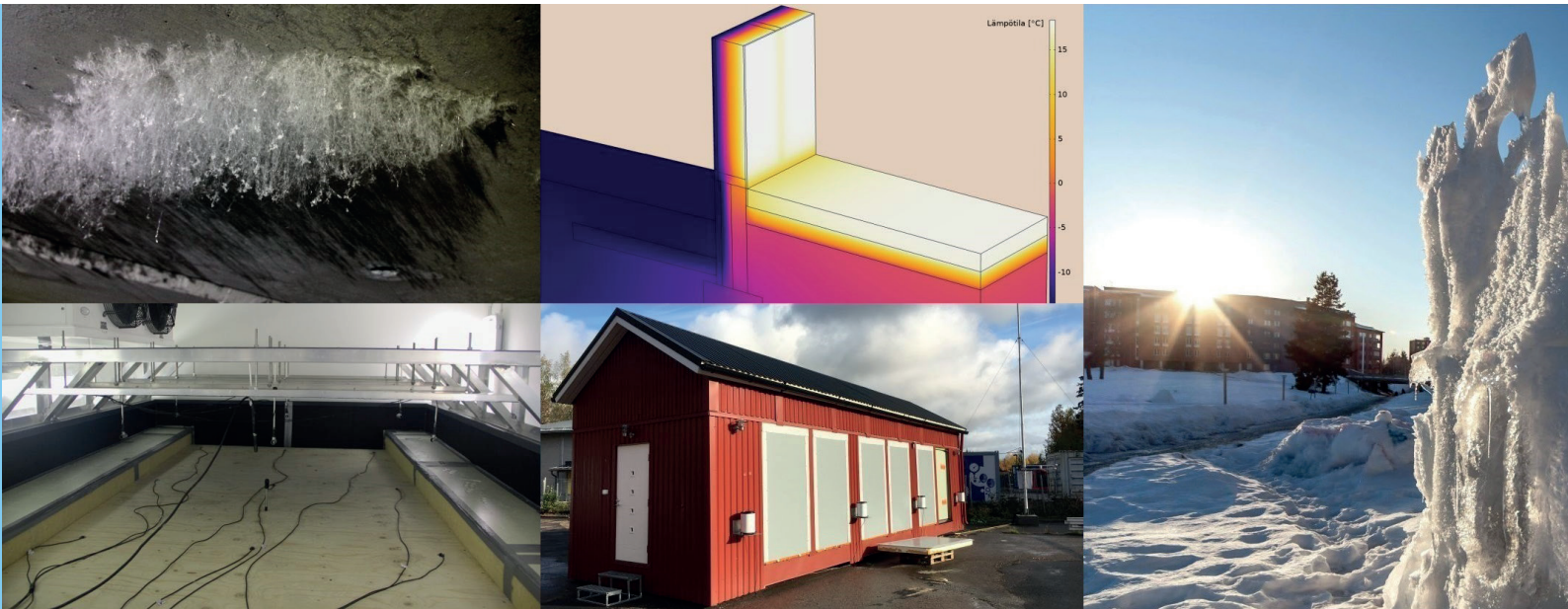


RAKENNUSFYSIKKA 2019

Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut
28.–30.10.2019, Tampere

Osa 2



RAKENNUSFYSIKKA 2019

**Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut
28.–30.10.2019, Tampere**

Osa 2

Toimittajat Juha Vinha & Tuomas Raunima

Painopaikka:
Punamusta
Suomen Yliopistopaino Oy
Tampere 2019

ISBN 978-952-03-1311-1

Esipuhe

Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmän ja RIL:n järjestämä rakennusfysiikkaseminaari pidetään nyt kuudennen kerran. Edellisen seminaarin jälkeen Tampereelle on syntynyt Suomen toiseksi suurin yliopisto Tampereen yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston yhdistyessä. Rakennustekniikan yksikkö, johon rakennusfysiikan tutkimustyhmäkin kuuluu, jatkaa toimintaansa uuden yliopiston Hervannan kampuksella.

Seminaarin laajentumisesta johtuen sen toteutuksessa on jälleen jonkin verran muutoksia. Tampere-talon Duetto-salit ovat nyt kokonaan näytteilleasettajien käytössä ja siellä pidetään myös tiistai-illan perinteinen cocktailtilaisuus. Tapahtuman rinnakkaisosaliksi on vaihtunut uusi Maestro-sali, jonka suurista ikkunoista avautuu hienot näkymät Tampere-talon ympäristöön.

Seminaaripäivät on jaettu tutuksi tulleella tavalla eri aihepiirejä koskeviin teemoihin. Ensimmäisen päivän aiheet liittyvät rakennusfysiikan tutkimukseen, rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan ja uusiin ohjeisiin. Toisena päivänä keskitytään perinteiseen tapaan rakennusten kosteus- ja homeongelmiin, niiden ennaltaehkäisemiseen ja sisäilman laatuun. Kolmannen päivän aihepiireinä ovat puolestaan rakennusten energiatehokkuus ja akustiikka, mutta myös vähähiiliset ja luonnonmukaiset rakenteet. Kaiken kaikkiaan seminaarissa kuullaan taas yli 90 puheenvuoroa, kuten viime kerrallakin.

Seminaarissa vietetään samalla myös rakennusfysiikan tutkimusryhmän 25 vuotisjuhlia. Tutkimusryhmä sai alkunsa vuonna 1994, kun aloimme rakentaa ensimmäistä tutkimuslaitteistoa seinärakenteiden tutkimusta varten silloisessa Tampereen teknillisessä korkeakoulussa. Tutkimustoiminnassa siirryttiin pitkäjänteisempään ja tavoitteellisempaan tutkimukseen ja tutkimusten ohella kehitettiin jatkuvasti myös uusia tutkimuslaitteita ja menetelmiä. Paljon on tapahtunut kuluneen neljännesvuosisadan aikana ja tästä kerrotaan tarkemmin seminaarin avaavassa juhlaluennossa. Juhlan kunniaksi järjestämme maanantaina myös ekskursion Hervantaan, jossa tutustutaan tutkimusryhmän nykyisiin tutkimusmenetelmiin ja -laitteisiin. Cocktailtilaisuuden yhteydessä on tarjolla myös erityisohjelmaa tähän teemaan liittyen.

Rakennusfysiikan alueelle on tuotettu viimeisen runsaan vuosikymmenen aikana suuri määrä uusia ohjeita erityisesti rakenteiden kosteustekniseen toimintaan, kosteus- ja mikrobivaurioihin ja sisäilman terveysvaikutuksiin liittyen. Tämä trendi jatkuu ja näkyy tässäkin seminaarissa. Perinteinen rakentamismääräyskokoelma on vaihtunut vuoden 2018 alussa asetuksiksi ja niiden sovellusohjeiksi, joiden työstäminen on osittain edelleen kesken. Ympäristöministeriön johdolla on tehty tai valmisteltu myös monia muita julkaisuja liittyen mm. kosteus- ja mikrobivaurioiden korjauksiin, rakennusten paine-erojen mittaukseen ja säätöön sekä vähähiiliseen rakentamiseen. Tämän lisäksi myös monet muut organisaatiot ovat tuottaneet uusia ohjeita ja työkaluja rakennusfysiikkaan liittyvistä aihepiireistä. Uusien ohjeiden tausta on hyvin ymmärrettävä, koska tarvitsemme lisää ratkaisuja kosteus- ja mikrobivaurioiden sekä ilmastonmuutoksen synnyttämiin haasteisiin rakentamisessa. Samalla kun omaksuttavan tiedon määrä koko ajan kasvaa, kokonaisuuden hallinta muodostuu yhä tärkeämmäksi ja eri rakennusalan ammattilaisten välinen yhteistyö korostuu entisestään.

Tutkimuksen puolella seminaarin keskeisenä teemana on entistä tarkempien laskentamenetelmien kehittäminen, jotta rakenteiden toimintaa voidaan arvioida luotettavammin. Oleellista on myös saada rakenteiden kosteustekniseen toimintaan entistä enemmän lisävarmuutta, joka kattaa mm. rakentamisessa tehtävien tyyppillisten virheiden ja ilmastonmuutoksen vaikutukset.

Rakennusfysiikan tutkimusryhmä on tehnyt tätä laskentamenetelmien kehitystyötä jo lähes 20 vuoden ajan ja kehittänyt sen tuloksena rakenteiden kosteusteknisen toiminnan analysointimenetelmän, jota esitellään myös juhluennossa.

Seminaarissa kuullaan juhluennon lisäksi kaksi kansainvälistä ja yksi suomalainen keynote-puheenvuoro. Seminaarin avauspäivän keynote-esityksen pitää WUFI-ohjelman luoja ja kehittäjä professori Hartwig Künzler Fraunhofer-instituutista Saksasta. WUFI on tunnetuin ja laajimmalle levinnein rakennusfysiikan laskentaohjelma maailmassa. Hartwig Künzler johtaa myös rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan tutkimusta Fraunhofer-instituutissa.

Tiistaina keynote-puhujana on Anders Kumlin Ruotsista, jolla on lähes 40 vuoden kokemus rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta ja kosteusvaurioista Ruotsissa. Ruotsin rakenneratkaisut ovat varsin samanlaisia kuin meillä Suomessa ja heillä on tyypillisesti niistä n. 10 vuotta pidemmät kokemukset. Anders Kumlin toimii nykyisin myös FuktCentrumin hallituksen puheenjohtajana. FuktCentrumin tavoitteena on edistää kosteusturvallista rakentamista, kosteusvaurioiden oikeaa korjaamista ja jakaa tätä tietoa rakennusalalle.

Keskiviikon keynote-esityksen pitää ympäristöministeriössä ja Aalto-yliopistossa työskentelevä professori Matti Kuittinen, joka on ollut laatimassa Suomeen uutta rakennuksen hiilijalanjäljen huomioon ottavaa laskentamenetelmää. Rakennusten hiilijalanjälkeen liittyvät vaatimukset ovat tulossa Suomessa mukaan rakentamismääräyksiin vuoteen 2025 mennessä. Vähähiilinen rakentaminen on siten nousemassa yhdeksi oleelliseksi suunnittelukriteeriksi jatkossa.

Kosteusturvallisen rakentamisen palkinto jaetaan neljättä kertaa. Tällä kertaa palkintoa tavoitteli 20 kilpailuehdotusta, joista viisi tuomariston mielestä ansioituneinta ehdotusta esitellään voittajaehdokkaiden sessiossa. Mukana on jälleen ehdotuksia usealta eri kosteusturvallisen rakentamisen osa-alueelta käsittäen uusia ohjeita, laskentamenetelmän kehitystä sekä energiatehokkaiden rakennusten ja rakenteiden kosteusturvallisuuden parantamiseen liittyvää tutkimusta. Voittaja julistetaan taas ehdokkaiden pitämien esitysten jälkeen tiistaina iltapäivällä ennen cocktailtilaisuutta.

Seminaariin osallistuu jälleen kerran ennätysmäärä yhteistyökumppaneita eli 83 kpl. Näytteilleasettajia on yhteensä 46 kpl, mikä on myös ennätys. Seminaariin ennakoidaan tulevan yli 600 osallistujaa, kuten viime kerrallakin. Rakennusfysiikan suosio jatkaa siis edelleen kasvamistaan ja tapahtuma koetaan erittäin tärkeänä rakennusalalla. Toivottavasti se vastaa näihin toiveisiin tälläkin kertaa.

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

Tampereella 15.10.2019

Professori Juha Vinha
Tampereen yliopisto
Rakennusfysiikka
Seminaarin puheenjohtaja
RIL:n rakennusfysiikan toimikunnan puheenjohtaja

Rakennusfysiikka 2019 -seminaarin yhteistyökumppanit

Seuraavat organisaatiot ovat toimineet Rakennusfysiikka 2019 -seminaarin yhteistyökumppaneina:

Abresto Oy Ab
A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Akukon Oy
APAD Teknologiat Oy
Ardex Oy
AX-Suunnittelu Oy
Bang & Bonsomer Group Oy
BMI Suomi, Icopal Oy
Christian Berner Oy
Comsol Oy
Dimen Oy
Dynaamiset rakenteet ry
FCG Suunnittelu ja Tekniikka Oy
Finnfoam Oy
FISE Oy
Granlund Oy
Honkarakenne Oyj
Hunton Oy
IAQe (Tuotekehitys Oy Tamlink)
IdeaStructura Oy
Insinööritoimisto Jonecon Oy
Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy
ISO-Chemie GmbH
Jaatimet Oy
Jämerä Kivitalot Oy
Kasil Finland Oy
Katepal Oy
Kerabit/ Nordic Waterproofing Oy
Kiilto Oy
Kingspan Insulation Oy
Kiwa Inspecta
Knauf Oy
Mato Engineering Oy
Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy
Metropolilab Oy
Mikrobitekniikka Oy
Optima Solutions Oy
Parmaco Oy
Paroc Group Oy
Pietiko Oy
Pihla Group Oy
Purmo Group Oy
Pöyry Finland Oy
Rakennuslehti
Rakennustarkastusyhdistys RTY ry
Rakennusteollisuuden Koulutuskeskus
RATEKO Rakennustieto Oy
RAKLI
Raksystems Insinööritoimisto Oy
Ramboll Finland Oy
Renovatek Oy
RIA
Roxtec Finland Oy
Ruukki Construction Oy
SAFA
SafeDrying Oy
Saint-Gobain Finland Oy
Sirate Group Oy
Sisäilmayhdistys ry
Sitowise Oy
SKOL
Stora Enso Oyj
Suomen Yliopistokiinteistöt Oy
Sweco Finland Oy
Tampereen Tilapalvelut Oy
Tectis Oy
Termater Oy
Termotuote/ Lamox Oy
Tiivistalo/ Redi-Yhtiöt Oy
Timberfinder Oy
Timberpoint Oy
TKR-Marketing Oy
Tremco illbruck Oy
Turun yliopisto
Uponor Suomi Oy
Vahanen-yhtiöt
Varsinais-Suomen Kiinteistökuivaus Oy
Wienerberger Oy Ab
Wiiste Oy
Woodplanet Oy
WSP Finland Oy
Würth Oy
Ympäristö ja Terveys-lehti

SISÄLLYSLUETTELO

OSA 1

Esipuhe	iii
Rakennusfysiikka 2019 -seminaarin yhteistyökumppanit	v
Keynotes	1
25 vuotta rakennusfysiikkaa Tampereella – historiaa, nykypäivää ja tulevaisuutta <i>Juha Vinha</i>	3
Meeting global building challenges requires improved hygrothermal design! <i>Hartwig M. Künzel</i>	5
A1. Rakennusten rakennusfysikaalinen suunnittelu ja toteutus	13
Kosteudenhallinnan toimivat käytännöt <i>Joonas Sihvo, Sami Musakka, Virpi Kehiakehi, Antti Souto, Kari Niskanen ja Mikko Tarri</i>	15
Jäähallin kosteudenhallinta – Moisture control in ice rinks <i>Cajus Grönqvist, Jörgen Rogstam, Juris Pomerancevs and Simon Bolteau</i>	23
Kaksoisjulkisivun lämpöteknisen toiminnan hallinta <i>Andreas Limnell ja Ghada Al-Adulrazzaq</i>	29
Liikuntasalin alapohjaliittymän kosteusteknisen toiminnan tarkastelu <i>Klaus Viljanen</i>	35
Maanvastaisten alapohjarakenteiden radontekninen toiminta rakenneratkaisujen muuttuessa <i>Ari-Veikko Kettunen</i>	41
A2. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta	47
Rakennuksen ulkovaipan yli vaikuttavien paine-erojen määrittäminen rakennusfysikaalisia laskentatarkasteluja varten <i>Topi Moisio, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	49
Ilmakehän pitkäaaltoinen säteily rakennusfysikaalisissa laskentatarkasteluissa <i>Teemu Jokela, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	55
Kipsilevytuulensuojallisten puurunkoisten ulkoseinärakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta <i>Teemu Jokela, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	61
Puurankarunkoisten ulkoseinien liitosten lämpö- ja kosteustekninen toiminta <i>Topi Moisio, Anssi Laukkarinen ja Juha Vinha</i>	67
Keskiaikaisen luonnonkivimuurin perustusten sulana pitämisen suunnittelemine RF-laskentaa hyödyntäen <i>Marko Jokipii, Klaus Viljanen ja Hanna-Maria Broström</i>	75

A3. Rakennusten elinkaaritekniikka	81
Kerrostalojen energiakorjausten päästövähennyspotentiaali <i>Janne Hirvonen, Juha Jokisalo, Juhani Heljo ja Risto Kosonen</i>	83
Betonirauδοitteiden korroosio tulevaisuuden ilmastossa <i>Toni Pakkala, Arto Köliö ja Jukka Lahdensivu</i>	89
Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit <i>Antti-Matti Lemberg</i>	95
A4. Laboratoriotutkimukset	101
Kapasitiivisten kosteusantureiden käyttäytyminen betoniseinien ja kipsivalulattioiden kuivumisen seurannassa <i>Tuomas Raunima, Juha Vinha, Eero Tuominen ja Pauli Sekki</i>	103
Betonin kosteustekniset materiaaliominaisuudet ja mittausmenetelmän kehittäminen <i>Eero Tuominen, Olli Tuominen, Kari Vänttinen, Maarit Vainio ja Juha Vinha</i>	111
Sisäinen konvektio puhallusvillaeristeisissä yläpohjissa <i>Henna Kivioja ja Juha Vinha</i>	117
Puuelementtien välisen sauman tiivistys kumitiivisteellä <i>Eero Tuominen, Juha Vinha ja Jarno Naskali</i>	125
A5. Kenttätutkimukset	131
Koulujen ja päiväkotien sisäilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden mittaukset COMBI-hankkeessa <i>Anssi Laukkarinen, Antti Kauppinen, Eero Tuominen, Tuomas Raunima ja Juha Vinha</i>	133
COMBI-hankkeen paine-eromittausten yhteenveto <i>Eero Tuominen, Anssi Laukkarinen, Antti Kauppinen, Tuomas Raunima ja Juha Vinha</i>	139
Painesuhteet ilmatiiviissä rakennuksessa – kokemuksia jälkiseurantamittauksista <i>Katariina Laine</i>	145
Ilmanäytteen mikrobipitoisuuden määrittäminen qPCR-menetelmällä <i>Helena Rintala, Mika Lindh, Pinja Tegelberg, Marja Hänninen ja Teija Meklin</i>	151
Kerroksellisen rakenteen pintalaatan valun vaikutus eristetilan kosteuskäyttäytymiseen ja epäpuhtauksiin <i>Ville Hakala, Taneli Päckilä ja Matti Reijonen</i>	157

Siivouskemikaalien ja –menetelmien vaikutukset koulu- ja päiväkotiympäristön mikrobistoon ja sisäilman laatuun <i>Leila Kakko, Eija Reunanen, Paula Kylmäkorpi, Tuomas Alapieti, Martin Täubel, Raimo Mikkola ja Heidi Salonen</i>	165
A6. Rakennusaikainen kosteuden ja olosuhteiden hallinta	171
Kerroksellisten välipohjarakenteiden kosteusmittaukset ja kosteudenhallinnan riskit <i>Saija Korpi, Timo Ekola ja Kari Niskanen</i>	173
Kosteudenhallinta CLT työmaalla <i>Esko Lindblad ja Leif Wirtanen</i>	179
Betonin rakennuskosteuden kuivatus valuun asennetulla kosteudenkeruukanavistolla <i>Hannes Timlin</i>	185
Kokemuksia ilmakiertoisella kuivatusjärjestelmällä kuivatuista korjauskohteista <i>Pasi Lehtimäki, Esa Tommola ja Jouko Pakkanen</i>	191
Betonin kuivuminen ulkoseinäelementeissä <i>Pauli Sekki ja Juha Vinha</i>	197
A7. Kosteusturvallisen rakentamisen palkinnon voittajaehdokkaat	203
Ohje Rakennuksen kosteustekninen toimivuus -asetuksen noudattamisesta <i>Virpi Sandström, Pekka Laamanen ja Katja Outinen</i>	205
Uusi työkalu betonilattioiden kuivumisen ja kosteusteknisen toimivuuden tarkasteluun <i>Pauli Sekki, Pasi Marttila ja Tarja Merikallio</i>	211
COMBI-hankkeen suositukset korkeatasoisen ja kosteusturvallisen palvelurakennuksen toteuttamiseksi – COMBI 8 <i>Juha Vinha ja Anssi Laukkarinen</i>	217
Hyvin eristettyjen rakenteiden kosteustekninen toimivuus – katsaus viimeaikaisiin tutkimuksiin <i>Klaus Viljanen</i>	223
Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausopas julkaistaan – teoriasta käytäntöön <i>Inari Weijo, Timo Turunen, Jukka Lahdensivu, Esko Sistonen ja Petri Annala</i>	229
A8. Lähes nollaenergiarakennusten ratkaisut	235
Asuinkerrostalojen energiankulutuksen puolitus ja asumisviihtyvyyden parannus <i>Terttu Vainio ja Jarmo Laamanen</i>	237
Lähes nollaenergiarakennuksen lämpötilan hallinta ePilotti-hankkeessa <i>Antti Lakka</i>	243

Rakennusten massiivisuuden energiataloudellinen merkitys <i>Seppo Niittymäki ja Olli Ilveskoski</i>	249
Ylijäämälämpöjen hyödyntäminen yhteiskunnan hiilineutraaliustoimissa <i>Rauli Lautkankare</i>	255
The world's biggest solar thermal system and seasonal thermal energy storage in the city centre of Turku <i>Nikolas Salomaa and Rauli Lautkankare</i>	263
Energiapaalut – maalämpöä suoraan perustuksista <i>Tomi Järvinen, Eetu Eronen ja Antti Ivanoff</i>	269
A9. Energiatehokkaat ja toimivat rakennukset	275
Suomen korjausrakentamisen strategia 2050 <i>Terttu Vainio ja Eero Nippala</i>	277
Rakennusten toimivuuden varmistus laadunohjausmenetelmänä – rakennusvalvonnan ja rakentamisen eri osapuolten yhteistyön kehittäminen <i>Timo Kauppinen, Olli Teriö, Ilkka Räinen, Markku Hienonen</i>	283
Rakennusten älykäs energianhallinta <i>Ari Tolonen</i>	291
Predictive building automation control using lighting sensor data <i>Henri Juslén and Mohammad Omar Nasir</i>	297
Verification and improving building energy efficiency during occupation with energy measurement data - Case: Sheet Metal Center industrial hall <i>Markus Hansen-Haug and Khoa Dang</i>	303
A10. Uudet tekniset ratkaisut	311
U-arvon mittausten markkinalähtöiset sovellutukset <i>Mikael Paronen, Antti Hatsala ja Alexander Schmitt</i>	313
Rapid U- projektin tulokset Raksystemsillä suorittamista kenttä U-arvomittauksista lämmityskaudella 2018-2019 <i>Antti Hatsala, Mikael Paronen ja Tatu Vihro</i>	319
Rakennusten lämpökuvaus miehittämättömillä ilma-aluksilla (UAV) <i>Sauli Paloniitty</i>	327
Kuinka kone oppii tuntemaan rakennuksen <i>Sakari Uusitalo</i>	333
Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset	339

SISÄLLYSLUETTELO

OSA 2

Esipuhe	iii
Rakennusfysiikka 2019 -seminaarin yhteistyökumppanit	v
B1. Rakennusfysiikan opetus ja koulutus	341
Rakennusfysiikan oppimispolut rakennesuunnitteluosaamiseen tähtäävässä insinöörikoulutuksessa <i>Timo Lehtoviita</i>	343
Pohjois-Suomen Rakennusklusteri – uudenlainen yhteistyöalusta rakennus- ja kiinteistöalan tuotannon, käytön, tutkimuksen ja koulutuksen välille <i>Tapani Mäkikyrö, Mikko Hyytinen, Markku Hienonen, Hannu Kääriäinen ja Timo Kauppinen</i>	351
Rakennustarkastajien jatkokoulutusohjelma RVK3 – kuinka rakennusvalvonta voi koulutusta hyödyntäen edistää tutkimustulosten jalkautusta käytännön rakentamiseen – esimerkkinä Rakennusfysiikka <i>Markku Hienonen ja Pekka Seppälä</i>	357
Rakennusten rakennusteknisen kunnan arvioijien koulutusten ja pätevyyksien kehittäminen <i>Marita Mäkinen, Helmi Kokotti ja Tiina Koskinen-Tammi</i>	363
Uusi kosteudenhallintakoordinaattorin FISE-pätevyys <i>Marita Mäkinen, Markku Hienonen ja Risto Mykkänen</i>	371
B2. Uudet ohjeet	377
RIL 250 - Päivitetyt ohjeet rakennusten kosteudenhallintaan ja homevaurioiden estämiseen <i>Gunnar Åström ja Juha Vinha</i>	379
Rakennuksen paine-erojen mittausohje 2019 <i>Lari Eskola, Marko Björkroth, Risto Kosonen ja Juha Vinha</i>	385
Valviran ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaitan ennaltaehkäisyyn sekä selvittämiseen <i>Pertti Metiäinen</i>	393
Pientalojen sähkötehojen suunnittelu ja hallinta <i>Pirkko Harsia ja Kari Kallioharju</i>	397
Kansalliset ohjeet alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi betonirakenteissa <i>Jukka Lahdensivu</i>	403
Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusohje <i>Toni Pakkala, Antti-Matti Lemberg, Jukka Lahdensivu ja Arto Köliö</i>	409

B3. Rakennusfysiikka oikeudessa	417
Rakennusfysiikka oikeudessa <i>Tiina Koskinen-Tammi ja Leena Laurila</i>	419
Kivihiilipiki vanhassa rakenteessa, Valviran lausunto ja KKO:n ennakkopäätös <i>Pertti Metiäinen</i>	425
B4. Sisäilman haitta-aineet	429
Rakenteista sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden hallinta <i>Janne Sievola</i>	431
Asbestin esiintyminen erilaisissa rakennusmateriaalinäytteissä <i>Jani Mäkelä, Piia Markkanen, Mika Lindh, Katja Papinniemi ja Aaron Anttila</i>	437
Tapauskuvaus: muovimattoperäisen 2-etyyli-1-heksanoliemission vähentäminen asuntokohteen sisäilmasta pintaemissioita sieppaavalla toiminnallisella kalvolla <i>Miia Pitkäranta ja Timo Lehtimaa</i>	443
B5. Sisäilman laatu	449
Materiaaliemissioiden tutkimusmenetelmät ja kuinka arvioida emissioiden vaikutusta sisäilman kemialliseen laatuun <i>Katri Leino, Hanna Hovi ja Evgeny Parshintsev</i>	451
Automaattisesti säätyvän alipaineistuksen hyödyntäminen sisäilmaongelman rakennuksen ilmanhallinnassa <i>Tommi Arpomaa</i>	457
Matala-alkalisen tasoitteen vaikutus muovipäällysteisen lattiarakenteen VOC- päästöihin <i>Virpi Leivo, Jommi Suonketo, Jussa Pikkuvirta, Essi Sarlin ja Matti Pentti</i>	463
Altistumisolosuhteiden arviointi ja erilaiset altistemittaukset rakennusten sisäilmastotilanteen selvittämisessä <i>Kaisa Jalkanen, Martin Täubel, Asko Vepsäläinen, Maria Valkonen, Kati Huttunen, Arto Köliö, Anne Hyvärinen</i>	469
Vanhon tehdasrakennuksen muuntorakentamiseen liittyvät sisäilma- ja rakennustekniset riskit <i>Sami Mustajoki, Annu Ruusala, Jussi Rauhala</i>	475
Seasonality and trends in indoor temperature, relative humidity and carbon dioxide levels <i>Samy Clinchard, Salvatore della Vecchia, Rick Aller and Ulla Haverinen- Shaughnessy</i>	483

B6. Korjausrakentaminen ja rakenteiden kosteuskestävyys	489
Energiatehokkuus, hyvä sisäilma ja kosteuskestävyys korjausneuvonnassa ja korjausten suunnittelussa <i>Olli Teriö, Markku Hienonen ja Timo Kauppinen</i>	491
Energiaparannukset, asumisterveys ja -tyytyväisyys: 3-vuotis seuranta <i>Ulla Haverinen-Shaughnessy ja Virpi Leivo</i>	497
Leanheat Overview and Key Benefits for District Heating Companies <i>Lauri Leppä, Jaakko Luttinen, Ossi Porri, Antti Solonen and Mikko Wahlroos</i>	503
Lattian korjaaminen koneellisesti ilmastoidulla Platon-lattiaratkaisulla <i>Jaana Valjus</i>	509
Huokoisten puukuitu- ja kipsituulensuojalevyjen homeutumisherkyys <i>Eero Tuominen, Annu Ruusala, Anssi Laukkarinen, Sanna Pätsi, Anna-Mari Pessi ja Juha Vinha</i>	517
B8. Ääneneristys ja meluntorjunta 1	525
Parametrinen laskentamalli puuvälipohjien askelääneneristävyyden arviointiin <i>Pekka Latvanne, Mikko Kylliäinen, Ville Kovalainen ja Jesse Lietzén</i>	527
Askelääneneristävyyden mittauksia koskeva round robin -testi <i>Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen</i>	533
Akustiikkasuunnittelu Kuopion musiikkikeskuksen korjaushankkeessa <i>Mikko Kylliäinen, Jussi Rauhala, Jesse Lietzén, Ilkka Valovirta, Joose Takala, Niko Manninen</i>	539
Maanalaisen metrovarikon akustiikkasuunnittelu <i>Timo Huhtala ja Mikko Kylliäinen</i>	545
B9. Äänieristys ja meluntorjunta 2	551
Ääniympäristöasetus ja -ohje <i>Mikko Kylliäinen</i>	553
Ahlmanin ammattiopiston musiikkitalat – akustiikan ja rakennusfysiikan yhteensovitus <i>Joose Takala, Jussi Rauhala, Tuomas Pelli ja Mikko Tarri</i>	559
Kuntosalin yläkerrassa asunto - melun ja tärinän torjuntakeinoja <i>Henri Penttinen, Sakari Tervo, Jukka Pätynen ja Mats Heikkinen</i>	565
Hybridihankkeiden akustinen suunnittelu <i>Janne Hautsalo, Jukka Ahonen, Henri Penttinen ja Olli Salmensaari</i>	571

B10. Vähähiilinen ja luonnonmukainen rakentaminen	577
EU Level(s) sekä elinkaarimalli rakennusfysikaalisessa suunnittelunohjauksessa <i>Mika Keskisalo</i>	579
Low Carbon Design -periaatteen implementoinnin hygrotermisen toiminnallisuuden hypoteesit ja testaus – tuotteistettu massiiviolkirakennerratkaisu <i>Kati Juola-Alanen ja Juho Laaksonen</i>	587
Hengittävä seinärakenne luonnonmukaisista materiaaleista <i>Juhani Lehtisalo</i>	595
Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset	601

B1. Rakennusfysiikan opetus ja koulutus

Rakennusfysiikan oppimispolut rakennesuunnitteluosaamiseen tähtäävässä insinöörikoulutuksessa

Timo Lehtoviita
Saimaan ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Suomalaiset ammattikorkeakoulut ovat yhdessä määritelleet vuonna 2017 julkaistussa rakennesuunnittelun ohjeellisessa opetussuunnitelmassa myös rakennusfysiikan opinnoille asetettavat osaamistavoitteet ja sisällöt sekä rakennusfysiikan opintojen kytkeytymisen muihin insinööriopintoihin. Opetussuunnitelman tueksi on määriteltävä tarkemmin rakennusfysiikan oppimispolku, jossa on erityisesti kuvattava rakennusfysiikan opintojen vaativa edeltävä osaaminen ja rakennusfysiikan jaksojen rooli ja jaksotus osana koko opetussuunnitelmaa. Oppimispolulla voidaan ymmärtää myös yksittäisen opintojakson opintojen vaiheittaista etenemistä, opintojakson osan vaiheittaista etenemistä tai sitä, miten jokainen opiskelija voi päästä asetettuihin tavoitteisiin omilla henkilökohtaisilla valinnoillaan opintojen aikana ja myöhemmin myös jatkuvassa oppimisessa. Oppimispolut kaikissa tapauksissa on kuvattava niin, että opiskelija ymmärtää oppimispolkujen merkityksen opintojen onnistuneen etenemisen toteutuksessa. Käänteisen oppimisen toteutuksen tueksi on määriteltävä oppimispolkujen tavoitteet ja oppimistehtävät. Oppimispolkujen onnistunut toteutus vaatii laadukasta opintojen suunnittelua sekä opetussuunnitelma- että opintojaksotasolla, hyvää yhteistyötä opettajatiimin välillä, opettajien ja opiskelijoiden sitoutumista oppimispolkujen toteutukseen sekä laadukasta oppimateriaalia.

1. Johdanto

Maankäyttö- ja rakennuslaki siihen liittyvine asetuksineen ja ohjeineen määrittelee rakennusfysikaaliseen suunnitteluun eri osa-alueilla vaadittavat kelpoisuusvaatimukset. Vaadittavan tutkinnon ja työkokemuksen lisäksi määritellään koulutukselliset vaatimukset. Näiden pohjalta suomalaiset ammattikorkeakoulut ovat yhdessä määritelleet vuonna 2017 julkaistussa rakennesuunnittelun ohjeellisessa opetussuunnitelmassa myös rakennusfysiikan opinnoille asetettavat osaamistavoitteet ja sisällöt sekä rakennusfysiikan opintojen kytkeytymisen muihin insinööriopintoihin. Tämä luo hyvän pohjan määrittellä tarkemmin rakennusfysiikan oppimispolkuja rakennesuunnittelun osaamiseen tähtäävissä insinööriopinnoissa.

2. Oppimispolut

Oppimispolku käsitteenä voidaan ymmärtää monin tavoin. Tässä esityksessä rakennusfysiikan oppimispolulla ymmärretään lähinnä sitä, miten tutkintoon tähtäävien opintojen opetussuunnitelman mukaisissa opinnoissa on vaihe vaiheelta edettävä koko insinöörin koulutuksen aikana tulevan rakennesuunnitteluinsinöörin rakennusfysikaalisen suunnitteluosaamisen saavuttamiseen. Oppimispolun vaiheet on kuvattava opiskelijalle heti opintojen alkuvaiheessa, jolloin hän ymmärtää eri opintojaksojen merkityksen tarkasteltavassa kokonaisuudessa.

Oppimispolulla voidaan ymmärtää myös yksittäisen opintojakson opintojen vaiheittaista etenemistä tai opintojakson osan vaiheittaista etenemistä. Opintojaksotasolla oppimispolun käsite kytkeytyy usein käänteiseen oppimiseen, jossa ideologisenä perusajatuksena opettajalla on totuttaa opiskelijat omaehtoiseen oppimiseen ja tukea opiskelijan valinnanvapautta myös pedagogisessa mielessä [4].

Puhuttaessa opiskelijan omasta oppimispolusta opintokokonaisuustasolla tarkoitetaan usein sitä, miten jokainen opiskelija voi päästä asetettuihin tavoitteisiin omilla henkilökohtaisilla valinnoillaan opintojen aikana ja myöhemmin myös jatkuvassa oppimisessa.

3. Rakennusfysiikka osana rakennesuunnittelun oppimispolkua

3.1 Rakennesuunnittelun ohjeellinen opetussuunnitelma

Suomalaisen ammattikorkeakoulut ovat yhdessä määritelleet rakennesuunnitteluosaamiseen tähtäävän insinöörikoulutuksen osaamistavoitteet ohjeellisissa opetussuunnitelmassa 2017 [1], jota edeltävä vastaava ohjeellinen opetussuunnitelma laadittiin vuonna 2007 [2].

Se on tarkoitettu ammattikorkeakoulujen talonrakennusalan insinöörikoulutuksen opetussuunnitelmien laatimisen lähtökohdaksi, kun koulutuksen päätavoitteena on kouluttaa insinöörejä rakennesuunnittelutehtäviin. Kuvattujen opintojen osaamistavoitteet, sisällöt ja laajuudet on määritelty ottamalla huomioon Ympäristöministeriön ohjeiden mukaiset vaativan luokan suunnittelijoiden pätevyysvaatimukset. Työskentelyyn on osallistunut laaja joukko ammattikorkeakoulujen opettajia, alan yhdistysten ja järjestöjen edustajia. Mukana työskentelyssä ovat olleet mukana Suomen Betoniyhdistys, Puuinfo, Teräsrakenneyhdistys, Suomen Geoteknillinen Yhdistys SGY, Rakennusteollisuus RT ja Rakennusteollisuuden koulutuskeskus Rateko sekä alan yritysten edustajia. Työskentelyn tuloksista ovat antaneet lausuntojen muodossa palautetta FISE Oy, RIL, SKOL ja Rakennustarkastusyhdistys sekä osa rakennusalan insinööriopetusta tarjoavista ammattikorkeakouluista.

Laadittu ohjeellinen opetussuunnitelma on tarkoitettu toteutettavaksi ammattikorkeakoulujen rakennus- ja yhdyskuntatekniikan alan insinöörikoulutuksissa. Esitetyt opinnot kattavat vain osan insinööriopintojen kokonaislaajuudesta ja ne muodostavat rakennetekniikkaan suunnatun insinöörikoulutuksen ytimen. Ohjeellisen opetussuunnitelman päätavoitteena on kuvata vaativan luokan rakenteiden suunnittelussa tarvittavat opinnot. Kuvatut opintokokonaisuudet ovat:

- rakenteiden mekaniikka
- rakennusfysiikka
- betonirakenteet
- teräsrakenteet
- puurakenteet
- pohjarakenteet
- kosteusvaurion korjaus

3.2 Rakennusfysiikan rooli rakennesuunnitteluopinnoissa

Rakennusfysiikan osaaminen on lähtökohta keskeisten ammattiaineiden opiskeluun ja se luo pohjan rakennusvaipan osien suunnittelulle ja toteutukselle samaan tapaan kuin rakenteiden mekaniikka kantavien rakenteiden suunnittelulle ja toteutukselle. Rakennusfysiikka on oleellinen

osaamisalue myös korjausrakentamisessa ja sisäilmaston hallinnassa. Rakennusfysikaalista osaamista tarvitaan myös pohjarakenteiden opinnoissa.

Maankäyttö- ja rakennuslakiin liittyvien asetusten ja ohjeistuksien perusteella voidaan rakennusfysiikkaan liittyvät suunnittelijoiden kelpoisuudet jakaa seuraavasti:

1. Rakennusfysikaalinen suunnittelu, lämpö- ja kosteustekniikka
2. Rakennusfysikaalinen suunnittelu, äänitekniikka

Tässä tarkastellaan lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun vaatimia opintoja.

Ensimmäinen jakso on ajateltu kaikkien rakennusinsinööriopiskelijoiden rakennusfysiikan perusjaksoksi ja avulla luodaan perusta rakennesuunnittelun ja työmaan olosuhteiden hallinnan syventävälle opiskelulle talonrakennustekniikan, lämmön ja kosteudeneristysuunnittelun, rakennetekniikan, pohjarakenteiden korjausrakentamisen, sisäilman hallinnan ja tuotantotekniikan opinnoissa. Sen toteutus sijoittuu 2.-3. opiskeluvuodelle. Lämmön- ja kosteudeneristysuunnittelujakso on tarkoitettu rakennesuunnittelun opiskelijoille ja kannattaa sijoittaa insinööriopintojen 3. vuodelle.

Kuvassa 1 on esitetty DAJE-kaaviona [3] rakennesuunnitteluopintojen kokonaisuutta sekä eri opintojen välisiä kytkentöjä.

4. Rakennusfysiikan opintojen oppimispolut

4.1 Rakennusfysiikan oppimispolku opetussuunnitelmatasolla

Rakennusfysiikan opintojen ytimen lämpö- ja kosteustekniikassa muodostavat rakennusfysiikan yleisjakso ja sitä seuraava lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun jakso. Näiden opintojen lähtökohtana on opiskelijan riittävä fysiikan perusilmiöiden hallinta ja tarkasteltavien rakenteiden ja rakennusmateriaalien sekä rakennuskemian perustuntemus. Käytännössä ennen varsinaisia rakennusfysiikan opintoja tarvittava edeltävä osaaminen pitää varmistaa fysiikan perusjakson, rakennuskemian ja talonrakennustekniikan perusteiden sekä materiaalitekniikan opiskelulla. Fysiikan perusteiden opinnoissa on keskityttävä siihen, että opiskelija ymmärtää rakennusfysiikkaan liittyvät perus- ja siirtymisilmiöt, kuten esimerkiksi energiaan liittyvät ilmiöt, faasimuutokset ja diffuusio- ja konvektiovirtaukset. Sekä fysiikan, rakennuskemian että rakennusfysiikan opintojen perusedellytyksenä on riittävä matemaattinen osaaminen.

4.2 Rakennusfysiikan oppimispolut opintojaksotasolla

Tarkastellaan taulukon 1 rakennusfysiikan yleisjakson kuvausta [1].

Taulukko 1. Rakennusfysiikan jakson kuvaus [1].

Opintojakso	Rakennusfysiikka 5 op
Osaamistavoitteet	<ul style="list-style-type: none"> • Osaa arvioida laskelmin lämmönsiirtymistä ja rakennuksen ja rakenteiden energiatehokkuuteen vaikuttavien tekijöitä. • Osaa arvioida rakennuksen ja rakenteiden kosteuskuormia ja osaa laskelmien avulla tarkastella rakenteissa tapahtuvaa kosteuden siirtymistä. • Ymmärtää perusrakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan ja suunnittelun perusteet . • Ymmärtää rakennuksen kosteudenhallinnan prosessin vaiheet ja merkityksen • Ymmärtää rakenteiden äänitekniikan toiminnan perusteet. • Tuntee sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät ja sisäilman laadunhallinnan perusteet. • Tuntee rakennusfysikaaliset mittausten menetelmät. • Tuntee kosteuden välilliset riskitekijät terveydelle
Ydinaines	<ul style="list-style-type: none"> • Lämmönsiirtymismuodot • Materiaalien lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet • Rakennusten energiatehokkuudelle asetettavat vaatimukset ja arvioinnin menetelmät. • Rakenteiden U-arvojen laskenta ja rakennuksen tasauslaskenta. • E-luvun laskenta ja energiatodistuksen määrittely • Rakenteiden lämpötilajakaumat • Kosteuden siirtymismuodot ja kosteuskuormat • Rakenteiden kastumisen ja kuivumisen arviointi • Kosteusvauriot • Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toiminta • Rakenteiden lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun periaatteet • Kosteudenhallinta hankkeen eri vaiheissa • Ilmavirtausten hallinta ja vaipan ilmatiiveyden merkitys • Rakenteiden ja tilojen rakennusfysikaaliset mittausten menetelmät • Rakennuksen sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät ja sisäilman laadunhallinta • Rakenteiden äänitekniikan perusteet (ilmaääneneristävyys, askelääneneristys, julkisivun ääneneristävyys, tilojen akustiikan perusteet, melunhallinnan perusteet)
Täydentävä tietämys	<ul style="list-style-type: none"> • 2- ja 3- ulotteiset lämpötila- ja kosteusjakaumat • Erityistilojen rakennusfysiikka • Ympäristömelun hallinta
Erityistietämys	Lämpö- ja kosteusteknisen suunnittelun menetelmät
Edeltävä osaaminen	Lämmön- ja kosteudensiirtymisen sekä äänitekniikan fysiikka. Ulkovaipan rakenteiden ja eristysmateriaalien perustuntemus.
Suosittelava ajoitus	2.-3. vuosi.
Oppimateriaali	<ul style="list-style-type: none"> • RAFNET-oppimateriaali; Rakentajain kalenterin artikkelit soveltuvin osin. • Björkholtz: Lämpö ja kosteus, rakennusfysiikka, Rakennustieto Oy 2015
Oheistietolähteet	<ul style="list-style-type: none"> • RIL 255-1-2014 Rakennusfysiikka I: Rakennusfysikaalinen suunnittelu ja tutkimukset. • Energiatehokkuutta, lämmön- ja kosteudeneristystä sekä ääneneristävyyttä käsittelevät Ympäristöministeriön asetukset ja ohjeet. • RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. • Rakentamisen kosteudenhallinta. YM, RT, Mittaviiva Oy ja TTY http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/ • Kosteudenhallinta rakentamisen aikana-menettelytapaohje/Helsingin kaupungin rakennusvalvontavirasto http://www.hel.fi/www/rakvv/fi/tietopankki/ohjeet/ohjeet-a-o • Kuivaketju10-toimintaohjeet (www.kuivaketju10.fi) • Kosteudenhallintasuunnitelmaa koskeva ohjeistus (http://www.kosteudenhallinta.fi/index.php/fi/toimet/kosteudenhallintasuunnitelma)

Tarkasteltaessa jakson teoriaopintojen pääteemojen oppimispolkua pitää ne jaksottaa järjestyksessä seuraavasti:

1. Ilmavirtaukset
2. Lämpö
3. Kosteus

Ilmavirtausteoria on käsiteltävä ennen muita teoriaosuuksia, koska sitä tarvitaan edeltävänä osaamisena lämpö- ja kosteusteemassa.

Opetussuunnitelmatason oppimispolun näkökulmasta laadittuja opintojaksokuvauksia [1] on edelleen kehitettävä niin, että niissä on yksityiskohtaisemmin kuvattava edeltävän osaamiselle asetettavat vaatimukset.

Laadittuja ohjeellisia opintojaksokuvauksia voidaan käyttää lähtökohtana opiskelijan oppimispolun toteutukseen osana käännteistä oppimista. Oppimispolku voi tarkoittaa käytännössä opiskelijalle tarjottavaa ohjeistusta, jossa näkyvät oppimistehtävien ohjeistukset ja tavoitteet [4]. Ohjeistuksen tavoitteena lisätä opiskelijoiden itseohjautuvuutta ja autonomian tunnetta [4]. Tarvittavat tavoitteet, sisällöt ja oppimateriaalit on kuvattu taulukon 1 mukaisissa opintojaksokuvauksissa. Oppimistehtäviä ja oppimispolkuja kukin rakennusfysiikan opettaja on kehittänyt oman opetuksensa tueksi. Oppimispolkujen ohjeistuksia ja oppimistehtäviä kannattaisi laatia jatkossa yhteistyössä rakennusfysiikan opettajien kanssa. Näin varmistetaan opintojaksojen yhtenäinen vaatimustaso valtakunnan tasolla.

5. Tarvittavat jatkotoimet

Rakennesuunnittelijoiden insinöörikoulutuksen kehittämisen tueksi laadittu ohjeellinen opetussuunnitelma on hyvä lähtökohta rakennesuunnittelijoiden koulutuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Se kuvaa koulutuksen keskeisten osien sisällöt ja osaamistavoitteet. Jotta tarvittavat rakennusfysiikan osaamistavoitteet saavutetaan, on keskityttävä seuraaviin toimenpiteisiin:

- Rakennusfysiikan roolia on edelleen kirkastettava oleellisena osana rakennesuunnittelijan kokonaisvaltaista oppimispolkua.
- Rakennusfysiikan opettajien osaamista on kehitettävä vastaamaan yhä vaativampia osaamisvaatimuksia.
- Opiskelijoiden edeltävän matematiikan, fysiikan ja rakennusmateriaaliosaamisen tasoa ennen varsinaisia rakennusfysiikan opintoja on saatava entistä paremmaksi.
- Rakennusfysiikan oppimateriaaleja on kehitettävä ja pelkistettävä ottamalla huomioon uusimmat alan tutkimustulokset sekä digitaalisuuden (tietomallit, pelit jne.) tarjoamat mahdollisuudet. Erityisen tärkeää on tuottaa materiaalia, joilla voidaan havainnollistaa ilmiöitä.
- Laadittua ohjeellista opetussuunnitelmaa on päivitettävä tarpeen mukaan ja sen kehittämiseen on saatava entistä enemmän mukaan työelämän edustusta. Erityisesti on kehitettävä varsinaisen rakennusfysiikan suunnittelun opintojaksoja yhdessä alan insinööritoimistojen ja järjestöjen kanssa.
- Akustiseen suunnitteluun liittyvä koulutustarve on selvitettävä ja pohdittava, miten ammattikorkeakoulut voivat vastata näihin tarpeisiin.
- Opiskelijoiden on saatava omaan käyttöönsä entistä helpommin rakennusfysiikkaan liittyvät ohjeistukset ja käsikirjat.

- On pohdittava laaja-alaisesti, miten nykyiset oppimisen suuntaukset, kuten virtuaaliopetus, verkko-opiskelu, etäopiskelu, käännteinen oppiminen jne. otetaan huomioon rakennusfysiikan opintojen toteutuksessa. Näihin pedagogisiin seikkoihin voisi ottaa kantaa myös päivitettävässä ohjeellisessa opetussuunnitelmassa.

Edellä mainituissa toimenpiteissä korostuu oppilaitosten välisen yhteistyön merkitys. Ammattikorkeakouluilla on jo pitkään ollut toimiva valtakunnan välinen yhteistyö, jonka tuloksena on laadittu mm. ohjeellisia opetussuunnitelmia ja oppimateriaaleja. Ammattikorkeakoulujen yhteisten ohjeellisten opetussuunnitelmien jatkokehitystä on tehtävä edelleen ottamalla huomioon mm. uuden maankäyttö – ja rakennuslain asettamat vaatimukset suunnittelijoille ja työnjohtajille. Vastaava yhteistyö pitää luoda myös ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen välille. Myös ammattioppilaitokset on saatava mukaan yhteiseen rakennusfysiikan kehittämisverkostoon.

6. Yhteenveto

Ammattikorkeakoulujen yhteisesti laatimassa rakennesuunnittelun ohjeellisessa opetussuunnitelmassa on kuvattu vaadittavat opinnot rakennesuunnitteluosaamiseen tähtäävässä insinööriopetuksessa. Rakennusfysiikalla on tässä keskeinen rooli ja se tukee koko rakennesuunnitteluosaamisen kokonaisuutta. Opetussuunnitelman toteutuksessa on kiinnitettävä huomiota eri tason oppimispolkuihin opetussuunnitelmatasolla, opintokokonaisuustasolla ja opintojaksotasolla. Oppimispolut on kuvattava niin, että myös opiskelijat ymmärtävät eri opintojen väliset riippuvuudet ja muista opintojaksoista saatavan edeltävän osaamisen ennen uuden opintojakson alkua. Rakennusfysiikan merkitystä on edelleen kirkastettava rakennesuunnittelijan osaamisessa. Laadittu ohjeellinen opetussuunnitelma luo hyvän pohjan myös rakennusfysiikan opintojen toteutukseen, mutta se rinnalleen opettajalta myös oppimispolkujen merkityksen ymmärtämistä. Oppimispolkujen onnistunut toteutus vaatii laadukasta opintojen suunnittelua sekä opetussuunnitelma- että opintojaksotasolla, hyvää yhteistyötä opettajatiimin välillä sekä opettajien että opiskelijoiden sitoutumista oppimispolkujen toteutukseen. Lisäksi tarvitaan opintojaksoille pätevät opettajat ja opintoja tukeva laadukas oppimateriaali. On pohdittava laaja-alaisesti, miten nykyiset oppimisen ja opetuksen suuntaukset, kuten virtuaaliopetus, verkko-opiskelu, etäopiskelu, käännteinen oppiminen jne. otetaan huomioon rakennusfysiikan opintojen toteutuksessa.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennesuunnittelun ohjeellinen opetussuunnitelma. 2017. Ammattikorkeakoulut, Rakennusteollisuus RT ja RATEKO. 55 s.
- [2] Ammattikorkeakoulujen rakennustekniikan koulutuksen kehittäminen- Rakennesuunnittelu, Ohjeellinen opetussuunnitelma. 2007. RT/AMK yhteistyöraportti 2007. Rateko. 48 s
- [3] Kaje M. ja Nevalainen R., DAJE-järjestelmä yrityksen johtamiseen ja kehittämiseen. 1986. Oy Dava-Instituutti Ab ja Otakustantamo. 96 s.
- [4] Toivola M., Peura P., Humaloja M. Flipped learning – käännteinen oppiminen. 2017. Edita Publishing Oy. Helsinki. 137 s.

Pohjois-Suomen Rakennusklusteri – uudenlainen yhteistyöalusta rakennus- ja kiinteistöalan tuotannon, käytön, tutkimuksen ja koulutuksen välille

Tapani Mäkikyrö¹, Mikko Hyytinen², Markku Hienonen³, Hannu Kääriäinen⁴ ja Timo Kauppinen⁵

¹Pohjois-Suomen Rakennusklusteri ry

²Pöyry Finland Oy

³Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

⁴Oulun Ammattikorkeakoulu Oy

⁵T:mi Mutsal

Tiivistelmä

Rakennusklusteri [1] yhdistää Pohjois-Suomen rakentamisalan yritykset, oppilaitokset ja viranomaiset toimimaan rakentamisalan sekä alueellisen kehittymisen parhaaksi (klusterilla tarkoitetaan eri organisaatioiden toisiaan tukevaa yhteistyötä). Oulun yliopiston ”rakennusinsinööriosasto” käynnistyi vajaan 20 vuoden tauon jälkeen toimintaan uusilla painopistealueilla, osin myös muiden yliopistojen koulutuksiin verrattuna. Rakentamisen kolme taho: yritykset, koulutusketju ja viranomaistaho, ovat hakeutuneet klusterissa toimialoittain tavoitteelliseen ja tuottavaan yhteistyöhön, myös Pohjois-Suomen parhaaksi. Sama toimintamalli voidaan ottaa käyttöön muuallakin ja eri yhteistyöalustat ja klusterit voivat toimia yhdessä yhteisin tavoittein, myös alueelliset rajat ylittäen-

Vuonna 2001 perustetun Klusterin pitkäaikainen tavoite oli käynnistää rakennusalan diplomi-insinöörikoulutus uudestaan Oulussa. Tavoite on toteutunut välivaiheen jälkeen v. 2017. Oulun yliopistolle on myönnetty elokuun 2017 alusta alkaen tutkinnonanto-oikeus rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Koulutus on nyt käynnistetty, ja ensimmäinen DI- eli maisterivaiheen sisäänotto on tapahtunut syksyllä 2018. DI-vaiheen koulutus on alkuvaiheessa käynnissä kahdessa opintosuunnassa: rakennesuunnittelu ja rakentamisteknologia sekä vesi- ja yhdyskuntatekniikka. Lukuvuonna 2019 on aloitettu uusi oma tekniikan kandidaatin ohjelma [2] ja toteutettu ensimmäinen kandidaatin sisäänotto.

Tavoitteen saavuttamisen jälkeen v. 2018 alkaen on Klusteria uudistettu; päivitetty tavoitteet ja toimintatavat, uudistettu rakenne toimialapohjaiseksi ja koko koulutusketjun kattavaksi sekä laajennettu jäsenkuntaa merkittävästi. Klusterissa toimialat yhdessä ovat tavoitteellisesti nostamassa esiin toimialoille hyödyllisiä selvitettäviä asioita ja etsimässä niiden ratkaisuprosesseja sekä jalkauttamassa ratkaisujen tuloksia. Klusterin osapuolien laaja-alaisen, myös kansainvälisesti tunnustetun osaamisen ja ulostulojen seurauksena on tavoitteena lisätä alueen tunnettuutta alan kansainvälisenä osaamiskeskuksena ja vaikuttavuutta päätöksentekoon.

Rakennusfysiikkaseminaarissa esitetään Rakennusklusterin tulevaa toimintaa kokonaisuutena sekä rakennusfysiikan ja sisäolosuhteiden näkökulmaa painottaen. Esiin nostetaan myös Klusterin alueella esiintyneitä sisäolosuhteongelmia sekä rakennusfysiikkaan liittyviä ajankohtaisia rakenteellisia ongelmia, jotka kaipaavat ratkaisuja. Klusterissa ko. alueesta vastaa toimialoja leikkaava tiimi, Terveet tilat. Rakennusfysiikan ja erityisesti sisäolosuhteiden yliopisto-opetus on ollut aikaisemmin suppeaa (ts. edellisen rakennusinsinööriosaston aikana), mutta niiden merkitys on noussut rakentamismääräysten tiukentuessa, talotekniikan osuuden kasvaessa rakentamisessa sekä erityisesti rakennusvaurioiden ja sisäilmakysymysten noustessa erityisesti julkisuudessa esiin.

1. Johdanto

Rakennusklusterin päätavoitteet [3], joita aina tilanteen mukaan tullaan tarkentamaan, ovat v. 2018:

1. Verkosto ja pelisäännöt
 - Klusterista muodostuu kolmen tahon (yritykset-oppilaitokset-viranomaiset) uudenlainen kohtaamisalusta, aktiivinen yhteistyöverkosto, jossa ovat sovitut tavoitteet, pelisäännöt ja järjestetty keskinäinen yhteydenpito ja jota osapuolet hyödyntävät suunnitelmallisesti.
2. Tarpeiden tunnistus ja hoito
 - Klusteri nostaa esiin toimialoittain yhdessä arvioiden (6 toimialaa/jaostoa) tuottavia tai tarpeellisia kentän koulutus-/tutkimus-/selvitystarpeita, joihin koulutusketju tai jaostot voivat vastata hankituilla ja myös klusterin osaltaan tukemilla resursseilla.
3. Ratkaisuja yhteistyössä
 - Klusterissa rakentamisen kenttä ja koulutus/tutkimus hakevat ratkaisuja toimintaympäristönsä murroksen aiheuttamissa säädösmuutoksissa ja laatu-/arvoalinnoissa yhteistyössä uudistuvan viranomaistoiminnan kanssa (kaavoitus-rakennusvalvonta-museo-päätösennakointi-kehitysalustat).
4. Kehittäminen kiinnittää
 - Klusteri tukee toimillaan/ulostuloillaan/tilaisuuksillaan rakennusalan kehitystä sekä alan koulutuksen haluttavuutta ja uusien opiskelijoiden saantia, jättää myös ”kotipaikkaleiman” valmistuviin.
5. Osaamisella vaikuttavuutta, vientikärkeä
 - Arktisen yhteistyön laaja-alaisella asiantuntemuksella ja ratkaisuiden innovatiivisuudella saadaan tunnettuutta ja vaikutetaan alan kehitykseen ja päätöksentekoon; Pohjoinen antaa suuntaviivoja myös kansainvälisesti. Tämä johtaa kilpailukyvyyn kasvuun alalla ja tulokselliseen vientitoimintaan.

Maaliskuun 2019 lopussa klusterissa oli 50 jäsentahoa. Lisäksi Klusteriin kuuluu eri oppilaitosten eri jaostoihin nimeämiä asiantuntijoita, n. 25 henkilöä. Laajentuminen on ollut tavoitteellista ja tukenut klusterin toimialapohjaista rakennetta. Klusteri on jakautunut jaostoihin/tiimeihin. Vuoden 2019 alusta on erityistä huomiota kiinnitetty klusterin aktiiviseen toimintaan, sen käynnistymiseen ja organisoituu työskenntelyyn. Oppilaitoksista ovat mukana Oulun yliopisto sekä Oulun, Lapin, Kajaanin ja Centrian AMK:t ja Oulun seudun ammattioppilaitos.

2. Klusterin rakenne ja toiminta

Klusteri on jakaantunut seuraaviin jaostoihin (6+1), joiden vetäjät (2/jaosto) toimivat myös hallituksen jäseninä. Hallitus koordinoi toiminnan suuntaa ja valitsee kehitettävät asiat. Jaostojen suunnittelu, tuotanto ja omistus sekä vienti ja kv. yhteistyö tehtävänä on nostaa kehitettäviä asioita ja viedä ratkaisuja käytäntöön. Hallitus perusti lisäksi v. 2019 alussa ”Kiinteistönomistus ja rakennuttaminen”-jaoston, jolloin jatkossa ”Omistus” eriytyy ”tuotanto ja omistus”-jaostosta. Klusterin rakenne on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Rakennusklusterin rakenne ja toiminta-alueet

Lisäksi jaostoja ovat: Viranomaistoimijaosto, jonka tehtävänä on mm. ennako-ohjata ja neuvoa säädös- ja laatuvalintoja sekä edellisten jaostojen tavoin nostaa esiin kehitettäviä asioita ja tukea tulosten jalkauttamista. Rakennusala hakee ratkaisuja toimintaympäristön murroksen laajaan säädösohjaukseen yhteistyössä viranomaistahon kanssa.

Koulutus- ja tutkimusjaoston tehtävänä on (koulutusketju YO + AMK + AO) hakea ratkaisuja kentän esiintuomiin asioihin ja kehittämiseen koulutuksen ja tutkimuksen keinoin.

Yleisen jaoston tehtävänä on tukea tutkimusresurssien hankintaa, yhteiskuntayhteyksiä, tulosten julkistamista ja nostaa esiin edellisten jaostojen tapaan liitospinnastaan kehitettäviä asioita. Jaosto tukee toimillaan rakennusalan ja sen koulutusten haluttavuutta ja uusien opiskelijoiden saantia.

Seitsemäs jaosto on Terveet tilat – tiimi, joka monialaisena leikkaa kaikkia toimialoja. Se on erillinen, ratkaisukeskeinen ryhmä, jonka tehtävänä on etsiä ja esittää ratkaisuja merkittäviksi katsottuihin ongelmiin jaostojen hyödyntäen - mottona: ”Tutkimuksesta tuotantoon”.

Rakennusinsinööriolosuhteiden koulutuksen yhtenä painopistealueena on nähty sisäolosuhteet ja niiden hallinta. Tämä edellyttää myös rakennusfysiikan opetusta, joka on aikaisemmin jäänyt liian vähälle. Myös rakennusautomaation ja talotekniikan merkitys on kasvanut voimakkaasti, onhan tiettyjen rakennusten rakennuskustannuksista talotekniikan osuus jopa luokkaa 40 %. Esimerkkinä pyrkimyksestä sisäolosuhteiden parempaan hallintaan on suunnitteilla oleva Oulun Yliopistollisen keskussairaalan uudisrakentaminen, jossa koko sairaalakompleksi rakennetaan uudelleen vaiheittain. Suunnitteluvaiheesta käyttövaiheeseen saakka on tavoitteena terveet ja turvalliset sisäolosuhteet – mennään sisäolosuhteet edellä. Ko. alan koulutusta valmistellaan.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kandidaattiohjelma v. 2019-2020 on julkaistu, samoin kun diplomi-insinööriohjelma vuodelle 2019-2020. Rakennesuunnittelun ja rakentamisteknologian opintosuunnan kaikille pakollisissa opinnoissa rakennusfysiikalle on osoitettu 5 opintoviikkoa, korjausrakentamiseen 5 opintoviikkoa ja esimerkiksi rakenteiden tietomallinnukseen 5 opintoviikkoa. Täydentäviin opintoihin on rakennusfysiikan jatkokurssille merkitty 5 opintoviikkoa, ja tietomallintaminen ja automaatio talonrakentamisessa -kurssille 5 opintoviikkoa. Opintojaksojen tarkempi sisältö on esitetty internetsivulla [4].

3. Terveet tilat -tiimi

Jaoston jäsenet edustavat erityisasiantuntemusta korjausrakentamisen, kosteusongelmien, ilmanvaihdon, rakennusterveyden ja lääketieteen alueilta. Työ tulee kohdistumaan akuutteihin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin. Tarkoituksena on myös edistää eri alojen toimijoiden ja yliopiston sekä muidenkin koulutustasojen/tutkimustahojen yhteistyötä ja suunnata nykyistä paremmin alan yritysten kohtaamia ongelmia ja yritysten tavoitteita tutkimus- ja kehitysorganisaatioille.

Tiimi on tehnyt suunnitelman 7-kohtaisesta sisäolosuhdeohjelmasta, vrt. Kuivaketju10-kosteushallintaohjelma.

- Ohjelma tulee kattamaan tuttuja osa-alueita: rakenteiden toimivuus, ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus, lämmitysjärjestelmän toimivuus, automaatiojärjestelmän toimivuus, akustinen toimivuus, valaistuksen toimivuus, käyttö, mittaukset ja raportointi
- Em. osa-alueilta löytyy akuutteja puutteita ja kehitettäviä asioita, joista voidaan priorisoida jokin kohta / joitakin kohtia jatkotyöstettäväksi ja julkistettavaksi
- Oulun yliopiston sisäilmaprofessorin käynnistymisen jälkeen yhteistyö-/tukemistavoite ohjaa tiimin painopistettä.

Tehtävänä on myös nostaa ongelmia ja ratkaisuja julkisuuteen klusterin julkisuuteen tuloa tukien.

Terveiden tilojen saavuttamisen yksi peruslähtökohta on rakennusfysikaalisesti oikein toimivat rakenteet. Tämä sisältää myös hankkeen koko kosteudenhallintaprosessin. Tässä yhteistyöalustan ja sen jaostojen sekä erityisesti Terveet tilat – tiimin työ tulee yhdistää tutkimukseen, koulutukseen ja käytäntöön siten, että koulutus vastaa tarvetta, ja rakennus toimii parhaalla mahdollisella tavalla koko elinkaaren ajan.

Rakennusosaston sisäilmaprofessori, jonka kaltaista ei aikaisemmin sellaisena ole Suomessa ollut olemassa, on perusteeltaan poikkitieteellinen, koska rakennusten sisäolosuhdeongelmat ovat usean tekijän lopputulos – talotekniikan, rakenteiden, käytön ja olosuhteiden toimivuuden summa. Ongelmien esiintyessä joudutaan turvautumaan myös lääketieteen apuun. Tämän vuoksi ”Terveet tilat” tiimissä on myös lääketieteellistä asiantuntemusta. Suuri yleiseurooppalainen perusongelma on se, että yliopistojen hyvätkään tutkimukset eivät siirry riittävässä määrin käytäntöön. Klusterilla on ns. ”tuhannen taalan” paikka auttaa tässä tavoitteessa.

Sisäolosuhteet ja sisäilmaongelmat ovat jatkuvasti olleet julkisuudessa esillä. Peruskorjattujen ja olemassa olevien rakennusten lisäksi niitä on esiintynyt myös osassa uusista rakennuksista, mikä on huolestuttava piirre – lisääntyneestä julkisuudesta ja rakentamisen laatuponnisteluista huolimatta sisäolosuhteita ei ole saatu kaikilta osin hallintaan.

On arvioitu, että ongelmat ovat jakaantuneet karkeasti tasan suunnittelusta johtuvien, toteutuksesta johtuvien ja käytöstä johtuvien virheiden ja puutteiden kesken. Monikerroksisten ja useita liitoskohtia sisältävien rakenteiden ja yksityiskohtien toimivuutta ei välttämättä ole riittävästi mallinnettu. Taloautomaation toiminnassa on esiintynyt puutteita yksinkertaisissakin tapauksissa. Ilmanvaihtojärjestelmien painesuhteet saattavat olla epätasapainossa ja ilmamäärissä voi esiintyä värähtelyä esimerkiksi väärin asennettujen tai puutteellisesti toimivien antureiden vuoksi. Ilmanvaihdon tehokkuus voi olla vajaata, ts. ilma ei tiloissa vaihdu riittävästi ja esiintyy oikosulkuvirtauksia. Sisäolosuhteet vaikuttavat työn tuottavuuteen. Myös ilmanvaihdon käyntisyysajoissa on puutteita. Kohteissa tilamuutokset jäävät usein suunnittelematta.

Rakennusten akustiset ominaisuudet tulevat nousemaan nykyistä enemmän esille. Esimerkiksi kouluissa ääni- ja meluongelmat haittaavat oppimista tai työpaikoilla alentavat työtehoa. Myös valaistukseen tullaan kiinnittämään enemmän huomiota.

Tarvitaan edelleen vielä kokonaisvaltaisempia ja kehittyneempiä kuntotutkimusmenetelmiä, kattavampia toimivuuden todentamismenetelmiä esimerkiksi rakennusten mittarointia ja tulosten analysointia parantamalla. Teollisuusprosesseihin verrattuna rakentamisen hallinta ei kuitenkaan ole ns. rakettitiedettä. Systemaattisella laadunvarmistamisella rakentamisprosessin eri vaiheissa päästäisiin jo pitkälle. Mittaukset ja kuntotutkimukset eivät auta, jos rakentamisprosessin jossain vaiheessa on eksytty ”väärille raiteille”. Uusi rakennusinsinöörikoulutus voi auttaa rakentamisen laadun ja sisäolosuhteiden hallinnassa varsinkin, jos se toimii alan ja eri osapuolten kanssa yhteistyössä. Myös jatkotutkimukselle on mahdollisuus.

Erityyppisten päästöjen, mikrobien ja terveyden yhteydestä ei ole edelleenkaan yksiselitteistä tietoa, vaikka niistä keskustellaan jatkuvasti. Sisäolosuhteiden, rakennusten vaurioiden ja puutteiden vuoksi rakennuksia asetetaan käyttökieltoon, jopa puretaan, rakennusten käyttäjiä siirretään väistötiloihin ja osa rakennuksissa toimivista sairastuu. Sisäolosuhdeongelmien vuoksi menetetään työpäiviä – eri yhteyksissä on arvioitu korjausrakentamisen kustannuksia, esim. viitteissä 5, 6 ja 7. Tutkitaan seurauksia, kun pitäisi päästä myös syihin – ja pyrkiä korjaamaan tai poistamaan ne tai ainakin minimoimaan vaikutukset.

4. Yhteenveto

Pohjois-Suomen rakennusklusterin yhtenä päätavoitteena oli tukea rakennustekniikan DI-koulutuksen uudestaan aloittamista Oulun Yliopistossa. Koulutus on nyt käynnistynyt itsenäisenä Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan yksikkönä – aikaisemmin koulutusta on Oulussa sisältynyt konetekniikan ja ympäristötekniikan koulutusten ja tutkintojen sisälle useita vuosia. Elokuun 2017 alusta alkaen Oulun yliopistolle on myönnetty tutkinnonanto-oikeus rakennus- ja yhdyskuntatekniikasta. Koulutus on käynnissä DI-vaiheen opintoihin kahdessa opintosuunnassa: rakennesuunnittelu ja rakentamisteknologia sekä vesi- ja yhdyskuntatekniikka ja tekniikan kandidaatin ohjelma on aloitettu syksyllä 2019. Rakennusfysiikalla ja sisäolosuhteiden hallinnalla tulee olemaan merkittävä sija uudessa opetusohjelmassa.

Päätavoitteensa saavuttamisen jälkeen Pohjois-Suomen rakennusklusteri on päivittänyt toimintansa uuteen tilanteeseen. Nyt sen yhtenä päätehtävänä on syventää ja kehittää tuottavaa yhteistyötä alan toimijoiden ja koulutusyksikköjen välillä. Klusteri on jaettu jaostoihin sekä jaostojen toimialueita leikkaavaan Terveet tilat -tiimiin, joka tulee toimimaan yhteistyössä myös yliopiston rakentamis- ja yhdyskuntatekniikan sisäilmaprofessorin kanssa. Tavoitteena on siirtää tutkimustuloksia käytäntöön ja käytännön ongelmia opetukseen ja tutkimukseen. Myös kansainvälinen toiminta ja kansainväliset yhteydet ovat tärkeitä, tuleehan tutkimusrahoitus yhä enemmän EU:lta, ja sisäilmaongelmat eivät tunne valtioiden rajoja.

Rakennusteollisuuden ja -alan yhteistyö tutkimus- ja kehitysorganisaatioiden kanssa on tärkeää, kun halutaan kehittää rakentamisen laatua ja ratkaista toimivuuteen liittyviä ongelmia. Opetus- ja tutkimustoiminta ei saisi eriytyä käytännön ongelmista, toisaalta sen pitäisi nähdä myös tulevaisuuteen päiväkohtaisten ongelmien yli. Myös alan toimijat ja viranomaiset ovat kehittäneet yhteistyötään ja mm. sisäolosuhteiden hallintaan ja rakentamisen laatuun liittyviä menetelmiä. Rakentamiseen kohdistuu nyt laajoja säädösmuutoksia. Koulutusketjulla ammattipistoista yliopistoon on tässä oma osansa. Korkeamman opetuksen lisäksi ammattipistojen toimintaa tulee kehittää, koska rakentamisen laatu ratkaistaan loppujen lopuksi työmailla.

Lähdeluettelo

- [1] <http://www.rakennuskluusteri.fi/>
- [2] <https://www oulu.fi/rakennustekniikka/>
- [3] Pohjois-Suomen Rakennuskluusteri, sisäinen materiaali
- [4] <https://www oulu.fi/sites/default/files/217/OPS%20RakY%20DI%202019-2020%20korj.pdf>
- [5] Kero, Paavo: Ennakoivan korjaamisen kustannussäästöjen tarkastelu. Sisäilmaseminaari 2016.
- [6] Rakennusten kosteus- ja homeongelmat, eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012, ISBN-L 1798-4688, ISS 1798-4688.
- [7] Ympäristöministeriö, useita julkaisuja.

Rakennustarkastajien jatkokoulutusohjelma RVK3 – kuinka rakennusvalvonta voi koulutusta hyödyntäen edistää tutkimustulosten jalkautusta käytännön rakentamiseen – esimerkkinä Rakennusfysiikka

Markku Hienonen¹ ja Pekka Seppälä²

¹ Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

² Oulun kaupungin rakennusvalvonta ja Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

Tiivistelmä

Suomessa julkinen, tällä hetkellä kunnallinen, rakennusvalvontasektori on merkittävä rakentamiseen vaikuttava taho, jossa työskentelee noin 1000 henkilöä. Tehtävänä on huolehtia, että rakennukset rakennetaan lain ja asetusten mukaan siten, että ne ovat terveellisiä ja turvallisia. Säädökset velvoittavat rakennustarkastajia myös ohjaamaan ja opastamaan rakentajia, mitä työtä tehdään tällä hetkellä eri intensiteetillä eri puolilla Suomea. Esim. Oulussa proaktiivinen eli ennakoiva ohjaus on ollut hyvin merkittävää yli 15 vuoden ajan. Tämän tyyppisen lisäarvoa asiakkaille ja yhteiskunnalle tuottavan ohjauksen merkitys kasvaa tulevina vuosina.

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry toimii kuntien rakennusvalvontahenkilöstön välisenä yhdyssiteenä, työskentelee rakennusvalvontaan kuuluvien eri alojen ja työmuotojen kehittämiseksi ja yhdenmukaistamiseksi sekä jäsentensä ammatillisen kehityksen edistämiseksi. RTY:n jäsenmäärä vuoden 2018 lopussa oli 726 henkeä.

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry:n strategia 2019-2023 päivitettiin ja hyväksyttiin yhdistyksen vuosikokouksessa Rovaniemellä 14.3.2018. Strategian pääkohdat ovat

- Ympäröivän yhteiskunnan haasteisiin vastaaminen
- Tulevaisuuden rakennusvalvonta
- Rakennusvalvontojen ammattitaidon ylläpito.

Erityisesti kolmanteen pääkohtaan vastaa hyvin tämä RVK3-jatkokoulutusohjelma ja rakennusfysiikka yhtenä tärkeänä osa-alueena on koulutuksessa mukana.

Suomessa on paljon esimerkkejä korjauskohteista, jotka joudutaan korjaamaan uudestaan tai jopa purkamaan jo muutaman vuoden kuluttua, koska on korjattu “vain jotain” tai yhtä yksittäistä kohtaa ilman juurisyiden selvittämistä ja ne huomioonottavaa riittävän tarkkaa suunnittelua. Uusintakorjausten määrää olisi todennäköisesti voitu merkittävästi vähentää asiantuntevalla riittävän kattavalla rakennusfysikaalisella suunnittelulla ja sen pohjaksi tehdyllä riittävän kattavalla kuntotutkimuksella.

Tässä on myöskin rakennusvalvonnalla “tuhannen taalan paikka” eli opastamalla ja edellyttämällä, että myös rakennusfysiikan ajankohtaisia tutkimustuloksia, ensisijaisesti suomalaisia, mutta myös pohjoismaisia ja kansainvälisiä, hyödynnetään sekä uudis-, että korjauskohteiden suunnittelussa ja myös toteutuksessa. Tämä edellyttää rakennusvalvonnan teknisen henkilökunnan ammattitaidon ajantasaista ylläpitoa, rakennusfysiikan perustaitoja ja kykyä tunnistaa rakenteiden kipupisteitä. Tämä ei kuitenkaan edellytä rakennusvalvonnalta suunnittelijan rooliin ryhtymistä, mikä ei viranomaisille kuulukaan, vaan enemmänkin eräänlaista

“hoksauttamista”. Rakennusvalvontojen henkilöstön asiantuntemuksen tasohan voi vaihdella pohjakoulutuksesta ja käytännön kokemuksesta riippuen.

1. Johdanto

Rakentamismääräykset ovat muuttuneet ja uudet asetukset ovat astuneet voimaan vuoden 2018 alussa. Asetuksiin liittyvät oppaat ovat osin valmistuneet, osin vielä työn alla. Yksi tämän hetken merkittävimpiä haasteita kohtaava asetus on 782/2017 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta [1], johon liittyvä ohje on tätä artikkelia kirjoitettaessa viimeisteltävänä ja sen on ennakoitu valmistuvan lähikuukausina. Kosteusasiat ja rakennusfysiikka ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa ja rakennusfysiikka hyödyntämällä on mahdollista ehkäistä monia kosteusongelmia.

Myös lähes 20 vuotta vanha moneen kertaan ”muokattu” maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL) [2] on tavoitteena uusia kokonaan ja valmistelutyötä tehdään paraikaa.

Uusien asetusten ja vanhojen rakentamismääräysten välillä on selvä ero. Vanhoista rakentamismääräyksistä poiketen uusissa asetuksissa on määritelty toiminnallisia vaatimuksia ensisijaisesti sanallisesti pääosin ilman eksakteja luvuilla esitettyjä raja-arvoja ja ilman avustavia piirroksia. Tämä antaa mahdollisuuksia moniin erilaisiin tulkintoihin. Myöskin asetuksiin liittyvien ympäristöministeriön (YM) ohjeiden esitystapa on aiempaa yleisemmällä tasolla. Nyt on tarve, että teollisuus ja suunnittelijat aktiivisesti hakevat uusia säädösten vaatimusten mukaisia ratkaisuja ja kriittisesti tarkastelevat myös nyt käytössä olevien ratkaisujen sopivuutta ja vikasietoisuutta lähitulevaisuuden olosuhteisiin.

Vastuuta yksittäisten ratkaisujen kelpoisuudesta on nyt siirretty tilaajalle, suunnittelijalle ja toteuttajalle. Samanaikaisesti markkinoille tulee uusia materiaaleja, joiden koostumusta ja käyttäytymistä ei ole useinkaan ehditty testata todellisissa tai todellista vastaavissa olosuhteissa. Nykyisissäkin ratkaisuissa tulee esiin erilaisia vaihtoehtoisia toimivuuden tarkastelutapoja, ja käytännön mittaustietoa ei ole riittävästi tai se on hajautunut. Mahdollisten vaurioiden syiden tulkinnat saattavat vaihdella. Toteutus ei aina vastaa detaljitasolla täysin sitä mitä on suunniteltu.

Rakenteellisen toimivuuden/kestävyyden tarkasteluissa on käytössä varmuuskerroin-menettely, jolla pyritään hakemaan riittävä pelivara sille, että materiaalien lujuusominaisuudet ja kuormitukset voivat poiketa laskenta-arvoista. Varmuuskertoimien käyttö pienentää vaurioiden ja sortumien riskejä. Laskelmilla on etukäteen osoitettava, että käytetyt ratkaisut ovat riittävän hyviä. Rakennusten terveellisyys on MRL:ssa samanarvoisessa asemassa kuin rakenteellinen lujuus. Kosteus- ja homevauriot johtavat yleensä rakennusten terveellisyyden heikkenemiseen. Rakennusfysikaalisten tarkastelujen puute tai osaamattomuus niitä tehdessä, huonosti suunnitellut detaljit ja työaikaiset kastumiset kukin yksinään tai yhdessä johtavat helposti kosteus- ja homevaurioihin. Lisäksi usein tarkastelut tehdään ”helpoimmista paikoista” jättäen pahimmat riskipaikat tarkastelematta. Vertailumallinnoksilla, anturointi- ja koepalamittauksilla on kuitenkin havaittu riskien lisääntymistä. Jos ”helpoimmat” rakenteet ja niiden detaljit/liitokset juuri ja juuri toimivat kuivilla materiaaleilla ja huolellisella työllä toteutettuna, mitä tapahtuu vaikeimmissa kohdin, jos materiaalit vielä kastuvat ja työvirheitä sattuu. Nk. varmuuskerroin- vikasietoisuus-analyysiä ei useinkaan tehdä edes helpoimmista kohdin, puhumattakaan vaikeimmista ja riskialttiimmista detaljeista.

Herää väkisin kysymys, että onko esim. meidän puurunkoisten talojen kantavat runkorakenteet ja vaikeimmin vaihdettava alajuoksu riittävän turvallisissa olosuhteissa nykyisin käytössä olevilla detaljeilla ja mikä on näiden detaljien vikasietoisuus esim. rakennustyönaikaisen kastumisen

sattuessa. Riskiä vielä lisää, kun alajuoksussa on siirrytty kyllästetystä puutavarasta kyllästämättömään. Voiko meillä olla odottamassa jokin entistä ”valesokkeliä” tai ruotsalaisen puurunkotalon ilman tuuletusrakoa tehtyä ulkorappausratkaisua vastaavia probleemia.

Merkittävä haaste koko Euroopan tasolla on, että tutkimuslaitosten tutkimustulokset eivät jalkaudu kentälle, vaan ”pölytyvät” mapeissa kirjahyllyssä tai digitaalisessa muodossa bittiavaruudessa. Tehdään varmaan tutkimusta, jonka tulokset eivät aiheita muospaineita rakentamisen käytäntöihin, mutta myös tutkimusta, jonka tulokset olisivat todella tärkeitä saa jalkautumaan kentälle.

Jalkautuksessa yksi merkittävä taho, ei ainut, on rakennusvalvonta/rakennustarkastajat ja RTY [3], jotka omassa päivittäisessä työssään ovat Suomessa vahvasti kiinni käytännön rakentamisessa. He ovat mukana projektien luonnossuunnittelu-, pää-/lupapiirustusvaiheessa, erikoissuunnitteluvaiheessa ja rakentamisvaiheessa. Rakennustarkastajat voivat merkittävästi edistää tiedon jalkautumista suunnittelijoille ja työmaalle ryhtymättä kuitenkaan itse suunnittelijan tai vastaavan työnjohtajan rooliin. Suunnittelu- ja työmaavaiheessa usein pelkät uteliaat kysymykset saattavat riittää, toisinaan pitää edellyttää lisäsuunnittelua, jota rakennustarkastajalla on oikeus ja velvollisuuskin tarvittaessa vaatia.

Onnistuakseen tiedon jalkautus vaatii riittävää perustietoa rakennustarkastajalta, jota annetaan alkavassa rakennustarkastajille suunnatussa 20 op:n RVK3 -koulutuksessa myös rakennusfysiikan osalta.

2. Rakennusvalvonnan rooli Suomessa

2.1 Lähtökohtana lait ja asetukset – koskee myös rakennusfysikaalista suunnittelua.

Maankäyttö ja rakennuslain [2] mukaan kuntien rakennusvalvonnalla on sekä valvontatehtävä että neuvontatehtävä. Rakennusluvan käsittelyn yhteydessä valvotaan, että pääpiirustukset täyttävät lakien ja asetusten vaatimukset. Luvan saannin edellytyksenä on myös, että suunnitteluryhmässä on riittävä osaaminen hankkeen vaativuus huomioon ottaen. Suunnitelmista ei tarkasteta kattavasti rakennusfysikaalista toimivuutta, mutta pistokoemaisesti voidaan näin toki tehdä. Sen sijaan voidaan ja pitääkin edellyttää, että hankkeen suunnitteluryhmässä on riittävä rakennusfysikaalinen osaaminen joko esimerkiksi rakennesuunnittelijalla tai kosteusvaurion korjaussuunnittelijalla tai vaativimmissa hankkeissa voidaan edellyttää myös rakennusfysikaalisen erityissuunnittelijan nimeämistä. Rakennusvalvonta voi myöskin edellyttää lisätarkasteluja, mikä jokin kohta suunnitelmissa tai työmaalla vaikuttaa poikkeuksellisen haastavalta ja sitä ei ole riittävästi tarkasteltu.

Milloin näitä lisätarkasteluja edellytetään, riippuu myös kyseisen rakennusvalvonnan tarkastajien peruskoulutuksesta ja perehtyneisyydestä rakennusfysiikkaan. RVK3-koulutuksen rakennusfysiikan highlight- kohdat rakennustarkastajille auttavat arvioimaan suunnitelmia ja toteutusta tästä näkökulmasta. Kaikkien osapuolien on kuitenkin syytä tiedostaa, että lopullinen vastuu on rakennushankkeeseen ryhtyvällä ja että hänen asiantuntijat suorittavat riittävät rakennusfysikaaliset tarkastelut oma-aloitteisesti ilman viranomaisten määräystä.

Erityisiä haasteita on korjausrakentamisen rakennusfysikaalisessa suunnittelussa, koska olemassa olevia rakenteita, niiden virheitä ja puutteita ei tunneta riittävästi suunnitteluvaiheessa ilman rakenteiden purkua. Tästä syystä suunnittelijan on oltava riittävässä kapasiteetilla käytettävissä myös korjaustyön ajan, koska sen kuluessa voidaan joutua tekemään merkittäviäkin tarkennuksia suunnitelmiin.

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 117 esitetään rakentamisen olennaiset tekniset vaatimukset kuten, 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 [117c]
- rakennuksen sekä rakennuspaikan piha- ja oleskelualueiden meluallistutus ja ääniolosuhteet eivät vaaranna terveyttä, lepoa tai työntekeä [117f]
- energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi [117g].

Vastuu olennaisten vaatimusten täyttämisen huolehtimisesta on MRL mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvällä. Asetuksilla annetaan tarkempia vaatimuksia suunnittelulle sekä uudis-, että korjausrakentamisessa. Korjausrakentamisessa peruseriaatteina on, että energiatehokkuutta on parannettava ja että teknistä toimivuutta ei saa heikentää esimerkiksi kosteuskäytävyyden tai äänen- ja paloneristävyyden osalta. Tärkeää onkin, että ei mennä ”laput silmillä” vain energiatehokkuutta ja hiilijalanjäljen pienentämistä ajatellen, vaan kaikki tehtävät ratkaisut on oltava myös rakennusfysiikallisesti toimivia koko rakennuksen suunnitellun käyttöiän. On myös huomattava, että hiilijalanjälkitarkastelut ovat aivan ”pielessä”, jos rakennus tai sen tärkeät osat kestävätkin vain puolet tai jopa alle suunnitellun käyttöiän.

3. RVK3-koulutusohjelma – mukana myös rakennusfysiikka

3.1 Yleistä

Rakennustarkastajien täydennyskoulutus [4] on kilpailutettu ja toteuttajaksi on valittu kolmen ammattikorkeakoulun konsortio, johon kuuluvat Tampereen ammattikorkeakoulu TAMK, Helsingin Metropolia ja Oulun OAMK. Konsortion vastuutahona on TAMK, ja koulutuksen käytännön toteutuksen suunnittelussa ovat mukana myös sekä Rakennustarkastusyhdistys RTY ry että koulutuksen päärahoittaja ympäristöministeriö YM.

Ilmoittautuminen koulutukseen alkoi kesällä 2019 ja koulutus on osoittautunut halutuksi ja tarpeelliseksi, koska Helsinki ja Tampere ovat tätä kirjoitettaessa buukattu täyteen ja Oulussa muutama paikka vielä vapaana. Koulutuksen hinta osallistujille on 1200 € + alv.

Koulutus tapahtuu pääosin kolmella paikkakunnalla, Tampereella, Helsingissä ja Oulussa ja aloitus on 22.10.2019 Tampereella. Lähipäivät (12+1) on jaettu kahden perättäisen päivän jaksoihin, mikä helpottaa pidemmästä matkasta tulevien osallistumista ja vähentää matkakuluja sekä myös parantaa verkostoitumismahdollisuutta ja osaltaan helpottaa ryhmätyönä suositeltujen loppuotoiden tekemistä.

Koulutus on korkeakoulutasoinen 20 op ryhmiteltynä 5 op:n kokonaisuuksiin ja se mahdollistaa rakennusvalvontojen henkilöstön osaamisen päivittämisen kattavasti RTY:n strategiaan [5] pohjautuen eri aihealueilta, joita käsitellään rakennusvalvonnan näkökulmasta lähtien. Monilla rakennustarkastajilla on myös tarvetta ja halua päivittää omaa tutkintotasoaan. Koulutuksen opintopisteitä on yleensä silloin mahdollista hyödyntää tilanteesta riippuen joko täysimääräisesti tai osittain.

Tällä hetkellä on esillä sekä Suomessa että Euroopassa, että rakennustarkastajien pätevyydelle ja työn aikana kouluttautumiselle asetettaisiin tietyt nykyistä tarkennetummat vaatimukset, jotka paremmin vastaisivat koko ajan uusiutuvien säädösten ja muuttuvan toimintaympäristön asettamiin haasteisiin. Tähän koulutus omalta osaltaan myös auttaa merkittävästi.

