli on käyttäjien toimesta todettu asialliseksi ja sisällöltään tarpeelliseksi. Kokemusten mukaan on todettu, että Kuivaketju10:n käyttö ei ole lisännyt työmäärää tai kustannuksia vaan tuonut järjestelmällisyyttä asioihin, jotka on tehtävä ja hoidettava muutenkin. Onkin todettu, että mikäli Kuivaketju10:n käyttö lisäisi kustannuksia tai pidentäisi rakennusaikoja, on ilmeistä, että asioita ei aiemmin ole tehty oikein tai perusteellisesti sillä Kuivaketju10-toimintamalli koostuu toimenpiteistä, jotka ovat joko lakisääteisiä tai hyvän rakennustavan mukaisia.

Rakennusvalvontatyössä Kuivaketju10 on ollut Oulussa käytössä vuoden 2017 alusta alkaen. Tuolloin asetettiin Kuivaketju10:n tai muun vastaavan kokonaisvaltaisen kosteudenhallinnan toimintamallin käyttö vaatimukseksi suurissa rakennuskohteissa. Tavoitteena on laajentaa Kuivaketjun10-toimintamallin käyttö koskemaan myös pientaloja vuoden 2018 alussa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että luvittavaksi tulevien kohteiden toimijoille kerrotaan Kuivaketju10:n peruseriaatteet ja ohjeistetaan, että valmista toimintamallia käyttäen he voivat täyttää lupaehtonakin vaaditun koko rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen.

Kuivaketju10:n vastaanotto rakennusvalvonnan näkökulmasta on ollut positiivista mutta toisaalta koulutuksen ja tiedontarve on ilmeistä. Tähän tulisikin kehittää järjestelmällistä ja vakiomuotoista koulutusta.

5. Yhteenveto

Rakennusala on yhdessä kehittänyt Kuivaketju10-toimintamallin ratkaisuksi alaa vaivaaviin kosteus- ja homeongelmiin. Toimintamalli pyrkii torjumaan hankkeen kosteusriskit järjestelmällisillä menettelytavoilla, joissa on määritelty tarkoin hankkeen eri osapuolilta vaadittavat tehtävät. Rakentamisen Laatu RALA ry on sitoutunut ylläpitämään ja jatkokehittämään toimintamallia.

Toimintamalli on sähköistetty verkkopohjaiseksi palveluksi, jonka avulla toimintamallin toteutus selkeytyy merkittävästi. Tulevaisuudessa tulee varmistaa koulutuksen avulla riittävä tietotaito rakennusalalle toimintamallista ja siihen liittyvistä aihealueista.

Kokemukset toimintamallin käytöstä ovat olleet positiiviset. Se on selkeyttänyt eri osapuolten rooleja ja tehtäviä. Toimintamallin jatkokehityksen vuoksi tullaan rakennusalan toimijoilta keräämään palautetta, jotta malli voitaisiin kehittää entistä tehokkaampaan, mutta samalla käyttäjäystävälliseen suuntaan.

Puukerrostalon työmaavaiheen lämpö- ja kosteusolosuhteiden mittaukset

Anssi Laukkarinen¹, Sami Musakka², Olavi Penttilä², Olli Teriö¹ ja Juha Vinha¹

¹ Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

² Stora Enso

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitellään lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksia puukerrostalotyömaalta. Hankkeen yhtenä tavoitteena on ollut selvittää jatkuvan sääsuojauksen tarvetta tilanteessa, jossa kantavien puurakenteiden alkukosteuspitoisuus vastaa tehdaskuivaa tasoa ja työmaatoteutus pyritään viemään vesikattoon asti nopeasti. Tulosten perusteella puukerrostalon rakentaminen ilman jatkuvaa sääsuojausta on mahdollista tutkituissa talviolosuhteissa, mutta edellyttää useiden tekijöiden yhtäaikaista huomioon ottamista.

1. Johdanto

1.1 Yleistä

Suomen asuinrakentamisessa puu on ollut yleinen rakennusmateriaali erityisesti pientalorakentamisessa, mutta viime vuosien aikana aktiivista kehitystyötä on tehty myös kerrostalorakentamisessa. Puukerrostalorakentamisella haetaan esimerkiksi Suomen metsien uusia käyttömahdollisuuksista, korkean teollisen esivalmistusasteen hyötyjä ja uusien vaihtoehtojen tuomista markkinoille. Uusia rakentamisen ratkaisuja kehitettäessä on tärkeää ottaa huomioon kunkin rakennusmateriaalin ja –ratkaisun erityispiirteet, jotta vastaavasti niiden vahvuudet saataisiin täysimääräisesti hyödynnettyä.

Tässä artikkelissa esitellään Jätkäsaaren Wood City -puukerrostalotyömaalla tehtyjä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustuloksia talvikaudelta. Työmaan yhtenä tavoitteena oli selvittää puukerrostalon toteuttamista ilman jatkuvaa ja kattavaa sääsuojausta. Mittausjärjestelyjen yksityiskohtaisempi kuvaus ja laajempi katsaus tuloksiin esitetään Sami Musakan diplomityössä [1], minkä lisäksi hankkeen kosteudenhallintaprosesseja on tarkasteltu Olavi Penttilän diplomityössä [2].

1.2 Viilupuusta

LVL eli viilupuuta (laminated veneer lumber) on kolme millimetriä paksuja viiluja yhteen liimaamalla valmistettu puutuote, josta voidaan valmistaa esimerkiksi pilareja, palkkeja, välipohja- ja kattoelementtejä, ristikoita sekä massiivisia seinäelementtejä. Näistä viimeisimpiä on mahdollista valmistaa kerrannaisliimauksella 300 mm paksuuteen asti, mikä mahdollistaa niiden käytön esimerkiksi kerrostalon kantavana runkona.

Case-kohteessa käytetyt LVL-elementit olivat tyypillisesti 141 mm paksuja, huoneen korkuisia ja seinän pituisia levyjä. Rakennuksen runko muodostui pääosin näistä LVL-elementeistä, alapuoleltaan huoneilmaan avoimista avokotelo-välipohjaripalaatoista sekä muista täydentävistä rakenneosista, kuten jälkikäteen asennettavista lämmöneristetyistä julkisivuelementeistä.

LVL-elementtien kosteustekniseen käyttäytymiseen liittyy oleellisesti niiden kerroksellinen rakenne: Ohuet liimakerrokset hidastavat tehokkaasti kosteuden kulkeutumista sekä vesihöyrynä että vetenä elementtien pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Sen sijaan elementtien päädyistä vesi pystyy tehokkaasti imeytymään viiluihin, joista taas kosteuden kuivuminen diffuusiolla on kapillaarista kosteuden siirtymistä huomattavasti hitaampaa.

2. Mittausmenetelmät ja datan analysointi

2.1 Perustietoja mittauksista

Ensimmäiset mittaukset käynnistettiin tammikuun lopussa ja helmikuun alussa 2017 ja niitä jatkettiin kesäkuun alkuun 2017 asti. Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauksissa käytettiin pääosin Rotronic-dataloggereita ja -antureita, joiden lisäksi hyödynnettiin Ilmatieteen laitoksen Avoin data -palvelua [3]. Mittauksissa käytettävät anturit kalibroitiin TTY:n rakennustekniikan laboratoriossa ennen kenttämittauksia ja testattiin uudestaan mittausten päätyttyä.

2.2 Datan analysointi

Kaavassa 1 on esitetty sisäilman kosteuslisän ja lämpötilaeron liittyminen työmaalta mitattaviin lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoihin.

$$\varphi_i = \frac{v_i}{v_{sat}(T_i)} = \frac{v_e + \Delta v}{v_{sat}(T_e + \Delta T)} \quad (1)$$

- missä
- φ_i = sisäilman suhteellinen kosteus, % RH
 - v_i = sisäilman vesihöyrypitoisuus, kg/m³
 - v_{sat} = lämpötilasta riippuva ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus [4], kg/m³
 - v_e = ulkoilman vesihöyrypitoisuus, kg/m³
 - Δv = sisäilman kosteuslisä, kg/m³
 - T_i = sisäilman lämpötila, °C
 - T_e = ulkoilman lämpötila, °C
 - ΔT = lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä, °C

Kaavassa 2 on esitetty lauseke kosteusvirran tiheydelle pinnan ja sitä ympäröivän ilman välillä.

$$g_{surf,i} = \beta_v \cdot (v_{surf} - v_i) \quad (2)$$

$$= \beta_v \cdot [\varphi_{surf} \cdot v_{sat}(T_{surf}) - \varphi_i \cdot v_{sat}(T_i)]$$

- missä
- $g_{surf,i}$ = kosteusvirta pinnan ja huoneilman välillä, positiivinen suunta pinnasta pois päin, kg/(m²s)
 - β_v = pinnan kosteudensiirtokerroin (voidaan laskea pinnan konvektiivisesta lämmönsiirtokertoimesta Lewisin kaavalla), m/s
 - v_{surf} = vesihöyrypitoisuus pinnalla, kg/m³
 - T_{surf} = pinnan lämpötila, °C
 - φ_{surf} = huokosilman suhteellinen kosteus materiaalin pinnalla (0...1), -
 - v_i = vesihöyrypitoisuus ilmassa pinnan vieressä, kg/m³
 - T_i = ympäröivän ilman lämpötila, °C
 - φ_i = ympäröivän ilman suhteellinen kosteus (0...1), -.

Monet kosteuteen liittyvät vaurioitumismekanismit ovat kytköksissä korkeisiin suhteellisen

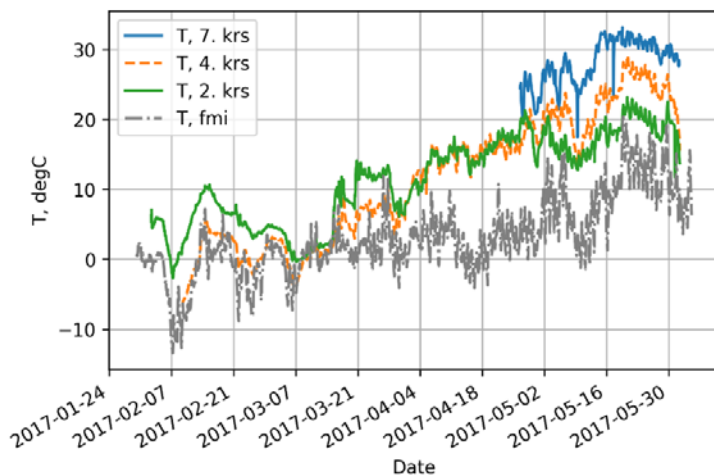
kosteuden arvoihin. Kaavan 1 perusteella pääasialliset tavat suhteellisen kosteuden pitämiseen alhaisella tasolla ovat kosteuslisän pitäminen alhaisella tasolla ja lämpötilan nostaminen.

Kaavan 2 perusteella pinnasta ilmaan siirtyvän kosteuden määrää eli rakenteen kuivumista nopeuttavat kosteudensiirtokertoimen kasvattaminen (ilmavirran nopeuden kasvattaminen pinnan vieressä), kuivatettavan rakenteen lämpötilan nostaminen sekä ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden laskeminen ja lämpötilan nostaminen. Käytännössä kaavojen 1 ja 2 mukaiset toimenpiteet tarkoittavat useimmiten kosteuskuormien minimointia, rakennusten lämmittämistä ja ilmanvaihdon järjestämistä.

3. Tulokset

3.1 Huoneilojen olosuhteet

Kuvassa 1 on esitetty toisen kerroksen huone- ja lähimmän sääaseman lämpötilat mittausjaksolta.



Kuva 1. Lämpötilat huone- ja ulkoilmassa. Huoneilma oli ulkoilmaa lämpimämpää erityisesti mittausjakson loppupuolella.

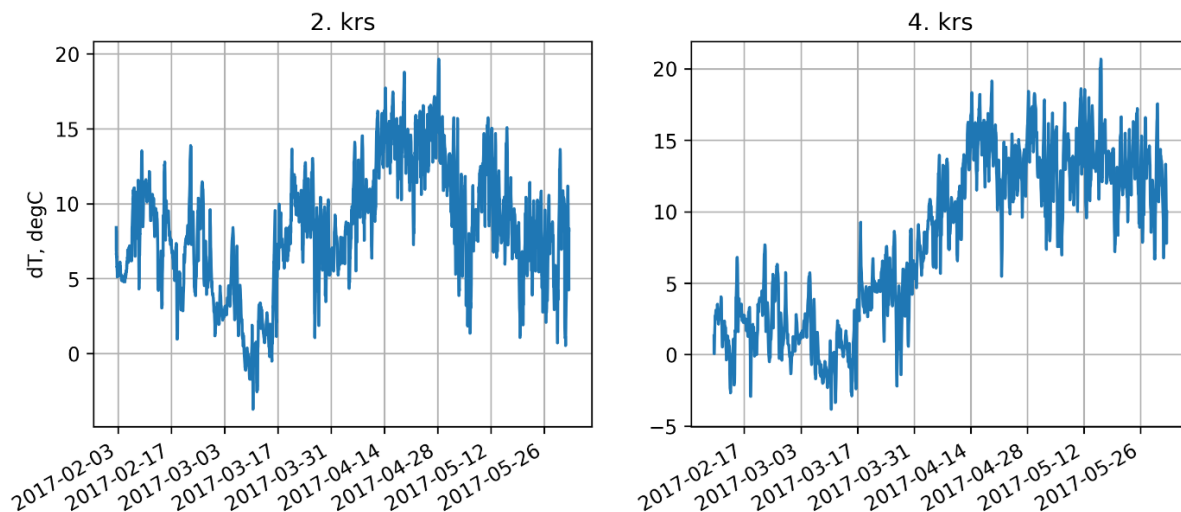
Lämpötila vaihteli talvella nollan molemmin puolin ja nousi pysyvämmiin nollan yläpuolelle maaliskuuhun aikana. Kuitenkin myös talvikuukausina esiintyi otollisia olosuhteita sekä lumieettä vesisateelle sekä lumen sulamiselle.

Kuvassa 2 on esitetty huoneilman ja ulkoilman välinen lämpötilaero toisesta ja neljännessä kerroksesta mitattuna.

Jos rakennukseen lämmityslaitteilla ja sisäisistä lämpökuormista tulevan lämmitystehon suhde johtumisen, ilmanvaihdon ynnä muiden mekanismien lämpöhäviöihin pysyy ajan suhteen vakiona, pysyy tällöin myös lämpötilaero sisä- ja ulkoilman välillä vakiona. Lämpötilaerojen kuvaajien perusteella lämpötilaero on vaihdellut noin 0-15 degC välillä toisessa kerroksessa, kun taas neljännessä kerroksessa lämpötilaero on noussut maaliskuuhun aikana 0-5 degC arvosta noin 10-15 degC arvoon.

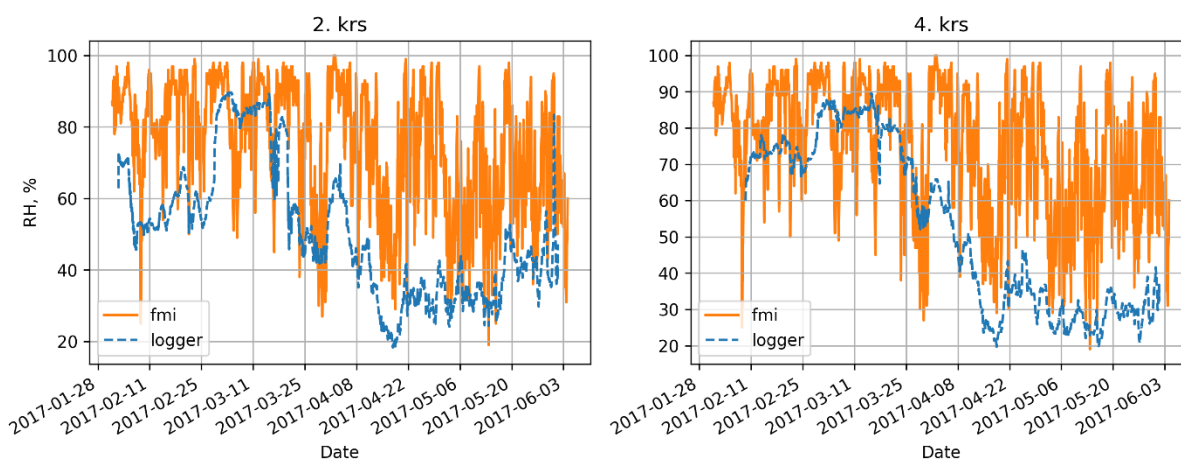
Vesihöyrypitoisuusero kuvien 1 ja 2 mukaisista mittauspisteistä käyttäytyi kuvaajien perusteella tasaisemmin, kuin lämpötilaero. Lasketut 5, 50 ja 95 % persentiilit sekä keskihajonta olivat toisen

kerroksen kosteuslisälle $-0,5, 0,5, 1,9$ ja $0,7 \text{ g/m}^3$, neljännen kerroksen kosteuslisälle $-0,9, 0,3, 1,6$ ja $0,8 \text{ g/m}^3$ ja seitsemännen kerroksen kosteuslisälle $-1,9, 0,0, 1,6$ ja $1,0 \text{ g/m}^3$. Näiden tulosten perusteella sisäilman kosteuslisä oli pienempi ylemmissä kerroksissa verrattuna alempiin kerroksiin.



Kuva 2. Lämpötilaero huone- ja ulkoilman välillä toisesta ja neljännestä kerroksesta. Vakiosuuruinen lämmitysteho suhteessa lämpöhäviöihin tuottaisi stationääritilanteessa vakiosuuruisen lämpötilaeron.

Jos rakennuksen sisätilat eivät ole juuri ulkoilmaa lämpimämpiä, pystyy pienikin kosteuslisä nostamaan suhteellisen kosteuden korkealle tasolla, jolloin rakenteissa mahdollisesti oleva kosteus ei pääse kuivumaan ja altistaa ne erilaisten kosteusvaurioille. Jos taas sisätilojen lämmitys on hyvin voimakasta, laskee sisäilman suhteellinen kosteus alhaiselle tasolle, mikä nopeuttaa kuivumista, mutta saattaa joissa tilanteissa aiheuttaa esimerkiksi puuosien halkeilua. Kuvassa 3 on esitetty suhteellinen kosteus ulkoilmassa sekä toisen ja neljännen kerroksen huonetilassa.



Kuva 3. Suhteellinen kosteus ulkoilmassa ja huonetiloissa. Rakennuksen lämmitys ja ilmanvaihto auttavat pitämään huonetilojen suhteellisen kosteuden alhaisella tasolla.

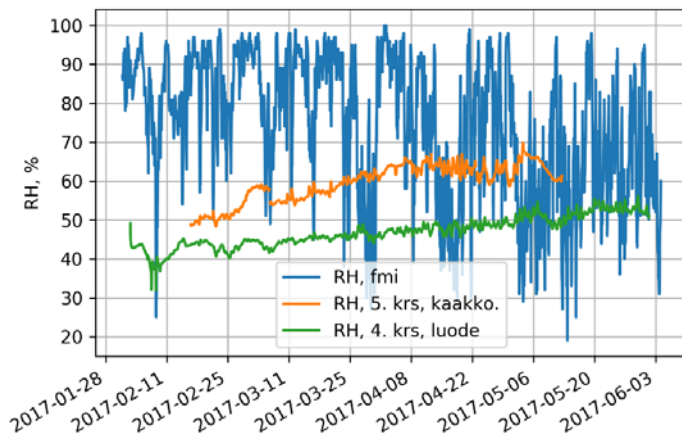
Suhteellinen kosteus oli kuvien 2 ja 3 perusteella huonetiloissa korkeammalla tasolla rakentamisen alkuvaiheessa, jonka jälkeen suuri lämpötilaero laski huonetilojen suhteellisen

kosteuden hyvin alhaiselle tasolle.

3.2 Porareikämittaukset seinäelementeistä

LVL-elementtien toimituskosteuspitoisuus tehtaalta on noin 8-10 paino-% [5], joka vastaa suhteellisen kosteuden 40-55 % RH mukaista tasapainokosteutta [1].

Ulkoseinän LVL-elementissä tehtiin porareikämittauksia ennen lämmöneristeitä sisältävien julkisivuelementtien asentamista. Sekä koilliseen että luoteeseen olevissa ulkoseinien mittauspisteissä lähekkäin olevien antureiden tulokset olivat hyvin samankaltaisia ($\overline{\Delta T} = 0,5-0,6$ degC; $\overline{\Delta v} = 0,6-0,8$ g/m³). Mittauspisteet olivat 5 ja 15 cm etäisyydellä ulkopuolelta vanerilla suljetun ikkuna-aukon reunoista.



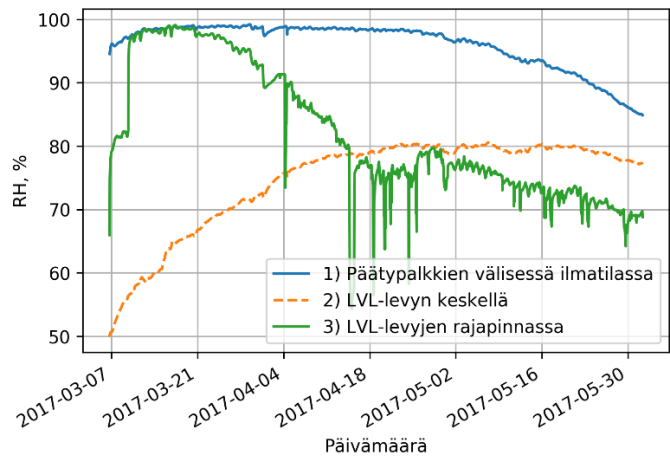
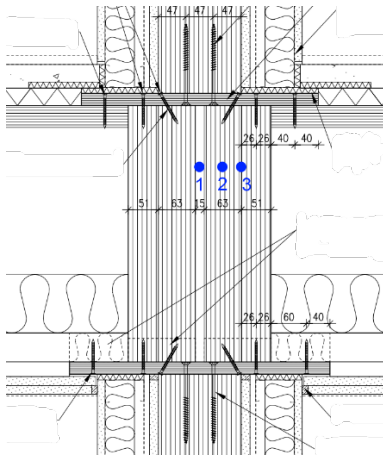
Kuva 4. Huokosilman vesihöyrypitoisuus LVL-elementin sisältä, porareiästä mitattuna.

Osassa ulkoseinien mittauspisteitä näkyi tilanne, jossa suhteellinen kosteus lähti ensin nousemaan, mutta lähti tämän jälkeen selvästi laskemaan. Tämän on todennäköisesti johtunut siitä, että mittausjakson alussa lämpötila on noussut nopeammin kuin huokosilman vesihöyrypitoisuus. Toisin sanoen, lämpötilan funktiona eksponentiaalisesti kasvava kyllästysvesihöyrypitoisuus pystyy aiheuttamaan suhteellisen kosteuden kasvun taittumisen, vaikka kosteuslisä samaan aikaan kasvaisi lineaarisesti.

3.3 Porareikämittaukset väliseinä-välipohjaliitoksista

Tehdyissä mittauksissa kosteustekniseltä toiminnaltaan kriittisiä kohtia olivat välipohja-väliseinäliitokset. Välipohjana toimivien avokotelo-ripalaattojen päätypalkkien porarei'istä mitattiin paikoin korkeita suhteellisen kosteuden arvoja, jotka viittaavat siihen, että välipohjalle satanut vesi aiheutti keskittyneitä kosteusrasituksia ripalaattojen päiden liitoksiin.

Nyt tehtyjen mittausten perusteella ei vaikuttanut olevan järjestelmällistä vaikutusta, oliko päätypalkkien alapuolella ehjä väliseinäelementti, väliseinäelementin aukkokohta (ovi- tai muu kulkuaukko) tai ei väliseinäelementtiä ollenkaan. Lisäksi avokotelolaattojen päätypalkkien porareikämittausten tuloksissa oli selviä keskinäisiä eroavaisuuksia, vaikka rakenneratkaisujen puolesta kosteusteknisen käyttäytymisen olisi tullut olla hyvin samankaltaista. Tämä viittaisi siihen, että käytännössä kosteusolosuhteet vaihtelivat selvästi hyvin lähellä toisiaankin olevien mittauspisteiden välillä. Esimerkki päätypalkkien porareikämittausten tuloksista on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Suhteellisen kosteuden porareikämittauksien tuloksia 7. ja 8. kerroksen välisestä välipohjasta. Anturin 1 mittauspiste sijaitsi päätypalkkien välitilassa, anturin 2 paksunnan LVL-palkin keskellä ja anturin 3 kahden vierekkäin olevan LVL-palkin rajapinnassa.

Kuvan 5 tapauksessa päätypalkkien väliseen kapeaan ilmatilaan (mittauspiste 1) on ilmeisesti valunut vettä, jonka seurauksena suhteellinen kosteus on noussut lähelle arvoa 100 % RH. Suhteellinen kosteus on pysynyt pitkään korkealla tasolla, josta se on tämän jälkeen lähtenyt laskemaan. Päätypalkin sisällä porareikässä (mittauspiste 2) suhteellinen kosteus on lähtenyt nousemaan alkuperäisestä tehdaskuivasta tilanteesta ylöspäin, todennäköisesti saman kosteuskuormituksen seurauksena. Päätypalkin sisällä suhteellinen kosteus on kuitenkin tasaantunut alhaisemmalle tasolle, kuin päätypalkkien välissä. Huonetilasta 5 cm syvyydelle poratusta reiästä (kahden LVL-palkin rajapinnassa, mittauspiste 3) suhteellinen kosteus on myös noussut korkealle, mutta alkoi laskemaan nopeammin kuin päätypalkkien välissä.

4. Yhteenveto

Puukerrostalotyömaalla toteutettujen mittausten ja muiden selvitysten perusteella työmaatoteutus ilman jatkuvaa sääsuojaa on mahdollista, mutta edellyttää useiden seikkojen huomioon ottamista yhtä aikaa. Näitä ovat muun muassa: a) Nopea työmaatoteutus, joka pienentää rakenteisiin tulevien kosteuskuormien määrää b) Liitosten suunnitteleminen joko avoimiksi tehokkaan kuivumisen mahdollistamiseksi tai vaikeasti kuivuvien liitosten väliaikainen suojaaminen ja c) Työmaan lämmityksen ja ilmanvaihdon säätäminen hyvien kuivumisolosuhteiden järjestämiseksi.

Lähdeluettelo

- [1] Musakka, Sami (n.d.) Puukerrostalojen lämpötila- ja kosteusolosuhteiden mittaukset työmaavaiheessa, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio.
- [2] Penttilä, Olavi (2017) Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen, diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio. 52 s. + 11 liites. <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/24942>.
- [3] Ilmatieteen laitos, Avoin data. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data>
- [4] SFS-EN ISO 13788:2013. 17 p. + 23 app. p. Finnish Standards Association SFS, Helsinki.
- [5] LVL by Stora Enso, tekninen esite. 32 s. Haettu 14.8.2017

Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta

Olli Teriö, Olavi Penttilä, Anssi Laukkarinen, Sami Musakka ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Artikkelissa tarkastellaan puukerrostalorakentamisen kosteudenhallintaa kylmänä vuodenaikana ilman sääsuojateltan käyttöä. Tarkastelu perustuu Jätkäsaarella rakennetun kahden puuviiluelementeistä (LVL) rakennetun puukerrostalon kosteudenhallinnan havainnointiin ja kosteusmittauksiin. Kohteissa huomatiin, että yhteistyön ja asenteen merkitys korostuvat puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinnassa. Tarvitaan selkeät suunnitelmat, sopimukset ja vastuutahot kosteudenhallinnan toteuttamiseen ja valvontaan. Teknisesti kosteudenhallinta kylmänä vuodenaikana sisältää vain vähäisiä riskejä, kunhan kosteudenhallinta otetaan huomioon sekä rakenne- että tuotannosuunnittelussa. Hyvien rakennedetaljien, asennusjärjestysten, aikataulujen sekä suojaus- ja kuivatusmenetelmien avulla LVL-puukerrostalo on mahdollista rakentaa kosteusturvallisesti ilman sääsuojateltaakin kylmänä vuodenaikana.

1. Johdanto

Puukerrostalorakentaminen on lisääntynyt merkittävästi viime vuosina [1]. Samaan aikaan on huoli rakennusten terveellisyydestä ja hyvästä sisäilmasta kasvanut. Työmaa-aikaisella kosteudenhallinnalla on oma merkityksensä terveellisten rakennusten aikaan saamisessa. Tässä artikkelissa tarkastellaan puukerrostalotyömaan rakenteellista sääsuojausta ja kosteudenhallintaprosesseja. Tarkastelu pohjautuu pääosin Olavi Penttilän diplomityöhön ”Puukerrostalojen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen” [2]. Työssä dokumentoitiin ja arvioitiin Jätkäsaarella talvella 2016-2017 rakennettujen LVL-puukerrostalojen kosteudenhallinnan toteutusta. Tarkastelu ja esitettävät suositukset koskevat vain kylmänä vuodenaikana toteutettavia kohteita.

2. Rakennustyömaan kosteudenhallinnan menetelmiä

Työmaalla kosteudenhallinnan ytimessä on rakennuksen olosuhdehallinta eli rakennuksen suojaus, lämmitys ja kuivatus. Sääsuojatelta helpottaisi olosuhdehallintaa huomattavasti ja pienentää rakenteiden säärasitusta ja siten turmeltumisen riskiä. Mikäli sääsuojateltaa ei käytetä, on kosteudenhallinnan suunnittelu huomattavasti haasteellisempaa ja työläämpää.

2.1 Rakenteellinen sääsuojaus

Pääperiaate ilman sääsuojatelta rakennettaessa on hyödyntää lopullisia vaippa- ja välipohjarakenteita sadevesien aiheuttamien haittojen ehkäisyyn. Täydellistä sateen estämistä välipohjille ei tarvita, kun rakenteet suunnitellaan kestäväksi niihin kohdistuvat kosteusrasitukset ja esimerkiksi lumi- tai sadevedet poistetaan holveilta ja rakenteista nopeasti. Sadevesien tai lumen pääsyä rakennukseen ja rakenteiden sisään voidaan tehokkaasti rajoittaa, kun asia huomioidaan jo rakennesuunnittelun yhteydessä.

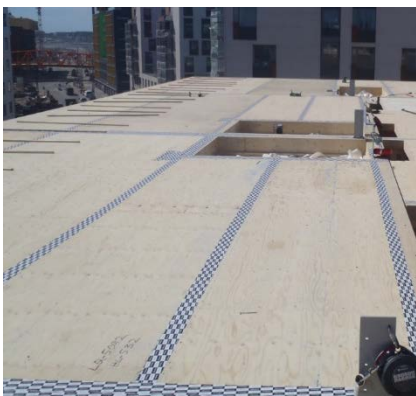
Elementit on toisaalta suunniteltava kestäväksi asennusaikaista säärasitusta ja toisaalta niillä on voitava suojata muita rakennuksen rakenteita. Esimerkiksi case-kohteen runko- ja

välipohjajaelementeissä ei pehmeitä lämmöneristeitä ollut lainkaan valmiiksi asennettuina. Vasta vesikattotöiden jälkeen ulkoseiniin asennettiin lämmöneristeet kevyiden US- tai verhoiluelementtien mukana (Kuva 1). Samoin ääneneristykseen käytetyt mineraalivillaeristeet asennettiin vesikattotöiden jälkeen, kun rakenteet olivat kuivuneet riittävästi.



Kuva 1. Lämmöneristeitä ei asenneta ennen kuin vesikatto on vedenpitävä.

Rakenteiden suunnittelussa on huomioitava, että rakenteisiin ei saa jäädä vesipesiä. Kotelomaisissa rakenteissa niitä voidaan ehkäistä poraamalla runsaasti reikiä sopiviin kohtiin. Erityisesti on huomioitava mahdollisten kylpyhuone-elementtien ylä- ja alapuoliset rakenteet. Elementin alla on usein syvennys, johon vesi kerääntyy, ellei sitä johdeta hallitusti viemäreihin tai välipohjille näkyville. Välipohjilta vesi voidaan poistaa esimerkiksi lastoilla tai vesi-imureilla. Lisäksi kylpyhuone-elementin pohjarakenteiden tulisi olla sellaisia, jotka mahdollistavat kosteuden mittaamisen ja tehokkaan tuuletuksen. Ainakin näköyhteys elementin alle pitäisi järjestää silmämääräistä laadunvarmistamista varten. Sadeveden kulkeutumista välipohjilta rakenteiden sisälle voidaan estää teippaamalla välipohjajaelementtien saumat (Kuva 2).



Kuva 2. Välipohjan teippaus. Välipohjien teippauksella estetään sadeveden kulkurakenteisiin ja alempiin kerroksiin.

Käytetyt puulajit määräävät kosteuden hallinnan vaatimustasoa. Kuusesta valmistetut LVL-levyt kestivät case-kohteessa talvikaudella esiintyneitä kosteusrasituksia selvästi paremmin, kuin korkeamman puristuslujuuden omaava koivuvaneri. Yleisesti puun homehtumiselle kriittisenä kosteuspitoisuutena on esitetty 20 paino-% [3], mutta case-kohteessa käytettiin raja-arvona 17 paino-%. Mittausten perusteella rakenteet pysyivät pääsääntöisesti tämän raja-arvon alla, mutta hetkittäin ja paikoitellen se ylitettiin. LVL-elementtien osalta ei kuitenkaan havaittu hetkellisten ylitysten aiheuttaneen vahinkoa.

Case-kohteen seinäelementtien leikkauspintoissa (päädyt, oviaukot, jne.) käytettiin suojaukseen hydrofobista suojaa-ainetta, mutta viilupintoja ei käsitelty, koska se suojaamisen lisäksi myös

hidastaa kuivumista. Seinien alaosissa käytettiin epoksipohjaista suojakäsittelyä, vaikka tavoite on pitää ne kuivina.

2.2 Suojapeitteet

Case-kohteessa hyödynnettiin myös suojapeitteitä. Ensin rakennetussa talossa pitkähkön asennustauon aikana holvi suojattiin kevytpeitteillä. Peitteiden poiston jälkeen kuitenkin havaittiin, että peiton alle oli tiivistynyt vesihöyryä ja se oli myös jäänyt. Peittämisen hyöty jäi siten olemattomaksi. Pakkaskauden aikana välipohjien hyödyntäminen rakenteellisena sääsuojana on riittävää. Yli +5 asteen lämpötilassa, kun homeen synnyn edellytykset paranevat, tulee pitkäaikaisissa suojauksissa varmistaa suojauksen alle toimiva tuuletus. Ilman suhteellinen kosteus ei saa nousta haitalliselle tasolle suojapeitteiden alla. Alle 60% suhteellista ilman kosteutta voidaan pitää sopivana raja-arvona. Myöhemmin rakennetussa talossa julkisivut suojattiin kauttaaltaan suojapeitteillä viistosateen aiheuttaman kosteusrasituksen ehkäisemiseksi.

2.3 Kuivatus ja lämmitys

Rakennuksen kuivumisolosuhteiden perusta luodaan lämmityksellä ja tuuletuksella (kuva 3). Rakennuksen ilmanvaihdolle tulisi järjestää reittejä työmaavaiheessa esimerkiksi väliaikaisten ovien raoista, talotekniikan varauksista ja tuuletusikkunoista, joita avaamalla tai sulkemalla voidaan säätää kuivumisolosuhteet hyväksi energiaa kuitenkin tuhlaamatta. Talvella rakennettaessa ulkoilma on kuivaa ja kuivumisen järjestäminen on helppoa. Kuivumista voidaan tarvittaessa tehostaa myös puhaltimilla koneellisilla kuivureilla.



Kuva 3. Riittäväällä lämmityksellä ja ilmanvaihdolla nopeutetaan rakenteiden kuivumista. Ilmanvaihdon riittävyys varmistetaan ilman suhteellisen kosteuden mittaamisella, jonka tulisi olla 40-60% välillä.

Sisäilman suhteellisen kosteuden mittaamisella voidaan varmistaa sopiva tuuletus kohteessa. Alle 40 % suhteellisessa kosteudessa voidaan tuuletuksella vähentää ja yli 60 % kosteudessa lisätä. Kun työmaalla sisäilman ilman lämpötila on yli 10 astetta ja ilman suhteellista kosteus alle 60%, rakenteet alkavat kuivua nopeasti. Mikäli rakenteet ovat kastuneet paljon, saattaa liian nopea kuivuminen olla jopa haitallista. Epätasainen elementin pinnan ja sisäosan kosteusmuodonmuutos saattaa aiheuttaa halkeamia elementteihin.

3. Kosteudenhallinnan suunnittelu ja laadunvarmistus

3.1 Hankeprosessi ja hankkeen organisointi

Case-kohteessa käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että kosteudenhallinnan suunnittelussa, toteutuksessa ja sen valvonnassa vastuukysymykset ovat tärkeitä. Esimerkiksi tilaajan kosteudenhallintaa koskevien vaatimusten toteuttamisessa esiintyi puutteita. Joidenkin sääsuojaustoimenpiteiden suorittaminen jäi niin sanotusti ei-kenenkään maalle. Vuoden 2018 alussa voimaa astuva asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta [4] tuonee asiaan jämäkkyyttä. Pääsuunnittelijan on huolehdittava siitä, että hankkeessa laaditaan kosteudenhallintaselvitys ja vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laadinnasta.

Kosteudenhallinnan prosessissa tärkeää on saada kaikki rakennushankkeen osapuolet sitoutumaan yhteisiin kosteudenhallinnan tavoitteisiin. Parhaiten se onnistuu ottamalla kaikki toimijat varhaisessa vaiheessa kosteudenhallinnan suunnitteluun mukaan. Kosteudenhallinnan vaatimukset eli kosteudenhallintaselvitys on ehdottomasti liitettävä pääurakan tarjouspyyntöön.

3.2 Rakennushankkeen kosteudenhallintaaselvitys ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelma

Edellä mainitun asetusluonnoksen [3] mukaan pääsuunnittelijan on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Siinä esitetään kosteudenhallinnan vaatimuksia kaikkiin hankkeen vaiheisiin sekä toimintatavat vaatimusten toteutuksen varmentamiseen. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä

- hankkeen yleistiedot,
- vaatimukset kosteudenhallinnalle hankkeen eri vaiheissa,
- toimenpiteet ja menettelyt kosteudenhallinnan vaatimusten varmentamiseen sekä
- kosteudenhallinnan henkilöresurssit.

Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä myös tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä.

Vastaavan työnjohtajan on huolehdittava työmaan kosteudenhallintasuunnitelman laatimisesta rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen pohjautuen. Siinä on esitettävä kosteudenhallinnan toimenpiteiden lisäksi myös rakennusvaiheittain kosteudenhallinnasta vastaavat henkilöt. Työmaan kosteudenhallintasuunnitelman sisältöön sovelletaan rakentamisen suunnitelmista ja selvityksistä annetun ympäristöministeriön asetuksen 15 §:ää [5], jossa kerrotaan että ”Työmaan kosteudenhallintasuunnitelmaan on sisällyttävä tieto toimenpiteistä, joilla rakennusaineet ja -tuotteet sekä rakennusosat suojataan sään aiheuttamilta tai työmaan olosuhteista johtuvilta haittavaikutuksilta sekä toimenpiteistä, joilla rakennusaineiden ja -tuotteiden sekä rakennusosien kosteudensuojaus toteutetaan ja rakenteiden kuivuminen varmistetaan.” Suositeltavaa on, että kosteudenhallintasuunnitelmassa on esitetty kaikki työmaalla käytettävät suojaustavat ja selkeät raja-arvot olosuhteille, joissa rakennetaan. Lisäksi voidaan esittää vaatimuksia väliaikaiselle sadevesien viemäroinnille sekä lumikolien ja vesimureiden käytölle.

3.3 Aikataulu ja työjärjestykset

Nopea rungon ja julkisivurakenteiden asennus merkitsee kosteusrasitusten ja –riskien pienentämistä sekä kuivumisen nopeutumista. Nopeuden saavuttamiseksi suunnittelijoiden on syytä tehdä yhteistyötä asennusurakoitsijan kanssa, sillä kiinnitysten määrä ja laatu ovat merkittäviä asennusnopeuden kannalta. Esimerkiksi höyrynsulun asennus liitoskohdissa on tyypillinen asia, joka edellyttää usein sekä suunnittelijoiden että urakoitsijoiden yhteistyötä (Kuva 4).



Kuva 4. Höyrynsulun ehjyys välipohjien kohdalla on haasteellista ulkoseinäelementtien kiinnikkeiden vuoksi. Höyrynsulku on otettava huomioon sekä rakenteiden liitosten suunnittelussa, että työjärjestyksiä suunniteltaessa.

3.4 Työmaan olosuhteiden seuranta

Tavoitteena tulee olla, että työmaalla saadaan mahdollisimman pian aikaiseksi hyvät kuivumisolosuhteet, jotta rakennuskosteus saadaan kuivattua. Silmämääräinen veden ja kosteuden tarkkailu on lähtökohta kuivumisen varmistamiseen. Lammikot on kuivattava mahdollisimman pian eikä kosteutta saa näkyä rakenteiden pinnoilla useita päiviä.

Lämpötilaa ja suhteellista kosteutta työnjohdon on helppo seurata työmaalla esimerkiksi käsikäyttöisillä ilmankosteusmittareilla. Sisä- ja ulkoilman olosuhteiden lisäksi tarvitaan tietoa myös rakenteiden kosteuksista esimerkiksi ennen vesieristeiden ja pintamateriaalien asentamista.

Luotettavin puun kosteuspitoisuuden määritysmenetelmä on koepalojen poraaminen ja niiden punnitsemista laboratoriossa ennen ja jälkeen kuivattamisen. Menetelmä on kuitenkin hidas ja työläs. Case-kohteissa koepalamittausten tulokset täydensivät ja varmistivat silmämääräisten havaintojen ja rakenteista tehtyjen porareikämittausten tuloksia. Porareikämittauksessa liimakerrokset saattavat haitata luotettavien tulosten saantia. Yksi mahdollinen ratkaisu on viistää kosteusanturin asennusputken pää putken halkaisijan pituiselta matkalta, mikä mahdollistaa kosteuden vapaamman tasaantumisen useamman viilun matkalta.

Case-kohteessa tehtiin mittauksia myös puikkokosteusmittarilla ja pintakosteuden osoittimilla, koska tuotannon ohjauksen näkökulmasta tarvitaan helppoja ja nopeita menetelmiä kosteuden mittaamiseen. Puikkokosteusmittaria käytetään yleisesti puun kosteuspitoisuuden mittaamiseen, mutta LVL-elementtien kosteusmittauksiin se sopii huonosti tai ei ollenkaan.

Puikkokosteusmittarin piikit on lyötävä riittävän syväälle eli noin 5 millimetrin syvyyteen

luotettavan tuloksen saamiseksi. Kutenkin kolmen millimetriä paksujen viilujen välissä oleva liimakerros vääristää tuloksia, koska sen sähkönjohtavuus poikkeaa suuresti puun sähkönjohtavuudesta. Pintakosteudenosoittimien antamat tulokset eivät juurikaan anna lisätietoa pelkkään silmämääräiseen arviointiin verrattuna.

4. Yhteenveto

Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallinta on monitahoinen haaste. Haasteiden selättämiseen tarvitaan selkeä organisaatio sekä täsmälliset suunnitelmat ja sopimukset. Keskeisiä asiakirjoja ovat hankkeen kosteudenhallintaselvitys ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelma. Yhdessä ne voivat antaa hankkeelle edellytykset kosteudenhallinnassa onnistumiseen.

Kosteudenhallinnan prosessissa tärkeää on saada kaikki rakennushankkeen osapuolet sitoutumaan kosteudenhallinnan tavoitteisiin. Parhaiten se onnistuu ottamalla kaikki toimijat varhaisessa vaiheessa kosteudenhallinnan suunnitteluun mukaan. Yhteistyö tilaajan, pääsuunnittelijan, erikoisuunnittelijoiden, vastaavan työnjohtajan ja puuosatoimittajien kesken on välttämätöntä. Kaikkien on puhallettava yhteiseen hiileen eikä tärkeitä tehtäviä saa jäädä ”ei-kenenkään maalle.” Kosteudenhallinnan vaatimukset eli kosteudenhallintaselvitys on ehdottomasti liitettävä pääurakasopimukseen sekä rakennuksen runkoa ja vaippaa koskeviin sopimuksiin.

Kylmänä vuodenaikana rakenteellinen sääsuojaus on riittävää, kun 1) rakenteet suunnitellaan useaan suuntaan kuivuviksi ja kestäväksi kosteusrasitusta, 2) veden ja lumen poistaminen hoidetaan nopeasti ja 3) rakenteille luodaan lämmityksellä ja ilmanvaihdolla hyvät kuivumisolosuhteet veden tulon loppumisen jälkeen. Laadunvarmistuksessa asenne ja osaaminen ovat tärkeämpiä kuin suurikaan määrä mittaustuloksia, koska mittaustuloksiin reagoiminen edellyttää jo kohonneita kosteuksia. Lumen ja veden valumisen rajaaminen, ohjaaminen ja poistaminen on oltava päivittäin vastuullisesti hallinnassa.

Lähdeluettelo

- [1] Hurmekoski, E., Jonsson, R. & Nord, T. 2015. Context, drivers, and future potential for wood-frame multi-story construction in Europe, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 99 pp. 181-196.
- [2] Penttilä, O. 2017. Puukerrostalorakentamisen kosteudenhallintaprosessi ja sen kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 52s.
- [3] Suomen Standardisoimisliitto. Puurakenteiden toteuttaminen. Rakennuksien kantavia rakenneosia koskevat säännöt. SFS Standardi 5978.
- [4] Ympäristöministeriön asetusluonnos rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta (luonnos 21.7.2017). Ympäristöministeriö.
- [5] Ympäristöministeriön asetus (216/2015) rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä

Julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjausohje

Toni Pakkala, Jukka Lahdensivu, Arto Köliö ja Petri Annila
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Julkisivuyhdistys ry:llä, Rakennustuotteiden Laatu Säätiö SR:llä ja julkisivurakentamisen parissa työskentelevillä yrityksillä sekä yhdistyksillä on käynnissä julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjausohjeen kirjoittaminen. Ohjeen tavoitteena on antaa talvikorjaushankkeen eri vaiheiden ja eri rakenneosien toteutukseen riittävät perustiedot, joilla hankkeen osapuolet voivat suorittaa oman vastuualueensa tehtäviä laadukkaasti ja turvallisesti. Kirjoitustyöstä vastaa Tampereen teknillisen yliopiston Rakenteiden elinkaaritekniikan tutkimusryhmä. Ohjeen julkaisualustaksi on alustavasti sovittu BY:n kirjasarja, ja julkaisuajankohta on vuosien 2017 ja 2018 vaihteessa.

1. Johdanto

Julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjausohjeen tavoitteena on antaa ohjeistus laadukkaaseen ja turvalliseen talvikorjaamiseen sekä suunnittelijoille että urakoitsijoille. Julkisivujen korjaustarve lisääntyy jatkuvasti ja jo vuosia on tiedetty, että on lähes välttämätöntä jatkaa korjaushankkeita myös normaalin ruuhka-ajanjakson eli toukokuun ja lokakuun välisen ajan ulkopuolelle. Julkisivukorjausten ajoittuminen vain kesäkaudelle aiheuttaa urakoitsijoille huomattavaa resurssipulaa, joka voi johtaa työn laadun heikkenemiseen, aikataulujen viivästymiseen ja lisääntyviin kustannuksiin. Samalla kuitenkin talvikaudelle ei urakoitsijoille riitä töitä, mikä saattaa johtaa mm. lomautuksiin.

Syitä talvitoteutusten vähäisyyteen selvitettiin alustavasti vuonna 2008 Julkisivuyhdistys ry:n ja Oka Oy:n teettämässä diplomityössä [1]. Talvikorjauksen vähäisyyteen vaikuttavia syitä ovat tutkimuksen perusteella mm.:

- urakoitsijat eivät ole kyenneet vakuuttamaan tilaajia, että talviolosuhteissa voidaan saavuttaa korjaustyölle asetetut laatuvaatimukset,
- rakennuttajilla ei ole tarvittavaa tietoa talviolosuhteissa tehtävän julkisivukorjauksen kustannuksista verrattuna kesätoteutukseen,
- tilaajat eivät ole valmiita maksamaan talviolosuhteiden aiheuttamia lisäkustannuksia,
- rakennuttajilla on puutteelliset tiedot,
- taloyhtiöiden perinteisen vuosisyklin vuoksi hankesuunnitelmapäätökset tehdään syksyllä, minkä vuoksi urakkatarjouspyynnöt päättyvät urakoitsijoille vasta vuoden vaihteen jälkeen sekä
- talvitoteutuksen kehityshakuisuus on puuttunut eikä siten ole muodostunut vakiotoimintamalleja.

Tutkimuksissa on myös havaittu, että talvikorjaamisessa on lukuisia hyötyjä, mutta tiedon puute sekä rakennuttajilla että tilaajilla on hidastanut talvikorjaamisen volyymin ja toisaalta työtapojen kehittymistä. Yleisesti havaittuja etuja talvikorjaamisessa ovat mm.:

- tasaa urakoitsijoiden resurssipulaa,
- olosuhteet voidaan pitää paremmin vakiona,

- korjauksen aikainen suojaus ei aiheuta kesäkorjaamista vastaavaa haittaa esim. sisälämpötilan nousun ja pölyävien toimenpiteiden (asukkaat eivät tuuleta yhtä usein) osalta,
- auringonvalon vähyys haittaa asukkaita vähemmän kuin kesällä,
- parvekkeiden käyttöaste talvella vähäisempi,
- saattaa joissain tapauksissa säästää lämmitysenergian tarvetta, kun ulkoseinä ei ole kylmää ilmaa vaan lämmitettyä suojausta vasten,
- tasaa työntekijöiden rasitusta, koska ei tarvitse työskennellä pitkää päivää tiettyyn aikaan vuodesta,
- voidaan taata työntekijöille vuoden läpi tasaiset ansiot.

Ratkaisuksi talvikorjaamisen yleisen tiedonpuutteen ja asenteen muuttamiseksi todettiin tarve talvikorjausohjeelle ja laadunvarmistusjärjestelmälle sekä tiedon tehokas välittäminen alan osaajille.

2. Julkaisun sisältö

Ohjeen tavoitteena on antaa talvikorjaushankkeen eri vaiheiden ja eri rakenneosien toteutukseen riittävät perustiedot, joilla hankkeen osapuolet voivat suorittaa oman vastuualueensa tehtäviä laadukkaasti. Julkaisun sisältö ja pääluvut on sidottu eri julkisivun ulkokuorirakenteisiin, raskaan korjauksen toteutukseen ja julkisivuun liittyviin rakenneosiin. Ensimmäisissä luvuissa esitellään yleisesti talvikorjausta, kuten talvitoteutuksen huomioonottamista suunnittelussa ja urakka-asiakirjoissa sekä talvikorjaustuotteita, -materiaaleja ja työmenetelmiä sekä käydään läpi kattavasti talviolosuhteiden hallintaa, suojausmenetelmiä sekä sijainnin vaikutusta. Lopuissa kappaleissa pureudutaan yksityiskohtaisemmin talviolosuhteista aiheutuviin erityispiirteisiin eri korjaustapojen tapauksissa.

Kirjan pääluvut ja sisältö on esitelty tarkemmin pääpiirteissään seuraavissa luvuissa. Julkaisussa ei käsitellä yleisiä korjausmenetelmiä muuten kuin ehdottomasti tarpeellisilta osin, vaan niiden osalta viitataan olemassa oleviin ohjeistuksiin, kuten JUKO-ohjeistokansioon [2] ja Betoniyhdistyksen BY-kirjasarjaan [3,4,5,6,7,8]. Julkaisussa käsitellään korjaustoimenpiteistä ne, jotka vaativat joko erityistoimenpiteitä työmaalla tai erityisesti talvikorjaamiseen suunniteltuja materiaaleja tai työtapoja.

2.1 Yleistä talvikorjaamisesta

Kappaleessa käsitellään talvitoteutuksen huomioonottaminen hankesuunnittelussa ja urakka-asiakirjoissa, talvikorjaustuotteita ja -työtapoja, talvikorjauksen aiheuttamia kustannuksia, sijainnin vaikutusta talvikorjauksen toteutukseen sekä kuntotutkimusta talvella.

Talvitoteutus otetaan hankesuunnittelussa ja urakka-asiakirjoissa huomioon pääasiassa laadunvarmistusvelvoitteiden kautta, joista yksi tärkeimmistä on teline-, lämmitys- ja suojaussuunnitelmien esittäminen aloituskokouksen yhteydessä yhtenä laadunvarmistustoimenpiteenä. Myös erillistä talvitoteutussuunnitelmaa voidaan käyttää.

2.1.1 Talvikorjaustuotteet, -materiaalit ja -työtavat

Lähtökohtaisesti talvikorjaamisessa käytettävät materiaalit ja tuotteet eivät merkittävästi eroa normaalisti käytetyistä korjaustuotteista. Talvikorjaaminen otetaan huomioon lähinnä työskentelytavoissa ja -olosuhteissa. Kaikissa tuotteissa pitää noudattaa valmistajan ohjeita tuotteen käyttöolosuhteisiin liittyen ja tarvittaessa järjestää tuotteen käytölle soveltuvat olosuhteet. Jossain tapauksissa tällaisilla tuotteilla voidaan tiettyyn valmistajan ilmoittamaan lämpötilaan asti toimia lämmittämällä käytettävät materiaalit, alustan ja työkalut.

Erityisiä talvikorjaustuotteisiin, varastointiin ja työtapoihin liittyviä yleisiä ohjeita ovat mm.:

- työmaalla lujuuskehityksensä saavuttavissa materiaaleissa (rappaukset, betoni, laastit) on pyritty esimerkiksi lyhentämään sitoutumis- ja kuivumisaikaa tai vähentämään olosuhteiden vaikutusta lujuuden kehittymiseen
- korjaustyössä käytetyillä valmistustuotteilla (rappaus- ja julkisivulevyt) talvitoteutukseen soveltuvat varsinkin tuotteet ja materiaalit, joiden lämpö- ja kosteusliikkeet ovat mahdollisimman pienet
- tuotteiden siirtoa nopeasti kylmästä lämpimään tai toisinpäin tulee välttää, varsinkin jos tuote pinnoitetaan välittömästi
- huokoisilla materiaaleilla suojaus sateelta ja sulavalta lumelta on tärkeää, koska yhdistettynä lämpötilan vaihteluihin, materiaalit saattavat altistua märkänä jäätymissulamissykleille ja siten rankalle pakkasrasitukselle
- jäätymiselle alttiilla tuotteilla (nestemäiset kemikaalit) tulee jäätyminen mahdollisuus ehkäistä varastoinnin lisäksi myös tuotteen työmaalle toimituksen sekä työmaalla varastoinnista asennuspaikalla kuljetuksen aikana
- julkisivumateriaalin pinnoittamista tulee välttää ennen kuin mahdollisen suojapeitteen rajaaman tilan lisäksi myös julkisivupinta on lämmennyt tavoiteltuun työskentely- ja jälkihoitolämpötilaan
- varastointiolosuhteiden tulee olla valmistajan ohjeiden mukaiset, mikä tarkoittaa esimerkiksi erillistä lämmitettyä suojausta tuotteille, jos niitä ei voida varastoida työmaan sääsuojan sisällä
- satavan lumen painon aiheuttamien vaurioiden estämiseksi varastoitaville materiaaleille tulee rakentaa lumikuorman kestävä ja lumen mahdollisimman hyvin poisohjaava suoja.

2.1.2 Talvikorjaamisen aiheuttamat kustannukset

Talvikorjaamisessa lisäkustannuksia tavalliseen korjaamiseen verrattuna saattavat aiheuttaa mm.: suojaus- ja telinekustannukset, suojauksen tai korjattavan alueen lämmitys, talviolosuhteisiin soveltuvat materiaalit ja olosuhdehallinta sekä –valvonta.

Sääsuojaus on nykyisin usein osa korjaamista ja pakollista esimerkiksi pölyävillä menetelmillä, kuten hiekkapuhallus. Jos sääsuoja joudutaan rakentamaan kevyttä tai pienialaista korjaustoimenpidettä varten, kuten maalaus ja saumaustyöt, se ei ole kustannustehokasta. Jos taas korjaushankkeeseen kuuluu useita työvaiheita, alenee suojausten ja lämmityksen osuus koko korjaustyön kustannuksista. Parhaiten talvikorjaaminen soveltuukin hankkeisiin, joissa julkisivut puretaan ja uudelleenverhoillaan tai vanhat julkisivupinnat lisälämmöneristetään ja verhotaan julkisivulevyillä.

Korjattavan alueen lämmityskustannuksia voidaan hallita parhaiten jakamalla suojaus osastoihin, joista lämmitetään vain sitä, missä joko työskennellään tai tarvitaan jälkihoidon vuoksi

lämmitystä. Laajassa korjaushankkeessa sääsuojauksen kattaessa koko rakennuksen, voidaan myös mahdollisesti sääsuojan hyvän eristävyuden varmistamisella sekä lämmityksellä vähentää itse rakennuksen lämmityskustannuksia.

2.2 Talviolosuhteiden hallinta

Julkisivujen ja parvekkeiden talvikorjaamisen perusta on luoda korjaukselle mahdollisimman hallitut ja tasaiset olosuhteet sääsuojauksella. Sääsuojauksella ja sen lähiympäristössä on hallittavana alla tarkemmin käsiteltyjen sisäolosuhteiden lisäksi työturvallisuuteen liittyviä asioita, kuten esimerkiksi työtilan valaistus pimeään talviaikaan, lumi, jää ja niiden sulamisen hallinta sekä paloturvallisuus.

Suojauksen laajuus ja esimerkiksi sääsuojan sisäpuolinen lämmitystarve riippuvat käytettävästä korjausmenetelmästä sekä korjauksen laajuudesta. Sääsuojauksella pyritään suojelemaan korjattavia pintoja, luomaan korjaustoimenpiteille otolliset olosuhteet, parantamaan työskentelyolosuhteita sekä mahdollistaman sisäolosuhteiden ylläpito rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. Erikoistoimenpiteitä korjausmateriaalien ja työtapojen osalta vaaditaan yleensä jo viimeistään lämpötilan laskiessa alle +5 °C.

Koska talvityöskentelyyn tarvittavat lämpötila- ja kosteusolosuhteet määritellään tuotekohtaisesti materiaalityöskentelyolosuhteissa, urakoitsijalta edellytetään työkohteissa ilman lämpötilan, rakenteiden pintalämpötilojen ja ilman suhteellisen kosteuden mittaamista valmistelevista työvaiheista aina jälkihoidon päättymiseen saakka. Tarvittaessa vaadittavien olosuhteiden hallitsemiseksi on korjaustoimenpiteen suorittamiseksi korjattavat rakenteet suojattava julkisivusuojalla ja huolehdittava suojatun tilan asianmukaisesta lämmittämisestä.

2.2.1 Sääsuojausmenetelmät

Talvikorjauksessa käytettävien suojausten tiiveysvaatimukset eroavat huomattavasti kesätoteutuksesta, koska talvitoteutuksen yhteydessä tavanomaisten suojaustarpeiden lisäksi tulee estää mahdollisimman tehokkaasti kylmän talvi-ilman pääsy suojauksen sisälle ja toisaalta lämmön karkaaminen ulospäin. Tämä korostuu entisestään, jos kyseessä on raskas korjaus, jossa puretaan julkisivusta myös vanhat eristeet pois ja jäljelle jää vain sisäkuori. Tällöin suojauksella, sen mahdollisella eristyksellä ja suojauksen lämmitysmenetelmillä on erittäin suuri vaikutus koko rakennuksen energiankulutukseen.

Riippuen korjausmenetelmästä ja niiden laajuudesta, on suojaus usein kannattavaa tehdä osastoituna, jolloin työtila jaetaan lämmitysosastoihin, joissa jokaisessa on oma lämmitimensä. Työtilan lämmittäminen ja suojaaminen vaativatkin huolellista aikataulusuunnittelua ja mahdollisen osastoinnin ajoituksen hallintaa. Työtilan lämpötila säädetään aina käytettävän korjausmateriaalin vaatiman minimilämpötilan yläpuolelle, jotta mahdolliset suojauksen tiiveyden heikkenemiset, esimerkiksi työntekijöiden kulkemisen vuoksi, eivät aiheuttaisi laatuvirheitä.

2.2.2 Sääsuojien olosuhteiden hallinta

Lämmitystyyppin valinnassa tärkeimmät kriteerit ovat tarvittava lämpötila, energiakustannus, energian saatavuus, lämmitettävän työtilan tai osastoinnin tilavuus, laitteiden ja energialähteen luotettavuus sekä lämmityslaitteiden vuokra- tai hankintakustannukset. Rajoituksia eri

lämmitysmuodoille aiheuttavat mm. laitteiden sijoittelumahdollisuudet, laitteiden polttoainetarastojen täyttömahdollisuudet sekä suojatun tilan julkisivuilla suoritettava työvaihe tai käytettävä korjaustapa.

Tilaa lämmittäessä tulee ottaa huomioon myös korjausmenetelmän tai -materiaalin mahdolliset vaatimukset tilan suhteelliselle kosteudelle. Sääsuojatun tilan lämmittäminen aiheuttaa tilaan ylipaineen, joka nopeuttaa ilmanvaihtoa tilan ja ulkoilman välillä, jolloin myös ylimääräinen kosteus poistuu ilman mukana. Jotkin työvaiheet vaativat kuitenkin riittävää suhteellista kosteutta esimerkiksi tartunnan saavuttamiseksi tai jälkihoidon onnistumisen vuoksi. Sääsuojissa olevat lämmittimet eivät saa puhaltaa ilmaa suoraan korjattavaan tai jälkihoidossa olevaan kohteeseen, jotta pinnat eivät kuivu liian nopeasti ja jälkihoito tai alustan esikastelu jää siten puutteelliseksi.

2.3 Eri ulkokuorirakenteiden sekä julkisivuun liittyvien rakenneosien talvikorjaus

Ohjeessa käydään läpi yksityiskohtaisemmin eri julkisivu- ja siihen liittyvien rakenteiden talvikorjaamisesta:

- betonijulkisivun korjaus ja elastiset saumat,
- peittävät korjaukset (ohut- ja paksueristerappausjärjestelmä ja tuulettuvat rakenteet),
- muuraus ja muuraussaumat,
- rappaus kovalle alustalle,
- ulkokuoren purkaminen, lisälämmöneristys ja uudelleenverhous,
- parvekkeiden korjaus,
- ikkunoiden vaihto.

Jokaisessa luvussa esitellään materiaaleihin ja korjaustyötapoihin liittyvien asioiden lisäksi tuotteiden varastointiin ja käsittelyyn työmaalla liittyvät erityisesti huomioon otettavat asiat sekä listataan lopuksi talvikorjaamisen laatuvaatimukset kyseisen korjausmenetelmän kohdalla.

Esimerkiksi betonijulkisivun korjaukseen liittyvässä luvussa käsitellään:

- pintakäsittelyyn liittyvät vaatimukset puhdistusolosuhteille, puhdistuksessa syntyvän lietteenhallinnalle, työskentely- ja käsiteltävän pinnan lämpötilalle sekä suojaustelineiden sijoittelun aiheuttamat haasteet työlle
- pinnoitus- ja paikkauskorjaukseen liittyvät vastaavat asiat, taulukon 1 mukainen sekoitusveden lämpötilavaatimus riippuen laastijauheen lämpötilasta ja valmiin laastin tavoitelämpötilasta, ohjeistus alustan lämpötilaseurantaan ja jälkihoitoon sekä taulukon 2 mukainen sääsuojan lämmitysaika riittävän pintalämpötilan saavuttamiseen
- elastisen saumauksen erityisvaatimukset olosuhteille ja materiaalin käsittelylle sekä saumamassojen että paisuvan saumanauhan tapauksessa.

Taulukko 1. Ohjeellinen tarvittavan sekoitusveden lämpötila (°C), kun 25 kg laastierään sekoitetaan 4 l vesimäärä.

Valmiin laastin tavoitelämpötila	Sekoitusveden lämpötila [°C]				
	Laastijauheen lämpötila				
	-15 °C	-10 °C	-5 °C	0 °C	5 °C
+ 5 °C	35	30	20	15	5
+ 10 °C	50	40	35	25	20
+ 15 °C	60	55	45	40	30

Taulukko 2. Betonikuoren vaatima lämmitysaika lämmitetyn sääsuojan alla ennen betonikorjausten aloitusta.

Rakenteen lähtötilanne (ulkokuoren paksuus ja alkulämpötila)	Lämmitysaika		
	sääsuojan lämpötila 0 °C	sääsuojan lämpötila + 5 °C	sääsuojan lämpötila + 10 °C
50 mm / -10 °C	ei saavuteta	2 tuntia	1,0 tuntia
50 mm / -20 °C	ei saavuteta	3 tuntia	1,5 tunti
80 mm / -10 °C	ei saavuteta	4 tuntia	2,0 tuntia
80 mm / -20 °C	ei saavuteta	5 tuntia	2,5 tuntia

3. Julkaisuaikataulu

Kirjaa on toteutettu pääluku kerrallaan ja jokaisen luvun käsikirjoituksen valmistuttua sisältöä on tarkasteltu ohjausryhmän kokouksessa. Kirjan viimeistä lukua käsittelevä kokous on sovittu syksyille 2017 ja koko kirjan käsikirjoitus valmistuu siten loppuvuoden 2017 aikana. Tämän jälkeen käsikirjoitus annetaan laajempaan arviointiin kirjaprojektiin osallistuvien osapuolien kautta ja kommenttikierroksen jälkeen kirja tullaan julkaisemaan alkuvuoden 2018 aikana.

4. Kiitokset

Ohjeen laatimista ohjanneen Julkisivuyhdistyksen nimeämän työryhmän puheenjohtajana on toiminut Matti Kumpulainen (Tikkurila Oy). Työryhmän työskentelyyn ovat lisäksi osallistuneet A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Cembrit Oy, Finnfoam Oy, Hilti Oy, Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy, Joints Oy, Kingspan Insulation Oy, Lumon Oy, Paroc Oy, Rakennustuoteteollisuus RT ry, Sadex Oy, Saint-Gobain Rakennustuotteet / Weber Oy, Saumalaakso Oy, Steni Oy, Sto Finexter Oy, Talonrakennusteollisuus TRT ry, Telinekataja Oy, Thermisol Oy sekä Tremco illbruck Oy. Yhdessä työryhmään kuuluneiden yritysten ja yhdistysten kanssa ohjetta rahoitti Rakennustuotteiden Laatu Säätiö SR. Kirjoittajaryhmä haluaa kiittää toimikuntaa ja rahoittajia kirjaprojektin mahdollistamisesta sekä asiantuntevista kommentteista käsikirjoituksen laadinnan aikana.

Lähdeluettelo

- [1] Niemelä, O.M. 2008. Betonirakenteisten julkisivujen ja parvekkeiden korjaaminen talviolosuhteissa. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto. 99 s. + 12 liites.
- [2] Julkisivuyhdistys ry. JUKO – Ohjeistokansio julkisivukorjausten läpivientiä varten. Viitattu 23.8.2017. Saatavilla: <http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/>.
- [3] Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Betonirakenteiden korjausohjeet 2016, by 41. Helsinki. 121 s.
- [4] Suomen Betoniyhdistys ry. 2013. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2013, by 42. Helsinki. 163 s.
- [5] Suomen Betoniyhdistys ry. 1998. Rapatun julkisivun kuntotutkimus 1998, by 44. Helsinki. 112 s.
- [6] Suomen Betoniyhdistys ry. 2005. Rappauskirja 2005, by 46. Helsinki. 164 s.
- [7] Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Eriste- ja levyrappaus 2016, by 57. Helsinki. 196 s.
- [8] Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Tuulettuvat julkisivut 2016, by 64. Helsinki. 121 s.

Olosuhteiden vaikutus rakennustyömaalla

Suvi Utriainen
Rakennustieto Oy

Tiivistelmä

Suomessa olosuhteiden vaihtelu aiheuttaa monta tekijää rakennustyömaalle, jotka tulee huomioida työsuunnittelussa. Aikataulua ja kustannuksia suunniteltaessa tulee huomioida muun muassa suojaus-, kuivaus-, lämmitysmenetelmien vaatima aika, säävaraukset ja rakennuksen kuivumisaika.

Useimpien rakennusmateriaalien asennus tai käyttö vaatii tietyn lämpötilan, jotta materiaalille ja tai pinnalle asetetut laatuvaatimukset täyttyisivät. Tietyn lämpötilan ylläpitäminen vaatii usein lämmitystä työmaalla. Materiaalit ja rakenteet tulee suojata myös sateelta ja lumelta. Suojautumisessa käytetään sääsuojia ja suojapeitteitä.

Rakenteissa olevan kosteuden lähteitä ovat sadeveden lisäksi rakennusmateriaalin valmistuksessa käytetty vesi sekä rakentamisen aikainen vedenkäyttö. Aikatauluissa tulee varata aikaa rakenteiden kuivumiselle.

Koneiden ja laitteiden käyttö voi estyä pakkasen vuoksi. Pakkasella kuljetuskalustossa olevat vettä sisältävät aineet, nesteet ja öljyt jäähtyvät nopeasti.

Olosuhteita arvioidessa on tärkeää huomioida myös rakennustyömaan työturvallisuus ja laatu.






1. Johdanto

Suomessa on neljä erilaista vuodenaikaa, jolloin olosuhteet vaihtelevat. Rakentamisen kannalta on tärkeä tunnistaa ja arvioida olosuhteisiin liittyviä riskejä etukäteen ja määrittellä, miten ne torjutaan. Olosuhteet vaihtelevat paikkakunnittain ja vuosittain. Artikkelin tarkoituksena on esitellä, miten eri olosuhdetekijät vaikuttavat tuotantoon ja millä toimenpiteillä olosuhdetekijöihin voidaan varautua, mikäli rakentaminen ei ajoitu optimaalisille olosuhteille. Rakennuttajan sekä urakoitsijan on hyvä tiedostaa olosuhteiden vaikutukset rakentamiseen. Hankkeen ajoituksen suunnittelu helpottuu ja yleinen työsuunnittelu on todenmukaisempaa.

2. Rakentamisen ajoitus

Rakentamisen aikataulua suunniteltaessa huomioidaan, millaiset olosuhteet vallitsevat rakentamisen aikana. Rakenteiden ja materiaalien osalta on hyvä käydä läpi, miten paljon ne kestävät ja altistuvat eri olosuhteille sekä millaiset olisivat optimiolosuhteet. Rakentamisen suhdanteet ja rakennuksen haluttu käyttöönotto eivät aina mahdollista rakennusajan sijoittamista optimaaliselle ajanjaksolle. Tällöin aikataulussa ja kustannuksissa tulee huomioida suojaus-, kuivaus-, lämmitysmenetelmien vaatima aika, säävaraukset ja rakennuksen kuivumisaika. Esimerkiksi työmaan aloitusajankohdan siirtäminen elokuulta lokakuulle hidastaa rakennuksen runkotöiden aikataulua ja aiheuttaa lisätöitä mm. suojausten ja lämmitysten vuoksi.

Taulukko 1. Rakentamisen vaiheissa huomioitavat olosuhteet rakenteiden ja materiaalien osalta.

RAKENTAMISEN VAIHE	RISKEJÄ AIHEUTTAVAT OLOSUHTEET	ESIMERKKEJÄ HUOMIOITAVISTA ASIOISTA
MAARAKENTAMINEN JA TYÖMAAN PERUSTAMINEN	 <ul style="list-style-type: none"> - alhainen lämpötila - valon määrä 	<ul style="list-style-type: none"> - kaivanto ei saa jäätyä - ruiskubetonoitaessa kalliopinnan lämpötilan tulee olla yli + 5 °C - täytöt ja tiivistys tehdään kuivana ja sulana pidetylle pohjalle, jäätyminen estetään suojaus ja lämmitystoimenpiteillä - työmaalla tulee olla riittävä valaistus
PERUSTUSVAIHE	 <ul style="list-style-type: none"> - alhainen lämpötila - valon määrä 	<ul style="list-style-type: none"> - perustuksia ei tule rakentaa jäätyneen maanvaraan - betonoitaessa lämpötilan tulee olla yli + 5 °C ilman erillisiä suojaus ja lämmitystoimenpiteitä - työmaalla tulee olla riittävä valaistus
RUNKO JA VESIKATTO	 <ul style="list-style-type: none"> - kova tuuli - alhainen lämpötila - korkea lämpötila - suhteellinen kosteus - vesisade - lumi - valon määrä 	<ul style="list-style-type: none"> - kovalla tuulella nostoissa tulee arvioida vaarat ja noudattaa varovaisuutta - alhainen lämpötila hidastaa betonin ja laastin sitoutumista - harkot eivät saa olla muuratessa märkiä, jäisiä tai lumisia - huolehditaan, että materiaalit säilytetään irti maasta ja suojauttuina valmistajan osoittamissa olosuhteissa - ulkomaalauksessa ilman lämpötila, suhteellinen kosteus ja pinnan lämpötila vaikuttavat. Ruiskumaalauksessa ei saa tehdä tuulisella säällä - sääsuojan ilmanvaihto - korkea lämpötila voi aiheuttaa pyörtymisiä. Riski suuri etenkin korkealla työskennellessä
KUN RUNKO ON TIIVIS JA VESIKATTO ON VALMIS, RAKENNUKSEN LÄMMITYS VOIDAAN ALOITTA		
SISÄVALMISTUSVAIHE	 <ul style="list-style-type: none"> - lämpötila - kosteus 	<ul style="list-style-type: none"> - vesikatto ja rakennusvaippa tiivis - ontelolaattojen veden poisto - mikäli sisävalmistustyöt sijoittuvat kostealle ja lämpimälle, huomioitava kuivatettavan tilan tiiviyys ja ilmankuivaajien käyttö - huolehditaan lämmityksestä, kuivatuksesta, tuuletuksesta/ ilmanvaihdosta
LUOVUTUS JA KÄYTTÖ	 <ul style="list-style-type: none"> - rakennuksen tuotu kosteus - rakennuksen ja laitteiden oikea käyttö ja säädöt 	<ul style="list-style-type: none"> - ilmanvaihto- ja muiden koneiden ja laitteiden oikeat säädöt - tilan käyttäminen käyttötarkoituksen mukaisesti - tilojen ja rakenteiden huolto

Talvirakentaminen on kesärakentamista kalliimpaa. Kustannuksia aiheuttavat kokonaistyömenekin kasvu, materiaalihukat, energian tarpeen kasvu, koneiden ja laitteiden lisätarpeet sekä rakennusajan kasvu.

Kustannussyistä ideaalitulanteessa tavanomainen rakennushanke ajoitetaan siten, että hanke- ja toteutus suunnittelu valmistuu keväällä, jonka jälkeen työmaa voidaan perustaa ja maanrakennustyöt voidaan aloittaa. Jos rakennuksen perustukset saadaan valmiiksi ennen kesää, niin runko saadaan pystyyn kesän ja syksyn aikana. Runkorakentamista sekä muita ulkona tehtäviä töitä tulisi välttää talviaikaan. Rakennuksen vaippa vesikattoineen olisi hyvä saada valmiiksi viimeistään lokakuussa. Näin sisävalmistusvaihe voidaan toteuttaa talvella ja rakennuksen luovutusvaihe ajoittuu keväälle.

3. Lämpötilan vaikutus tuotantoon

Isot lämpötilaerot aiheuttavat ongelmia työmaatuotantoon. Lämpötilaerot pyritään pitämään vähäisinä suojuuksilla, eristyksillä sekä lämmitys- ja jäähdytyskaluston avulla.

3.1 Lämpötilan vaikutus materiaalien asennukseen ja käyttöön

Eräiden materiaalien asennus tai käyttö vaatii tietyn lämpötilan, jotta materiaalille ja/tai pinnalle asetetut laatuvaatimukset täytettäisiin. Lisäksi useiden materiaalien käytölle on asetettu lämpötilaraja, eikä niitä voi käyttää tuon lämpötilan alapuolella.

Työstövaiheessa kylmää huonosti sietäviä materiaaleja ovat esimerkiksi betoni, laasti ja maali. Pinnoille asennettavat tuotteet vaativat tyypillisesti säilytyksen lämmitetyssä sisätilassa. Lämpötilan pitää pysyä annetun rajan yläpuolella myös materiaalin asentamisen jälkeen.

Talvella tapahtuu materiaalihukkaa rikkoutumisen, pilaantumisen ja katoamisen vuoksi, kun kalusto- ja käyttötarvikkeita hautautuu lumen ja jään alle. Talvella materiaalihukka aiheuttaa kerrostalotyömaalla lisäkustannuksia perustustyövaiheessa 1,7–3,7 % suhteessa kesäaikaan. Runkotyövaiheessa lisäkustannukset ovat 0,6–1,9 %.

3.2 Lämpötilan vaikutus kalustoon

Koneiden ja laitteiden käyttö voi estyä pakkasen vuoksi. Pakkasella kuljetuskalustossa olevat vettä sisältävät aineet, nesteet ja öljyt jäähtyvät nopeasti. Esimerkiksi hydraulisten laitteiden hydraulinesteet jäykistyvät jäähtyessään ja aiheuttavat laitteille rasitusta.

Talvella koneet ja kalusto aiheuttavat kerrostalotyömaalla lisäkustannuksia perustustyövaiheessa 1,8–2,2 % suhteessa kesäajan rakentamiseen. Runkotyövaiheessa lisäkustannukset ovat noin 1,3 % ja sisävalmistusvaiheessa 0,1–0,2 %.

3.3 Lämpötilan vaikutus työskentelyyn ja työturvallisuuteen

Kuumassa ja kylmässä työskentely vaatii erikoistoimenpiteitä (tauot, suojavaatetus), jotka hidastavat normaalia työntekoa. Huomioon tulee myös ottaa maan jäätyminen, joka voi vaikuttaa kantavuuteen sekä kulkuteiden liukkauteen.

Talvella työmenekit kasvavat ja näin ollen aiheuttaa kerrostalotyömaalla lisäkustannuksia perustustyövaiheessa keskimäärin 2,7 % ja runkotyövaiheessa 0,6 % suhteessa kesäajan rakentamiseen.

3.4 Lämpötilan vaikutus laatuun

Kylmällä säällä on erityisesti vaikutus betonointiin. Rakenteen laatu saattaa heiketä ja betonin säilyvyysominaisuuden huonontua kylmän sään seurauksen. Rakenteiden lämpölaajeneminen saattaa vaurioittaa rakenteita.

3.5 Maan jäätyminen

Maan jäätyminen voi aiheuttaa vaurioita rakenteisiin sekä työturvallisuusriskin maapohjan kantavuuden takia. Jäätyneen maanvaraani ei saa rakentaa (salaojat, putket, perusukset) ja jäätyneitä maa-aineksia ei saa käyttää täytöissä.

4. Sateen ja lumen vaikutus tuotantoon

Materiaalit ja rakenteet suojataan sateelta ja lumelta. Sisälle asennettavissa materiaaleissa on

lisäksi lämpötila- tai kosteusvaatimuksia. Sateelta ja lumelta suojautumisessa käytetään sääsuojia ja suojapeitteitä. Pitempiaikaisessa työkohteissa, kuten raudoitteiden tekopaikassa tai sirkkeleillä, sääsuojan käyttäminen on työturvallisuuden näkökulmasta aina kannattavampaa kuin lumen poistaminen.

4.1 Sateen ja lumen vaikutukset materiaalien asennukseen ja käyttöön

Märkiä tai vaurioituneita materiaaleja ei saa asentaa tai käyttää. Esimerkiksi harkot eivät saa olla muurattaessa märkiä, jäisiä tai lumisia. Märät materiaalit voivat vaurioittaa kosteudelle herkempiä materiaaleja. Lumi voi peittää suojaamattomat materiaalit ja työvälineet, niin että niitä ei löydetä.

Lumi- ja jäätyöt aiheuttavat lisätöitä perustusvaiheessa Etelä-Suomessa 0,05 tth/pohja-m² ja Pohjois-Suomessa 0,1 tth/pohja-m². Runkovaiheessa lumi- ja jäätyöt aiheuttavat lisätöitä Etelä-Suomessa 0,1 tth/brm² ja Pohjois-Suomessa 0,2 tth/-m².

4.2 Sateen ja lumen vaikutukset työturvallisuuteen ja laatuun

Työtasot, kulkureitit ja sääsuojien katokset tulee pitää lumettomina. Liukkaat kulkutiet lisäävät liukastumisen vaaraa. Sääsuojien katokset eivät välttämättä kestä lumen painoa.

Veden jäätyminen rakenteen pintaan voi aiheuttaa myös vaurioita. Lisäksi veden jäätyessä se voi padottaa nestemäistä vettä esimerkiksi syöksytorviin. Talvella tehdyissä valuissa, joissa lunta ei ole poistettu ennen valua voi seinän tai pilarin alaosassa voi olla suuria koloja tai alapää voi olla pelkän raudoituksen varassa.

Talvilisätöitä on mm. lumen luonti, jään poisto ja sulatus rakenteilta tai rakennusalueelta sekä lumenajo ja hiekoitus, roudan rikkominen ja sulatus. Talvilisätyöt aiheuttavat kerrostalotyömaalla lisäkustannuksia perustustyövaiheessa noin 1,7 % suhteessa kesäajan rakentamiseen. Runkotyövaiheessa lisäkustannukset ovat noin 0,8 % ja sisävalmistusvaiheessa noin 0,3 %.

5. Kosteuden vaikutus rakennustyömaalla

Sisäilman tavoitteelliset kuivumisolosuhteet saavutetaan lämpötilaltaan +20 °C:ssa ja ilmakosteudeltaan 50 % RH, jolloin sisäilman vesihöyrynpitoisuus on likimain 8 g/m³. Kun ulkoilmassa on enemmän kosteutta, rakenteiden kuivattaminen pelkän ulkoilman avulla ei onnistu. Tila tulee tiivistää ja käyttää ilmankuivaajia kosteuden sitomisen apuna.

5.1 Kosteuden poiston vaikutus kustannuksiin

Kosteuden poistamiseen ja kuivatukseen rakenteista ja rakennuksesta tarvitaan energiaa. Tehokkaimman ja taloudellisimman kuivatusjärjestelmän valinta riippuu ulkoilman, sisäilman ja rakenteiden kosteudesta. Mikäli sisävalmistustyöt sijoittuvat kesälle tai syksyn alkuun, tarvitaan ilmankuivaajia sekä kuivattavan tilan tiivistämistä kuivumisen varmistamiseksi.

5.2 Kosteuden vaikutus laatuun

Liiallinen kosteus on riski niin rakennushankkeen toteuttamisen kuin rakennuksen käytön aikana. Rakenteisiin voi syntyä terveydelle vaarallisia mikrobikasvustoja tai rakenne voi vaurioitua. Esimerkiksi puun lujuus voi heiketä lahoamisen seurauksena tai betoni ei kuivu pintamateriaalin

vaatimalle tasolle.

5.3 Säältä suojautumistoimenpiteitä

Kaikki materiaalit, keskeneräiset ja valmiit rakenteet tulee suojata riittävästi kosteudelta, lämpötilanvaihteluilta, tuulelta ja lumisateelta. Suojausmenetelmän valintaan vaikuttaa rakennuksen sijainti, koko ja muoto sekä rakenteiden vaurioitumisherkyys. Kohteen koon perusteella kannattaa miettiä, pysytäänkö kohde peittämään kustannustehokkaasti kokonaan vai peitetäänkö vain osa kerrallaan.

Talvella työ on hyvä suojata etukäteen lumitöiden vähentämiseksi. Suojauksien päälle laittamisesta huolehditaan heti työn lopettamisen jälkeen. Huolehditaan, että suojaukset pysyvät paikoillaan ja ovat tiiviit.

Ulkona tehtävät työt vaativat tyypillisesti aina materiaalien ja rakenteiden suojaamista.

- ulkolämpötila > 0°C: suojapeite voi olla riittävä
- ulkolämpötila < 0°C suojauksessa huomioitava myös lämmöneristys

On laskettu, että sääsuojahalli säästää työmaakustannuksia keskimäärin 5000 € Kun sääsuojia käytetään, niin rakentamistöitä poistuvat lumityöt, roudan sulatus, sääoloista aiheutuvat häiriöt ja odotusajat. Sääsuojahallin pystytys vie 30–60 tth ja sen purkaminen vie 25–50 tth.

Taulukko 2. Sääsuojauskalusto.

Sääsuojauskalusto	käyttökohde	Huomioitavaa
Sääsuoja	<ul style="list-style-type: none"> - pitkäaikainen suojaus - kattava suojaus lumelta, sateelta ja tuulelta - suojaa työntekijät, työkohteet ja rakennusmateriaalit - paljon ratkaisuja, kuten itsekantavat suojahallit, julkisivutelineisiin kiinnitettävä katto-osa 	<ul style="list-style-type: none"> - ilmanvaihdon riittävyys tarkistettava - suojauksen laajuus ja toimivuus varmistettava nostojen yhteydessä - suojien ja telineiden kunto tarkastetaan säännöllisesti
Julkisivusuoja	<ul style="list-style-type: none"> - pitkäaikainen suojaus - tiivis julkisivu 	<ul style="list-style-type: none"> - vaatii kantavan alustan telineille - ilmanvaihdon riittävyys tarkistettava - suojien ja telineiden kunto tarkastetaan säännöllisesti
Suojapeitteet	<ul style="list-style-type: none"> - lyhyt- ja väliaikainen suojaustapa - useita käyttökohteita: sateelta suojaus, lämpösuojaus, routasuojaus, maansulatus, likaantumisen estäminen 	<ul style="list-style-type: none"> - riittävän varma kiinnitys tarkistettava - suojapeitteiden kunto tarkistettava säännöllisesti

5.4 Lämmitys

Lämmityksen järjestämisessä kiinnitetään huomiota riittävään lämmitystehoon sekä lämmitysenergian tasaiseen jakautumiseen. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota kylmiin kohtiin, kuten reuna-alueisiin. Lämmityslaitteet suunnataan niin, että lämpö leviää tasaisesti lämmitettävään tilaan. Lämmitettävä tila tiivistetään huolellisesti, mutta niin, että kosteus pääsee poistumaan.

Lämmityksen toimintaa tarkkailemalla ja mittaamalla voidaan estää liian suurien lämmitystehojen aiheuttamat energiahukat ja määrittää lämmitys- ja kuivatustarpeen lopetuksen ajankohta.

Rakennuksen lämmittäminen maksaa niin työmenekin kasvun, että energian kulutuksen vuoksi. Energiantarve talvirakentamisessa tuo lisäkustannuksia perustustyövaiheessa keskimäärin 1 % ja runkotyövaiheessa 1,3 % suhteessa kesäajan rakentamiseen. Sisävalmistusvaiheessa energiantarve tuo lisäkustannuksia keskimäärin 3 %.

5.5 Kuivatus

Rakenteissa olevan kosteuden lähteitä ovat sadeveden lisäksi rakennusmateriaalin valmistuksessa käytetty vesi sekä rakentamisen aikainen vedenkäyttö. Aikatauluissa tulee varata aikaa rakenteiden kuivumiselle. Jokainen rakenteisiin päästetty ylimääräinen vesi pitää poistaa rakenteista. Rakennuskosteus yhdistettynä puutteelliseen tuuletukseen tai liian nopeaan pinnoittamiseen aiheuttaa rakenteisiin vaurioita.