Kouluttajina toimivat kokeneiden paikallisten ammattikorkeakoulujen opettajien lisäksi rakennusvalvontasektorin, ympäristöministeriön ja yliopistojen ja yksityisen sektorin käsiteltävien aihealueiden kokeneet asiantuntijat, kuten esim. Lauri Jääskeläinen, Matti Kuittinen Pasi Timo, Juha Vinha, Pekka Väisälä, Kimmo Illikainen, Pertti Heikkinen, Petri Heino. Resurssoinnin osalta on suunniteltu, että mahdollisuuksien mukaan eri toteutuksille voidaan välittää asiantuntijatervehdyksiä verkkojen yli koulutettaville. Erityisesti nk. superpäivässä voi olla asiantuntijatervehdyksiä ja tähtiesiintyjä.

3.2 Koulutuksen sisällön pääkohdat:

Rakennusvalvonnan säädökset ja prosessit, 5 op
Rakennusfysiikka, energiatalous ja korjausrakentaminen, 5 op
Puurakentaminen ja digitaaliset työkalut, 5 op
Kehitysprojektin laatiminen, 5 op.

3.3 Koulutuksen tavoite:

- päivittää rakennustarkastajien tietämystä vastaamaan tämän hetken tärkeimpiin haasteisiin.
- perehtyä uudistettuihin asetuksiin ja ohjeisiin.
- antaa alalle aikoville perusvalmiuksia rakennustarkastajan työhön.
- syventää rakennustarkastajan näkemystä omalla erityisosaamisalueellaan.

Lisäksi rakennusvalvonnan täydennyskoulutuksella saavutetaan seuraavat lopputulokset:

- Yliopistojen, ammattikorkeakoulujen ja rakennusvalvontatyön yhteistyö syvenee ja vakiintuu.
- Rakennusvalvonnan rooli ja merkitys sekä asioiden osaaminen osana oppilaitosten opetusta lisääntyy.
- Koulutus antaa sysäyksen opiskelijalle tulla suorittamaan lisää täydennyskoulutusta ja osallistua tutkintoon johtavaan koulutukseen.

3.4 Rakennusvalvonnan säädökset ja prosessit, 5 op

Tavoitteet:

Opintojakson suoritettuaan opiskelija ymmärtää rakentamiseen liittyvän lainsäädännön rakenteen ja perusteet, uusimmat asetukset ohjeistuksineen ja maakäytön tavoitteet ja menetelmät. Opiskelija tuntee rakennusvalvontaorganisaation, rakentamisen viranomaisohjauksen roolin ja vastuut sekä hyvän hallintomenettelyn mukaisen rakentamisen lupaprosessin. Opiskelija tunnistaa ennakko-ohjauksen mahdollisuudet sujuvoittaa lupaprosessia, edistää puurakentamista ja parantaa rakentamisen laatua tuottamalla lisäarvoa yhteiskunnalle.

3.5 Rakennusfysiikka, energiatalous ja korjausrakentaminen, 5 op,

Tavoitteet:

Opintojakson suoritettuaan opiskelija pystyy rakenteiden suunnittelussa ja valvonnassa ottamaan huomioon rakenteelliset erikoisvaatimukset ja aiheisiin liittyvät viranomaismääräykset ja -ohjeet, kuten esimerkiksi kosteuden siirtymisen, energiataloudellisuuden, äänen käyttäytymisen ja erikoistilojen (kosteat, jäädytetyt yms. tilat) fysikaaliset vaatimukset.

Opiskelija tunnistaa rakennustekniset riskirakenteet ja on perehtynyt rakennusfysiikan lainalaisuuksiin ja keskeisiin alan tutkimustuloksiin ja käytänteisiin.

Sisältö:

- Rakennustekniset riskirakenteet ja nk. kipupisteet
- Kosteuden siirtymisen periaatteet
- Äänitekniikan perusteet ja käyttäytyminen rakenteissa
- Kosteus ja jäähditys rakenteissa
- Puurakentamisen rakennusfysikaaliset erityispiirteet
- Energiataloudellisuuden huomioiminen rakenteissa ja sen vaikutus rakentamisessa
- Korjausrakentamisen rakennusfysiikka ja energiatalous
- Talotekniikan merkitys rakennuksen rakennusfysikaalisessa toiminnassa

3.6 Puurakentaminen ja digitaaliset työkalut, 5 op,

Tavoitteet:

Opintojakson suoritettuaan opiskelija tuntee rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten perusteet, puurakentamisen nykytekniikat ja materiaalit sekä ohjeet viranomais määräysten soveltamisesta puurakentamiseen. Hän ymmärtää tietomallinnuksen menetelmät ja mahdollisuudet ja osaa käsitellä, avata ja tutkietietomalleja.

3.6 Kehitysprojekti, 5 op,

Tavoitteet:

Opintoon liittyvällä ryhmä-/parityönä tehtävällä kehitysprojektilla syvennetään rakennustarkastajan tietämystä ja osaamista omalla erityisosaamisalueellaan.

Sisältö:

Rakennusvalvontatehtäviin liittyvä kehitystehtävä, jolla syvennetään ja lisätään osaamista valvontaviranomaisen työssä. Aiheen valinta on mahdollisimman käytännönläheinen. Samalla oppimistehtävässä joutuu peilaamaan eri toimijoiden työtapoja ja käytänteitä, koska työ tehdään parityönä tai pienryhmätyönä.

4. Yhteenveto

Perustuen esimerkiksi Oulussa yli 15 vuotta ulkopuolisella rahoituksella tehtyjen kehityshankkeiden ja niiden tulosten tukemana tehdyn proaktiivisen asiakkaille lisäarvoa tuottavan ohjauksen kokemuksiin, voitaneen todeta, että rakennusvalvontasektorilla on niin halutessaan merkittävä mahdollisuus jalkauttaa kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimuslaitoksissa tehdyn tutkimustyön tuloksia käytännön suunnitteluun ja rakentamiseen. Tämä edellyttää rakennustarkastajien oman tietotaidon ajantasaista ylläpitoa, johon RVK3-jatkokoulutusohjelma vastaa sisältäen myös rakentamisessa tärkeän rakennusfysiikan.

Lähdeluettelo:

- [1] <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>
- [2] <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
- [3] <https://www.rakennustarkastusyhdistsrty.fi/>
- [4] <https://www.rakennustarkastusyhdistsrty.fi/rakennusvalvonnan-taydennyskoulutus-2019>
- [5] https://asiakas.kotisivukone.com/files/rakennustarkastusyhdistsrty.kotisivukone.com/RT_Y_Strategia_2019-2023.pdf

Rakennusten rakennusteknisen kunnan arvioijien koulutusten ja pätevyyksien kehittäminen

Marita Mäkinen¹, Helmi Kokotti² ja Tiina Koskinen-Tammi¹

¹ Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevyudet FISE Oy

² Ramboll Finland Oy

³ Asianajotoimisto Alfa Oy

Tiivistelmä

FISEssä valmistui toukokuussa 2019 YM:n ja STM:n rahoittama laajan yhteistyöverkoston toteuttama hanke ”Rakennusten rakennusteknisen kunnan arvioijien koulutusten ja pätevyyksien kehittäminen” (työnimeltään KUNTO-hanke). Tavoitteena oli parantaa kuntoarviointityön edellytyksiä, laatua ja merkitystä.

Rakennusten rakennusteknisen ja taloteknisten järjestelmien kuntoarvioinnin toimintaympäristön keskeisten muutosten kartoittamisen pohjalta tuotettiin kehitysesitykset pätevyyskoulutuksiin ja pätevyysvaatimuksiin.

Hankkeen keskeinen toimenpide-ehdotus oli osaamisvaatimusten uudistaminen siten, että niistä rakentuisi asumisterveysasetuksen mukaisten ulkopuolisten asiantuntijoiden hierarkiaan uusi porras, Rakennuksen kuntoarvioija (RKA), jolla olisi kaksi erikoistumisvaihtoehtoa: asuinkiinteistön ja asuinhuoneiston kuntoarvioija sekä suuren asuin- ja toimitilakiinteistön kuntoarvioija.

Säännöllisin väliajoin toteutettu kuntoarviointi on osa suunnitelmallista kiinteistöpitoa, joka vähentää rakenteiden ja järjestelmien vaurioitumisen riskiä ja myös niistä johtuvia terveyshaittoja. Kuntoarviota voitaisiin tulevaisuudessa käyttää laajemmin terveydensuojeluvalvonnan tukena.

1. Johdanto

Asuntokaupan yhteydessä tehtävän kuntotarkastuksen tavoitteena on tuottaa puolueetonta tietoa asuntokaupan osapuolille rakennuksen rakennusteknisestä ja taloteknisten järjestelmien kunnosta, korjaustarpeista, vaurio- ja käyttöturvallisuusriskeistä sekä rakennuksen terveellisyyteen liittyvistä riskeistä toimenpide-ehdotuksineen. Kuntotarkastuksen tekee yleensä rakennustekninen asiantuntija. [1]

Kiinteistön kuntoarvioinnin tavoitteena on kunnossapitosuunnittelun lähtötietojen hankinta. Säännöllisesti toteutettuna kuntoarviointi edistää kiinteistön suunnitelmallista kunnossapitoa ja oikein ajoitettuja ja toteutettuja korjaustoimenpiteitä. Kuntoarviointi toteutetaan rakenne-, LVIA- ja sähkötekniikan asiantuntijan ryhmätyönä. [1]

”Asuntokaupan kuntotarkastuksessa” ja ”kiinteistön kuntoarvioinnissa” on molemmissa pohjimmiltaan kyseessä toimenpide, jota kutsutaan kuntoarvioinniksi. Kiinteistö- ja rakentamisalan pätevyysanastossa kuntoarviointi on määritetty näin: ”Selvitys, jossa pääasiassa aistinvaraisesti, asiakirjoihin tutustumalla ja rakennetta rikkomatta arvioidaan kohteen kunto ja

korjaustarpeet” [2]. Apuna voidaan käyttää rakennetta rikkomattomia tutkimusvälineitä. Kuntoarvioinnissa selvitetään kiinteistön tilojen, rakennusosien, taloteknisten järjestelmien ja ulkoalueiden kunto aistinvaraisesti, arvioidaan kiinteistön korjaustarvetta ja laaditaan kunnossapitosuunnitelma. Kuntoarvioinnissa tarkastellaan myös sisäolosuhteita ja energiataloutta. Tässä dokumentissa käytetään jatkossa pääasiallisesti termiä ”kuntoarviointi” molemmista toimenpiteistä ja tarvittaessa käytetään lisämääreitä selventämään, mitä tarkoitusta varten toimenpide on tehty.

Lainsäädännössä ei esitetä tällä hetkellä pätevyys- ja osaamisvaatimuksia kuntoarvion tekijälle. Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpätevyudet FISE Oy:llä (FISE) on palvelussaan kaksi tämän osa-alueen vapaaehtoista pätevyyttä:

- Asuntokaupan kuntotarkastajan pätevyys, siirretty FISEn pätevyysjärjestelmään vuonna 2009, perustuu ympäristöministeriön ohjauksessa vuonna 2000 tehtyyn yhteiseen toimintamalliin
- Rakennuksen kuntoarvioijan pätevyys, siirretty FISEn pätevyysjärjestelmään vuonna 2010.

Lisäksi Keskuskauppakamarin tarkastuksiin hyväksytyt hyväksymisryhmän 3.7 tavarantarkastajat tekevät kuntotarkastuksia. Suurimmalla osalla kentällä toimintaa harjoittavista tarkastajista ei ollut keväällä 2019 ulkopuolisen tahon toteamaa pätevyyttä.

Osana Kosteus- ja hometalkoot -toimenpideohjelmaa (YM 2009-2016) toteutettiin vuosina 2011-2013 ”Asuntokaupan turvan parantaminen” -hanke. Hankkeen loppuraportissa vuonna 2013 annettiin useita toimenpide-ehdotuksia asuntokaupan osapuolten turvan parantamiseksi ja kosteus- ja homevaurioihin liittyvien kiinteistökauppapariitojen ennaltaehkäisemiseksi. KUNTO-hankkeen selvitystyön tuloksena voitiin todeta, että esitettyjä lainsäädäntöuudistuksia mm. tekijöiden pätevyysiin liittyen ei ole toteutettu ja tunnistettuja ongelmia ei ole pystytty juurikaan vähentämään.

Rakennuksen kunnan arviointiin, tutkimiseen ja korjaustyöhön liittyviä säädöksiä on uudistettu merkittävästi osana viime vuosien rakentamisen ja terveydensuojelun säädösuudistuksia.

Keskeisimpiä toimijoiden pätevyysiin liittyviä uudistuksia ovat olleet:

- MRL 41/2014 (voimaan 1.9.2014): Säädettiin suunnittelijoiden ja työnjohtajien kelpoisuusvaatimukset eri vaativuusluokissa. [3]
- MRL 41/2014 nojalla annettu valtioneuvoston asetus 214/2015 (voimaan 1.6.2015): Määritettiin kosteusvaurion korjaustyön erityisala ja sen suunnittelutehtävien määräytyminen eri vaativuusluokkiin. [4]
- TSL 1237/2014 (voimaan 1.3.2015): Säädettiin asunnon ja muun oleskelutilan tutkimuksia ja selvityksiä viranomaisvalvontaa varten tekevien ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyyksistä sekä säädettiin yksityisten henkilösertifioijien toimintaedellytyksistä. [5]
- TSL 1237/2014 nojalla annettu asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (voimaan 15.5.2015, ns. asumisterveysasetus): Esitettiin ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset (rakennusterveysasiantuntija, kosteusvaurion kuntotutkija, sisäilma-asiantuntija). [6]

Ympäristöministeriön ohjeet rakennuksen suunnittelijoiden kelpoisuudesta [7] ja rakentamisen työnjohtajien kelpoisuudesta [8] ja Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen osa 5 [9] sisältävät em. lainsäädäntöä täydentäviä säännöksiä osaamis- ja pätevyysvaatimuksista.

Em. säädösmuutosten perusteella FISE perusti vuonna 2015 kosteusvaurion korjaussuunnittelijan, korjaustyönjohtajan ja kuntotutkijan pätevyudet. Vastaavasti Eurofinns Expert Services Oy perusti asumisterveysasetuksen mukaiset rakennusterveys- ja sisäilma-asiantuntijan pätevyudet.

2. Kuntoarvioijien koulutusten ja pätevyysien uudistaminen

KUNTO-hankkeessa tuotettiin uudet osaamis- ja pätevyysvaatimukset rakennusten rakennusteknisen kunnan arvioijille. Hankkeen loppuraportissa pätevyuden nimeksi esitettiin ”Rakennuksen kuntoarvioija RKA” [1]. Rakennuksen kuntoarvioijan RKA tutkintovaatimukseksi esitettiin rakennus- tai LVI-alalla suoritettua korkeakoulututkintoa, joka on vähintään rakennusmestari (AMK) tai vastaava aiempi, vähintään teknikon tutkinto. Muiden soveltuvien korkeakoulututkintojen suorittaneiden henkilöiden tulisi osoittaa tutkintotodistuksissaan ja sitä täydentävien opintojen todistuksissaan vähintään 60 op suorituksia talonrakennus- tai LVI-alalta.

Rakennuksen kuntoarvioijan RKA pätevyysiksi olisi kaksi ja niissä edellytettäisiin kyseisen erikoistumisvaihtoehdon mukaan suoritettua täydennyskoulutusta ja työkokemusta.

Erikoistumisvaihtoehdot olisivat seuraavat:

1. **Asuinkiinteistön ja asuinhuoneiston kuntoarvioija** tekisi omakotitalon, kerrostalo-, rivi-, erillis- tai paritalo- ja huoneiston kuntoarvioinnin, jossa tuotettaisiin tietoa rakennuksen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, käyttöturvallisuus- ja terveysriskeistä sekä toimenpide-ehdotuksista. Kuntoarviointi rajoittuisi huoneistoa koskeviin osiin. Kuntoarvioon sisältyisi myös tarkempien lisätutkimusten tarpeen arviointi.
2. **Suuren asuin- ja toimitilakiinteistön kuntoarvioija** toimisi ryhmässä, jossa olisi rakennus-, LVIA- ja sähkötekninen asiantuntija. Kuntoarvioinnin kohteena olisi asuinkerrostalo, palvelu-, liike-, toimisto- tai teollisuuskiinteistö. Kuntoarviointi tuottaisi tietoa rakennuksen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, käyttöturvallisuus- ja terveysriskeistä ja se sisältäisi myös energiatalouden selvityksen. Kuntoarvion osana laadittaisiin pitkän aikavälin kunnossapitosuunnitelma PTS. Kuntoarvioon sisältyisi myös tarkempien lisätutkimusten tarpeen arviointi. Kuntoarviointi tehtäisiin säännöllisesti viiden vuoden välein yli kymmenen vuotta vanhoille kiinteistöille.

Esitetyt osaamisvaatimukset osaamisalueittain koottiin soveltaen TSL 1237/2014 49 d §:n ensimmäisen momentin kaikkien ulkopuolisten asiantuntijoiden osaamisvaatimuksia. RKA:n osaamisvaatimuksiksi esitettiin noin puolta (13 op) kosteusvaurion kuntotutkijan KVKT:n osaamisvaatimuksista (27 op) sisältäen kuntoarvioinnin erityispiirteet.

Taulukossa 1 on KUNTO-hankkeen esitys osaamisvaatimuksiksi. Opintojen tarkempi sisältökuvaus sekä erikoistumisvaihtoehtojen 1 ja 2 eriytetyt osaamisvaatimukset on esitetty hankkeen loppuraportissa [1].

Taulukko 1. Rakennuksen kuntoarvioijalle RKA esitetyt osaamisvaatimukset eri osaamisalueittain (opintopiste = op). [1]

A. SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET, TERVEYSVAIKUTUKSET, TUTKIMINEN, TORJUNTA	
Osa 1. Sisäilman epäpuhtaudet	Vähintään 1 op a) Kemiallinen sisäympäristö (väh. 0,5 op) b) Mikrobiologinen sisäympäristö (väh. 0,5 op) Tietää tärkeimmät sisäympäristötekijät ja niiden lähteet, mittaus- ja näytteenottomenetelmät sekä epäpuhtauksien toimenpiderajat. Pystyy tulkitsemaan sisäympäristö-tutkimuksista saatuja tuloksia kuntoarvion tulosten yhteydessä sekä osaa raportoida kirjallisesti ja suullisesti niistä.
Osa 2. Sisäympäristön tutkimusmenetelmät	Vähintään 0,5 op a) Kemiallinen sisäympäristö (väh. 0,25 op) b) Biologinen ja mikrobiologinen sisäympäristö (väh. 0,25 op) Tuntee sisäympäristön tutkimusmenetelmät.
Osa 3. Terveysvaikutukset	Vähintään 0,5 op Tuntee eri sisäympäristötekijöiden aiheuttamat yleisimmät vaikutukset ihmisten terveyteen. Tuntee terveyshaitan käsitteen eri säädösten nojalla.
Moduuli A yht.	Vähintään 2 op
B. RAKENNUSFYSIKKA, FYSIKAALISET OLOSUHTEET, KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT, RAKENNE- JA TUOTANTOTEKNIikka JA JURIDIikka	
Osa 1. Rakennusfysiikka ja fysikaaliset olosuhteet	Vähintään 3 op Tuntee sisäympäristön fysikaaliset olosuhteet. Tuntee keskeiset rakennusfysikaaliset käsitteet ja määritelmät. Tuntee rakennusten kosteuslähteet, kosteuden siirtymismekanismit ja normaalit kosteuspitoisuudet eri rakenteissa. Tuntee lämmöneristyksen, ilmatiiveyden ja äänen eristävyuden merkityksen.
Osa 2. Kuntotutkimusmenetelmät	Vähintään 2 op Tuntee sisäympäristön fysikaalisten olosuhteiden mittausmenetelmät ja osaa tehdä mittaukset (lämpötila ja kosteus). Tuntee kuntoarvion ja -tutkimuksen laadintaperiaatteet siten, että osaa tehdä kuntoarvion ja arvioida lisätutkimusten tarpeen. Osaa laatia ehdotuksen kiinteistön kunnossapitosuunnitelmaehdotuksen (PTS-ehdotus) kustannusarvioineen. Osaa tulkita ja raportoida kuntoarvion tulokset ja merkityksen rakenteiden ja talotekniikka järjestelmien toimivuuden kannalta.
Osa 3. Rakenne- ja tuotantotekniikka	Vähintään 3,5 op a) Rakennetekniikka (väh. 3 op) b) Tuotantotekniikka (väh. 0,5 op) Tuntee eri aikakausien yleisimmät rakenneratkaisut sekä osaa arvioida niihin liittyviä riskejä ja vaihtoehtoisia korjaustapoja. Tuntee sisäympäristöongelman korjaamiseen liittyviä erityistoimia (puhtauden ja kosteuden hallinta).
Osa 4. Juridiikka	Vähintään 1 op Tietää ja osaa soveltaa tapauskohtaisesti käytännön työssään sisäympäristöön ja eri aikakausien rakentamiseen liittyvää lainsäädäntöä, määräyksiä ja ohjeita sekä sopimuksen laatimista ja sopimustekniikkaa.
Moduuli B yht.	9,5 op
C. ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTITEKNIikka	
Osa 1. Teoria	Vähintään 1,5 op Ymmärtää ilmanvaihdon merkityksen, tehtävän ja toimintaperiaatteet sekä niihin liittyvät tyypillisimmät ongelmat ja ennaltaehkäisy.
Moduuli C yht.	1,5 op
YHTEENSÄ	13
Opinnäytetyö	raportti¹

¹ erikoistumisvaihtoehdon mukainen kuntoarvioraportti.

AHOT-menettelyä (aikaisemmin hankitun osaamisen tunnistaminen ja tunnustaminen) esitettiin sisällytettäväksi osaksi RKA:n osaamisen todentamista. Sen tulisi olla osa koulutustoimintaa ja siihen sisältyisi aiempien opintojen ja työkokemuksen huomioiminen näyttöineen. Näin ollen mm. aiemmin vapaaehtoisen FISE-pätevyyden omaavien toimijoiden lisäkoulutustarve vähenisi. Näihin pätevyysiin johtava täydennyskoulutus voisi olla yhteinen siten, että tarvittavilta osin järjestetään eriytetty koulutus. Pätevyysiin vaadittava työkokemus olisi tehtävien kuntoarvioiden mukainen.

3. RKA-pätevyyden sijoittuminen pätevyyshierarkiaan

KUNTO-hankkeen yhtenä tavoitteena oli selvittää kuntoarvioinnin pätevyysien suhdetta läheisiin muihin pätevyysiin.

Taulukko 2. Ulkopuolisten asiantuntijoiden (rakennusterveysasiantuntija RTA, sisäilma-asiantuntija SISA ja kosteusvaurion kuntotutkija KVKT) osaamisvaatimukset ja rakennuksen kuntoarvioijalle RKA esitetyt osaamisvaatimukset eri osaamisalueittain (opintopiste = op).

Moduuli	RTA, op	SISA, op	KVKT, op	RKA, op
A. SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET, TERVEYSVAIKUTUKSET, TUTKIMINEN, TORJUNTA	13	13	7	2
B. RAKENNUSFYSIKKA, FYSIKAALISET OLOSUHTEET, KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT, RAKENNE- JA TUOTANTOTEKNIikka JA JURIDIikka	14	9	17	9,5
C. ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTITEKNIikka	3	3	3	1,5
YHTEENSÄ	30	25	27	13
Opinnäytetyö	15	raportti¹	raportti²	raportti³

¹Sisäilma-asiantuntijalla SISA sisäilmaselvitysraportti sisältyy opintosuunnitelmaan (ei mainita asetuksessa, vaan Valviran ohjeessa osassa V, 2016)

²Kosteusvaurion kuntotutkijalla KVKT kuntotutkimusraportti sisältyy opintosuunnitelmaan (ei mainita asetuksessa, vaan Valviran ohjeessa osassa V, 2016)

³Rakennuksen kuntoarvioijalla RKA erikoistumisvaihtoehdon mukainen kuntoarvioraportti sisältyy opintosuunnitelmaan (ei mainita asetuksessa, eikä Valviran ohjeessa osassa V, 2016)

KUNTO-hankkeen esitys kuntoarvioijan koulutuksen sisällöstä ja laajuudesta suhteessa rakennusterveysasiantuntijan, sisäilma-asiantuntijan ja kosteusvaurion kuntotutkijan vastaaviin vaatimuksiin on esitetty edellä olevassa taulukossa 2.

Asumisterveysasetukseen vuonna 2015 sisällytettyjen ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysiin johtavaa koulutusta järjestetään tällä hetkellä useassa eri oppilaitoksessa eri puolilla Suomea. RKA- koulutuksen integrointi osaksi olemassa olevaa koulutusjärjestelmää on perusteltua ja pyrkimyksenä on saada useat koulutustahot, mm. korkeakoulut, järjestämään tätä koulutusta.

Ympäristöministeriön ja sosiaali- ja terveysministeriön viime vuosien lainsäädäntöuudistuksissa on määritelty kosteusvaurion kuntotutkijoiden ja korjaussuunnittelijoiden pätevyudet. KUNTO-hankkeen selvitystyössä tunnistettiin kuntoarvioijien toiminnan yhteys edellä mainittujen asiantuntijoiden toimintaan. [1]

TSL 1237/2014 49 d §:n ensimmäisen momentin (2014) ja asumisterveysasetuksen 545/2015 mukaisina ulkopuolisina asiantuntijoina, rakennusterveysasiantuntija tai kosteusvaurion

kuntotutkija tekevät koko rakennuksen kattavan kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen (Ympäristöopas 2016). Säännöllisin väliajoin tehtynä rakennusten kuntoarvio ja -tutkimus sekä tarvittavien korjaus- ja huoltotoimenpiteiden arviointi, toteutus ja dokumentointi pienentäisivät rakennuksen ja järjestelmien vaurioitumisen riskiä ja myös niistä johtuvia terveyshaittoja. [1] Mikäli rakennuksen omistaja olisi teettänyt rakennuksesta kuntoarvion, voisi terveydensuojeluviranomainen käyttää kuntoarviota lähtötietona oman tarkastuksen ja havaintojen tukena jatkotutkimusten tarpeen määrittelyssä. Tällöin terveydensuojeluviranomainen arvioisi tehdyn kuntoarvion käytettävyyden terveydensuojeluviranomaisen tukena. Muihin kuin terveydensuojelulain 49 d §:n ensimmäisen momentin mukaisiin asiantuntijoihin sovelletaan lain 49 §:n toista momenttia. Sen mukaan tehtävään on käytettävä muutoin pätevää henkilöä. Pätevyyden arvioi kunnan terveydensuojeluviranomainen tapauskohtaisesti. Lain perustelujen mukaan tällaisissakin tapauksissa tulisi käyttää mahdollisimman pätevää asiantuntijaa, ensisijaisesti mahdollisen kyseisen osaamisalueen pätevyysrekisteriin merkittyä asiantuntijaa.

Rakennuksen kuntoarvioijan RKA toiminta:

1. **Asuinkiinteistön ja asuinhuoneiston kuntoarvioija** voisi suorittaa kuntoarvioinnin yksin, mutta sen voisi toteuttaa myös ryhmätyönä. Kuntoarviointi suositeltaisiin tehtäväksi säännöllisesti ja sitä voitaisiin hyödyntää myös asuntokaupan yhteydessä riippumattomana asiantuntija-arviona myytävän kiinteistön rakennusteknisestä kunnosta.
2. **Suuren asuin- ja toimitilakiinteistön** kuntoarvioija toimisi ryhmässä, jossa olisi rakennus-, LVIA- ja sähkötekniikan asiantuntija. Kuntoarviointi tuottaisi tietoa rakennuksen rakennusteknisestä kunnosta, korjaustarpeista, vaurio-, käyttöturvallisuus- ja terveysriskeistä ja se sisältäisi myös energiatalouden selvityksen. Kuntoarvion osana laadittaisiin pitkän aikavälin kunnossapitosuunnitelma PTS. Kuntoarvioon sisältyisi myös tarkempien lisätutkimusten tarpeen arviointi. Kuntoarviointi tehtäisiin säännöllisesti viiden vuoden välein yli kymmenen vuotta vanhoille kiinteistöille.

4. KUNTO-hankkeen toimenpide-ehdotusten yhteenveto

KUNTO-hankkeen loppuraportissa [1] on esitetty toimenpide-ehdotukset kuntoarviotyön edellytysten, laadun ja merkityksen parantamiseksi. Keskeiset toimenpide-esitykset olivat:

- Esitetyt rakennuksen kuntoarvioijan RKA osaamis- ja pätevyysvaatimukset liitetään osaksi TSL 1237/2014 49 d §:n mukaisten ulkopuolisten asiantuntijoiden hierarkiaa muuttamalla säädöksiä (asumisterveysasetus ja Valviran ohje osa V)
- Käynnissä olevassa MRL:n kokonaisuudistuksessa huomioidaan rakennusten ylläpidon ja korjaussuunnittelun tueksi kuntoarviointien ja -tutkimusten tarve. Uudistetuissa säädöksissä tulisi vaatia kuntoarvioijilta ja -tutkijoilta (RKA, RTA ja KVKT) osaamista ja pätevyyskriteerejä samoin kuin muiltakin kosteusvaurion korjaustyön erityisalalla toimivilta (KVKS ja KVKTJ).

Hankkeen selvitystyön tuloksena todettiin, että Kosteus- ja hometalkoot -toimenpideohjelmassa vuosina 2011-2013 toteutetun ”Asuntokaupan turvan parantaminen” -hankkeen toimenpide-ehdotukset ovat edelleen pääosin toteuttamatta, mutta ajantasaistettuna yhä ajankohtaisia. Esitetyt lainsäädäntöuudistukset ovat tarpeellisia asuntokaupassa tunnistettujen ongelmien vähentämiseksi. Keskeistä on, että ministeriöiden ohjaus saadaan sovitettua yhteen.

Hankkeen esitykset ovat linjassa Valtioneuvoston Terveet tilat 2028 -ohjelman sisällön kanssa osaamisen kehittämisen ja tarvittavien säädosmuutosten osalta. Keväällä 2019 julkaistussa Rinteen hallitusohjelmassa asuntopolitiikan kokonaisuudessa tavoite on ilmaistu konkreettisesti:

”Tuodaan kuntotarkastustoiminta lainsäädännön piiriin ja asetetaan kuntotarkastajille pätevyysvaatimukset.” KUNTO-hankkeessa tuotettu materiaali palvelee suoraan näiden tavoitteiden toteuttamista.

Koulutusten ja osaamisvaatimusten sekä pätevyyksien uudistamisen lisäksi tarvitaan toimintakentän ongelmien ratkaisemiseksi monia muita toimenpiteitä. KUNTO-hankkeen loppuraportissa on esitetty toimenpide-ehdotukset seuraaville tahoille: kuntoarvioijat, sertifiointitaho, kuntoarviota käsittelevien ohjekorttien ylläpitäjätaho, kiinteistönvälittäjät, kiinteistön omistajat sekä ministeriöt ja muut viranomaiset.

Kuntoarviointi tehtäisiin jatkossakin Rakennustiedon ylläpitämien ohjekorttien mukaisesti. Kaikki ohjekortit tulisi uudistaa vastaamaan ajantasaista lainsäädäntöä ja ohjeistusta.

Lähdeluettelo

- [1] Kokotti H., Mäkinen M., Koskinen-Tammi T. 2019. Rakennusten rakennusteknisen kunnan arvioijien koulutusten ja pätevyyksien kehittäminen, KUNTO-hanke – Loppuraportti 2019. https://fise.fi/wp-content/uploads/2019/06/KUNTO-Loppuraportti-liitteinen-2019_0524.pdf
- [2] Sanastokeskus TSK 2019 ja FISE Oy. Kiinteistö- ja rakentamisan pätevyysiin liittyvät käsitteet. 2019. https://fise.fi/wp-content/uploads/2019/09/Patevyyskasitteet_2019-09-19_julkaistava-versio.pdf
- [3] Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 41/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140041>
- [4] Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä 214/2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150214>
- [5] Laki terveydensuojelulain muuttamisesta 1237/2014. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141237>
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>
- [7] Ympäristöministeriön ohje rakennusten suunnittelijoiden kelpoisuudesta YM2/601/2015. Ympäristöministeriö 2015. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suunnittelu_ja_valvonta
- [8] Ympäristöministeriön ohje rakentamisen työjohtotehtävien vaativuusluokista ja työjohtajien kelpoisuudesta YM4601/2015. Ympäristöministeriö 2015. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suunnittelu_ja_valvonta
- [9] Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Osa V. Valvira 2016. <https://www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisoh-1>

Uusi kosteudenhallintakoordinaattorin FISE-pätevyys

Marita Mäkinen¹, Markku Hienonen², Risto Mykkänen³

¹ Rakennus-, LVI- ja kiinteistöalan henkilöpatentit FISE Oy

² Rakennustarkastusyhdistys RTY ry.

³ Helsingin kaupunki Rakennetun omaisuuden hallinta

Tiivistelmä

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta edellytetään, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä, jonka tehtävänä on valvoa ja ohjata rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutumista koko rakentamisprosessin ajan.

TOPTEN-rakennusvalvontojen tulkintakortissa kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä käytetään käsitettä kosteudenhallintakoordinaattori.

FISEn pätevyysjärjestelmään perustettiin uusi kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys auttamaan hankkeeseen ryhtyviä pätevien asiantuntijoiden löytämisessä. Ensimmäiset kosteudenhallintakoordinaattorien pätevyudet todetaan alkuvuonna 2020, jonka jälkeen pätevyudet lisätään FISEn pätevyysrekisteriin.

1. Johdanto

1.1.2018 voimaan astuneessa ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen kosteusteknisestä toimivuudesta (782/2017, ”kosteusasetus”) edellytetään, että rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava rakennushankkeen kosteudenhallintaselvityksen laatimisesta [1]. Tarkoituksena on, että rakennushankkeeseen ryhtyvä kiinnittää huomiota kosteudenhallintaan ja mahdollisiin kosteusriskeihin rakennusprosessin alusta lähtien hankesuunnittelusta rakennuksen käyttövaiheeseen asti [2].

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. [1]

Rakennushankkeeseen ryhtyvän ei tarvitse itse laatia kosteudenhallintaselvitystä, vaan ryhtyvä voi teettää selvityksen pätevällä asiantuntijalla. Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitys edellytetään kaikilta luvanvaraisilta hankkeilta. Kyseisen velvoittavan säännöksen tavoitteena on painottaa rakentamisen kosteudenhallinnan merkitystä tavoiteltaessa terveellisiä, turvallisia ja pitkäikäisiä rakennuksia. [2]

Rakennushankkeen kosteudenhallintaselvitykseen on sisällyttävä tieto hankkeen kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä. Tarkoituksena on, että rakennushankkeeseen ryhtyvä nimeää pätevän asiantuntijan toimimaan hankkeen

kosteudenhallinnasta vastaavana henkilönä. Kyseisenä asiantuntijana voi toimia eri henkilö rakentamisprosessin eri vaiheissa. Asiantuntijan tehtävänä on valvoa ja ohjata rakennushankkeen kosteudenhallinnan toteutumista koko rakentamisprosessin ajan. Kosteudenhallinnan onnistumisen kannalta on suositeltavaa, että asiantuntija on mukana hankkeessa jo hankesuunnitteluvaiheessa. [2]

Suurimpien rakennusvalvontojen (ns. TOPTEN-rakennusvalvonnat) yhteistyössä laatimassa tulkintakortissa 117c 01 [3] on avattu kosteusasetuksen mukaisen kosteudenhallintaselvityksen laajempaa merkitystä ja sen yksityiskohtaisempaa sisältöä. Tulkintakortissa asetuksen ”kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavasta henkilöstä” käytetään käsitettä kosteudenhallintakoordinaattori. Kosteudenhallintakoordinaattori voi olla hankkeeseen ryhtyvän omasta organisaatiosta tai ulkopuolinen henkilö. Ryhtyvä arvioi henkilön kelpoisuuden tehtävään ja huolehtii, että selvityksessä näkyy henkilön koulutustausta ja kokemus kosteudenhallintaan liittyvistä tehtävistä. [3]

FISEn pätevyysjärjestelmään perustettiin keväällä 2019 uusi kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys. Tavoitteena oli edistää kosteusasetuksen yhtenäistä tulkintaa ja auttaa hankkeeseen ryhtyviä kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavien henkilöiden löytämisessä. Pätevyyden kehittämisessä määritettiin kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys- ja osaamisvaatimukset.

Kokemuksia erillisen kosteudenhallintakoordinaattorin käytöstä on toistaiseksi lyhyeltä ajalta. Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävien ja vastuiden sisältö kaipaa vielä hiomista erityisesti tilaamis- ja suunnitteluvaiheen osalta. Myös rakennusvalvontaviranomaisten odotukset koordinaattorin suhteen ovat osittain tapauskohtaisia. Nyt käynnistynyt kosteudenhallintakoordinaattoreiden koulutus ja pätevyiden toteaminen mahdollistavat aiempaa systemaattisemman toiminnan rakennushankkeiden kosteudenhallinnassa.

2. Uusi kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys ja pätevyysvaatimukset

Uusi kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys perustuu kosteusasetuksen 12 §:ään. Jotta asetuksen keskeinen tavoite parantaa kokonaisvaltaista ja ennakoivaa kosteudenhallintaa toteutuisi, kosteudenhallintakoordinaattorilla tulee olla valmiuksia toimia rakennushankkeessa hankesuunnittelusta aina käyttöönottovaiheeseen asti. Hänen työssään korostuu sekä suunnittelu-, toteutus- että käyttöönottovaiheen ohjaus ja saumaton yhteistyö hankkeen eri osapuolten kanssa. Kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyysvaatimuksia määritettäessä lähtökohtana oli TOPTEN-rakennusvalvontojen tulkintakortti 117c 01 [3] ja Kuivaketju10-toimintamalli [4].

Pätevyys on tarvelähtöinen pätevyys, jolle ei ole esitetty pätevyysvaatimuksia maankäyttö- ja rakennuslaissa ja sen nojalla annetuissa asetuksissa. Pätevyysvaatimukset kehitettiin FISEssä yhteistyössä keskeisten sidosryhmien edustajien kanssa.

Pätevyyksien toteamista varten FISEen perustettiin uusi kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyslautakunta, joka ensimmäiseksi viimeisteli pätevyysvaatimukset ja hyväksyi pätevyyskoulutukset. FISEn hallitus hyväksyi pätevyysvaatimukset helmikuussa 2019, jonka jälkeen pätevyys julkaistiin FISEn verkkosivuilla [5].

Tarvelähtöiselle pätevyydelle asetettujen vaatimusten taustalla oli maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) määrittämät suunnittelijoiden ja työnjohtajien kelpoisuusvaatimukset, jotka koostuvat koulutus- ja työkokemusvaatimuksista. Kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyysvaatimukset

johdettiin suunnittelijoiden ja työnjohtajien kelpoisuusvaatimuksista ja lähtökohtana käytettiin vaativuusluokkaa ”vaativa”. Tehtävän ollessa poikkeuksellisen vaativa hankkeeseen ryhtyvä voi harkintansa mukaan edellyttää koordinaattorilta vaativampaa työkokemusta.

Pätevyysvaatimukset koostuvat koulutus- ja työkokemusvaatimuksesta. Tutkintona edellytetään rakennusalalla suoritettua vähintään ammattikorkeakoulutasoista korkeakoulututkintoa tai vastaavaa aiempaa tutkintoa. Opintoina edellytetään rakennusfysiikasta vähintään 3 op opintosuoritukset.

Pätevyyteen on räätälöity uusi moduuleista koostuva kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyskoulutus, jonka laajuus on 5 op. Pätevyyskoulutukseen kuuluu näyttötyö, jossa laaditaan kosteudenhallintaselvitys ja seuranta-analyysi kehitysehdotuksineen rakennushankkeen kosteudenhallinnasta.

Pätevyysvaatimukseen kuuluu lisäksi FISE-pätevyystentti, josta vastaa FISEn kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyslautakunta. Jokainen pätevöityvä suorittaa FISEn järjestämän valtakunnallisen tentin riippumatta suoritetusta täydennyskoulutuksesta.

Kosteudenhallintakoordinaattorin työkokemuksena edellytetään pätevyyteen vaadittavan tutkinnon suorittamisen jälkeistä monipuolista kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävää tukevaa kokemusta yhteensä vähintään kaksi vuotta. Referenssit voivat sisältää suunnittelu-, työnjohto- tai valvontatehtäviä. Referenssitehtävien tulee olla vaativan vaativuusluokan tehtävistä.

Pätevyys on voimassa seitsemän vuotta kerrallaan, jonka jälkeen pätevyys tulee uusiksi. Pätevyyden uusimisella hakija osoittaa, että on toiminut aktiivisesti todetun pätevyyden määrittelemässä tehtävässä. Uusimisvaatimukset koostuvat työkokemuksesta, työnäytteistä ja päivityskoulutuksesta.

3. Kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyskoulutus

Pätevyyskoulutus koostuu viidestä moduulista, joiden sisältö ja laajuus on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyskoulutuksen moduulit, niiden sisällöt ja laajuudet.

Moduuli	Laajuus	Sisältö
Moduuli 1: Kosteudenhallinta- koordinaattori hankkeeseen ryhtyvän edustajana	0,5 op	<ul style="list-style-type: none"> Lainsäädäntö ja viranomaisohjaus Hankkeeseen ryhtyvän keskeinen rooli ennakoivassa kosteudenhallinnassa Kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävät hankkeen eri vaiheissa (tilaaminen, suunnittelu, toteutus, käyttöönotto, käyttö) Kosteudenhallinnan toteuttaminen Kuivaketju10 -toimintamalli Kosteudenhallintaselvitykseen perustuva menettely (TOPTEN – rakennusvalvonnat kortti 117c 01)
Moduuli 2: Suunnitteluvaiheen ohjaus ja valvonta	1,5 op	<ul style="list-style-type: none"> Rakennusfysikaalisen toimivuuden ja kosteudenhallinnan kannalta kriittiset rakenteet Rakennusmateriaalien kosteuskäyttäytyminen ja vaurioherkyys (betonin, kipsilevyjen, muurattujen rakenteiden ym. kastuminen ja kuivuminen) Lattioiden ja seinien päällysteiden (maalit, liimat, jne.) kosteustekninen toiminta Taloteknisten järjestelmien (kanavat ja putket) huomiointi rakenteiden kosteusteknisessä toimivuudessa Tarvittavat suunnitelmat työmaatoteutuksen onnistumisen varmistamiseksi Toteutusvaiheen laadunvarmistustoimenpiteiden suunnittelu Esimerkit käytänteistä suunnittelun ohjauksessa
Moduuli 3: Työmaatoteutuksen ohjaus ja valvonta	1,5 op	<ul style="list-style-type: none"> Rakennusmateriaalien ja rakenteiden kastumisen estäminen Kuivumisolosuhteiden hallinta Rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamiseen käytettävät menetelmät Työmaatoteutuksen kosteudenhallinnan suunnittelun ohjaus Esimerkit käytänteistä työmaatoteutuksen ohjauksessa ja valvonnassa
Moduuli 4: Käyttöönottovaiheen ohjaus ja valvonta	0,5 op	<ul style="list-style-type: none"> Taloteknisten järjestelmien säätö Seurantamittaussuunnitelmat Ylläpidon riskilistan laatiminen Ylläpidon vastuuhenkilöiden ohjeistus ja koulutus Esimerkit käytänteistä käyttöönottovaiheen ja ylläpidon ohjauksessa ja valvonnassa
Moduuli 5: Näyttötöyö	1,0 op	<ul style="list-style-type: none"> Itse laadittu kosteudenhallintaselvitys Seurantaraportti kehitysehdotuksineen rakennushankkeen kosteudenhallinnasta Näyttötöyöseminaariin osallistuminen ja sovittujen näyttötöiden opponointi
Yhteensä	5 op	

Pätevyyskoulutuksen tulee olla käytännönläheistä sisältäen esimerkkejä todellisista vaativista kohteista. Koulutuksen läpileikkaavina teemoina tulee olla yhteistyötaidot sekä muut

koordinaattorin työn kannalta oleelliset niin sanotut työelämätaidot. Koulutus tulee järjestää kontaktiopetuksena, jolla edistetään em. taitojen kehittämistä.

Osana kosteudenhallintakoordinaattorin täydennyskoulutusta suoritetaan tarvittaessa opiskelijakohtainen aikaisemmin hankitun osaamisen tunnistaminen (AHOT-menettely). Koulutuksen järjestäjä ilmoittaa koulutuksen toteutussuunnitelmassa AHOT-käytäntönsä. AHOT-menettelyssä opiskelija anoo koulutuksen järjestäjältä täydennyskoulutuksen yksittäisen tai useamman osan korvaamista aikaisemmin hankitulla osaamisella. Osaaminen on näytettävä koulutuksen järjestäjälle esim. tenttimällä vastaava osaamisalue tai tehdyillä kosteudenhallintaselvityksillä raportteineen. Kosteudenhallintakoordinaattorin koulutuksen näyttötyö (1 op) on suoritettava kokonaisuudessaan, mikäli työssä aiemmin tehdyt vastaavat näyttötyöt ovat vanhempia kuin viisi vuotta.

Kosteudenhallintakoordinaattorin täydennyskoulutukset käynnistettiin keväällä 2019 monella paikkakunnalla rakennusalan usean koulutusorganisaation toimesta. Ne saadaan päätökseen syksyllä 2019. FISEn kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyslautakunta on hyväksynyt seuraavien neljän koulutusorganisaation pätevyyskoulutukset:

- Metropolia AMK
- Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO
- Savonia AMK
- TTS Työteho-seura

Ensimmäinen kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyystentti järjestetään marraskuussa 2019. Pätevyystentin läpäisseiden pätevyyshakemukset käsitellään kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyslautakunnassa tammikuussa 2020. Näin ollen päteväksi todettuja kosteudenhallintakoordinaattoreita löytyy FISEn rekisteristä alkuvuonna 2020.

4. Yhteenveto

Kosteudenhallintakoordinaattorilla tulee olla valmiuksia toimia hankkeeseen ryhtyvän asiantuntijana koko rakennushankkeen ajan. Hänen työssään korostuu sekä suunnittelu-, toteutus- että käyttöönottovaiheen ohjaus ja saumaton yhteistyö hankkeen eri osapuolten kanssa.

FISEn kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyysvaatimukset laadittiin yhteistyössä sidosryhmien kanssa ja ne ovat linjassa TOPTEN-rakennusvalvontojen tulkintakortin 117c 01 ja Kuivaketju10-toimintamallin kanssa.

FISEn kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyysvaatimukset koostuvat koulutus- ja työkokemusvaatimuksista. Hakijalla tulee olla rakennusalan tutkinto, joka on vähintään AMK-tutkinnon tasoinen. Täydennyskoulutuksena edellytetään kosteudenhallintakoordinaattorin 5 op koulutusta. Hakijan tulee olla läpäissyt FISEn kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyystentti. Työkokemuksena edellytetään monipuolista kosteudenhallintakoordinaattorin tehtävää tukevaa kokemusta suunnittelu-, työnjohto- tai valvontatehtävistä.

Pätevyys uusitaan seitsemän vuoden välein osoittamalla, että hakija on toiminut aktiivisesti pätevyyden mukaisissa tehtävissä ja kehittänyt osaamistaan päivityskoulutuksella. Ensimmäiset pätevyyskoulutukset saadaan päätökseen syksyllä 2019, jonka jälkeen järjestetään pätevyystentti. Ensimmäiset kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyyslautakunnan toteamat pätevyudet saadaan FISEn pätevyysrekisteriin alkuvuonna 2020.

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>
- [2] Perustelumuistio ympäristöministeriön asetukseen rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta 782/2017. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys
- [3] TOPTEN-rakennusvalvonnat 2018. Kosteudenhallintaselvitys – Merkitys ja sisältö. <https://www.pksrava.fi/asp2/default.aspx>
- [4] Rakentamisen laatu RALA ry. Kuivaketju 10 – Rakennusprosessin kosteudenhallinnan toimintamalli. <http://kuivaketju10.fi/>
- [5] www.fise.fi

B2. Uudet ohjeet

RIL 250 – Päivitetyt ohjeet rakennusten kosteudenhallintaan ja homevaurioiden estämiseen

Gunnar Åström¹ ja Juha Vinha²

¹ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

² Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

Tiivistelmä

Ohjekirjasta *RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* julkaistaan päivitetty painos syksyllä 2019. Nykyisen kirjan ilmestymisen jälkeen on kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyen julkaistu paljon uusia määräyksiä, ohjeita ja tutkimustuloksia, minkä vuoksi nykyistä kirjaa on ollut tarve päivittää. Uudessa kirjassa on tarkennettu mm. rakennushankkeen kosteudenhallintaprosessia, eri osapuolten tehtäviä ja vastuita, jatkuvan kosteudenseurannan sisältöä ja hyötyjä, rakenteiden rakennusfysikaalisen suunnittelun periaatteita sekä siihen liittyviä ohjeita ja toteutustapoja. Rakennesuunnittelua koskeviin lukuihin on lisätty mukaan myös ympäristöministeriön uudesta kosteusasuksesta aiheeseen liittyvät tekstit.

1. Johdanto

RIL julkaisi vuonna 2011 kirjan, jonka tarkoitus oli pureutua laajalla näkökulmalla kosteus- ja homevaurioiden ehkäisyyn. RIL 250-2011 Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen - ohjekirja [1] oli laatuaan ensimmäinen ja sen tarkoitus on

- kuvata seikkaperäisesti kosteudenhallinnan prosessia ja antaa systemaattisia menettelytapoja kosteusteknisesti oikein toimivien rakennuksen suunnitteluun, toteuttamiseen, ylläpitoon ja käyttöön
- esittää yleisiä teknisiä suunnittelu- ja toteutusperiaatteita kosteuden ja kosteusriskien hallintaan.

Ohje esittää kosteudenhallintamallin ja sitoo yleisen kosteudenhallintatiedon kattavaan kokonaisuuteen rakennushankkeen ja kiinteistöpidon eri osapuolten käyttöön. Osittain nojataan olemassa olevaan ohjeistukseen, osittain esitetään omia toimintamalleja ja lisäksi mukaan on otettu uusimman tutkimustiedon perusteella laadittuja ohjeita. Tavoitteena on, että ohjeita noudattamalla vältetään rakennusten kosteus- ja homeongelmia. Ohje keskittyy ensisijaisesti kosteus- ja homevaurion estämiseen uudisrakentamisessa, mutta myös onnistuneen korjaushankkeen periaatteita käsitellään.

Ohje on tarkoitettu sekä rakennusalan ammattilaisille (rakennuttajat, suunnittelijat, urakoitsijat, jne.) että ei-teknille osapuolille, jotka eivät ole rakennusalan teknisiä ammattilaisia (tilaajat, omistajat, käyttäjät, ylläpitäjät, isännöitsijät ym.), mutta joilla on suuri vastuu rakennushankkeesta sekä rakennuksen toimivuudesta ja käytöstä. Tärkein anti ammattilaisille on ohjeen esittämä seikkaperäinen kosteudenhallintaprosessin systematiikka, jossa eri osapuolten vastuut ja tehtävät on kuvattu.

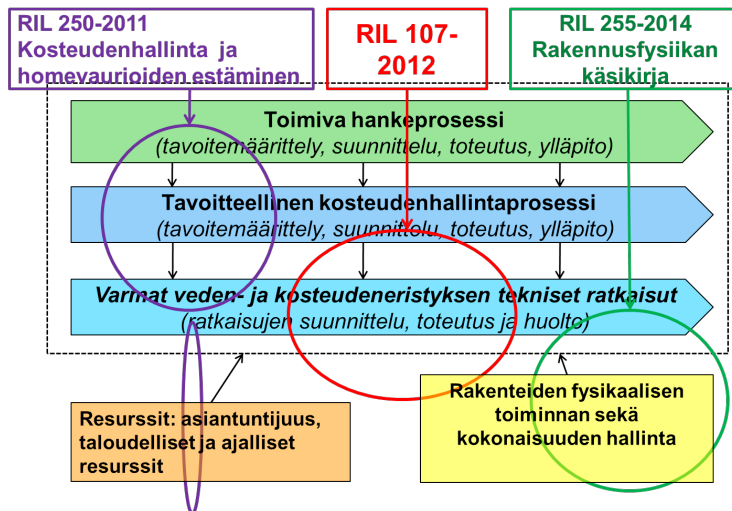
Kirja on saanut hyvän vastaanoton ja on merkittäväällä tavalla ollut mukana kehittämässä rakentamisen kosteudenhallintaa.

2. Ohjeen päivitystarve

Kirjan ilmestymisen jälkeen on kosteus- ja homevaurioiden hallinnassa tapahtunut paljon ja uutta tietoa on tuotettu mm. seuraavasti:

- Ympäristöministeriön vetämä Kosteus- ja hometalkoot tarttui vuosien 2009-2015 aikana eri keinoin kosteus- ja homeongelmiin, erityisesti olemassa olevien rakennusten korjausten näkökulmasta. Talkoiden tehtävänä oli kerätä mukaan laaja asiantuntijaryhmä, joka yhteisvoimin projektein ja tiedottamisella vaikuttaisi mm. maamme rakennuskannan tervehdyttämisen ja kosteus- ja homevaurioiden aiheuttamien terveyshaittojen vähenemiseen. Talkoisiin liittyvät projektit tuottivat paljon uutta tietoa, toimintatapaohjeita ja menetelmiä [2].
- Rakentamismääräyskokoelman uudistus valmistui vuonna 2018, jolloin kaikki rakentamismääräykset oli muutettu asetuksiksi. Uudistuksen taustalla oli vuonna 2013 voimaan tullut maankäyttö- ja rakennuslain muutos [3]. Uuteen asetuskokoelmaan kuuluu ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, joka astui voimaan v. 2018 alussa [4]. Asetus painottaa vahvasti kosteudenhallintaprosessin tärkeyttä sekä edellyttää mm. hankkeessa kosteudenhallintaselvityksen laadintaa ja kosteudenhallinnan valvonnasta vastaavan henkilön, eli kosteudenhallintakoordinaattorin nimeämistä. Lisäksi hankkeessa tulee laatia aina myös työmaan kosteudenhallintasuunnitelma.
- Suunnittelun ja toteutuksen vaativuutta ja henkilöiden kelpoisuutta koskien annettiin uusi asetus ja ohje v. 2015 [5, 6]. Samalla lisättiin uusia kosteudenhallintaan liittyviä pätevyysvaatimuksia, kuten kosteusvaurion korjaussuunnittelija ja kosteusvauriokorjauksen työnjohtaja. Myöhemmin on otettu käyttöön myös kosteusasetuksessa määritelty kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyys [7].
- Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisi uuden asumisterveysasetuksen v. 2015 ja tässä yhteydessä lisättiin myös uusia pätevyysvaatimuksia, joita ovat rakennusterveysasiantuntija, sisäilma-asiantuntija ja kosteusvaurion kuntotutkija [8].
- Valvira on tehnyt asumisterveysasetukselle sovellusohjeet, jotka julkaistiin kokonaisuudessaan v. 2016 [9].
- Työterveyslaitos on laatinut kosteus- ja homevaurioihin liittyvää ohjeistusta ja uusia työkaluja [10].
- Laadunvarmistuksen ”erityismenettely” on siirretty RakMK A1:stä osaksi Maankäyttö- ja rakennuslakia MRL:ää ja laajennettu kattamaan rakennusfysikaalisten sekä terveydellisten riskien hallintaa. Tämä on otettu huomioon myös päivitetyssä erityismenettelyn soveltamisohjeessa RIL 241-2016 [11].
- Oulun rakennusvalvonnan vetämänä on kehitetty uusi kosteudenhallintakonsepti, Kuivaketju10-systematiikka, jonka jatkokehityksestä vastaa Rakentamisen Laatu RALA ry [12].
- Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) toteutti v. 2009-2014 FRAME-hankkeen, jossa selvitettiin ilmastomuutoksen ja lisäeristämisen rakennusfysikaalisia vaikutuksia vaipparakenteisiin [13, 14]. TTY:n COMBI-hanke (2015-2018) keskittyi palvelurakennusten energiatehokkuuden parantamiseen liittyvien vaikutusten ja ongelmien selvittämiseen ja ratkaisemiseen [15, 16].

- RIL on julkaissut rakennusfysiikan käsikirjan RIL 255-2014 [17] sekä päivitettyt rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet RIL 107-2012 [18]. Kirjojen pääsisältö ja keskinäiset suhteet on esitetty kuvassa 1.
- Ympäristöministeriö on julkaissut rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimusoppaan v. 2016 [19] ja julkaisee kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausoppaan v. 2019 [20].
- Ympäristöministeriö on julkaisemassa uuden kosteusasetuksen sovellusohjeen alkuvuodesta 2020 [21].



Kuva 1. RIL:n kosteudenhallintaa käsittelevät kirjat ja niiden työnjako.

3. Ohjeen tärkeimmät muutokset

Päivitetyn ohjeen tavoitteena on kuvata perustuen kosteusasetuksen henkeen ja hyvään rakentamistapaan rakentamisen kosteudenhallinnan kokonaisprosessi lähtien rakennuttamisen tavoitteista ja päättyen käyttäjän tehtäviin.

Päivitetyn ohjeen rakenne on pysynyt samana. Lukukohtaisesti on päivitetty sisältö mm. edellä kuvattujen lähteiden mukaisesti. Tärkeimpiä muutoksia ovat seuraavat asiat:

- Kosteudenhallintaprosessia on tarkennettu vastaamaan ympäristöministeriön ja sosiaali- ja terveysministeriön uusien asetusten ja ohjeiden sisältöä. Tämä koskee erityisesti kosteudenhallintaprosessin kulkua, eri osapuolten vastuita ja tehtäviä (kosteudenhallintakoordinaattori, suunnittelijat, työmaa, rakennuttaja) sekä laadittavien asiakirjojen sisältöä (mm. kosteudenhallintaselvitys ja työmaan kosteudenhallintasuunnitelma).
- Eri osapuolten tehtäviä ja vastuita on täsmennetty (rakennuttaja, eri suunnittelijat, työmaa henkilöstö, valvoja).
- Jatkovuotoisuuden kosteudenseurannan sisältö ja hyödyt on kuvattu.
- Kuhunkin lukuun on lisätty mukaan ympäristöministeriön kosteusasetuksesta aihetta käsittelevät tekstit.
- Rakenteiden rakennusfysikaalisen suunnittelun periaatteita on tarkennettu ja lisätty ohjeeseen. Uutena asiana ohjeessa on esitetty periaatekuvia, joissa kuvataan, missä vaipparakenteiden osissa ei tule hyväksyä homeen kasvua rakennuksen käytön aikana.

- Kosteudenhallintaan liittyviä rakenne- ja LVI-tekniisiä ohjeita on päivitetty uusimman tiedon mukaisesti. Ohjeeseen on lisätty myös uusia rakenneratkaisuja, joiden kosteusteknistä toimintaa ja riskejä on kuvattu aiempaa tarkemmin.
- Kosteus- ja homevaurioiden korjausohjeet on uudistettu vastamaan tämän päivän hyviä käytäntöjä.

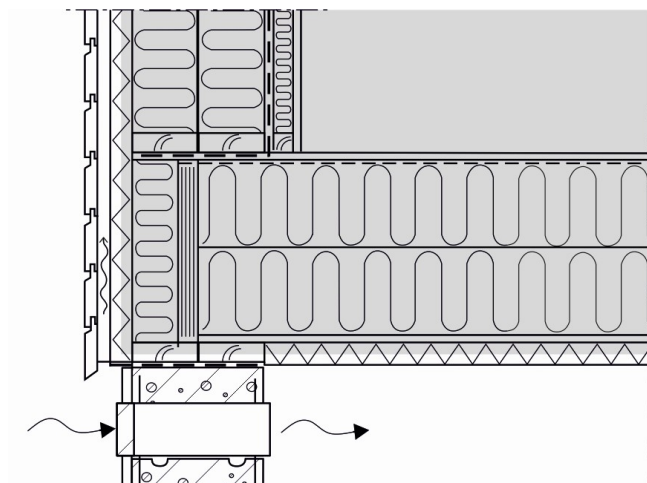
4. Kosteusturvallisten vaipparakenteiden suunnittelu ja toteutus

Seuraavassa esitetään pari esimerkkiä päivityksistä, jotka on tehty kirjan rakennesuunnittelua käsittelevään lukuun.

4.1 Mikrobivaurioiden ehkäiseminen

Asumisterveysasetuksessa [8] on todettu, että mikrobikasvun osalta toimenpiderajan ylitys tapahtuu, jos mikrobikasvua esiintyy rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä silloin, kun lämmöneriste ei ole kosketuksissa ulkoilman tai maaperän kanssa, taikka mikrobikasvua muussa rakenteessa tai tilassa, jos sisätiloissa oleva voi sille altistua.

Tämän määräyksen mukaisesti uuden rakennuksen vaipparakenteet tulee suunnitella niin, että niissä ei kasva mikrobeja rakennuksen sisäpinnalla, sisäpuolisessa rakenteessa tai lämmöneristeessä ja ylipäättään sellaisissa paikoissa, joista mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet pääsevät helposti sisäilmaan. Näiden suunnitteluperiaatteiden havainnollistamiseksi uuteen RIL-250 ohjeeseen on lisätty kuvia eri rakenneratkaisuista ja alueista, joissa mikrobikasvu ei ole sallittua. Esimerkkinä tästä on kuvassa 2 esitetty puurakenteinen ryömintätilainen alapohja, johon on merkitty harmaalla pohjalla alueet, joissa ei sallita mikrobikasvua.



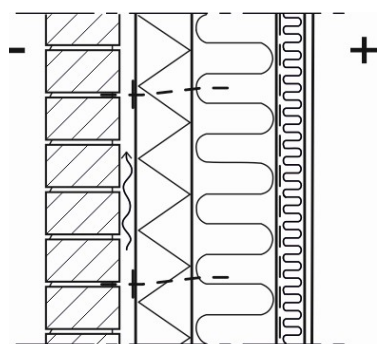
Kuva 2. Puurakenteinen ryömintätilainen alapohja, jossa lämmöneristeenä on käytetty puukuitueristettä. Kuvassa on esitetty harmaalla pohjalla alue, jossa mikrobikasvu ei ole sallittua rakenteessa.

Kuvasta 2 nähdään, että mikrobikasvu on sallittu ryömintätilaisen alapohjan ryömintätilassa ja tuulensuojan/ umpisoluisen lämmöneristeen ulkopinnassa, koska ryömintätilaan rajoittuvat pinnat ovat ilmatiiviitä ja myös oikein toteutetussa ryömintätilassa esiintyy aina mikrobikasvulle otollisia olosuhteita. Ryömintätilaan rajoittuvissa pinoissa tulee kuitenkin käyttää kosteutta

kestäviä materiaaleja, jotka rajoittavat homeen kasvua. Rakenne tulee suunnitella siten, että lämmöneristetilaan ei synny lämpötila- ja kosteusolosuhteiden perusteella homeutumiskasvun riskiä, vaikka lämmöneristeenä käytetyssä puukuitueristeessä käytetäänkin homesuoja-ainetta. Tällöin tämä homesuoja-aine toimii rakenteessa ainoastaan lisävarmuutena.

4.2 Rakennerratkaisujen toteutusperiaatteet

Ohjeessa on esitetty kuvia tyypillisistä rakennerratkaisuista sekä tarkasteltu niiden lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa ja mahdollisia kosteusriskejä. Rakennerratkaisuja on tarvittaessa parannettu siten, että ne kestävät ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen aiheuttamat kosteusteknisen toiminnan heikennykset. Esimerkkinä tästä on kuvassa 3 esitetty tiiliverhottu puurunkoinen ulkoseinä, jossa on korostettu mm. erittäin hyvin lämpöä eristävän tuulensuojan asentamista kantavan puurakenteen ulkopuolelle.



Kuva 3. Tiiliverhottu puurunkoinen ulkoseinä.

5. Kiitokset

Päivitettyä RIL 250 kirjaa on ollut kirjoittamassa Gunnar Åströmin (päätoimittaja) ja Juha Vinhan lisäksi seuraavat henkilöt: Aimo Nousiainen, Jonas Malmberg, Juha Valjus, Erja Reinikainen, Katariina Laine, Petri Mannonen, Hannu Viitanen ja Pertti Metiäinen. Kiitämme kaikkia ohjeen laadintaan osallistuneita tahoja heidän panoksestaan kirjan päivitetyssä.

6. Yhteenveto

Ohjekirjasta RIL 250 *Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen* julkaistaan päivitetty versio viime vuosina julkaistujen uusien määräysten, ohjeiden ja tutkimustulosten pohjalta. Uudistuneen ohjeen tavoitteena on kuvata ympäristöministeriön uuden kosteusasetuksen henkeä ja hyvää rakentamistapaa toteuttava rakentamisen kosteudenhallinnan kokonaisprosessi lähtien rakennuttamisen tavoitteista ja päättyen käyttäjän tehtäviin. Ohjeessa on esitetty yksityiskohtaisesti kuvatuin teknisin ratkaisuin, miten suunnittelijat voivat luoda kosteusteknisesti hyvin toimivan rakennuksen. Lisäksi on käsitelty laajalti tärkeitä yleisiä teknisiä ja rakennusfysikaalisia periaatteita, joita hankeprosessin kaikkien osapuolten on hyvä tuntea ja ymmärtää.

Lähdeluettelo

- [1] RIL 250-2011. Kosteudenhallinta ja homevaurioiden estäminen. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 243 s.

- [2] Kosteus- ja hometalkoot, Hengitysliitto ry (viitattu 14.10.2019): hometalkoot.fi
- [3] Säädk 958/2012. Laki maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta. 6 s.
- [4] YMa 782/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 12 s.
- [5] VNa 214/2015. Valtioneuvoston asetus rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokkien määräytymisestä. 7 s.
- [6] YM1/601/2015. Ympäristöministeriön ohje rakentamisen suunnittelutehtävien vaativuusluokista. 22 s.
- [7] Kosteudenhallintakoordinaattorin pätevyysvaatimukset, FISE (viitattu 14.10.2019): fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/valvojat/kosteudenhallintakoordinaattori
- [8] STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 12 s.
- [9] Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osat I-V, Valvira (viitattu 14.10.2019): www.valvira.fi/-/asumisterveysasetuksen-soveltamisohje-1
- [10] Sisäympäristöön liittyviä ohjeita ja työkaluja, Työterveyslaitos (viitattu 14.10.2019): www.ttl.fi/tyoymparisto/sisaymparisto/sisailma/sisaymparisto-ohjeita-ja-tyokaluja
- [11] RIL 241-2016. Erityismenettelyn soveltaminen – rakennuksen turvallisuus, terveellisyys ja kulttuurihistorialliset arvot. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 138 s.
- [12] Kuivaketju10, RALA (viitattu 14.10.2019): kuivaketju10.fi
- [13] Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kuhno, V., Saastamoinen, K., Salminen, K. & Lähdesmäki, K. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 160. 121 s. + 1 liites.
- [14] 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. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 159. 354 s. + 43 liites.
- [15] Vinha, J., Laukkanen, A., Kaasalainen, T., Pihlajamaa, P., Teriö, O., Jokisalo, J., Annala, P., Harsia, P., Hedman, M., Heljo, J., Kallioharju, K., Kauppinen, A., Kero, P., Kivioja, H., Lehtinen, T., Marttila, T., Moisio, M., Mäkinen, A., Paatero, J., Raunima, T., Ruusala, A., Sankelo, P., Sekki, P., Sirén, K., Tuominen, E., Tuominen, O., Uotila, U. & Uusitalo, S. 2019. Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings (COMBI). Tutkimushankkeen johdanto- ja yhteenvetoraportti. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 168. 45 s. + 111 liites.
- [16] COMBI-hanke, Tampereen yliopisto, rakennusfysiikka (viitattu 14.10.2019): research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/combi
- [17] RIL 255-2014. Rakennusfysiikka 1, Rakennusfysiikkaalinen suunnittelu ja tutkimukset. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 500 s.
- [18] RIL 107-2012. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 500 s.
- [19] Pitkäranta, M. (toim.) Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. 234 s.
- [20] Kosteus- ja mikrobivaurioituneen rakennuksen korjausopas. Ympäristöopas 2019. Ympäristöministeriö (julkaistaan 2019)
- [21] Rakennuksen kosteustekninen toimivuus. Ympäristöministeriön ohje (julkaistaan 2020)

Rakennuksen paine-erojen mittausohje 2019

Lari Eskola¹, Marko Björkroth¹, Risto Kosonen² ja Juha Vinha³

¹ A-Insinöörit

² Aalto Yliopisto

³ Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

Tiivistelmä

Rakennusten paine-erojen mittausohje on tarkoitettu koneellisen ilmanvaihdon aikaansaaman paine-eron mittaamiseen. Mittausohje on tarkoitettu käytettäväksi sekä rakenneteknisiin että taloteknisiin mittauksiin. Painesuhteiden mittaukselle esitetään kolme erilaista mittaustapaa. Hetkellinen mittaus soveltuu rakennusten sisäisten paine-erojen mittaamiseen ja huonekohtaisen ilmanvaihdon epätasapainon havaitsemiseen. Viikon pituisella seurantamittauksella voidaan määrittää sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero. Jatkuvatoimista mittauksista voidaan käyttää ilmanvaihdon toiminnan seuraamiseen ja ohjaamiseen.

Paine-ero mitataan normaalisti 1 m korkeudelta lattiasta. Jos mittauskorkeus poikkeaa tästä, pitää sisä- ja ulkoilman lämpötilasta johtuva termien paine-ero huomioida ja korjata mittaustulos vastaamaan paine-eroa 1 m korkeudella.

Rakenteiden kestävyyyteen vaikuttavat painesuhteet sekä sisäilman ominaisuudet, sekä rakenteen tiiveys ja vuotoreiitit. Tiiviiden rakennusten sisä- ja ulkoilman väliselle paine-erolle on tarpeen asettaa tavoitearvot, joissa huomioidaan rakennuksen käyttötarkoitus ja ilmanvaihdon mitoitus.

1. Johdanto

Rakennusten paine-eron mittausohjeessa esitetään mittaustapa, jolla voidaan luotettavasti mitata ja seurata rakennusten painesuhteita. Rakennusten paine-eron mittausohje on laadittu Ympäristöministeriön toimeksiannosta 2019.

Aikaisemmin rakentamismääräyksissä [1] on ohjeistettu suunnittelemaan rakennukset alipaineisiksi ulkoilmaan verrattuina, mutta alipaine ei saisi olla yli -30 Pa. Laaja tavoitealue johtuu siitä, että yhdellä ohjearvolla on pyritty kattamaan kaikki rakennustyypit ja ilmanvaihtojärjestelmät.

Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron mittaamiselle ei ole ollut ohjeistusta eikä mittaus ole sisällynyt rakennusten normaaliin ylläpitoon. Paine-eroa mitataan useimmiten sisäilmaongelmia selvitettyä. Mittauksen toteutustapa on vakiintunut – mittaus suoritetaan yleensä tuuletusikkunan alareunasta. Mittauksen suunnittelussa ja tulosten tulkinnassa ei aina ole osattu huomioida sään ja ilmanvaihdon toiminnan vaikutusta tuloksiin, mikä voi johtaa virhepäätelmiin.

Pyrittäessä vähentämään ilmavirtauksia ulkovaipan läpi, sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero tulisi pitää paljon pienempänä kuin vanhojen rakentamismääräysten sallima -30 Pa. 2000 -luvulla onkin julkistettu erilaisia tavoitearvoja mm. asumisterveysoppaassa, mutta näissäkään ei ole huomioitu vanhojen ilmavaihtojärjestelmien suunnitteluperiaatteita, minkä vuoksi tavoitearvot saattavat olla epärealistisia.

Mittausten perusteella on mahdollista määrittää keskimääräinen paine-ero ulkoilmaan verrattuna, arvioida ilmavaihdon toimintaa – tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainoa sekä paine-eron ajallista vaihtelua. Painesuhdemittaus on tarkoitettu suoritettavaksi myös tutkimuksissa radonongelmien selvittämiseksi.

Ohjeessa kuvataan lyhyesti myös yleisimmät ilmanvaihtojärjestelmät sekä niiden aikaansaama paine-ero. Mittaustulosten tulkinnan vuoksi on tarpeen tunnistaa, millainen ilmanvaihtojärjestelmä mitattavassa rakennuksessa on.

Mittausohjeistus kattaa sekä hetkelliset mittaukset että pitkäkestoiset mittaukset. Tässä osassa annetaan myös ohjeistus sisä- ja ulkoilman välisen *termisen paine-eron* huomiointiin.

Ohjeessa ei määritetä paine-eron tavoitetasoja eikä anneta ohjeita ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamiseen. Uusien, ulkovaipaltaan tiiviiden, rakennusten ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluun ja tasapainottamisen ohjeistusta on tarpeen päivittää. Tätä ongelmaa käsitellään artikkelin loppuosassa.

2. Mittausohje

Ohjeessa keskitytään ensisijaisesti koneellisten tulo- ja poisto ilmanvaihtojärjestelmien vaikutukseen rakennuksen painesuhteisiin. Tässä mittausohjeessa keskitytään tavanomaisiin asuin-, toimisto- ja liikerakennuksiin sekä muihin vastaaviin rakennuksiin, joiden sisällä ei ole suuria kosteuskuormia eikä poikkeuksellisia vaatimuksia sisäilman puhtaudelle.

Asuinrakennusten osalta on otettu mukaan myös koneellinen poistoilmanvaihto sen yleisyyden vuoksi. Ohjeessa esitetään muutamia yleisiä ilmavaihdon totutus- ja mitoitusratkaisuja sekä niiden ongelmat paine-erojen hallinnan suhteen.

Sekä sisä- ja ulkoilman että rakennuksen huonetilojen välisten paine-erojen mittaaminen ohjeistetaan.

Ohjeessa käsitellään myös sääolojen ja rakennuksen käytön vaikutusta paine-eroihin sekä annetaan ohjeita mittaustulosten tulkintaan.

2.1 Paine-eron mittaaminen

Paine-ero voidaan mitata kolmella eri menetelmällä riippuen mittaustarpeesta. Hetkellinen mittaus on tarkoitettu tarkistusmittaukseksi, kun halutaan tietää paine-erojen hetkellinen tilanne. Seurantamittaus on pidempijaksoinen mittaus, jonka avulla selvitetään rakennuksen painesuhdetasoa ja niiden muutoksia. Jatkuvamittaus on tarkoitettu ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan seuraamiseen ja sitä voidaan käyttää myös järjestelmän ohjaamiseen.

2.1.1 Hetkellinen mittaus

Hetkellisellä paine-eromittauksella voidaan määrittää mitattavan tilan ja ulkoilman välinen paine-ero tai kahden huonetilan välinen paine-ero mittaushetkellä. Yleensä halutaan selvittää rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tuottama paine-ero. Tällöin mittaajan tulee selvittää, mikä ilmanvaihtoratkaisu mitattavassa tilassa on sekä päättää, missä käyttötilanteessa mittaus

suoritetaan. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän toiminta esim, kello-ohjattu ns. tehostus ja puolitus vaikuttavat paine-eroihin merkittävästi.

2.1.2 Seurantamittaus

Seurantamittauksella tarkoitetaan tallentavalla mittalaitteella tehtävää mittausta. Seurantamittauksen suositeltu kesto on 1–2 viikkoa ja mittauksen tulisi ulottua viikonlopun yli.

Seurantamittauksen avulla voidaan määrittää

- koko mittausjakson keskimääräinen paine-ero
- erikseen ilmanvaihdon aiheuttama käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolisen ajan paine-ero (yleensä paine-ero tuloilmakoneiden käynti- ja seisonta-aikoina)
- sääolojen ja rakennuksen käytön vaikutus
- ilmanvaihtokoneiden käyntiajat
- ilmanvaihdon säätöautomaation toiminta

2.1.3 Jatkuva mittaus

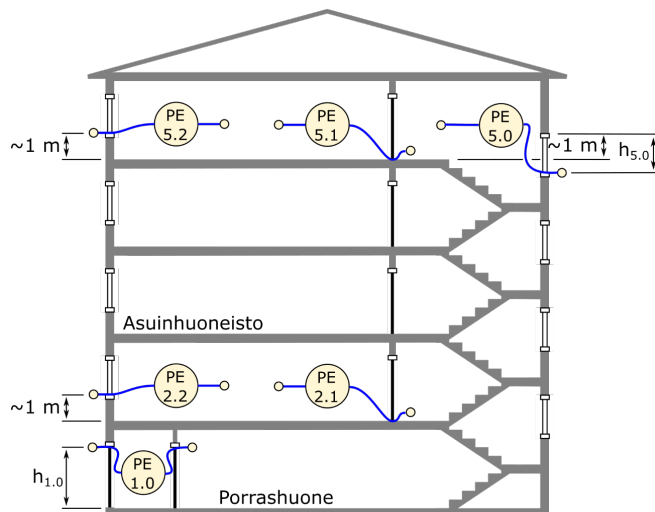
Jatkuvatoimisella paine-eromittauksella voidaan mm. valvoa ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa ja mitattua paine-eroa on mahdollista käyttää ilmanvaihdon ohjaukseen. Pelkästään valvontaan käytettävien järjestelmien avulla voidaan esimerkiksi havaita rakennuksen muuttuminen ylipaineiseksi tai liian alipaiseksi ja ryhtyä toimenpiteisiin asian korjaamiseksi.

2.1.4 Mittauksen suorittaminen

Huonetilan ja ulkoilman välinen paine-ero mitataan noin 1 m korkeudelta lattiapinnasta. Mittaus on yleensä helpointa suorittaa johtamalla paine-eron mittausletku ulos tuuletusikkunan tai oven alanurkasta kuvien 5-7 mukaisesti. Mittauksen aikana kaikkien ikkunoiden tulee olla suljettuina.

Jos paine-eron mittausletkun läpiviennin korkeusasema poikkeaa 1,0 m tavoitearvosta enemmän kuin 0,3 m, voi olla tarpeen korjata mittaustulos vastaamaan paine-eroa 1,0 m korkeudella.

Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron välistä mittausta ei ole suositeltavaa suorittaa kylmän (ulkolämpötila alle -15 °C) tai tuulisen (keskinopeus yli 6 m/s, puuskat yli 10 m/s) sään vallitessa ellei tarkoitus nimenomaan ole selvittää ääriolojen vaikutusta.



Kuva 1. Mittauspisteet määritettäessä asuinkeuhon sisä- ja ulkoilman välistä paine-eroa.

3. Paine-eron tavoitetaso

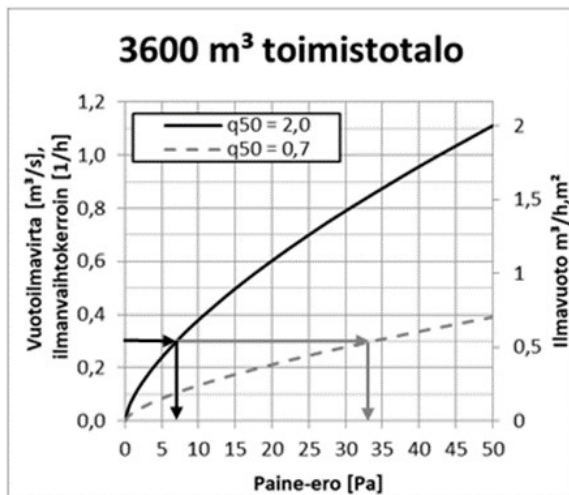
3.1 Tausta

Tiiviiden rakennusten paine-eron hallintaan liittyvät ongelmat eivät ratkea pelkällä mittaamisella. Ilmanvaihdon suunnittelun ja säädön ohjeistustakin on tarpeen päivittää. Tässä ensimmäinen askel on määrittellä sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron optimitaso sekä toleranssirajat säädölle.

Rakentamismääräyksissä [1] annettu ohjearvo sisä- ja ulkoilman väliselle paine-erolle on pitkään ollut 0...-30 Pa alipaine. Käytännössä alipainetta ei kuitenkaan ole mitattu eikä säädetty, vaan normaali menettelytapa on ollut koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien poistoilmavirran säätäminen 5-25 % tuloilmavirtaa suuremmaksi ts. ”rakennus säädetään 5-25 % alipaineiseksi”. Paine-erosta puhuttaessa mittayksikkö tulee vaihtaa prosenteista pascaleihin [2,3].

Tällä menettelyllä muodostuvan alipaineen suuruus riippuu mitoitusilmavirtojen suuruudesta, rakennusvaipan tiiveydestä ja mittausrvirheistä. Ilmavirtojen mittaustarkkuus on melko huono, joten toleranssialue järjestelmä- tai huoneistoikohtaisille ilmavirroille on $\pm 10\%$ suunnitellusta ilmavirrasta ja $\pm 20\%$ huonekohtaisille ilmavirroille [4].

Rakennusten ilmatiiveys on viimeisten 20 vuoden aikana kasvanut merkittävästi, minkä seurauksena perinteiset ilmavaihtoratkaisut ja säätömenetelmät voivat tuottaa tarpeettoman suuren, yli -10 Pa, alipaineen. Myös ylipaineen syntyminen rakennukseen on säätötyön aikana tehtävien mittausrvirheiden seurauksena mahdollista. Etenkin yksittäisten huonetilojen osalta.



Kuva 2. Ulkovaipparakenteen ilmatiiveyden vaikutus, kun ilmanvaihdon epätasapaino alipaineistaa rakennusta. Mallinnuksessa käytetty $-0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirta vastaa noin 10 % epätasapainoa tulo- ja poistoilmavirtojen välillä tai jatkuvatoimisten WC-poistojen ilmavirtaa.

Vuotoilmavirtojen vaikutusta rakennuksen painesuhteisiin voidaan tarkastella kuvan 2 käyrien avulla. Samanlainen ilmavirta johtaa erilaisiin painetasoihin rakennuksen ilmatiiviydestä perusteella.

Ongelmia paine-eron hallinnassa on esiintynyt uudiskohteiden lisäksi myös tiivistyskorjauskohteissa. Jos ilmanvaihdon toimintaa ei muuteta, ilmatiiveyden parantumisen seurauksena rakennukset muuttuvat entistä alipaineisemmiksi, mikä heikentää tiivistyksellä tavoiteltua vaikutusta. Tässä kohtaa tulee myös selkeästi esiin tarve nykyistä tiukemmille raja-arvoille, jotka huomioivat myös rakennuksen käyttötarkoituksen, rakenteet ja ilmanvaihtojärjestelmän.

3.2 Vuotoilmavirran rajoittaminen

3.2.1 Ilmavuoto sisältä ulos

Sisäilman vuotaminen rakennuksen ulkovaipan läpi ulos aiheuttaa lämmönhukkaa ja riskin sisäilman kosteuden kondensoitumisesta rakenteisiin. Näiden kannalta rakennukset olisi edullista pitää lievästi alipaineisina ulkoilmaan verrattuna.

3.2.2 Ilmavuoto ulkoa sisälle

Ulkovaipan vuotojen kautta sisälle virtaava ilma voi kuljettaa mukanaan ulkoilmasta, rakennusmateriaaleista tai maaperästä peräisin olevia epäpuhtauksia, mm. **radonia**. Kylmällä säällä vuotoilma voi aiheuttaa myös vetohaittaa tai jäädyttää rakenteita niin, että tapahtuu kosteuden kondensoitumista sisäpinnoilla. Jäähallien ja pakkasvarastojen kaltaisissa tiloissa voi kesäaikaan tapahtua ulkoilman kosteuden kondensoitumista rakenteiden sisällä.

Tähän asti sisäänpäin suuntautuvaa vuotoilmavirtausta on pyritty rajoittamaan rakenteiden ilmatiiveyttä parantamalla. Pelkän tiiveyden parantamisen hyöty jää pieneksi, jos rakennukset samalla muuttuvat entistä alipaineisemmiksi.

Sisäänpäin suuntautuvan virtauksen minimoimiseksi rakennukset tulisi pitää ylipaineisina

ulkoilmaan verrattuina. Jos virtaukset molempiin suuntiin halutaan minimoida, ideaalinen paine-ero on 0 Pa.

3.3 Siirtoilman käyttö

Kun ilmaa virtaa huonetilasta toiseen oviraon tai siirtoilmalaitteen kautta (esim. eteisestä WC-tilaan), tilojen välille muodostuu siirtoilmareitin virtausvastuksesta ja ilmavirrasta riippuva paine-ero. Asuinhuoneistojen ilmavirroilla oviraon painehäviö on 1-2 Pa, mutta suuremmilla ilmavirroilla siirtoilmalaitteet tulisi mitoittaa 5-15 Pa painehäviölle. Siirtoilmalaitteiden painehäviö on huomioitava paine-eron tavoitetasoja määrittäessä. Tästä voi myös aiheutua tarve mitoittaa huonetiloja ylipaineisiksi sekä ulkoilmaan että muihin sisätiloihin verrattuna (esim. neuvotteluhuone, jossa pelkkä tuloilma + siirtoilma käytävälle).

Siirtoilman käyttö on myös yksinkertainen ja toimintavarma ratkaisu rakennuksen sisäisten epäpuhtauksien ja kosteuskuormien leviämisen rajoittamiseen.

3.4 Sisäilman kosteuslisä

Sisäilman kosteus muodostuu ulkoilman kosteudesta (absoluuttinen kosteus) ja sisäilman kosteuslisästä. Kosteuslisän suuruus riippuu kosteuden tuotosta, esimerkiksi tilan henkilömäärästä, sekä ilmanvaihdon suuruudesta. Kosteuslisä voi olla myös negatiivinen, jos sisäilma on koneellisesti jäähdytettyä.

Pelkkä kosteuslisä ei aiheuta riskiä rakenteiden toimivuudelle. Rakenteiden rasitukseen vaikuttavat myös rakenneratkaisun riskialtius, vuotoilmavirran suuruus (ulkovaipan ilmatiiveys ja paine-ero), kosteuden siirtyminen diffuusion vaikutuksesta sekä sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero. Koska kosteuslisä vaihtelee merkittävästi tilojen käyttötarkoituksesta ja ilmanvaihdon mitoituksesta riippuen, sen tulee olla yhtenä kriteerinä sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron raja-arvoja määrittäessä.

Painesuhteiden hallinta ja rakenteita vaurioittavat kosteusrasitukset asettavat vaatimuksia rakenteille, joita ei aiemmin ole tarvinnut huomioida suunnittelussa. On oletettu rakennuksen kosteuden olevan hallittavissa ilmanvaihdolla toteutettavan alipaineistuksen kautta, kun ilmavirrat ovat suuntautuneet ulkoa vaipan läpi sisätiloihin. Kosteuden siirtymistä rakenteisiin ilmavuodon mukana ei ole tarvinnut huomioida rakenneratkaisun toimivuuden ja soveltuvuuden perusteella.

Rakenteiden tiiveyden taso, ilmanvaihdon aiheuttamien painesuhteiden sekä rakennuksessa syntyvä kosteuslisän hallinta tulee huomioida rakenneratkaisuiden suunnittelussa. Tästä syystä on selvitettävä, miten rakenteen kestävyys määrittämisessä huomioidaan esimerkiksi kosteuslisän ja vaipan yli mitattavan paine-eron vaikutus.

Edellä kuvattu menettely edellyttää, että käytettävissä on luotettavaa tietoa sekä eri rakennustyyppien kosteuslisän suuruudesta että rakenteiden ylipaineen ja korkean kosteuslisän sietokyvystä.

4. Yhteenveto

Mittausohje on tarkoitettu rakennusten sisä- ja ulkoilman sekä eri huonetilojen välisten paine-erojen mittaamiseen. Ohje keskittyy ensisijaisesti rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tuottaman paine-eron mittaamiseen, mutta huomioi myös sään vaikutuksen.

Vanhan rakennuskannan ilmanvaihtojärjestelmät on suunniteltu pitämään rakennukset alipaineisina ulkoilmaan verrattuina. Tällä on pyritty välttämään kosteuden siirtymistä rakenteisiin sisäilmasta. Uusissa, ulkovaipaltaan merkittävästi tiiviimmissä, rakennuksissa tämä suunnitteluperiaate voi johtaa liian suureen alipaineisuuteen. Ongelmaa pahentaa se, ettei ilmavirtojen mittaus ja säätötarkkuus ole kehittynyt samassa suhteessa ilmatiiveyden kanssa. Ilmavirtojen mittausepä-tarkkuuden vuoksi on mahdollista, että rakennuksen painetasot voivat tahattomasti muuttua yli- tai alipaineisiksi ulkoilmaan verrattuina. Tästä seuraa tarve mitata paine-eroja ja korjata ilmavirtausten säätöjä tarvittaessa paine-eromittausten perusteella.

Ilmavirtojen säätö paine-eroihin perustuen aikaansaa tarpeen määrittää tiiviiden rakennusten sisä- ja ulkoilman väliselle paine-erolle uudet tavoitetasot, joissa huomioidaan rakennuksen käytötarkoitus, rakennetekniikka sekä ilmanvaihdon mitoitus.

Lähdeluettelo

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto Määräykset ja ohjeet (1987 – 2012).
- [2] LVI 30-10085 Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluohje – Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän tuloilmapuolen suunnittelu. Rakennustietosäätiö 1987. 6 s. Peruttu 28.11.2012.
- [3] LVI 30-10086 Tiiviin pientalon ilmanvaihtojärjestelmien suunnitteluohje – koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ulkoilman sisäänoton suunnittelu. Rakennustietosäätiö 1987. 4 s. Peruttu 28.11.2012.
- [4] Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Asetuksen voimaantulopäivä 1.1.2018. Ympäristöministeriö 2017.