Kesällä ja syksyllä ulkoilman sisältämä vesihöyrynpitoisuus on sen verran korkea, että ulkoilmaan ei sitoudu enää lisää kosteutta. Tällöin rakenteet eivät kuiva pelkän tuuletuksen avulla. Rakenteiden kuivattaminen syksyllä ja kesällä on useimmiten edullisempaa ilmankuivaajilla kuin lämmityksen ja ilmanvaihdon avulla.

Ilmankuivaajien avulla kuivatettavasta tilasta sidotaan kosteutta. Kuivattava tila on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi, jotta kosteutta ei kerätä kosteasta ulkoilmasta. Tilan lämpötilan on oltava riittävä ilmankuivaimen käyttöohjeen esittämien käyttöolosuhteiden mukaisesti.

Suosittelavaa on estää ylimääräinen vedenpääsy rakenteisiin suojuuksilla ja poistaa ylimääräinen vesi esimerkiksi vesi-imuroinnilla. Tiivistyneen kosteuden poistaminen lämmittämällä on tehottomampaa ja kalliimpaa kuin tiivistymisen estäminen.

6. Yhteenveto

Rakennustyömaalla vaihtelevilta olosuhteilta ei voi välttyä, sillä rakentamisen kesto on pitkä. Olosuhteet vaikuttavat useilla eri tavoin ja aiheuttavat erilaisia lisätöitä, jotta ne voidaan hallita. Olosuhteet vaikuttavat esimerkiksi työmäärään, koneiden lukumäärään ja ominaisuuksiin, energiamääriin ja näin suoraan rakennuskustannuksiin. Olosuhteita tulee ennakoida jatkuvasti ja tiedostaa niiden sisältämät eritasoiset riskit. Riskien hallinta on helpompaa ja halvempaa kuin realisoituneiden ongelmien korjaaminen. Kerrostalon talvirakentamisen lisäkustannukset vastaavista kesäajan rakentamisen kustannuksista on perustustyövaiheessa keskimäärin 14 %, runkotyövaiheessa 5,5–7,5 % ja sisävalmistusvaiheessa 3,3–3,7 %.

Lähdeluettelo

- [1] Ratu S-1234 Olosuhteiden vaikutus rakentamisessa. 2017. Rakennustieto Oy.
- [2] Ratu F31-0346 Talvilisätyöt ja kustannukset. 2010. Rakennustieto Oy.

A6. Rakennusten olosuhteiden seuranta ja hallinta

Ulkoseinärakenteen kosteusteknisen toiminnan seuraaminen

Susanna Ahola ja Jukka Lahdensivu
Ramboll Finland Oy

Tiivistelmä

Tutkimuskohteena oli vuonna 1974 valmistunut tiili- ja betonirunkoinen toimistorakennus, jonka tiili-villa-tiilirakenteiset ulkoseinät korjattiin peruskorjauksen yhteydessä uusimalla lämmöneristeet sekä ulkoverhous. Korjattuun rakenteeseen tehtiin uusi tuuletusväli ja vanhat mineraalivillalämmöneristeet korvattiin alumiinipintaisella polyuretaanieristeellä.

Polyuretaanieristeen vesihöyrynvastus on suurempi kuin rakennuksen pääasiallisen runkomateriaalin, jolloin höyrynsulkukerroksen paikkaa on tarkasteltava tarkemmin. Tutkimuksen tavoitteena oli mittausjärjestelyin selvittää korjauksen onnistuminen. Korjatun seinärakenteen toimintaa seurattiin rakenteisiin viiteen mittapisteeseen asennettujen antureiden avulla, jotka mittasivat kunkin rakennekerroksen suhteellista kosteutta ja lämpötilaa kahden vuoden ajan.

Korjatun seinärakenteen havaittiin tutkimuksen perusteella toimivan moitteettomasti ja kosteuden tiivistymistä rakenteeseen ei havaittu. Alumiinipintainen polyuretaanilevy toimi suunnitellusti sekä rakenteen lämmöneriste- että höyrynsulkurakenteena.

1. Johdanto

Ulkoseinärakenne koostuu tyypillisesti useista rakennekerroksista, joiden lämmön- ja kosteudenläpäisykyky vaihtelevat suuresti. Kerroksellisissa ulkoseinärakenteissa oleellista on huolehtia, ettei sisäilman kosteuden vaikutuksesta seinärakenteen sisään synny diffuusiosta aiheutuvaa kosteuden tiivistymistä eli kondenssia. Rakenteeseen tiivistyvistä vedestä johtuen rakennusmateriaalin kosteuspitoisuus voi nousta mikrobikasvuston mahdollistavalle tasolle.

2. Ulkoseinärakenteiden kosteuslähteet

2.1 Viistosade

Merkittävin ulkoseinärakenteiden kosteuslähde on viistosade. Mitä korkeampi rakennus on, sitä suurempi on viistosateen aiheuttama kosteusrasitus ulkoseinille [1]. Suomen ilmastossa viistosadetta tulee erityisesti lounaan ja kaakon väliseltä sektorilta. Karkeasti arvioiden Suomen rannikkoseudulla 60 % viistosateesta osuu julkisivuun ja sisämaassa noin 40 %. Ero selittyy tuulen suuremmalla nopeudella rannikolla kuin sisämaassa [2]. Rannikkoseudulla tuulen nopeus sateen aikana on keskimäärin 8 m/s ja sisämaassa 4 m/s. Vuotuinen sademäärä rannikolla on keskimäärin 600 mm/a ja sisämaassa noin 450 mm/a. [3]. Näin ollen rannikolla sijaitsevien rakennusten julkisivuihin kohdistuu suuremmasta tuulennopeudesta johtuen isompi viistosaderasitus kuin sisämaan rakennusten julkisivuihin.

Poltettu tiili on huokoinen materiaali ja se pystyy imemään vettä kapillaarisesti huokosverkostoon runsaasti ja nopeasti. Pitkäkestoisen tai rankkasateen aikana tiilijulkisivu voi kastua läpi kokonaan.

2.2 Konvektio

Tiiliverhotuissa ulkoseinärakenteissa konvektiolla siirtyvä vesi ei yleensä aiheuta ongelmia. Tiilimuurin taustapintaa pitkin valuva vesi poistuu normaalitilanteessa seinän alareunan tuuletusaukkojen kautta. Usein kuitenkin on törmätty tilanteeseen, jossa laastipurseet ovat tukkineet tuuletusvälin ja tämän laastikerroksen kautta kosteuden on mahdollista siirtyä tiiliverhouksesta sisempiin seinärakenteisiin, kuten tuulensuojamateriaaliin sekä lämmöneristeisiin.

Tutkimuskohteen alkuperäisessä ulkoseinärakenteessa viistosateella ja konvektiolla on ollut merkittävä rooli seinän mikrobivaurioitumisessa. Korjatussa seinärakenteessa viistosade ja konvektio eivät aiheuta vastaavia ongelmia.

2.3 Diffuusio

Kosteus rakenteen huokosissa sekä ulkoilman välillä tasoittuu ajan kuluessa. Kosteus kulkeutuu diffuusion vaikutuksesta alemman kosteuspitoisuuden suuntaan, mikä tarkoittaa että kosteuden kulkeutumissuunta tutkittavassa rakenteessa vaihtelee ympärillä vallitsevan kosteusolosuhteen mukaan. Kerroksellisessa ulkoseinärakenteessa kosteuden kulkeutumissuunta on ulkoa sisälle kesäkaudella ja sisältä ulos talvikaudella.

Tiiliverhotussa ulkoseinärakenteessa, jossa tiilen huokoset ovat täyttyneet vedellä, on tuuletusvälin suhteellinen kosteus todella korkea muutamia tunteja rankan sateen päättymisen jälkeen. Ylimääräisen kosteuden poistuminen tuuletusvälistä riippuu tuulen voimakkuudesta sekä lämpötilaerosta ulkoilman ja tuuletusvälin välillä. Yleensä tuuletusvälin ja ulkoilman lämpötilaero ei ole suuri johtuen tiilijulkisivun alareunassa olevista tuuletusrei'istä. Tavanomaisissa ulkoilmaolosuhteissa ilma vaihtuu tuuletusvälissä noin 40 kertaa tunnissa riippuen rakennuksen korkeudesta [4, 5, 6, 7]. Ennen 1970-lukua tehdyissä tiiliverhotuissa julkisivuissa tuuletusaukkoja ei ole, mistä johtuen kosteus tuuletusvälissä sateen jälkeen pysyy korkeana pitkään.

Kesäkaudella tuuletusvälin lämpötila voi kasvaa keskimäärin 10 °C suuremmaksi ja talvella noin 2 °C suuremmaksi kuin ulkoilman lämpötila. Tämä johtuu tiilen korkeasta ominaislämpökapasiteetista sekä pienestä ilmanvaihtuvuudesta tuuletusvälissä [8]. Tästä johtuen suhteellinen kosteus ja lämpötila ovat korkeita pitkiä aikoja kerrallaan ja mahdollistavat olosuhteet homeen kasvuille [9]. Tuuletusvälin läheisyydessä tulisi välttää homeutumisherkkien materiaalien käyttöä. Lisäksi seinärakenteiden ilmatiiveydestä tulee huolehtia.

3. Tutkimuksen toteutus

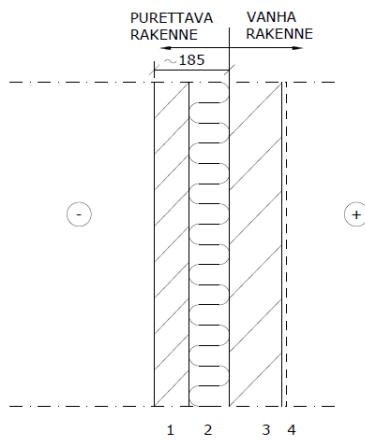
Peruskorjauksen suunnitteluvaiheessa rakenteen kosteustekninen toiminta tarkasteltiin laskennallisesti. Korjauksen jälkeen seinärakenteen kosteusteknistä toimintaa seurattiin jatkuvatoimisilla mittausantureilla korjauksen onnistumisen ja seinärakenteen kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi.

3.1 Aineisto ja menetelmät

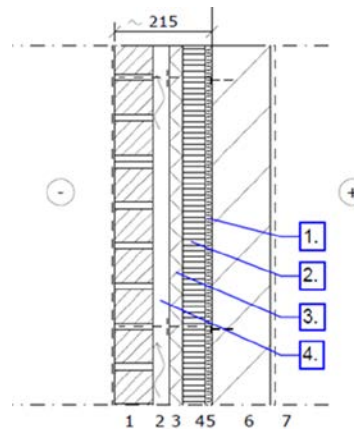
Tutkimuskohde oli vuonna 1974 valmistunut ja vuonna 2012 peruskorjattu opetusrakennus. Rakennuksessa ei ollut tehty merkittäviä korjauksia ennen sen perusteellisen peruskorjauksen

käynnistymistä vuonna 2012.

Kuvassa 1 on esitetty alkuperäinen ulkoseinärakenne ja kuvassa 2 korjattu seinärakenne.



85 mm	1	Vanha puhtaaksi muurattu tiili
100 mm	2	Vanha mineraalivilla
130 mm	3	3 Vanha puhtaaksimuurattu tiili
	4	Pintamateriaali tai -käsittely
U-arvo: 0,33 W/m ² K		



85 mm	1	Vanha puhtaaksimuurattu tiili
40 mm	2	Tuuletusväli
30 mm	3	Mineraalivilla (palonsuoja). Saumat teipattu tiiviiksi. Limitys polyuretaanilevyn saumoihin.
50 mm	4	SPU-AL polyuretaanilevy, saumojen tiivistys PUR-vaahdolla.
10 mm	5	Pehmeä 15 mm mineraalivillamatto (alustan tasaus)
	6	Vanha teräsbetoniseinä
	7	Pintamateriaali
U-arvo: 0,25 W/m ²		

Kuva 1. Alkuperäinen seinärakenne

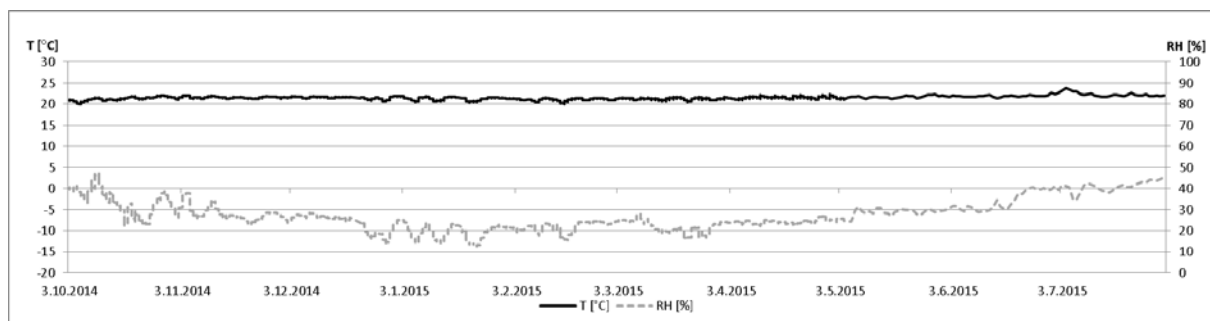
Kuva 2. Korjattu seinärakenne

Rakenteeseen asennetut mittausanturit mittasivat seinärakenteen suhteellista kosteutta ja lämpötilaa 5 minuutin tallennusvälillä. Anturiryhmät asennettiin korjaustyön yhteydessä rakenteen sisään numeroiden 1-4 esittämiin paikkoihin (kuva 2). Mittausdata on aikaväliltä 3.10.2014–2.2.2016.

Anturiryhmiä sijoitettiin ulkoseinärakenteeseen yhteensä 5 kappaletta eri kerroksiin. Sisäilman lämpötila ja kosteustuotto eivät ole tiedossa. Ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden lukemat ovat peräisin Ilmatieteen laitoksen kohdetta lähinnä olevan havaintoaseman avoimesta säädatasta.

4. Tulokset

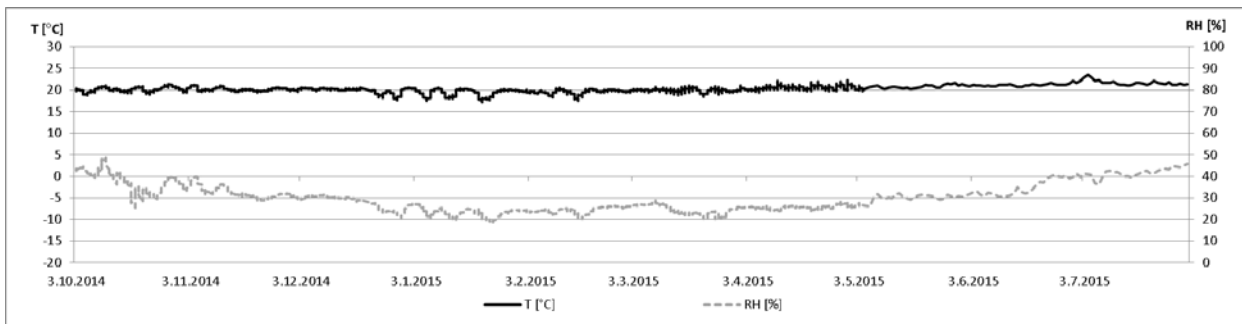
4.1 Mittapisteeet #1



Kuva 3. Esimerkkitulokset anturiryhmästä 90, anturi #1 (mineraalivillakerros).

Mittapisteet #1 sijaitsivat sisäkuoren ja polyuretaanieristeen välissä sijaitsevassa alustan tasaukseen tarkoitettussa mineraalivillakerroksessa. Lämpötila kerroksessa oli ympäri vuoden noin 20 °C ja suhteellinen kosteus vaihteli vuodenaikasta riippuen 20–50 % RH välillä. Kerroksen lämpötila oli tarkastelujakson aikana lähellä oletettua sisäilman lämpötilaa (+22°C). Mittausdatasta havaitaan myös lämmityskaudet: lokakuusta alkaen rakenteen lämpötila oli tasaisesti +21°C...+23 °C ja samanaikaisesti suhteellinen kosteus laski tasolta 45 % RH tasolle 20% RH. Noin huhtikuun kohdalla lämmityskauden loppuessa suhteellisen kosteuden arvot rakennekerroksessa alkoivat nousta saavuttaen huippuarvonsa syys-lokakuussa. Tarkastelujaksolla rakenteen korkein suhteellinen kosteus oli noin 50 % RH , joten homemallin mukaan homeen kasvun kannalta rakenteessa ei saavutettu kriittisiä olosuhteita.

4.2 Mittapisteet #2

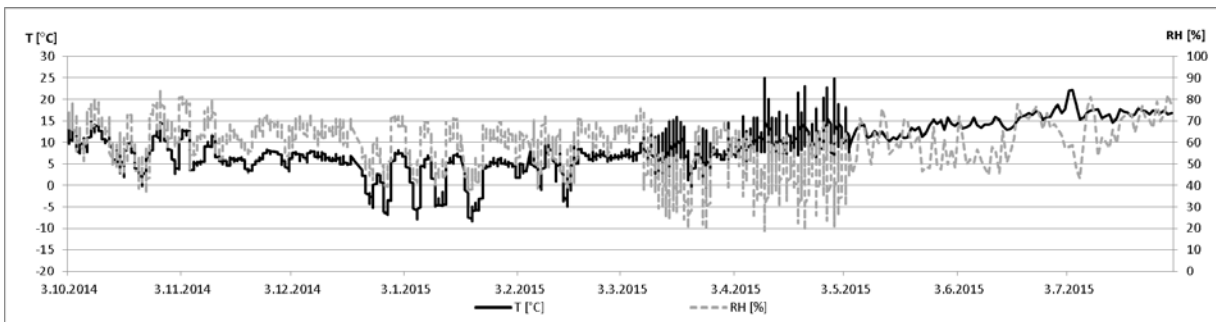


Kuva 4. Esimerkkitulokset anturiryhmästä 90, anturi #2 (polyuretaanieriste).

Mittapisteet #2 sijaitsivat 50 mm vahvuudessa polyuretaanieristekerroksessa. Mittaustulosten perusteella lämpötila kerroksessa oli ympäri vuoden n. 20 °C ja suhteellinen kosteus vaihteli vuodenaikasta riippuen 15-50 % RH välillä. Myös polyuretaanikerrosten mittaustuloksissa oli nähtävissä lämmityskauden vaikutus. Aikavälillä lokakuu-huhtikuu rakennekerroksen suhteellisen kosteuden arvot putosivat noin tasolta 50 % RH tasolle 20 % RH. Kesäkaudella suhteellisen kosteuden arvot olivat korkeammat ja huippuarvot (n. 50 % RH) saavutettiin syys-lokakuussa.

Polyuretaanieristekerroksessa ei mittausjaksolla havaittu yli 85 % RH suhteellisen kosteuden arvoja, mikä homemallin mukaan tarkoittaisi mikrobikasvun mahdollistavaa suhteellista kosteutta homehtumisherkkydeltään HHL3 materiaaleissa. Lisäksi rakennekerroksen kosteusteknisestä käyttäytymisestä havaittiin, että rakenteessa vallitseva suhteellinen kosteus on pääasiassa peräisin sisäilmasta, sillä suhteellinen kosteus rakenteessa noudatti samaa kuvaajaa kuin alustan tasaajana olevassa mineraalivillakerroksessa. Polyuretaanilevy estää sisäilman tunkeutumisen rakenteeseen ja se toimii höyrynsulkurakenteena.

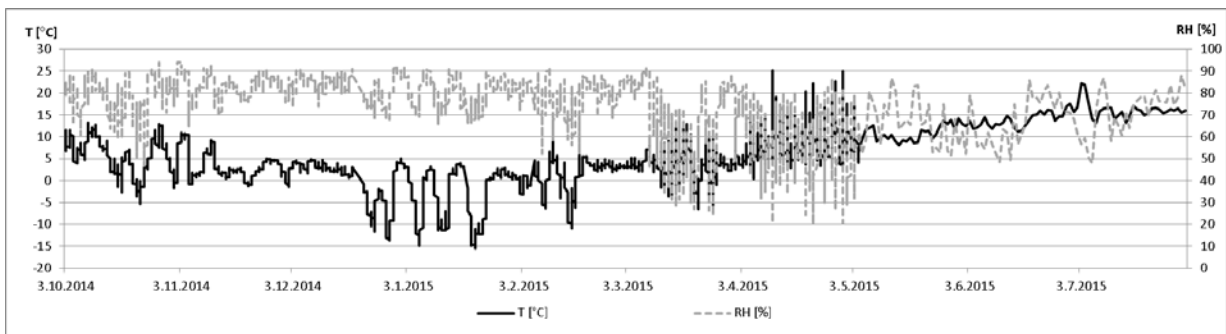
4.3 Mittapisteet #3



Kuva 5. Esimerkkitulokset anturiryhmästä 90, anturi #3.

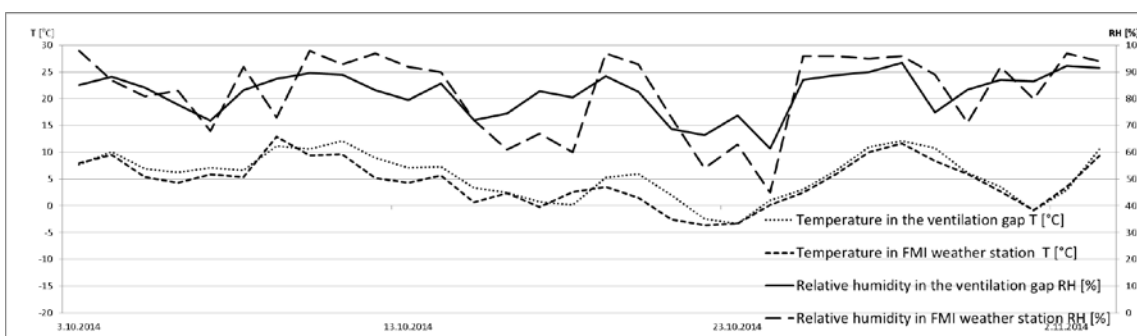
Mittapisteet # sijaittivat 30 mm vahvuudessa, palosuojaksi tarkoitettussa mineraalivillapohjaisessa tuulensuojalevyssä. Kerroksen lämpötila noudattaa tuuletusraon lämpötilan vaihtelua. Rakennekerroksessa ei tarkastelukauden aikana havaittu homeen kasvun kannalta kriittisiä olosuhteita: suhteellinen kosteus oli koko tarkastelujakson aikana pääsääntöisesti alle 80 %RH.

4.4 Mittapisteet #4



Kuva 6. Esimerkkitulokset anturiryhmästä 90, anturi #4 (tuuletusväli).

Mittapisteet #4 sijaittivat tuuletusvälissä. Mittapisteissä havaittiin yleisesti yli 85 %RH suhteellisia kosteuspitoisuuksia ympäri vuoden. Tuuletusraon osalta suhteellisen kosteuden lukemat eivät suoraan indikoi kosteus- ja homeaurion riskiä, sillä tuuletusraossa oleva suhteellinen kosteus on peräisin tuuletusraossa olevasta ulkoilmasta (ks. kuva 7) ja suomalaisissa ulkoilmaolosuhteissa kyseinen 85 % suhteellisen kosteuden arvo ylitetään varsin usein ajanjaksolla syyskuu-huhtikuu. Kokemusperäisesti tiedetään, että tuuletusraollinen seinärakenne toimii moitteettomasti myös tällaisissa olosuhteissa. Lisäksi rakenne on tämänhetkisten rakentamismääräysten mukainen.



Kuva 7. Tuuletusvälin tulokset verrattuna ulkoilman olosuhteisiin.

5. Johtopäätökset

Korjattu seinärakenne toimii moitteettomasti. Alumiinipintainen polyuretaanilevy toimii suunnitellusti sekä rakenteen lämmöneriste- että höyrynsulkurakenteena. Mittausjaksolla ei havaittu kosteuden tiivistymistä missään kohtaa rakennetta.

Tutkimusjakson aikana käytetyt kosteusmittausanturit olisi pitänyt kalibroida ainakin kahteen kertaan. Rakenteeseen pysyvästi sijoitettuja antureita ei kuitenkaan ole mahdollista kalibroida. Tämän vuoksi kosteusmittausantureista saatuihin lukemiin tuli suhtautua suuntaa-antavina puolen vuoden jälkeen asennuksesta.

Lähdeluettelo

- [1] Pakkala, T.A., Lemberg, A.M., Lahdensivu, J., Pentti, M. 2016. Climate change effect on wind-driven rain on facades. Nordic Concrete Research. Publication no. 54. Pp. 31-149.
- [2] Lahdensivu, J., Mäkelä, H., Pirinen, P. 2013. Corrosion of reinforcement in existing concrete facades. In de Freitas, V. P., Delgado, J. M. P. Q. (editors) Durability of building materials and components, Building pathology and rehabilitation 3. Berlin. Springer. Pp. 253-274.
- [3] Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Mäkelä, H., Hyvönen, R., Pirinen, P., Lehtonen, I. 2013. Weather data for building physics test reference years in the observed and projected future climate – results from the REFI-B project. Finnish Meteorological Institute Reports 2013:1. Helsinki. 48 p. (in Finnish)
- [4] Sandin, K. 1991. Skalmurskonstruktions fukt- och temperaturbetingelser. Rapport R43:1991 Byggnadsrådet. Stockholm. 107 p.
- [5] Straube, J., Finch, G. 2009. Ventilated wall claddings: Review, field performance and hygrothermal modeling. Research report – 0906. 25 p.
- [6] Straube, J., van Straaten, R., Burnett, E., Schumacher, C. 2004. ASHRAE 1091 – Development of design strategies for rainscreen and sheathing membrane performance in wood frame walls. Review of literature and theory. Report #1. Building engineering group. University of Waterloo. 1150 p.
- [7] Mäkitalo, M., 2012. Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Master's thesis. Tampere. Tampere University of Technology. 134 p. + 37 app.
- [8] Vinha, J. 2007. Hygrothermal performance of timber-framed external walls in Finnish climatic conditions: A method for determining the sufficient water vapour resistance of the interior lining of a wall assembly. DSc thesis. Tampere university of technology. 338 p. + 10 app.
- [9] Vinha, J., Laukkanen, A., Mäkitalo, M., Nurmi, S., Huttunen, P., Pakkanen, T., Kero, P., Manelius, E., Lahdensivu, J., Köliö, A., Lähdesmäki, K., Piironen, J., Kuhno, V., Pirinen, M., Aaltonen, A., Suonketo, J., Jokisalo, J., Teriö, O., Koskenvesa, A., Palolahti, T. 2013. Effects of climate change and increasing of thermal insulation on moisture performance of envelope assemblies and energy consumption of buildings. Tampere University of Technology. Structural Engineering. Research report 159.354 p. + 43 app.
- [10] (source: Finnish Meteorological Institute)

Reaaliaikaiset rakennusfysikaaliset kenttämittaukset – kokemuksia Oulusta

Markku Hienonen¹, Ilkka Ränä¹, Mikko Mielityinen², Jukka-Pekka Savolainen² ja Timo Kauppinen³

¹Oulun Rakennusvalvonta

²Saikotek Oy

³Tmi Mutsal

Tiivistelmä

Rakennusten tiiviys on parantunut ja uusien määräysten johdosta eristekerrokset ovat lisääntyneet. Rakennusfysikaalisessa mielessä riskirakenteita esiintyy kuitenkin edelleen. Uusissa rakennuksissa ei ole tehty kovinkaan paljon rakenteiden toimivuusmittauksia, mallinnuksia sen sijaan enemmän. Korjauskohteista ei seurantamittauksia ja mallinnuksia ole tehty juuri ollenkaan. Rakenteiden toimivuuden selvittäminen on painottunut uudiskohteisiin. Tarve rakenteiden toimivuuden selvittämiseksi korjauskohteissa olisi kuitenkin vähintään yhtä suuri kuin uudiskohteissa. Tässä esityksessä esitetään tuloksia muutamista esimerkkitapauksista Oulussa suoritetuista uusien rakennusten kenttämittauksista. Tehdyt mittaukset viittaavat siihen, että osa nyt käytössä olevista rakenneratkaisuista sisältää tarpeettoman paljon riskejä. Esityksessä on esimerkkejä erityisesti alaohjauspuun ja perustusten liitoskohdista. Lisäksi nostetaan esiin pohdittavaksi kehitysehdotuksia.

1. Johdanto

Rakennusten energiatehokkuuteen liittyvät säädökset ovat tiukentuneet viimeisen kymmenen vuoden aikana Suomessa merkittävästi. Useammassa yhteydessä on keskusteltu siitä, aiheuttavatko tiukentamiset ja käyttöön otettavat uudet rakenneratkaisut rakennusfysikaalisia riskejä. Vähemmän keskustelua on sen sijaan käyty siitä, onko jo aiemmin ja tällä hetkellä yleisesti käytössä olevissa ratkaisuissa tulevaisuuden ennakoituja vaativampia olosuhteita ajatellen riittävä varmuuskerroin ja vikasietoisuus.

Rakennusfysikaalisilla mallinnuslaskelmilla on yleensä analysoitu nk. puhtaiden (ideaalisten) rakennetyyppien toimivuutta ideaalisissa olosuhteissa ilman rakenteissa olevia ”normaaleja” virheitä, kuten esim. ilmapuotoja. Nämä analyysit ja mahdolliset mittauksetkin saattavat antaa liian optimistisen kuvan kokonaisuuden toimivuudesta, erityisesti liitoksissa. Myös kosteusmittauksissa sekä antureilla, piikkimittarilla ja uunikuivatuksessa on todettu selvästi toimituskosteutta tai ulkokuivaa puutavaraa korkeampia kosteuspitoisuuksia. Tällaisilla lähtöarvoilla mallinnuksia ei yleensä ole tehty. Reaaliaikaisissa mittauksissa on myöskin havaittu, että ns. kuivien tilojen sisäolosuhteet saattavat olla yllättävän kosteita (esim. kodinhoitohuone joka mielletään kuivaksi tilaksi, mutta ei käytännössä sitä aina ole) ja tällöin käytettyjen rakenteiden moitteeton toiminta on kyseenalaista. Myös kiintokalusteet voivat sekoittaa seinärakenteen toiminnan. Kodinhoitohuoneessa kiintokalusteiden ollessa ulkoseinää vasten kaapin sisällä ja ulkoseinärakenteen sisäpinnassa lämpötila saattaa olla niin matala, että kosteus kondensoituu pintoihin.

Puun osuus rakentamisessa on todennäköisesti lisääntymässä, kun pientalojen lisäksi myös useampikerroksisten kerrostalojen kantavissa rakenteissa tullaan jatkossa käyttämään puuta.

Uudet palomääräykset mahdollistavat puun käyttöä eri tavalla kuin aikaisemmin myös kerrostalorakentamisessa. Haasteena tässä kehityksessä on, että betonista rakentavat yritykset ovat tottuneet nk. märkään rakentamiseen työmaalla, koska betoni itsessään ei ”säikähdä” vettä. Se vain tulee kuivattaa ennen pinnoittamista riittävästi. Puurakentamisessa tilanne on toinen. Puutavaran ja puuta sisältävien valmisosien/elementtien tulee olla riittävän kuivaa työmaalle toimitettaessa ja niitä ei saa kastella ja märkänä ”piilottaa” rakenteiden sisään.

Oulun rakennusvalvonta on yhteistyössä eri tahojen kanssa (Oulun seudun ammattikorkeakoulu, VTT, Tampereen teknillisen yliopisto, Oulun Yliopisto, alan yritykset ja ammattilaiset) tehnyt suunnitelmallista kehitysyhteistyötä rakentamisen laadun, kosteudenhallinnan ja energiatehokkuuden parantamiseksi yli 15 vuoden ajan. Kehitysprojekteissa partnereina ovat olleet myös Ruotsista Luleån ja Umeån yliopistot ja Norut Narvik Norjasta [1].

Rakennusfysikaalisia kenttämittauksia reaaliaikaisilla rakenteiden sisään asennetuilla antureilla, joista data on kerätty talteen, on tehty yli 7 vuoden ajan [2]. Toimivia antureita on asennettu yli 1000 ja niistä on kerätty merkittävä määrä tietoa. Lähes kaikissa kohteissa on rakenteiden sisällä olevien antureiden lisäksi mitattu sisäolosuhteet ja monissa kohteissa myöskin ulko-olosuhteet paikallisilla sääasemilla ja data on tallennettu. Osa tuloksista on analysoitu (mm. homeindeksit), mutta suurin osa kerätystä datasta on edelleen ”louhimatta”.

Mittausmenetelmät on kehitetty pääosin EU:n Interreg IV A-projektin [2] rahoituksella vuosina 2010–2012 ja niitä pilotoitiin Oulussa sijaitsevassa ”Ekokorttelissa” kuudessa talossa, joihin kuhunkin asenettiin noin 50 rakennusfysikaalista anturia, joista osa on edelleen toiminnassa. Ko. projektissa laitteisiin ja niiden asentamiseen sijoitettiin noin 200 000 € Kehitettyjä antureita ja mittausmenetelmää on hyödynnetty kahdessa Tekesin ja Oulun kaupungin rahoittamassa projektissa, RESCA ja Tulevaisuuden Talot ja Uusiutuva Energia sekä Ympäristöministeriön ja Oulun kaupungin yhteisesti rahoittaman Kuivaketju10-projektin [3] pilottikohteissa, joissa mittalaitteet ja niiden asennuksen ovat rahoittaneet rakentajayritykset. Myös yksityisiä omakotitalokohteita on jonkin verran ollut mittauksissa mukana. Anturointimittausten lisäksi on vertailun vuoksi samojen kohteiden rakenteiden kosteuksia mitattu nk. piikkimittarilla (useita satoja pisteitä) ja rakenteista otettuja näytepalojen kosteuksia on määritetty uunissa kuivattamalla, erityisesti tapauksissa, joissa kosteus on ollut niin suuri, että piikkimittari ei enää ole pystynyt antamaan kosteusprosenttia. Lisäksi on teetetty em. kohteiden rakenteista mallinnuslaskelmia Oulun yliopistossa, Brno:n yliopistossa (Tseki), Tampereen teknisessä yliopistossa ja Oulun seudun ammattikorkeakoulussa. Pääosan kenttämittauksista on toteuttanut Saikotek Oy, joka on myöskin mallintanut muutamien kohteiden rakenteita.

Kosteus- ja homevauriot ovat jatkuvasti esillä, ja vaurioita löydetään myös suhteellisen uusista rakennuksista. Vaurioiden syyt voivat johtua suunnittelu-, rakennus- ja käyttövirheistä tai niiden yhdistelmästä sekä talotekniikan puutteista ja huonosta toimivuudesta. Rakenteelliset puutteet tulisi pystyä estämään rakennusfysikaaliseen toimintaan liittyvien yksityiskohtien huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella. Useiden käytössä olevien rakenneratkaisujen toimivuutta ja vikasietoisuutta käytännön olosuhteisessa ei tarkasti tunneta.

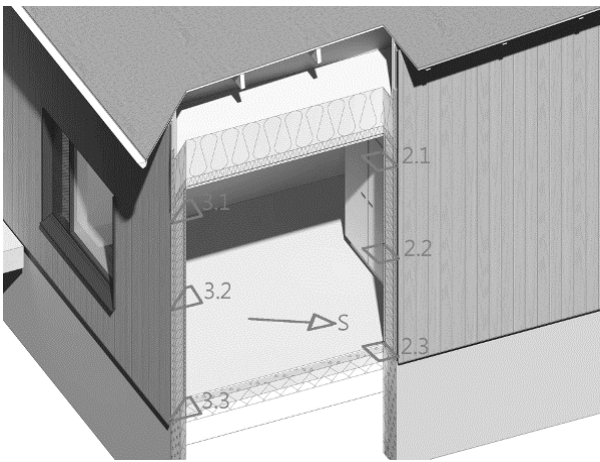
2. Rakennusfysikaalinen toimivuus ja siihen vaikuttavia tekijöitä

Elementtirakenteisten pientalojen rakenneratkaisut voivat vaihdella, samoin rakenteiden yksityiskohtaiset toteutukset. Tehtaalla hallituissa vakio-olosuhteissa valmistettujen rakenteiden ja suunnitelmien mukaisten asennusten johdosta rakenteiden pitäisi periaatteessa toimia paremmin tai ainakin keskenään samalla tavalla verrattuna paikalla rakennettuihin taloihin, joissa

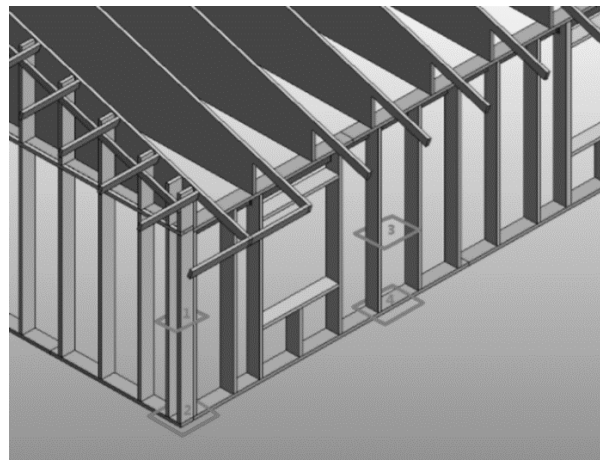
olosuhteista johtuva vaihteluväli saattaa olla suurempi. Tehdasolosuhteetkaan eivät kuitenkaan poista nk. järjestelmävirheitä (jos niitä esimerkiksi kyseenalaisen suunnitteluratkaisun vuoksi esiintyy). On myös tärkeää tiedostaa, että käyttäjä voi muuttaa käyttöolosuhteita selvästi huonommaksi, mihin suunnittelussa ja rakentamisessa on varauduttu.

3. Koekohteet ja mittaukset

Tässä esityksessä esimerkkinä tarkastellaan Saikotek Oy:n mittaamia kohteita [4], [5]. Saikotekilla on yli 20 taloa mittauksessa. Kohteet ovat olleet omakotitaloista kerrostaloihin. Isoin määrä yhdessä kohteessa on 113 lämpötila-/kosteusanturia. Yhteensä reaaliaikaisia lämpö/kosteusantureita on noin 700 kappaletta. Mittaukset tehdään kerran tunnissa ja lähetetään verkkotietotietokantaan. Kuvissa 1 ja 2 on esitetty mittauspisteiden sijainti-periaate rakennuksen ulkonurkassa sekä ulkoseinällä.



Kuva 1. Mittauspisteiden sijoittelu (elementtirakenne).

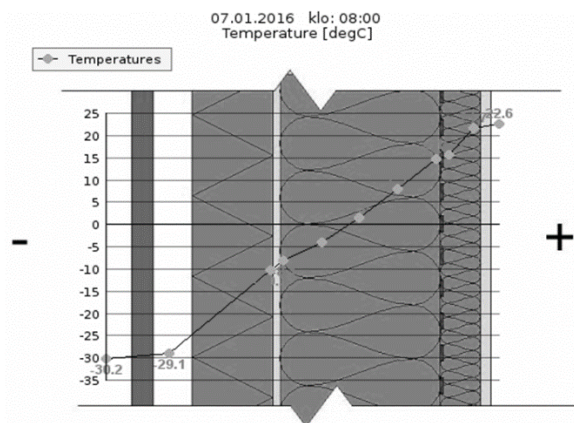


Kuva 2. Mittauspisteiden sijoittelu (paikalla rakennettu kohde).

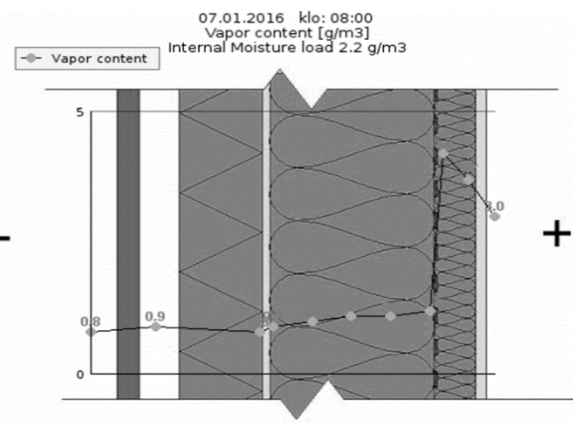
Mittauspisteiden suunnittelussa on tärkeää, että mittauspisteet edustavat myös rakennusfysiikan kannalta kriittisiä kohtia, kuten ulkonurkan ja perustuksen liitoskohdat. Kohteissa on mitattu kunkin mitattavan kohdan lämpötila- ja kosteusprofiili rakenteen yli.

4. Mittaustuloksia

Mittaustulokset on koottu erityyppisistä pientaloista. Tavanomainen rakennusfysikaalinen tarkastelu voidaan tehdä rakenteellisesti yksinkertaisista paikoista, esimerkiksi suoran seinän ja eristekerroksen kohdalta. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty erään ulkoseinärakenteen lämpötila- ja kosteusprofiili. Kuvan 3 lämpötilaprofiili on laskennallisen profiilin mukainen, samoin kosteusprofiili. Mikäli kosteusjakauma ja lämpötilajakauma poikkeaisivat merkittävästi kuvien 3 ja 4 esittämästä tilanteesta, kyseessä voisi olla ilmavuoto, eristevirhe tai esimerkiksi poikkeavat painesuhteet ulko- ja sisätilan välillä ilmavuotokohtaan yhdistettynä.



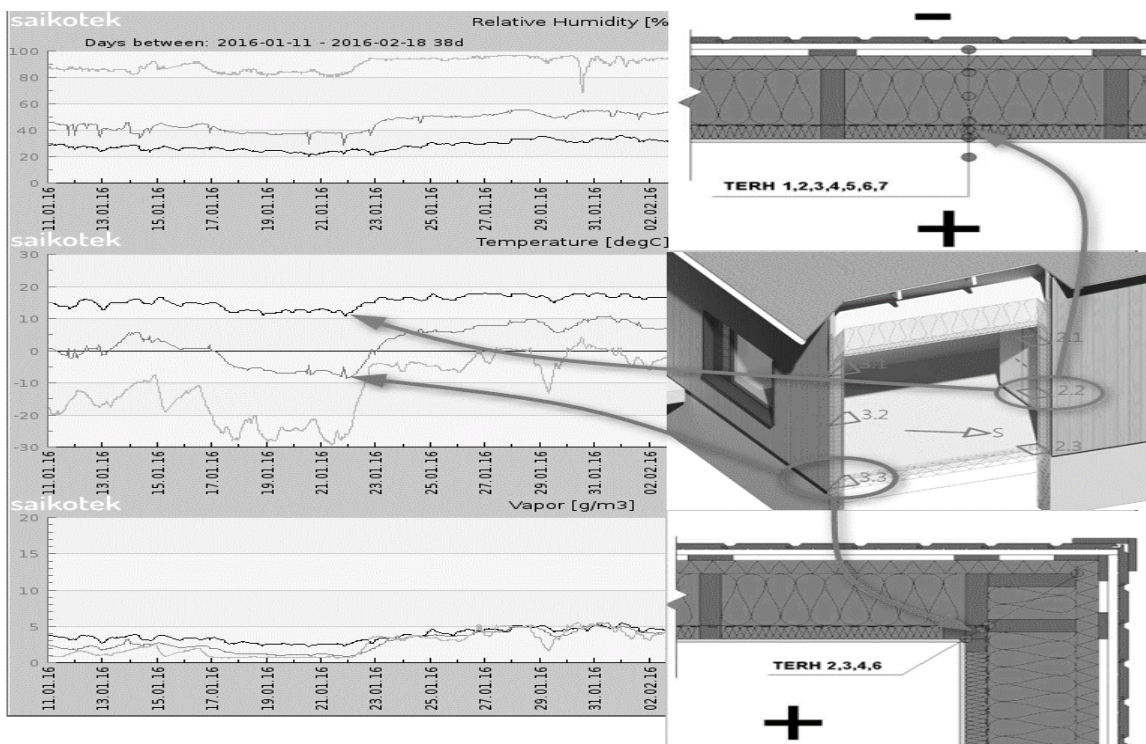
Kuva 3. Lämpötilaprofiili rakenteen yli.



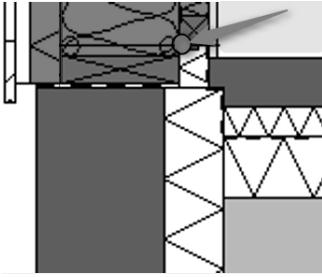
Kuva 4. Kosteusprofiili.

Tutkimalla ja simuloimalla kaksiulotteisesti voidaan löytää hieman haasteellisempia kohtia. Mittauksilla ja simuloimalla voidaan tuloksia tarkastella myös kolmiulotteisesti, jolloin voidaan osoittaa varsinkin rakennuksen nurkissa ylä- ja alapohjaliittymissä rakennusfysikaalisesti ongelmallisia paikkoja. Kuvassa 5 on esimerkki siitä, miksi rakenteiden analyysi suoralta seinältä ole riittävä. Pitää tarkastella myös nurkkia ja alapohjaliittymiä (kuva 6). Mittauspisteet ovat höyrönsulun sisäpuolella. Alajuoksun päällä nurkassa höyrönsulun sisäpuolella ollut matalimmillaan -8°C . Alimmillaan höyrönsulun sisäpuolelta on mitattu -18°C , ulkolämpötilan ollessa vastaavasti lähes -30°C . Suoran seinän osalla vastaava lämpötila on n. 10°C luokkaa.

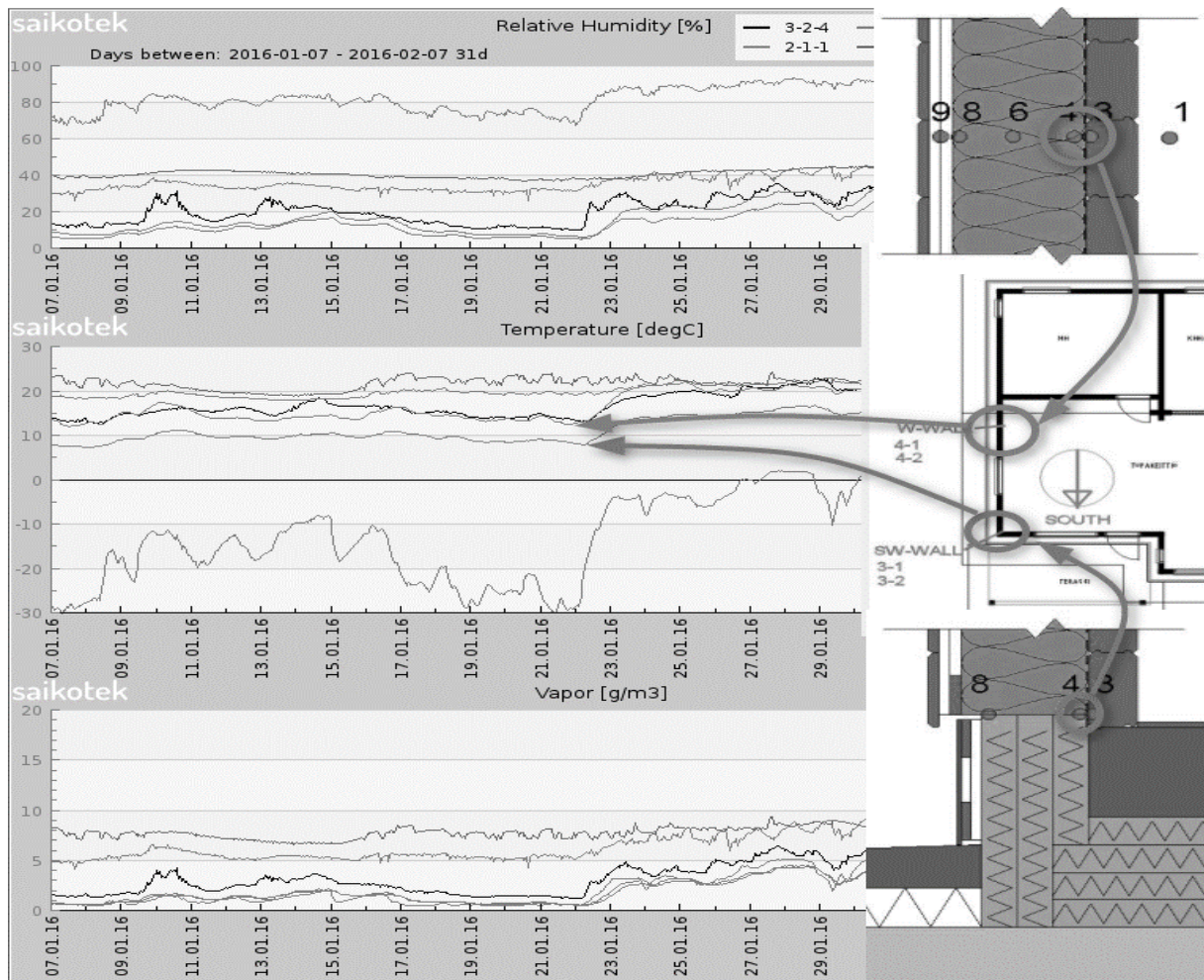
Kuvassa 6 on esitetty vastaavat tulokset rakenteesta, missä reunavahvistetun teräsbetoni laatan päälle on tehty hirsitalo ulkopuolisella lisäeristyksellä. Laatan ulkopuolella on 210 mm uretaanilevy, hirsi 135 mm sekä lisäeristys 250 mm. Ulkonurkan ja ulkoseinärakenteen keskeltä mitatut pintalämpötilat ovat n. 8°C ja 13°C , lämpötilaero mittauspisteiden välillä luokkaa 5°C kun se edellisessä kohteessa oli luokkaa 18°C .



Kuva 5. Ulkonurkan mittausprofiili.



Kuva 6. Perustuksen ja ulkoseinän liittymä.

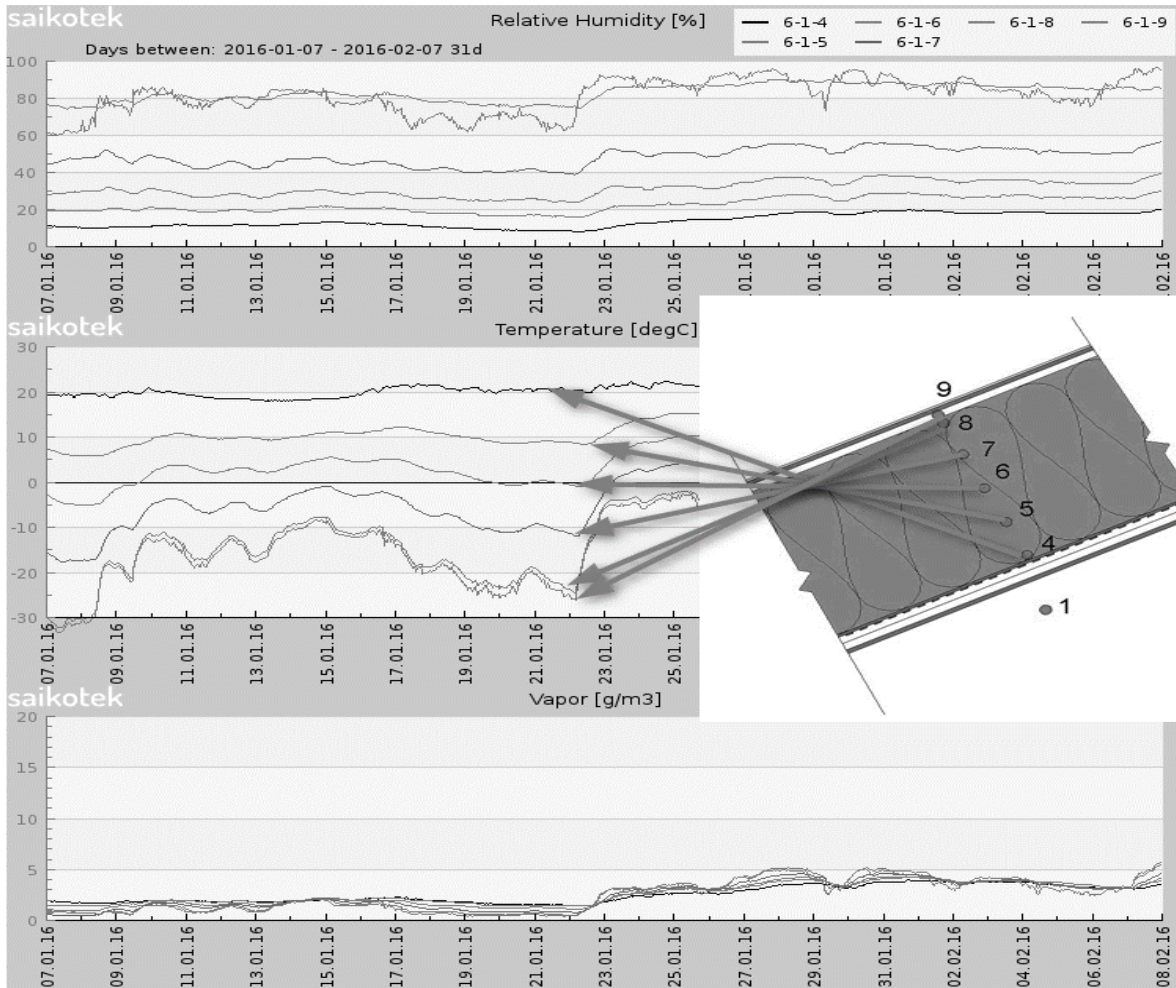


Kuva 7. Hirsirakenteinen seinä, ulkopuolinen lämmöneriste.

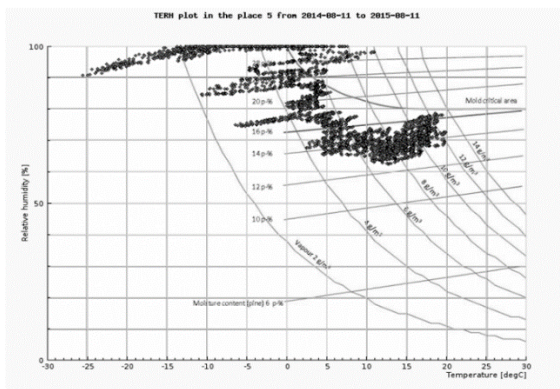
Kuvassa 8 on esitetty yläpohjarakenteen lämpötila- ja kosteusjakauma. Rakenne: 500 mm puhallusvillaeristekerros, höyrynsulku ja tuulensuojakangas. Höyrynsulun takana lämpötila on n. 21 °C, eristekerroksen yläosassa lämpötila on lähellä ulkolämpötilaa. Lämpötilajakauma noudattaa laskennallista jakaumaa, pisteen 6 lämpötila on n. 0 °C.

Kuvissa 9 ja 10 on esitetty alajuoksun päältä lämpötila-suhteellinen kosteus hajonta(scatter)-kuvaaja erästä koekohteesta rakennustalvena ja samasta paikasta, kun rakennus on asuttuna. Punainen käyrä kuvien oikeassa ylänurkassa on rajana homeen muodostumiselle [6]. Rakentamisaikana alajuoksun päällä on ajoittainen riski. Kun rakennus on ollut asuttuna, se on satunnainen, kun lämpötila on välillä 10–15 °C ja puun kosteus n. 18 %. Kuvassa 11 on esitetty perustusten ja alajuoksun välistä lämpötila-suhteellinen kosteus hajonta(scatter)-kuvaaja. Olosuhteet ovat ison osan riskialueella.

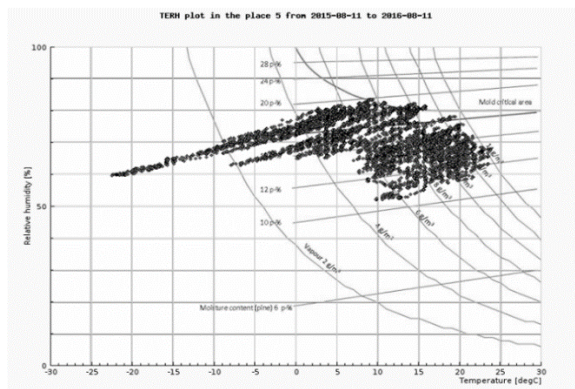
Kuvissa 12 ja 13 on esitetty seinärakenteen kosteuslisä mustalla verrattuna ulkoilmaan. Tämä rakennus oli lisäeristetty pari kuukautta aikaisemmin. Eriste oli märkäpuhallettu hirsiseinän sisäpuolelle. Kuvan 13 mittaukset ovat kuvan 12 paikasta 3 (hirsiseinän sisäpinta) 150 cm lattianpinnasta. Kriittinen vesihöyryn pitoisuus (sininen viiva) on kriittinen raja [6], jonka yläpuolella on homeenkasvulle suotuisat olosuhteet. Mittausten mukaan ollaan kriittisen rajan yläpuolella.



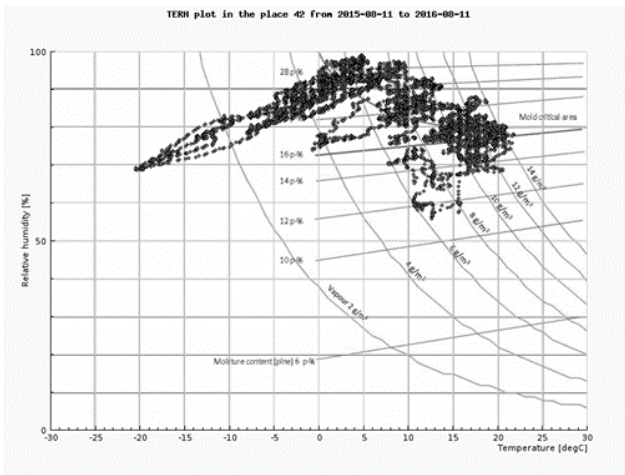
Kuva 8. Yläpohjarakenteen lämpötila- ja kosteusjakauma.



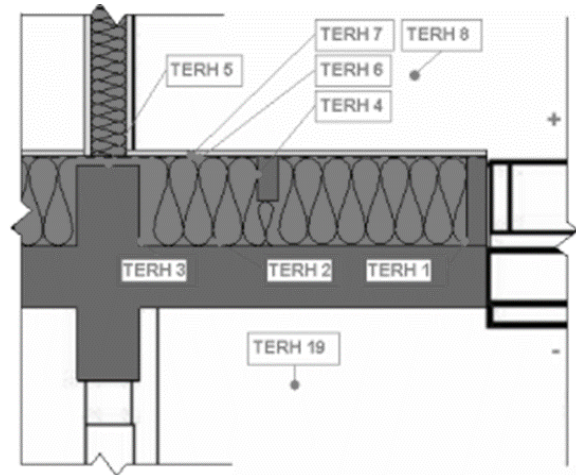
Kuva 9. Alajuoksun lämpötila-RH hajontakaavio (rakennusaikainen).



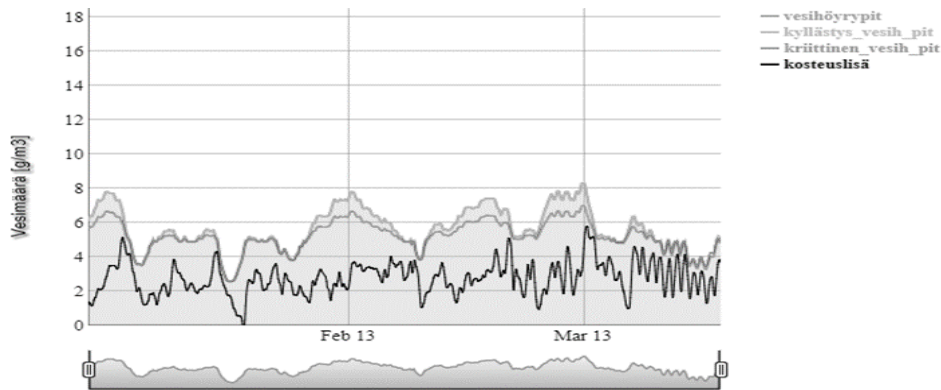
Kuva 10. Alajuoksun lämpötila-RH hajontakaavio (käytössä).



Kuva 11. Alajuoksun-perustusten välinen lämpötila-RH hajontakaavio.

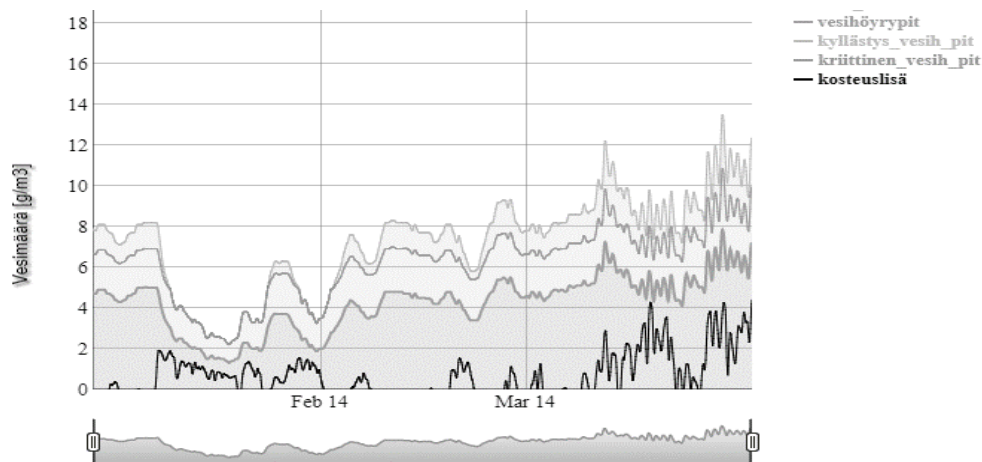


Kuva 12. Hirsiseinä-rakenne.



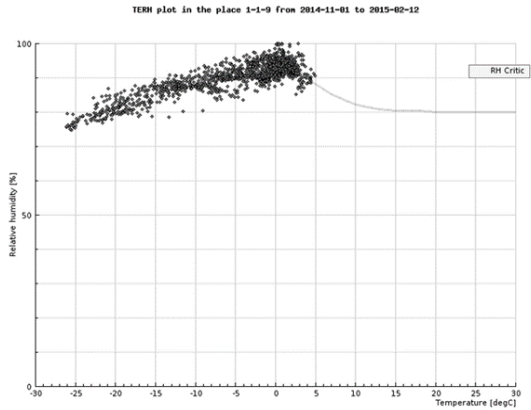
Kuva 13. Lisäeristetyin hirsiseinän kosteuspitoisuudet 2 kk lisäeristämisen (märkäpuhallus) jälkeen.

Kuvassa 14 on esitetty kuvan 13 esittämä tilanne seuraavana kesänä eli noin kahdeksan kuukauden päästä. Seinärakenteessa olevat anturit alkoivat näyttämään alle sadan prosentin kosteuksia. Sama tilanne oli vuoden päästä. Ollaan turvallisella puolella kriittistä kosteuspitoisuutta.

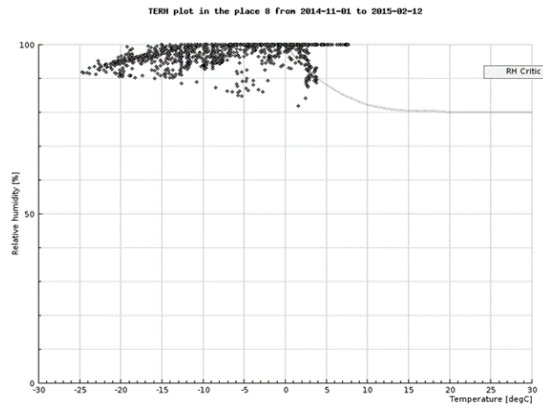


Kuva 14. Kosteuspitoisuudet n. 8 kuukauden kuluttua.

Kuvissa 15 ja 16 on esitetty ulkoseinän tuuletusvälin vertailu samalta ajanjaksolta kahdesta kohteesta lämpötila-suhteellinen kosteus hajonta(scatter)-kuvaajana. Kohde 1 on sisämaassa (Utajärvi) ja kohde 2 rannikolla (Oulu). Kohteessa 2 esiintyy riskialueella olevia arvoja. Mahdolliset mittausvirheet ja rakennepoikkeamatkin huomioon ottaen rakennuksen sijainnilla (mikroilmaston eroavuudet) on merkitystä rakennusfysikaaliseen toimintaan.

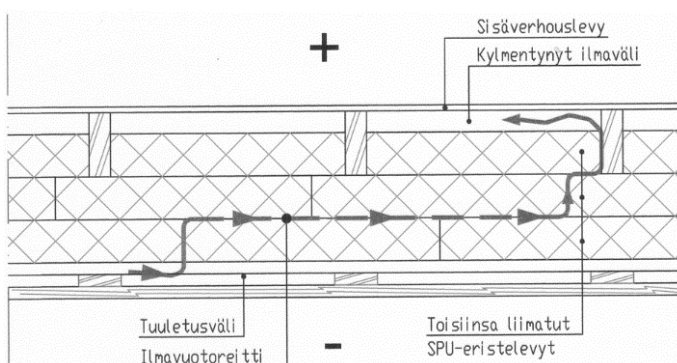


Kuva 15. Tuuletusvälin T-RH-hajontakaavio, kohde 1.



Kuva 16. Tuuletusvälin T-RH-hajontakaavio, kohde 2.

Kuvassa 17 on esitetty elementtirakenteinen asuinrakennuksen liimaamalla valmistettu PU-eristeinen seinä. Rakenne oli periaatteessa ilmatiivis. Koko rakennuksen ilmavuotoluku n_{50} oli $<0,5$ 1/h. Kyseisestä rakenteesta mitattiin paikallisesti sisäpuolelta lähes ulkoilman lämpötilassa oleva ilmavuoto kohta. Ilmavuotoreitti johti vaakatasossa eristekerrosten välistä runkorakenteen kautta sisään huoneilmaan (ei siis suoraan havaitusta pintalämpötilakohdasta). Lämpökameran kuvassa runkotolppien välinen ilmatila ja sisäverhouslevy olivat huomattavasti ympäristöään kylmempiä ja runkorakenne ja kipsilevy oli sisäilman kosteudesta johtuen märkä (kondenssi). Koska kyseessä oli ilmatiivis eriste ja paine-erot (sisä-ulko) olivat sopivat, eristekerrosten rajapinnassa kulkeutunut vuotoilma ei juurikaan ehtinyt lämmitä. Jos kyseessä olisi ollut esimerkiksi mineraalivillaeriste, olisi vuotoilma hajaantunut eristeeseen ja lämmennyt. Tässä tapauksessa ilmavuotoreitti toimi kuten hyvin eristetty putki, ja kyseessä oli valmistus/rakennevirhe/materiaalivirhe (ei ole voitu varmentaa) [7]. Ilmavuotoluvultaan erittäin hyvä rakennus sisältää lämpöviivyyttä ja kosteusturvallisuutta merkittävästi alentavan kylmän alueen.



Kuva 17. PU-seinä.

5. Johtopäätökset

Kun eristekerrokset kasvavat, yksittäisten ilmapuotokohtien, kylmäsiltojen (liitoksen geometria muuttuu, jolloin lämmönsiirtopinta-ala kasvaa) sekä mahdollisten rakennusvirheiden paikallinen merkitys lisääntyy. Käytettäessä ilmasuljettuja eristerakenteita joiden lämmönjohtavuus on erittäin pieni, päästään oleellisesti ohuenpiin rakenteisiin, mutta pistemäiset vuotokohtat voivat olla erittäin haitallisia ja vaikeasti havaittavia ilman lämpökuvausta. Rakennuksen tavanomainen tiiveysluku ei usein kerro tästä asiasta mitään (Oulussa tavanomainen arvo on 0,5–1,5 välillä pientalossa). Lisäksi osittain tai kokonaan eristekerroksen sisällä olevia suhteellisen hyviä lämmönjohtimia tulisi välttää, jos materiaali on sellaista, joka sitoo itseensä kosteutta (esimerkiksi runkopuu).

Kodinhoitotilojen höyrynsulun sisäpuolelta suurelementtikohteesta on mitattu -3 °C lämpötiloja suoralta seinältä (kalusteet ulkoseinää vasten). Kyseisessä tapauksessa kodinhoitohuoneesta on mitattu selvästi isommat kosteuslisät verrattuna muuhun taloon yli (5g/m^3). Myös raskaitten ulkoseinässä kiinni olevien muiden kalusteiden takana voi esiintyä kosteutta [7].

Rakennusfysikaalinen tarkastelu tulisi olla osana suunnitelmia. Riskirakenteet tulee tunnistaa nykyistä paremmin ja suunnittelu kohdistaa erityisesti niihin. Detaljien toteuttamiseen pitää kiinnittää erityistä huomiota. Hyvin toteutetuissa rakennuksissa mallintaminen antaa hyviä tuloksia, jotka vastaavat käytännössä mitattuja. Mallintamisella nähdään myös kriittiset kohdat.

Rakennusfysikaalinen tarkastelu tulisi tehdä aina kaikille rakenteille, mutta tarkastelussa on täysin mahdotonta ottaa huomioon mahdollisia rakennusvirheitä. Tämä tuo nykyistä selkeämmän rajapinnan vastuu asioissa suunnittelun ja työmaatoteutuksen välille. Arvattavissa olevia virheitä on mahdollista jossain määrin simuloida, mutta esimerkiksi esitelmässä esitetty PU-levy eristeisen seinärakenteen ilmapuotoa ei kukaan voi arvata, kuinka kaukaa ilma levyjen välissä tulee. Huomattavaa on, että ilmapuoto voi jäähtyä seinän ratkaisevasta paikasta erittäin laajalta alueelta. Tällä hetkellä tyypillisesti rakennusfysikaalista tarkastelua ei tehdä suunnitteluvaiheessa ja uusien asetusten myötä tapahtunut virhe jää suunnittelijan vastuulle, jos rakennetta ei ole suunniteltu toimivaksi.

Tällä hetkellä markkinoilla olevilla kosteusmittaustekniikoilla ja -menetelmillä ei voida jatkuvana seurantamittauksena osoittaa, että rakennuksessa olisi kaikki kosteusteknisesti kunnossa. Suunnitteluvaiheessa voidaan mallintamalla osoittaa, että rakennuksen kaikki rakenteet toimivat suunnitelluissa käyttöolosuhteissa rakennuksen käyttöiän. Mallintamalla voidaan määritellä rakenteet heikkoudet käyttöolosuhteiden muuttuessa ja näitä kriittisiä pisteitä tulisi seurata lämpötila- ja kosteusmittauksin. Mikäli suunnitellut raja-arvot ylittyvät, mitä sitten tehdään – puretaanko talo, vai todetaanko vain, että tämä on huono?

Rakennusten mittauksiin perustuvaa ladunvarmistusta ja menetelmiä tulee edelleen kehittää – voidaan myös harkita, tarvitaanko uudis-/korjausrakentamisessa kiinteitä mittauksia ja miten ne voidaan järjestää. Lisäksi rakenteissa olevien antureiden kalibrointi ja mittaustarkkuus sekä mittausten pysyvyys voivat olla ongelmia.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksesta Suomessakin sääolosuhteet voivat muuttua siten, että kosteusrasitus (tuuli ja sateet) rakenteita vasten lisääntyvät ja lämpötilan vaihtelu nollan molemmin puolin lisääntyy (sulaminen – jäätyminen). Ilmeisesti osa nykyisillä rakennustavoilla toteutetuista rakenteista voi sisältää riskejä, ja myös olemassa olevassa rakennuskannassa riskit lisääntyvät. Mittapisteiden lisääntyessä tulosten käsittely ja raportointi tulee vaativammaksi. Pelkällä raakadatalla ei ole merkitystä, ellei sitä muokata visuaalisesti ja tilastollisesti sellaiseen

muotoon, että eri rakenteiden ja rakennusosien toimivuus ja ongelmakohdat tulevat selvästi esiin. Mittaus- ja tiedonsiirtotekniikan kehitys tekee mahdolliseksi rakennusten laajamittaisen instrumentoinnin entistä pienemillä kustannuksilla. Mittaukset eivät kuitenkaan ole itsetarkoitus, vaan niiden tulee tukea rakennuksen käyttöä, toimivuutta ja energiatehokkuutta.

6. Yhteenveto – mitä voisi parantaa ja kehittää

On erittäin edullista esimerkiksi elementtitehtaalla tehdä tietyt ”vakio”-liitosdetaljit, joihin on tehty rakennusfysikaalinen simulointi. Tehdas ilmoittaa, että vain näitä saadaan käyttää, jotta voidaan osoittaa, että vaatimukset täyttyvät. Vastaava ajatusmalli löytyy Saksasta, jossa viranomaiset ovat julkaisseet listan, mikä detalji pääsääntöisesti on sallittu. Suomessa jokainen kohde ja jokainen liitos pitää laskea erikseen, jotta vaaditut suoritusarvot saavutetaan rakennuksen. Valitettavasti suurin osa tarkasteluista jää puolitiehen, kuten rakenteen lujuus, rakennusfysikaalinen toimivuus, käyttörasitusluokkien tuomat ulkoiset kuormitukset (UV:n kesto tai lämpötilan vaihtelu yms.).

Rakennusvauriot tulevat yleensä esiin vasta pitkän ajan kuluttua korjausten tai uudisrakennuksen käyttöönoton jälkeen. Tyypillinen tapaus peruskorjauskohteissa on ollut sisäolosuhteiden heikkeneminen, kun ilmanvaihtoa on muutettu tai tehostettu (koulut, päiväkodit, liikerakennukset, toimistot). Rakenteissa olevat pitoisuudet ovat tulleet sisäilmaan, kun painesuhteet ovat muuttuneet ja ilmanvaihtoa on tehostettu ja rakenteet eivät ole olleet tiiviitä. Pientaloissa ongelmat ovat tulleet jopa yllätyksenä esiin myyntitilanteessa, kun rakennuksessa on tehty kuntotutkimus. Uudet asukkaat tai käyttäjät ovat voineet saada oireita, joiden syitä on jouduttu selvittämään eri oikeusasteissa. Rakenteiden ja erilaisten ratkaisujen toimivuutta tulisi selvittää nykyistä paremmin, ja apuna voidaan käyttää mallinnus- ja simulointiohjelmistoja. Lisäksi tarvittaisiin kenttämittauksia todellisissa olosuhteissa. Rakennuksia ei kuitenkaan voida instrumentoida kuten autoja tai teollisuuslaitoksia, vaikka tekniikka siihen on olemassa. Lisäksi mittausten kalibrointi ja pysyvyys tuottaisi ongelmia. Rakennusten toimivuus riippuu rakenteiden lisäksi myös taloteknisten järjestelmien toiminnasta, käytöstä ja käyttäjistä sekä rakennuksen sijainnista ja sääolosuhteista. Kysymys on kuitenkin merkittävistä taloudellisista arvoista ja yksittäisten asunnon omistajien kohdalla jopa pahimmassa tapauksissa elinolosuhteiden perustan romahtamisesta. Rakennusvaurioiden syistä ja seurauksista on riittänyt keskustelua, mutta edelleenkin osa rakennuksista sisältää ainakin vaurioriskin.

Lähdeluettelo

- [1] <http://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/>
- [2] <http://www.oamk.fi/hankkeet/ieeb/>
- [3] <http://kuivaketju10.fi/>
- [4] Saikotek Oy:n kohdekohtaiset mittausraportit (ei julkaistu)
- [5] Kosteusmittausten hyödyntäminen käytännön rakentamisessa, <https://www.tulevaisuudentalot.fi/esitykset-ja-artikkelit/>
- [6] Vinha, J., K. Salminen, H. Viitanen, and T. Ojanen. 2006. Mathematical analysis of mould growth risk in building envelopes. CIB W 40 Building Science Forum 2006, September 5–6, Syracuse, USA.
- [7] Oulun rakennusvalvonta, tiedonanto

Sisäilman olosuhteiden jatkuva valvonta

Janne Heinonen¹, Virpi Leivo² ja Pirkko Pihlajamaa³

¹ Enermix Oy

² Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

³ Tampereen ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutus

Tiivistelmä

Sisäilmaongelmien perinteiset tutkimusmenetelmät perustuvat pääsääntöisesti tilojen käyttäjien kokemuksiin ja palautteeseen ja joskus haastatteluihin ja oirekyselyihin, sekä kertaluontoisiin näytteenottoihin, mittauksiin ja niihin liittyviin tutkimuksiin. Tässä tutkimuksessa lähtökohdaksi on otettu jatkuvan mittauksen menetelmä ja pyritään selvittämään voidaanko tällaisella menetelmällä saavuttaa lisäarvoa perinteisiin menetelmiin verrattuna.

Projekti on edennyt noin puoleenväliin ja tähän mennessä on tehty muutamia havaintoja, jotka antavat indikaatiota siitä, että jatkuvalla mittausmenetelmällä voidaan havaita mm. ilmanvaihtoon liittyviä ongelmia jo ennen kuin niistä aiheutuu tilojen käyttäjille sisäilman laatuongelmia.

Hankkeessa on mukana myös kaksi tutkimuslaitosta, jotka laajentavat hankkeen kattavuutta mm. käyttäjähaastatteluin, verrokkimittauksin sekä kerätyn datan analysoinnin kautta. Lisäksi tässä hankkeessa saatuja tuloksia verrataan aikaisempiin tutkimustuloksiin.

1. Johdanto

Kiinteistöjen erilaiset sisäilman ongelmat ovat olleet jo vuosia tiedossa. Esimerkiksi monissa kouluissa ja päiväkodeissa on todettu vakavia puutteita sisäilman laadussa. Ongelmiin on puututtu yleensä vasta siinä vaiheessa, kun tilojen käyttäjät ovat alkaneet oireilemaan. Ongelmien selvittämiseen ja korjaamiseen voidaan käyttää merkittäviä summia ja tehtyjen korjausten vaikutus tyypillisesti mitataan korjaustyön jälkeen korkeintaan yksittäisillä mittauksilla.

Jatkuvalla sisäilman olosuhteita mittaavilla menetelmillä voidaan havaita tiettyjä rakenteiden toimivuuden tai ihmisten hyvinvoinnin kannalta epäedullisia olosuhteita välittömästi niiden ilmaantuessa. Tällöin korjaaviin toimenpiteisiin voidaan ryhtyä jo ennen kuin olosuhteet aiheuttavat vaurioita itse rakennukselle tai ihmisten hyvinvoinnille.

Esimerkiksi korkea ylipaine ja sisäilman suhteellinen kosteus voi ajan myötä aiheuttaa kosteusvaurion rakenteisiin. Toisaalta merkittävä alipaine voi imeä sisäilmaan epäpuhtauksia esimerkiksi alapohjasta tai rakennusmateriaaleista. Korkea hiilidioksidipitoisuus puolestaan voi aiheuttaa ihmisissä oireilua kuten väsymystä, keskittymiskyvyn heikkenemistä tai päänsärkyä. Sekä tavallisuudesta poikkeava paine-ero että korkea sisäilman hiilidioksidipitoisuus indikoivat usein ilmanvaihdon ongelmista. Toisaalta tiedetään, että sisäilmaongelmia aiheuttaa myös monet muut asiat, joita käytettävissä olevat mittausmenetelmät eivät välttämättä paljasta.

Tässä artikkelissa esitellään vielä käynnissä olevaa tutkimushanketta, jossa testataan ja verifioidaan jatkuvan sisäilman olosuhdemittausjärjestelmää.

2. Projektin aikataulu ja budjetti

Projekti alkoi helmikuussa 2017 ja kestää vuoden 2018 huhtikuun loppuun asti. Hanke koostuu neljästä vuodenaikaan sidotusta kaudesta (kevät 2017, kesä 2017, syksy 2017 ja talvi/kevät 2018). Hankkeen kokonaisbudjetti on 145 000€, josta 50% on omarahoitusosuus (Enermix Oy) ja 50% Tekes. Tulokset tulevat olemaan julkisia projekti päättyttyä.

3. Tutkittavat kohteet ja tiedonkeräys

Hankkeessa tutkimuskohteina on kolme asuinkerrostaloa sekä kolme päiväkotia. Kerrostaloista kaksi sijaitsee Tampereella ja yksi Espoossa. Päiväkodeista kaksi on Tampereella ja yksi Nokiilla.

Olosuhteiden jatkuvaan mittaukseen sisältyy neljä suuretta:

1. lämpötila
2. ilman suhteellinen kosteus
3. hiilidioksidipitoisuus (CO₂)
4. paine-ero (sisä-ulkoilma).

Tämän lisäksi Tampereen ammattikorkeakoulun tutkimusosuudessa suoritetaan verrokki- ja täydennysmittauksia.

4. Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimusprojektille on asetettu kolme päätavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena on selvittää, kuinka jatkuvilla mittauksilla saadaan riittävän luotettava kuva sisäilman olosuhteista ja laadusta ja tulisiko palveluun sisällyttää mahdollisesti muita suureita riittävän kattavuuden saavuttamiseksi.

Toisena tavoitteena on tutkia, pystytäänkö olosuhteiden jatkuvalla mittaamisella ja siihen liitettyllä lämmityksen ja/tai ilmanvaihdon ohjausmekanismilla myös vaikuttamaan ja ohjaamaan eri sisätilojen lämpötilatasoa riittävän luotettavasti ja tarkasti ja miten lämpövirrat huoneistojen välillä käyttäytyvät. Yhtenä esimerkkinä kerrostalon huoneistokohtainen lämpötilan säätö, jolloin asukas voi itse päättää haluamansa lämpötilan asuntoonsa. Palvelu voisi mahdollistaa myös yhtiövastikkeen määräytymisen sisälämpötilan mukaan, joka puolestaan ohjaisi asukkaita energiansäästöön (vrt. huoneistokohtainen vedenkulutuksen mittaus ja laskutus).

Kolmantena tavoitteena on arvioida, kuinka merkittävä vaikutus hyvällä sisäilmaolosuhteella on rakenteiden home- ja kosteusvaurioiden syntymisen ehkäisyyn ja kuinka luotettavasti tämä voidaan tällä menetelmällä osoittaa.

Lisäksi tavoitteena on testata mitta-antureiden toimintavarmuutta pitkäaikaisissa jatkuvissa mittauksissa.

Tutkimukseen osallistuu tutkimusosapuolina Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikka (TTY) ja Tampereen ammattikorkeakoulu, Talotekniikan koulutus (TAMK).

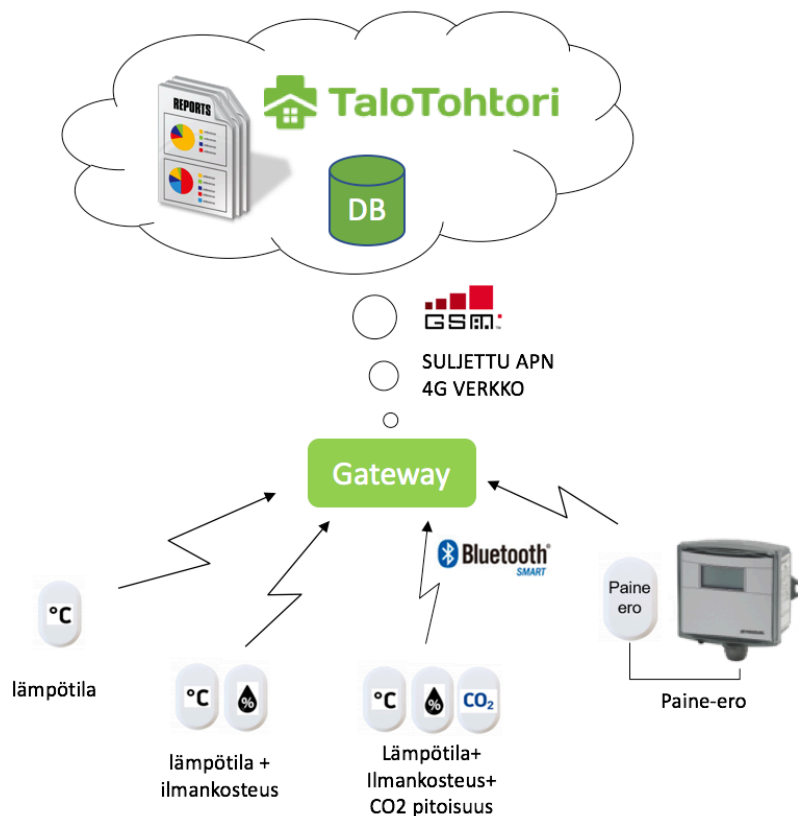
TTY:n tehtävänä on mittausdatan ja asukkailta ja käyttäjiltä kerättävän datan analysointi ja tulosten vertaaminen aiempien tutkimusten tuloksiin, mm. INSULATE-hankkeen tuloksiin,

Lisäksi määritetään eri sisäilman mittaussparametreille erilaisia käyttökelpoisia indikaattoriarvoja (max/min, 1h/24h keskiarvo,...) ja mittaustulosten reaaliaikaisessa raportoinnissa käytettävät raja-arvot ja hälytysrajat sekä arvioidaan yhdessä järjestelmän käytettävyyttä sisäilman laadun arvioinnissa

TAMK:n tehtävänä on tehdä olosuhteiden verrokkimittausta ja täydennysmittausta (lämpötila, operatiivinen lämpötila, kosteus, melu, valaistusvoimakkuus, CO₂-pitoisuus, paine-eromittaus sisä- ja ulkoilman välillä) noin viikon mittausjaksolta TAMK:n mittalaitteilla sekä haastatella asukkaita ja käyttäjiä. Samalla arvioidaan kohteena olevien tilojen toimivuutta ja olosuhteita luovaa talotekniikkaa sekä yleistä kuntoa silmämääräisesti yhteistyössä tilojen käyttäjien kanssa taustaselvityksineen mm. koska viimeksi huollettu. Lisäksi arvioidaan tilan käyttötärpeen mukaista valaistusta ja sen ohjausta, mm. mittamalla riittävää valo-olosuhdetta pidemmän seurantajakson aikana ja määrittämällä valaistuksen huoltotarvetta. Lisäksi TAMK tarkistaa mittaussanturien tarkkuuden pysyvyyden kolmessa vaiheessa: alussa ennen anturien paikalleen vientiä, puolivälissä tutkimusta ja lopussa.

5. Keräysmoduulit

Jatkuva mittaus perustuu kaupallisesti saatavilla oleviin tiedonkeräysmoduuleihin (valmistaja Ceruus Oy), jotka tallentavat mittaamaansa suuret omaan muistiin ja välittävät lukemat Talotohtori Gatewaylle Bluetooth signaalilla. Gatewayt välittävät lukemat lähes reaaliajassa Enermix Oy:n kehittämään Talotohtori pilvipalveluun suljetun 4G APN verkon välityksellä. Kerätty data visualisoidaan graafisina kuvaajina Talotohtori Dashboard-palvelussa. Lukematiedot luetaan ja tallennetaan tietokantaan tyypillisesti 3min välein. Periaate on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tiedonkeräyksen periaate.

6. Referenssimittaukset

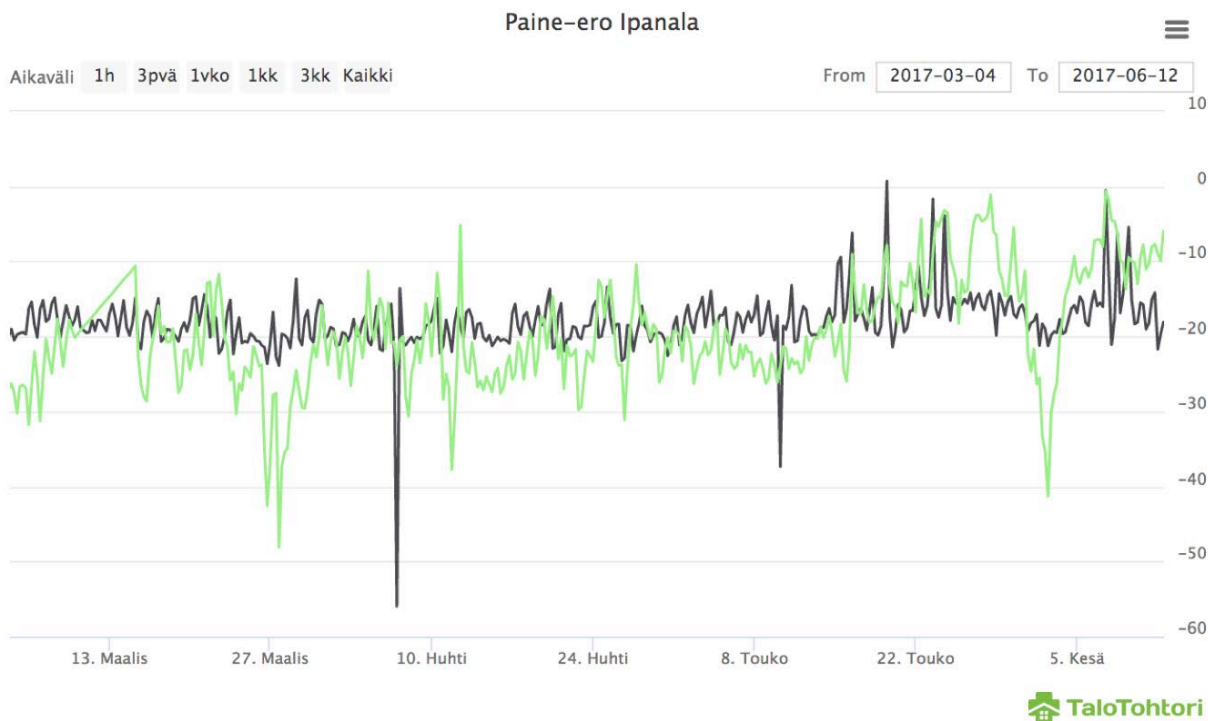
Keräysmoduuleille tehtiin Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa ensimmäiset referenssimittaukset ennen moduulien toimitusta kohteisiin. Projektin aikana referenssimittauksia tullaan tekemään yhteensä kolme kertaa. Referenssimittauksien tarkoitus on selvittää keräysmoduulien mittatarkkuus ja tarkkuuden pysyvyys ja siten varmistaa olosuhdemittauksen luotettavuus.

Yleishuomiona mittauksista voidaan todeta, että mittaustarkkuus, sekä anturivalmistajan määrittelemä että referenssinmittauksen mukaan, on riittävä tämän projektin tarpeisiin nähden. Mittauksissa kuitenkin ilmeni, että CO₂ lukemat poikkeavat merkittävästi erityisesti alhaisissa lukemissa. Tämä voi johtua laitteiden puutteellisesta tehdaskalibroinnista. Lisäksi mittauksissa ilmeni pelkkää lämpötilaa keräävien moduulien systemaattinen ja tasainen, noin asteen ero tarkempaan anturiin (Vaisala), joka voi samoin johtua puutteellisesta tehdaskalibroinnista.

7. Havainnot

Tätä artikkelia kirjoitettaessa tutkimus on edennyt n. puoleenväliin ja kaksi ensimmäistä mittauskautta on takana. Tähän mennessä on tehty mm. seuraavat havainnot:

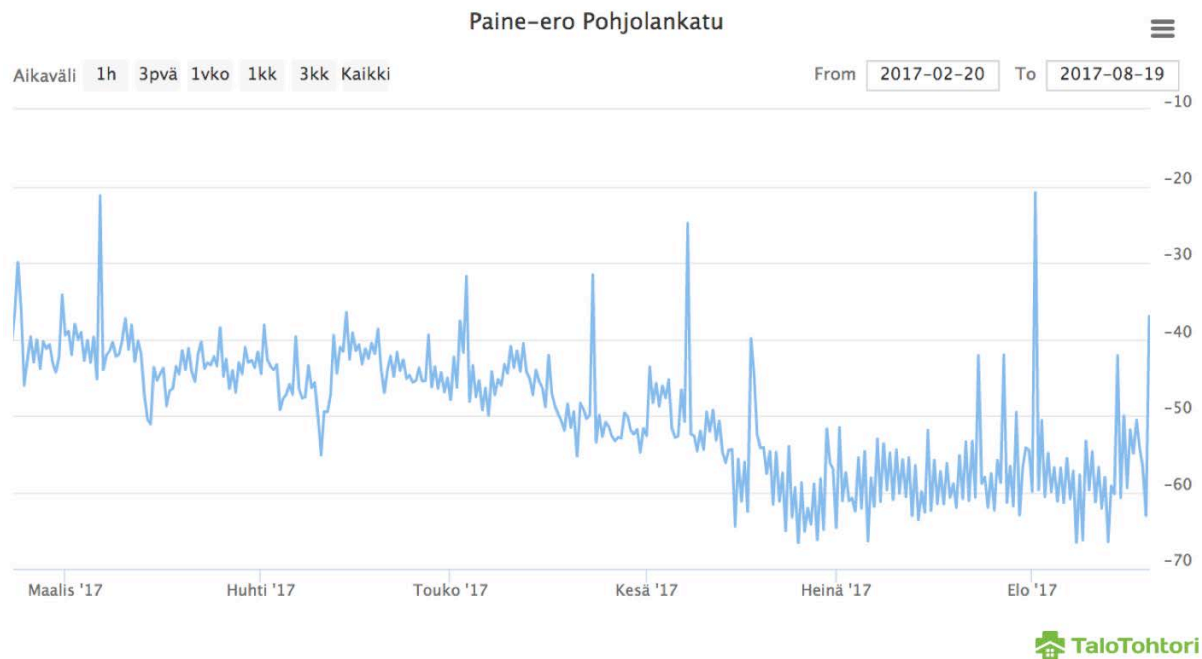
- Kiinteistön vaipan yli vaikuttava paine-ero on yksi indikaattori mittaamaan koneellisen tulo/poistoilmanvaihdon toimivuutta. Koneellisessa tulo/poistoilmanvaihdossa sisätilan tulisi olla lievästi (0...-2 Pa) alipaineinen [1] ja jatkuvissa mittauksissa on havaittu paineeron vaihtelevan merkittävästi ollen keskimäärin huomattavasti alipaineisempi, luokkaa -20 Pa (kuva 2).



Kuva 2. Paine-ero vaipan yli, koneellinen tulo/poistoilmanvaihto.

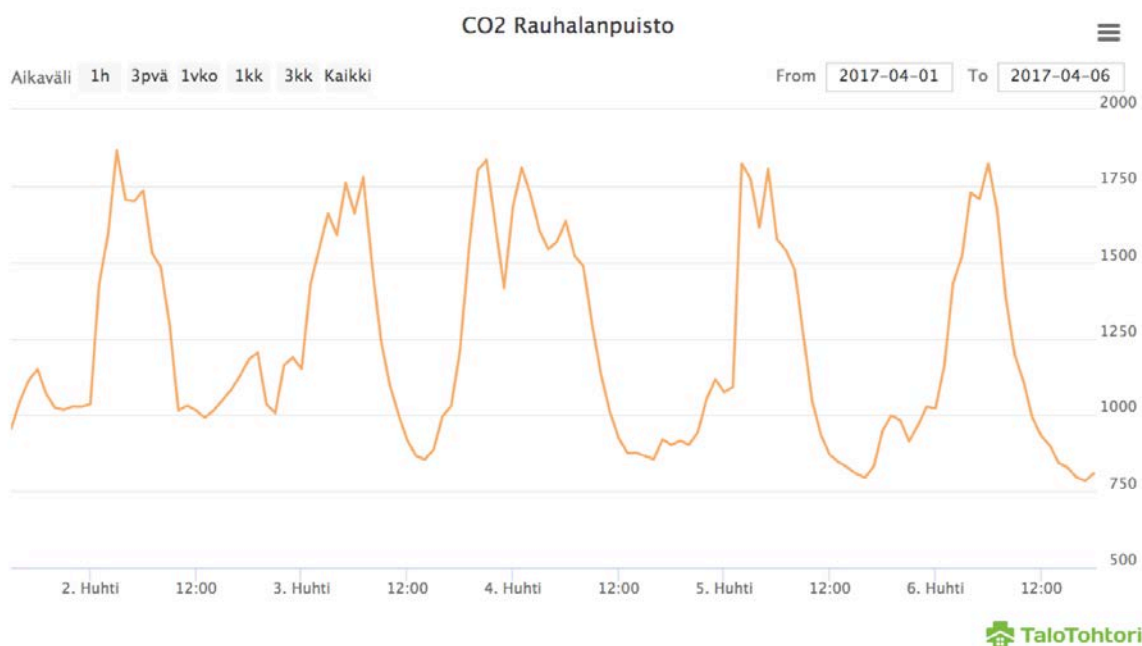
- Paine-eromittauksella on voitu myös havaita koneellisen poistoilmanvaihdon ja siihen liittyviä korvausilman saatavuuteen liittyviä ongelmia. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa

suositus ulko- ja sisäilman väliselle paine-erolle on $-5 \dots -20$ Pa [1]. Mittauksista kuitenkin havaitaan, että alipaine on usein merkittävästi suurempi (kuva 3), mikä indikoi riittämättömästä raittiin korvausilman saannista, kun raitisilma tulee ulkoseinien raitisilmaventtiileistä. ja vaipan epätiiviykskohdista



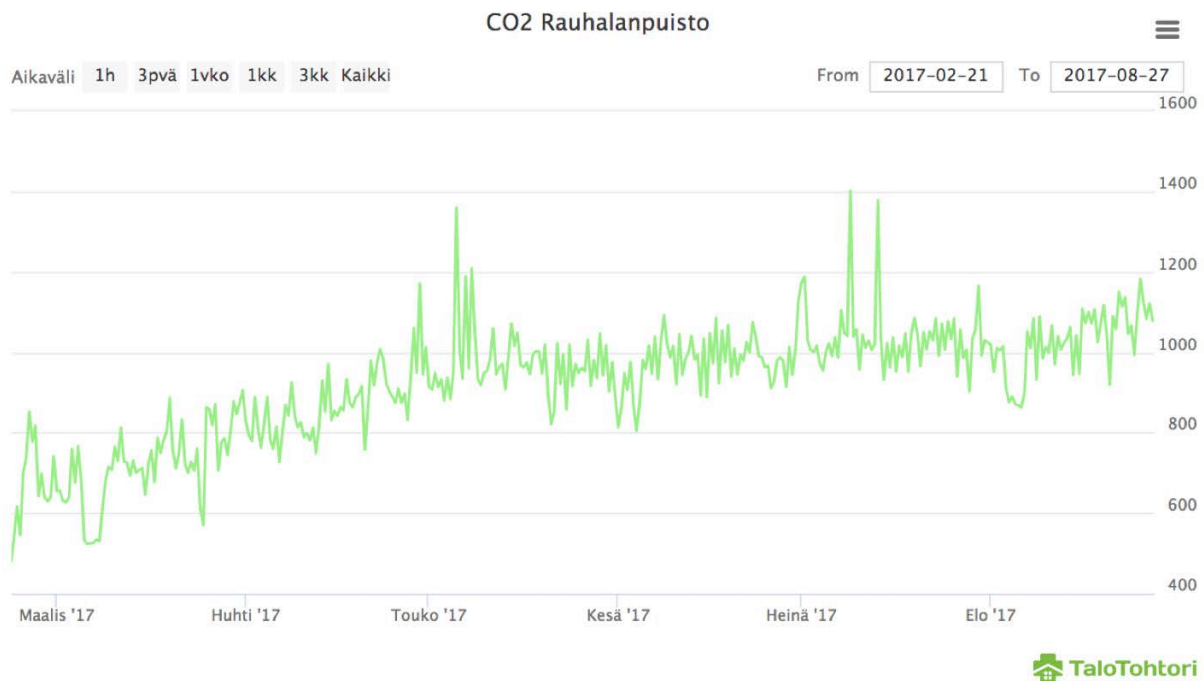
Kuva 3. Paine-ero vaipan yli, koneellinen poistoilmanvaihto.

- Hiilidioksidipitoisuuden mittauksella on voitu havaita myös ilmanvaihdon puutteita mm. asuntojen makuuhuoneissa tapauksissa, joissa makuuhuoneen ovi pidetään suljettuna yön ajan (kuva 4), CO₂ pitoisuudet ylittävät öisin 1700 ppm arvon. Toimenpideraja hiilidioksidipitoisuudelle on 1550 ppm [2] ja terveystaitaksi määritellään 1500 pmm ylittävät arvot [3].



Kuva 4. Makuuhuoneen CO₂ pitoisuus.

- Mittauksissa on tullut myös ilmi laatuongelmia CO₂ -tiedonkeräysmoduuleissa, mm. ryömimistä (kuva 5) sekä mittauksen epätarkkuutta, joka ylittää valmistajan ilmoittamat toleranssit. Osa moduuleista on myös vikaantunut. Ongelmat ovat tiedossa laitetoimittajalla ja tavoitteena on saada ongelmiin ratkaisu.



Kuva 5. CO₂ mitta-anturin ryömiminen.

8. Yhteenveto

Jatkuvan mittauksen menetelmä vaikuttaa tähänastisen tutkimustyön ja havaintojen perusteella lupaavalta. Mittausdatan tuloksia ja niiden analysointia on kuitenkin heikentänyt tiedonkeräysmoduuleissa esiintyneet laatupoikkeamat erityisesti hiilidioksidimittausten osalta. Projektin tavoitteiden saavuttamiseksi onkin tärkeää varmistaa, että tiedonkeräysmoduulien luotettavuus on riittävän hyvällä tasolla.

Lähdeluettelo

- [1] Asumisterveysopas, 2009, Sosiaali- ja terveysministeriö STM.
- [2] Sisäilma-asetus 545/2015, 2015, Sosiaali- ja terveysministeriö STM.
- [3] Asumisterveysopas, 2003, Sosiaali- ja terveysministeriö STM.

Paine-erot Pirkanmaan ja Helsingin julkisissa palvelurakennuksissa

Antti Kauppinen, Mihkel Kiviste, Joni Pirhonen ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Artikkelissa esitetään COMBI-hankkeen kenttätutkimuksien kohteista viikon mittaiset ajanjaksot loka- ja joulukuun paine-eroista. Tarkoituksena on tutkia paine-erojen jakautumista 0 ja -10 Pa:n välillä ja poikkeavien arvojen ajankohtia sekä esittää mm. minimi, maksimi keskiarvot ja mediaanit. Paine-erot ulkovaipan ylä- ja alaosista esitetään kaavioissa uudis- ja korjauskohteittain.

1. Johdanto

Paine-eroa ulkovaipan yli käytetään indikaattorina tutkittaessa rakennuksen toimintaa ja sen sisäilmaolosuhteita. Alipaine aiheuttaa ulkoilman pyrkimistä ulkovaipan läpi sisäilmaan ja ylipaine puolestaan sisäpuolisen ilman pyrkimistä sisältä ulos. Paine-erot ovat jatkuvassa muutoksessa muun muassa savupiippuvaikutuksen, ilmanvaihdon, lämpötilaerojen ja tilojen käytön seurauksena. Paine-eroista ulkovaipan yli on vähän tutkittua tieteellistä tietoa. COMBI-hankkeen kenttämittauksien yhtenä tarkoituksena on tuottaa tietoa paine-eroista julkisissa palvelurakennuksissa, kuten kouluissa, päiväkodeissa ja palvelutaloissa.

2. Tutkimusaineisto ja menetelmät

COMBI-hankkeen kenttämittauksiin kuuluu yhteensä 24 palvelurakennusta, joista 12 on uudiskohteita ja toiset 12 korjauskohteita. Tampereen ja Pirkanmaan alueella sijaitsee 14 kohdetta ja Helsingissä 10. Uudiskohteiden valinnassa painotettiin kohteen nuorta ikää, kohteita, joissa on hygroskooppiset lämmöntalteenotto (LTO) kennot ja COMBI-hankkeen muissa tarkasteluissa mukana olevia kohteita. Korjauskohteiden valinnassa painotettiin mm. kohteita, joissa on tehty energiakorjaukset ja mitattu suuria paine-eroja kuntotutkimuksissa. Uudiskohteiden rakennusvuodet vaihtelevat 2006–2015 välillä. Korjauskohteissa rakennusvuodet ovat 1800-luvun lopulta 1980-luvulle. Kohteet on esitetty taulukoissa 1–4. [1]

Taulukko 1. Uudiskohteet, Helsingin seutu.

Kohde	Kaupunki/kunta	Rakennusvuosi
Ruskeasuon päiväkot	Helsinki	2015
Kulosaaren korttelitalo	Helsinki	2013
Korttelitalo Kanava	Helsinki	2012
Omenapuiston päiväkot	Helsinki	2013
Kalasadaman korttelitalo	Helsinki	2015

Taulukko 2. Korjauskohteet, Helsingin seutu.

Kohde	Kaupunki/kunta	Peruskorjaus vuosi (rakennusvuosi)
Vartiokylän yläaste	Helsinki	2012 (1962, 1965)
Sakara, päiväkot	Helsinki	2012 (1971)
Myllypuron ala-aste	Helsinki	2013 (1966)
Keula, päiväkot	Helsinki	2013 (1981)
Tilhi, päiväkot	Helsinki	2015 (1976)

Taulukko 3. Uudiskohteet, Tampereen ja Pirkanmaan seutu.

Kohde	Kaupunki/kunta	Rakennusvuosi
Luhtaan päiväkot	Tampere	2012
Vuores-talo	Tampere	2013
Koukkuniemi, impivaara vanhainkoti	Tampere	2013
Toivion koulu, laajennusosa	Pirkkala	2012
Kuljun koulu, laajennusosa	Lempäälä	2006
Koivurinteen koulu ja päiväkot	Ruutana/Kangasala	2014
Liuksialan päiväkot	Kangasala	2012

Taulukko 4. Korjauskohteet, Tampereen ja Pirkanmaan seutu.

Kohde	Kaupunki/kunta	Peruskorjaus vuosi(rakennusvuosi)
Koukkuniemi Jukola-talo, vanhainkoti	Tampere	2011–2013 (1800-luvun loppu)
Jussinkylän päiväkot	Tampere	2014 (1980)
Koulunkadun päiväkot	Tampere	2013 (1900 luvun alku)
Amurin päiväkot	Tampere	2015 (1983)
Toivion koulu, vanha osa	Pirkkala	2012
Puropuiston päiväkot vanha osa	Nokia	2016
Kuljun koulu, vanha osa	Lempäälä	20106 ja 2015 (1950-luku)

2.1 Tutkimuslaitteisto

Tutkimuksessa käytettävät etäluettavat paine-eromittausyksiköt rakennettiin COMBI-hanketta varten Tampereen teknillisellä yliopistolla. Yksikössä käytettiin Honeywell:n HSCDRRN001ND2A3-antureita. Antureiden poikkeama nollassa on 0,339...0,729 Pa:n välillä ja vertailupaine-erot referenssianturina käytettyyn Vaisalan PDT101-anturiin olivat -1,58...1,65 Pa ja -1,88...0,81 Pa. [1]

2.2 Tutkimusaineisto

Jokaisesta kohteesta valittiin 1-3 tilaa, joihin anturit asennettiin. Näitä ovat esimerkiksi koulujen luokkahuoneet ja päiväkotien leikki-/lepo huoneet. Paine-eroanturit on asennettu tilojen ylä- ja alaosiin. Artikkelissa on keskitytty tutkimaan yhtä tilaa kohdetta kohden. Kohteet ja tutkittavat tilat on nimetty juoksevin numeroin uudis- ja korjauskohteittain. Ensimmäinen numero tarkoittaa kohdetta ja seuraava tutkittavaa tilaa. Viimeinen kirjain A tai Y tarkoittaa ala- tai yläosan tuloksia.

Aineisto on rajattu kahteen viikon mittaiseen jaksoon taulukon 5 mukaisesti. Käytettävässä aineistossa on puutteita johtuen mittausyksiköiden lähetyskatkoksista. Korjauskohteen KOR. 3.1 alareunan tulosten väli on 12.12.2016 klo 00:00:00 – 17.12.2016 klo 14:42:46 ja uudiskohteen UUDIS 1.1 yläreunan tuloksia ei ole mukana. Anturien mittausväli vaihtelee 5 minuutin ja 5 minuutin ja 20 sekunnin välissä.

Taulukko 5. Tutkimusaineiston ajanjaksot.

Kohteet	Alkamisaika	Päätymisaika
UUDIS 1.1–7.1	12.12.2016 klo 00:00	18.12.2017 klo 24:00:00
KOR. 1.1–7.1	12.12.2016 klo 00:00	18.12.2017 klo 24:00:00
UUDIS 8.1–12.1	3.10.2016 klo 00:00	9.10.2016 klo 24:00:00
KOR. 8.1–12.1	3.10.2016 klo 00:00	9.10.2016 klo 24:00:00.

2.3 Tutkimusmenetelmät

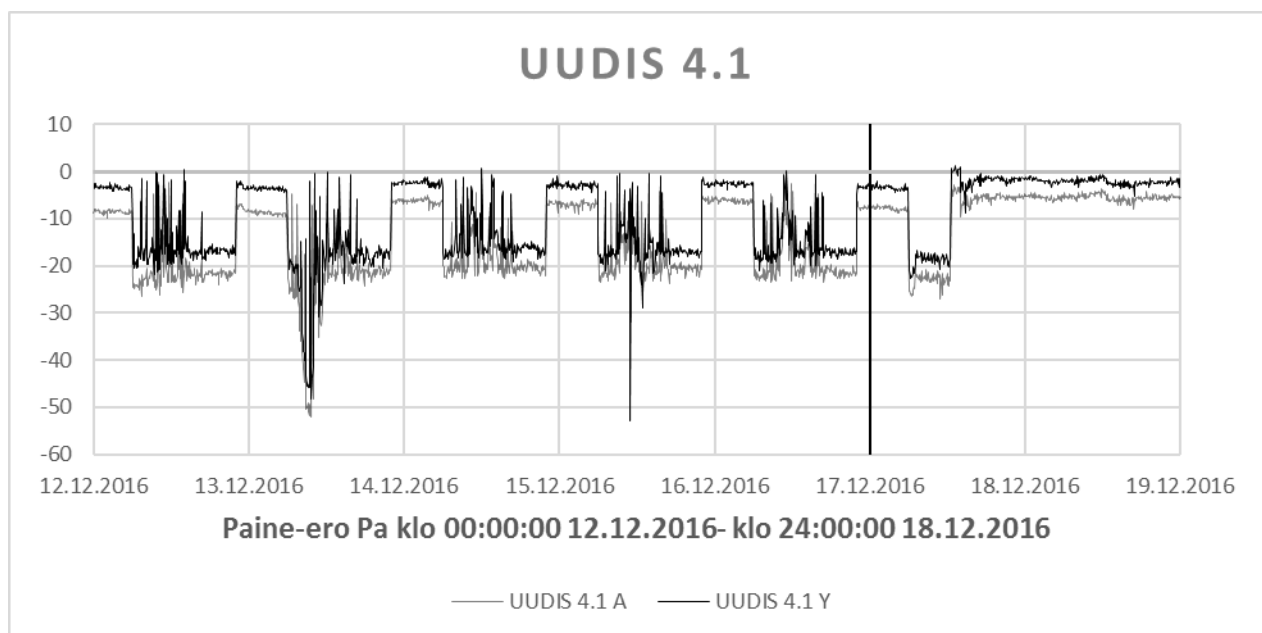
Paine-erodatan käsittelyssä käytettiin Microsoft Excel 2016 -laskentataulukko-ohjelmistoa. Ohjelmalla luotiin kaavioita paine-erojen kumulatiivisesta jakaumasta, määritettiin osuuksia painesuhteiden jakautumisesta, selvitettiin suurimmat yli- ja alipaineet, luotiin keskiarvot ja mediaanit sekä tarkasteltiin laskentataulukosta paine-erojen raja-arvojen ylityksien ja alitusten ajankohtia.

3. Tulokset

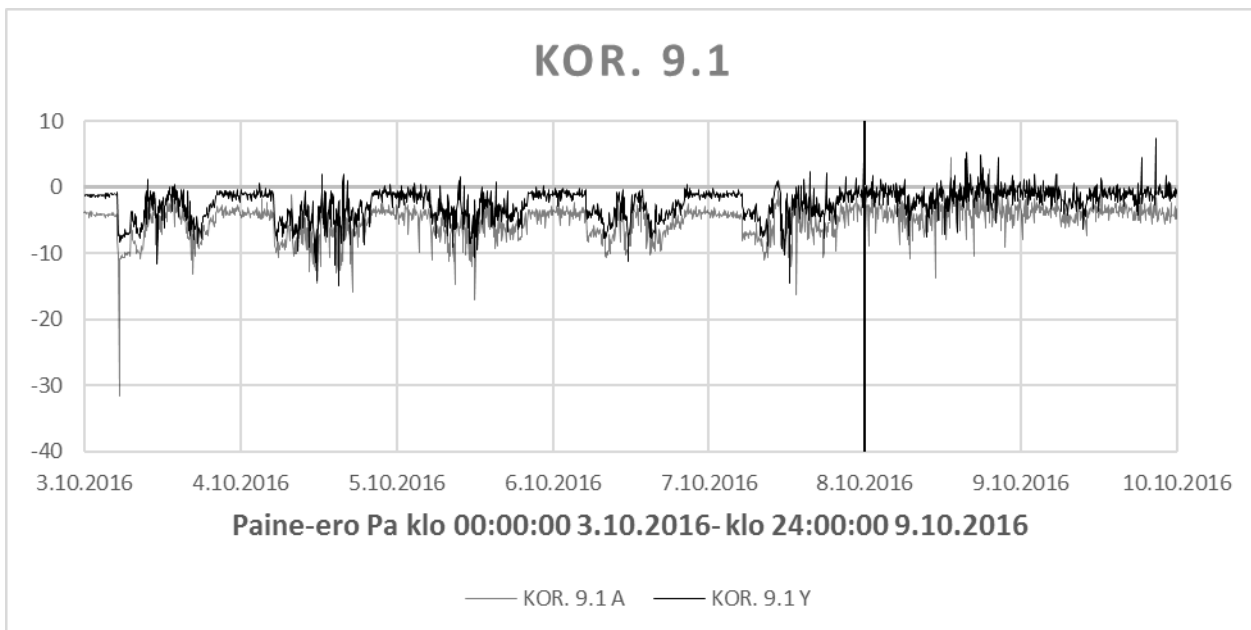
Paine-erojen poikkeavuudet -10 ja 0 Pa:n väliltä ovat pääosin pitkäkestoisia useamman tunnin mittaisia jaksoja. Uudiskohteissa poikkeavuuksissa oli selkeästi havaittavissa vaihtelua vuorokauden yö- ja päiväsaikaan sekä viikonloppujen aikoihin. Myös korjauskohteissa esiintyi paine-erojen vaihtuvuutta kuten uudiskohteissa, tosin poikkeavuutta oli vähemmän kuin uudiskohteissa sekä vaihtuvuus ei ollut niin selkeää kuin uudiskohteissa.

Uudiskohteissa 4.1 ja 11.1 esiintyi tiettyyn kellonaikaan paine-eropiikkejä. Korjauskohteista useampia piikkejä tiettyä kellonaikana löytyi kohteesta KOR. 2.1. Yksittäisiä ja vaihtelevin kellonajoin esiintyviä paine-eropiikkejä löytyi alipaineen osalta uudiskohteista 5.1, 9.1, 10.1 ja 12.1 ja korjauskohteista 3.1, 7.1, 9.1, 10.1 ja 11.1. Yksittäisiä ylipaineisia piikkejä löytyi uudiskohteista 1.1 ja 9.1 ja korjauskohteista 8.1.

Kuvissa 1 ja 2 on esitettyä kohteiden UUDIS 4.1 ja KOR. 9.1 ylä- ja alaosien paine-erot paine-erojakaumien tulosten tulkinnan avaamiseksi. Niistä näkyy erot arkipäivien ja viikonloppun välillä. Kuvasta 1 näkyy, että paine-erot vaihtelevat vuorokauden ajan mukaan. Tällöin kumulatiivisessa jakautumisessa on havaittavissa porrastuneisuutta (kuva 3, UUDIS 4.1). Kuvassa 2 vastaava vaihtelu ei ole niin selkeää, jolloin kumulatiivinen jakautuminen on tasaisempaa (kuva 6, KOR. 9.1).



Kuva 1. Paine-erot, UUDIS 4.1.

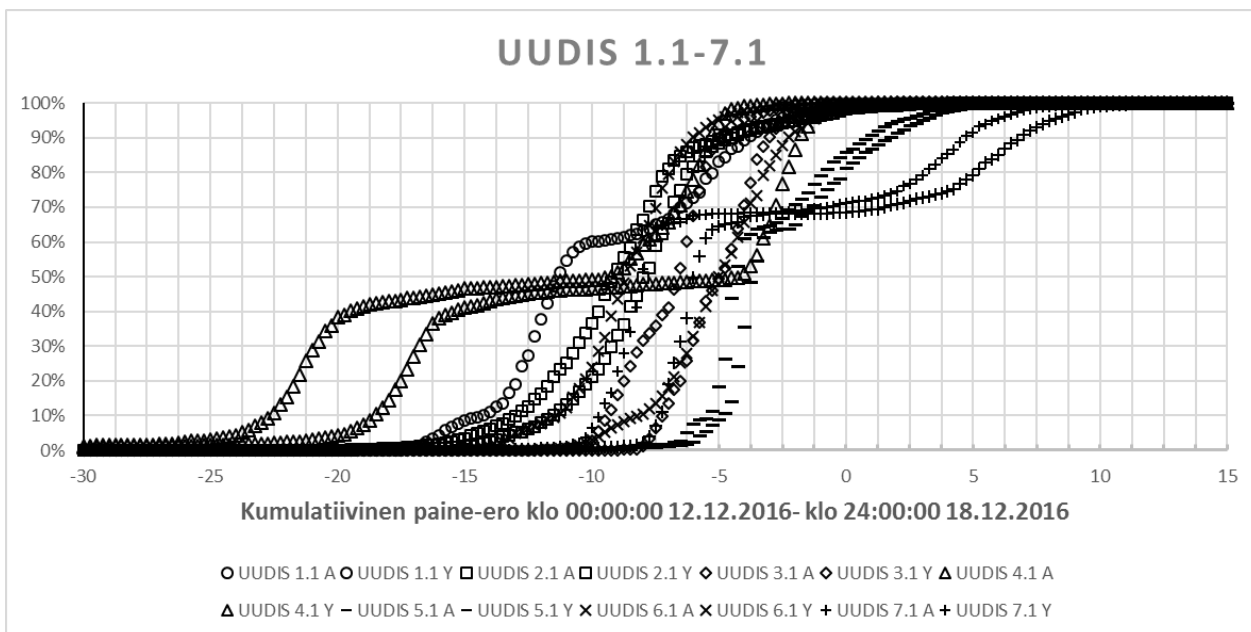


Kuva 2. Paine-erot, KOR. 9.1.

3.1 Uudiskohteet 1.1–7.1

Taulukosta 6 nähdään, että kohteet ovat alipaineisia 69,9–99,6 % ajasta ja -10 ja 0 Pa:n välillä 39,6–98,0 % ajasta. Kuvasta 3 nähdään paine-erojen jakaantuminen. Tiloissa UUDIS 1.1, 4.1 ja 7.1 näkyy paine-erojen painottuvan useammalle eri paine-eroalueelle. Taulukosta 6 nähdään, että näissä tiloissa paine-erot ovat myös vähiten -10 ja 0 Pa:n välillä.

Tilassa UUDIS 1.1 alle -10 Pa:n paine-erot sijoittuvat yöaikaan 21:00–7:30 välille, UUDIS 4.1:sa sama tapahtuu päiväsaikaan 6:00–22:00 välillä. UUDIS 7.1:sa ylipaineet ajoittuvat 7:15–18:15 välille. UUDIS 4.1 löytyi muutaman noin -50 Pa:n arvon alipaineipiikki 13.12.2016 klo 8:50–10:00.



Kuva 3. Paine-eron kumulatiivinen jakautuminen, uudiskohteet 1.1–7.1.

Taulukko 6. Paine-erojen tunnusluvut, uudiskohteet 1.1-7.1.

Kohde	MP ¹ [kpl]	AP ² [%]	YP ³ [%]	-10 ja 0 Pa:n väli [%]	-10 ja 0 Pa:n ulkopuoli [%]	Min. [Pa]	Max. [Pa]	Ka. [Pa]	Med [Pa]
UUDIS 1.1*	1969	99,6	0,4	39,6	60,4	-19,1	40,0	-4,8	-11,3
UUDIS 2.1	3932	98,5	1,5	69,5	30,5	-30,8	5,1	-8,5	-8,5
UUDIS 3.1	3533	99,2	0,8	98,0	2,0	-12,0	5,5	-5,8	-5,9
UUDIS 4.1	3929	99,6	0,4	51,7	48,3	-52,8	1,1	-11,8	-8,7
UUDIS 5.1	3938	83,6	16,4	83,3	16,7	-23,3	11,5	-2,9	-4,0
UUDIS 6.1	3939	99,2	0,8	85,7	14,3	-15,4	3,5	-2,9	-4,0
UUDIS 7.1	3934	69,9	30,1	66,4	33,6	-14,2	14,2	-3,7	-6,4

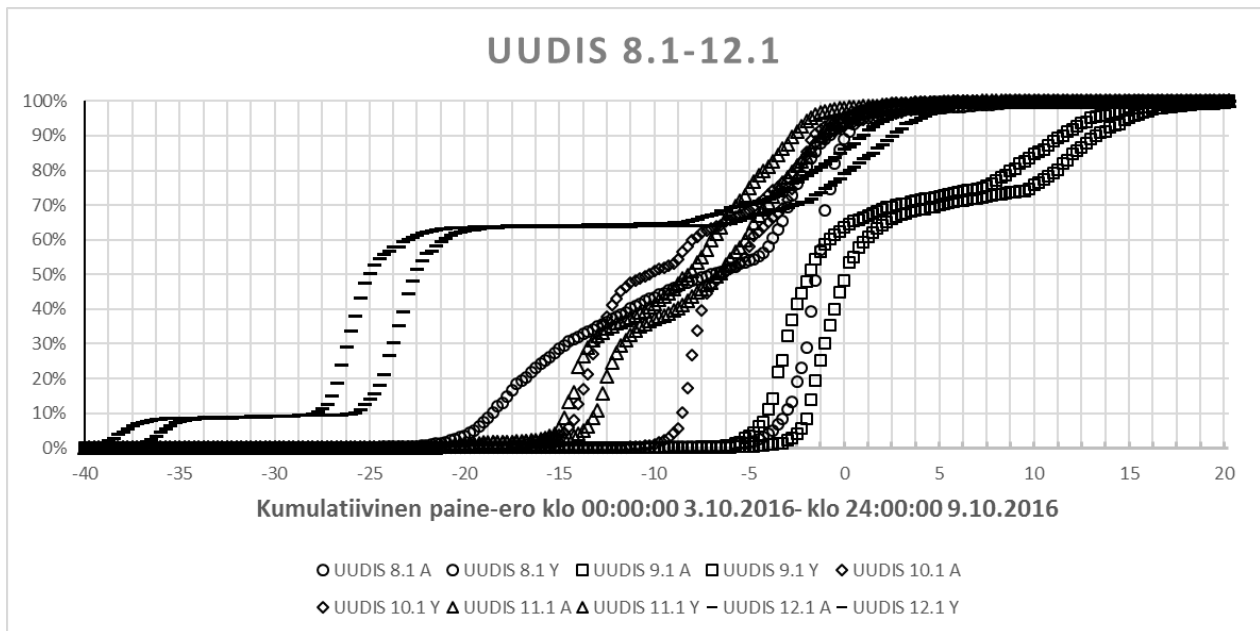
¹ Mittauspisteiden lukumäärä, ² alipaineisuuden prosenttiosuus, ³ ylipaineisuuden prosenttiosuus

* Vain alaosan tulokset

3.2 Uudiskohteet 8.1–12.1

Taulukosta 7 nähdään, että kohteet ovat alipaineisia 56,0–96,7 % ajasta ja -10 ja 0 Pa:n välillä 18,6–69,6 % ajasta. Kuvasta 4 nähdään, että tilassa UUDIS 12.1 paine-erot painottuvat useammalle eri paine-eroalueelle ja UUDIS 9.1 on selkeästi eniten ylipainetta. Taulukosta 7 nähdään, että näissä paine-erot ovat myös vähiten -10 ja 0 Pa:n välillä.

Tilassa UUDIS 12.1 alle -10 Pa:n paine-erot sijoittuvat ilta- ja yöaikaan 18:00–6:00 välille, sekä viikonloppuisin. UUDIS 9.1 ylipaineet ajoittuvat aamu- ja päiväsaikaan 6:15–17:00 välille. UUDIS 11.1 esiintyi viikon aikana 3 ylipaineepiikkiä (39,6–69,6 Pa) klo 4:55 aikoihin.



Kuva 4. Paine-eron kumulaatiivinen jakautuminen, uudiskohteet 8.1–12.1.

Taulukko 7. Paine-erojen tunnusluvut, uudiskohteet 8.1–12.1.

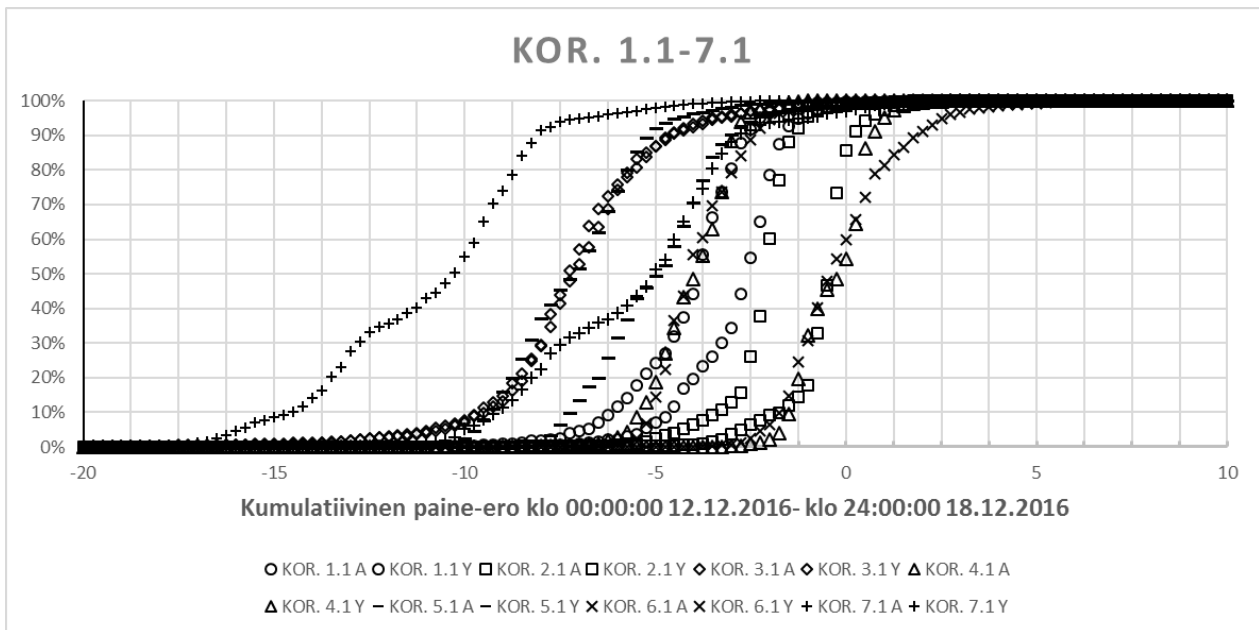
Kohde	MP ¹ [kpl]	AP ² [%]	YP ³ [%]	-10 ja 0 Pa:n väli [%]	-10 ja 0 Pa:n ulkopuoli [%]	Min. [Pa]	Max. [Pa]	Ka. [Pa]	Med [Pa]
UUDIS 8.1	3890	91,6	8,4	69,6	30,4	-28,5	15,0	-5,1	-2,4
UUDIS 9.1	3922	56,0	44,0	55,9	44,1	-63,7	31,6	2,3	-0,5
UUDIS 10.1	3940	94,1	5,9	68,0	32,0	-28,5	10,2	-7,0	-7,5
UUDIS 11.1	3943	96,7	3,3	57,3	42,7	-60,7	69,6	-8,1	-7,6
UUDIS 12.1	3926	82,7	17,3	18,3	81,7	-45,1	17,7	-17,0	-23,2

¹ Mittauspisteiden lukumäärä, ² alipaineisuuden prosenttiosuus, ³ ylipaineisuuden prosenttiosuus

3.3 Korjauskohteet 1.1–7.1

Taulukosta 8 nähdään, että kohteet ovat alipaineisia 77,1–99,3 % ajasta ja -10 ja 0 Pa:n välillä 68,6–99,1 % ajasta. Kuvasta 5 nähdään, että tilassa KOR. 7.1 näkyy paine-erojen olevan alipaineisempia kuin muut. KOR 4.1 ja 6.1 ovat muita tiloja ylipaineisempia. Taulukosta 8 nähdään, että näissä tiloissa paine-erot ovat myös vähiten -10 ja 0 Pa:n välillä.

Tilassa KOR. 7.1 alle -10 Pa:n paine-erot ajoittuvat yöaikaan 21:00–6:00 välille. KOR. 4.1:sä ylipaineet ajoittuvat yöaikaan 19:00–3:00 ja koko viikonlopulle. KOR. 6.1:sä ylipaineet ovat painottuneet yläosaan ja ylipaine on ajoittunut 12.12.2016 klo 00:00 – 13.12.2016 klo 9:00 sekä perjantain ja lauantain 16.–17.12.2016 väliselle yölle. KOR. 2.1 esiintyi viikon aikana 2 alipaineepiikkiä (-45,2 ja -68,9 Pa) klo 18:00 aikoihin.



Kuva 5. Paine-eron kumulaatiivinen jakautuminen, korjauskohteet 1.1–7.1.

Taulukko 8. Paine-eron tunnusluvut, korjauskohteet 1.1–7.1.

Kohde	MP ¹ [kpl]	AP ² [%]	YP ³ [%]	-10 ja 0 Pa:n väli [%]	-10 ja 0 Pa:n ulkopuoli [%]	Min. [Pa]	Max. [Pa]	Ka. [Pa]	Med [Pa]
KOR. 1.1	3938	99,3	0,7	99,1	0,9	-14,8	6,4	-3,5	-3,4
KOR. 2.1	3943	92,2	7,8	92,2	7,8	-68,9	5,9	-1,5	-1,5
KOR. 3.1*	3541	99,2	0,8	91,8	8,2	-27,2	13,9	-7,2	-7,2
KOR. 4.1	3923	77,1	22,9	77,1	22,9	-9,3	2,8	-2,2	-2,1
KOR. 5.1	3935	99,3	0,7	98,1	1,9	-12,0	5,5	-6,1	-6,1
KOR. 6.1	3931	79,3	20,7	79,3	20,7	-9,5	10,0	-6,1	-6,1
KOR. 7.1	3936	98,6	1,4	68,6	31,4	-20,9	5,2	-8,2	-8,6

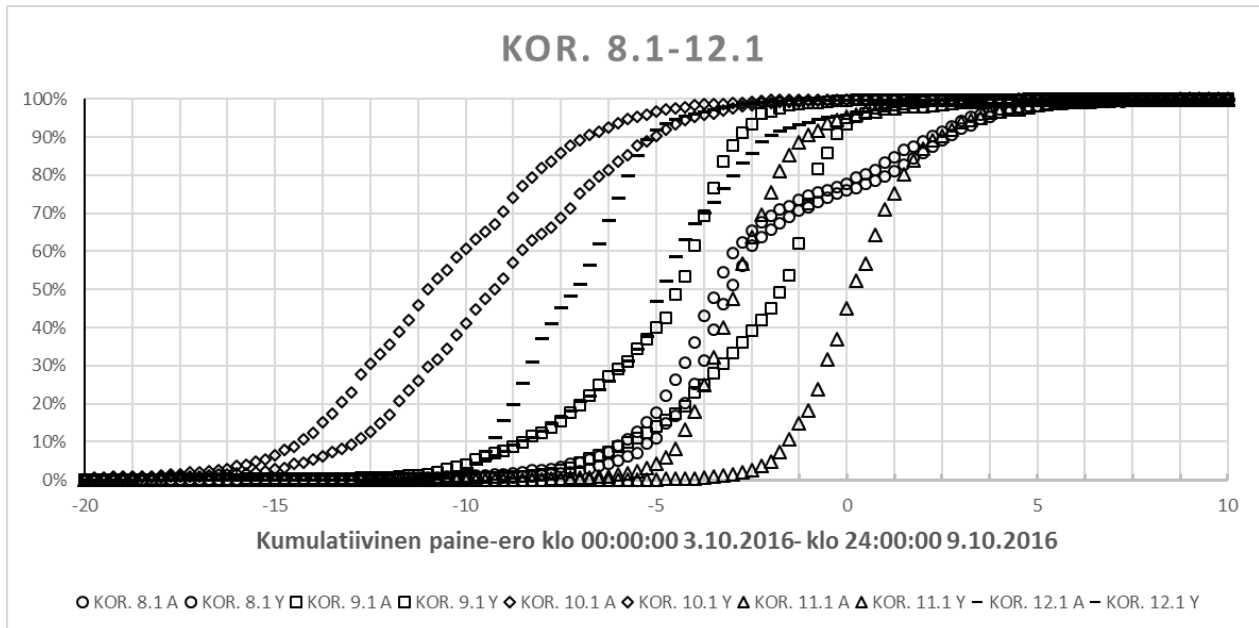
¹ Mittauspisteiden lukumäärä, ²alipaineisuuden prosenttiosuus, ³ ylipaineisuuden prosenttiosuus

* Alaosan tulokset päättyvät 17.12.2016 klo 14:42:46

3.4 Korjauskohteet 8.1–12.1

Taulukosta 9 nähdään, että kohteet ovat alipaineisia 70,3–99,8 % ajasta ja -10 ja 0 Pa:n välillä 40,9–94,3 % ajasta. Kuvasta 6 nähdään tilan KOR. 10.1 paine-erojen olevan alipaineisempia muihin verrattuna. Taulukosta 9 nähdään, että KOR. 8.1 ja 11.1 ovat selkeästi muita ylipaineisempia.

KOR. 10.1 alle -10 Pa:n paine-erot sijoittuvat ilta- ja yöaikaan 16:00–6:00 välille, sekä koko viikonlopun. KOR. 8.1 ylipaineet ajoittuvat arkisin aamu- ja päiväsaikaan 6:15–18:00 välille. KOR. 11.1 ylipaineet sijoittuvat yläosaan ja vallitsevat pitkin viikkoa.



Kuva 6. Paine-eron kumulatiivinen jakautuminen, korjauskohteet 8.1–12.1.

Taulukko 9. Paine-eron tunnusluvut, korjauskohteet 8.1–12.1.

Kohde	MP ¹ [kpl]	AP ² [%]	YP ³ [%]	-10 ja 0 Pa:n väli [%]	-10 ja 0 Pa:n ulkopuoli [%]	Min. [Pa]	Max. [Pa]	Ka. [Pa]	Med [Pa]
KOR. 8.1	3941	76,9	23,1	76,2	23,8	-16,3	23,9	-2,4	-3,3
KOR. 9.1	3940	96,5	3,5	94,3	5,7	-31,6	7,4	-3,8	-3,6
KOR. 10.1	3938	99,8	0,2	49,0	51,0	-16,3	6,5	-10,0	-10,0
KOR. 11.1	3921	70,3	29,7	70,3	29,7	-61,8	13,6	-1,2	-1,3
KOR. 12.1	3940	97,8	2,2	84,7	15,3	-17,0	19,3	-6,7	-6,8

¹ Mittauspisteiden lukumäärä, ² alipaineisuuden prosenttiosuus, ³ ylipaineisuuden prosenttiosuus

4. Tulosten analysointi

Paine-erojen pitkäkestoiset poikkeavuudet -10 ja 0 Pa:n väliltä johtunevat ilmanvaihdon toiminnasta ja säädöistä. Myös tiettyyn kellonaikaan tapahtuvat paine-eroiikit voivat johtua ilmanvaihdon toiminnasta. Ilmanvaihdon osuutta paine-eroihin sekä muiden paine-eroihin vaikuttavien asioiden, kuten lämpötilaerojen ja tilojen käytön vaikutusta ei ole kuitenkaan selvitetty.

5. Yhteenveto

Artikkeli on tehty osana COMBI-hankkeen kenttätutkimuksia. Paine-eroja on mitattu kohteiden tiloista seinän ylä- ja alaosa kahdelta eri viikon mittaiselta ajanjaksolta. Kaikissa kohteissa oli poikkeamia -10 ja 0 Pa:n väliltä. Uudiskohteista 1 ja korjauskohteista 7 pysyi 90 % ajasta -10 ja 0 Pa:n sisällä. Kohteissa havaittiin paine-erojen muutoksien vaihtelevan vuorokauden yö- ja päiväsaikaan sekä viikonlopun mukaisesti. Uudiskohteissa paine-erot jakautuvat useimmin

useammalle paine-eroalueelle. Korjauskohteiden paine-erot jakaantuvat tasaisemmin yhdelle paine-eroalueelle. Uudis- ja korjauskohteissa esiintyi myös suuria paine-eroiikkejä.

Paine-erot muuttuvat todennäköisesti ilmanvaihtokoneiden toiminta-aikojen mukaan. Ilmanvaihtokoneiden osuutta ei ole kuitenkaan vielä selvitetty ja yksityiskohtaiset syyt mm. paine-eroiikkeille ovat vielä selvittämättä. Tutkimus jatkuu esiin tulleiden tulosten syiden selvittämisellä ja kenttämittausten jatkamisella.

Lähdeluettelo

- [1] Pirhonen, J. (2017). Sisäilman olosuhdemittaukset uusissa ja korjatuissa palvelurakennuksissa, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Tampere, 96 s. Saatavilla: <http://URN.fi/URN:NBN:fi:ty-201704261344>.

A7. Kosteusturvallisen rakentamisen palkinnon voittajaehdokkaat

Asuinrakennusten kosteusvaurioiden korjaukset

Eero Nippala¹ ja Terttu Vainio²

¹ TAMK

² VTT

Tiivistelmä

VTT ja TAMK selvittivät ympäristöministeriön toimeksiannosta asuinrakennusten kosteusvaurioiden korjauksia. Yhteensä tutkittuja, korjattuja kosteusvaurioita oli 431, joista omakotitaloissa oli 293, rivitaloissa 42 ja asuinkerrostaloissa 96. Otoksessa suurin edustus oli 1980-luvulla valmistuneissa rakennuksissa tehdyillä korjauksilla. Useita kosteusvaurioiden syntymistä edesauttavia rakenteita ja materiaaleja on tunnistettu. Kosteusvaurioiden syntymistä on pyritty estämään uusilla määräyksillä, koulutuksella ja viestinnällä. Näiltä osin uusien, vakavien rakenteellisten kosteusvaurioiden syntyminen on vähentynyt. Kosteusvauriot eivät johdu pelkästään rakennusvirheistä tai Suomen olosuhteissa heikosti toimivista rakenteista. Mikä tahansa asuinrakennukseen voi tulla kosteusvaurio, mikäli yksittäisen asunnon tai koko rakennuksen hoito ja kunnossapito laiminlyödään. Hyvällä hoidolla, kunnossapidolla ja oikealla käytöllä voidaan estää merkittävä osa kosteusvaurioista tai vähentää vahingon seuraamuksia.

1. Johdanto

Rakennuskannan kosteusvauriot ovat tunnistettu ongelma. Uusia kosteusvaurioita on pyritty ehkäisemään panostamalla rakennustyön aikaiseen kosteuden hallintaan ja karsimalla riskialttiita rakenneratkaisuja. Lisäksi on lisätty tietoisuutta rakennusten ja asuntojen oikeasta käytöstä, jotta vesivahinkoja vältettäisiin ja sitä kautta rakenteiden kosteusvaurioiden syntyminen ehkäistäisiin. Panostuksesta huolimatta kosteusvaurioita ilmaantuu edelleen sekä uusiin että vanhoihin asuntoihin ja rakennuksiin.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää kosteusvauriokorjausten kustannusten osuus koko korjaustoiminnasta, mitä rakennuksia ja rakenteita korjataan sekä kuinka laajoja yksittäiset korjaushankkeet ovat.

3. Toteutus

Korjausrakentamisen tilastojen /1/ perusteella päädyttiin tutkimaan kaikenikäisissä asuinrakennuksissa ja kaikissa rakenteissa olevia kosteusvaurioita. Otos korjatuista kosteusvaurioista hankittiin haastatteluin Helsingin, Hämeenlinnan, Tampereen ja Oulun seuduilta sekä omakotiliiton internetkyselyllä koko Suomen alueelta.

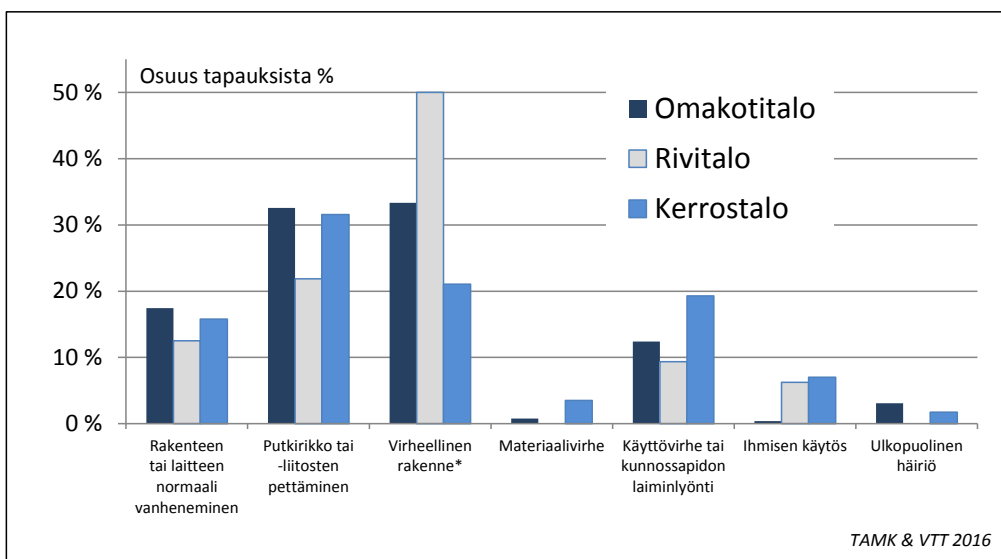
Otokseen hyväksyttiin kosteusvauriot karsimatta niitä syyn, äkillisyyden, homeen esiintymisen, rakennusosan, rakennuksen hallintamuodon tai rakennuksen iän perusteella. Ainoa karsiva tekijä oli korjausajankohta. Korjaukset tuli olla tehty viimeisen 10 vuoden sisällä kustannustiedon luotettavuuden varmistamiseksi.

Omakotitaloissa korjatuista kosteusvaurioista tiedot antoi rakennuksen omistaja. Usean asunnon rakennusten kosteusvauriokorjauksista tiedot kerättiin haastattelemalla taloyhtiöiden isännöitsijöitä ja hallituksen jäseniä. Haastatteluilla kerätystä tiedosta yhden osaotoksen tulokset poikkesivat muista osaotoksista. Selvisi, että tähän oli kerätty tietoa ainoastaan suurista korjauksista. Tämä otettiin huomioon vastauksia analysoitaessa.

Kelvollisia vastauksia saatiin 431 kosteusvauriosta, joista omakotitaloissa oli 293, rivitaloissa 42 ja asuinkerrostaloissa 96. Omakotitalojen suuri määrä johtuu internet- kyselystä. Eniten vastauksia saatiin kosteusvaurioista 1980-luvulla valmistuneissa rakennuksissa. Tulokset laajennettiin korjausrakentamisen tilastojen /1/ ja korjausrakentamisen tarkastelukehikon avulla /2/.

4. Kosteusvaurioituneet rakenteet ja vaurioiden syyt

Lukumääräisesti eniten kosteusvaurioita aiheuttivat putkirikot sekä laitteiden tai kalusteiden ja putkien väliset vuotavat liitokset. Toiseksi eniten niitä aiheuttivat aikoinaan hyväksytyt rakenteet mutta nykytietämyksen mukaan virheelliset rakenteet, kuten puuttuva vedeneristys märkätilojen seinissä ja latioissa, aluskate, salaojitus tai alapohjan kapillaarisen vedennousun estävä maa-aines (Kuva 1).



Kuva 1. Kosteusvaurioiden syyt otoksessa. * virheellinen rakenne nykytietämyksen mukaan. Virheellisellä rakenteella tarkoitetaan tässä yhteydessä mm. ikkunoiden virheellistä pellitystä, salaojituksen tai aluskatteen puuttumista (ks. taulukko 1).

Kosteusvaurioita oli niin märkätiloissa (kylpyhuone, pesutupa) ja tiloissa, joissa on kodinkoneita tai saniteettikalusteita, kuin myös kuivissa tiloissa (makuuhuoneet, olohuone). Kosteusvaurioituneita tiloja oli 1,6–2 per korjattu kohde. Kosteusvaurioitunut rakennusosa oli yleisimmin loogisesti alapohja ja/tai välipohja.

Taloteknisten järjestelmien aiheuttamia kosteusvaurioita oli lähes yhtä paljon käyttövesi- kuin viemäriverkostossa. Talotekniikan aiheuttamia kosteusvaurioita ei ollut läheskään kaikissa kohteissa, koska niitä oli otoksessa alle yksi eli 0,4–0,6 vauriota korjattua kohdetta kohden.

Kosteusvaurioiden korjaukset kohdistuivat rajalliseen määrään rakenteita. Kerrostaloissa

mediaanilaajuus, 15 m², on vain 1,5 kertaa suurempi kuin omakotitaloissa (10 m²). Tämä kertoo siitä, että suuri osa kosteusvaurioista on asuntokohtaisia – ei talokohtaisia.

5. Korjaustoimet ja korjauskustannukset

Otoksen kosteusvaurioihin on reagoitu yleensä nopeasti, joten kerrannaisvaikutuksia, kuten hometta tai lahoa, esiintyy vain 15 prosentissa kohteista. Aivan kaikkia kosteusvaurioituneita rakenteita ei uusita. Omakotitaloissa rakenteiden uusiminen on harvinaisempi toimenpide kuin rivi- ja kerrostaloissa. Omakotitaloissa ei myöskään päädytä desinfioimaan vaurioitunutta tilaa yhtä usein kuin rivi- ja kerrostaloissa.

Omakotitalojen, rivitalojen ja kerrostalojen kosteusvaurioiden mediaanikorjauskustannukset vaihtelevat omakotitalojen 10 000 eurosta kerrostalojen 13 000 euroon. Pientaloissa suurimmat korjauskustannukset aiheutti kastunut alapohja, joka johti seinärakenteiden uusimiseen. Kerrostaloissa putkiston rikkoontuminen johti korjauksiin useassa kerroksessa. Otokseen osui myös yhdyskuntatekniikan pettämisestä johtuneita kosteusvaurioita. Omakotitaloon purkautunut viemärin jätevesi aiheutti 60 000 euron korjauksen ja kerrostaloon purkautunut kaukolämmön kiertovesi 100 000 euron korjauksen.

Kosteusvaurioiden korjaamiseen käytetään rahaa vuosittain yhteensä noin 400 miljoonaa euroa, joka on noin 5 prosenttia asuinrakennusten kaikesta korjausrakentamisesta /1/.

6. Vertailu aiempiin tutkimuksiin

Tässä käsitellyssä otannassa kosteusvaurioiden kustannukset jäivät 75 prosentissa tapauksista alle 20 000 euroon ja puolessa tapauksista alle 10 000 euroon. Korjauskustannukset ovat hieman enemmän kuin Finanssialan Keskusliiton vuotovahinkoselvityksessä /3/. Vakuutusyhtiöiden korvauksista laskettuna vuotuiset asuinrakennusten kosteusvaurioiden korjauskustannukset jäävät alle 200 miljoonan euron, kun taas tässä tutkimuksessa päädytään noin 400 miljoonaan euroon.

Kansanterveyslaitoksen /4/ mukaan 1950–1980-lukujen asuinrakennusten kosteusvaurioista olisi korjaamatta 67 prosenttia ja 1980-luvun asuntokannasta 75 prosenttia. Tämän tutkimuksen 431 vaurion korjaukseen oli ryhdytty nopeasti ja korjauksista suuri osa oli tehty kahden kuukauden kuluttua vaurion havaitsemisesta. Tämä antaa viitteen siitä, että kosteusvaurioihin suhtaudutaan nykyisin vakavammin eikä vaurioiden anneta laajentua tai pahentua.

Mikrobivauriotutkimuksessa /5/ 429 pientalosta 71 prosentista löydettiin kosteusvaurion aiheuttamia mikrobivaurioita alapohjarakenteista, pesutiloista ja kellareista. Suurin osa näistä vaurioista oli aiheutunut veden valumisesta rakenteisiin tai kapillaarisuuden takia siirtyvästä kosteudesta. Taloissa oli vain muutama ilmanvaihdon puutteellisuudesta aiheutunut kosteusvaurio.

VTT:n ja TAMK:n tutkimuksessa kosteusvaurioista noin 50 prosenttia esiintyi alapohjassa ja välipohjissa, 25 prosenttia väliseinissä ja 10 prosenttia ulkoseinässä. Kosteusvaurioitunut tila oli lähes yhtä usein keittiö, wc, kylpyhuone tms. tila kuin eteinen, olohuone, makuuhuone tai muu kuiva tila. Tulos on samansuuntainen mikrobivauriotutkimuksen /5/ tuloksen kanssa lukuun ottamatta olohuoneen ja makuuhuoneen suurta osuutta. Tulos on linjassa Finanssialan Keskusliiton vuotovahinkoselvityksen /3/ kanssa, jonka mukaan alapohjien kosteusvauriot ovat vähentyneet, mutta vuotovahingot seinissä, kaapeissa ja nousuroiloissa lisääntyneet. Tutkimus ei

selvittänyt sellaisia kosteusvaurioita, joita ei silmällä voi havaita.

7. Kosteusvaurioiden välttäminen

Otoksen kosteusvaurioista oli käytettävissä myös vapaamuotoiset kuvaukset. Niiden perusteella tapaukset luokiteltiin seitsemään luokkaan. Tutkijat arvioivat kuvauksen perusteella, olisiko asunnon asukas tai omistaja voinut estää kokonaan kosteusvaurion syntymisen tai ainakin rajata kerrannaisvaikutuksia (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kosteusvaurioiden luokittelu sekä arvio niiden tapausten osuudesta, joissa asukas/omistaja olisi voinut estää kosteusvaurion tai rajata vaikutuksia.

Kosteusvaurion syy	Esimerkkejä	Asukas/omistaja voi estää tai rajata kosteusvaurion, % tapauksista
Materiaalivirhe	Vesi- ja viemärijohtojen syöpyvät, halkeamat	0 %
Ulkopuolinen ennakoimaton tapahtuma	Kaukolämpö-, viemäri- tai vesijohtoverkostosta purkautunut vesi	0 %
Ihmisen käytös, sairauskohtaus	Auki jätetty hana, nukahdettu suihkuun, sairauskohtaus suihkussa, huolimattomuus asennustöissä	70 %
Kunnossapidon laiminlyönti, käyttövirhe	Tukos kattokaivossa, vesikourussa, syöksytorvessa, lattiakaivossa. Vuotoihin reagoitu viipeellä. Jää tai sulamisvesi on aiheuttanut tulvan katolla.	95 %
Putkirikko tai putkiliitoksen pettäminen	Putki rikkoontunut. Putken ja laitteen tai kalusteen (jakotukki, hanat, WC-kalusteet, lämminvesivaraaja) liitos pettänyt.	20 %
Virheellinen rakenne (nykytietämyksen mukaan)	Ikkunoiden virheellinen pellitys, aluskatteen puuttuminen, korvausilman saanti puuttunut, salaojitus puuttunut, alapohjan alla kapillaarinen kiviaines. Huolimattomat läpiviennit. Kosteuseristyksen puuttuminen vuoden 2000 jälkeen valmistuneesta kohteesta.	80 %
Rakenteiden ja laitteiden kuluminen, vanheneminen tai vaurioituminen	Rikkoontunut pinnoite, rakenne tai laite (muovimatto, lattiakaivo, kattokaivo, astianpesukone, jääkaappi). Kosteuseristyksen puuttuminen ennen vuotta 2000 valmistuneesta rakennuksesta.	15 %

Noin puolessa tapauksista (47 prosentissa tapauksista ja 48 prosentissa niiden kustannuksista) kosteusvaurion aiheuttama vahinko olisi voitu estää tai sen aiheuttamia vahinkoja olisi voitu vähentää. Ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä olisivat olleet esimerkiksi astianpesukoneen liitosten tarkastaminen, jääkaapin sulattaminen useammin, pesualtaan viemäritukosten avaaminen, vesikourujen ja kattoviemäreiden puhdistus tai putkien suojaaminen jäätymiseltä.

Toinen puoli otoksen kosteusvaurioista oli sellaisia, joita asunnon omistaja tai käyttäjä ei voinut ennakoida ja estää. Niistä esimerkkejä ovat rakenne- ja materiaalivauriot, jotka tapahtuvat hitaasti tai piilossa rakenteiden sisällä, sekä astianpesukoneen tai jääkaapin äkilliset rikkoutumiset.

8. Yhteenveto

Asuinrakennusten kosteusvauriotutkimuksessa selvitettiin 431 tapausta. Otoksen mukaan lukumääräisesti eniten kosteusvaurioita aiheuttavat putkirikot tai putkien ja laitteiden väliset liitokset. Kosteusvaurioiden korjaamiseen käytetään vuosittain 400 miljoonaa euroa.

Useita rakenneratkaisuista ja materiaaleista johtuvia ongelmia on tunnistettu ja niihin on puututtu uusien määräyksin, koulutuksen ja viestinnän avulla. Näiltä osin uusien vakavien kosteusvaurioiden syntyminen vähenee. Aiempien tutkimusten mukaan rakennusten kosteusvaurioihin ei ole reagoitu nopeasti vaan on annettu niiden päästä pahenemaan. Tämän tutkimuksen mukaan korjauksiin ryhdyttiin nopeasti ja suurin osa oli korjattu 2 kuukauden kuluttua kosteusvaurion havaitsemisesta.

Mikä tahansa asuinrakennus voi kosteusvaurioitua, mikäli yksittäisen asunnon tai koko rakennuksen hoito ja kunnossapito laiminlyödään. Hyvällä hoidolla ja kunnossapidolla sekä oikealla käytöllä voidaan noin puolet kosteusvaurioista estää tai vähentää vahingon seuraamuksia. Tyypillisiä ehkäiseviä toimenpiteitä ovat esim. putkiliitosten tarkistaminen, jääkaapin sulattaminen, pesualtaan viemäritukoksen avaaminen, vesikourujen ja kattoviemäreiden puhdistaminen.

Kotitalouksien kannattaa myös tarkkailla vanhenevien kodinkoneiden ja taloteknisen laitteiden tilaa, koska näiden tekninen toimivuus heikkenee aikaa myöten. Äkillisiä laiterikkoja tai putkirikkoja rakenteiden sisällä rakennuksen omistajan tai käyttäjän on mahdoton estää.

Lähdeluettelo

- [1] Tilastokeskus, Korjausrakentaminen, <http://www.stat.fi/til/kora/tau.html>
- [2] Vainio, T. ja Nippala, E. 2006. Asuinrakennusten korjaustarve 2006–2035. Espoo, VTT Technology 274. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/T274.pdf>
- [3] Haapaniemi, M. 2014. Vuotovahinkoselvitys 2012–2013. Helsinki, Finanssialan Keskusliitto.
- [4] Partanen, P., Jääskeläinen, E., Nevalainen, A., Husman, T., Hyvärinen, A., Korhonen, L., Meklin, T., Miller, K., Forss, P., Saajo, J., Röning-Jokinen, I., Nousiainen, M., Tolvanen, R. ja Henttinen, I. 1995. Pientalojen kosteusvauriot – yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio, Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B6/1995.
- [5] Pirinen, J. 2006. Pientalojen mikrobivauriot. Lähtökohtana asukkaiden kokemat terveyshaitat. Väitöskirja. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto.

Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausoppaan päivitys

Timo Turunen¹, Susanna Ahola¹, Jukka Lahdensivu¹, Inari Weiho¹, Esko Sistonen² ja Petri Annala³

¹ Ramboll Finland Oy

² Aalto-yliopisto

³ Tampereen teknillinen yliopisto

Tiivistelmä

Vuonna 2018 ilmestyvässä Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausoppaan päivityksessä on otettu huomioon korjausrakentamisen toimintaympäristön voimakas muuttuminen edellisen oppaan julkaisun jälkeen. Rakennusosien kosteus- ja homevaurioista, niiden vaikutuksesta rakennuksen sisäilmaan ja käyttäjiin, erilaisista tutkimus- ja korjausmenetelmistä sekä korjausten onnistumisen seurannasta on viime vuosina tehty hyvin runsaasti tieteellisiä tutkimuksia. Tutkimustulosten sekä käytännön kohteissa hankitun kokemuksen perusteella oppaassa tarkastellaan rakennusosakohtaisesti erityyppisiä korjausmenetelmiä ja niiden soveltuvuutta. Tarkastelussa painotetaan aiempaa enemmän julkisille palvelurakennuksille ominaisia rakenneratkaisuja. Korjausmenetelmiä arvioidaan päivitetyssä oppaassa teknisten, terveydellisten, taloudellisten sekä käyttöikätaivoitteiden näkökulmasta. Oppaassa korostetaan kokonaisuudenhallinnan merkitystä, eli kosteus- ja homevaurioiden korjaamisen ohella tulee ottaa huomioon muun muassa ilmanvaihdon vaikutus ja energiatehokkuuden parantaminen. Oppaaseen on myös sisällytetty kosteus- ja homevaurioituneiden rakennusten korjaamista koskevassa lainsäädännössä tapahtuneet muutokset.

1. Johdanto

Nykyinen ympäristöministeriön julkaisema Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausopas eli Ympäristöopas 29 [1] on vuodelta 1997, ja siinä on keskitytty erityisesti pientalojen kosteus- ja homeongelmien korjaamiseen. Sen jälkeen tutkimus (esimerkiksi [2] ja [3]) on kuitenkin tuottanut runsaasti uutta tietoa rakenteiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Samaan aikaan on kehitetty runsaasti uusia korjausmenetelmiä ja – tuotteita sekä uudistettu kosteusvaurioiden korjaustyötä koskevaa lainsäädäntöä. Lisäksi on laadittu runsaasti erilaisia uusia ohjeita esimerkiksi haitta-aineiden käsittelystä ja rakennusten energiatehokkuuden parantamisesta.

Ympäristöministeriö käynnisti kesällä 2016 nykyisen Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjausoppaan päivitystyön. Hanke on jatkoa syksyllä 2016 ilmestyneelle ympäristöministeriön oppaalle Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (Ympäristöopas 2016) [4], ja se on perusteellisesti uudistettu versio aiemmasta, vuonna 1997 julkaistusta kuntotutkimusoppaasta.

Ympäristöministeriö valitsi päivitystyön tekijäksi Ramboll Finland Oy:n yhteistyökumppaneinaan Aalto-yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto. Hankkeen ohjausryhmässä toimii ympäristöministeriön lisäksi sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön, Senaatti-kiinteistöjen, Helsingin kaupungin kiinteistöviraston sekä suunnittelutoimistojen ja rakennusliikkeiden edustajia.

Oppaan päivitystyö käynnistyi joulukuussa 2016, ja se on tarkoitus julkaista syksyllä 2018. Opas lähetetään julkiselle lausuntokierrokselle vuoden 2017 loppupuolella.

2. Oppaan sisältö

Oppaassa annetaan käytännön ohjeita rakennusalan ammattilaisille kosteus- ja homevaurioituneiden rakennusten korjausten suunnittelusta, tekemisestä, laadunvarmistuksesta ja onnistumisen seurannasta. Siinä käsitellään erityisesti julkisissa palvelurakennuksissa (esimerkiksi oppilaitosrakennuksissa, päiväkodeissa, terveyskeskuksissa ja sairaaloissa) eri vuosikymmeninä käytettyjä tyypillisiä rakenneratkaisuja pientaloja kuitenkin unohtamatta.

Oppaan ensimmäisessä luvussa esitetään korjaushankkeen kulku sekä kosteusvaurion korjaustyötä koskeva uudistunut lainsäädäntö. Toisessa luvussa käsitellään korjaussuunnitteluprosessia, hankkeen eri osapuolten tehtäviä sekä sen aikana tuotettavia suunnitelmia. Luvussa 3 perehdytään ensiksi korjausmenetelmien yleisiin valintaperusteisiin, minkä jälkeen tarkastellaan rakennusosakohtaisesti erilaisia korjausmenetelmiä. Luvuissa 4 – 5 esitetään korjaustyönaikaiseen laadunvarmistukseen sekä rakennuksen käytönaikaisen toimivuuden seurantaan liittyvät menettelyt. Oppaan viimeisessä luvussa tarkastellaan energiatehokkuuden parantamisen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakennusosien rakennusfysikaaliseen toimivuuteen.

2.1 Korjaussuunnittelusta onnistuneisiin korjauksiin

2.1.1 Korjaushankkeen kulku

Korjaussuunnittelu käynnistyy aina lähtötietojen hankinnalla, ja niistä tärkeimpänä voidaan pitää rakennuksen kunnosta laadittua selvitystä eli kosteus- ja sisäilmateknisten tutkimusten tutkimusraporttia. Suunnittelun alkuvaiheessa määritellään rakennusosittain tutkittavat korjausvaihtoehdot ja tarkastellaan niitä teknisten, taloudellisten ja rakennuksen käyttäjien terveellisyyteen liittyvien näkökulmien (riskien) perusteella.

Sen jälkeen, kun käytettävät korjausmenetelmät on päätetty, tehdään selkeät, yksityiskohtaiset ja toteuttamiskelpoiset korjaussuunnitelmat ja työselostukset korjaustöitä sekä niiden kosteuden- ja pölynhallintaa ja laadunvarmistusta varten. Lisäksi suunnitteluvaiheessa laaditaan rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje sekä korjausten onnistumisen seurantasuunnitelma.

Purku- ja korjaustöiden aikana on huolellisesti valvottava niiden suunnitelmienmukaista toteutusta ja katselmoitava ne vaiheittain. Toteutuksen onnistumista arvioidaan korjaussuunnitelmassa määriteltyjen laadunvarmistustoimenpiteiden avulla. Korjausten onnistumista (haitan poistumista) arvioidaan rakennuksen käytön aikana.

Koko korjaushankkeen ajan on muistettava tiedottaa avoimesti rakennuksen käyttäjille tutkimuksista ja niiden tuloksista, käytettävistä korjausmenetelmistä, korjaustöiden aikataulusta, laadunvarmistuksesta ja niiden käyttäjille mahdollisesti aiheuttamasta haitasta sekä korjausten onnistumisen seurannasta.

2.1.2 Kosteusvaurion korjaustyötä koskeva lainsäädäntö

Rakennuksen suunnittelua ja suunnittelijoita koskeva maankäyttö- ja rakennuslain sääntely

uudistettiin syksyllä 2014 [5]. Uutena suunnittelualana otettiin mukaan kosteusvaurion korjaustyön suunnittelu, ja sitä tarvitaan yleensä rakennuksissa, joissa olevat kosteus- ja homevauriot aiheuttavat tai voivat aiheuttaa terveyshaitan.

Rakennuksen korjaus- ja muutostyötä varten tarvitaan rakennuslupa, jos työllä ilmeisesti voi olla vaikutusta rakennuksen käyttäjien turvallisuuteen tai terveydellisiin oloihin.

Rakennusvalvontaviranomainen voi hankkeen laatu ja laajuus huomioon ottaen edellyttää, että rakennuslupahakemukseen liitetään myös pätevän henkilön laatima selvitys rakennuksen kunnosta [5]. Selvityksen sisällöstä säädetään ympäristöministeriön asetuksessa rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä [6] sekä sitä selventävässä ohjeessa [7].

Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjauksissa tarvittavaa erityissuunnittelijaa kutsutaan kosteusvaurion korjaustyön suunnittelijaksi. Tästä on säädetty valtioneuvoston asetuksessa rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä [8], ja siitä on myös annettu ympäristöministeriön ohje [9]. Korjaussuunnittelutehtävät jaetaan kolmeen vaativuusluokkaan (tavanomainen, vaativa ja poikkeuksellisen vaativa) suunnittelijoiden kelpoisuuden määrittelemiseksi. Kelpoisuusvaatimuksia on tarkennettu ympäristöministeriön ohjeessa rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta [10]. Rakennustyön johtotehtävät jaetaan samoihin vaativuusluokkiin kuin suunnittelutehtävät, ja niiden kelpoisuusvaatimuksista säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa [5].

Kosteusvaurion korjaussuunnitelmaan on sisällyttävä tiedot toimenpiteistä, joilla kosteusvaurion aiheuttama haitta tai sen vaikutus sisäilmaan ja käyttäjiin poistetaan sekä tieto siitä, miten korjattu rakenne toimii sen suunnitellun käyttöikänsä aikana [6].

Energiatehokkuutta on parannettava rakennuksen rakennus- tai toimenpideluvanvaraisen korjaus- ja muutostyön tai rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä, jos se on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa [11].

2.2 Korjaussuunnitelmat

Kuntotutkimusten tulokset on suositeltavaa käydä läpi kuntotutkijan ja korjaussuunnittelijan keskinäisessä neuvottelussa korjaussuunnittelun alkuvaiheessa ja tarvittaessa suunnittelun aikana tiedonsiirron varmistamiseksi. Korjaussuunnittelijan on suositeltavaa laatia rakennusosakohtainen yhteenveto käytettävistä korjausmenetelmistä ja osoittaa sen avulla, että korjaukset kohdistuvat tutkimuksissa havaittuihin ongelmiin ja vaurioihin.

Korjaussuunnitelmissa esitetään purettavat, korjattavat ja uusittavat rakenteet sekä korjausmenetelmät ja materiaalit. Suunnitelmissa on kiinnitettävä erityistä huomiota eri rakennusosien liittymädetaljeihin. Rakenteiden rakennusfysikaalinen toimivuus osoitetaan tarvittaessa (esimerkiksi poikkeuksellisen vaativissa kohteissa) laskelmien avulla. Laajojen, monimuotoisten sekä korjaushistorialtaan runsaiden rakennusten korjaushankkeessa on varauduttava rakennustyön aikana paljastuviin yllätyksiin kattavista kuntotutkimuksista huolimatta. Tällaiset tilanteet edellyttävät yleensä lisätutkimuksia sekä korjaussuunnitelmien muuttamista tai täydentämistä.

Suunnitelmia täydentävissä selostuksissa annetaan työmaatoteutusta kuten kosteuden- sekä pölyn- ja puhtaudenhallintaa sekä rakennustöiden laadunvarmistusta koskevia ohjeita. Purku- ja suojaussuunnitelmassa esitetään tiedot purettavista rakennusosista ja purkutoimenpiteistä,

säilytettävien rakennusosien suojaamisesta sekä toimenpiteistä, joilla korjaustyöalue erotetaan rakennuksen käytössä olevasta osasta ja miten pölyn leviäminen korjaustyöalueelta käytössä olevaan osaan estetään. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksessä ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelmassa käsitellään rakennustuotteiden ja – osien suojaamista kastumiselta ja epäpuhtauksilta sekä rakenteiden kuivumista ja riittävän kuivumisasteen todentamista [12].

2.3 Korjausmenetelmät

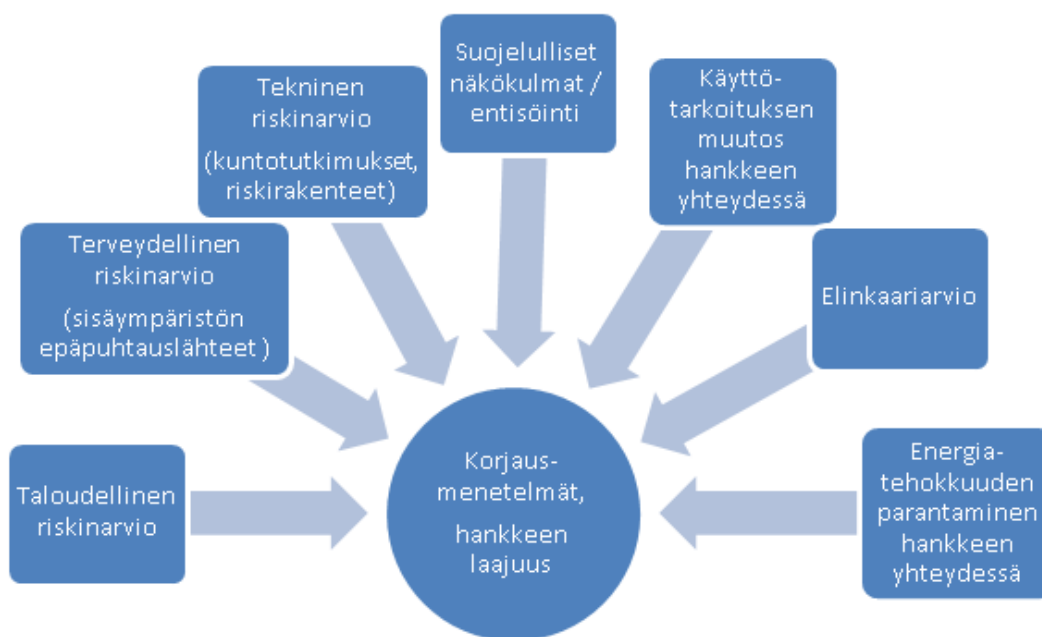
2.3.1 Yleiset valintaperusteet

Onnistuneen korjaushankkeen edellytykset ovat:

- tavoiteltavan käyttöiän määrittelyminen
- oikean korjauslaajuuden määrittelyminen
- oikean korjausmenetelmän valinta
- teknisen kokonaisuuden hallinta.

Korjausmenetelmien valintaa ohjaavia perusteita ovat rakennuksen omistajan näkökulmasta yleensä taloudelliset resurssit, rakennuksen elinkaariarvio ja energiatehokkuuden parantaminen sekä mahdolliset käyttötarkoituksen muutokset korjaushankkeen yhteydessä. Rakennuksen käyttäjien näkökulmasta korjausmenetelmien valintaperusteita ovat erityisesti tilojen terveellisyys, viihtyvyys ja korjaushankkeen kesto. Suunnittelijoiden tai urakoitsijan näkökulmasta määrääviä valintaperusteita ovat tilaajan toiveet ja taloudelliset resurssit. Niukoilla resursseilla voidaan päätyä ratkaisuihin, jotka eivät ole sopivia tai riittäviä vaurion ja sen syiden poistamiseksi, tai jos resurssit ei ole rajoitettu, voidaan päätyä ylikorjaamiseen.

Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausmenetelmän valintaan vaikuttavat useat tekijät kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. Korjausmenetelmien valintaan ja korjaushankkeen laajuuteen vaikuttavat tekijät.

2.3.2 Rakennusosakohtaiset korjausmenetelmät

Kuvassa 1 esitetyt tavoitteet, vaurioitumisaste ja vaurioiden laajuus sekä epäpuhtauslähteiden yhteys sisäilmaan määrittelevät korjaustavan. Korjaustavat jaetaan oppaassa kolmeen luokkaan:

1. Rakenteen tiiveyttä ja tuuletusta parantavat toimenpiteet sekä paikalliset pienet vauriokorjaukset
2. Rakenteen vaurioiden korjaaminen ja rakennusfysikaalisen toimivuuden parantaminen
3. Rakenteen perusteellinen korjaaminen, vaurioituneiden materiaalien poistaminen ja rakennusfysikaalisen toiminnan muuttaminen kokonaan toisenlaiseksi.

Kosteusvaurioiden syiden ja vaurioituneen materiaalin poistaminen on keskeinen tekijä kosteus- ja homevaurioiden korjauksessa. Aina tämä ei ole yksinkertaista tai edes mahdollista (esimerkiksi vesihöyryn diffuusio maaperästä alapohjarakenteen läpi). Myös tällaisiin tapauksiin esitetään toimivia korjausvaihtoehtoja reunaehtoineen.

Eri korjausmenetelmistä esitetään rakennusosittain taulukko, jossa esitetään menetelmän soveltuvuus, keskeiset onnistumisen edellytykset, riskit, tarkastus-, huolto- ja uusimisvälit sekä korjaustavan arvioitu käyttöikä. Rakennusosat on jaoteltu rakennuksen ulkopuolisiin kuivatusrakenteisiin, maanvastaisiin ja ryömintätilaisiin alapohjiin, maanvastaisiin seiniin, ulkoseiniin, yläpohjiin ja vesikattoihin, välipohjiin sekä märkätiloihin. Oppaassa kiinnitetään erityistä huomiota rakennusosien liittymiin. Lisäksi tässä luvussa käsitellään uusia korjausmenetelmiä kuten rakenteiden alipaineistamista sekä ilmanpitävyyden parantamista.

2.4 Laadunvarmistus ja seuranta

Suunnitteluasiakirjoissa on määriteltävä, miten rakennustyön laadunvarmistuksesta huolehditaan ja miten siihen liittyvien tarkastusten, kokeiden ja mittauksen tulokset dokumentoidaan. Oppaassa annetaan korjaussuunnittelijalle ohjeita erityyppisten laadunvarmistusmenetelmien käytöstä ja niiden soveltuvuudesta.

Korjaussuunnittelijan on kuvattava rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeessa (huoltokirjassa) erityistä käytönaikaista seuranta vaativat rakennusosat ja talotekniset järjestelmät sekä niiden edellyttämät tarkastukset ja mittaukset. Tällaisia ovat esimerkiksi sellaiset rakennusosat, joihin on jätetty vaurioituneita materiaaleja.

Jo suunnitteluvaiheessa on pohdittava, miten ja milloin korjaustöiden onnistumista aiotaan seurata rakennuksen käytön aikana. Seurantaan voidaan käyttää tutkimusten alkuvaiheessa ja korjausten valmistumisen jälkeen tehtyjä sisäilmastokyselyjä sekä suuntaa-antavana työkaluna sisäilmasta tehtäviä mittauksia [4].

2.5 Energiätehokkuuden parantaminen

Rakennusten energiatehokkuutta koskevat vaatimukset tiukentuvat, ja sitä on näin ollen suositeltavaa parantaa rakennuksen vaippaan kohdistuvien korjausten yhteydessä. Oppaassa tarkastellaan esimerkiksi lisälämmöneristyksen ja ilmanpitävyyden parantamisen vaikutuksia rakennusosien kosteustekniseen toimivuuteen ja vanhoissa rakennuksissa käytettäväksi soveltuvia eristemateriaaleja. Lopuksi pohditaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia korjattujen rakenteiden rakennusfysikaaliseen käyttäytymiseen.