Valviran ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaitan ennaltaehkäisyyn sekä selvittämiseen

Pertti Metiäinen
Valvira

Tiivistelmä

Valviran uusi koulu- ja päiväkotiohje painottuu terveyshaittojen ennaltaehkäisyyn mm. kaavoitus- ja rakennuslupavaiheessa, suunnitelmallisessa valvonnassa sekä omavalvonnassa. Ohjeessa käsitellään perinteinen terveyshaittojen selvittäminen viranomaistyönä tai sisäilmatyöryhmässä. Uutta ohjeessa on rakennuksen käyttöä turvaavat menetelmät, jos korjauksiin ei voida ryhtyä välittömästi. Menetelmien käyttö korjausta vaativassa kohteessa vaatii hyvää rakennusfysiikan osaamista, koska menetelmien käyttö on tapauskohtaista.

1. Johdanto

Valviran ohje, Ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaittojen ennaltaehkäisemiseen sekä selvittämiseen [1] on kirjoitettu ennen kaikkea kuntien terveydensuojeluviranomaisten käyttöön sekä muille asiantuntijoille.

Ohjeessa [1] painopistettä on saatu siirrettyä terveyshaittojen selvittämisestä niiden ennaltaehkäisyyn sisäilmaan liittyvissä kysymyksissä. Terveyshaittoja aiheuttavia olosuhteita ei kuitenkaan onnistuta aina ennalta välttämään. Tällöin on tärkeää saada tilanne nopeasti hallintaan, jolloin on onnistuttava rakennuksen kuntoon ja sisäilman laatuun, ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin sekä prosessin hyvään hoitoon liittyvissä tavoitteissa.

Ohjeella on tarkoitus edistää terveydensuojeluviranomaisten hyviä käytäntöjä. Tässä artikkelissa tarkastellaan ennakoivaa valvontaa sekä mahdollisia, käyttöä turvaavia toimenpiteitä, jos korjauksiin ei voida ryhtyä välittömästi. Artikkelin ohjeeseen esittelyä ja tekstit kappaleissa 2.1-2.4 sekä 3.1-3.5 ovatkin suoria lainauksia em. ohjeesta.

2. Ennakoiva valvonta

Ennakoivalla valvonnalla pyritään terveyshaittojen ennaltaehkäisyyn, ennen kuin terveyshaittaa aiheuttavat olosuhteet ehtivät muodostua. Ennakoivaan valvontaan kuuluvat mm. kaavalausunnot, rakennuslupa, suunnitelmallinen valvonta sekä omavalvonta.

2.1 Kaavalausunnot ja kaavoitusprosessi

Kaavoitusvaiheessa luodaan puitteet terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle koulu- ja päiväkotiympäristölle. Terveydensuojeluviranomaisen tulee kaavoitusvaiheessa kiinnittää huomiota mahdollisiin terveyshaittoja aiheuttaviin tekijöihin. Näitä ovat esimerkiksi rakennuksen sijainti (liikenteen päästöt, melu, muut ulkoilman laatua heikentävät seikat) tai maaperän laatu.

2.2 Rakennuslupa

Koulu- ja päiväkotirakennusten rakennuslupavaiheessa (uudis-, korjausrakentaminen tai käyttötarkoituksen muutos) rakennusvalvontaviranomainen voi asettaa rakentamiseen liittyviä ehtoja. Rakennusvalvontaviranomainen voi pyytää terveydensuojeluviranomaiselta kannanottoa rakennussuunnitelmista, rakennuksen korjaamisesta tai soveltuvuudesta haettuun tarkoitukseen terveellisten olosuhteiden kannalta. Jos korjaushanke liittyy terveysthaitan poistamiseen, on korjaussuunnitelmista ja rakennuspiirustuksista selvittävä, kohdistuvatko korjaushankkeessa toimenpiteet terveysthaitan poistamisen kannalta oleellisiin asioihin. Uudisrakentamisessa arvioitavia asioita ovat esimerkiksi ilmanvaihdon riittävyys, radonsuojaus ja hygieniaolosuhteiden hallintaan liittyvät tekijät.

2.3 Suunnitelmallinen valvonta

Suunnitelmallisella valvonnalla tarkoitetaan muun muassa kohteessa tehtäviä terveydellisten olojen tarkastuksia ympäristöterveydenhuollon valvontasuunnitelman mukaan.

Suunnitelmallisella valvonnalla pyritään ennaltaehkäisemään terveysthaittoja ja tunnistamaan niitä varhaisessa vaiheessa. Olosuhteiden ylläpidossa ja terveysthaittojen ennaltaehkäisemisessä kiinteistön omistajan toimet rakennuksen kunnon seurannassa ja ylläpidossa ovat erityisen tärkeitä. Toiminnanharjoittajan tulee järjestää toimintansa siten, ettei siitä aiheudu tilojen käyttäjille terveysthaitta, esimerkiksi sallimalla huonetilan käytön liian suurelle henkilömäärälle taikka laiminlyömällä puhtaus ja hygienia.

2.4 Omavalvonta

Toiminnanharjoittajalla on velvollisuus tunnistaa toimintansa terveystriskit ja järjestää toimintansa siten, että terveysthaitat estetään mahdollisuuksien mukaan. Toiminnanharjoittajan tulee voida esittää, miten toimintaan vaikuttavat riskit on tunnistettu, miten niiden vakavuus on arvioitu ja mitä riskien hallintakeinoja toiminnanharjoittaja ja työntekijät ovat ottaneet käyttöön. Tätä tarkoitusta varten toiminnanharjoittajan on hyvä laatia omavalvontasuunnitelma.

Toimivalla omavalvonnalla voidaan ennaltaehkäistä terveysthaittoja havaitsemalla puutteita sisäympäristössä tai toimintatavoissa ja korjaamalla oma-aloitteisesti havaitut puutteet.

Omavalvontaa on myös terveydellisiin olosuhteisiin liittyvien ilmoitusten ja toimenpiteiden kirjaaminen ja säilyttäminen. Kirjaaminen on myös omavalvonnan kehittämisen edellytys.

Kun oppilaitoksessa opetuksesta ja päiväkodissa toiminnasta vastaava taho ja sisäilman terveellisyydestä vastaava rakennuksen omistajataho huolehtivat itsenäisesti toiminnasta ongelmatilanteessa ja kirjaavat asian, he toteuttavat tällöin omavalvontatehtävänsä. Kaikki kouluissa terveellisyyteen ja turvallisuuteen liittyvät toimet, esimerkiksi sisäilmaan liittyvä ilmoitus ja sen perusteella tehtävä vian korjaaminen kunnossapidollisin toimin sekä rakennuksen käyttäjille tiedottaminen korjauksen jälkeen, tulee olla dokumentoituna. Dokumentoidut toimet tulee tarvittaessa voida esittää terveydensuojeluviranomaiselle ja sisäilmatyöryhmälle.

3. Käyttöä turvaavia toimenpiteitä

Sisäilmaongelmissa on parasta ottaa tavoitteeksi ongelmien ja niiden syiden korjaaminen kerralla kuntoon, sillä osittaiskorjauksista on runsaasti huonoja kokemuksia. Ensisijainen korjaustapa on

vaurioiden korjaaminen ja epäpuhtauslähteiden poistaminen. Korjaustoimenpiteiden yhteydessä rakenteiden ilmatiiviuden parantaminen on myös aina suositeltavaa. Joissain tilanteissa voi olla tarpeen toteuttaa myös sellaisia tiivistyskorjauksia, joissa ei voida poistaa epäpuhtauslähdettä, mutta epäpuhtauksien kulkeutuminen sisäilmaan estetään. Niiden käyttö ei ole ensisijainen korjaustapa ja kyseinen menettely edellyttää aina tutkimuksia, suunnittelua, korjauksen valvontaa ja seurantaa. Usein tiivistämiseen on yhdistettävä muita rakenteiden korjaustoimenpiteitä (esimerkiksi ilmanvaihdon tasapainotus).

Joissain tapauksissa on tarve hakea tilojen käytölle tilapäistä jatkoaikaa, jolloin on asian kokonaisuus huomioiden mahdollista tehdä tilapäisiä turvaavia toimenpiteitä. Käytön jatkuessa tilapäisin toimenpitein, on käyttäjien olosuhteita seurattava aktiivisesti ja suunnitelmallisesti. Tilapäisten toimenpiteiden aikataulu tulisi määritellä sitovasti etukäteen, jotta järjestely ei johda tilapäisyyden pitkittymiseen. Käyttöä turvaavien toimenpiteiden soveltuvuus on tapauskohtaista, eli ennen toimenpiteeseen ryhtymistä on selvitettävä sen käyttökelpoisuus kyseessä olevassa kohteessa.

3.1 Ilmanpuhdistimet

Ilmanpuhdistimia voidaan käyttää pääasiassa väliaikaisesti esimerkiksi korjausta odottaessa tai sen aikana suojaamaan viereisiä tiloja tai korjauksen jälkeen olosuhteiden tasaantumista odotettaessa. Ilmanpuhdistimiset voivat myös auttaa esimerkiksi herkistynyttä palaamaan korjattuihin tiloihin. Puhdistimet voivat myös vähentää tiloissa esiintyvää hajukuormaa. Ilmanpuhdistimia ei tule kuitenkaan käyttää korjausten välttämiseksi tai korvaamaan puutteellista siivousta tai ilmanvaihtoa.

3.2 Biosidien ja otsonin käyttö

Biosidejä ml. otsonointi voi käyttää poikkeustapauksissa esim. viemärivuodon puhdistamisessa hajun poistoon ja taudinaiheuttajien tuhoamiseen. Biosideja käytettäessä tulee noudattaa tarkoin valmistajien antamia ohjeita niin käyttötavan, työturvallisuuden kuin myös varoajien suhteen. Varo-vaisuusperiaatteen mukaisesti varoajaksi suositellaan kaikkia biosideja käytettäessä vähintään 24 tuntia ja otsonoinnille mielellään 48 tuntia. Varoajika voi olla myös tätä pidempi, jos valmisteen käyttöohje sitä edellyttää.

Biosidejä ei tule käyttää korjausten välttämiseksi, homesiivouksen tehosteeksi eikä ennaltaehkäisyyn ”varmuuden vuoksi”.

3.3 Tiivistyskorjaukset

Ensisijainen korjaustapa tulisi olla epäpuhtauslähteiden poistaminen ja vaurioiden korjaaminen. Tiivistyskorjauksia on hyvä tehdä usein muun korjauksen yhteydessä (esimerkiksi lämmöneristeen uusimisen jälkeen) vähentämään rakenneliitosten kautta tapahtuvia ilmapuotoja sisäilmaan. Käyttöä turvaavana toimenpiteenä se on kuitenkin tarkoitettu väliaikaiseksi toimenpiteeksi kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten rakenteiden ilmatiiviuden parantamiseksi. Sen ensisijaisena tavoitteena on estää hallitsemattomat ilmavirtaukset ja niiden mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien pääsy rakenteista sisäilmaan, eli vähentää käyttäjien haitallista altistumista.

Jos tiivistyskorjaukseen päädytään, on varmistettava, että kaikki ilmavuotokohdat on huolellisesti kartoitettu ja niiden tiivistäminen on mahdollista. Mikäli rakenteeseen jää tiivistämättömiä kohtia, joiden kautta epäpuhtaudet voivat edelleen kulkeutua rakenteista sisäilmaan, tiivistyskorjauksella ei saavuteta toivottua lopputulosta. Lisäksi on huomioitava tiivistyskorjauksen elinkaari, materiaalit ja rakenneratkaisut, johon tiivistäminen soveltuu sekä tunnettava korjausten vaikutukset rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän säädöt on aina tarkistettava tiivistämisen jälkeen.

3.4 Alipaineistus

Paine-eron aiheuttamia epäpuhtauksien virtauksia hallitaan lähtökohtaisesti alipaineistamalla epäpuhtauslähteen sisältävä rakenne tai tila, jolloin ilmavirta suuntautuu sisätiloista rakenteeseen päin. Rakenteiden alipaineistusta voidaan käyttää esimerkiksi alapohjissa, maanvastaisissa seinissä, alapohjan alapuolisissa tekniikkatunneleissa ja -kanaaleissa sekä välipohjissa. Alipaineistuksen yhteydessä on aina tarkasteltava vaikutuksia myös muihin rakenteisiin ja niiden rakennusfysikaaliseen toimintaan riittävässä laajuudessa ja ilmanvaihdon eri käyttötilanteissa. Mikäli rakennuksen painesuhteet vaihtelevat paljon, riskinä on, että alipaineistus ei riitä ehkäisemään epäpuhtauksien kulkeutumista sisätiloihin.

3.5 Ylipaineistus

Ilmavirtauksien suunta epäpuhtauslähteitä päin voidaan toteuttaa myös ylipaineistamalla puhtaat sisätilat. Ylipaineistuksen periaate sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien vähentämiseksi on siis sama kuin alipaineistuksella. Sisätilojen ylipaineistusta ei kuitenkaan Suomen ilmasto-olosuhteissa suositella muuten kuin lyhytaikaisena toimenpiteenä, sillä mahdollista haitallista kosteusrasitusta rakenteille halutaan välttää. Ylipaineistus voi olla käyttökelpoinen menetelmä käyttöikänsä päässä olevissa rakennuksissa, joissa muilla toimenpiteillä ei ole päästy haluttuun lopputulokseen ja epäpuhtauslähte on osittain tuntematon. Lisäksi se soveltuu väliaikaisena ratkaisuna varsinaisia korjaustoimenpiteitä odottaessa rakennuksiin, joissa ei ole sisätiloissa merkittävää kosteustuottoa kuten koulu- ja päiväkotirakennuksissa.

4. Yhteenveto

Terveyshaittojen ennaltaehkäisyssä yhteistyö eri tahojen kanssa on välttämätöntä, kaavoitus- ja rakennuslupavaiheissa voidaan vaikuttaa rakennuksen ulkoympäristön ominaisuuksiin. Omavalvonnassa toiminnanharjoittajalla on mahdollisuus puuttua havaitsemiinsa epäkohtiin, ennen kuin niistä aiheutuu terveyshaittoja.

Käyttöä turvaavilla toimenpiteillä voidaan rajoittaa tilapäisesti terveyshaittaa aiheuttavia olosuhteita. Niitä ei ole tarkoitettu varsinaiseksi korjaukseksi, vaan käytettäväksi sen aikaa, ennen kuin esimerkiksi korvaavat väistötilat löytyvät ja varsinaiset korjaukset käynnistyvät. Käyttöä turvaavien toimenpiteiden käyttö edellyttää aina myös tilan käyttäjien tilanteen seurantaa ja valmiutta korjaaviin toimenpiteisiin, jos tilanne niin vaatii.

Lähdeluettelo

- [1] Ohje koulun ja päiväkodin olosuhdevalvontaan, terveyshaittojen ennaltaehkäisemiseen sekä selvittämiseen, Valviran ohje 12/2018, 46 s.

Pientalojen sähkötehojen suunnittelu ja hallinta

Pirkko Harsia ja Kari Kallioharju
Tampereen ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Sähköstä on tulossa globaalisti yhä keskeisempi osa koko energiajärjestelmää samalla, kun sen tuotantomuodot muuttuvat ja osittain hajaantuvat. Energiatohokkuustavoitteet saattavat aiheuttaa samaan aikaan kokonaisenergiankulutuksen pienentymistä, mutta suurempia hetkittäisiä huipputehoja lämmitystapojen muuttuessa ja sähköautojen lisääntyessä. Kasvavat sähkötehot ja niiden ajoittuminen aiheuttavat haasteita sekä verkon mitoitukselle että tuotantokapasiteetin säätökyvyille ja riittävyydelle. Sähkötehon suuruudella ja mittausjakson pituudella tulee olemaan jatkossa merkitystä myös pienkohteiden sähkösiirron kustannuksiin.

Tämä artikkeli on tehty osana ”Pientalojen sähköteho-opas” -hankkeen tutkimuksia. Artikkelin esittelee sähköenergian- ja tehon mittausjakson vaikutusta mittauksiin ja pientalojen sähkötehojen suunnittelun ja hallinnan merkitystä. Artikkelissa esitellään myös oleellisia tuloksia hankkeen seurantatutkimuksista, joita tehtiin yhdeksässä pientalossa vuoden 2018 aikana. Pientalojen vaikutus sähkötehoihin on merkittävä, esimerkiksi vuoden 2016 sähkönkäytön huipputehon ajankohtana pientalojen osuus oli arviolta yli neljäsosa. Merkittävin vaikutus tutkittujen pientalojen sähkötehokäyttäytymisessä on lämmityksellä, lämpimän käyttöveden tuotannolla ja sähkökiukaalla. Tehojen ohjattavuuteen varautuminen pientaloissa on heikkoa.

1. Johdanto

Sähkön tuotannon ja kulutuksen muutokset, sähkön riittävyys ja kysyntäjousto ovat globaalisti ajankohtaisia aiheita. Sähköenergian tuotantomuodot muuttuvat ja hajautuvat ja tuotannon epävarmuus kasvaa. Samalla kulutuspäässä hetkittävät sähkötehoaipeut kasvavat, kun lämmitysmuodot muuttuvat, jäähdytyslaitteistot lisääntyvät ja sähköautot ovat murtautumassa markkinoille. Sähkötehojen tarkempi mitoittaminen, ohjaaminen ja seuranta ovat tulevaisuudessa yhä tärkeämmässä roolissa osana toimivaa ja resurssiviisasta sähköenergiajärjestelmää. Sähköenergiajärjestelmän muuttuminen vaikuttaa myös sähkön hinnoitteluun, joka kehittyi voimakkaammin kohti tehoperustaista hinnoittelua.

Tässä artikkelissa esitellään sähköenergian- ja tehon kustannusrakenteen muuttumista ja pientalojen sähköjärjestelmän suunnittelun merkitystä sähkötehoihin. Lisäksi tutkimusosiossa käsitellään erilaisten pientalojen tehokäyttäytymistä ja tehojen hallintaa. Tutkimus on tehty osana ”Pientalojen sähköteho-opas” -hanketta [1].

2. Pientalojen sähkötehot

Pientalokanta muodostaa yhden merkittävän osan sähköenergiajärjestelmän muutoksessa. Pientalojen merkitys Suomen koko sähkönkäytön tehoprofilissa tunnetaan melko huonosti. Kuitenkin vuoden 2016 sähkönkäytön huipputehon (n. 15 000 MW) ajankohtana pientalojen osuus oli arviolta yli neljäsosa [2]. Asumisen koko energiankulutuksesta sähkön osuus on 34 % ja kulutuksesta käytetään tilojen ja käyttöveden lämmittämiseen yli 80 % [3].

2.1 Sähköenergian ja -tehon laskutus ja mittausjakson pituus

Pienkohteissa sähköenergian osto on perustunut energian kokonaismäärän mittaukseen (kWh) sekä mahdollisesti liittymän kokoon, joka määräytyy pääsulakkeiden mukaan. Suuremmissa sähkön käyttöpaikossa, teollisuudessa ja liikerakennuksissa, verkkopalvelumaksuissa on mukana myös tehomaksu sekä pätöteholle että loisteholle. Myös pienkohteiden sähkön hinnoittelussa on lisääntymässä kustannusmallit, jossa energian kokonaismäärän lisäksi maksuperusteena on kohteen käyttämän sähkötehon suuruus.

Kuluttajan sähköenergian kulutuksen laskutus perustuu tällä hetkellä tuntienergioiden mittaukseen. Energiaviraston tiedotteen mukaan Suomessa oltaisiin siirtymässä 15 minuutin tasejaksoon EU:n suuntaviivojen mukaisesti 18.12.2020 mennessä, jolloin siis 15 minuutin mittausjakso muodostaa sähköenergian mittauksen kaupallisen yksikön [4].

Energian käytössä tarkastelu- tai mittausjakson pituus vaikuttaa suuresti siihen, kuinka suuri on mittausjakson energiasta määritetty keskiteho. Tehovaihtelua ja -ajoitusta pitää tarkastella monesta eri näkökulmasta. Sillä voi olla vaikutusta verkon mitoitukseen, sähkön laatuun, liittymän kokoon, energiakustannuksiin ja koko järjestelmän kulutushuippujen muodostumiseen. Jatkossa nousee esiin myös ylituotantotilanteet ja niissä tarve lisätä sähkön käyttöä hetkellisesti. Tarkastelujakson pituus vaikuttaa myös siihen, millaista hyötyä asiakas voi saada erilaisilla teho-ohjauksilla. Ohjaukset saattavat leikata merkittävästi hetkellistehoja, mutta muutos ei juurikaan näy tuntitehossa. Samoin suuritehoisten laitteiden käytön ajoitus voi vaikuttaa siihen, millainen tuntitehosta muodostuu. Toisaalta nämä muutokset voivat olla jo merkittäviä 15 minuutin mittausjakson pohjalta muodostetussa keskitehossa.

2.2 Pientalojen sähkötehon suunnittelu ja hallinta

Kiinteistön sähkötehon tarve ja tehon käyttöprofiili muodostuvat monen valinnan ja mitoituksen yhteisvaikutuksena. Näistä suurin osa tehdään rakennuksen tai muutosten suunnittelu- ja toteutusvaiheessa. Tilaajan asettamat tavoitteet tilojen koolle, toiminnalle ja varustelutasolle ovat eri osaratkaisujen lähtökohtana. Niin säädösten, kuin tilaajan tavoitteet vaikuttavat erityisesti lämmitystarpeeseen ja lämmitysratkaisuihin. Esimerkiksi omatuotannon hankinta tai sähköauton latausmahdollisuus ovat myös suunnitteluratkaisuihin vaikuttavia tavoitteita. Tehojen hallinta erilaisin mittauksin ja ohjauksin edellyttää tilaajalta myös automaation tavoitteiden määrittelyä ja järjestelmähankintaa. Tilaaja on vastuussa siitä, miten kohteen kokonaissuunnittelu ja eri osaratkaisujen yhteensovittaminen toteutetaan.

Asuinkiinteistön huipputehoon ja tehon käyttöprofiiliin vaikuttavat erityisesti lämmitysjärjestelmä ja lämpimän käyttöveden tuotantotapa, lämminvesivaraajan koko, ilmanvaihtoratkaisu, mahdollinen sähkökuuas sekä mahdolliset sähköauton latauspisteet. Monet muutokset rakentamisessa sekä uusien laiteryhmiä tulo voivat muuttaa merkittävästi tehotarvetta ja kulutusprofiilia. Erityisesti muutoksia tuo erilaisten lämmitysratkaisujen tukena olevat sähköiset lisälämmitykset, lämpöpumppujen yleistymisen sekä jatkossa sähköautojen lataus. Rakentamisvaiheessa tehdään vielä erillishankintoja, laitemuutoksia tai asennustapamuutoksia, joilla voi olla vaikutusta kokonaissuunnitteluun, eri laitteiden ohjattavuuteen tai yhteensopivuuteen. Näiden muutosten merkityksen arviointi on haasteellista ja edellyttäisi kaikilta osapuolilta kokonaisuuden tuntemusta. Lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden teho vaikutus on lämpötilariippuvaa, kun muiden laiteryhmiä käyttö liittyy pääosin käyttäjien määrään, sekä heidän päivä- ja viikkorytmiinsä. Kokonaisteho muodostuu siis laitteiden nimellistehojen, ohjaus- ja säätöratkaisujen ja käyttöajankohtien yhteisvaikutuksesta.

Kysyntäjoustopuoli tehon ohjauksen edellytykset syntyvät ohjausratkaisujen avulla. Eri laiteryhmiin, erityisesti lämmityksen, osalta perusohjausratkaisut ja säätötavat vaikuttavat siihen, miten eri tehot kytkeytyvät ajallisesti tai käyttötarpeen mukaan käyttöön. Tehojen risteilyllä tai tehovahdeilla voidaan estää laitteiden samanaikainen päällekytkytyminen. Tästä esimerkkinä on aiemmin sähköyhtiöiden edellyttämä sähkökiukaan ja sähkölämmityksen vuorottelukytkentä. Laitteiden päällekytkytymistä voidaan ohjata myös hintatiedolla tai tehorajoitusohjauksella. Näistä yleisimmät ovat olleet sähkön kaksiaikahinnoittelu, verkkoyhtiön tehorajoitusohjaus (aiemmin ns. VKO-ohjaus) ja tuntihinnoiteltu sähkö. Ulkopuolisilla ohjauspalveluilla voidaan monipuolistaa ohjausta ja tilojen olosuhteiden valvontaa sekä tuoda kulutus näkyviin reaaliaikaisesti. Ne voivat myös olla mukana aktiivisesti tehohallinnassa ja optimoinnissa.

3. Mittauskohteiden sähkötehomittaukset ja ohjattavuus

Kansainvälisesti on tehty sähkötehoihin liittyviä tutkimuksia, mutta niiden soveltaminen Suomen olosuhteisiin ja sähköverkkoon on vain osittain mahdollista. Suomessa on sähkön käytön tuntikulutuksia (tuntikeskitehoja) seurattu ja tallennettu jo pitkään. Tuntitarkkuudella tehtävä mittaus ei kuitenkaan anna tietoa yksittäisen kohteen tarkemmasta sähkötehoikäyttyymisestä. Jotta pientalojen tehoikäyttyymistä ymmärrettäisiin paremmin, tehtiin Tampereen ammattikorkeakoululla osana ”Pientalojen sähköteho-opas” -tutkimusta [1] pientalojen (n = 9 kpl) sähkötehomittauksia ja selvitettiin kohteiden sähkötehojen ohjausmahdollisuuksia. Osassa kohteista toteutettiin, mahdollisuuksien mukaan, laitteistojen ohjaus- ja parametrintuutoksia, joilla pyrittiin tasaamaan tai ohjaamaan hallitusti kohteiden sähkötehoikäyttyymistä. Sähkötehomittauksissa kerättiin dataa minuuttikeskitehon tarkkuudella liittymästä ja tärkeimmistä laiteryhmistä yhden vuoden ajalta (2018-2019). Tutkimuskohteiden yleistiedot on esitetty taulukossa 1. Lisätietoa kohteista ja mittauksista löytyy SÄTE-tutkimusjulkaisuista [1].

Taulukko 1. Pientalojen sähköteho-oppaan tutkimuskohteiden perustiedot.

kohdetunnus	sijainti	lämmitysmuoto	rakentamisvuosi
101	Parkano	Maalämpö	2014
102	Parkano	Maalämpö	2010
103	Parkano	Poistoilmalämpöp. + ILP	2009
104	Tampere	Sähkökattila	2012
105	Ylöjärvi	Maalämpö	2011
106	Lempäälä	Sähkölämmitys	1988
108	Kangasala	Maalämpö	2015
109	Ylöjärvi	Sähkökattila	2001
110	Harjavalta	Maalämpö	2016

3.1 Mittausjakson vaikutus huippukeskitehoon

Osassa kohteita mittauksista tarkasteltiin yhtenä asiana mittausjakson pituuden vaikutusta kohteen mittauskeskitehon suuruuteen. Kuuden mittauskohteen suurin yhden minuutin keskiteho seurantavälillä (2018 - 2019) on esitetty taulukossa 2. Taulukkoon on kirjattu myös samalta ajanhetkeltä 15 minuutin ja tunnin keskiteho. Lisätietoina on vuoden 2017 sähköenergiankulutus kohteessa ja pääsulakkeiden koko. Huomioitavaa on, että kohteiden seurantajakson suurin 15 minuutin tai yhden tunnin keskiteho ei välttämättä ole tässä esitellyn suurimman minuuttikeskitehon kanssa samalla ajanhetkellä. Vertailulla on siis ainoastaan tarkoitus kuvata yhden ajanhetken avulla, millaisia prosentuaalisia eroja mittauskohteiden keskitehon välille tyypillisesti muodostuu, kun mittausjaksoa muutetaan. Mittauksia tarkasteltaessa tulee myös huomata, että sähköliittymän sopimukseen kirjattua liittymisvirtaa ei saisi koskaan edes tilapäisesti ylittää. Liittymän koon ollessa 3 x 25A suurin sallittu liittymisteho on n. 17 kW.

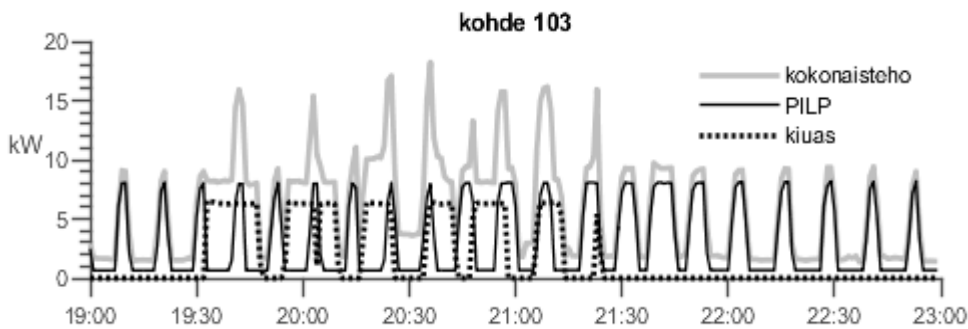
Taulukko 2. Kuuden tutkimuskohteen suurimman yhden minuutin keskitehon ajankohta ja minuutin keskiteho seurantavälillä (sarake 5), saman ajankohdan 15 minuutin ja tunnin keskiteho, kohteen liittymän koko ja kohteen sähköenergiankulutus vuodelta 2017.

Kohde (tehon esiintymisaika)	Pääsulakkeet	P_{h1h}	P_{h15min}	P_{h1min}	kulutus 2017
		[kW]	[kW]	[kW]	[kWh]
101 (20.3.2018 21:00-22:00)	3x25A	15,1	19,1	21,8	24 300
102 (12.2.2018 19:00-20:00)	3x25A	15,9	17,4	23,9	10 350
103 (24.2.2018 20:00-21:00)	3x25A	10,1	11,8	15,3	15 900
104 (17.2.2018 19:00-20:00)	3x25A	11,8	12,8	15,5	17 850
105 (23.1.2018 06:00-07:00)	3x25A	8	8,7	8,7	13 000
106 (21.2.2018 05:00-06:00)	3x25A	15,3	17,9	18,3	25 450

Vaikka taulukossa on esitetty vuoden 2017 sähköenergiankulutukset ja mitatut keskitehot ovat aikaväliltä 2018-2019, voidaan luvuista päätellä, ettei kohteen energiankulutus kerro kohteen huipputehoista vielä paljoakaan. Esimerkiksi lämpöpumput, joiden vuositason sähköenergiankulutus on suoraa sähkölämmitystä pienempää, kuormittavat verkkoa usein suurilla lyhytaikaisilla sähkötehoilla, koska lämmitys tapahtuu yhdellä laitteella. Taulukosta voidaan myös havaita, että mittausjakson vaikutus mitattuun sähkötehoon on merkittävä. Suurimman mitatun minuuttikeskitehon ajanhetkellä viidentoista minuutin keskiteho kohteissa on n. 8 - 26 % suurempi, kuin vastaava tunnin keskiteho. Jos mittausjaksossa siirryttäisiin tulevaisuudessa minuutin tarkkuuteen, olisi tehon nousu tuntikeskitehoon verrattuna tässä tarkastelupisteessä jo n. 9 – 51 %. Pienin suhteellinen vaikutus tunnin ja viidentoistaminuutin mittausjakson välillä (8 %) on kohteessa 104, jossa on lämmityslaitteena sähkökattila ja kohteessa on sähkökiuas. Suurin vaikutus tunnin ja viidentoistaminuutin mittausjakson välillä (26 %) on kohteessa 101, jossa on lämmityslaitteena täyteen tehoon mitoitettu maalämpöpumppu ja kohteessa on sähkökiuas. Pienin suhteellinen vaikutus tunnin ja yhden minuutin mittausjakson välillä (9 %) on kohteessa 105, jossa on lämmityslaitteena täyteen tehoon mitoitettu maalämpöpumppu ja suuri (750 l) lämminvesivaraaja sekä puukiuas. Suurin vaikutus tunnin ja yhden minuutin mittausjakson välillä (51 %) on kohteessa 103, jossa lämmityslaitteena on poistoilmalämpöpumppu ja kohteessa on sähkökiuas.

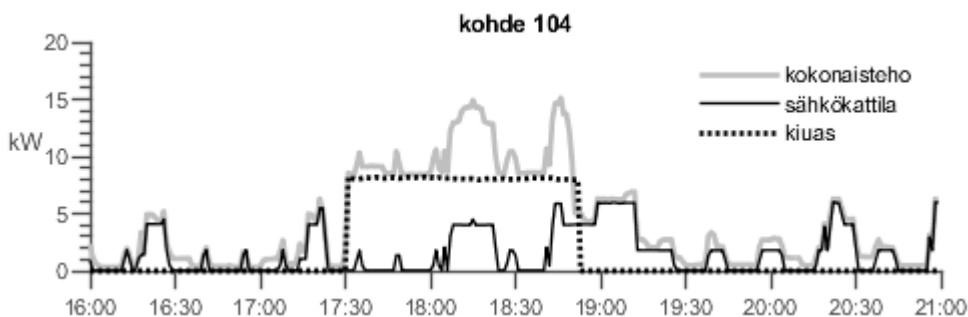
3.2 Esimerkkejä huipputehojen muodostumisesta

Mittauskohteissa mitattiin viiden eri piirin sähkötehoa. Kussakin kohteessa mitattiin liittymän kokonaistehon lisäksi laitteita tai järjestelmiä, joilla on suurimmat nimellistehot, kuten lämmityslaitetta tai -laitteita, käyttöveden varaajaa, ilmanvaihtokonetta, mahdollista sähkökiuasta ja liettä. Seuraavissa kahdessa esimerkissä on esitetty kohteista tyypillisiä minuutin huipputehoja ja niiden muodostumista. Sähkökiukaallisissa kohteissa suurimmat minuutin huipputehot muodostuivat tyypillisesti tilanteissa, joissa saunottiin ja tarvittiin lämmintä käyttövettä. Esimerkiksi kohteessa 103 lämmityslaitteena oli poistoilmalämpöpumppu. Kohteessa ei ollut erillistä lämminvesivaraajaa vaan ainoastaan lämpöpumpun oma varaaja, jolloin saunottaessa lämmintä käyttövettä tuotettiin sekä lämpöpumpulla että sen lisävastuksilla (kuva 1).



Kuva 1. Esimerkki kohteen 103 yhdestä minuutin huippukeskitehosta (18,2 kW). Harmaa käyrä on kohteen 1 minuutin liittymisteho. Huipputeho muodostuu pääosin kiukaasta ja lämpöpumpusta.

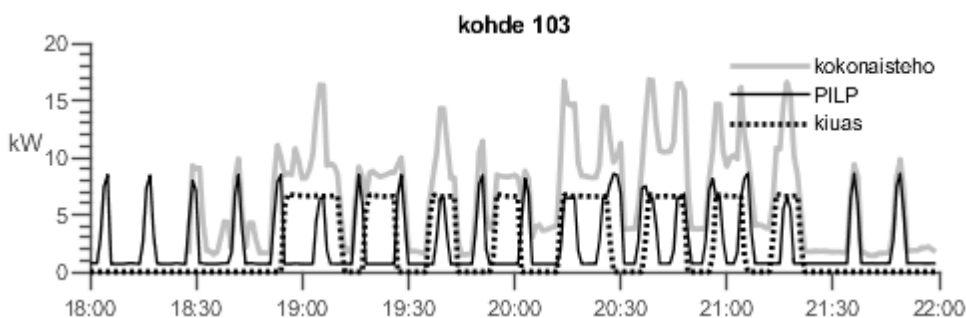
Sähkökattilakohteessa 104 huipputehot muodostuvat myös saunomistilanteessa, mutta kohteeseen 103 verrattuna suurempi, virtavahdeilla varustettu lämminvesivaraaja tasoittaa saunomisen aikaista huipputehoa hieman (kuva 2). Saunomisen aikana vettä lämmitetään 4 kW teholla, mutta kiukaan sammuttua käytetään 6 kW tehoa.



Kuva 2. Esimerkki kohteen 104 yhdestä minuutin huippukeskitehosta (15,11 kW). Harmaa käyrä on kohteen 1 minuutin liittymisteho. Huipputeho muodostuu pääosin kiukaasta ja sähkökattilasta.

3.3 Ohjattavuus kohteissa ja ohjattavuuden vaikutus huipputehoon

Huipputehojen rajoitus edellyttää ohjausjohdotuksia ja ohjauskytkentöjä, kuten ns. kiuasristeily. Lämpöpumpukohteissa huipputehon ohjauksiin ei oltu asennuksissa varauduttu. Niissä tehojen rajoittaminen olisi ollut osittain mahdollista ulkoisilla ohjauksilla tai laitteen sisäisillä asetuksilla. Kuitenkin eri valmistajien laitteiden ohjauskytkennät vaihtelivat ja ohjeistuksia vanhoille laitteille oli vaikea löytää. Sähkölämmityskohteissa vähintään kaapelointivaraukset ohjauksille oli tehty ja sähkölämmityslaitteille oli mahdollisuus tuoda ulkopuolisella kosketintiedolla tehonrajoitusohjauksia. Tutkimuksessa yhteen poistoilmalämpöpumpukohteeseen (103) toteutettiin pilottilaitteistolla langaton tehojen ohjaus. Kuvassa 3 on esitetty sisäisen ohjauksen toiminta, jossa ohjauksella pudotettiin liittymän huipputehoa saunomistilanteessa 2 kW.



Kuva 3. Saunominen tehorajoituksen jälkeen, liittymän 1 minuutin huippukeskiteho 16,77 kW. Kiukaan ollessa päällä poistoilmalämpöpumppu pudottaa sähkövastuksiensa tehoa 8 => 6 kW.

4. Yhteenveto

Tämän artikkelin tavoitteena oli selventää pientalojen merkitystä valtakunnan sähkötehuippujen muodostumisessa ja kuvata pientalojen sähkötehuippujen muodostumista, kehittymistä ja aiheuttajia. Selvityksen perusteella mahdollinen tehopohjaiseen laskutukseen siirtyminen ja sähkönlaskutuksen mittausjakson lyhentyminen tunnista viiteentoista minuuttiin tulee korostamaan sähköjärjestelmien, laitetehojen ja kokonaisuuksien ohjattavuuden suunnittelua ja toteutusta pientaloissa. Kun osassa mittauskohteita tarkasteltiin suurinta minuutin huipputehoa, oli viidentoista minuutin keskiteho kyseisellä ajanhetkellä n. 8 - 26 % suurempi kuin tunnin keskiteho.

Merkittävimmät vaikutukset pientalon sähkötehoon aiheutuvat tilojen lämmityksestä, käyttöveden lämmityksestä ja mahdollisesta sähkökiukaasta. Tulevaisuudessa lisäksi sähköauton lataus aiheuttaa merkittävän tehotarvelisäyksen, jos tehohallintaan ei varauduta. Lämpöpumppukohteissa suurin sähköteho muodostuu tyypillisesti tilanteessa, jossa tarvitaan lämmintä käyttövettä. Lämpimän käyttöveden käyttö tapahtuu usein myös samaan aikaan, kun kohteessa käytetään muutenkin suuritehoisia laitteita, kuten sähkökiukaasta, pesukoneita tai liettä. Suoraan sähkölämmitykseen tai sähkökattilalämmitykseen perustuvissa kohteissa sähkötehot saattavat olla keskimäärin suurempia kuin lämpöpumppukohteissa, mutta tehojen vaihtelu on pienempää.

Järjestelmien ohjattavuudessa, jolla hallittaisiin tehotarvetta koko liittymässä, on suuria eroja riippuen lämmöntuottotavasta tai lämmityslaitteesta. Suoraan sähkölämmitykseen tai sähkökattilaan perustuvissa kohteissa sähkötehojen ohjattavuus on yleensä suurien tehojen kohdalla toteutettu tai siihen on ainakin varauduttu kaapeloinnein (esim. kiuasristeily), kun taas lämpöpumppukohteissa varautumista ei tyypillisesti tehdä. Talon ulkopuolelta tuleville ohjauksille ei ole kaapelointivarausta kuin vanhoissa sähkölämmityskohteissa. Tutkimuksen aikana havaittiin myös, että lämmityslaitteiden ohjattavuuteen ja asetteluihin liittyvien ohjeistuksien hankkiminen voi jälkikäteen olla hankalaa ja ohjeistukset voivat olla ammattilaisillekin hyvin vaikeita tulkita. Selvityksen aikana tehdyillä sähköteho-ohjauksilla kuitenkin osoitettiin, että ohjauksilla (esim. kiuasristeily) voitaisiin sähkötehuippuja leikata merkittävästi kohteen olosuhteisiin ja käyttömukavuuteen vaikuttamatta.

Lähdeluettelo

- [1] Harsia, P., Järventausta P., Hilden A., Kallioharju K., Kortetmäki A., Koskela J., Mutanen A., Rautiainen, A., Supponen A., Uusitalo, S. ja Heljo J. 2019. SÄTE-opas, Opas pientalojen suunnitteluun: Sähkötehojen hallinta osana rakennuksen energiatehokkuutta. TAMK ja TAU. 117 s. Noudettu osoitteesta <https://projects.tuni.fi/sate/julkaisut/>
- [2] Heljo, J., Harsia P., Holttinen H., Aalto, P., Björkqvist T., Järventausta P., Kaivo-oja J., Kojo, M., Korpela T., Rautiainen, A., Repo, S., Ruostetsaari, I. ja Sorri, J. 2016. EL-TRAN analyysi. Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016?. EL-TRAN konsortio. Noudettu osoitteesta <https://el-tran.fi/analyysit/>
- [3] Tilastokeskus. 2018. Asumisen energiakulutus energialähteittäin vuonna 2017. Noudettu osoitteesta https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_kuv_001_fi.html
- [4] Energiavirasto. (29. 10 2018). Ei perusteita poikkeukseen 15 minuutin taseselvitysjaksoon siirtymisen aikataulussa. Noudettu osoitteesta <https://www.energiavirasto.fi>

Kansalliset ohjeet alkali-kiviainesreaktion hallitsemiseksi betonirakenteissa

Jukka Lahdensivu
Ramboll Finland Oy

Tiivistelmä

Suomessa on viime vuosina tehty noin 200 havaintoa betonirakenteita rapauttavasta alkali-kiviainesreaktiosta, vaikka suomalaista kiviainesta on yleisesti pidetty kemiallisesti reagoimattomana. Näiden havaintojen perusteella Betoniyhdistyksen koollekutsuma työryhmä on laatinut kansallisen ohjeistuksen alkali-kiviainesreaktion välttämiseksi uudisrakentamisessa sekä toimintaohjeet rakenteiden korjaamista varten. Ohjeistuksessa lähdetään siitä, että tavanomaisissa rakenteissa, joiden suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta, tai yleisesti kuiviin sisätiloihin tulevissa betonirakenteissa, AKR:n mahdollisuutta ei tarvitse ottaa huomioon. Jatkossa AKR:n mahdollisuuteen tulee varautua erityisesti silloissa, paaluissa, satamarakenteissa ja muissa jatkuvalla korkealle kosteusrasitukselle altistuvissa betonirakenteissa. Ohjeistuksessa on selostettu periaatteet, joilla AKR on mahdollista välttää. Eri menetelmien käyttäminen on aina tapauskohtaista, ja niistä aiheutuu usein myös kustannuksia nykyiseen käytäntöön verrattuna. Betonissa alhaissa vedeneristyksellä on mahdollista pitää betonirakenne kuivana. On kuitenkin otettava huomioon, että vedeneristeen käyttöikä on tyypillisesti huomattavasti alhaisempi kuin betonirakenteen suunnittelukäyttöikä, joten vedeneristeen uusiminen on suunniteltava jo kohdetta suunniteltaessa ja ohjelmoitava käyttäjän huolto- ja ylläpitotoimiin.

1. Johdanto

Yleisesti suomalaista betonissa käytettävää kiviainesta on pidetty fysikaalisesti ja kemiallisesti lujana ja kestäväenä ja siitä syystä on yleisesti uskottu, ettei alkali-kiviainesreaktiota (AKR) esiinny Suomessa. Tästä syystä myös alkali-kiviainesreaktion tuntemus on Suomessa heikkoa eikä sen huomioon ottamiseen ole ollut mitään kansallista oheistusta.

Muutamien viimeisten vuosien aikana alkali-kiviainesreaktiosta on saatu havaintoja myös Suomessa. Vuonna 2011 suomalaisille betonin ohuthietutkimuksia tekeville laboratorioille suunnatun kyselyn perusteella löytyi 56 selkeää alkali-kiviainesreaktion aiheuttamaa vauriotapausta viimeisen 15 vuoden ajalta [1]. Tämän jälkeen erilaisia tapauksia on raportoitu mm. silloissa [2] sekä rakenteiden kuntotutkimusten ja korjausten yhteydessä noin 200:ssa tapauksessa. Havaintoja on tehty koko Suomen alueelta, joten kyseessä ei siten ole mikään paikallinen ilmiö [3].

Betoniyhdistys on kutsunut kokoon asiantuntijatyöryhmän, jonka tarkoituksena on laatia kansallinen ohjeistus alkalikiviainesreaktion välttämiseen uudisrakentamisessa sekä ohjeistusta olemassa olevien betonirakenteiden AKR riskin tunnistamiseen sekä rakenteiden korjaamiseen. Tässä ohjeessa käsitellään:

- kiviainesten reaktiivisuutta ja niiden testaamista
- alkalikiviainesreaktiota ja millaisia vaikutuksia sillä on betonirakenteiden säilyvyyteen
- miten alkalikiviainesreaktio voidaan välttää
- miten reaktiivisen kiviaineksen kanssa voidaan toteuttaa betonirakenteita turvallisesti

- miten ASR tunnistetaan ja reaktiosta kärsiviä betonirakenteita on mahdollista korjata.

Kiviaineksen testaaminen perustuu International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM) ohjeeseen [4], johon tässä ohjeessa esitetään kansallisia ohjeita. Reaktiivisen kiviaineksen käyttö perustuu muiden Pohjoismaiden kokemuksiin ja ohjeiden soveltamiseen. Ohje täydentää julkaisua *by 43 Betonin kiviainekset 2018* ja niiden on tarkoitus valmistua loppusyksystä 2019.

2. Alkali-kiviainesreaktio

Betonin alkalikiviainesreaktio on kiviaineksen kemiallinen rapautumisreaktio, mikä on ensimmäistä kertaa tunnistettu Yhdysvalloissa 1940-luvulla. Alkalikiviainesreaktio on yleisesti jaettu kolmeen erilaiseen reaktioon [5], mutta viimeaikaisten tutkimusten mukaan ainoastaan alkalipiidioksidireaktion on todettu aiheuttavan betonirakenteiden vaurioitumista [6, 7, 8]. Alkalikiviainesreaktion edellytyksenä on korkeassa alkalipitoisuudessa reagoivat kivilajit, suhteellisen suuri määrä alkali-ioneita liuenneena hydratoituneen betonin huokosverkostossa sekä betonin suhteellinen kosteus vähintään 80 % [9, 10]. On huomattava, että kaikkien em. ehtojen pitää toteutua, jotta reaktio voi edetä.

Alkalipiidioksidireaktio (ASR) on yleisin alkalikiviainesreaktion muoto. Se voi tapahtua sellaisissa betoneissa, missä kiviaines sisältää huonosti alkalista ympäristöä kestäviä mineraaleja ja betonin huokosveten on sekoittuneena natrium- ja kaliumoksidia (Na_2O ja K_2O). [11] Kemiallisen reaktion seurauksena muodostuva geeli imee itseensä runsaasti vettä ympäristöstään aiheuttaen voimakasta tilavuuden kasvua, minkä seurauksena betonin huokosverkoston paine kasvaa. Kun muodostuneen geelin tilavuuden kasvusta johtuen betonin vetolujuus ylittyy, on seurauksena betonin sisäistä säröilyä ja halkeamia. Halkeamien kautta suhteellisen pehmeä geeli työntyy ulos betonista. [11, 12]

Yleensä alkalikiviainesreaktio tarkoittaa betonin hidasta rapautumista. Vaurioitumisnopeuteen vaikuttavat oleellisesti vallitsevat olosuhteet (betonin suhteellinen kosteus sekä lämpötila), kiviaineksen laatu (reagoivat mineraalit) sekä käytetty sementti. Alkalikiviainesreaktio tapahtuu nopeimmin piitä sisältävissä kivilajeissa, luokkaa 2-5 vuodessa, kun hitaammin reagoivia kiviä, kuten hiekkakiveä ja kalkkikiveä, sisältävissä betoneissa reaktion kehittyminen kestää 10-20 vuotta. Alkalikiviainesreaktiota on havaittu maailmalla myös hyvin stabiileina pidetyissä kivilajeissa, kuten graniitti, kvartsiitti ja hiekkakivi.

3. Betonirakenteiden AKR-riskiluokitus

Suomessa alkali-kiviainesreaktio etenee tämän hetkisen tutkimustiedon perusteella varsin hitaasti. Ulkoilmassa olevissa betonirakenteissa, kuten silloissa jne. AKR on todettu ohuthietutkimuksessa noin 40-45 vuoden iässä. Lämpimissä uima-altaissa vastaavasti noin 30 vuoden ikäisissä rakenteissa.

Betonirakenteet jaetaan kolmeen riskiluokkaan rakenteen vaurioitumisen seurauksen ja sallitun ASR:n esiintymisen mukaan:

- S1 – alhainen riski
- S2 – normaali riski
- S3 – korkea riski.

Rakenteen riskiluokan esittää betonirakenteiden vastaava rakennesuunnittelija yhteistyössä tilaajan ja pääsuunnittelijan kanssa. Riskiluokan valintaan vaikuttavat rakenteen sortumisesta tai vaurioitumisesta aiheutuvat kustannukset sekä rakennettavuus- ja turvallisuustarkastelut. Tämän lisäksi otetaan huomioon vaurion havaitsemisen helppous, monitorointimahdollisuus, rakenteen säilymisen tärkeys sekä vaikutukset käyttäjien ja sivullisten turvallisuudelle. Riskiluokkien kriteerit ja esimerkkejä eri luokkiin kuuluvista rakenteista on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakenteiden riskiluokat alkali-kiviainesreaktion suhteen.

Riskiluokka	Vaurioitumisen seuraukset	ASR:n hyväksyttävyyys rakenteessa	Esimerkkejä rakenteista
S1	Vaikutukset turvallisuuteen, taloudellisuuteen tai ympäristöön pieniä tai mitättömiä	Vähäistä (betonin vetolujuus on alentunut) ASR:n aiheuttamaa vaurioitumista sallitaan	<ul style="list-style-type: none"> Betonirakenteet rakennusten lämpimissä sisätiloissa Rakenteen käyttöikä < 25 vuotta (tilapäiset rakenteet) Dynaamisesti kuormitetut perustukset, joiden käyttöikä < 25 vuotta (esim. tuulivoimaloiden perustukset) Helposti vaihdettavat rakennusosat Matalat asuinrakennukset (alhaiset kuormat)
S2	Joitakin vaikutuksia turvallisuuteen, taloudellisuuteen tai ympäristöön, jos betonissa merkittäviä vaurioita	Vähäistä, ohuthieessä havaittavaa ASR:n aiheuttamaa vaurioitumista sallitaan/on hallittavissa	<ul style="list-style-type: none"> Normaali suunnittelukäyttöikä (50 vuotta) Suurin osa rakenteista Vedeneristetyt lämminvesialtaat Muut vesialtaat ilman vedeneristystä Tavanomaiset sillat vähäliikenteisillä väylillä
S3	Vakavia vaikutuksia turvallisuuteen, taloudellisuuteen tai ympäristöön, jos betonissa vaurioita	Merkittävää vaurioitumista ei sallita	<ul style="list-style-type: none"> Pitkä suunnittelukäyttöikä (100 vuotta tai yli) Ydinturvallisuuteen ja väestön suojeluun liittyvät rakenteet Padot, tunnelit, tärkeät sillat Paalut, maanalaiset perustukset, muut vaikeasti korjattavat rakenteet Rakenteet, joiden vaurioitumista ei voida sallia

Betonirakenteen kosteudella on ratkaiseva merkitys alkali-kiviainesreaktion todennäköisyyteen. Valtaosassa todetuista alkali-kiviainesreaktiotapauksissa betonirakenne on altistunut ulkopuoliselle pitkäaikaiselle kosteusrasitukselle. Kosteusrasituksen lisäksi vaurioitumistodennäköisyyttä lisäävät jäänestoaineiden suolat (NaCl), betonirakenteen altistuminen merivedelle sekä altistuminen jäätymis-sulamisvaurioille. Betonirakenteiden altistuminen erilaisille ympäristöstä aiheutuviin rasituksiin jaetaan kolmeen luokkaan:

- E1 – betonirakenne on suojattu ulkopuoliselta kosteudelta
- E2 – betonirakenne altistuu ulkopuoliselle kosteudelle
- E3 – betonirakenne altistuu ulkopuoliselle kosteudelle ja lisäksi esim. jäänsulatusaineille (Na⁺), jäätymis-sulamisrasitukselle tai kastumis-kuivumissykleille meri-ilmastossa.

4. Alkali-kiviainesreaktion ennaltaehkäisy uusissa betonirakenteissa

Uusissa betonirakenteissa alkali-kiviainesreaktion ennaltaehkäisemiseen on käytettävissä kolme menetelmää:

- M1 – Reagoimattoman kiviaineksen käyttäminen betonin kiviaineksessa

- M2 – Betonin huokosveden alkalisuuden rajoittaminen
- M3 – Betonirakenteen pitäminen kuivana

Aivan kaikki edellä mainitut menetelmät eivät sovellu jokaisen betonirakenteen yhteydessä käytettäväksi. Soveltuvat menetelmät tulee ratkaista siten aina tapauskohtaisesti.

4.1 Reagoimattoman kiviaineksen käyttö

Betonissa käytettävä kiviaines tulee testata sellaisia rakenteita varten, joissa on varauduttava alkali-kiviainesreaktion aiheuttamiin vaurioihin. Testausmenetelmiä ovat:

- kiviaineksen petrografinen tarkastelu ja luokitus
- laastiprismakoe
- betoniprismakoe.

Kiviaineksen petrografisessa tarkastelussa kivilajit ja mineraalit tunnistetaan, ja sen perusteella voidaan seuloa reagoimattomiksi tunnetut kiviainekset suoraan käytettäväksi betonin valmistuksessa. Reagoiville tai niiksi epäillyille kiviaineksille tehdään laastiprismatesti, ja tarvittaessa vielä betoniprismatesti, jolla varmistetaan reagoivan kiviaineksen soveltuvuus betonin valmistukseen. Oletusarvona on, että Suomesta löytyy riittävästi reagoimatonta kiviainesta, ja tarkempiin kiviaineksen testauksiin joudutaan vain harvoin.

4.2 Betonin huokosveden alkalisuuden rajoittaminen

Betonin huokosveden alkalisuutta voidaan rajoittaa seuraavin keinoin:

- betonin alkalipitoisuutta rajoittamalla
- käyttämällä alhaisalkalisementtiä
- käyttämällä sementtiä korvaavia sideaineita.

4.2.1 Betonin alkalipitoisuuden rajoittaminen

Betonin huokosverkoston alkalisuus on peräisin betonin sideaineksen alkalisuudesta. Periaatteessa betonin alkalipitoisuuden rajoittaminen on siten yksinkertaista toteuttaa ja valvoa, kun tunnetaan sementin ja betonin koostumus tarkasti. Betonin huokosverkoston alkalisuus on lähtöisin pääasiassa Portland-sementistä. Portland-sementtiklinkkerin alkalipitoisuus koostuu natriumista ja kaliumista, jotka ovat peräisin raakamateriaalista sekä klinkkerinpolton epäpuhtauksista. Sementin alkalipitoisuus ilmoitetaan yleensä Na_2O -ekvivalenttina [%]:

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}} = \text{Na}_2\text{O} \% + 0,658 \text{ K}_2\text{O} \% \quad (1)$$

Betonin alkalisuus

Betonin alkalisuus koostuu sementin alkalisuudesta sekä muiden betonin osa-aineiden sisältämistä alkaleista. Betonin alkalisuus lasketaan:

$$\text{Betonin alkalisuus (kg/m}^3\text{)} = \text{sementin Na}_2\text{O}_{\text{EQ}} (\%) \times \text{sementin määrä (kg/m}^3\text{)} + \text{muut alkalisuus lähteet (kg/m}^3\text{)} \quad (2)$$

Muista tarkasteluun mukaan otettavista alkalilähteistä ei ole yleistä konsensusta, mutta käytännössä seuraavat lähteet on yleisesti otettu mukaan tarkasteluun:

- jäännöskloridit meren pohjan kiviaineksista
- sementtiä korvaavat sideaineet, kuten lentotuhka ja kuona
- lisäaineet
- vesi, erityisesti, jos se ei ole juomavesilähteestä.

4.2.2 Alhaisalkalisementti

Alhaisalkalisementin käyttö on pisimpään käytössä ollut vastatoimenpiteiden alkali-kiviainesreaktion torjumisessa. Alhaisalkali-Portland-sementin ylärajana pidetään yleisesti 0,60 % ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$). Alhaisalkalisementin käytöstä on sekä hyviä että huonoja kokemuksia alkali-kiviaineksen torjunnassa, joten kiviainesten alhainen reaktiivisuus yhdistettynä alhaisalkalisementtiin lienee toimivin yhdistelmä. Betonirakenteissa, jossa vaaditaan suurta sementtimäärää esim. korkean lujuuden saavuttamiseksi, alhaisalkalisementin käyttö ei sinällään ole riittävä ratkaisu, vaan betoni ei saa sisältää merkittäviä määriä sisäisistä tai ulkoisista lähteistä peräisin olevia alkaleja.

4.2.3 Sementtiä korvaavat sideaineet

Osa sementtiä korvaavista sideaineista, kuten lentotuhka, kuona, muut pozzolaanit sekä muut mineraaliset lisäaineet voivat estää tehokkaasti alkali-kiviainesreaktion aiheuttamia vaurioita. Sementtiä korvaavat sideaineet vaihtelevat kuitenkin huomattavasti koostumukseltaan tuotantotavasta ja -paikasta johtuen, joten niiden vaikutuksista ei ole yleistä suositusta. Seuraavaan on koottu RILEMin työryhmän TC191-ARP:n yhteisymmärrys niistä.

4.3 Rakenteen pitäminen kuivana

Rakenteen pitäminen kuivana on yksinkertaisin keino välttää alkali-kiviainesreaktio, vaikka kiviaines olisi reaktiolle herkkää. Kuivanapitäminen on yleisesti helppoa sisätiloissa olevissa ja sateelta suojatuissa rakenteissa, mutta selvästi vaikeampaa erilaisissa jatkuvalla vesikosketukselle tai korkealle kosteudelle altistuvissa rakenteissa.

Ulkona viistosateelle alttiissa rakenteissa kantavan rakenteen suojaaminen esim. pellityksellä tai muulla tuulettuvalla rakenteella antaa Suomen olosuhteissa hyvin suojan alkali-kiviainesreaktiota vastaan, kun betonirakenteen suunnittelukäyttöikä on enintään 50 vuotta. Kun suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta tai enemmän, on tehtävä tarkempia tarkasteluja betonirakenteen kosteuspitoisuudesta ja kuivumismahdollisuuksista. Tarvittaessa tulee käyttää myös muita edellisissä luvuissa mainittuja toimenpiteitä.

5. Yhteenveto

Suomessa viimeisten vuosien aikana esiin tulleiden alkali-kiviainesreaktiotapausten seurauksena on viimein laadittua kansalliset ohjeet alkali-kiviainesreaktion estämiseksi uudisrakentamisessa sekä toimintaohjeet reaktion havaitsemiseksi olemassa olevissa rakenteissa.

Ohjeistuksessa lähdetään siitä, että tavanomaisissa rakenteissa, joiden suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta, tai yleisesti kuiviin sisätiloihin tulevissa betonirakenteissa, AKR:n mahdollisuutta ei tarvitse ottaa huomioon. Jatkossa AKR:n mahdollisuuteen tulee varautua erityisesti silloissa,

paaluissa, satamarakenteissa ja muissa jatkuvalle korkealle kosteusrasitukselle altistuvissa betonirakenteissa.

Ohjeistuksessa on selostettu periaatteet, joilla AKR on mahdollista välttää. Eri menetelmien käyttäminen on aina tapauskohtaista, ja niistä aiheutuu usein myös kustannuksia nykyiseen käytäntöön verrattuna. Useat toimenpiteet, kuten betonin huokosveden alkalipitoisuuden rajoittaminen vaativat yhteistyötä sideainetoimittajan ja betoniaseman kanssa, sillä betonireseptit eivät ole yleisesti saatavilla ja yleisimpien Suomessa käytettyjen sementtien (CEM I ja CEM II) $\text{Na}_2\text{O}_{\text{EQ}}$ on välillä 0,80-1,35 %, joten alhaisalkalisementin saanti on varmistettava hyvissä ajoin ennakkoon.

Betonisissa altaissa vedeneristyksellä on mahdollista pitää betonirakenne kuivana. On kuitenkin otettava huomioon, että vedeneristeen käyttöikä on tyypillisesti huomattavasti alhaisempi kuin betonirakenteen suunnittelukäyttöikä, joten vedeneristeen uusiminen on suunniteltava jo kohdetta suunniteltaessa ja ohjelmoitava käyttäjän huolto- ja ylläpitotoimiin. Lisäksi betonirakenteen kosteuden tulee olla alhainen ennen vedeneristeen asentamista erityisesti sellaisissa rakenteissa, jotka eivät vedeneristyksen jälkeen pääse enää kuivumaan tai kuivuminen on erittäin hidasta.

Lähdeluettelo

- [1] Pyy, H., Holt, E., Ferreira, M. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa. Helsinki. VTT. Asiakasraportti VTT-CR-00554-12/FI. 27 s.
- [2] Lahdensivu, J., Köliö, A., Husaini, D. 2018. Alkali-silica reaction in Southern-Finland's bridges. *Case Studies in Construction Materials*. Vol. 8(2018). Pp. 469-475.
- [3] Lahdensivu, J., Kekäläinen, P., Lahdensivu, A. 2018. Alkali-silica reaction in Finnish concrete structures. *Nordic Concrete Research*. Publication no. 59. Pp. 31-44.
- [4] RILEM Recommendations for the prevention of damage by alkali-aggregate reactions in new concrete structures. 2015. Springer. Unedited version. 142 p.
- [5] Gilliot, J. E. 1975. Practical implications of the mechanisms of alkali-aggregate reactions. In *Proceedings: Third international conference on alkali-aggregate reaction*. Reykjavik.
- [6] Jensen V. 2009. Alkali Carbonate Reaction (ACR) and RILEM AAR-0 annex A: Assessment of potentially reactivity of carbonate rocks. 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Dortmund. Germany.
- [7] Jensen V. 2012a. The controversy of alkali carbonate reaction: state of art on the reaction mechanism. *Proceedings: 14th Int. Conference on AAR*. Texas. USA
- [8] Jensen V. 2012b. Reclassification of Alkali Aggregate Reaction. *Proceedings. 14th Int. Conference on AAR*, Texas, USA
- [9] Thaulow, N., Andersen, K.T. 1988. Ny viden om alkali-kisel reaktioner. *Dansk Beton* 1. Pp. 14-19.
- [10] Nilsson, L-O. & Peterson, O. 1983. Alkali-silica reactions in Scania, Sweden: a moisture problem causing pop-outs in concrete floors. Report TVBM; Vol. 3014. Division of Building Materials. Lund University
- [11] Neville, A., 1995. *Properties of concrete*. Essex. Longman Group. 844 p.
- [12] West, G., 1996. *Alkali-aggregate reaction in concrete roads and bridges*. London. Thomas Telford Publications. 163 p.

Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusohje

Toni Pakkala, Antti-Matti Lemberg, Jukka Lahdensivu ja Arto Köliö
Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakenteiden korjaaminen ja elinkaaritekniikka

Tiivistelmä

Julkisivuyhdistyksen vetämässä Eristerappausvauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät (ErVaKu) -hankkeessa haettiin sekä eristerappausjärjestelmissä havaittuja vaurioitumismekanismeja että kuntotutkimusmenetelmiä vaurioiden ja vaurioitumisen havainnointiin. Kuntotutkimusmenetelmistä ei ole yhtenäistä ohjeistusta vaan usealla alalla toimivalla yrityksellä on omat menetelmänsä ja yleensä on sovellettu muihin, esimerkiksi betonijulkisivuihin ja kovalle alustalle rapattuihin julkisivuihin käytettyjä menetelmiä. Eristerappausjärjestelmät ovat kuitenkin toimintaperiaatteeltaan ja vauriotyypeiltään isolta osin hyvin erilaisia ja niiden tutkiminen vaatii monimuotoisten vauriotapojen tunnistamista rajatuilla tekniikoilla. Lisäksi ErVaKu-hankkeen yhteydessä on havaittu, että vaurioitumista on melko paljon ja se tulee todennäköisesti kiihtymään, kun ensimmäisten eristerappausjärjestelmien käyttöikä alkaa lähetä loppuaan. Tämän vuoksi eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusmenetelmistä on kirjoitettu vuoden 2019 aikana täysin uusi ohjeistus.

1. Johdanto

Eristerappausjärjestelmien käyttö rakennusten julkisivumateriaalina on yleistynyt viime vuosikymmeninä. Näillä järjestelmillä tarkoitetaan taustaan kiinnitetyn lämmöneristeen päälle tehtyjä paksu- ja ohutrappaus-eristejärjestelmiä. Viime aikoina n. 10...15 vuotta vanhoissa eristerappausjärjestelmissä on havaittu paikoin runsasta vaurioitumista. Vaurioitumista on todettu sekä ohut- että paksurappaus-eristejärjestelmänä toteutetuissa julkisivuissa. Vauriot ovat alustavien havaintojen perusteella osin työvirheistä johtuvia ja osin ympäristöolosuhteiden aiheuttamasta rasituksesta johtuvia. [1]

10-15 vuotta vanhojen rappauksien teoreettinen käyttöikä on vasta noin puolessa välissä tai sen alle. Käyttöiän jääminen lyhyeksi vaikuttaa selvästi ratkaisun elinkaarikustannuksiin etenkin, kun järjestelmän tiedossa olevat korjausratkaisut ovat vähissä. Toisaalta eristerappausjärjestelmien ohjeistus ja järjestelmistä käytössä ollut tutkimustieto on ollut vähäistä kohderyhmänä olevien rappauksen valmistusajankohtana, 2000-luvun alussa. Järjestelmien kuntotutkimuksia on toteutettu jo pitkään, mutta yhtenäistä ohjeistusta kuntotutkimuksen toteuttamiseen ei ole ollut. Kuntotutkimuksissa on pääasiassa sovellettu kovalle alustalle tehtyjen rappauksen kuntotutkimusohjetta by 44 Rapatun julkisivun kuntotutkimus 1998 [2] sekä betonijulkisivujen kuntotutkimusohjetta by 42 Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019 [3].

ErVaKu-projektin lopputuotoksena syntyi tekn. kand. Antti-Matti Lembergin diplomityö ”Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät” [1]. Tässä artikkelissa käsiteltävä kuntotutkimusohje on tehty kyseisen työn pohjalta Rakennustuotteiden Laatu Säätiö SR:n rahoituksella. Ohje on kirjoitettu Tampereen yliopiston Rakennustekniikan yksikössä. Sen on kirjoittanut Antti-Matti Lemberg ja kirjoitustyötä ovat ohjanneet Jukka Lahdensivu, Arto Köliö ja Toni Pakkala. Lopullista ohjetta ovat kommentoineet yllä mainittu ohjausryhmän jäsenet.

2. Julkaisun sisältö

Ohjeen tarkoitus on toimia ohjeena eristerappausjärjestelmien kuntotutkijoille sekä kuntotutkimuksen tilaajille, ja antaa heille tarvittavat perustiedot eristerappausjärjestelmien kuntotutkimuksen suunnitteluun, toteuttamiseen sekä tilaamiseen. Ohjetta voidaan soveltaa niin, että kuntotutkimuksessa otetaan huomioon kohteen erityispiirteet.

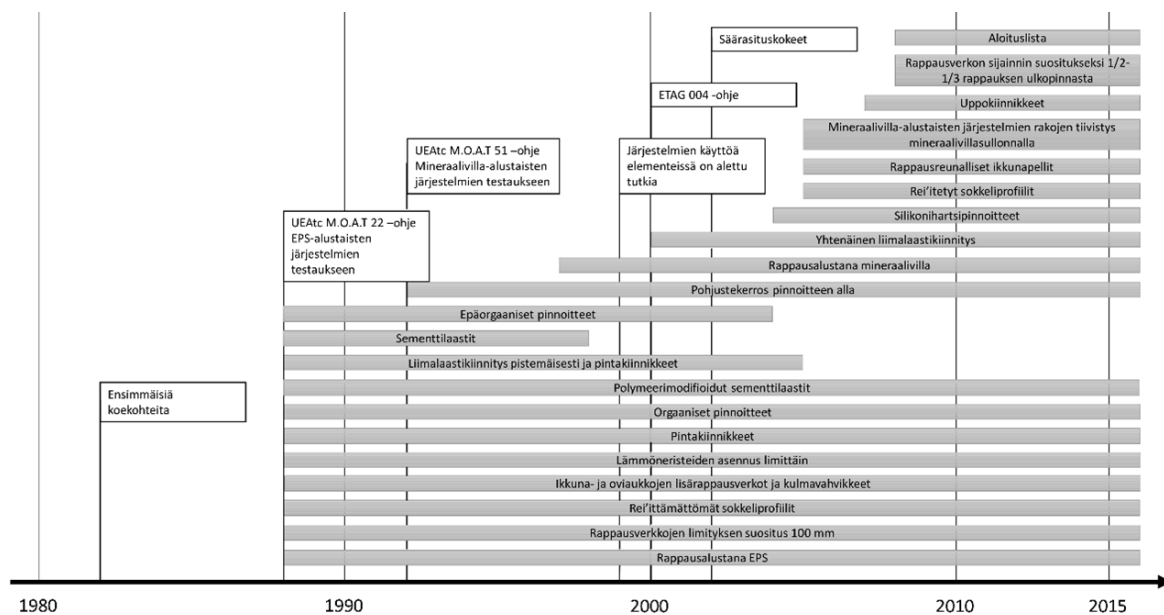
Julkisivujen kuntotutkimuksen tavoite on selvittää olemassa olevien vaurioiden syyt, laajuus, aste ja vaikutus julkisivujen toimintaan sekä arvioida vaurioiden kehittymistä ja etenemistä tulevaisuudessa. Jotta kuntotutkija ymmärtää tutkittavaa rakennetta ja sen erityispiirteitä, hänen tulee tuntea eristerappausjärjestelmät, niiden tyypillisimmät vauriot ja rasiustekijät sekä korjausmenetelmät. Ohjeessa on jaoteltu omiin lukuihinsa käytettyjen eristerappausjärjestelmien historia, järjestelmissä havaitut vauriot ja niihin vaikuttavat rasiustekijät sekä vaurioiden korjausmenetelmät.

Kuntotutkimuksen sisältö suunnitellaan aina kullekin kohteelle erikseen ja menetelmät valitaan kuntotutkimuksen sisällön mukaan siten, että tutkimuksessa selvitetään oikeita ja oleellisia asioita. Koska sisällön suunnittelulla on erittäin suuri merkitys kuntotutkimukset suorittamiseen, se on eroteltu omaksi luvukseksi erilleen menetelmistä. Ohjeen lopuksi omina lukuinaan käsitellään kuntotutkimuksen tulosten analysointi ja niistä muodostettavat johtopäätelmät rakenteen korjaustarpeesta ja turvallisuudesta sekä tutkimuksen raportointi.

2.1 Eristerappausjärjestelmät

Eristerappausjärjestelmillä tarkoitetaan rappausverkoilla vahvistettuja tuulettumattomia rapattuja julkisivujärjestelmiä, joissa rappausalustana toimii lämmöneriste. Eristerappausjärjestelmät voidaan jakaa ohutrappaus-eristejärjestelmiin ja paksurappaus-eristejärjestelmiin. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 5-10 mm. Vastaavasti paksurappaus-eristejärjestelmissä rappauksen paksuus on noin 20-25 mm. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä itse rappaus muodostuu verkotuslaastista sekä pintakäsittelystä, paksurappaus-eristejärjestelmissä pohja-, täyttö- ja pintarappauksesta sekä mahdollisesta pintakäsittelystä. Lämmöneristeet kiinnitetään alusrakenteeseen, joka toimii seinän kantavana rakenteena. Ohutrappaus-eristejärjestelmissä lämmöneristeen kiinnitetään alusrakenteeseen liimalaasteilla tai järjestelmien elementtiversioissa betonitartunnalla, kun paksurappaus-eristejärjestelmissä rappaus toimii jäykkänä levynä rappausalustan päällä, jolloin rappauksen liikkeet määräytyvät sen omien muodonmuutosten mukaan.

Ohjeessa on esitelty pääosa Suomessa käytetyistä tuotemerkeistä, materiaaleista sekä molemmista järjestelmistä aikajanana järjestelmissä tapahtuneita muutoksia. Kuvassa 1 on esitelty ohutrappaus-eristejärjestelmän muutoksia vuosikymmenten aikana.



Kuva 1. Ohutrappaus-eristejärjestelmän muutoksia 1980-luvulta lähtien.

2.2 Eristerappattujen julkisivujen vaurioituminen

ErVaKu-hankkeen tulosten [1] perusteella eristerappausjärjestelmissä on havaittu useita vaurioitumismekanismeja, jotka voidaan jakaa karkeasti rakennetta ja sen toimintaa heikentäviin vaurioihin sekä esteettisiin vaurioihin. Merkittävimpiä järjestelmien toimintaa heikentäviä vaurioita ovat rappauksen halkeilu, kosteustekniset toimivuuspuutteet, rappauksen pakkasrapautuminen sekä pinnoite- tai rappauskerrosten tartunnan vaurioituminen. Esteettisiksi haitoiksi lasketaan pintakäsittelyn vaurioituminen, epäorgaanisten laastien härme ja kirjavuus, julkisivupinnan likaantuminen ja erilaiset kasvustot sekä työnsuorituksesta aiheutuneet esteettiset haitat.

Eristerappausjärjestelmiin vaikuttavista rasiustekijöistä merkittävämpiä ovat kosteusrasitus, pakkasrasitus, erilaiset pakkovoimia aiheuttavat muodonmuutokset, mekaaniset rasitukset, UV-säteily ja muut vanhentavat aineet sekä ilman epäpuhtaudet. Rasiustekijöiden voimakkuuteen vaikuttaa muun muassa julkisivun ilmansuunta, rakennuksen sijainti, ympäröivä maasto ja rakenteen ominaisuudet (esim. räystäät, pellitykset jne.). Säärasitus vaikuttaa voimakkaammin eristerappausjärjestelmiin kuin kovalle alustalle tehtyihin rappauksiin, koska rappausalusta ei tasaa rappauksen kosteus- ja lämpötilanvaihteluita.

Halkeilu on merkittävä vauriomenetelmä, sillä se päästää kosteutta rakenteeseen, niin rappauksen muihin kerroksiin kuin eristetilaankin, mm. viistosateen sekä liittyvien rakenteiden toimivuuspuutteiden aiheuttamien kosteusteknisten puutteiden kautta. Koska halkeilu on suuressa roolissa rakenteen käyttöiän kannalta, ohjeessa on esitelty taulukkomuodossa yleisimmät halkeilun esiintymispaikat ja mahdolliset halkeilun aiheuttajat. Taulukossa 1 on esitetty osa kyseisestä taulukosta.

Taulukko 1. Ote ohjeen taulukosta, jossa on esitelty eristerappausjärjestelmissä esiintyviä tyypillisiä halkeamakohtia sekä halkeilun mahdollisia syitä.

Halkeaman esiintymispaikka	Halkeilun syy
Aukkojen nurkat	- Aukkojen nurkkiin kertyvät jännityspiikit - Aukon suuri koko - Lisärappausverkon puuttuminen - Lämmöneristeitä ei ole limitetty aukon reunan kanssa
Kapeat kannakset	- Kannaksiin kerääntyvät jännitykset
Ikkunapielet	- Rappauksen painuminen - Rappauksen kiinnittyminen ikkunakarmin - Rappauksen liikkuminen estetty

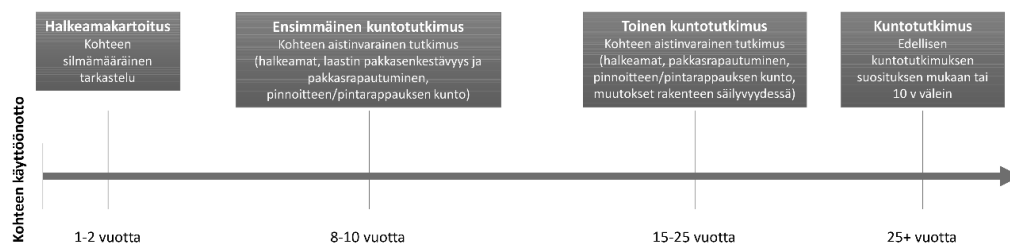
2.3 Korjaustavat

Jotta kuntotutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää, tulee kuntotutkija tuntea myös mahdolliset korjaustavat. Ohjeessa on esitelty pääpiirteittäin eristerappausratkaisujen korjaustavoista vaihtoehdot:

- ei korjaustoimenpiteitä
- julkisivujen puhdistus
- pinnoituskorjaus
- paikkaus- ja pinnoituskorjaus
- uuden verkotuslaastin levitys
- purkaminen ja uudelleenrakentaminen
- liittyvien rakenteiden korjaus
- ympäristölle ja terveydelle haitallisten aineiden vaikutus korjausten suorittamiseen.

2.4 Kuntotutkimuksen suunnittelu

Kuntotutkimus voidaan toteuttaa eritasoisena rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa. Koska eristerappausjärjestelmien vaurioituminen voi olla nopeaa, jos niissä esiintyy toimivuuspuutteita, on ensimmäinen silmämääräinen halkeamakartoitus suositeltavaa suorittaa kohteen takuuajana. Kuvassa 2 on esitelty esimerkki kuntotutkimusten ajallisesta hajauttamisesta.



Kuva 2. Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimuksen ajallinen hajauttaminen.

Eristerappausjärjestelmillä toteutetun julkisivun kuntotutkimus koostuu useammasta peräkkäisestä vaiheesta, joiden tuloksena saadaan tietoa julkisivun kunnosta ja korjaustarpeesta. Kuntotutkimuksen tarkoituksena on järjestelmissä esiintyvien vaurioiden kartoittaminen ja niiden syiden selvittäminen. Jotta tavoite voidaan saavuttaa, kattavaan kuntotutkimukseen kuuluu:

- esiselvitys sisältäen lähtötietojen keräämisen, alustavan tilanearvioin, tutkimustarpeiden arvioinnin sekä tutkimuksen työsuunnitelman
- varsinaiset tutkimukset sisältäen kenttätutkimukset, näytteenoton ja laboratoriotutkimukset sekä niiden pohjalta mahdollisen lisätutkimustarpeen arvioinnin
- tutkimustulosten analysointi sisältäen vauriotyyppin laajuuden, asteen, syyn, vaikutusten ja etenemisen analysoinnin sekä korjausmahdollisuuksien arvioinnin
- raportointi.

Kuntotutkimuksen näytemäärän valitseminen on hyvin tapauskohtaista. Kaikki julkisivut tulee tutkia silmämääräisesti sekä vasaroimalla nostokorista. Silmämääräinen sekä koputtelemalla tehty kattava selvitys saattaa ohjata vielä kuntotutkimusta tehdessä näytteenottoa, sillä kyseisen vaiheen aikana tehdyistä pitkälle edenneistä vauriokohdista ei ole välttämättä syytä ottaa näytettä, mutta vauriokohtien läheisyydestä on, jotta vaurion laajuus saadaan selville. Ohjeessa näytteenottokohtien valitsemiseen on ohjeistettu kuvien sekä taulukoiden avulla.

Näytteenottoa kohtia voivat tapauksesta riippuen olla mm.:

- rasi-tuimman julkisivun yläosa (pakkasrapautuminen, tartunnan vaurioituminen, rasi-tuimman vaikutus vaurioitumiseen)
- rasi-tuimman julkisivun alaosa (rappausalustaan tunkeutunut ja rappausalustassa valuva kosteus, pakkasrapautuminen, tartunnan vaurioituminen)
- vähiten rasi-tuim julkisivu (verrokkinäyte, rasi-tuimman vaikutus vaurioitumiseen)
- halkeaman kohdalta (läpihalkeama, rappausalustan vaikutus halkeiluun, verkon vaikutus halkeiluun)
- ikkuna- tai oviaukon nurkka (diagonaalirappausverkon olemassaolo, jos rappaus halkeillut)
- elementtisaumojen kohta ohutrappaus-eristejärjestelmissä (sauman toteutus, rappausalustan hammastus järjestelmien elementtiversioissa).

Yhdistämällä silmämääräiset havainnot näytteenottoon tutkimuksessa pyritään selvittämään mm.:

- halkeamien laajuus, niiden vaikutus rakenteen kosteustekniseen toimivuuteen, halkeilun syyt sekä korjattavuus
- rappauksen rapautumisen aste, laajuus, syyt, vaikutus turvallisuuteen, eteneminen tulevaisuudessa sekä korjattavuus
- rappauksen eri kerrosten tartunta toisiinsa sekä rappausalustaan
- kiinnitysten vaurioituminen
- rappausalustan vauriot
- kosteustekninen toimivuus
- pintakäsittelyjen vauriot jne.

2.5 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmät on esitelty ohjeessa vauriotyyppikohtaisesti. Esimerkiksi halkeilun osalta on esitelty tyypilliset sijainnit, missä halkeilua havaitaan ja mistä se todennäköisesti johtuu. Lisäksi on esitelty laboratoriotutkimusmenetelmät ja mitä niillä voidaan saada selville. Esimerkiksi ohuthie on melko kallis tutkimusmenetelmä eikä sillä välttämättä saada yhtä paljon informaatiota kuin esimerkiksi betonilieriöistä. Kosteusteknisistä riskiratkaisuista ja niiden tunnistamisesta ohjeessa on esitelty detaljeina tyypillisimpiä.

2.6 Tulosten analyysi

Kuntotutkimuksen eri vaiheissa kertyneille tiedoille ja tuloksille suoritetaan analyysi, jossa yksittäisiä tietoja tarkastellaan, tulkitaan ja muokataan käytännön johtopäätöksiksi.

Tutkimustulosten analysoinnissa suoritetaan kohteen vauriotyyppien tunnistus, vaurioiden aiheuttajien selvittäminen ja vaurioasteen sekä -laajuuden arviointi. Analysointi on yksi kuntotutkimuksen vaativimmista ja keskeisimmistä vaiheista. Johtopäätelmissä pyritään yleensä esittämään arvio tutkittujen rakennusosien korjaustarpeesta sekä vaurioiden vaikutuksesta asukkaiden ja muiden ihmisten turvallisuuteen. Analyysi toimii pohjana rakennuksen nykytilan ja vaurioiden etenemisen arvioinnille. Analyysissä vaurioita tulee tarkastella syy-seurausperiaatteen mukaisesti. Ohjeessa on esitetty menetelmä, kuinka eri vaurioitumisten yhteisvaikutuksia voidaan analysoida ja niiden pohjalta tehdä korjausehdotus.

2.7 Raportointi

Kuntotutkimuksessa kertyneet tiedot sekä niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset kootaan kirjalliseksi kuntotutkimusraportiksi, jonka tarkoituksena on välittää tutkimuksen tulokset tilaajan käyttöön sekä tallentaa kaikki tarpeelliset tiedot tulevaa käyttöä (korjaussuunnittelua ja kunnossapitoa) varten. Kuntotutkimusraportin sisällön tulee olla sellainen, että sekä rakennusalan ammattilaiset että asiaan perehtymätön lukija saa raportista tarvitsemansa tiedot.

Kuntotutkimusraportissa tulee esittää kaikki kuntotutkimuksen eri vaiheissa kertyneet tiedot, joilla voi olla vaikutusta rakennuksen kunnossapidossa tai korjaussuunnittelussa tehtäviin valintoihin. Kuntotutkimusraportissa ei oteta kantaa sellaisiin asioihin, joita ei selvitetty. Ohjeessa on esitetty yksityiskohtaisesti, mitä raportin tulee pitää sisällään.

3. Kiitokset

Ohjeen laatimista ohjanneen Julkisivuyhdistyksen nimeämän työryhmän puheenjohtajana on toiminut Mikko Tarri (A-Insinöörit Suunnittelu Oy). ErVaKu-projektissa oli rahoittajina ja ohjausryhmässä mukana seuraavat toimijat: A-Insinöörit Suunnittelu Oy, Consti Julkisivut Oy, Finnfoam Oy, Frontago Oy, HSSR Oy, Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy, Julkisivukonsultointi JK Oy, Julkisivuyhdistys ry, Labroc Oy, Narmapinnoitus Oy, Parma Oy, Paroc Oy Ab, Ramboll Finland Oy, Renovatek Oy, Saint-Gobain Finland Oy / ISOVER & Weber, Sto Finexter, Tikkurila Oyj ja WSP Finland Oy. Lisäksi ohjausryhmään kuului Insinööritoimisto Conditio 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.

4. Yhteenveto

Eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusmenetelmistä ei ole ollut yhtenäistä ohjeistusta vaan usealla alalla toimivalla yrityksellä on omat menetelmänsä ja yleensä on sovellettu muihin, esimerkiksi betonijulkisivuihin ja kovalle alustalle rapattuihin julkisivuihin käytettyjä menetelmiä. Eristerappausjärjestelmät ovat kuitenkin toimintaperiaatteeltaan ja vauriotyypeiltään isolta osin hyvin erilaisia ja niiden tutkiminen vaatii monimuotoisten vauriotapojen tunnistamista rajatuilla tekniikoilla. Tämän hankkeen lopputuotoksena ensimmäinen eristerappausjärjestelmien kuntotutkimusohje on julkaistu Julkisivuyhdistyksen kotisivuilla vapaasti kaikkien saataville.

Lähdeluettelo

- [1] Lemberg, A.-M. 2019. Eristerappausjärjestelmien vauriomekanismit ja kuntotutkimusmenetelmät. Tampereen yliopisto, diplomityö. 185 s.
- [2] Suomen Betoniyhdistys ry. 1998. Rapatun julkisivun kuntotutkimus. Suomen Betonitieto Oy, Helsinki. 112 s.
- [3] Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. by 42 Julkisivujen ja parvekkeiden kuntotutkimus. BY-Koulutus Oy, Helsinki. 136 p.

B3. Rakennusfysiikka oikeudessa

Rakennusfysiikka oikeudessa

Tiina Koskinen-Tammi ja Leena Laurila
Asianajotoimisto Alfa Oy

Tiivistelmä

Tuomioistuimissamme käsitellään verrattain paljon rakentamiseen ja rakennuksiin liittyviä riitoja. Tällaisissa riitajutuissa on hyvin usein kyse jollakin tapaa rakennusfysiikkaan liittyvistä ilmiöistä, tekijöistä ja tapahtumista. Oikeudenkäynneissä esitetään paljon rakennustekniikkaan ja –fysiikkaan liittyvää näyttöä, joka perustuu yleensä asiantuntijoiden tekemiin selvityksiin ja heidän käsityksiinsä asioista. Oikeudenkäynti rakentamista tai rakennuksen kuntoa koskevassa asiassa perustuukin vahvasti asiantuntijatodisteluun. Riita-asian pääkäsitelyssä kuullaan yleensä rakennusalan asiantuntijoita suullisesti ja esitetään kirjallisina todisteina heidän asiantuntijalausuntojaan. Kun tuomioistuin arvioi esitetyn todistelun painoarvoa, on merkitystä sillä, miten asiantuntija on asiansa kertonut ja kirjoittanut. Todistelun vastaanottava tuomioistuin on rakennusasioiden suhteen todennäköisesti täysin maallikkotaustainen. Koska näyttö riidoissa perustuu niin vahvasti asiantuntijoihin, asiantuntijan olisi hyvä ymmärtää, miten kirjoittaa kirjallisen lausuntonsa ja miten esiintyä istunnossa tullakseen oikeudenkäynnissä parhaiten ymmärretyksi.

1. Johdanto

Yksi merkittävä ja vakiintunut aihe riitaoikeudenkäynneille on rakentaminen ja rakennukset. Tällaisissa jutuissa on hyvin usein kyse jollakin tapaa rakennusfysiikkaan liittyvistä ilmiöistä, tekijöistä ja tapahtumista. Esimerkiksi rakennusurakan tai kiinteistön virhettä koskevissa asioissa käsitellään usein oikeudellisia ongelmatilanteita, jotka liittyvät rakennusfysiikkaan tapahtumiin tai olosuhteisiin. Tällaisissa jutuissa esitetään paljon rakennustekniikkaan ja –fysiikkaan liittyvää näyttöä, joka yleensä perustuu asiantuntijoiden tekemiin tutkimuksiin ja tarkasteluihin sekä heidän käsityksiinsä asioista.