3. Yhteenveto

Päivitetystä, rakennusalan ammattilaisille suunnatussa oppaassa on otettu huomioon korjausrakentamisen saralla viimeisen 20 vuoden aikana tapahtunut valtaisa muutos sekä tutkimus- ja korjausmenetelmien että lainsäädännön suhteen. Erityyppiset rakennusosakohtaiset korjausvaihtoehdot selkeine perusteluineen helpottavat korjaukselle asetettujen tavoitteiden mukaisen ja kohteeseen soveltuvan korjaustavan valintaa. On kuitenkin huomattava, että jokainen rakennus on yksilö, joten sen kunto on aina tutkittava ja sovellettava korjausmenetelmiä tutkimustulosten perusteella tapauskohtaisesti. Muita keskeisiä teemoja ovat korjaustöiden aikainen laadunvarmistus ja korjaustöiden jälkeinen rakennuksen käytönaikaisen toimivuuden seuranta. Oppaassa korostetaan korjaushankkeen kokonaisuudenhallintaa toisaalta ajallisesti alkaen tutkimusten käynnistämisestä ja päättyen korjausten onnistumisen todentamiseen sekä toisaalta teknisesti rakennusosien ja taloteknisten järjestelmien yhteensopivuuden osalta.

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriö. 1997. Kosteus- ja homevaurioituneen rakennuksen korjaus, Ympäristöopas 29. Tampere, Tammer-Paino Oy. 79 s.
- [2] Annala, P. J., Lahdensivu, J., Suonketo, J. & Pentti, M. 2016. Practical experiences from several moisture performance assessments. In Delgado, J. (ed.) Recent developments in building diagnosis techniques. Springer Science+Business Media, Vol. 5, Pp. 1-20.
- [3] Pirinen, J. 1999. Hyvän rakennustavan mukainen pientalojen kosteuden hallinta eri vuosikymmeninä. Lisensiaatintutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto.
- [4] Ympäristöministeriö. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. 234 s.
- [5] Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta (41/2014).
- [6] Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä (YMa 216/2015).
- [7] Ympäristöministeriön ohje rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä (YM3/601/2015).
- [8] Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä (VNa 214/2015).
- [9] Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista (YM1/601/2015).
- [10] Ympäristöministeriön ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta (YM2/601/2015).
- [11] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä (YMa 4/2013).
- [12] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta. Luonnos 21.7.2017.

Kosteudenhallintakoulutus rakennustyömaalle

Tero Marttila¹, Jommi Suonketo¹, Paavo Kero¹ ja Anne Hyvärinen²

¹ Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

² Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Tiivistelmä

Työturvallisuuskortin kaltaisen yksipäiväisen koulutuksen tavoitteena on perehdyttää rakennustyöntekijät ymmärtämään, miksi huolellisuus ja yksityiskohtien oikeaoppinen toteutus ovat tärkeitä. Keskeisimpiä asioita on tiedostaa erilaiset kosteuslähteet ja ymmärtää, minkälaiset edellytykset rakenteiden kuivumiselle vaaditaan. Koulutuksilla pyritään parantamaan yleistä asennekulttuuria työmaalla ja annetaan esimerkkejä, minkälaisia terveydellisiä ja taloudellisia seuraamuksia laiminlyönneillä saattaa olla. Työmaan kosteudenhallinnan ohella koulutuksen keskeisimpiä asioita on rakennusfysiikan perusteiden käytännönläheinen opettaminen. Koulutusmateriaali keskittyy asioihin, joihin rakennustyöntekijä voi toiminnallaan vaikuttaa, mutta kosteudenhallinnan perehdytyskoulutus on hyödyllinen myös työnjohdolle ja aliurakoitsijoiden henkilöstölle. Siksi koulutus onkin tarkoitettu kaikille rakennustyömaalla työskenteleville.

1. Johdanto

Kaikki rakennusalalla työskentelevät eivät voi erikoistua kosteusvauriokorjaamiseen, mutta kaikki rakennukset tulisi tehdä terveellisiksi ja rakennusfysikaalisesti toimiviksi. Tavoitteen saavuttamiseksi kaikilla rakennustyöntekijöillä tulisi olla perusosaaminen ja motivaatio työmaan kosteudenhallintaan.

Pilottikoulutusten järjestämistä rahoittaa Ympäristöministeriö, mutta koulutuksen valmistelu aloitettiin Valtioneuvoston rahoittamassa ja STM:n ohjaamassa Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) -tutkimushankkeessa, jonka koordinaatiosta vastasi Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) yksikönpäällikkö, tutkimusprofessori Anne Hyvärinen. Koulutuksen valmistelusta vastaa Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) projektitutkija Tero Marttila. Muut koulutuksen valmisteluun osallistuvat työryhmän aktiiviset jäsenet ovat:

- projektipäällikkö Jommi Suonketo, TTY,
- johtava asiantuntija Helmi Kokotti, Suomen Sisäilmakeskus Oy,
- toimialapäällikkö Timo Turunen, Ramboll Oy,
- koulutusnäällikkö Arja Vainio, Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO,
- asiamies Jani Kempainen, Rakennusteollisuus RT ry,
- työpäällikkö Hannu Pekkarinen, Lujatalo Oy,
- asiantuntija Petri Mannonen, Vahanen Rakennusfysiikka Oy,
- lehtori Pekka Väisälä, Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK),
- lehtori Hannu Kääriäinen, Oulun ammattikorkeakoulu (OAMK),
- johtaja Kalle Laine, TTS Työtehoseura,
- vanhempi asiantuntija Sari Paukku, Granlund Consulting Oy (aiemmin laatuinsinööri NCC Building)
- projektipäällikkö Timo Marttila, Espoon Asunnot Oy

- koulutuskoordinaattori Ninna Kokko, Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO

Lisäksi ainakin yhteen työryhmän kokoukseen (ja mahdollisesti myös jatkossa) on osallistunut:

- asiantuntija Rauno Peltola, HTT-tarkastus,
- projektipäällikkö Olli Teriö, TTY,
- projektitutkija Paavo Kero, TTY (ja FCG).

2. Rakennustyöntekijöiden kosteudenhallintakoulutuksen tavoitteet

Työmaan kosteudenhallinnalla tarkoitetaan käytännössä sellaisia toimenpiteitä, joilla pyritään varmistamaan, ettei kosteusvaurioita syntyisi rakentamisen aikana tai sen seurauksena.

Rakennustyöntekijöille suunnatun kosteudenhallintakoulutuksen tarkoituksena on perehdyttää kaikki toimintamalliin sitoutuneen työmaan toteutukseen osallistuvat henkilöt rakennusfysiikan perusteisiin ja kosteudenhallinnan hyviin käytäntöihin.

Tavoitteena on parantaa rakennustyömaan toteutusportaan asennetta, osaamista ja laatua.

Koulutus on suunnattu kaikille työntekijöille, ei ainoastaan erikoisosaajille. Koulutuksella pyritään siihen, että kaikilla työntekijöillä rakennusapulaisista aliurakoitsijan asentajiin olisi äidinkielestään riippumatta perustiedot kosteuden siirtymisen fysikaalisista lainalaisuuksista sekä kosteudenhallinnan laiminlyöntien vaikutuksista ja seuraamuksista rakennuksen sisäilman laatuun ja tulevien käyttäjien terveyteen.

Kehityshankkeen pitkäntähtäimen suunnitelmana on, että kosteudenhallintakoulutus yleistyisi rakennusalalla työturvallisuuskortin laajaiseksi yleiseksi käytännöksi.

3. Koulutuksen järjestäminen ja sisältö

Koulutus on suunniteltu hyvin samankaltaiseksi kuin työturvallisuuskorttikoulutus. Koulutus kestää yhden päivän (8 h), jonka päätteeksi järjestetään tentti. Tentin läpäisy oikeuttaa viisi vuotta voimassa olevaan pätevyteen. Pätevyys aiotaan tulevaisuudessa linkittää valttikorttiin (veronumero.fi), joten uutta fyysistä korttia ei tarvitse hankkia. Oppimateriaali muodostuu ainakin pilotointivaiheessa pdf-tiedostosta, jonka koulutuksen järjestäjä jakaa osallistujille haluamallaan tavalla joko sähköisenä tai tulostettuna. Koulutusmateriaalina käytetään mahdollisimman paljon muualla tuotettua aineistoa, jonka lisänä käytetään myös itse tuotettua aineistoa. TAMK:n rakennusarkkitehtiopiskelijat ovat kuvittaneet koulutusmateriaalia.

Keskeisimpiä ulkopuolisia lähteitä ovat:

- BUILD UP Skills – motiva.fi (valmiiksi 5 kielellä) [1]
- Kuivaketju10.fi

Pilottikoulutukset pidetään vain suomeksi, mutta myöhemmin koulutusta järjestetään myös muilla kielillä. Koulutuksessa käytetään mahdollisimman paljon kuvia. Kouluttajien kouluttamisesta ja heidän pätevyysrekisterin ylläpidosta tulee vastaamaan Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus (RATEKO). Pilottivaiheessa kouluttajat tulevat hanketta valmistelevan työryhmän sisältä.

Koulutuspäivä jakautuu neljään pääkokonaisuuteen, jotka ovat:

- Rakennusfysiikan perusteet
- Työmaan kosteudenhallinta

- Käytännöllisiä esimerkkejä (ml. esimerkiksi vaikutukset sisäilmaan)
- Tenti ja oikeiden vastausten läpikäyminen

Ennen rakennusfysiikkaan perehtymistä koulutettavat herätellään aiheeseen käytännönläheisellä ja ajankohtaisella avauksella, johon koulutuksen pitäjä voi käyttää koulutuspaketin mukana toimitettavia lehtileikkeisiin perustuvia kalvoja tai omakohtaista esimerkkiään. Motivointi, asenteen ja yhteisen päämäärän korostaminen on keskeistä koulutuksen kaikissa vaiheissa.

3.1 Rakennusfysiikkaa

Rakennusfysiikan yleistä teoriaa opetetaan mahdollisimman käytännönläheisesti ja siinä keskitytään peruskäsitteiden ymmärtämiseen. Rakennustyöntekijöille selitetään esimerkiksi, mikä ero on suhteellisella kosteudella (RH, %) ja absoluuttisella kosteudella (g). Kyllästyskosteus, kastepiste ja kondenssi ovat toisiinsa liittyviä käsitteitä, jotka opetetaan havainnollistavien kuvien avulla.

Keskeisimpiä asioita laadukkaan ja terveellisen rakennuksen tuottamiselle on ymmärtää, kuinka kosteus siirtyy ja miten siltä suojaudutaan. Opetettavia kosteuden siirtymismuotoja ovat [3]:

- Konvektio (ilmavirrat)
- Vesihöydyn diffuusio rakenteen läpi
- Kapilaarivirtaus (yleensä maaperästä)
- Paineenalainen & painovoimainen siirtyminen (vesivuodot)

Perusteorian ymmärtäminen auttaa rakennustyöntekijää käsittämään, miksi höyrynsulkumuovi on sijoitettava rakenteen lämpimälle puolelle ja asennus on toteutettava tiiviisti. Teorian opetuksella pyritään myös pääsemään eroon erilaisista kansankielisistä käsitteistä, kuten pullotalot.

3.2 Työmaan kosteudenhallinta ja esimerkit

Kosteudenhallinnalla estetään rakenteiden ei-toivottua kastumista niin valmiissa rakennuksessa kuin rakentamisen ajanakin. Yhtä tärkeää on ymmärtää, millaiset olosuhteet kuivumiselle tarvitaan. Kuivuminen noudattaa samoja kosteuden siirtymisen peruseriaatteita kuin kastuminenkin, joten koulutuspäivän aamuna opetettu teoria auttaa ymmärtämään myös kuivumisolosuhteiden edellytyksiä.

Työmaan kosteudenhallintaa opetetaan hyvin käytännönläheisesti. Esimerkiksi rakennusmateriaalien säilyttämisestä ohjeistetaan, että ne eivät saa kastua välivarastoinnin aikana eivätkä ne myöskään saa haitata rakenteiden kuivumista esimerkiksi paikallavaletun välipohjan päällä.

Käytännössä kosteudenhallinnan yksinkertaisimpia mutta keskeisimpiä asioita on sääsuojaus. Jokaisen rakennustyöntekijän tulee ymmärtää esimerkiksi, että rakennusvaiheen aikana ennen ovien ja ikkunoiden asentamista kaikki niille jätetyt aukot on suojattava sateelta ja lumelta. Kosteudenhallintaan liittyvien toimenpiteiden tärkeyttä korostetaan esittämällä esimerkkejä siitä, miten vähäisiltäkin tuntuvat laiminlyönnit saattavat vaikuttaa hankkeen kustannuksiin ja tulevien käyttäjien terveyteen myöhemmin.

Esimerkkien avulla rakennustyöntekijät halutaan saada ajattelemaan, kuinka he voivat omalla toiminnallaan vaikuttaa siihen, minkälaisia suoria seuraamuksia heidän tekemällään työllä saattaa

olla rakennuksen rakennusfysikaaliseen toimivuuteen tai jopa konkreettisia vaikutuksia mikrobivaurioiden syntyyn. Kuvitteellisten esimerkkien lisäksi kouluttajat voivat esittää todellisia case-esimerkkejä omista kokemuksistaan, kunhan niihin on saatu lupa ja ne ovat asiallisia eivätkä loukkaa ketään.

4. Suositukset ja lisätutkimustarpeet

AVATER-hankkeessa aloitetun työn jatkohanke on jo käynnissä ja pilottikoulutukset suoritetaan vuoden 2017 loppupuolella. AVATER-hankkeessa todettiin seuraavat suositukset:

Suosituks

- Rakennushankkeiden tilaajia kehoitetaan ottamaan toimintamalli käyttöönsä. Tilaajien tulee liittää tarjouspyyntöasiakirjoihin vaatimus, että kaikki työmaan työntekijät suorittavat kosteudenhallintakoulutuksen.
- Koulutusta suositellaan osaksi rakennustyöntekijöiden sekä muiden rakennustyömaalle sijoittuvien toimijoiden peruskoulutusta.

Tutkimustarpeet

- Koulutuksen vaikuttavuutta ja koulutustilaisuuksista kerättävää palautetta tulee analysoida ja tarvittaessa on tehtävä muutoksia koulutuspaketin sisältöön.
- Tulevaisuudessa on selvitettävä tarpeita ja mahdollisuuksia rakennustyöntekijöille suunnatun kosteudenhallintakoulutuksen laajentamisesta myös muiden rakentamisen ja kiinteistöpidon osapuolten perus- ja jatkokoulutukseen sekä tehdä tarvittaessa muutoksia koulutusmateriaaliin.
 - Ainakin arkkitehdeille, rakennuttajille ja huoltohenkilöstölle olisi tarpeellista yksilöidä rakennustyöntekijöiden koulutusmateriaalista poikkeavia koulutuspaketteja, mutta samat perusteet tulisi opettaa kaikille.

5. Yhteenveto

Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) hankkeessa muodostettiin työryhmä, joka suunnitteli kosteudenhallintakoulutuksen käytännön järjestelyjä sekä sisältöä vuonna 2016. Pilottikoulutukset järjestetään loppuvuodesta 2017 pääasiassa saman, mutta muutamalla lisäjäsenellä täydennetyn työryhmän toimesta.

Pyrkimyksenä on, että koulutuksen toimintamalli pilotoidaan, pilottikohteista kerätty kokemus ja tulokset julkaistaan, minkä jälkeen toimintamalli otetaan yleiseen käyttöön. Yleistyminen edellyttää, että tilaajat vaativat koulutuksen järjestämistä ja hyväksyvät, että urakoitsija ottaa koulutuspäivän johdosta menetetyn työajan huomioon urakkatarjouksissaan. Pätevyys on voimassa viisi vuotta, joten toimintamallin yleistyttyä kaikkia työntekijöitä ei enää tarvitse kouluttaa kerralla. Kosteudenhallinnan laadunvarmistukseen tehty konkreettinen satsaus tuottaa lisäarvoa hankkeen kaikille osapuolille. Yhdenkin virheen välttäminen voi säästää koko henkilöstön kouluttamiseen käytetyn rahasumman ja ennaltaehkäistä tulevia käyttäjiä terveyshaitoilta. Pitkällä tähtäimellä toimintamallista hyötyy siis paitsi urakoitsijat (takuutöiden vähentymisenä), mutta erityisesti kiinteistönomistajat (rakennushankkeiden onnistumisena).

Eräs keskeisempiä haasteita on varmistaa, että kaikki rakennustyömaalla työskentelevät, mukaan lukien aliurakoitsijoiden työntekijät, osallistuvat koulutukseen. Toimintamalli olisi siksi saatava

yhtä yleiseksi kuin työturvallisuuskortin suorittaminen on. Pilottityömailla hyväksytään, että kaikkia työntekijöitä ei saada koulutettua, koska koulutusten järjestämiseen on käytettävissä vain rajallinen määrä resursseja eikä pilotointiin osallistuvista hankkeista veloiteta kouluttajan palkkiota. Jatkossa koulutuksen tilaajan tulee maksaa kouluttajalle palkkio koulutuksen pitämisestä tai hankkia koulutuspätevyys jollekin oman henkilöstön jäsenelle.

Lähdeluettelo

- [1] BUILD UP Skills Finland – lisää energiaosaamista rakennustyömaille.
<https://www.motiva.fi/buildupskills>
- [2] Rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessi. <http://kosteudenhallinta.fi>
- [3] Vinha, J (2009). Rakennusten rakennusfysikaalisen suunnittelun ja rakentamisen periaatteet. Rakentajain kalenteri 2009. Rakennustieto.

FISEn rakennusvirhepankki kosteusongelmien ratkaisussa

Marita Mäkinen¹, Timo Turunen², Hannu Kääriäinen³, Pekka Väisälä⁴, Gunnar Åström⁵, Helmi Kokotti⁶ ja Hannu Pekkarinen⁷

¹ Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevyudet FISE Oy

² Ramboll Finland Oy

³ Oulun ammattikorkeakoulu Oy

⁴ Tampereen ammattikorkeakoulun Oy

⁵ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

⁶ Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus RATEKO

⁷ Lujatalo Oy

Tiivistelmä

FISE Oy:n rakennusvirhepankki julkaistiin uudistettuna vuoden 2017 alussa osoitteessa www.fise.fi/rakennusvirhepankki/. Artikkelissa esitellään verkkopalvelun sisältöä ja toimintaperiaatetta.

Virhepankki koostuu virhekuvauksista ja virhekorteista. Virhepankki sisältää toiminnon virheilmoituksen tekemiseen. Saapuneiden virheilmoitusten pohjalta julkaistaan virhekuvia, jotka ovat lyhyitä tietoiskuja toteutuneista rakennusvirheistä. Lisäksi palvelussa on asiantuntijoiden laatimia virhekortteja, joissa esitetään toteutuneiden virheiden taustoja, niiden aiheuttamia ongelmia ja kerrotaan korjausperiaatteita lisätietolähteineen.

Virhepankki toimii yhteisöllisesti vastavuoroisuusperiaatteella. Jotta se saadaan kattamaan laajasti kosteus- ja homevaurioiden korjauksiin liittyviä virheitä, kosteusvaurioiden korjausasiantuntijoiden tulisi aktiivisesti ilmoittaa virheitä palveluun. Ilmoitetut virheet voidaan julkaista virhekuvauksina, jolloin tieto leviää tehokkaasti ja estetään samojen virheiden toistuminen.

1. Johdanto

FISEn rakennusvirhepankki on julkinen tietokanta, jonne kerätään rakentamisen eri vaiheissa toteutuneita rakennusvirheitä. Virhepankin tavoitteena on esimerkkien avulla kuvata virheeksi tulkittuja ongelmatilanteita sekä esittää toimenpiteitä virheiden ennaltaehkäisyksi ja korjaamiseksi ja siten estää vastaavien tilanteiden toistumista tulevaisuudessa. Sen tavoitteena on toimia rakentamisen eri osapuolten verkkopalveluna, jota jokainen voi monipuolisesti hyödyntää hakiessaan tietoa suunnittelusta, toteutuksesta tai ylläpidosta niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin.

2. Rakennusvirhepankin uudistaminen

FISE käynnisti vuonna 2016 kehittämishankkeen rakennusvirhepankin uudistamiseksi. Lähtölaukaus kehittämishankkeelle oli tarve saada virhepankki kattamaan uudisrakentamisen virheiden lisäksi rakennusten korjaamisessa toistuvasti esiintyviä virheitä. Korjausrakentamisen lisääntyessä vakavaksi huolenaiheeksi olivat muodostuneet korjauskierteet, joissa mittavista korjaustoimenpiteistä huolimatta ongelmia ei ollut saatu poistettua. Monessa tapauksessa taustalla

oli vaikeus oikean tiedon saannissa. Ympäristöministeriö rahoitti hanketta yhtenä käytännön toimenpiteenä eduskunnan antamien kosteus- ja homelausumien ratkaisemisessa.

Hankkeen ensimmäinen osa saatiin valmiiksi vuoden 2016 lopussa. Siinä kehitettiin rakennusvirhepankille nykyaikainen verkkopalvelu, joka löytyy osoitteesta www.fise.fi/rakennusvirhepankki/. Verkkopalvelussa on toiminnot rakennusvirheen ilmoittamiseen sekä niiden esittämiseen virhekuvauksina ja virhekortteina.

Hankkeen yhteydessä laadittiin yhdeksän uutta kosteusvaurioiden korjaamiseen liittyvää virhekorttia. Samalla päivitettiin vanhan virhepankin virhekorttien sisältö nykymääräyksiä vastaavaksi.

Hanke jatkuu vuosina 2017–2018. Operatiivisessa projektiryhmässä ovat mukana FISEn Marita Mäkisen lisäksi Gunnar Åström Suomen Rakennusinsinöörien Liitosta, Hannu Kääriäinen Oulun ammattikorkeakoulusta, Pekka Väisälä Tampereen ammattikorkeakoulusta, Timo Turunen Ramboll Finland Oy:stä, Helmi Kokotti Rakennusalan Koulutuskeskus RATEKOsta ja Hannu Pekkarinen Lujatalo Oy:stä. Hanketta rahoittavat ympäristöministeriö ja Rakennustuotteiden Laatu Säätiö. Hankkeen ohjausryhmässä toimivat edellä mainittujen tahojen lisäksi Finanssiala, Espoon kaupungin tilakeskus, Rakennustarkastusyhdistys ja sosiaali- ja terveysministeriö.

Hankkeen toisen vaiheen ensimmäisenä toimenpiteenä aloitettiin vuonna 2017 virheiden keruukampanja, jolla pyritään tavoittamaan laajasti rakentamisen eri osapuolia ja aktivoimaan heitä virheilmoitusten tekoon.

HARMITTAAKO TOISTUVAT RAKENNUSVIRHEET?

Voisiko niitä välttää tehokkaammin?
Tarvitsemmeko virheisiin liittyvän tiedon avoimempaa jakamista?
Saanko minä osallistua rakennusvirhepankin kehittämiseen?

Hyödynnä FISEn rakennusvirhepankkia.

RAKENNUSVIRHEIDEN KERUUKAMPANJA ON KÄYNNISSÄ

FISE     fise.fi/rakennusvirhepankki

Kuva 1. Rakennusvirheiden ilmoittaminen on avaintoiminto rakennusvirhepankissa.

Kunnianhimoisena tavoitteena on saada rakennusvirhepankista yleisesti hyödynnettävä työkalu rakennuttajille, suunnittelijoille, tutkijoille ja tarkastajille, rakentajille, alan opettajille, viranomaisille, rakennusten omistajille ja käyttäjille. Tämän toteuttamisessa tarvitaan kaikkien rakennusalan ammattilaisten panostusta.

3. Rakennusvirhepankin sisältö ja toimintaperiaate

Rakennusvirhepankkia rakennetaan yhteisöllisesti vastavuoroisuusperiaatteella. Verkkopalvelun Ilmoita rakennusvirhe -osiossa pystyy ilmoittamaan virheeksi tulkitun ongelmatilanteen joko suomeksi tai ruotsiksi. Ilmoituksen edellytyksenä on, että se on ilmoitusvaiheessa tutkittu ja korjaus on suunniteltu. Suosituksena on, että virhe olisi jo korjattu, jotta ilmoitus kattaisi myös korjauksen toteutusvaiheen.

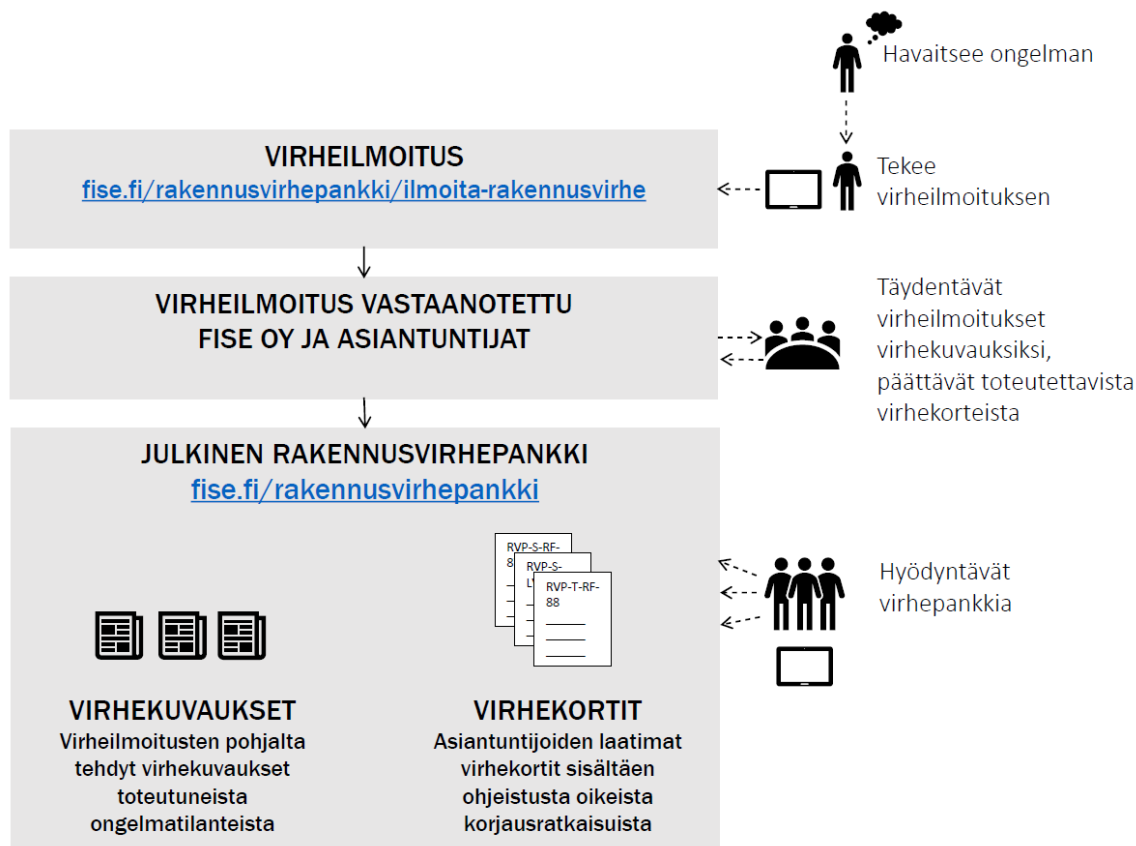


Kuva 2. Virheilmoituksen voi tehdä helposti FISEn verkkosivuilta. ILMOITA RAKENNUSVIRHE-painikkeesta avautuu ohjeistettu lomake suomen tai ruotsin kielellä.

Virheilmoituksen saavuttua FISEen se tarkistetaan virheen aihealueen asiantuntijoiden kanssa ja muokataan julkaisuasultaan palveluun sopivaksi. Tässä yhteydessä tarkistetaan termit, tehdään ristiinlinkitykset aiemmin julkaistuihin virhekuvauksiin ja virhekortteihin ja lisätään mahdollisimman kattavasti lähteitä, joista saa lisätietoa asiasta. Tämän jälkeen virheilmoitus julkaistaan verkkopalvelussa virhekuvausena.

Virhekuvausten lisäksi palvelussa on virhekortteja. Ne ovat asiantuntijoiden laatimia virhekuvauksia kattavampia esityksiä virheiksi tulkituista ongelmatilanteista. Niiden tavoitteena on jakaa ajankohtaista tietoa virheellisistä rakenne- ja järjestelmäratkaisuista ja hyvän rakentamistavan mukaisista korjaustavoista sekä lisäksi ohjata lisätietoa hakevaa luotettavien tietolähteiden pariin. Virhekortit on tarkoitettu ammattilaisten käyttöön ja edellytyksenä niiden soveltamiseen on riittävä ammattitaito ja perehtyneisyys kyseessä olevaan aihealueeseen, sen taustateorioihin, määräyksiin ja ohjeisiin.

Virhekuvaukset ja -kortit esitetään puhtaasti tekniseltä kannalta ilman tapauksiin liittyviä tuotenimiä tai osapuolia. Tarkoitus ei siis ole leimata yksittäisiä henkilöitä, organisaatioita, ammattiryhmiä tai tuotteita. Tarkoitus on toimia puolueettomasti avoimena tiedon jakajana ja siten hyvän rakentamistavan edistäjänä. Kaikki osapuolet hyötyvät, kun kerrotaan ja jaetaan kokemukset avoimesti. Kun toiminta saadaan riittävän kattavaksi, saavutetaan paitsi laadukkaampaa rakentamista myös kustannussäästöjä, ja koko rakennusalan maine paranee.



Kuva 3. Virhepankin sisältö ja toimintaperiaate.

4. Rakennusvirhepankki kosteusongelmien ratkaisussa

Kosteusvaurion korjausasiantuntijoilla on keskeinen rooli uuden järjestelmän tehokkaassa rakentamisessa ja käyttöönotossa kosteus- ja homeongelmien ratkaisemisessa. Havaittuaan virheen asiantuntija voi itse tehdä siitä virheilmoituksen tai kannustaa hankkeen muita osapuolia sen tekemiseen. Ilmoittajan anonymisyys taataan. Virheiden ilmoittamisen tulee olla jatkuvaa toimintaa, jolloin tiedon jakaminen toteutuneista ongelmatilanteista voi estää vastaavien virheiden toistumisen ja vähentää virheiden määrää.

Kosteus- ja homevauriokorjaukset ovat usein pitkiä prosesseja ja niissä esiintyvät virheet monista eri seikoista johtuvia. Virhepankki-hankkeessa saadun kokemuksen perusteella monisyiset ongelmat voidaan suhteellisen nopealla analyysillä pilkkoa pienempiin osiin ja löytää merkittävimmät ongelmat. Juuri nämä ovat niitä, joista toivottaisiin virheilmoituksia. Niiden ennaltaehkäisemisellä olisi suurin vaikutus korjausten onnistumiseen.

Virheilmoituksen teko saattaa tuntua ylimääräiseltä työltä varsinaisen korjausprojektin valmistuttua. Jotta projekteista opittaisiin, ne tulisi joka tapauksessa analysoida kriittisten tekijöiden tunnistamiseksi. Tässä analysointityössä virhepankkia voi hyödyntää taustamateriaalina. Fiksua on sitten itse osallistua toimintaan tekemällä analyysin pohjalta virheilmoitus. Vasta näin toimien saavutetaan win-win-tilanne, jossa kaikki osapuolet hyötyvät ja saavutetaan välillisiä vaikutuksia mm. alan maineen paranemisena.

Virhepankkia voidaan hyödyntää kosteusongelmien ratkaisemisessa mm. riskien tunnistamisessa, työn suunnittelussa, tuotekehityksessä ja opetustyössä. Virhepankissa on tätä kirjoitettaessa

rakennusfysiikkaan liittyviä virhekuvauksia 5 kpl ja virhekortteja 18 kpl. Virhepankkihankkeen toisessa vaiheessa tullaan tekemään uusia rakennusfysiikkaan, kosteusvaurioihin ja korjausrakentamiseen liittyviä kortteja.

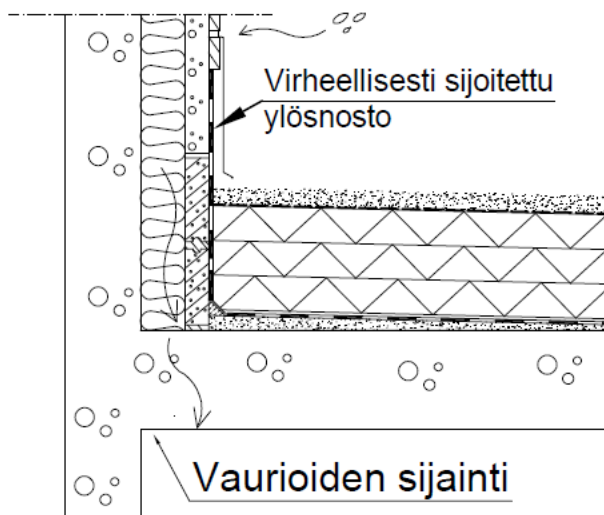
5. Esimerkki kosteusongelmaan liittyvästä virhekortista

Rakennusvirhekortin RVP-S-RF-63 [1] aihe on ”Vesikaton vedeneristysten ylösnoston virheellinen sijainti”. Se kertoo kuvan 4 mukaisesta virheellisestä rakenneratkaisusta, jossa vesikaton vedeneristys on nostettu ylös viereisen ulkoseinän ulkokuoren ulkopintaa vasten. Virheellistä ratkaisua on voitu käyttää sekä normaalissa että käännettyssä vesikattorakenteessa.

Virheellisessä rakenneratkaisussa julkisivuverhouksen taakse saumojen kautta kulkeutuva vesi pääsee valumaan vedeneristysten taakse ja alapuolelle. Rakenne kastuu ja sen seurauksena voi aiheutua kosteusvaurioita.

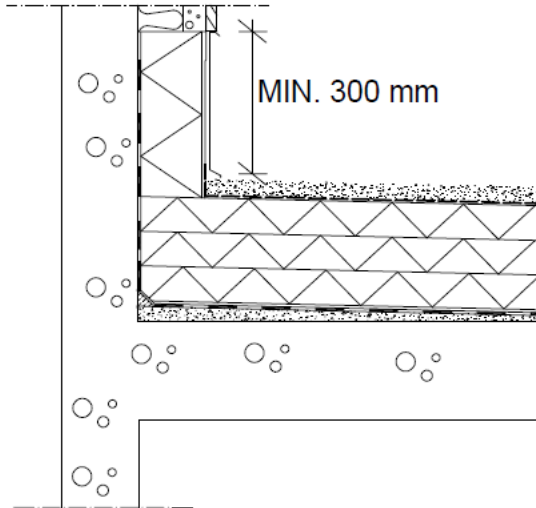
Vedeneristysten ylösnosto pitää tehdä seinän lämmöneristysten taakse lämmintä pintaa eli sisäkuoren ulkopintaa vasten. On selvää, että korjauskohteessa tämän toteuttaminen on työlästä. Esimerkiksi tiiliverhotuissa ulkoseinissä muuraus tukeutuu yleensä sokkelin kautta vesikaton päältä. Korjaus edellyttää joko tiiliseinän ulkokuoren ja sokkelin purkamista kokonaan tai yläpuolella olevan tiiliseinän työnaikaista tuentaa. Samoin yleisessä sandwich-elementtiratkaisussa korjaus on työlästä.

Oikean korjaustavan työläydestä johtuen vesikaton vedeneristystä uudistettaessa on saatettu käyttää virheellistä ratkaisua ajattelematta tarkemmin seurauksia. Tämä ”fuskaus” on aiheuttanut myöhemmin huomattavia kosteusvaurioita ja niiden mukanaan tuomia muita seurauksia. Virhe tuo hyvin esiin korjausrakentamisen haastavuuden uudisrakentamiseen nähden.



Kuva 4. Käännetyn katon vedeneristysten ylösnosto on tehty virheellisesti seinän ulkokuoren ulkopintaa vasten (kuva: K. Hakala).

Virhekortissa RVP-S-RF-63 on esitetty virheellisen ratkaisun korjausperiaatteet ja hyvän rakentamistavan mukainen ratkaisu.



Kuva 5. Periaatekuva käännetyn katon vedeneristyksen ylösnoston oikeasta ratkaisusta (kuva: K. Hakala).

6. Yhteenveto

Käynnissä olevassa Virhepankki-hankkeessa pyritään kehittämään rakennusvirhepankkia entistä kattavammaksi ja toimivammaksi verkkopalveluksi. Ilmoita rakennusvirhe -toiminnolla rakennushankkeiden eri osapuolet voivat ilmoittaa havaitsemiaan toteutuneita ongelmatilanteita palveluun. Virheilmoitukset muokataan julkaistaviksi virhekuvauksiksi. Tämän lisäksi palvelussa on asiantuntijoiden laatimia virhekortteja.

Tavoitteena on saada rakennusvirhepankista helppokäyttöinen työkalu rakennuttajille, suunnittelijoille, tutkijoille ja tarkastajille, rakentajille, alan opettajille, viranomaisille, rakennusten omistajille ja käyttäjille. Palvelun rakentamisessa kosteus- ja homevaurioiden virheet kattavaksi tarvitaan tämän erityisalan ammattilaisten aktiivista panosta.

Virhepankkiin on luotu puitteet luotettavalle yhteisölliselle toiminnalle. Palvelussa julkaistavat virhekuvaukset ja virhekortit ovat asiantuntijoiden tarkistamia. Asiat esitetään neutraalisti ja viimeisimpään tietoon tukeutuen. Ilman oikeista kohteista saatavia virheilmoituksia se jää kuitenkin suppeaksi ja teoreettiseksi eikä muodostu tavoitelluksi konkreettiseksi työkaluksi. Kaikkien rakennusalan ammattilaisten aktiivinen toiminta on juuri nyt avain palvelun kattavuuden laajentamisessa. Osoitetaan, että rakennusalalla toimitaan avoimesti ja vastuullisesti ja että haluamme kehittää toimintaamme koko ajan.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennusvirhepankki virhekortti RVP-S-RF-63, <http://fise.fi/virhekortti/vesikaton-vedeneristyksen-ylosnoston-virheellinen-sijainti/>, viitattu 13.8.2017.

Rakennusten toimivuuden varmistus uudis- ja korjausrakentamisen laadunohjausmenetelmänä

Markku Hienonen¹, Ilkka Räinen¹, Antti Knuuti² ja Timo Kauppinen³

¹Oulun Rakennusvalvonta

²VTT

³Tmi Mutsal

Tiivistelmä

Toimivuuden varmistus (ToVa, Building Commissioning, Cx) on uudis- ja korjausrakentamisessa sovellettava laadunohjausmenetelmä, joka kattaa rakentamisprosessin hankesuunnittelusta käyttövaiheeseen. Toimivuuden varmistuksen lähtökohtana ovat tilaajan asettamat toimivuusvaatimukset (Owner's project requirements, OPR), joita seurataan toimivuusvaatimukseen sidotuilla keskeisillä toimivuustekijöillä (Key Performance Indicators, KPI). Rakentamishankkeen eri vaiheissa tarkistetaan, miten toimivuusvaatimuksiin ja toimivuuteen yleensä vaikuttavat tekijät ovat toteutettu. Lopputuloksena rakennuksen tulee toimia yhtenä kokonaisuutena suunnitellulla tavalla.

Tässä esityksessä esitetään ToVa-menettelyn periaatteellinen kulku sekä esimerkkinä käytännön sovellutuksena Oulun kaupungin rakennusvalvonnan ToVa-korttien alustava sisältö. Lisäksi esitetään kahden keskisuuren kaupungin kokemuksia olemassa olevan julkisen rakennuskannan ongelmista sekä esimerkkinä kahden koulurakennuksen toimivuuden parantamisesta sekä käyttöön lyhytaikaisesta jatkamisesta ylipaineistuksella. Monitoroinnin ja eri tyyppisten mittauksen osuus ja merkitys tuodaan esille. Rakennusfysikaalisten tekijöiden korostaminen sekä uudis- että korjausrakentamisessa on entistäkin tärkeämpää määräysten tiukentuessa.

1. Johdanto

Julkisessa rakentamisessa kunnilla on kasvava korjausvelkaa. Erityisesti pienissä ja keskisuurissa kunnissa ja kaupungeissa ei ole käytettävissä resurssejakaan ongelmien selvittämiseksi. Rakennusten kunnan ja toimivuuden arviointimenetelmien ja laadunohjauksen kehittämistä tarvitaan päätöksenteon tueksi. Lähes päivittäin saadaan lukea uutisista kouluista, päiväkodeista ja julkisista rakennuksista, jotka on otettu pois käytöstä tai asetettu käyttökieltoon sisäilmaongelmien vuoksi. On esimerkkejä koulurakennuksista, joissa on tehty kunto- ja sisäilmatutkimuksia moneen kertaan, ja joita on korjattu useaan kertaan – lopputuloksena on ollut pahimmassa tapauksessa rakennuksen purku tai käytöstä poistaminen [1].

Oulun kaupungin rakennusvalvonta on kehittänyt rakentamisen laadunvalvontaa jo 2000-luvun alusta lähtien. Yhtenä muotona ovat erityyppiset laadunohjauskortit. Uusimpana hankkeena on pientalojen toimivuuden varmistusohjekortti sekä asuinkerrostalojen peruskorjauksen toimivuuden varmistus -ohjekortti [2], [3]. Pientalorakentajilla ei useastikaan ole tietoa rakennuksen toimivuuteen vaikuttavista tekijöistä, ja hankkeessa on useita eri toimijoita. Asuinkerrostalojen peruskorjauksessa on erittäin tärkeää, että asetetut tavoitteet saavutetaan ja että rakennus toimii suunnitellusti siten, että uusintakorjauksin ei tarvitse lähteä.

Vaikka suuri osa uudisrakennuksista toimiikin suunnitellusti, ei niissä pitäisi esiintyä nykyistä määrää suunnittelusta, toteutuksesta ja käytöstä johtuvia virheitä ja ongelmia. Olemassa oleva

rakennuskanta muodostaa energiatehokkuuden parantamisessa ja sisäolosuhteiden kehittämisessä keskeisen alueen, koska uudisrakentamisen volyyymi on vain n. 1–2 % rakennuskannasta suhdanteista riippuen ja eniten korjausta vaativat rakennukset on rakennettu 60–80-luvuilla.

2. Toimivuuden varmistus

Building Commissioning (Cx), rakennusten toimivuuden varmistus (ToVa), on menetelmä, jonka tavoitteena on, että rakennus, uusi tai korjattava, täyttää sille asetetut vaatimukset. Kyseessä ei ole mikään uusi, entiset laadunohjaus- ja varmistusmenetelmät syrjäyttävä menettely, vaan rakennuksen koko elinkaaren kattava toimintamalli, jossa rakennusprojektin eri vaiheissa hankesuunnittelusta käyttöön varmistetaan eri toimenpiteillä, että rakennus toimii suunnitellusti [4], [5], [6]. Yksinkertaisimmillaan toimivuuden varmistus käsittää eri rakentamisprosessin vaiheiden aikana esimerkiksi tarkistuslistojen, mittauksien ja muiden toimenpiteiden avulla rakennukselle asetettujen tavoitteiden todentamisen.

Rakennuksen toimivuus ja erityisesti energiankulutus määräytyy pääosin hankesuunnittelu- ja suunnitteluvaiheen aikana. On tärkeää, että asetetut tavoitteet ja edellytykset niiden saavuttamiseen määritellään riittävän yksityiskohtaisesti ja riskikohtien suunnitteludetaljit esitetään asianmukaisesti ja viedään myös työmaalle. Se edellyttää erityisesti rakennuksen sisäolosuhteisiin ja energiatehokkuuteen vaikuttavien suunnitteludetaljien tarkistamisen ja tarvittaessa täydentämisen, rakentamis- ja käyttöönottovaiheessa niiden todentamisen ja käyttövaiheessa varmentamisen. Rakennuksen vaipan osalta se tarkoittaa, että eristyspaksuuden kasvaessa kiinnitetään huomiota liitoskohtien toteuttamiseen ja tiiviysvaatimusten täyttymiseen. Rakenteiden geometrian muutokset vaikuttavat myös toimivuuteen. Puhtaan tai ideaalisen rakenteen – ”pure construction” – toteuttaminen on yksinkertaisempaa liitoskohtiin verrattuna. Erilaiset rakenteiden mallintamiset antavat hyvän pohjan esimerkiksi erilaisten rakenneratkaisujen toimivuuden arviointiin. Lähtökohtana rakennuksen toimivuudelle ovat siis sille asetetut toimivuustavoitteet esimerkiksi energiankulutustavoitteet ja sisäolosuhdetavoitteet. Tavoitteiden toteutumista rakennusprosessin eri vaiheissa seurataan keskeisillä toimivuustekijöillä (Key Performance Indicators, KPI), jotka täytyy määrittää toimivuustavoitteiden yhteydessä.

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus yhdessä rakennuksen vaipan, sääolosuhteiden ja kuormituksen sekä käytön kanssa muodostavat sisäolosuhteet. Uudis- ja korjausrakentamisessa on varmistettava taloteknisten järjestelmien yhteensopivuus, sekä eri järjestelmien yksittäinen toiminta, kuten ilmamäärät, painesuhteet jne. Jo suunnitteluvaiheessa pitää harkita minkälaista mittaus- ja seurantatekniikkaa mahdollisesti tulevaan rakennusautomaatiojärjestelmään tai yleensä rakennukseen on syytä asentaa. Taloteknisten järjestelmien yhteentoimivuus tulee varmistaa, jos rakennuksessa on hajautettuja energiajärjestelmiä (maalämpöpumppu, aurinkokeräimiä, aurinkopaneeleja ja puupolttoaineita käyttäviä varaavia tulisijoja). Toimivuuden varmistaminen korostuu isommissa rakennuksissa (liikerakennukset, toimitilat, koulut, hoitorakennukset), joissa on paljon käyttäjiä ja taloteknisiä järjestelmiä. Energiatehokkuutta ei voi kuitenkaan korostaa sisäolosuhteiden kustannuksella.

3. Rakennuskannan korjaustarve

3.1. Esimerkkikohde (keskisuuri kaupunki) 1.

Kaupungissa on teetetty sisäilma- ja kuntoselvityksiä useille kiinteistöille. Selvitysten tuloksia tullaan käyttämään pohjatietona uuden toimitilastrategian kehittämiseksi. Toimitilastrategiassa

esitetään pidemmän aikavälin peruskorjaus- ja toimenpideohjelma. Selvitystulosten perusteella laadittiin myös kohdekohtaiset toimenpideohjelmat niitä välttämättömiä käyttöä turvaavia toimenpiteitä varten, joilla saadaan varmistettua rakennusten käytettävyyden sen laajempaan peruskorjaukseen tai korvausinvestointiin saakka. Käyttöä turvaavat välttämättömät korjaustoimenpiteet on osittain jo toteutettu [7].

Suurimpana syynä korjaustarpeeseen ovat olleet sisäolosuhteet ja rakennusvauriot sekä erityisesti käyttötarkoituksen muutokset. Merkittävänä syynä sisäilmaongelmiin on rakenteista sisäilmaan joutuneet pitoisuudet, jotka ovat lisääntyneet esimerkiksi tiivistämiskorjausten, rakennusosien korjausten (esim. ikkunoiden vaihto) ja ilmanvaihdon tehostamisen jälkeen. Tuloilmareitit ovat ohjautuneet olemassa olevien tuloilmaelimiin lisäksi rakenteiden vuotokohtiin, erityisesti jos painesuhteita ei ole tarkistettu. Painesuhteet saattavat vaihdella myös säätöjärjestelmissä olevien puutteiden tai erilaisten käyttöaikojen vuoksi, jos on useita eri ilmanvaihtokoneita.

Keskeisimmät syyt sisäilmaongelmien esiintymiseen rakennuskannassa ovat seuraavat:

- Ajan myötä rakennuskantaan kertynyt korkea korjausvelka, koska peruskorjauksia ja osin kunnossapitoakin on jouduttu siirtämään tulevaisuuteen. Investointiohjelmaan ei ole pystytty budjetoimaan rahaa tarpeeksi peruskorjauksia/korvausinvestointeja varten.
- Ongelmat korvausilman ja rakennusten painesuhteiden hallinnassa. Tämä näkyy erityisesti kohteissa, joissa on lisätty/tehostettu koneellista ilmanvaihtoa. Korvausilmaa tulee tiloihin vääristä paikoista, esim. epäpuhtauksia sisältävien rakenteiden läpi.
- Urakoitsijan valinta pelkääntään hintakilpailun perusteella voi johtaa usein laadultaan heikotasoisten urakoitsijoiden valintaan.
- Liian kiireelliset aikataulut hankkeissa, jotka johtavat kriittisen lyhyisiin kuivumisaikoihin ja liian lyhyeen rakennuksen koekäyttöaikaan ennen käyttöönottoa.
- Puutteet sääsuojauksessa. Rakennusosien kastuminen jossain vaiheessa, esimerkiksi huonon työmaavarastoinnin yhteydessä.
- Puutteellinen sisäilmaohjaus ja -valvonta rakennus- ja korjausprojekteissa. Koskee sekä suunnittelu-, toteutus- että käyttövaiheita.
- Ilmanvaihtokanaviston tiiviys on tärkeää. Joissakin kohteissa (ei ylläolevissa) on todettu myös ulkoilmasäleikön ja kanaviston eristekerroksessa olevan liitoskohdan vuotoja, jolloin kanavaan kulkeutuu ulkoseinän eristekerroksen mahdollisia epäpuhtauksia.

Edellä on lueteltu yleisimpiä syitä mutta kohteesta riippuen on esiintynyt myös monia muita syitä. Ne voidaan tiivistää siten, että lähes kaikki Kuivaketju10-riskilistassa esiintyneistä riskeistä on toteutunut jossain kaupungin rakennuskohteessa [8]. Kaupungissa on myös parissa sisäilmaongelmakohteessa toteutettu ylipaineistus ennen käytöstä luopumista.

3.2. Esimerkkikohte, Oulun kaupunki

Oulun kaupungin rakennuslautakunta on kesäkuussa 2017 vaativien korjausrakentamisen kohteiden katselmustyöryhmän, jossa käsitellään osa korjausrakentamisen rakennusluvista [9]. Katselmustyöryhmään kuuluu Oulun rakennusvalvonnan sekä yksityissektorin eri suunnittelualan ammattilaisia, sekä lisäksi tarvittaessa myös muita viranomaisia, kuten terveystarkastaja. Yksi oleellisempia tuloksia on saada eri toimialojen yhtenäinen näkemys hankkeesta. Rakennuslautakunnan katselmustyöryhmän edellyttämät toimenpiteet erityisesti sisäilmakorjaushankkeissa antavat painavan sanan vaatimustasolle mitä osakokonaisuuksia hankkeessa tulee tehdä, jotta hankkeelle voidaan lupa myöntää. Liian useasti rakennushankkeeseen ryhtyvä käsittelee korjaushanketta vain yksittäisin osin, eikä ole huomionnut riittävän laaja-alaisesti rakennusta kokonaisuutena. Rakentamista määräävä laki

kuitenkin edellyttää, että niin korjaus- kuin uudisrakentamiskohteet käsitellään kokonaisuutena, eikä yksittäisinä eri komponentteina, joita rakennus sisältää.

Tulevat asetukset edellyttävät, että ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan lähes tasapainoiseksi, ellei esimerkiksi jonkun tilan alipaineisuus ole tarkoituksenmukaista. Tämä koskee niin uudis- kuin korjauskohteita. Tasapainoisuudella tarkoitetaan ensinnäkin tulo- ja poistoilmavirtaa, mutta sen lisäksi myös, että rakenteiden yli ei synny merkittäviä paine-eroja esimerkiksi eri ilmanvaihdon palvelualueiden välillä (ellei se ole tarkoituksenmukaista esimerkiksi haitta-aineiden leviämisen estämiseksi). Tyypillistä kaikissa olemassa olevissa koulu- ja toimistorakennuksissa on, että ilmanvaihtoa säädellään automaattisesti kellonajan ja muiden mittaustulosten perusteella. Järjestelmää ei ole kuitenkaan suunniteltu alun perin huolehtimaan siitä, etteikö paine-eroja synny eri palvelualueiden välillä. Erittäin tyypillinen esimerkki on porrashuoneiden ja sitä ympäröivien tilojen painesuhteet. Useasti myös talotekniikan roilot kulkevat kerrosten välillä vastaavalla tavalla kuin porrashuone, roilo toimii siis yhdystunnelina porrashuoneen ja muiden tilojen välillä, jolloin välttämättä mittamaalla pelkkiä rakenne-paine-eroja ei voida osoittaa, kuinka paljon hallitsematonta vuotoilmaa liikkuu tilojen välillä. Uudet ilmanvaihtokoneet ovat myös tarkempia säädettäviä, jotta paine-ero tilanteet saadaan hallintaan. Nykyisten puhaltimien rakenne on sellainen, että jo pienellä kierrosluvun muutoksella saadaan aikaan merkittävä kanavapaineen (ja rakenne-paineen) kasvu, vaikka ilmamäärään kierrosluvun muutos ei välttämättä vielä huomattavasti vaikuttaisikaan.

4. Koulujen sisäilmaongelmat

4.1. Esimerkkikohte, keskisuuri kaupunki 2

4.1.1. Peruskoulun sisäolosuhteet

Kaupungin yhden v. 1953 rakennetun ja vuosina 1993–1996 peruskorjatun peruskoulun oppilailla ja opettajilla oli ollut usean vuoden ajan sisäilmastosta johtuvia oireita. Osa opettajista ja oppilaista ei pystynyt työskentelemään rakennuksessa ja 40 % opetushenkilöstöllä oli oireita. Ilmanvaihtojärjestelmä oli uusittu korjausten yhteydessä ja keittiö- ja ruokailutilat on uusittu 2010-luvulla. Vuonna 2013 tehtyjen selvitysten mukaan tilat oli kuitenkin arvioitu pienin poikkeuksin käyttökelpoiseksi, mutta samassa yhteydessä edellytettiin, että rakennus täytyy saattaa sisäolosuhteiden osalta nykyvaatimusten mukaiselle tasolle. Koulu oli alun perin rakennettu korkean pohjaveden alueelle, mistä syystä kellarikerrokseen oli asennettu vedenpoistojärjestelmä ja erillinen iv-poisto [10].

Sisäolosuhteiden tavoitteiden saavuttamiseksi käynnistyi v. 2015 VTT:n johtama hanke, jossa tavoitteena oli selvittää koulun sisäolosuhteiden taso ja toimivuus sekä selvittää mahdollinen korjaustarve. Koulu tuli pitää käyttökunnossa vuoden 2018 kevätlukukauden loppuun, jonka jälkeen koulun käyttötarkoitus todennäköisimmin muuttuisi. Kesän 2015 aikana suoritettiin laaja mittaussarja, jossa selvitettiin kohteen silloinen nykytila. Lisäksi erikseen valittuihin tiloihin asennettiin lämpötilan (T), hiilidioksidin (CO₂), suhteellisen kosteuden (RH) ja ulko-sisätilan paine-eron jatkuvatoimisia mittalaitteita. Vuoden 2015 tulosten perusteella erikseen eri kerroksista valittujen tilojen ilmamäärät olivat nykyvaatimusten mukaiset, mikäli käytetään ohjearvoa raitisilmamäärää 120 l/s 20 oppilaalle [11]. 30 oppilaan ohjearvo 180 l/s alitti n. 67 % mitatuista tiloista. Mittaustulosten perusteella kiinnitettiin huomiota sisä- ja ulkoilman väliseen paine-eroon, joka oli joissakin mitatuissa tiloissa selvästi ylipaineinen, samoin kun ilmanvaihtojärjestelmän värähtelyyn – ilmamäärät vaihtelivat syklisesti ali- ja ylipaineen välillä ja järjestelmä näytti käyttäytyvän epästabiiilisti esim. 3. ja 4. kerrosta palvelevan iv-koneen osalta.

Kevään 2016 trendimittausten perusteella 3. ja 4. kerroksen painesuhteet olivat lievästi ylipaineen puolella, 4. kerros mitatuissa tiloissa luokkaa +5 Pa. Iv-koneiden säätöjen perusteella näitä tiloja palveleva kone toimi maksimiteholla, joten poistoilmamääriä ei voitu nostaa. Jotta palvelualue saataisiin alipaineiseksi, muutettiin tuloilmakoneen säätöjä tuloilmamääriä pienentämällä ensi tasolle 90 % ja sitten tasolle 95 %, joka jätettiin toimintapisteeksi. Tuloilmamääriä siten pienennettiin jonkin veran. Lähtötilanmittauksia verrattiin kesän 2015 mittaustuloksiin. Poisto- ja tuloilmamäärät olivat edellisten mittausten tasolla, määrät hieman suurempia, joka osittain johtuu erilaisesta mittausten menetelmästä (balometri vs. termoanemometri + anemometritorvet). Osaltaan erot voivat johtua säädöistä.

Paine-erot olivat 4.kerroksessa lievästi alipaineisia. Säätömuutosten jälkeen tilat olivat edelleen alipaineisia, ilmamäärät olivat pienentyneet 3–8 % lukuun ottamatta yhtä luokkaa. Ilmamäärien mittausten virhe on luokkaa <10 % erityisesti tuloilmaventtiileissä, joka yksittäisten tulosten osalta täytyy ottaa huomioon. Voidaan kuitenkin todeta, että 5 %:n tuloilmatehon alennus pienensi ilmamääriä ja ainakin mittaushetkellä tilat olivat lievästi alipaineisia. Ilmamäärät ovat vielä määräysten mukaiset, jos lähdetään 20 oppilaan luokkakoosta. Tavoitteena oli, että luokkatilat olisivat lievästi alipaineisia ulkoilmaan verrattuna.

Mittaustulosten perusteella voitiin tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

- jos sama iv-kone palvelee kahta päällekkäistä kerrosta, jotka ovat kuitenkin toisistaan erotetut (ei keskinäisiä virtauksia), painesuhteiden ja tuloilmamäärien säätö on tärkeää ja toisinaan myös vaikeaa, mikäli halutaan saada määräysten mukaiset olosuhteet
- riittävä tuloilmamäärä on tärkeää, laitteiden kunnossapito ja huolto on toteutettava hyvin
- iv-koneen huojunta johtui todennäköisesti kanavapaineantureiden sijainnista ja asennustavasta, jolloin ilmamäärät ja samalla luokkatilojen painesuhteet vaihtelivat
- rakennuksen tiiviys valituista luokkatiloista mitattuina edusti rakennusajankohdan tyypillistä ilmanpitävyyttä (ei erityisen heikko), n50 oli luokkaa 3–4 1/h.
- rakennuksissa oli vanhoja käytöstä poistettuja iv-kanavia, joista painesuhteiden muuttuessa saattoi olla ilmavuotoa sisätiloihin
- yhtä merkittävää syytä sisäolosuhteista johtuviin oireisiin ei voitu todentaa
- joitakin luokkahuoneita oli poistettu käytöstä
- tässä tapauksessa rakennusautomaatiojärjestelmästä ei jälkikäteen saatu haluttuja tietoja, vaan ne oli määritettävä etukäteen (mittapisteet ja seuranta-aika)

4.1.2. Lukion sisäilmaongelmat

Kohteena oli koulu, jossa on vuosien ajan sekä oppilailla ja opettajilla on ollut sisäilmasta johtuvia oireita ja osa oppilaista ei ole voinut opiskella rakennuksessa. Kohteessa tehdyt toimenpiteet ja tulokset on esitetty tarkemmin Rakennusfysiikka 2015 -seminaarissa [11]. Alkuperäinen koulurakennus on vuodelta 1959, jonka yhteydessä on liikuntatila. Kohteeseen tehty kolmiosainen lisärakennus 1964–1968. Koulua on korjattu 90-luvun puolivälin jälkeen. Uudemman rakennuksen puolelta oli löydetty useampia kattovuotoja sekä kosteusvaurioita. 2000-luvun loppupuolella on tehty tiivistyskorjauksia ja lattiapinnoitteiden uusimista ja tiivistysremontin yhteydessä uudemmän koulun käytäville asennettiin erillinen ilmanvaihto. Rakennuksessa oli tehty toimivuusselvityksiä, joissa oli todettu rakennuksen voivan olla hetkellisesti myös ylipaineinen. VTT selvitti kokonaisvaltaisesti kohteen rakennusteknistä toimivuutta sisäolosuhteiden kannalta, kartoittamalla lähtötilanteen (2014) ja ehdotuksen pikaisesti suoritettavista korjauksista. Tutkimuksella pyrittiin selvittämään korjaustarve ja esittää toimenpide-ehdotukset, joilla koulu on mahdollista pitää käyttökunnossa kahden seuraavan lukuvuoden ajan (2014–2016). Tulosten perusteella toteutettiin rakenteiden ja

ilmanvaihtojärjestelmän korjauksia ja aloitettiin sisäolosuhteiden seurantamittaukset, joiden perusteella tarvittaessa voitiin muuttaa sisäolosuhteita. Koulurakennus pyrittiin pitämään loppukäytön aikana ylipaineisena. Rakennus on sen jälkeen osittain poistettu käytöstä ja opetus on siirretty uuteen koulurakennukseen (2016) [11].

Tavoitteena oli pitää kaksiosainen koulurakennus käyttökunnossa ja sisäolosuhteet turvallisena kahden vuoden (2014–2016) ajan, ennen kuin opetus siirtyi uuteen koulurakennukseen. Kattorakenteissa oli vuotoja, joita oli korjattu. Rakennusten ilmanpitävyys ei ollut nykytasolla, mutta ei rakennusajankohta huomioon ottaen ollut heikko. Ilmavuotoreittejä voitiin paikallistaa. Uuden koulun käytävätilojen alapuolella olevan kanaalin tuuletusputki oli käytävää palvelevan iv-koneen ilmanottoaukon vieressä. Koulun uudempi, kolmisiipinen osa sijaitsi rinteessä, ja aikaisempien selvitysten perusteella maanvaraisissa eristeissä sekä ulkoseinä- ja kateerakenteissa oli ollut mikrobivaurioita. Koulurakennus sijaitsi toimivan teollisuuslaitoksen välittömässä läheisyydessä. 1980-luvun alussa lakkautetusta teollisuuslaitoksen osasta oli koulun henkilöstön mukaan joutunut ajoittain kiinteitä päästöjä. Kolmisiipisen osan kaksi siipeä otettiin käytöstä pois.

Koulun ilmanvaihtojärjestelmä oli uusittu 1990-luvulla. Ongelmat olivat alkaneet esiintyä 2000-luvulla iv-korjausten jälkeen. Kun ilmanvaihtojärjestelmää oli uusittu, on mahdollista, että ulkopuolinen rakenteisiin johtuneen kosteuden aiheuttamia pitoisuuksia on tehostuneen ilmanvaihdon ja mahdollisesti suuremman alipaineen johdosta joutuneet sisätiloihin. Rakennuksen uudempi, kolmisiipinen osa oli myös aikaisemmassa kuntotutkimuksessa havaittu olevan ainakin ajoittain ylipaineinen. Lähtötilanneselvityksessä havaittiin, että osassa luokista ilmamäärät olleet riittäviä.

Syyt epätyydyttäviin sisäolosuhteisiin olivat usean eri osatekijän aiheuttamia, osin pitkän ajan kuluessa. Yhtä selvästi erottuvaa päätekijää ei voitu osoittaa. Tutkittavassa kohteessa voitiin lähteä siitä, että aiheuttajina ovat olleet

- ulkopuolisen kosteuden joutuminen rakenteisiin kattovuotojen sekä myös pintavesien kautta pitkän ajan kuluessa ja sisäpuolisen kosteuden tiivistyminen rakenteisiin ilmavuotoreittien kautta erityisesti, kun rakennus on ollut ylipaineinen
- ilmanvaihtojärjestelmän puutteellinen toiminta ja erityisesti painesuhteiden mahdollinen vaihtelu, joka on tuonut pitoisuuksia sisäilmaan
- ilman jakotapa/ilmanvaihdon tehokkuus tietyissä huonetiloissa sekä viemärin tuuletusputken sijainti lähellä käytävätilojen ilmanottoa.
- mahdolliset rakenteiden emissiot (linoleumi ym.)
- seurantatuloksien ja käyttäjiltä saadun palautteen perusteella lähtötilanteeseen verrattuna sisäolosuhteet ovat ainakin tyydyttävällä tasolla.

5. Uusien pientalojen toimivuuden varmistus

5.1. ToVa-kortin tausta

Olosuhteiden muuttuminen, energiamääräysten kiristyminen ja uusien energialähteiden käyttöönotto on tuonut uusia haasteita kosteudenhallintaan, talotekniikan toimivuuteen ja rakennusten turvallisuuteen. On rakennushankkeen kaikkien osapuolien – talon tulevan omistajan, talotoimittajan ja suunnittelijoiden – yhteinen etu, että käytettyjen ratkaisujen toimivuus varmistetaan vakioidulla konseptilla ja mittaukset ja tarkastukset dokumentoidaan. Yhteinen käytäntö tasapuolistaa kilpailutilannetta ja hyvin asiat hoitava toimittaja voi hyödyntää siitä ansaitun kilpailuedun. Tehdyt dokumentit toimivat hyvänä pohjatietona talon käytön aikana

tehtäville tarkistuksille ja huoltotoimenpiteille ja vähentävät ”turhia” reklamaatioita käytön aikaisissa häiriötilanteissa.

Entistä monimutkaisemman uuden tekniikan käyttöönotto on aiheuttanut tilanteen, että talojen omistajat eivät enää kykene itse suorittamaan kaikkia huoltotoimenpiteitä, vaan niitä suorittavat tulevaisuudessa alan ammattilaiset, jotka tarvitsevat työssään tietyt yhtenäiset perustiedot ja laadunvarmistusmittausten tulokset talosta.

Talon rakentamisvaiheessa on myöskin tärkeää ottaa huomioon tulevat mahdolliset omistajan vaihdokset siten, että uusi omistaja saa kattavan opastuksen lisäksi riittävät kirjalliset pohjatiedot ja ohjeet talon ylläpitoon jatkossa. Tarkastukset tehdään työvaiheiden edetessä ja dokumentoidaan saman tien, tai kun se on teknisesti mahdollista. On lähdettävä siitä, että toimenpiteitä ei tehdä päivää ennen muuttoa (kaikkien etu myös myyntitilanteessa ja/kun talo vaihtaa omistajaa). Eri talotoimittajilla voi olla omat järjestelmänsä, joihin ohjeistusta täytyy myös verrata.



Kuva 1. Pientalon ToVa-kortti

5.2. Lähtökohdat

Pientalo on kokonaisuus, jossa kaikki komponentit vaikuttavat toisiinsa. Yhdenkin osan heikko toiminta voi aiheuttaa ongelmia toisaalla.

5.3. Tavoite

Kortissa tullaan esittämään tärkeimmät toimenpiteet rakennuksen toimivuuden varmistamiseksi käyttöönottovaiheessa. On tärkeää tiedostaa, että monia toimivuuden kannalta tärkeitä tarkistus-toimenpiteitä ja -mittauksia ei voida enää suorittaa juuri ennen käyttöönottoa, vaan niitä on tehtävä koko rakentamisen prosessin ajan niissä vaiheissa, että on mahdollista korjata havaitut puutteet. Perustavoite on, että tarvittavat suunnitelmat on tehty ja rakennus toimii, kuten on suunniteltu. Käyttöönottovaiheessa tarkistetaan kootusti, että tarvittavat toimenpiteet on tehty ja dokumenteista tehdään ”paketti” liitettäväksi talon käyttö- ja huolto-ohjeeseen. (vrt. Kuluttajasuojalaki 2 luku 7 & <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1978/19780038#L2P7>).

5.3.1. Esimerkki sisältöjaottelusta (vain otsikkotasoa)

A. Pientalon vaippa ja sen rakenteet (seinät, katto, lattia, ikkunat ja ulko-ovet)

A0. Suunnitteluvaiheen tarkistus (detaljit) ja kosteusmittaukset

Suoritettavat mittaukset

A1. Tiiveysmittaus, lämpökuvaus ja ilmavuotojen paikannus

- Miksi tarvitaan:
- Missä vaiheessa mittaus tulisi tehdä:
- Tarvittavat dokumentit:
- Viitteet

Vastaavalla sisältöjaottelulla (tässä vain pääotsikot):

A2. Märkätilojen vesieristyksen tarkistukset ja mittaukset

A3. Betonirakenteiden pinnoitettavuusmittaukset

ja edelleen pääkohdittain

B. Talotekniset järjestelmät

C. Sähköjärjestelmät

D. Taloautomaatio

Liitteet

Ohessa oleva lista on vielä viitteellinen.

6. Korjattavien asuinkerrostalojen toimivuuden varmistus

6.1. ToVa-kortin tausta

Kerrostalojen energiatehokkuutta parantavat korjaukset eivät juuri koskaan perustu pelkästään energiansäästötarpeisiin, vaan syynä ovat myös muut tekijät (rakennusvauriot, järjestelmien kuluminen ja vanheneminen, rakennusosien vanheneminen jne.). Kortti on valmisteluvaiheessa.

6.2. Lähtötilanne

Pyritään varmistamaan kerrostalojen energiakorjausten toteuttaminen siten, että mahdollisuuksien mukaan päästään jopa lähes 0-tasolle, mutta vähintään rakennuskohtaisesti järkevälle tasolle siten, että korjausvelka ei tulevaisuudessa kasva (oikeat toimenpiteet oikeaan aikaan), sisäolosuhteet paranevat, ja että rakennuksen toimivuuden taso pysyy määritellyllä tasolla (esim. 80 % vastaavan uuden rakennuksen toimivuudesta).

6.3. ToVa-kortin sisältö

Kerrostalon ToVa-kortin sisältö noudattaa soveltuvin samaa rakennetta kuin pientalon ToVa-kortti. Tavoitteena on kerrostalon korjaushankkeen toimivuuden varmistus rakennushankkeen aikana ja tarvittavat mittaukset ja tarkastukset. Kortin tarkoituksena on: Määrittää ja esittää korjaushankkeen tavoitteet ja omistajan vaatimukset (miten esim. taloyhtiön pitäisi tehdä) sekä yhteenveto tyypillisimmistä vaurioista aiheuttavista ja toimivuutta heikentävistä tekijöistä, jotka täytyy korjausrakentamisen eri vaiheissa tarkistaa. Tarkastukset tehdään työvaiheiden edetessä ja dokumentoidaan samalla tai kun se on teknisesti mahdollista. Taustana on myös asetus: Mahdollisuudet parantaa energiatehokkuutta (pakollinen), koskee ok-taloja ja kerrostaloja. Energiakorjausten takaisinmaksuaika vaihtelee suuresti, esimerkiksi ulkoseinien lisäeristäminen ei useinkaan ole taloudellisesti kannattavaa, mutta ulkoseinien mahdolliset rakennevauriot voivat edellyttää samalla kertaa tehtävää lisäeristämistä. Järjestelmäkohtaisissa toimenpiteissä on esitetty joitakin nykyisin käytössä olevia ratkaisuja. Kortin sisällössä tullaan käymään asiat järjestelmäkohtaisesti läpi.

7. Johtopäätökset

Eri kaupunkien julkisen rakennuskannan ongelmat ja myös niiden syyt näyttävät olevan pääosin samankaltaisia. Erityisesti ilmanvaihtojärjestelmien asianmukainen toimivuus ja toisaalta puutteet nousevat esille. Rakennusten sisäolosuhteet ml. energiatehokkuus on rakennusten järjestelmien toimivuuden summa. Usein lähdetään sisäolosuhteiden selvityksissä liikkeelle yksittäisistä tekijöistä, kun pitäisi aina ottaa kokonaisuus huomioon ja selvittää taloteknisten järjestelmien ja rakenteiden osuus ja keskinäin yhteensopivuus ja -toimivuus. Painesuhteet nousevat jatkuvasti

esiin. Joissakin esitetyissä kohteissa on jouduttu rakennus ylipaineistamaan, jotta rakenteissa olevat pitoisuudet eivät johtuisi vuotokohtien kautta sisäilmaan ja käyttöikää voitaisiin jatkaa rajoitetun ajan. Olemassa olevien vanhempien rakennusten ilmanpitävyys ei vastaa nykytasoa. Tiivistyskorjauksilla ei yleensä päästä vaadittavalle tasolle kohtuullisilla kustannuksilla (esim. alaslaskut).

Mittaus- ja tiedonsiirtotekniikan kehittyessä on mahdollista siirtyä suoraan rakennuksen käytön aikaiseen monitorointipohjaiseen toimivuuden varmistukseen (monitoring based commissioning, MBCx), joka tarkoittaa sitä, että rakennuksen instrumentointia ja automaatiojärjestelmän tulostusta kehitetään siten, että rakennuksen toimivuutta voidaan seurata reaaliaikaisesti. Rakennusten toimivuuteen liittyvä mittaustekniikka vaatii monipuolisuutensaakin vuoksi ammattiosaamista ja rakenteiden ja järjestelmien tuntemista. Rakennusautomaatioon liittyvää instrumentointia ja erityisesti tulosten analysointia ja raportointia on mahdollista kehittää [12]. Tietoja voidaan kerätä suuriakin määriä, mikäli talletustilaa on, mutta tällä raakadatalalla ei ole merkitystä ennen kuin se on jalostettu kaikkien osapuolten tarpeisiin selkeästi luettavaksi informaatioksi. Tiedolla johtaminen on kiinteistöhallinnan nykypäivää.

ToVa-tyyppisiä menetelmiä tarvitaan rakentamisen laadunohjaukseen, tarvitaan parempia mittaustekniikoita ja -menetelmiä sekä kehittyneempiä toiminta- ja korjausmalleja. Rakennusten terveysasiantuntijakoulutus on hyvä askel parempaan suuntaan. Rakennusfysiikan merkitystä ei voi myöskään ylikorostaa ja sen osuutta pitäisi lisätä eri koulutustasoilla

Rakennusten etävalvonta lisääntyy jatkuvasti [13,14]. Mikäli mitattavia suureita lisätään ja varsinkin mitataan ”oikeita asioita oikeista paikoista”, suurista rakennusmassoista voidaan saada nykyistä paremmin saada selville puutteita ja heikosti toimivia ratkaisuja. Mittalaitteita täyty kalibroida aika ajoin, ja varmistaa, että mittausteknisesti niiden sijainti on asianmukainen. Korjaus- ja uudisrakentamisen laatu syntyy pääosin työmailla. Suunnittelussa tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota toimivuustekijöihin ja siihen, miten valitut ratkaisut tulevat toimimaan osana kokonaisuutta. Esimerkiksi veden käytön lisääntyessä ja seinärakenteisiin kohdistuvan veden paineen (suihkut) kasvaessa kosteiden tilojen toteutuksen ja yksityiskohtien merkitys on tärkeää, samoin ulkopuolisen kosteuden rakenteisiin tunkeutuminen täytyy estää.

8. Yhteenveto

Osa uudisrakennuksista toimii käyttöönnoton jälkeen puutteellisesti. Syyt toimimattomuuteen jakaantuvat suunnittelun, toteutuksen ja käytön välille. Kattavia tilastoja rakennus- ja ikä- ja käyttötarkoituseriä ei ole käytävissä, yksittäisten kohteiden tietoja kuitenkin on saatavilla. Pieneltä vaikuttava rakennusvirhe voi vuosien kuluessa aiheuttaa suuren vahingon. Talotekniikan, erityisesti ilmanvaihdon ongelmiin sisäolosuhteiden yhtenä perussyynä törmätään jatkuvasti. On muistettava, että ensimmäiset sitovat määräykset ilmamääristä tulivat voimaan vasta 1970-luvulla. Väärät painesuhteet ja rakennuksen ilmavuodot, myös rakennuksen sisäiset, aiheuttavat pitkällä aikavälillä ongelmia. Rakennusta ja taloteknisiä järjestelmiä voidaan käyttää myös väärällä tavalla, ja kunnossapitoa ja huoltoa on voitu laiminlyödä.

Mikäli ilmastonmuutoksen johdosta voimakkaat viistosateet ja lämpötilan vaihtelut jäätymispisteen kahden puolen lisääntyvät, aiheuttaa se myös joillekin nykyisille rakennetyypeille ongelmia. Aikataulujen kiristymisen ja rakentamisen kansainvälistymisen myötä laadunvalvonta saattaa olla vaikeaa. Kansainvälisten vertailujen ja tilastojen perusteella laadunohjauksen kehittämiseen uhrattu pieni lisäinvestointi (luokka 1–2 % rakennuskustannuksista) maksaa itsensä nopeasti takaisin [5,13]. Sekä uudis- että korjausrakentamisen laadunohjausjärjestelmiä voidaan

kehittää ottamalla käyttöön ToVa-systematiikka. Valmiin, käytössä olevan rakennuksen toimivuuden parantaminen maksaa poikkeuksetta kertaluokkaa enemmän verrattuna tilanteeseen, jossa toimivuus on varmistettu rakennusprosessin eri vaiheiden aikana ja käyttöönottokokeisiin on varattu riittävästi aikaa.

ToVa voidaan toteuttaa erilaisten tarkistuslistojen ja mittausten pohjalta. USAssa toimivuuden varmistus on tavanomaista rakennushankkeeseen liittyvää laadunvarmistustoimintaa, jota johtaa ulkopuolinen toimija.

Lähdeluettelo

- [1] Reijula, K & al (2012). Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. ISBN 978-951-53-3454-1 (nid.), ISBN 978-951-53-3455-8 (PDF). Kopijyvä, Espoo 2012
- [2] <http://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/>
- [3] <http://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/laatukortit-ja-tulkinnat>
- [4] IEA Annex-47. Report 1. Commissioning overview
- [5] IEA Annex-47. Report 2 Commissioning tools for existing and low energy buildings
- [6] Pietiläinen, J & al: Toimivuuden varmistaminen rakennuksen elinkaaren aikana. Rakentajain Kalenteri 2011. Rakennustietosäätiö RTS 2010.
- [7] Yksityinen tiedonanto (ei julkinen)
- [8] <http://kuivaketju10.fi/>
- [9] <http://www.oulu.fi/tiedotteentiedot.php?area=0&subare=0&iidee=7300&%20>
- [10] Rakennusfysiikka 2015. Vinha, J. & Ruuska, T. (toim.) Kauppinen, T., Knuuti, A., Laamanen, J., Ongelmarakennuksen käyttöiän jatkaminen. Rakennusfysiikka 2015, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, 20. - 22.10.2015, Tampere. Seminaarijulkaisu 4. TTY, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tampere, 2015, 259-264
- [11] Sisäilmastoseminaari 2016. Knuuti, A., Laamanen, J., Kauppinen, T., Kääriäinen, H. Sisäilmaongelmien selvittäminen ja parannusratkaisut. s. 219-225. Raportti, Sisäilmayhdistys 2016.
- [12] Sisäilmastoseminaari 2015. Kauppinen, T., Peltonen, J., Pietiläinen, J., Vesänen, T. Rakennusautomaation ja lisämittausten mahdollisuudet rakennusten sisäolosuhteiden toimivuuden arvioinnissa. Raportti, Sisäilmayhdistys 2015.
- [13] Kauppinen, T & al: District level control center - a possibility for on-going commissioning. NCBC - National Conference on Building Commissioning, Denver 2013. www.bcxa.org
- [14] Grunewald, J (ed). Kauppinen T., Hienonen M.: Monitoring based commissioning (MBCx) in energy and facility management, BauSim, Dresden 2016 . Proceedings, Central European symposium on building physics. C-04: Energetisches Gebäudemonitoring & Betriebsoptimierung p. 259-267. ISBN (E-Book): 978-3-8167-9798-2

Uusi valesokkelirakenteen korotuskorjausmenetelmä lämpöä eristävällä täyttövalulla sekä rakenteiden tiivistäminen

Juha Lappalainen
Sisäilmäsepat Oy

Tiivistelmä

Aiheena on uusi valesokkelin korjausmenetelmä, jossa valesokkelin korotus toteutetaan täyttövalulla. Valu toimii samalla kertaa massiivisena kantavana rakenteena sekä osana lämmöneristystä. Menetelmässä on myös kiinnitetty erityisesti huomiota uuden rakenteen tiiviiksi saamiseen ja kylmäsiltojen minimointiin sekä asennettavuuteen. Rakenteeseen tarvittavat materiaalit löytyvät rautakaupasta ja rakenne on nopeampi sekä edullisempi asentaa kuin tämän hetkiset kilpailevat ratkaisut.

1. Johdanto

Valesokkelirakenne ja sen kaltaisesti toimivat rakenteet ovat yleisimpiä suomen omakotitalo- ja rivitalokannassa käytettyjä -70 ja -80 -lukujen rakenneratkaisuja. Ensimmäinen RT-kortti löytyy vuodelta 1957 ja rakennetta on sen jälkeen tehty hyväksyttynä rakenteena n. 36 vuoden ajan kortin käytöstä poistamiseen asti vuonna 1993. Valesokkelirakenne on herkkä kastelemaan ulkoseinän alaosan rakenteita ja tämän ominaisuuden sekä epätiiviyden rakenneratkaisujen vuoksi valesokkelirakenteet ovat nyt tulleet tai tulossa peruskunnostusikään jopa vain 35-40 vuoden käyttöajan jälkeen.

Artikkelissa esitellään uusi valesokkelin korotuskorjausmenetelmä, joka sopii erityisesti rivitalokohteisiin ja periaatteessa kaikkiin ulkoseinärakenteisiin, joissa ulkoseinän alajuoksupuuhun sijoittuu lattialaatan pinnan alapuolelle. Julkisivuverhous voi olla tiilimuuri tai puupanelointi.

Menetelmässä on otettu huomioon erityisesti mikrobivauriosaneerauksen erikoisvaatimukset rakenteen tiiviydelle, kosteuden liikkeille rakenteissa sekä rakenteiden asennettavuudelle. Menetelmästä on haettu menetelmäpatenttia numerolla 20175009, joka käsittää valesokkeliuraan tehtävän lämmöneristysten, täyttövalun ja valun tiivistystavat lattialaattaan sekä alajuoksupuuhun.

2. Valesokkelin korjausmenetelmän kuvaus

Kaikissa markkinoilla olevissa valesokkelikorjausmenetelmissä tehdään vastaavat purkutoimenpiteet ennen korotuskorjausta ja rakentamistoimenpiteet korjauksen jälkeen. Varsinainen eroavaisuus menetelmien kesken tulee alajuoksupuuhun korottamisen tavassa ja siihen liittyen uuden rakenteen tiiviydessä sekä lämpö- ja kosteusteknisessä toimivuudessa. Näitä ominaisuuksia esitellään seuraavassa vaiheittain kuvatun korotuskorjauksen yhteydessä. Valesokkelirakenteen ja eri korjausmenetelmien vaikutuksia on kuvattu tarkemmin artikkelinkin pohjana toimivassa Rakennusterveysasiantuntija-koulutuksen lopputyössä [1].

Kuvauksen lähtökohtana on tilanne, jossa yksittäisen huoneiston yläpohja on kannateltu kokonaisuudessaan holvituilla, seinärungot on katkottu koko korjattavalla alueella,

valesokkelirakenteen päältä on poistettu ulkoseinän alaosan rakenteet ja paljastuneet betoni-/harkkopinnat on puhdistettu huolellisesti:

1. Valesokkelin sisäkylkeen asennetaan lämmöneristyslevy, 50 mm. Kiinnityksessä käytetään saneerauslaastia, joka kammataan levyn pintaan tasaisesti niin, ettei levyn ja sokkelin väliin jää ilmaa. Eristyslevyn on tarkoitus lisälämmöneristämisen lisäksi suojata uutta rakennetta valesokkelin taipumukselta kondensoida kosteutta pintaansa ja sitä kautta kastella rakenteita. Tiiliverhouksen kohdalla levytys saattaa tukkia muurissa olevat tuuletusraot. Silloin levytyksen yläpuolisesta tiilivarvasta avataan joka kolmas pystysauma tuuletusvälin toimivuuden parantamiseksi.

Eristelevyn yläreuna viistetään viettämään julkisivuverhousta kohti, jolloin julkisivuverhouksen taakse mahdollisesti kulkeutuva irtovesi ohjautuu pois päin seinärakenteista. Tämän jälkeen levyn yläreuna tiivistetään ulkoseinän tuulensuojalevytyksen alareunaan kangasselkällä ilmansulkuteipillä ilmavuotojen estämiseksi. Lämmöneristelevyn yläreunan korko mitoitetään alimmillaan valesokkelin yläreunan kanssa samaan korkoon, kuitenkin n. 100-150 mm lattiapinnan yläpuolelle. Lämmöneristeen ulottaminen alajuoksupuuta korkeammalle auttaa pitämään sen lämpimämpänä, mutta kuitenkin mahdollistaa alajuoksupuun alueen kuivumisen.

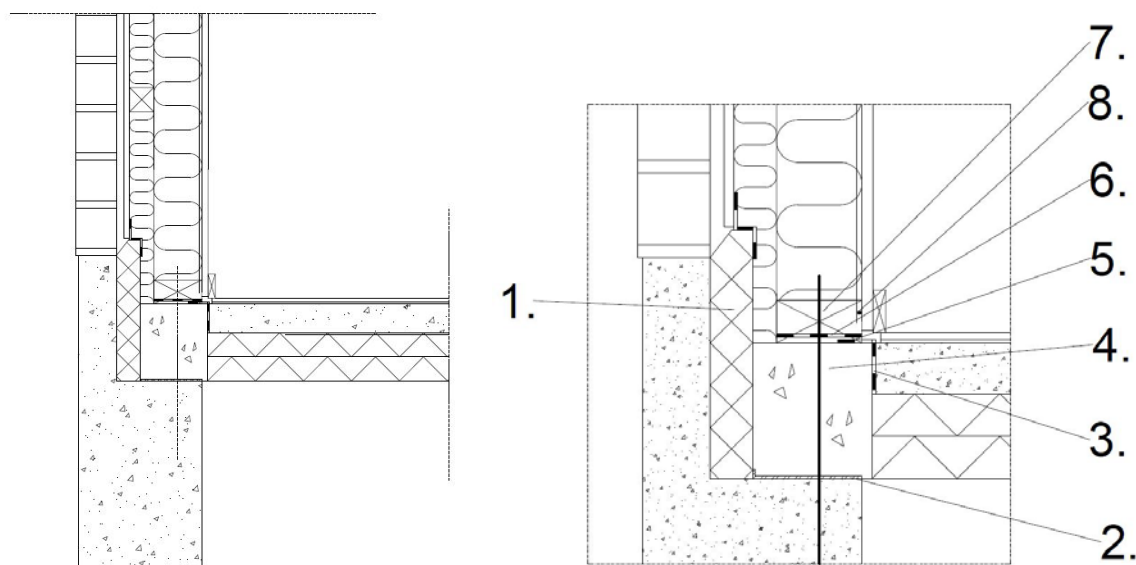
2. Varsinaisen sokkelin yläpintaan puhdistetun uran pohjalle asennetaan kapilaarisen kosteuden nousua katkaiseva sementtipohjainen tasoitekerros, joka estää veden imeytymisen täyttövalusta sokkelinrakenteisiin parantaen valun kuivumista ja kantavuutta.

Tasoitetta levitetään lämmöneristelevyn kylkeä vasten vähintään 10 mm korkealle. Tasoitteen nosto eristelevyn kylkeä vasten estää valesokkelin ja sitä vasten asennetun lisäeristyslevyn väliin mahdollisesti kondensoituvan kosteuden valumisen täyttövalun puolelle.

3. Lattialaatan kylkeen asennetaan 100 mm leveä butyyli nauha, jonka selkä on muovipintainen. Nauha painetaan tiiviisti lattialaatan kylkeä vasten ja laatan kylkeä oikaistaan tai tasoitetaan tarvittaessa riittävän tartunnan saamiseksi. Nauhan reunaa jätetään lattiapinnan yläpuolelle näkyviin vähintään 20 mm, jolta osuudelta ei poisteta suojapaperia. Nauha taitetaan lattialaatan päälle ja peitetään suojausteipillä myöhempää käyttöä varten.
4. Uraan tehdään täyttövalu käyttäen EPS-kevytbetonia, jonka kantavuuden tulee olla vähintään 2 MPa, että se kestää rankojen perustuksille ohjaamat laskennalliset kuormat. EPS-kevytbetonilla saadaan tehtyä massiivinen rakenne, joka toimii ilmansulkuna, kantaa kuormat mutta sallii alapuolisten rakenteiden kuivua ulkoseinän lämmöneristetilaa. Valun korko määrittyy lattialaatan pinnan mukaan, jolloin erillisiä korkomittauksia ei tarvita.

150 mm paksun valun vesihöyrynläpäisevyys ($3 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^2\text{sPa}$) [2] on noin neljäsosa esim. Huntonin 12mm paksuun tuulensuojalevyyn nähden ($12,5 \times 10^{-10} \text{ kg/m}^2\text{sPa}$) [3]. Korjatun rakenteen vesihöyrynvastus pienenee alustäytöstä täyttövalun läpi ulkoseinän rakenteisiin mentäessä, jolloin täyttövalun läpi nousee kosteutta hitaammin kuin mitä tuulensuojalevytyksen läpi haihtuu ja ulkoseinärakenteet pysyvät kuivina. Kohdassa 2. asennetun kapilaarikatko-tasoitteen peittäessä täyttövalu katkaisee kapilaarisen kosteuden nousun, sillä se ei nosta kosteutta ollenkaan kapilaarisesti. Valumassa kovettuu 12 tunnissa, jonka jälkeen korjaustöitä voidaan jatkaa valun yläpuolisten rakenteiden asentamisella.

5. Valun kuivuttua valusaumasta näkyviin jäänyt butyylinauhan reuna taitetaan täyttövalun päälle selkäpuoli alaspäin ja suoja paperi poistetaan. Tämän jälkeen nauhan reuna kiinnitetään valun pintaan toisella, 50 mm leveällä butyylinauhalla. Valusaumaan jääneen butyylinauhan selkäpuoli ei tartu täyttövaluun, jolloin se toimii liukulaakerina vanhan ja uuden rakenteen välissä. Koska valun päälle taitettu nauhan reuna ei ole liimaantunut kiinni täyttövalun pintaan, täyttövalun ja lattialaatan on mahdollista liikkua toisiinsa nähden yli 10 mm liitoksen rikkoutumatta.
6. Täyttövalun pintaan ja butyylinauhoituksen päälle asennetaan kaasutiivis EPDM-kuminen sokkelikaista, jossa on tiivistehuullokset. Kaista sijoitetaan siten, että sen toinen tiivistehuullos jää asennettavan alajuoksupuun sekä butyylinauhoituksen väliinpuristuksiin. Alajuoksupuun, sokkelikaista ja butyylinauha muodostavat mekaanisesti varmistetun ja tiivistysmateriaalien osalta kaasutiiviin sulun vanhojen rakenteiden ja sisäilman väliin, kun rakennuksen paino lasketaan täyttövalun päälle. EPDM-kaistan ja valesokkelin kylkeen liimatun lämmöneristevyn väliin jätetään ilmarako, jolloin täyttövalun läpi nouseva kosteus pääsee tuulettumaan ulkoseinän lämmöneristetilaa.
7. Alajuoksupuun varmistetaan paikoilleen kierretangon pätkillä, jotka juotetaan kiinni sokkeliin ankkurointimassalla.
8. Ulkoseinien lämmöneristysasentamisen jälkeen rakenteen vesihöyryntiivisyys sisäilmaan päin varmistetaan höyrinsululla. Höyrinsulun alareuna liimataan alajuoksupuun kylkeen PE-kalvoon tarttuvalla liimamassalla. Massa levitetään yhtenäisenä palkona alajuoksun kylkeen ja muovikalvo painetaan massaan kiinni. Höyrinsulun alaosan tiivistys varmistuu mekaanisesti, kun kipsilevytyt kiinnitetään paikoilleen kipsilevyruuveilla.

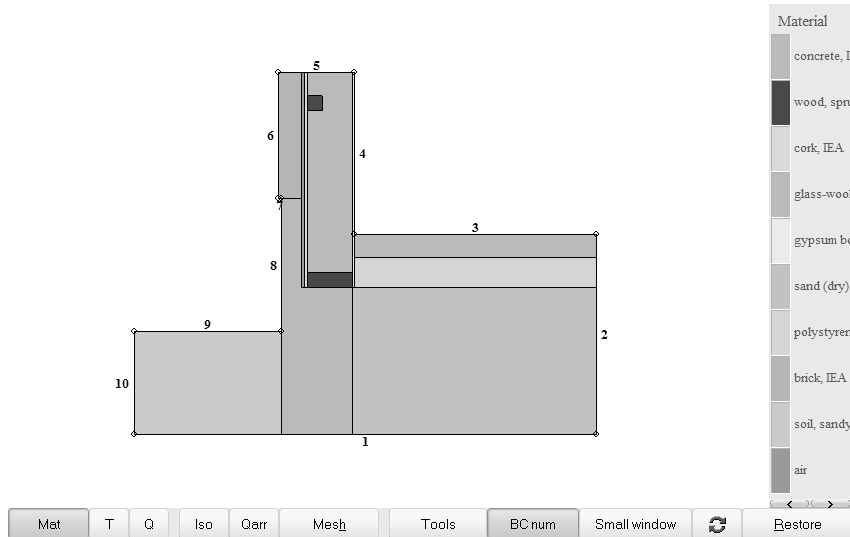


Kuvat 1. ja 2. Korjattu valesokkelirakenne ja rakenneosat numeroituna työvaiheiden mukaisesti.

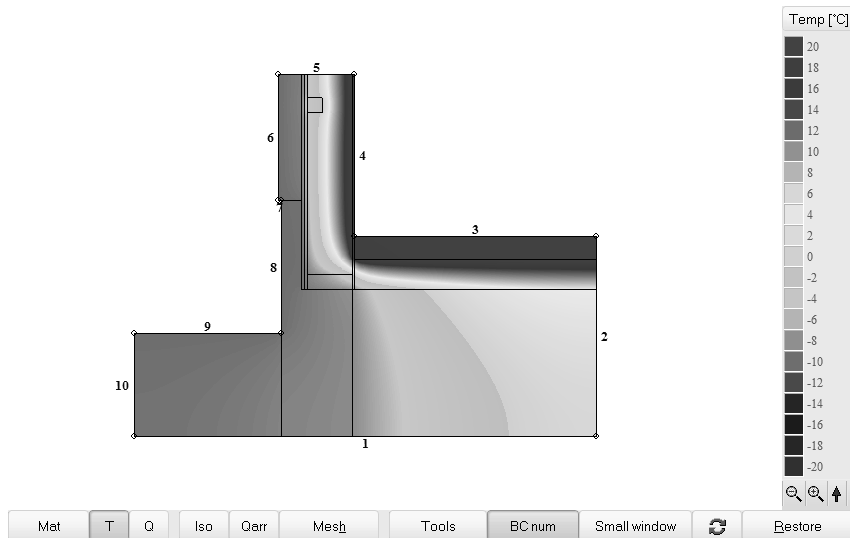
Menetelmään yhteyteen on kehitetty muita, mm. valvontaa helpottavia ja korjausta vaiheistavia tekniikoita, joiden avulla asennettavan höyrinsulun tiivisyys on helppo tarkastaa.

2.1 Korjatun rakenteen lämpötekniinen toiminta

Alkuperäinen valesokkelirakenne mallinnettiin HEAT2 v10.11 lämpöjakauman laskentaohjelmalla. Alla esitetään mallinnettava rakenne, korjaamattoman rakenteen lämpöjakauma sekä korjatun rakenteen lämpöjakauma. Sisäpuolen lämpötila on $+20\text{ °C}$ ja ulkolämpötila -10 °C .

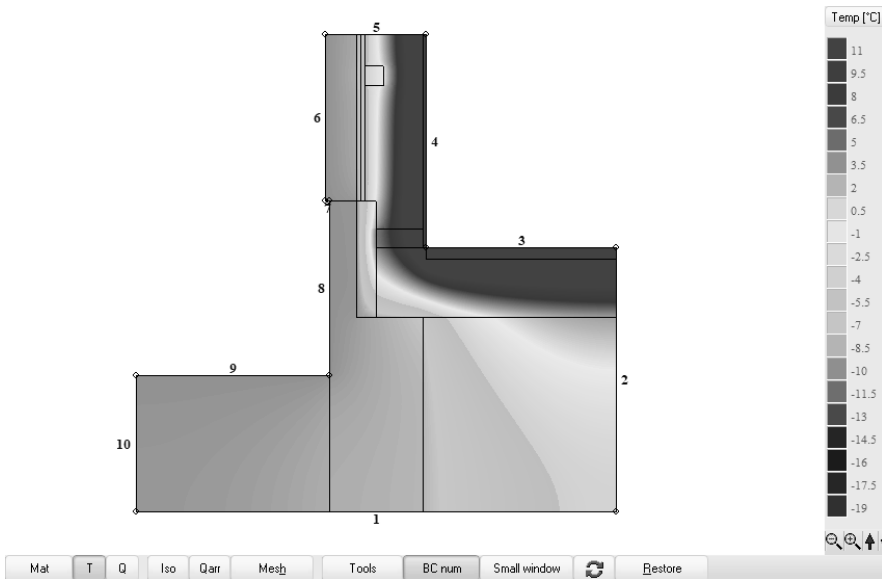


Kuva 3. Mallinnettu rakenne.



Kuva 4. Alkuperäisen betonisen valesokkelirakenteen lämpöjakauma. Sisäilma $+20\text{ °C}$, ulkoilma -10 °C .

Kuvasta nähdään, että alajuoksupuuh sijoittuu kokonaan pakkasen puolelle rakenteessa. Kun rakennuksen alla on jatkuvasti lämmin ja alajuoksu sijoittuu yhden alapohjan pääasialliselle kuivumisreitille, se on selkeästi riskialueella kosteuden kertymiselle ja mikrobivaurioitumisen kannalta.



Kuva 5. Korjatun betonisen valesokkelirakenteen lämpöjakauma. Sisäilma +20 °C, ulkoilma -10 °C.

Korjatussa rakenteessa ulkoseinän alajuoksupuun lämpötila pysyy selkeästi lämpimän puolella, jolloin ulkoseinän alaosaan esimerkiksi täyttövalun läpi kulkeutuvalla kosteudella on mahdollisuus päästä haihtumaan edelleen eristetilaan ja ulos päin myös kylmänä vuodenaikana.



Kuva 6. Valesokkelikorjaus runkoon asti tehtynä.

3. Yhteenveto

Valesokkelikorjauksessa on kiinnitetty erityisesti huomiota rakenteen ilmantiiviyteen, kylmäsiltojen poistamiseen sekä yksinkertaiseen asentamiseen. Valmiissa rakenteessa on kilpailevista menetelmistä poiketen ilmakatko sekä alustäytön ja ulkoseinän rungon välillä, että ulkoseinän rungon ja sisäilman välillä. Kilpailevissa menetelmissä ilmayhteydet alustäytöstä ulkoseinään säilyy, jolloin valesokkelikorjauksen yhteydessä ainakin osin uudelleen rakennettavan höyrynsulun tiiviys on erityisen tärkeässä asemassa.

Esitellyllä korjausmenetelmällä uusiin rakenteisiin ei synny kylmäsiltoja, sillä täyttövalussa käytetään massiivirakennetta, jossa on lämmöneristys ja kantava rakenne samassa valussa. Mikäli ulkoseinän kuormat jouduttaisiin viemään sokkelin pintaan omilla, mahdollisesti peltisillä/harjateräksisillä kannakkeilla kunkin runkotolpan kohdalla, seinärakenteeseen syntyisi kylmäsilta seinärakenteista alkuperäisen sokkelin pintaan runkotolppien jaon mukaan. Massiivirakenteessa kylmäsiltoja ei pääse syntymään alajuoksupuun sidetankoja lukuun ottamatta, sillä täyttövalun läpi ei asenneta mitään muita kannakkeita.

Lähdeluettelo

- [1] Lappalainen, Juha. 2017. Valesokkelirakenteen kosteus- ja homevauriokorjausmenetelmä.
- [2] Tuotekuvaus – EPSCement EC350M, tuotekuvauksessa annettu arvo on 200 mm paksulle kappaleelle.
- [3] RT 38668. 2015. R puu- ja puukuitulevyt. Hunton Oy

A8. Energiatehokas rakentaminen 1

Koulujen ja päiväkotien laskettu ja toteutunut energiankulutus

Annu Ruusala ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tutkimuksessa selvitettiin, kuinka hyvin koulujen ja päiväkotien standardikäytöllä laskettu vuotuinen energiankulutus vastaa toteutunutta energiankulutusta. Laskelmat tehtiin noudattaen Suomen rakentamismääräyskokoelman osia D3 (2012) ja D5 (2012). Laskelmat tehtiin IDA Indoor Climate and Energy -ohjelmalla ja kuukausitason menetelmällä. Vertailuja tehtiin 20 rakennuksella, jotka ovat valmistuneet vuosina 2005–2014. Rakennusten todellista käyttöä verrattiin standardikäyttöön mahdollisten eroavaisuuksien selvittämiseksi.

Tuloksista käy ilmi, että laskennallinen ja mitattu energiankulutus ovat hyvin erilaisia. Varsinkin lämmitysenergian kulutuksessa esiintyy suuria eroja. Erojen suuruudet vaihtelevat kohteittain, ja osa on helppo selittää rakennuksen todellisella käytöllä. Simuloitujen ja kuukausitason laskentamenetelmän tuloksien erot ovat tyypillisesti vain muutamia prosentteja. Kuitenkin toteutunut energiatehokkuus paranee laskennallisen energiatehokkuuden parantuessa.

1. Johdanto

Rakennuksen energiatehokkuus todistetaan lupavaiheessa energiatodistuksella ja taseaselvityksellä. Laskennallinen ostoenergiankulutus, joka ilmaisee tontille tuotavan energian määrän, perustuu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitettyyn standardikäyttöön sekä rakennuksen ominaisuuksiin.

Ostoenergiankulutus lasketaan teoreettisella käytöllä, mikä saattaa johtaa siihen, että todellinen energiankulutus poikkeaa lasketusta energiankulutuksesta. Mikäli todellinen energiankulutus on huomattavasti suurempi kuin laskennallinen energiankulutus, investoinnit voivat olla kannattamattomia ja energiansäästötavoitteet jäävät toteutumatta.

Päiväkodit ja opetusrakennukset ovat merkittävä osa kuntien rakennuskannasta. Päiväkodit, koulut ja lukiot muodostivat 28,2 % kerrosalasta kuntien rakennuskannassa vuonna 2005 [1]. Tämä tutkimus on tehty osana COMBI-hanketta, joka keskittyy palvelurakennusten energiatehokkuuteen ja sen parantamiseen. Tiedon kerääminen toteutettiin yhteistyössä Helsingin kaupungin, Tampereen ja Oulun tilapalveluiden kanssa.

2. Case-kohteet ja toteutunut energiankulutus

Tutkimuksessa mukana olevat case-kohteet on rakennettu vuosien 2005 ja 2014 välillä. Taulukossa 1 on esitetty joitain tietoja kohteista. Kohteet sijaitsevat Helsingissä, Oulussa ja Tampereella.

Taulukko 1. Case-kohteiden ominaisuuksia.

Case	Rakennusvuosi	Käyttötarkoitus	Nettoala m ²	Keskimääräinen U-arvo W/(m ² K)	Terminen massa Wh/(m ² K)
1	2005	Päiväkoti	1307.7	0.250	70
2	2005	Päiväkoti	313.2	0.265	70
3	2006	Päiväkoti	1250.9	0.250	110
4	2006	Päiväkoti	1694.3	0.312	70
5	2006 & 2010	Päiväkoti	2266.1	0.231	110
6	2007	Koulu ja liikuntahalli	6258.5	0.286	200
7	2009	Päiväkoti	1051.5	0.275	200
8	2009	Päiväkoti	1329.3	0.287	70
9	2009	Päiväkoti	377.6	0.192	40
10	2009	School	7354.9	0.250	200
11	2011	Päiväkoti	1512.9	0.214	200
12	2011	Päiväkoti	1443.7	0.126	110
13	2011	Päiväkoti	1153.5	0.217	110
14	2011	Koulu ja päiväkoti	1149.0	0.205	200
15	2012	Koulu ja päiväkoti	2956.2	0.193	200
16	2012	Päiväkoti	819.9	0.260	40
17	2012	Koulu, päiväkoti ja liikuntahalli	5165.9	0.214	200
18	2012	Päiväkoti	2028.4	0.172	110
19	2013	Koulu ja päiväkoti	4804.2	0.206	200
20	2014	Päiväkoti	1362.2	0.179	200

Rakennuksen mittareiden etäluetut sähkö- ja lämpöenergian kulutukset kerättiin vuodelta 2016 ja vuosittainen lämmitysenergian kulutus suhteutettiin S17 lämmitystarveluvuilla vertailukelpoisiksi arvoiksi. Case-kohteelle 3 käytettiin vuoden 2011 kulutuksia, sillä tontille on rakennettu vuonna 2012 lisärakennus.

3. Laskennallinen energiankulutus

Määräysten mukaan energiankulutus voidaan laskea käyttämällä kuukausitason laskentamenetelmää tai dynaamisia simulointeja. Laskennan lähtötietoina käytetään RakMK D3 määrittämää standardikäyttöä, testivuoden 2012 Helsinki-Vantaa ilmastoa ja rakennuksen ominaisuuksia. Laskenta tehdään käyttäen pinta-alan yksikkönä nettoalaa. Nettoala voidaan laskea vähentämällä ulkoseinien rakennusosa-ala bruttoalasta.

Case kohteiden 6 ja 17 yhteydessä on olemassa liikuntatilat, jotka täytyy määräysten mukaan laskea erikseen, koska niiden pinta-ala ylittää 10 % koko rakennuksen nettoalasta. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ei huomioitu laskelmissa.

Aurinkosähköjärjestelmien sähköntuotto case-kohteissa 12 ja 15 laskettiin kuukausitason menetelmällä ja vähennettiin kuukausitasolla lasketusta kulutuksista ja simulaatioiden avulla lasketuista kulutuksista.

Ilmanvaihtojärjestelmien vuosihyötysuhde laskettiin standardikäytön mukaisilla käyntiajoilla, kohteen suunnitelluilla ilmamäärillä ja poistoilman hyötysuhteella Laskentapalvelut.fi laskurilla.

3.1 Standardikäyttö

Standardikäyttö antaa lähtötietoja energialaskentaan osoitettaessa määräystenmukaisuutta. Taulukossa 2 ja 3 on esitetty laskennan lähtötietoja.

Taulukko 2. Käyttöaika, käyttöaste ja lämpökuormat.

Käyttötarkoituksiluokka	Käyttöaika	Käyttöaste -	Valaistus W/m ²	Kuluttaja- laitteet W/m ²	Ihmiset W/m ²
Opetusrakennus tai päiväkot	8-16, ma-pe	0,6	18	8	14
Liikuntahalli	8-22, ma-su	0,5	12	0	5

Taulukko 3. Ulkoilmavirta, lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia sekä lämmitys- ja jäähdytysrajat.

Käyttötarkoituksiluokka	Ulkoilmavirta dm ³ /(s·m ²)	Lämmin käyttövesi kWh/(m ² a)	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
Opetusrakennus tai päiväkot	3	11	21	25
Liikuntahalli	2	20	18	25

Ilmanvaihtokoneet käynnistetään tuntia ennen käyttöajan alkua ja ne käyvät tunnin käyttöajan päätyttyä. Varsinaisen ilmanvaihdon käyntiajan ulkopuolella rakennuksissa on 0,15 dm³/(m²s) ulkoilmavirta. Standardikäytöllä tulo- ja poistoilmamäärät oletetaan yhtä suuriksi. [2]

Lämpökuorma Q (Wh/m²) valaistukselle, laitteille ja henkilöille lasketaan kaavalla 1.

$$Q = kP \frac{\tau_d}{24h} \frac{\tau_w}{7d} \Delta t \quad (1)$$

missä k = käyttöaste (-)
 P = lämpökuorma (W/m²)
 τ_d = käyttötuntien määrä päivässä (h)
 τ_w = käyttöpäivien määrä viikossa (d)
 Δt = tuntimäärä tarkasteltavalla ajanjaksolla (h)

Valaistuksen ja laitteiden sähköenergian kulutus oletetaan samaksi niiden lämpökuormien kanssa. [2]

3.2 Kuukausitason laskentamenetelmä

Laskenta tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla. Kuukausitason laskentamenetelmässä määritettiin joka kuukausi osuus, joka saadaan hyödynnettyä lämpökuormista. Lämpökuormista hyödyksi saatu lämpöenergia vähentää lämmitystarvetta. Hyödynnettävä osuus $\eta_{\text{lämpö}}$ (-) lasketaan kaavalla 2.

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{(a+1)}}, \quad \gamma \neq 1 \quad (2)$$

jossa

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} \quad (3)$$

missä $Q_{\text{lämpökuorma}}$ = rakennuksen lämpökuorma (kWh)
 Q_{tila} = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Numeerinen parametri a (-) lasketaan kaavalla 4.

$$a = 1 + \frac{\tau}{15}. \quad (4)$$

Rakennuksen aikavakio τ (h) lasketaan kaavalla 5.

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}}, \quad (5)$$

missä C_{rak} = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti (Wh/K)
 H_{tila} = rakennuksen tilojen ominaislämpöväiö (kWh)

C_{rak} arvoina käytettiin RakMK D5 taulukon 5.6 arvoja pientaloille, jolloin arvot olivat 40, 70, 110 tai 200 Wh/(m²K) riippuen rakenteista. Näin tehtiin, koska opetusrakennuksille ja päiväkodeille ei ole omia rakennustyyppikohtaisia arvoja. [3] Tarkempiakin menetelmiä olisi käytettävissä, mutta ne ovat työläitä laskea käsin näin isoille ja usealle rakennukselle.

3.3 Dynaaminen simulaatio

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) on dynaaminen simulaatio-ohjelma, joka soveltuu määräystenmukaisuuden osoittamiseen. Käytetyt lähtötiedot olivat samoja kuin kuukausitason laskentamenetelmässä. Muutamia muutoksia tai huomioita on esitetty tässä alaluvussa.

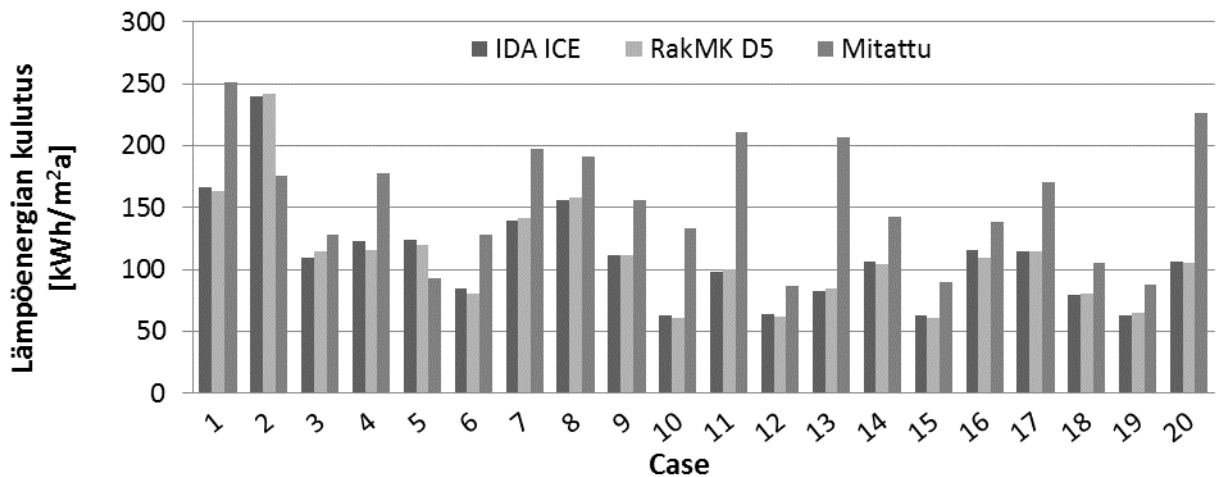
Case-kohteet mallinnettiin ohjelmassa piirustusten mukaan ja simuloitiin enintään tunnin aika-askelin. Kiinteät seinät erottivat vyöhykkeet toisistaan. Vyöhykkeisiin ei asetettu muuta termistä massaa kuin kiinteät rakenteet. Ovet olivat aina suljettuja ja niiden ilmavuotoala oli 0,01 m². Ihmistiheys asetettiin 1/6 m² [4] ja ihmisten aktiivisuustasoksi asetettiin 1,2 MET, jolla saatiin luotua standardikäytön määrittämä teho 125 W [5].

Puut mallinnettiin pihasuunnitelmien mukaan 3, 5 tai 8 metriä korkeina sylintereinä. Puiden läpäisykertoimeksi valittiin 0,175, joka Simpsonin [6] mukaan kuvaa puiden kesäajan valonläpäisyä. Kesäajan läpäisyä käytettiin koska suurin osa säteilystä vaikuttaa kesällä.

Ikkunat mallinnettiin tarkkojen mittojen mukaan kehäkertoimiseen. Verhojen tai sälekaihtimien verhokertoimina käytettiin RakMK D5 Taulukon 5.2 arvoja.

4. Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen erot

Kuvassa 1 voidaan nähdä erot laskentamenetelmien ja toteutuneen lämpöenergian kulutuksen välillä case-kohteissa.

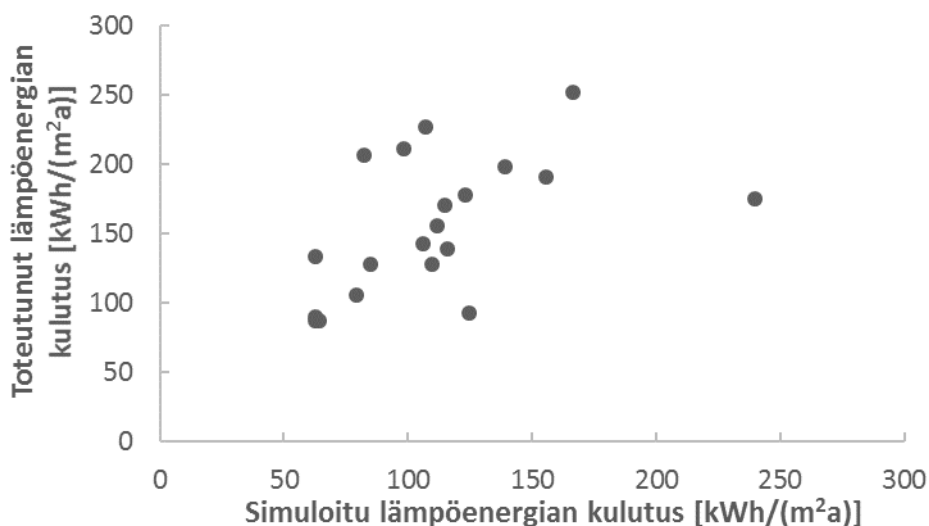


Kuva 1. Rakennusten laskettu ja mitattu lämpöenergian kulutus normitettuna testivuoden Helsinki-Vantaa 2012 säädataan.

Kuvasta 1 nähdään että toteutunut lämpöenergiankulutus on usein huomattavasti suurempi kuin laskenta antaa olettaa. Osa eroista pystytään selittämään rakennuksen todellisella käytöllä, esimerkiksi case numero 13 on ympärivuotisessa käytössä ja päivittäinen aukioloaika on 11,25 tuntia. Ilmanvaihdolla on suuri merkitys rakennuksen energiankulutukselle ja pidempi aukioloaika vaatii myös, että ilmanvaihtokoneet käyvät pidempään.

Kuukausitason laskentamenetelmä antoi keskimäärin 0,9 % pienempiä tuloksia, joten voidaan sanoa, että laskentamenetelmän valinnalla ei ole suurta merkitystä. Toteutunut lämpöenergian kulutus oli keskimäärin 47,9 % tai 44.3 kWh/(m²a) suurempi kuin simuloitu. Toteutunut lämpöenergiankulutus oli 49,4 % tai 45.4 kWh/(m²a) suurempi kuin laskettuna kuukausitason menetelmällä.

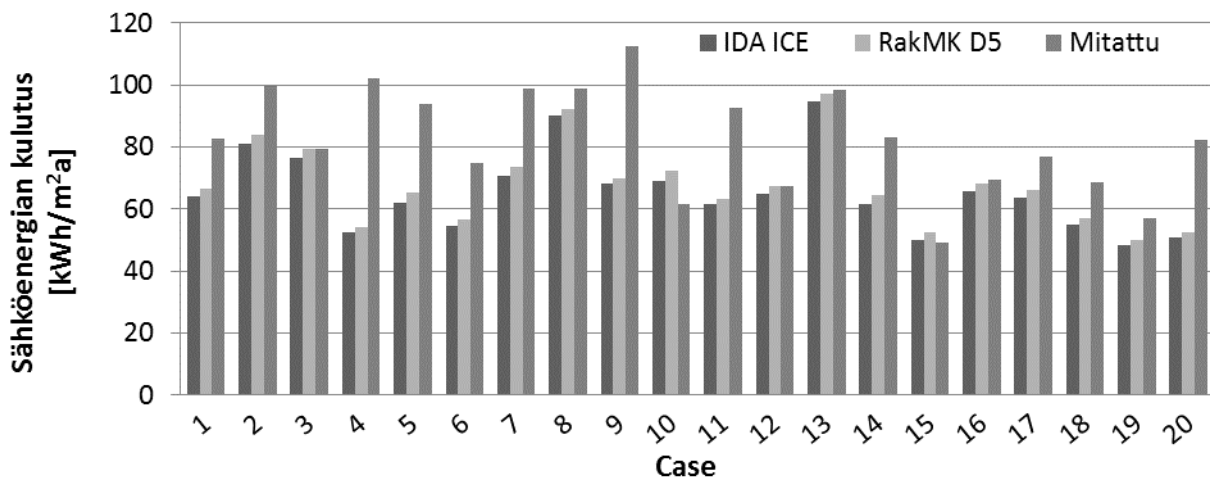
Kuvassa 2 nähdään simuloitun ja mitatun lämpöenergiankulutuksen suhde.



Kuva 2. Rakennusten simuloitu ja mitattu sähköenergian kulutus.

Kuvasta 2 voidaan havaita, että vaikka laskettu ja toteutunut kulutus eroavat toisistaan, laskennallisesti energiatehokkaammat rakennukset ovat myös energiatehokkaampia toteutuman kannalta.

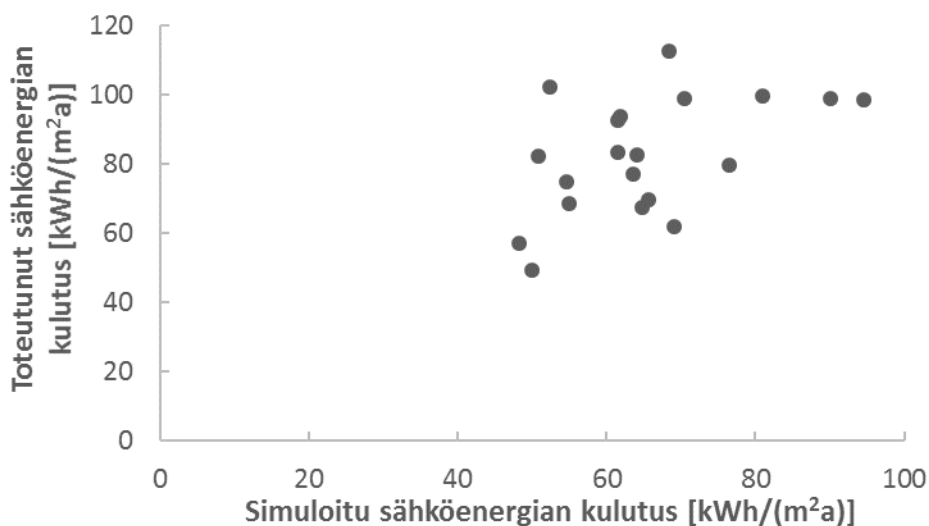
Kuvassa 3 nähdään erot laskentamenetelmien ja toteutuneen sähköenergian kulutuksen välillä.



Kuva 3. Case-kohteiden laskettu ja mitattu sähköenergian kulutus.

Laskennan tuloksista havaittiin, että IDA ICE laskee noin 12,1 % pienemmän sähköenergiankulutuksen ilmanvaihtokoneille, vaikka lukujen tulisi olla samat. Menetelmien välillä sähköenergian kulutuksessa oli 3,8 % ero. Toteutunut sähköenergian kulutus oli keskimäärin 28,4 % tai 17.3 kWh/(m²a) suurempi kuin simuloitu ja 23,5 % 14.7 kWh/(m²a) suurempi kuin kuukausitason menetelmällä laskettu kulutus.

Kuvassa 4 voidaan nähdä simuloitun ja toteutuneen sähköenergian kulutuksen suhde.



Kuva 4. Case-kohteiden simuloitu ja mitattu sähköenergian kulutus.

Kuvasta 4 nähdään että tyypillisesti myös sähköenergian suhteen toteutunut energiatehokkuus paranee laskennallisen energiatehokkuuden parantuessa.

5. Koulujen ja päiväkotien käytön tutkiminen

Koulujen ja päiväkotien henkilökuntaa haastateltiin käyttöajoista ja ihmismääristä. Ylläpitojärjestelmistä löytyi tiedot valaisimista ja niiden tehoista. Tuloilmamäärät ovat suunniteltuja ilmamääriä, jotka tarkastettiin tietojärjestelmistä mahdollisuuksien mukaan.

Taulukkoon 3 on koottu tietoa päiväkotien ja koulujen todellisesta käytöstä. Ulkovalaistus on eritelty sisävalaistuksesta, koska ulkovalaistus ei tuota sisälle lämpöä, mutta kuluttaa sähköä.

Taulukko 3. Koulujen ja päiväkotien standardikäyttö ja todellinen käyttö.

	Valaistus W/m ²	Sisävalaistus W/m ²	Ulkovalaistus W/m ²	Ihmistiheys hlö/m ²	Ihmiset W/m ²	Tuloilmamäärä dm ³ /(m ² s)
Standardikäyttö	18	-	-	0,167	14	3,00
Keskiarvo	12,90	11,26	1,64	0,110	9,38	3,29
Minimi	8,36	7,68	0,25	0,077	6,51	2,49
Maksimi	16,89	16,16	3,49	0,151	12,82	4,30

Päiväkodit ovat päivittäin pidempään auki ja kouluilla on monta viikkoa lomaa vuodessa. Keskimäärin päiväkodeille kertyy enemmän käyttötunteja ja kouluille vähemmän kuin standardikäytöllä. Käyttöajat ovat kohteissa melko vaihtelevia, mutta yleensä ne poikkeavat standardikäytöstä. Ihmiset tuottavat ilmaislämpöä, jolloin ihmistiheyden tulisi olla riittävän matala, jotta laskenta ei aliarvioisi lämmitystarvetta. Pidempi käyttöaika tarkoittaa tyypillisesti lisää ilmanvaihtoa, mikä vaikuttaa sähkö- ja lämpöenergian kulutukseen.

Tietoa kerättiin ilmanvaihtojärjestelmien käyntiajoista, mutta koska aikataulut ovat vaihtelevia, on tuloksista haastava koota minkäänlaista keskiarvoa.

Lämpöenergian kulutukseen vaikuttaa myös lämpimän käyttöveden kulutus. Ainoastaan casekohteessa 12 oli olemassa mittari, joka mittasi rakennuksen lämpimän käyttöveden kulutusta. Kohteessa mitattu kulutus oli lähellä standardikäyttöä, mutta yksittäisen kohteen perusteella ei voida tehdä päätelmiä.

6. Yhteenveto

Rakennusten laskennalliset energiankulutukset ovat etenkin lämpöenergian osalta huomattavasti pienempiä kuin toteutuneet kulutukset. Tästä aiheutuu:

- käyttökustannukset ovat suuremmat kuin laskenta antaa olettaa
- Rakennuksen kustannusoptimaalinen ratkaisu voi olla erilainen, mikä tulee huomioida suunnittelussa.
- Odotetut energiasäästöt kansallisella tasolla voivat jäädä toteutumatta.

Kuitenkin

- laskennallisesti energiatehokkaammat rakennukset ovat tyypillisesti myös todellisuudessa energiatehokkaampia.

Yksi syy mitattujen ja laskettujen kulutusten eroihin on rakennusten todellisen käytön poikkeavuus standardikäytöstä. Standardikäyttöön voitaisiin tehdä joitain lähtöarvojen muutoksia, jos kootaan riittävä otos rakennuksia. Päiväkotien ja koulujen energialaskenta on kuitenkin haastavaa vakioarvoilla, koska rakennusten käyttö vaihtelee hyvin paljon kohteittain.

Lisää tietoa, liittyen koulu- ja päiväkotirakennusten todelliseen käyttöön, tarvittaisiin lämpimän käyttöveden kulutuksesta, sähkölaitteiden tehontiheydestä sekä ihmisten läsnäolo profiileista.

Lähdeluettelo

- [1] Vainio, T., Jaakkonen, L., Nuuttila, H., Nippala, E., Kuntien rakennuskanta 2005. Kuntaliitto, 2006. 49 s.
- [2] D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus Määräykset ja ohjeet 2012, Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta, Ympäristöministeriö, 2011, 35 s.
- [3] D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012. Ympäristöministeriön ohjeet rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskennasta, Ympäristöministeriö, 2013, 74 s
- [4] 5/13 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta, 2013, 5 s.
- [5] EQUA Simulation AB, User Manual IDA Indoor Climate and Energy. Version 4.5., 2013, p. 179.
- [6] J. R. Simpson and E. G. McPherson, Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento, vol. 32, Atmospheric Environment, 1997, pp. 69-74.

Opetusrakennusten energiatehokkuuden arviointi

Tiina Sekki¹, Miimu Airaksinen² ja Arto Saari³

¹ Helsingin kaupunki, Rakennetun omaisuuden hallinta, Ympäristö ja energia

² Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, Kestävät ja älykkäät yhdyskunnat

³ Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikka

Tiivistelmä

Espoon kaupungin toimitilastrategian keskeinen tavoite on tilojen käytön tehostaminen. Tilojen yhteiskäyttöä lisätään ja uudet sekä peruskorjattavat tilat suunnitellaan entistä monikäyttöisemmiksi. Käytön tehokkuuden kasvaessa usein myös energiankulutus kasvaa, ja pitkät käyttöajat voivat ”rankaista” nykyisten energiatehokkuuden tunnuslukujen ja mittaamisen näkökulmasta. Fyysisen rakennuksen mittarit ovat hyviä rakennuksia teknisesti vertailtaessa, mutta ne eivät välttämättä sovellu rakennuksen käytönaikaiseen seurantaan, sillä ne eivät huomioi rakennuksen todellista käyttöä.

Tutkimuksen löydökset vahvistavat, että vaihtoehtoiset indikaattorit tuottavat erilaisia tuloksia energiatehokkuuden arvioimiseen ja soveltuvat erilaisiin käyttö-tarpeisiin. Tutkimuksessa annetaan ehdotus indikaattoreiden yhdistelmästä. Tutkimuksessa ehdotetaan, että opetusrakennusten käyttövaiheen energiatehokkuutta arvioitaessa näkökulmaa laajennetaan siten, että fyysisen ominaisuuden lisäksi huomioidaan keskeisiä rakennuksen käyttöä kuvaavia parametreja, kuten käyttöajamääriä, käyttöaikoja ja tilatehokkuutta.

1. Johdanto

Käynnissä oleva ihmiskunnan aiheuttama ilmastonmuutos aiheutuu lähinnä kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin määrän lisääntymisestä ilmakehässä. Rakennetulla ympäristöllä on keskeinen rooli energian käytössä ja kasvihuonekaasupäästöjen muodostumisessa, sillä esimerkiksi Suomessa käytetystä energiasta valtaosa kuluu rakennetussa ympäristössä. Rakennetulla ympäristöllä tarkoitetaan ympäristöä, jonka ihminen on muokannut omaa toimintaansa varten. Rakennettuun ympäristöön kuuluvat mm. rakennukset ja pihat, pellot ja talousmetsät, liikenneväylät ja asemat sekä asuinalueet ja kaupunkikeskustat. Suomen pinta-alasta noin kymmenesosa on eri tavoin rakennettua tai muokattua maata. [1]

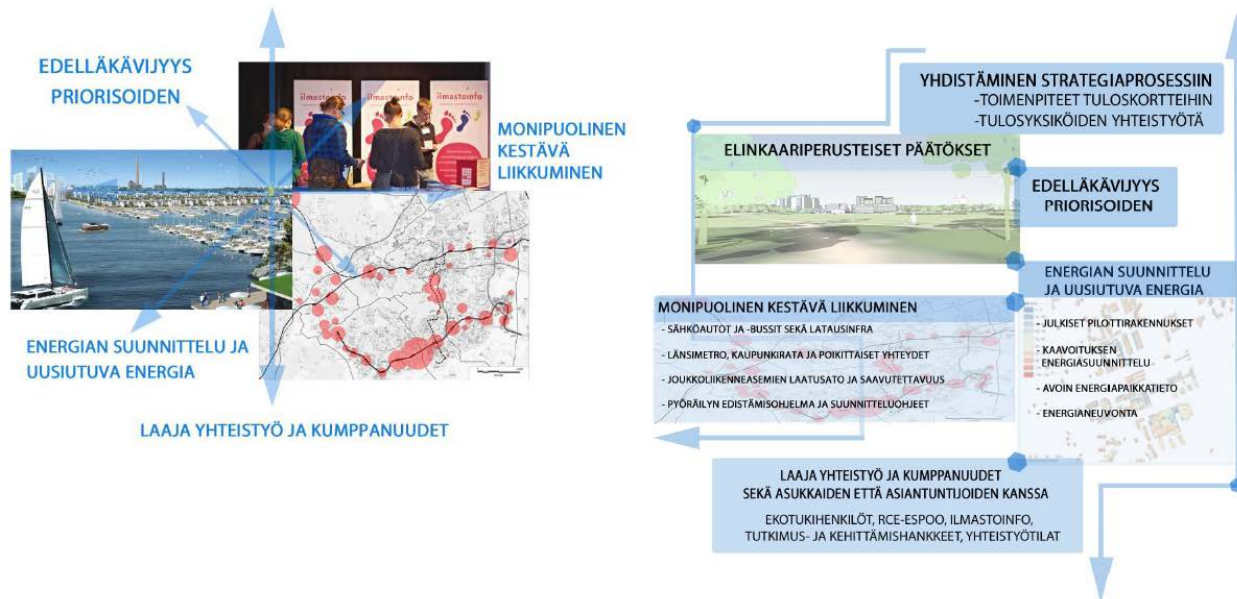
Viime vuosina Euroopan unionin rooli energiatehokkuuden ohjauksessa on kasvanut. Jo vuonna 2007 Euroopan Unioni käynnisti integroidun ilmasto- ja energiapolitiikan ja sitoutui tekemään Euroopasta energiatehokkaan ja hiilipäästöltään alhaisen talousalueen. Tämän politiikan toteuttamiseksi unioni on laatinut erilaisia strategioita etenkin energiansäästön parantamiseksi. [2] Monissa Euroopan unionin jäsenmaissa onkin vilkasta toimintaa uusien ja olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi. Tämä näkyy nopeasti kiristyvinä rakennusten energiatehokkuutta koskevinä säännöksinä, tutkimuksena sekä energiankäyttöä tehostavana politiikkana.

Usein tiukentuvat määräykset edellyttävät, että julkinen sektori toimii edelläkävijänä. Esimerkiksi Suomen kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaisesti julkisen sektorin, valtion ja kuntien, on syytä ottaa merkittävämpi rooli oman toimintansa, investointiensä ja hankintojensa

kestävyyden edistämässä [3]. Kaupungeilla on myös yhteiskunnallisesti tärkeä rooli julkisten palvelujen tuottamisessa, sisältäen sekä julkisen rakentamisen että rakennusten ylläpidon. Suurin ylläpidettävä rakennustyyppi on opetusrakennukset, noin 25 % osuudella koko julkisesta rakennuskannasta [4, 5].

2. Espoon kaupungin ilmastotekojen kokonaisuus

Espoon kaupunki on sitoutunut usean ympäristöasioita käsittelevän strategian ja ohjelman toteuttamiseen. Espoon ilmastostrategia, ilmansuojeluohjelma ja energiatehokkuussopimus sisältävät yhteneviä tavoitteita, jotka pääosin kohdistuvat rakennettuun ympäristöön.



Kuva 1. Espoon kaupungin ilmastotekojen kokonaisuus.

Espoo-strategian ilmasto- ja energiatoimenpiteet vuodesta 2012 vuoteen 2014 sisälsi neljä pääpainopistealuetta: talous, henkilöstö, palvelujen järjestämien sekä asiakas ja kaupunkilainen. Ilmastotyö perustui energia- ja materiaalitehokkuuden parantamiseen. Energian ja muiden luonnonvarojen säästön mainitaan tuovan myös taloudellisia säästöjä ja parantavan taloudellista tehokkuutta, jolloin kustannuksia arvioidaan koko elinkaaren ajalta. Palvelujen järjestämisen osalta ilmastotoimissa keskityttiin energia- ja materiaalitehokkuuden parantamiseen rakentamisessa ja rakennusten käytön aikana. [6]

2.1 Espoon kaupungin toimitilastrategia

Espoon kaupungin toimitilastrategian keskeiseksi tavoitteeksi nostettiin tilojen käytön tehostaminen. Tilojen yhteiskäyttöä lisätään ja uudet sekä peruskorjattavat tilat suunnitellaan entistä monikäyttöisemmiksi.

Kiinteistöjen käytön kasvaessa usein energiankulutus kasvaa ja pitkät käyttöajat voivat "rangaista" energiatehokkuuden tunnuslukujen ja mittaamisen näkökulmasta. Mittari fyysisen rakennuksen vertailuun on hyvä rakennuksia teknisesti vertailtaessa, mutta se ei välttämättä sovellu rakennuksen käytönaikaiseen seurantaan, sillä se ei huomioi rakennuksen todellista käyttöä. Mittaaminen on myös tulosten tulkintaa, eikä pelkkää mittarin lukeman toteamista. Esimerkiksi käyttöaika ja laatusato ovat tärkeitä suhteutettaessa energiankulutusta.

Tällä hetkellä Espoon kaupungin toimitilastrategiassa ei ole tapaa arvioida ja yhdistää energiankulutukseen liittyvää tietoa muiden strategisten tavoitteiden kanssa. Tärkeä tavoite on myös elinkaarenaikaisen energiatehokkuuden seuranta ja menettelyt, jolloin eri rakennuksia voidaan luotettavammin verrata keskenään. Strategisten tavoitteiden saavuttamiseksi onkin energiankulutuksen rinnalla pystyttävä mittaamaan myös rakennuksen käytön tehokkuutta ja tuottamaan näin tietoa arvoverkoston toimijoille, esimerkiksi tilojen omistajalle ja käyttäjille. Espoon kaupungin kannalta toimitilojen hankinnan ja hallinnan keskeinen toimija on entinen Tilakeskus, nykyinen Tilapalvelut-liikelaitos, joka toimii tilojen käyttäjien suuntaan omistajan edustajana ja suunnitteluprosessin omistajana.

3. Energiatehokkuuden määritelmästä mittaamiseen

Kirjallisuudessa esitetään energiatehokkuudelle useita, hieman toisistaan poikkeavia määritelmiä. Yksinkertaisimmillaan tehokkuutta voidaan kuvata suhteella:

”laatu per laadun tuottamiseksi käytetyt resurssit”

Rakennusten energiankulutusta voidaan aina mitata, kun taas energiatehokkuus on suhteellinen käsite. Siten, hyvin toimiva rakennus vastaa myös sisäympäristöltään käyttötarkoitukselle asetettuja vaatimuksia.

Energiapalveludirektiivin [7] mukaan:

”Energiatehokkuus on suoritteen, palvelun, tavaran tai energian tuotoksen ja energiapanoksen välinen suhde”

Tämä suorite, palvelu, tavara tai energian tuotos on laaja joukko erilaisia asioita. Näin ollen myös energiatehokkuuslukuja on erilaisia.

Nykyisessä energiatehokkuussopimuksessa energiansäästöllä tarkoitetaan säästötoimilla saavutettua ja energiayksiköissä ilmaistua vaikutusta. Energiansäästökäsitteeksi luetaan lisäksi myös säästöä, jolla tarkoitetaan sen tulevan kulutuksen estämistä tai alentamista, joka muutoin aiheutuisi ilman toimenpiteitä. [8] Lähtökohtia tehostamiseen voi hakea jo käytössä olevista menetelmistä, esimerkiksi tehdyistä energiakatselmuksista, energiatodistuksista, kulutusseurannan tavoitteista ja tuloksista. Kulutuksessa säästetty energia on yleensä paras tapa säästää, koska se vaikuttaa läpi koko energiaketjun aina primäärienergiälähteeseen saakka. Rakennusten mittaamiseen tarvittavaa tietoa syntyy kiinteistön käyttöön, ylläpitoon ja hallinnointiin liittyvien järjestelmien tuottamana. Energiatehokkuutta mitattaessa, esimerkiksi tiedot kokonaisenergiankulutuksesta, saadaan rakennusten kulutusseurantajärjestelmästä.

3.1 Miten rakennuksen käyttöä voidaan mitata?

Energiatehokkuuden parantamisen yhteydessä pidetään mahdollisena, että tehokkuuden kasvun myötä ei saavuteta vastaavaa energiankulutuksen laskua. Tutkijat ovat esittäneet, että tehokkaampi energian käyttö saattaa johtaa kokonaisuuden näkökulmasta suurempaan energian kulutukseen ja että tehokkuuden myötä energiankulutus voi nousta korkeammalle tasolle kuin mitä se olisi ollut ilman tehokkuusparannuksia [9, 10]. Toisin sanoen, rakennuksen käytön tehokkuuden kasvaessa, energiankulutus saattaa kasvaa, mutta kokonaisuuden näkökulmasta tehokkuus on silti parantunut.

Käytön tehokkuus voidaan ajatella huomioitavan nimittäjässä lisäämällä rakennetulle alalle sitä kuvaava kerroin. Esimerkiksi, kerroin saa arvon yksi, kun rakennusta käytetään täydellä käyttöasteella, ts. niin paljon ettei käytön lisääminen ole käytännöllisin toimin mahdollista. Kertoimella nolla rakennusta ei käytetä lainkaan. Arvot nolasta yhteen kuvaavat käyttöasteita, sillä välillä. Tällöin täyttä käyttöastetta alhaisemmat lukemat pienentävät nimittäjää ja siis kasvattavat ominaisenergiankulutusta.

Näin laajennettuna ominaisenergiankulutuksen kaavasta tulee seuraava:

”Kulutettu energia per pinta-ala kertaa käyttöaste”

4. Tutkimuksen tavoite, menetelmät ja aineisto

Tämän väitöskirjatutkimuksen [11] tavoitteena on lisätä ymmärrystä opetusrakennusten energiatehokkuuden arviointiin. Energiatehokkuuden arviointi perustuu nykyisin jo tiedossa oleviin tunnuslukuihin ja mittaamiseen tapoihin. Lisäksi, tunnuslukujen tulee soveltaa opetusrakennusten mittaamiseen ja rakennusten vertailuun sekä suunnittelu-, että käyttövaiheeseen.

Tutkimuksessa vastataan kolmeen tutkimuskysymykseen. Ensimmäinen tutkimuskysymys tarkastelee opetusrakennusten energiankulutuksen kokonaiskuvaa ja arvioi eri tekijöiden merkitystä niihin. Toinen tutkimuskysymys pyrkii selvittämään mikä on rakennuksen käytön merkitys energiatehokkuutta arvioitaessa. Kolmas tutkimuskysymys tarkastelee vaihtoehtoisten indikaattoreiden kykyä toimia vertailevina tunnuslukuina energiatehokkuuden parantamisessa.

Väitöskirja on yhdistelmä tutkimus, jossa käytetään sekä numeerista että laadullista aineistoa. Numeerinen aineisto koostuu tutkittujen kiinteistöjen toteutuneesta, mitatusta energiankulutus ja energiakustannus sekä käyttöön liittyvästä datasta. Laadullinen aineisto puolestaan energiastatistuksista ja energiakatselmuksista. Lisäksi kahdeksan tapaustutkimuksen avulla arvioidaan valittujen energiatehokkuusindikaattoreiden käytettävyyttä.

Aineisto kattaa tiedot yhteensä 167 rakennuksesta. Rakennukset ovat opetusrakennuksia, kattaen yli 80 % kouluista, lähes 70 % päiväkodeista ja ensimmäisessä artikkelissa kaikki korkeakoulurakennukset Espoon alueella. Rakennukset luokiteltiin rakennusvuoden perusteella. Vanhimmat rakennukset oli rakennettu 1950 luvulla ja uusimmat 2010. Suurin osa rakennuksista oli rakennettu 1980 luvun jälkeen. Korkeakoulurakennukset oli pääosin rakennettu 1960 luvulla kun Otaniemen pääkampus rakennettiin.

5. Tutkimuksen tulokset

Tutkittujen opetusrakennusten energiankulutuksessa on suurta vaihtelua yksittäisten rakennusten, rakennustyyppien että rakennusvuosilla tarkasteltuna. Tulosten mukaan tutkitut tekijät eivät yksinään selitä energiankulutuksen vaihtelua. Nykyisen energiastatistuksen rinnalle olisi hyvä kehittää mittaristo, joka perustuu rakennuksen mitattuun energiankulutukseen, joka olisi oiva keino tukea käyttäjien energiansäästötoimintaa.

Yleisesti, uusimmat rakennukset kuluttavat vähemmän lämmitysenergiaa. Sähköenergiassa samanlaista korrelaatiota ei löytynyt, pikemminkin pientä nousua. Ja esimerkiksi

primäärienergiassa mitattuna sähköenergiankulutus dominoi 2000-luvulla rakennettujen rakennusten energiankulutusta. Tästä syystä sekä uusien sekä peruskorjattavien kohteiden suunnittelussa onkin löydettävä keinoja vaikuttaa sähkönenergiankulutuksen hallintaan.

Myös energiankulutuksen ja rakennuksen käytön korrelaatioissa on suurta vaihtelua yksittäisten rakennusten, rakennustyyppien että rakennusvuosilla tarkasteltuna. Energiakustannusten osuus ylläpidon kustannuksista saattaa olla jopa yli 50 %. Yleisesti, uudemmilla rakennuksilla on vähän pidemmän käyttöajat. Niissä on myös huomioitu paremmin tilankäytön tehokkuus. Toisaalta tulokset osoittivat, ettei tilankäytön tehokkuus kuitenkaan automaattisesti näy suurempana energiankulutuksena ja -kustannuksena. Hyvä esimerkki tästä on koulujen iltakäyttö, joka tulosten mukaan kyllä nostaa energiankulutusta, mutta ei säännönmukaisesti. Huomionarvoista on, että koulujen päiväkäyttöajan ulkopuolinen sähköenergian ominaiskulutus voi olla jopa suurempaa kuin käyttöaikainen. Kouluissa tilankäytön tehokkuutta voitaisiinkin parantaa laajentamalla vuosittaisia käyttöaikoja, aina tilaohjelman sen salliessa.

Päiväkotirakennuksissa todellinen käyttö on usein suunniteltua tehokkaampaa. Päiväkotien suunnittelussa olisikin kiinnitettävä huomiota siihen, että hallintokunnan rakennuksen käytölle asetetut tavoitteet, tässä tapauksessa käyttäjämäärät, ovat realistiset.

Tulosten perusteella rakennuksen tehokkaampi käyttö ei näy ominaisenergiankulutuksessa, mutta jos käyttöä kuvataan vaihtoehtoisilla energiatehokkuuden mittareilla, se vaikuttaa energiatehokkuuden tasoon. Löydökset siis vahvistavat, että vaihtoehtoiset indikaattorit tuottavat erilaisia tuloksia energiatehokkuuden arvioimiseen ja soveltuvat erilaisiin käyttötarpeisiin. Käytännöllisempi lähtökohta mittareiden määrittelyyn olisikin pyrkiä muodostamaan mittarijoukko, jossa erilaiset mittarit ja niiden yhdistelmät sopivat erilaisiin tarpeisiin. Tutkimuksessa ehdotetaan, että opetusrakennusten käyttövaiheen energiatehokkuutta arvioitaessa näkökulmaa laajennetaan siten, että fyysisen ominaisuuden lisäksi huomioidaan keskeisiä rakennuksen käyttöä kuvaavia parametreja kuten käyttäjämääriä, käyttöaikoja ja tilatehokkuutta.

Jotta energiatehokkuutta ja sitä parantavia toimenpiteitä voidaan tulevaisuudessa huomioida toimitilastrategian mukaisesti ja kokonaisvaltaisemmin, tulee nykyistä energiansäästöön tähtäävää energiakatselmustapaa kehittää.

6. Yhteenveto

Energiatehokkuustyössä päähuomio keskittyy rakennusten energiankulutuksen vähentämiseen. Tämä on ymmärrettävää, sillä energiakustannusten hallinnalla on suora ja merkittävä vaikutus kiinteistöliiketoiminnan kannattavuuteen, ja toimijoilla on siksi merkittävä taloudellinen intressi vähentää kulutusta. On kuitenkin tärkeää yhdistää tietokantoja ja työkaluja, joilla voidaan kerätä tietoa sekä energiankulutuksesta että kiinteistöjen käytöstä, sillä usein kiinteistön käyttäjää kannustetaan säästämään energiaa perustuen mitattuun energiankäyttöön.

Toisaalta, kun rakennuksia verrataan keskenään, on tärkeää tietää mitä energiatehokkuuden tunnuslukua ja mittaamisen tapaa käytetään, jotta energiatehokkuudella todella ohjataan kohti yhteisesti sovittua tavoitetta. Tällöin pelkkä energiankulutuksen seuranta ei riitä osoittamaan kiinteistön energiatehokkuutta, vaan sen rinnalle tarvitaan myös muita mittareita. Energiatehokkuuden tunnuslukuja voidaan käyttää johtamisen kaikilla tasoilla. Niitä voidaan käyttää liiketoiminnan ohjaamiseen ja jatkuvaan parantamiseen, säädösten ja sopimusten täyttämisen todentamiseen, arvoverkoston ohjaamiseen ja sidosryhmäviestintään.

Espoossa on vuoden 2008 jälkeen energiatehokkuustavoitteet asetettu rakennushankkeiden keskeiseksi tavoitteeksi. Ohjauksen pohjaksi on kehitetty systemaattinen malli energiankulutuksen sekä vertailulaskelmien tekemiseen. Tavoitteiden asettaminen on kuitenkin prosessi, joka alkaa mitattavien tavoitteiden asettamisella ja jatkuu tavoitteiden toteutumisen seuraamisella ja päivittämisellä. Tavoitteiden hallinta ei saa loppua rakennuksen valmistuttua vaan sen pitää jatkua edelleen rakennuksen käyttöönottoon ja ylläpitoon asti.

Uudet energiatehokkuuden mittarit ja todentamisen menetelmät edellyttävät jatkossa entistä tiiviimpää yhteistyötä kiinteistöjen omistajien, käyttäjien ja palvelutuottajien -välillä. Nyt tehty empiirinen tutkimus nostaa esiin perusteluita ja edesauttaa uusien tunnuslukujen ja mittaamisen tapojen hyväksyttävyyttä. Esitetyt yhtenäiset menettelytavat luovat myös toimivaa pohjaa esimerkiksi hallintokuntaehtaisille sopimuksille.

Energiatehokkuuden mittaamisen aihealueella on kuitenkin edelleen jäljellä tutkimustarvetta. Kuten aiemmin todettiin, rakennusten energiatehokkuutta arvioitaessa, tulisi ohessa arvioida myös laatua. Laadun mittaamista aina energiatehokkuuden rinnalla suositellaan, sillä laatuerojen tuominen esiin on tärkeää eri rakennusten energiatehokkuutta verrattaessa. Erityisen kiinnostavalta kuulostaa mitä ja miten laatua huomioidaan, kun vertaillaan esimerkiksi tarvesuunnitteluvaiheen tilaohjelmia ja hankesuunnitteluvaiheen rakennussuunnittelun vaihtoehtoja. Vastausten perusteella saataisiin aikaan tilanne, jolloin kunkin kohteen osalta päätöksenteossa pystytään arvioimaan laadun näkökulmat tarkoituksenmukaisella tavalla. Pohdittaessa vastausta kysymykseen: miten saadaan hyvin toimiva rakennus ja kuinka hyvä rakennus toimii, kysymys täytyisi esittää rakennuksen koko elinkaarenaikaiselle arvoverkostolle.

Lähdeluettelo

- [1] ERA 17. 2010. Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Kirsi Martinkauppi (toim.). Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. Helsinki 2010. 92 s.
- [2] Hollo, E., Kuokkanen, T., Utter, R. 2011. Ilmasto-oikeus. Talentum. Helsinki. 476 s.
- [3] Kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2013. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta. 53 s.
- [4] Suomen virallinen tilasto (SVT): Rakennukset ja kesämökit. ISSN: 1798-677X. Helsinki: Tilastokeskus: Rakennuskanta 2010.
- [5] Kuntaliitto, Kuntien rakennuskanta, 2006.
- [6] Espoo-strategian energia- ja ilmastotoimenpiteet 2012–2014. 38 s.
- [7] Euroopan unionin virallinen lehti. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/32/EY, annettu 5 päivänä huhtikuuta 2006, energian loppukäytön tehokkuudesta ja energiapalveluista sekä neuvoston direktiivin 93/76/ETY kumoamisesta; 22 s.
- [8] Kuntien energiatehokkuussopimus. 2008. Kauppa- ja teollisuusministeriön (nyk. työ- ja elinkeinoministeriö) ja Espoon kaupungin energiatehokkuussopimus (2008 - 2016). 8 s.
- [9] Ottelin, J., Rebound effects projected onto carbon footprints. 2016. Aalto University DOCTORAL DISSERTATIONS 219/2016. Helsinki. 109 s.
- [10] Tuomaala, M. et al. Energiatehokkuuden mittarit ja potentiaalit. 2012. Aalto-yliopiston julkaisusarja 1/2012. Energiatekniikan laitos. Helsinki. 340 s.
- [11] Sekki, T., Evaluation of Energy Efficiency in Educational Buildings. 2017. Aalto University DOCTORAL DISSERTATIONS 57/2017. Helsinki. 123 s. (Ohjaajat Miimu Airaksinen ja Arto Saari)

Energiatehokkuus on entistä enemmän sähkötehon hallintaa

Juhani Heljo¹, Jaakko Sorri¹ ja Pirkko Harsia²

¹Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

²Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Erityisesti sähkön, mutta myös lämmön käytön osalta on suuri merkitys, milloin sähköä vuorokauden ja vuoden sisällä käytetään ja minkälaisia tehopiikkejä aiheutetaan. Rakentamismääräksiinkin on tulossa vaatimuksia tehonäkökulman huomioon ottamisesta.

Sähkötehon käyttöön liittyviä ongelma- ja kehitysalueita ovat:

- Rakennuskannan aiheuttama sähkönkäyttöprofiili terävöityy ja huipputehon tarve saattaa jopa suurentua vaikka energiaa käytettäisiin vähemmän
- Välinpitämätön suhtautuminen rakennus- tai asuntokohtaisiin sähkötehopiikkeihin voi aiheuttaa ongelmia tai ainakin ylimääräisiä kustannuksia tulevaisuudessa
- Sään mukaan vaihtelevan, tuulivoimalla ja aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön osuus kasvaa, minkä takia tarvitaan myös kuorman (sähkötehon) ohjausta kulutuspiikissä

Sähkön käytön ajoitusta ja tehoja pyritään taloudellisesti ohjaamaan sähköenergian tuntihinnoittelulla ja hinnoittelemalla sähkön siirtoa tehopohjaisemmin. Suunnittelemalla rakennus siten, että sähkön tehopiikkejä voidaan halutessa leikata tai siirtää kulutusta halvemmille tunneille, säästetään sähkökustannuksissa ja voidaan parantaa koko energiajärjestelmän toimintaa. Varsinkin lämmityksen ja ilmanvaihdon ohjauksen osalta täytyy tuntea rakennusfysikaaliset ja sisäilmaston laadun reunaehdot.

1. Johdanto

Sähkön suhteellinen osuus rakennusten energiankäytössä kasvaa samaan aikaan, kun lämmitysenergian yksikkökohtainen kulutus vähenee. Muuhun kuin lämmitykseen käytetyn sähkön kulutus pyrkii jatkuvasti kasvamaan. Sähkön suhteellista kulutusosuutta kasvattavat myös lämmitystapamuutokset öljystä ja kaukolämmöstä erilaisiin lämpöpumppulämmityksiin.

Pohjoisissa olosuhteissa kulutuksen aiheuttama huipputeho on muodostunut entistä ongelmallisemmaksi. Sähkön riittävyuden varmistamiseksi kulutushuipuisinkin ylläpidetään erilaisia varavoimaratkaisuja, joilla on hyvin matala käyttöaste, eikä tarvetta edes joka vuosi. Yksi sähkön huipputehon tarvetta terävöittävästä asioista ovat osatehomyydytettyt lämpöpumput. Tehonäkökulmaa tuo merkityksellisemmäksi toisaalta myös se, että energiajärjestelmässä yleistyvät sääriippuvat sähkön tuotantomuodot, kuten aurinkoenergia ja tuulivoima. Muuttuva energiajärjestelmä edellyttää toimiakseen kokonaisuutena järkevästi ja taloudellisesti myös sähkötariffien uudistamista, jotta sähkön käyttäjät toimisivat koko järjestelmän näkökulmasta energiatehokkaasti. Tariffeihin vaikuttaa toki myös sähköverkkotoimijoiden ja sähkömarkkinatoimijoiden pyrkimys edistää oman toimintansa taloudellista kannattavuutta. Sähköverkon kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti verkon huipputehon tarve, joten verkonhaltijoiden intresseissä on siirtää kulutusta muihin ajankohtiin kuin huipputehohetkiin.

Rakennuksia suunniteltaessa tulee nykyistä paremmin ennakoida muutoksia, joita energian hinnoittelussa tapahtuvat muutokset tuovat mukanaan erilaisten suunnitteluratkaisujen taloudelliselle kannattavuudelle rakennuksen elinkaaren aikana.

2. Sähkötehon tarve ja rakentamista koskevat määräykset

Rakentamismääräyksissä on energiatehokkuuteen liittyen säädely ja ohjattu lähinnä energian vuosikulutusta. Epäsuorasti energiankulutus vaikuttaa toki myös tehon tarpeeseen, mutta suoria määräyksiä kokonaiskulutuksen huipputehoista tai ajankohdista ei ole ollut.

Rakentamismääräyksissä rakennusten tehoasiat ovat olleet mukana aiemmin vain sitä kautta, että on edellytetty riittävää lämmitystehoa, jotta rakennusten lämpöolot voidaan säilyttää vaaditulla tasolla lämmityskauden mitoitussuhteilla [1]. Rakentamismääräysten osassa D3 on ollut ohjeita myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoon liittyen.

Jo vuoden 2012 maankäyttö- ja rakennuslaki sisälsi vaatimuksen, jonka mukaan energiankulutuksen ja tehontarpeen tulee jäädä vähäiseksi, kun rakennusta ja sen järjestelmiä käytetään käyttötarkoituksen mukaisesti. Maankäyttö- ja rakennuslain energiamääräyksiä uudistettiin vuoden 2016 lopussa ja vastaava lainkohta on nyt muodossa:

- ”Rakennuksessa käytettävien rakennustuotteiden ja taloteknisten järjestelmien sekä niiden säätö- ja mittausjärjestelmien on oltava sellaisia, että energiankulutus ja tehontarve rakennusta ja sen järjestelmiä käyttötarkoituksensa mukaisesti käytettäessä jää vähäiseksi ja että energiankulutusta voidaan seurata”. [2]

Valmisteilla olevassa energiatehokkuusasetuksen luonnoksessa rakennus edellytetään suunniteltavaksi siten, että se on:

- ”energiatehokkuudeltaan joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen”;
- ”lämpöhäviöltään vähäiselle energiantarpeelle edellytykset luova”;
- ”energiatehokas laskennalliselta kesäajan huonelämpötilaltaan, energiankäytön mittaamiseltaan, lämmön ja sähkön tehon tarpeeltaan sekä käytettävissä koneellista ilmanvaihtojärjestelmää myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholtaan” [3]

Lisäksi edellytetään, että

- ”Suunnittelussa on otettava huomioon mahdollisuuksia sähkön huipputehon tarpeen pienentämiseksi ja sähkötehon ohjattavuuden parantamiseksi.” [3]

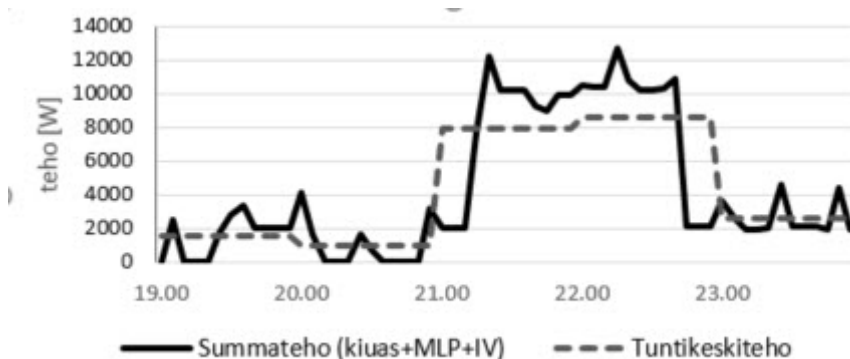
3. Sähkötehon merkitys kasvaa

3.1 Rakennusten sähköteholla on merkittävä vaikutus Suomessa

Julkisista energiatilastoista ei löydy tietoa rakennusten sähkönkäytön merkityksestä koko Suomen sähköjärjestelmässä päivä- tai tuntitasolla. Mallinnustiedon pohjalta on arvioitu, että kovimmilla pakkasilla sähkötehon tarpeen ollessa huipussaan voi Suomessa noin kaksi kolmasosaa sähkötehon tarpeesta muodostua rakennusten sähkölämmityksestä ja rakennuksissa käytetystä muusta sähköstä (huoneisto- ja kiinteistö-sähkö) [5]. Sillä, miten rakennuksissa sähköä käytetään, on siis olennainen merkitys koko sähköjärjestelmän toiminnan kannalta.

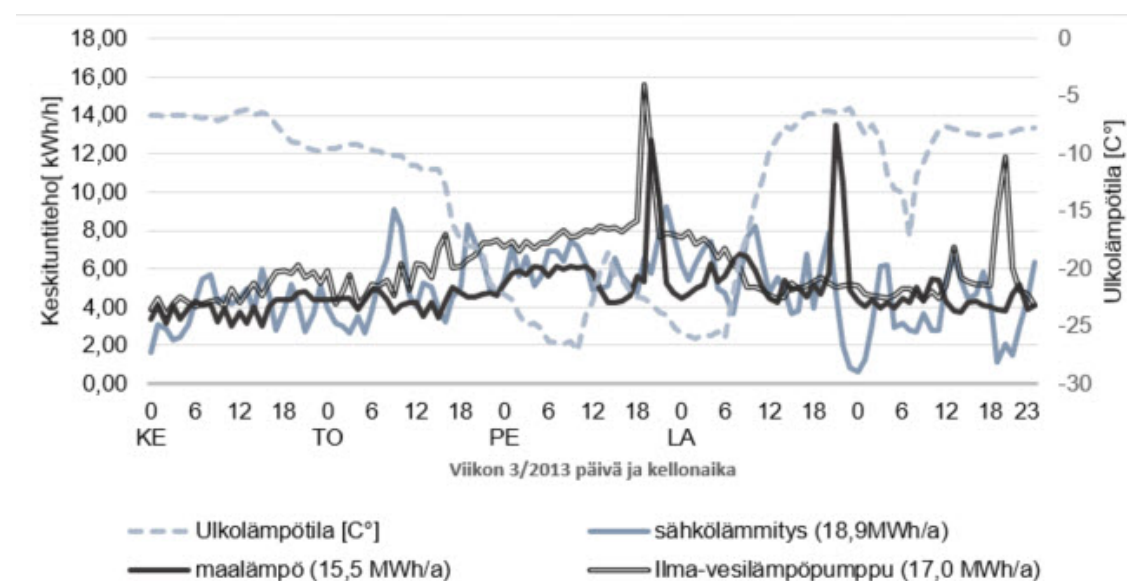
3.2 Pientaloesimerkit

Sähköenergiaa mitataan nykyisin tuntikeskitechona. Hetkelliset huipputehot saattavat olla huomattavasti suurempia. Sähkölaitteiden ohjaustapa määrittää, kuinka suuri osa laitteen nimellistehosta kulloinkin on päällä. Pientalossa useimmat tehokkaat sähkölaitteet ovat päällä/pois -ohjattuja. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki hetkellistehosta, joka muodostuu maalämpöpumpun, sähkökiukaan ja ilmanvaihdon lisälämmityksen tehoista. Hetkellistehoja tarkastellessa huipputeho on 12,2 kW, kun vastaava tuntikeskiteho on 8,5 kWh/h. Tarkastelussa mukana olevien laitteiden lisäksi esimerkkikiinteistössä on muuta kulutusta siten, että tuntihiipputeho on noin 14,2 kWh/h. Hetkellisesti kokonaishuipputeho saattaa olla yli 20 kW.



Kuva 1. Esimerkki kolmen kulutuskojeen (sähkökiva, maalämpöpumppu ja ilmanvaihdon lisälämmitys) summateho 5 min mittausjakson perusteella sekä keskimääräinen tuntiteho.

Kuvassa 2 on kolmella lämmitystavalla varustetun samalla alueella ja samaan aikaan rakennetun pientalon tuntikulutus tarkasteluvuoden kylmimpänä ajankohtana. Sähkölämmityskohteen vuosikulutus on suurin (18,9 MWh/a), mutta sen aiheuttama huipputeho on pienin (n. 8,8 kWh/h). Maalämpökohteen huipputeho on 12,2 kWh/h ja ilma-vesilämpöpumppujärjestelmällä lämmitetyssä kohteessa yli 15 kWh/h. Kulutuspiikkien aiheuttajana ovat sähkökiukaat ja samanaikainen lämmitysteho. Sähkölämmityskohteessa on niin sanotulla kiuasristeilyllä leikattu lämmitystehoa saunomisaikaan ja alennettu näin huipputehoa.



Kuva 2. Kolmen pientalon sähköenergian kulutus viikolla 3/2013. Lämmitystarpeen lisääntyminen ja samanaikainen sähkökiukaan käyttö aiheuttavat tehopiikkejä. [8]

Ehkä olennaisin taloudellinen merkitys sähkötehon käytön ohjauksesta on tällä hetkellä sellaisissa pientaloissa, joissa tuotetaan suurempia määriä sähköä aurinkopaneeleilla. Sähkön tuotantomäärät aurinkopaneeleilla vaihtelevat voimakkaasti. Koska verkosta ostetusta sähköstä peritään sähköenergian ostohinnan lisäksi sähkövero ja siirtomaksut, mutta verkkoon syötetystä sähköstä myyjälle maksetaan vain sähköenergian myyntihintaa (joka on yleensä keskimääräistä sähköenergian ostohintaa alempi), on taloudellisesti kannattavinta pyrkiä minimoimaan ostetun sähkön määrää. Kulutusta pitäisi siis pyrkiä ajoittamaan samanaikaisemmaksi paikallisen sähkön tuotannon (kuten aurinkopaneelit katolla) kanssa, jos halutaan, että tuotetusta sähköstä saadaan mahdollisimman suuri osa hyödyksi omassa talossa. Kulutusta ja sääriippuvaa sähkön tuotantoa voi saada paremmin yhteensopivaksi kulutuksen ohjauksia kehittämällä.

4. Tehon merkityksen kasvun seuraukset

4.1 Tariffimuutokset ja energiakustannusmuutokset

Nykyisin pienasiakkaiden jakeluverkkotariffi koostuu siirretyn energian määrään perustuvasta perusmaksusta ja pääsulakkeen koosta usein riippuvasta perusmaksusta. Perusmaksujen suhteellinen osuus siirtomaksujen kokonaiskustannuksista loppuasiakkaalle on viime vuosina kasvanut, ja vastaavasti energiakomponentin suhteellinen osuus on pienentynyt. Yleistyvät uudet energiaratkaisut, kuten hajautettu pientuotanto, markkinaperusteinen kysyntäjousto, sähköautot, energiavarastot, rakennusten uudet energiatehokkuusmääräykset sekä yleinen energiatehokkuuden parantuminen ovat muuttamassa energiajärjestelmää. Verkossa siirrettävän energian ja tehon painopisteet ovat muutoksessa. [6]

Sähkön siirtomaksujen hinnoittelun tehopohjaistuminen muuttaa kustannusten kohdistumista. Sähköteho tullaan ottamaan huomioon tariffeissa eri tavoilla. Uudenlaiset tehomaksut on otettu siirtotariffissa käyttöön esimerkiksi Lahdessa alkaen 1.1.2017 ja Helsingissä alkaen 1.7.2017. Lahdessa arvonlisäverollinen kuukausittainen tehomaksu on 0,74 €/kW ja Helsingissä 0,79 €/kW. Lahdessa tehomaksu on käytössä sekä yksiaikahinnoittelussa sähkön siirrossa että aikahinnoittelussa siirrossa. Helsingissä tehohinnoittelu koskee yösähkönä aikahinnoiteltua sähkön siirtoa, joka on sähkölämmitysissä pientaloissa yleinen tapa ostaa sähkönsiirto. Mitä isomman huipputehon sähkökäyttäjä aiheuttaa, sitä korkeampaa tehomaksua peritään. [7]

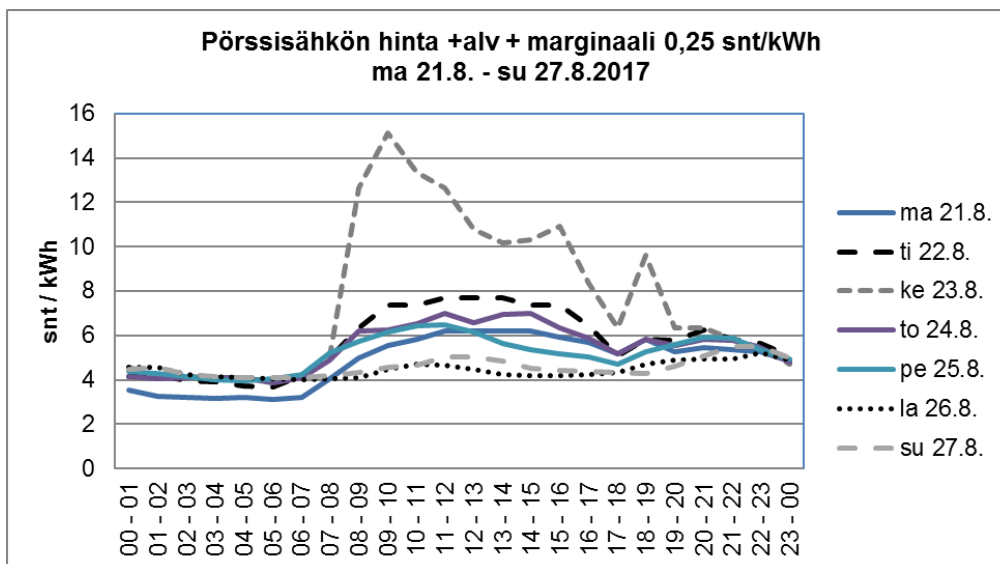
Taulukossa 1 on esimerkkikohteissa tehty tarkastelu, jossa on käytetty Lahti Energian hinnoittelumalleja. Jo hyvin maltillisella tehomaksulla lämpöpumppukohteiden sähköenergian siirtomaksut nousisivat, kun taas sähkölämmityskohteissa kustannukset laskisivat. Suurempi tehokomponentti lisäisi eroja.

Taulukko 1. Sähköenergian siirtomaksujen muutosesimerkki tarkastelupientaloissa.

	Yleissiirto 4,4 €/kk 3,65 snt/kWh	Siirtomaksut, tehohinnoittelu 5,64 €/kk, 0,74 €/kW, kk, 3,09 snt/kk
Sähkölämmitys (18,9 MWh/a)	744 €	743 €
Maalämpö (15,5 MWh)	617 €	646 €
Ilma-vesilämpöpumppu (17,03 MWh)	674 €	690 €

Pörssisähkön hinta muodostuu edellisenä päivänä kunkin päivän kullekin vuorokauden tunnille sähköpörssissä (Nordpool Suomen aluehinta), jonka hinnat riippuvat puolestaan mm.

ennustetusta sähkönkäytöstä, sähkön tuotantotilanteesta ja osin siirtoasioistakin. Sähkön ostohinta kuluttajalle puolestaan muodostuu perusmaksusta ja energiakomponentista, joihin lisätään voimassa oleva arvonlisävero. Silloin jos kuluttajan käytössä on sellainen pörssisähkön hinnasta suoraan (ehkä jonkin marginaalin kera) riippuva tariffi, voi sähkönkäyttäjälle olla mahdollista alentaa sähkökustannuksiaan siirtämällä kulutusta hintavammilta tunneilta edullisemmille tunneille. Kuvassa 3 on yksi esimerkki, miten sähköenergian hinta sähköpörssissä voi eri viikonpäivinä ja eri tunteina vaihdella.



Kuva 3. Esimerkki sähkön hinnan vaihteluista sähköpörssissä.

Jotta asiakkailta olisi kannustetta ohjata kulutustaan energiajärjestelmän kokonaisuuden kannalta tehokkaampaan suuntaan, on tärkeää, että sekä jakeluverkkotariffi, sähkön myynnin hinnoittelu että sähkövero kannustavat kokonaisuutena haluttuun suuntaan [6].

4.2 Rakennusfysiikka- ja suunnitteluvaikutukset

Tehotariffeilla pyritään ohjaamaan kuluttajia välttämään suurten sähkölaitteiden yhtäaikaista käyttöä varsinkin kovilla pakkasilla. Kulutuksen ohjaus ei tarkoita välttämättä sitä, että kuluttajien oletettaisiin olevan aktiivisesti laittamassa laitteitaan päälle ja pois päältä tehotariffien perusteella, vaan ohjauksia voidaan hoitaa automatisoidusti. Tehohippuja on perinteisesti toteutettu sähkölämmityksessä suunnitteleamalla sähköjärjestelmä niin, että osa sähkölämmityksestä kytkeytyy pois päältä sähkökuusta käytettäessä. Nyt tavoitteena on ottaa huomioon muitakin sähkölaitteita. Näiden toteutukseen tarvitaan ainakin sähkösuunnitelmien tekemiseen uusia ohjeita, sekä parempia mahdollisuuksia myös seurata, miten ohjaus toimii. Ohjausta suunniteltaessa täytyy myös ottaa huomioon lämpövihtyvyys- ja sisäilmavaikutukset.

Rakennusfysiikallinen suunnittelu korostuu kuormanohjauskohteissa, joita lämmitetään vain sen takia, että rakennus ja siinä säilytettävät tavarat säilyvät kunnossa. Tällaisissa kohteissa lämmitystä ohjataan rakenteiden ja tavaroiden säilyvyyden ehdoilla. Tällaisia kohteita ovat mm. erilaiset varastot, sesonkikäytössä olevat tilat ja pitkään väliaikaisesti tyhjänä olevat tilat.

5. Yhteenveto

Koko energiajärjestelmä on murroksessa. Monet vanhat periaatteet eivät välttämättä ole enää voimassa. Sähkön tuotanto ja kulutus olivat pitkään fyysisesti erillään, mutta lähes nollaenergiarakennuksissa sähkön kulutuksen lisäksi myös sen tuotantoa tulee esiintymään jatkossa yhä useammin samoissa rakennuksissa. Sähköjärjestelmästä ostettavaan sähkötehoihin vaikuttaa kulutuksen lisäksi jatkossa myös se, miten kulutus ajoittuu suhteessa rakennuksen aurinkopaneeleilla tapahtuvaan sähkön tuotantoon. Erityisesti sähkön kohdalla tehoilla on merkitystä energiatehokkuuden kannalta. Tehon merkitys kasvaa kuitenkin myös kaukolämmössä.

Sähkötehon ohjaukseen (kuorman ohjaukseen) liittyviä osatekijöitä tutkitaan ja kehitetään laajalti ja niihin liittyviä palveluja, teknisiä ratkaisuja ja hinnoitteluratkaisuja julkaistaan taajaan. Laaja näkemys toimialalla on, että sähkön siirtotariffi tulee muuttumaan jollain tavalla tehopohjaisemmaksi. Muutokset tariffirakenteissa ovat jo käynnistyneetkin.

Nyt on tärkeää selvittää, mitä energian ja tehon hinnoittelussa tapahtuvat muutokset tarkoittavat rakennusten suunnittelun ja ylläpidon osalta. Mitkä ovat sellaisia asioita, joihin pitää varautua rakentamisen yhteydessä ja joita on vaikea tai kallista myöhemmin hoitaa? Miten erilaisten energiaratkaisujen keskinäinen kannattavuus muutosten myötä muuttuu?

Yksittäisen asunnon tai pientalon tasolla tehopiikkien leikkaamisen tai sähkötehon ohjaamisen tuottamat taloudelliset säästömahdollisuudet voivat olla ainakin vielä nykyisillä sähköön liittyvillä tariffirakenteilla suhteellisen vähäisiä. Isommissa kiinteistöissä, joilla jo aiemmin on ollut käytössä tehopohjaisia hinnoitteluja, on jatkossakin omaan toimintaan liittyvillä ratkaisuilla mahdollisuuksia merkittävämpiin säästöihin. Nykyisin tehoasioden hallintaan ohjataan ensisijaisesti sähkön myynnin ja siirron hinnoittelun kautta, mutta jatkossa myös rakentamismääräyksiin voi tulla nykyistä konkreettisempia vaatimuksia tehonhallintaan liittyen.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennusten energiatehokkuus: Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2.7.1.
- [2] Maankäyttö- ja rakennuslaki, 117 g §
- [3] Luonnos ympäristöministeriön asetukseksi uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 16.2.2017, 32 §
- [4] Heljo, J.; Harsia, P.; Holttinen, H.; Aalto, P.; Björkwvist, T.; Järventausta, P.; Kaivo-Oja, J.; Kojo, M.; Korpela, T.; Rautiainen, A.; Repo, S.; Ruostetsaari, Il & Sorri, J. 2016. Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa? El-Tran analyysi 7/2016. 15 s.
- [5] Honkapuro, S, et. Jakeluverkon tariffirakenteen kehitysmahdollisuudet ja vaikutukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tampereen teknillinen yliopisto. 2017. 85 s.
- [6] Helen Sähköverkko Oy:n ja Lahti Energian sähkösiirtohinnoittelu. Luettu 26.8.2017.
- [7] Järventausta, P, et. Kysynnän jousto – Kysynnän jousto – Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli). Loppuraportti 2015

Julkaisu liittyy Suomen Akatemian Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamaan EL-TRAN – hankkeeseen (www.el-tran.fi).