2. Rakennusfysiikka todistelun aiheena oikeudenkäynnissä

Rakennukseen tai rakentamiseen liittyviä riitajuttuja ovat voivat olla esimerkiksi uuden asunnon, käytetyn asunnon, kiinteistön, rakennusurakan tai remonttipalveluiden virhettä, asunto-osakeyhtiön kunnossapitovastuuta, vuokrasuhdetta tai vastaavan työnjohtajan tai rakentamiseen liittyvän konsultin vastuuta koskevat asiat. Tällaisiin oikeudenkäynteihin liittyy rakennusteknistä ja -fysikaalista todistelua ja selvittämistä. Tällainen oikeudenkäynti kohdistuu tai liittyy rakennukseen ja sen kuntoon ja ominaisuuksiin tai jonkin virheen tapahtumiseen. Käsiteltävän oikeussuhteen luonteesta riippuen oikeudenkäynnissä voidaan tarvita selvitystä esimerkiksi siitä, mitä vikaa tai millaisia vaurioita rakennuksessa on, onko siinä rakennusvirhe tai muu laatupoikkeama, milloin ja miten virhe tai vaurio on syntynyt sekä mistä ja kenen syystä.

Rakennusfysiikkaan liittyvän näytön tarve riippuu siitä, mitä osapuolet oikeudenkäynnissä vaativat ja millaisilla väitteillä he perustelevat vaatimuksensa. Jokainen riita ratkaistaan niiden väitteiden perusteella, joita asianosaiset ovat asiassa esittäneet (väittämissä). Oikeudenkäymiskaaren (OK) 24:3.2 §:n mukaan tuomiota ei saa perustaa seikkaan, johon

asianosainen ei ole vaatimuksensa tai vastustamisensa tueksi vedonnut. Lisäksi tuomioistuimen ratkaisu voi perustua vain siihen todisteluun, jota asianosaiset ovat esittäneet. OK 17:2 §:n mukaan riita-asiassa asianosaisen on näytettävä ne seikat, joihin hänen vaatimuksensa tai vastustamisensa perustuu (todistustaakka).[1]

Jos jokin seikka on riitajutun asianosaisten kesken riidaton, siitä ei oikeudessa riidellä ja näin ollen siitä ei saa eikä tarvitse esittää todistelua. Rakentamista koskevissa riidoissa ei siis välttämättä aina absoluuttisesti tarvita tietynlaista rakentamista tai rakennusta koskevaa rakennusfysiikka sivuavaa näyttöä, jos asianosaiset pitävät jotakin tällaista seikkaa selvänä ja riidattomana. On myös mahdollista, että tästä syystä jokin todellisuudessa epätoisi seikka (rakennusfysikaalinen väite) tulee todettua riidattomaksi ja asetetuksi tuomioistuimen tuomion pohjaksi.

3. Asiantuntijatodistelun perusteet

Oikeudenkäynti rakentamista tai rakennuksen kuntoa koskevassa asiassa perustuu vahvasti asiantuntijatodisteluun. Asianosaiset itse eivät yleensä edes osaa (eikä heidän toisaalta tarvitsekaan osata) selittää rakennuksen olosuhteita ja kuntoa rakennusfysiikan avulla. Riitajutussa on yleensä mukana asiantuntijoita tätä tarkoitusta varten. Riita-asian pääkäsitelyssä kuullaan yleensä rakennusalan asiantuntijoita suullisesti ja esitetään kirjallisena aineistona heidän asiantuntijalausuntojaan.

Rakennusalan edustaja (asiantuntija) voi vuonna 2016 voimaan tulleen lainuudistuksen jälkeen olla riitaoikeudenkäynnissä joko todistaja tai asiantuntija. Oikeudenkäymiskaaren (OK) 17:34 §:ään perustuen asiantuntijaa kuullaan erityisiä tietoja vaativista kokemussäännöistä sekä niiden soveltamisesta asiassa ilmenneisiin seikkoihin. Erityiset kokemussäännöt eivät kuulu tavanomaiseen yleissivistykseen eivätkä jokaisen ihmisen elämäkokemukseen vaan ovat erityisiä ammattitietoja. Jos kuultavan oikeudessa kertomassa asiassa on kyse kokemussääntöjen sijaan ainutlaatuisista nk. silminnäkijähavainnoista, on kuultava asiantuntijan sijaan todistaja. Tuomioistuimet soveltavat käytännössä tätä jaottelua hyvin eri tavoin; saman tyyppistä tai jopa samaa, käytännössä alansa asiantuntijaa voidaan pitää yhdessä käräjäoikeudessa todistajana ja toisessa käräjäoikeudessa asiantuntijana. Käytäntö on osoittanut, että sillä, esiintyykö joku henkilö todistajana vai asiantuntijana, ei välttämättä kuitenkaan ole todistelun painoarvon kannalta paljoakaan merkitystä. [2]

OK 17:35 §:n mukaan asiantuntijan on oltava rehelliseksi ja alallaan taitavaksi tunnettu. Asiantuntijana ei saa toimia se, joka on asiaan tai asianosaiseen sellaisessa suhteessa, että hänen puolueettomuutensa vaarantuu. Sääntely asettaa näin asiantuntijalle edellytyksen ammattitaidosta sekä puolueettomuudesta. Käytännössä kuka tahansa rakennusalan koulutuksen saanut tai rakennusalan kokemusta omaava voi toimia asiantuntijana rakentamiseen liittyvässä riita-asiassa. Todistusharkinnassa tuomioistuin voi ottaa huomioon mm. asiantuntijoiden koulutuksen ja kokemuksen sekä näiden lausuntojen tai kertomusten uskottavuuden, mutta näytön arviointi on kuitenkin tuomioistuimen vapaassa harkinnassa. [3]

Oikeudenkäymiskaaren asiantuntijatodistelua koskevan sääntelyn mukaan pääsääntönä on nykyään kirjallisen asiantuntijalausannon esittäminen (OK 17:36 §). Sen lisäksi asiantuntijaa voidaan kuulla erilaisista syistä myös suullisesti oikeudenkäynnissä. Asiantuntijaa on kuultava tuomioistuimessa suullisesti, jos se on tarpeen asiantuntijan lausannon epäselvyyksien, puutteellisuuksien tai ristiriitaisuuksien poistamiseksi tai, jos tuomioistuin katsoo sen muusta

syystä tarpeelliseksi tai jos asianosainen sitä pyytää eikä kuuleminen ole ilmeisesti merkityksetöntä. Asiantuntijalausunnolta ei voi pyytää lisävalaistusta asiaan tai esittää lisäkysymyksiä lausunnon ulkopuolelta, mutta oikeudessa paikalla olevalta asiantuntijalta voi. On käytännössä hyvin tavallista, että asiantuntijaa kuullaan myös suullisesti, jolloin on tärkeää se, miten asiantuntija esittää asiansa suullisesti oikeudessa esiintyessään.

4. Asiantuntijatodistelu rakennusfysiikasta

Rakennusfysikaaliset termit, lainalaisuudet tai säännöt eivät yleensä ole lakimieskoulutuksen saaneille tuomareille tuttuja. Lakimieskoulutuksessa ei opeteta rakentamista, ei fysiikkaa, eikä varsinkaan rakennusfysiikkaa. Samoin rakentamisen tavat sekä rakennusmateriaalit ja -menetelmät voivat jäädä riitaa ratkaisevalta henkilöltä ymmärtämättä, jolleivät ne jostain syystä ole kuuluneet hänen elämänpiiriinsä. Suuri merkitys on sillä, miten niistä kertova asiantuntija asiansa selostaa. Hyvä lähtökohta on pitää mielessä, että kuulijana on rakennusasioiden suhteen todennäköisesti täysin maallikko. Esitys on hyvä pitää tarpeeksi yleistajuisena.

Oikeudenkäynnissä mukana olevan asiantuntijan on hyvä varautua selostamaan asia oikeudessa maallikolle ymmärrettävästi eikä pelkin ammattitermein tai liian tieteellisesti. Esim. usein esillä olevat termit diffuusio ja kondenssi olisi aina hyvä osata tarvittaessa selittää kuulijalle.

Riita-asiassa ei aina ole riittävää näyttää vain jonkin virheen tai laatupoikkeaman olemassaolo rakentamisessa tai rakennuksessa, vaan tärkeää voi olla myös se, mistä syystä ja milloin virhe on syntynyt. Tällä saattaa olla vaikutusta siihen, kenen vastuupiiriin virhe kuuluu; vastuu voi kuulua tällöin vastaajan sijaan vaatimusten esittäjälle itselleen (kantajalle), jollekin muulle, oikeudenkäyntiin nähden ulkopuoliselle taholle, tai vastuu voi kuulua useasta oikeudenkäyntiin haastetusta vastaajasta lopulta vain yhdelle. Asiantuntijalta saatetaan pyytää arviota rakennustekniikan tai -fysiikan alan seikoista, joilla pyritään ratkaisemaan tällainen kysymys.

Yleensä oikeudenkäynnissä on kuultavana useita riidan eri osapuolten nimeämiä rakennusalan asiantuntijoita. Tuomari ei välttämättä osaa arvostella oikein toisistaan poikkeavia asiantuntijoiden kertomuksia eikä osaa päätellä ”oikein”, esim. kumpi kahdesta asiantuntijasta arvioi asian rakennusfysikaalisesti oikein. Tuomioistuimella on kuitenkin asiassa ratkaisupakko; se ei voi jättää asiaa sisällöllisesti ratkaisematta ja lausua, että jokin kysymys on liian vaikea ratkaistavaksi. Tällöin joku rakennustekninen tai -fysikaalinen seikka voi tulla väärin todetuksi tai päätellyksi ja sellaisena vääräksi tuomion perustaksi.

Oikeudenkäynnissä selvitetään ja ”saavutetaan” parhaimmillaankin vain ns. prosessuaalinen totuus, eli aina on mahdollista, että oikeudessa ei tule syystä tai toisesta näytetyksi oikea, todellinen tapahtumainkulku, ja juttu tulee tuomituksi sen mukaisesti. Lisäksi on mahdollista, että paljon erityisalan tietämystä ja termistöä sisältävässä jutussa tuomioistuin ymmärtää – esimerkiksi rakennusfysikaalisia ilmiöitä koskevan - asian väärin ja tuomitsee tämän johdosta väärin. Koska näyttö rakennusta koskevissa riidoissa perustuu vahvasti asiantuntijoihin, asiantuntijan olisi hyvä ymmärtää, miten kirjoittaa kirjallisen lausuntonsa ja miten esiintyä istunnossa tullakseen oikeudenkäynnissä ymmärretyksi.

Joistakin tuomioistuinratkaisuksista voidaan nähdä, ettei asiaa ratkaisseella tuomarilla ole ollut riittävää ymmärrystä jostakin rakennusfysikaalisesta ilmiöstä tai seikasta. Seuraavassa on joitakin esimerkkejä termeistä ja esitystavoista, jotka saatetaan ymmärtää oikeudessa väärin tai jotka saattavat jäädä ymmärtämättä.

- Se, miten asia ymmärretään, riippuu siitä, miten se on esitetty. ”Höyrinsulku puuttuu kokonaan.” Lukija voi ymmärtää lauseen sellaisenaan niin, että kyseessä on rakennusvirhe, kun todetaan jotain puuttuvan. Ikään kuin höyrinsulku tulisi olla, vaikka kyseessä on vanha rakennus. Lisäksi lause vaikuttaa siltä kuin höyrinsulun kokonaan puuttuminen olisi moitittavampaa kuin vaihtoehto, että se puuttuisi vain osittain.
- Lauseiden kirjoittaminen äidinkielellisesti virheellisesti saattaa muuttaa lauseen merkitystä. Kahdella virkkeellä ”Tilassa ei ole lämmitystä, joka edesauttaa kosteuden tiivistymistä rakenteen sisään.” ja ”Tilassa ei ole lämmitystä, mikä edesauttaa kosteuden tiivistymistä rakenteen sisään.” on eri merkitys. Edesauttaako lämmitys vain sen puuttuminen kosteuden tiivistymistä?
- Rakennusmateriaalit ja niiden kaupanimekkeet. Jonkin rakennusmateriaalin nimi saattaa olla tuntematon maallikolle, mutta kaupanimeke tunnetumpi, esim. EPS (”epsi”)/styrox. Toisaalta tuomari ei välttämättä tunne kuitenkaan moniakaan rakennusmateriaalien kaupanimekkeitä, jos puhutaan vain niistä yleisemmän materiaalin nimityksen sijaan.
- Diffuusio, konvektio, kapillaarikosteus. Tuomari ei yleensä pysty valitsemaan oikeaa vastausta, kun asiantuntijat oikeudenkäynnissä esittävät jossakin tapauksessa toisistaan poikkeavan käsityksen kosteuden siirtymistavasta tai tavan nimestä. Yleensä on riittävää, että kosteutta ylipäättään on siirtynyt. Toisaalta jos kosteuden eri siirtymistavoille on eri syitä tai eri ajanjaksoja ja sitä kautta esim. mahdollisia eri vastuutahoja, voi olla merkittävääkin, mikä on ollut kosteuden siirtymistapa.
- Alipaine ja ylipaine; liittyen esimerkiksi ilman liikkeisiin rakennuksessa ja rakennuksen rakenteissa olevien mikrobivaurioiden vaikutukseen sisäilmaan. Paineasioihin vihkiytymätön maallikko ei ehkä osaa ilman asian havainnollistamista mieltää oikein ali- tai ylipainetta ja ilman liikettä rakennuksessa.

5. Esimerkkejä oikeudenkäynneistä

Seuraavassa esitellään joitakin oikeudenkäynneissä käsiteltyjä rakennusfysiikkaan liittyviä tapauksia, jotka on ratkaistu jutuissa esitetyn asiantuntijatodistelun perusteella. Esimerkit osoittavat, että jutun lopputulos riippuu rakennusfysiikan oppien ohella ja joskus jopa sen sijaan pitkälti siitä, mitä ja miten eri asiantuntijat oikeudessa kulloinkin kertovat, ja mitä tuomioistuin näistä kertomuksista ymmärtää.

- Erimielisyys siitä, onko valesokkeli ollut rakennusvirhe 1970-luvulla rakennetussa omakotitalossa. Asiantuntija perusti näkemyksensä v. 1975 rakennusmääräykseen C2 osaan, jonka määräyksen mukaan rakennuksen on tarkoituksenmukaisesti suojattava sisätiloja veden ja kosteuden haitallisilta vaikutuksilta ja tehtävä terveellisen sisäilmaston ylläpitäminen mahdolliseksi. Lisäksi määräyksen mukaan rakenteiden, rakennustarvikkeiden ja -aineiden on oltava sellaisia, ettei kosteus eivätkä muut tekijät haitallisessa määrin heikennä rakennuksen toimintakelpoisuutta, kestävyyttä ja rakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Voidaanko tämän perusteella todeta, että valesokkeli on ollut 1970-luvulla rakennusvirhe, kun se on johtanut rakenteiden vaurioitumiseen 2010-luvulla? Tuomioistuin ei kuitenkaan kahden muun asiantuntijan vastakkaisten käsitysten johdosta pitänyt valesokkeliä rakennusvirheenä 1970-luvulla. (Keski-Suomen käräjäoikeuden tuomio 18/18252 1.10.2018 L 17/19403)
- Ilmavuotoluku ja rakennusvirhe. Kun vedotaan johonkin rakentamismääräykseen ja sen vastaiseen rakentamiseen rakennusvirheenä, tulee olla kyse rakentamisaikaan (rakennuslupaa hakiessa) voimassa olleesta määräyksestä. Omakotitalon

ilmavuotoluvuksi oli tiiviysmittauksessa todettu 3,1. Asiantuntijat vetosivat v. 2003 rakennetun rakennuksen osalta rakennusajankohdan jälkeen voimaan tulleeseen rakentamismääräyskokoelman C3-osaan rakennuksen lämmöneristysmääräyksiä 2003, jossa on todettu, että ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmanpitävyyden tulisi olla mielellään lähellä arvoa 1. Useat vastapuolen asiantuntijat kertoivat asiasta toisin. Tuomioistuin totesi, että kohteeseen sovelletaan aikaisempaa määräystä, jossa ilmanvuotoa ei ole määriteltä numeroarvolla eikä ilmanvuotoluku ole ollut käsitteenä käytössä. Sen sijaan määritelmänä on aiemmin ollut, että ilmansulun ja ilmansulkuna toimivan höyrynsulun saumat, reunat ja läpivientikohdat on tiivistettävä huolellisesti. Asian arvioinnissa ei voida lähteä siitä, että talon ilmanvuotoluvun olisi 12 vuotta myöhemmin oltava lähellä arvoa 1 tai muuten talo ei täytä määräyksiä.

Käräjäoikeus katsoi todistelun osoittavan, että ilmavuotoluku 3,1 oli rakennusajankohtaan nähden tavanomainen eikä rakennuksessa ollut sen johdosta virhettä. (Pirkanmaan käräjäoikeuden tuomio 16/1780, 10.1.2016 L 14/23658)

- Asiantuntijoiden erilaiset arviot siitä, ovatko välipohjarakenteen sisässä olevat laudat vaurioituneet rakennuksen käytön aikana vai ennen rakentamista, kun lautoja ympäröivissä muissa välipohjan rakenteissa ei ollut vaurioita. Kolme rakennusterveysasiantuntijaa (kaksi kantajan ja yksi vastaajan puolella) kertoivat kaikki käsityksensä, että koska lautojen ympäröivissä rakenteissa ei ole mitään merkkejä vaurioitumisesta, laudat eivät ole voineet vaurioitua välipohjan ”keskellä” rakennuksen käytön aikana. Vastaajan kuulema arkkitehti sen sijaan selvitti, miten kosteus voi siirtyä kipsilevy- ja puurakenteiden läpi keskelle välipohjarakennetta ja ”jäähdyttää” vain yhdenlaiseen lautaan. Käräjäoikeus katsoi arkkitehdin kertomuksen perusteella, että sisäilman kosteus oli vaurioittanut välipohjan sisässä olleita lautoja niin, etteivät muut ympäröivät rakenteet ”matkalla” olleet vaurioituneet. (Etelä-Pohjanmaan käräjäoikeuden tuomio 18/23 10.1.2018 L 17/7308)
- Muovimaton asentaminen liian kostean betonin päälle rakennusurakan virheestä johtuvaa vahingonkorvausta koskevassa asiassa. Jutussa otettiin kantaa siihen, oliko betonilaatan liiallinen kosteus urakoitsijan vai tilaajan vastuulla olleen rakennussuunnittelun virhe. Urakoitsija vetosi siihen, että tilaajan puolelta tullessa rakennussuunnittelussa olisi tapahtunut virhe. Kosteudenhallintasuunnitelma tuli urakoitsijalta. Jutussa kuultiin useita asiantuntijoita, jotka painottivat kuka urakoitsijan kuka rakennussuunnittelijan menettelyn moitittavuutta korostavia seikkoja. Hovioikeus totesi, että urakoitsija oli betonirakentamisen asiantuntija. Pääurakoitsija on ollut urakkasopimuksen perusteella vastuussa rakentamansa sairaalarakennuksen toimivuudesta ja kelvollisuudesta sille aiottuun käyttötarkoitukseen. Kosteudenhallintasuunnitelmassa ei ollut yksilöity toimenpiteitä tiedostetun betonilaatan paksuuden aiheuttaman kosteusriskin aiheuttaman ongelman ratkaisemiseksi. Työn tilaaja oli voinut luottaa siihen, että pääurakoitsijalla on betonirakentamisen asiantuntijana tilaajaa paremmat edellytykset arvioida betonilaatan kuivattamiseen tarvittavaa aikaa ja työmenetelmiä. Betonilaatan liian suuri suhteellinen kosteuspitoisuus sitä pinnoitettaessa on johtunut urakoitsijan laiminlyönnistä eikä puutteellisesta rakennussuunnittelusta. (Turun hovioikeuden tuomio 1122 11.11.2016 S 15/2100)
- Haihtuuko vanhasta, kreosoottia sisältävästä pikisivelystä aina terveydelle haitallisia yhdisteitä vai ei. Kahdessa eri kreosoottia koskeneessa oikeudenkäynnissä oli esitetty toisilleen päinvastaiset asiantuntijankäymykset siitä, onko kreosootti vaarallista vuosikymmeniä sitten tehdyssä pikisivelyssä, joka paljastuu remontissa vuosikymmeniä myöhemmin. Kummassakin tapauksessa kreosootti oli todettu rakenteista otetuilla

materiaalinäytteillä, eikä sisäilman VOC-pitoisuuksia ollut tutkittu. VOC-tutkimuksia ei ollut tehty sen vuoksi, että rakenteet oli kummassakin tapauksessa jo avattu. Toinen tapaus ratkaistiin hovioikeudessa kaupan purulla, toisessa vaatimukset sen sijaan hylättiin.

Helsingin hovioikeuden tapauksessa oli kuultu rakennusterveysasiantuntijaa, joka oli oikeudessa selvittänyt, ettei kreosootista ole em. tilanteessa haittaa. Turun hovioikeuden tapauksessa kaksi rakennusterveysasiantuntijaa puolestaan olivat kertoneet, että kreosootti on haitallista, vaikkei se haise eikä sitä ole todettu ilmassa.

Turun hovioikeuden ratkaisuun haettiin valituslupaa korkeimmalta oikeudelta, joka otti asian käsittelyyn ja pyysi asiasta tässä pulmatilanteessa vielä viranomaisen eli Valviran asiantuntijalausunnon asiasta. Kysymys kuului, onko kreosootti vaarallista tietyssä tilanteessa tai olomuodossa, ja siihen kaivattiin konkreettista vastausta, koska asianosaisten toimesta hankittu asiantuntijanäyttö osoittautui ristiriitaiseksi. Korkein oikeus ratkaisi asian Valviran lausunnon suuntaviivojen mukaisesti ja totesi, että vanhan rakennuksen rakenteissa rakentamisaikana tavanomaisesti käytetystä kivihiihiipiestä ei usean vuosikymmenen jälkeen yleensä haihdu huoneilmaan PAH-yhdisteitä ainakaan terveydelle haitallisissa määrin, ellei rakennuksen rakenteita ole avattu. Korkein oikeus katsoi, ettei kiinteistössä ollut tällä perusteella laatuvirhettä ja hylkäsi ostajan vaatimukset kokonaan. (Helsingin hovioikeuden tuomio 25.9.2017 nro 1133 ja Turun hovioikeuden tuomio 9.5.2017 nro 437 sekä korkeimman oikeuden tuomio 2019:41)

6. Yhteenveto

Tuomioistuimissa rakennusfysiikkaan liittyvät jutut ratkaistaan yleensä asianosaisten hankkiman asiantuntijatodistelun perusteella. Tuomioistuimessa asian ratkaisevat tuomarit eivät yleensä ymmärrä rakennusfysiikkaa kovinkaan syvällisesti. Asiantuntijan tulee kirjallisessa lausunnossaan ja suullisessa kuulemisessaan oikeudessa pyrkiä esittämään asiansa yleistajuisesti ja maallikolle ymmärrettävästi. Koska tuomioistuimella on ratkaisupakko, sen on ratkaistava asia, vaikka esitetty näyttö olisi ristiriitaista tai vaikeasti ymmärrettävää. Toisinaan oikeudenkäynnissä voi käydä myös niin, ettei asiantuntija tule ymmärretyksi tai hän tulee väärin ymmärretyksi. Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että asiantuntija on esittänyt asiansa epäselvästi tai siitä, että tuomari on uskonutkin jutussa esitettyä toista kantaa tai toista asiantuntijaa esitettyä näyttöä kokonaisuutena arvioituaan.

Lähdeluettelo

- [1] Jokela A. (2015) Pääkäsittely, todistelu ja tuomio Oikeudenkäynti III. s. 519-522.
- [2] Vuorenpää M. (2012) Asiantuntijatodistelun ongelmakohtia. s. 31-15
- [3] Vuorenpää M. (2012) Asiantuntijatodistelun ongelmakohtia. s. 59-64 ja Jokela A. (2015) Pääkäsittely, todistelu ja tuomio Oikeudenkäynti III. s. 190-192.

Kivihiilipiki vanhassa rakenteessa, Valviran lausunto ja KKO:n ennakkopäätös

Pertti Metiäinen
Valvira

Tiivistelmä

Vanhassa rakenteessa oleva kivihiilipiki herättää usein kysymyksen siitä, onko rakenne terveydelle haitallinen ja onko kyseessä laatuvirhe. KKO:n ennakkopäätöksessä Valviran lausunnon perusteella tehtiin uusi linjaus asiaan. Vanhoissa rakenteissa kiinteässä muodossa tai pintakerroksen alla oleva kivihiilipiki ei yleensä aiheuta terveyshaittaa, jos haitta-ainetta sisältäviin rakennekerroksiin ei ole koskettu. Suurin osa kivihiilipien sisältämisestä PAH-yhdisteistä on kiinni hiukkasissa eivätkä siis ole kaasumaisessa olomuodossa. Jos kivihiilipikerroksen päällä on muita tiiviitä materiaalikerroksia, niin näitä kivihiilipiestä hiukkasiin sitoutuneita, terveydelle haitallisia PAH-yhdisteitä ei juuri kulkeudu huoneilmaan.

1. Johdanto

Vanhoissa rakenteissa olevan kivihiilipien tai kreosootin haitallisuuden arviointi on aina tapauskohtaista. Arvioinnissa otetaan huomioon mm. rakennuksen historia, tiedot rakenteiden korjauksista sekä mahdolliset hajuhavainnot. Sisäilmamittauksilla voidaan selvittää tarkemmin haitta-aineiden pitoisuudet.

”Kreosootti” -sanaa on käytetty yleisesti kivihiilitervan tisleiden synonyyminä, joka voi aiheuttaa sekaannusta. Kivihiilipiestä aiemmin käytetty myös ”kreosootti” tai ”kreosiitti” -termejä sekä kreosoottiöljystä myös ”kreosootti” -termiä. Kreosiittiöljyä on käytetty ja käytetään yhä ulkokäyttöön tarkoitetun puutavaran kyllästämiseen (kyllästettyä puutavaraa ei ole milloinkaan tarkoitettu sisäkäyttöön). Kivihiilipikeä on käytetty aiemmin kiviaineisten pintojen kosteuden- ja vedeneristeenä.

Vanhoissa rakenteissa olevat haitta-aineet (esim. kivihiilipiki) ovat usein kiinteässä muodossa tai pintakerrosten alla yleensä terveyshaittaa aiheuttamatta, jos haitta-ainetta sisältäviin rakennekerroksiin ei ole koskettu. Korjausten tai muutostöiden yhteydessä näitä kerroksia saatetaan rikkoa, ja mikäli asianmukaisia torjunta- ja suojaustoimenpiteitä ei ole tehty, haitta-aineita voi päästä sisäilmaan ja siten niistä voi aiheutua terveyshaittaa. Haitta-aineita sisältävät materiaalit saattavat myös rikkoontua huoltotoimenpiteiden yhteydessä. Jos korjauksissa tai muutostöissä joudutaan rikkomään haitta-ainetta sisältäviä kerroksia, ne kannattaa poistaa kokonaan mahdollisen terveyshaitan välttämiseksi. Haitta-aineselvitys on pakollinen asbestin osalta ennen vuotta 1994 valmistuneen tai peruskorjatun rakennuksen rakenteiden korjaamista tai purkamista [1]. Vanhasta rakennusmateriaalista voidaan määrittää eri haitta-ainepitoisuuksia, josta saatavat tulokset antavat tietoa purkutöihin ryhtyvien suojautumistarpeesta tai rakennusjätteen loppusijoituksesta.

KKO:n ennakkopäätös (KKO:2019:41) liittyy 1950-luvun lopulla rakennetun omakotitalon sokkelin ja betonilaatan sisältämästä kivihiilipiestä aiheutuneeseen kauppariitaan. Valviran KKO:lle antamassa lausunnossa arvioidaan vanhassa rakenteessa olevasta kivihiilipiestä aiheutuvaa terveyshaittaa [2].

2. Vanhasta kivihiilipiestä aiheutuvan mahdollisen terveyshaitan arviointi

Kivihiilipiestä aiheutuvan mahdollisen terveyshaitan arvioinnissa ja korjaustoimenpiteissä voidaan soveltaa terveydensuojelulain (763/1994) 27 §:ssä mainittuja seikkoja [3]:

*Milloin asunnossa tai muussa oleskelutilassa esiintyy melua, tärinää, **hajua**, valoa, mikrobeja, pölyä, savua, liiallista lämpöä tai kylmyyttä taikka kosteutta, säteilyä **tai muuta niihin verrattavaa** siten, että siitä voi aiheutua terveyshaittaa asunnossa tai muussa tilassa oleskelevalle, kunnan terveydensuojeluviranomainen voi velvoittaa sen, jonka menettely tai toimenpide on syynä tällaiseen epäkohtaan, ryhtymään toimenpiteisiin terveyshaitan poistamiseksi tai rajoittamiseksi.*

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015) (myöhemmin asumisterveysasetus) on annettu toimenpiderajoja, joita voidaan soveltaa terveydensuojelulain 27 §:ssä mainittuihin seikkoihin [4]. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valviran ohje 8/2016) on esimerkkejä asetuksen tulkinnasta [5]. Kivihiilipikeen voidaan soveltaa asumisterveysasetuksen 15 §:n toimenpiderajoja:

Naftaleenin toimenpiderajana on huoneilmassa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tolueenivasteella laskettu pitoisuus) eikä huoneilmassa saa esiintyä naftaleeniin viittaavaa hajua.

Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valviran ohje 8/2016, osan III sivulla 5) on kerrottu kreosootista eli kivihiilipiestä seuraavaa [5]:

Naftaleenia voidaan pitää kreosootin indikaattoriyhdisteenä, koska se on merkittävin kreosootista ilmaan haihtuva yhdiste. Naftaleenin toimenpiderajaksi on säädetty $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mikä vastaa WHO:n naftaleenin vuosikeskiarvoa. Tämän lisäksi on säädetty siitä, että huoneilmassa ei saa esiintyä naftaleeniin viittaavaa hajua, eli asunnossa ei saa esiintyä kreosootin hajua, joka on hyvin tunnistettavissa oleva kyllästetyn ratapölkyn haju.

Valviran vastaukset KKO:n lausuntopyynnössä esitettyihin kysymyksiin (kysymykset **lihavoituina**):

1. Vapautuuko vanhan asuinrakennuksen rakenteissa käytetystä kivihiilipiestä terveydelle haitallisia PAH-yhdisteitä tai muita haitallisia aineita huoneilmaan?

Vanhoissa rakenteissa kiinteässä muodossa tai pintakerroksen alla oleva kivihiilipiki ei yleensä aiheuta terveyshaittaa, jos haitta-ainetta sisältäviin rakennekerroksiin ei ole koskettu. Suurin osa kivihiilipiien sisältämistä PAH-yhdisteistä on kiinni hiukkasissa eivätkä siis ole kaasumaisessa olomuodossa. Jos kivihiilipikikerroksen päällä on muita tiiviitä materiaalikerroksia, niin näitä kivihiilipiestä hiukkasiin sitoutuneita, terveydelle haitallisia PAH-yhdisteitä ei juuri kulkeudu huoneilmaan.

2. Mikä merkitys PAH-yhdisteiden mahdolliselle vapautumiselle on sillä, että rakennuksen rakenteita on avattu esimerkiksi korjaustöiden yhteydessä?

Rakenteiden avauksen laajuus ja laatu vaikuttavat tilanteeseen. Jos kivihiilipikikerrosta ei rikota avauksen yhteydessä, niin siitä aiheutuva mahdollinen haitta on vähäisempi kuin kerrosta rikottaessa.

3. Miten kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden ja pintojen rikkominen korjaustöiden yhteydessä vaikuttaa terveydelle haitallisten yhdisteiden vapautumiseen huoneilmaan?

Vanhan kivihiilipikikerroksen pintaosa on ”passivoitunut” ja sen läpi haihtuu hyvin hitaasti kaasumaisia yhdisteitä. Kun pintaosa rikotaan, niin pintaosan alta paljastuvasta uudesta pinnasta haihtuu merkittävästi enemmän ja nopeammin kaasumaisia yhdisteitä. Jos korjauksissa tai muutostöissä joudutaan rikkomaan kivihiilipikeä sisältäviä kerroksia, ne kannattaa poistaa kokonaan mahdollisen terveyshaitan välttämiseksi.

4. Miten ajan kuluminen vaikuttaa rakenteissa olevan kivihiilipien haitallisuuteen ja sen vapautumiseen huoneilmaan?

Emissiot (emissio tarkoittaa materiaalista vapautuvia kaasumaisessa olomuodossa olevia yhdisteitä ympäröivään ilmaan tai toiseen materiaaliin) vähenevät haihtuvan aineen pitoisuuden vähentyessä kivihiilipikeä sisältävässä materiaalissa. Aluksi, pitoisuuden ollessa suurimmillaan myös emissiot ovat korkeimmillaan. Alkuvaiheessa tapahtuu yleensä nopea emissiotason aleneminen. Kun materiaalin pinnan pitoisuus on alentunut, ja emittoituva aine joutuu kulkemaan (diffuusiomekanismeilla) kohti pintaa ennen emittoitumistaan, emissiotaso laskee oleellisesti. Vuosikymmenten aikana kivihiilipikikerroksen pintaosa on ”passivoitunut” ja kivihiilipien sisältämien kaasumaisten yhdisteiden vapautuminen huoneilmaan on erittäin vähäistä.

5. Millainen vaikutus rakenteissa olevan kivihiilipien PAH-yhdisteiden pitoisuudella on sen arviointiin, onko aine haitallista terveydelle?

Rakennusmateriaalinäytteen sisältämän haitta-ainepitoisuuden tutkimuksen syynä on useimmiten rakennekerroksen poisto ja siihen liittyen esim. työntekijöiden pätevyysvaatimukset, suojaustarve, materiaalin kierrätettävyys tai loppusijoitus. Haitta-aineselvitys ei siis kerro suoraan sen haitallisuudesta terveydelle. Ihmisen terveyden kannalta huoneilman sisältämät kaasumaiset yhdisteet tai hiukkasiin sitoutuneet PAH-yhdisteet ovat merkityksellisiä ja niitä tutkitaan ilmanäytteiden avulla. Materiaalinäytteiden pitoisuuksista ei voi vetää johtopäätöksiä huoneilmapitoisuuksien tasoon.

3. KKO:n ennakkopäätös (KKO:2019:41)

Ostajat olivat vaatineet kiinteistön kaupan purkamista sillä perusteella, että 1950-luvulla rakennetun asuinrakennuksen kellarin sokkelissa ja asuinikerroksen betonilaatassa oli kivihiilipikeä, josta haihtui terveydelle haitallisia PAH-yhdisteitä asuinhuoneisiin. Pyydettyään asiantuntijalausunnan Korkein oikeus katsoi jääneen näyttämättä, että kiinteistössä olisi ollut laatuvirhe. Hovioikeuden tuomio kumottiin ja kanne hylättiin.

Eräitä KKO:n ratkaisun perusteluita:

Korkein oikeus katsoo, että ostaja voi lähtökohtaisesti perustellusti edellyttää, että kiinteistöllä olevat peruskorjaamattomat rakennukset on rakennettu rakennusaikana yleisen ja hyväksyttävänä pidetyn rakennustavan mukaisesti. Kiinteistössä ei yleensä voida katsoa olevan virhettä pelkästään sillä perusteella, että rakentamisessa on käytetty jotakin materiaalia tai ainetta, jonka käyttäminen on myöhemmin kielletty esimerkiksi terveydellisten riskien johdosta, jos tuon materiaalin tai aineen käyttäminen rakennusaikana on ollut yleisesti hyväksyttyä.

Valviran lausunnon perusteella voidaan katsoa selvitetyn, että vanhan rakennuksen rakenteissa rakentamisaikana tavanomaisesti käytetystä kivihiihipiistä ei usean vuosikymmenen jälkeen yleensä haihdu huoneilmaan PAH-yhdisteitä ainakaan terveydelle haitallisissa määrin, ellei rakennuksen rakenteita ole avattu.

Asiassa esitettyjen analyysiraporttien mukaan kysymyksessä olevan asuinrakennuksen rakenteissa käytetty kivihiihipiki on sisältänyt PAH-yhdisteitä suurina pitoisuuksina. PAH-yhdisteiden kokonaispitoisuudet näytteissä ovat ylittäneet moninkertaisesti ongelmajätteen raja-arvon. Korkein oikeus toteaa Valviran lausuntoon perustuen, ettei materiaalinäytteiden pitoisuuksista kuitenkaan voida tehdä luotettavia päätelmiä PAH-yhdisteiden kulkeutumisesta huoneilmaan eikä siten rakenteissa olevan kivihiihipien haitallisuudesta rakennuksessa asuvien terveydelle.

4. Yhteenveto

Tämän KKO:n ennakkopäätöksen (KKO:2019:41) perusteella kiinteistössä ei yleensä voida katsoa olevan virhettä pelkästään sen vuoksi, että rakentamisessa on käytetty jotakin materiaalia tai ainetta, jonka käyttäminen on myöhemmin kielletty esimerkiksi terveydellisten riskien johdosta, jos tuon materiaalin tai aineen käyttäminen rakennusaikana on ollut yleisesti hyväksyttyä. KKO:n päätös koski kivihiihipien käyttöä vedeneristeenä vanhassa rakennuksessa, ei kreosoottijyllä kyllästettyjen tuotteiden käyttöä.

Rakennusmateriaalinäytteen sisältämän haitta-ainepitoisuuden tutkimuksen syynä on useimmiten rakennekerroksen poisto ja siihen liittyen esim. purkutöihin ryhtyvien työntekijöiden pätevyysvaatimukset, suojaustarve, purettavien materiaalien kierrätettävyys tai loppusijoitus. Haitta-aineselvitys ei siis kerro suoraan sen haitallisuudesta terveydelle.

Lähdeluettelo

- [1] Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta (798/2015)
- [2] Valviran lausunto KKO:lle, Drno V/44369/2018
- [3] Terveydensuojelulaki (763/1994)
- [4] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015)
- [5] Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Valviran ohje 8/2016.

B4. Sisäilman haitta-aineet

Rakenteista sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden hallinta

Janne Sievola
Vahanen Rakennusfysiikka Oy

Tiivistelmä

Tässä artikkelissa esitellään mitä sisäilmaan haihtuvia haitta-aineita milläkin tutkitulla materiaalilla voidaan kapseloida sekä haitta-aineiden hallintaratkaisuihin vaikuttavia tekijöitä ja haasteita. Tutkimustulokset perustuvat Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n vuosien 2008-2019 laboratoriotutkimuksiin sekä käytännön kohteissa tehtyihin havaintoihin. VOC- ja PAH-yhdisteiden kapselointiin on useita soveltuvia materiaaleja. Tutkimustietoa ei ole vielä kukaan öljypilaantuneiden rakenteiden toimivaan kapselointiin soveltuvasta materiaalista. Tuloksissa on havaittu, että öljyhiilivedyt voivat kulkeutua epoksien läpi ja että öljyt voivat hajottaa epoksia synnyttäen uusia emissioita. Vaikka laboratoriotutkimuksissa on osoitettu materiaalin soveltuvuus kapselointiin kannattaa sen ohella varmistaa kohteessa materiaalien soveltuvuus ja käytettävyys. Haitta-aineiden hallintaan on kapseloinnin ohella useita korjausratkaisuja, joihin kuhunkin liittyy rajoitteita ja haasteita. Korjausratkaisun vikasietoisuuden ja luotettavuuden parantamiseksi sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden hallintaa kannattaakin usein varmistaa useilla rinnakkaisilla menetelmillä. Onnistuminen vaatii aina tarkkaa pilaantuneisuuden selvittämistä, huolellista suunnittelua ja toteutusta laadunvarmistuksineen.

1. Johdanto

Sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden lähteitä on monia. Vanhojen rakennusten peruskorjauksen tai käyttötarkoituksen muuttamisen yhteydessä löydetään usein erilaisia haitta-aineita ja epäpuhtauksia, jotka muodostavat riskin liittyen rakennuksen käyttöturvallisuuteen. Rakenteiden kosteusvaurioista rakenteisiin on voinut imeytyä kosteusvaurioyhdisteitä, jotka yleensä haituessaan sisäilmaan tunnistetaan VOC-yhdisteinä. Rakennuksien öljyhiilivetyypilaantuneisuus on usein seurausta aikaisemmasta teollisesta toiminnasta, jolloin polttonesteitä on päässyt imeytymään rakenteisiin. Tietyt materiaalit, kuten vanhat valuasfaltit sisältävät öljyhiilivetyjä ja PAH-yhdisteitä. Näiden materiaalien sisältämät öljyhiilivedyt imeytyvät tehokkaasti ympäröiviin huokosiin rakenteisiin kuten betoniin. Lisäksi kreosoottia sisältävien bitumipohjusteiden, -liimojen ja -sivelyjen sekä valuasfalttien sisältämien PAH-yhdisteiden on todettu imeytyvän betoniin. Joissain tapauksissa havaitaan rakenteissa ja sisäilmassa erittäin haihtuvaa ammoniakkaa. Edellä esitetyistä yhdisteistä helpoiten haihtuvampien öljyhiilivetyjen sulkeminen kapseloimalla on haastavinta.

Ensisijaisesti sisäilmaan haihtuvat haitta-ainelähteet poistetaan, mutta esimerkiksi kantaviin rakenteisiin imeytyneiden haitta-aineiden poistaminen ei aina ole kannattavaa tai mahdollista. Tällöin rakenteisiin jäävien haitta-aineiden emissiot pyritään hallitsemaan muilla ratkaisuilla, kuten kapseloimalla. On tärkeä tiedostaa että, jos materiaali kapseloi yhtä haitta-ainetta, se ei välttämättä kapseloi toisen tyyppistä haitta-ainetta. Esimerkiksi joissain kohteissa on tehty öljyhiilivetyjen kapselointikorjauksia ilman, että tiedetään toimivatko ratkaisut ja tiedetään myös tapauksia, joissa ratkaisut eivät ole toimineet ja johtaneet jopa uusiin ja pahempiin ongelmiin.

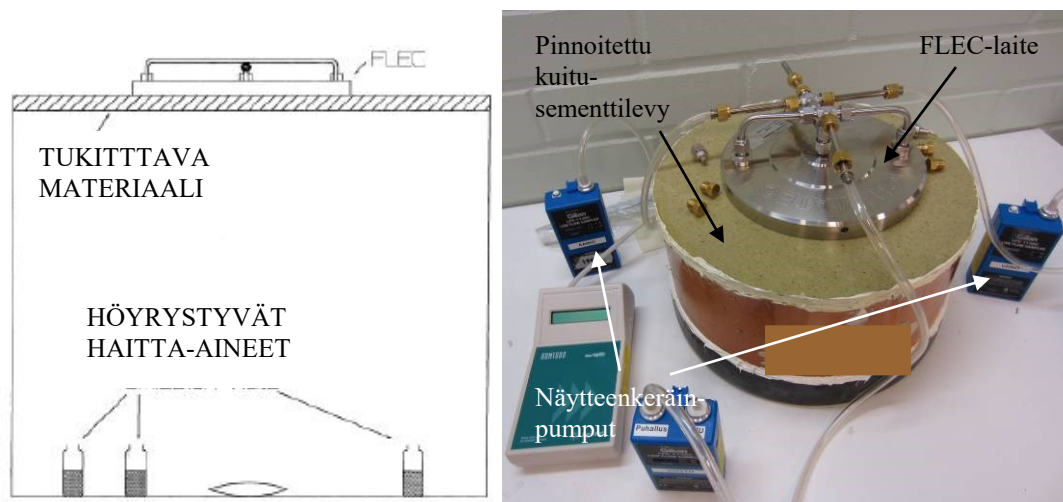
Tässä artikkelissa on esitelty Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriomittausten mukaan mitä sisäilmaan haihtuvia haitta-aineita milläkin tutkitulla materiaalilla voidaan kapseloida ja esitellään öljyhiilivetyjen kapselointitutkimusten tuloksia. Haitta-aineiden hallintaratkaisuisista käsitellään ratkaisuihin liittyviä tekijöitä sekä havaittuja haasteita kapselointikorjauksissa.

2. Kapselointimateriaalien laboriotutkimukset

Vuonna 2008 kehitetty menetelmä materiaalien kapselointikyvyn määrittämiseen [1, 2]. Vuodesta 2008 lähtien Vahanen Oy:n / Vahanen Rakennusfysiikka Oy:n toimesta on tutkittu VOC-kehumispistealueen yhdisteiden ja PAH-yhdisteiden kapseloivuutta noin 20 tuotteella. Tutkimustuloksia on esitetty aiemmin sisäilmastoseminaareissa 2009 [3] ja 2012 [4] ja Rakennusfysiikkaseminaarissa vuonna 2009 [5]. Öljyhiilivetyjen kapseloimista on tutkittu Kennet Modin diplomityössä vuonna 2014 [6].

2.1 Tutkimusmenetelmä

Materiaalien läpäisevyyttä haitta-aineille tutkittiin ns. säiliömenetelmällä, jossa PVC-putkesta rakennetun ilmatiiviin säiliön kanneksi asennetaan tutkittava materiaali kuitusementtilevyn päälle (kuva 1). Säiliöön syötetään kolme MVOC-yhdistettä kemikaalinesteenä sekä PAH-yhdisteitä sisältävää murskattua valuasfalttia. Tarkasteltavat yhdisteet on valittu kiehumispisteväliltä 102,0-216,2 °C ja yhdisteet olivat 2-pentanoni, 2-pentanol, 2-heptanoni ja naftaleeni. Mittaukset suoritettiin FLEC-menetelmällä 1,5 – 2 kuukauden kuluttua kammioiden sulkemisesta. Samalla mitattiin lähtöpitoisuudet kammioista. Tarkemmin tutkimusmenetelmä on esitetty lähteissä [1, 2, 3, 4 ja 5].



Kuva 1. Periaatekuva koesäiliöstä ja FLEC-mittaus materiaalin pinnalta.

2.2 Tutkimustuloksia

Taulukossa 1 on esitetty tutkimustietoa mitä yhdisteitä eri materiaaleilla voidaan kapseloida. Tutkimustulokset pätevät vain yksittäisiin tutkittuihin tuotteisiin erillisten tutkimuselostusten mukaisesti. Mitattujen lähtöpitoisuuksien ja FLEC-mittauksen pintatuoton perusteella pystytään määrittämään tutkittaville materiaaleille diffuusiokerroimet yhdisteittäin ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$).

Taulukko 1. Koonti eri haitta-aineiden kapseloivuudesta eri materiaaleilla. Tulokset pätevät vain yksittäisiin tutkittuihin tuotteisiin tutkimuselostuksien mukaisesti.

Tutkitut tuotteet	PAH-yhdisteet	VOC- kiehumispiste- alueen yhdisteet	Öljyhiilivedyt
2-komponenttiset (kosteussulku-)epoksit (useita testattuja tuotteita) 0,5...0,8 mm	Hyvin kapseloiva	Hyvin kapseloiva	Ei toiminut *
2-komponenttinen kasvisöljypohjainen pinnoite 0,8 mm	Hyvin kapseloiva	Hyvin kapseloiva	
Polyamidikalvo (höyrynsulkukalvo)	Hyvin kapseloiva	Hyvin kapseloiva	
Muovipinnoitettu alumiinilaminaatti	Hyvin kapseloiva	Hyvin kapseloiva	
Vedensulkulaasti (suolankeräysrappaus) 10 mm	Osittain kapseloiva	Osittain kapseloiva	
Polyeteenikalvo 0,2 mm	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Sementtipohjainen vedeneriste 1 mm	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Polypropyleenikangas ja sementtipohjainen vedeneriste 1 mm	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Suolankeräysrappaus 30 mm	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Polymeeridispersiohöyrynsulku	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Vesiohenteinen dispersiopohjuste (kosteussulku)	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
1-komponenttinen polymeeripohjainen pinnoite	Ei kapseloi	Ei kapseloi	
Polyuretaani vahvistettu homogeeninen muovimatto 2 mm		Ei kapseloi	

*) Yksi tutkittu tuote.

2.3 Öljyhiilivetyjen kapseloivuuden tutkimustuloksia

Vuonna 2014 Kennet Modin diplomityössä [6] on tutkittu 2-komponenttisen matalaviskoosisen epoksin kapseloivuutta öljyhiilivedyille kahdella koejärjestelyllä.

Koejärjestelyssä 1 diesel-bensiiniseoksella käsitelty kuitusementtilevy pinnoitettiin epoksilla. Matalaviskoosiseen epoksiin syntyi koejärjestelyssä kuplimista ainakin materiaalin sekoituksesta johtuen ja mahdollisesti öljyjen haihtumisen seurauksena. Kapseloinnin pinnalla TVOC-emissiot kasvoivat 11 viikon aikana TVOC-pitoisuuteen 660–7100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Tästä suurin osa oli fenoliemissiota 68–520 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Öljyhiilivetyemissiota oli 25 – 5143 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Koejärjestelyssä 2 säiliömenetelmällä (kappaleessa 2.1 esitetyn mukaisesti) 11 viikon jälkeen TVOC-pitoisuus oli 20-300 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, mistä suurin osa oli fenoliyhdisteitä. Säiliömenetelmän testeissä ei havaittu öljyhiilivetyemissioita. Kammiotestin FLEC-mittaus uusittiin vuonna 2017, kolmen vuoden jälkeen tutkimuksen aloituksesta, jolloin mitattiin TVOC-pitoisuus 70 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, josta fenoliemissio oli 68 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Tulokset viittasivat siihen, fenolin emissiot ovat peräisin epoksista. Tutkimuksen mukaan ei kuitenkaan voitu yksiselitteisesti todeta onko epoksin kaasuntiiviyys ilman kokeessa esiintyneitä ilmakuplia riittävä käytettäväksi kapselointikorjauksessa.

Vuonna 2016 suorittamissa säiliömenetelmän VOC ja PAH-testeissä 2-komponenttisella epoksilla 0,5 mm kerrosvahvuudella havaittiin valuasfaltissa olevien öljyhiilivetyjen siirtyminen pinnoitteen läpi. Pinnalta mitattiin kahden kuukauden jälkeen alifaattisia hiilivetyjä (öljyhiilivetyjä) 6-22 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ TVOC-emissioiden ollessa < 20-40 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Öljyhiilivetyemissiot ovat sisäilman kannalta korkeahkoja.

3. Haitta-aineidenhallinnan korjausratkaisuja ja ratkaisujen valintaan vaikuttavia tekijöitä

Sisäilmaan haihtuvat haitta-aineet pyritään poistamaan rakenteista. Haitta-aineiden yhdisteet ovat kuitenkin usein imeytyneet syvemmälle huokosiin rakenteisiin. Rakenteisiin imeytyneiden haitta-aineiden poistaminen voi edellyttää suuria rakenteiden purkutöitä ja voi vaikuttaa jopa kantaviin rakenteisiin. Yhtenä esimerkkinä eräässä Helsingin teollisuusrakennuksessa aiemmasta käytöstä peräisin olevat öljyt ovat imeytyneet ulkoseinän massiivitiimuurauksen sisäpinnasta jopa 120 mm syvyydelle, jonka poistaminen hiekkapuhaltamalla on hyvin suuritöistä. Toisena esimerkkinä betonisissa ylälaattapalkisto-välipohjarakenteissa öljyhiilivedyt ovat joissain kohteissa imeytyneet palkistoihin asti, jolloin haitta-aineiden poistaminen edellyttää välipohjan uusimista kokonaan. Rakennussuojelu rajoittaa usein vanhojen massiivisten rakenteiden purkamista, joten tarvetta vaihtoehdoille rakenteiden purkamisen sijaan on paljonkin.

Rakenteiden kapseloinnilla estetään rakenteiden haitta-aineiden siirtyminen sisäilmaan sekä tiivistämällä ilmapuoretit (konvektio) että estämällä kaasumaisten yhdisteiden siirtyminen kaasujen osapaine-eron (diffuusio) kautta. Kapseloinnissa tulee huomioida myös se, että kapselointipinta estää yhdisteiden kulkeutumisen vain yhteen suuntaan. Esimerkiksi välipohjan yläpinnan kapseloinnin jälkeen yhdisteet pyrkivät siirtymään alaspäin, jolloin tulee huomioida haitta-aineiden hallinta myös välipohjan alapuolella.

Osalle haitta-aineista ei kuitenkaan ole tiedossa tutkittua tietoa riittävän kapseloivasta materiaalista. Suuri osa kapselointimateriaaleista estää myös kosteuden siirtymisen lävitseen. Kosteuden sulkeminen estää rakenteiden kuivumisen huoneilmaan. Massiivitiilimuuratuissa ulkoseinissä tiivis sisäpinnan kapselointi lisää muurauksen pakkasrapautumisen riskiä. Maanvastaisia alapohjia kapseloitaessa kosteus voi siirtyä sivuttain ja nousta esimerkiksi ulko- ja väliseiniin. Näistä edellä esitetyistä syistä haitta-aineiden hallinnan suunnittelu vaatii erityistä rakennusfysiikan osaamista ja materiaalituntemusta.

Rakenteiden haitta-aineiden siirtyminen sisäilmaan voidaan estää myös koneellisesti tuuletetuilla rakennekerroksilla. Rakenteen sisäpuolelle toteutetaan ilmapäli, johon järjestetään erillinen lämmitetty tuloilma, ja josta poistetaan koneellisen poistoilman kautta ilmapäliin siirtyneet haitta-aineet. Teknisen laitteiston varaan toteutetun järjestelmän käytössä kohdataan kuitenkin usein epäilyjä. Toimintakatkojen varalta laitteisto on varustettava vähintään hälytysjärjestelmin.

Usein kannattaa varmistaa haitta-aineiden hallinta useilla rinnakkaisilla menetelmillä, jolla parannetaan ratkaisun vikasietoisuutta ja luotettavuutta. Esimerkiksi koneellisesti tuuletetussa rakenteessa käytetään rakennekerroksissa myös kapselointia. Rinnakkaisratkaisuksi hyvin

käyttökelpoisia ovat myös ns. uhrautuvat (adsorboivat) materiaalit, jotka perustuvat haitta-aineyhdisteiden adsorboitumiseen materiaalikerrokseen. Uhrautuvat materiaalit uusitaan niiden adsorptiokyvyn täytyessä.

Korjausratkaisuissa otetaan huomioon rakenteiden toiminnan lisäksi myös sisätilojen ilmanvaihto, joka poistaa vähäisissä määrin sisäilmaan kulkeutuvia yhdisteitä.

4. Haasteita kapselointikorjauksista

Tutkittujen tuotteiden toimivuus käytännössä voi poiketa laboratoriossa todetusta. Esimerkiksi 1990-luvulla valmistuneen koulurakennuksen lattian muovimaton kosteusvauriokorjauksessa vuonna 2013 tehtiin mallikorjauksia välipohjan pintaan imeytyneiden kosteusvaurioyhdisteiden kapseloinnista vesiohenteisella epoksipohjusteella. Mallikorjauksiin tehtiin FLEC-mittauksia ja otettiin näytepaloja. Tehtyjen kokeiden perusteella todettiin ongelmia pohjusteen imeytymisestä alustabetonin huokosiin, kuivakalvonpaksuuden aikaan saamisessa sekä pinnoitetusta materiaalista haihtuvien korkeiden TVOC-pitoisuuksien suhteen. Tuote oli M1-luokiteltu. Tämän esimerkin perusteella onkin suositeltavaa aina tehdä tarvittavat mallit ja laadunvarmistukset toimivuuden varmistamiseksi kyseisessä kohteessa.

Edellä esitetyssä Kennet Modin diplomityössä [6] matalaviskoosisella epoksilla tehdyssä kapseloinnissa havaitut ilmakuplat ja fenoliemissiöt voivat viitata myös epoksin hajoamiseen öljyjen vaikutuksesta. Kyseinen epoksin hajoaminen on havaittu myös käytännön kohteessa. Epoksin hajoamisen reaktiona se itsessään emittoi sisäilmaan haitallisia yhdisteitä. Epoksin päältä on mitattu alkoholi- ja fenolieettereitä.

Nestemäisiä kapselointiaineita levitettävissä seinä- ja kattopinnoille on pitkään ollut haasteena aineen valuvuus ja kerrospaksuuden aikaansaaminen. Seiniin ja kattopintoihin on olemassa markkinoilla tuotteita, joiden matalaviskoosisuus helpottaa aineen levittämistä ja kalvonpaksuuden aikaan saamista vähemmällä levityskerroilla. Matalaviskoosisuuden on havaittu sekoituksessa lisäävän riskiä ilmakuplien muodostumiseen riippuen sekoitustavasta. Joissain materiaalityöohjeissa ohjeistetaan katto- ja seinä pinnoille kapseloitaessa muutettavan tuotetta lisättävällä aineella, joita ei ole laboratoriotesteissä käytetty. Tällöin ei ole varmuutta, miten lisättävä aine vaikuttaa aineen kapseloivuuteen.

5. Yhteenveto

VOC- ja PAH-yhdisteiden kapselointimateriaaleista on kattavasti laboratoriotutkimuksia ja useita toimivia materiaalivaihtoehtoja. Laboratoriotutkimuksista huolimatta materiaalien soveltuvuus ja käytettävyys kannattaa testata kohteessa esimerkiksi käyttöolosuhteiden ja alustan soveltuvuuden varmistamiseksi. On oleellista, että laboratoriotutkimuksessa tutkittu tulos pätee vain, kun asennus tehdään samalla tavalla, esimerkiksi sekoitettavaan kapselointiaineeseen lisättävät aineet voivat vaikuttaa kapseloivuuteen.

Erittäin haihtuvien öljyhiilivetyjen kapselointiin soveltuvasta ratkaisusta ei vielä ole tutkimustietoa. Ainakaan kaikki VOC- ja PAH-yhdisteille soveltuvista epoksikapseloinneista ei sovellu öljyhiilivetyjen kapselointiin ainakaan tavanomaisella kerrospaksuudella. Viitteet laboratoriotutkimuksissa ja havainnot kohteessa tukevat tietoa siitä, että epoksi voi hajota ollessaan kosketuksissa öljyjen kanssa ja siten aiheuttaa uuden emissiolähteen.

Sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden poistaminen rakenteista ei ole aina mahdollista. Tällöin haitta-aineiden hallinnassa voidaan tapauskohtaisesti kapseloida, toteuttaa koneellisesti tuuletettuja rakennekerroksia tai käyttää uhrautuvia tai adsorboivia materiaaleja. Usein kannattaa varmistaa sisäilmaan haihtuvien haitta-aineiden hallinta useilla rinnakkaisilla menetelmillä, jolla varmistetaan ratkaisun vikasietoisuutta ja luotettavuutta. Haitta-aineiden hallinnan onnistuminen vaatii aina tarkkaa pilaantuneisuuden selvittämistä, huolellista suunnittelua ja toteutusta laadunvarmistuksineen.

Lähdeluettelo

- [1] Sievola, J. 2008. Kosteusvaurioituneiden maanvastaisten seinärakenteiden sisäpuolisten laastikorjausten vaikutus sisäilman laatuun. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo. 102 s.
- [2] Keinänen, H. 2009. Polyamidipohjaiset kapselointiratkaisut haitta-aineiden ja epäpuhtauksien torjunnassa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo.
- [3] Sievola, J. 2009. Maanvastaisen rakenteiden sisäpuolisten korjausmenetelmien vaikutus sisäilman laatuun. Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoseminaari 2009. Espoo. s.69-74.
- [4] Sievola, J. 2012. Haitta-aineiden kapselointimateriaalien jatkotutkimus ja korjaustavat. Sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoseminaari 2012. Espoo. s.191-196.
- [5] Sievola, J., Keinänen, H., 2009. Huokoisten laastien ja polyamidi-kalvon VOC -yhdisteiden läpäisevyys. Rakennusfysiikka 2009, Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tampere 2009. s. 83-102.
- [6] Mod, K. 2014. Öljyhiilivetyemissioiden rajoittaminen epoksinnoitteella. Diplomityö. Aalto-Yliopisto. Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma. Espoo. 141 s.

Asbestin esiintyminen erilaisissa rakennusmateriaalinäytteissä

Jani Mäkelä, Piia Markkanen, Mika Lindh, Katja Papinniemi ja Aaron Anttila
Mikrobioni Oy

Tiivistelmä

Tässä työssä tarkastellaan Mikrobioni Oy:n laboratorioon tulleiden asbestinäytteiden tuloksia. Aineistossa on noin 3500 eri tyyppistä rakennusmateriaalinäytettä, joista 16 %:ssa havaittiin asbestia. Yleisimpiä laboratorioon analysoitavaksi tulleita näytemateriaaleja olivat erilaiset levyt, eristeet, bitumit ja muovimatot.

Yleisimpiä löydettyjä asbestilaatuja oli krysotiili ja antofylliitti. Asbestilaaduissa oli havaittavissa selkeää säännönmukaisuutta, kun niitä jaoteltiin näytemateriaalin mukaan. Useimmin asbestia löydettiin erilaisista levy- ja eristenäytteistä, harvimmin taas tapettinäytteistä. Eniten vaihtelua asbestilaadun suhteen havaittiin levynäytteissä.

Suuren näytemäärän tilastollisen käsittelyn tulokset antavat suuntaviivoja suomalaisen rakennuskannan asbestin esiintymisestä eri materiaaleissa. Aineistoa on kerätty jaksolla 2016-2019, joten se antaa varsin selkeästi kuvan siitä, minkä tyyppisiä näytteitä asbestikartoittajat ottavat tutkittavaksi tällä hetkellä. Siten nämä tulokset voivat toimia tulevisissa kartoitustöissä toimijoita ohjaavina.

1. Johdanto

Asbesti on kuitumainen silikaattimineraali, jolla on hyvä kemiallinen, mekaaninen ja kuumuuden kestävyys sekä lämmön eristävyys. Asbestia onkin käytetty mm. palonsuojauksessa ja erilaisena eristeenä. Maaleissa ja liimoissa asbesti on estänyt valumista ja kuitumaisena aineena se on sopinut hyvin myös tekstiiliteollisuuden käyttöön. Suomessa asbestin käyttö on ollut runsainta 1960- ja 1970-luvuilla. Asbestipitoisten rakennusmateriaalien maahantuonti ja valmistus kiellettiin Suomessa vuonna 1993 ja myyminen ja käyttöönotto vuonna 1994. [1]

Asbestimineraaleja luokitellaan kuuteen eri lajiin; krysotiili, krokidoliitti, amosiitti, antofylliitti, aktinoliitti ja tremoliitti. Lisäksi kuitumaista asbestia terveysvaikutuksiltaan muistuttava erioniitti on mainittu valtioneuvoston asetuksessa asbestityön turvallisuudesta. [2] Asbesti on syöpävaarallinen aine. Koska asbestikuidut ovat hyvin pieniä, ne pääsevät elimistöön keuhkojen kautta. Altistuminen asbestille aiheuttaa oireilua yleensä vasta viiveellä, noin 20-30 vuoden kuluttua altistumisesta. Terveysvaikutuksiltaan vaarallisin asbestilaatu on krokidoliitti eli sininen asbesti. [3]

Tämän selvityksen tavoitteena oli havainnollistaa, millaisissa laboratorioon analysoitavaksi toimitettavissa näytetyypeissä on yleisimmin asbestia. Halusimme myös selvittää, mitä asbestilaatua kustakin näytetyypistä yleisimmin löytyy. Tavoitteenamme oli tuottaa tietoa, jota asbesti- ja haitta-aineasiantuntijat voivat hyödyntää tulevisissa työkohteissaan.

2. Aineisto ja menetelmät

Aineisto käsittää 3478 materiaalinäytettä, jotka on analysoitu Mikrobioni Oy:n toimesta vuosina 2016-2019. Tutkittu data haettiin Mikrobioni Oy:n sähköisestä laboratoriojärjestelmästä. Dataan

sisältyi asiakkaan itsensä kirjaama näyttemateriaalin nimi sekä mahdollinen löydetyn asbestin laatu.

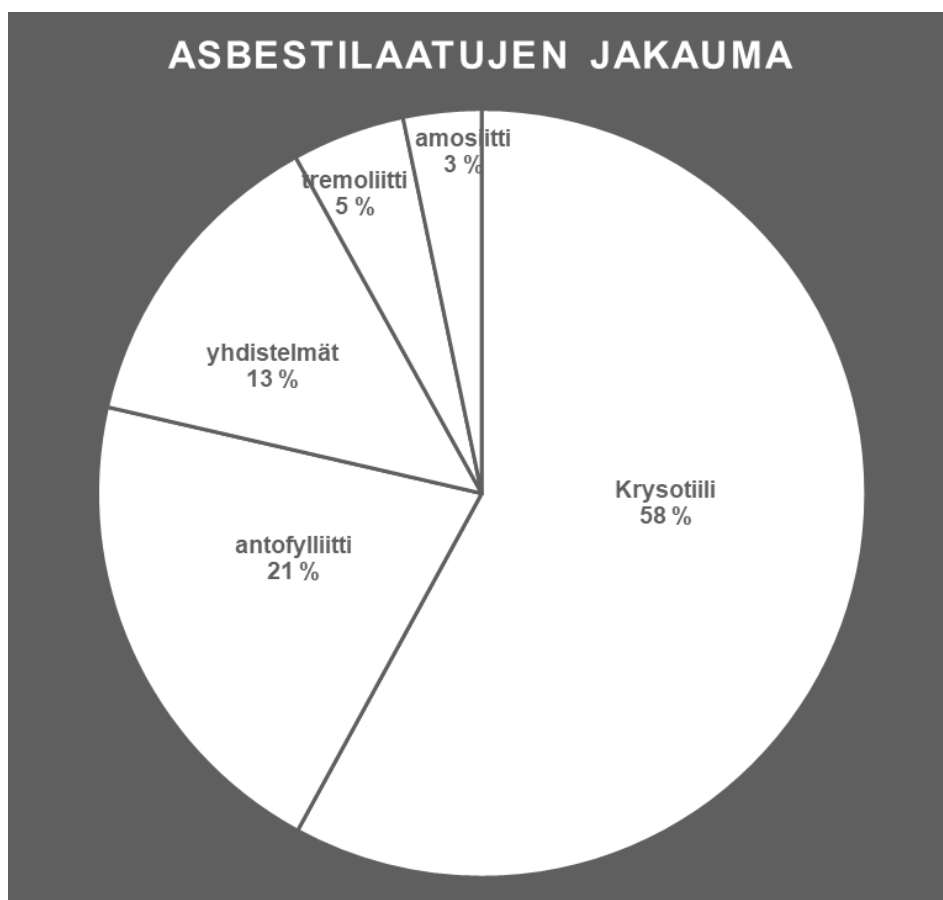
Näytteistä valmistetut preparaattit tutkittiin pyyhkäisyelektronimikroskoopilla ja mahdollisesti havaitut asbestikuidut tunnistettiin alkuainekoostumuksen perusteella (SEM/EDS). Laboratorion analyysi tuottaa näytteen tulokseksi joko ”ei havaittu asbestikuituja” tai ”sisältää asbestia”. Mikäli näyte sisältää asbestia, myös sen laatu ilmoitetaan. Ilmoitettavat asbestilaadut ovat krysotiili, tremoliitti, antofylliitti, amosiitti, aktinoliitti, krokidoliitti ja erioniitti. Laboratorion analyysi on akkreditoitu ja sillä osallistutaan säännöllisesti Englantilaisiin AIMS (Asbestos In Materials Scheme) vertailukokeisiin ja lisäksi SYKE:n kansalliseen vertailukokeeseen. Kaikista edellä mainituista vertailukoenäytteistä menetelmä on tuottanut aina oikeita tuloksia.

3. Tulokset

3.1 Asbestin esiintyminen näytteissä

Analysoiduista 3478:sta näytteestä 547 kappaleessa saatiin tulokseksi ”sisältää asbestia” eli noin 16 % laboratoriossa tutkituista näytteistä sisälsi asbestia.

Yleisimmät havaitut asbestilaadut olivat krysotiili (58 %) ja antofylliitti (21 %) (kuva 1). Lisäksi havaittiin tremoliittia ja amosiittia sekä yhdistelmiä (13%). Yleisimmät yhdistelmät olivat krysotiili/amosiitti, krysotiili/antofylliitti ja krysotiili/krokidoliitti.



Kuva 1. Asbestilaatujen jakauma.

3.2 Asbestin esiintyminen erilaisissa näyttemateriaaleissa

Aineistossa näyttemateriaalin nimi on asiakkaan itsensä määrittelemä, joten siihen sisältyy monimuotoisuutta. Näyttemateriaalit jaoteltiin hakemalla datasta hakusanoilla ”matto”, ”liima”, ”tasoite”, ”levy”, ”bitumi”, ”erist”, ”tapetti”, ”betoni” ja ”laatta” (taulukko 1).

Taulukko 1. Esimerkkejä hakusanojen tuottamista näyttemateriaaleista

”matto”	”liima”	”tasoite”
muovimatto lattiamatto pukuhuoneen matto muovimatto+liima	muovimatto+liima betoni+liima parkettiliima keltainen ja musta liima	rappaus ja tasoite seinätasoite kattotasoite muovimatto. liima. tasoite
”levy”	”bitumi”	”erist”
seinälevy kovalevy kivilevy mineriittilevy	bitumikermi bitumisively bitumieriste bitumikate	putkieriste putkieristysmassa pahvieriste eristelevy
”tapetti”	”betoni”	”laatta”
seinätapetti muovitapetti paperitapetti muovitapetti+liima	Lattia pinta ja betoni liima ja betoni Betoni. tapetti laatta/kiinnityslaasti/betoni	vinyylilaatta 250x250mm +liima Lattian muovilaatta seinän laatta laatta+kiinn.laasti+saumalaasti

Selvästi eniten materiaaleja kuului hakusanojen ”matto”, ”liima” ja ”tasoite” mukaisiin materiaalityyppeihin (taulukko 2) Usein nämä sanat esiintyvät samassa näytteessä. Vähiten osuvia tuottavat sanat ”tapetti” ja ”betoni”. 23 % näytteistä ei kuulunut mihinkään hakusanojen materiaalityyppeihin. Näissä tapauksissa asiakas oli usein nimennyt näyttemateriaaliksi näytteenottoaikaan kuten esimerkiksi ”keittiö” tai ”pesuhuone”. 1 %:ssa näytteistä ei oltu nimetty näyttemateriaalia lainkaan.

Asbestia todettiin selvästi useimmin erilaisissa eriste- ja levy materiaaleissa (hakusanat ”erist” ja ”levy”). Tämä oli odotettava tulos koska nämä hakusanat kattavat mm. putkieristeet ja mineriittilevyt. Harvemmin asbestia havaittiin ”tapetti” hakusanan mukaisessa ryhmässä. Näytteryhmässä, josta ei saatu hakusanoilla osuvia, havaittiin asbestia 14 %:ssa.

Taulukko 2. Asbestin esiintyminen hakusanojen mukaisissa materiaalityypeissä.

	matto	liima	tasoite
yhteensä sanan osumia	923 (27 %)	697 (20 %)	846 (24 %)
ei havaittu asbestikuituja, kpl	839	611	761
Sisältää asbestia, kpl	84	86	85
%: ssa asbestia osumista	9,1	12	10
	levy	bitumi	erist
yhteensä sanan osumia	232 (6,7 %)	195 (5,6 %)	121 (3,5 %)
ei havaittu asbestikuituja, kpl	132	164	64
Sisältää asbestia, kpl	100	31	57
%: ssa asbestia osumista	43	16	47
	tapetti	betoni	laatta
yhteensä sanan osumia	61 (1,8 %)	68 (2,0 %)	518 (15 %)
ei havaittu asbestikuituja, kpl	57	52	424
Sisältää asbestia, kpl	4	16	94
%: ssa asbestia osumista	6,6	24	18

Käytännössä muovimattonäytteissä on aina varsinaisen muovimaton lisäksi myös liimaa ja tasoitetta. Usein näitä materiaaleja on myös kirjattu näytteen nimeen ja näin ollen hakusanojen ”matto”, ”liima” ja ”tasoite” tuloksissa on päällekkäisyyttä. Taulukossa 3 nähdään kyseisten hakusanojen osumat, joista päällekkäisyydet on poistettu. Tuloksista voidaan havaita, että vaikka laboratorion asiakas olisi kuvannut näytteen olevan pelkkää mattoa, näyte on käytännössä samaa, myös liimaa ja tasoitetta sisältävää materiaalia, joissa keskimäärin noin 9 %:ssa havaitaan asbestia.

Taulukko 3. Hakusanojen ”matto”, ”liima” ja ”tasoite” tulokset eroteltuna.

hakusana(t)	kaikista "matto", "liima" ja "tasoite" osumista	osuma sisältää asbestia
matto	50 %	9,6 %
matto+liima	28 %	8,9 %
matto+tasoite	3,7 %	8,8 %
matto+liima+tasoite	18 %	7,8 %

3.3 Näyttemateriaalien asbestilaadut

Krysotiili oli selvästi useimmin löydetty asbestilaatu kaikissa muissa näytetyypeissä paitsi betoninäytteissä (Taulukko 4). Betoninäytteistä löytyi useimmin antofylliittiä. Krokidoliittiä löytyi vain levy-, bitumi-, eriste- ja tasointenäytteissä, yleisimmin sitä löydettiin ’levy’-näytteistä. ”Levy”-näytteet olivat moninaisia, niistä löytyi kaikkia asbestilaatuja.

Taulukko 4. Näyttemateriaaleissa todetut asbestilaadut ja niiden osuudet

	matto	liima	tasoite
krysotiili (%)	85	80	61
tremoliitti (%)	7,1	3,4	13
antofylliitti (%)	8,3	16	23
amosiitti (%)	-	-	2,1
aktinoliitti (%)	-	-	-
krokidoliitti (%)	-	-	1,1
	levy	bitumi	erist
krysotiili (%)	77	70	44
tremoliitti (%)	2,5	3,0	2,7
antofylliitti (%)	7,5	24	17
amosiitti (%)	7,5	-	33
aktinoliitti (%)	0,83	-	-
krokidoliitti (%)	5,0	3,0	2,7
	tapetti	betoni	laatta
krysotiili (%)	75	35	64
tremoliitti (%)	25	-	12
antofylliitti (%)	-	47	24
amosiitti (%)	-	18	-
aktinoliitti (%)	-	-	-
krokidoliitti (%)	-	-	-

4. Yhteenveto

Työssä käsiteltiin tilastollisesti Mikrobioni Oy:ssä tutkittuja materiaalinäytteitä. Aineisto käsitti 3478 näytettä vuosilta 2016-2019, joista oli määritetty asbestin esiintyvyys ja laatu. 16 % kaikista tutkituista materiaalinäytteistä sisälsi asbestia ja yleisin asbestilaatu oli krysotiili. Ainoastaan betoninäytteissä yleisin asbestilaatu oli antofylliitti. Useimmin asbestia havaittiin erilaisissa eriste- ja levymateriaaleissa ja vähiten tapeteissa.

Lähdeluettelo

- [1] <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti>
- [2] Asbesti rakennustyössä, työterveyslaitos, 2019
- [3] <https://www.hengitysliitto.fi/fi/hengityssairaudet/asbestisairaudet>

Tapauskuvaus: muovimattoeräisen 2-etyyli-1-heksanoliemission vähentäminen asuntokohteen sisäilmasta pintaemissioita sieppaavalla toiminnallisella kalvolla

Miia Pitkäranta¹ ja Timo Lehtimaa²

¹ Vahanen Rakennusfysiikka Oy

² Insinööritoimisto Sulin Oy

Tiivistelmä

Toiminnallinen kalvotuote cTrap on kehitetty pysäyttämään ja sitomaan itseensä pintaemissiota ollen samalla lähes täysin avoin vesihöyryn kululle. Tuotetta on asennettu mm. kohteisiin, jossa on mitattu muovimaton ja mattoliiman hajoamisreaktiosta syntyviä yhdisteitä kuten 2-etyyliheksanolia, n-butanolia sekä 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidioli-di-isobutyraattia (TXIB). Tässä raportissa esitellään tutkimustuloksia kohteesta, jossa muovimatto-ongelma on onnistuneesti korjattu hyödyntäen cTrap-tuotetta. Tutkimuksessa todettiin lattianpäällysteistä emittoituvien yhdisteiden sisäilmapitoisuuden pudonneen korjausten jälkeen vähintään noin yhteen kymmenesosaan alkuperäisestä.

1. Johdanto

Epättydyttävä sisäilmanlaatu voi johtua kosteusvaurioituneista tai huonolaatuisista rakennusmateriaaleista emittoituvista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä (VOC) [1]. Hajuhaittojen ja tunkkaiseksi koetun ilman lisäksi liiallinen altistuminen VOC-yhdisteille voi aiheuttaa erilaisia oireita, kuten astma- ja ylähengitystieoireita [1, 2]. Yksittäisistä VOC-yhdisteistä esimerkiksi 2-etyyli-1-heksanoli (2-etyyliheksanoli, 2-EH) on liitetty yleisesti muovimattojen aiheuttamiin sisäilmaongelmiin. 2-etyyliheksanolia voi muodostua PVC-matoissa käytettyjen 2-dietyyliheksyyliiftalaatti- (DEHP) ja dietyyliheksyyliadipaatti- (DEHA) -pehmittimien, sekä maton kiinnittämiseen käytettyjen akrylaattiliimojen hajoamistuotteena [2,3,4]. Liimakerroksessa ja muovimaton alapinnassa tapahtuvan hajoamisreaktion katalysoi tavanomaisesti alusbetonin tai tasoitteen liiallinen kosteus yhdessä alkalisuuden kanssa. Toisaalta 2-etyyliheksanolia on käytetty myös sellaisenaan apuaineena eräissä materiaaleissa, jolloin sitä voi emittoitua myös vaurioitumattomasta materiaalista sisäilmaan vaihtelevia pitoisuuksia. Muovimatoissa, joissa on käytetty uudempiä pehmitintyyppisiä (DINP, DIDP, DINCH), pehmittimen hajoamistuotteena syntyy mm. pitkäketjuisempia C9- ja C10-alkoholi-isomeereja [4].

Muovimatto-ongelmien korjaustapa on tavanomaisesti päällysteen, mattoliiman ja tasoitteen poisto sekä uuden päällysteen asennus. Alapuoliseen betonirakenteeseen imeytyneet VOC-yhdisteet (ns. jäännösemissioiden) voivat aiheuttaa haittoja varsinaisen päästölähteen poistamisen jälkeen [2]. Jäännösemissioiden hallitsemiseksi on käytetty tasoitteen poistoa, betonipinnan jyrshintää tai hiontaa, pinnan tuuletusta, rakenteen lämmitystä ja/tai pinnan kapselointia kaasutiiviillä tuotteilla [2, 5]. Näiden menetelmien huonoja puolia ovat korjaustyön pitkä kesto tuuletusajan takia, korkeat kustannukset, runsas pölyntuotto tasoitteen ja betonin hionnasta, lattiasta poistuvien yhdisteiden voimakas adsorboituminen ympäröiviin materiaaliipintoihin rakennetta lämmitettäessä, kapseloinnista aiheutuvat materiaaliemissioiden sekä useiden

kapselointituotteiden vähäinen vesihöyrynläpäisevyys, joka voi tietyissä rakenteissa heikentää rakenteen kosteusteknistä toimivuutta. Kohteen reunaehdoista riippuen em. asiat saattavat rajoittaa tai estää em. korjaustapojen käyttöä.

cTrap-tuote on kehitetty sitomaan itseensä kemiallisia ja mikrobiperäisiä päästöjä, jotka syntyvät rakenteissa esimerkiksi liiallisen rakennekosteuden takia. Tuotteen periaatteena on sitoa emissiot mahdollisimman lähellä niiden muodostumispaikkaa ja estää haitallisia yhdisteitä saavuttamasta yksilöä, joka asuu, työskentelee tai muutoin käyttää tilaa. cTrap-tuote koostuu eri kerroksista, joista uloimmat ovat polyesterikerroksia, jotka suojaavat välissä olevaa adsorptiokerrosta kerrosta sekä hydrofiilistä polymeerikerrosta. Tuote asennetaan suoraan emissiolähdettä vasten, esimerkiksi lattiaan, seinään, kattoon, tai onteloiden ylle jne. [6]

cTrap-tuotteen etuna on asennuksen nopeus, pölyttömyys ja yksinkertaisuus sekä tuotteen hyvä vesihöyrynläpäisevyys, joka mahdollistaa alapuolisen rakenteen kuivumisen. Tuotteen asennus on kemikaaliton, joten sen käyttö on turvallista myös materiaalipäästöille herkistyneille henkilöille. Tuotteen asennus ei edellytä vanhan materiaalipinnan muuttamista, mikä saattaa olla eduksi esimerkiksi suojelukohteiden korjauksissa.

Laboratoriotesteissä tuote on sulkenut yleisten VOC-yhdisteiden ja formaldehydin emissioista 87-100% (keskimäärin noin 98%) tutkittavasta yhdisteestä ja tutkimusolosuhteista (T 30-40 °C, 35-85 %RH) riippuen. Aistinvaraisissa arvioinneissa tuote on vähentänyt selvästi hajuja sekä korjatussa vauriorakennuksessa että laboratoriokokeissa. Tuotteen vesihöyrynvastus on matala, Sd 0,05 m.

Tässä raportissa esitellään mittaustuloksia korjauskohteesta, jossa muovimatto-ongelman korjaukseen on käytetty pintaemissiot sitovaa cTrap-tuotetta osana korjausta.

2. Materiaalit ja menetelmät

2.1 Korjauskohde

Tutkimuskohde oli kolme vuotta ennen tutkimusajankohtaa valmistunut, noin 60 asunnon asuinkerrostalo. Kaikkien tarkasteltujen asuntojen lattianpäällysteenä oli käytetty samaa askeläänieristekerroksellista asuntomuovimattoa. Useiden asuntojen asukkaat olivat ilmoittaneet heikentyneestä sisäilmanlaadusta. Kohteessa tehtiin sisäilma- ja kosteustekninen kuntotutkimus, jossa sisäilmaongelmien todennäköisimmäksi syyksi todettiin lattianpäällysteiden vaurioituneisuus; sisäilma- ja FLEC-mittauksissa todettiin kohonneita 2-etyyliheksanolin ja C9-C10-alkoholien pitoisuuksia. Ongelma-asunnot korjattiin käyttäen kahta vaihtoehtoista korjaustapaa. Korjauksessa ”korjaustapa 1” asuntojen muovimatto poistettiin, mattoliima ja tasoitteen pintakerros poistettiin ohuelti jyrsimällä ja pintaa tuuletettiin enintään joitakin päiviä. Päälle asennettiin primeri, tasoite, cTrap ja laminaattipäällyste. CTrap toimi parketin alusmateriaalina, erillistä alusmateriaalia ei käytetty (kuva 1). Yhdessä asunnossa tutkittiin myös toista korjaustapaa (”korjaustapa 2”), jossa em. korjauksen lisäksi tasoitetta poistettiin hiomalla n. 5 mm ja lattiapintaa lämmitettiin (30-40 °C) ja tuuletettiin noin 3 viikkoa ennen uuden tasoitteen, cTrap-tuotteen ja laminaatin asennusta. VOC-yhdisteiden sisäilmapitoisuuksia ja pintaemissioita tutkittiin ennen ja jälkeen korjausten. Asunnoissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka oli tutkimusten aikana päällä normaalilla käyttöasetuksella.



Kuva 1. Korjausvaihe. Lattiaan on asennettu cTrap, jonka saumat ja reunat on teipattu. Meneillään on uuden lattianpäällysteen asennus cTrap-tuotteen päälle.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Sisäilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) näytteenotto ja näyteanalyysi tehtiin aktiivikeräyksellä Tenax TA -adsorbenttiin standardin ISO16000-6 (2006) mukaisesti. Pintaemissiot (pintaemissionopeus, specific emission rate, SER) tutkittiin NT Build 484 standards (Nordtest 1998) -standardin mukaisella tutkimuskohteessa FLEC-kammiolla tehdyllä näytteenotolla. Näytteet analysoi Työterveyslaitoksen kemian laboratorio. Tulokset on raportoitu tässä selostuksessa 2-etyyliheksanolin osalta tolueeniekvivalenttina, koska viranomaisen ko. yhdisteelle asettama toimenpideraja-arvo on annettu tolueenivasteella lasketulle pitoisuudelle. C9-C10-alkoholien tulos on raportoitu yhdisteiden omalla vasteella määritettynä. Näytteenottojen yhteydessä mitattiin sisäilman lämpötila ja suhteellinen ilmankosteus Vaisala HMP42/HMI41 – mittapää-lukulaiteyhdistelmällä.

3. Tulokset

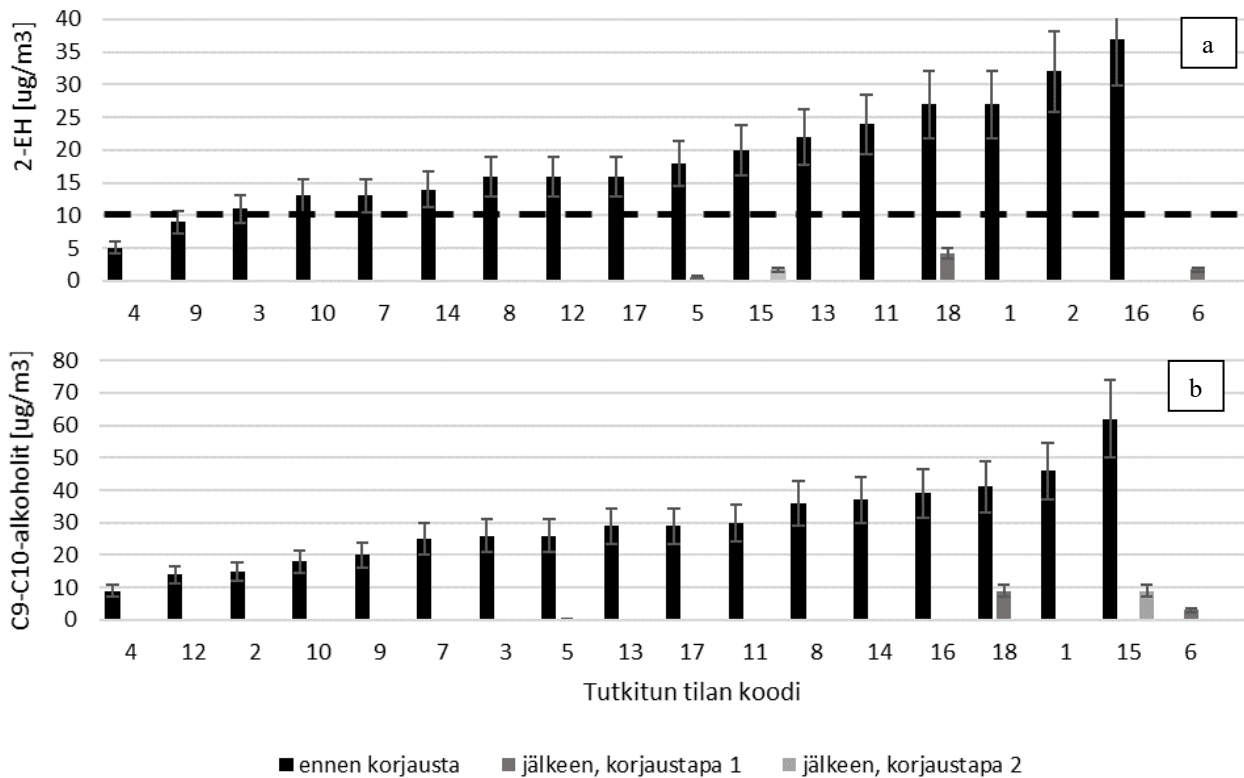
3.1 Tutkitut tilat ja näytteet

Tutkimuskohteesta kerättiin sisäilman VOC-näytteet ennen korjauksia yhteensä 17 asunnosta eri julkisivuilla ja kerroksista. Noin 1-5 kk korjauksen valmistumisen jälkeen kerättiin kontrollinäytteet kolmen ”korjaustapa 1” mukaisesti korjatun asunnon sisäilmasta ja yhden ”korjaustapa 2” mukaisesti korjatun asunnon sisäilmasta. Kontrollinäytteistä kolme oli tiloista, joissa oli tehty mittaus myös ennen korjausta ja yksi aiemmin mittaamattomasta tilasta. Pintaemissio tutkittiin FLEC-kammiolla ehjän lattianpäällysteen päältä ennen korjauksia kolmesta asunnosta ja korjauksen jälkeen kahdesta (eri) asunnosta, jotka oli korjattu ”korjaustapa 1” mukaisesti.

4. Mittaustulokset

4.1 Sisäilma

Tutkittujen tilojen sisäilmasta ennen ja jälkeen lattian korjausten mitatut 2-etyyliheksanolipitoisuudet on esitetty kuvassa 2a ja C9-C10-alkoholien pitoisuudet kuvassa 2b.



Kuva 2. Tutkittujen tilojen 2-etyyliheksanolin (a) ja C9-C10-alkoholien (b) sisäilmapitoisuudet ennen ja jälkeen korjauksen. Kuvaajassa ennen-tulos on esitetty mustalla palkilla ja jälkeentulokset harmailla palkeilla. Suurin osa tiloista tutkittiin vain ennen korjauksia, ja korjauksen jälkeinen kontrollimittaus tehtiin vain muutamissa ensiksi korjatuissa tiloissa. Mittaustulokset on järjestetty kuvaajassa ennen korjausta saadun tuloksen mukaan pienimmästä suurimpaan. Kuvaajaan a on merkitty katkoviivalla asumisterveysasetuksen STMa 545/2015 mukainen 2-etyyliheksanolin toimenpideraja $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Virhepalkit osoittavat analyysin mittausepävarmuuden $\pm 19\%$.

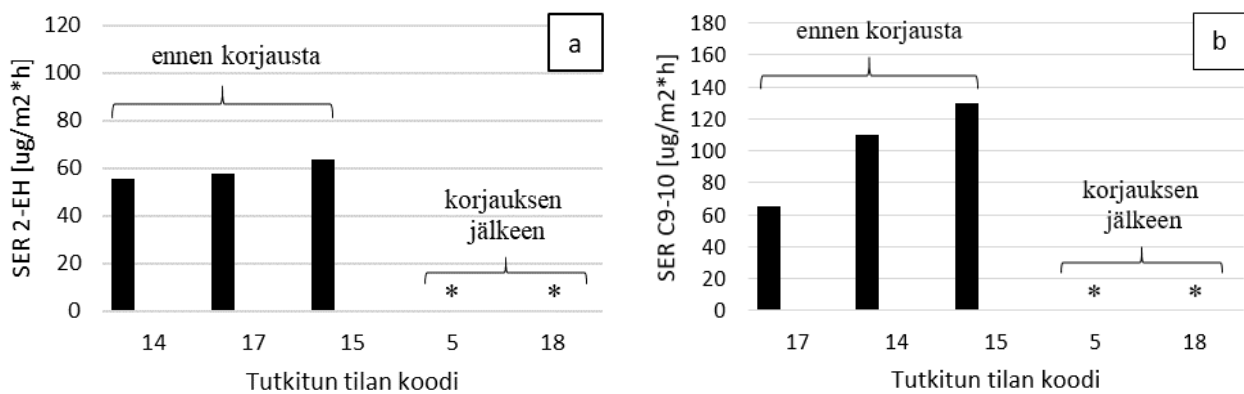
Tutkittujen tilojen sisäilmasta mitattu 2-etyyliheksanolipitoisuus oli ennen korjausta $5\text{--}37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskimäärin $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja korjauksen jälkeen $0,6\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskimäärin $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tilakohtaisesti tarkasteltuna sisäilman 2-etyyliheksanolipitoisuus laski korjauksen jälkeen 84–97 %.

Tutkittujen tilojen sisäilmasta mitattu C9-C10-alkoholien pitoisuus oli ennen korjausta $9\text{--}62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskimäärin $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ja korjauksen jälkeen $0,4\text{--}9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (keskimäärin $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Tilakohtaisesti tarkasteltuna sisäilman C9-C10-alkoholien pitoisuus laski korjauksen jälkeen 88–98 %.

Korjauksen valmistumisen ja kontrollimittauksen ajankohdan välinen aika vaihteli tutkitusta asunnosta riippuen noin 1–5 kk välillä. Korjauksen jälkeen mitatut pitoisuudet tai pitoisuuden muutos korjausta edeltäneeseen pitoisuuteen verrattuna eivät korreloineet tämän ajan pituuden kanssa.

4.2 Pintaemissiot

Tutkittujen tilojen lattianpäällysteiden 2-etyyliheksanolin ja C9-C10-alkoholien emissiot ennen ja jälkeen lattian korjauksen on esitetty kuvissa 4a ja 4b.



Kuva 3. Ehjän lattiapinnan 2-etyyliheksanoliemissio (a) ja C9-C10-alkoholien emissio (b) ennen ja jälkeen korjauksen (korjaustapa 1) FLEC-kammiolla mitattuna. Ennen- ja jälkeen-mittaukset tehtiin eri asunnoista. Asteriski (*) korjausten jälkeisen mittaustuloksen kohdalla tarkoittaa, että tutkittua yhdistettä ei todettu, ts. emissionopeus oli alle menetelmän määrittäysrajan 1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$.

Tutkittujen tilojen lattianpäällysteiden 2-etyyliheksanolin emissionopeus oli ennen korjausta 55-64 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ja C9-C10-alkoholien emissionopeus 65-130 $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$. Korjausten jälkeen tehdyissä mittauksissa 2-etyyliheksanolin ja C9-C10-alkoholien emissioita ei todettu (tulokset alle määrittäysrajan).

5. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkitussa esimerkkikohteessa todettiin ennen korjauksia selvästi kohonneita sisäilman 2-etyyliheksanolin ja C9-C10-alkoholien pitoisuuksia ja samojen yhdisteiden voimakkaita pintaemissioita muovimatoista. 2-etyyliheksanolin keskimääräinen sisäilmapitoisuus oli 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ja pitoisuus ylitti lähes kaikissa tutkituissa tiloissa asumisterveysasetuksen STMa 545/2015 mukaisen 2-etyyliheksanolin sisäilmapitoisuuden toimenpiderajan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. C9-C10-alkoholien sisäilmapitoisuus oli keskimäärin 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tälle yhdisteryhmälle ei ole asetettu erillistä toimenpiderajaa.

Lattioiden korjaus cTrap-tuotetta hyödyntäen laski 2-etyyliheksanolin pitoisuuksia sisäilmassa 84-97 % ja C9-C10-alkoholien pitoisuuksia 88-98 %. Korjauksen jälkeinen sisäilman 2-etyyliheksanolinpitoisuus alitti kaikissa tutkituissa tiloissa STMa 545/2015 mukaisen toimenpiderajan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Korjaustapojen (”korjaustapa 1” ja ”korjaustapa 2”) välillä ei todettu eroa korjauksen jälkeisissä sisäilmapitoisuuksissa, joskin tutkittujen tapausten määrä oli pieni, ”korjaustavan 2” osalta vain 1 asunto.

Pintaemissiomittauksissa em. yhdisteitä ei korjauksen jälkeen todettu, millä perusteella lattian korjaus esti betonin jäännösemisoidien pääsyn korjatun päällysteen läpi sisäilmaan. Sisäilmasta mitatut jäännöspitoisuudet johtuvat todennäköisimmin yhdisteiden adsorboitumisesta ennen lattioiden korjausta tilojen muihin pintamateriaaleihin, joista niitä haihtuu korjauksen jälkeenkin jonkin verran sisäilmaan.

Esimerkkikohteessa ”korjaustavalla 1” saavutettiin tavoitteiden mukainen sisäilmanlaatu. Korjauksessa muovimatto, liima ja tasoitteen ylin pintakerros poistettiin ja päälle asennettiin ohut tasoite, cTrap-tuote ja laminaatti, mutta alusbetonia ei poistettu, tuuletettu, lämmitetty eikä

kapseloitu. Korjaustapa säästi korjausaikaa ja -kustannuksia, sekä helpotti pölynhallintaa kohteessa ja aiheutti vähemmän haittaa käytölle kuin mitä ”korjaustapa 2” tai muu raskaampi korjaus olisi aiheuttanut?

Koska tutkimuksen seuranta-aika oli lyhyt, vain yhdestä muutamaan kuukauteen korjauksen jälkeen, ei tulosten perusteella voida suoraan arvioida korjauksen toimivuutta pitkällä aikavälillä. Toimivuutta voidaan kuitenkin arvioida vertaamalla cTrap-tuotteen laboratorioissa määritettyä adsorptiokapasiteettia alustaan imeytyneiden jäännösemssioiden pitoisuuksiin. Tuotteen adsorptiokapasiteetiksi on määritetty 2-etyyliheksanolille $13.5 \pm 6.02\%$ g/m² [6]. Mikäli betoniin arvioidaan lähteen [5] mittaustulosten mukaisesti imeytyneen 2-etyyliheksanolia enintään 60 mm syvyyteen enintään noin 3 mg/kg pitoisuutena, sisältäisi betonin pintakerros 2-etyyliheksanolia enintään noin 0,43 g/m². CTrap-tuotteen ilmoitettu adsorptiokapasiteetti on n. 30 kertaa tätä suurempi, eli laskennallisesti arvioituna riittävä sitomaan laatasta haihtuvat 2-etyyliheksanolin ja muiden mahdollisten yhdisteiden jäännösemssiöt kokonaisuudessaan.

Lähdeluettelo

- [1] Mendell MJ. 2007. Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. *Indoor Air* 17: 259–277.
- [2] Tuomainen A, Seuri M, Sieppi A. 2004. Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings. *Int Arch Occup Environ Health* 77(3):222-6.
- [3] Westberg Å, Momcilovic D, Björk F ja Karlsson S. 2010. Investigation of the emissions from an acrylate and a carpet adhesive in humid and alkaline environments by the micro-scale headspace vial (MHV) method. *Polymer Degradation and Stability* 95(9): 1877-1882.
- [4] Björk F, Eriksson C-A, Karlsson S ja Khabbaz F. 2003. Degradation of components in flooring systems in humid and alkaline environments. *Construction and Building Materials* 17(3):213-221.
- [5] Jokipii, M. 2014. Betonilattioiden VOC-korjausmenetelmien vertailu. Opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu.
- [6] Markowicz P ja Larsson L. 2012. The surface emissions trap. A new approach for indoor air purification. *Journal of Microbiological Methods* 91:290-294.
- [7] Markowicz P ja Larsson L. 2015. Improving the indoor air quality by using a surface emissions trap. *Atmospheric Environment* 106:376-381.

B5. Sisäilman laatu

Materiaaliemissioiden tutkimusmenetelmät ja kuinka arvioida emissioiden vaikutusta sisäilman kemialliseen laatuun

Katri Leino, Hanna Hovi ja Evgeny Parshintsev
Työterveyslaitos, Työympäristölaboratoriot, Helsinki

Tiivistelmä

Materiaalista sisäilmaan vapautuvia päästöjä voidaan tutkia kolmella eri menetelmällä. Edullinen ja nopea bulk- eli kokonaisemissiomenetelmä antaa kokonaisvaltaista tietoa materiaalin päästöistä, mutta tällä menetelmällä ei saada tietoa päästöjen vaikutuksesta sisäilmaan eivätkä tulokset ole vertailukelpoisia. FLEC on vaurioittamaton näytteenottomenetelmä pintaemissioiden tutkimukseen, mutta menetelmä soveltuu vain tasaisille pinnoille eikä tulokset ole täysin vertailukelpoisia. Standardoitu kammiomenetelmä on kalliimpi ja hitaampi toteuttaa kuin edellä mainitut menetelmät, mutta tarjoaa ehdottomasti parhaimmat edellytykset vertailla saatuja pintaemissiotuloksia sekä mahdollistaa arvioinnin materiaali-päästöjen vaikutuksesta sisäilman kemialliseen laatuun.

1. Johdanto

Rakennus- ja sisustusmateriaaleista vapautuvia päästöjä voidaan tutkia useilla eri menetelmillä, mutta tulosten tulkinnan kannalta on oleellista valita oikea, käyttötarkoitusta palveleva menetelmä. Jotta osataan valita oikea emissiotutkimusmenetelmä, tulee ymmärtää minkä tyyppisestä päästöstä on kyse sekä tietää, halutaanko tuloksia hyödyntää sisäilman kemiallisen laadun arvioinnissa vai ei.

Materiaalista sisäilmaan vapautuvia päästöjä voidaan tutkia kolmella eri menetelmällä, joilla kaikilla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Myös tutkittavia aineita on useita, yleisimmin tutkitaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (volatile organic compound, VOC), formaldehydin ja muiden aldehydien sekä ammoniakkin emissioita, mutta periaatteessa voidaan tutkia mitä tahansa huoneenlämmössä haihtuvia yhdisteitä, joille on olemassa soveltuva keräin ja analysointimenetelmä sisäilma-analytiikassa.

2. Materiaaliemissiotyypit

2.1 Primääriemissiot

Eri rakennusmateriaalityypeillä on niille ominaiset primääriemissiot, jotka tyypillisesti haihtuvat nopeasti eivätkä aiheuta pitkäaikaisia päästöjä huoneilmaan. Primääriemissioille on tyypillistä korkea alkukonsentraatio, jolloin esiintyy usein myös hajua. Hajun esiintyminen riippuu kuitenkin siitä, mitä yhdisteitä tuotteesta haihtuu. Esimerkiksi monet tunnistavat tuoreen maalin hajun, joka on vastamaalattusta seinästä haihtuvien primääriemissioiden aiheuttamaa.

Tyypillisesti primääriemissioiden pitoisuustaso laskee nopeasti, mutta haihtumista voidaan tehostaa lisäämällä ilmanvaihtoa sekä nostamalla huonelämpötilaa. Vaikka suurin osa primääripäästöistä haihtuukin yleensä ensimmäisen neljän viikon aikana, on sisäilmamittauksia

suositeltavaa suorittaa aikaisintaan kuuden kuukauden kuluttua rakennustöiden tai remontin valmistumisesta.

2.2 Sekundääriemissiot

Sekundääriemissioihin luetaan kuuluvaksi sekä materiaalin pitkäaikaiset ominaispäästöt että materiaalin vaurioitumisesta aiheutuvat päästöt. Sekundääriemissiot on sisäilman laadun kannalta merkittävin materiaalipäästötyyppi. Suomalaista rakennusmateriaalien M-päästöluokitusta varten tehtävissä laboratoriotutkimuksissa emissiomittaukset ja aistinvarainen arviointi suoritetaan neljän viikon vanhennusjakson jälkeen juuri siitä syystä, että tällöin saadaan selville tuotteen pitkän aikavälin päästöt ja voidaan arvioida onko tuote vähäpäästöinen jatkuvassa käytössä [1].

Tyypillisesti rakennusmateriaalin vaurioituminen johtaa päästöjen lisääntymiseen ja tämä havaitaan yleensä jonkinlaisena oireiluna tai hajuna huonetilassa. Toisilla materiaalityypeillä (esim. linoleum) on luonnostaan korkeampi sekundääriemissiotaso kuin toisilla, joten etsittäessä merkkejä materiaalin vaurioitumisesta, on aina otettava huomioon tuotetyyppi. On myös pidettävä mielessä, että epätyypillisen korkeiden materiaalipäästöjen taustalla voi olla kontaminaatio (esim. öljyvahinko), jolloin alkuperäinen päästölähde on myös tunnistettava ja korjattava. Kaikille materiaalityypeille ei ole pystytty määrittämään mitä yhdisteitä tai pitoisuustasoja voitaisiin pitää varmana merkinä vaurioitumisesta, koska esimerkiksi PVC-maton pehmittimien hajoamisen seurauksena vapautuvia alkoholiyhdisteitä on havaittavissa myös käyttämättömissä tuotteissa [2].

3. Materiaaliemissioiden tutkimusmenetelmät

3.1 Bulk- eli kokonaisemissiotutkimus

Ehkä tutuin materiaalipäästöjen tutkimusmenetelmä on bulk- eli kokonaisemissio, joka kertoo tutkittavan materiaalin päästöt näytegrammaa kohden ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{g}$). Tähän menetelmään tarvittava näytemäärä on pieni (Työterveyslaitos suosittelee esimerkiksi mattomateriaalin näytepalan kooksi 10 x 10 cm) ja näytteenotto onnistuu laboratorion ohjeita noudattamalla kokemattomammaltakin tekijältä. Kokonaisemissioita tutkittaessa näytemateriaali tavanomaisesti hienonnetaan (kuva 1) ja emissionäyte kerätään inertin kaasuvirran avulla mikrokammiossa (Micro-Chamber/Thermal Extractor, $\mu\text{-CTE}$) lämpötilassa 25 °C.



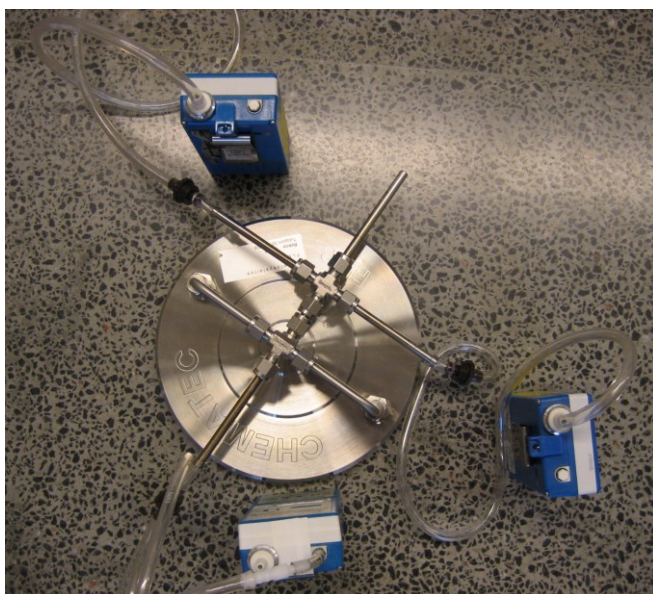
Kuva 1. Hienonnettu PVC-mattonäyte mikrokammiossa.

Bulk-tekniikalla tutkittuna emissionäytteessä näkyy päästöt materiaalinäytteen kaikilta pinnoilta, ei pelkästään huoneilmaan päin olevalta pinnalta. Tämä on hyödyllistä muun muassa silloin, jos vaurion epäillään olevan esimerkiksi lattiamaton alapinnalla. Koska modernit muovimatot ovat hyvin tiiviitä, ei kohonneiden päästöjen jäljille päästä välttämättä maton pinnalta tehtävillä pintaemissiotutkimuksilla, vaikka kohonneita pitoisuuksia nähdäänkin sisäilmassa. Kokonaisemissiotutkimus on erinomainen ja kustannustehokas seulontamenetelmä, kun halutaan selvittää mistä materiaalista sisäilmassa havaittavat epätavanomaiset pitoisuudet voisivat olla peräisin. Semikvantitatiiviset bulk-tulokset eivät kuitenkaan kerro mitään sisäilmapitoisuuksista, eikä tuloksia voi verrata rakennusmateriaalien M-päästöluokituksen raja-arvoihin tai käyttää terveyshaitan arviointiin.

Bulk-tulosten tulkinta vaatii kokemusta, koska vain osalle näytematriiseista on olemassa viitearvoja ja nämäkin vain tietyille VOC-tuloksille [3]. Tulosten vertailtavuus on myös heikkoa, koska menetelmä ei ole standardoitu ja pienetkin erot näytteenkäsittelyssä korostuvat helposti. Materiaalien heterogeenisuus aiheuttaa myös huomattavan ongelman tulosten vertailtavuudessa. Samasta kohteesta kerättyjen näytteiden, yhden laboratorion analysoimana saatujen kokonaisemissiotulosten pitoisuustasoa voi verrata vain suuruusluokaltaan (pienin/suurin), eikä lukuarvoihin tulisi luottaa sokeasti. Eri kohteista kerättyjen näytteiden ja/tai eri laboratorioiden tuottamat analyysitulokset eivät ole vertailukelpoisia.

3.2 Pintaemissiotutkimus FLEC-menetelmällä

FLEC (Field and Laboratory Emission Cell) on myös laajasti käytetty menetelmä, jolla voidaan tutkia rakenteita rikkomatta materiaalien pintaemissioita. FLEC-menetelmä on toimiva ratkaisu, jos kenttäolosuhteissa halutaan selvittää yhdisteiden pintaemissionopeus ja pinta, jolta näyte halutaan kerätä, on tasainen. FLEC-tulokset kertovat yhdisteiden emittoivan pinnan pinta-alaan suhteutetun emissionopeuden ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$). Suurin osa FLEC-kenttänäytteenotoista suoritetaan NT build 484 -menetelmään [4] pohjautuvalla tekniikalla (kuva 2), mutta näytteenotto on mahdollista myös standardin ISO 16000-10 [5] mukaisesti.



Kuva 2. NT build 484:n mukainen VOC-näytteenotto FLEC-laitteistolla kenttäolosuhteissa.

Suurimmat erot näiden kahden eri näytteenottotavan välillä on olosuhteiden vakiointi sekä stabiloitumisaika. Standardin ISO 16000-10 mukainen näytteenotto vaatii näytteenottoolosuhteiden vakioinnin (23 ± 2 °C, RH 50 ± 5 %); puhdistetun, kostutetun ilman käyttöä sekä 24 tunnin stabiloitumisaikaa. Koska näytteenoton vaatimukset ovat huomattavat, ISO 16000-10:n mukaista näytteenottoa tehdään hyvin harvoin kenttäolosuhteissa. NT build 484:n mukainen näytteenotto vaatii lyhyemmän stabiloitumisaajan sekä mahdollistaa näytteenoton suodatetun huoneilman avulla tavanomaisissa huoneolosuhteissa, jonka takia tämä on vakiintuneempi näytteenottomenetelmä kenttäolosuhteissa.

FLEC-tuloksia ei tulisi käyttää sisäilmapitoisuuksien arviointiin, koska kenttänäytteenotto ei vastaa olo- ja mittasuhteiltaan ilmapitoisuuslaskujen pohjana olevaa eurooppalaista mallihuonetta. FLEC-laitteiston näytteenottokammion tilavuus on 35 ml ja pinta-ala 0,0177 m² [4], joka vastaa kuormituskerrointa 510 m²/m³. Tyypillisesti FLEC-näytteenotossa laitteistoon syötetään ilmaa virtausnopeudella 100–300 ml/min, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa 170–510 h⁻¹. Näin ollen FLEC-laitteiston ilmavirta/pinta-alakerroin vaihtelee välillä 0,3–1 m³/m²h. Eurooppalaisessa 30 m³ mallihuoneessa eri materiaalityyppien kuormituskertoimet vaihtelevat välillä 1–0,007 m²/m³ ja ilmavirta/pinta-alakertoimet välillä 0,5–71 m³/m²h ilmanvaihtokertoimen ollessa 0,5 h⁻¹ [6].

Koska laitteiston ilmatiiveys on ehdoton vaatimus onnistuneeseen FLEC-näytteeseen, vaatii näytteenotto sekä vahvaa osaamista että menetelmälle soveltuvan näytemateriaalin. FLEC-tuloksille ei ole olemassa kattavia viitearvoja, mutta suuntaa tulosten kokoluokasta saa esimerkiksi M-luokituksen luokitusrajoista [1]. FLEC-tulosten vertailtavuudessa on myös puutteita, koska vakioimattomat mittausolosuhteet sekä mahdolliset vaihtelut ilmanvaihtokertoimessa ovat tulosten vertailtavuutta heikentäviä epävarmuustekijöitä. FLEC-menetelmä on toimiva ratkaisu kohteissa, joissa halutaan tutkia pintaemissioita, mutta tutkittavasta materiaalista ei pysty ottamaan edustavaa näytettä laboratorio-olosuhteissa suoritettavaa kammiotestausta varten. FLEC:llä voidaan tehdä myös seurantamittauksia kohteissa, joissa halutaan vaurioittamatta pintoja seurata esimerkiksi korjaustoimenpiteiden vaikutusta emissiotasoihin.

3.3 Pintaemissiotutkimus kammio menetelmällä

Tuntemattomin materiaalipäästöjen tutkimusmenetelmä on standardeihin ISO 16000-9 [7] ja EN 16516 [6] perustuva kammio menetelmä. Tämän menetelmän tunnetuin käyttötarkoitus on käyttämättömien rakennusmateriaalien emissiotestaus eri päästöluokituksia (esim. M1) varten, mutta sitä voidaan soveltaa myös käytettyjen materiaalien emissiotestaamiseen. Kammio menetelmän vahvuudet ovat vakioitujen näytteenotto-olosuhteiden (23 ± 1 °C, RH 50 ± 5 %, ilmanvaihto 0,5 h⁻¹) avulla saavutetut vertailukelpoiset tulokset sekä mahdollisuus laskea pintaemissionopeudesta mallihuonepitoisuus ja näin arvioida emissioiden vaikutusta sisäilman kemialliseen laatuun. Kammiotestaus tapahtuu aina laboratorio-olosuhteissa (kuva 3) ja menetelmä vaatii bulk-menetelmää huomattavasti suuremmat näytekappaleet, joiden koko vaihtelee testattavan tuotetyypin ja käytetyn kammion tilavuuden mukaan.



Kuva 3. Standardin ISO 16000-9 mukainen VOC-emissionäytteenotto testikammioista.

Kammiomenetelmä on melko raskas testausjärjestely, joten se on hintavampi ja aikataulullisesti vähemmän joustava kuin edellä mainitut tutkimusmenetelmät. Koska kammiomenetelmä vaatii kohteesta poistettavan melko isot, ehdottoman ehjät näytekappaleet, ei menetelmä sovellu kaikkien käytettyjen rakennusmateriaalien testaamiseen. FLEC-menetelmästä poiketen tutkittavan materiaalin pinnan karheus ei ole ehdoton ongelma kammiomenetelmässä, vaikkakin näytekappaleen reunojen ja taustan tiivistäminen on tällöin haastavampaa.

Käytettyjen materiaalien testaukseen käytettävä kammiomenetelmä on tietyn muunnelmin vastaava kuin esimerkiksi M-luokitustestauksissa, joten tuloksia voidaan tietyn varauksin verrata M-luokituksen raja-arvoihin. Käytettyjen materiaalien pintaemissiotestaus ei kuitenkaan koskaan korvaa virallista M-luokitustestausta eikä näitä kahta tule sekoittaa toisiinsa. Kammiotekniikalla toteutettuihin emissiomittauksiin voidaan myös yhdistää M-luokitustestauksesta tuttu aistinvarainen arviointi, jolloin saadaan kemiallisten päästöjen lisäksi numeerinen arvo tuotteen hajun hyväksyttävyydelle.

Koska kammiomenetelmän olosuhteet, ilmanvaihtokerroin sekä näytepinta-alan ja kammion tilavuuden suhde vastaavat eurooppalaista mallihuonetta, kammiotestauksen tuloksista voidaan laskea pintaemissionopeuden ($\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ tai $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$) lisäksi myös mallihuonepitoisuus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), jota voidaan verrata esimerkiksi terveysperustaisiin EU-LCI-raja-arvoihin [8]. Koska mallihuonepitoisuus perustuu laskennalliseen mallihuoneeseen [6], ei saatua arvoa voi suoraan verrata kohteesta mahdollisesti saatuihin sisäilmatuloksiin, mutta tällä saadaan käsitys minkälaisesta vaikutuksesta sisäilmaan tutkitun materiaalin kohdalla puhutaan.

4. Yhteenveto

Etsittäessä syitä sisäilmaoireiluun tai tiloissa havaittuihin hajuhaittoihin tulee tilannetta aina tarkastella suurempana kokonaisuutena. Osana tätä kokonaisuutta hyvin suunnitellut ja oikein toteutetut materiaaliemissiotutkimukset tarjoavat arvokasta tietoa päästölähteistä ja niiden

vaikutuksesta sisäilman kemialliseen laatuun. Lähestymistapoja materiaalitestaamiseen on useita: kokonaisemissio, FLEC ja kammiotekniikka, mutta ensiarvoisen tärkeää on pitää mielessä, että jokaisella tutkimusmenetelmällä on oma funktionsa eikä mikään yksittäinen testaus kerro koko totuutta. Vaikka laboratoriot ovatkin vastuussa vain analyysien suorittamisesta, voi asiantuntevasta laboratorionista aina pyytää apua mittaussuunnitelman laadintaan sekä varmistusta siihen, mikä olisi kustannustehokkain ja tarkoituksenmukaisin tutkimusmenetelmä kuhunkin kohteeseen.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennustietosäätiö RTS sr. 2019. Rakennusmateriaalien päästöluokitus M1. Saatavilla: <https://m1.rts.fi/>
- [2] Backlund, P., Talvitie, O., Lappalainen, K. ja Tuomi, T. 2014. Uusien lattiamuovipäällysteiden emissiot. Sisäilmastoseminaari 2014. Sisäilmayhdistys raportti 32 s. 149–154.
- [3] Työterveyslaitos. 2016–2019. Kooste epäpuhtaustasoista, joiden ylittyminen voi viitata sisäilmasto-ongelmiin toimistotyypisillä työpaikoilla. Saatavilla: <https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/09/sisaympariston-viitearvoja.pdf>
- [4] NT build 484. 1998. Building materials: Emission of volatile compounds – On-site measurements with Field and Laboratory Emission Cell (FLEC). Nordtest.
- [5] SFS-EN ISO 16000-10:en. 2006. Indoor air. Part 10: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing. Emission test cell method (ISO 16000-10:2006). Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [6] SFS-EN 16516:2017:en. 2017. Construction products: Assessment of release of dangerous substances. Determination of emissions into indoor air. Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [7] SFS-EN ISO 16000-9:en. 2006. Indoor air. Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing. Emission test chamber method (ISO 16000-9:2006). Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [8] European Commission. Agreed EU-LCI values (July 2018). Saatavilla: https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_en

Automaattisesti säätyvän alipaineistuksen hyödyntäminen sisäilmaongelmaisen rakennuksen ilmanhallinnassa

Tommi Arpomaa
Strong-Finland Oy

Tiivistelmä

Sisäilmaongelmaisten tilojen ilmanhallinnalla terveyshaittojen ja altistumisten määrää voidaan tietynlaisissa kohteissa minimoida merkittävästi kontrolloidun automaattisesti säätyvän alipaineen avulla. Jatkuva muutostilanteisiin mukautuva alipaineistus on kustannustehokas, tarkka ja luotettava menetelmä ongelmien minimointiin väliaikaisesti tai pysyvästi kohteen tarpeista riippuen. Ilmanjakokanavistoon ja ilmanohjaussiipiin perustuva alipaineen säätö on perinteisiä aiempia käytettyjä menetelmiä tarkempi ja monipuolisempi menetelmä, jonka seuranta ja ohjaus voidaan suorittaa myös etänä selainpohjaisen ohjelmiston kautta, tai periaatteessa vaikkapa kiinteistöautomaatioon integroituna.

1. Johdanto

Erilaiset sisäilmaongelmat rakennuksissa ovat kasvava haaste, ja ongelmat voivat koostua monenlaisista syy-seuraussuhteista sekä erilaisista ongelman lähteistä. Tyypillisiin ongelmiin lukeutuu erilaisten epäpuhtauksien kulkeutuminen ilmaitse kellareista, ryömintätiloista ja muista epäpuhtaista tiloista puhtaisiin oleskelutiloihin, kuten asuintilat, opiskelutilat ja työskentelytilat. Korjaustoimenpiteisiin ei välttämättä ole budjetoitua rahaa, kustannukset ovat korkeita, korjaussuunnitelmien laatiminen kestää pitkään, ja tästä syystä toimenpiteisiin ei aleta, tai aletaan vasta pitkällä viiveellä. Tänä aikana puhtaissa tiloissa oleskelevat henkilöt altistuvat ja monesti saavat oireita tiloihin kulkeutuvista epäpuhtauksista. Epäpuhtaiden tilojen painesuhteita voidaan kuitenkin muuttaa siten, ettei haitta-aineet ja epäpuhtaudet enää kulkeudu ympäröiviin tiloihin. Epäpuhtaaseen tilaan voidaan asentaa automaattisesti muutostilanteisiin säätyvä aktiivinen paineentasain, Active Pressure Adjustment Device, APAD. Tekniikan avulla voidaan muodostaa epäpuhtaaseen tilaan reaktiivinen alipaine, jossa lämpötilojen muutosten, muun ilmanvaihdon muutosten ja esimerkiksi ovien aukomisen aiheuttamia muutoksia laitteisto kompensoi automaattisesti säilyttäen asetetun alipainetasen suhteessa ympäröiviin tiloihin. Ensimmäinen APAD sisäilmalaitteisto on toiminut Kauttuan koulun kellarissa jo vuodesta 2016.

2. Kellarit ja ryömintätilat tyypillisiä ongelmanlähteitä

Varsin usein etenkin vanhoissa koulurakennuksissa, tai muissa julkisissa kiinteistöissä rakennuksen pohjakerroksena toimii vanha kellari, tai rakennuksessa on ryömintätila. Molempiin rakennustapoihin liittyy tyypillisiä sisäilmaongelmien lähteitä. Vanhan ryömintätilan tai kellarin ilmanlaatu on monesti heikko. Kellareissa maakosteuskuorman aiheuttamat kosteus- ja mikrobiongelmat, kuituongelmat, vanhojen öljylämmitykseen liittyvien komponenttien ja monen muun haitta-aineen luoma olosuhde on ilmanlaadullisesti erittäin epäpuhdasta. Kellaritila itsessään on monesti enää vain vähäisellä käytöllä, eikä oleskelua tiloissa paljoakaan tapahdu, mutta samalla kuitenkin kellarin ongelmat aiheuttavat haittaa yläpuolisissa puhtaissa tiloissa oleskeleville henkilöille. Kellarin ilma kulkeutuu yläpuolisiin tiloihin varsin herkästi oleskelutilojen oman ilmanvaihtokojeiston muodostaman alipaineen vuoksi, rakenteiden

epätiiveyksien ja läpivientien johdosta sekä etenkin lämmityskaudella piippuvaikutuksen vuoksi. Myös etenkin vanhoissa puurakenteisissa ryömintätiloissa vallitsevat ongelmat ja epäpuhtaudet kulkeutuvat herkästi yläpuolisiin tiloihin.

Sisäilmaongelmien aiheuttajat voivat toki sijaita myös horisontaalisesti samalla korkeustasolla puhtaiden tilojen kanssa, ja edelleen epäpuhtauksien ja haitta-aineiden kulkeutuminen epäpuhtaista tiloista puhtaisiin aiheuttaa tiloissa oleskelijoille oireita.

3. Automatiikka avuksi painesuhteiden hallintaan

Mikäli epäpuhtauksia sisältävän ongelmatilan ilmatila saadaan alipaineiseksi suhteessa ympäröiviin puhtaisiin oleskelutiloihin, voidaan ongelmien aiheuttaja minimoida ilmanhallinnallisesti. Yhtenä ratkaisuna esimerkiksi kellaritiloista ylöspäin kulkeutuvat epäpuhtaudet saadaan minimoitua, mikäli ilman kulkeutumien estetään alipaineen avulla.

3.1 Perinteinen vakioilmamääräinen puhallintekniikka ei yleensä toimiva ratkaisu.

Ongelmatilojen alipaineistaminen ei sinällään ole uusi asia, mutta jo vuosikymmeniä alipaineistuksen toteutus on perustunut yleensä johonkin ilmamäärältään vakiotasolla puhaltavaan tai säädettyyn puhallintekniikkaan. Mitoitus tai säätöarvo taas on perustunut yleisesti keskimääräiseen ilmamäärätasoon, jolla alipainetta siis saadaan keskimääräisesti ylläpidettyä. Käytännössä tämä on siis tarkoittanut esimerkiksi painesuhteiden seurantamittauksia, jonka perusteella on suoritettu laskelmat ilmamäärän tehotarpeesta, jota keskimääräisesti tarvitaan ongelmatilan alipaineen muodostamiseksi ympäröiviin tiloihin nähden. Keskimääräinen ilmamäärä tarkoittaa sitä ilmamäärää joka seurantajakson keskiarvoisen mittaustuloksen mukaisesti alipaineen muodostus vaatii, mutta ei kuitenkaan huomioi muutostilanteita, joiden aikana alipaine katoaa ja epäpuhtaudet kulkeutuvat puhtaisiin tiloihin.

3.1.1 Lyhytaikaiset muutostilanteet

Lyhytaikaisia muutostilanteita ovat muun muassa ovien aukeamiset epäpuhtaan ja puhtaan tilan välillä tai yksistään jommassakummassa tilassa, tuulenpuuskat, ulkoilman painesuhteiden vaihtelut sään muutoksen johdosta ja vastaavat. Tällaiset muutokset ovat yleensä hyvin hetkellisiä, mutta saattavat toistua vuorokauden aikana usein. Niinpä epäpuhtauksia saattaa vapautua ongelmatilasta kerrallaan vähän, mutta vuotoa saattaa tapahtua usein.

3.1.2 Keskipitkät tai säännölliset muutostilanteet

Keskipitkiä tai säännöllisiä muutostilanteita vastaavasti ovat yleensä esimerkiksi puhtaiden tilojen omat ilmanvaihtokojeet, ja niiden toimintamuutokset. Usein ilmanvaihtokojeet on ajastettu toimimaan eri tehotasoilla eri vuorokauden aikoina viikko- tai vuorokausikellon kautta. Ilmanvaihtokojeiston tehosäätöjen muuttuessa kellaritilan vakiotehoinen alipainelaitteisto ei mukaudu muutoksiin, ja olosuhteista riippuen epäpuhtauksia voi jälleen vapautua epäpuhtaasta tilasta puhtaaseen.

3.1.3 Pidempiaikaiset ja vaikeasti ennustettavat muutostilanteet

Pidempiaikaisia ja samalla usein vaikeasti ennustettavia ja hallittavia muutoksia ovat esimerkiksi ulkoilman suuret lämpötilamuutokset ja niiden vaikutukset rakennuksen painesuhteisiin. Etenkin

korkeammassa rakennuksissa lämpötilanmuutokset aiheuttavat suuriakin painesuhteiden muutoksia. [1]

Myös lämmityskauteen siirryttäessä rakennuksen sisäiset ilmavirtauksen usein muuttuvat.

3.2 Automaattisesti säätyvä puhallintekniikka vain osittainen helpotus

Ilmamäärältään vakioasti virtaavan puhaltimen sijasta, on luonnollisesti mahdollista käyttää painesuhteen mukaan automaattisesti säätyvää puhallintekniikkaa. Se parantaa painesuhteen hallintaa selkeästi vakioitehoiseen puhallintekniikkaan nähden, mutta edelleen toimii usein vain osittain.

Kun puhallintekniikkaa säädetään esimerkiksi paine-erotiedon perusteella, puhaltimille tulee antaa moottoriohjaustieto perustuen yleensä melko pitkään painesuhteen keskiarvomittaukseen, esimerkiksi 30 sek. - useita minuutteja. Tämä johtuu siitä, että puhallinmoottorit eivät pysty lisäämään tai vähentämään tehoja reaaliaikaisesti. Puhaltimen kierrosluvun nousussa ja laskussa on aina viivettä, ja mikäli puhallin saa koko ajan lisää tietoa painesuhteiden muutoksista sen voi olla vaikeaa löytää oikeaa kierrosnopeutta. Tämä liittyy erityisesti lyhytaikaisiin muutostilanteisiin, joita kohteesta riippuen voi tapahtua muutamista useisiin kymmeniin tai jopa satoihin vuorokaudessa. Toinen oleellinen haaste liittyy etenkin tiiviissä tiloissa itse ongelmatilan ilmanpuhdistukseen. Tällöin poistopuhallustekniikka poistaa tilasta vain vähäistä määrää ilmaa, toisin sanoen vähäisiä määriä epäpuhtauksia, koska alipaine saavutetaan jo pienelläkin ulospuhallusmäärällä. Suoraan ulospuhaltavan tekniikan matala kierrosnopeus aiheuttaa, että itse ongelmatilan ilman epäpuhtauspitoisuus saattaa olla hyvin korkea. Tästä taas aiheutuu taas, että lyhyissäkin painehäviötilanteissa puhtaaseen tilaan kulkeutuva epäpuhdas vuotoilma on hyvin heikkolaatuista. Paineentasaintekniikka taas suodattaa ilmaa koko ajan suurella volyyymilla kierrättäen alipaineelle tarpeettoman ilmamäärän takaisin tilaan. Näin ongelmatilan ilmanlaatu paranee ja pysyy myös merkittävästi parempana [2].

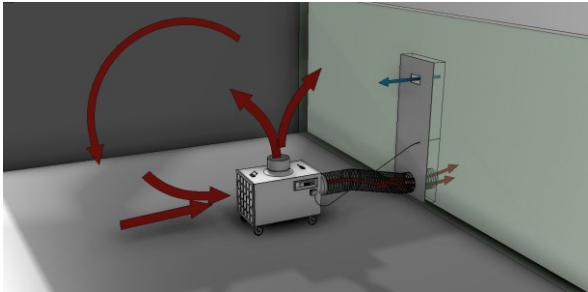
3.3 Automaattisesti säätyvä APAD paineentasaintekniikka toimii tarkasti ja tehokkaasti

Paineentasaintekniikan avulla ongelmatilojen aktiivinen alipaineistus on mahdollista toteuttaa huomattavasti edellä mainittuja kahta (2) tapaa tehokkaammin ja tarkemmin. APAD tekniikan laitteisto sopeutuu muutostilanteisiin nopeasti ja erittäin tarkasti, ja täten tekniikalle annettuun paine-erotietoon ei ole tarvetta erikseen ohjelmoida pitkiä viiveitä. Kuvassa 1. esitetyn mukaisesti APAD tekniikka perustuu puhallinmoottorin osalta ilmamäärältään vakiovirtaukselliseen puhaltimeen, josta ilma ohjautuu paineentasaimen ilmanjakokanavaan. Ilmanjakokanava jakautuu kahteen osaan, kierrätysilmakanavaan ja poistoilmakanavaan. Molemmista kanavissa on ilmanohjauspellit, jotka on akseloitu toisiinsa säätömoottorin kautta. Koko tekniikkaa ohjaa ohjainkeskus johon laitteen toimintaan tarvittava ohjelma on tallennettu.

Käytännössä tekniikka toimii siten, että laitteen oma paine-eronmittaus mittaa epäpuhtaan ja puhtaan tilan välistä paine-eroa, ohjaa tiedon ohjauskeskuksen prosessoitavaksi, josta säätöpeltien ohjausmoottorille ohjataan tietoa automaattista säätöä varten. Järjestelmän puhaltimena käytetään suuritehoista puhallinta ja yleensä vähintään HEPA H13 luokan partikkelisuodatusta ja aktiivihiilisuodatusta. Näin epäpuhtaan tilan ilmaa prosessoidaan suuritehoisesti koko ajan, ja itse ongelmatilan epäpuhtauspitoisuus vähenee merkittävästi. Ilmanjakokanavassa säätöpellit säätyvät siten, että vain laitteesta säädetylle alipainetasolle vaadittava ilmamäärä poistetaan tilasta, ja muu prosessi-ilmamäärä palautetaan suodatettuna kierrätysilmana takaisin tilaan. Ilmanohjaussiiven liike muuttaa ilmavirtauksia nopeasti ja tarkasti, joten alipaineen säätö, ylläpito ja tarkkuus ovat aiempia teknisiä toteutustapoja tehokkaampaa.

Prosessi-ilman otto ja tarvittaessa myös kierrätysilma voidaan kanavoida ympäri epäpuhdasta

tilaa, jolloin ilmanpuhdistuksen tehokas kokonaisvaikutusala saadaan suureksi. Hyvä ilmanhuuhtelutekniikka nopeuttaa partikkelipitoisuuden vähenemistä ongelmatilassa oleellisesti, ja APAD paineentasaimen kierrätysilmakanavan hyödyntämistä on tutkittu myös muun muassa asbestipurkutytön turvallisuuden parantamiseen liittyvässä tutkimushankkeessa [3]



Kuva 1. Integroitu APAD sisäilmatekniikka perustuu ilmanjakokanavistoon ja ohjaussiipien säätöön

4. Kauttuan ja Harjavallan koulut pioneerikohteina

Vuonna 2016 Euran Kauttuan koululle asennettiin ensimmäinen kellarin sisäilmaongelman eliminointiin tarkoitettu paineentasainjärjestelmä, kuvan 2. esimerkin mukaisesti. Alun perin väliaikaisesti asennettu laitejärjestely päädyttiin kunnan ja silloisen urakoitsijan toimesta asentamaan kellarin pysyvästi, koska muutokset kellarin yläpuolisten tilojen ilmanlaadussa olivat niin merkittäviä. Kauttuan koulun kellaritilan peruskorjaus olisi ollut niin kallis toimenpide, ettei sille ollut toteutus edellytyksiä. Kuitenkaan oppilaiden mahdollista altistumista epäpuhtauksille ja haitta-aineille ei haluttu, joten vaihtoehtoinen ratkaisu oli löydettävä. Koululla sisäilmakorjaustoitä suorittaneella urakoitsijalla käytössä ollut rakennustyön pölyntorjuntaan tarkoitettu APAD paineentasaimen versio asennettiin ylläpitämään kontrolloitua alipainetta kellarin. Kiinteä asennus päätettiin toteuttaa muutamia viikkoja myöhemmin, sillä koulurakennuksen ilmanlaatu kokonaisuudessaan oli muuttunut tunkkaisesta raikkaaksi, kun kellarista ei enää johtunut kosteus- ja mikrobiperäisiä hajuja sekä öljyn ja liuottimien hajua opiskelutiloihin.

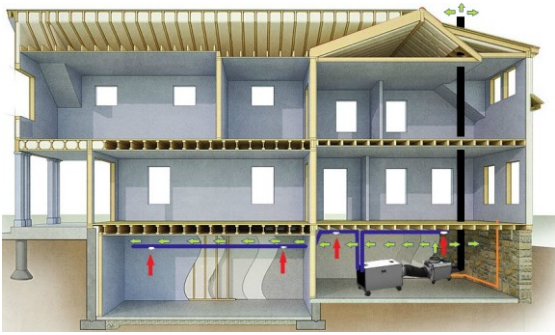
Melko pian vuoden 2016 lopussa saman urakoitsijan toimesta myös Harjavallan koulun kellaritilaan asennettiin vastaava tekniikka Kauttuan koululta saatujen erinomaisten kokemusten perusteella. Myös Harjavallan koulun kellaritilassa vallinnut erittäin heikko ilmanlaatu pääsi vaikuttamaan suureen osaan yläpuolisista opiskelutiloista, ja peruskorjauskustannukset olisivat olleet kohtuuttomat. APAD tekniikan avulla kellaritilan ilmanhallinta saatiin nopeasti kontrolliin, ja hallitun alipaineistuksen vaikutus oleskelutilojen ilmanlaatuun voitiin havaita jo muutamissa päivissä, aivan kuten aiemmin Euran Kauttuan koulullakin.

4.1 Kauttuan pilottihankkeen päätös ja laitteiston muutos vuonna 2019

Kauttuan koulun laitteisto oli ensimmäinen sisäilmatarkoitukseen asennettu laitteisto, ja vuosien Heinäkuu 2016- Tammikuu 2019 kohteessa seurattiin painesuhteiden vaihtelua, ja laitteiston teknisiä parannustarpeita sisäilmaongelmiin paremmin soveltuvaksi. Alkuperäinen rakennusalan pölyntorjuntatarpeisiin kehitetty APAD paineentasaintekniikka sinällään osoitti toimivuutensa jo alusta asti, mutta siinä missä työmailla hälytyksiin tulee reagoida välittömästi, ja joissa visuaalisille tai ääniperusteisille hälytyksille on yleensä joku havaitsemassa niitä, oli selvää, että kellaritiloissa käyttödata tulee tulevaisuudessa saada luettua etänä.

Kauttuan koulun sisäilmaongelma itsessään ei ole palautunut laitteiston asentamisen jälkeen. Koulun rehtori Vesa Ahtola sekä terveydenhoitaja Tarja Anttila olivat ennen kesää 2016 kuormitettuja koulun sisäilmaongelmista ja siihen liittyvistä lieveilmiöistä johtuen, mutta Sisäilmastoseminaarissa 2019 julkaistun pilottihakkeen loppuraportin mukaisesti on tilanne kellarin aiheuttaman sisäilmaongelman osalta korjaantunut. [4] [5]

Laitteisto on toiminut toivottavalla tavalla pilottihakkeen aikana, ja sen mukautumista erilaisiin muutostilanteisiin havainnoitiin sekä lyhyt että pitkäaikaisten muutostilanteiden osalta.



Kuva 2. Asennuksen periaatekuva toteutettuna alkuperäisen erillisen alipaineistavan puhallinlaitteiston ja paineentasainyksikön yhdistelmällä.

4.1.1 Lyhytaikaiset, keskipitkät ja pitkät muutokset

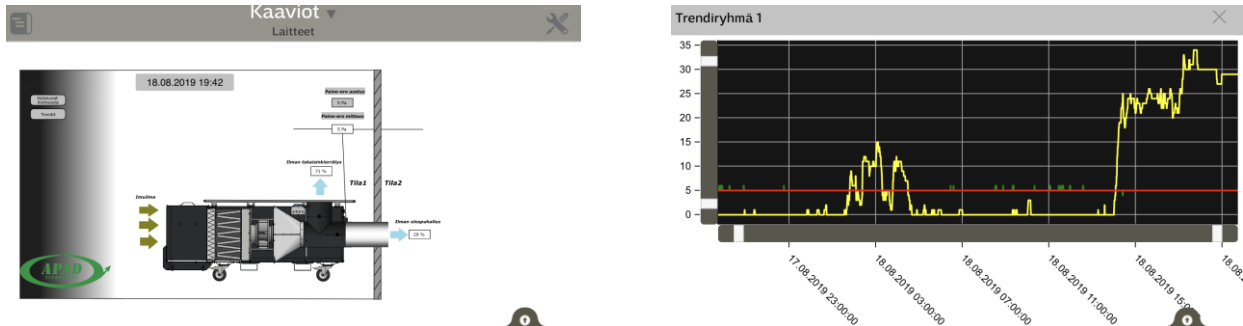
Lyhytaikaisista muutoksista on voitu havaita, että välittömästi kun henkilöitä aamuisin saapuu kouluun alkaa painesuhteissa tapahtua erilaisia muutoksia. Yläpuolisissa oleskelutiloissa tapahtuva ulko-ovien aukeamiset, tuuletusikkunoiden availut ym. aiheuttavat muutoksia oleskelutilojen ja ulkoilman välisiin painesuhteisiin. Tämä taas vaikuttaa suoraan kellaritilan ja oleskelutilan väliseen paine-eroon. Paineentasain toteuttaa lyhytaikaisia nopeita muutoksia Kauttuan koululla opiskeluaikoina keskimäärin kymmeniä päivässä. Keskipitkiä muutostilanteita ovat koulun eri tehoalueille ajastinkellolla säädetty ilmanvaihtokojeista, joka muuttaessaan tehoaluetta vaikuttaa myös kellarin paineentasainjärjestelmän asetuksiin. Etenkin pakkasaikana keskipitkäksi muuttujaksi voidaan nähdä myös kovemmat pakkasjaksot, jotka lämmityskauden aikana muuttavat myös rakennukseen kohdistuvia painesuhteita, joita laitteisto joutuu kompensoimaan melko suurilla ohjauksiin asetettujen muutosten avulla [6]. Erittäin pitkiä muutostilanteita edustavat eri vuoden ajat, etenkin kesä- ja talviajan perussäätötasojen muutokset.

4.1.2. Pilottihakkeen johdannaisena uudenlainen APAD sisäilmakoje

Helmikuussa 2019 Kauttuan koulun pilottihakkeesta kerätyt kokemukset, kehitystarpeet ja data konkretisoituivat erillisen sisäilmakojeen muotoon. Suurimpina teknisinä muutoksina moottori- ja suodatinyksiköiden integroiminen paineentasainyksikköön, joilla pystyttiin tuottamaan käyttäjille huollollisesti helpompia ratkaisuja sekä laitteen etäohjauksen toteuttaminen selainpohjaisen ohjelmiston avulla. Pilottihanke toimi tärkeänä osana sekä teknisen käytön tehostamista, että muutostilanteiden aiheuttajien ja vaikutusten oppimisessa. Havaintojen perusteella on selvää miksi aiemmat vakiovirtaukselliset tai puhallinmoottorisäätöiset järjestelmät ovat toimineet ajoittain heikosti, koska muuttujia, muutostekijöitä ja muutosnopeuksia on niin monenlaisia ja suuria.

Kauttuan koululle helmikuussa asennettu APAD sisäilmakoje sisältää laitteen ohjauksen ja seurannan etänä, kuten kuvassa 3. esitettynä. Tämä ominaisuus havaittiin pilottihakkeen aikana

tarpeelliseksi, jotta laitteen hälytys- ja käyttötiedot saadaan käyttöön etänä. Laitetta voidaan käyttäjätasosta riippuen myös ohjata etänä. Kevättalven ja kevään 2019 aikana etäseurannasta voitiin havaita mielenkiintoisia havaintoja muun muassa laitteen automaattisen ohjauksen muutoksista ulkoilman lämpötilan muutosten mukaan. Pakkasen nopea kiristyminen tai lauhtuminen näkyi myös laitteen ilmanohjaussiipien asennon suurinakin muutoksina ilman, että rakennuksen sisällä epäpuhtaiden ja puhtaiden tilojen välillä olisi tapahtunut muutoksia. Digitalisaatio mahdollistaa tulevaisuudessa paitsi sisäilmaongelmiin liittyvien mittauslaitteiden ja -tekniikoiden etävalvontaa, myös APAD tekniikan kaltaisten sisäilmaongelmien eliminointiin tarkoitettujen laitteistojen tehokkaampaa ja monipuolisempaa käyttöä.



Kuva 3. Kauttuan koululle asennetun APAD sisäilmakojeen käyttö-, ohjaus- ja olosuhdetietoja.

5. Yhteenveto

Sisäilmaongelmat ovat moninaisia, kuten myös erilaisten ongelmien ratkaisumahdollisuudetkin. Tilanteissa, joissa ongelman aiheuttaa selkeästi tietystä tilasta tai tietyn tilan rakenteista muihin tiloihin vapautuvat epäpuhtaudet, on kontrolloitu automaattisesti säätävä alipaineistus nopeasti tilannetta korjaava, tehokas ja helposti väliaikaisesti tai pysyvästi asennettava ratkaisu. Tilanteet, joissa rakennuksissa oleskelevat joutuvat altistumaan epäpuhtauksille johtuen ongelman aiheuttajan korkeista korjauskustannuksista, hankesuunnittelun tai budjetoinnin aikatauluista, väistötilojen puutteesta tai muusta syystä johtuen, voidaan tänä aikana epäpuhtauksien kulkeutumista eliminoida aktiivisesti alipainetta ylläpitävän sisäilmakojeiston avulla. Perinteisille vakiovirtaus- tai automaattisäätöille puhaltimille tyypilliset ongelmat ovat pääosin eliminoitavissa ilmanohjaussiipiperusteisen tekniikan avulla. Näin ollen sisäilmaongelmien ratkaiseminen tietyissä kohteissa kontrolloidun alipaineen avulla voidaan toteuttaa kustannustehokkaasti, ja myös tarvittaessa digitalisoituna etävalvottuna ja -ohjattuna.

Lähdeluettelo

- [1] Lahtinen E. (2018) Painesuhteiden hallinta ilmatiiveydeltään parannetuissa palvelurakennuksissa. Tampereen Teknillinen yliopisto.
- [2] Väliatalo M. (2019) Sisäilmaongelmaiset julkiset rakennukset ja niiden väliaikaisen korjauksen menetelmiä ilmanvaihdon näkökulmasta, Tampereen Ammattikorkeakoulu
- [3] Asbestipurkutyön turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustoimintojen kehittäminen – AsbTest, Työterveyslaitos 2019
- [4] Rehtori Vesa Ahtola ja terveydenhoitaja Tarja Anttila 11.10.2018
- [5] Automatisoidun APAD-alipaineistuksen käyttö rakennusperäisten epäpuhtauksien hallinnassa – Case koulurakennuksen alipaineistus, Sisäilmastoseminaari 14.3.2019
- [6] Seppä T., Rakennustekniikka Seppä Oy, henkilöhaastattelu 4.12.2018

Matala-alkalisen tasoitteen vaikutus muovipäällysteisen lattiarakenteen VOC-päästöihin

Virpi Leivo¹, Jommi Suonketo³, Jussa Pikkuvirta³, Essi Sarlin² ja Matti Pentti³

¹ Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, betoni- ja siltarakenteet

² Tampereen yliopisto, materiaalioppi

³ Tampereen yliopisto, rakenteiden korjaaminen ja elinkaaritekniikka

Tiivistelmä

Paikalla valettu betoni alkalisena (pH ~12,5) ja kosteana materiaalina voi aiheuttaa muovipäällysteiden ja liimojen hajoamista alkalisen hydrolyysireaktion seurauksena, aiheuttaen VOC-päästöjä. Alkalista hydrolyysia pyritään estämään asentamalla päällysteet riittävän kuivan betonilaatan päälle tai käyttämällä matala-alkalista (pH ~11...11.5) tasoitetta betonin ja päällysteen välissä. Tässä tutkimuksessa on laboratoriotesteillä selvitetty erilaisten päällystyskriteereiden sekä tasoite, liima ja mattokombinaatioiden vaikutuksia VOC-päästöihin. Laboratoriokoekappaleiden VOC-päästöt on määritelty sekä materiaalinäytteistä (Bulk) että pintaemissionäytteistä (Flec). Lisäksi pintaemissioiden pitoisuudet on muunnettu eurooppalaisen referenssihuoneen sisäilmanpitoisuuksiksi. Tulosten perusteella 5 mm kerros matala-alkalista tasoitetta suojaa päällystettä alkaliselta hydrolyysiltä. Suojausvaikutus oli merkittävä, erityisesti koekappaleissa, jotka oli päällystetty päällystyskriteerin RH 85% mukaisessa kosteudessa.

1. Johdanto

Julkisuudessa on viime aikoina ollut paljon esillä muovipäällysteisiin lattioihin liitetyt kosteusvaurio- ja sisäilmaongelmat. Sisäilman kokonaispäästöille ja yksittäisten yhdisteiden päästöille on asetettu entistä kireämpiä raja-arvoja Asumisterveysasetuksessa 2015 [1]. Toisaalta rakennusmateriaaleja kehitetään jatkuvasti vähempipäästöisiksi ja rakentamisen kosteudenhallintasuunnitelmat ovat olleet käytössä jo vuosia.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää muovipäällysteisten lattioiden vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä ja vaurioprosesseja sekä määrittää toimivia materiaaliyhdistelmiä. Laboratoriokokeiden tavoitteena oli tutkia muovipäällysteisten lattioiden vaurioitumismekanismeja ja kriittisiä olosuhteita eri materiaaliyhdistelmille erilaisissa olosuhteissa. Erityisesti tavoitteena oli tarkastella kosteus- ja pH-olosuhteiden merkitystä ja materiaaliominaisuuksien merkitystä. Tässä artikkelissa esitellään ensimmäisiä tuloksia tutkimuksen ensimmäisestä vaiheesta, keskittyen matala-alkalisen tasoitteen vaikutuksiin rakenteen VOC-päästöihin.

2. Vaurioitumisprosessi

Yleinen muovipäällysteisen lattioiden sekundaaristen VOC-päästöjen aiheuttaja on polymeeri estereiden hajoaminen alkalisen hydrolyysireaktion seurauksena, joka tuottaa alkoholeja ja happoja [2]. Hydrolyysireaktion nopeus riippuu kosteuspitoisuudesta tai suhteellisesta kosteudesta (RH), lämpötilasta ja pH:sta. Sekä PVC matot, että jotkut yleisesti käytettävät mattoliimat, kuten akrylaattipohjaiset kopolymeeriliimat, sisältävät estereitä. Tunnetuimmat

reaktiotuotteet ovat 2-etyyli-1-heksanoli (2-EH), joka on PVC:n aiemmin yleisesti käytetyn dietyylihexaftalaatti (DEHP) pehmentimen reaktiotuote ja n-/2-butanoli, joka on di-/isobutyyliftalaatin (DBP/DIBP) reaktiotuote [2]. Myös 2-etyyliheksyyliakrylaattiliiman hajoaminen hydrolyysireaktiossa tuottaa 2-EH emissioita ja n-butyliakrylaattiliiman reaktiotuote on n-butanoli [3]. Viime vuosina edelle mainittujen ftalaattien käyttöä on Eurooppaisella lainsäädännöllä rajoitettu ja niitä ollaan korvaamassa esimerkiksi, di-isononyyliflataatilla (DINP), di-isodekyyliftalaatilla (DIDP), di-isononyylheksahydroftalaatilla (DINCH), di-etyyliheksyyliadiipaattilla (DEHA) tai triglyserideille ja muilla kasviöljypohjaisilla pehmentimillä. Suomessa, uusissa muovipäällysteissä yleisesti käytetyn DINCH pehmentimen hajoamistuotteet ovat tyypillisesti erilaisia pitkäketjuisia alkoholi-isomeerejä (C8...C10) [4]. Asumisterveysasetuksessa (2015) on määritelty toimenpiderajat sisäilman kokonais-VOC päästöille (TVOC 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja joillekin yksittäisille yhdisteille, kuten 2-EH:lle (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Muovipäällysteissä lattiarakenteessa, jossa matto on liimattu paikallavaletun betonilaatan päälle, on periaatteessa otolliset olosuhteet päällysrakenteiden vaurioitumiselle hydrolyysireaktion seurauksena, koska betoni on kosteaa ja sen pH on korkea (noin 12,5). Vaurioitumista on pyritty estämään lähinnä asentamalla muovipäällysteet riittävän kuivan betonin päälle ja aiemmat suomalaiset tutkimukset ovatkin keskittyneet betonin päällystettävyysskriteerien laskennallisiin arviointeihin ja mittaamiseen. Ruotsalaisissa tutkimuksissa on PVC matoissa havaittu hajoamista kun ne olivat kosketuksissa pH 11 nesteen kanssa ja kriittisen pH rajan on arvioitu olevan pH 11 ja 13 välillä [5]. Ruotsalaisissa tutkimuksissa on todettu betonin ja päällysrakenteen välissä käytettävän matala-alkalista tasoitteen (pH ~11...11,5) estävän vaurioitumista.

3. Laboratoriokokeet

3.1 Koekappaleet

Eri materiaaliominaisuuksien ja olosuhteiden vaikutuksen tutkimista varten valmistettiin luonnollisen paksuisia koekappaleita. Koekappaleen valettiin ruostumattomiin teräslaatikoihin, 530x325x100 mm³. Laatikoiden pohjalle asennettiin 20 mm EPS-eristettä, jolloin valetun betonilaatan paksuudeksi tuli 80 mm. Kaikissa betonivaluissa käytettiin kuivabetonia s30 ja vesimentti-suhde oli 0,5. Koekappaleita säilytettiin vakio-olosuhteissa, T = +21 °C ja RH = 50% betonin valun jälkeen, muovilla peitettynä vähintään viikon ajan. Betonin suhteellista kosteutta mitattiin kriittiseltä mittaussyvyydeltä (0,4 x h = 32 mm) [6], kunnes se saavutti päällystyskriteerin RH 85% tai 93%), jonka jälkeen koekappaleisiin asennettiin joko päällyste tai sementtipohjainen matala-alkalinen tasoite. Koekappaleita, joihin asennettiin tasoite, tasoitekerroksen annettiin kuivua viikon ajan ennen päällysteen asentamista. Käytetyt muovimatot olivat julkisen tilan homogeenisiä muovimattoja. Alhaisemmassa päällystyskriteerissä (RH 85%) päällystetyissä koekappaleissa käytetyn muovimatton pehmenin oli DINCH ja korkeammassa päällystyskriteerissä (RH 93%) päällystetyissä oli DINP pehmenin. Molemmilla päällystyskriteereillä ja mattovaihtoehdoilla tehtiin kaksi muuten samanlaista koekappaleita, joissa toisessa oli 5 mm tasoitekerros, toisessa ei. Kaikissa koekappaleissa käytettiin samaa akrylikopolymeeri dispersioliimaa ja liimavalmistajan suosittelemaa synteettistä hartsi dispersioprimeriä. Käytetty tasoite oli itsestään tasoittuvaa sementtipohjaista tasoitetta, jonka pH oli valmistajan mukaan <11.

3.2 Mittaus- ja analyysimenetelmät

Koekappaleista mitattiin suhteellista kosteutta 16, 32 ja 64 mm syvyydelle betonin yläpinnasta, tasoitteen ja betonin sekä tasoitteen ja maton rajapinnoista tietokoneohjatuilla Vaisalan HMP110 lämpötila- ja RH-antureilla sekä Vaisala HMP40 käsimittareilla. Suhteellisen kosteuden mittaamisen lisäksi on seurattu betonin ja tasoitteen pH:n ajallista kehittymistä materiaalinäytteistä Björkin esittämällä mittaumenetelmällä [6]. Betonista tai tasoitteesta porattiin pieni näyte ja $0,5 \pm 0,01$ g porapölyä sekoitettiin $5 \pm 0,2$ g ionipuhdistettua vettä. Kiintoaineksen laskeuduttua laboratoriotutken pohjalle, nesteen pH mitattiin pH-elektrodilla.

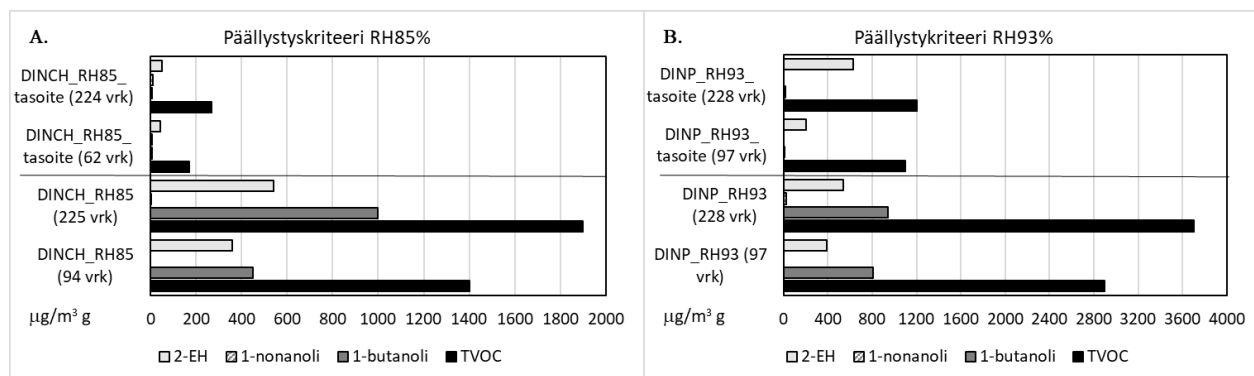
Tutkimuksessa pääasiallisesti VOC-päästöjen määrittäminen valittiin päästöjen analysointi materiaalinäytteistä (Bulk-VOC), koska mahdolliset materiaalien vaurioitumiset havaitaan varhaisemmassa vaiheessa materiaalista (maton, liiman ja alustan rajapinnasta) kuin materiaalin läpi emittoituvassa yhdisteessä (Flec-näytteessä). Muovimatoista otettiin mattoveitsellä leikkaamalla noin 50×50 mm² pala, jossa oli mukana myös liimaa. Materiaalinäyte käärrittiin alumiinifolioon ja muovipussiin ja lähetettiin FINAS-akkreditoituun analysointilaboratorioon. Osasta koekappaleita otettiin myös FLEC pintaemissionäyte Bulk-VOC analyysien vertailuksi. Flec-näytteet otettiin analysointilaboratorion ohjeen mukaisesti.

VOC tulosten analysoinneissa on keskitetty kokonais-VOC (TVOC), 2-etyyliheksanoli (2EH), 1-butanoli ja 1-nonanoli pitoisuuksien vertailuun, koska ne ovat mahdollisen muovipäällysteen hajoamisprosessin indikaattoreita. Lisäksi ne olivat yleisimpiä näytteistä havaittuja yhdisteitä. Materiaalinäytteiden (Bulk) tai pintaemissionäytteiden (Flec) emissioille ei ole olemassa raja-arvoja. Tästä syystä Flec-näytteiden emissiot ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$) on muunnettu eurooppalaisen referenssihuoneen [7] sisäilmapitoisuuksiksi. Eurooppalainen referenssihuone on määritelty seuraavasti: koko 3 m x 4 m x 2,5 m (lattian pinta-ala 12 m² ja ilmatilavuus 30 m³) ja ilmanvaihtuvuus 0,5 1/h.

4. Tulokset

4.1 VOC emissiot materiaalinäytteistä (Bulk)

Kuva 1 esittää materiaalinäytteiden VOC emissiot (vertailuparit DINCH_RH85 tasoitteella ja ilman sekä DINP_RH93 tasoitteella ja ilman). Vasemmanpuoleisessa kuvaajassa tulokset koekappaleista, jotka päällystettiin päällystyskriteerissä RH85% ja oikealla päällystyskriteerissä RH93%. Kustakin koekappaleesta otettiin kaksi samanlaista materiaalinäytettä, ensimmäinen 62 ... 97 vuorokautta päällystämisen jälkeen ja toinen 224 tai 228 vuorokautta päällystämisestä, saman aikaan kuin pintaemissionäytteiden (Flec) kerääminen.



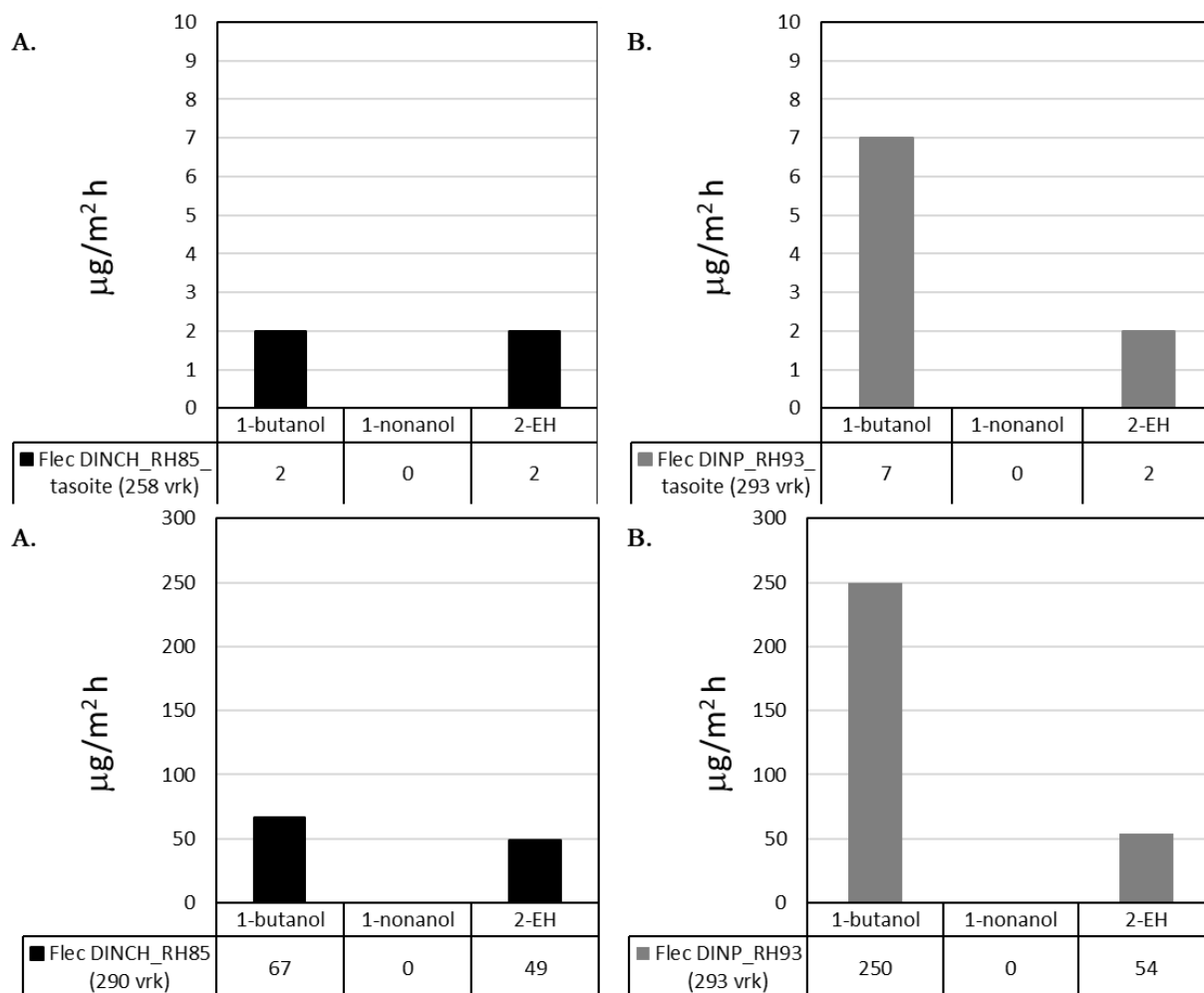
Kuva 1. VOC emissiot materiaalinäytteistä.

4.2 VOC pintaemissiot (Flec)

Taulukossa esitetään vertailu kokonais-VOC (TVOC) pitoisuuksista materiaali- (Bulk) ja pintaemissionäytteistä (Flec). Pintaemissiot on lisäksi muunnettu eurooppalaisen referenssihuoneen sisäilmapitoisuudeksi. Kaikkien koekappaleiden sisäilmapitoisuudeksi muunnetut kokonaispintaemissiot ovat alle Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan (= 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Kuvassa 2 esitetään pintaemissionäytteiden (Flec) 2-EH, 1-nonanoli ja 1-butanoli pitoisuudet.

Taulukko 1. TVOC pitoisuudet materiaalinäytteissä (Bulk) ja pintaemissionäytteissä (Flec). Pintaemissiot muunnettu eurooppalaisen referenssihuoneen sisäilmapitoisuudeksi (Indoor ref.).

Kpl	Bulk-TVOC, $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ g}$	Flec-TVOC, $\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$	Indoor ref. TVOC, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
DINCH RH85	1900	50	40
DINCH RH85 tasoite	270	<20	<16
DINP RH93	3700	160	128
DINP RH93 tasoite	1200	30	24

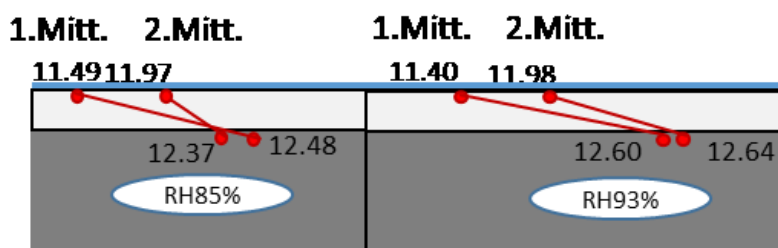


Kuva 2. Pintaemissionäytteiden (Flec) 2-EH, 1-nonanoli ja 1-butanoli pitoisuudet. A: päällystyskriteeri RH85% ja B: päällystyskriteeri RH93%.

Jos pintaemissionäytteiden 2-EH pitoisuudet muunnetaan eurooppalaisen referenssihuoneen sisäilman pitoisuudeksi, molempien koekappaleiden, joissa ei ole tasoitekerrosta, päästöt ($39,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DINCH_RH85 ja $42,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ DINP_RH93) ylittäsivät Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan (= $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Toisaalta korkeammassa päälystyskriteerissä (RH 93%) päälystetyn koekappaleen, jossa on tasoitekerros (DINP_RH93_tasoite) materiaalinäytteen 2-EH pitoisuus on korkea (Kuva 1), mutta pintaemissionäytteen 2-EH pitoisuus suhteellisen alhainen. Todennäköisesti tässä tapauksessa alkanut hajoamisprosessi on jo havaittavissa materiaalinäytteessä mutta ei vielä pintaemissioissa. Maton tai liiman hajoamistuotteiden tulee ensin emittoitua tiiviin muovimaton läpi ennen kuin ne havaitaan pintaemissionäytteessä (Flec).

4.3 Materiaalien pH

Samanaikaisesti kun otettiin VOC-näytteitä, määriteltiin päälystettä vasten olevan tasoitekerroksen yläosan ja betonilaatan yläosan pH. Koekappaleissa, joissa ei ole tasoitekerrosta päälystettä vasten olevan betonikerroksen pH oli suhteellisen sama, $\sim 12,6$, molemmissa koekappaleissa ja mittauksissa. Koekappaleessa, joka oli päälystetty RH 85%, tasoitteen pH päälysteen alla oli ensimmäisessä mittauksessa 11,49 ja toisessa 11,97, kun vastaavasti betonin yläosan pH oli 12,48 ja 12,37 (Kuva 3). Tasoitekerroksen betonia vasten olevan alaosan pH mitattiin toisella mittauskerrolla ja se oli 12,04. Koekappale, joka päälystettiin RH 93%, tasoitteen pH päälysteen alla oli ensimmäisessä mittauksessa 11,40 ja toisessa mittauksessa 11,98. Vastaavasti betonin yläosan pH oli 12,60 ja 12,64.



Kuva 3. Betonin yläosan ja tasoitekerroksen pH-profiilit.

5. Analyysi

Kohonneita VOC päästöpitoisuuksia, jotka indikoivat lattiapäilysteen (maton tai liiman) hajoamista alkalisen hydrolyysin seurauksena, havaittiin koekappaleissa, joissa matto oli liimattu suoraan betoniin. Jopa yleisten päälystysohjeiden mukaista päälystyskriteeriä vastaavassa kosteudessa (RH 85%) päälystetyn koekappaleen pintaemissionäytteiden pitoisuudesta eurooppalaiseen referenssihuoneen sisäilmanpitoisuudeksi muunnettu 2-EH pitoisuus ylittäisi Asumisterveysasetuksen toimenpiderajan. 5 mm kerros matala-alkalista tasoitetta näyttäisi estävän lattiapäilysteen alkalisia hydrolyysireaktiota. Materiaalinäytteiden kokonais-VOC (TVOC) pitoisuudet niissä koekappaleissa, joissa oli matala-alkalinen tasoite, olivat 14...32% pienemmät verrattuna kappaleisiin ilman tasoitetta. Suurin vaikutus tasoitteella oli koekappaleissa, jotka oli päälystetty RH 85%.

Mitatut betonin ja matala-alkalisen tasoitteen pH:t vastasivat ruotsalaisessa tutkimuksessa mitattuja [8]. Betonin pH oli noin 12,6 kaikissa mittauksissa ja tasoitekerroksen betonia vasten olevan alaosan pH nousi hieman, erityisesti korkeammassa kosteudessa päälystetyssä

koekappaleessa. Tämä johtuu kosteasta betonista tasoitteeseen kulkeutuvista hydroksidi ioneista. Koekappaleiden jatkomittauksilla selvitetään kuinka pysyvästi tasoitekerroksen pH pysyy alle kriittisen rajan estäen päällysrakenteiden alkalista hydrolyysiä.

6. Yhteenveto

Laboratoriokokeiden mukaan muovipäällysteen (maton ja liimojen) hajoamista alkalisen hydrolyysin seurauksena voi tapahtua, kun päällyste on asennettu suoraan betonin päälle. Jopa suhteellisen alhaista päällystyskriteeriä vastaavassa kosteudessa (RH 85%) havaittiin hajoamista. 5 mm kerros matala-alkalista tasoitetta betonin ja päällysteen välissä näyttäisi suojaavan päällystettä vaurioitumiselta. Suojausvaikutus oli parempi, kun koekappale oli päällystetty RH 85% kuin korkeammassa kosteudessa (RH 93%) päällystetyssä. Edelleen käynnissä olevilla mittauksilla pyritään arvioimaan kuinka tehokkaasti tasoitekerros suojaa päällysteitä pidemmän ajanjakson kuluessa ja määrittämään tarvittava tasoitepaksuus. Ensimmäisten tulosten perusteella suositellaan käyttämään betonin ja liimatun muovipäällysteisen lattian pintarakenteen välissä matala-alkalista tasoitetta, noudattaen olemassa olevia päällystämisohjeita.

Lähdeluettelo

- [1] Sosiaali- ja terveysministeriö. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015.9.
- [2] Uhde, E. ja Salthammer, T. 2007. Impact of reaction products from building materials and furnishing on indoor air quality - A review of recent advances in indoor chemistry. *Atmospheric Environment* 41: 3111-3128.
- [3] Chino, S., Kato, S., Seo, J. ja Ataka, Y. 2009. Study on emission of decomposed chemicals of esters contained in PVC flooring and adhesive. *Build. Environ.*, vol. 44, no. 7: 1337-1342.
- [4] Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje, Osa III Asumisterveysasetus § 14-19.
- [5] Sjöberg, A. ja Ramnas, O. 2007. An experimental parametric study of VOC from flooring systems exposed to alkaline solutions. *Indoor Air* 2007, 17, s. 450–457.
- [6] Betonirakenteiden päällystämisen ohjeet. 2008. Suomen Betonitieto Oy. 47 s.
- [7] CEN/TS 16516. 2013. Construction products – Assessment of release of dangerous substances – Determination of emissions into indoor air. European Committee for Standardization.
- [8] Anderberg, A. ja Wadsö, L. 2007. Hydroxide ion concentration at the interface between concrete and self-levelling flooring compound. *Nordic Concrete Research*, 36: 37-47.

Altistumisolosuhteiden arviointi ja erilaiset altistemittaukset rakennusten sisäilmastotilanteen selvittämisessä

Kaisa Jalkanen¹, Martin Täubel¹, Asko Vepsäläinen¹, Maria Valkonen¹, Kati Huttunen², Arto Köliö³, Anne Hyvärinen¹

¹ Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Terveysturvallisuusosasto, Ympäristöterveysyksikkö

² Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos

³ Renovatek Oy

Tiivistelmä

Suomen Akatemian rahoittamaan ja Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen koordinoimaan REMEDIAL-hankkeeseen (Rakennuksen kosteusvaurion vaikutus sisäympäristön mikrobiomiin ja altistumisen vaikutukset keuhkokudoksessa - REMEDIAL konsortio) rekrytoitiin terveysvalvontayksiköiden ja omien kanavien kautta mukaan 30 Itä- ja Keski-Suomessa sijaitsevaa omakoti- ja rivitalokohdetta. Kohteisiin tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia ja tutkimusten tulosten perusteella tehtiin altistumisolosuhteiden arviointia rakennuksissa. Kohteet jaoteltiin altistumisen arvioinnin perusteella neljään altistumisen todennäköisyys -luokkaan. Altistumisolosuhteen arvioinnissa sovellettiin Työterveyslaitoksen kehittämää mallia altistumisolosuhteen arvioinnista työpaikoilla [1]. Kohteista kerättiin useita erilaisia ilma- ja pölynäytteitä joita analysoitiin eri menetelmillä kuten viljely, kvantitatiivinen polymeerasiketjureaktio eli qPCR, VOC-analyysi, toksisuustestaus sekä toksiinianalyysi. Lisäksi kohteissa seurattiin näytteenoton aikana olosuhdetieto sekä partikkelilaskurilla ilman hiukkaspitoisuutta. Eri analyysien tuloksia ja olosuhdetietoja verrattiin altistumisen todennäköisyyteen rakennuksissa. Tähän mennessä analysoitujen tulosten perusteella minkään näytetyypin tai menetelmän tulokset eivät systemaattisesti korreloineet altistumisen todennäköisyyden suhteen, mikä korostaa edelleen kokonaisvaltaisten rakennusteknisten tutkimusten merkitystä rakennusten sisäilmastotilanteiden selvittämisessä.

1. Johdanto

Rakennusten sisäilmastotilanteiden selvittäminen toteutetaan tyypillisesti kokonaisvaltaisten rakennusteknisten tutkimusten avulla. Tarvittaessa erilaiset mittaukset ja analyysit ovat tärkeä osa selvitystä. Kokonaisvaltaisen tutkimuksen ja tarvittavien mittausten antamien tietojen avulla voidaan rakennuksen kunnan selvittämisen lisäksi käyttää saatuja tietoja rakennuksen altistumisolosuhteen arviointiin. Kokonaisvaltaiset rakennustekniset tutkimukset tarvittavine mittauksineen ovat arvokkaita, minkä takia erilaisia yksittäisiä mittauksia ja analyysijä käytetään sisäilmastotilanteiden selvittämisen tai jopa altistumisolosuhteen arvioinnin perustana. Tyypillisesti yksittäisten mittausten avulla ei voida selvittää rakennuksen kuntoa tai tehdä altistumisolosuhteen arviointia.

2. Kohteet ja menetelmät

2.1 Kohteet

Tutkimuskohteiksi REMEDIAL-hankkeeseen värvättiin vaurioepäilykohteita kunnallisten terveysvalvontayksiköiden sekä muiden yhteistyötahojen kautta. Jokaiselle vaurioepäilykohteelle

värvättiin vastaava referenssikohde eli ei-vaurioitunut rakennus, jossa ei asukkaiden mukaan esiintynyt kosteusvaurioita tai rakennukseen liitettyä oireilua. Referenssikohteet hankittiin omien kanavien kautta esim. sähköpostikyselyjen ja tiedotteiden avulla. Referenssikohteet valittiin vastaamaan mahdollisimman hyvin vauriokohteita mm. iän, sijainnin, koon, perustustyypin, runkorakenteen, ilmanvaihtojärjestelmän ja henkilömäärän mukaan. Kaikki kohteet olivat omakoti- ja rivitalokohteita ja sijaitsivat Itä- ja Keski-Suomessa ja ne oli rakennettu vuosina 1924–1989. Suurin osa kohteista (14 kpl) on rakennettu 1940- ja 1950-luvulla. Kohteet ovat puurunkoisia, joihin liittyi betonisia kellari- ja alapohjarakenteita. Vanhin kohde (rakennettu 1924) oli hirsirunkoinen.

2.2 Kuntotutkimukset ja altistumisolosuhteen arviointi

Hankkeen kaikkiin (n=30) kohteisiin tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia mahdollisten epäpuhtaustekijöiden tunnistamiseksi. Tutkimusten 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 [2] tehtyjen tutkimusten perusteella saatiin viitteitä tätä tutkimusotosta vastaavien pientalojen rakenteiden tyypillisistä ominaisuuksista ja kosteusteknisistä toimivuuspuutteista. Kosteusteknisten tutkimusten perusteella kaikille kohteille tehtiin altistumisolosuhteiden arviointia eli määritettiin epäpuhtaustekijöille altistumista rakennuksessa. Altistumisen arvioinnissa huomioitiin epäpuhtauksille ja olosuhdehaitoille altistumisen todennäköisyyttä, määrää, laatua ja kestoaa. Kohteet jaoteltiin altistumisen arvioinnin perusteella neljään luokkaan: altistuminen erittäin todennäköistä (n=3), altistuminen todennäköistä (n=13), altistuminen mahdollista (=7), altistuminen epätodennäköistä (n=7) (Taulukko 1.). Altistumisolosuhteen arvioinnissa sovellettiin Työterveyslaitoksen kehittämää mallia altistumisolosuhteen arvioinnista työpaikoilla [1]. Luokituksen soveltamisessa otettiin huomioon mikrobivaurioiden laajuus ja ilmavuotoreiitit vaurioituneista rakenteista. Materiaalien mahdollisia kuitulähteitä, M1-päästöluokitusta tai tilan sisäilman laadun ohjearvoja ei voitu käyttää kriteereinä tutkituissa kohteissa.

Taulukko 1. Kohteiden jakautuminen altistumisen todennäköisyys -luokkiin

Altistumisen todennäköisyys -luokka	Kohteiden lukumäärä
Altistuminen erittäin todennäköistä	3
Altistuminen todennäköistä	13
Altistuminen mahdollista	7
Altistuminen epätodennäköistä	7
Yhteensä	30

2.3 Menetelmät ja näytteet

Kohteista kerättiin useita erilaisia ilma- ja pölynäytteitä, joita analysoitiin eri menetelmillä (Taulukko 2). Kohteiden lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä hiilidioksidipitoisuutta seurattiin näytteiden keräämisen aikana Climabox3-olosuhdeloggerilla ja ilman hiukkaspitoisuutta Lighthouse-partikkelilaskurilla.

Taulukko 2. Kohteista kerätyt näytetyypit ja analysointimenetelmät

Näytetyyppi	Menetelmä	Muuta
Ilmanäytteet	mikrobit, viljely	Asumisterveysasetuksen (545/2015) ja sen soveltamisohjeen (2016) mukainen menetelmä
Ilmanäytteet	mikrobit, qPCR	Näytteenottoaika n. 2 h
Ilmanäytteet	mikrobit, qPCR	Näytteenottoaika keskimäärin 83 h 8 päivän aikana
Ilmanäytteet	VOC-yhdisteet, GC-MS	Radiello passiivikeräin, 7 vrk
Pölynäytteet	mikrobit, qPCR	Laskeututut pöly, 2 vkoa
Pölynäytteet	mikrobit, qPCR	Mattopöly, 2 min, 1 m ²
Pölynäytteet	toksiinit, HPLC/ESI-MS/MS	Mattopöly, 2 min, 1 m ²
Pölynäytteet	kokonaistoksisuus, <i>E.coli</i> -lux -mittaus	Pyyhintöpöly, kolme näyteparia

Andersen 6-vaihekeräimellä otettiin ilmanäytteet kohteiden sisäilmasta. Lisäksi ulkoilmanäytteitä otettiin aina, kun se sään puolesta oli mahdollista. Näytteet otettiin ja analysoitiin Asumisterveysasetuksen [3] ja sen soveltamisohjeen [4] mukaisesti.

Sisäilman qPCR -analyysijä varten otettiin Button-keräimellä lyhyt- ja pitkäkestoisia suodatinnäytteitä. Lyhytaikaiset näytteet otettiin myös ulkoilmasta, jos se oli sään puolesta mahdollista. Keräysaika oli lyhytkestoisilla näytteillä n. 2 h ja pitkäkestoisilla näytteillä keskimäärin 83 h (8 päivän aikana). Virtausnopeus oli molemmilla näytetyypeillä n. 4 l/min. Suodattimilta eristettiin DNA ja analysoitiin qPCR -sovelluksilla sienten kokonaispitoisuus [5] ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii* -ryhmä [6].