Kustannusoptimaaliset energiakorjaus- ja uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut kunnallisissa palvelurakennuksissa

Juha Jokisalo¹, Paula Sankelo², Kai Sirén¹ ja Juha Vinha³

¹ Aalto-yliopisto, LVI-tekniikka

² EQUA Simulation Finland Oy

³ Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa määritettiin Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talon kustannusoptimaaliset energiakorjausvaihtoehdot sekä uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut monitavoiteoptimointia hyödyntäen. Tutkimuksessa etsittiin ratkaisuja, joiden elinkaarikustannukset 20 vuoden aikana sekä tavoite-energiankulutus ovat mahdollisimman pieniä. Tulokset osoittavat, että tutkituissa tapauksissa ilma-vesilämpöpumppu on kustannustehokkaampi lämmitysjärjestelmä kuin kaukolämpö. Ulkoseinien lisälämmöneristäminen ei ole tutkituista vaihtoehdoista kustannustehokkain tapa parantaa kohteen energiatehokkuutta. Sen sijaan esimerkiksi yläpohjan lisälämmöneristäminen, uusien energiatehokkaampien ikkunoiden asentaminen, koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän korvaaminen lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä sekä aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien asentaminen ovat suositeltavia investointeja kaikissa kustannusoptimaalisissa ratkaisuissa. Riippumatta siitä, onko kohde varustettu ilma-vesilämpöpumpulla tai kaukolämmöllä, kohteen tavoite-energiankulutusta kannattaa lähteä pienentämään investoimalla ensin aurinkoenergiajärjestelmiin.

1. Johdanto

Tämä tutkimus on osa Suomessa vuosien 2015–2017 aikana käynnissä olevaa COMBI-hanketta, joka keskittyy kunnallisten palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaikutusten ja ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen. Tämän osatutkimuksen tavoitteena on määrittää korjaustarpeessa olevan palvelurakennuksen kustannusoptimaaliset energiakorjausvaihtoehdot sekä uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut kiinteistön omistajan eli kaupungin tai kunnan näkökulmasta.

2. Esimerkkirakennus

Tutkimuksen kohteeksi valittiin Tampereella sijaitseva Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talo (Kuva 1.), joka on rakennettu vuonna 1955 ja joka peruskorjattiin vuosien 2011–2013 aikana. Tutkimuksessa oletettiin, että Jukola-talo on edelleen peruskorjausta edeltävässä kunnossa, jolloin rakennus edustaa vanhaa korjaamatonta palveluasumiskäytössä olevaa rakennusta. Tämän vuoksi tutkimuksen tulokset ovat hyödynnettävissä laajemmin suomalaisessa palvelurakennuskannassa.



Kuva 1. Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talo. Kuva: Paula Sankelo.

3. Menetelmät

3.1 Dynaaminen simulointi ja optimointi

Tutkimus toteutettiin rakennusten ja järjestelmien dynaamista simulointiohjelmaa IDA ICE sekä monitavoiteoptimointiohjelmaa MOBO [1] hyödyntäen. Käytettyjen menetelmien avulla etsittiin kustannusoptimaalisia ratkaisuja kaikkien tutkittavien korjaus- tai energiantuottovaihtoehtojen kombinaatioiden joukosta. Tutkimuksessa etsittiin ratkaisuja, joilla rakennuksen tavoite-energiankulutus ja elinkaarikustannukset ovat mahdollisimman pienet.

3.2 Tavoite-energiankulutus

Rakennuksen tavoite-energiankulutus ($\text{kWh}/\text{m}^2, \text{a}$) määriteltiin siten, että se on rakennuksen vuotuinen lämmityksen, jäädytyksen, ilmanvaihdon, valaistuksen ja huonelaitteiden sekä LVI-apulaitteiden ostoenergiankulutuksen summa, eli kokonaisostoenergiankulutus simuloituna mahdollisimman todenmukaisella rakennuksen käytöllä. Simuloinneissa käytetyt henkilö-, laite- ja valaistuskuormat sekä simulointien lähtötietona käytetty kohteen mitattu LKV- kulutus on esitetty tarkemmin Jonathan Nymanin diplomityössä [2]. Ilmanvaihdon ilmamäärinä käytettiin peruskorjauksen yhteydessä määritettyjä kohteen suunnitteluarvoja.

3.3 Elinkaarikustannukset

Tutkittavien ratkaisujen elinkaarikustannusten nykyarvo LCC (€m^2) 20 vuoden ajalta laskettiin seuraavan kaavan alulla

$$LCC = \sum I_{0,tot} + \sum M_{tot} + \sum R_{tot} - \sum Re s_{tot} - \sum E_{sold,tot} + \sum E_{delivered,tot} \quad (1)$$

missä $\sum I_{0,tot}$ = lämmitysjärjestelmän, energiakorjausten ja sekä uusiutuvan energian tuottoratkaisujen investointikustannukset (€m^2)
 $\sum M_{tot}$ = ylläpitokustannukset (€m^2)
 $\sum R_{tot}$ = korjauskustannukset (€m^2)
 $\sum Re s_{tot}$ = jäännösarvo 20 vuoden jälkeen (€m^2)

$$\sum E_{\text{sold,tot}} = \text{ylimääräisen aurinkosähkön myyntitulot (€m}^2\text{)}$$

$$\sum E_{\text{delivered,tot}} = \text{energiakustannukset (€m}^2\text{)}.$$

Tutkittavien ratkaisujen investointikustannukset määräytyivät yrityksistä saatujen hintojen sekä esimerkiksi tutkimusten [2-4] sekä alan tuoreiden raporttien perusteella. Luvussa 5 esitettävät optimointitulokset laskettiin käyttäen reaalisenä laskentakorkona 3 %, ja energian sekä siirron vuotuisena hintakehityksenä 2 %. Sähköenergian ja siirron sekä kaukolämmön kustannukset laskettiin Tampereen Sähkölaitoksen vuoden 2015 hintojen perusteella.

4. Tutkitut korjaus- ja uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut

Jukola-talon kustannusoptimaaliset ratkaisut määritettiin erikseen kahdelle vaihtoehdoiselle lämmitysratkaisulle, joita ovat ilma-vesilämpöpumppu (I-VLP) varustettuna sähköisellä apulämmityksellä sekä kaukolämpö (KL). Ilma-vesilämpöpumppu valittiin tähän optimointitutkimukseen, koska diplomityötutkimuksessa [2] osoitettiin, että ilma-vesilämpöpumppu on kustannusoptimaalinen lämmitysratkaisu Jukola-talossa. Optimointitarkastelussa määritettiin myös ilma-vesilämpöpumpun kustannusoptimaalinen tehomitoitus. Kaukolämpöjärjestelmä otettiin mukaan tutkimukseen, koska Jukola-talo ja suurin osa palvelurakennuksista käytännössä lämmitetään kaukolämmöllä.

Optimoitaviksi energiakorjausratkaisuksi valittiin ulkoseinien ja yläpohjan lisälämmöneristäminen, uusien energiatehokkaiden ikkunoiden asentaminen, koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän korvaaminen lämmöntalteenotolla varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä sekä läsnäolo-, päivänvalo- ja vakiovalo-ohjauksen asentaminen käytävien ja yhteisten oleskelutilojen valaistukseen (Taulukko 1).

Optimointitarkastelussa rakennuksen tiilimuurattujen ulkoseinien korjausvaihtoehtoja olivat peruskunnostus, jossa seinän U-arvo pysyy ennallaan (0,7 W/m²K) tai peruskunnostuksen lisäksi tehtävä 50–200 mm lisälämmöneristäminen. Yläpohjan osalta vaihtoehtoja olivat yläpohjan ennalleen jättäminen (1,22 W/m²K) tai sen 50–500 mm lisälämmöneristäminen. Vastaavasti ikkunoiden osalta tarkastelussa oli mukana alkuperäisten ikkunoiden peruskunnostus, jossa U-arvo pysyy ennallaan (2,9 W/m²K) tai uusien ikkunoiden asentaminen ikkunan U-arvon vaihdellessa välillä 0,5–1,0 W/m²K.

Optimoitaviksi uusiutuvan energian tuotannon ratkaisuksi valittiin paikan päälle asennettavat aurinkosähkö- sekä aurinkolämpöjärjestelmät. Aurinkosähköpaneelien pinta-alan sallittiin vaihdella välillä 1,6–1000 m² ja aurinkolämpökeräinten välillä 0–120 m². Optimointitarkastelussa sallittiin huomattavan suurten aurinkopaneeli- ja keräinalojen käyttäminen, vaikka Jukola-talon katolla olisi karkeasti arvioiden tilaa asentaa vain noin 200 m² paneeleja tai aurinkokeräimiä. Mikäli suurten aurinkopaneeli- tai keräinalojen asentaminen osoittautuu kannattavaksi, niitä voitaisiin asentaa myös muualle kiinteistön alueelle, esim. pihaan.

Taulukko 1. Optimoitavat energiakorjaus ja uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut.

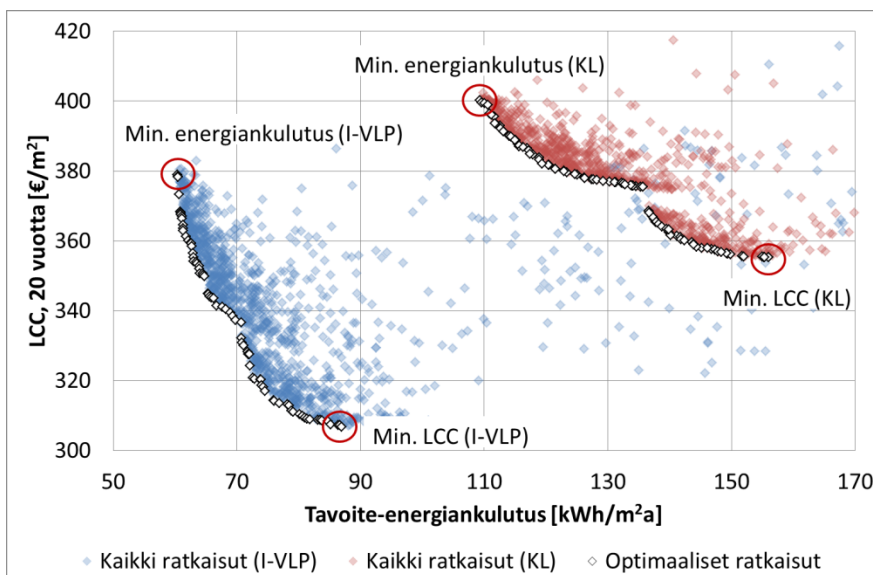
Päätösmuuttujat	Pienimmän kustannuksen toimenpide	Suurimman kustannuksen toimenpide	Muuttujan tyyppi ja tutkitut vaihtoehdot
Ulkoseinien korjaus	Peruskorjaus, eristystä ei paranneta, (U-arvo 0,7 W/m ² K)	+200 mm lisäeristys, (U-arvo 0,17 W/m ² K)	Diskreetti (lisäeristyspaksuus: 0, +50, +100, +150 tai +200 mm)

Yläpohjan korjaus	Ei korjausta, (U-arvo 1,22 W/m ² K)	+500 mm lisäeristys (U-arvo 0,08 W/m ² ,K)	Diskreetti (lisäeristyspaksuus: 0, +50, +100, +200, +300, +400 tai +500 mm)
Ikkunoiden korjaus tai vaihto	Peruskorjaus, ikkunoita ei vaihdeta, (U-arvo 2,9 W/m ² K)	Uudet ikkunat, (U=0,5 W/m ² K)	Diskreetti (U-arvo: 2,9, 1,0, 0,9, 0,8, 0,7, 0,6 tai 0,5 W/m ² K)
I-VLP:n mitoitusteho (kW) (lämpöpumpputapauksessa)	1	202	Jatkuva, (pienin muutos 1kW)
Ilmanvaihdon LTO:n tuloilman lämpötilahyötysuhde (-)	0 (ei lämmöntalteenottoa)	0,72	Diskreetti (lämpötilasuhde: 0 tai 0,72)
Valaistuksen ohjaus	Ei ohjausta	Läsnäolo-, päivänvalo- ja vakiovalo-ohjaus käytävillä ja yhteisissä oleskelutiloissa	Diskreetti (Ohjaus: ei/kyllä)
Aurinkosähköpaneelien (PV) ala (m ²)	1,6	1000	Jatkuva, (pienin muutos 1,6 m ²)
Aurinkolämpökeräinten (ST) ala (m ²)	0 / 6 ^A	120	Jatkuva, (pienin muutos 6 m ²)

^A Minimi-investointi on 0 m² I-VLP-tapauksessa ja 6 m² KL-tapauksessa.

5. Tulokset

Kuvassa 2 esitetään sekä ilma-vesilämpöpumpulla että kaukolämmöllä lämmitettävän Jukola-talon kaikkien optimoitujen ratkaisujen elinkaarikustannukset sekä tavoite-energiankulutukset. Kuvassa erikseen merkityt optimaaliset ratkaisut kuvaavat kullakin tavoite-energiankulutustasolla saavutettavaa kustannusoptimaalista ratkaisua.



Kuva 2. Jukola-talon optimoitujen ratkaisujen elinkaarikustannukset ja tavoite-energiankulutukset, kun lämmitys on toteutettu ilma-vesilämpöpumpulla (I-VLP) tai kaukolämmöllä (KL).

Kuva 2 osoittaa, että tutkitussa tapauksessa kohteen pienimmät elinkaarikustannukset tai tavoite-energiankulutus saavutetaan ilma-vesilämpöpumpulla. Taulukoissa 2 ja 3 esitetään kustannusoptimaaliset esimerkkiratkaisut molemmilla lämmitysvaihtoehdoilla eri tavoite-energiankulutuksen tasoilla, eli taulukoissa on esillä ratkaisut, joilla kuvassa 2 esitettyihin optimaalisiin ratkaisuihin päästään taloudellisimmin.

Taulukko 2. Jukola-talon kustannusoptimaaliset ratkaisut, kun lämmitysjärjestelmänä on ilma-vesilämpöpumppu.

Tavoite-energian-kulutus (kWh/m ² a)	LCC (€/m ²)	Ulkoseinät, U-arvo (W/m ² K)	Yläpohja, U-arvo (W/m ² K)	Ikkunat U-arvo (W/m ² K)	I-VLP Mitoitus-teho (kW)	IV:n lto	Valais-tuksen ohjaus	PV-ala (m ²)	ST-ala [m ²]
Pienimmät elinkaarikustannukset (globaali minimi)									
87	307	0,70	0,13	0,8	101	0,72	Kyllä	320	6
Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 80 kWh/m ² a									
80	310	0,70	0,10	0,5	124	0,72	Kyllä	492	8
Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 70 kWh/m ² a									
70	337	0,39	0,08	0,5	99	0,72	Kyllä	844	6
Pienin tavoite-energiankulutus (globaali minimi)									
60	379	0,17	0,08	0,5	175	0,72	Kyllä	993	118

Taulukko 2 osoittaa, että kaikista simuloituista ratkaisuvaihtoehdoista pienimmät elinkaarikustannukset (307 €/m²) saavutetaan tapauksessa, jossa ulkoseiniin tehdään vain peruskorjaus, yläpohjaan asennetaan 300 mm lisälämmöneristettä (0,13 W/m²K), rakennukseen vaihdetaan ikkunat, joiden U-arvo on 0,8 W/m²K, ilma-vesilämpöpumpun tehomitoitus on 101 kW (47 % max. tehontarpeesta), rakennukseen asennetaan lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä, valaistuksen ohjaus, 320 m² aurinkosähköpaneeleita sekä 6 m² aurinkolämpökeräimiä.

Taulukon 2 tulokset osoittavat, että ilma-vesilämpöpumppua käytettäessä ulkoseinän lämmöneristystä kannattaa parantaa, mikäli tavoite-energiankulutuksen tasoksi pyritään saavuttamaan noin 70 kWh/m²a tai vähemmän. Sen sijaan yläpohjan lämmöneristystasoa kannattaa parantaa, ikkunat vaihtaa, asentaa lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä sekä valaistuksen ohjaus kaikilla tutkituilla tavoite-energiankulutuksen tasoilla. Tulokset osoittavat, että aurinkosähköpaneeleja kannattaa asentaa kohteeseen huomattavan paljon (320 m²) jo pienimmän elinkaarikustannuksen tapauksessa ja mikäli tavoite-energiankulutuksen tasoa halutaan laskea, niitä kannattaisi asentaa vielä reilusti enemmän. Myös aurinkolämpökeräinten asentaminen kannattaa.

Taulukko 3. Jukola-talon kustannusoptimaaliset ratkaisut, kun lämmitysjärjestelmänä on kaukolämpö.

Tavoite-energian-kulutus (kWh/m ² a)	LCC (€/m ²)	Ulkoseinät, U-arvo (W/m ² K)	Yläpohja, U-arvo (W/m ² K)	Ikkunat U-arvo (W/m ² K)	IV:n lto	Valais-tuksen ohjaus (ol.tilat)	Valais-tuksen ohjaus (käytävät)	PV-ala (m ²)	ST-ala [m ²]
Pienimmät elinkaarikustannukset									
156	355	0,7	0,13,	0,8	0,72	Kyllä	Kyllä	275	22
Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 150 kWh/m ² a									
150	356	0,7	0,08	0,8	0,72	Kyllä	Kyllä	274	64
Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 140 kWh/m ² a									
140	362	0,7	0,08	0,8	0,72	Ei	Kyllä	602	117
Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 130 kWh/m ² a									
130	377	0,39	0,1	0,8	0,72	Kyllä	Kyllä	368	89

Pienimmät elinkaarikustannukset tavoite-energiankulutuksen ollessa ≤ 120 kWh/m ² a									
120	382	0,27	0,13	0,8	0,72	Kyllä	Kyllä	497	117
Pienin tavoite-energiankulutus									
109	400	0,17	0,08	0,5	0,72	Kyllä	Kyllä	865	120

Taulukon 3 tulokset osoittavat, että kaukolämpöä käytettäessä ulkoseinän lämmöneristystä kannattaa parantaa, mikäli tavoite-energiankulutuksen tasoksi pyritään saavuttamaan noin 130 kWh/m²a tai vähemmän. Samoin kuin lämpöpumpun tapauksessa, myös kaukolämmitetyssä kohteessa yläpohjan lämmöneristystasoa kannattaa parantaa aina, ikkunat kannattaa vaihtaa ja asentaa lämmöntalteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä. Sen sijaan oleskelutiloihin ei aina kannata asentaa valaistuksen ohjausta. Aurinkosähköpaneeleja kannattaa asentaa myös kaukolämmitetyssä tapauksessa paljon riippumatta tavoite-energiankulutuksen tasosta, mutta kuitenkin vähemmän kuin lämpöpumpputapauksessa. Kaukolämmitetyssä tapauksessa aurinkolämpökeräimiä kannattaa asentaa enemmän kuin lämpöpumpun tapauksessa, mutta mikäli tavoitellaan mahdollisimman pieniä tavoite-energiankulutuksen tasoja, tarvitaan aurinkokeräimiä lähes valittu maksimimäärä lämmitystavasta riippumatta.

6. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa määritettiin Koukkuniemen vanhainkodin Jukola-talon kustannusoptimaaliset energiakorjausvaihtoehdot sekä uusiutuvan energian tuotannon ratkaisut kiinteistön omistajan näkökulmasta.

Tutkituissa tapauksissa ilma-vesilämpöpumppu on kustannustehokkaampi lämmitysjärjestelmä kuin kaukolämpö. Ulkoseinien lisälämmöneristäminen ei ole tutkituista vaihtoehdoista kustannustehokkain tapa parantaa kohteen energiatehokkuutta. Sen sijaan yläpohjan lisälämmöneristäminen, uusien energiatehokkaampien ikkunoiden asentaminen, lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän, valaistuksen ohjauksen sekä aurinkojärjestelmien asentaminen olivat suositeltavia investointeja kaikissa kustannusoptimaalisissa ratkaisuissa riippumatta tavoite-energiankulutuksen tasosta. Mikäli tutkitun kohteen lämmitys toteutetaan ilma-vesilämpöpumpulla, rakennuksen tavoite-energiankulusta kannattaa lähteä pienentämään lisäämällä ensin aurinkosähkön tuotantoa, asentamalla energiatehokkaammat ikkunat ja lisäämällä sitten yläpohjan lämmöneristystasoa. Vastaavasti kaukolämmitetyssä kohteessa kannattaa ensin lisätä aurinkolämmöntuotantoa, sitten aurinkosähkön tuotantoa ja vasta niiden jälkeen kasvattaa yläpohjan lämmöneristystasoa.

Lähdeluettelo

- [1] <http://ibpsa-nordic.org/tools.html>
- [2] Nyman, J. 2016. Cost optimal heating and cooling systems in nearly zero energy service buildings. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201604201855>
- [3] Sankelo, P. 2016. Optimal production and use of solar electricity in municipal nearly zero energy service buildings. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Espoo. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201612085855>
- [4] Niemelä, T., Kosonen, R. and Jokisalo, J. 2017. Cost-effectiveness of energy performance renovation measures in Finnish brick apartment buildings. *Energy and Buildings* 137, pp. 60-75.

Valmistautuminen lähes 0-energiarakentamiseen, Tilakeskuksen uusi rakentamistapa

Antti Lakka
Tampereen Tilakeskus Liikelaitos

Tiivistelmä

Tampereen kaupunki on sitoutunut hiilipäästöjen vähentämiseen. Tampereen Tilakeskus Liikelaitoksen jo vuoden 2013 aikana ja jälkeen valmistuneet suuret uudisrakennuskohteet täyttävät yhtä poikkeusta lukuun ottamatta uusien vuonna 2018 voimaan astuvien lähes 0-energiarakentamisen määräysten vaatimukset. Tätä taustaa vasten asetettu uusi vaatimustaso ei vaikuta kovin tiukalta. Useiden vuosien kokemus tarjoaa Tilakeskukselle kuitenkin mahdollisuuden oppia lisää energiatehokkaasta rakentamisesta ja kehittää edelleen rakentamistapaansa.

Nykyisten matalaenergiatalojen tilojen lämpötilaa on mahdollista säätää keskitalvella lämmityspattereiden ollessa päällä. Muuna aikana patterit ovat kylmät ja tiloja lämmitetään ilmanvaihdon kautta keskitetysti. Tällöin ei ole enää mahdollisuutta tilakohtaiseen lämpötilan säätöön ilman tilakohtaista jäähdytystä. Uuden rakentamistavan suurin haaste on palauttaa mahdollisuus tilakohtaiseen lämmönsäätöön huonekohtaisen lämmitysjärjestelmän avulla.

Artikkelissa käsitellään tehtyjä havaintoja ja esitellään uutta energiatehokasta rakentamistapaa.

1. Johdanto

Tilakohtaisen lämmönsäädön palauttaminen ilman jäähdytysyksikköä on nostettu Tilakeskuksen tärkeimmäksi kehittämiskohteeksi energiatehokkaan rakentamistavan parantamisessa. Lämmönsäädön palauttamisen tavoitteena on karsia taloteknisiä järjestelmiä, vähentää tilojen liiallista lämpenemistä, vähentää energiankulutusta ja parantaa sisäilmaolosuhteita.

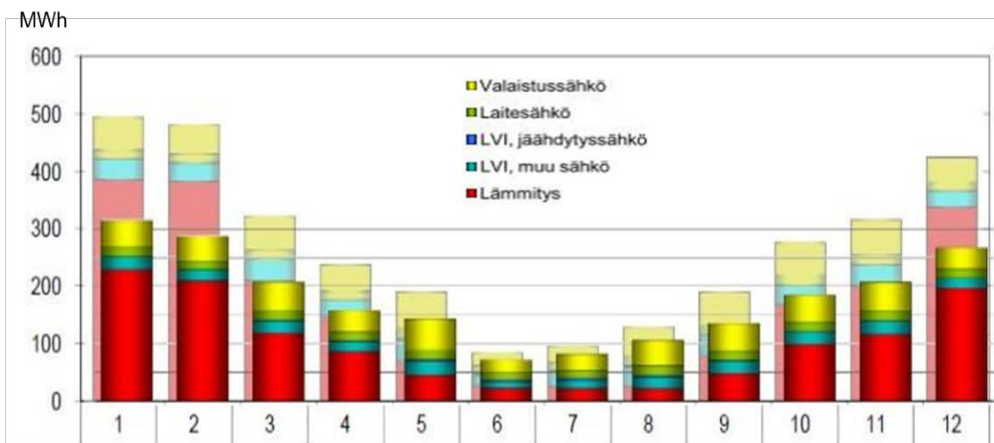
2. Kokemuksia Tilakeskuksen omista matalaenergiահankkeista

Tampereen kaupunki teki 2010 päätöksen, että kaikki sen omat uudisrakennukset toteutetaan energialuokkaan A₂₀₀₇. Päätös oli aikanaan rohkea, sillä tuolloin ei ollut tapana rakentaa niin vähän energiaa kuluttavia rakennuksia.

Tampereen Tilakeskus on selvittänyt tulevien energiamääräysten vaatimuksia ja havainnut ehkä hieman yllättäenkin, että vuonna 2013 ja sen jälkeen valmistuneet Tilakeskuksen uudisrakennukset täyttävät tulevat lähes nollaenergiarakentamisen vaatimukset. [1,2]

2.1 Toteutettuja kohteita

Yleensä ajatellaan, että uudisrakennus on hyvin rakennettu, kun se täyttää nykyaikaiset rakennusmääräykset. Vuonna 2011 tilanne oli vielä se, että Tilakeskus pystyi pienentämään energian kulutusta 30 prosenttia verrattuna voimassa olevaan vuoden 2010 määräystasoon ja rakennusmääräykset olivatkin vain minimivaatimus (kuva 1).



Kuva 1. Vuonna 2013 valmistuneen Vuores-talon simuloitu energiankulutus eri kuukausina. Kuvassa määräysten mukainen ratkaisu ja 30% alhaisempi toteutettavaksi valittu ratkaisu.

Poikkeuksen rakennetuissa kohteissa muodostaa Klassillisen lukion laajennus, joka ei täytä lähes nollaenergiarakentamisen vaatimustasoa. Rakennuksessa on noudatettu samaa rakentamistapaa kuin muissakin Tilakeskuksen uudisrakennuksissa. Selitys rakennuksen korkealle E-luvulle löytyy geometriasta ja arkkitehtuurista. Rakennus on palviljonkimainen yhdyskäytävä, jossa on runsaasti ulkovaippaa suhteessa lattiapinta-alaan. Myös julkisivulasin määrä on kaupunkikuvallisista syistä poikkeuksellisen suuri suhteessa rakennuksen laajuuteen (kuva 2).



Kuva 2. Vuonna 2016 valmistunut Klassillisen lukion laajennos, jonka on suunnitellut rakennusarkkitehti Hannu Silvennoinen.

2.2 Haasteita

Matalaenergiataloissa on havaittu joukko ilmiöitä, joita täytyy jatkossa pystyä hallitsemaan nykyistä paremmin. Osa niistä on jo ratkaistu, osan ratkaiseminen edellyttää irtaantumista joistakin aiemmin hyvänä pidetyistä käytännöistä.

2.2.1 Pieni lämmitysteho

Aiemmin rakenteisiin oli mahdollista jättää kylmäsiltoja, sillä kaikkiin tiloihin sijoitetut tehokkaat lämmittimet neutralisoivat niiden vaikutuksen. Uuden rakentamistavan mukaiset heikkotehoiset lämmittimet eivät kuitenkaan enää kompensoi kylmäsiltoja, joten kylmäsiltoja täytyy välttää. Mikäli niitä ei pystytä välttämään, pitää tila varustaa muista tiloista poikkeavalla tehokkaalla lämmittimellä.

Esimerkiksi Koukkuniemen Toukolan ensimmäinen asuinkerros on rakennettu pilareiden varaan, jolloin kylmät pilarit läpäisevät alapohjan lämmöneristeen. Matalaenergiatalon heikkotehoiset lämmittimet eivät pystykään enää kompensoimaan pilareiden muodostamaa kylmäsiltaa ja alin

asuinkerros varustettiin ylimääräisillä lämmittimillä.

On myös havaittu, että tilojen lämpötilan tilapäinen alentaminen yöllä ei oikein toimi. Lämpötila laskee aiempaa hitaammin ja pienitehoisilla lämmittimillä tilojen lämpötilan nostaminen takaisin normaaliksi vie totuttua enemmän aikaa.

2.2.2 Tuotteistettujen ratkaisujen puuttuminen

Kylmäsiltojen välttämiseen tarvitaan lisää tuotteistettuja ratkaisuja. Esimerkiksi nykyiset metallilaseinien rakenteet soveltuvat huonosti matalaenergiarakentamiseen. Lasiseinän putkimainen metallirunko on sellaisenaan kylmäsilta ja parempia tuotteistettuja ratkaisuja on ollut vaikea löytää. Myös metalliulko-ovien U-arvo oli kuusi vuotta sitten tyypillisesti tasoa $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, mikä soveltuu huonosti matalaenergiataloon. Pääovella tilanne voidaan korjata tuulikaapin avulla. Erilaisille terassioville on kuitenkin edelleen tarvetta ja tuulikaapin virittäminen niihin on hankalaa.

2.2.3 Liika lämmittäminen

Aiemmin kannettiin huolta lämmön riittävydestä kovimpien talven pakkasten aikana, mutta nyt tätä huolta ei enää ole. Sen sijaan haasteena on riittävän nopea reagoiminen lämmöntarpeen muutoksiin syksyllä ja keväällä. Sellaisissa uusissa kohteissa, joissa lämmityksen säätö ei toimi kunnolla, on jopa vedetty virheellisiä johtopäätöksiä liiallisesta energiatehokkuudesta. Uusi energiatehokas rakentamistapa ei kuitenkaan itsessään lisää jäähdystarvetta. Varsinainen syy sisälämpötilan liialliseen kohoamiseen on rakennuksen liiallinen lämmittäminen. Tätä tehdään keskitetyn ilmanvaihdon avulla ja matalaenergiataloon huonosti soveltuvan lämmitysjärjestelmän kautta.

Koska lämmityspatterit ovat matalaenergiataloissa suurimman osan vuodesta kylmiä, ei niiden avulla enää pystytä säätämään tilojen lämpötilaa. Muuna aikana matalaenergiatalon lämmitys tapahtuu pääosin lämpökuormien ja ilmanvaihtojärjestelmän avulla. Kun lämmitys tehdään keskitetysti IV-koneella, ei rakennuksen lämpötilaa ole enää mahdollista säätää tilakohtaisesti.

Tilojen liiallinen lämmittäminen näyttää liittyvän tuloilman tasalämpöiseen sisään puhallukseen. Nykyisissä ilmanvaihtojärjestelmissä ei voi alentaa ylälämpöisten tilojen tuloilman lämpötilaa, koska alempi lämpötila aiheuttaisi vedon tunnetta muissa tiloissa. Edes jako etelän ja pohjoispuolen vyöhykkeisiin ei aina korjaa tilannetta, sillä samaan vyöhykkeeseen voi edelleen kuulua liian erilaisia tiloja. Tasalämpöisen tuloilman järjestelmissä onkin tyypillistä varustaa tiloja tilakohtaisella jäähdystysjärjestelmällä kun tarvetta tilakohtaiseen lämmönsäätöön ilmenee.

Myös lattialämmityksessä on säätämisen kannalta omat vaikeutensa. Se varaa lämmityskaudella lämpöä lattiaan, mikä parantaa pakkaskaudella tilojen lämpöolosuhteita. Ongelmaksi lattialämmitys muodostuu syksyllä ja keväällä, kun lämmöntarve saattaa kadota nopeasti esim. auringonpaisteen tai tilaan saapuneiden henkilöiden vuoksi. Tällöin lattia luovuttaa edelleen lämpöä ja aiheuttaa ylälämpöä ja jäähdystarvetta.

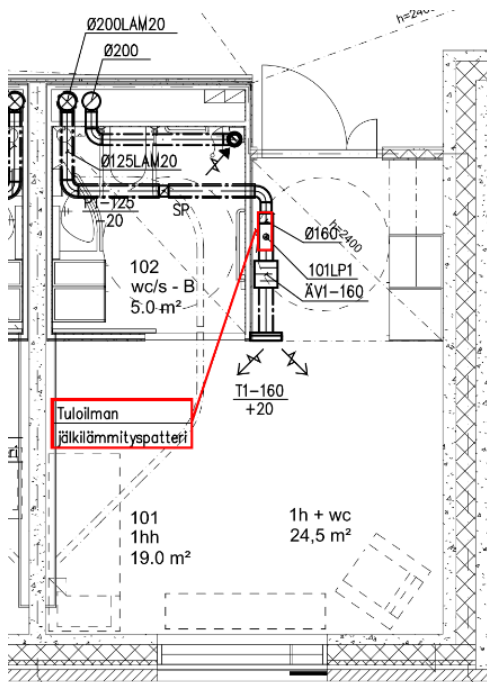
2.2.4 Perinteiset kaupunkikuvavaatimukset

Energiatehokkaiden ratkaisujen toteuttamisessa haasteeksi nousevat välillä kaupunkikuvalliset vaatimukset, sillä lämmitys- ja jäähdystarvetta pyritään minimoimaan erilaisten ulkoasuun vaikuttavien keinojen avulla. Ikkunoita pyritään suojaamaan katoksilla, räystäillä, parvekkeilla ja

säleiköillä. Suojien tulisi estää keväällä ja kesällä auringonsäteiden pääsy sisälle ja päästää pimeänä talvikautena matalammalta paistava luonnon valo sisälle. Vastaavasti kylmäsiltoja pyritään välttämään mm. varustamalla parvekkeet itsekantavalla rungolla ja välttämällä alapohjan lämmönerityksen läpäisemistä ulkotilassa olevilla pilareilla. Myös runsasta julkisivulasin käyttöä pyritään välttämään, sillä se suurentaa kesäkaudella yllilämpöongelmaa ja talvikaudella lämmitystarvetta. Kaupunkikuvallisiin vaatimuksiin tarvittaisiinkin lisää liikkumavaraa.

2.3 Ratkaisu lämpötilan säätämiseen

Vuonna 2013 valmistuneessa Koukkuniemen Impivaarassa säätöongelmaa ratkottiin ilmanvaihtolämmityksen avulla. Ideana oli saavuttaa nopea reagointikyky lämmitys- ja jäähdytystarpeeseen jättämällä lämmityspatterit ja lattialämmitys pois ja korvaamalla ne huonekohtaisella tuloilmakanavaan sijoitetulla kanavalämmittimellä. Ratkaisussa huoneeseen ei enää puhalleta kesät-talvet vakioilämpöistä 21 asteista ilmaa vaan tuloilman lämpötilaa säädetään lämmön tarpeen mukaan. Yllilämpötilanteessa termostaatti lopettaa tuloilman lämmittämisen ja viileä tuloilma aloittaa tilan jäähdytyksen. Suurin etu on siinä, että matalaenergiataloa ei enää lämmitetä liikaa hitaasti reagoivan lämmitysratkaisun vuoksi. Ratkaisu myös estää tilojen liiallisen lämmittämisen keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän kautta (kuva 3).



Kuva 3. Vuonna 2013 valmistuneen Koukkuniemen Impivaara varustettiin asuntokohtaisilla tuloilman kanavalämmittimillä. Asunnoissa ei ole ikkunan alla lämmityspatteria tai lattialämmitystä.

Ilmanvaihtolämmityksen yksi etu on, että lämpötilaa pystytään säätämään tilakohtaisesti lämmittämällä. Tämän päivän valitseva käytäntö tilakohtaiseen lämmönsäätöön on tilakohtainen jäähdytys sen jälkeen, kun sama tuloilma on ensin lämmitetty IV-koneella 21 asteiseksi.

3. Tilakeskuksen uusi rakentamistapa

Suunnittelijat ovat yleensä yksimielisiä siitä, että rakennus on suunniteltava kokonaisuutena siten, että osajärjestelmien optimointi ei häiritse kokonaisuutta. Ongelmana on ollut se, että ei oikein

ole tiedetty, mitä energiatehokkaan rakennuksen suunnitteleminen kokonaisuutena tarkoittaa. Tilakeskuksen uudessa rakentamistavassa pyritään avaamaan kokonaisuutena suunnittelun elementtejä. Uusi rakentamistapa muodostuu kolmesta elementistä:

A. Suojaus

- suojauminen äärimmäisiltä sääolosuhteilta

B. Sääto

- tilakohtainen sääto lämmittämällä

C. Peruslämmitys

- peruslämmitys huipputehon tarvetta varten.

3.1 Elementti A suojaus

Uudessa rakentamistavassa suojaudutaan äärimmäisiltä sääolosuhteilta, joilla tässä tarkoitetaan talven huippupakkasia ja kevään ja kesän lämpimiä päiviä. Niiden liialliset vaikutukset sisäolosuhteisiin eliminoidaan passiivisin (=rakenteellisin) keinoin. Näitä keinoja ovat:

- korkea eristystaso
- kylmäsiltojen välttäminen
- rakenteellinen aurinkosuojaus
- lämpökuormien vähentäminen

Myös muita kuin sääolosuhteista johtuvia lämpökuormia pyritään minimoimaan valitsemalla vähän lämpöä tuottavia laitteita ja sijoittamalla lämpöä tuottavia laitteita mahdollisuuksien mukaan ulkovaipan ulkopuolelle.

Äärimmäisten sääolosuhteiden vaikutukset pyritään eliminoidaan, jotta lämmityksen ja jäähdytyksen huipputehon tarvetta saadaan alennettua. Suoran energiatehokkuuden lisäksi alhaisesta tehontarpeesta saadaan muitakin etuja. Rakennuksessa voidaan esimerkiksi hyödyntää hyvinkin heikkotehoisia ilmaisenergioita kuten yötuuletusta ja omaa sähköntuotantoa aurinkopaneeleilla.

Mikäli passiivisia keinoja ei voida käyttää tai ne eivät ole riittäviä, joudutaan tilaan lisäämään jäähdytyslaite tai normaalia tehokkaampi lämmityslaite.

3.2 Elementti B sääto

Uudessa rakentamistavassa säädetään lämpötilaa tilakohtaisesti myös varsinaisen lämmityskauden ulkopuolella. Lämmitys toteutetaan ilmanvaihtolämmityksellä, jonka tilakohtainen sääto toteutetaan tuloilmakanavaan sijoitettavalla jälkilämmittimellä. Tuloilma on siis vaihtuvalämpöistä siten, että lämmityskaudella sen lämpötila voi olla jopa 20 astetta muuta huoneilmaa lämpimämpää. Vastaavasti kevään ja kesän yllilämpötilanteissa tiloja tuuletetaan lämmittämättömällä ulkoilmalla.

Mikäli käytössä on ilmanvaihdon keskeytys öisin ja viikonloppuisin, voidaan ilmanvaihtoa lisätä hetkellisesti käyttöajan ulkopuolella tilojen pitämiseksi lämpimänä. Ilmamääriä voidaan hetkellisesti lisätä myös kesällä yötuuletuksen aikana.

Järjestelmä eroaa 80-luvun ilmalämmityksestä siinä, että ilmamäärät määräytyvät ilmanvaihdon

tarpeen mukaan eikä lämmitystarpeen mukaan. Nykyisestä valitsevasta ilmanvaihdosta ratkaisu eroaa siinä, että tuloilma ei ole kesät-talvet tasalämpöistä.

3.3 Elementti C peruslämmitys

Talven huippupakkasia varten rakennus varustetaan peruslämmityksellä, jonka tehtävä on taata riittävä lämmitysteho. Peruslämmitys on käytössä vain keskitalvella ja muun ajan vuodesta riittää pelkkä tilakohtainen ilmanvaihtolämmitys.

Tilan peruslämmitys voi olla melkein mikä tahansa nykyisistä lämmönjakotavoista, kuten lattialämmitys ja lämmityspatterit. Peruslämmityksen säädettävyys ei tarvitse olla kovin hyvä. Käytännön kokemus asuintaloista ja ryhmäkodeista kuitenkin osoittaa, että peruslämmityksenä riittää ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatteri. Koska rakennus täytyy joka tapauksessa varustaa ilmanvaihtokoneen lämmityspatterilla, ei rakennusta tarvitse varustaa muulla peruslämmityksellä ilman erityistä syytä.

3.4 Suunnitteleminen kokonaisuutena

On huomattava, että uuden rakentamistavan elementit ovat toisistaan riippuvaisia. Mikäli yksi elementeistä jätetään toteuttamatta esitetyllä tavalla, kokonaisuus ei enää toimi ja muiden elementtien toteuttaminen ei ole enää mahdollista tarkoitetulla tavalla.

4. Yhteenveto

Energiatehokas rakentamistapa ei itsessään lisää yllämpöä ja jäähdytystarvetta. Varsinainen syy sisälämpötilan liialliseen kohoamiseen on rakennuksen liika lämmittäminen. Tätä tehdään ilmanvaihdon tasalämpöisen sisään puhalluksen kautta. Myös matalaenergiataloon huonosti soveltuvalla lämmitysjärjestelmällä on osuutensa yllämpöön.

Tilakeskus on jo saavuttanut tarvittavan alhaisen energiankulutustason. Uuden rakentamistavan kehittämisen painopiste on liiallisen lämmittämisen vähentämisessä ja sovellettavien ratkaisujen yksinkertaistamisessa. Ilmanvaihtolämmityksellä varustettuja rakennuksia ovat vuonna 2013 valmistunut Koukkuniemen Impivaara ja vuonna 2017 valmistuva Toukola. Parhaillaan on käynnissä ilmanvaihtolämmityksellä varustetun koulurakennuksen suunnittelu.

Lähdeluettelo

- [1] Lakka, Antti. 2017. Lähes nollaenergiarakentamiseen valmistautuminen Tilakeskuksen kannalta. Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. 22 s.
<http://www.tampere.fi/tilakeskus/rakennuttaminen/suunnitteluohjeet.html>
- [2] Lakka, Antti. Valmistautuminen lähes 0-energiarakentamiseen, Tilakeskuksen uusi rakentamistapa. RIL-SAFA. Esitys koulutustilaisuudessa Lähes nollarakentaminen 30.5.2017.

Suurten kiinteistöjen jäähdytysenergian tuottaminen lämpöpumpulla ja jäähdytyksessä syntyvän lauhde-energian siirtäminen kaukolämpöverkkoon

Antti Ahlqvist
Oilon Oy

Tiivistelmä

Kiristyvät poliittiset ilmastotavoitteet, entistä vaihtelevampi ja alentunut sähkön tukkumarkkinahinta ohjaavat kaukolämpöryityksiä etsimään uusia energianlähteitä ja lämmöntuotantomuotoja. Tehtyjen selvitysten mukaan, lämpöpumpuilla tuotettavan kaukolämmön osuus tulee tulevaisuudessa kasvamaan nykyisestä. Lämpöpumpputeknologian viime vuosien nopea kehitys on mahdollistanut mm kiinteistöjen jäähdytyksessä syntyvän lauhde-energian siirtämisen kaukolämpöverkkoon edelleen hyödynnettäväksi lämpöenergiaksi.

1. Johdanto

Suomen pitkän aikavälin tavoitteena on vähentää kasviuonekaasupäästöjä 80 % vuoteen 2050 mennessä. Myös Euroopan komission joulukuussa 2011 julkaiseman vähähiilisyden tiekartan tavoitteena on lähes päästötön energiajärjestelmä vuoteen 2050 mennessä.

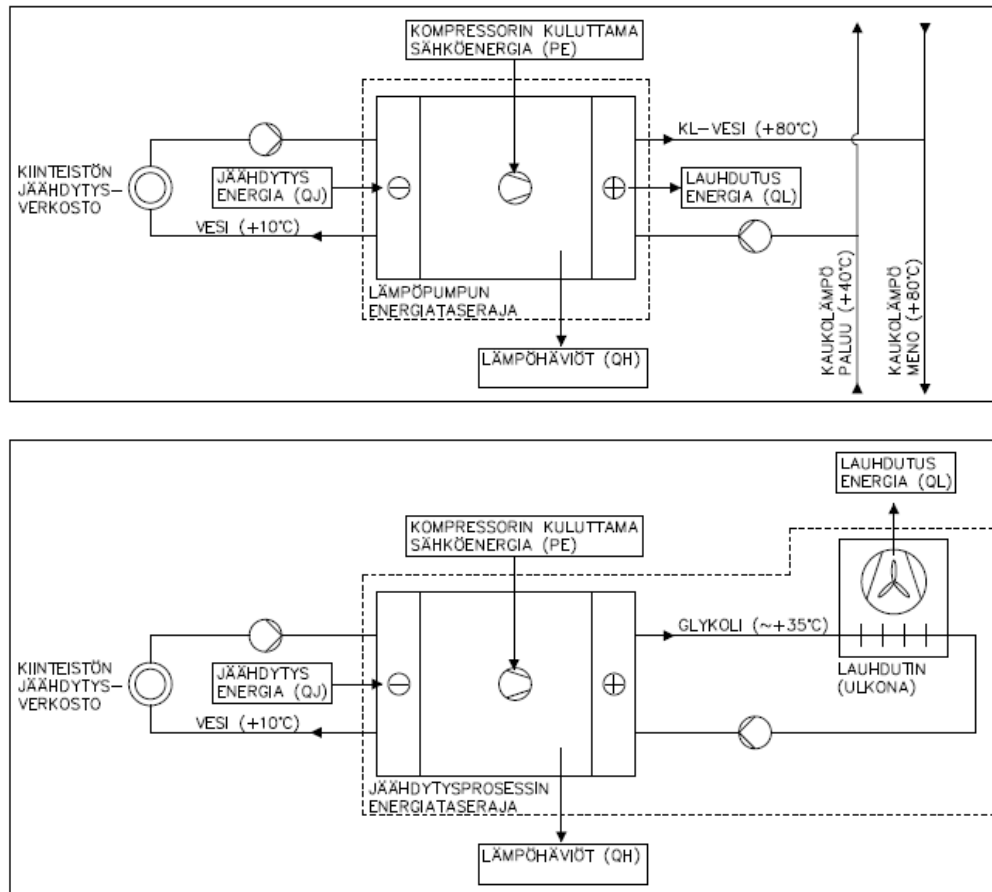
Nämä kiristyvät poliittiset ilmastotavoitteet, entistä vaihtelevampi ja alentunut sähkön tukkumarkkinahinta sekä asiakkaiden tietoisuus uusiutuvien energiantuotantomuotojen tarpeellisuudesta ilmastomuutoksen ehkäisyssä ohjaavat kaukolämpöryityksiä etsimään uusia energianlähteitä ja lämmöntuotantomuotoja. Lämpöpumppujen käyttö kaukolämpöjärjestelmässä mahdollistaa monien erilaisten lämmönlähteiden hyödyntämisen sekä lisää kaukolämpöjärjestelmän joustavuutta ja uusiutuvan energiantuotannon osuutta. Selvityksen mukaan Suomessa lämpöpumpuilla voitaisiin tuottaa 3–4 terawattituntia (TWh) kaukolämpöä vuodessa, mikä tarkoittaisi 9–13 prosenttia kaukolämmön vuotuisesta myyntimäärästä. Nykyinen kaukolämmöntuotanto lämpöpumpuilla Suomessa on noin 0,6 TWh, mikä on noin 1,7 prosenttia kaukolämmön kokonaistuotannosta. Ruotsissa kaukolämmöstä tuotetaan noin 7,4 % (4,0 TWh) lämpöpumpuilla [1].

Tässä artikkelissa tarkastellaan vuonna 2016 lämpöpumpulla toteutettua kiinteistön jäähdytys ratkaisua. Toteutetussa ratkaisussa kiinteistön tarvitsema jäähdytysenergia (kylmä vesi) tuotetaan lämpöpumpulla ja jäähdytysenergian tuottamisessa syntyvä lauhde-energia siirretään kaukolämpöverkkoon edelleen hyödynnettäväksi lämpöenergiaksi. Tyypillisesti kiinteistöjen jäähdytys on toteutettu jäähdytysratkaisulla, jossa jäähdytyksessä syntyvää lauhde-energiaa ei hyödynnetä ja lauhde-energia hukataan ulkolauhduttimien kautta ulkoilmaan.

Toteutettua ratkaisua voidaan ja on järkevää soveltaa jäähdytystä tarvitsevissa suurissa kiinteistöissä, joiden ei ole mahdollista liittyä kaukojäähdytysverkostoon, ja jotka ovat liittyneet tai tulevat liittymään kaukolämpöverkkoon. Suurella kiinteistöllä tarkoitetaan tässä kiinteistöä, jonka mitoitusjäähdytysteho on suurempi kuin ~50 kW.

2. Lämpöpumpulla toteutetun kiinteistön jäähdytyksen periaate

Kuvassa 1 on esitetty kiinteistön jäähdytysratkaisu, jossa jäähdytyksessä syntyvä lauhdelämpö siirretään kaukolämpöverkkoon lämpöpumpun avulla. Kuvassa 1 on esitetty myös perinteinen jäähdytysratkaisu, jossa jäähdytyksessä syntyvä lauhde-energia siirretään lämmönsiirtonesteen välityksellä ulkoilmaan. Lämpöpumppu ja jäähdytyskone ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia laitteita. Lämpöpumpussa lauhduttimelta ulos tulevan veden/nesteen lämpötilataso on riittävän korkea, jotta sen tuottamaa lauhde-energiaa voidaan hyödyntää.



Kuva 1. Lämpöpumpulla toteutettu kiinteistön jäähdytysratkaisu, jossa jäähdytyksessä syntyvä lauhdelämpö siirretään kaukolämpöverkkoon (ylempi kuva). Jäähdytysratkaisu, jossa jäähdytyksessä syntyvä lauhde-energia siirretään lämmönsiirtonesteen välityksellä ulkoilmaan (alempi kuva).

Kuvaan 1 on piirretty lämpöpumpun (=jäähdytysprosessin) energiataseraja. Lämpöpumpun energiataase on

$$Q_L = Q_J + P_e - Q_H \quad (1)$$

- missä Q_J = lämpöpumpun jäähdytysenergia (kWh)
 P_e = lämpöpumpun kompressorin/kompressoreiden kuluttama sähköenergia (kWh)
 Q_L = lämpöpumpun lauhdutusenergia (kWh)
 Q_H = lämpöpumpun lämpöhäviöt ympäristöön (kWh)

Lämpöpumpun lämpöhäviöt ympäristöön (konehuoneeseen) ovat tyypillisesti noin 1%

lauhdutusenergiasta.

Jäähdytysprosessien energiatehokkuutta voidaan tarkastella ns. kylmäkertoimella (ε), joka määritellään kaavalla

$$\varepsilon = \frac{Q_J}{P_e} \quad (2)$$

Jäähdytysprosessin kylmäkertoimeen vaikuttaa höyrystimeltä sekä lauhduttimelta ulostulevan veden (nesteen) lämpötila. Mitä suurempi tämä lämpötilaero on, sitä huonompi on jäähdytysprosessin kylmäkerroin. Jäähdytysprosessille, jossa jäähdytysprosessissa syntyvää lauhde-energiaa saadaan hyötykäyttöön, voidaan määrittellä ns. prosessin kokonaishyötysuhde

$$\varphi_{\text{tot}} = \frac{Q_J + Q_{L,h}}{P_e} \quad (3)$$

missä $Q_{L,h}$ = jäähdytysprosessista hyötykäyttöön saatava lauhde-energia (kWh)

Jos kaikki jäähdytysprosessissa syntyvä lauhde-energia saadaan hyötykäyttöön, saadaan kokonaishyötysuhteelle kylmäkertoimen funktiona kaava

$$\varphi_{\text{tot}} = 2\varepsilon + 1 \quad (4)$$

3. Vuonna 2016 lämpöpumpulla toteutettu kiinteistön jäähdytysratkaisu

Oilon Oy toimitti vuonna 2016 kiinteistön jäähdytykseen lämpöpumppujärjestelmän, jossa jäähdytyksessä syntyvä lauhde-energia siirretään kaukolämpöverkkoon edelleen hyödynnettäväksi kuvan 1 (ylempi kuva) mukaisella periaatteella. Jäähdytettävän kiinteistön mitoitusjäähdytystehoksi oli laskettu noin 230 kW. Kiinteistön mitoitusjäähdytystehoon perustuen kohteen lämpöpumpuksi valittiin Oilon P300_SU_2xVFD. Kuvassa 2 on esitetty valitun lämpöpumpun tekniset tiedot ja suoritusarvot. Lämpöpumpun suoritusarvot on laskettu Oilon Oy:n kehittämällä lämpöpumppujen mitoitusohjelmalla, jolla voidaan laskea Oilonin valmistamien lämpöpumppujen suoritusarvot. Valitussa lämpöpumpussa on neljä mäntäkompressoria, joista kaksi on taajuusmuuttaja ohjattuja. Neljällä kompressorilla ja kahden kompressorin taajuusmuuttajaohjauksella saavutetaan lähes portaaton jäähdytystehonsäätö tehonsäätöalueella 10 %...100 %. Lämpöpumpun säätötavasta johtuen, lämpöpumpun hyötysuhde pysyy lähes vakiona koko tehonsäätöalueella. Toteutetussa kohteessa lämpöpumpulta ja jäähdytysjärjestelmältä vaaditaan hyvää säädettävyyttä, koska kiinteistön jäähdytystehon tarve vaihtelee voimakkaasti mm. ulkoilman lämpötilan mukaan.

Kohteeseen toimitetun lämpöpumpun energianmittaukset otettiin käyttöön vuoden 2017 kesäkuussa. Taulukossa 1 on esitetty energianmittauksista saadut lämpöpumpun kaukolämpöverkostoon tuottama lämpöenergia (lauhde-energia), kiinteistön jäähdytykseen tuotettu kylmäenergia ja lämpöpumpun kuluttama sähköenergia vuoden 2017 heinäkuulta. Taulukossa 1 on myös esitetty mittauksista lasketut lämpöpumpun kylmäkerroin ja kokonaishyötysuhde. Kun verrataan lämpöpumpun mitoitus tietoja ja mitattuja arvoja, voidaan todeta lämpöpumpun mitoitus tiedoissa mitoitusohjelmalla lasketun kylmäkertoimen ja kokonaishyötysuhteen olevan hyvin lähellä mitattuja todellisia arvoja. Lämpöpumpun

mitoitustiedoissa kylmäkertoimeksi oli annettu 1,65 ja kokonaishyötysuhteeksi 4,31 ja vastaavat mitatut arvot olivat 1,66 ja 4,34.

LÄMPÖPUMPPU YKSIKKÖ	
Tyyppi	: P300 SU VFDx2
Kompressorit	: 4 mäntäkompressoria
Kylmäaine (määrä)	: R134a (25.0 + 25.0 kg)
Kuvaus	: Lämpöpumppu AISI 304/316 juotetuilla levylämmönvaihtimilla. Kompakti ja tehdasvalmistettu yksikkö valmiina kytkettäväksi paikalleen.
Tehonsäätö	: 100 - 10 % (suunnittelupisteessä)
Höyrystimen suunnittelupaine	: 31 bar
Lauhduttimen suunnittelupaine	: 24 bar
Liitäntöjen määrä	: 6
A-painotettu äänenpaine	: -

SUORTITUSARVOT (±5 % TARKKUUS)	
Lämpöpumpun tyyppi	: P300 SU VFDx2
Yksiköiden kappalemäärä	: 1
Jäähdytysteho	: 248 kW
Sähkötönnön kulutus	: 150 kW
Lämmitysteho	: 398 kW
Kylmäkerroin	: 1,65
Kokonaishyötysuhde	: 4,31
Lämmönlähde (höyrystin)	
Virtaava aine	: vesi
Jäähdytyspiiri sisään	: 18,0 °C
Jäähdytyspiiri ulos	: 10,0 °C
Jäähdytyspiirin massavirta	: 7,4 l/s
Höyrystimen painehäviö	: 6 kPa
Lämpönielu (lauhdutin)	
Virtaava aine	: vesi
Lämmityspiiri sisään	: 55,0 °C
Lämmityspiiri ulos	: 80,0 °C
Lämmityspiirin massavirta	: 3,9 l/s
Lauhduttimen painehäviö	: 32 kPa

MITAT	
Pituus n.	: 2676 mm
Leveys n.	: 900 mm
Korkeus n.	: 2056 mm
Operointipaino n.	: 2600 kg

Kuva 2. Lämpöpumpun mitoitustiedot. Lämpöpumpun suoritusarvot on laskettu lämpöpumppujen mitoitushjelmalla.

Taulukko 1. Lämpöpumpun energianmittaukset 2017 heinäkuulta.

Päivä	Tuotettu lämpöenergia kWh	Tuotettu kylmäenergia kWh	Kulutettu Sähköenergia kWh	LP:n kylmäkerroin	LP:n kokonais hyötysuhde
1.8.2017	216	139	76	1,82	4,65
2.8.2017	265	162	102	1,59	4,19
3.8.2017	618	372	242	1,53	4,08
4.8.2017	474	297	172	1,73	4,48
5.8.2017	375	227	148	1,54	4,07
6.8.2017	298	179	115	1,55	4,13
7.8.2017	201	127	73	1,74	4,50
8.8.2017	594	366	225	1,63	4,27
9.8.2017	529	326	200	1,63	4,28
10.8.2017	588	370	215	1,72	4,45
11.8.2017	571	355	213	1,66	4,34
12.8.2017	956	589	362	1,63	4,27
13.8.2017	289	179	109	1,63	4,28
14.8.2017	337	201	134	1,51	4,02
15.8.2017	484	302	180	1,67	4,36
16.8.2017	474	297	174	1,71	4,43
17.8.2017	618	372	242	1,53	4,08
18.8.2017	397	243	152	1,59	4,20
19.8.2017	375	227	146	1,56	4,13
20.8.2017	362	223	137	1,63	4,27
21.8.2017	298	182	115	1,59	4,19
22.8.2017	331	206	123	1,67	4,36
23.8.2017	298	191	105	1,82	4,66
24.8.2017	373	247	124	1,99	4,99
25.8.2017	286	191	93	2,05	5,12
26.8.2017	309	208	99	2,09	5,20
27.8.2017	318	213	104	2,05	5,12
28.8.2017	307	191	114	1,68	4,37
29.8.2017	298	179	117	1,52	4,06
30.8.2017	279	170	108	1,58	4,16
31.8.2017	265	162	102	1,59	4,19
Yhteensä	12380	7692	4624	1,66	4,34

Yhteenveto

Suomen pitkän aikavälin tavoitteena on vähentää kasviuonekaasupäästöjä 80% vuoteen 2050 mennessä. Myös Euroopan komission joulukuussa 2011 julkaiseman vähähiilisyiden tiekartan tavoitteena on lähes päästötön energiajärjestelmä vuoteen 2050 mennessä. Suurten kiinteistöjen jäähdityksen toteuttaminen lämpöpumpuilla mahdollistaa jäähdityksessä syntyvän lauhde-energian hyödyntämisen kaukolämpöverkossa, mikä vähentää mm fossiililla polttoaineilla tuotetun kaukolämmön määrää kaukolämpöverkossa.

Lämpöpumpuilla kiinteistöjen jäähdityksessä syntyvä lauhde-energia on mahdollista siirtää kaukolämpöverkkoon edelleen hyödynnettäväksi. Oilon Oy:n kehittämällä lämpöpumppujen mitoitusohjelmalla voidaan hyvällä tarkkuudella laskea lämpöpumpun suoritusarvoja ja hyötysuhteita erilaisissa lämpöpumpun toimintaolosuhteissa.

Lähdeluettelo

- [1] Passi, Pekka et al. 2016. Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä. Loppuraportti 29.8.2016. Energiateollisuus ry. 50 s. PDF-julkaisu. Saatavissa: http://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf

A9. Energiatehokas rakentaminen 2

Kustannusoptimaalisten peruskorjausratkaisuiden energia- ja ympäristötehokkuus 1970-luvun betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa

Tuomo Niemelä
Granlund Consulting Oy

Tiivistelmä

Artikkeli esittää kustannusoptimaaliset energiakorjausratkaisut tyypillisille suomalaisille 1970-luvulla rakennetuille betonielementtirakenteisille asuinkerrostaloille. Tutkimuksen päätavoite oli määrittää kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit sekä primäärienergiatehokkuuden että ympäristötehokkuuden näkökulmista. Ympäristötehokkuuden mittarina käytettiin rakennuksen kokonaishiilidioksidipäästöjä. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit määritettiin erikseen eri lämmitysjärjestelmille yli 220 miljoonan peruskorjauskombinaation joukosta käyttämällä tutkimusmenetelmänä simulointiin perustuvaa monitavoiteoptimointia. Tulokset osoittavat, että ehdotettu asuinkerrostalojen lähes nollaenergiavaatimustaso voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti, noin 18–36 % sijoitetun pääoman tuotto prosentilla riippuen päälämmitysjärjestelmästä, myös 1970-luvun betonielementtirakenteisten asuinkerrostalojen peruskorjauksissa. Tulokset osoittavat myös, että kustannusoptimaalisilla peruskorjausratkaisuilla on mahdollista saavuttaa samanaikaisesti 90–98 €/m² nettosäästöt, 850–930 kWh/m² vähennys rakennuksen primäärienergiankulutuksessa sekä 350–390 kg/m² vähennys rakennuksen kokonaishiilidioksidipäästöissä 30 vuoden tarkastelujakson aikana. Tulosten perusteella kustannustehokkaasti mitoitettujen lämpöpumppujärjestelmät mahdollistavat merkittävän kustannussäästö- ja ympäristövaikutusten pienentämispotentiaalin verrattuna rakennuksen ulkovaippaan liittyviin peruskorjaustoimenpiteisiin, koska rakennuksen ostoenergiankulutus muodostaa yli 90 % kokonaishiilidioksidipäästöistä.

1. Johdanto

Rakennetulla ympäristöllä on merkittävä osuus ilmastonmuutoksen etenemisen hillitsemisessä ja energiatehokkuuden parantamisessa. YK:n energia- ja kehitysohjelman [1] mukaan rakennukset muodostavat 30–40 % maailman kokonaisenergiankulutuksesta ja lisäksi 25–35 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä. YK:n [1] mukaan rakennetulla ympäristöllä on suurin energiatehokkuuden parantamispotentiaali Euroopassa.

Tällä hetkellä korjausrakentamisen osuus on noin 50 % rakentamisen kokonaisvolyymistä Suomessa. Olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuuden parantamisella on keskeinen rooli, koska rakennuskanta uusiutuu hitaasti. Rakennusten korjausvelan jatkuva kasvaminen alkaa myös muodostua ongelmaksi Suomessa. 1970-luvulla rakennetut asuinkerrostalot käsittävät noin 25 % koko Suomen asuinkerrostalokannasta, mikä vastaa suuruudeltaan noin 24 000 000 m² kerrosalaa. 1970-luvun asuinkerrostalot ovat yleisin kerrostalotyyppi Suomessa sekä rakennusten lukumäärällä että rakennetulla kerrospinta-alalla mitattuna, joille on lisäksi ikänsä ja kuntonsa johdosta tehtävä merkittäviä peruskorjaustoimenpiteitä lähivuosien aikana. Energiatehokkuuskorjauksien lisäksi tarvitaan myös rakennusten ylläpitoon liittyviä korjauksia korjausvelan kasvun hillitsemiseksi. Tyypillisesti nämä kaksi korjaustyyppiä on yhdistetty siten, että samaan aikaan tehdään sekä ylläpitoon että energiatehokkuuteen liittyviä

korjaustoimenpiteitä. Huomion arvoista peruskorjauksia suunniteltaessa on lisäksi se, että 1970-luvulla rakennettujen asuinkerrostalojen ominaisenergiankulutukset ovat korkeita, mikä tarkoittaa, että peruskorjauksilla saavutettava energiansäästöpotentiaali on merkittävä.

2. Tutkimusmenetelmän, kohderakennuksen ja tutkittavien peruskorjaustoimenpiteiden kuvaus

2.1 Tutkimusmenetelmä

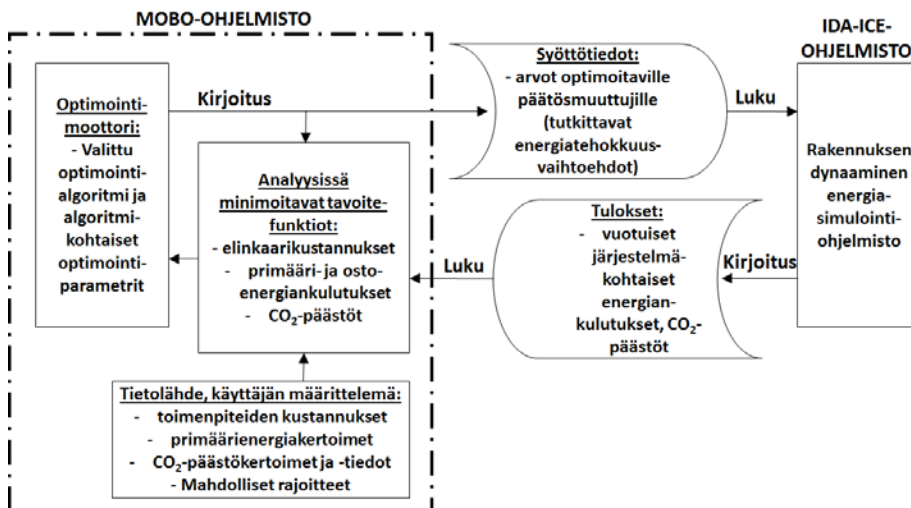
Tutkimus- ja laskentamenetelmänä on käytetty uutta energia- ja olosuhdesimulointiin perustuvaa monitavoiteoptimointia. Simulointityökaluna tarkasteluissa käytettiin IDA ICE -ohjelmistoa (versio 4.7) ja optimointityökaluna uutta MOBO (**M**ulti-**O**bjective **B**uilding Performance **O**ptimization) -ohjelmistoa (versio 0.3b).

2.1.1 Simulointityökalu

Energiasimuloinneissa käytettiin dynaamista IDA ICE -energiälaskentaohjelmistoa, jonka tarkkuus, luotettavuus ja suorituskyky on verifioitu lukuisissa aikaisemmissa tutkimuksissa [2] [3]. Lisäksi IDA ICE -ohjelmistolla pystytään mallintamaan myös rakennuksen energiantuotantojärjestelmät, kuten maa-, poistoilma-, ilma-ilma- ja ilma-vesilämpöpumpputjärjestelmät, aurinkoenergiajärjestelmät, micro-CHP- ja tuuliturbiinijärjestelmät sekä jäähdytysjärjestelmät vapaajäähdytyksineen, erittäin hyvällä tarkkuudella osana rakennuksen dynaamista energiasimulointia. Myös rakennuksen huonetilat voidaan mallintaa käyttämällä todellisia lämmitys- ja jäähdytyslaitteita todellisine teknisine tietoineen ja suoritusarvoineen. Tämä mahdollistaa yhä tarkempien ja yksityiskohtaisempien energiasimulointien suorittamisen, koska laskentaa yksinkertaistavia taulukko- ja vakioarvoja, kuten esimerkiksi lämpöpumppujen tai tilojen lämmitysjärjestelmien vuosihyötysuhteet, ei tarvitse enää käyttää. Lisäksi lämpöpumppujärjestelmien suorituskyky saadaan simuloinnissa kalibroituja vastaamaan todellisten lämpöpumppujärjestelmien suorituskykyä erittäin tarkasti, mikä mahdollistaa luotettavien energiasimulointien ja lämmitysjärjestelmävertailuiden suorittamisen.

2.1.2 Optimointityökalu

MOBO on VTT:n ja Aalto-yliopiston yhteistyönä kehittämä optimointiohjelmisto, joka on kehitetty Suomen Akatemian rahoituksella vuosien 2010–2015 aikana. Ohjelman kehitys on vielä toistaiseksi beta-asteella. MOBO on optimointityökalu, jota voidaan käyttää monien eri simulointiohjelmien kanssa ja se on tarkoitettu pääasiassa rakennusten suorituskyvyn optimointiin. MOBO:lla pystytään ratkaisemaan sekä yksi- että monitavoitteellisia optimointiongelmia. Lisäksi käyttäjä voi määrittää ohjelmaan diskreettejä tai jatkuvia muuttujia, tehdä algebrallisia yhtälöitä optimointiparametreista sekä asettaa optimoinnille erilaisia rajoitteita. MOBO hyödyntää useita eri optimointialgoritmeja, kuten esimerkiksi geneettisiä algoritmeja ja niiden eri variaatioita. Kuvassa 1 on esitetty simulointiin perustuvan monitavoiteoptimoinnin pääkomponentit ja toimintaperiaate, jolla käytetty optimointiohjelmisto yhdistetään tutkimuksessa käytettyyn simulointiohjelmistoon. Tarkempia tietoja MOBO-optimoinnista ja sen käyttökohteista on saatavilla lähteestä [4].

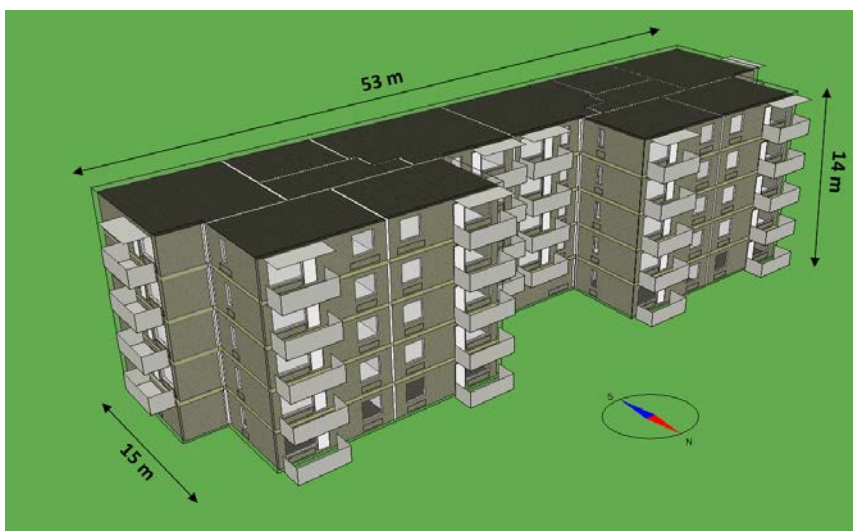


Kuva 1. Simulointiin perustuvan monitavoiteoptimoinnin pääkomponentit ja toimintaperiaate.

2.2 Kohderakennuksen ja tutkittavien peruskorjaustoimenpiteiden kuvaus

2.2.1 Tutkittava kohderakennus

Tutkittava kohderakennus on esitetty kuvassa 2. Peruskorjauksen lähtötilanteessa ulkoseinien minimikorjaustoimenpidevaatimus on se, että betonirakenteisten sandwich-ulkoseinäelementtien ulkokuori joudutaan purkamaan pois karbonatisoitumisesta johtuen. Samassa yhteydessä alkuperäinen lämmöneristyskerros puretaan myös pois ja tilalle asennetaan uusi lämmöneristyskerros ja ulkorakennekerros (sertifioitu tiililaattalevy). Samassa yhteydessä on myös mahdollisuus asentaa kustannustehokkaasti alkuperäistä lämmöneristyskerrosta paksumpi lämmöneristys. Nykyiset ikkunat täytyy tukea korjaustoimenpiteen ajaksi ulkoseinäarakenteen sisäelementtiin tai vaihtoehtoisesti myös ne puretaan pois ja tilalle asennetaan uudet ikkunat ulkoseinien peruskorjauksen yhteydessä, mikäli tämä todetaan taloudellisissa laskelmissa kustannustehokkaaksi peruskorjaustoimenpiteeksi. Yläpohjan minimikorjaustoimenpide on nykyisen vesieristyskerroksen uusiminen uudella kaksinkertaisella kumibitumikermillä (luokka VE-80). Vaihtoehtoisesti myös yläpohjaan voidaan lisätä lämmöneristystä, mikäli se todetaan taloudellisissa laskelmissa kustannustehokkaaksi peruskorjaustoimenpiteeksi. Rakennuksen lämmitetty nettoala on 2 898 m² ja lämmitetty tilavuus vastaavasti 7 952 m³.



Kuva 2. Tutkittavan 1970-luvun asuinkerrostalon päägeometria.

2.2.2 Tutkittavat peruskorjaustoimenpiteet

Työssä tutkitut peruskorjaustoimenpiteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkitut peruskorjaustoimenpiteet.

Peruskorjaustoimenpide	Minimitoimenpide	Maksimitoimenpide
Ulkoseinien peruskorjaus	Uusi lämmöneristys 80 mm + uusi ulkokuori	Uusi lämmöneristys 300 mm + uusi ulkokuori
Yläpohjan peruskorjaus	Peruskunnostus, nykyisen vesieristyksen uusiminen	Uusi lämmöneristys 400 mm + uusi vesieristys
Ikkunoiden peruskorjaus	Alkuperäiset ikkunat korjataan, maalaus + tiivistys	Ikkunat vaihdetaan uusiin, U-arvo 0.6 W/(m ² K)
Ulko-ovien peruskorjaus	Ei toimenpiteitä, alkuperäiset ovet säilytetään	Ovet vaihdetaan uusiin, U-arvo 0.7 W/(m ² K)
Maalämpöpumppujärjestelmän asennus	Ei asenneta	Asennetaan, mitoitusteho 160 kW
Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmän asennus	Ei asenneta	Asennetaan, mitoitusteho 150 kW
Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän asennus	Ei asenneta	Asennetaan, mitoitusteho 60 kW
Aurinkolämpöjärjestelmän asennus	Ei asenneta	Asennetaan, keräinpinta-ala 70 m ²
Aurinkosähköjärjestelmän asennus	Ei asenneta	Asennetaan, PV-paneelien pinta-ala 130 m ²
Ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus	Ei korjaustoimenpiteitä, peruskunnostus	Koko rakennukseen asennetaan keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä lämmöntalteenotolla

2.2.3 Taloudelliset ja tekniset laskelmat

Toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta arvioitiin 30 vuoden elinkaarikustannusten nettonykyarvon ja peruskorjausinvestoinneilla saavutettavan sisäisen korkotuoton perusteella. Elinkaarikustannuslaskelmissa huomioitiin toimenpiteisiin liittyvät alkuinvestoinnit, rakennuksen energiakustannukset, vuotuiset huoltokustannukset sekä keskeiset uusimiskustannukset, kuten lämpöpumppujen kompressoreiden tai aurinkolämpökeräimien uusimiset. Reaalisen laskentakorkona elinkaarikustannuslaskelmissa käytettiin arvoa 3,0 % ja energian hinnan vuosimuutoksena, eskalaationa, käytettiin arvoa +2,0 %/v sekä kaukolämmölle että sähkölle. Lisäksi tutkimuksessa suoritettiin herkkyystarkasteluna erillinen optimointianalyysi käyttämällä energian hinnan eskalaationa arvoa +4,5 %/v sekä kaukolämmölle että sähkölle.

Monitavoiteoptimointitarkasteluita suoritettiin yhteensä neljälle eri skenaariolle, joista ensimmäisessä minimoitiin samanaikaisesti 30 vuoden elinkaarikustannusten nettonykyarvoa ja rakennuksen E-lukua käyttämällä tällä hetkellä voimassa olevia primäärienergiakertoimia (sähkö 1,7 ja kaukolämpö 0,7). Toinen optimointitarkastelu oli muuten vastaava kuin ensimmäinen, mutta E-luvun laskennassa käytettiin uusia ehdotettuja primäärienergiakertoimia, jotka ovat sähkölle 1,2 ja kaukolämmölle 0,5. Kolmannessa optimointitarkastelussa minimoitiin samanaikaisesti 30 vuoden elinkaarikustannusten nettonykyarvoa ja rakennuksen kokonaishiilidioksidipäästöjä käyttämällä energian hinnan eskalaationa arvoa +2,0 %/v. Ostoenergiankulutus laskettiin kolmannessa tarkastelussa käyttämällä rakennuksen todelliseen käyttöön perustuvaa tavoite-energiankulutusta E-lukulaskennan sijaan. Neljäs

optimointitarkastelu oli muuten vastaava kuin kolmas, mutta energian hinnan eskalaationa käytettiin edellä mainittua arvoa +4,5 %/v.

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa huomioitiin rakennusmateriaaleihin ja niiden valmistukseen sekä kierrätykseen ja hävittämiseen sitoutuneet CO₂-päästöt, rakennusmateriaalien ja järjestelmien kuljetuksista aiheutuvat CO₂-päästöt sekä rakennuksen todelliseen käyttöön perustuvasta ostoenergiankulutuksesta aiheutuvat CO₂-päästöt. Ostoenergiankulutuksen CO₂-päästökertoimina käytettiin Motiva Oy:n ylläpitämiä keskimääräisiä sähkö- ja kaukolämpöenergian päästökertoimia, jotka olivat vuonna 2016 kaukolämmölle 183 kgCO₂/MWh (yhteistuotanto, viimeisen 3 vuoden keskiarvo) ja sähköenergialle 209 kgCO₂/MWh (viimeisen 5 vuoden keskiarvo).

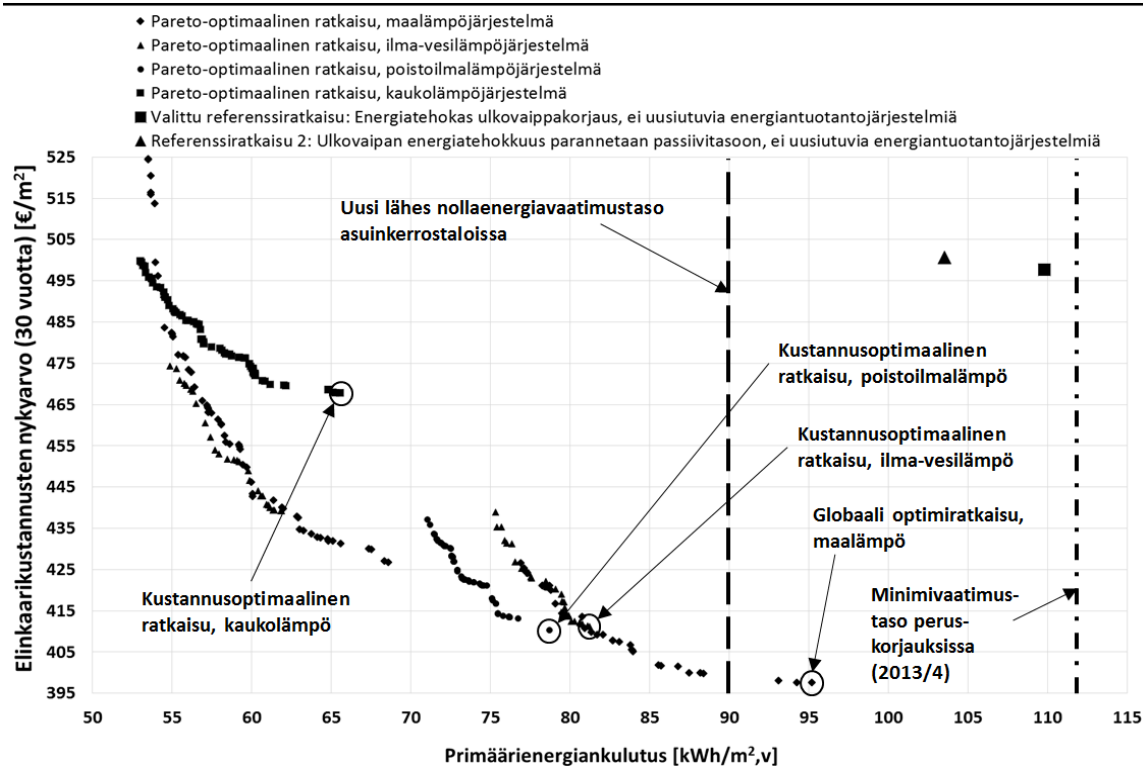
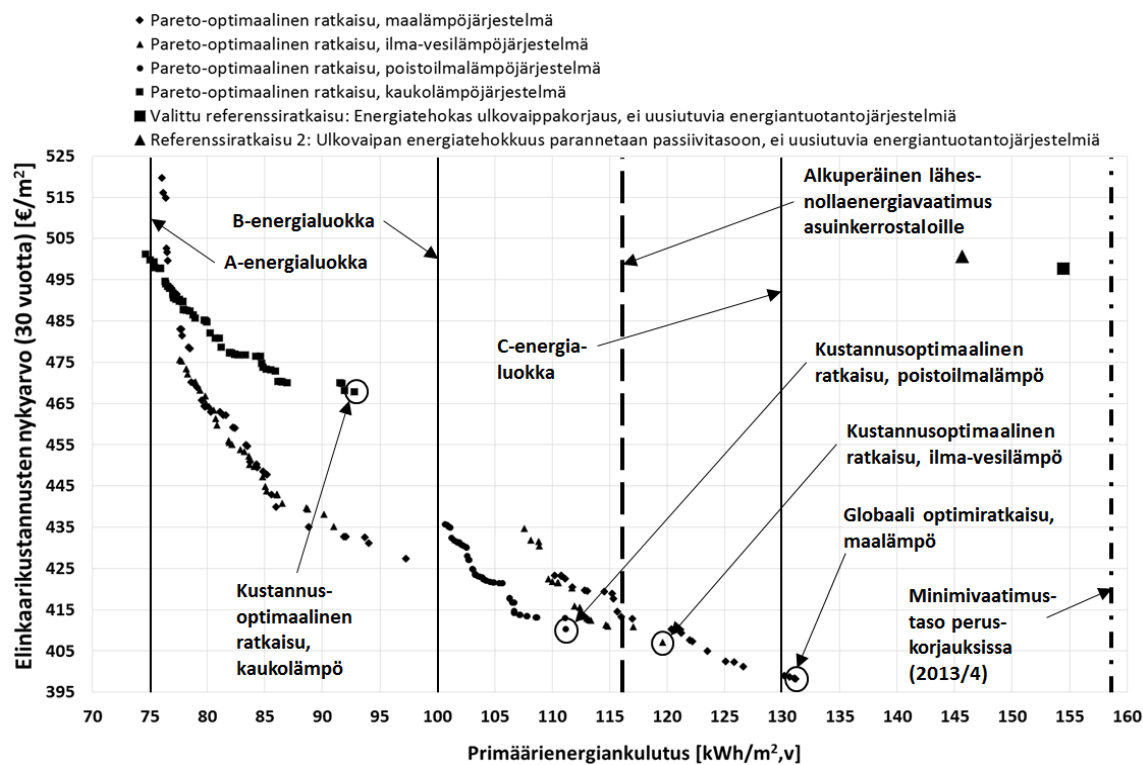
3. Tulokset ja kustannusoptimaaliset peruskorjausratkaisut

3.1 Kustannusoptimaaliset korjauskonseptit primäärienergiatehokkuuden näkökulmasta

Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit primäärienergiatehokkuuden näkökulmasta on esitetty kuvassa 3 ja taulukossa 2.

Taulukko 2. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit primäärienergiatehokkuuden näkökulmasta uusilla pienemmillä primäärienergiakertoimilla.

E-luku [kWh/m ² ,v]	55	60	70	80	90 (uusi lähes nollaenergia)	112 (minimi)
Päälämmitysjärjestelmä	MLP	MLP	MLP	PILP	MLP	MLP
Elinkaarikustannusten nykyarvo, 30 vuotta [€/m ²]	482	443	427	410	400	398
Investointikustannukset [€/m ²]	342	323	294	212	227	215
Konseptin sisäinen korkotuotto [%/a]	1,1	3,5	5,3	36,2	18,1	32,3
Ulkoseinien lämmöneristyspaksuus [mm]	300	300	180	180	160	180
Yläpohjan lisälämmöneristyksen paksuus tai peruskorjaus [mm]	+400	0, PK	0, PK	0, PK	0, PK	0, PK
Ikkunoiden vaihto uusiin tai peruskorjaus, U-arvo [W/m ² K]	Kyllä, 0,7	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 1,0
Ulko-ovien vaihto uusiin tai peruskorjaus, U-arvo [W/m ² K]	Kyllä, 1,0	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2
PV-paneelin pinta-ala [m ²]	130	130	130	130	130	130
Aurinkolämpökeräimien pinta-ala [m ²]	0	0	0	0	0	0
Lämpöpumpun mitoitusteho [kW]	65	79	40	48	85	79
Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, huoneistot	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, yhteistilat	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei
Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, koko rakennus	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei



Kuva 3. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit primäärienergiatehokkuuden näkökulmasta sekä nykyisillä (yllä) että uusilla (alla) primäärienergiakertoimilla.

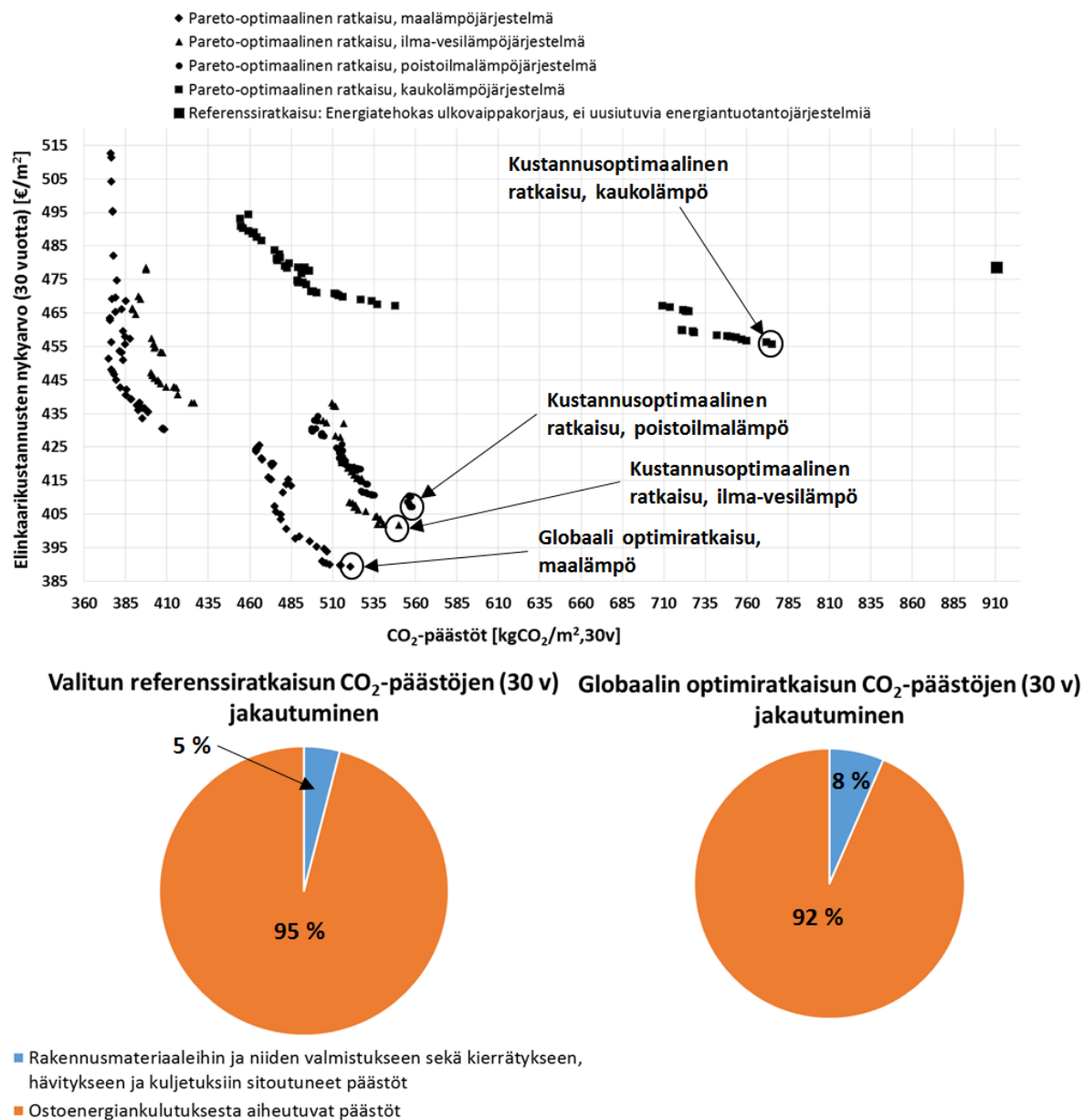
Kuvassa 3 esitetyt referenssiratkaisut (valittu referenssiratkaisu 1 ja referenssiratkaisu 2) sisältävät seuraavat peruskorjaustoimenpiteet:

- ulkoseinien lämmöneristyspaksuus ja U-arvo: 130 mm / 0,23 (valittu), 280 mm / 0,11 (ref. 2)
- yläpohjan lisälämmöneristys ja U-arvo: +200 mm / 0,13 (valittu), +400 mm / 0,07 (ref. 2)

- ikkunoiden vaihto uusiin, U-arvo: vaihdetaan / 0,8 (valittu), vaihdetaan / 0,7 (ref. 2)
- ulko-ovien vaihto uusiin, U-arvo: vaihdetaan / 0,7 (valittu), vaihdetaan / 0,7 (ref. 2)
- nykyinen kaukolämmön alajakokeskus uusitaan (sekä valittu että referenssiratkaisu 2)
- nykyistä ilmanvaihtojärjestelmää ei remontoida (sekä valittu että referenssiratkaisu 2)
- rakennukseen ei asenneta mitään uusiutuvia energiantuotantojärjestelmiä (sekä valittu että referenssiratkaisu 2).