Kemiallisia yhdisteet (VOC-yhdisteet) kerättiin kohteista Radiello -passiivikeräimellä. Keräimet olivat kohteissa 7 vrk. Näytteistä analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrillä (GC-MS) n. 30 yksittäistä yhdistettä sekä laskettiin yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC).

Laskeutuneen pölyn näyte kerättiin kohteista kahden viikon ajan neljälle petrimaljalle kerääntyneestä pölystä. Näytteistä eristettiin DNA ja analysoitiin qPCR -sovelluksilla sienten kokonaispitoisuus [5] ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii* -ryhmä [6].

Mattopölynäytteitä qPCR-analyysijä varten kerättiin tyypillisesti olohuoneesta matolta 1 m² tai lattialta 4 m² pinta-alalta 2 minuutin ajan imuroimalla. Mattopöly esikäsiteltiin ja osanäytteestä eristettiin DNA, josta analysoitiin ns. FERMI-analyysia varten *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus versicolor*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium crustosum* -ryhmä, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* ja *Epicoccum nigrum* qPCR -sovellukset [7] sekä sienten kokonaispitoisuus [5] ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii* -ryhmä [6].

Mattopölynäytteistä (ks. edellä) punnittiin lisäksi osanäyte (n. 50 µg) toksiinianalyysiin. Toksiinit määritettiin nestekromatografi-massaspektrometri (HPLC/ESI-MS/MS) analyysillä [8], joka määrittää näytteestä yli 400 eri toksiinia ja muuta sekundäärimetaboliittia.

Näytteet kokonaistoksisuusanalyysiin otettiin analyysin suorittavan laboratorion ohjeiden mukaisesti pyyhintöpölynäytteinä tikuilla polyeteeniputkiin kohteen oleskelutilan (tyypillisesti olohuone) pinnoilta. Jokaisesta kohteesta otettiin kolme näyteparia.

2.4 Tulosten tilastollinen analysointi

Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SAS -tilasto-ohjelmalla, versio 9.3. Vaurio- ja vertailukohteista kerätyistä näytteistä analysoitujen tulosten eroja testattiin Wilcoxon Two-Sample -testillä. Mattopölystä qPCR -menetelmällä määritetty FERMI -indeksi laskettiin, kuten on aiemmin esitetty[7].

3. Tulokset

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata kohteista kerätyistä näytteistä analysoituja tuloksia sekä kerättyjä olosuhdetietoja kohteiden altistumisen todennäköisyys -luokitukseen. Työpaikoille tarkoitettuna altistumisen todennäköisyys -luokituksen soveltamiseen asuinrakennusten arvioimiseen liittyi haasteita ja epävarmuuksia esim. 1) kosteus- ja mikrobivaurioiden sijainnin, 2) vauriokohtien lukumäärän, 3) huonetilojen käyttötarkoituksen, 4) kulku- ja ilmayhteyksien sekä 5) tilojen käyttöasteen suhteen. Tähän mennessä kaikkien hankkeessa kerättyjen ja analysoitujen näytteiden tuloksista on tilastollisesti käsitelty sisäilman viljelynäytteet, sisäilman lyhyt- ja pitkäaikaiset qPCR analyysit, mattopölyn FERMI-indeksi sekä yksittäiset qPCR-analyysit (sienten kokonaispitoisuus [5] ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii* -ryhmä [6]), laskeutuneen pölyn qPCR analyysit, VOC-analyysit sekä toksisuusanalyysit. Toistaiseksi analysoitujen tulosten perusteella minkään näytetyypin tai menetelmän tulokset eivät systemaattisesti korreloineet kohteiden altistumisen todennäköisyyden suhteen (Taulukko 3.). Tulokset analysoitiin koko aineiston lisäksi siten, että altistumisen suhteen epäselvin eli altistuminen mahdollista -luokka jätettiin pois analyysistä aineiston polarisoimiseksi, mutta tulokset eivät muuttuneet. Loput tulokset tullaan analysoimaan syksyn 2019 aikana.

*Taulukko 3. Yhteenveto tuloksista. ↑ = Pitoisuudet korkeammat altistuminen todennäköistä – luokassa, ↓ = Pitoisuudet matalammat altistuminen todennäköistä –luokassa, *Tuloksia ei voitu analysoida tilastollisesti (tulokset alle määrittäysrajan)*

Näyte- tyyppi	Menetelmä	Tulos	Tuloksen tilastollinen merkitsevyys
Ilmanäyte	Viljely, sienten kokonaispitoisuus	↑	ei tilastollisesti merkittävä
Ilmanäyte	qPCR, 2 h, sienten kokonaispitoisuus	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Ilmanäyte	qPCR, 2 h, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Ilmanäyte	qPCR, 1 vko, sienten kokonaispitoisuus	↑	ei tilastollisesti merkittävä
Ilmanäyte	qPCR, 1 vko, PenAsp -ryhmä	↑	ei tilastollisesti merkittävä
Ilmanäyte	TVOOC	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	Mattopöly, qPCR, sienten kokonaispitoisuus	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	Mattopöly, qPCR, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	Mattopöly, qPCR, FERMI	↓	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	Laskeutunut pöly, qPCR, 2 vko, sienten kokonaispitoisuus	↑	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	Laskeutunut pöly, qPCR, 2 vko, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↑	ei tilastollisesti merkittävä
Pölynäyte	kokonaistoksisuus	-*	-

4. Yhteenveto

Rakennuksen kokonaisvaltaisen tutkimuksen sekä tarvittavien mittausten antamien tietojen avulla voidaan rakennuksen kunnon selvittämisen lisäksi käyttää saatuja tietoja rakennuksen

altistumisolosuhteen arviointiin. Kuitenkin erilaisia yksittäisiä mittauksia ja analyysyjä käytetään sisäilmastotilanteen selvittämisen tai jopa altistumisolosuhteen arvioinnin perustana, vaikka yksittäisten mittausten avulla ei saada riittävää tietoa kokonaistilanteesta. REMEDIAL-hankkeessa tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia ja altistumisolosuhteen arviointi 30 omakoti- ja rivitaloon ja kohteista kerättiin useita erilaisia näytteitä, jotka analysoitiin erilaisilla menetelmillä. Mitkään yksittäisten näytteiden tuloksista eivät korreloineet kohteissa altistumisen todennäköisyyden kanssa. Tämän tutkimuksen tulokset korostavat yksittäisten määritysten epävarmuutta ja edelleen kokonaisvaltaisten rakennusteknisten tutkimusten merkitystä rakennusten sisäilmastotilanteiden selvittämisessä. Myös altistumisolosuhteen arviointia asuinrakennuksille tulisi kehittää edelleen.

Lähdeluettelo

- [1] Lappalainen, S., Reijula, K., Tähtinen, K., Latvala, J., Hongisto, V., Holopainen, R., Kurttio, P., Lahtinen, M., Rautiala, S., Tuomi, T. ja Valtanen, A. 2016. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos.
- [2] Köliö, A., Jalkanen, K., Annala, P. 2017. Havainnot vanhojen pientalojen rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta Remedial-tutkimushankkeessa. Rakennusfysiikka 2017: Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, 24-26.10.2017, Tampere.
- [3] Asumisterveysasetus. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asetus 545/2015
- [4] Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. 2016. Osa IV Mikrobiologiset olot. Ohje 8/2016. Valvira.
- [5] Haugland, RA., Vesper, S. 2002. Method of identifying and quantifying specific fungi and bacteria. US patent, 2002 6:3741-3751.
- [6] Haugland, RA., Varma, M., Wymer, LJ., Vesper, S. 2004. Quantitative PCR analysis of selected *Aspergillus*, *Penicillium* and *Paecilomyces* species. *Systematic and Applied Microbiology*. 27(2):198-210.
- [7] Täubel, M., Karvonen, AM., Reponen, T., Hyvärinen, A., Vesper, S., Pekkanen, J. 2015. Application of the Environmental Relative Moldiness Index in Finland. *Applied and Environmental Microbiology*. Nov 6;82(2):578-84
- [8] Vishwanath V, Sulyok M, Labuda R, et al. 2009. Simultaneous determination of 186 fungal and bacterial metabolites in indoor matrices by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem* 395(5):1355-72.

Vanhojen tehdasrakennusten muuntorakentamiseen liittyvät sisäilma- ja rakennustekniset riskit

Sami Mustajoki, Annu Ruusala, Jussi Rauhala
A-Insinöörit

Tiivistelmä

Artikkelissa käsitellään vanhoja massiivitiilikuorisista sekarunkoisista tehdasrakennuksista, jotka on rakennettu noin 1920-1950. Tehdasrakennusten rakenteet ovat osittain tyypillisiä myös aikakauden kerrostaloissa. Rakennusratkaisut, suojelumääräykset ja monimuotoinen rakennushistoria voivat aiheuttaa haasteita muuntorakentamiselle. Rakenteita joudutaan usein kartoittamaan suunnittelua varten.

Rakenteiden kosteusteknistä toimintaa sekä akustiikkaa joudutaan tyypillisesti korjaamaan muuntorakentamisen yhteydessä. Artikkelissa käydään läpi vaatimusten perusteita ja esitellään tyypillisiä rakenne- ja korjausratkaisuja sekä niihin liittyviä haasteita.

Tehdasrakennukset poikkeavat muista käyttötarkoituksista kohteissa esiintyvien haitta-aineiden osalta, minkä vuoksi tutkimusten suunnitteluun tulee kiinnittää erityistä huomiota. Rakennuksen teolliseen historiaan tulee perehtyä kattavasti ennen kartoituksen tekoa. Oleellisia tietoja ovat käytetyt kemikaalit ja teolliset prosessit. Rakennusmateriaalien analyysien valitsemisessa täytyy valita oikeat menetelmät, jotta kaikki haitta-aineet saadaan kartoitettua.

1. Johdanto

Tehdasrakennusten korjaamisen tekee tyypillisesti haastavaksi rakenteet, suojelumääräykset ja monimuotoinen rakennushistoria, josta ei aina ole saatavilla tarvittavaa dokumentaatiota. Rakenteita joudutaan usein kartoittamaan suunnittelua varten. Suunnittelussa, tutkimuksessa ja rakentamisessa täytyy olla huolellinen, jotta rakenteet saadaan vastaamaan uuden käyttötarkoituksen vaatimuksia ja voidaan varmistua, että rakenteista ei ole haittaa sisäilman laadulle.

Rakennusratkaisuissa on joitakin tyypirakenteita, jotka asettavat muuntorakentamiselle haasteita. Vanhojen tehdasrakennusten alkuperäisessä käytössä ei ole huomioitu rakenteiden akustisia ominaisuuksia, minkä vuoksi rakenteiden akustisia ominaisuuksia joudutaan parantamaan kattavasti korjaushankkeissa.

Ennen korjausten aloittamista tarvitaan Valtionneuvoston asetuksen 798/2015 mukainen selvitys rakennuksessa esiintyvistä asbesti- ja haitta-aineista. Tehdasrakennuksissa esiintyy yleisesti vanhasta toiminnasta peräisin olevia haitta-ainejäämiä, joilla voi olla haitallisia vaikutuksia rakennuksen sisäilman laatuun.

2. Rakenteet

Aikakaudelle 1920-1950 on ollut tyypillistä käyttää vähän tai ei ollenkaan eristeitä [1]. Mikäli eristeitä käytettiin, saattoivat ne olla orgaanista materiaalia kuten korkkia tai lastuvillaa. Ulkokuoret muurattiin puolestatoista tai kahdesta tiilestä. Kerrostaloissa tyypillisesti käytettiin alalaattapalkistoa ja tehdasrakennuksissa ylälaattapalkistoa. Konttoriosissa rakennettiin myös

kaksoislaattapalkistoa ääneneristykseen vuoksi. Yläpohjien eristämiseksi käytettiin toisinaan kaksoislaattoja eristetäytöllä. Kantavarakenne oli tehtaissa teräsbetoninen pilari-palkki-runko. Rappukäytävät muurattiin tiilestä tai valettiin betonista. Alapohjat rakennettiin lämmöneristämättöminä.

Teollisten rakennusten alkuperäisessä käytössä rakennuksen kosteustuotto on voinut olla merkittävä, minkä vuoksi ikkunapenkeissä on toisinaan vedenpoistourat. Kosteusrasituksen vuoksi rakenteissa voi olla vanhoja vaurioita.

3. Rakenteiden lämpö- ja kosteustekninen toimivuus

Massiivitiilimuuri on pääasiassa ulkoseinärakenteena toimiva. Massiivitiilimuurin lämmöneristävyys ei ole kovin suuri (kahden tiilen muurille $U \approx 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Ikkunapalkit saatiin tehdä kokonaan eristämättöminä, jolloin niillä on kylmäsilta vaikutus. Massiivitiilisen ulkoseinän ulkopuolelle voidaan lisätä eristystä, esimerkiksi rappaus, mikäli rakennuksen suojele ei estä sitä. Massiivitiilikuorta on saatettu ummistaa ajan saatossa. Tuulettumattomissa tiili-villa-tiilirakenteisissa ulkoseinissä kosteus usein aiheuttaa mikrobivaurioita ulkoseiniin.

Maanvastaisissa rakenteissa yleensäkin ongelmia tuottaa kosteudeneristys. Kosteudeneristys on toteutettu pikisivelyillä, jotka eivät vanhettuaan pidä vettä. Rakennuspohjana maa-aines voi olla hyvinkin kapillaarista ja kosteaa. Maanvastaiset laatat lämmöneristämättöminä siirtävät kosteutta lävitseen sisäilmaan, jolloin pinnoitevalintoihin on kiinnitettävä huomiota. Maasta tai anturoista siirtyvä kosteus voi aiheuttaa kalkkihärmää ja mikrobivaurioita rakenteisiin.

Kosteusteknistä toimintaa voi olla vaikea parantaa, sillä rakennukset on saatettu rakentaa puupaalujen varaan, jolloin salaojitus ei tule kyseeseen. Vedeneristeen lisääminen perusmuurin ulkopuolelle saattaa parantaa rakenteen toimivuutta.

4. Akustiikka

4.1 Vaatimukset

Rakennusten akustiikkaa koskevat uudet säädökset ovat olleet voimassa 2018 vuoden alusta alkaen. Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä [2] koskee uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamista. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä [3] julkaistiin kesäkuussa 2018. Ohjeessa opastetaan ääniympäristön suunnitteluun ja todentamiseen liittyvistä menettelytavoista, joilla asetuksen 796/2017 vähimmäisvaatimukset voidaan saavuttaa. Ohje ei ole sitova, mutta sen voidaan katsoa edustavan hyvää rakentamistapaa ääniympäristön suhteen.

Ääniympäristöasetuksen 7§ mukaan rakennuksen ja sen ulko-oleskelualueiden akustisia olosuhteita ei saa heikentää rakennuksen korjaus- tai muutostyössä. Rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa akustiset olosuhteet on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääniympäristöstä ei aiheudu asukkaille haittaa. Ääniympäristöohjeen mukaan käyttötarkoituksen muutoksen vaatimustenmukaisuuden voidaan katsoa toteutuvan, jos se suunnitellaan noudattaen ääniympäristöasetuksen vaatimuksia ja ääniympäristöohjeessa annettuja ohjeita. Eli edelleen [4] käyttötarkoituksen muutoksissa on syytä suunnitella ratkaisut uudisrakentamisen vaatimuksia noudattaen. Toki poikkeuksiakin on esimerkiksi suojelupäätösten takia, jolloin riittävät ratkaisut arvioidaan tapauskohtaisesti lupamenettelyn yhteydessä.

Rakennusten käyttötarkoituksen muutokset liike- ja tehdasrakennuksista tai vastaavista asunnoiksi luokitellaan akustiikan suunnittelutehtävänä poikkeuksellisen vaativaksi. Rakennusten käyttötarkoituksen muutokset liike- ja tehdasrakennuksista oppilaitoksiksi tai terveydenhuollon rakennuksiksi luokitellaan vaativa+ suunnittelutehtäväksi. Suunnittelutehtävien vaativuuserot korreloivat valmiin rakennuksen akustisten olosuhteiden mukaan. Asunnoissa on tiukemmat tilojen väliset akustiset vaatimukset kuin oppilaitoksissa tai toimistoissa.

4.2 Haasteet

Vanhoja tehdasrakennuksia on usein yrityksen toiminnan kasvaessa korotettu tai laajennettu, usein vieläpä monessa vaiheessa. Tällaisen rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuessa asunnoiksi voidaan joutua tilanteeseen, jossa tulevan asuinhuoneiston sisällä on eri koroissa olevia vanhoja kantavia rakenteita. Tämä johtaa edelleen siihen, että joissakin osissa rakennusta uusille rakennekerroksille on runsaasti tilaa, mutta toisaalla ne on tehtävä hyvin pienen rakennekerroksen sisällä. Vanhojen rakenteiden kantavuus voi asettaa uusille rakennekerroksille rajoituksia. Näistä syistä korjausrakentamisen akustiikkasuunnittelussa onkin usein ideoitava innovatiivisia ratkaisuja.

Tehdasrakennusten rakenteet voivat olla sekä ohuita betonisia ja muurattuja rakenteita että muurattuja rakenteita, joiden sementti- tai kipsipohjainen rakennusmateriaali on kevyttä. Molemmista tapauksista rakenteen koinsidenssin rajataajuus on kuulon kannalta keskeisellä alueella, tyypillisesti 400 ja 1000 Hz välillä, mikä on ääneneristyksen osalta selvä heikkous.

4.3 Ratkaisuja

4.3.1 Välipohjarakenteena ylälaattapalkisto, ohut ylälaatta ~100 mm, sekundääripalkit k~1200

Ohut ylälaatta on ääneneristysominaisuuksiltaan yksinään riittämätön täyttämään asuntojen välillä vaadittuja ilma- ja askelääneneristävyksiä. Lisäksi se toimii tehokkaana sivutiesiirtymäreittinä vierekkäisten asuntojen välillä, mikä johtaisi vaatimusten alitukseen, vaikka erottava väliseinä olisikin muutoin riittävä.

Yksinkertaisin ratkaisu ääneneristävyden parantamiseksi olisi massan lisäys siten, että ylälaatan paksuus olisi uudistuotannon mukainen. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista suureksi kasvavien kuormitusten takia, mikä edellyttäisi kantavien rakenteiden vahvistuksia. Usein joudutaankin hyödyntämään kerroksellisia rakenteita joko siten, että ylälaattaa vahvistetaan tai tehdään kelluva pintalaatta sekä alapuolelle joustavasti ripustettu ääntä eristävä alakatto (kuva 1).

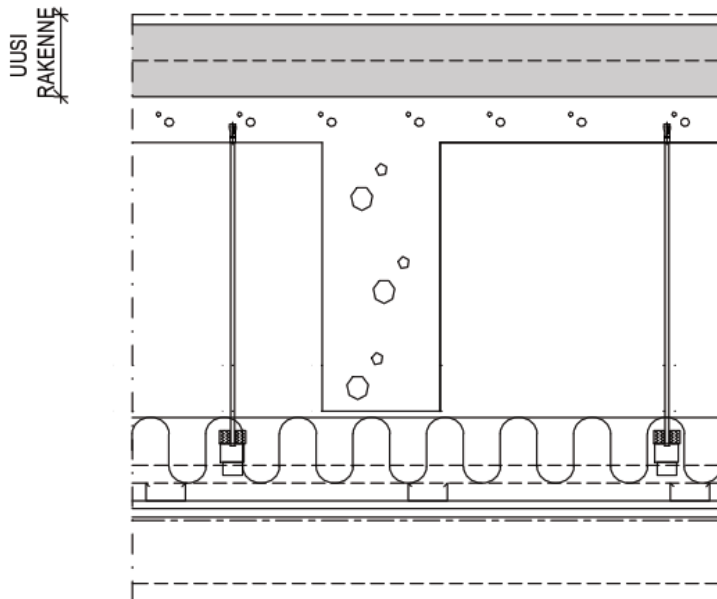
Oppilaitoksissa tai toimistokohteissa ei välttämättä tarvita näin rankkoja rakenteita ja niissä yleensä riittää, että ylälaattaa ei vahvisteta ja palkkiväleihin tai sekundääripalkkien alapuolelle tehdään ääntä eristävä alakatto. Poikkeuksia oppilaitoksissa ovat erityisopetustilat kuten musiikkiluokat, teknisen työnopetustilat ja liikuntatilat.

4.3.2 Massiivitiilikuoren ilmaonkalot

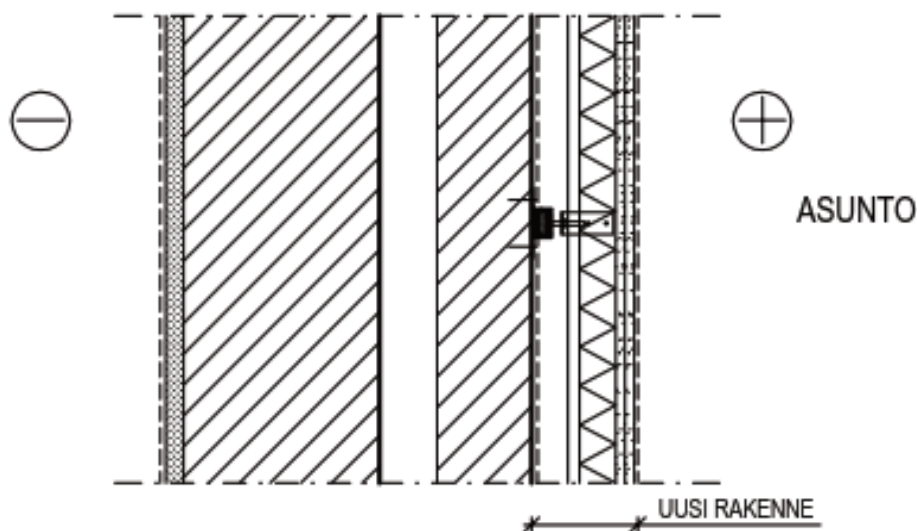
Ulkoseinän massiivitiilimuuraus voi sisältää eristekerrokseksi jätettyjä ilmaonkaloita, jotka voivat olla sivutiesiirtymäreittinä merkittäviä. Merkittävyys riippuu tulevasta käyttötarkoituksesta ja

ilmaonkalon sijainnista muurauksessa, ja on suurimmillaan silloin, kun asuinhuoneiston sisäpuolelle on jäämässä puolen kiven tai alle puolen kiven paksuisia osuuksia.

Akustiikan osalta riittävä ratkaisu olisi ilmaonkalon täyttäminen betonivalulla, mutta tämä ei yleensä muista syistä johtuen käy. Toisena vaihtoehtona voisi olla sisäpuolisen muurauksen katkaisu välipohjien ja huoneistoja erottavien väliseinien kohdalta. Jos sekään ei onnistu, niin ratkaisuna on tehdä asuntokohtaiset ääntä eristävät levyseinät äänen sivutiesiirtymää estämään (kuva 2). Jotta rakenteesta saadaan tehokas, tulee vanhan seinäpinnan ja levyjen välisen etäisyyden olla riittävän suuri ja levyseinän rankojen irti vanhasta seinäpinnasta.



Kuva 1 Välipohjarakenne, jossa ylälaatta on vahvistettu ja sekundääripalkkien alapuolella on joustavasti ripustettu ääntä eristävä alakatto.



Kuva 2 Ulkoseinärakenne, jossa on ohuen sisäpuolisen tiilimuurauksen vuoksi tehty ääntä eristävä levyseinä.

5. Öljyhiilivedyt tehdasrakennuksien rakenteissa

Öljyhiilivetyjä esiintyy yleensä tehdasrakennuksissa alueilla, joissa on ollut tuotantokoneita, voimansiirtoakseleita, moottoriajoneuvojen ja polttonesteiden varastointia. Tuotantokoneiden ja voimansiirtoakseleita on voideltu voiteluöljyllä, minkä vuoksi öljyhiilivetyjä on valunut rakennusten betonilattioille ja tiiliseinien alareunoihin. Välipohjalle valunut voiteluöljy voi näkyä alapuolisen kerroksen katossa värjäyminä.



Kuva 3. Verlan tehdasmuseossa on voimansiirtoakselien alla öljyn keräysastiat. Palkkirakenteissa on akselien kannattimien kohdilla erillisiä betonirakenteita.



Kuva 4. Vanhan tekstiilitehtaan välipohjassa näkyy rakenteen läpi imeytynyt öljy.

Lainsäädännössä ei ole esitetty rakenteiden öljyhiilivetyypitoisuuksille viite- tai toimenpideraja-arvoja. Ympäristöministeriön ympäristöoppaassa *Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus*, jonka taulukossa 1 on esitetty yleisimmät sisäilman laatua heikentävät tekijät ja niiden aiheuttamat oireet. Oppaan mukaan öljyhiilivedyt aiheuttavat hajuhahtaa.

Sisäilmastoseminaari 2012 /Sisäilmastoyhdistys raportti 30 on esitetty, että öljyhiilivedyillä pilaantuneen rakenteen emissio vastaa M1-luokitusta, kun betonin öljyhiilivetyypitoisuus on hieman alle 100 mg/kg [5]. Tämän perusteella jäävien rakenteiden öljyhiilivetyypitoisuuksien tavoitepitoisuusarvo tulisi olla n. 80 mg/kg.

Monissa tehdasrakennuksissa öljyhiilivedyt aiheuttavat sisäilmaan väriliidun kaltaista hajua. Öljyhiilivetyjen pitoisuus on kuitenkin sisäilmassa hyvin pieni tai ne eivät aina tule esiin sisäilman TVOC-analyseissä. A-Insinöörien tutkimissa sisäilman TVOC-näytteissä ei ole havaittu poikkeavia TVOC-pitoisuuksia, vaikka sisäilmassa on ollut havaittavissa öljyhiilivedyille tyypillistä hajua.

A-Insinöörien tutkimissa tehdasrakennuksissa on havaittu suuria pitoisuuksia öljyhiilivetyjä (C10-C40) kantavissa rakenteissa, esimerkiksi teräsbetonisissa välipohjarakenteissa öljyhiilivetyypitoisuudet ovat olleet yleisesti yli 1000 mg/kg. Suurin analyseissä havaittu öljyhiilivetyypitoisuus (C10-C40) on ollut 23 000 mg/kg, josta raskaiden öljyhiilivetyjen (C21-C40) osuus oli 19 000 mg/kg. Suurin tiiliseinässä havaittu öljyhiilivetyypitoisuus on ollut 9 400 mg/kg.

Teollisuuden öljyissä voi olla myös käytetty lisäaineita, esimerkiksi muuntajissa PCB-yhdisteitä (polyklooratut bifenyylit) tai metallien leikkuunesteinä SCCP-yhdisteitä (Short Chain Chlorinated Paraffins).

Öljyhiilivetyjen tutkiminen kantavista rakenteista vaatii yleensä varsin kattavaa tutkimuspisteverkkoa, sillä öljyiset alueet ovat pistemäisiä ja usein ne ovat uusien rakenteiden peitossa (muovimattopinnoitteet, kiinteät alakattorakenteet), jotka vaikeuttavat havaintojen tekemistä.

Rakennuksen käyttöhistoria tulee selvittää, jotta tutkimuksia voidaan keskittää konesaleihin ja muihin riskialueisiin. Palkkirakenteista voidaan päätellä voimansiirron sijaintia (ks. kuva 3). Tehdasrakennukset ovat usein ylälaattapalkistorakenteisia. Korjaustyön laajuuden ja rakennesuunnittelun kannalta tulee myös tutkia primääri- ja sekundääripalkkien öljyhiilivetyypitoisuuksia. Lisäksi öljyhiilivetyjä voi olla imeytynyt pilarien alareunoihin. A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n tutkimassa teollisuusrakennuksessa havaittiin pilarien alareunoissa öljyhiilivetyjä 240...1400 mg/kg.

Öljyhiilivedyillä pilaantuneiden rakenteiden korjaamisessa ei ole yleisesti käytössä olevia korjausmenetelmiä. Rakenteiden purkaminen ja korvaaminen uudella rakenteella on varmin menetelmä, jolla öljyhiilivedyistä aiheutuva haitta saadaan poistettua kokonaisuudessaan. Öljyhiilivetyjen kapseloinnista laajamittaiseksi (kokonaisten välipohjarakenteiden kapselointi). Välipohjarakenteiden uusimisen yhteydessä voidaan myös saavuttaa muita rakenteellisia hyötyjä, kuten välipohjarakenteen akustisten ominaisuuksien parantamista tekemällä välipohjasta riittävän massiivisen.

6. Muut haitta-aineet

Tehdasrakennuksissa voi esiintyä hyvin laajakirjoisesti haitallisia aineita (liuottimia, PCB-yhdisteitä, rasvoja, raskasmetalleja, jne.), minkä vuoksi haitta-ainekartoituksessa tulisi perehtyä rakenteiden lisäksi myös tehdasprosesseihin.

Tehdasrakennuksissa on käytetty PAH-yhdistepitoisia veden ja kosteuden eristys bitumituotteita. Lisäksi PAH-yhdistepitoisia tervoja on käytetty puuosien suojaamisessa. Osa PAH-yhdisteistä on helposti haihtuvia, minkä vuoksi PAH-yhdistepitoiset rakennusmateriaalit voivat aiheuttaa sisäilmaan emissioita, jotka voidaan havaita ”ratapölkyn” hajuna.

Kaseiinia voi esiintyä tehdasrakennuksissa samoissa rakenteissa kuin asuinrakennuksissa (tasoiteet ja liimat). Kaseiini hajoaa kosteuden vaikutuksesta ammoniakiksi, joka aiheuttaa hajua ja oireita. Kaseiinia voi esiintyä vanhojen muovitehtaiden rakenteissa, koska kaseiinia on käytetty galaatti-muovin valmistuksessa ennen nykyaikaisten polymeerien tuotantoa. Galaatti-muovin valmistuksessa käytettiin lisäksi formaliinia, jota voi myös esiintyä rakenteissa.

Yhteenveto

Rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa saatetaan joutua parantamaan kosteuden eristyksen osalta maanvastaisissa rakenteissa. Erityisesti maasta nouseva kosteus aiheuttaa ongelmia. Lämmöneristyskyvyltään rakenteet eivät ole kovin hyviä, ja suojelumääräykset saattavat estää lämmöneristyksen lisäämisen. Tiilimuuri on kuitenkin kestävä ja massiivisena rakenteena toimiva, mikäli kosteusrasitus ei kasva liian suureksi.

Akustiikan suunnittelu on vaativaa työtä ja vaatii kokeneen suunnittelijan. Rakenteiden suositeltava korjaustaso muuntorakentamisessa vastaa uudisrakentamisen tasoa. Rakenteiden akustiikan korjaaminen vaatii usein rakenteen massanlisäystä, ja toisinaan korjausratkaisuissa joudutaan käyttämään huomattavasti luovuutta.

Haitta-aineita voi esiintyä tehdasrakennuksessa useita erilaisia, jolloin on olennaista valita riittävän kattava tutkimusverkko sekä kattavat tutkimusmenetelmät. Öljyhiilivedyt ovat tyypillinen ongelma tehdasrakennuksissa. Öljyhiilivetyjen lisäksi monet orgaaniset haitta-aineet voivat imeytyä rakennuksen betoni- ja tiilirunkoon, minkä vuoksi niiden poistaminen voi vaatia massiivisia purkutöitä.

Lähdeluettelo

- [1] Rakennustietosäätiö, Petri Neuvonen (toim.), 2006 Kerrostalot 1880-2000. Arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Tampere, Rakennustietosäätiö RTS. 288 s.
- [2] Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä
- [3] Ääniympäristö - Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä, Helsinki, 2018.
- [4] Rauhala J, Kylliäinen M, Valovirta I & Huhtala T, 2015. Akustiikkasuunnittelu korjausrakentamishankkeissa. Akustiikkapäivät 2015. Kuopio, 1.-2.9., Akustinen Seura ry.
- [5] Komulainen, J, Sänntti, J. PAH-yhdistepitoisten rakennusmateriaalien sekä betoniin imeytyneiden öljyhiilivetyjen ja PAH-yhdisteiden vaikutus sisäilman laatuun. 2012. Sisäilmastoseminaari 2012. SIY Sisäilmatieto Oy.

Seasonality and trends in indoor temperature, relative humidity and carbon dioxide levels

Samy Clinchard, Salvatore della Vecchia, Rick Aller and Ulla Haverinen-Shaughnessy
720 Degrees Oy

Abstract

This study utilizes continuous data (15s resolution) on temperature (T), relative humidity (RH) and carbon dioxide (CO₂). The data were collected using air quality sensors located in the breathing zone of over 2400 spaces in about 260 buildings. About 90% of the buildings are located in Finland, and majority of them are mechanically ventilated office buildings. About 45% of the spaces have been monitored for over a year, and 15% over three years. In this preliminary study, we analyzed daily 8-h maximum T, RH and CO₂ time series data of the above mentioned locations in order to detect seasonal patterns and trends. The series were tested for stationarity using the Augmented Dickey–Fuller test. Our results indicate these time series were stationary for 75%, 46%, and 25% of the monitored spaces regarding CO₂, indoor T, and RH, respectively. Non-stationarity could be related to seasonal variation or other changes in the monitored parameters over time. In the non-stationary cases, further handling involves data transformations to improve predictions.

1. Introduction

Indoor air quality (IAQ) and thermal conditions are known to be dependent on outdoor conditions, prone to seasonal and other temporal variations. The impacts of these temporal variations on performance and wellbeing of the occupants are still poorly understood. In practice, climatic and economic challenges limit possibilities to always maintain optimal, steady conditions, which is also why at least the current guidelines for indoor thermal conditions have some tolerance for seasonality.

Seasonal variations of IAQ indicators, such as T, RH, and CO₂, concentrations have been analyzed in many studies /1, 2/. The previous studies have been mostly focused on describing the seasonal variations within the buildings, whereas the relative differences between buildings with respect to seasonal variability have not been commonly addressed. However, understanding the temporal variations that buildings may exhibit due to their design, condition, or use, could lead to more effective operation strategies.

Long-term monitoring datasets are time series, which adds an explicit order dependence between observations: a time dimension /3/. As compared to single measurements or short term monitoring represented by single estimates (such as mean or median over the monitoring period), the continuous time dimension is both a constraint and a structure that provides a source of additional information.

When analyzing time series based on continuous monitoring data, we are interested in both understanding a dataset (time series analysis) and making predictions (time series forecasting). Even though not essentially required, time series analysis can also help to make better predictions. This study was focused on analyzing time series data in order to detect seasonal patterns and trends.

2. Material and Methods

Since 2014, Continuous data (15s resolution) on indoor T, RH and CO₂ concentrations have been collected using air quality sensors located in the breathing zone of over 2400 spaces in about 260 buildings. About 45% of the spaces have been monitored for over a year, and 15% over three years.

The measurement accuracy is $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ for T, $\pm 3\%$ for RH, and ± 100 ppm for CO₂. An automated procedure is used to calculate daily 8-hour (8am-4pm) average, minimum and maximum values, to represent conditions during a typical workday (Mon-Fri). In this paper, we use 8-hour maximum values, which data were imported and analyzed using IBM SPSS Statistics (version 24) and Python (version 3.4.3), utilizing Jupyter notebook and analytics libraries including Pandas, Numpy, matplotlib, and Statsmodels. Autocorrelation and partial autocorrelation functions were plotted and the series tested for stationarity using the Augmented Dickey–Fuller test.

The Augmented Dickey-Fuller test is unit root test for stationarity. Unit roots can cause unpredictable results in the time series analysis. The null hypothesis for this test is that there is a unit root. The alternate hypothesis is that the time series is stationary (or trend-stationary). In general, a p-value of less than 5% leads to rejection of the null hypothesis that there is a unit root. The calculated DF_T statistic can also be compared with a tabulated critical value. Depending on the sample size, the critical values range from -3.41 ($N=\infty$) to -3.60 ($N=25$). If the DF_T statistic is more negative than the table value, the null hypothesis of a unit root is rejected. The more negative the DF_T value, the stronger the evidence for rejecting the null hypothesis of a unit root.

In this study we used the DF_T value as an indicator of stationarity of time series /4/, resulting in a statistical distribution of DF_T values across the monitored spaces. Further on, the DF_T values were studied together with some building characteristics, including building location by country and building type, in order to identify possible reasons for observed differences.

3. Results and discussion

About 90% of the monitored buildings are located in Finland, and majority of them are mechanically ventilated office buildings. Figure 1 displays the estimated mean 8-h maximum T, RH, and CO₂ by year (2015-2018) and by month for Finnish offices. (Years 2014 and 2019 are not included due to incomplete data). Some annual variation is seen, possibly due to outdoor conditions. In addition, indoor T and RH display strong seasonality, whereas variation in CO₂ levels appears to be related to occupancy patterns. For example, many people taking vacation in July is likely to explain the drop in max CO₂.

Grand means (standard deviations) are 23.2 (2.0) °C for T, 30.4 (14.0) % for RH, and 567 (274) ppm for CO₂. For normally distributed data, the values within one standard deviation of the mean account for about 68% of the set, while within two standard deviations account for about 95%. For a reference, according to the Finnish classification /5/, recommended maximum values for indoor T are 23–24 °C (class 1), 23–26 °C (class 2), and 22–27 °C (class 3), RH 23-45 % (during winter) and CO₂ 700 ppm (class 1), 900 ppm (class 2) and 1200 ppm (class 3).

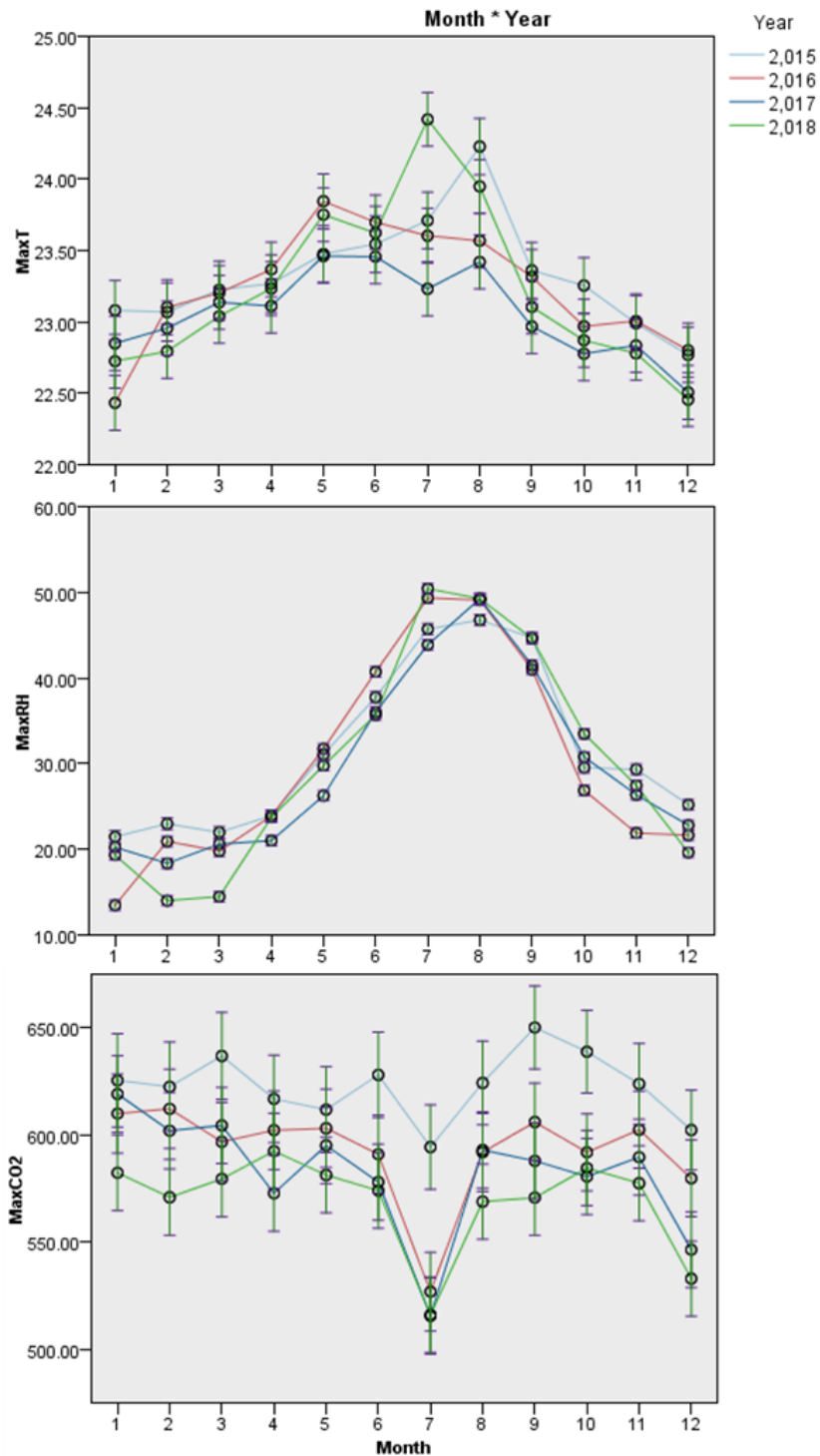


Figure 1. Estimated means for 8-h maximum indoor T, RH and CO₂ values by year and month.

Of all the building monitored (up to July 30, 2019), the time series were stationary for 75%, 46%, and 25% of the monitored spaces regarding daily maximum CO₂, indoor T, and RH, respectively. Some examples associated with the a) most and b) least stationary times series are shown in Figures 2 -4.

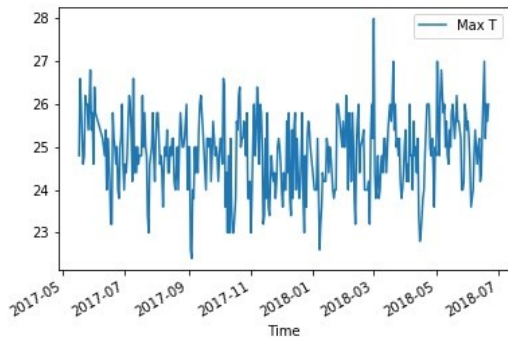


Figure 2a. An office building in Canada displays of a stationary time series for indoor T (8h maximum).

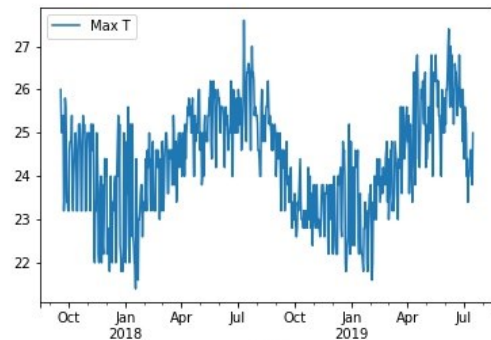


Figure 2b. An office building in Finland displays of a non-stationary time series for indoor T (8h maximum).

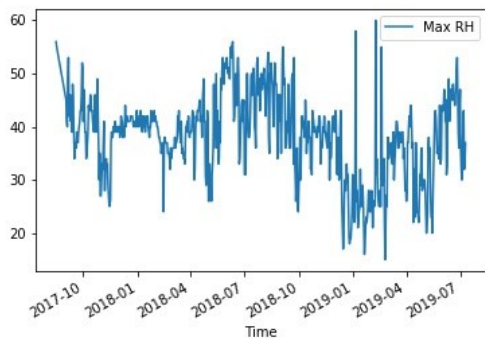


Figure 3a. An office building in Germany displays of a stationary time series with for RH (8h maximum).

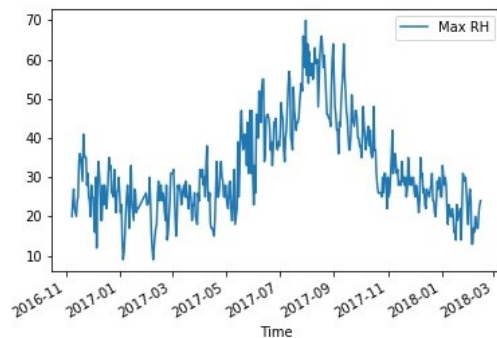


Figure 3b. An office building in Finland displays of a non-stationary time series for RH (8h maximum).

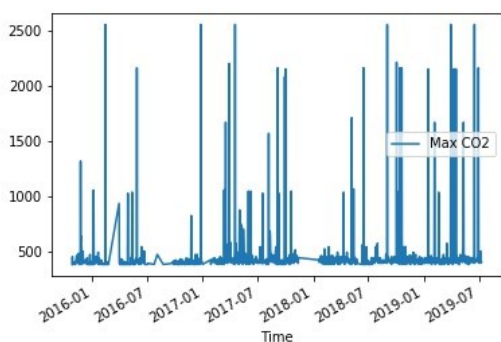


Figure 4a. An office building in Finland displays of a stationary time series for CO_2 concentration (8h maximum).

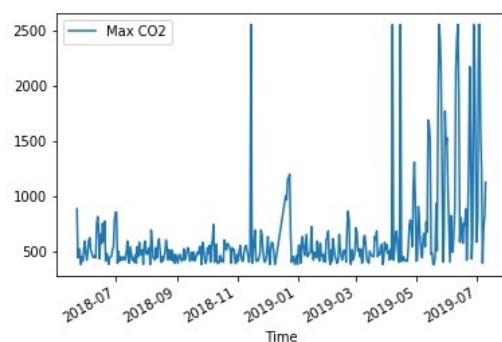


Figure 4b. An office building in Finland displays of a non-stationary time series for indoor CO_2 concentration (8h maximum).

All of these buildings are offices that had been monitored for at least one year. It can be seen that the examples for non-stationary time series for T (Figure 2b) and RH (Figure 3b) display seasonal trends, whereas there is an increasing trend for the case of non-stationary CO_2 series (Figure 4b).

A summary of the six buildings is shown in Table 1. Two cases (3A and 4A) have stationary series for T, RH, and CO₂, one case (2A) have stationary series for T and CO₂, two cases (2B and 3B) have stationary cases for only CO₂, and one case (4B) has non-stationary series for all three parameters.

Table 1. Examples of ADF statistics in selected buildings. Underlined examples correspond with the Figures 2-4.

Building code (see Figures 2-4)	Country	Days monitored	Maximum T (8h)		Maximum RH (8h)		Maximum CO ₂ (8h)	
			DF _T	p-value	DF _T	p-value	DF _T	p-value
2A	Canada	389	<u>-18.37</u>	<u>0.000</u>	-2.37	0.150	-4.82	0.000
2B	Finland	651	<u>-8.03</u>	<u>0.818</u>	-2.52	0.111	-3.46	0.009
3A	Germany	669	-6.36	0.000	<u>-3.28</u>	<u>0.016</u>	-23.76	0.000
3B	Finland	456	-2.63	0.085	<u>-0.98</u>	<u>0.759</u>	-5.14	0.000
4A	Finland	1129	-8.14	0.000	-2.96	0.040	<u>-33.70</u>	<u>0.000</u>
4B	Finland	395	-1.93	0.318	-1.43	0.566	<u>-0.04</u>	<u>0.955</u>

The number of buildings located in other countries was relatively small as compared to Finland. In addition to offices, a relatively small number (N=9) school buildings were also monitored. There were no significant differences observed in the stationarity of the time series between offices and schools.

More detailed analyses were focused on offices in Finland (N=225). In this sample, a weak positive correlation (Spearman’s rho < 0.2) was observed between DF_T statistics for T, RH and CO₂ series. There is a weak to moderate negative correlation between DF_T statistics for T, RH and CO₂ series and number of days monitored (Spearman’s rho -0.22 for T, -0.29 for RH and -0.33 for CO₂), indicating that the longer monitoring times are more likely to correspond with stationary series. It is possible that shorter monitoring times are more prone to short term shifts appearing non-stationary (without the longer time perspective). Another possible explanation is that the monitoring results have been used to adjust the building operation resulting in more stationary conditions.

Figure 5a shows an example of an autocorrelation function for time series shown in Figure 2b. Dotted lines indicate correlation values above those lines are statistically significant (meaningful). For this space we see cycles of strong negative and positive correlation. This captures the relationship of an observation with past observations in the same and opposite seasons or times of year, indicating strong seasonality.

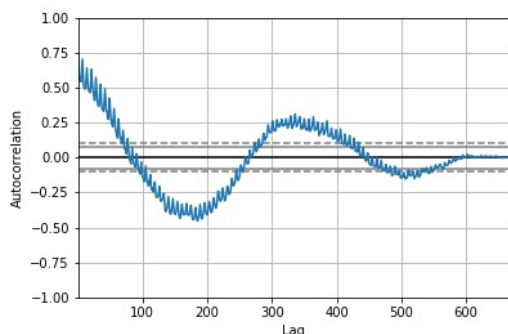


Figure 5a. Autocorrelation function for time series in Figure 2b (8h Max T).

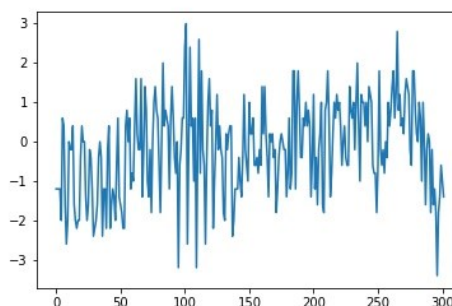


Figure 5b. The previous time series (as in Figure 2b), which has been detrended by differencing.

If the time series is found to be non-stationary, transformation of the series may be used in order to estimate future values of the series. /6/ An example of data transformation is illustrated in Figure 5b (same building as in Figure 2b), where the seasonality has been detrend by differencing. One limitation with this example is that it requires long-term (>2 years) monitoring data.

4. Summary

Based on the results from a large sample of continuously monitored office spaces, the time series were found stationary for 75%, 46%, and 25% of the monitored spaces regarding daily maximum indoor T, RH, and CO₂, respectively. For practical purposes, analyzing the stationarity can provide additional information about the thermal conditions (T, RH) and ventilation adequacy (CO₂ levels) in buildings. The results can also be used in the predictive models attempting to forecast future values.

References

- [1] Deng, S., Lau, J. Seasonal variations of indoor air quality and thermal conditions and their correlations in 220 classrooms in the Midwestern United States. *Building and Environment*, 157, 79-88, 2019
- [2] Liu, J., Dai, X., Li, X., Jia, et al. Indoor air quality and occupants' ventilation habits in China: Seasonal measurement and long-term monitoring. *Building and Environment*, 142, 119-129, 2018
- [3] Brownlee, J. *Introduction to Time Series Forecasting with Python*. eBook v. 1.6. 2018
- [4] David A. Dickey, D.A. *Stationarity Issues in Time Series Models*. <https://support.sas.com/resources/papers/proceedings/proceedings/sugi30/192-30.pdf> Retrieved 2019-09-12
- [5] Sisäilmastoluokitus. 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset, in Finnish. RT 07-11299, <https://www.rakennustietokauppa.fi/rt-07-11299-sisailmastoluokitus-2018.-sisaympariston-tavoitearvot-suunnitteluohjeet-ja-tuotevaatimukset/114883/dp>
- [6] Bhandari, S., Bergmann, N., Jurdak, R., Kusy, B. Time Series Data Analysis of Wireless Sensor Network Measurements of Temperature. *Sensors* 17(6), 1424-8220, 2017

B6. Korjausrakentaminen ja rakenteiden kosteuskestävyys

Energiatehokkuus, hyvä sisäilma ja kosteuskestävyys korjausneuvonnassa ja korjausten suunnittelussa

Olli Teriö¹, Markku Hienonen² ja Timo Kauppinen³

¹ Oulun kaupungin rakennusvalvonta

² Rakennustarkastusyhdistys RTY ry

³ Mutsal Oy

Tiivistelmä

Viime vuosina on saatu paljon esimerkkejä korjauskohteista, jotka joudutaan korjaamaan uudestaan jo muutaman vuoden kuluttua, koska käyttäjien oireileminen jatkuu. Haasteellisimpia tapauksia ovat kohteet, joissa oireilun syy todennäköisesti johtuu usean tekijän yhteisvaikutuksesta. Mahdollisia syitä ovat esimerkiksi mikrobivauriot, orgaaniset haihtuvat yhdisteet, kuidut ja puutteellinen ilmanvaihto. Psykologisillakin tekijöillä on merkityksensä, mutta niiden käsittely on rajattu tämän artikkelin ulkopuolelle.

Erityisiä haasteita rakennusfysikaalisessa suunnittelussa aiheutuu siitä, että olemassa olevien rakenteiden virheitä ja puutteita ei tunneta. Luvan hakijan on vaikeaa selvittää olemassa olevat rakenteet, puhumattakaan korjaushistorian tuntemisesta. Kuntoarviot tai kartoitusraportit tehdään yleensä rakenteita rikkomatta. Kuntotutkimustenkin taso vaihtelee suuresti. Joskus on käytössä rakennekuvat, joskus ei. Joskus rakenteet on tehty suunnitelmien mukaan, joskus ei.

Rakennusvalvonnan näkökulmasta hyvä sisäilmakorjaus alkaa riittävillä tutkimuksilla, jonka jälkeen korjaustyöt suunnitellaan osaavien ammattilaisten toimesta ja vasta sitten puretaan ja korjataan. Myös dokumentointi on tärkeää, jotta korjaushistoria jää muistiin huoltotöitä ja tulevia korjauksia varten. Rakennusvalvonnat pyrkivät omalta osaltaan ohjaamaan hakijoita edellä esitettyyn toimintamalliin.

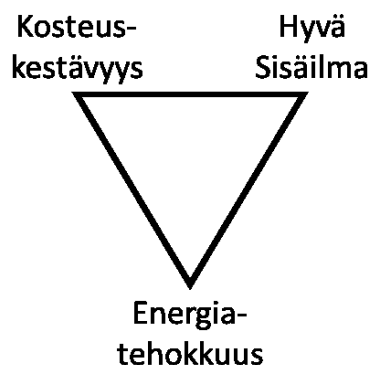
1. Johdanto

Kansainvälisen eLighthouse -hankkeen päätavoitteena oli energiatehokkuuteen ja uusiutuvaan energiaan liittyvien ratkaisumallien käytön lisääminen sekä kotitalouksissa että kaupungin omistamissa rakennuksissa. Oulussa hankkeen yhtenä polttopistealueena oli rakennusvalvonnan korjausneuvonnan kehittäminen.

Korjaushankkeiden lupaprosessissa, korjausneuvonnassa ja oppaiden laadinnan yhteydessä on saatu hyvä läpileikkaus ruohonjuuritason rakennusfysiikan osaamiseen ja osaamisen kehittämisen tarpeisiin. Kaikkiin korjauksiin on olemassa riittävästi osaamista ja tietoa. Haasteena on kuitenkin osaamisen ja tiedon hajallaan olo sekä se, että virheellistä tietoa on saatavilla moninkertaisesti relevanttiin tietoon verrattuna. Toinen iso haaste on osaavien suunnittelijoiden riittävyys kaikkiin vaativiin korjaushankkeisiin.

Hyvä sisäilmakorjaus alkaa riittävillä tutkimuksilla, jonka jälkeen korjaustyöt suunnitellaan osaavien ammattilaisten toimesta ja vasta sitten puretaan ja korjataan. Kuitenkin lupien hakijoilla on yleensä kova halu aloittaa purkamisen nopeasti ja suunnitelmat halutaan tehdä purkamisen ja korjaamisen rinnalla. Riskinä on kuitenkin se, että jokin oleellinen asia jätetään selvittämättä ja

suunnittelu tehdään kiireellä ja vähintäänkin tehdyt korjaustoimet jäävät dokumentoimatta. Dokumentointi olisi kuitenkin tärkeää, jotta korjaushistoria jäisi muistiin tulevia korjauksia varten. Vastuu mahdollisesta korjauksen epäonnistumisesta on myös mahdotonta selvittää, jos suunnitelmia ei ole laadittu tai korjaustapaa ei ole dokumentoitu. Tämä artikkeli käsittelee tyypillisten korjausten rakennusfysikaalisia haasteita ja korjausten onnistumisen edellytyksiä.



Kuva. Rakennusfysiikan osaaminen vaikuttaa merkittävästi moniin tärkeisiin rakennusten ja rakentamisen kulmakiviin. Kokonaisuuden hallinta on haasteellista ja herkkää. Pieni puute suunnittelussa tai olosuhteissa saattaa ajan oloon kaataa kokonaistoimivuuden.

2. Kosteus- ja mikrobivauriokorjausten rakennusfysikaalisia haasteita

2.1 Tyypilliset korjaukset Oulun kaupungissa

Vuonna 2018 Oulun kaupungissa myönnettiin 2389 rakennus- tai toimenpidelupaa. Niistä muutos- ja korjaustöihin liittyviä lupia oli 911. Viimemainituista oli laajennuksia, käyttötarkoituksen muutoksia tai huoneistojärjestelyjä 22 %, kolmannes rakenteiden tekniseen ikääntymiseen tai vaurioitumiseen liittyviä lupia ja noin kolmannes laatutason parantamisia. Muita vähäisiä luvanvaraisia muutoksia oli noin 10 %. [1]. Tyypillisiä rakennuslupaa vaativia tekniseen käyttöikään liittyviä korjauksia ovat linjasaneeraukset, julkisivu- ja vesikattokorjaukset, valesokkelin kengitykset sekä sisäilmakorjaukset. Myös kellareiden korjauksille ja puukoolattujen alapohjien korjauksille haetaan jonkin verran lupia.

Julkisivujen ja vesikattojen korjauksissa on tarkasteltava energiatehokkuuden parantamista ja se aiheuttaa osaamisen vaatimuksia myös rakennusfysiikan suhteen. Aiemmat kosteusvauriot tai mikrobit ovat niissä vain harvoin merkittävässä roolissa. Kyse on yleensä materiaalien normaalista vanhenemisesta ja sen aiheuttamasta uusimisen tarpeesta. Myös linjasaneerauksissa kyse on ikääntymisen vaatimasta uusimisesta ja sinänsä rakennusfysiikan osalta ne ovat helppoja. Linjasaneerauksiin kuitenkin ryhdytään usein vasta, kun on jo tapahtunut vesivahinko tai kosteusvaurio. Niiden yhteydessä saattaa tulla kyseeseen myös rakennusfysikaalista suunnittelua.

Taulukko 1. Ikääntymisen tai vaurioiden vuoksi luvitettuja korjauksia Oulussa vuonna 2018 [1].

Talotekniikan muutos- ja korjaustyöt (linjasaneeraus,...)	75
Pesuhuoneiden korjaus	73
Valesokkelin kengitys	46
Vesikattomuutos tai -katteen uusiminen	41
Sisäilmakorjaus (VOC, mikrobit,...)	26
Julkisivu- tai parvekekorjaus	17
Ikkunoiden tai ulko-ovien uusiminen tai muutos	14
Alapohjan, kellarin tai perustusten korjaus	12
Lupia yhteensä vuonna 2018	304

Sisäilmakorjausten lähtökohtana voi olla esimerkiksi mikrobi- tai kosteusvauriot, kuitupöly tai materiaalien yhteensopimattomuudesta syntyvät orgaaniset haihtuvat yhdisteet. Harvinaisempia, mutta samalla hyvin haasteellisia suunnittelutehtäviä ovat vanhojen rakennusten käyttötarkoituksen muutokset ja niissä usein käytössä olevan painovoimainen ilmanvaihdon päivittäminen nykyvaatimuksiin.

Lukumääräisesti tyypillisimpiä mikrobivauriokorjauksia ovat omakotitalojen ja rivitalojen kengitykset, joita Oulun kaupungissa tulee luvitettavaksi lähes viikoittain. Luvituksen näkökulmasta ne ovat varsin selkeitä. Vaurion syy tunnetaan ja hyviä korjaustapoja on useita. Viimevuosina esimerkiksi vaahtolasi ja EPS-betoni ovat tulleet valesokkelipalkkien rinnalle korvaamaan harkkoratkaisua. Harkkoratkaisu heikentää sokkelirakenteen lämmöneristyskykyä ja saattaa aiheuttaa jopa uuden kylmäsilan.

2.2 Rakennusfysikaalisia haasteita

Lisäeristäminen aiheuttaa korjaussuunnitteluun rakennusfysikaalisen tarkastelun tarpeen. Se on erityisen haasteellista, koska rakenteen olemassa olevia puutteita eikä korjaushistoriaa välttämättä tunneta. Esimerkiksi rintamamiestalojen ulkoseinien lisäeristämisessä joudutaan tasapainoilemaan energiatehokkuusvaatimusten ja kosteuskestävyyden välillä.

Vanhoista rossipohjista vaihdetaan usein lämmöneristeet. Luvan hakijat suosivat niissä orgaanisia lämmöneristeitä ja ilmansulkuja sekä puukuituisia tuulensuojia. Kun siihen yhdistetään halu lisätä lämmöneristyskerroksen paksuutta, ollaan rakennusfysikaalisesti jo varsin haasteellisen suunnittelutehtävän äärellä. Korjausrakentamisen määräykset eivät edellytä lämmöneristysparantamista alapohjissa, mutta uskomus lämpöviihtyvyyden paranemisesta johtaa uusiin riskirakenteisiin. Erään asiantuntijan mukaan on aivan luonnollista, että rossipohjan alapinnan puukuitulevyyden syntyä mustaa pilkkua.

Taulukko 2. Rakennusfysikaalisesti haasteellisia korjausrakenteita

	Rakenne	Tarkastelu	Epävarmuustekijöitä
1	Valesokkelin kengitys	Kastepiste	Lämmöneristävyys saattaa heikentää
2	Rossipohjan uusiminen	Homehtumisherkk.	Tuuletustilan T, RH, eri vuodenaikat
3	MV-laatan päällä puulattia	kuivumiskyky	Kosteusrasitus, kapillaarik., asennusvirheet
4	Kellarin seinien ulkop. eristys	kuivumiskyky	Kosteusrasitus, kellaritilan olosuhteet, T, RH
5	Kellarin seinien sisäp. eristys	kuivumiskyky	Kosteusrasitus, kellaritilan olosuhteet, T, RH
6	Yläpohjan lisäeristäminen	Energiatehokkuus	Konvektio, pyry, vesikatteen kondenssi
7	Yläpohjan kosteusvaurio	Vaurion syyt	Ilman- ja vesihöyryntiiveys, työvirheet,
8	Puruseinän lisälämmöner.	Vesihöyryntiiveys	Höyryntiiveys, jätettävät kerrosrakenteet

Julkisten rakennusten sisäilmakorjaukset ovat korjaussuunnittelun kannalta haastavimpia. Rakennusten käyttäjillä esiintyy oireilua, mutta selkeää syytä on vaikea osoittaa. Ilmanvaihdossa on yleensä jonkin verran puutteellisuutta, esimerkiksi ilmanvaihdon huuhtelevuus on usein puutteellista. VOC epäily on usein mukana, mutta mikrobien merkitys on epäselvä. Usein tiloissa on tunkkainen tuoksu ja kemikaalien hajua saattaa ilmetä. Raja-arvot eivät kuitenkaan ylity. Ilman kuivuuskin saattaa vaikuttaa oireiluun. Operatiivinen lämpötila ja lämpöviihtyvyys vaikuttavat myös käyttäjäkokemukseen. Sisäilmakorjaukset ovat usein jo kertaalleen epäonnistuneet, mikä on vienyt käyttäjiltä luottamuksen korjauksen onnistumiseen.

Oulussa kosteus- ja mikrobivaurioiden korjaaminen ylittää aina lupakynnyksen. Lupahakemuksia tuleekin viikoittain. Hakemusten taso on yleensä melko hyvä, koska suunnittelutehtävä on vaativa tai poikkeuksellisen vaativa. Haasteena on kuitenkin kokoneiden suunnittelijoiden riittävyys jokaiseen kosteus- tai mikrobivauriokorjauksen suunnitteluun. Haasteena on myös erilaisten tavoitteiden yhteensovittaminen suunnittelussa. Tekniset, toiminnalliset ja taloudelliset reunaehdot eivät aina kohtaa. Vaikka tiedettäisiin kuinka korjata, ei taloyhtiöllä ole varaa korjaukseen eikä edes vakuuksia lainan ottoon.

3. Ennakoiva korjausrakentamisen ohjaus

3.1 Lait ja asetukset lähtökohtana

Oulun rakennusvalvonta pyrkii omalta osaltaan tukemaan korjaussuunnittelua ja korjausten onnistumista. Keskeisimpiä keinoja ovat yhteistyö korjausluvan hakijoiden ja suunnittelijoiden kanssa, neuvontatilaisuudet rakennusten omistajille sekä oppaiden laadinta. Myös puhelinneuvonta ja sähköposti ovat käytössä varsinkin pienten korjausten neuvonnassa.

Maankäyttö ja rakennuslain [2] mukaan kuntien rakennusvalvonnalla on sekä valvontatehtävä että neuvontatehtävä. Rakennusluvan käsittelyn yhteydessä valvotaan, että pääpiirustukset täyttävät lakien ja asetusten vaatimukset. Luvan saannin edellytyksenä on myös, että suunnitteluryhmässä on riittävä osaaminen hankkeen vaativuus huomioon ottaen. Suunnitelmista ei tarkasteta rakennusfysikaalista toimivuutta. Sen sijaan voidaan edellyttää, että hankkeen suunnitteluryhmässä on riittävä rakennusfysikaalinen osaaminen joko esimerkiksi rakennesuunnittelijalla tai kosteusvaurion korjaussuunnittelijalla tai vaativimmissa hankkeissa voidaan edellyttää myös rakennusfysikaalisen erityissuunnittelijan nimeämistä.

Maankäyttö- ja rakennuslain pykälässä 117 esitetään rakentamisen olennaiset tekniset vaatimukset kuten, että rakennus käyttötarkoituksensa ja ympäristöstä aiheutuvien olosuhteittensa edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että

- se on terveellinen ja turvallinen [117c]
- meluallistus ja ääniolosuhteet eivät vaaranna terveyttä, lepoa tai työntekoa [117f]
- energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi [117g].

Vastuu olennaisten vaatimusten täyttämisen huolehtimisesta on nykyisen maankäyttö ja rakennuslain mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvällä. Asetuksilla annetaan tarkempia vaatimuksia suunnittelulle. Korjausrakentamisessa peruseriaatteina on, että energiatehokkuutta on parannettava eikä teknistä toimivuutta saa heikentää esimerkiksi kosteuskestävyyden tai äänen- ja paloneristävyyden osalta.

3.2 Ennakoiva korjausrakentamisen lupaprosessi

Korjauslupien hakijoita suositellaan perustamaan lupahakemukset sähköiseen järjestelmään mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Luvan hakijalle on eniten hyötyä rakennuslupa-asiakirjojen laadinnasta, kun heti alusta lähtien ollaan keskusteluyhteydessä rakennusvalvontaan. Viime vuosina em. keskustelu on siirtynyt pääosin sähköiseen asiointijärjestelmään, jota sekä hakija, suunnittelijat että lupaviranomaiset voivat käyttää. Hakijat voivat kysyä kaikkea hakemukseen tai korjaamiseen liittyvää asiaa järjestelmässä ja lupavalmistelijat ilmoittavat kyseiseen korjaukseen liittyvien suunnitelmien määrään ja laatuun liittyviä vaatimuksia.

Suurten rakennusten tai poikkeuksellisen vaativien korjausten yhteistyö käsittää muun muassa suunnittelun aloituskokoukset, joissa lähtökohta arvioidaan kokonaisvaltaisesti.

Kokonaisvaltaisuus tarkoittaa tässä yhteydessä lähinnä rakenteiden kosteus- ja lämpötekniikan, tiiveyden sekä ilmanvaihdon ja painesuhteiden hallintaa. Rakennusvalvonnan keskeisin rooli on varmistaa, että eri suunnittelualojen suunnittelijat ovat edustettuina suunnitteluryhmässä, ja että heillä on riittävä koulutus ja kokemus eli kelpoisuus hankeen vaativuuden mukaan. Lupien valmistelussa arvioidaan myös, ovatko lähtötiedot riittävät eli esimerkiksi onko kuntotutkimuksia tehty riittävästi. Luvan hakijan pitää esittää myös millä keinoilla korjaamisen onnistuminen varmistetaan ja todennetaan.

Pienissäkin korjaushankkeissa tarkastusinsinöörit käyvät työmailla luvan myöntämisen jälkeen useita kertoja. Lupaehtoihin kirjataan yleensä aloituskokous, rakennekatselmus ja lopullinen loppukatselmus. Mikäli ilmanvaihdon laitteita uusitaan tai muutetaan, katselmoidaan myös IV-järjestelmä. Kokoukset ja katselmuksot ovat merkittävä tiedon jakamisen työkalu korjaussuunnittelijoiden ja korjaustyönjohtajien suuntaan.

Ouluun on perustettu myös vaativien korjauskohteiden katselmustyöryhmä, jossa on oman henkilöstön lisäksi ulkopuolisia asiantuntijoita kuten kaksi rakennusterveysasiantuntijaa. Työryhmä arvioi korjaushankkeiden riskejä ja tarvittaessa antaa lausuntoja lupakäsittelyn tueksi.

3.3 Neuvontatilaisuuksia ja ohjausta kiinteistönomistajille

Taloyhtiöiden hallituksille ja isännöitsijöille sekä pientalojen korjaajille järjestetään useita infotilaisuuksia vuosittain. Niissä käsitellään korjaamisen ja luvanhakemisen perusasioita sekä suunnittelun vaatimuksia. Mukana alustamassa on usein myös ulkopuolisia asiantuntijoita.

Aiemmin mainitussa eLighthouse - hankkeessa on tuotettu korjausrakentamisen opasvihkoja [3]. Opasvihkojen tavoitteena on ollut esittää kiinteistöjen omistajille lyhyesti mihin kaikkeen pitää kiinnittää huomiota, kun aletaan pohtia jonkin isomman korjauksen suunnittelua. Korjausrakentamisen opasvihkoja on laadittu yhteensä viisi. Ne ovat 1) Julkisivu- ja parvekekorjaukset sekä parvekelasitukset, 2) Vesikaton ja yläpohjan kunnossapito ja korjaukset, 3) Ilmanvaihdon kunnossapito ja korjaukset, 4) Asuinkerrostalokorjauksen toimivuuden varmistamisen suunnitelma, 5) Pientalon painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen ja käyttö. Ensimmäiset neljä opasta on suunnattu asuinkerrostalojen ylläpitoon ja korjauksiin. Viides on nimensä mukaisesti suunnattu vain omakotitalo- ja rivitaloasujille. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuus ja suunnitteluperusteet pientaloissa ja esimerkiksi asuinkerrostaloissa eroavat toisistaan suuresti.

Oppaissa pyritään esittämään kiinteistöjen omistajille korjaussuunnittelun virstanpylväitä ja kulmakiviä. Ei voida liikaa korostaa, että ennen korjaustyötä on vauriot ja rakenteiden kunto tutkittava, sen jälkeen on suunniteltava ja vasta siten ryhdyttävä töihin. Usein halutaan edetä suoraan purkutöihin ja korjaamiseen. Sekin on joskus perusteltua, mutta niissä tapauksissa suunnittelu on erityisen tärkeää ja vaativaa. Muita näkökulmia rakennusfysiikan lisäksi ovat muun muassa palomääräykset ja muut asetukset.

Oppaat ovat suunnattu taloyhtiöiden hallituksille ja isännöitsijöille. Heilläkin on tietty vastuu suunnitteluratkaisujen rakennusfysikaalisesta toimivuudesta. Mikä tulee olemaan suunnitteluratkaisun kestoikä? Korjataanko sama rakennusosa muutaman vuoden kuluttua vai muutaman kymmenen vuoden kuluttua vai kestääkö se peräti rakennuksen koko elinkaaren loppuun asti? Juridisesti vastuukysymykset ovat vaikeita. ”Musta Pekka” jää helposti taloyhtiön omaan kouraan eli taloudellisia korvauksia on vaikeaa saada suunnittelijoilta tai urakoitsijoilta, jos jokin asia menee vikaan. Nopeasti ilmenevien vikojen korjaaminen vielä ehkä onnistuu

takuun puitteissa, mutta vakavia vikoja tai puutteita saattaa ilmaantua vasta vuosien kuluttua, jolloin vastuunkantajia on vaikea löytää. Opaskorteissa pyritään herättämään mielenkiintoa suunnittelu kysymyksiin ja keskeisenä sisältönä on hankkeen kulun tärkeimpien tehtävien kuvaaminen ja rakennusfysiikan osalta tuoda esille näkökulmia, joista suunnittelijoiden kanssa tulee keskustella.

4. Yhteenveto ja pohdinta

Korjausrakentamisen rakennusfysikaaliset haasteet korostuvat lämpö- ja kosteusteknisten muutosten yhteydessä. Muutoksia aiheutuu energiatehokkuuden parantamisesta tai, jos korjauskohde on kosteuden vuoksi vaurioitunut. Tyypillisiä esimerkkejä ovat ulkoseinien, yläpohjien ja kellaritilojen lisälämmöneristäminen sekä alapohjien ja valesokkeleiden kosteusvauriokorjaukset. Ikääntymisestä johtuva rakenteiden uusiminen ennalleen on sen sijaan rakennusfysikaalisesti helpompi suunnittelutehtävä.

Sisäilmakorjauksissa usein on kyse usean tekijän summasta. Välttämättä minkään yksittäisen tekijän pitoisuus ei ylitä toimenpiderajaa, mutta silti rakennuksessa oireillaan. Korjausten suunnittelua ei helpota se, että haitta-aineiden ja terveyden väliset syy-seuraussuhteet eivät ole selvillä. Ihmiset reagoivat erilaisiin kemikaaleihin tai toksiineihin hyvin erilaisilla tavoilla. On paljon esimerkkejä alikorjaamisesta eli muutaman vuoden kuluttua korjauksesta korjataan uudestaan. Tiedon puute saattaa johtaa myös ylikorjaamiseen eli korjataan varmuuden vuoksi enemmän kuin olisi tarpeen. Molemmissa tapauksissa päätösten taloudellinen merkitys on äärimmäisen suuri.

Maankäyttö- ja rakennuslakia ollaan uudistamassa. Nyt on hyvä keskustella myös siitä, kenellä on vastuu rakennuksen rakennusfysikaalisesta toimivuudesta ja miten se tulee varmistaa? Riittääkö kokemusperäinen osaaminen vai tarvitaanko myös mallinnuksia. Mallinnukset voisivat olla tarpeen, koska rakentamisen energiatehokkuuden vaatimuksetkin tiukkenevat aika ajoin. Rakennuksen omistajilla, käyttäjillä ja muilla osapuolilla ja sidosryhmillä voi olla voimakkaita ”kokemusasiantuntijan” mielipiteitä, jotka eivät välttämättä pidä paikkaansa. Vanhoja nyrkkisääntöjä on heitettävä romukoppaan.

Erilaisten korjausratkaisujen lämpö- ja kosteustekninen toiminta ja erityisesti detaljien, kuten kylmäsiltojen ja vuotokohtien merkitys eivät aina ole hallinnassa. Kokemusta suunnitteluratkaisujen toimivuudesta ei siten voi olla. Usein ongelmarakennusten toimivuutta on selvitetty yhdestä näkökulmasta tai paloittain kokonaisnäkömyksen kustannuksella. Kokonaisuuden hallinta on haasteellista ja herkkää. Ilmanvaihdon toimivuus ja erityisesti painesuhteet ovat tärkeitä hallita. Energiatehokkuus, hyvä sisäilma ja rakenteiden kosteuskestävyys eivät ole kilpailevia tavoitteita, mutta onnistuminen niissä vaatii monipuolista osaamista ja saumatonta yhteistyötä eri alojen asiantuntijoiden kesken.

Lähdeluettelo

- [1] Oulun kaupungin rakennuslupahakemusten sähköinen asiointi.
www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/sahkoinen-lupa-asiointi
- [2] Maankäyttö ja rakennuslaki
- [3] <https://www.ouka.fi/oulu/rakennusvalvonta/korjausrakentaminen>

Energiaparannukset, asumisterveys ja -tyytyväisyys: 3-vuotis seuranta

Ulla Haverinen-Shaughnessy^{1,2} ja Virpi Leivo²

¹ Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

² Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, betoni- ja siltarakenteet

Tiivistelmä

Vanhojen rakennusten energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ovat mm. ulkovaipan lisälämmöneristys, ikkunoiden uusiminen, tai LVI-järjestelmien parantaminen. Edellä mainituilla toimenpiteillä voi olla vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja terveellisyteen. INSULAtE-projektin osana kerättiin 39 suomalaisen asuinkerrostalon mittausten ohella asukkailta tietoja ennen energiaparannuksia (N = 199) ja noin vuoden kuluttua energiaparannusten jälkeen (N = 166) käyttäen asumisterveyskyselyitä ja -päiväkirjoja. Vastaavia tietoja kerättiin myös seitsemästä verrokki asuinkerrostalosta, joissa ei tehty energiaparannuksia. Kymmenessä asuinkerrostalossa kyselytutkimukset toistettiin pidemmällä aikavälillä, noin kaksi vuotta (N = 52) ja kolme vuotta (N = 10) energiaparannusten jälkeen. Tässä artikkelissa keskityttiin edellä mainittuun pitkän aikavälin seurantaan sekä asumisterveyspäiväkirjojen tuloksiin. Tulosten perusteella oli myönteisiä vaikutuksia asumisterveyteen ja tyytyväisyyteen havaittavissa vielä useita vuosia energiaparannusten jälkeen.

1. Johdanto

Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi ja rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) ovat merkittävimmät lainsäädännölliset keinot, joilla pyritään parantamaan uusien ja olemassa olevien rakennusten energiatehokkuutta. Olemassa olevien rakennusten osalta yleisesti tehtyjä energiaparannuksia ovat mm. ikkunoiden vaihto, ulkovaipan lisälämmöneristys, sekä LVI-tekniset parannukset, kuten lämmön talteenoton lisääminen. Energiatehokkuuden parantaminen voi vaikuttaa sisäympäristön laatuun sekä asukkaiden terveyteen ja hyvinvointiin, joskin tutkimustietoa asiasta on edelleen niukasti, eikä sisäilmaston laadun arviointia yleensä sisällytetä energiaparannusten yhteyteen. Kun rakennusten energiaparannuksia tarkastellaan kokonaisvaltaisesti huomioiden energiankulutuksen ohella myös vaikutukset sisäympäristön laatuun, on mahdollista kehittää toimenpiteitä, joiden avulla voidaan sekä säästää energiaa, että parantaa sisäympäristön laatua. Näillä toimenpiteillä voidaan saavuttaa merkittäviä kansantaloudellisia ja -terveydellisiä hyötyjä.

INSULAtE-projektin (<http://www.thl.fi/insulateproject>) tavoitteena oli kehittää kattava protokolla rakennusten energiatehokkuuden parantamisen vaikutusten arviointiin sisäympäristön laadun ja asukkaiden hyvinvoinnin kannalta [1] sekä arvioida energiaparannusten vaikutuksia asuinkerrostaloissa Suomessa ja Liettuassa. Projektin tuloksia on julkaistu laajasti, liittyen rakennusteknisiin tutkimuksiin [2-4], sisäympäristön laatuun [5, 6] ja asumisterveyteen [7]. Kymmenessä asuinkerrostalossa tehtiin asumisterveyskyselyjen avulla pidempiaikaista seuranta, jonka tuloksia käsitellään tässä artikkelissa. Lisäksi käsitellään asumisterveyspäiväkirjojen avulla saatuja tuloksia. Sekä kyselyyn että päiväkirjaan sisältyi kysymyksiä vastaajien tyytyväisyydestä sisälämpötilaan, sisäilman laatuun ja omaan terveyteen.

2. Aineisto ja menetelmät

Projektin osana kerättiin 39 suomalaisen asuinkerrostalon asukkailta tietoja ennen energiaparannuksia ja noin vuoden kuluttua energiaparannuksista käyttäen asumisterveyskyselyitä ja -päiväkirjoja. Ennen energiaparannuksia tutkimukseen osallistui 199 asukasta ja niiden jälkeen 166 asukasta. Vastaavia tietoja kerättiin myös seitsemästä asuinkerrostalosta, joissa ei tehty energiaparannuksia (verrokkikohteet). Tutkimuksiin osallistui verrokkikohteista 28 asukasta ensimmäisellä tutkimuskerralla ja 18 asukasta toisella kerralla. Kymmenessä energiaparannuskohteessa kyselytutkimukset toistettiin pidemmällä aikavälillä, noin kaksi vuotta (osallistujia 52) ja kolme vuotta (osallistujia 10) energiaparannusten jälkeen.

Asukkaat täyttivät asumisterveyspäiväkirjoja päivittäin kahden viikon ajanjaksolla sekä ennen energiaparannuksia, että niiden jälkeen (verrokkikohteissa vastaavina ajanjaksoina). Päiväkirjat jaettiin ensimmäisellä tutkimuskäynnillä ja ne ajoittuivat mittaus/näytteenkeruu jakson alkuun. Ajallisesti asumisterveyspäiväkirjat vastaavat siis tarkemmin asuntojen mittausajanjakson olosuhteita verrattuna asumisterveyskyselyihin, joissa muistijaksona käytettiin viimeistä 12 kuukauden jaksoa. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki sisäolosuhteita kuvaavista kysymyksistä asumisterveyskyselyssä ja -päiväkirjassa.

Kysely. Onko jokin seuraavista asuntonne sisäilmatekijöistä mielestänne aiheuttanut epämukavuutta tai häirtää viimeisen 12 kuukauden aikana?

	Ei koskaan	Joskus	Joka viikko	Lähes päivittäin
Liian korkea huonelämpötila				
Liian matala huonelämpötila				
Liian suuri ilmankosteus (kosteaa ilma)				
Liian matala ilmankosteus (kuiva ilma)				
Tunkkaisuus/huono sisäilman laatu				
Homeen haju tai näkyvä homekasvu				
Muu epämiellyttävä haju				
Melu				
Pöly tai likaisuus				
Sähköisyys (staattinen sähkövaraus)				
Muu*				

* Muu, mikä? _____

Päiväkirja. Asteikolla 0 – 10, kuinka paljon seuraavat tekijät häirtsivät sinua kotonasi viimeisen 24 tunnin aikana?

	0 – Ei lainkaan ↔ Sietämättömästi - 10										
Ilmansaasteet, pakokaasut, jne.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Melu asunnon ulkopuolella	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hajut asunnon ulkopuolella	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hajut asunnon sisäpuolella	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tunkkaisuus/ huono sisäilma	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pöly tai likaisuus	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liian korkea sisälämpötila	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liian matala sisälämpötila	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liian korkea kosteus (kosteaa ilma)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liian matala kosteus (kuiva ilma)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vetoisuus	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Muu*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

* Muu, mikä? _____

Kuva 1. Asumisterveyskyselyn ja -päiväkirjan kysymykset asunnon sisäolosuhdetekijöistä.

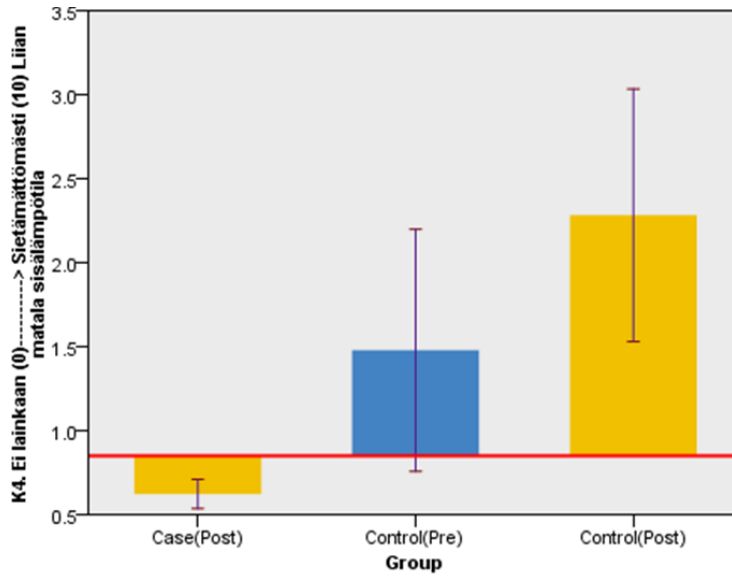
3. Tulokset ja johtopäätökset

Eri sisäolosuhdetekijöiden esiintyminen asumisterveyskyselyiden ja -päiväkirjojen mukaan on raportoitu aikaisemmin [8]. Yhteenvedona kyselyistä voidaan todeta, että vastanneet raportoivat hieman korkeampia sisälämpötiloja energiaparannusten jälkeen verrattuna tilanteeseen ennen parannuksia. Erilaisia hajuja, kuten tupakan ja viemärin hajua sekä tunkkaisuutta raportoitiin vähemmän energiaparannusten jälkeen. Melun raportoiminen asunnon ulkopuolelta väheni, kun taas LVIS melun raporointi (rakennuksen sisältä) lisääntyi.

Aiemmin julkaistut tulokset [7] osoittivat asumisterveyskyselyn nojalla tilastollisesti merkitseviä parannuksia vastaajien tyytyväisyydessä sisäilman laatuun (OR 2,2) ja ylähengitystieoireilun (OR 1,7) sekä hengitystieinfektioiden aiheuttamien työ- tai koulupoissaolojen (OR 2,4) vähenemisessä ensimmäisen vuoden seurannassa. Lisäksi havaittiin tilastollisesti ei-merkitsevä parannus tyytyväisyydessä sisäilman lämpötilaan (OR 1,1). Pitkän aikavälin seurannassa alustavat tulokset osoittavat sisäilman laatuun tyytyväisyyden olleen edelleen koholla: OR 1,8 (toinen seuranta) ja OR 3,6 (kolmas seuranta); vastaavasti ylähengitystieoireiden osalta OR 1,3 (sekä toinen että kolmas seuranta); ja hengitystieinfektioiden aiheuttamien poissaolojen osalta OR 1,7 (2. seuranta). Tyytyväisyys sisäilman lämpötilaan nousi OR 1,7: een (2. seuranta) ja edelleen OR 2,2:een (kolmas seuranta). Vaikka nämä yhteydet eivät ole tilastollisesti merkitseviä (otoskoon pienenemisen johdosta), voi tulosten perusteella myönteisiä vaikutuksia asumisterveyteen ja tyytyväisyyteen olla havaittavissa useita vuosia energiaparannusten jälkeen.

Asumisterveyspäiväkirjojen numeroarvoista laskettiin ryhmäkohtaiset keskiarvot, jotka eri sisäolosuhdetekijöiden häiritsevyyttä kuvaavina olivat varsin matalia (eri tekijöille kaikissa ryhmissä pääsääntöisesti alle 1). Asteikolla 0-10, vain neljä vastaajaa raportoi liian korkean sisälämpötilan häiritsevyydeksi yli 7, ja vastaavasti 2-3 raportoi hajuista, tunkkaisuudesta sekä kuivasta ilmasta. Tunkkaisuuden ja vetoisuuden osalta tilanne parani energiaparannusten jälkeen. Kun muutoksia tarkasteltiin tarkemmin mallintamalla, havaittiin tilastollisesti merkitseviä muutoksia energiaparannusten jälkeen tunkkaisuuden, vetoisuuden sekä liian korkean että liian matalan sisälämpötilan ja ilmankosteuden raportoinnissa; joskin erot häiritsevyydessä olivat vain joitakin kymmenyksiä.

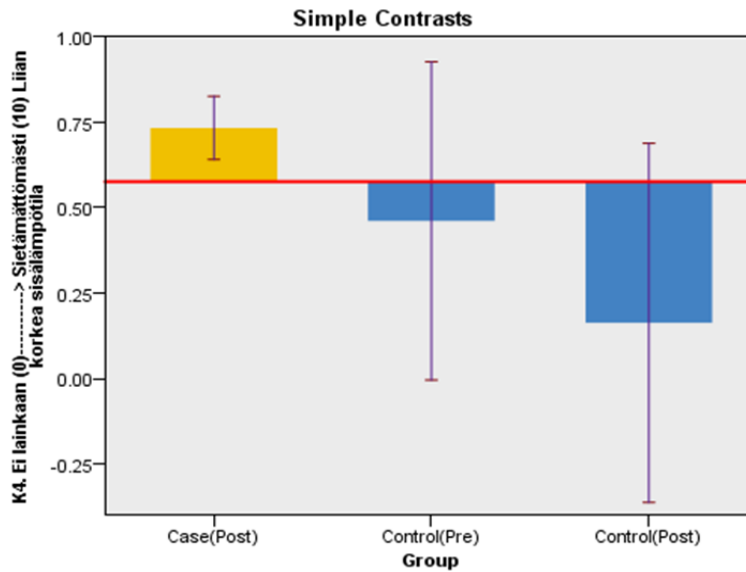
Kuvassa 2 on esimerkki sisälämpötilan häiritsevyydessä havaituista muutoksista. Tarkastelun perusteella osa asukkaista raportoi liian matalan lämpötilan häiritsevän vähemmän, kun taas osa asukkaista raportoi liian korkean sisälämpötilan häiritsevän entistä enemmän. Verrokkikohteissa tilanne oli päinvastainen, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (huom. pieni otoskoko). Vaikuttaa siltä, että pelkkä sisälämpötilan nousu ei takaa parempaa tyytyväisyyttä vaan energiaparannusten jälkeen tulisi kiinnittää huomiota asuntokohtaisiin lämmitysjärjestelmän säätöihin. Aikaisempien tulosten [3] nojalla on sama todettu ilmanvaihtojärjestelmän säätötarpeesta energiaparannusten yhteydessä. Lisäksi vaikuttaa siltä, että asumisterveyspäiväkirjan avulla voidaan saada yksityiskohtaisempaa tietoa tietoa asukkaiden tyytyväisyydestä sisäolosuhteisiin ja terveyteen.



The horizontal line is the K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian matala sisälämpötila estimated mean at Group=Case(Pre). The vertical bars are the simple contrasts (K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian matala sisälämpötila at each level of Group minus K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian matala sisälämpötila at Group=Case(Pre)).

Significant contrasts are shaded gold. The least significant difference adjusted significance level is .05.

(a)



The horizontal line is the K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian korkea sisälämpötila estimated mean at Group=Case(Pre). The vertical bars are the simple contrasts (K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian korkea sisälämpötila at each level of Group minus K4. Ei lainkaan (0)-----> Sietämättömästi (10) Liian korkea sisälämpötila at Group=Case(Pre)).

Significant contrasts are shaded gold. The least significant difference adjusted significance level is .05.

(b)

Kuva 2. (a) Verrattuna energiaparannuskohteisiin lähtötilanteessa (ennen korjauksia, Pre) kohteiden (Case) asukkaat raportoivat liian matalan sisälämpötilan häiritsevän merkittävästi vähemmän korjausten jälkeen (Post). (b) Vastaavasti liian korkean sisälämpötilan raportoitiin häiritsevän merkittävästi enemmän.

Asumisterveyskyselyn perusteella havaittiin tilastollisesti merkitsevä yhteys asukkaiden tyytyväisyydessä lämpöolosuhteisiin sekä mitatun sisälämpötilan että ilmanvaihtokertoimen osalta: tyytyväisyys kasvoi sisälämpötilan ja ilmanvaihtokertoimen noustessa [7]. Vastaavaa yhteyttä ei kuitenkaan pystytty osoittamaan asukkaiden raportoimien oireiden ja mitattujen sisäilmakeijöiden välillä, ml. erilaiset sisäilman epäpuhtaudet kuten hiilidioksidi, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) ja pienhiukkaset. Jatkoanalyysillä pyritään selvittämään voidaanko yhteys osoittaa asumisterveyspäiväkirjojen avulla kerättyihin tietoihin oireilun suhteen, koska päiväkirjat vastaavat ajallisesti paremmin asuntojen mittausajanjakson olosuhteita.

Em. jatkoanalyysien lisäksi jatkotutkimuksia suositellaan tehtäväksi suuremmalla otoksella ja pidemmällä seurantajaksoilla, sekä mittauksen että asukkailta kerättävien tietojen avulla.

4. Yhteenveto

Tutkimuksessa selvitettiin suomalaisten asuinkerrostalojen energiaparannusten vaikutuksia asumisterveyteen ja -tyytyväisyyteen. Asumisterveyskyselyjen tulosten perusteella myönteisiä vaikutuksia oli havaittavissa vielä useita vuosia energiaparannusten jälkeen.

Asumisterveyspäiväkirjoilla voidaan saada yksityiskohtaisempaa tietoa asukkaiden tyytyväisyydestä sisäolosuhteisiin ja terveyteen. Näiden tulosten perusteella mm.

lämmitysjärjestelmän säätöihin tulisi kiinnittää huomiota energiaparannusten jälkeen.

Jatkotutkimuksia suositellaan tehtäväksi suuremmalla otoksella ja pidemmällä seurantajaksoilla, sekä mittauksen että asukkailta kerättävien tietojen avulla.

Kiitokset

Projektia rahoittavat Euroopan Komission Life+-ohjelma, ARA ja Energiateollisuus ry. Lisäksi jatkoanalyysiin on saatu rahoitusta Juha Vainion säätiöltä. Kiitämme projektin ohjausryhmän jäseniä sekä tutkimuksiin osallistuneita taloyhtiöitä ja asukkaita.

Lähdeluettelo

- [1] Du L, Prasauskas T, Leivo V, Turunen M, Aaltonen A, Kiviste M, Martuzevicius M, Haverinen-Shaughnessy U. Assessment of Indoor Environmental Quality and Health in Existing Multi-family Buildings in North-East Europe. *Environmental International*, 79: 74-84, 2015.
- [2] Leivo V, Prasauskas T, Turunen M, Kiviste M, Aaltonen A, Martuzevicius D, Haverinen-Shaughnessy U. Comparison of air pressure difference, air change rates, and CO₂ concentrations in apartment buildings before and after energy retrofits. *Building and Environment*. 2017 May 9.
- [3] Leivo V, Prasauskas T, Du L, Turunen M, Kiviste M, Aaltonen A, Haverinen-Shaughnessy U. Indoor thermal environment, air exchange rates, and carbon dioxide concentrations before and after energy retrofits in Finnish and Lithuanian multi-family buildings. *Science of the Total Environment* 621: 398–406, 2018.
- [4] Leivo V, Kiviste M, Aaltonen A, Prasauskas T, Martuzevicius D, Haverinen-Shaughnessy U. Analysis of hygrothermal parameters in Finnish and Lithuanian multi-family buildings before and after energy retrofits, *Journal of Building Physics*, Article first published online: April 18, 2018. <https://doi.org/10.1177%2F1744259118767236>

- [5] Prasauskas T, Martuzevicius D, Kalamees T, Kuusk K, Leivo V, Haverinen-Shaughnessy U. Effects of Energy Retrofits on Indoor Air Quality in Three Northern European Countries, *Energy Procedia* 96, 253-259 (2016).
- [6] Du L, Leivo V, Prasauskas T, Täubel M, Martuzevicius D, Haverinen-Shaughnessy U. Effects of Energy Retrofits on Indoor Air Quality in Finnish and Lithuanian Multifamily Buildings, *Indoor Air*, In Press.
- [7] Haverinen-Shaughnessy U, Turunen M, Leivo V, Aaltonen A, Prasauskas T, Martuzevicius D. Occupant satisfaction with indoor environmental quality and health after energy retrofits of multi-family buildings: results from INSULAtE-project. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 221(6): 921-928, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.05.009>
- [8] Du L, Leivo V, Martuzevicius M, Prasauskas P, Turunen M, Haverinen-Shaughnessy U. INSULAtE-project results. National Institute for health and Welfare. Report 17/2016.

Leanheat Overview and Key Benefits for District Heating Companies

Lauri Leppä, Jaakko Luttinen, Ossi Porri, Antti Solonen and Mikko Wahlroos
Leanheat

Summary

Leanheat is a software solution to optimize the space heating of centrally heated multi-family residential buildings. Leanheat buildings are equipped with wireless indoor temperature and humidity sensors, and a remote connection is established to the central heating controller. Based on the collected apartment, heating system and weather data, a precise thermodynamic model is automatically created for each individual building. Space heating is then optimized around these parameters to minimize simultaneous usage of heat and the peak loads caused by it.

Leanheat user base has been growing exponentially every year, and a significant milestone of 100 000 connected apartments was reached at the end of 2018. This means well over 2000 substations are currently being controlled by Leanheat AI all over the world.

1. Introduction

Leanheat is a software solution to optimize the space heating of centrally heated multi-family residential buildings. Traditional heating control in these buildings has often no idea about realized indoor temperatures, does not understand how external and internal heat sources affect indoor conditions, and does not see into the future to account for buildings' long thermodynamic time constants.

2. Leanheat Technical Overview and History

Traditional heating control does not communicate with other systems consuming heat in the same building (such as domestic hot water, auxiliary heating circuits or ventilation), which at times leads to suboptimal system behaviour, as all of these components might require high heat power simultaneously. Similarly, different buildings within the same network also have no knowledge of each other, causing all kinds of problems. From a utilities perspective this creates a challenge: primary side network, all building connections and general heat production needs to be dimensioned based on the needs of heat consumers, where multiple systems in multiple buildings are following their own internal usage patterns. High investment and maintenance costs, as well as the requirement for separate peak load plants are everyday issues all district heating companies are struggling with, just to be able to respond to heavily fluctuating and unoptimized demand. Leanheat has realized that optimizing the entire district energy chain must start from the demand side. The buildings, heat consumers, are in a way the source of all challenges, and focusing on other aspects first, such as the distribution network or production facilities, is like treating a broken bone with a band-aid; the underlying problem persists.

Leanheat is about making residential buildings truly smart, which for us means that they are consuming exactly the right amount of heat and they consume it at exactly the right times. The residents benefit from better indoor conditions, and the utility benefits from optimized, easily

predictable and stable demand. This can only be done by collecting lots of data and having an automated process constantly analysing and making decisions based on it. Leanheat buildings are equipped with wireless indoor temperature and humidity sensors, and a remote connection is established to the central heating controller. Based on the collected apartment, heating system and weather data, a precise thermodynamic model is automatically created for each individual building. Simultaneously, other heat demands of the building are analysed to gain an understanding of DHW and e.g. ventilation usage patterns. Space heating is then optimized around these parameters to minimize simultaneous usage of heat and the peak loads caused by it. Typically, every day in the early morning hours, the building is optimally preheated so space heating can be reduced during the residents' morning showers. Leanheat also knows to preheat before extreme cold periods and to reduce heating before sunny spring days, among other things. Leanheat has been in development since 2011 and first installations were carried out in 2014. Since then, Leanheat user base has been growing exponentially every year, and a significant milestone of 100 000 connected apartments was reached at the end of 2018. This means well over 2000 substations are currently being controlled by Leanheat AI all over the world. Leanheat is committed to providing best possible indoor conditions with the smallest environmental impact possible and will continue to further develop its system to fully utilize the massive potential existing residential buildings have in terms of optimizing the entire district energy chain.

3. Leanheat Key Benefit 1: 20 % Lower Peak Loads and 2-4 °C lower Primary Return Temperatures

Leanheat understands and can predict a buildings heat consumption very accurately. This means we can utilize the buildings heat storage capacity to charge it slightly before DHW usage peaks and discharge it during them. This leads to lower overall peak heat demand, without compromising on indoor comfort. On average, Leanheat reduces substation level peak loads by 20 %. For the utility, this means less demand for expensive and environmentally harmful peak load boilers, and more sales for high margin base load heat. (Figure 1, Figure 2, Figure 3)

By optimizing secondary side supply temperature Leanheat of course also influences the primary side. On average, primary side return temperatures are decreased by 2-4 °C in substation where Leanheat control is enabled. This means lower heat losses and thus reduces costs for the utility.

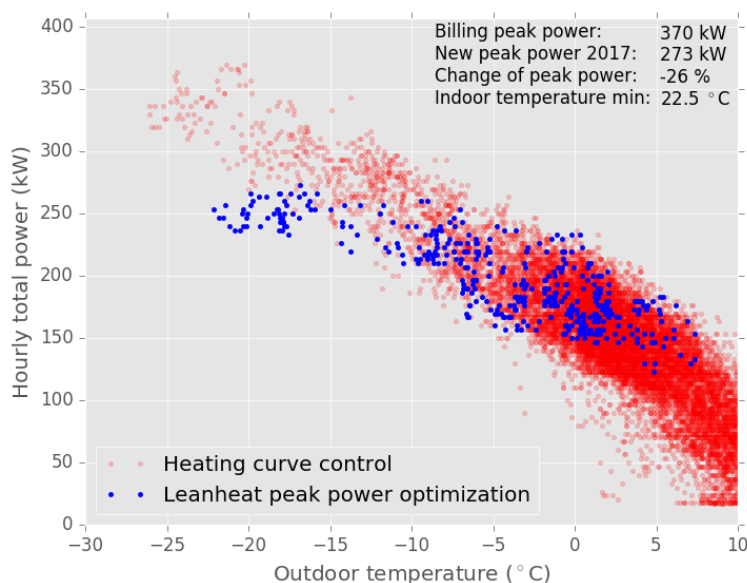


Figure 1. Leanheat Peak Power Optimization effects in one substation.

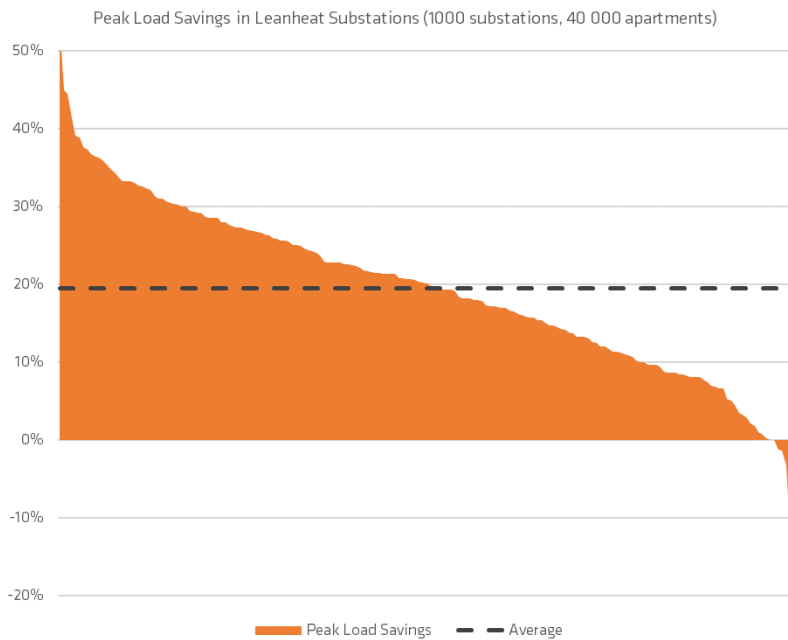


Figure 2. Leanheat Peak Power Optimization results for all Leanheat substations (up to heating season 2017-2018)

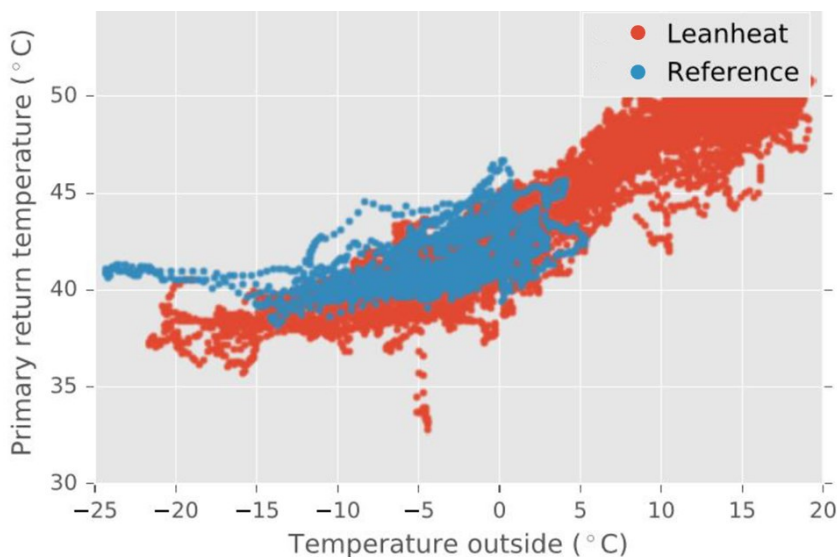


Figure 3. Leanheat effects on primary side return temperature.)

4. Leanheat Key Benefit 2: Model Predictive Substation Control Enables Precise Demand Forecasts and Powerful Demand Response for Optimized Heat Production

Leanheat heating control works based on a model predictive principle: Leanheat AI models are constantly producing thousands of possible future scenarios and the one most fulfilling the optimization goal is selected. This is repeated each hour for the next 48 hours for each substation. This means every Leanheat substation knows exactly how much heat it will consume during the next two days. From a utility's perspective, this information is invaluable, as it enables demand-

based production like never before. Leanheat can feed an aggregated demand forecast directly into the utility’s production optimization system, to better match production to demand and thus minimize over-production and related costs. (Figure 4)

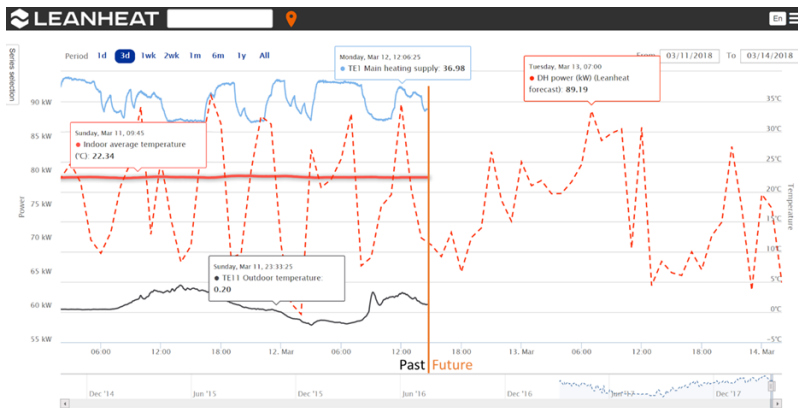


Figure 4. Leanheat AI constantly predicts heat demand 48 hours into the future.

Not only can Leanheat forecast its substations’ heat demand, the utility can make all Leanheat substations work for the benefit of the entire system. By introducing a demand response signal into Leanheat’s optimization, the utility can tell a Leanheat substation to consume more energy when the network has a surplus, and correspondingly decrease consumption when other substations are struggling to meet demand. All Leanheat buildings work as intelligent heat storage units or virtual powerplants along the network, balancing the system in real time for smooth operation year-round. (Figure 5).

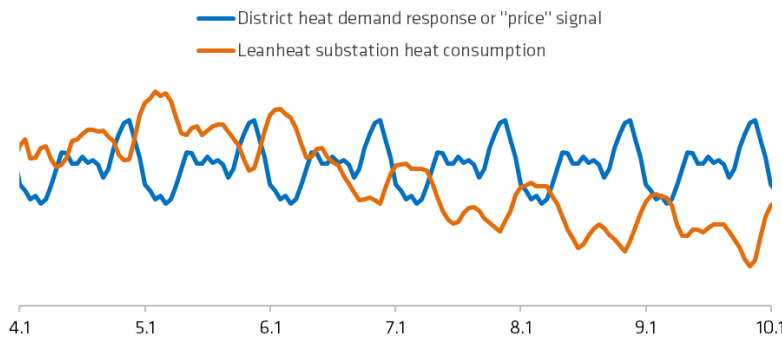


Figure 5. Leanheat substation optimizing its heat consumption around a demand response signal from the utility. The higher the demand response signal from the utility, the lower the Leanheat substations heat consumption.

5. Leanheat Key Benefit 3: More Data from the Buildings Allows for Completely New Business Models for the District Heating Company

Leanheat is all about the data. The main purpose for collecting lots of data from the buildings is to heat them as intelligently as possible. But this data has a multitude of other use cases as well. Mainly it provides a great opportunity for the utility to get closer to its customers by offering e.g. predictive maintenance service to the heating equipment, or alerts and predictive actions on abnormal apartment level temperature or humidity conditions. All indoor sensors installed by Leanheat also measure relative humidity, making predictive mold detection a real possibility. Using Leanheat’s tools, it’s easy for the utility to productize new data-driven business models to

offset ever decreasing revenue from pure heat sales. Leanheat enables the utility to shift from a commodity sales organization to a service business. (Figure 6)

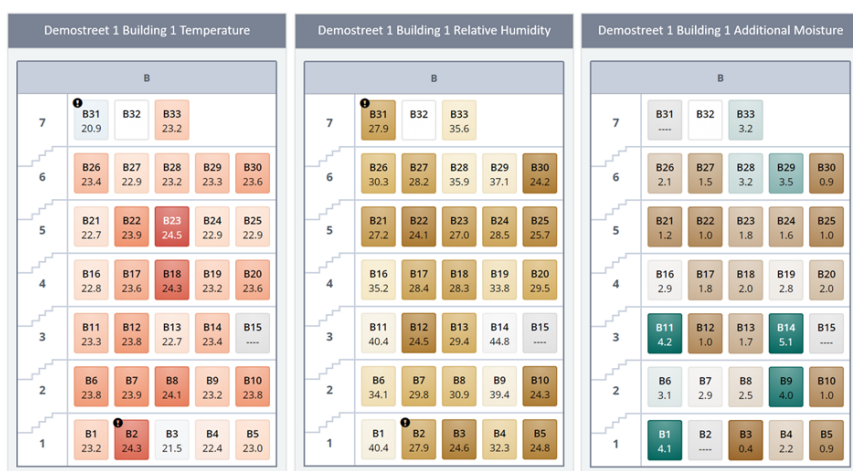


Figure 6. Real-time temperature, relative humidity and additional moisture data visualized on a realistic representation of the building.

6. Quick intro to the science behind Leanheat control

Leanheat solution is based on the concept of Model Predictive Control (MPC), which is an advanced process control methodology widely used in different industrial processes. MPC includes a mathematical model that is able to predict how the process would behave with a given control input. Numerical optimization is then typically applied to find a control that minimizes some cost function and possibly fulfils some constraints related to the process. The benefit of MPC compared to many other control approaches is that it enables looking into the future and thus controlling proactively. For a general introduction into MPC, see [Darby and Nikolaou 2012]. For a more building related MPC introduction, see [De Coninck 2016].

Leanheat MPC control relies on a dynamic model that is able to predict the evolution of inside temperatures and heating power consumption. Leanheat has adopted a Grey Box modelling approach, where physics principles are used to derive the equations for the buildings' thermodynamics, and the collected data is used to calibrate various unknown parameters and coefficients in the model. Good introductions to the Grey Box modelling approach for district heating applications can be found in [Andersen et. al. 2000] and [Hansen 1997]. Various methods for modelling and estimation are discussed also in [Ionesi 2018].

Learning the site-specific thermodynamic parameters in a robust and scalable manner is not trivial. Leanheat uses a Bayesian approach to model learning, where parameters are treated as random variables, and the outcome is a distribution of possible values supported by data, instead of single point-estimates. The Bayesian approach allows us to acknowledge the inaccuracies in the data and in the model formulations, and also insert previously learned information into the estimation process. "Joint dynamical state and parameter estimation" is one typical class of learning problems faced in these kinds of applications. For the model calibration techniques for these kinds of problems, refer to, e.g., [Särkkä 2013] and [Luttinen 2013]. For a general introduction into Bayesian models, see [Gelman et al. 2013].

Bayesian approach allows us to also use information across sites, instead of using only data collected from the site in question; thermodynamics of two similar sites are likely close to each other (and "how close" can be also estimated from the available data). For an introduction to such "hierarchical statistical models", refer to, e.g., Chapter 5 of [Gelman et al. 2013].

Once the dynamic models are in place, MPC performs an optimization that looks at a finite horizon into the future (e.g. 48 hours). This optimization attempts to find a control that a) minimizes energy consumption (and possibly peak power usage) and b) satisfies various soft and hard constraints (comfortable inside temperatures, smooth changes in heating, etc.) A good introduction to optimization methods suitable for such large-scale, nonlinear constrained optimization problems is given in [Nocedal and Wright 2006].

7. Summary

Leanheat is a software solution to optimize the space heating of centrally heated multi-family residential buildings.

Leanheat buildings are equipped with wireless indoor temperature and humidity sensors, and a remote connection is established to the central heating controller. Based on the collected apartment, heating system and weather data, a precise thermodynamic model is automatically created for each individual building. Space heating is then optimized around these parameters to minimize simultaneous usage of heat and the peak loads caused by it.

Benefits are

1. 20 % Lower Peak Loads and 2-4 °C lower Primary Return Temperatures
2. Model Predictive Substation Control Enables Precise Demand Forecasts and Powerful Demand Response for Optimized Heat Production
3. More Data from the Buildings Allows for Completely New Business Models for the District Heating Company

References

- [1] Andersen K., Madsen H. and Hansen L. (2000), Modelling the heat dynamics of a building using stochastic differential equations. *Energy and Buildings* 31 13-24.
- [2] Darby M. and Nikolaou M. (2012). MPC: Current practice and challenges. *Control Engineering Practice*, 20(4):328-342. Special Section: IFAC Symposium on Advanced Control of Chemical Processes - AD-CHEM 2009.
- [3] De Coninck R. and Lieve H. (2016). Practical implementation and evaluation of model predictive control for an office building in Brussels. *Energy and Buildings*, Vol. 111, pp. 290 - 298.
- [4] Gelman A., Carlin B., Stern H., Dunson D., Vehtari A. and Rubin D., *Bayesian data analysis*, 3rd edition. Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science (Book 106), 2013.
- [5] Hansen L., *Stochastic modeling of central heating systems*. PhD thesis, Technical University of Denmark (1997), ISSN 0909-3102.
- [6] Ionesi A. (2018). *On modeling and estimation techniques towards on-line applications in building energy management systems*. PhD thesis, University of Southern Denmark.
- [7] Luttinen J., *Fast variational Bayesian linear state-space model*. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases* (2013) 305-320.
- [8] Nocedal J. and Wright S. *Numerical Optimization*, 2nd edition. Springer, New York, 2006.
- [9] Särkkä S., *Bayesian filtering and smoothing*. Cambridge University Press (2013).

Lattian korjaaminen koneellisesti ilmastoidulla Platon-lattiaratkaisulla

Jaana Valjus
Nordic Waterproofing Oy

Tiivistelmä

Ihmisiä sairastuu rakennusten huonon sisäilman vuoksi. Syyt huonoon sisäilmaan voivat olla esimerkiksi lattiaan alhaalta päin nousevan kosteuden tai hajujen aiheuttamat ongelmat. Koneellisesti ilmastoidun Platon-lattiajärjestelmän, eli ns. alipainelattian avulla voidaan ongelmalattioista korjata toimivia sekä parantaa sisäilman laatua. Järjestelmä kuivattaa sekä poistaa lattiasta kosteuden ja hajut ilmapalstan kautta hallitusti ulos rakennuksesta päästämättä niitä lainkaan sisäilmaan.

Koneellisesti ilmastoitu lattiajärjestelmä saumoinen muodostaa tiiviin rakenteen. Lattiaan toteutetaan ilmapalsta nystyröidyn polypropyleenimuovista valmistetun levyn avulla. Ilmapalstaan ohjataan huoneilmaa tietyistä, tarkkaan valituista kohdista tuloilmaventtiilien kautta, ja ilma johdetaan rakennuksen poistoilmastointiin kytketyn säätöpellin tai erillisen tuulettimen avulla ulos rakennuksesta.

Koneellisesti ilmastoituun lattiaan liittyy aina ilmavirtauksen laskenta- ja suunnittelutyö erityisen tietokoneohjelman avulla. Tämä on oleellinen osa toimivan järjestelmän toteutusta.

Järjestelmän asentaa aina valtuutettu asennusliike, joka myös tarkistaa järjestelmän toiminnan laadunvarmistusohjelman mukaisesti.

1. Johdanto

Koneellisesti ilmastoidusta Platon-lattiaratkaisusta on jo yli 30 vuoden kokemus. Kehitystyö aloitettiin 1980-luvun puolessa välissä, jolloin Isola-Platon AB:n toimeksiannosta perustettiin projektiryhmä tutkimaan asiaa. Ryhmään kuului laaja joukko asiantuntijoita mm. Statens Provningsanstalt ja Chalmers Tekniska Högskolan -organisaatioista. Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää entistä yksinkertaisempi korjaustapa kosteusvaurioituneille lattiarakenteille. Tavoitteena oli, että järjestelmä on tiivis, ja että ilmapalstan ja sen kanssa suorassa kontaktissa olevien materiaalien tulisi olla kohtuullisen kuivumisajan kuluessa niin kuivia, että kemiallinen ja biologinen toiminta pysähtyy. Kuivumisen aikana tai sen jälkeen ei saisi tulla emissioita sisäilmaan. Edellytykset järjestelmän käytölle, hyödyt ja rajoitukset, tulisi dokumentoida yksityiskohtaisesti, sekä luoda tarkat suunnittelu- ja asennusohjeet. [1]

Tutkimuksessa tehtiin laajat laboratorio- ja käytännön testit. Projektiryhmän työn tulosten pohjalta luotiin koneellisesti ilmastoitu lattiaratkaisu, joka lanseerattiin Ruotsissa 1980-luvun lopulla. Todettiin, että järjestelmän alla betonilaatta kuivuu tehokkaasti ja joissain tapauksissa suhteellinen kosteus laskee jopa noin 50 %:iin. [2, 3]

Järjestelmän toimivuutta tutkittiin käytännössä noin 900 kohteessa Ruotsissa ja aiheesta julkaistiin raportti vuonna 1992. Raportin mukaan järjestelmä toimii suunnitellusti poistaen

kosteuden ja hajut. Lisäksi todettiin, että käyttäjät ovat olleet erittäin tyytyväisiä. Selvitystyön perusteella tehtiin järjestelmään vielä pieniä parannuksia sekä tarkennuksia ohjeistuksiin. [2]

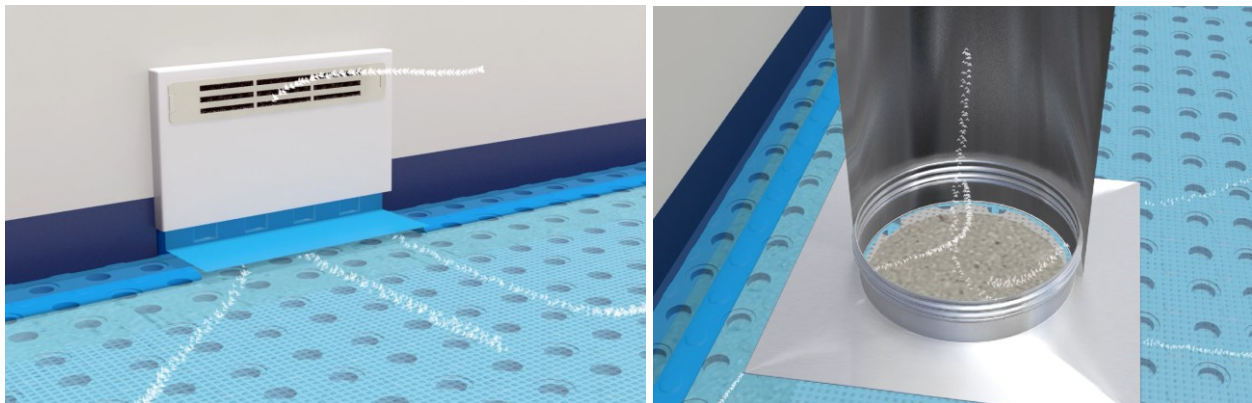
RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet –julkaisussa todetaan, että märän maanvaraisen betonilattian päälle voidaan asentaa tuulettuva lattiarakenne esimerkiksi muoviprofiililevyjen avulla. Kyseinen lattia on suositeltavaa tehdä koneellisesti tuulettuvana ja suodattimet tulisi puhdistaa vähintään kerran vuodessa. [3, 5]

Tähän mennessä koneellisesti ilmastoituja lattiaita on asennettu Pohjoismaissa lähes 3 000 000 m². Järjestelmän markkinointi aloitettiin Suomessa vuonna 1996 ja sitä on asennettu tähän mennessä lähes 50 000 m² erilaisiin kohteisiin, pieniin ja isoihin, omakotitaloista sairaaloihin. Kokemukset ovat olleet hyviä. [3, 4, 6]

2. Järjestelmän toimintaperiaate

Koneellisesti ilmastoidussa järjestelmässä lattia tiivistetään nystyröidyn levyn avulla. Ilmavirtaus kulkee ilmapalstan sisään tuloilmaventtiilien kautta ja poistuu ulkoilmaan tuulettimen tai rakennuksen ilmanpoistoon kytketyn säätöventtiilin kautta.

Järjestelmä poistaa lattian alta tulevan kosteuden ja hajut ilmapalstan kautta hallitusti ulos rakennuksesta päästämättä niitä lainkaan sisäilmaan. [3, 4, 6]



Kuvat 1-3. Tuloilma otetaan huoneilmasta tuloilmaventtiilien kautta ja poistetaan esimerkiksi erillisen tuulettimen avulla ulos rakennuksesta [7].

3. Tutkimustuloksia

3.1 Laboratoriotestit

Statens Provningsanstaltin laboratorioon rakennettiin neljä 1 x 4 metrin kokoista betonilaattaa, joiden pintaan asennettiin ilmapalstan muodostava nystyröity muovilevy. Koelaatat, joiden paksuus oli 10 cm, olivat seuraavat:

- Laatta numero 1 tiivistettiin kaikilta sivuilta elastisella tiivistenauhalla eikä sitä tuuletettu.
- Laatta numero 2 tiivistettiin ainoastaan pitkiltä sivuilta eikä sitä tuuletettu.
- Laatta numero 3 tiivistettiin pitkiltä sivuilta ja sitä tuuletettiin hiukan.
- Laatta numero 4 tiivistettiin pitkiltä sivuilta ja sitä tuuletettiin enemmän.

Testin alussa laattojen suhteellinen kosteus oli 100 %. Laattojen lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin sekä pinnasta että pohjasta. Testiä jatkettiin vuoden ajan. Tuloksena todettiin, että riittäväällä tuuletuksella betonilaatan suhteellinen kosteus alenee vuodessa 70 - 75 prosenttiin neljän metrin etäisyydellä ilmanottoaukosta. Joissain tapauksissa suhteellinen kosteus laski jopa noin 50 %:iin. [1, 3]

3.2 Hajutiiviystesti

Nystyröidyn levyn hajutiiviyden testaamiseksi suoritettiin hajutiiveystesti. Tavoitteena oli tutkia miten erilaiset kemialliset yhdisteet imeytyvät tai läpäisevät käytettävän tuotteen.

Absorptiotestissä levy upotettiin 24 tunniksi kemialliseen liuokseen. Kokeen jälkeen todettiin, että levyn pintaan imeytyi emissioita, mutta 56 vuorokauden jälkeen ne olivat täysin poistuneet.

Penetraatiotestissä saatiin varmuus siitä, että kemikaaleilla kyllästetystä lattiasta ei muovilevyn läpi siirry havaittavia määriä hajuja. Testin perusteella voitiin tehdä johtopäätös, että järjestelmä antaa hyvän suojan betonilattiasta siirtyviä hajuja ja emissioita vastaan. [1, 3]

3.3 Kokemuksia 900 kohteen jälkeen

Projektiryhmän perustyö kesti kaksi vuotta. Tänä aikana seurattiin 900 kohteeseen asennetun koneellisesti ilmastoidun lattiajärjestelmän toimintaa. Raportista käy ilmi,

- että mittausten mukaan betonilaatta kuivuu tehokkaasti koneellisesti ilmastoidun lattiajärjestelmän alla ja joissain tapauksissa suhteellinen kosteus laskee jopa noin 50 %:iin,
- että alustan kosteuspiitoisuus laskee, mutta etukäteen ei voi ennakoida miten nopeasti kuivuminen tapahtuu,
- että normaaliolosuhteissa ratkaisun käyttö ei aiheuta kondenssiriskiä,
- että hajun siirtyminen lattiasta huoneisiin saadaan estetyksi noudattamalla tarkasti asennusohjeita. Tutkituista taloista viidessä todettiin edelleen hajuja. Tarkistuksissa todettiin, että ongelmat johtuivat asennusvirheistä tai että hajun alkuperä ei johtunut lattioista.
- että seinän ja ilmastoivan jalkalistan väliin tulee asentaa pölysuodatin, sillä pölyä ei saa päästää ilmapalstaan,
- että sisäilmasto paranee huomattavasti, kun saneerauskohteeseen asennetaan koneellisesti ilmastoitu lattia,
- että järjestelmään kuuluvilla elastisilla tuotteilla ja huolellisella asennustyöllä järjestelmästä tulee riittävän tiivis,

- että järjestelmän jatkuva hyvä toiminta edellyttää käyttö- ja hoito-ohjeiden noudattamista,
- että rakennuksen yleisilmastointiin ratkaisu vaikuttaa vain marginaalisesti, yleensä parantavasti,
- että järjestelmään kuuluvan tuulettimen käyntiääni ei normaalisti ole häiritsevää, mutta on suositeltavaa sijoittaa tuuletin tilaan, jossa ei säännöllisesti oleskella,
- että tarvittava alipaineistus saadaan aikaan vain tiivistämällä rakenteet huolellisesti,
- että asennuksen jälkeen järjestelmän toimivuus on tarkistettava,
- että tulee käyttää ilmastoivaa jalkalistaa pölysuodattimiseen, jotta saadaan oikeanlaiset ilmavirrat ilmapalstaan,
- että saastunut ilma voidaan poistaa joko katon tai seinän kautta,
- että yhden poistokanavan kautta voidaan ilmastoida jopa noin 150 m² lattia-alaa,
- että lattian ilmavirtaukset tulee optimoida suunnitteluohjelmalla ja
- että huolellinen laadunvarmistus on ratkaisevan tärkeää onnistuneen asennuksen ja varman toiminnan takaamiseksi. [2, 3]

3.4 Terveystutkimus

Erään lähiön asukkaat valittivat hajuongelmista ja parketin tummumisesta. Lattiat olivat paikallaan valettuja ja niiden pinta oli viimeistelty lattiatasoiteella. Todettuja haittoja korjattiin ensin lattiaa kuivattamalla, asuntoja tuulettamalla ja rakenteita tiivistämällä.

Korjaustoimenpiteistä huolimatta ongelmat jatkuivat ja päätettiin asentaa koneellisesti ilmastoitu lattia kaikkiin huoneistoihin. Yrkesmedicinska kliniken Ruotsin Örebrossa tutki olosuhteet ennen koneellisesti ilmastoidun lattian asennusta ja asennuksen jälkeen. Kuukausi asennuksen jälkeen suoritettiin kyselytutkimus, jonka vastausprosentti oli 82. Korjattujen asuntojen sisäilma todettiin hyväksi verrattuna olosuhteisiin ennen saneerausta. Todettujen oireilujen osalta tilanne oli huomattavasti parantunut saneerauksen jälkeen. [3]

4. Järjestelmän toteutus

Lattiasaneerauksen kohdekohtaisessa suunnittelussa tulee varmistaa koko rakenteen ja muun muassa salaojitusten toimivuus. Ennen purkutyötä tulee varmistaa, ettei rakenteessa ole haitta-aineita, esimerkiksi asbestia.

Koneellisesti ilmastoidun Platon-lattian asentaa aina valtuutettu asennusliike. [3, 4, 6]

4.1 Taustaselvitys ja mitoitus

Ennen koneellisesti ilmastoidun lattiaratkaisun asennusta selvitetään sen soveltuvuus kohteeseen ja määritetään tarvittavat pohjatiedot. Suunnittelutyön pohjaksi tarvitaan kohteen korjattavista lattiapinnoista mittakaavassa oleva pohjapiirustus, sekä tiedot järjestelmän päälle asennettavista pinnoitteista sekä valitaan kohteeseen soveltuva nystyrälevy. Levyvaihtoehtoja on kaksi: isopinystyräinen, joustavampi levy muun muassa puu- ja parkettilattioille sekä pieninystyräinen, jäykempi levy esimerkiksi tasoite- ja laminaattilattioille. Järjestelmä nostaa lattian pintaa 5 - 7 mm käytetystä tuoteratkaisusta riippuen.

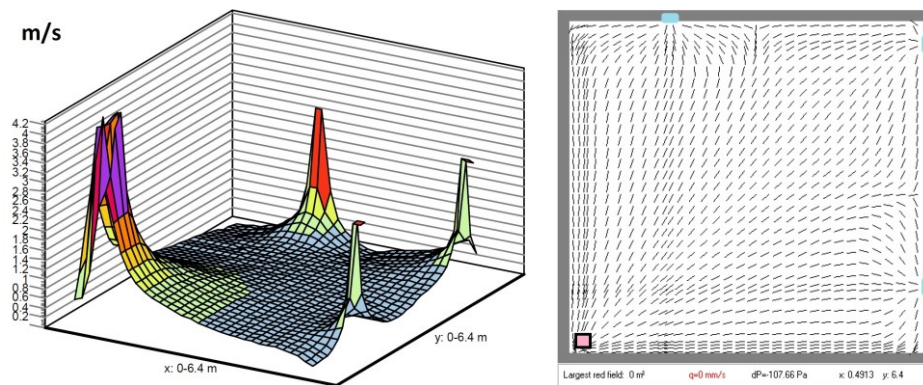
Suunnittelua varten tarvitaan tieto, valitaanko erillinen tuuletin vai yhdistetäänkö järjestelmä olemassa olevaan ilmastointijärjestelmään säätöpellin avulla. Tuulettimen ja poistokanavien sijainnit sekä tuloilmaventtiileiden sijaintiin vaikuttavat seikat merkitään pohjapiirroksen.

Väliseinät voidaan rakentaa Platon-järjestelmän päälle ja toteuttaa ilma-aoit niiden alle. Vaihtoehtoisesti väliseinät voidaan rakentaa betonilaatan päälle.

Jokaisesta kohteesta tehdään erillinen ilmvirtauksen mitoitus, jotta voidaan varmistua ratkaisun toimivuudesta. Suunnittelutyön tekee valmistajan tekninen osasto tätä toimintaa varten suunnitellulla tietokoneohjelmistolla. Ohjelmiston avulla varmistetaan,

- että kosteus ja hajut tuulettuvat pois rakenteista,
- että valitaan taloudellisesti oikea tuuletusteho,
- että ilmvirtaus kulkee koko lattiapinnan yli ja
- ettei lattiapintaan jää katvealueita.

Ilmvirtaussuunnitelmassa valitaan tarkat sijainnit tulo- ja poistoilmalle sekä määritetään oikea tuuletusteho. Suunnittelutyön tulos osoitetaan erillisellä värillisellä ja mittakaavassa olevalla piirustuksella. [3, 4, 6]

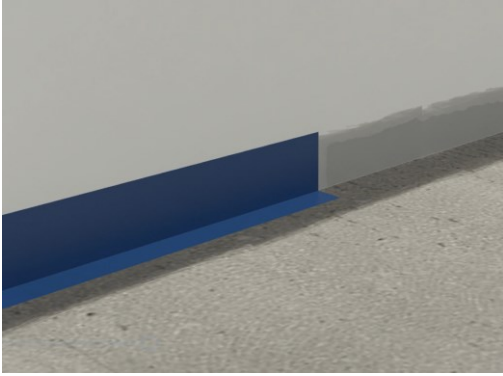


Kuvat 4-5. Ilmvirtauslaskelmassa simuloidaan ja mitoitetaan kohteeseen sopiva tuuletusteho sekä määritetään tulo- ja poistoilman tarkat sijainnit. Mitoitukseen käytetään tietokoneohjelmaa, jolla varmistetaan kaikkien lattiapintojen optimaalinen tuuletus.

4.2 Järjestelmän asennus

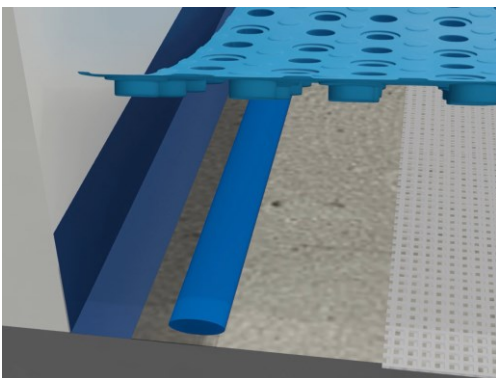
Lattian vanhat pintamateriaalit poistetaan ja varmistetaan betonialustan puhtaus, sileys ja tasaisuus. Lattian tasoerot eivät saa olla suuremmat kuin 3 mm kahden metrin matkalla. Laatta puhdistetaan huolellisesti rakennusjätteistä, liimoista, puruista, pölystä ja liasta. Mahdolliset home- tai sienimuodostumat tulee poistaa asiantuntijan toimesta. Kosteuden mahdollisesti vahingoittamat alasidepuut vaihdetaan. Lattia imuroidaan huolellisesti ennen järjestelmän asennusta.

Pölyä sitovaa pohjustetta levitetään niihin kohtiin, joihin tiivistenuhaa tai tiivistysteippiä asennetaan. Mahdolliset ilmavuodot esimerkiksi ulkoseinän rajassa estetään. Järjestelmään kuuluva verkko asennetaan tarvittaessa vaimentamaan ääntä.



Kuva 6. Pölynsidonta ja ilmavuotojen estäminen [7].

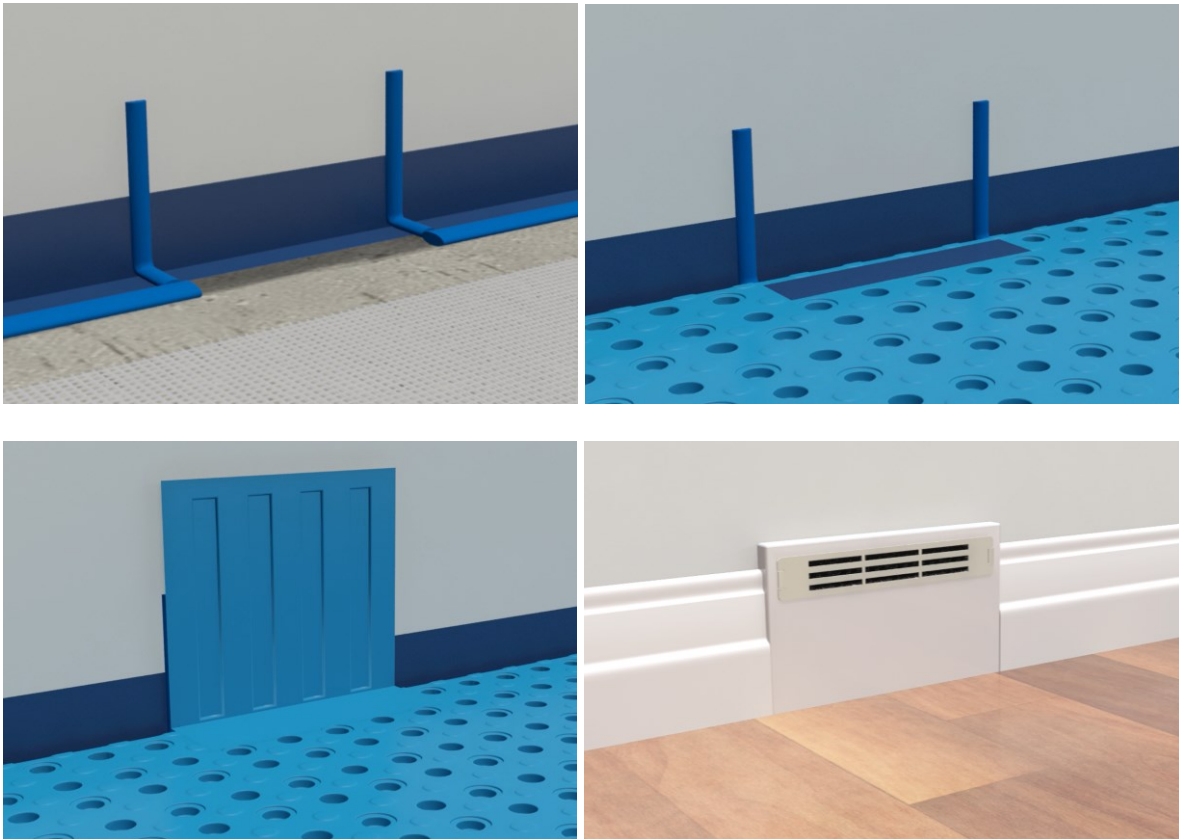
Ilmapalstojen tiivistykset sekä mahdolliset ohjaukset tehdään tiivistenauhalla.



Kuva 7. Ilmapalstan tiivistys ja ohjaus tiivistenauhalla [7].

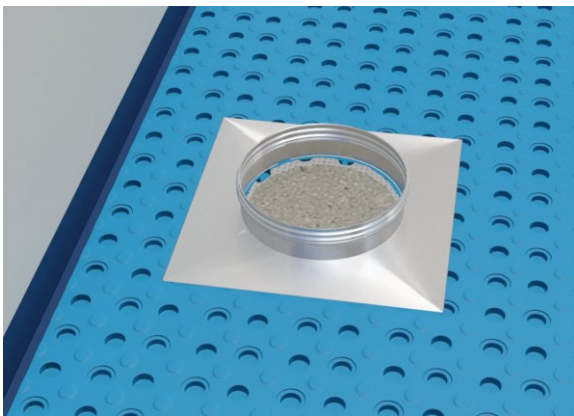
Nystyrälevy asennetaan kaikki saumat huolellisesti tiivistäen järjestelmään kuuluvilla butyyliarvikkeilla. Pitkittäissaumat tiivistetään saumanauhalla ja päätysaumat tiivistysteipillä.

Tuloilmaventtiilien kohdalle asennetaan seinänvieruspalat huolellisesti tiivistäen. Tuloilmaventtiilit asennetaan vasta lattiamateriaalin asennuksen jälkeen.



Kuvat 8-11. Tuloilmaventtiilien asennus [7].

Järjestelmä liitetään tuulettimeen tai säätöpeltiin kauluksen avulla.



Kuva 12. Poistoilman lähtö [7].

Tuuletin ja poistoputki voidaan koteloida tai sijoittaa esimerkiksi kaappiin. [3, 4, 6]

4.3 Järjestelmän laadunvarmistus

Järjestelmän toimivuus varmistetaan seikkaperäisellä laadunvarmistusohjelmalla.

On tärkeää, että tuloilman saanti rakennuksessa on varmistettu. Joissakin tapauksissa saattaa hienosäätö olla tarpeen. Ns. tiivistarkistus on erittäin tärkeä asennuksen oikeaoppisen suorittamisen varmistamiseksi. Tiivistarkistus tehdään ennen pinnoitteiden asentamista, nystyrälevyjen ja tarvikkeiden asentamisen jälkeen. Lattiajärjestelmä liitetään väliaikaisesti

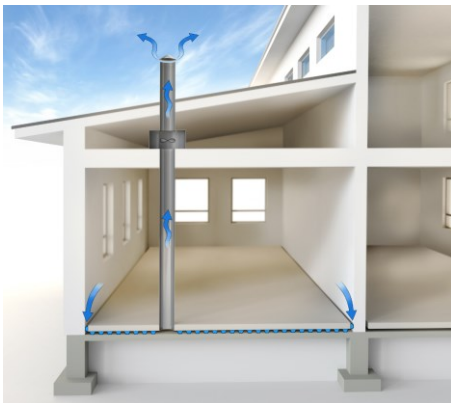
tuulettimeen ja tarkistetaan merkkisavun avulla, että lattia on tiivis, ja että korvausilmaa siirtyy ilmarakoon suunnitelluista paikoista. [3, 4, 6]

4.4 Huolto

Järjestelmän toimivuus on muiden teknisten ratkaisujen tapaan tarkistettava säännöllisesti, jotta järjestelmä toimii suunnitellusti vuosikymmeniä. Myöhemmin mahdollisesti suoritettavat tilamuutokset vaativat järjestelmän päivittämisen. [3, 4, 6]

5. Yhteenveto

Rakennusten huonon sisäilman mahdollisena syynä olevat lattiaongelmat voidaan usein korjata kustannustehokkaasti koneellisesti ilmastoidulla lattiaratkaisulla. 1980-luvun puolivälissä kehitetyllä järjestelmällä voidaan poistaa kosteus, haju ja emissiot. Järjestelmä perustuu nystyröidyn levyn avulla toteutettavaan, hallitusti ilmastoivaan ilmapalstaan, joka asennetaan betonilaatan ja pintamateriaalin väliin. Järjestelmä on tutkittu ja dokumentoitu, ja rakentamiseen tarvittavat tuotteet ovat laadukkaita ja pitkäikäisiä. Asennus suoritetaan laaditun laadunvarmistusohjelman mukaisesti. Järjestelmää on asennettu Pohjoismaihin yhteensä lähes kolme miljoonaa neliometriä yli 30 vuoden aikana.



Lähdeluettelo

- [1] Becker, B., Elmroth, A., Kronvall, J., Nilsson, L., Ryan, J. ja Samuelsson, I. 1987. Ventilated floors using System Platon. A method for avoiding problems of damp and emissions.
- [2] Elmroth, A., Kronvall, J., Nilsson, L., ja Samuelsson, I. 1992. System Platon ventilated floors against damp and emissions. Experience from 900 projects.
- [3] Seminaarijulkaisu, Tampereen teknillinen yliopisto, 2013. Rakennusfysiikka 2013. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. S. 41. Johansson, P. Koneellisesti ilmastoitu järjestelmä kosteuden ja emissioiden poistamiseen betonilattioista.
- [4] Koli, M. 2015. System Platon alipainelattiat sisäilmaongelmien ratkaisuisa. Opinnäytetyö, Rakennusterveys, Itä-Suomen Yliopisto.
- [5] RIL 107-2012 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. 2012.
- [6] www.kerabit.fi. 2019.
- [7] Nordic Waterproofing Oy. 2019. 3D-animaatio. Koneellisesti ilmastoitu Platon-järjestelmä -ratkaisu betonilattioiden haju- ja kosteusongelmiin. www.youtube.com/watch?v=7nu17YtrWLY&feature=youtu.be

Huokoisten puukuitu- ja kipsituulensuojalevyjen homehtumisherkyys

Eero Tuominen¹, Annu Ruusala¹, Anssi Laukkarinen¹, Sanna Pätsi², Anna-Mari Pessi² ja Juha Vinha¹

¹ Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, rakennusfysiikka

² Turun yliopiston biodiversiteettiyksikkö, Aerobiologian laboratorio

Tiivistelmä

Vuosien 2017 ja 2018 aikana toteutetuissa erillisissä tutkimuksissa selvitettiin eri tuulensuojalevyjen homehtumista. Tutkimuksessa uudet puhtaat koekappaleet käsiteltiin homesuspensiolla ja asetettiin vakio olosuhteisiin. Kasvustojen kehittymistä seurattiin mikroskopoimalla noin 9 kuukauden ajan. Mikroskoppoinnin tuloksena koekappaleille määritettiin Suomalaisen homemallin mukaiset homeindeksit. Määritettyjä homeindeksejä verrattiin homehtumiskokeessa vallinneiden olosuhteiden avulla laskettuihin Suomalaisen homemallin eri homehtumisherkyysluokkien mallikäyriin. Tulosten perusteella osalla levyistä homeindeksi kasvaa jopa nopeammin kuin homemallin herkimmän homehtumisherkyysluokan mallikäyrä.

1. Johdanto

Tässä artikkelissa esitellään kahden eri ajankohtina tehdyn homehduttamiskokeen tuloksia. Homehdutuskokeissa oli mukana viisi eri tuulensuojalevytyyppiä ja lisäksi verrokkina mäntyisiä koekappaleita. Tutkittuja levyjä olivat:

- 12 mm käsittelemätön huokoinen puukuitulevy
- 18 mm bitumoitu huokoinen puukuitulevy
- 9 mm kuitusementtilevy
- 9 mm kartonkipintainen kipsituulensuojalevy
- 9 mm lasikuitupintainen kipsituulensuojalevy

Tuulensuojalevyjen homehtumisherkyys tutkittiin tavanomaisissa homehtumisherkyystesteissä käytetyissä lämpötila- ja kosteusolosuhteissa sekä Suomen ilmastossa ulkoilmalle tyypillisemmässä viileässä ja kosteassa olosuhteessa.

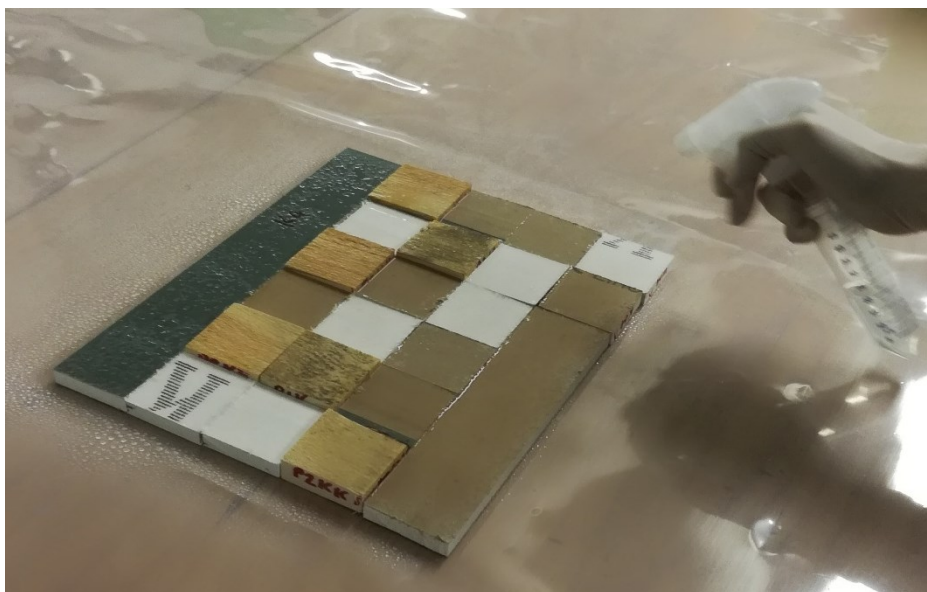
2. Tutkimusmenetelmä

Kokeissa käytetyt koekappaleet leikattiin tutkimuksen tilaajan toimittamista suuremmista tuulensuojalevyn palasista. Nämä levyn palat oli otettu suoraan tehtaan linjastolta tai tehtaan pakkaaman levynipun keskeltä, jotta kontaminaatio ennen kokeiden suoritusta olisi mahdollisimman vähäistä. Koekappaleet leikattiin useammista eri levyistä otetuista palasista, jotka mahdollisuuksien mukaan edustivat eri tuotantoerää, mutta vähintään olivat saman levynipun eri osista. Koekappaleita kooltaan 50x50 mm² valmistettiin 12 kpl jokaisesta tutkitusta levytyypistä. Levyjen ja koekappaleiden käsittelyyn käytettiin puhtaita käsineitä.

2.1 Koekappaleiden homeitiökäsittely

Koekappaleet käsiteltiin homesuspensiolla, joka valmistettiin M2-kasvualustalla kasvatetuista puhdasviljelmistä. Käsittelyyn valittiin homeita, jotka oli suomalaisen homemallin [1] kehitystyössä todettu homehduttavan tehokkaasti erityyppisiä materiaaleja (*Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysosporium*, *Cladosporium sphaerospermum* ja *Paecilomyces variotii*) [2]. Kunkin homekannan itiöpitoisuus suspensiossa määritettiin mikroskopointilaskennalla [3] lopullisen sekoitussuhteen ollessa 1:1:1:1. Ennen käsittelyä kipsilevyjen ja puun homeindeksit määritettiin mikroskopoimalla, mutta muita levytyyppejä ei mikroskopoitu ennen kokeita. Kipsilevykokeissa suspensioon vaihdettiin *Cladosporium* –homeen tilalle levytyypissä usein esiintyvä, kalkkia suosiva *Stachybotrys* -home. Suspension vahvuus oli 1 000 000 itiötä / ml ja koekappaleille levitettiin noin 0,4 ml / kpl homesuspensiota.

Koekappaleet ympättiin pinnalta, joka rakennuksessa asennettaisiin eristeitä vasten. Toisessa tutkimuksessa osa koekappaleista jätettiin käsittelemättä. Tarkoituksena oli tarkistaa, homehtuvatko ympätyt pinnat eri tavalla kuin kuivat ja puhtaat pinnat. Tuloksissa ympätyt ja ympäämättömät koekappaleet eivät eronneet toisistaan joten niitä ei ole eritelty tuloksissa. Kuvassa 1 nähdään ympäystilanne, jossa käsisuihkulla levitetään homesuspensiota koekappaleille. Käsisuihkun letkuun jäänyt suspensio levitettiin koekappaleille suihkuttamalla lopuksi puhdasta liuosta 0,4 ml / koekappale.

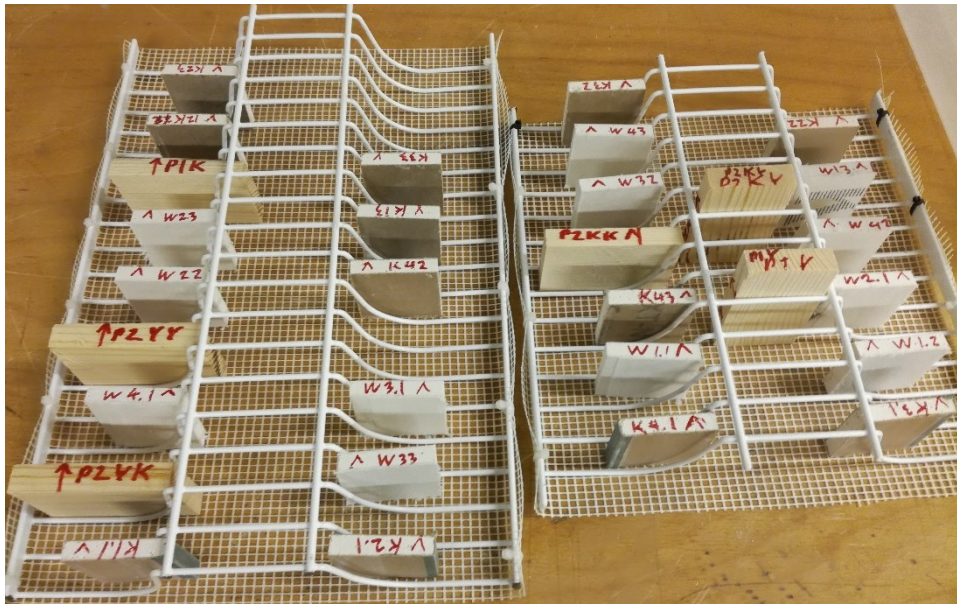


Kuva 1. Koekappaleiden käsittely homesuspensiolla.

Suspension levityksen yhteydessä ja siitä eteenpäin koekappaleita käsiteltiin ainoastaan desinfioiduin ottimin tai puhtailla kertakäyttökäsineillä.

2.2 Koekappaleiden säilytys

Homekäsittelyn jälkeen koekappaleet asetettiin telineeseen (kuva 2), jossa niiden kaikki pinnat ovat vapaana ympäröivää ilmaa vasten. Telinettä koekappaleineen säilytettiin suljetussa muoviastiasa, jossa oli pohjalla haluttua kosteusolosuhdetta vastaava suolaliuos. Olosuhteiden tasaamiseksi muoviastiasa oli lisäksi pieni puhallin. Mikroskopoinnin yhteydessä käytettiin suolaliuoksetonta muoviastiaa, jossa kappaleet siirrettiin säilytysolosuhteista vetokaappiin mikroskopoitavaksi.



Kuva 2. Koekappaleiden säilytys kokeiden aikana.

Puolet koekappaleista säilytettiin olosuhteessa, jossa keskimääräinen lämpötila kokeen aikana oli noin 23 °C ja suhteellinen kosteus noin 95 % RH. Loput koekappaleista säilytettiin toisessa viileämmässä olosuhteessa, jonka keskimääräinen lämpötila oli noin 10 °C ja suhteellinen kosteus noin 95 % RH. Lämpimämmät olosuhteet valittiin tutkimukseen, koska rakennusmateriaalit tyypillisesti homehtuvat nopeasti näissä olosuhteissa [1], ja siten saavutetaan mahdollisimman korkea homeindeksi tutkimuksen aikana. Kylmempi olosuhte vastaa puolestaan paremmin Suomen ilmastoa homehtumisen kannalta kriittisinä vuodenaikoina.

Olosuhteita seurattiin Rotronic HygroLog –antureilla. Antureita pidettiin aika-ajoin noin vuorokauden mittainen jakso homehdutusolosuhteessa ja loppuajan anturit olivat tavanomaisessa huoneolosuhteessa. Näin pyrittiin välttämään antureiden ryömiminen, joka on tavanomaista yli 90 % RH olosuhteissa. Suomalaisen homemallin vertailukäyriä laskettaessa (luku 3) on käytetty mitattuja olosuhteita, joissa lyhyiden mittausjaksojen välit on interpoloitu.

2.3 Homeindeksin määrittäminen

Tuulensuojalevyn homehtumista on tarkasteltu visuaalisella tarkastelulla määrittämällä koekappaleille homeindeksi M. Homeindeksin arvo voi vaihdella välillä 0–6. Eri indeksin arvoja kuvaavat määritelmät on esitetty taulukossa 1 [1].

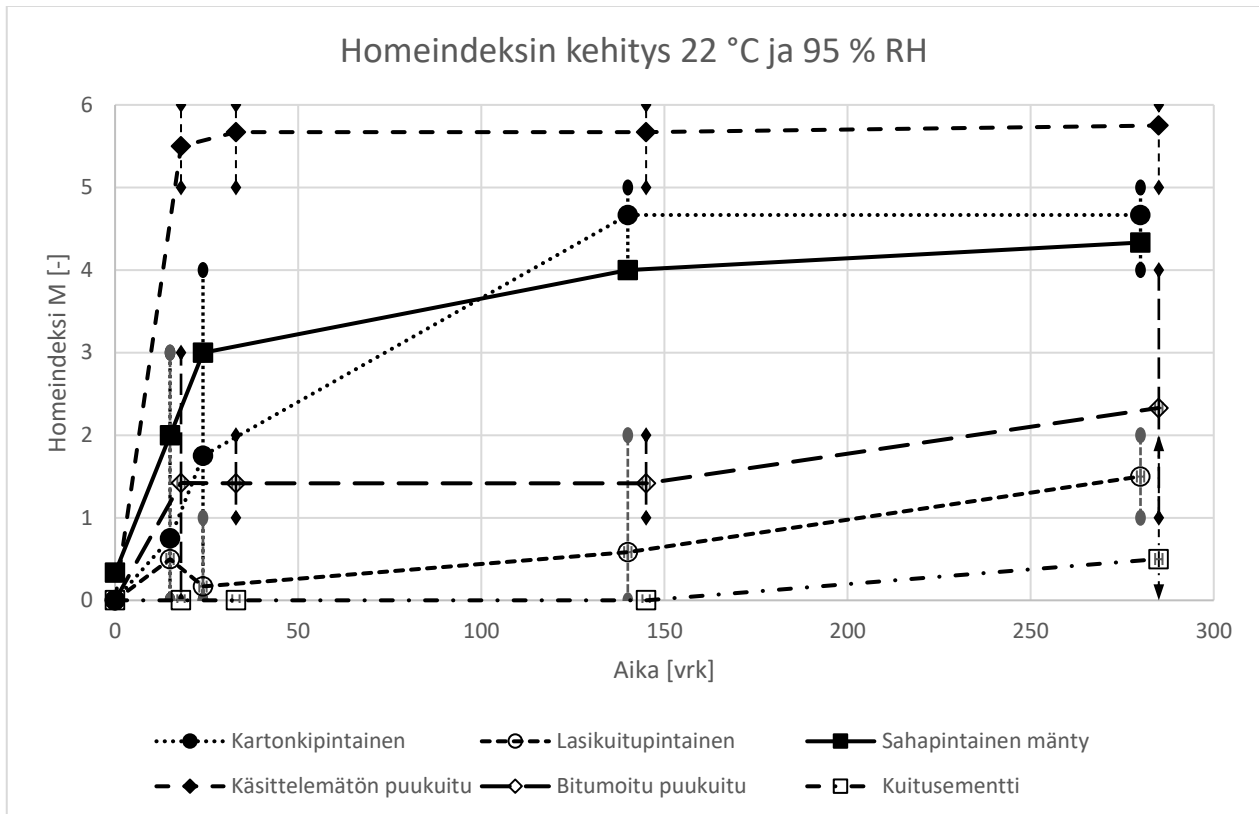
Taulukko 1. Suomalaisen homemallin homeindeksin luokitustasot.

Homeindeksi M	Havaittu homekasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla), useita rihmastopesäkkeitä muodostunut
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10% peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmillä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Tuulensuojalevyjen homeindeksit määritettiin neljä kertaa vakio-olosuhteisiin asettamisen jälkeen: noin kahden viikon, kuukauden, 5 kuukauden ja 10 kuukauden kuluttua Olympuksen SZX9 stereomikroskoopilla.

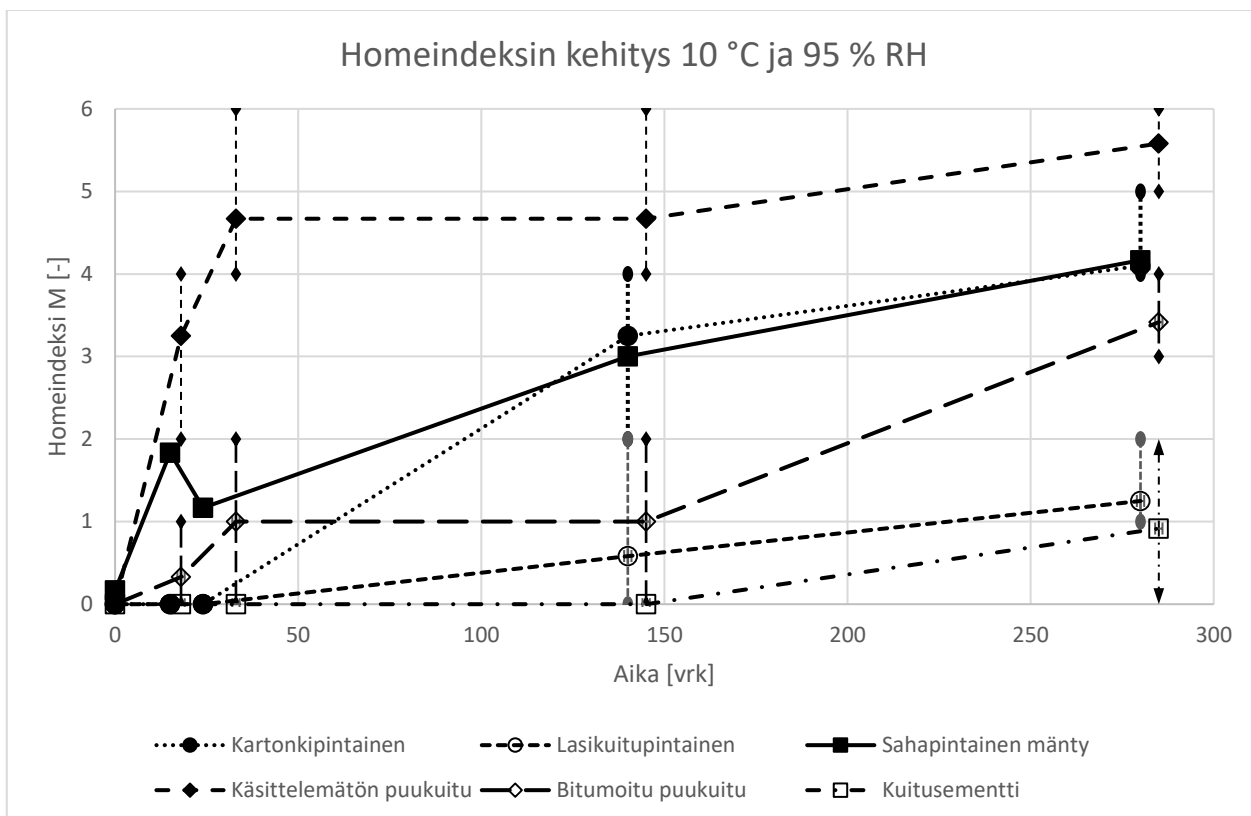
3. Tulokset

Koekappaleista mitattujen homeindeksien keskiarvot sekä muiden kuin puun vaihteluväli lämpimässä olosuhteessa on esitetty kuvassa 3. Kuvasta havaitaan, että vaihtelu kappaleiden välillä on pääosin ollut maltillista minimien ja maksimien eron ollessa pieni. Bitumoidussa puukuitulevyssä oli nopeasti, jo kahdessa viikossa, runsasta silmin havaittavaa homekasvua. Yksittäisen verrokkikoekappaleen (sahapintainen mänty) homeindeksi on ollut 1 jo kokeen aloitushetkellä, eli kappaleessa oli paikoin lievää, alkavaa homekasvua (muutama rihma). Lasikuitupintaisella kipsilevyllä lämpimässä ja puulla viileässä olosuhteessa puolestaan nähdään koekappaleiden välisten erojen aiheuttama hyppäys kokeen alussa. Kipsilevyssä jokaisella erillisellä mitatulla pinnalla homeindeksi on kuitenkin ollut jatkuvassa kasvussa, puulla on osin ollut 1 yksikön taantumaa.



Kuva 3. Tuulensuojalevyjen homeindeksit ja niiden vaihteluväli tutkimuksen aikana lämpimämmässä olosuhteessa. Puukappaleiden vaihteluväliä ei ole piirretty kaavion luettavuuden parantamiseksi.

Viileässä olosuhteessa käsiteltyjen koekappaleiden homeindeksit on esitetty kuvassa 4. Kaikkien materiaalien homeindeksi on kehittynyt odotetusti hivenen hitaammin kuin lämpimässä olosuhteessa. Reilun 9 kuukauden kokeen aikana saavutetut homeindeksin maksimit sen sijaan eivät juurikaan eroa eri lämpötilojen välillä.

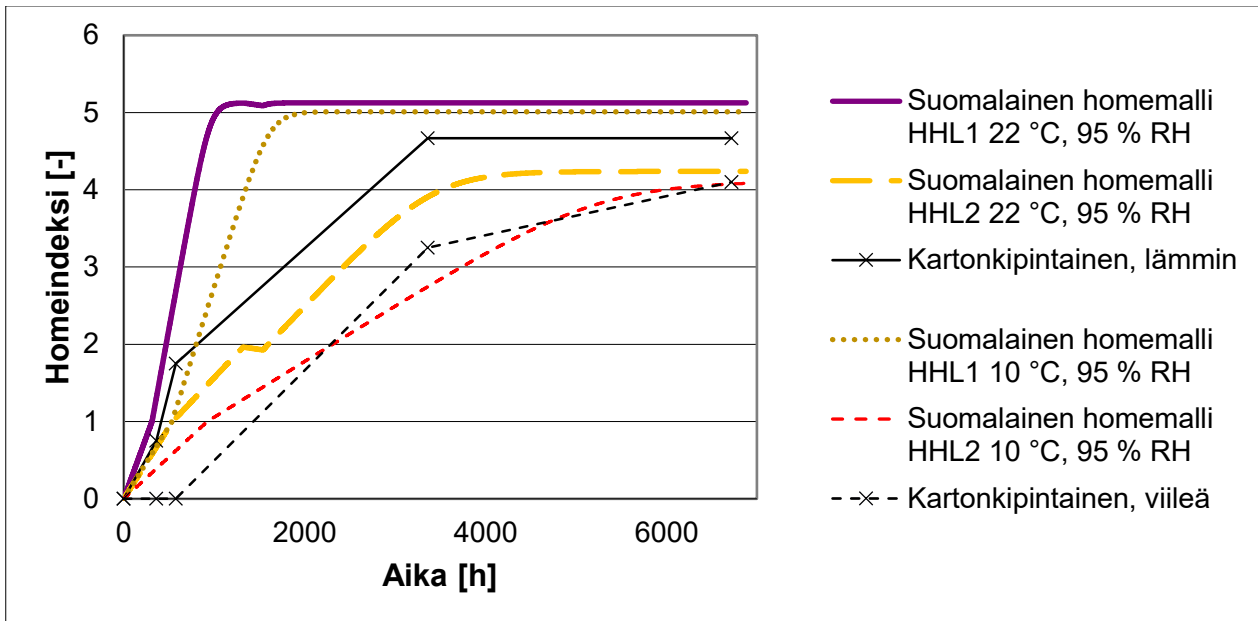


Kuva 4. Tuulensuojalevyjen homeindeksit tutkimuksen aikana viileämmässä olosuhteessa. Puukappaleiden vaihteluväliä ei ole piirretty kaavion luettavuuden parantamiseksi.

Kuvien 3 ja 4 mukaista homeindeksin kehitystä on verrattu Suomalaisen homemallin eri homehtumisherkkyysluokkien mallikäyriin; esimerkki tällaisesta vertailusta nähdään kuvassa 5. Homehtumisherkkyysluokat on kuvattu taulukossa 2 [1]. Höylätyn männyn homehtumisherkkyysluokka on kaikista herkin HHL1 [1], vaikkakin nyt tehdyissä kokeissa sen homeindeksin kehitys jää joidenkin muiden materiaalien alle.

Taulukko 2. Suomalaisen homemallin materiaalien homehtumisherkkyysluokat.

Homehtumisherkkyysluokka
Hyvin herkkä HHL1
Herkkä HHL2
Kohtalaisen kestävä HHL3
Kestävä HHL4



Kuva 5. Kartonkipintaisen kipsilevyn homehtuminen verrattuna homehtumisherkkyyssuokkaan HHL2, taantuma lämpimän olosuhteen käyrässä johtuu koejärjestelyn suhteellisen kosteuden lyhytaikaisesta laskusta koejärjestelyssä.

Kunkin tuulensuojalevyn homehtumisherkkyyssuokka on määritetty vertaamalla mikroskopoinnin tulosten keskiarvoa Suomalaisen homemallin mallikäyrään, joka on laskettu kokeessa toteutuneilla olosuhteilla. Alkuperäisen mallin kehitystyön mukaisesti erityistä huomiota kiinnitetään siihen, kuinka nopeasti homeindeksi saavuttaa arvon 3. Muilta osin myös mallikäyrän ylitys sallitaan, jos mallikäyrä muuten kuvaa materiaalin homehtumista hyvin. Näin määritetyt homehtumisherkkyyssuokat on esitelty taulukossa 3. Alle vuoden kestäneessä kokeessa ei kaikkien tutkittujen materiaalien homeindeksi ehtinyt vakioitua maksimiarvoonsa. Tästä syystä taulukossa esitetty homekasvun maksimimäärää kuvaava homehtumisherkkyyssuokka on esitetty vain niistä materiaaleista, joille se oli määritettävissä.

Taulukko 3. Tutkittujen tuulensuojalevyjen homehtumisherkkyyssuokat.

Materiaali	Homehtumisherkkyyssuokka	
	Kasvunopeus	Maksimimäärä
12 mm käsittelemätön huokoinen puukuitulevy	HHL1	HHL1
18 mm bitumoitu huokoinen puukuitulevy	HHL2	HHL2
9 mm kuitusementtilevy	HHL3	
9 mm kartonkipintainen kipsituulensuojalevy	HHL1	HHL1
9 mm lasikuitupintainen kipsituulensuojalevy	HHL2	

* maksimimäärää kuvaava homehtumisherkkyyssuokkaa on määritetty vain materiaaleille joiden homekasvu vakiintui maksimiarvoonsa kokeen keston aikana.

4. Yhteenveto

Tässä raportissa esiteltiin viiden eri tuulensuojalevyn homehdutuskokeiden tuloksia. Kokeiden lopputuloksena levyille määritettiin Suomalaisen homemallin mukaiset homehtumisherkkyyssuokat. Aiemman tiedon perusteella tuulensuojalevyt on yleisesti ajateltu kuuluvaksi homehtumisherkkyyssuokkaan HHL2 tai HHL3. Tämän tutkimuksen perusteella herkemmin homehtuvat levyt kuuluvat homehtumisherkkyyssuokkaan HHL1 ja ovat jopa puutakin herkemmin homehtuvia rakennusmateriaaleja.

Lähdeluettelo

- [1] Vinha, J. Viitanen, H. Lähdesmäki, K. Peuhkuri, R. Ojanen, T. Salminen, K. Paajanen, L. Strander, T. Iitti, H. Julkaisematon. Rakennusmateriaalien ja rakenteiden homehtumisriskin laskennallinen arviointi
- [2] Lähdesmäki, K., Vinha, J., Viitanen, H., Salminen, K., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Paajanen, L., Iitti, H. & Strander, T. 2008. Development of an improved model for mould growth: Laboratory and field experiments. Proceedings of the 8th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, NSB 2008, Copenhagen, Denmark, NSB 2008, June 16–18, Vol. 2, pp. 935-942.
- [3] Johansson, P. 2012. Critical moisture conditions for mould growth on building materials. Rapport TVBH-3051 Lund 2012. Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH

B8. Ääneneristys ja meluntorjunta 1

Parametrinen laskentamalli puuvälipohjien askelääneneristävyyden arviointiin

Pekka Latvanne, Mikko Kylliäinen, Ville Kovalainen ja Jesse Lietzén
A-Insinöörit, akustiikkasuunnittelu

Tiivistelmä

Puuvälipohjien askelääneneristävyyden laskentaan ei ole ollut saatavissa validoituja ja suunnittelutyöhön soveltuvia laskentamenetelmiä tai -ohjelmistoja. Siksi puuvälipohjien tuotekehitys on pitkälti perustunut rakenteiden toimivuuden varmistamiseen laboratoriomittauksin, mikä on usein aikaa vievää ja kallista. A-Insinöörien akustiikkasuunnitteluyksikössä on kehitetty suunnittelutyöhön ja tuotekehitykseen soveltuva laskentamenetelmä. Menetelmä koostuu analyyttisestä laskennasta sekä laajaan kirjallisuustutkimukseen pohjautuvasta parametrisestä mallista. Validoinnin perusteella voidaan todeta, että kehitetyllä laskentamenetelmällä saadaan tuloksia, jotka vastaavat tarkasti mittaustuloksia.

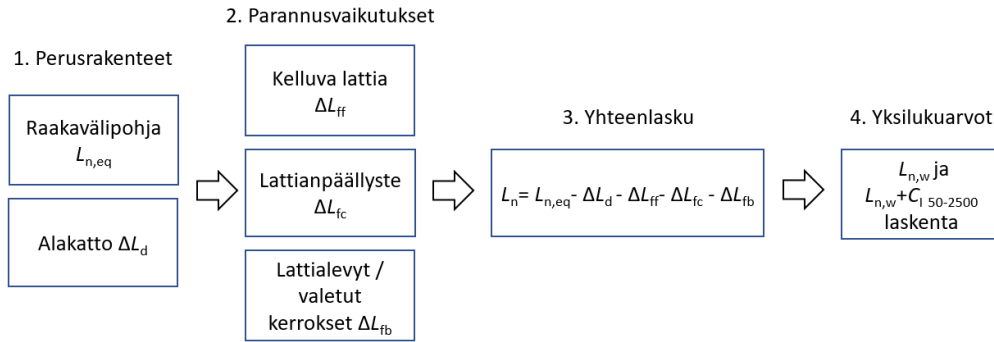
1. Johdanto

Puukerrostalojen välipohjarakenteelle kohdistuu useita vaatimuksia, kuten kantavuus, palonkesto, taipuma, värähtely ja ääneneristävyys. Välipohjan toteutuskustannukset ovat huomattava osa koko puukerrostalon toteutuskustannuksista ja merkittävässä asemassa, kun arvioidaan puurakentamisen kilpailukykyä betonirakentamiseen nähden. Puuvälipohjien askelääneneristävyyden laskentaan ei ole ollut saatavissa validoituja ja suunnittelutyöhön soveltuvia laskentamenetelmiä tai -ohjelmistoja. [1] A-Insinöörien akustiikkasuunnitteluyksikössä on luotu suunnittelutyöhön ja tuotekehitykseen soveltuva askelääneneristävyyden laskentamenetelmä. Menetelmä perustuu laajaan kirjallisuustutkimukseen puuvälipohjien parametrisestä askelääneneristävyydsmittauksista [1] sekä A-Insinöörien tutkimus- ja kehitystyöhön. Tämän artikkelin tarkoituksena on esittää kehitetyn laskentamenetelmän validointitulokset.

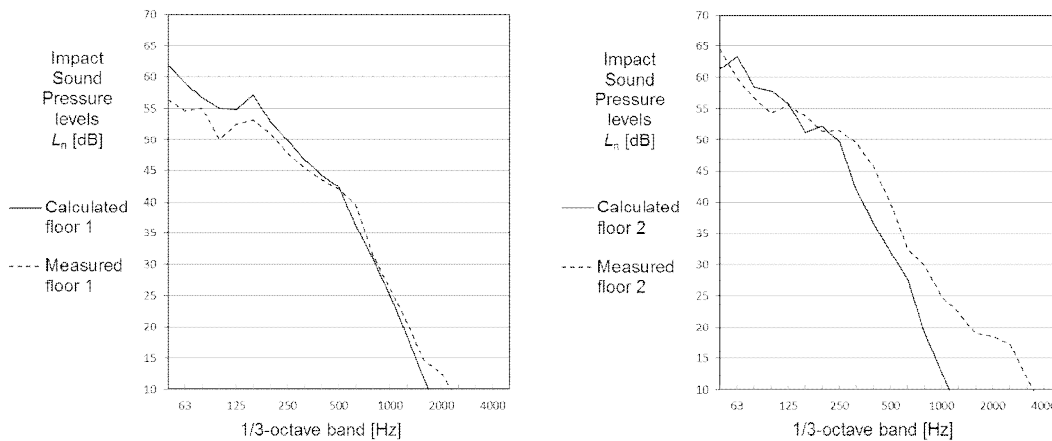
2. Menetelmä

2.1 Parametrinen laskentamalli

Laskennan vaiheet on esitetty kuvan 1 vuokaaviossa. Vaiheissa 1-3 tulokset lasketaan 1/3-oktaavikaistoittain 50-5000 Hz taajuusalueella. Raakavälipohjan askeläänitason L_n , ja alakaton vaikutuksen ΔL_d laskentaperusteet on esitetty kappaleissa 2.2 ja 2.3. Toisessa vaiheessa arvioidaan mahdollisen kelluvan laatan ΔL_{ff} , levykerrosten ΔL_{fb} ja lattianpäällysteen ΔL_{fc} parannusvaikutus askeläänitasoihin. Parannusvaikutukset voidaan arvioida joko laskennallisesti tai mittaustietojen avulla. Kansilevyn päälle asennettujen levykerrosten parannusvaikutukset yhdistetään raakavälipohjan laskennalliseen askeläänitasolukuun Scholl esityksen mukaisesti [3,4]. 1/3-oktaavikaistoittain lasketuista askeläänitasoista L_n voidaan määrittää yksilukuarvot $L_{n,w}$ ja $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ [2]. Kuvassa 2 on esitetty kahden välipohjan mitatut ja laskennalliset askeläänitasot 1/3-oktaavikaistoittain.



Kuva 1. Vuokaavio parametrinen askelääneneristävyyden laskentamallin laskennan vaiheista.



Kuva 2. Mitattujen ja laskennallisten askeläänitasojen L_n vertailu. Mittaustulokset on esitetty yhtenäisellä viivalla ja A-Insinöörien laskentamallilla määritetyt tulokset katkoviivalla.

2.2 Raakaväli pohja

Raakaväli pohjalla tarkoitetaan tässä tapauksessa väli pohjan kantavaa palkistoa ja väli pohjan kansilevyä tai CLT-levyä. Kansilevyn tai CLT:n päällä olevat levykerrokset lasketaan kappaleessa 2.4 esitetyin periaattein. Askeläänikojeen vasaran tuottaman voimahrätteen mallintaminen perustuu Lindbladin ja Brunskogin esityksiin [6–7], joissa esitetään ratkaisu hrätteen voimayhtälölle taajuustasossa. Mallissa hräte mallinnetaan ensin aikatasossa käyttäen yksinkertaista yhden massan värähtelijää, josta ratkaisu käännetään taajuustasoon. Voimamallissa käytetään vain pintalevyjen jäykkyyden ja impedanssin reaaliarvoja, jolloin pintalevyn pistevoiman mobiliteetti kuvaa äärettömän levyn mobiliteettia. Väli pohjapalkkeja ei oteta huomioon laskettaessa rakenteen taivutusjäykkyyttä voimahrätteelle, sillä määrävän iskun oletetaan kohdistuvan jännevälin keskialueelle.

Raakaväli pohjarakenteen äänitehon, äänensäteilykyvyn ja pinnannopeuden laskenta on esitetty lähteissä [8–10]. Puuväli pohjien tapauksessa laskennassa tulee ottaa huomioon rakenteen ortotrooppisuus sekä askeläänikojeen vasaran mobiliteetin vaikutus rakenteeseen siirtyvään tehoon [1, 6, 7]. Raakaväli pohjarakenteen äänensäteilykykyä laskettaessa on oletettu, että äänensäteily tapahtuu vain palkkien välisestä levyrakenteesta. Levyväli pohjilla, kuten CLT-levyt, koko rakenne osallistuu äänensäteilyyn. Raakaväli pohjan tuottamat askeläänitasot $L_{n,eq}$ lasketaan lähteiden [8–10] perusteella.

2.3 Alakatto

Alakaton ja raakavälipohjan liitoksen ollessa joustava, alakaton parannusvaikutus askelääneneristävyyteen ΔL_d on yhtä suuri kuin alakaton parannusvaikutus ilmaääneneristävyyteen ΔR [1, 10]. Joustava liitos vaimentaa runkoääntä merkittävästi, joten alakattoon kohdistuva ääniheräte on pääosin ilmaääntä [1]. Näin ollen alakaton parannusvaikutus lasketaan vertaamalla laskennallisesti määritettyjä raakavälipohjan ja alakatollisen välipohjan 1/3-oktaavikaistaisia ilmaääneneristävyyksiä R [11–21]. Jos alakatto on jäykästi kytketty välipohjaan, alakaton parannusvaikutus heikkenee joustavaan kytkentään nähden ja $\Delta L_d - \Delta R$ -vastaavuus heikkenee [1, 10].

2.4 Kelluva laatta ja lattialevyt

Edellä esitetyillä raakavälipohjilla ei yleensä saavuteta riittävää askelääneneristävyyttä vaan askelääneneristävyyttä parannetaan suoraan kansilevyn päälle asennettavilla levy- tai valukerroksilla tai kelluvalla lattialla. Parannusvaikutukset ΔL_{ff} ja ΔL_{fb} lasketaan [1, 10, 23] perusteella. Nykyisessä laskentamallissa kelluvan laatan parannusvaikutus arvioidaan ISO 12354-2 [10] mukaisesti perustuen alun perin Cremer et al. [24] esittämään teoriaan.