3.2 Kustannusoptimaaliset korjauskonseptit ympäristötehokkuuden näkökulmasta

Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit ympäristötehokkuuden (CO₂-päästöjen) näkökulmasta on esitetty kuvassa 4 ja taulukossa 3. Tuloksissa esitetty referenssiratkaisu sisältää samat peruskorjaustoimenpiteet kuin kappaleessa 3.1 esitetty referenssiratkaisu 1.



Kuva 4. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit ympäristötehokkuuden näkökulmasta (yllä) sekä valitun referenssiratkaisun (alla vasemmalla) ja globaalin optimiratkaisun (alla oikealla) kokonaishiilidioksidipäästöjen jakautuminen eri osa-alueille.

Taulukko 3. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit ympäristötehokkuuden näkökulmasta.

CO ₂ -päästöt [kgCO ₂ /m ² ,30v]	380	390	410	470	500	530
Päälämmitysjärjestelmä	MLP	MLP	MLP	MLP	MLP	MLP
Elinkaarikustannusten nykyarvo, 30 vuotta [€/m ²]	445	439	430	421	397	389
Investointikustannukset [€/m ²]	316	309	293	264	229	212
Konseptin sisäinen korkotuotto [%/a]	2,6	3,1	4,0	5,8	14,7	37,4
Ulkoseinien lämmöneristyspaksuus [mm]	230	230	180	280	280	180
Yläpohjan lisälämmöneristysten paksuus tai peruskorjaus [mm]	0, PK	0, PK	0, PK	+250	0, PK	0, PK
Ikkunoiden vaihto uusiin tai peruskorjaus, U-arvo [W/m ² K]	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8	Kyllä, 0,8
Ulko-ovien vaihto uusiin tai peruskorjaus, U-arvo [W/m ² K]	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2	Ei, 2,2
PV-paneelien pinta-ala [m ²]	126	120	130	126	128	118
Aurinkolämpökeräimien pinta-ala [m ²]	0	0	0	0	0	0
Lämpöpumpun mitoitusteho [kW]	76	57	39	100	74	66
Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, huoneistot	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, yhteistilat	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Ei
Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän asentaminen LTO:lla, koko rakennus	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei

4. Yhteenveto

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia energiatehokkuutta parantavien peruskorjausratkaisuiden kustannustehokkuutta tyypillisissä suomalaisissa 1970-luvun alkupuolella rakennetuissa betonielementtirakenteisissa asuinkerrostaloissa sekä määrittää kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit tutkituista vaihtoehdoista. Toimenpiteiden kustannustehokkuutta tutkittiin sekä primääri- että ympäristötehokkuuden näkökulmista suorittamalla kaksi erillistä analyysyä. Työn pääasiallisena tutkimusmenetelmänä käytettiin simulointiin perustuvaa monitavoiteoptimointia. Kustannusoptimaaliset peruskorjauskonseptit määritettiin yli 220 miljoonan korjausratkaisukombinaation joukosta. Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset:

- peruskorjauskonseptien kustannusoptimaalinen energiatehokkuustaso oli lähellä uudisrakenteisten asuinkerrostalojen energiatehokkuuden minimivaatimustasoa;
- tulevat asuinkerrostalojen lähes nollaenergiavaatimukset voidaan saavuttaa kustannustehokkaasti 1970-luvun betonielementtirakenteisten asuinkerrostalojen peruskorjauksissa keskittämällä investoinnit tutkimuksessa määritettyihin kustannusoptimaalisiin peruskorjauskonsepteihin;
- tulosten perusteella tutkitut lämpöpumpputjärjestelmät (maa-, ilma-vesi- ja poistoilmalämpö) ovat erittäin suositeltavia ja kustannustehokkaita investointeja, kun tutkitun rakennustyyppin hiilijalanjälkeä halutaan merkittävästi pienentää;
- ostoenergiankulutuksesta aiheutuvat CO₂-päästöt muodostavat selvästi suurimman osan rakennuksen kokonaishiilidioksidipäästöistä, ostoenergiankulutuksen CO₂-päästöjen osuus on yli 90 % kokonaispäästöistä;
- keskittämällä investoinnit rakennuksen teknisiin järjestelmiin ja uusiutuvien energiamuotojen tuotantoratkaisuihin, voidaan saavuttaa merkittävät kustannussäästöt, rakennuksen energiatehokkuuden paraneminen sekä ympäristövaikutusten

pienentämispotentiaali verrattuna tilanteeseen, missä investoinnit keskitetään rakennuksen ulkovaipan energiatehokkuuden parantamiseen.

Lähdeluettelo

- [1] UNDP 2009. Promoting Energy Efficiency in Buildings: Lessons learned from international experience (Verkojulkaisu). United Nations Development Programme. (Viitattu 10.8.2017). Saatavilla: http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/publication/EEBuilding_WEB.pdf
- [2] Moinard, S. ja Guyon, G. (toim.). 1999. Empirical validation of EDF ETNA and GENEC test-cell models. Subtask A.3. A Report of IEA Task 22. Building Energy Analysis Tools.
- [3] Travesi, J., Maxwell, G., Klaassen, C., ja Holtz, M. 2001. Empirical validation of Iowa energy resource station building energy analysis simulation models. IEA Task 22, Subtask A.
- [4] Palonen, M., Hamdy, M., ja Hasan, A. 2013. MOBO a new software for multi-objective building performance optimization. Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, Elokuu 26-28, 2013. Saatavilla: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1489.pdf.

Arkkitehtuurin ja tilasuunnittelun vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen

Malin Moisio¹, Taru Lindberg¹, Tapio Kaasalainen¹ ja Antti Mäkinen²

¹ Tampereen teknillinen yliopisto, arkkitehtuuri

² Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Yksittäisten ominaisuuksien vaikutus energiatehokkuuteen on yleisesti ottaen pieni mutta useiden tekijöiden yhdistelmällä merkitys kasvaa. Yksittäisistä tekijöistä merkittävimpiä ovat muun muassa rakennuksen koko, ilmanvaihdon CO₂-ohjaus sekä tilojen käyttöaste.

1. Johdanto

Artikkeli on tehty osana TTY:n koordinoiman COMBI -tutkimushankkeen WP2 työryhmän ”arkkitehtonisten ratkaisujen vaikutus energiatehokkuuteen” -tutkimusosiota. Työryhmän tehtävänä on kehittää ohjeistusta energiatehokkaan arkkitehtuurin suunnittelulle, eli arkkitehtisuunnittelun ohjausmallia. Artikkelissa esitetään tuloksia poimintoina laajemmasta tutkimusaineistosta.

2. Energiatehokkaan arkkitehtuurisuunnittelun ohjausmalli

Ohjausmalli on ohjekortisto, jonka tarkoituksena on toimia rakennuksen energiatehokkuutta havainnollistavana työkaluna ja ohjata rakennusten suunnittelua energiatehokkaampaan suuntaan niin, että myös muut arkkitehtoniset laatutekijät huomioidaan ratkaisuja tehtäessä. Energiatehokkuutta tarkasteltaessa on haluttu korostaa kokonaisuuden merkitystä. Ohjausmallissa esitetään kootusti yksittäisten arkkitehtonisten suunnitteluratkaisujen vaikutusta koko rakennuksen energiankulutukseen. Yksittäisten ominaisuuksien vaikutusta on tutkittu energialaskennan avulla sekä arvioimalla ominaisuuden vaikutuksia arkkitehtoniseen laatuun.

2.1 Ohjausmallin rakenne, tekijät ja ominaisuudet

Rakennus muodostuu *tekijöistä* jotka yhdessä muodostavat systeemin. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä hierarkiapuun avulla. Näillä tekijöillä on tiettyjä *ominaisuuksia*, joiden avulla selvitetään kunkin tekijän vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Samat tekijät ja niiden ominaisuudet vaikuttavat myös muuhun arkkitehtoniseen laatuun. Tekijöitä ovat esimerkiksi ikkuna, ilmanvaihto ja lämmitys. Vastaavasti ominaisuuksia ovat esimerkiksi ikkunan koko, ikkunan suuntaus, ilmanvaihdon ohjaustapa, ilmanvaihdon määrä, sisälämpötila jne. Ohjausmallissa tarkasteltavia ominaisuuksia on lähes 70. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä hierarkiapuun avulla. Ylimmällä mittakaavatasolla on tarkasteltu erikseen tontin ja rakennuksen vaikutusta energiatehokkuuteen. Toisella mittakaavatasolla on tarkasteltu rakennuksen vaipan, toiminnallisten ominaisuuksien ja tavoiteltavien olosuhteiden vaikutusta energiatehokkuuteen, jotka kolmannella jakautuvat edelleen tekijöihin. Totutumpien näkökulmien lisäksi ohjausmallissa tarkastellaan myös käytön ja sen myötä arkkitehtuurin tilasuunnittelun vaikutusta energiatehokkuuteen. Koska arkkitehtuurin tilasuunnittelun vaikutus energiatehokkuuteen

ilmenee usein välillisesti talotekniikan kautta, on taloteknisten tekijöiden vaikutusta oleellista arvioida erikseen.

	Suunnittelukohde					
Mittakaavataso 1: Rakennettu ympäristö	Rakennus			Tontti		
Mittakaavataso 2: Rakennus	Rakennus- vaippa	Tilat ja käyttö	Olosuhteet	Fyysiset tekijät	Toiminnalliset tekijät	Olosuhteet
Mittakaavataso 3: Rakennusosa (tekijät)	US, YP, ik- kunat jne.	Pää-, apu- ja kulkutilat jne.	LVIS, luonnonvalo	Lähiympäristö, topografia jne.	Kulkutilat, oleskelutilat	Pienilmasto, ilmansuunnat

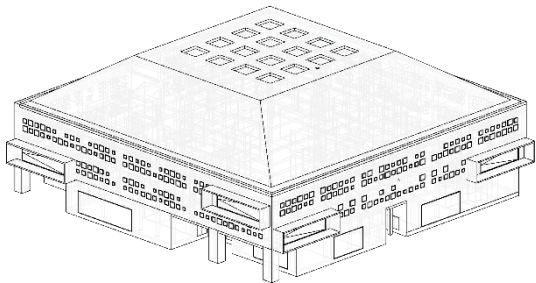
Kuva 1. Suunnittelukohde jaettuna tekijöihin hierarkisesti eri mittakaavatasoille.

3. Tutkimusmenetelmä

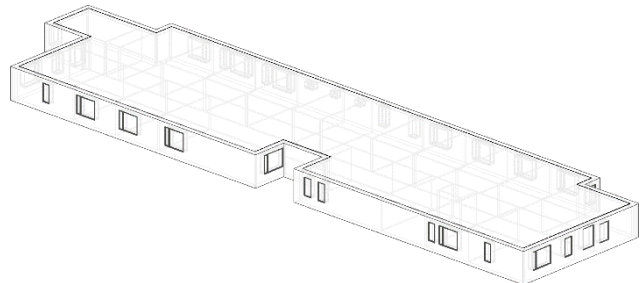
Energiatehokkuutta on tarkasteltu kahdella rakennustyyppillä (peruskoulu ja ryhmäkoti) tehdyillä energiasimuloinneilla. Kustakin tarkasteltavasta ominaisuudesta on luotu 2–4 keskenään vertailukelpoista varianttia. Muuttujana varianteissa on vain yksi ominaisuus kerrallaan. Varianteille on suoritettu laskentatarkastelut dynaamisella energiasimulointiohjelmalla. Saatuja tuloksia tarkastellaan keskenään ja verrataan RakMK D3 mukaisella standardikäytöllä [1] simuloituun perustapaukseen.

3.1 Aineisto

Case-kohteena ovat vuonna 2019 valmistuva Jätkäsaaren peruskoulu Helsingissä (Aarti Ollila Ristola Arkkitehdit Oy), sekä ryhmäkoti ”tyyppimalli I”. Tyyppimalli I on 30 suomalaisen palveluasumiskohteen ryhmäkocodeista muodostettu keskiarvoinen yksikkö.



Kuva 2. Peruskoulu, Jätkäsaaren peruskoulu.



Kuva 3. Ryhmäkoti, tyyppimalli I.

3.2 Laskentamenetelmä

Ominaisuuksista muodostetut variantit on simuloitu IDA ICE 4.7.1 -simulointiohjelmalla. Varianteissa vakiona on pidetty simuloitava rakennusmassa sekä rakennuksen tekniset ominaisuudet (mm. U-arvot, ilmatiiveys, ilmanvaihdon lämmöntalteenotto, sisälämpötilat, energiamuoto). Käyttöaikana on kunkin rakennustyyppin mukaiset standardikäytön käyttöajat [1].

4. Tulokset

Tuloksia tarkastellaan vuosittaisen ostoenergiankulutuksen (kWh/a) kautta sekä joissakin tapauksissa myös E-luvun (kWh/m²/a) kautta. Ohjausmallissa tuodaan esille eri tekijöiden ja ominaisuuksien suhteellinen vaikutus energiatehokkuuteen ja pohditaan kunkin ominaisuuden

vaikutusta arkkitehtoniseen laatuun. Vaikutusta laatuun arvioidaan asteikolla 1–3, kunkin ominaisuuden merkittävyyden mukaan.

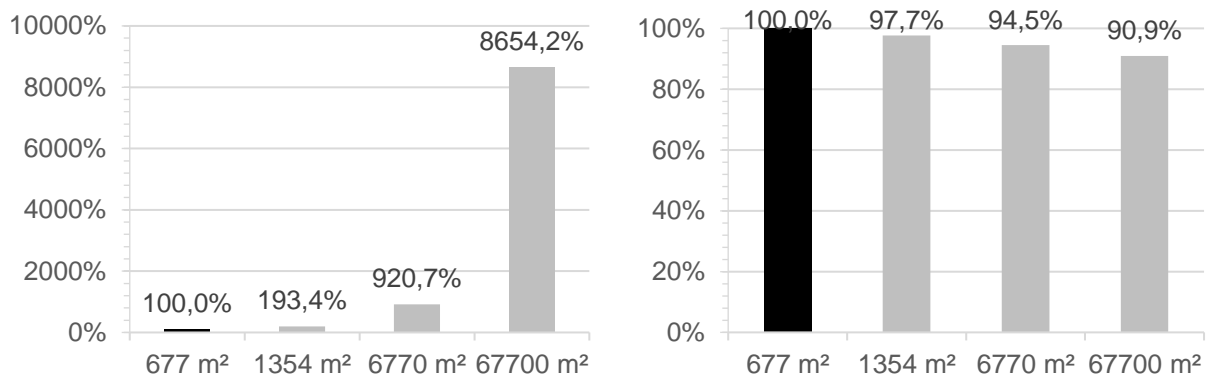
Kaikkia ominaisuuksia ei voida arvioida pelkästään energiankulutuksen perusteella. Yhtenä tarkasteltavana tekijänä on rakennuksen tilat ja niiden käyttö. Käytön lisääntyessä energiankulutus kasvaa mutta energiankulutus henkilöä ja käytettyä tuntia kohti pienenee. Tilojen käytön arvioimiseen tarvitaankin uudenlaisia menetelmiä. Näin ollen tässä artikkelissa tarkastellaan tuloksia perinteisen vuosittaisen ostoenergiankulutuksen ja E-luvun lisäksi myös käyttötehokkuusluvun (energiankulutus/henkilökäyttötunti) kautta. Käyttötehokkuusluvun avulla voidaan paremmin arvioida käytön vaikutusta energiatehokkuuteen.

Ohjausmallissa esitetään laskentatuloksia useasta erilaisesta energiatehokkuuteen vaikuttavasta ominaisuudesta. Tässä artikkelissa laajasta kokonaisuudesta nostetaan esiin muutama mielenkiintoinen, yksittäinen tulos.

4.1 Rakennuksen koko

Rakennuksen koko eli lämmitetty nettoala vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuteen. Koko vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen lisäävästi (mitä suurempi rakennus, sitä suurempi ostoenergiankulutus), mutta E-lukuun pienentävästi (mitä suurempi rakennus, sitä pienempi E-luku).

Perustapausta (677 m²) on skaalattu kaksinkertaiseksi (1354 m²), kymmenkertaiseksi (6770 m²) ja satakertaiseksi (67700 m²) niin, että aukotuksen prosentuaalinen osuus vaipasta on pidetty vakiona. Varianttien ostoenergiankulutus ei kasva koon kanssa samassa suhteessa: esimerkiksi variantin 3 ostoenergiankulutus ei kymmenkertaistu vaan 9,2-kertaistuu. Koska E-luku muodostetaan jakamalla energiamuotojen kertoimilla painotettu ostoenergiankulutus nettoalalla, vastaavan variantin E-luku pienenee yli 5 %.



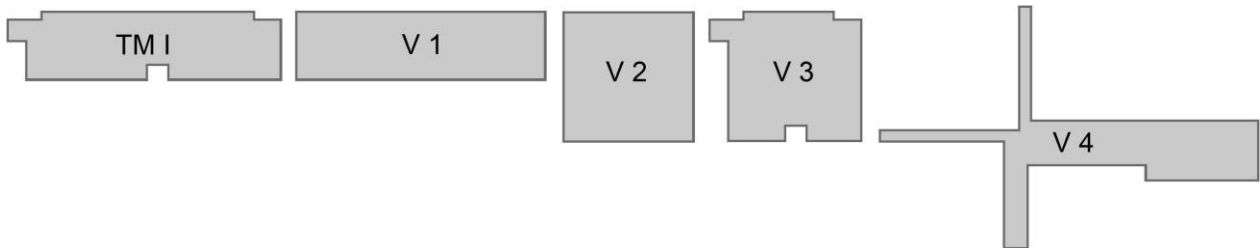
Kuvat 4 ja 5. Koon vaikutus energiatehokkuuteen. Vasemmalla ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, lämmitetty nettoala 677 m²), oikealla E-luku suhteessa perustapaukseen. Muuttuja: rakennuksen lämmitetty nettoala.

4.2 Rakennuksen muoto

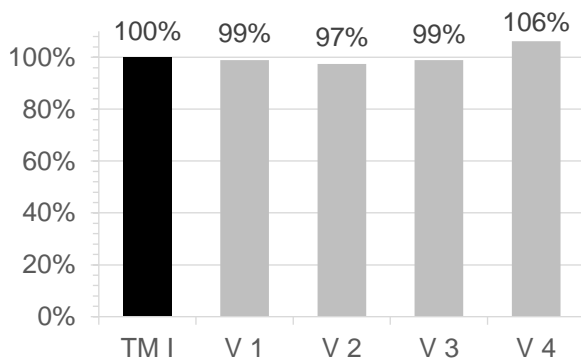
Rakennuksen muoto vaikuttaa vaipan pinta-alaan ja nurkkien kautta kylmäsiltojen määrään. Mitä mutkikkaampi muoto, sitä enemmän vaippaa ja siitä syntyviä johtumishäviöitä. Monimutkaisen muodon aiheuttama vaipan lisääntyminen ja sen myötä johtumishäviöiden kasvu on kuitenkin vähäinen. Nykymääräysten mukaisilla hyvillä seinärakenteiden U-arvoilla (vertailussa käytetty RakMKD3 vertailuarvoja [1]) muodon merkitys energiatehokkuuteen jää kokonaisuudessa

pieneksi. Variantti 4 (mutkikas) on ostoenergiankulutukseltaan 6 % suurempi kuin perustapaus. Näistä varianteista ”paras” muoto on neliö neljällä nurkalla. Tosin erot varianttien välillä ovat hyvin pieniä.

Arkkitehtuurin kannalta muodolla on suurta merkitystä. Muun muassa rakennusmassan esteettisyys, tontin muoto, toiminnallisuus ja tilojen sijoittelu ohjaavat rakennuksen muotoilua. Massan monotonisuus voi johtaa esteettisiin ongelmiin, syvä runko hankaloittaa tilojen sijoittelua luonnonvalon äärelle eikä monimutkaista tilaohjelmaa saa helposti sijoiteltua yksinkertaiseen muotoon.



Kuva 6. Muodon vaikutus energiatehokkuuteen. Tutkittujen varianttien pohjapiirustukset. Vasemmalla perustapaus (tyyppimalli I, TM I) ja variantit 1–4.



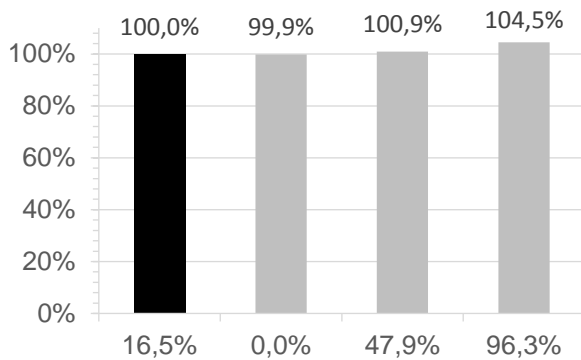
Kuva 7. Muodon vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, 14 nurkkaa). Muuttuja: rakennuksen muoto.

4.3 Ikkunoiden koko

Ikkunoiden koolla on neljänlaisia vaikutuksia energiatehokkuuteen: ikkunoiden johtumishäviöt ovat muuta seinärakennetta suuremmat, toisaalta niiden kautta saadaan merkittävä osa rakennukseen passiivisesta lämpöenergiasta. Suuret ikkunat saattavat kuitenkin aiheuttaa ylikuumentumista ja samalla lisätä jäähdytystarvetta. Tämä taas heikentää rakennuksen energiatehokkuutta. Ikkunoiden koko vaikuttaa myös päivänvalon määrään ja siten valaistukseen kuluvan energian määrään. Tässä vertailussa ei ole huomioitu jäähdytystarvetta tai luonnonvalon vaikutusta. Ikkunoiden koolla on suhteellisen vähän merkitystä energiatehokkuuteen. Variantti 4 jossa ikkunoita on julkisivusta lähes 100 %, on energiatehokkuudeltaan n. 5 % huonompi perustapaukseen verrattuna. Kun variantti simuloidaan valaistustarve huomioiden, päivänvalo-ohjauksella, on ero perustapaukseen vain 1,8 %. Kun lisäksi huomioidaan jäähdytystarve, on ero taas 5 %. Jäähdytystarvetta voi pienentää ikkunoiden varjostuksella. Varjostuksen tulee kuitenkin olla säädeltävä, esimerkiksi lasien välissä olevat sälekaihtimet.

Ikkunat ovat olennainen osa arkkitehtonista kokonaisuutta, massoittelua, sommittelua ja muita esteettisyyteen vaikuttavia tekijöitä. Ikkunoilla on erityisesti viihtyisyyteen ja täten

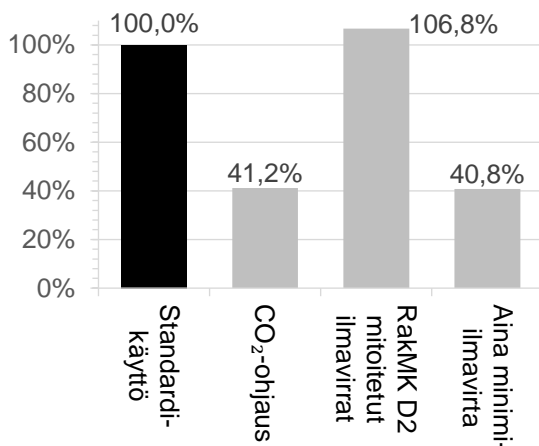
arkkitehtoniseen laatuun vaikuttavia arvoja kuten valoisuus, näkymät ulos ja ulkoa sisälle sekä tilan tuntu.



Kuva 8. Ikkunoiden koon vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (tyyppimalli I, ikkunat 16,5 % julkisivusta). Muuttuja: ikkunoiden koko.

4.4 Ilmanvaihdon ohjaus

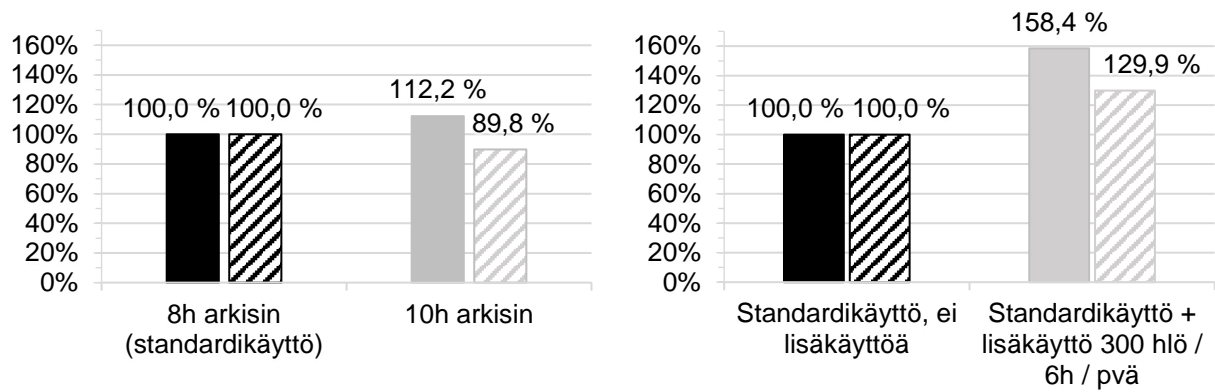
Ilmanvaihdon CO₂-ohjauksella on merkittävä vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Ilmanvaihdon ohjaaminen hiilidioksiditason mukaan paransi energiatehokkuutta tarkastellussa koulurakennuksessa standardikäytöllä yli 30 % ja ryhmäkotirakennuksessa lähes 60 % (kuva 9). Ryhmäkotitapauksessa standardikäytön mukainen henkilöiden määrä on hyvin pieni. Laskennallisesti ilmanvaihto ei juuri poikkea määräysten [2] esittämästä minimitasosta (kuva 10).



Kuva 9. Ilmanvaihdon CO₂-ohjauksen vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen. Ryhmäkoti, vakioilmavirta 2l/(sm²) Muuttuja: ilmamäärä.

4.5 Tilojen käyttöaste

Kun tilojen käyttö lisääntyy, lisääntyy myös energiankulutus. Tilojen käyttöasteen vaikutusta energiatehokkuuteen on tutkittu sekä ostoenergiankulutuksen että käyttötehokkuusluvun kautta (energiankulutus/henkilökäyttötunti). Käyttötehokkuusluku pienenee (eli paranee) tilojen käytön lisääntyessä (kuva 10). Kuvassa 11 on simuloitu koulurakennuksen variantti, jossa pääkäytön lisäksi 300 henkeä käyttää kaikkia tiloja 6 tunnin ajan koulupäivän jälkeen sekä viikonloppuisin. Tämän tyyppinen, ajallisesti ja/tai henkilömäärällisesti vähäinen lisäkäyttö ei kuitenkaan paranna energiatehokkuutta koska ostoenergiankulutuksen lisäksi myös käyttötehokkuusluku kasvaa.



Kuvat 10 ja 11. Käyttöasteen vaikutus energiatehokkuuteen. Ostoenergiankulutus suhteessa perustapaukseen (peruskoulu, standardikäyttö). Muuttuja: käytön määrä, kesto ja henkilömäärä.



Ostoenergiankulutus kWh/a suhteutettuna perustapaukseen



Käy Käyttötehokkuusluku (kWh/(hlö*h)) suhteutettuna perustapaukseen

5. Yhteenveto

Energiatehokkaan arkkitehtisuunnittelun ohjausmalli osoittaa, että usein yksittäisellä ominaisuudella on hyvin pieni vaikutus energiatehokkuuteen. Esimerkiksi massan muoto tai ikkunan koko ei juuri vaikuta rakennuksen energiatehokkuuteen. Näillä ominaisuuksilla on kuitenkin merkittävä vaikutus muihin arkkitehtonisiin laatutekijöihin. Rakennusten energiatehokkuutta parannettaessa huomion tulisi kiinnittyä kokonaisuuteen. Esimerkiksi vaipan ominaisuuksien lisäksi olisi hyvä keskittyä tilojen ja käytön suunnitteluun. Lisäksi perinteisten energiatehokkuutta ilmaisevien indikaattoreiden rinnalle tarvitaan uudenlaisia arviointikeinoja, jotka tuovat esille kokonaisvaltaisesti eri näkökulmia.

Lähdeluettelo

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto, Helsinki 2011
- [2] Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2003, Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto, Helsinki 2002

Energiatehokkuusinformaatio palvelurakennuksissa

Jaakko Sorri, Juhani Heljo, Ulrika Uotila ja Annu Ruusala
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tässä kirjoituksessa tarkastellaan eräitä haasteita, joita käytännössä liittyy toteutuvan energiatehokkuuden ohjaamiseen energiatehokkuusinformaatiota hyödyntäen palvelurakennuksissa. Esitelmässä käydään läpi energiatehokkuusinformaatiokysymyksiin liittyvää kirjallisuutta, siihen liittyvissä säädöksissä tapahtumassa olevaa kehitystä, sekä esimerkkejä nykyisistä energiatehokkuusinformaation haasteisiin liittyvistä käytännön tilanteista. Kirjoituksessa keskustellaan siitä, miten energiatehokkuusinformaatiota ja sen merkitystä voitaisiin palvelurakennuksissa kehittää.

1. Johdanto

Energiankulutus ja -tuotanto on käyttäjien kannalta luontaisesti varsin näkymätöntä etenkin sellaisissa rakennuksissa, joihin muualla tuotettu energia siirretään johtoja tai putkia pitkin sähkönä tai kaukolämpönä. Energiankulutuksen näkyväksi tekemisen esimerkiksi jonkinlaisella kulutuspalautteella on arvioitu olevan merkityksellistä ihmisten energiankulutuskäyttäytymisen kannalta [1]. Kulutuspalautetta on mahdollista antaa reaaliaikaisesti tai viiveellä, jatkuvasti näkyen tai vaikkapa harvakseltaan. Energiaan liittyvä informaatio ymmärretään tässä kirjoituksessa varsin laajasti kattaen niin tietojärjestelmien tiedot kuin vaikkapa yksittäisen tilan yksittäisen termostaatin, joka myöskin voi tehdä jotain energiatehokkuuteen liittyvää tietoa näkyväksi. Energiatehokkuusinformaatioon liittyvät myös olosuhdetiedot. Energiankulutus riippuu myös olosuhteista.

Energiatehokasta rakennusten käyttöä on valtion toimesta pyritty edistämään paitsi uudisrakentamisen ja osin korjausrakentamisenkin minimivaatimuksia ohjaavilla rakentamismääräyksillä, myös pyrkimällä vaikuttamaan rakennuksen elinkaaren aikaiseen kulutukseen: muun muassa nostamalla energian hintaa verotuksen kautta, säätämällä energiatodistuksiin liittyviä säädöksiä sekä säätämällä siitä, millaista energiankulutustietoa energiasta laskuttavan tulee asiakkaalleen välittää [2]. Viimeksi mainitut keinot saattavat palvelurakennuksissa ohjata kiinteistön omistajia tai kiinteistönhoidosta vastaavia. Loppukäyttäjät sen sijaan eivät palvelurakennuksissa yleensä näe energialaskuja. Harvemmin edes viranomaisten tai laitosten yleisön käytössä olevissa, julkisia palveluita tarjoavissa palvelurakennuksissa näkyy energiatodistuksessa annettua luokitusta esillä, vaikka energiatodistuslaki [3] sellaisenkin informointivelvoitteen sisältää.

Energiankäytön mittauksiin liittyvät määräykset ovat vuoden 2018 alusta lähtien sisällöltään joiltain osin muuttumassa nykyisin voimassa oleviin rakentamismääräyskokoelman osan D3 vaatimuksiin nähden. Tätä kirjoitettaessa vielä virallista hyväksyntää vailla olevassa luonnoksessa ympäristöministeriön asetukseksi uuden rakennuksen energiatehokkuudesta edellytetään vähintäänkin valmiutta helppoon toteutettavuuteen myös tärkeimpien kulutuskohteiden seurantamahdollisuuksien osalta:

”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.” [4]

Aiempi D3-määräys [5] edellytti helppoa selvitettävyyttä *energiamuodoittain*, mutta ei seurantamahdollisuutta *kulutuskohteittain*. Asetusluonnoksessa ei ole määritelty tarkemmin, mitä tärkeimmät kulutuskohteet ovat, eikä otettu kantaa myöskään siihen, kuinka montaa tärkeintä kulutuskohdetta asia koskee. Mittaamista ei edelleenkään edellytetä, vaan mittausvalmius riittää asetusluonnoksen vaatimusten täyttymiseen. Jotta kulutuksia pystytään myöhemmin helposti seuraamaan kulutuskohteittain, voi rakennushankkeissa olla syytä jo varsin varhaisessa vaiheessa olla kanta siihen, mitä kulutusryhmiä rakennuksessa halutaan voitavan erikseen seurata. Näin siksi, jotta asia osataan huomioida järjestelmien suunnittelussa.

2. Energiatehokkuusinformaatioon palvelurakennuksissa liittyviä haasteita ja kehittymismahdollisuuksia

Viime vuosikymmeninä on toteutettu monenlaisia tutkimuksia energiatehokkuusinformaatiosta rakennuksissa. Monet tutkimuksista on toteutettu asuinrakennuksissa. Asuinrakennuksissa ainakin taloudellisia kannusteita energiansäästöön voi olla käyttäjillä usein palvelurakennuksia enemmän – koska niissä energialaskut ovat useammin suoremmin yhteydessä loppukäyttäjien omaan talouteen kuin palvelurakennusten tapauksessa. Palvelurakennuksia koskevia tutkimuksia energiatehokkuusinformaation vaikutuksiin liittyen on julkaistu asuinrakennuksia vähemmän. Niistä julkaistuissa tutkimuksissa ovat ehkä painottuneet sellaiset kohteet, joiden tietoihin tutkijoilla on ollut muita kohteita helpompi pääsy, kun taas joidenkin muiden palvelurakennusten osalta tietoja on julkaistu vähemmän. Esimerkiksi energian kulutuskäyttäytymistä koskevissa tutkimuksissa on voinut olla korostetun paljon länsimaisia korkeakoulurakennuksia kohteina [6].

Energiatehokkuusinformaation vaikutuksia käsitelleessä katsauksessa on esitetty johtopäätöksenä, että käyttäjille tarjottu mahdollisuus verrata kulutustaan samantapaisiin toisiin käyttäjiin olisi toimiva energiainformoinnin tapa. Pelkän energiansäästöinformaation jakaminen käyttäjille, kuten koulutusten järjestäminenkin, arvioitiin huonommin tehoaviksi informointitavoiksi. [6]

Eräässä laajalti aiempaa tutkimuskirjallisuutta luodanneessa katsauksessa, jossa analysoitiin tuloksia 156 julkaistusta energiainformaatiopohjaisia energiansäästöstrategioita testanneesta kokeellisesta tutkimuksesta vuosilta 1975-2012, havaittiin näihin tutkimuksiin osallistuneiden sähkönkulutuksen alentuneen 7,4 % vertailutasoon nähden. Kun tutkijat sitten katsoivat erikseen niitä tutkimuksia, joissa oli kontrolloitu taustamuuttujia, kuten säätä tai demografisia tekijöitä ja käytetty verrokkiryhmää, he havaitsivat näiden tutkimusten tulosten poikkeavan muista. Kontrolloiduilla asetelmilla ja verrokkiryhmillä toteutettujen tutkimusten perusteella säästöjä näytti kertyneen 1,99 % ja muiden tutkimusten perusteella 9,57 %. [7]

Katsauksessa arvioitiin, että energiansäästöjä olisi saatu suhteessa enemmän aikaan yksilöllisillä auditoinneilla tai neuvonnalla kuin mitä on saavutettu vain menneen tai vertailevan datan esittämisellä. Reaaliaikaisesta palautteesta nähtiin olevan hyötyä. Joitain informoinnin muotoja arvioitiin katsauksessa jopa mahdollisesti haitallisiksi. Rahallistetun energiansäästöpalautteen arvioitiin voineen jopa hieman lisätä energian kulutusta. [7] Informointikeinot voivat tehotta eri tavoin kohderyhmästä riippuen, kun siinä on eroja, mikä ketäkin ihmistä motivoi [8].

Palvelurakennuksiin liittyy monia erityispiirteitä, kuten usein suuri loppukäyttäjien lukumäärä [9]. Palvelurakennusten kesken ja yksittäisen palvelurakennuksen sisälläkin voi olla monenlaista vaihtelua niin rakennusten luonteen, käyttötapojen kuin muidenkin ominaisuuksien suhteen. Kuva esimerkiksi opetusrakennusten energiatehokkuudesta voi vaihdella sen perusteella, millaista energiatehokkuuden indikaattoria käytetään [10].

Loppukäyttäjät eivät palvelurakennuksissa yleensä ole myöskään suoraan energialaskujen maksajia. Loppukäyttäjien taloudellinen kannuste energian säästöön voi olla siten vähäisempi kuin sellaisissa asuinrakennuksissa, joissa loppukäyttäjä voi maksaa itse omasta kulutuksestaan riippuvan suuruisen laskun ainakin sähköstään, ja osassa tapauksista myös lämmitysenergiastaan. Tilanne voi palvelurakennuksissa olla siten tietyiltä osin olla saman tyyppinen kuin taannoin tehdyssä tutkimuksessa, jossa otettiin kohderyhmäksi joukko sellaisia opiskelijoita, jotka eivät itse maksa sähkölaskujaan. Heidän kauttaan testattiin erilaisten motivoivien tekijöiden merkitystä seuraamalla kulutustietojen kehitystä mittauksin. Vain kuluttajalle itselleen annetulla energiankulutuspalautteella ei havaittu tuossa tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevää eroa verrokkiryhmään, mutta silloin jos kulutustiedot oli tehty julkiseksi muillekin, oli päädytty jopa 20 prosentin alempaan kulutustasoon. [11]

COMBI-hankkeeseen liittyneissä opinnäytetöissä on tarkasteltu eräitä energiatehokkuusinformaatioon liittyviä ongelmia erityisesti kuntien palvelurakennuksissa ja pohdittu niihin liittyviä kehitysehdotuksia. Näiden tietoja on koottu taulukkoon 1. Ongelmia on katsottu esiintyvän sekä energiatehokkuusinformaation keräämiseen, esittämiseen, tallentamiseen että tietojen analysoimiseen, ymmärtämiseen ja tulkitsemiseen liittyen.

Taulukko 1 Eräitä COMBI-hankkeen opinnäytetöissä esiin nousseita ongelmia ja kehitysehdotuksia energiatehokkuusinformaatioon liittyen.

Ongelmia	Kehitysehdotuksia	Opinnäytetyö ja sen otsikko
Olosuhdetietojen mittausten käytännön toimivuudessa esiintyneet ongelmat. Olosuhteiden näkyväksi tekemistä ei ollut toteutettu yhdessäkään case-kohteessa	Olosuhdetietoja voisi tehdä näkyvämmiksi, olosuhdemittauksia voisi analysoida kattavammin ja analysointiin voisi olla parempia ohjelmia	Vaskikallio, S., 2017, Rakennusten sisäolosuhteiden mittaaminen ja näkyväksi tekeminen. TAMK
Mittareita ei ole yhdistetty rakennusautomaatioon	Mittarit pitäisi liittää automaatioon	Montonen, S., 2017. Sähköenergiankulutusten vertailu ja analysointi. TAMK
Mittauksia ei suoriteta kattavasti	Ylläpito-organisaatioilta tarkemmat ohjeistukset energiankulutuksien mittauksista sekä laitteiden vaatimuksista	Pekkanen, M., 2017, Lämpöenergia- ja vesimittaukset case-kohteissa. TAMK Jalli, J., 2017, Sähköenergian kulutuksenseuranta Pirkanmaan palvelurakennuksissa. TAMK
Kiinteistön käyttäjillä puutteelliset tiedot laitteiden ja järjestelmien käytöstä	Käyttäjäkoulutuksen toteutus useammassa osassa, helppolukuiset ohjeet	Kortetmäki, A., 2016, Talotekniikan toimivuus Pirkanmaan palvelurakennuksissa. TAMK
Seurantajärjestelmien ja mittausten liitoskohtiin liittyy ongelmia (jos kaikki tieto ei välity, tai jos vaikkapa esiintyy vääriä kertoimia)	Kulutustietojen automaattinen siirtäminen kulutusseurantajärjestelmään	Louhi, L., 2017, Energiankulutustietojen analysointi ja hyödyntäminen. . TAMK

Ongelmia	Kehitysehdotuksia	Opinnäytetyö ja sen otsikko
Huoltohenkilökunnan puutteelliset tiedot laitteiden ja järjestelmien toiminnasta	Käyttöönottovaiheen koulutukseen varattava enemmän aikaa	Kortetmäki, A., 2016, Talotekniikan toimivuus Pirkanmaan palvelurakennuksissa. TAMK
Tallennettavista tiedoista näkyy vain hetkellinen kulutus, ei kuukausittaista- tai vuosikulutusta	Tietojen tallentamiseen panostaminen	Montonen, S., 2017, Sähköenergiankulutusten vertailu ja analysointi. TAMK
Energiankulutuksen seuranta ei ole kattavaa, varsinkaan pieniä energiankuluttajia ei seurata	Mittausten lisääminen	Pekkanen, M., 2017, Lämpöenergia- ja vesimittaukset case-kohteissa. TAMK
Toimenpiteet mittausten tekemisen jälkeen puutteellisia	Ohjeistukset mittauksista ja vaatimuksista sekä hälytysten asettaminen olennaiseksi katsotuille tasoille	Louhi, L., 2017, Energiankulutustietojen analysointi ja hyödyntäminen. TAMK
Mistä tietää, että onko palvelurakennus energiatehokas suhteessa siihen, mikä potentiaali sillä olisi?	Energiankulutuksen esittäminen olosuhteita kohden esim. kW/ppm	Vaskikallio, S., 2017, Rakennusten sisäolosuhteiden mittaaminen ja näkyväksi tekeminen. TAMK
Standardikäytöllä energiatodistuksia varten laskettujen ja toteutuneiden kulutusten väliset erot koulu- ja päiväkotirakennuksissa	Energiatodistuksen laskelmista voisi saada paremman vertailukohdan muuttamalla laskelmista ainakin ilmastovyöhykkeen, ilmamäärät ja käyttöajat kohteen mukaisiksi.	Ruusala, A., 2016. Koulujen ja päiväkotien laskennallinen ja toteutunut energiankulutus. TTY

3. Keskustelu

Energiatehokkuusinformaation kehittämisessä keskeinen kysymys on se, miten tehokkaasti informaation avulla saadaan ihmisiä motivoitua muuttamaan toimintaansa. Erityiskysymyksenä on se, miten saadaan aikaan pitkäaikaisia vaikutuksia. Osassa energiansäästöön liittyvistä käyttäytymisvaikutusten tutkimuksista on raportoitu, että energiatehokkuusinformaatiolla aikaan saadut käyttäytymisvaikutukset voivat kutistua ajan saatossa. Energiatehokkuusinformaation pitkäaikaisvaikutuksiin liittyvää tutkimustietoa on toistaiseksi julkaistu suhteellisen vähän.

Vaikuttava informointi saa sopivassa määrin kiinnitettyä ihmisten huomioita valintoihinsa, tekee ihmisiä tietoisiksi eri vaihtoehtojen hyvistä ja huonoista seurauksista sekä kannustaa haluttuun suuntaan juuri näitä motivoivilla tavoilla. Välineitä näihin on monia: esimerkiksi palautteen antaminen sopivaan aikaan, helposti ymmärrettävien mittarien käyttö, informaation tekeminen helposti saavutettavaksi, tai vaikkapa erilaisten normien viestiminen [12], joihin ihmiset voivat sitten verrata omaa toimintaansa.

Teknisten ratkaisujen kehittyessä ja informaation keräämisen, tallentamisen ja seurannan tullessa halvemmaksi on mahdollista mitata yhä useammanlaisia asioita. Seurattavien asioiden määrän kasvaessa informaation hyödyntämisessä esteenä tietojen vaikuttavuuden kannalta ei ole välttämättä niinkään informaation puute. Tällöin on merkitystä sillä, kuvaavatko seuratut asiat sitä, mitä tavoitellaan, välittyvätkö tiedot tarpeellisiin paikkoihin ja miten informaatiotulvasta seulotaan ja koostetaan olennaista asiaa päätöksenteon tueksi. Informaation seulontaan ja vertailuun on olemassa ja myös jatkossa kehitymässä monenlaisia informaatioteknologiaan liittyviä apuvälineitä.

Käyttäjille on tarpeen luoda riittävän hyvät olosuhteet, jotta kiinteistö on käytettävissä sen varsinaiseen käyttötarkoitukseen mahdollisimman hyvin. Lämpötila, hiilidioksidipitoisuus, ilman kosteus tai vaikkapa ilman vaihtuvuuden määrä voivat vaikuttaa osaltaan käyttäjien kokemuksiin. Näitä koskevia tietoja ei yleensä kuitenkaan ole esillä kiinteistön käyttäjille, vaikka tietoja kerättäisiinkin. Nykyisin lähinnä palovaroitin hälyttää kiinteistön käyttäjällekkin näkyvällä tavalla, jos olosuhteet eivät sen seuraamien indikaattorien osalta vaikuta olevan kunnossa.

Kulutuksen seuranta ei palvelurakennuksissa välttämättä aina edellytä erillisiä mittauslaitteistoja kunkin asian seuraamiseksi. Palvelurakennuksissa on kasvavassa määrin erilaisia automaatiojärjestelmiä, jotka keräävät jo monenlaisia tietoja. Niitä tietoja voisi hyödyntää myös muihin kuin kiinteistönhoidollisiin tarkoituksiin.

Hyvin toteutetut, informatiiviset käyttöliittymät voivat sivuvaikutuksenaan edistää myös vikatilanteiden havaitsemista rakennuksissa. Esimerkiksi taloteknisten järjestelmien vikatilanteista osa voi olla mahdollista havaita vaikkapa laitteiden sähkönkulutustietojen kautta ja osa olosuhdetietojen kautta, vaikkei näitä tietoja ensisijaisesti vikojen havaitsemiseksi kerättäisikään. Silloin, kun energiatehokkuusinformaatio liittyy käyttäjien omaan viihtyvyyteen ja olosuhteisiin, informaatiolla voisi myös olettaa voivan olla enemmän merkitystä kuin informaation ollessa vain lukuja energiankulutuksesta.

Käyttäjillä vaikuttaisi olevan monessa tapauksessa ainakin jonkin verran potentiaalia vaikuttaa rakennusten energiankulutuksen määrään omalla toiminnallaan. Energiatehokkaat käyttäjät pystyvät siis tekemään rakennuksestaan energiatehokkaamman. Toisaalta kaikkia loppukäyttäjiä ei välttämättä saada käyttämään rakennuksia suunnittelijoiden toivomin tavoin, ja rakennuksia olisi syytä saada toimimaan energiatehokkaammin, ovat käyttäjät millaisia tahansa [13].

4. Yhteenveto

Energiatehokkuusinformaation kautta on mahdollista vaikuttaa energiankulutukseen. Osa informointitavoista on alkanut näyttäytyä tutkimuskirjallisuudessa toisia tehokkaampina. Katsauksessa tutkimuskirjallisuuteen arvioitiin, että energian kulutuksen vähenemisen kannalta vaikuttaisi olleen enemmän hyötyä sellaisista informointitoimenpiteistä, joissa on tuotettu yksilöllisiä auditointeja ja neuvontaa kuin mitä on saavutettu vain menneen tai vertailevan datan esittämisellä. Reaaliaikaisesta palautteesta nähtiin olevan hyötyä.

Rakentamismääräysten vaatimukset energiankäytön selvitettävyydestä ovat mahdollisesti muuttumassa. Aiemmin Suomessa on edellytetty helppoa selvitettävyyttä *energiamuodoittain*, mutta asetusluonnoksen mukaan jatkossa edellytetään seurantamahdollisuutta koko rakennuksen lisäksi *kulutuskohteittain* – tärkeimmiksi arvioitujen kulutuskohteiden osalta.

Energiatehokkuusinformaation tehokkaaseen hyödyntämiseen liittyy palvelurakennuksissa nykyisin ongelmia sekä energiatehokkuusinformaation keräämiseen, esittämiseen, tallentamiseen että tietojen analysoimiseen, ymmärtämiseen ja tulkitsemiseen liittyen. Lisäksi haasteita voi esiintyä käyttäjien motivoinnissa energiatehokkaampaan kulutuskäyttäytymiseen. Kuhunkin näistä ongelmista on kuitenkin tapoja vaikuttaa.

Kulutuksen seuranta ei aina edellytä erillisiä mittauslaitteistoja. Palvelurakennuksissa on automaatiojärjestelmiä, jotka keräävät jo runsaasti tietoja. Niitä voisi paremmin hyödyntää energiatehokkuusinformaation ja olosuhdetiedon informointiin tilojen käyttäjille.

Lähdeluettelo

- [1] Darby, S. 2001. Making it obvious: Designing feedback into energy consumption. Bertoldi (Toim.) Energy efficiency in household appliances and lighting.
- [2] Sähkömarkkinalaki, 57 §
- [3] Laki rakennusten energiatodistuksesta, 7 §
- [4] Luonnos ympäristöministeriön asetukseksi uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, 16.2.2017
- [5] D3. Rakennusten energiatehokkuus: Määräykset ja ohjeet.
- [6] Rafsanjani, H. N.; Ahn, C. R. ja Alahmad, M. 2015. A review of approaches for sensing, understanding, and improving occupancy-related energy-use behaviors in commercial buildings. *Energies*. Vol. 8. 10996-11029.
- [7] Delmas, M. A.; Fischlein, M. ja Asensio, O. I. 2013. Information strategies and energy conservation behavior: A meta-analysis of experimental studies from 1975 to 2012. *Energy Policy*. Vol. 61. 729–739.
- [8] Frederiks, E. R.; Stenner, K.; Hobman, E. V. ja Fischle, M. 2016. Evaluating energy behavior change programs using randomized controlled trials: Best practice guidelines for policymakers. *Energy Research & Social Science*. Vol. 22. 147-164.
- [9] Karjalainen, S. 2016. Should we design buildings that are less sensitive to occupant behaviour? A simulation study of effects of behaviour and design on office energy consumption. *Energy Efficiency*. Vol. 9. 1257–1270.
- [10] Sekki, T. 2017. Evaluation of energy efficiency in educational buildings. Aalto University. Doctoral dissertations 57/2017. 123 s.
- [11] Delmas, M. A. ja Lessem, N. 2014. Saving power to conserve your reputation? The effectiveness of private versus public information. *Journal of Environmental Economics and Management*. Vol. 67. 353–370.
- [12] Yoeli, E.; Budescu, D. V.; Carrico, A. R.; Delmas, M. A.; DeShazo, J. R.; Ferraro, P. J. ja Weber, E. U. 2017. Behavioral science tools to strengthen energy & environmental policy. *Behavioral Science & Policy*, 3, 69–79.
- [13] Kosonen, H. ja Kim, A. 2017. Advancement of behavioral energy interventions in commercial buildings. *Facility*. Vol. 35. 367–382.

Energiakortti rakennushankkeen energiavoitteiden asettamisessa ja todentamisessa

Olli Teriö¹, Juhani Heljo¹, Sakari Uusitalo² ja Pirkko Pihlajamaa²

¹ Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

² Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Rakennusten energiatehokkuuden tavoitteiden käytännönläheiseen selkeyttämiseen ja energiatehokkaan käytön varmistamiseen on kehitetty energiakortti. Siihen kerätään energiatehokkuutta koskevat avainluvut. Korttiin kirjataan myös tunnuslukuja, jotka kuvaavat osakokonaisuuksien energian käyttöä. Rakennuksen käyttöönoton jälkeen energiakorttia voidaan hyödyntää tavoitteiden toteutumisen arvioinnissa. Arvioinnissa verrataan rakennuksen todellista energian kulutusta laskennalliseen energian kulutukseen. Tehotarkastelulla saadaan nopeasti ymmärrys todellisesta toimivuudesta ja energiatehokkuudesta sekä suuntaa antavia syitä mahdollisiin kulutuspoikkeamiin.

1. Johdanto

Rakennushankkeissa on tunnetusti kaksi kipupistettä eli tilaajan tavoitteiden selkeä esittäminen ja hankkeen käyttöönottovaiheessa rakennuksen käytön aloittaminen tilaajan tavoitteiden mukaisesti. Kun tilaajan energiatehokkuustavoitteet esitetään numeerisesti, niin voidaan olettaa, että tavoitteet ovat myös selkeitä. Käyttöönoton jälkeen tilaaja voi tarkistaa Combi-hankkeessa kehitetyn [1] kortin avulla, onko saanut sitä, mitä on tilannut? Kortti-idea on esitelty lukuisissa tilaisuuksissa ja siihen on suhtauduttu hyvin positiivisesti.

Energiakortin tarkoituksena on selkeyttää rakennushankkeen tavoiteasetantaa energiatehokkuuden ja hyvän sisäilman aikaan saamiseksi. Korttiin kirjataan numeeriset tavoitteet energiatehokkuuden avainluvuille. Osa numeerisista tavoitteista syntyy rakennushankkeeseen ryhtyvän päätöksistä ja osa suunnittelun yhteydessä laadittavista laskelmista, jotka rakennuttajan tulee kuitenkin tarkistaa ja hyväksyä. Kortti otetaan käyttöön rakennuttajan toimesta hankesuunnitteluvaiheessa ja sitä täydennetään päätösten ja suunnittelun etenemisen myötä. Näin korttiin tulee johdonmukaisesti ja yksiselitteisesti kirjattua ylös energiatehokkuuteen liittyvät tavoitteet ja valinnat. Rakennuksen käyttöönoton jälkeen kortissa esitetyt tavoitteet todennetaan esimerkiksi TAPRE-periaatteiden mukaisessa toimivuustarkastuksessa [2].

2. Energiatehokkuustavoitteiden asettaminen ja dokumentointi

Energiakortissa esitetään kohteen perustietojen lisäksi lämmityksen, ilmanvaihdon ja sähkönkäytön tavoitteet tarkoituksenmukaisesti eriteltynä sekä lämpökuormat. Lämpökuormilla ja niiden hyödyntämisellä on suuri suhteellinen merkitys energiatehokkaissa rakennuksissa. Toimivuustarkastelua varten kortin laskentataulukolla voidaan määrittää tavoitteita vastaava tarkasteluhetken säätötilan mukainen tehotieto, jolloin tarkastelussa saadaan välittömästi käsitys rakennuksen todellisesta energiatehokkuudesta. Lisäksi kortissa esitetään tunnuslukuja, joilla mahdollisten poikkeamien syitä voidaan alustavasti kartoittaa.

Energiakortin vahvuuksia ovat yksiselitteiset numeeriset tavoiteluvut, joiden laskentaperusteet esitetään laskentataulukon kommenttikentissä. Kun laskentaperiaatteet ja käytettävät yksiköt ovat vakioituja, saadaan yksittäisten hankkeiden suunnittelulle selkeät lähtökohdat. Ajan myötä tiedon kumuloituessa voidaan vertailta myös hankkeiden välillä energiatehokkuuden ja sisäilman laadun toteutumia.

Energiakortin sisällön määrä on pyritty pitämään mahdollisimman vähäisenä, mutta kuitenkin ohjaavana. Suurin hyöty kortin käytöstä saadaan, kun kortin jaottelut otetaan huomioon sähköjakelun ryhmittelyssä, sähkön ja energian mittaroinnissa sekä automaatiosta saatavan trendiseurannan jäsentämisessä ja hälytysten suunnittelussa. Energiakortti on apuna tilaajan asettaessa suunnitteluohjeita automaatiojärjestelmälle. Kiinteistöjen energiamittauksen suunnittelussa energiakortin jaottelua voidaan pitää minimitarKKuutena.

Combi-hankkeessa tehdyssä case-tutkimuksessa käytiin erään päiväkodin suunnitteluasiakirjat läpi energiaan liittyvien kirjausten osalta. Jälkikäteen esimerkiksi suunnittelukokouspöytäkirjoja lukemalla ei ollut mahdollista tietää mitä hankkeessa oli tavoiteltu. Esimerkiksi kirjaus, että lämmön talteenoton hyötysuhteen tavoitteena on yli 70 prosenttia ei kerro lukijalle oikeastaan mitään. Tarkoitetaanko sillä lämpötilahyötysuhdetta vai vuosihyötysuhdetta? Entä tarkoitetaanko sillä yksittäisten koneiden hyötysuhteita vai ilmanvaihtojärjestelmän kokonaishyötysuhdetta? Entä kuinka huomioidaan useat erillispoistot, joissa lämmön talteenottoa ei ole. Samaa epämääräisyyttä on simulointien tulkinnassa. Mitä ja miten on simuloitu. Lisämausteen kirjauksille antaa se, että muutaman vuoden suunnittelu- ja toteutusaikana viranomaismääräykset ehtivät muuttua kahteen kertaan ja samalla laskentaperusteita ja termejä vaihdetaan uusiin. Projektien osapuolilla on suuri työ pysyä termien sisällöstä ajan tasalla. Termien ymmärtäminen on välttämätöntä, jotta kaikki tietävät mitä tavoitellaan.

3. Energiatehokkuustavoitteiden todentaminen

Case-kohteessa testattiin energiakorttia toimivuustarkastelussa, vaikka tavoitteet eivät olleetkaan selkeitä. toimivuustarkastus suoritettiin helmikuussa, kun ulkoilman lämpötila oli 1,2 astetta ja päivä oli pilvinen, joten auringon säteilyn merkitystä ei tarvinnut tai ei voitu ottaa huomioon. Päiväkodin sisälämpötila oli hieman suunniteltua 21 astetta korkeampi eli 22,5 astetta. Laskennallisesti päiväkodin tehontarpeen olisi pitänyt olla 41 kW, mutta ostoenergiaa kuitenkin kului 56 kWh tunnissa eli keskimääräinen tehon tarve oli 56 kW, ylitys 36%. Suurin yksittäinen syy ylitykseen olivat pihan sekä vesikourujen, syöksytorvien ja sadevesikivojen sulanapitolämmitykset (7-8kW). Niitä ei tarvitse huomioida energiaselvityksessä eikä simuloinneissa, mikä saattaa unohtua ja aiheuttaa epäselvyyttä tulosten tulkintaan. Taloautomaatiosta saadun informaation mukaan kaikkien ilmanvaihtokoneiden lämpötilahyötysuhde oli alle 70%. Lisäksi erillispoistojen kautta ilmaa poistettiin lämmön talteenoton ohi. Koko ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde jäi siten noin 55 prosenttiin. Päiväkodissa kokonaisilmanvaihto oli tarkasteluhetkellä noin 43 litraa henkilö kohden sekunnissa, kun teoreettinen minimi olisi 6 litraa. Se kertoo siitä, että ilmaa vaihdetaan runsaasti sielläkin, missä vähempikin riittäisi.

Taulukko 1. Energiakortti.

Combi energiakortti - toimivuuden tarkastelu				
Perustiedot	Kohde	5 ryhmän päiväkoti, Tampere		
	Rakennustyyppi	Päiväkoti		
	Tilavuus (RH1-lomake)	6450	m ³	
	Rakennuksen kokonaisala	1603	m ²	
	Lämmin nettoala A _{netto}	1456	m ²	
	Sisäilmaluokka	S2		
		Suunniteltu	Toteutunut	Yksikkö
Lämmitys ja ilmanvaihto	Ilmanvaihto, poistoilmavirta	3,7	3,5	m ³ /s
	Ilmanvaihto, erillispoistojen ilmavirta		0,8	m ³ /s
	Lämmitysteho, ilmanvaihto	28,3	42,9	kW
	Vaipan ominaislämpöhäviö kerroin	0,416	0,416	kW/K
	Vaipan lämmön kulutus	8,2	8,9	kW
	Vaippa + Ilmanvaihto	36,6	51,7	kW
	Lämmin käyttövesi		6	kW
Sähkön käyttö	Ilmanvaihtokoneiden sähköteho	5	5	kW
	Sulanapitolämmitykset (kulkutiet, vesikourut, sadevesikaivot)	7	7	kW
	Erillispoistojen sähköteho	1	1	kW
	Lämmönkehitys ja lämmönjakelu (kiertovesipumput yms)	1	1	kW
	Valaistus (suunniteltu = max)	15,17	11,4	kW
	Keittiökoneet ja muut tuotantolaitteet	5	5	kW
	Jäähdytys			
	Pohjateho kW			kW
	Sähkö yhteensä	34,2	30,4	kW
Lämpökuormat	Lämpökuorma ihmisistä	9	6	kW
	Kiinteistöenergia	3	4,8	kW
	Valaistus	10,6	8,0	kW
	Auringon säteily ikkunoista		0	kW
	Sähkölaitteet			kW
	Ilmaisenergia yhteensä	22,6	18,8	kW
Yhteenveto	Laskennallinen ostoenergian teho	48,1	63,3	kW
	Kaukolämpö - teho mitattu (tuntikesiarvo)		30	kW
	Sähkö - teho mitattu (tuntikesiarvo)		30	kW
	Mitattu teho yhteensä	48,1	60	kW
Toimivuuden tarkastelu	Toimivuuden tarkastelu PVM	25.2.2016		
	Ulkolämpötila	1,2	1,2	°C
	Sisälämpötila, lämmityskausi	21	22,5	°C
	Lämpötilaero suunniteltu	19,8	21,3	°C
	Henkilömäärä	120	80	
	Lämpökuorma ihmiset	9	6	kW
	Valaistuksen käyttöaste %	100	75	%
	Ilmatiiveysluku		0,34	1/h
	LTO vuosihyötysuhde poistoilmavirrasta	70	55,0	%
Tunnusluvut		Suunniteltu	Toteutunut	Tot / Suun %
Tunnusluvut	Energian hankinta W/m2	33,1	41,2	125 %
	Kokonaisilmanvaihto l/hlö/s	30,8	43,4	141 %
	IV-kerroin	2,1	1,9	94 %
	Vaipan lämpöhäviö	8,2	8,9	108 %
	Lämpökuorma / lämmitystarve	62 %	36 %	59 %
	Ilmanvaihto / lämmin nettopinta-ala [l/s/m2]	2,5	2,4	94 %
	Tilatehokkuus (Hyötയാ/hlö)	12,1	18,2	150 %
	Käyttöaste hlö/hlö	120/80	80/80	67 %
	SFP-luku	1,6	1,7	
	Muut E-lukuun kuulumattomat [kW] (sulanapidot, käyttösähkö, ulkovalot, autolämm, keittiö, tuotanto,...)		8	
	Ilman lämmityksen osuus koko lämmitystarpeesta	77 %	83 %	107 %
	Sähköteho / hyötയാ W/M2	23,5	20,9	89 %
	Käyttötehokkuus kW/hlö/h			

Päiväkodin energian kulutusta oli simuloitu useaan kertaan eri suunnitteluvaiheissa. Niiden mukaan vuosikulutuksen olisi pitänyt olla noin 90 kWh/m². (Energiaselvitysten E-luku oli 73, ET luku 84). Kuitenkin vuosittaiset energian kulutukset olivat noin 200 kWh/m²/a ensimmäisenä vuonna, mikä on ymmärrettävää uuden rakennuksen tehostetun tuuletuksen vuoksi, mutta sen jälkeenkin kulutukset olivat vielä 150-160 kWh vuosittain. Toimivuustarkastuksessa hyödynnettiin myös taloautomaatiosta saatavia trendiseurantoja. Ne kertoivat, että lämmitystä tarvittiin melko paljon myös hyvin aikaisin aamuyöstä ja lämmitys jatkui pitkälle iltaan asti (kello 03-21). Se on selkeästi enemmän kuin mitä standardikäytössä oletetaan. Koska rakennuksen vaippa ja ikkunat olivat suunniteltu passiivitasoon, suurin selitys odotettua suuremmalle energian käytölle olivat runsas ilmanvaihto ja lämmön talteenottoon liittyvät puutteet. Tähän johtopäätökseen tultiin analysoimalla puolenpäivän mittaisen toimivuustarkastuskäynnin tulokset sekä kulutusseurannasta ja taloautomaatiosta saatu informaatio.

4. Yhteenveto

Kitkaton yhteistyö rakennushankkeissa edellyttää, että kaikilla osapuolilla on selkeä ja yhtenäinen näkemys hankkeen tavoitteista. Kuitenkin hankkeissa syntyy usein väärinkäsityksiä ja informaatiokatkoksia. Energiatehokkuuden tavoitteiden selkeyttämiseen on kehitetty energiakortti, johon kirjataan tilaajan tavoitteet ja suunnittelun edetessä syntyvät lämmitykseen, ilmanvaihtoon, sähkön käyttöön ja lämpökuormiin liittyvät avainluvut. Jo pelkän kortin täyttäminen tuo rakennushankkeisiin ryhtiä, mutta täysimääräinen hyödyntäminen vaatii asian käsittelyä energia- ja olosuhdemittausten suunnittelussa sekä taloautomaation raporttien laadinnassa. Lopullisen tavoitteen pitää olla se, että tilaajan tavoitteiden toteutumisesta saadaan toteumaraportti suoraan taloautomaatiosta.

Rakennuksen käyttöönoton jälkeen korttia voidaan hyödyntää energiategokkuuden tavoitteiden saavuttamisen todentamiseen. Korttien luvuista lasketaan taulukkolaskentaohjelmalla laskennallinen tavoitteiden mukainen kulutus osa-alueittain todentamishetken ulko- ja sisälämpötilalle. Tämän jälkeen todentamishetken todelliset energiankulutukset selvitetään kulutusmittareista, taloautomaation raporteista ja/tai mittaamalla kohteessa. Vertaamalla todellista kulutusta laskennalliseen, saadaan nopeasti varmuus siitä, onko rakennuksen suunnittelussa, toteutuksessa ja käyttöönotossa onnistuttu saavuttamaan energiategokkuuden tavoitteet. Todentaminen tulee tehdä luonnollisesti kylmänä vuodenaikana.

Lähdeluettelo

- [1] COMBI – Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings. saatavilla:
<http://www.tut.fi/fi/tutkimus/tutkimusalat/rakennustekniikka/rakennetekniikka/rakennusfysiikka/combi/index.htm>
- [2] Tampereen kaupunki. Rakennuksen (talotekniikan) toimivuustarkastelu. saatavilla:
www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/9jA2b76cA/Ohje_07_Toimivuustarkastelu.pdf

Suuren lämmöneristämättömän maanvastaisen alapohjan vaikutus rakennuksen energiankulutukseen

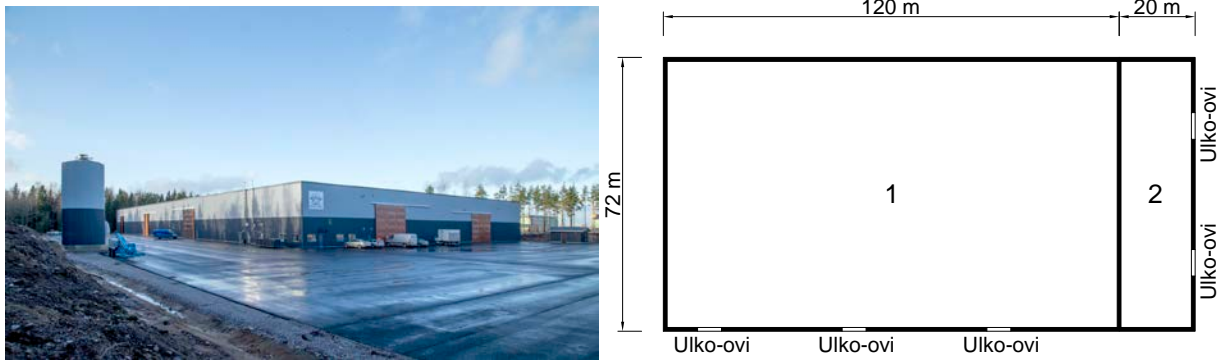
Petteri Huttunen, Juha Rantala ja Juha Vinha
Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Tutkimuksessa on tarkasteltu laskennallisesti sekä jatkuvatoimisten kenttämittauksien avulla vuonna 2015 Hankoon valmistuneen monikäyttöisen teollisuus- ja varastohallin maan vastaisen alapohjan lämpötekniistä toimintaa ja vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Rakennus on pinta-alaltaan suuri (noin 10 000 m²) ja sen alapohja on routa- ja sokkelieristyksiä lukuun ottamatta eristämätön. Tutkimuksen keskeisin tavoite oli selvittää kuinka hyvin rakennuksen energiatekniistä määräysten mukaisuutta osoitettaessa yksinkertaisella menetelmällä laskettavat alapohjan kuukausittaiset johtumislämpöhäviöt vastaavat todellisuutta. Kenttämittauksissa käytettiin lukuisia alapohjana toimivan betonilaatan alle sijoitettuja lämpövirtalevyjä sekä 3 metriä pitkiä maahan pystysuoraan upotettuja muoviputkia, joihin oli sijoitettu lämpötilantureita tasaisesti eri syvyyksille. Kenttämittausten lisäksi tutkimuksessa käytettiin Comsol Multiphysics -laskentaohjelmaa lämpötekniisiä simulointeja varten, joiden tuloksia verrattiin sekä kenttämittauksiin että myös yksinkertaisempien energialaskentamenetelmien tuloksiin. Sekä mittausten että simulaatioiden perusteella vuoden aikana kertyvät alapohjan johtumislämpöhäviöt olivat selvästi pienempiä verrattuna RakMk D5:ssä esitetyn yksinkertaisen laskentamenetelmän mukaisiin lämpöhäviöihin. Tutkimustulosten perusteella standardissa SFS-EN ISO 13370 esitetty menetelmä alapohjan läpi johtuville lämpövirroille on huomattavasti RakMk D5:ssä esitettyä menetelmää tarkempi, jota ei selvästi tulisi käyttää pohjapinta-alaltaan suurille rakennuksille.

1. Johdanto

Hankoon valmistui vuonna 2015 syksyllä teollisuus- ja varastokäyttöön tarkoitettu pohjapinta-alaltaan suuri (noin 10 000 m²) hallirakennus, jonka energiankulutukseen vaikuttavia lämpötekniisiä ominaisuuksia oltiin kiinnostuneita selvittämään kenttämittauksilla ja laskennallisilla tarkasteluilla. Tutkimuksessa oltiin kiinnostuneita etenkin rakennuksen alapuolisen maan kautta tapahtuvien lämpöhäviöiden todellisista suuruuksista, sillä epäiltiin, että rakennuksen energiatodistusta laskettaessa käytettävät rakentamismääräyskokoelman tai harmonisoitujen standardien mukaiset yksinkertaiset laskentamenetelmät johtavat epärealistisen suuriin arvioihin maan kautta tapahtuvien lämpöhäviöiden osalta, kun kyseessä on pinta-alaltaan suuri rakennus. Kysymys voi olla pinta-alaltaan suurille rakennuksille taloudellisesti merkittävä, sillä alapohjarakenteen lämmöneristäminen koko pohjapinta-alaltaan siten, että lattiarakenteen U_f -arvo on nykyisten vertailuarvojen mukaisella tasolla voi johtaa merkittäviin materiaalikulustannuksiin, mutta saattaa olla vaikutuksiltaan hyvin mitätön todellisten lämpöhäviöiden vähentämiseksi. Kuvassa 1 on esitetty valokuva tutkittavan rakennuksen sisältä (vasemmalla) ja rakennuksen pohjamitat pyöristettynä (oikealla). Rakennuksen korkeus on noin 10 metriä ja sen kantavina pystyrakenteina toimivat teräspalkit.



Kuva 1. Valokuva tutkitusta rakennuksesta (vasemmalla) ja tärkeimmät mitat rakennuksen pohjasta 1 metrin tarkkuudella (oikealla): 1 puolilämmin varastotila ja 2 lämmin huoltotila. Ulko-ovet ovat 6-8 metriä pitkiä liukuovia. Kuvassa pohjoiseen osoittava seinä osoittaa todellisuudessa luoteeseen.

Tietoa kyseisen rakennuksen alapuolisen maan lämpöteknisestä käyttäytymisestä pyrittiin hankkimaan jatkuvatoimisilla kenttämittauksilla, joissa mitattiin maan lämpötilaa eri syvyyksiltä ja eri puolilta lattiaa sekä lämpövirran tiheyksiä betonilattian ja alapuolisen maan välissä. Mittaustuloksia vertailtiin rakennukselle tehtyihin laskennallisiin tarkasteluihin, jotka suoritettiin FEM-pohjaisella Comsol Multiphysics -laskentaohjelmalla. Kaikkia projektissa tehtyjä mittauksia ja laskentatuloksia ei voida esittää tilanpuutteen vuoksi, vaan tässä artikkelissa esitetään ainoastaan osa rakennuksen alapuolisesta maasta mitatuista lämpötiloista ja lämpövirran tiheyksistä ajan funktiona, sekä näiden vertailua laskentaohjelmasta saatuihin vastaaviin arvoihin. Lisäksi esitetään kahdella eri taulukkolaskentamenetelmällä määritetyt varastotilan alapohjan läpi tapahtuvat kuukausittaiset johtumislämpöhäviöt, kun sisälämpötiloina käytettiin suunnitteluarvoja (puolilämmin tila, 8 °C).

2. Kenttämittaukset

Rakennuksen alapuolisen maan lämpötilojen mittaamista varten tehtiin yhteensä 9 kpl hartsilla täytettyä muovista mittausputkea, joihin sijoitettiin kuhunkin 10 kpl LM335-tyypin puolijohdelämpötila-antureita. Mittausputket olivat 3 m pitkiä ja anturit sijoitettiin 30 cm välein. Mittausputkien asentamisessa käytettiin maalämpökaivojen poraamiseen tarkoitettua kalustoa. Mittausdatan kirjaamiseen käytettiin Agilent 34970A dataloggereita. Mittaukset aloitettiin lämpötilojen osalta joulukuussa 2015 ja päätettiin kesäkuussa 2017. Lämpötilojen lisäksi alapohjan betonilaatan alapuolelta mitattiin lämpövirran tiheyksiä yhteensä kahdeksalla lämpövirtalevyllä (Hukseflux HFP01). Teknisten ongelmien takia osa lämpövirtalevyistä saatiin asennettua vasta elokuussa 2016.



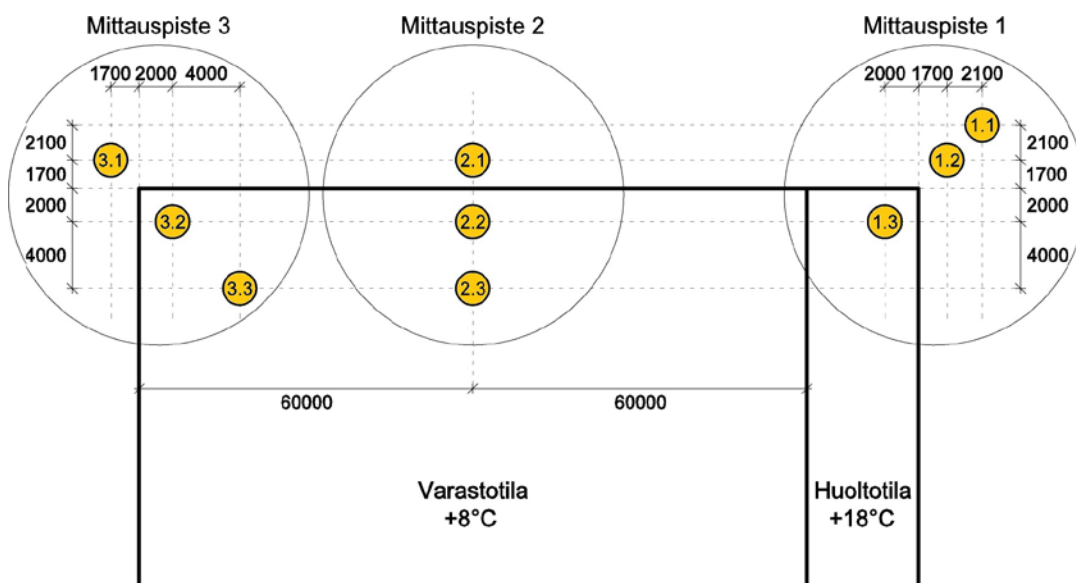
Kuva 2. Lämpötilojen mittausputkia ennen asennusta kohteeseen.



Kuva 3. Lämpötilojen mittausputkien asennuksessa käytetty porauslaite (vasemmalla) ja betonilaatan alle asetettu lämpövirtalevy (oikealla).

Lämpövirtalevyjä varten betonilattiaan porattiin riittävän isot reiät, jotka lämpövirtalevyjen asentamisen jälkeen täytettiin hiekalla ja tukittiin viemäreihin tarkoitettualla muovitulpalla.

Mittauksia suoritettiin rakennuksen kolmesta osasta: varastotilan (puolilämmin tila) lounas/luode-nurkan läheisyydessä, varastotilan luoteeseen osoittavan seinän puolivälin läheisyydessä ja lämpimän puolen luode/koillinen -nurkan läheisyydessä. Lämpötilojen mittausputkia asennettiin tutkittavien osien kohdalla myös rakennuksen ulkopuolelle (ks. kuva 4). Lämpövirtalevyt pyrittiin sijoittamaan mahdollisimman lähelle mittausputkia. Maan lisäksi lämpötiloja mitattiin myös sisä- ja ulkoilmasta.



Kuva 4. Rakennuksen osat, joissa mittauksia suoritettiin (mittauspisteet). Kuvan mittasuhteet eivät ole todellisia.

3. Laskennalliset tarkastelut

Rakennuksen alapuolisen maan lämpöteknistä käyttäytymistä mallinnettiin laskennallisesti Comsol Multiphysics -laskentaohjelmalla [1]. Jotta laskennallisia tuloksia voitiin verrata sekä kenttämittauksiin että energiankulutuslaskelmiin, mallinnus suoritettiin kahdella eri tavalla: käyttäen sisäilman lämpötilana mitattuja arvoja sekä vakioarvoa 8 °C. Mallinnukset suoritettiin ainoastaan varastotilan osalle rakennusta ja varastotilan alapuolisesta maasta mallinnettiin vain

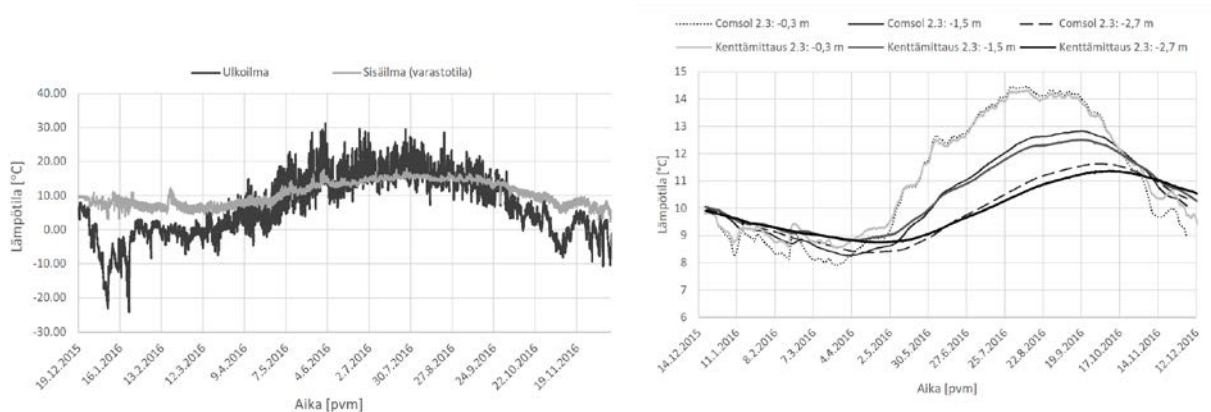
1/4 hyödyntäen symmetriaa eli lämpimän huoltotilan ei oletettu vaikuttavan mittauspiste 2:sta saatuihin lukemiin. Kenttämittauksiin verrattavia ajasta riippuvia mallinnuksia varten maan lämpötilajakauma alkutilanteessa arvioitiin ensin 1D-mallin avulla, jossa mallinnettiin lämmön johtumista pelkästään maassa käyttäen Ilmatieteen laitoksen Avoin Data -palvelusta [2] saatuja Hangon säätietoja viideltä vuodelta ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mallit rajoittuvat sekä 1D-että lopullisissa 3D-tapauksissa 20 metrin syvyyteen. Geometrisen mallin pohjalla käytettiin molemmissa tapauksissa reunaehto, jonka mukaan lämpövirran tiheys syvältä maasta ylöspäin oli vakio, $0,03 \text{ W/m}^2$. Energiankulutuslaskelmia varten tehdyissä tarkasteluissa 3D-mallia simuloitiin yhteensä 5 vuotta käyttäen edellä mainittua reunaehto pohjalla ja ulkopuolella energiankulutuksen testivuoden TRY 2012 Vantaa [3] mukaisia arvoja. Maan kautta tapahtuvat kuukausittaiset lämpöhäviöt laskettiin simuloinnin viimeiseltä vuodelta.

Energiankulutuslaskelmat varastotilan alapohjan lämpöhäviöiden osalta suoritettiin RakMk D5:ssä [4] esitetyn menetelmän mukaisesti, jossa alapohjan alapuolisen maan lämpötila lasketaan yksinkertaisten taulukon avulla vuotuisesta ulkoilman keskilämpötilasta (TRY 2012 Vantaa), sekä tarkemmalla mutta monimutkaisemmalla standardissa SFS-EN ISO 13370 [5] esitetyllä tavalla, jossa arvioidaan jokaiselle kuukaudelle suoraan alapohjan läpi johtuvan kokonaislämpövirran kuukausikeskiarvo niin sanottujen periodisten lämmönsiirtokertoimien avulla, joiden suuruuteen vaikuttaa mm. pohjapinta-ala, piiri ja lämmön periodinen tunkeutumissyvyys maassa.

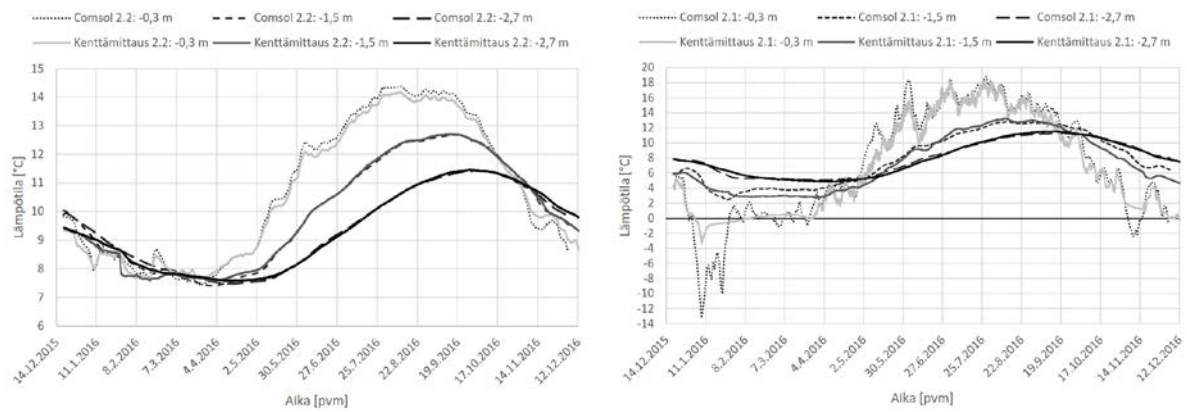
Pohjatutkimuksen mukaan maaperä rakennuksen alueella on hyvin homogeenistä ja humuskerroksen alapuolinen maaperä on pääosin hiekkaista moreenia. Maan lämpöteknisinä materiaaliominaisuuksina käytettiin RakMk C4 (luonnos 2012) [6] mukaisia arvoja moreenille: $\lambda = 2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ ja $C_p = 1000 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$. RakMk C4:n mukaisella tavalla laskettu alapohjan U_f -arvo on $0,124 \approx 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Vastaavasti alapohjan UA-arvo on 1037 W/K . RakMk D5:n tai SFS-EN ISO 13370:n mukaisten laskelmien välivaiheita tai Comsol Multiphysics -ohjelmalla tehtyjen mallinnusten numeeriseen tarkkuuteen vaikuttavia tietoja ei tilan puutteen vuoksi käsitellä tässä artikkelissa.

4. Tulokset

Johtuen tutkimuksessa saadun tulosdatan suuresta määrästä sekä tilan puutteesta tässä artikkelissa esitetään ainoastaan ensimmäisen mittausvuoden osalta maan lämpötilojen kenttämittaustuloksia pisteistä 2.1, 2.2 ja 2.3 (ks. kuva 4), lämpövirtalevyjen mittaustulokset pisteiden 2.2 ja 2.3 läheisyydestä sekä ulkoilman lämpötilat ja varastotilan ilmalämpötilat.



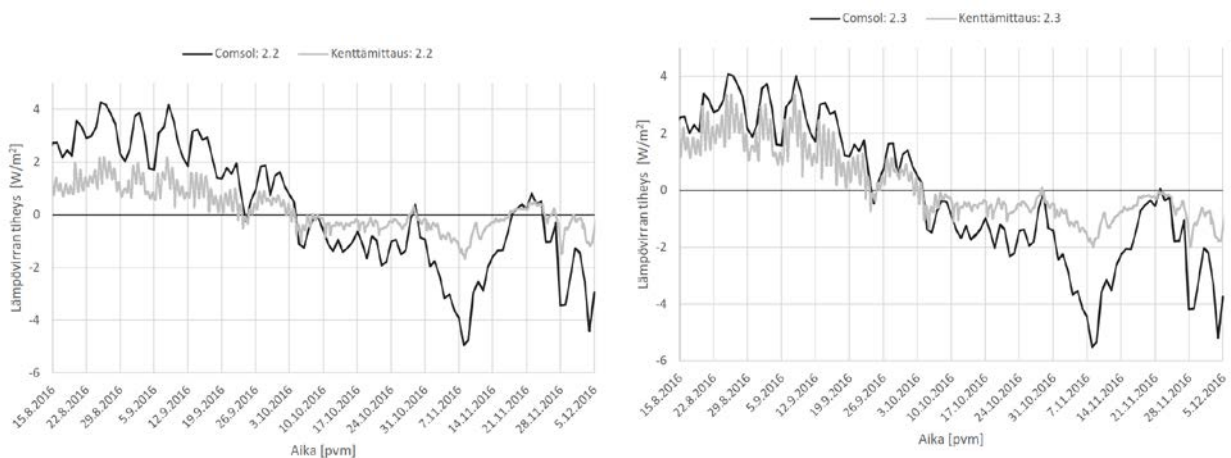
Kuva 5. Kenttämittaustulosten mukaiset sisä- ja ulkoilman lämpötilat (vasemmalla) sekä mittauspisteestä 2.3 mitatut lämpötilat kolmelta eri syvyydeltä (0.3 m, 1.5 m ja 2.7 m) ja niitä vastaavat mallinnustulokset (oikealla).



Kuva 6. Mittauspisteistä 2.2 (vasemmalla) ja 2.1 (oikealla) mitatut lämpötilat kolmelta eri syvyydeltä (0.3 m, 1.5 m ja 2.7 m) sekä niitä vastaavat mallinnustulokset.

Varastotilan sisälämpötila pysyi ensimmäisen mittausvuoden kylmän kautena noin 8 °C:ssä ja nousi kesällä korkeimmillaan noin 15 °C:hen. Varastotilan lämpötilaa ei käytännössä säädetä rakennuksessa, sillä ilmanvaihdon ja lämmityksen käyttöä pyritään välttämään. Piste 2.1 sijaitsi rakennuksen ulkopuolella, joka näkyy myös selvästi lähimpänä pintaa olevan lämpötila-anturin lukemien vaihtelevuudessa (kuva 6, oikealla).

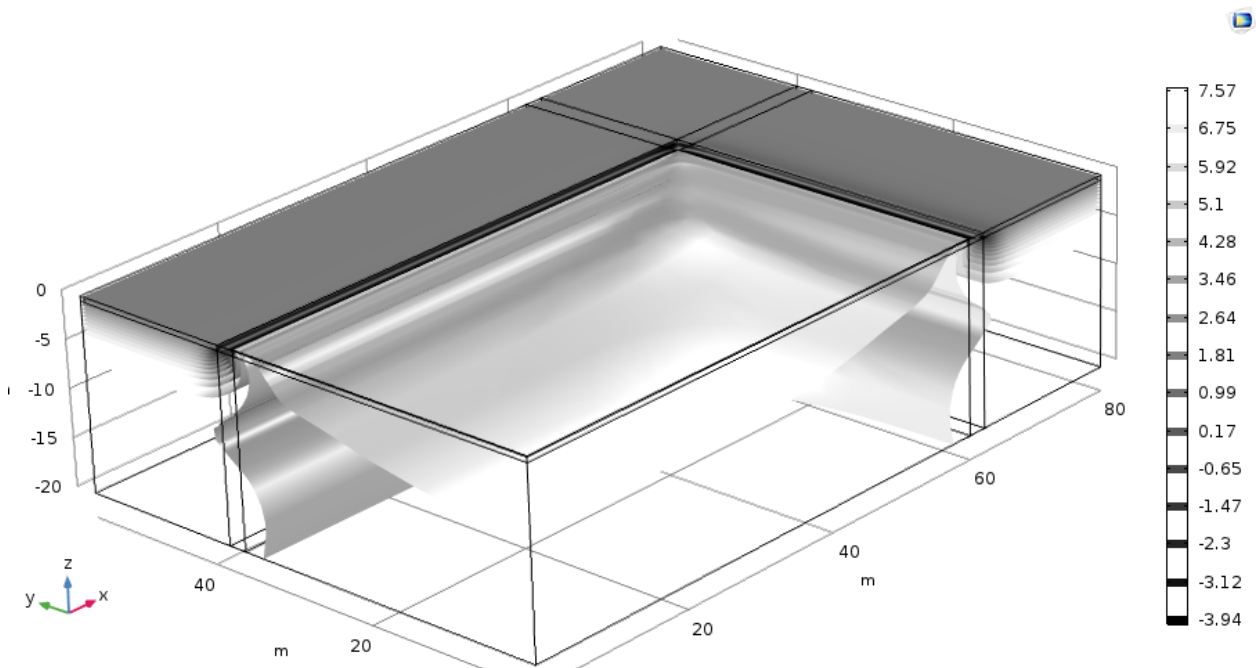
Kuvista 5 ja 6 nähdään, että Cmsol Multiphysics -ohjelmalla mallinnetut ajasta riippuvat lämpötilat ovat keskimäärin hyvin lähellä mitattuja arvoja ja mittauspisteessä 2.2 jopa yllättävän lähellä. Tämä on kuitenkin osittain sattumaa, sillä maan tarkkoja materiaaliominaisuuksia ei ollut tiedossa. Sekä mittaus- että mallinnustulosten mukaan rakennuksen sisäpuolella olleiden pisteiden 2.2 ja 2.3 lämpötilat olivat hyvin lähellä toisiaan, vaikka piste 2.3 oli 4 metriä sisempänä ulkoseinästä.



Kuva 7. Mittauspisteiden 2.2 ja 2.3 läheisyydestä mitatut lämpövirran tiheydet ja niitä vastaavat mallinnustulokset.

Kuvasta 7 nähdään, että Cmsol Multiphysics -ohjelmalla saatujen mallinnustulosten mukaisten lämpövirran tiheyksien itseisarvot pisteissä 2.2 ja 2.3 ovat selvästi suurempia kuin vastaavat mitatut arvot. Yksittäistä selittävää syytä tälle on vaikea sanoa. Epätarkkoilla materiaaliominaisuuksilla on oletettavasti suurempi vaikutus mallinnettuihin lämpövirran tiheyksien tarkkuuteen kuin lämpötilojen tarkkuuteen. Lisäksi reunaehtoina käytetyt sisäilmasta mitatut lämpötilat (mittauspisteessä 2 ulkoseinän läheisyydessä noin 3 metrin korkeudessa) eivät välttämättä ole lattian läheisyydessä olevaa ilmaa edustavia.

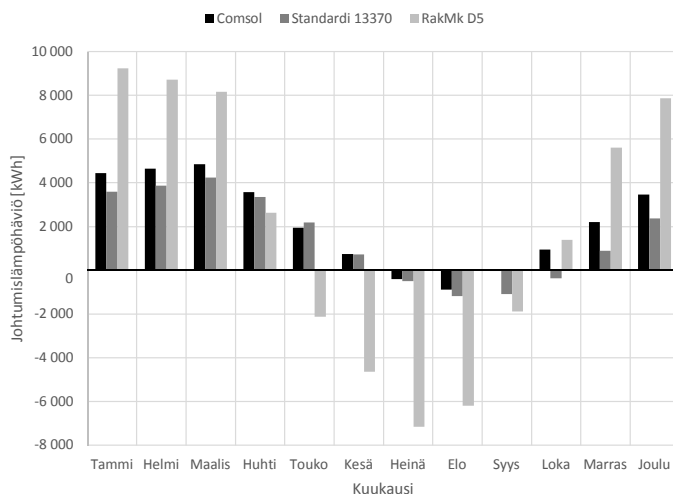
Kuvassa 8 on esitetty mallinnustulosten mukainen maan lämpötilakenttä isothermisten pintojen avulla esitettynä helmikuun 15. päivänä, kun mallinnuksessa käytettiin sisäilman lämpötilana vakioarvoa 8 °C ja ulkoilman olosuhteina TRY 2012 Vantaan lämpötiloja.



Kuva 8. Lämpötilakenttä helmikuun 15. päivänä isothermisten pintojen avulla esitettynä.

Kuvasta 8 nähdään, että mallinnustulosten mukaan alapohjan alapuolinen maa pysyy suurimmalta osin lähellä sisälämpötilaa (kuvassa lämpimin isotherminen pinta 7,57 °C) myös kylmänä kautena, joka tarkoittaa myös sitä, että alapohjan läpi johtuva kokonaislämpövirta on pieni, kun lämpötilaero sisäilman ja alapuolisen maan välillä on pieni.

Kuvassa 9 on esitetty RakMk D5:n mukaisella tavalla, standardissa SFS-EN ISO 13370 esitetyllä tarkemmalla tavalla sekä Comsol Multiphysics -ohjelmalla lasketut kuukausittaiset alapohjan johtumislämpöhäviöt, kun ulkoilman olosuhteina käytettiin energialaskennan testivuotta TRY 2012 Vantaa.



Kuva 9. Eri laskennallisilla tavoilla määritetyt kuukausittaiset alapohjan johtumislämpöhäviöt.

Kuvasta 9 nähdään, että RakMk D5:n mukaisella yksinkertaisella tavalla lasketut kuukausittaiset alapohjan lämpöhäviöt sekä kesäisin lämpökuormat ovat selvästi mallinnustuloksia suurempia. Sen sijaan SFS-EN ISO 13370 mukaiset periodisilla lämmönsiirtokertoimilla lasketut kuukausittaiset lämpöhäviöt ovat varsin lähellä mallinnustuloksia ja menetelmää voidaan siksi pitää oleellisesti tarkempaan, kun kyseessä on pohjapinta-alaltaan suuri rakennus.

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksessa tarkasteltiin laskennallisesti ja kenttämittausten avulla Hankoon vuonna 2015 valmistunutta suurta hallirakennusta. Rakennuksen alapuolisen maan lämpöteknistä käyttäytymistä mallinnettiin Comsol Multiphysics -laskentaohjelmalla, jonka tuloksia verrattiin kenttämittauksiin sekä yksinkertaisempiin energiankulutuksen taulukkolaskentamenetelmiin. Tulosten mukaan RakMk D5:ssä esitetty tapa laskea alapohjan kuukausittaiset lämpöhäviöt voi johtaa yliampuviin tuloksiin, kun kyseessä on pohjapinta-alaltaan suuri rakennus. Kyseistä laskentamenetelmää ei tulisi siksi käyttää esimerkiksi mitoittaessa tarvittavaa lämmöneristeen määrää pinta-alaltaan suuressa maanvastaisessa alapohjarakenteessa.

Kenttämittausten mukaiset lämpötilat maassa eri syvyyksillä ja eri pisteissä olivat lähellä mallinnustuloksia. Tämä on osin kuitenkin sattumaa, sillä maan lämpöteknisiä materiaaliominaisuuksia ei tunnettu tarkasti, vaan laskennassa käytettiin RakMk C4:ssä esitettyjä taulukkoarvoja moreenille. Mallinnustulosten mukaiset lämpövirran tiheydet alapohjan betonilaatan alapuolella olivat itseisarvoltaan selvästi mitattuja arvoja suurempia. Laskennallisesti määritettyjen lämpövirran tiheyksien tarkkuuteen vaikuttaa myös sekä epätarkkuudet materiaaliominaisuuksissa että reunaehtojen tarkkuus. Mitattu sisäilman lämpötila 3 metrin korkeudesta ulkoseinän lähellä ei välttämättä edustanut hyvin ilman lämpötilaa lähellä lattian rajaa. Lisäksi on otettava huomioon, että lämpövirtalevyjen syöttämä ulostulojännite on hyvin pieni (noin $60 \cdot 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/\text{m}^2)$) eli sen mittaustulokset sisältävät myös epävarmuutta.

Vaikka tutkimuksen kohteena ollut rakennus kuuluu RakMk D3:n mukaan käyttötarkoitukseltaan luokkaan 9 eikä sille siten ole asetettu esimerkiksi vaatimusta E-luvulle [7], tutkimustulosten johtopäätökset ovat voimassa kuitenkin myös käyttötarkoitukseltaan mille tahansa rakennukselle, jonka pohjapinta-ala on suuri (sekä absoluuttisesti että rakennuksen piiriin verrattuna).

6. Kiitokset

Kiitämme lämpimästi Veikko Sallia ja Mojama Oy:tä tutkimuksen tilaamisesta ja rahoittamisesta.

Lähdeluettelo

- [1] COMSOL Multiphysics Reference Manual (v. 5.3) 1480 s.
- [2] Internet-lähde: <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data> Viitattu 20.9.2017
- [3] Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen, R., Ilomets, S., Saku, S. & Hutila, A. (2011) Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista. Raportteja 2011:6. Ilmatieteen laitos, Helsinki. 110 s.
- [4] Suomen Rakentamismääräyskokoelma D5 (2013) Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2012. Helsinki, Ympäristöministeriö. 74 s.

- [5] SFS-EN ISO 13370 (2017) Thermal performance of buildings heat transfer via the ground. Calculation methods (ISO 13370:2017). Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 60 s.
- [6] Suomen Rakentamismääräyskokoelma C4, luonnos (2012) Lämmöneristys. Ohjeet 2012. Helsinki, Ympäristöministeriö. 47 s.
- [7] Suomen Rakentamismääräyskokoelma D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki, Ympäristöministeriö. 35 s.

U-arvojen mittaukset nopeasti ja tarkasti – periaatteet ja mahdollisuudet

Mikael Paronen
Arcada

Tiivistelmä

Todellisten U-arvojen tunteminen ja validointi on oleellista kustannustehokkaassa korjausrakentamisessa ja laadunvalvonnassa myös uudisrakennusten osalta. Nopeilla U-arvojen mittauksilla sekä työvoima- että laitekulut voidaan kohtuullistaa ja tämän myötä saada aikaan täysin uusi tapa toimia siten, että lopulliset rakennuslaadulliset ja euromääräiset energiatasetavoitteet voidaan saada aikaan valvotusti ja tarvittavilla kontrollimittauksilla varmentaan.

Nopeat U-arvojen mittaukset kenttäolosuhteissa asettavat suuria vaatimuksia sekä mittalaitteille että mittauksia suorittavien henkilöiden osaamiselle. Nopea mittausta tarkoittaa käytännössä mittaushetkellä tapahtuvaa lämpövuon rekisteröintiä. Mittaustulosten vastaavuus todellisten U-arvojen kanssa määräytyy mittauskohdan edustavuuden ja mitatun rakenne-elementin termisen tasapainon perusteella. Käytännössä U-arvojen mittaukset vaativat lämpökamerapohjaista mittauskohtien valintaa ja mitattujen U-arvojen suhteuttamista vastaaviin pinta-aloihin. Merkittävimmät riskit mittausten tarkkuuteen liittyvät auringon säteilyvaikutukseen pintalämpötilojen osalta, ulkoilman lämpötilan nopeisiin muutoksiin suhteessa mitatun kohteen termiseen hitauteen samoin kuin mittauskohdan tasaisuuteen erityisesti pistemäisten lämpösiltojen osalta. Näiden lisäksi mittauskohteiden sisäolosuhteet voivat vaikuttaa oleellisesti tulosten luotettavuuteen, joista merkittävimmät tekijät ovat paikallisten tekijöiden muutokset suhteessa lämpötilaan (tuuletus ja lämmitys).

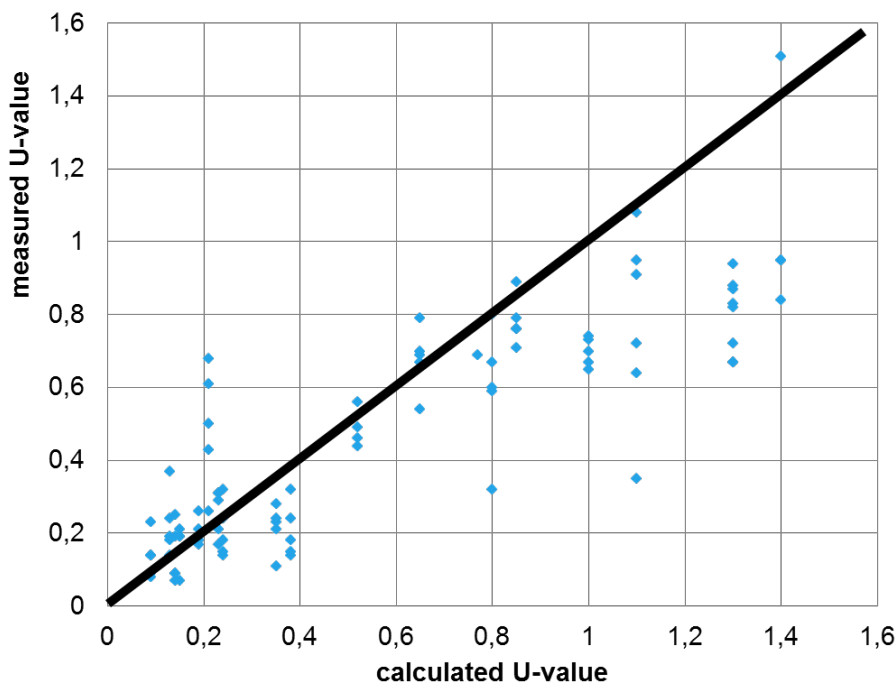
1. Johdanto

Ilmastonmuutosta on tähän asti pidetty tilastollisesti tulkittuna seikkana ja mahdollisena uhkana. Tilastoissa seurataan säätilan muutosta pitkällä aikajaksolla ja kansalliset mittaukset vuositason eivätkin kerro mitään maailmanlaajuisista muutoksista. Viimeisimmät havainnot keskilämpötilojen noususta, jääaluiden pienenemisistä ja hyvin poikkeuksellisten sääolosuhteiden esiintymistä indikoivat selvästi muuttuvasta ilmastosta, jonka muutosnopeutta ei voida ennustaa eikä myöskään sen dramaattista lopputulosta. Edellinen toteamus perustuu siihen seikkaan, että tunnemme toki nykytilanteen, mutta muutokset kasvihuonepäästöjen osalta määräytyvät tulevien päätösten perusteella ja kumulativista kasvihuonepäästöistä. Pwcn laskelmien mukaan +2 °C sallimasta CO₂-budjetista tämän vuosisadan osalta on käytetty jo noin 50 % ja vuoden 2034 jälkeen jatketaan ilman päästöjä. [1]

Toisen näkökohdan mukaisesti, jotta 2 °C vaatimat CO₂-tavoitteet voidaan toteuttaa, vaatii se sekä hyvin dramaattisia muutoksia, että kansainvälisiä sopimuksia. Päästötavoitteiden saavuttaminen edellyttää kasvihuonepäästöjen puolittamisen kerran 10 vuodessa ja saman periaatteen tulee jatkua seuraavien 4 vuosikymmenten aikana [2].

Saksan energiakäännös (Energiewende) on tähän asti keskittynyt uusiutuvan energian hyödyntämiseen varsin kyseenalaisin seurauksin; sään mukaan vaihtelevaa tuotantoa on korjattu ostoilla naapurimaista, joissa äkilliset tehokuormat aiheuttavat merkittäviä ongelmia [3]. Saksa on uusinut myös energiatehokkuusstrategiansa kiinteistöjen osalta. Sen mukaan kullekin rakennukselle laaditaan henkilökohtainen päivityssuunnitelma ja se toteutetaan tulevien vuosikymmenten aikana. Suunnitelma johtaa lopulta nollaenergiatilanteeseen. [4] Strategian onnistuminen vaatii sen kautta saatavien hyötyjen realisoitumista laskelmien mukaisesti. Tässä suhteessa eurooppalaisen pankkijärjestön raportti linjaa tarvittavat toimenpiteet [5]. Tarvittavista toimista tietoa päätöksentekoon on merkittävin, toisin sanoen tarkkaa ja varmaa tietoa siitä, kuinka kannattavia eri muutokset energiataseen osalta ovat. Koska lämmitysenergia on merkittävin energiantarve kiinteistöissä, ovat siis U-arvot avainasemassa myös päätöksenteon kannalta.

U-arvojen laskeminen on teoriassa helppoa, mutta koska laskettavien rakenteiden todellista kuntoa ei tunneta, on lopputulos täysin sattumanvarainen. Todelliseen kuntoon vaikuttaa sekä rakentamistapa, että rakenteiden altistuminen ympäristölle. Kuvassa 1 on esitetty todellisten U-arvojen korrelaatio laskettujen arvojen kanssa ja on ilmeistä, että tarvittavaa korrelaatiota ei ole siitäkään huolimatta, että mittauskohteina oli terveinä pidettyjä kiinteistöjä [6]. Toisin sanoen laskennallisiin U-arvoihin perustuvat suunnitelmat onnistuvat sattumanvaraisesti. Lisäksi esimerkiksi lisäeristyksen osalta tehtävät toimet johtavat siihen, että kosteusvauriot haudutetaan vieläkin tehokkaammin.



Kuva 1. Mitattujen ja laskettujen U-arvojen korrelaatio kotimaisilla seinärakenteilla ja ikkunoilla [6].

2. U-arvojen mittaus nopeasti, mutta tarkasti

Nopeat U-arvojen mittaukset edellyttävät mitattavien rakenteiden termisen tasapainon tunnistamisen ja mittauskohtien validoinnin ennen mittausten aloitusta. Näiden jälkeen varsinaiset mittaukset voidaan toteuttaa sellaisen systematiikan mukaisesti, joka perustuu

termisen historian tuntemiseen, lämpökamerakuvaukseen ja varsinaisiin U-arvon mittauksiin sekä niihin liittyvien korjauskertoimien määrittäisiin. Löydetyt U-arvopoikeamat analysoidaan tarkemmin lopuksi lisätietoa tuottavilla mittauksilla, joiden avulla voidaan selvittää, mistä syystä mitatut U-arvot poikkeavat odotetuista arvoista.

2.1 Terminen historia

Nopea mittaus tarkoittaa sen hetkisen tilanteen rekisteröintiä. U-arvojen osalta tarvitaan siis oikea mittaushetki, jotta mitattava rakenne on termisessä tasapainossa Termisen tasapainon määrittävät rakenteiden termiset hitaudet samoin kuin ulko- ja sisälämpötiloissa tapahtuneet muutokset ja auringon säteily. Mittausten laadun kannalta on siten oleellista, että kohteen lämpötilahistoria tunnetaan riittävän pitkältä jaksolta ja mittauskohdat ovat riittävän edustavia. Käytännössä termiseen historiaan liittyvät mittaukset tulee toteuttaa kaikilla niillä ulkovaipan ilmansuunnilla, joilla U-arvon mittauksia tullaan tekemään. Termisen historian osalta mittaukset tulee tehdä ulkoilman lämpötiloille, seinäpintojen lämpötiloille ja luonnollisesti myös sisälämpötilan osalta. Ulkoilman lämpötila kertoo tarvittavat tiedot sen muutoksista. Seinäpintojen keskinäiset lämpötilaerot ja muutokset niissä indikoivat suoraa auringon säteilystä ja sen lämmittävästä vaikutuksesta. Mitatut lämpötilat tulee liittää raporttiin, jotta U-arvojen mittaustulosten validointi on mahdollista myös myöhemmin. Pilveen tallentavat lämpötilaloggerit ovat paras vaihtoehto mittausten suorittamiseksi, sillä ne mahdollistavat lämpötilan jatkuvan seurannan ja tarvittaessa lisäohjeistuksen antamisen kiinteistön käyttäjälle. Toinen merkittävä etu tulee siitä, että liian suurten lämpötilamuutosten myötä siirtyvät mittaukset voidaan todeta ilman kohteessa käyntiä.

2.2 Valmistelevat toimet ja olosuhdemittaukset

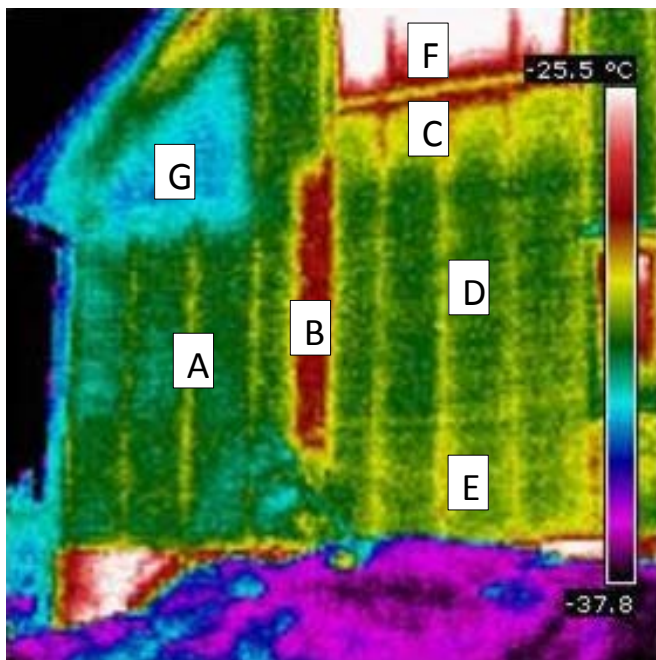
Ennen varsinaisia U-arvon mittauksia mittaustilanteen vallitsevat sääolosuhteet tulee mitata ja dokumentoida hyvin tarkasti. Vallitseva tuulensuunta ja nopeus, ulkoilman lämpötila ja auringon säteilyintensiteetti mitataan ja kirjataan raporttipohjaan. U-arvomittausten aikana tilannetta seurataan, ja mikäli muutoksia havaitaan, niin tällöin nekin kirjataan ja otetaan niiden mahdollinen vaikutus huomioon. Nämä seikat ovat hyvin identtisiä lämpökamerakuvauksen olosuhdevaatimusten kanssa, mutta johtuen U-arvojen kvantitatiivisesta mittaumenetelmästä näitä olosuhteita voidaan ja niitä pitääkin käyttää mittaustulosten laskennassa korjauskertoimien kautta [7].

Normaalissa laskennassa lämmönsiirtovastus ulkoseinästä ilmaan (R_{se}) perustuu 4 m/s tuulennopeuteen. Koska tuuliolosuhteet vaihtelevat päivittäin, tulee todellinen tuulennopeus korjata mitattujen U-arvojen laskennassa. ISO 8968- standardi sisältää tarvittavat korjauskertoimet [8]. U-arvomittausten suhteen tuulen nopeus eri julkisivusuunnille huomioidaan edellä mainittujen korjauskertoimien avulla.

Auringon säteilyvaikutus voidaan kompensoida läpinäkyvien rakenteiden mittauksissa, sillä niissä sen vaikutus on suhteellisen hyvin arvioitavissa. Sisään tuleva säteilyteho kompensoi lämmönjohtumista, mutta suorien korjauskertoimien käyttö tässä suhteessa vaatii syvää perehtymistä asiaan ja kokonaisuuden ymmärtämisestä yksityiskohtaisesti. Tähän osaamistasoon pääsemistä ennen mittauksia tulee siten suorittaa sellaisilla julkisivurakenteilla, jotka eivät ole altistuneet ennen mittausta merkittäväälle auringonpaisteelle. Tämä varmennetaan eri ilmansuunnilla olevien julkisivujen pintalämpötilamittauksilla. Helpoin tapa varmistaa tulosten oikeellisuus on kuitenkin aina mitata pilvisellä säällä tai auringon laskettua.

2.3 Lämpökamerakuvaus mittauskohtien määrittämiseksi

Kunkin U-arvon mittauskohdan tulee olla tarkasti valittu ja sen edustavuus tietylle ulkovaipan alalle tunnettu. Koska U-arvojen mittauksissa mitataan lämpövuota, tapahtuu mittauskohtien valinta lämpökamerakuvauksen avulla. Lämpökamerakuvista todetaan mahdolliset pintalämpötilan vaihteluun liittyvät kohdat ja niiden pinta-alat. Summaamalla mitatut U-arvot ja niihin liittyvät pinta-alat koko rakennuksen osalta rakennuksen ulkovaipan kautta tapahtuva rakennusfysikaalinen lämmönjohtuminen voidaan laskea erittäin tarkasti sulkemalla pois käyttäjän vaikutus. Toinen merkittävä lämmönsiirtymismekanismi eli ilmavuoto voidaan määrittää myös ja lisätä sen vaikutus energiataseeseen.



Kuva 2. Esimerkki lämpökamerakuvasta ja se perusteella valituista mittauskohdista U-arvon mittauksille.

2.4 U-arvojen mittaus

Käytettävissä olevia U-arvojen nopeita mittalaitteita on suhteellisen vähän ja nopeuden käsitekin vaihtelee näiden välillä kertaluokkia. Nopeimmalla laitteella yksittäinen mittaus voidaan suorittaa noin tunnissa, mutta tavanomainen mittausaika on vähintään vuorokauden. Tunnetuimmat laitemerkit ovat Hukseflux, Sensmee ja Testo sekä uusimpana tulokkaana on Arcadassa kehitetty laite. Sensmeen ja Teston laitteet perustuvat lämpötilan kolmipistemittaukseen ja Hukseflux mittaa lämpövuohon reagoivalla elektroniikalla. Arcadan laite poikkeaa näistä oleellisesti, sillä sen toimintaperiaate perustuu mittauskohdassa tapahtuvan lämpövuon imitointiin ja sitä kautta määritettävään U-arvoon. Huksefluxilla mittausajaksi suositellaan kahta viikkoa, Sensmeen ja Teston laitteiden osalta käytäntö on osoittanut, että mittausaika tulee olla vähintään vuorokauden. Arcadan laite poikkeaa näistä oleellisesti, koska sillä mittausaika on tyypillisesti noin tunnin.

Mittausten määrä kussakin kohteessa määräytyy mittauksen tarkoitusten ja lämpökameralla havaittujen poikkeamien perusteella. Koska mittausaika ja kohteessa tarvittavien käyntien määrä määräävät mittauksista laskutettavan hinnan, on ilmeistä, että mittausaika tulee olla mahdollisimman lyhyt. Lisäksi mittauksia tulee suorittaa samanaikaisesti mahdollisimman monella laitteella henkilöstökulujen minimoimiseksi mittauksia kohti. Kaikki edellä mainitut U-

arvon mittalaitteet toimivat itsenäisesti mittauksen käynnistyttyä ja siten samanaikainen operointi usealla laitteella on mahdollista.

Skannaus pistemäisten tai viivamaisten lämpösilojen osalta tehdään sekä lämpökameralla että rakennetunnistimella. Rakennetunnistimen etuna on sen ylivoimainen herkkyys metalleille. Sen avulla U-arvon mittauskohta voidaan valita riskittömäksi mittausvirheiden suhteen; esim. mittalaitteen alla oleva ruuvi tai metallinen ranka/tukirakenne johtaa täysin virheelliseen mittaustulokseen.

Mittalaitetta mittauskohtaan asetettassa tulee huomioida mittalaitteen ja mittauskohdan lämpökapasiteetit ja lämpötilat juuri ennen mittausta. Jos lämpötilaerot ovat merkittäviä voi mittalaitteen aseuttaminen mittauskohtaan johtaa mittauspinnan lämpötilan merkittävään muutokseen ja tämän myötä lateraaliseen lämmönsiirtymiseen. Tämän johdosta mittausajan minimointi ja mittaustarkkuuden maksimointi edellyttää laitetermostointia mittauskohdan lämpötilan suhteen ennen mittauksen aloitusta.

Myös mittausperiaatteen asettamat vaatimukset fysikaalisen kontaktin osalta tulee huomioida mittaustarkkuuden varmistamiseksi. Esimerkiksi Huksefluxin laitteille on suositus käyttää termisesti hyvin johtavaa pehmeää kontaktimassaa mittalaitteen ja mitattavan pinnan välissä. Mittauskontaktin tulee olla lisäksi vakio koko mittauksen ajan.

Mittaustuloksista lasketaan todellinen U-arvo mittalaitteen antaman datan perusteella ja tarvittaessa käyttämällä muita mitattuja arvoja. Tavanomaisimmin käydyt arvot liittyvät mitattuun lämpövuohon ja sisä- ja ulkoilman samoin kuin sisäpinnan lämpötilaan. Esimerkkinä kaavassa 1 on annettu Arcadan mittalaitteen vaatimat muuttujat ja laskentakaava.

$$U - value = \frac{1}{R_{si} + R_{se} + R_{ADAPTER} + R_{wind\ corr} + \left(\frac{(T_{in} - T_{out}) * A}{P (electronics + heating + solar)} \right)} \quad (1)$$

missä R_{si} = sisäpinnan lämmönsiirtymisvastus
 R_{se} = ulkopinnan lämmönsiirtymisvastus
 $R_{ADAPTER}$ = karkeiden pintojen vaatiman adapterin vakioitu korjauskerroin
 $R_{wind\ corr}$ = tuulikorjauskerroin
 T_{in} ja T_{out} = mitatut ilmanlämpötilat ulkona ja sisällä
 A = mittalaitteen rungon peittämä pinta-ala mittauskohdassa
 $P (electronics + heating + solar)$ = todennetut lämmöt liittyen mittalaitteen sisäiseen lämmöntuottoon (electronics), mittaustasapainon aikana rakenteeseen syötetty lämmitysteho (heating) ja auringon säteilyteho (solar)

2.5 U-arvonnittausten sovellutukset

Todellisten U-arvojen tuntemisen pitäisi olla kaiken rakentamiseen ja rakennuksien energiatehokkuuteen liittyvien toimien perusta. Katsottaessa tilannetta laajemmalla perspektiivillä ja mietittäessä mitä hyötyä U-arvoista voi olla jo nykyisistä palveluista löytyy seuraavat suorat sovellutukset:

- Energiatodistus
- Kuntotutkimus

- Korjausrakentamisen suunnittelutieto
- Laadunvalvonta sekä uudistuotannon että korjausrakentamisen osalta
- Rakennekosteuden epäsuora mittaus ja kuivumisen etenemisen seuranta
- Historiallisten rakenteiden tutkimus

3. Yhteenveto

U-arvojen kenttämittaukset mahdollistavat tarkkojen kuntotietojen hankkimisen eri tyyppisille kiinteistöille. Mittaamalla määritetyt tiedot mahdollistavat energiatehokkuustoimille tehtävien kannattavuuslaskelmien riskittömyyden, sillä sekä lähtötilanteen suunnitteluarvot että lopulliset U-arvot perustuvat todellisuuteen. Todellinen energiatarpeen muutos perustuu U-arvojen muutoksiin ja paikalliseen lämmitystarvelukuun. U-arvomutoksia voidaan hyödyntää myös mukavuuslaskelmissa, sillä U-arvot vaikuttavat termiseen mukavuuteen ja asymmetriaongelmiin. Luotettavien kannattavuuslaskelmien mahdollistuminen tulee itse asiassa muuttamaan koko investointilogiikan. Mahdollisuus verrata lisäeristyksen tuottaman energiasäästön määrää sen vaatimaan investointisummaan antaa tulokseksi säästetyn energian hinnan; se pitää kaikissa tapauksissa olla alhaisempi kuin ostettu energia. Samaa lukua voidaan myös verrata mihin tahansa muuhun energiatehokkuutta parantavaan toimeen; esim. lämpöpumppuun tai aurinkosähköjärjestelmään.

U-arvojen kenttämittaukset voivat tuottaa äärimmäisen arvokasta tietoa hyvin kohtuullisilla kustannuksilla. Mittausten nopeus johtaa kuitenkin siihen, että mittaajan tulee tuntea huomattavasti tavanomaista paremmin mittausmenetelmän periaatteet yksityiskohtaisesti ja rajoitteet tarkkuuden suhteen. Erityisesti mittauskohteen tuntemus lämpötilahistorian ja auringonsäteilyn osalta on oleellinen tieto sen varmistamiseksi, että mittauskohde on termisessä tasapainossa. Edellä mainittujen hallinta edellyttää olemassa olevaan kirjallisuuteen perehtymistä ja hallintaa sekä soveltuvaa täydennyskoulutusta samoin kuin kokemusta kenttämittauksista.

Lähdeluettelo

- [1] Johnson, L. Grant, J. Ping Low, L. 2013 Busting the carbon budget: Low Carbon Economy Index, www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change
- [2] Rockström, J. Gaffney, O. Rogelj, J. Meinshausen, M. Nakicenovic, N. Scellnhuber, HJ. 2017. A Roadmap for rapid decarbonization, *Science* 355 (6331), 1269
- [3] Bertram, R. 2017. Why Germany needs a European Energiewende. www.energytransition.org
- [4] 2017. <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energieeffizienzstrategie-gebaeude.html>
- [5] EEFIG, Energy Efficiency – the first fuel for the EU Economy: How to drive new finance for energy efficiency investments. 2015. <http://ec.europa.eu/energy/en/news/new-report-boosting-finance-energy-efficiency-investments-buildings-industry-and-smes>
- [6] Kivelä, M. 2017. U-arvon mittalaitteen kenttätestaukset. Amk-lopputyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2016060311746>
- [7] RT-10850. 2016. Rakennuksen lämpökuvaus - Rakenteiden lämpötekninen toimivuus. Rakennustieto
- [8] ISO 6946. 2007. Building components and building elements- Thermal resistance and thermal transmittance- Calculation method.

A10. Toimivat ja kestävät rakennukset

Toimivuustarkastusten merkitys rakennuksen elinkaarelle

Pirkko Pihlajamaa¹, Sakari Uusitalo¹ ja Olli Teriö²

¹ Tampereen ammattikorkeakoulu

² Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikka

Tiivistelmä

Ainoastaan toimiviksi saatetuilta ja toimivina pidetyiltä ratkaisuilta voidaan odottaa energiatehokkuutta koko rakennuksen elinkaaren aikana. Rakennusten toimivuuden tarkastamiseen ja arviointiin on kehitetty menetelmä viestintätyövälineineen. Viestintätyövälineen avulla saadaan nykyistä ymmärrettävämmin viestitettyä tietoa käyttäjille, päättäjille ja tekniselle väelle todellisesta rakennuksen toimivuudesta.

Toimivuustarkastelulla tarkoitetaan vastaanoton ja takuutarkastusten jälkeisiä toimia, joilla pyritään varmistamaan hyvät sisäolosuhteet ja, että rakennusta käytetään energiatehokkaasti. Toimivuustarkastuksessa katselmoidaan, että sisäolosuhteet ovat suunnitelmien, ja alkuperäisten tavoitteiden mukaiset, talotekniikan toiminta vastaa rakennuksen tilojen todellista käyttöä sekä rakennus on käytön ja huollon kannalta toimiva ja rakennusta käytetään ja huolletaan oikein. Katselmuksen lisäksi kohteessa tehdään tarpeen mukaan käyttäjäkysely, käyttäjähaastatteluja, erilaisia mittauksia ja seurantadatan analysointia. Vastaanoton ja takuutarkastusten jälkeiset toimivuustarkastelut ja edellytykset niiden tekemiseen on huomioitava jo hanke- ja toteutus suunnitteluvaiheessa.

1. Johdanto

Tampereen alueen palvelurakennukset energiatehokkaiksi ”TAPRE”-hankkeen yhteydessä 2014 on luotu toimivuustarkasteluille ensievästykset, joita on pilotoitu ja kehitetty edelleen COMBI-hankkeessa loppukäyttäjätasvälliseen suuntaan päätöksenteon helpottamiseksi. Varsinkin julkisissa rakennuksissa on haasteellista tuottaa ja välittää juuri sellaista tietoa, joka motivoi niin tilojen loppukäyttäjiä, tilojen huoltohenkilöstöä kuin kuntapäätäjiäkin ponnistelemaan rinta rinnan yhdessä energiatehokkaisuun ja turvallisiin toimintatapoihin. Seurannan ja arvioinnin yksinkertaiset työkalut ovat tarpeen.

COMBI-hankkeessa syntyvässä tuloskortissa tullaan valottamaan toimivuustarkastelujen sisältöä, esiin tulleita haasteita ja kerrotaan ratkaisuehdotuksista toimivuustarkastelujen hyödynnettävyyden parantamiseksi niin, että henkilöt käyttäjistä päättäjiin voisivat ja motivoituisivat osallistumaan energiatehokkaan ja turvallisen rakennuksen aikaansaamiseksi ja ylläpitämiseksi.

2. Toimivuustarkastustyökalun tarkoitus

Kuten jo TAPREssa aikanaan oli ilmaistu, hyvin tehty suunnittelu ja laadukas toteutus ovat edellytys laadukkaalle ja energiatehokkaalle uudis- ja korjausrakentamiselle unohtamatta hyvin toteutettua käyttöönottoa käyttäjäopastuksineen. Toimivuustarkastuskortin avulla selkeytetään ja yhdenmukaistetaan rakennushankkeen toimivuuden arviointia sovittujen toimivuus-, olosuhde- ja energiatehokkuustavoitteiden aikaansaamiseksi. Kortin tiedonvälitystyökaluun kirjataan

toimivuustarkastuksessa tarkastetut keskeiset asiat väittämämuodossa ja arvioija ilmaisee asteikolla 1-5, kuinka hyvin väittäjä pitää paikkansa. Varsinkin niille käyttäjille ja päättäjille, jotka eivät ole rakentamisan ammattilaisia, ammattitaitoisen arvioijan antama arvosana kertoo oleellisesti enemmän kuin esim. pelkästään jonkin puutteen kirjaus. Luonnollisesti puute kirjataan erikseen ammattilaisia varten erilliseen dokumentointiosaan jatkotoimenpide-ehdotuksineen. COMBI-tuloskortti otetaan käyttöön rakennuttajan toimesta jo hankesuunnitteluvaiheessa, jotta ollaan alusta lähtien tietoisia ja varautuneita, miten toimivuutta on tarkoitus myöhemmin arvioida ja jotta ko. arvioinnin tekeminen on mahdollista toteuttaa.

3. Toimivuustarkastusten sisältö ja laajuus

Toimivuustarkasteluille voidaan nimetä kaksi eri lähtökohtaa riippuen siitä, mitä tavoitellaan. Ensimmäinen lähtökohta on, että tarkasteluissa selvitetään, toimiiko kiinteistö siten kuin se on alun perin ajateltu ja suunniteltu toimivan eli onko alkuperäiset kirjatut tavoitteet saavutettu. Toinen lähtökohta on, vastaako kiinteistö toimivuusvaateiltaan tämänhetkistä tai lähitulevaisuuden tarpeita. Alkuperäisen hankesuunnitteluvaiheen toimivuustavoiteasetannan ja toimivuustarkastelujen välinen aika on helposti yli 5 vuotta ja tarpeet ym. ovat saattaneet muuttua sinä aikana.

Periaatteessa vastaanotto- ja takuutarkastuksissa tehtyjen puutekorjausten jälkeen em. ensimmäinen lähtökohta pitäisi olla kunnossa, mutta missään COMBI-kohteessa (kaikki kohdekiinteistöt olivat vajaa 10 vuotta vanhoja) näin ei käytännössä ollut. Myöskin yksilöityjen tavoitteiden kirjauksissa oli runsaasti puutteita. Saadun kokemuksen perusteella näyttää siltä, että moniportaisille ja määräajoin tehtäville tarkastusprosesseille ja seurantakäytänteiden tarkastukselle on tarvetta.

Kuten TAPREssa jo oli kirjattuna, toimivuustarkastelujen laajuus ja sisältö kannattaa tilaajan harkita tapauskohtaisesti. TAPREssa laajuusvaihtoehtoiksi on ehdotettu seuraavia neljää, joiden tarkempi sisältö on esitetty TAPREn aineistossa:

- energiatehokkuustarkastelu,
- sisäympäristön laatutarkastelu,
- käytettävyyden ja huollettavuuden tarkastelu sekä
- laajennettu toimivuustarkastelu.

Toimivuustarkastuksia kannattaa tehdä määrävälein (esim. 3 vuoden välein) ja kun alkuvaiheessa on tehty laaja tarkastus, voidaan myöhemmin tai aika ajoin tehdä kohdennetumpi tarkastus.

COMBIssa pilotoitiin laajaa toimivuustarkastelua ja mukaan siihen otettiin myös huollettavuuteen läheisesti liittyvä siivottavuuden tarkastelu. Haastatteluissa mukana olivat erikseen käyttäjät ja huoltohenkilöstö siivoojineen. Kartoitus- ja mittauskohteina olivat lähinnä olosuhteet, ilmanvaihtuvuus, yleensä talotekniikan toimivuus järjestelmittäin (LVI, AU ja sähkö) sekä energiakulutuksen ym. seurantamahdollisuudet. Haastatteluissa ja kartoituksissa tuli esiin myös rakennus- ja tilankäyttöasioita.

Erityishuomiona kohdetarkasteluista nousi esiin, että pääosin käyttäjät ja huoltohenkilöstö eivät olleet tietoisia olosuhteiden tavoitearvoista eivätkä energiankulutuksesta ja sen seurantamahdollisuudesta tavoitearvoineen. Toinen erityishuomio oli, että COMBI-kohteiden huoltohenkilöillä oli suuri määrä kohteita vastuullaan ja rutiinityöt kuormittivat vahvasti madaltaen kehitysideoiden havainnointia, selvittelyä ja eteenpäin vientiä.

COMBIssa kehitetyn TAPRE-tyyppisten toimivuustarkastelujen ja varsinkin niiden perusteella laaditun yksinkertaisen viestintätyökalun vahvuutena on tiedonkulun jämäköityminen käyttäjien, huoltohenkilöstön ja päättäjien välillä. Aiemminkin on tehty erilaisia toimintatarkastuksia toimenpide-ehdotuksineen, mutta lopputulosviestintä laajan väen ymmärrettävyyden osalta on jäänyt niissä puutteellisen suppeaksi. Toinen vahvuus on toistettavuusmahdollisuus. Kun tiedetään, mihin kaikkiin kysymyksiin arviointineen tulee vähintään löytää vastaus, viestintätaulukkoa voidaan helposti päivittää.

Toimivuustarkastuksen kulku voidaan yksinkertaisimmillaan esittää prosessikaavion avulla ja tulokset tarkastuksesta yksinkertaisella viestintäkortilla (taulukko 1).

TOIMIVUUSTARKASTUS, prosessikaavio



4. Yhteenveto

Rakennushankkeeseen ryhtyvän ennakko-oletus on oikeutetusti, että hankkeen valmistuttua ja hallitun käyttöönoton sekä kohtuuajaisen, lyhyen käyttöjaksolla saadun kokemuksen jälkeen, voidaan todeta rakennetun toimiva kokonaisuus, joka täyttää hankkeelle alun perin kirjatut ja määritellyt tavoitteet.

Suppeahkoilla tai laajoilla toimivuustarkasteluilla viimeistään todennetaan kiinteistön toimivuus. Todentamiseen on hyvä jo hankesuunnitteluvaiheessa sopia todentamistapa dokumentointimalleineen. COMBIssa kehitetyn TAPRE-tyyppisten toimivuustarkastelumallien hyödyntäminen palvelee tätä todentamis- ja viestintätarvetta. Viestinnän ymmärrettävyyteen kannattaa panostaa.

Lähdeluettelo

- [1] TAPRE-ohje 07: Rakennuksen (talotekniikan) toimivuustarkastelu, 30.06.2014, http://www.tampere.fi/tilakeskus/material/uusikansio/9jA2b76cA/Ohje_07_Toimivuustarkastelu.pdf
- [2] COMBI-hankkeeseen tehdyt TAMK-opinnäytetyöt: Suvi Virta, Aki Kortetmäki ja Saara Vänskä sekä TTY-diplomityö: Niko Simola

Rakennuksen kokonaisvaltainen laadunhallinta

Miika Virtanen

Sweco Asiantuntijapalvelut Oy, laadunvarmistuspäällikkö

Tiivistelmä

Kymmenien hankkeiden laadunhallinnasta saatujen kokemusten perusteella on kehitetty toimintamalli, jota noudattamalla rakentamisessa päästään kosteus- ja sisäilmateknisesti laadukkaaseen lopputulokseen. Toimintamalli sisältää suunnitelmien laadunhallinnan, ennen työn aloittamista tehtävät laadunhallintasuunnitelmat, työn toteutuksen aikana tehtävä laadunhallinta, ennen vastaanottoa tehtävä laadunhallinta ja rakennuksen käytönaikana tehtävä toimivuuden varmistaminen.

Rakennuksen ja sen taloteknisten järjestelmien toimivuus tulisi varmistaa kokonaisvaltaisesti rakennuksen elinkaaren eri vaiheiden aikana. Toimivuuden kannalta merkittäviä päätöksiä tehdään peruskorjaushankkeen ja uudishankkeen hankesuunnitteluvaiheessa. Tässä vaiheessa hankkeessa voidaan vaikuttaa mm. käytettävissä olevien lähtötietojen määrään ja laatuun, rakenteiden suunnitteluratkaisuihin, käytettäviin materiaaleihin sekä talotekniikkajärjestelmien toteutustapaan ja ohjaukseen.

Rakennustyön aikana tehtävät rakennus- ja LVI-työn laadun varmistavat mittaukset ja muut toimenpiteet toteutetaan laadittujen tarkastusasiakirjojen sekä kosteudenhallintasuunnitelman mukaisesti. Rakennustyön vastaanottovaiheessa tarkastetaan siivouksen taso ja talotekniikkajärjestelmien toimivuus.

Rakennuksen käyttövaiheessa tulee huolehtia rakennuksen ja talotekniikkajärjestelmien katsastustoiminnasta. Katsastustoiminnassa kerätään kiinteistön perustieto rakennuksen ja talotekniikkajärjestelmästä sekä niiden toimintaan liittyvistä riskitekijöistä. Kerättyyn tietoon perustuen laaditaan kiinteistön talotekniikka järjestelmien tarkastus. Tarkastus toteutetaan määrätyn väliajoin.

1. Johdanto

1990-luvun puolen välin jälkeen yleistynyt sisäilman huonoon laatuun liitetty käyttäjien oireilu ja huonoksi kuvattu suomalainen rakentamisen laatu on todettu niin merkittäväksi asiaksi, että ongelmaan on pyritty löytämään ratkaisuja valtakunnan poliittisella tasolla. Toimenpiteillä on pyritty mm. parantamaan ja laajentamaan asiantuntemusta, yhtenäistämään tutkimus- ja korjausmenetelmiä sekä yhtenäistämään asiantuntijoiden koulutusta. On kehitetty toimintamalleja, jolla rakennushankkeisiin ryhtyviä on veloitettu toimimaan yhteisesti hyväksytyjen toimintamallien mukaisesti.

Tällä hetkellä vaikuttaa siltä, että käytettävissä on riittävästi tietoa ja osaamista kosteus- ja homevaurioiden syntymisen estämiseksi. Haasteena on kuitenkin edelleen saada oikea tieto oikeille henkilöille hankkeen eri vaiheissa. Lisäksi on keskitytty pääasiassa rakenteiden kosteudenhallintaan ja homevaurioiden ehkäisemiseen. Sisäilmaston laadun kannalta parempaan

lopputulokseen päästään varmistamalla rakenteiden ja taloteknistenjärjestelmien muodostaman kokonaisuuden toimivuutta rakennuksen koko elinkaaren ajan.

2. Suunnitelmien laadunhallinta

Hankkeeseen tulisi nimetä rakennusfysikaalinen suunnittelija jo suunnitteluvaiheessa. Kosteudenhallintakoordinaattori voi toimia rakennusfysikaalisena suunnittelijana hankkeessa. Koordinaattori osallistuu hankkeen suunnittelukokouksiin, jolloin koordinaattorille tulee selkeä kuva hankkeesta alkuvaiheessa. Lisäksi koordinaattorilla on hyvät edellytykset vaikuttaa suunnitteluun ja niissä ilmeneviin kosteus- ja sisäilmateknisiin ongelma-kohtiin. Kun koordinaattori nimetään jo suunnitteluvaiheessa, se vähentää merkittävästi suunnitelmien kommentointiin tarvittavaa työpanosta varsinaisen suunnittelutyön jälkeen tehtävästä suunnitelmien tarkastuksesta.

Aina ei kuitenkaan koordinaattoria voida tai ole nimetty rakennushankkeeseen vielä suunnitteluvaiheessa. Suunnitelmat tulee käydä ennen rakennustöiden aloittamista yksityiskohtaisesti läpi. Erityisesti suunnitelmista tarkastellaan detaljisuunnittelua, joka tulee tehdä yksityiskohtaisesti, jolloin työ voidaan toteuttaa suunnitelmien mukaisesti. Suunnittelija suunnittelee ja urakoitsija toteuttaa suunnitelmien mukaisesti. Puutteita esiintyy yleisesti rakenneliittymien ja läpivientien detaljisuunnittelussa (ilmatiiviys), vesikaton rakenneliittymien detaljisuunnittelussa, lasiseinäliittymien suunnittelussa, pinnoitemateriaalien valinnassa eri rakenteisiin, maanvaraisten sekä kerroksellisten rakenteiden suunnittelussa sekä uudistuneiden energiamääräysten aiheuttamissa ongelmissa.

3. Ennen työn aloittamista tehtävät laadunhallintasuunnitelmat

Tehdään koko hankkeen laadunhallintasuunnitelma, joka sisältää yksityiskohtaisen kosteudenhallintasuunnitelman, rakenteiden ilmatiiviuden suunnitelman, iv:n tarkastussuunnitelman ja puhtaudenthallintasuunnitelman.

3.1 Kosteudenhallintasuunnitelma

Ennen hankkeen rakennustöiden aloittamista tulee laatia tarkka yksityiskohtainen kosteudenhallintasuunnitelma. Suunnitelmassa määritetään tarkasti hankkeelle tyypilliset kosteudenhallinnan kannalta kriittiset työvaiheet, niiden toteutus ja suojaustoimenpiteet. Lisäksi suunnitelmassa tulee määrittää työmaan olosuhteiden hallinta ja seuranta, tehokkaan kuivumisen kannalta suositeltavat olosuhteet, eri materiaalien päällystettävyyden raja-arvokosteudet sekä päällystettävyyden määrityksessä käytettävät kosteudenmittausvyödydet erilaisille rakenteille. Kosteudenhallintasuunnitelmaan kirjataan työmaan aikana mahdollisesti suoritettavat muut laadunvarmistustoimenpiteet, jotka määritetään kunkin hankkeen osalta erikseen. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee kirjata myös kosteudenhallinnan kannalta tärkeät tarkastus ja huoltotoimenpiteet käytön aikana. Kun kosteudenhallintasuunnitelma laaditaan ennen töiden aloitusta tarkasti ja yksityiskohtaisesti, asiakirja toimii työmaan edetessä rakennustyön tukena eri työvaiheiden aikana.

3.2 Laadunhallintasuunnitelma

Laadunhallintasuunnitelmaan kirjataan kaikki työmaan aikana suoritettavat laadunvarmistustoimenpiteet. Työmaan aikana toteutettavia laadunvarmistustoimenpiteitä voivat

olla esimerkiksi tiivistettävien pintojen pohjatöiden tarkastaminen aistinvaraisesti ennen tiivistystyötä, tiivistystyön laadun tarkastaminen merkkiainekokeella sekä kosteudenmittaaminen ennen päällysteiden asentamista. Laadunhallintasuunnitelmaan tulee kirjata myös toimintakoe-, vastaanotto- ja käyttöönottovaiheessa suoritettavat laadunvarmistustoimenpiteet. Suoritettavia toimenpiteitä ovat mm. iv- järjestelmän toiminnan tarkastus (ilmamäärien mittaaminen pääte-elimistä ja paine-erojen seuranta), rakennuksen lämpövaipan pistokokeenomainen lämpökuvaus, tilojen loppusiivouksen tason tarkastaminen (pölymäärät, pölyn koostumus sekä aistinvaraiset tarkastukset) ja ulkovaipparakenteen ilmavuotoluvun määrittäminen.

3.3 Puhtaudenhallintasuunnitelma

Ennen rakennustöiden aloittamista tulee hankkeeseen laatia yksityiskohtainen selkeä puhtaudenhallintasuunnitelma. Suunnitelmaan määritetään hankkeen puhtausluokitukselle vaadittava puhtaustaso. Suunnitelmaan laaditaan työmaasuunnitelma, josta selviää jätteiden varastointi paikka sekä suunnitelma jätteiden kuljetukseen. Puhtaudenhallintasuunnitelmaan tulee määrittää pölyävien töiden aikainen suojaus ja alipaineistuksen toteutustapa, alipainepuhaltimien sijainti ja malli, sekä suojaseinien paikat ja toteutustapa. Suunnitelmasta esitetään varmistava tapa, ettei uusien rakenteiden sisään pääse työmaan aikaisia epäpuhtauksia (alakatot yms.) Lisäksi puhtaudenhallintasuunnitelmasta tulee selvittää pölyävien töiden aikana suoritettava olosuhteiden seuranta, joka suoritetaan esimerkiksi paine-erojen seuranta mittauslaitteilla. Suunnitelmasta tulee ilmetä seurantamittauslaitteiden sijainti, seurantamittausten väli sekä raportointi. Puhtaudenhallintasuunnitelmaan kirjataan myös ennen rakennuksen käyttöönottoa suoritettavat laadunvarmistustoimenpiteet.

4. Työn toteutuksen aikana tehtävä laadunhallinta

4.1 Työmaahenkilöstön koulutus ja sitouttaminen

Työmaahenkilöstön koulutus on hyvä suorittaa heti työmaan alkuvaiheessa. Tilaisuuteen osallistuu työmaan työnjohto sekä noikkamiehet. Tilaisuudessa käydään läpi työmaan kosteudenhallintasuunnitelma, tavoitteet ja kosteudenhallinnan näkökulmasta kriittisimmät työvaiheet ja niiden haasteet. Erityisen tärkeä tehtävä koulutuksella on muokata työntekijöiden asenne oikeanlaiseksi. Koko työmaan henkilöstö tulee saada tekemään työmaan laadunhallintaa omalta osaltaan. Sata silmäparia huomaa enemmän asioita kuin yksi silmäpari. Kosteudenhallinnan onnistumisella on koko rakennuksen käytön sekä terveellisen ja turvallisen sisäilman kannalta hyvin suuri merkitys. Tämän tavoitteen saavuttaminen on mahdollista, kun hankkeeseen osallistuvilla henkilöillä on hyvä yhteishenki, kaikki hankkeen osapuolet ja henkilöt tekevät saumatonta yhteistyötä yhteisen päämäärän eteen.

4.2 Työmaakäynnit

Laadunvarmistuskoordinaattori tekee työmaakäyntejä koko työmaan ajan viikon välein. Työmaakäyntien tarkoituksena on arvioida rakentamisen kosteus- ja sisäilmateknistä onnistumista. Työmaakäynneistä laaditaan lyhyt muistio, johon kirjataan työmaalla tehtyjä kosteus- ja sisäilmateknisiä havaintoja. Työmaakerroksella tulee olla aina mukana työmaan työnjohto (kosteudenhallinnasta vastaava työnjohtaja), jolloin työmaalla tehtävät havainnot tulevat selville mahdollisimman selkeästi myös työmaan henkilöstölle. Työmaalla tehtävät havainnot käydään heti työmaakerroksen jälkeen työmaahenkilöstön kanssa läpi ja sovitaan puutteiden korjaustapa ja aikataulu. Kun havaitut puutteet on korjattu, tulee ne kuitata edellisestä muistiosta

korjatuksi. Erityistä huomiota työmaakerrosten aikana työmaalla kiinnitetään sääsuojauksiin, lattioilla oleviin lammikoihin, työmaan puhtauteen, työmaan kuivumisolosuhteisiin, iv-kanavien tulppaukseen, rakennustarvikkeiden varastointiin ja suojaukseen sekä kyseisellä hetkellä käynnissä olevien työvaiheiden toteutukseen (esim. höyrinsulkumuovien teippaus, vesikaton kermien ylösnostoihin, tiivistystyön pohjien puhtauteen ja tasaisuuteen jne.).

4.3 Työmaan olosuhteiden seuranta

Työmaan aikainen olosuhteiden seuranta (suhteellinen kosteus ja lämpötila) on yksi tärkeä toimenpide hankkeen aikana, jolla voidaan varmistaa, että rakenteiden kuivumiselle on koko varatun kuivumisajan hyvät olosuhteet. Työmaan olosuhteita tulee seurata jatkuvatoimisilla tallentavilla osuuhdeseurantamittalaitteilla. Mikäli mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että rakenteiden tehokkaan kuivumisen kannalta suhteellisen kosteus on liian suuri tai lämpötila liian alhainen, tiedetään olosuhteiden heikkenemisestä riittävän ajoissa ja muutoksiin voidaan puuttua. Työmaan olosuhteiden seurantamittaustulosten perusteella voidaan suuntaa antavasti arvioida mahdollista kuivumisaikaa, jolloin voidaan arvioida tulevien päällystettävyyden kosteusmittausten aikataulua.

4.4 Laadunvarmistustoimenpiteet

Työmaan aikana suoritettavilla laadunvarmistustoimenpiteillä on rakennuksen hyvän lopputuloksen kannalta suuri merkitys. Laadunvarmistustoimenpiteitä suoritetaan eri työvaiheissa koko rakennushankkeen ajan. Toimenpiteet määritetään kuhunkin rakennushankkeeseen erikseen ja ne on kirjattu työmaalle laadittuun laadunhallintasuunnitelmaan.

Työmaan aikana suoritetaan erilaisten rakenneliittymien ilmatiiveyden tarkastusmittauksia merkkiainekokeilla. Merkkiainekokeella voidaan määrittää ikkuna -, välipohja -, ulkoseinä - ja ilmansulkurakenteen välisten liittymien ilmatiiviyyttä työmaan aikana (ennen pintarakenteiden asentamista). Mittauksissa havaitut puutteet tarkastetaan merkkiainekokeen aikana työmaan työnjohdon tai tiivistystyötä suorittavan henkilön kanssa ja sovitaan korjaavat toimenpiteet. Lisäksi merkkiainekokeesta laaditaan raportti, johon kirjataan työmaalla havaitut puutteet sekä toimenpidesuosituksukset. Raportti toimitetaan myöhemmin tilaajalle ja urakoitsijalle. Merkkiainekokeita suoritetaan niin kauan, että rakenteella saavutetaan vaaditun tason mukainen tiiviys. Ilmatiiviyden tason määrittämisessä voidaan hyödyntää aiheesta laadittua RT- korttia. Merkkiainekokeella varmistetaan, että rakenteista ei kulkeudu epäpuhdasta ilmaa huoneilmaan.

5. Ennen vastaanottoa tehtävä laadunhallinta

Työmaan luovutusvaiheessa tehtävillä tarkastuksilla on suuri merkitys rakennuksen lopullisen käyttäjän saaman lopputuotteen laatuun. Yhdelläkin hyvin pieneltä tuntuvalla asialla voi olla suuri vaikutus lopputuotteeseen. Ilmanvaihdon säätö, loppusiivouksen taso tai ilmanvaihtokanaviin jäävä työmaan aikainen pöly ja epäpuhtaus voivat pilata muuten erittäin huolellisesti ja hyvin toteutetun lopputuotteen sisäilman laadun. Onkin tärkeää, että myös loppuvaiheessa suoritetaan laaduntarkastusta, jolloin havaittuihin epäkohtiin ja puutteisiin voidaan puuttua ennen lopullisten käyttäjien tuloa rakennukseen.

5.1 Loppusiivouksen tason tarkastaminen

Loppusiivouksen tasoa tarkastellaan pölynäytteillä sekä aistinvaraisesti. Alakattojen yläpinnoilta

ja lattioilta otetaan pyyhintäpölynäytteitä sekä aistinvaraisesti tai mittaamalla arvioidaan pölyn määrää. Mikäli näytteen pölyn koostumus poikkeaa tavanomaisesta tai pölyn määrä on tavanomaista suurempi, siivotaan tarkastuksen kohteena oleva tila uudelleen. Käyttöön otettavissa tiloissa sijaitseviin ilmanvaihtokanavistoihin tehdään visuaalinen tarkastus tai mittaus. Visuaalisella tarkastuksella arvioidaan kanavistossa olevan pölyn määrää ja nuohoustarvetta. Tarvittaessa kanavisto tulee nuohota.

5.2 Ilmanvaihdon toiminnan tarkastaminen

Ulko- ja sisäilman välisen paine-eron seurantamittaus viikon mittaisella seurantamittausjaksolla, ennen rakennuksen käyttöönottoa, (eri ilmansuuntiin ja eri rakennuksen osista). Puhtaiden ja likaisten tilojen välisen paine-eron seurantamittaus ennen rakennuksen käyttöönottoa. Mittauksista laaditaan raportti, jossa on paine-eromittausten tulokset sekä mittauksien arviointi sekä toimenpidesuosituksia.

5.3 Ulkovaipparakenteen lämpötekniinen toiminta lämpökuvauksella

Määritetään ulkovaipan rakenteen lämpövuotokohdat ja pintalämpötilat pistokoeluontoisesti lämpökameralla. Erityistä huomiota kiinnitetään ulkoseinärakenteen ylä-, ala- ja välipohjarakenteiden liittyisiin sekä ikkunoiden- ja ulko-ovien liittyisiin. Lämpökuvauksesta laaditaan (RT-kortin 14-10850, Rakennusten lämpökuvaukset) mukainen raportti, jossa raportoidaan kaikki alle $TI = 70\%$ pistemäisen lämpötilan lämpötilaindeksit.

5.4 Ulkovaipparakenteen ilmavuotoluvun määrittäminen

Ulkovaipparakenteen ilmavuotoluvun määrittäminen on osa rakennuksen laadunvarmistusta. Lisäksi ilmavuotoluvun määrittäminen on rakennusluvan ehtona. Rakennuksen ilmavuotoluku määritetään ennen käyttöönottoa suoritettavalla tiiviysmittauksella. Ilmavuotoluku määritetään standardin SFS-EN 13829 mukaisesti.

6. Rakennuksen käytön aikana tehtävä toimivuuden varmistaminen

Huoltokirjaan tulee kirjata riittävät toimenpiteet kiinteistön käytön aikaisen laadun ylläpitämiseksi. Suositeltavia toimenpiteitä käytönaikaisen toimivuuden varmistamiseksi on alakattojen yläpuolisen pölyn tarkastus (1 vuoden välein) ja mahdollinen siivous vuoden välein. Lisäksi suositeltavaa on mittailla pintakosteudenilmaisimella muovimattopäällysteisiä lattioita. Mikäli mittauksissa todetaan kohonneita pintakosteudenilmaisimen lukemia, suositeltavaa olisi tehdä tarkastusmittauksia viiltokosteusmittauksella.

Myös suositeltavaa olisi suorittaa paine-erojen seurantamittaus viikon mittaisella paine-erojen seurantamittausjaksolla. Mittauksella voidaan todeta, onko ilmanvaihdon säädöt edelleen kunnossa. Mikäli mittauksissa todetaan poikkeamia, on suositeltavaa tehdä korjaavia säätötoimia.

7. Yhteenveto

Rakennuksen kokonaisvaltainen laadunhallinta on monitahoinen tehtäväkenttä. Vuosien mittaan saadun kokemuksen perusteella voidaan todeta, että ilman koko työmaan ajan tehtävää viikoittaista valvontaa työmaalla tehtävä työn laatu heittelee hyvin voimakkaasti. Kokemuksemme perusteella työmaan porukka toivoo työmaalle tukea kosteus- ja sisäilmateknisiin kysymyksiin. Hyvällä asenteella ja yhteistyöllä työmaalla tekeminen on helppoa

ja hedelmällistä. Kokemuksemme mukaan on ensiarvoisen tärkeää, että työmaalla on normaalin rakennustyönvalvonnan lisäksi myös kosteus- ja sisäilmateknisissä asioissa tukena koordinaattori jolta voi reilusti kysyä mieltä askarruttavista asioista. Se on nykypäivää.

Rakennusfysikaalisten riskien huomioiminen kiinteistön ylläpidossa ja riskeihin liittyvän tiedon hallinta – kiinteistönomistajan toimintamalli

Johanna Jalas¹, Timo Turunen¹, Markku Uusitalo¹ ja Jarmo Perkiö²

¹ Ramboll

² Suomen Yliopistokiinteistöt Oy

Tiivistelmä

Kiinteistönomistajan tavoitteena oli selkeyttää rakennusfysikaalisten riskien ja sisäilmaston huomioimiseen liittyvien ylläpidon aikaisten tehtävien ja velvoitteiden esittämistä kiinteistötietojärjestelmissä. Kehitystyössä laadittiin erityisesti suunnittelijoiden ja asiantuntijoiden avuksi ohjeistuksia ja malliasiakirjoja yleis- ja järjestelmäkuvausten sekä paikantamis- ja vaikutusaluepiirustusten laadintaa varten. Jatkossa myös peruskorjausten seurantasuunnitelmissa esitetyt toimenpiteet aikataulutetaan ja vastuutetaan eri toimijoille kiinteistötietojärjestelmää hyödyntäen. Tietojärjestelmän eri toiminnallisuuksia on hyödynnetty siten, että kuvaus, toimenpide ja sijainti on esitetty samassa yhteydessä, jolloin eri toimijoiden perehdyttäminen on tehokkaampaa. Toimintamallilla saadaan yhtenäistettyä kiinteistötietojärjestelmien kiinteistö- ja rakennuskohtainen tietosisältö niin, että lähtötiedot ovat saatavilla ylläpidon palveluntuottajien ja asiantuntijoiden hyödynnettäväksi entistä vakioidummissa formaatissa.

1. Johdanto

Viime vuosien aikana Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannassa toteutettujen rakennusfysikaalisesti haastavien peruskorjausten yhteydessä on havaittu tarve laajentaa kiinteistötiedonhallinnan järjestelmien roolia suunnittelun, seurannan ja valvonnan työkaluna. Samassa yhteydessä kiinteistönomistajalla oli tarve selkeyttää järjestelmien tietosisällön laadinnan, käytön ja hyödyntämisen prosesseja ja ohjeita.

Perinteisesti ylläpidon aikaisessa tiedonhallinnassa on korostunut taloteknisten järjestelmien ja laitteiden hoito- ja huoltotoiminta. Toimintamallin kehittämisen tavoitteena oli selkeyttää erityisesti rakennusfysikaalisten riskien ja sisäilmaston huomioimiseen liittyvien ylläpidon aikaisten toimenpiteiden, tehtävien ja velvoitteiden esittämistä kiinteistötietojärjestelmissä.

2. Kiinteistötietojärjestelmät ylläpito-organisaation työkaluna

Suomen Yliopistokiinteistöt Oy käyttää ja hyödyntää kiinteistötiedonhallintaan tarkoitettuja tietojärjestelmiä kattavasti koko rakennuskannassa. Järjestelmät ovat monipuolisesti ja aktiivisesti eri osapuolien käytössä.

Kaikissa uudis- ja korjausrakentamisen hankkeissa nimetään huoltokirjakoordinaattori, jonka tehtävänä on huolehtia, että hankkeen osapuolet toimittavat tiedot ja dokumentaation, joiden avulla voidaan käynnistää rakennuksen tarkoituksenmukainen ylläpito.

Ylläpidon aikaiselle toiminnalle ja tietojärjestelmien käytölle on laadittu SYK Oy:n oma ohjeistus [1]. Vuokralaiset, kiinteistönpalveluiden tuottajat, suunnittelijat ja muut asiantuntijat hyödyntävät kiinteistötiedonhallintaan tarkoitettujen järjestelmien tietoa, jättävät erilaisia ilmoituksia ja lisäävät toteumatietoa tarkastuksiin, havaittuihin vikoihin ja tehtyihin huoltoihin liittyen.

Tietojärjestelmissä hallittavalla tiedolla on erityinen merkitys esimerkiksi kiinteistöhoitajien perehdyttämisessä ja työhön opastamisessa sekä töiden seurannassa ja valvonnassa. Tieto on tallennettuna järjestelmien tietokenttiin ja taulukoihin, joista se on raportoitavissa erilaisina päätöksentekoa tukevana raportteina. Tietojärjestelmien raportointi- ja viestintäominaisuuksia käytetään erityisesti vikailmoitusten, palvelupyyntöjen ja pienöiden hallinnassa. Järjestelmien käyttöoikeuksilla voidaan rajata eri toimijoille näkyvää tietoa.

Lisäksi kiinteistöön ja rakennuksiin liittyvää tietoa on lukuisissa dokumenteissa ja asiakirjoissa, joita syntyy sekä hankkeissa että ylläpidon aikana. Piirustukset, joissa on esitetty paikantamiseen ja vaikutusalueiden esittämiseen liittyvät tiedot, ovat lähes päivittäin ylläpidon palveluntuottajien käytössä.

3. Kehitystyön tulokset

Kehitystyö toteutettiin yhteistyössä SYK Oy:n ylläpitopäällikön sekä rakennusfysikaalisen ja kiinteistöjen ylläpidon asiantuntijoiden kanssa. Kehitystyön tulokset perustuivat pääasiassa kokemuseräiseen tietoon. Kehitystyön tuloksena tunnistettiin useita asioita, jotka voidaan ottaa huomioon jatkossa entistä paremmin ja konkreettisemmin sekä ylläpidon toiminnan suunnittelussa, ohjauksessa että toteutuksen seurannassa.

Kehitystyössä laadittiin uusia ohjeistuksia ja malliasiakirjoja

- suunnittelijoille yleis- ja järjestelmäkuvausten laadintaa varten
- suunnittelijoille paikantamis- ja vaikutusaluepiirustusten laadintaa varten sekä
- ylläpidon ja rakennusfysiikan asiantuntijoille olosuhteiden ja kunnon seurantaan liittyvien tehtävien laadintaa varten.

3.1 Yleis- ja järjestelmäkuvaukset

Yleis- ja järjestelmäkuvausten laadinta on pääosin suunnittelijoiden tehtävä. Yleis- ja järjestelmäkuvausten tavoitteena on kertoa, minkälaisesta rakennuksesta on kysymys. Huoltokirjassa esitetään rakennustekniikan ja taloteknisten järjestelmien sekä laitteiden tiivistetyt kuvaukset siten, että kiinteistöä tuntematonkin ammattilainen saa yleiskuvan kiinteistöstä.

”Rakennuksen kantavana pystyrakenteena ovat betonipilarit ja vaakarakenteena betonipalkit ja ontelolaatat.”

”Rakennuksen koneellinen ilmanvaihto on toteutettu kolmella lämmöntalteenotolla (pyörivä kenno) varustetulla tulo- ja poistoilmakoneella.”

Yleis- ja järjestelmäkuvausten tietoja hyödynnetään esim. kiinteistönhoidon ja siivouksen palveluntuottajien perehdyttämisessä, palveluiden kilpailuttamisessa ja teknisten selvitysten (kuntoarvioiden) laadinnassa.

Tässä kehitystyössä suunnittelijoiden avuksi laadittiin erityinen kysymyslista yleis- ja järjestelmäkuvausten laadinnan tueksi. Kysymyslista laadittiin yhteistyössä SYK Oy:n ylläpitöpäällikön sekä rakennusfysikaalisen ja kiinteistöjen ylläpidon asiantuntijoiden kanssa.

Tavoitteena on, että kysymyslistan avulla kuvausten laadinnassa huomioitaisiin paremmin rakennusfysikaaliset riskirakenteet sekä koko ylläpitovaihe sekä hoidon ja ennakoivan huollon toimenpiteet.

Alla on esitetty esimerkkejä suunnittelijoiden avuksi laaditusta kysymyslistasta.

Rakennuksen salaojat

- Onko rakennuksella salaojia? (Salaojat ja niiden tarkastuskaivot esitetään paikantamiskiirustuksissa.)
- Salaojat: mitä materiaalia?
- Salaojakaivot: mitä materiaalia?
- Onko kaikki salaojakaivon kannet jätetty maanpinnalle esiin huoltoa varten?
- Onko talon alla salaojakaivoja? Onko niiden kannet lattianpinnassa?
- Salaojiin liittyvät pumppaamot?
- Huuhtelu: milloin suoritettu?

Rakennustekniset rakennusosat, kuvataan yleisellä tasolla myös esim.

- Rakenteiden kantavuus
- Haitalliset aineet
- Mitä tulee huomioida esim. kalustamiseen, varusteluun ja kiinnityksiin liittyen: rajoitteet ja kiellot?

Alapohjat

- Millainen alapohja rakennuksessa on?
- Jos ryömintätilainen, niin kuvataan tavoitteelliset olosuhteet ja niiden seuranta?
- Onko koneellista tuuletusta ja miten sen ohjaus?
- Radonputkisto?
- Mahdolliset tiivistystoimenpiteet? Tiivistysmateriaalit ja niiden käyttö?
- Mahdolliset kosteus- ja olosuhdeanturit?

Yläpohja ja vesikatto

- Mikä on yläpohjan eli vesikaton ratkaisu?
- Miten sadevedet on johdettu? Kattokaivot?
- Saattolämmitykset ja niiden ohjaus?
- Onko räystäskouruja? Onko räystäskourujen sulatusjärjestelmiä?
- Onko lumiesteitä?
- Mitä erityisvarusteita yläpohjaan on kiinnitetty? Esitetään paikannuskiirustuksessa.
- Ohjeet katolla turvallisesti liikkumiseen, miten ajateltu?
- Onko kattoikkunoita tai lyhtyikkunoita? Huolto- ja tarkastusluukkuja? Muita luukkuja?
- Miten läpivientien tiivistykset on toteutettu? Esitetään paikannuskiirustuksessa.
- Vaatiiko erityistä huomiota lumitöissä?

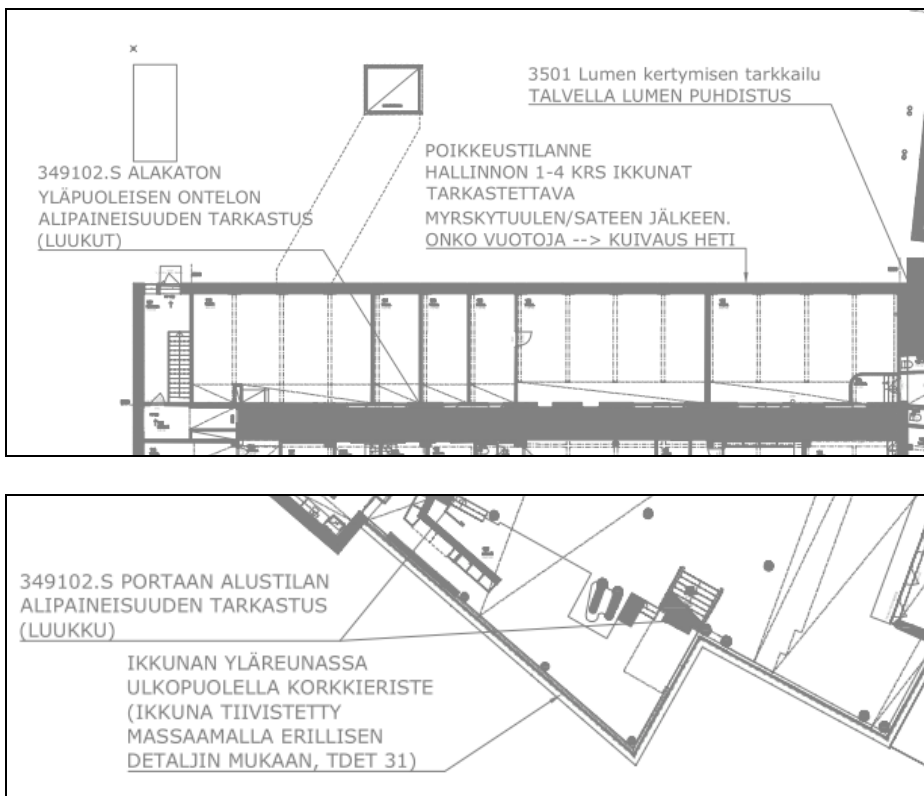
3.2 Paikantamis- ja vaikutusaluepiirustukset

Ylläpito-organisaation käyttöä varten sekä uudis- että peruskorjaushankkeissa laadittavat paikantamisiirustukset sisältävät kiinteistön keskeisten hoito- ja huoltokohteiden paikantamiseen liittyvät tiedot. Vaikutusaluepiirustukset laaditaan hankkeiden yhteydessä esim. rakennuksen ilmanvaihtokoneista, sähkökeskuksista, valaistuksen ohjauksista ja energiamittauksista. [1]

Rakennusfysikaaliset riskit huomioivassa toimintatavassa SYK Oy:n rakennuttaja-asiantuntija, ylläpitopäällikkö ja kampusmanageri tunnistavat yhdessä ne hankkeet ja rakennukset, joissa laaditaan erityiset rakennusfysikaaliset paikantamis- ja vaikutusaluepiirustukset ylläpito-organisaation käyttöön. Ohjeistuksen mukaisesti laaditun paikantamisiirustuksen avulla eri osapuolet saavat käsityksen rakennuksen rakennusfysikaalisista erityispiirteistä visuaalisesti.

Huoltokirjakoordinaattori ohjeistaa suunnittelijat laatimaan korjauksista paikantamisiirustukset sekä esittämään piirustuksissa tarkkailua, tarkastuksia tai muita toimenpiteitä vaativien rakennusfysikaalisten riskien sijaintikohdat. Piirustusten laadinnan avuksi määriteltiin vakioidut tasoasetukset ja värit osoittamaan haitalliset aineet, kosteuseristykset, eloperäiset aineet, riskirakenteet ja erityisen tarkkailun kohdat.

Rakennusfysikaalisia paikantamis- ja vaikutusaluepiirustuksia täydennetään sanaselityksillä. Niissä esitetään ylläpidon aikana toteutettavat toimenpiteet ja säännölliset tarkastukset. Toimenpiteet sekä viittaukset yleiskuvauksiin ja palvelukuvauksen palvelutuotteisiin laaditaan yhteistyössä hankkeen huoltokirjakoordinaattorin kanssa. Sanaselityksissä voidaan myös esittää korjauksen toteutukseen liittyviä asioita esim. purettu/uusittu, tieto korjaus- tai asennusvuodesta.



Kuva 1. Ohjeistuksen mukaisesti laaditun paikantamisiirustuksen avulla ylläpito-organisaatio ja asiantuntijat saavat nopeasti käsityksen rakennuksen rakennusfysikaalisista erityispiirteistä.

3.3 Olosuhteiden ja kunnan seurantaan liittyvät tehtävät

SYK Oy:n rakennuskannassa korjausten onnistumista seurataan asiantuntijoiden laatiman seurantasuunnitelman perusteella. Seurantasuunnitelma laaditaan rakennuskohtaisesti huomioiden kulloisenkin rakennuksen ja suoritettujen korjausten ja muutostöiden erityispiirteet. Seurantasuunnitelman mukaiset tehtävät, tarkastukset, mittaukset jne. on vastuutettu eri osapuolille ja aikataulutettu usealle vuodelle eteenpäin. Nämä tehtävät on viety tietojärjestelmän ominaisuuksia hyödyntäen huoltokalentereihin. Tehtävät tulee kuitattua, raportoitua ja tallennettua järjestelmään, jossa ne muodostuvat osaksi rakennuksen tapahtumahistoriaa.

Rakennusfysikaalisten riskien seurantaan liittyvien tehtävien sisällön ja kuvaukset määritellään ja aikataulutetaan kiinteistökohtaisesti, ja siksi se vaatii kampusmanagereiden, kuntoarvioiden ja korjauksissa mukana olleiden asiantuntijoiden sekä kiinteistönhoidon palveluntuottajien yhteistyötä. Tehtävien kuvaukset pyritään laatimaan niin, että ammattitaitoinen ja koulutuksen saanut kiinteistöhoitaja pystyy kuvauksen perusteella ymmärtämään tehtävän tärkeyden ja merkityksen.

Toimintamallin mukaisesti kiinteistönhoidon tai teknisen huollon palveluntuottaja tekee tehtävät, jotka toistuvat viikoittain, kuukausittain tai vähintään kerran vuodessa. Esimerkiksi tilojen ilmanvaihdon toiminnan ja olosuhteiden tarkkailuun liittyen kiinteistönhoidon palveluntuottajan tehtäväkuvaus on seuraava:

”Ilmanvaihdon ja olosuhteiden tarkkailu rakennusautomaation ja muiden mahdollisten käytössä olevien mittalaitteiden avulla. Suoritetaan tiloissa aistinvarainen havainnointi säännöllisesti. Suoritetaan tarvittavat säätö- ja asetuserojen muutokset. Reagoidaan nopeasti havaittuihin vikoihin ja ongelmiin.”

Toiminnan tarkkailun ja laitteiden toiminnan seurantaan liittyvät tehtävät kuitataan huoltokalenterissa säännöllisesti. Kuittauksella ylläpito-organisaatio osoittaa tilaajalle, että on toiminut tahtotilan ja kuvauksen mukaisesti. Tarvittaessa tehtäväkuvausta tarkennetaan kohdekohtaisella tiedolla mainitsemalla esimerkiksi erityistä tarkkailua vaativat tila, rakenne tai laite ja sen sijainti.

Esimerkiksi vuosittain suoritettavan ryömintätilojen tarkastuksen kiinteistönhoidon palveluntuottaja tekee aistinvaraisesti seuraavan kuvauksen perusteella:

”Suoritetaan ryömintätilassa visuaalinen tarkastus. Raportoidaan kampusmanagerille tarvittaessa mahdollisista vuodoista, ylimääräisestä tavarasta ja muista epäkohdista.”

Kampusmanagerin vastuulla on huolehtia, että seurantasuunnitelman mukaisesti harvemmin kuin vuosittain tehtävät tarkastukset ja mittaukset suoritetaan rakennusfysikaalisen asiantuntijan toimesta. Kalenteriin on siis laadittu myös kampusmanagerille kuuluvia tehtäviä esimerkiksi alapohjan kosteusolosuhteisiin tai erityisrakenteiden tiiveyden tarkastukseen liittyen seuraavasti.

”Kampusmanageri tilaa tarkastuksen suorituksen rakennusfysikaaliselta asiantuntijalta, joka suorittaa tarkastuksen, mittaukset ja raportoinnin tilaajan kanssa sovitulla tavalla.”

”Suoritetaan korjatun rakenteen kunnan tarkastus. Suoritetaan tarvittavat mittaukset. Raportoidaan havaituista vaurioista tilaajalle. Tallennetaan tarkastuksen raportti huoltokirjaan.”

Nämä tehtävät on kalenteroitu suoritettavaksi esimerkiksi kahden (2) tai viiden (5) vuoden välein.

4. Yhteenveto

Toteutettujen vaativien peruskorjausten ja rakennusfysikaalisiin riskeihin liittyvän tiedon hallintaan laadittu toimintamalli tukee Suomen Yliopistokiinteistöt Oy:n ennakoivaa sisäilmatoimintamallia ja rakennusten tarpeenmukaista ylläpitoa. Toteutetun pilotin tuloksena tunnistettiin useita asioita, jotka voidaan ottaa jatkossa entistä paremmin ja konkreettisemmin huomioon sekä ylläpidon toiminnan suunnittelussa, ohjauksessa että toteutuksen seurannassa. Kehitystyön yhteydessä laadittujen ohjeistusten ja malliasiakirjojen avulla hankkeisiin nimetty huoltokirjakoordinaattori ohjeistaa suunnittelijat ja asiantuntijat toimittamaan kiinteistönomistajan tahtotilan mukaiset tiedot. Koko kiinteistömassan läpi jalkautettavalla toimintamallilla saadaan yhtenäistettyä kiinteistötietojärjestelmien sisältämä kiinteistö- ja rakennuskohtainen tietosisältö.

Lähdeluettelo

- [1] Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. (2016) Huoltokirjaohjeistus. www.sykoy.fi → Yhtiö → Materiaalipankki → Ylläpidon ohjeet <http://sykoy.fi/wp-content/uploads/huoltokirjan-laadinta-kytt-ja-yllpito-ohje.pdf>

Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset