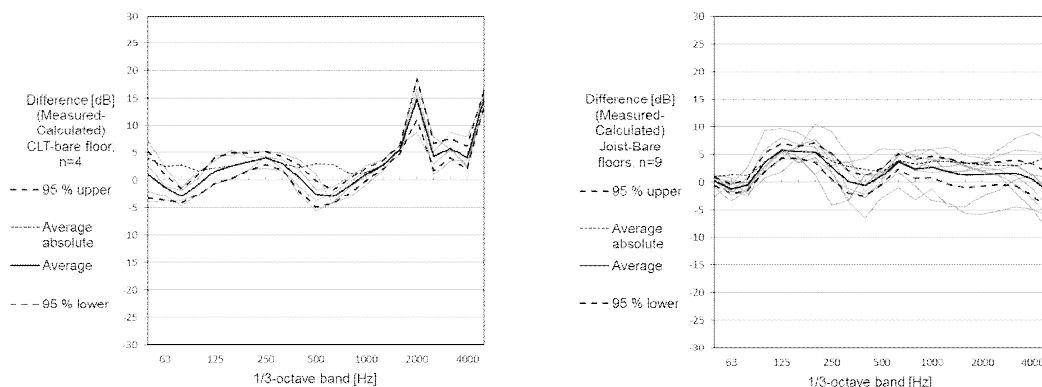
2.5 Validointi

Validointi tehtiin kaksivaiheisesti. Ensimmäisessä vaiheessa laskettiin askeläänitasot raakavälipohjille (palkkirakenteet = 9 kpl, CLT-rakenteet = 4 kpl, $n_{tot} = 13$ kpl). Laskentatuloksia verrattiin vastaaviin laboratorio- ja kenttämittausten mittaustuloksiin [5, 26–33]. Toisessa vaiheessa laskenta- ja mittaustulosten vertailu tehtiin kokonaisille puuvälipohjarakenteille ($n = 28$ kpl). Ensimmäisessä vaiheessa laskettiin mitatun ja laskennallisen askeläänitason L_n erotukset 1/3-oktaavikaistoittain 50–5000 Hz taajuusalueella. Erotuksille laskettiin keskiarvo, itseisarvojen keskiarvo, keskihajonta sekä 95 % luottamusväli. Toisessa vaiheessa määritettiin mitattujen ja laskennallisesti määritettyjen askeläänitasolukujen $L_{n,w}$ ja $L_{n,w} + C_{L,50-2500}$ tilastolliset tunnusluvut.

3. Tulokset

3.1 Raakavälipohjat

Validoinnissa oli mukana 9 kpl puupalkki-laattarakenteita ja 4 kpl CLT-laattoja. Validoinnin tulokset on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3: Raakavälipohjien validointitulokset. Vasemmanpuoleisessa kuvaajassa CLT-laatat ja oikealla palkki-levy rakenteet.

3.2 Kokonaiset välipohjarakenteet

Tässä validoinnissa kokonaisiksi välipohjarakenteiksi katsottiin rakenteet, joissa on raakavälipohja ja vähintään ääntä eristävä alakatto. Suurimmassa osassa rakenteista oli myös pintarakenne, kuten lattialevyjä tai kelluva laatta. Validoiduissa rakenteissa ei ollut lattianpäällystettä. Taulukossa 1 on esitetty mitattujen ja mallinnettujen yksilukuarvojen $L_{n,w}$ ja $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ erotusten keskiarvo, -hajonta sekä erotusten itseisarvojen keskiarvo.

Taulukko 1. Mittaus- ja laskentatulosten erotukset

	$L_{n,w}$ [2]	$L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ [2]
Erotusten aritm. keskiarvot [dB]	2 dB	-0,4 dB
Erotusten keskihajonta [dB]	7 dB	6 dB
Erotusten itseisarvojen aritm. keskiarvo [dB]	5 dB	4 dB

4. Tulosten tarkastelu

Raakavälipohjien laskentatulokset vastasivat mittaustuloksia hyvin koko tarkastellulla taajuusalueella. Validoinnissa havaittiin, että CLT-rakenteiden laskentatulokset olivat erittäin riippuvaisia laskennassa käytetyistä materiaaliparametrien lähtöarvoista. Materiaaliparametrien ja laskentamallien epävarmuustekijät, kuten ortotrooppisten materiaalien värähtelykäyttäytyminen, on tunnistettu jo aiemmassa tutkimuksessa [1].

Kokonaisten välipohjarakenteiden validoinnissa havaittiin, että laskentamallin tulokset vastaavat mittaustuloksia parhaiten 50-1000 Hz taajuusalueella. Laskentamallin epävarmuus kasvaa rakenteen monimutkaistuessa. Materiaalien rajapinnoissa ja sisällä tapahtuvat energiahäviöt ovat kuitenkin edelleen merkittävä epävarmuustekijä.

Validoinnin perusteella nykyinen laskentamenetelmä [10] yliarvioi kelluvan laatan parannusvaikutuksen puuvälipohjilla. Tutkimuskirjallisuudessa on esitetty, että puuvälipohjien tapauksessa kantavan rakenteen ominaisuudet on otettava huomioon kelluvan laatan parannusvaikutuksen arvioinnissa [8, 23, 34]. Lattiapäällysteiden parannusvaikutus on vahvasti riippuvainen tarkastelutaajuudesta ja siitä, millaisen alusmateriaalin päälle lattianpäällyste asennetaan [35]. Lattiapäällysteiden toimivuutta on aiemmin selvitetty lähteissä [1, 30, 31, 36]. Laskentamallin jatkokehitykseen tarvitaan kattavampaa tietoa lattiapäällysteiden ominaisuuksista puuvälipohjilla. A-Insinööreillä kehitetyn laskentamenetelmän jatkokehityksen painopisteet tulevat olemaan voima- ja tehomallinnuksen kehittämisessä, kelluvan laatan ja lattianpäällysteiden parannusvaikutusten laskennassa.

5. Yhteenveto

Tässä artikkelissa esiteltiin A-Insinöörien akustiikkasuunnitteluyksikössä kehitetyn puuvälipohjan askelääneneristävyyden laskentamenetelmän perusteet ja menetelmän tarkkuuden arvioimiseksi tehdyn validoinnin tulokset. Kehitetyllä laskentamenetelmällä voidaan arvioida puuvälipohjan askeläänitasot L_n 1/3-oktaavikaistoittain sekä yksilukuarvot $L_{n,w}$ ja $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$. Validoinnissa laskentamallin tarkkuutta arviotiin määrittämällä mittaus- ja laskentatulosten välinen erotus sekä tilastolliset tunnusluvut erotuksille. Vertailussa oli mukana 28 erilaista välipohjarakennetta. Validointitulosten mukaan laskennalliset askeläänitasot L_n vastaavat hyvin mittaustuloksia 50-1000

Hz taajuusalueella. Mitatun ja laskennallisen askeläänitasoluvun $L_{n,w}$ erotusten keskiarvo oli 5 dB ja spektripainotetun askeläänitasoluvun $L_{n,w} + C_{1,50-2500}$ erotusten keskiarvo 4 dB. A-Insinöörien akustiikkasuunnitteluyksikkö jatkaa kehitystyötä laskentamallin parantamiseksi. Validoinnissa kehityskohteiksi tunnistettiin raakavälipohjan, lattianpäällysteiden ja kelluvan laatan laskentatarkkuuden parantaminen.

Lähdeluettelo

- [1] Latvanne, P., The Acoustical properties and calculation models of the wooden intermediate floor constructions, Master's Thesis, Tampere University of Technology, Master's Degree Program in Civil Engineering, 2015
- [2] EN ISO 717-2:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. Brussels, European Committee for Standardization, 2013.
- [3] Scholl, W., Lang, V., V. Wittstock, Rating of sound insulation at present and in future. The revision of ISO 717. *Acustica united with Acta Acustica*, 97, 686–698., 2011.
- [4] Scholl, W., Revision of ISO 717, Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels?, *Acustica united with Acta Acustica* 97, 503–508., 2011.
- [5] AINS Group Ltd. database.
- [6] Lindblad, S., Impact sound characteristics of resilient floor coverings, a study on linear and nonlinear dissipative compliance, Dissertation, Division of Building Technology, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1968.
- [7] Brunskog, J. and Hammer, P., The Interaction Between the ISO Tapping Machine and Lightweight Floors, *Acta Acustica united with Acustica*, 89, 2003, 296-308.
- [8] Hopkins, C., Sound Insulation, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2007.
- [9] Rindel, J.H., Sound Insulation in Buildings, CRC Press, 2017.
- [10] EN ISO 12354-2, Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms, International Organization for Standardization, 2017.
- [11] Kovalainen, V. & Kylliäinen, M., Rakenteiden ilmasteneristävyyden mallinnusohjelma RAIMO – käyttöohje. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos. 2013.
- [12] Gomperts, M. C. , The “sound insulation” of circular and slit-shaped apertures. *Acustica*. Vol. 14, s. 1–16. 1964.
- [13] Gomperts, M. C. & Kihlman, T., The Sound Transmission Loss of Circular and Slit-Shaped Apertures in Walls. *Acustica*, Vol. 18, s. 144-150. 1967.
- [14] Sewell, E. C. Transmission of reverberant sound through a single leaf partition surrounded by an infinite rigid baffle. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 12, s. 21-32. 1970.
- [15] Sharp, B. H. Prediction methods for the sound transmission of building elements. *Noise Control Engineering Journal*. Vol. 11, s. 53–63. 1978.
- [16] Kristensen, J. & Rindel, J. H., Bygningsakustik – teori og praksis. Glostrup, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI-anvisning 166. 1989.
- [17] EN ISO 12354-1. 2017. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2017.
- [18] Hongisto, V., Monikerroksisen seinärakenteen ilmasteneristävyyden ennustemalli. Helsinki, Työterveyslaitos, Työympäristötutkimuksen raporttisarja 2. 2003.
- [19] Rauhala, J., Kylliäinen, M., Eristerapatun betoniseinän ilmasteneristävyys. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka.

- Tutkimusraportti 142. 119 s + 83 s. 2009.
- [20] Virjonen, P., Hongisto, V. Joustavarankaisten levyrakenneseinän äänenläpäisy. Akustiikkapäivät 2009. Vaasa, 14.-15.5. Akustinen Seura ry. 2009.
- [21] Kylliäinen, M. & Mikkilä, A. Rakennusosien ilmasteneristävyyksien mallintaminen rakentamisessa ja tuotekehityksessä. Rakennusfysiikka 2009. Tampere, 27.-29.10., Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitos ja Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry, s. 269-278., 2009.
- [22] EN ISO 717-1. 2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2013.
- [23] Vigran, T.E, Building Acoustics. Taylor& Francis, 2008.
- [24] Cremer, L., Heckl, M. and Petersson, B.A.T., Structure-Borne Sound, Structural Vibrations and Sound Radiation at Audio Frequencies, 3rd edition, Springer-Verlag, Berlin, 2005.
- [25] Zeitler, B., Nightingale, T. and Schoenwald, S., Cremer's parallel plates applied to lightweight construction, Proc. of Inter-Noise, Ottawa, Canada, 2009.
- [26] Sabourin, I., McCartney, C. Measurement of Airborne Sound Insulation of 8 Wall Assemblies, Measurement of Airborne and Impact Sound Insulation of 29 Floor Assemblies, Nordic Engineered Wood report No. A1-006070.10, National Research Council Canada, 2015.
- [27] Warnock, A. C. C., Birta, J. A., Detailed report for consortium on fire resistance and sound insulation of floors: Sound transmission and impact sound insulation data in 1/3 octave bands. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Internal Report IR-811, 2000.
- [28] Warnock, A. C. C., Summary Report for Consortium on Fire Resistance and Sound Insulation of Floors: Sound Transmission and Impact Insulation Data. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Report RR-169, 2005.
- [29] Chung, H., Dodd, G., Emms, G., McGunnigle, K., Schmid, G., Maximizing impact sound resistance of timber framed floor/ceiling systems, Volume 3. Australia, Forest and wood products research and development corporation, Project No. PN04.2005, 2006.
- [30] Balanant, N., Guigou, C., Villenave, M., Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments à ossature bois, à vocation logements. Etape 2, Rapport final, Acoubois France, French Institute of Technology for Forest based and Furniture sector (FCBA), 2012.
- [31] Späh, M., Liebl, A., Leistner, P. Measurements in the Laboratory and in Single Family Houses, AcuWood report No. 1. Sweden, SP Technical Research Institute of Sweden, Report 2014:14, 2013.
- [32] Zeitler, B., Nightingale, T.R.T., King, F., Methods to control low frequency impact noise in wood frame construction. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Report NRCC-50445, 2008.
- [33] Zeitler, B., Schoenwald, S., Nightingale, T.R.T., Parametric study of sound transmission through lightweight floors. Canada, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Report NRCC-53564, 2010.
- [34] Zeiler B., Schneider M., On the relevance of impact source impedance at low frequencies-part 2: Floor with floating toppings, 24th International Congress on sound and vibration 23.-27. July 2017
- [36] Lietzen, J., Miettinen, J., Kylliäinen, M., Measurements of Impact Force Excitation on Wooden Floors, Euronoise 2018, 27-31. May 2018, Heraklion, Crece
- [35] Warnock, A.C.C, Impact Sound Measurements on Floors Covered with Small Patches of Resilient Materials or Floating Assemblies, IRC-IR-802, National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, Canada, 2015.

Askelääneneristävyyden mittauksia koskeva round robin -testi

Jesse Lietzén ja Mikko Kylliäinen

Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, metalli- ja kevytrakenteet

Tiivistelmä

Round robin -testillä tarkoitetaan laboratorioiden välistä testiä, jossa toisistaan riippumattomat toimijat toistavat saman mittauksen. Ääneneristävyyden round robin -testien tarkoituksena on yleensä selvittää mittausten epävarmuutta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2018 askelääneneristävyyden mittauksen round robin -testin. Testissä mitattiin kahden tilan välistä askelääneneristävyyttä pystysuuntaan standardin ISO 16283-2 mukaan ja mittaluvut määritettiin standardin ISO 717-2 mukaisesti. Mittaukset suoritettiin 1980-luvun lopulla rakennetussa betonielementtirunkoisessa toimistorakennuksessa ja tulokset saatiin 20 mittausryhmältä. Testissä mittaajat määrittivät mittaustensa perusteella 1/3-oktaavikaistaiset askeläänitasot L'_{nT} ja L'_n , näistä lasketut yksilukuarvoiset mittaluvut $L'_{nT,w}$ ja $L'_{n,w}$ sekä spektripainotusermit C_1 ja $C_{1,50-2500}$. Askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ mittaustulosten keskiarvo oli 68,4 dB ja mittaluvun $L'_{n,w}$ keskiarvo 69,0 dB. Molempien mittalukujen keskihajonta oli 1,7 dB. Round robin -testin perusteella syyt mittauserävarmuudelle olivat pienten ja suurten taajuuksien tulokset ja muista poikkeava mittaustulos.

1. Johdanto

Round robin -testillä tarkoitetaan laboratorioiden välistä testiä, jossa toisistaan riippumattomat toimijat toistavat saman mittauksen. Näin testiin osallistuvat pääsevät vertaamaan mittaustuloksiaan muiden toimijoiden saamiin tuloksiin. Ääneneristävyyden round robin -testien tarkoituksena on yleensä selvittää mittausten epävarmuutta. Kun toimijat mittaavat samojen tilojen välillä, saadaan selville mm. kalustosta, mittaustavasta ja mittaajasta aiheutuvat mittaustulosten vaihtelut.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta järjesti syksyllä 2018 askelääneneristävyyden mittauksen round robin -testin. Testin tarkoituksena oli tarjota Suomessa ääneneristävyyden kenttämittauksia tekeville toimijoille mahdollisuus vertailla mittaustuloksiaan ja varmistaa niiden oikeellisuus. Testissä mitattiin kahden tilan välistä askelääneneristävyyttä pystysuuntaan ja mittaustulokset saatiin 20 mittaajalta. Tampereen yliopiston laatima raportti testin tuloksista on esitetty lähteessä [1].

2. Mittaukset

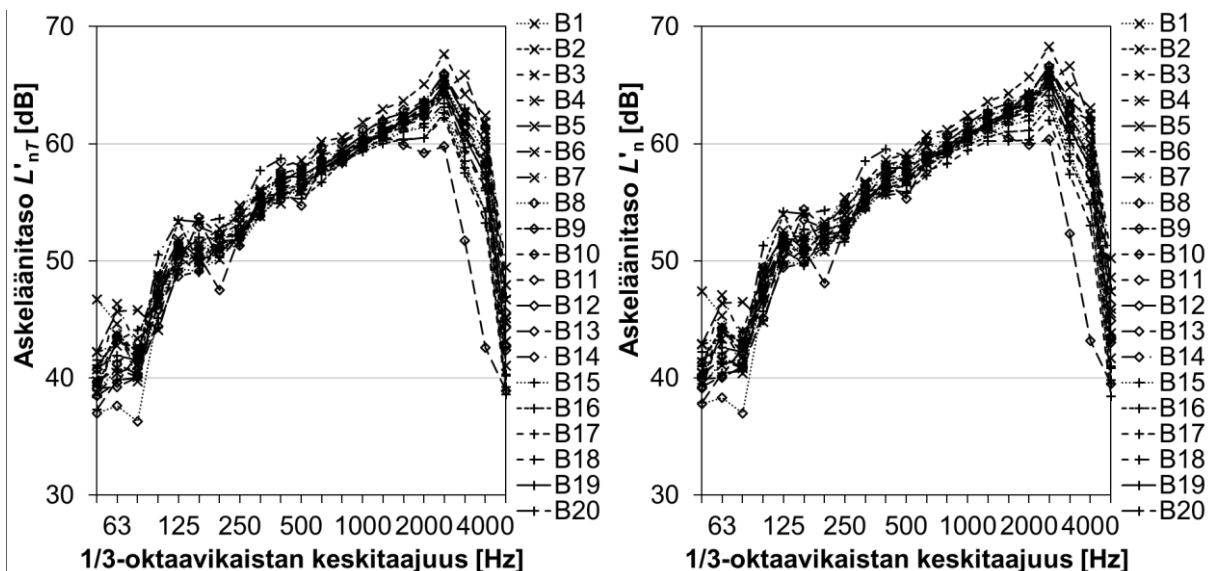
RIL ry ja sen akustiikkatoimikunta kutsui akustisia mittauksia tekevät toimijat osallistumaan askelääneneristävyyden round robin -testiin 6.6.2018. Kutsu lähetettiin suomalaisille ääneneristysmittauksia tekeville tutkimuslaitoksille, oppilaitoksille ja yrityksille. Mittauksiin ilmoittautuneille lähetettiin 4.9.2018 ohjekirje, jossa kerrottiin tarkemmin mittaustilasta, ajanvarauksesta ja järjestelyistä. Mittaukset tehtiin kahden päällekkäisen tilan välillä pystysuuntaan betonielementtirunkoisessa 1980-luvun lopulla valmistuneessa toimistorakennuksessa. Välipohjarakenteena tilojen välillä oli 265 mm paksu ontelolaatasto, jonka päällä oli n. 35...55 mm paksu pintavalu ja lattianpäällysteenä kova muovimatto.

Mittaukset suoritettiin standardien ISO 16283-2 [2] ja ISO 717-2 [3] mukaisesti käyttäen askeläänikojetta äänilähteenä. Mittaajat määrittivät tuloksistaan 1/3-oktaavikaistaiset standardisoidut askeläänitasot L'_{nT} ja normalisoidut askeläänitasot L'_n sekä laskivat näistä vastaavasti standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ sekä spektripainotusermit C_1 ja $C_{1,50-2500}$. Suomessa ei määräys- ja ohjearvoihin verrattaessa ilmoiteta spektripainotusermin $C_{1,50-2500}$ arvoa, jos se on alle 0 dB [4-6]. Tässä round robin -testissä haluttiin kuitenkin tarkastella spektripainotusermien hajontaa ja siksi kaikki spektripainotusermien arvot on esitetty.

Mittaajat kirjasiivat saamansa tulokset ennalta määritettyyn tiedostoon, jotka lähetettiin testin järjestäjälle RIL ry:n toimistoon. Kunkin toimijan toimittamat mittaustulokset anonymisoitiin siten, että mittaustulosta ei voida yhdistää mittaajaan. Mittausryhmistä käytettiin merkintöjä B1...B20. Tutkimusraportissa [1] tuloksista määritettiin mm. aritmeettiset keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot sekä otoskeskihajonnat.

3. Tulokset

Mittaajien B1...B20 määrittämät 1/3-oktaavikaistaiset askeläänitasot L'_{nT} ja L'_n on esitetty käyräparvena kuvassa 1. Tulosten vaihtelu oli melko tasaista, mutta suurinta vaihtelua oli pienillä, alle 100 Hz taajuuksilla, ja suurilla, yli 2000 Hz taajuuksilla. Askeläänitasojen L'_{nT} taajuuskaistainen keskihajonta oli 0,6-4,4 dB ja askeläänitasojen L'_n 0,7-4,5 dB. Tulosten perusteella mittausryhmän B12 tulos oli muista poikkeava yli 2000 Hz taajuuksilla, jossa mittaajan määrittämät askeläänitasot ovat selkeästi muita alhaisemmat. Jos muista poikkeavaa mittaustulosta ei otettu huomioon, askeläänitasojen L'_{nT} keskihajonta oli 0,6-3,2 dB ja askeläänitasojen L'_n 0,7-3,3 dB.



Kuva 1. Askeläänitasot L'_{nT} (vas.) ja L'_n (oik.) 1/3-oktaavikaistoittain.

Standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja spektripainotusermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ sekä näiden summien keskiarvot, minimi- ja maksimiarvot sekä keskihajonnat on esitetty taulukossa 1. Vastaavat tulokset askeläänitasoluvulle $L'_{n,w}$ on esitetty taulukossa 2. Taulukoissa tulokset on esitetty sekä kaikkien mittaustulosten osalta että ilman muista poikkeavaa mittaajan B12 tulosta. Standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ keskiarvo oli 68,4 dB kaikkien mittaustulosten osalta ja 68,6 dB ilman muista poikkeavaa mittaustulosta. Vastaavat tulokset askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$

keskiarvolle olivat 69,0 dB ja 69,2 dB. Molempien mittalukujen keskihajonta oli 1,7 dB, kun kaikki mittaustulokset olivat mukana ja 1,4 dB ilman muista poikkeavaa mittaustulosta.

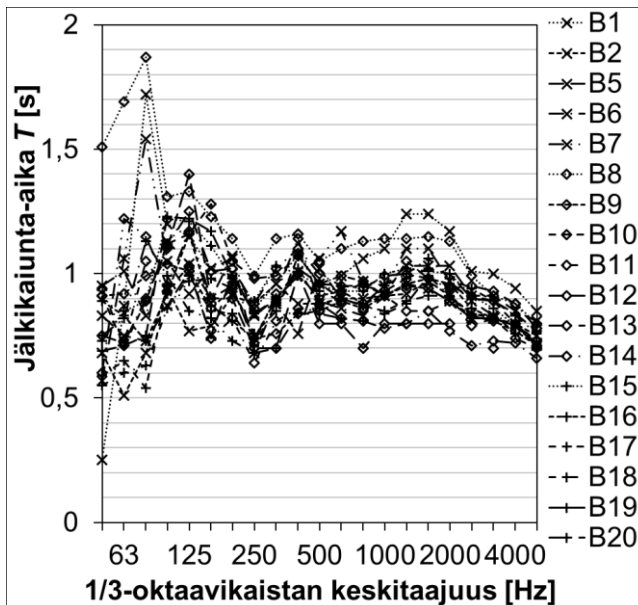
Taulukko 1. Askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ ja spektripainotusermien ja näiden summien keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta. Soluissa vasemmalla kaikki tulokset mukana, oikealla ilman poikkeavaa tulosta.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$L'_{nT,w}$	68,4 / 68,6	64 / 66	71 / 71	1,7 / 1,4
C_i	-12,6 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,9 / 0,7
$C_{i,50-2500}$	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,9 / 0,7
$L'_{nT,w} + C_i$	55,8 / 55,9	54 / 54	58 / 58	1,1 / 1,1
$L'_{nT,w} + C_{i,50-2500}$	55,9 / 56,0	54 / 54	58 / 58	1,1 / 1,0

Taulukko 2. Askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ ja spektripainotusermien ja näiden summien keskiarvo, minimi, maksimi ja keskihajonta. Soluissa vasemmalla kaikki tulokset mukana, oikealla ilman poikkeavaa tulosta.

Mittaluku	Keskiarvo [dB]	Minimi [dB]	Maksimi [dB]	Keskihajonta [dB]
$L'_{n,w}$	69,0 / 69,2	65 / 66	72 / 72	1,7 / 1,4
C_i	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,8 / 0,6
$C_{i,50-2500}$	-12,5 / -12,7	-14 / -14	-10 / -12	0,8 / 0,6
$L'_{n,w} + C_i$	56,5 / 56,5	54 / 54	59 / 59	1,2 / 1,2
$L'_{n,w} + C_{i,50-2500}$	56,5 / 56,5	54 / 54	59 / 59	1,2 / 1,2

Askeläänitasojen, askeläänitasolukujen ja spektripainotusermien lisäksi osa mittaajista ilmoitti mittaamansa vastaanottohuoneen jälkikaiunta-ajan T . Mittaajien B1...B2 ja B5...B20 ilmoittamat jälkikaiunta-ajan tulokset on esitetty 1/3-oktaavikaistaisesti kuvassa 2. Tuloksista nähdään, että jälkikaiunta-ajan hajonta on suurinta pienillä, alle 160 Hz taajuuksilla.



Kuva 2. Jälkikaiunta-aika T 1/3-oktaavikaistoittain.

4. Tulosten tarkastelu

4.1 Mittausmenetelmän vaikutus

Askelääneneristävyyttä kuvaavien mittalukujen osalta voidaan todeta, että standardisoidun askeläänitasoluvun $L'_{nT,w}$ ja normalisoidun askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ keskihajonta oli yhtä suuri: 1,7 dB, kun kaikki mittaustulokset otettiin huomioon ja 1,4 dB, kun mittausryhmän B12 tulosta ei otettu huomioon. Askeläänitason L'_n perusteella määritettyjen spektripainotustermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ keskihajonta oli 0,1 dB pienempi kuin standardisoidun askeläänitason L'_{nT} perusteella määritettyjen spektripainotustermien hajonta. Spektripainotustermien C_1 ja $C_{1,50-2500}$ keskihajonta oli yhtä suurta, joten niiden perusteella pienten taajuuksien huomioon ottaminen ei tässä tapauksessa vaikuttanut tulosten hajontaan.

4.2 Mittalaitteiston kalibroinnin vaikutus

Mittaajat esittivät tiedot käyttämästään mittalaitteistosta ja sen kalibroinnista. Tietojen perusteella voitiin havaita, että mittalaitteiston kalibroinnissa oli puutteita mittaajilla B3 ja B12. Näistä mittaajan B12 tulos havaittiinkin jo edellä muista poikkeavaksi suurilla, yli 2000 Hz taajuuksilla. Lisäksi mittaajan B8 askeläänikojeen kalibrointitieto oli epäselvä. Näistä mittaaja B3 ei ilmoittanut mittauksissa käyttämiensä askeläänikojeen, äänianalysointilaitteen tai äänenpainekalibraattorin kalibrointiajankohtaa. Mittaaja B12 puolestaan ei ilmoittanut, koska äänianalysointilaitteen ja äänenpainekalibraattorin oli kalibroitu. Oletettavasti siis näiden ryhmien laitteiston kalibroinnissa oli puutteita. Lisäksi ryhmä B8 ilmoittamien tietojen perusteella askeläänikojeen kalibrointiajankohta oli epäselvä, mutta kalibrointi oli tarkastettu vuonna 2018. Siitä, mitä tarkastus tarkoitti, ei tutkimusraportin laatijalla ollut tietoa.

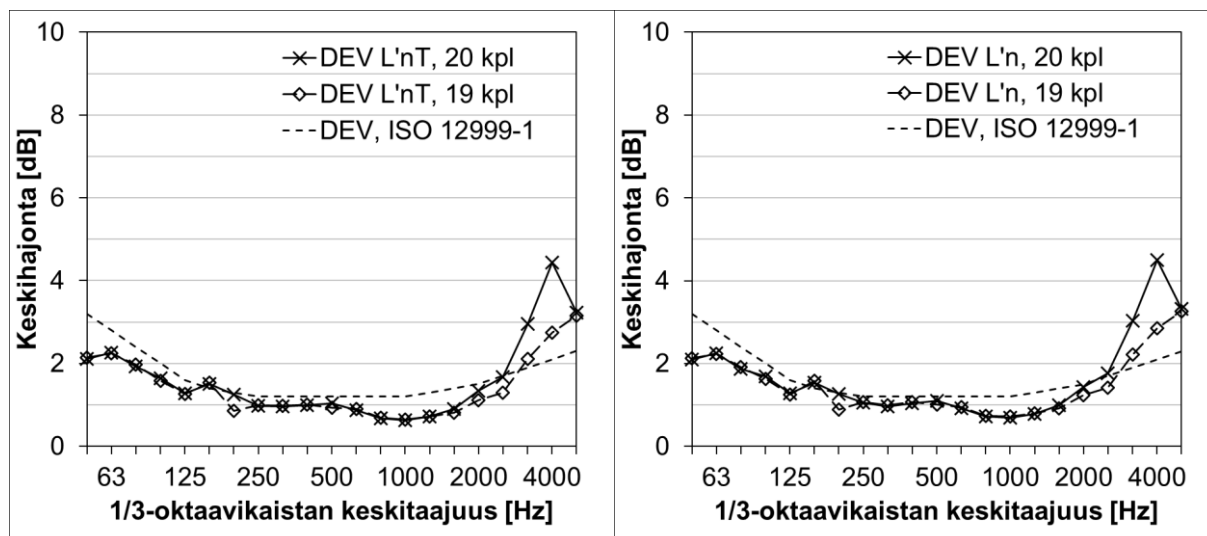
Kuvassa 1 esitettyjen tulosten perusteella voidaan havaita, että mittaajien B3 ja B12 tulokset erottuivat muista tuloksista olemalla taajuuskaistaisen tulosten ääripäissä suurilla ja keskitaajuuksilla. Mittaajan B8 taajuuskaistaiset tulokset olivat taas muita tuloksia pienemmät pienillä taajuuksilla.

4.3 Mittausten epävarmuus

Mittaustulosten keskinäisen epävarmuuden arviointiin voidaan käyttää standardin ISO 12999-1 [7] mukaan mittausten keskihajontaa. Koska kaikki mittausryhmät tekivät mittauksensa samassa sijainnissa omilla laitteillaan, round robin -testin mittaustulokset vastasivat standardin tilannetta B (situation B). Kuvassa 3 on esitetty standardisoidun askeläänitason L'_{nT} ja normalisoidun askeläänitason L'_n keskihajonnat kaikkien mittausten osalta ja ilman poikkeavaa mittaajan B12 tulosta. Standardin ISO 12999-1 mukainen tyypillinen keskihajonta kyseisessä tilanteessa on esitetty kuvissa katkoviivalla. Taulukossa 3 on esitetty mittalukujen keskihajonnat molemmissa tilanteissa ja standardissa mittaluvuille esitetyt keskihajonnat tilanteessa B.

Kuvasta 3 nähdään, että mittausten keskihajonta alitti standardissa ISO 12999-1 esitetyn taajuuskaistaisen keskihajonnan suurilta osin. Standardin mukainen epävarmuus ylittyi 160 Hz keskitaajuudella ja yli 2000 Hz taajuuksilla, jolloin hajonta oli suurimmillaan. Ilman mittaajan B12 poikkeavaa tulosta keskihajonta pieneni suurilla taajuuksilla. Pienten taajuuksien epävarmuus johtui luultavasti äänikentän epädiffuusisuudesta, joka on havaittavissa myös mitatuista jälkikaiunta-ajoista (ks. kuva 2). Tutkimuksessa [8] tulosten uusittavuudet alittivat vanhan standardin ISO 140-2 [9] esittämät uusittavuudet.

Taulukon 3 tuloksista nähdään, että kaikkien mittalukujen keskihajonta oli suurempi kuin standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen keskihajonnat. Tässä tapauksessa spektripainotustermien huomioon ottaminen pienensi keskihajontaa. Ilman muista poikkeavaa mittaajan B12 tulosta askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ ja $L'_{n,w}$ keskihajonta pieneni 0,3 dB.



Kuva 3. Askeläänitasojen L'_{nT} ja L'_n keskihajonnat (DEV) kaikkien tulosten osalta (20 kpl) ja ilman muista poikkeavia tuloksia (19 kpl). Standardissa ISO 12999-1 esitetty keskihajonta on kuvassa katkoviivalla.

Taulukko 3. Mittalukujen keskihajonnat kaikkien tulosten perusteella ja kun muista poikkeavia tuloksia ei otettu huomioon sekä standardissa ISO 12999-1 esitetyt mittalukujen keskihajonnat.

Mittaluku	Keskihajonta [dB] kaikki tulokset	Keskihajonta [dB] ei poikkeavia tuloksia	Keskihajonta [dB] ISO 12999-1 mukaan
$L'_{nT,w}$	1,7	1,4	1,0
$L'_{nT,w} + C_1$	1,1	1,1	1,0
$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$	1,1	1,0	1,0
$L'_{n,w}$	1,7	1,4	1,0
$L'_{n,w} + C_1$	1,2	1,2	1,0
$L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$	1,2	1,2	1,0

5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Round robin -testissä määritettyjen standardisoitujen askeläänitasolukujen $L'_{nT,w}$ keskiarvo oli 68,4 dB kaikkien mittaustulosten osalta, ja 68,6 dB ilman muista poikkeavaa tulosta. Askeläänitasolukujen $L'_{n,w}$ keskiarvo oli 69,0 dB ja keskihajonta kaikki mittaustulokset huomioon otettuna ja 69,2 dB ilman muista poikkeavaa tulosta. Molempien mittalukujen osalta tulosten keskihajonta oli 1,7 dB kaikkien tulosten osalta ja 1,4 dB ilman poikkeavaa mittaustulosta. Askeläänitasojen L'_{nT} taajuuskaistainen keskihajonta oli 0,6–4,4 dB kaikkien tulosten osalta ja 0,6–3,2 dB kun muista poikkeava tulos oli poistettu. Askeläänitasojen L'_n keskihajonta oli 0,7–4,5 dB taajuuskaistoittain kaikkien tulosten osalta ja 0,7–3,3 dB, kun muista poikkeavaa tulosta ei otettu huomioon.

Standardissa ISO 12999-1 esitettyihin keskihajontoihin verrattuna round robin -testin perusteella määritettyjen taajuuskaistaisten tulosten hajonnat olivat pääosin alhaisemmat. Standardin mukainen epävarmuus ylittyi 160 Hz keskitajuudella ja yli 2000 Hz taajuuksilla. Suurilla

taajuuksilla hajonta oli suurinta. Teoria tukee äänikentän hajonnan kasvamista tällä taajuusalueella [10]. Mittalukujen keskihajonnat olivat kaikilta osin standardissa esitetyjä mittalukujen epävarmuuksia suuremmat. Pienimmät keskihajonnat olivat askeläänitasojen ja spektripainotustermien summilla. Näin ollen pienten taajuuksien huomioon ottaminen ei tässä tapauksessa näyttänyt lisäävän mittausten epävarmuutta. Tämä johtuu siitä, että suuret ja keskitaajuudet määräävät vertailukäyrän paikan [11].

Round robin -testin perusteella syyt mittausepävarmuudelle olivat pienten ja suurten taajuuksien tulokset ja muista poikkeava mittaustulos. Koska pienillä alle 100 Hz:n taajuuksilla äänikenttä on epädiffuusi, hajonta pienillä taajuuksilla oli suurinta. Äänikentän epädiffuusisuus havaittiin myös jälkikäiunta-ajan mittaustuloksista. Suurilla taajuuksilla hajontaa lisäsivät muista poikkeava ryhmän B12 mittaustulos. Tuloksen poikkeavuuden on saattanut aiheuttaa mittalaitteiston kalibroinnin puutteet. Puutteita laitteiston kalibroinnissa oli havaittavissa myös ryhmällä B3.

Kiitokset

Round robin -testin käytännön järjestelyistä vastasi Pekka Talaskivi (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry). Kirjoittavat kiittävät myös Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n akustiikkatoimikunnan jäseniä arvokkaista huomiosta testin raportointia tehtäessä.

Lähdeluettelo

- [1] Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2019. Askelääneneristävyyden round robin -testi. Tampere, Tampereen yliopisto, rakennustekniikan, tutkimusselostus RAK/2581/2019.
- [2] SFS-EN ISO 16283-2. 2015. Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- [3] SFS-EN ISO 717-2. 2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- [4] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä, nro 796/2017.
- [5] Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [6] Kemppainen, J. & Kylliäinen, M. 2017. Spektripainotusterman $C_{1,50-2500}$ vaikutus askelääneneristävyyden arviointiin. Akustiikkapäivät 2017. Espoo, 24.25.8., Akustinen Seura ry, s. 129-134.
- [7] SFS-EN ISO 12999-1. 2014. Acoustics – Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics – Part 1: Sound insulation. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- [8] Lang, J. 1997. A Round Robin on Sound Insulation in Buildings. Applied Acoustics, Vol. 52, s. 225-238.
- [9] ISO 140-2. 1991. Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Determination, verification and application of precision data. Genève, International Organization for Standardization.
- [10] Lubman, D. 1974. Precision of reverberant sound power measurements. The Journal of the Acoustical Society of America. Vol 56, no. 2, p. 523-533.
- [11] Kylliäinen, M. 2014. The measurement uncertainty of single-number quantities for rating the impact sound insulation of concrete floors. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 100(4), s. 640-648.

Akustiikkasuunnittelu Kuopion musiikkikeskuksen korjaushankkeessa

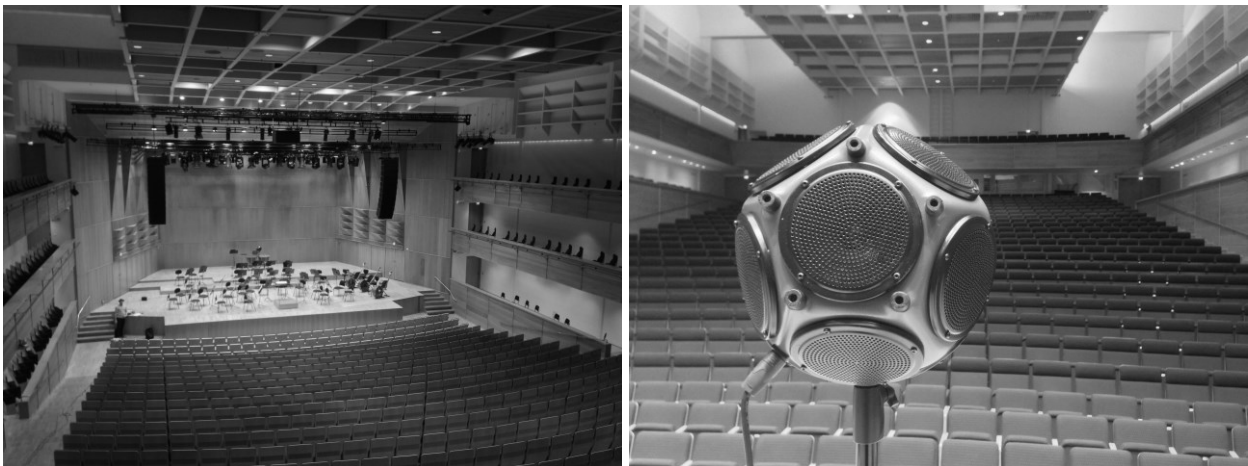
Mikko Kylliäinen, Jussi Rauhala, Jesse Lietzén, Ilkka Valovirta, Joose Takala, Niko Manninen
A-Insinöörit, akustiikkasuunnittelu

Tiivistelmä

Kuopion musiikkikeskus on valmistunut vuonna 1985. Rakennuksessa toimii Kuopion kaupunginorkesterin lisäksi kolme oppilaitosta. Musiikkikeskuksen 1064-paikkaista konserttisalia pidetään yhtenä Suomen parhaista sinfonisen orkesterimusiikin esityspaikoista. Vuonna 2018 valmistuneessa korjaushankkeessa uusittiin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vastaamaan nykyvaatimuksia. Akustiikkasuunnittelijan oli varmistettava ääneneristysratkaisuin, että näistä konehuoneista ja uusittavasta ilmanvaihtojärjestelmästä ei aiheudu konserttisalille häiriötä. Konserttisalissa tehtiin myös huoneakustiikkaan liittyviä muutoksia: saliin rakennettiin sieltä puuttunut miksauspaikka sekä uusittiin istuinten pehmusteet ja verhoukset. Akustiikkasuunnittelijan tehtävänä oli varmistaa, että nämä muutokset eivät vaikuta konserttisalin akustisiin ominaisuuksiin. Korjaustöiden valmistuttua tehtyjen huoneakustisten mittausten perusteella salin huoneakustiikka oli säilynyt tavoitteiden mukaisesti ennallaan.

1. Johdanto

Kuopion musiikkikeskus on valmistunut vuonna 1985. Rakennuksessa toimii Kuopion kaupunginorkesterin lisäksi kolme oppilaitosta: Kuopion konservatorio, Savonia-AMK:n Musiikin ja tanssin yksikkö sekä Taideyliopiston Sibelius-Akatemian yksikkö. Musiikkikeskuksen 1064-paikkaista konserttisalia pidetään yhtenä Suomen parhaista sinfonisen orkesterimusiikin esityspaikoista (kuva 1).



Kuva 1. Kuopion Musiikkikeskuksen konserttisali. Oikealla nähdään myös huoneakustisissa mittauksissa käytetty äänilähde. Kuvalähde: A-Insinöörien kuva-arkisto.

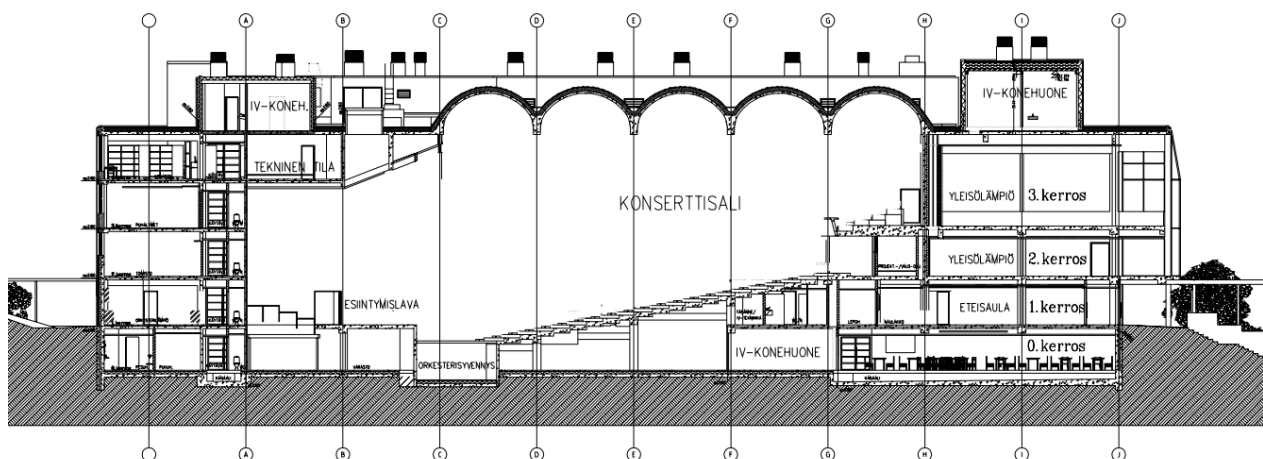
Vuonna 2018 valmistuneessa korjaushankkeessa uusittiin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vastaamaan nykyvaatimuksia. Tämä tarkoitti muun muassa kahden uuden ilmanvaihtokonehuoneen rakentamista: toinen rakennettiin konserttisalin alapuolelle ja toinen yläpuolelle. Akustiikkasuunnittelijan oli varmistettava ääneneristysratkaisuin, että näistä

konehuoneista ei aiheudu konserttisalille häiriötä. Lisäksi alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän tuloreitti konserttisaliin oli järjestetty istuinten rakenteen kautta. Käytännössä tämän ratkaisun uusiminen olisi tarkoittanut myös konserttisalin istuinten purkamista ja rakentamista kokonaan uudelleen, joten konserttisaliin tehtiin uudet tuloilmareitit.

Konserttisalissa tehtiin myös huoneakustiikkaan liittyviä muutoksia: saliin rakennettiin sieltä puuttunut miksauspaikka sekä uusittiin istuinten pehmusteet ja verhoukset. Akustiikkasuunnittelijan tehtävänä oli varmistaa, että nämä muutokset eivät vaikuta konserttisalin akustisiin ominaisuuksiin.

2. Ilmanvaihtojärjestelmä

Korjaushankkeessa uusittiin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vastaamaan korjaushankkeen aikana voimassa olleita määräyksiä [1]. Tämä tarkoitti muun muassa kahden uuden ilmanvaihtokonehuoneen rakentamista: toinen rakennettiin konserttisalin alapuolelle ja toinen yläpuolelle (kuva 2). Akustiikkasuunnittelijan oli varmistettava ääneneristys- ja läpivientiratkaisu, että näistä konehuoneista ei aiheudu konserttisalille häiriötä.



Kuva 2. Uudet ilmanvaihtokoneet sijaitsevat konserttisalin päällä ja alla. Kuvälähde: QVIM Arkkitehdit Oy.

Uusiin IV-konehuoneeseen sijoitettiin yhteensä neljä ilmankäsittelykonetta. Äänenhallintaa helpottivat paksuhkot betonirakenteet IV-konehuoneen ja konserttisalin välillä. IV-konehuoneen äänitaso saatiin absorptiomateriaalin käytöllä niin alhaiseksi, ettei IV-konehuoneiden ääni erottunut konserttisalissa eikä nostanut salin äänitasoa.

Konserttisalin alapuolella sijaitsevaan kompressorihuoneeseen sijoitettiin ilmankäsittelykoneiden lisäksi kaksi vedenjäähdytintä. Ilmaaäniä saatiin hallintaan valitsemalla hiljaiset laitteet sekä pieneköällä määrällä absorptiomateriaalia. Edullisin meluntorjuntatapa usein onkin panostaminen äänilähteiden akustiseen laatuun. Runkoäänien katkaisemiseksi vedenjäähdyttimet asennettiin tärinäneristimien varaan.

Alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän tuloreitti konserttisaliin oli järjestetty istuinten rakenteen kautta. Sen uusiminen olisi tarkoittanut istuinten uusimista ja muokkaamista kokonaan. Kustannustehokkaampi ratkaisu oli toteuttaa kokonaan uudet tuloilmareitit (kuva 3). Käytännössä

uuden ilmanvaihtojärjestelmän toteutus vaati tavallisuudesta poikkeavien, varta vasten tähän kohteeseen kehitettyjen ratkaisujen käyttöä.



Kuva 3. Konserttisalin ilmanvaihdon tuloilmareitti oli alkujaan toteutettu osana istuinten selkänojan rakennetta (vas.). Korjaushankkeen yhteydessä tehtiin uudet tuloilmareitit lattian kautta istuimen alta (oik.). Kuvallähde: A-Insinöörien kuva-arkisto.

3. Konserttisalin akustiikka

3.1 Lähtökohdat

Konserttisalissa tehtiin huoneakustiikkaan liittyviä muutoksia: saliin rakennettiin sieltä puuttunut miksauspaikka sekä uusittiin istuinten pehmusteet ja verhoukset. Akustiikkasuunnittelijan tehtävänä oli varmistaa, että nämä muutokset eivät vaikuta konserttisalin akustisiin ominaisuuksiin. Suunnittelun lähtötiedoiksi mitattiin huoneakustiset mittaluvut standardin ISO 3382-1 [2] mukaisesti. Mittauksissa käytettiin huoneakustiikan mittalaitteistoa ja äänisignaalina mittauksissa käytettiin sinipyyhkäisyä. Tulokset analysoitiin mallinnus- ja mittausohjelmistolla Odeon 14.04 Auditorium.

Salin katsomossa mitattiin seuraavat huoneakustiset suureet: jälkikaiunta-aika T , varhainen jälkikaiunta-aika EDT, selkeys C_{80} (engl. clarity) sekä voimakkuus G (engl. strength), sekä tilantuntuun liittyvät suureet leveys J_{LF} ja ympäröivyyden L_I . Mittaustulokset ennen korjaushanketta on esitetty taulukossa 1. Mittaluvut kuvaavat seuraavia tilan ominaisuuksia:

- jälkikaiunta-aika T [s]: aika, jonka kuluessa äänenpainetaso laskee 60 dB, kun äänilähde lopettaa äkillisesti toimintansa. Jälkikaiunta-aika kuvaa tilan kaiuntaisuutta, kun orkesteri lopettaa soiton äkillisesti. Tässä tapauksessa jälkikaiunta-aika on määritetty 20 dB äänenpainetason laskusta, jolloin voidaan käyttää merkintää T_{20} .
- varhainen jälkikaiunta-aika EDT [s]: aika, jonka kuluessa äänenpainetaso laskee 10 dB, kerrottuna kuudella. Varhainen jälkikaiunta-aika kuvaa tilan koettua kaiuntaisuutta orkesterin soiton aikana.
- selkeys C_{80} [dB]: varhaisen (0...80 ms saapuvan) ja myöhäisen (80 ms jälkeen saapuva) äänienergian suhde. Selkeys kuvaa tilassa kuullun musiikin erotettavuutta.
- voimakkuus G [dB]: äänilähteen tilassa tuottaman äänenpainetasoon saman lähteen ulkotilassa (vapaakentässä) tuottamaan äänenpainetasoon 10 m päässä. Voimakkuus kuvaa sitä, kuinka paljon tila vahvistaa orkesterin tuottamaa ääntä.
- leveys J_{LF} : varhaisen (0...80 ms) sivulta saapuvan kahdeksikkosuuntakuvioisella mikro-

fonilla mitatun äänienergian määrä suhteessa koko äänienergian määrään samalla ajanjaksolla.

- ympäröivyyden L_J : myöhäisen (80 ms jälkeen saapuvan) sivulta saapuvan kahdeksikko-suuntakuvioisella mikrofoniin mitatun äänienergian määrä suhteessa kokonaisäänienergian määrään, joka on mitattu vapaassa kentässä 10 m etäisyydellä äänilähteestä.

Lisäksi lavalla mitattiin standardin ISO 3382-1 mukaiset lavaparametrit: varhainen tuki ST_{early} ja myöhäinen tuki ST_{late} . Lavaparametrit kuvaavat seuraavia ominaisuuksia:

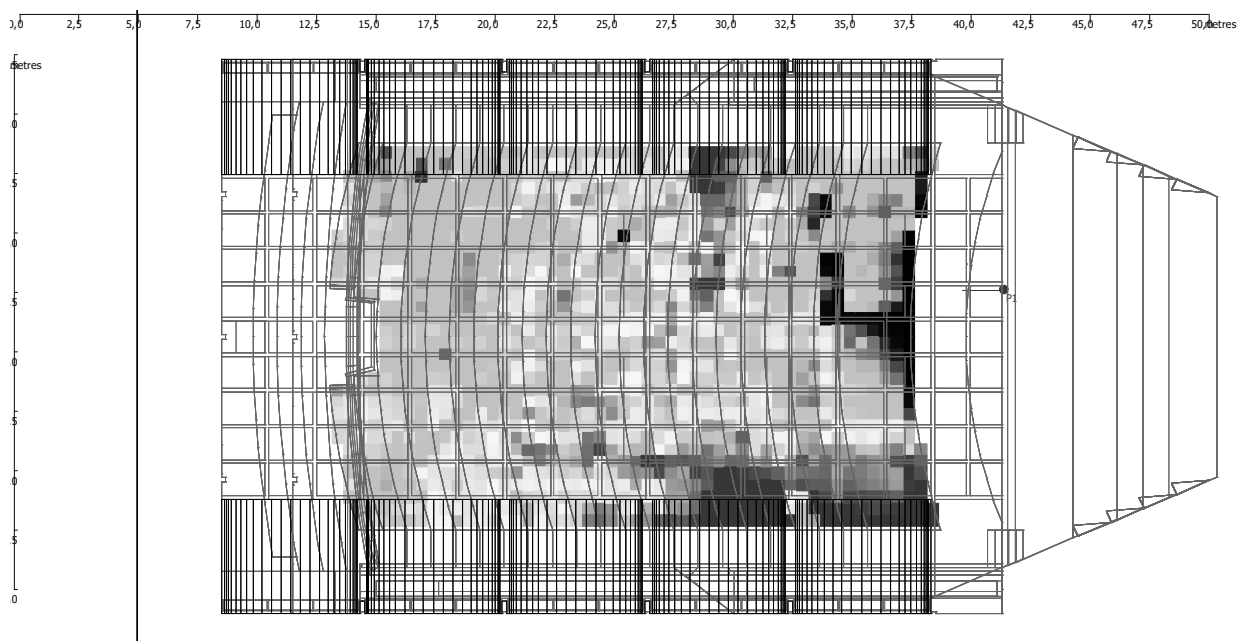
- varhainen tuki ST_{early} [dB]: aikaisten heijastusten (20...100 ms saapuvan) ja suoran äänen (0...10 ms saapuvan) äänienergian suhde. Varhainen tuki kuvaa yhteissoiton helppoutta eli sitä, kuinka hyvin soittajat kuulevat toisensa.
- myöhäinen tuki ST_{late} [dB]: myöhäisten heijastusten (100...1000 ms saapuvan) ja suoran äänen (0...10 ms saapuvan) äänienergian suhde. Myöhäinen tuki kuvaa soittajien kokemaa tilan kaiuntaa eli sitä, kuinka hyvin tila tukee soittoa.

Kuopion musiikkikeskus on valmistunut vuonna 1985, joten oli syytä olettaa, että rakennusajan ja uudet istuinverhoukset ja pehmusteet eivät välttämättä akustisilta ominaisuuksiltaan täysin vastaa toisiaan. Siksi suunnittelun lähtötiedoksi mitatettiin impedanssiputkimenetelmällä vanhojen ja uusien verhousten ja pehmusteiden absorptiosuhde Turun ammattikorkeakoulun akustiikkalaboratoriossa [3]. Uusien ja vanhojen istuinten absorptiosuhteessa osoittautuikin olevan pieniä eroja.

3.2 Saliakustiikan mallintaminen

Huoneakustisella tietokonemallinnuksella tutkittiin, millä tavoin istuinten verhousten ja pehmustemateriaalien absorptiosuhteiden erot vaikuttavat salin ominaisuuksiin. Samassa yhteydessä tutkittiin myös uuden miksauspaikan vaikutus. Salista laadittiin arkkitehdin suunnitelmien perusteella kolmiulotteinen tilamalli, joka siirrettiin huoneakustiseen mallinnusohjelmaan Odeon 14.04 Auditorium.

Huoneakustinen malli sovitettiin ennen korjausta tehtyjen mittausten tuloksiin, minkä jälkeen tehtiin uusi mallinuskierros siten, että katsomon absorptiosuhde muutettiin uusien verhousten ja pehmusteiden mukaiseksi. Samoin tilamalliin lisättiin miksauspaikka. Tämän jälkeen laskettiin huoneakustiset mittaluvut uudelleen. Mallinnustulosten perusteella nähtiin, että verhousten ja pehmusteiden sekä miksauspaikan vaikutus jäivät selvästi pienemmiksi kuin standardin ISO 3382-1 [2] määrittelemät havaittavissa olevat mittalukujen erot. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki huoneakustisen tietokonemallin tuloksista.



Odeon©1985-2017 Licensed to: A-Insinöörit, Finland

Kuva 5. Konserttisalin huoneakustinen mallinnus korjausten jälkeisessä tilanteessa, jossa tilaan on toteutettu miksauspaikka ja istuinten verhoukset ja pehmusteet on vaihdettu. Laskentaverkko esittää sivuttaisenergiasuhteen J_{LF} arvoa salissa. Kvalilähde: A-Insinöörit.

3.3 Mittaustulokset

Korjaustöiden valmistuttua huoneakustiset mittaukset konserttisalissa uusittiin tarkoituksena varmistaa, että konserttisalin ominaisuudet ovat säilyneet ennallaan. Mittaustulokset ennen korjausta ja sen jälkeen on esitetty taulukossa 1. Taulukossa on lisäksi esitetty suositusarvot konserttisalin akustiikalle lähteiden [2] ja [4] mukaisesti.

Tulosten perusteella salin huoneakustiikka oli säilynyt tavoitteiden mukaisesti ennallaan. Ainoa merkittävästi muuttunut arvo näyttäisi olevan varhainen jälkikaiunta-aika EDT, jonka arvo on korjausta edeltävään tilanteeseen nähden 0,1 s pienempi. Tässä on kuitenkin kyse huomattavasti pienemmästä muutoksesta eli 0,1 s ero johtuu pyöristyksestä yhteen desimaaliin. Ero jää sen verran pieneksi, että se ei standardin ISO 3382-1 [2] mukaan ole havaittavissa. Konserttisalin akustiset ominaisuudet vastaavat sitä, mitä kirjallisuudessa tämän kokoiselle (tilavuus noin 9000 m³) musiikkisalille suositellaan [4–5].

Taulukko 1. Konserttisalin akustiset mittaluvut standardin ISO 3382-1 [2] mukaisesti mitattuina ennen ja jälkeen korjausten. Suositukset on esitetty Barronin [4] mukaan tai tyypillisenä vaihteluvälinä standardin [2] mukaan. Edelliset on merkitty tähdellä. Esitetyt arvot ovat mittaustulosten keskiarvoja.

Mittaluku	Ennen korjausta	Korjauksen jälkeen	Suositus
Jälkikaiunta-aika T_{20}	1,8 s	1,8 s	1,8...2,2 s*
Varhainen jälkikaiunta-aika EDT	1,8 s	1,7 s	1,8...2,2 s*
Selvyys C_{80}	0,2 dB	0,2 dB	-2...2 dB*
Voimakkuus G	6,4 dB	6,2 dB	> 0 dB*
Sivuttaisenergiasuhde J_{LF}	0,16	0,17	0,1...0,35*
Ympäriövyys L_J	-9,3 dB	-9,0 dB	-14...1 dB
Varhainen tuki ST_{early}	-12,2 dB	-12,1 dB	-24...-8 dB
Myöhäinen tuki ST_{late}	-14,5 dB	-14,2 dB	-24...-10 dB

4. Yhteenveto

Vuonna 2018 valmistuneessa Kuopion musiikkikeskuksen korjaushankkeessa uusittiin rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vastaamaan nykyvaatimuksia. Akustiikkasuunnittelija varmisti ääneneristysratkaisuin, että näistä konehuoneista ei aiheudu konserttisalille häiriötä. Lisäksi akustiikkasuunnittelija varmisti ilmanvaihtojärjestelmän uusien kanavareittien riittävän äänenvaimennuksen. Konserttisalissa tehtiin myös huoneakustiikkaan liittyviä muutoksia: saliin rakennettiin sieltä puuttunut miksauspaikka sekä uusittiin istuinten pehmusteet ja verhoukset. Akustiikkasuunnittelijan tehtävänä oli varmistaa, että nämä muutokset eivät vaikuta konserttisalin akustisiin ominaisuuksiin. Korjaustöiden valmistuttua tehtyjen huoneakustisten mittausten perusteella salin huoneakustiikka oli säilynyt tavoitteiden mukaisesti ennallaan.

Lähdeluettelo

- [1] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [2] ISO 3382-1. 2019. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces. Geneva, International Organization for Standardization.
- [3] Hongisto, V. & Keränen, J. 2017. Absorptiosuhteen määrittäminen impedanssiputkella. Turku, Turun ammattikorkeakoulu, tutkimusraportti SY17-60.
- [4] Barron, M. 2010. Auditorium acoustics and architectural design (2. p.). Lontoo, Spon-Press.
- [5] Beranek, L. 2004. Concert halls and opera houses (2. p.). New York, Springer-Verlag.

Maanalaisen metrovarikon akustiikkasuunnittelu

Timo Huhtala ja Mikko Kylliäinen
A-Insinöörit, akustiikkasuunnittelu

Tiivistelmä

Länsimetron jatkeen osalta toteutetaan Espoon Sammalvuoreen maanalainen metrovarikko. Maaperän kautta maanpinnalla olevien nykyisten sekä suunniteltujen rakennusten osalta arvioitiin runkomelutasot laskennallisesti. Laskentamallia tarkennettiin värähtelymittauksilla, joita tehtiin olemassa olevalla metrolinjalla sekä louhintojen yhteydessä suunnittelualueen maaperässä. Tulosten perusteella suunniteltiin ratarakenteisiin vaimennusratkaisut runkomelutasojen alentamiseksi tavoitetasolle.

Ympäristömeluvaikutuksia selvitettiin rakennusvaiheen osalta mallintamalla ympäristöön leviävät melutasot eri työvaiheiden osalta. Mallinnuksen lähtötiedoiksi suoritettiin melupäästömittauksia alueella sekä vertailukohteissa eri työvaiheiden osalta. Mallinnuksen avulla suunniteltiin maavalleihin ja tilapäisrakenteisiin perustuvat meluntorjuntaratkaisut. Toiminnan aikainen melun leviäminen lähimpiin häiriintyviin kohteisiin selvitettiin niin ikään kolmiulotteisen mallinnuksen avulla. Tulosten perusteella määritettiin tavoitearvot laitevalintoihin sekä tarvittavat vaimennustarpeet eri kanavareiteille. Osa maanpäällisistä päätelaitteista sijoitettiin siten, että rakenteellisesti estettiin melun leviäminen kriittisimpiin suuntiin.

Isojen hallitilojen osalta eri työvaiheiden aiheuttamaa melua maanalaisissa huoltohalleissa rajoitettiin suunnittelemalla tiloihin ääntä absorboivia pintoja. Tarvittavat määrät sekä oikeat sijoitteluratkaisut selvitettiin kolmiulotteisen huoneakustisen mallinnuksen avulla.

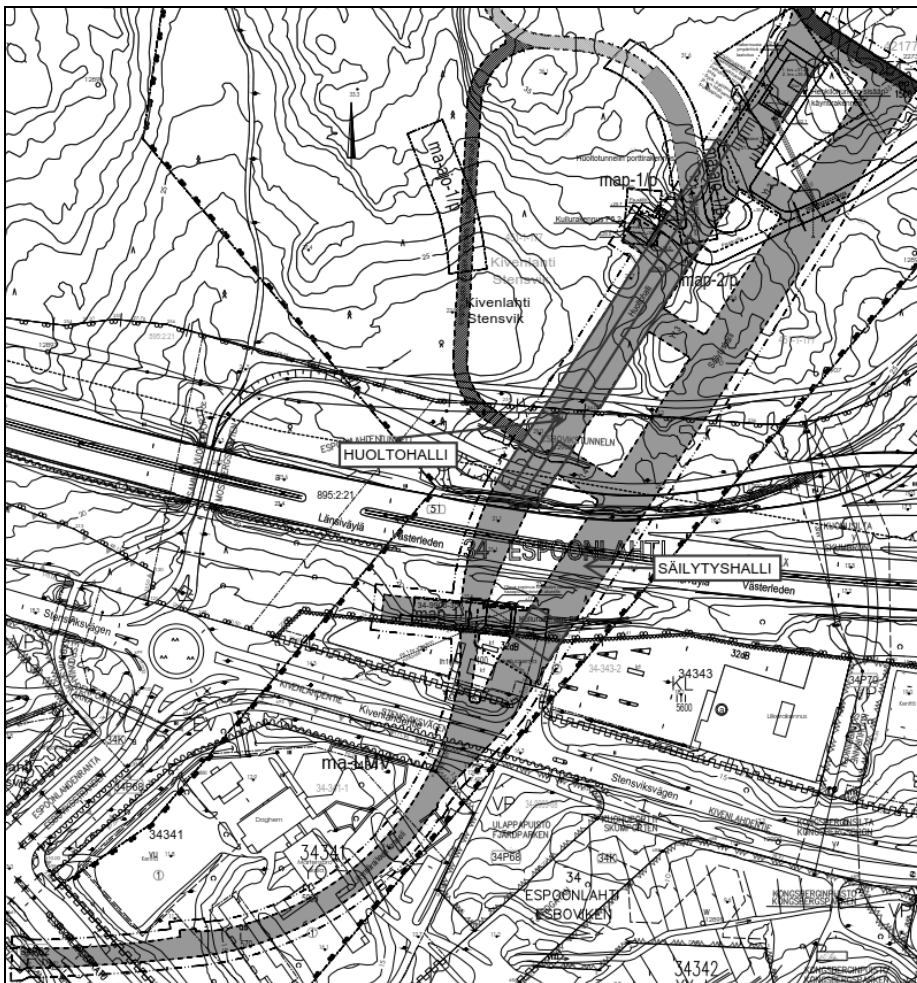
1. Johdanto

Länsimetron toisen vaiheen osana toteutetaan Espoon Sammalvuoreen maanalainen metrovarikko. Varikkotoiminnoille tehdään maan alle kaksi hallia, joista toiseen tulevat junien yösäilytystilat 20 junayksikölle ja toiseen huoltotoiminnot (kuva 1). Huoltohallin pituus on noin 300 metriä ja sen leveys mitoitetaan kolmen junan mukaan. Työskentelytiloineen leveys tulee olemaan noin 25 metriä. Huoltohallin pohjoispätyyn sijoitetaan lisäksi teknisiä tiloja. Junien säilytystilan pituus on noin 400 metriä ja sen leveys noin 26 metriä. Suunnittelualueeseen sisältyy myös liityntäraidetunneli varsinaiselta metrolinjalta, jonka pituus on noin 350 metriä. Liityntäraiteen linjaus kulkee sekä olemassa olevien että suunniteltujen asuinrakennusten alapuolelta.

Raideliikenne aiheuttaa ratarakenteen välityksellä värähtelyä tukirakenteisiin ja maaperään. Yleisesti pehmeillä maalajeilla värähtelyn taajuus on pienempi ja heilahdusnopeudet suurempia, jolloin ihminen voi aistia värähtelyn tärinänä tuntoaistin välityksellä. Kovilla maalajeilla värähtelyn amplitudi on pienempi ja taajuus suurempi, jolloin rakennukseen kytkeytyessään värähtely saa rakenteet säteilemään ääntä, jonka asukas aistii pienitaajuisena meluna kuuloaistin välityksellä. Koska metrovarikko on louhittu kallioon, on riskinä lähinnä runkomelu.

Ympäristömeluvaikutukset hankkeen osalta alkavat jo rakennusvaiheessa, jolloin tulee selvittää eri työvaiheiden ympäristöön aiheuttamat melutasot lähimpien häiriintyvien kohteiden osalta. Tätä varten tulee selvittää lähialueiden rakennusten käyttötarkoitukset sekä näille sovellettavat melun ohjearvot keskiäänitasojen sekä hetkellisten meluhippujen osalta eri vuorokauden aikoina. Määräviksi nousevat yksittäiset äänekkäimmät toiminnot, joiden osalta suunnitellaan mallinnukseen perustuen tarvittavat meluntorjuntatoimenpiteet, joilla melutasot saadaan täyttämään ohjearvojen vaatimukset.

Käytönaikaisten meluvaikutusten tarkastelu tehdään jatkuvatoimisten laitteiden lisäksi myös satunnaisesti käytettävien laitteiden osalta. Tällaisia ovat muun muassa savunpoistopuhaltimet ja varavoimakoneet. Niiden välittömässä läheisyydessä suunnittelukriteeriksi muodostuu kuulonsuojelun näkökulma ja vasta isoilla etäisyyksillä asumisviihtyvyyteen vaikuttavat tekijät.



Kuva 1. Ote Samsalvuoren metrovarikon asemapiirroksista.

2. Maanalaisen metrovarikon akustiikkasuunnittelu

Metrovarikon akustiikkasuunnitteluun liittyy useita akustiikan ilmiöitä, joista kaikkia ei ole mahdollista käsitellä tässä artikkelissa. Seuraavissa kappaleissa käsitellään kohteen erityisominaisuuksiin liittyviä akustiikkasuunnittelun tehtäviä sekä ratkaisuja.

2.1 Runkomelun arviointi ja torjunta

Suomessa käytetään yleisimmin runkomelun arviointiin VTT:n esiselvityksen [1] mukaisia arviointimenetelmiä, jotka perustuvat joko riskietäisyyksiin, laskentamalleihin tai mittauksiin. Yleisesti ottaen mittauksiin perustuva menetelmä tuottaa tarkemmat tulokset mutta toisaalta se ei ole käyttökelpoinen uutta rataa rakennettaessa. Näin ollen on Sammalvuoren metrovarikon runkomeluselvityksessä yhdistetty sekä laskennallinen että mittauksiin perustuvat menetelmät. Värähtelyn herätetasot sepeli- ja kiintoraiteelle, vaihteille sekä muille epäjatkuuskohdille on selvitetty referenssimittauksin [2], joita suoritettiin olemassa olevan metroradan alueella mm. Kampissa (kuva 2). Referenssimittauksia suoritettiin eri ajonopeuksilla, sillä liityntäraiteella ja erityisesti varikolla ajonopeudet ovat alhaisempia kuin normaaleilla rataosilla. VTT:n laskentamenetelmä sisältää vain hyvin karkean arvion eri ratarakenteiden, epäjatkuuskohtien sekä ajonopeuksien vaikutuksista runkomelutasoihin. Näin ollen referenssimittausten avulla oli mahdollista saavuttaa tarkempi arvio, jolloin myös vaimennustarve ja siitä aiheutuvat kustannukset pystytään minimoimaan.

Herätetasojen lisäksi varikon louhinnan yhteydessä tehtiin samanaikaisesti värähtelymittauksia tunnelissa sekä maanpinnalla (kuva 2). Tulosten perusteella laskettiin taajuuskaistoittain värähtelyn siirtofunktiot, joita käytettiin laskennallisiin tarkasteluihin eri rataosille [3]. Lisäksi varikon alueella radan alle tulevien tarkastusmonttujen osalta suoritettiin tarkistusmittauksia värähtelyn etenemisestä ylärakenteista alapuoleisiin rakenteisiin [4]. Näillä mittauksilla pystyttiin tarkentamaan arvioita värähtelyn vaimenemisesta selvitysalueen maaperässä sekä rataan liittyvissä kiintorakenteissa. Lisäksi arvioiduissa runkomelutasoissa huomioitiin liityntäraiteen osalta lisäys johtuen enimmillään kahdesta yhtäaikaisesti vierekkäisillä raiteilla liikennöivästä metrosta.



Kuva 2. Vasemmalla kuva referenssimittauksista olemassa olevan metroradan alueella, joita tehtiin mm. vaihdealueilla. Oikealla kuva louhintojen yhteydessä tehdyistä referenssimittauksista, joiden avulla selvitettiin siirtofunktio selvitysalueen maaperässä.

Selvityksessä [5] otettiin huomioon radan läheisyyden nykyinen sekä suunniteltu tulevaisuuden maankäyttö. Runkomelun tavoitearvoina eri toiminnoille käytettiin taulukon 1 mukaisia arvoja. Kuvassa 3 on esitetty arvioidut runkomelutasot rakennusten alimmissa kerroksissa ilman vaimennusta sekä eri rataosille mitoitettun runkomeluvaimennuksen kanssa. Vaimennustarve oli enimmillään noin 16 dB ja alimmillaan 10 dB. Runkomelun vaimennus ratarakenteessa

toteutetaan sepelinalusmatolla, joka asennetaan tasaisen kiilauskerroksen päälle. Eristimen mitoitus perustuu yliajon aiheuttamiin kuormituksiin, sallittuun painumaan sekä materiaalin dynaamiseen jäykkyyteen.

Taulukko 1. Runkomelulle käytetyt tavoitearvot

Rakennustyyppi	Runkomelutaso $L_{A,S,max}$ [dB]
Herkät kohteet	20...25
Asunnot	30
koulut	35
Toimistot	40



Kuva 3. Vasemmalla arvioidut runkomelutasot alimmassa kerroksessa ilman vaimennusta ratarakenteessa ja oikealla eri alueille mitoitetun vaimennuksen kanssa.

2.2 Ympäristömelun arviointi ja torjunta

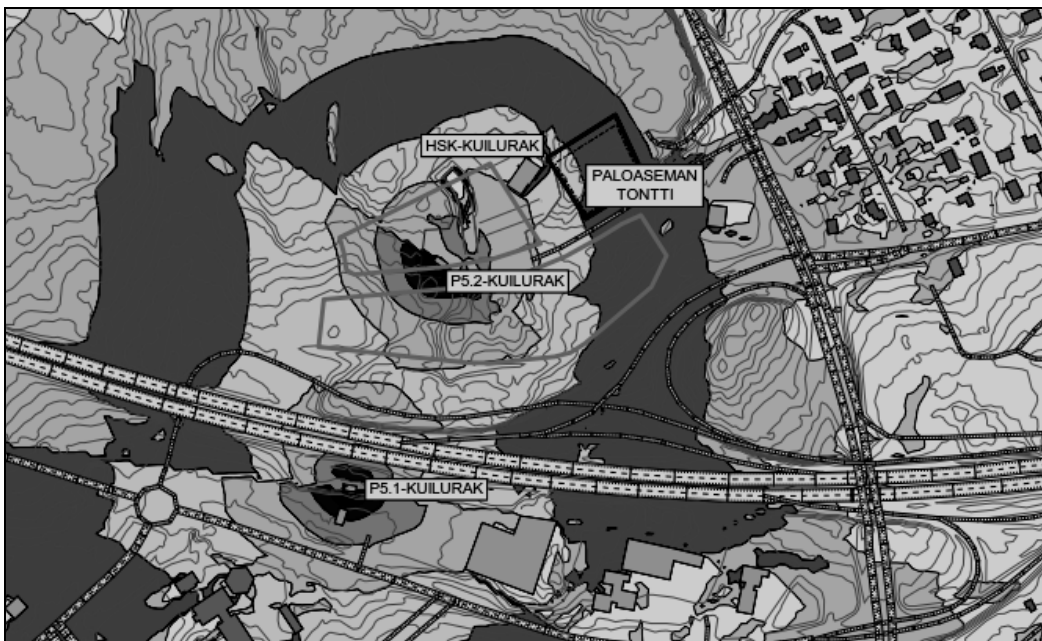
Ympäristömelua on arvioitu sekä rakennusvaiheen osalta että valmiin varikon ollessa toiminnassa. Molemmissa tilanteissa melulaskennat on suoritettu kolmiulotteiseen maastomalliin perustuen melulaskentaohjelmistolla Cadna A. Piste- ja aluelähteiden melun leviämisen mallinnukseen käytettiin Pohjoismaista teollisuusmelun laskentamallia [6]. Työmaatiellä kulkevien louheenkuljetusten mallinnuksessa käytettiin Pohjoismaista tieliikennemelun laskentamallia [7]. Etäisyydet lähimpiin melulle herkkiin kohteisiin ovat noin 200 metriä idässä sijaitseviin asuinrakennuksiin ja noin 300 metriä lounaassa sijaitsevaan kouluun. Rakentamisvaiheen melulähteinä otettiin huomioon louheen kuljetus maanpinnalle, kippaus läjitysalueelle, lastaus ja alueelta pois kuljettaminen sekä tunnelin tuulettamiseen käytettävien puhaltimien tuottama melu. Eri toimintojen osalta suoritettiin lähtötiedoiksi melumittauksia sekä referenssikohteissa että rakennusalueella (kuva 4).



Kuva 4. Ympäristömelumallinnuksen lähtötiedoiksi suoritettiin melumittauksia, joiden avulla määritettiin eri melulähteille melupäästöt.

Melunleviämiskarttojen avulla määritettiin eri toimintojen sijoittelumahdollisuudet alueelle sekä suunniteltiin tarvittavat maavallit sekä muut tilapäisrakenteet, jotta meluntorjunta lähimmissä mahdollisesti häiriintyvissä kohteissa on riittävä. Meluntorjunnan perusteena käytettiin päivä- ja yöaikaisia keskiäänitasoja $L_{A,eq,7-22}$ ja $L_{A,eq,22-07}$ sekä hetkellisiä enimmäisäänitasoja $L_{A,max}$. Melutasojen toteutuminen varmistettiin vielä työmaan toimiessa toteuttamalla melutasomittauksia lähimpien kohteiden osalta.

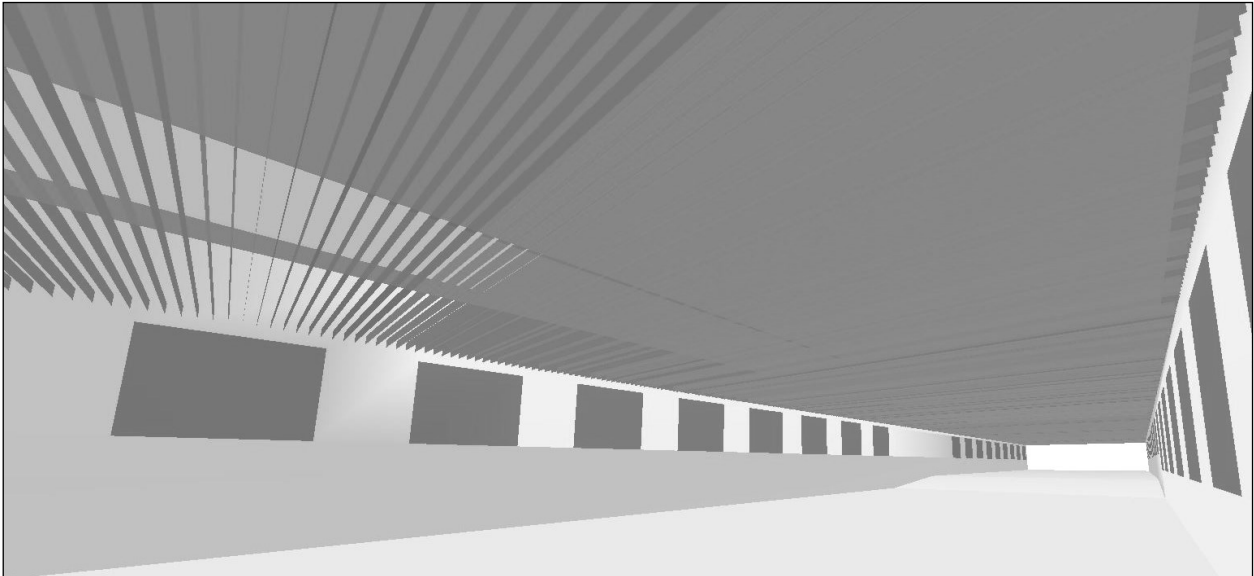
Valmis varikko käsittää kolme erillistä kuilua, jotka yhdistyvät maanpäällisiin rakennuksiin. Näiden yhteyteen toteutetaan maan alle sijoitettavien ilmanvaihtokoneiden raitis- ja jäteilm-aukot sekä paineistus- ja savunpoistopuhaltimien aukot. Lisäksi varavoimakone sijoitetaan yhteen maanpäällisistä rakennuksista, jolloin sen raitisilma-aukko ja pakoputki ovat merkittäviä hetkellisiä melulähteitä koekäytön yhteydessä. Esimerkiksi maanalaisen luolan kattoon sijoitettavan yksittäisen savunpoistopuhaltimen äänitehotason $L_{W,A}$ ollessa 129 dB maan päällä aiheutuisi ympäristöön taustamelusta erottuvia melutasoja useamman sadan metrin etäisyydellä, vaikka kanavistoon on sijoitettu äänenvaimentimia (kuva 5). Äänenvaimentimien lisäksi meluntorjunta perustuu vaimennettuihin tulo- ja jäteilmakammioihin sekä ilma-aukkojen toteutukseen maanpinnalla siten, että melun leviäminen suoraan sivuille on estetty rakenteellisesti.



Kuva 5. Melukartta savunpoistopuhaltimien testauksen ympäristöön aiheuttamasta keskiäänitasosta.

2.3 Huoneakustiikka

Varikon meluisimpia tiloja ovat huolto- ja sorvihalli, jossa melua aiheuttavat erilaiset työvaiheet sekä niissä tarvittavat koneet. Akustiikkasuunnittelun tavoitteena on alentaa melutasoja sekä lisätä työturvallisuutta, sillä vaunujen siirron yhteydessä tilassa työskentelevien ihmisten on pystyttävä kommunikoimaan keskenään. Noin 300 m pitkän huoltohallin huoneakustiikkaa sekä melun leviämistä tutkittiin kolmiulotteisella mallilla Odeon-ohjelmistoa käyttäen (kuva 6). Mallinnuksen etu on mahdollisuus tutkia eri materiaalien ja sijoitusvaihtoehtojen vaikutuksia akustiikkaan.



Kuva 6. Näkymä huoltohallin huoneakustisesta tietokonemallista..

3. Yhteenveto

Uuden ratalinjan suunnittelussa vertailukohteista saatavat mittaustulokset yhdistettynä laskentamalliin tuottavat tarkan arvion runkomelutasoista. Tällöin vaimennusratkaisujen mitoitus pystytään tekemään varmemmin lähtötiedoin, jolloin vältetään ylimitoitusta sekä saavutetaan taloudellisesti edullisempi vaihtoehto. Isossa rakennushankkeessa pelkän toiminnan aikaisen melun arviointi ei riitä, vaan myös rakennusaikaiset meluvaikutukset on selvitettävä. Melun leviäminen ympäristöön pystytään nykyisin määrittämään luotettavasti melumallinnusohjelmistoilla. Lähtötietojen tarkkuudella on kuitenkin suuri merkitys ja tarvittaessa voidaan käyttää melupäästömittauksia lähtötietojen validoimiseen. Huoneakustiikan suunnittelu isoon tilaan ei onnistu perinteisillä käsinlaskentamenetelmillä, vaan arviointi tulee tehdä mallintamalla. Tällöin etuna on, että voidaan helposti verrata eri materiaalivalintojen vaikutuksia sekä näiden sijoitusvaihtoehtoja ja näin pyrkiä valitsemaan paras vaihtoehto toteutukseen.

Lähdeluettelo

- [1] Talja, A. ja Saarinen, A. 2009. Maaliikenteen aiheuttaman runkomelun arviointi. Esiselvitys. Espoo, VTT Tiedotteita 2468.
- [2] Ruohonen, M. ja Huhtala, T. 2017. AINS 1611556.3.2 Kampin kääntöraide, runkomelun referenssimittaukset – sisäinen raportti.
- [3] Ruohonen, M. ja Huhtala, T. 2017. AINS 1611556.3.1 Sammalvuoren metrovarikko, räjäytysmittaukset – sisäinen raportti.
- [4] Ruohonen, M. ja Huhtala, T. 2018. AINS 1611556.3.4 Sammalvuoren metrovarikko, tarkastusmonttujen mittaukset – sisäinen raportti.
- [5] Huhtala, T., Kylläinen, M. ja Ruohonen, M. 2018. AINS 1611556.3.3B Sammalvuoren metrovarikko, runkomeluselvitys.
- [6] Kragh, J. ym. 1982. Environmental noise from industrial plants. General prediction method. Danish acoustical laboratory, report 32. Lyngby 1982.
- [7] Road traffic noise. Nordic prediction method. TemaNord 1996:525, Nordic Council of Ministers, Kööpenhamina, 1996.

B9. Ääneneristys ja meluntorjunta 2

Ääniympäristöasetus ja -ohje

Mikko Kylliäinen

Tampereen yliopisto, rakennustekniikka, metalli- ja kevytrakenteet
A-Insinöörit, akustiikkasuunnittelu

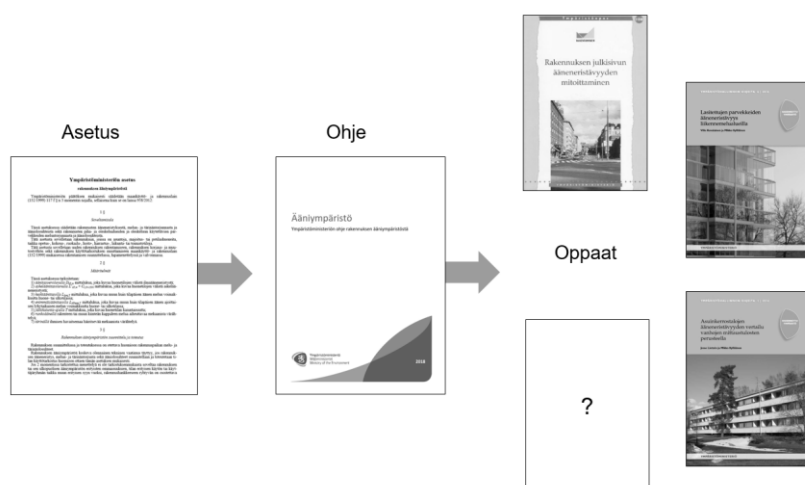
Tiivistelmä

Ympäristöministeriö antoi vuonna 2017 asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä. Se astui voimaan 1.1.2018 ja korvasi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 vuodelta 1998. Kesällä 2018 ympäristöministeriö antoi lisäksi asetusta selittävän ja täydentävän ääniympäristöohjeen. Kolmannen tason muodostavat oppaat, joita on jo olemassa ja lisäksi niitä aiotaan julkaista lisää. Asetuksen soveltamisalaa on laajennettu rakentamismääräyskokoelmaan nähden huomattavasti. Uudisrakentamisen lisäksi asetus koskee korjausrakentamista. Lisäksi soveltamisalaa on laajennettu rakennus- ja tilatyyppejen osalta siten, että asetuksen piirissä ovat asuinrakennusten lisäksi majoitus- ja potilashuoneet, opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotilat.

1. Johdanto

Rakennusten ääniympäristöä koskevat ensimmäiset suositukset Suomessa annettiin vuonna 1955 ja uudistettiin vuosina 1960 ja 1967 [1]. Nämä suositukset eivät olleet säädöstasoisia, joskin 1960-luvulla rakennusvalvontaviranomaiset eri puolilla maata alkoivat edellyttää niiden noudattamista. Säädöstasoiset määräykset annettiin, kun Suomen rakentamismääräyskokoelma ensi kertaa julkaistiin vuonna 1975. Sen osa C1 koski rakennusten ääneneristystä, huoneakustiikkaa ja meluntorjuntaa. Rakentamismääräyskokoelman osa C1 uudistettiin vuosina 1985 ja 1998 [2–3].

Ympäristöministeriö antoi vuonna 2017 asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä [4]. Se astui voimaan 1.1.2018 ja korvasi Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 vuodelta 1998 [5]. Kesällä 2018 ympäristöministeriö antoi lisäksi asetusta selittävän ja täydentävän ääniympäristöohjeen [6]. Kolmannen tason (kuva 1) muodostavat oppaat [3, 7–8].



Kuva 1. Säädösten hierarkia ja rakenne.

Ääniympäristöasetus ja -ohje perustuvat Suomessa tehtyyn seikkaperäiseen tutkimustyöhön, jota on ollut toteuttamassa useita tutkimuslaitoksia. Tutkimushankkeen *ÄKK – Ääneneristyksen käyttäjälähtöinen kehittäminen* keskeiset tulokset on esitetty tiivistetysti lähteessä [9]. Ääniympäristöasetusta valmisteltaessa tehtiin myös perusteellinen vaikutusarvio, jossa selvitettiin sekä teknisiä että kustannusvaikutuksia [10–11]. Tämän artikkelin tarkoituksena on kuvata voimassa olevien määräysten merkittävimpiä muutoksia aiempiin määräyksiin nähden. Lisäksi tarkoituksena on perustella muutoksia uudistuksen taustalla olevan tutkimustyön tulosten avulla.

2. Soveltamisala

Asetuksen 1 §:ssä määritelty soveltamisala on tärkeä, sillä kaikesta siitä, mitä soveltamisalassa on mainittu, ympäristöministeriö voi antaa ohjeita. Aiemmin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1-1998 soveltamisala oli määritelty näin: ”Nämä määräykset ja ohjeet koskevat rakenteellista ääneneristystä ja meluntorjuntaa uudisrakennuksessa” [5].

Akustiikan ilmiöiden tasolla ääniympäristöasetuksen asetuksen soveltamisalaan kuuluvat rakennusten ääneneristys, melun- ja värinäntorjunta, rakennuksen piha- ja oleskelualueiden meluntorjunta sekä ääniolosuhteet, joilla tarkoitetaan erityisesti puheenerotettavuuteen liittyviä tekijöitä esimerkiksi luokkahuoneissa tai avotoimistoissa. Uudisrakentamisen lisäksi asetus koskee korjausrakentamista. Lisäksi soveltamisalaa on laajennettu rakennus- ja tilatyypin osalta siten, että asetuksen piirissä ovat asuinrakennusten lisäksi majoitus- ja potilashuoneet, opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- ja toimistotilat.

3. Muutosten tieteellinen tausta

3.1 Standardisoidut ääneneristävyden mittaluvut

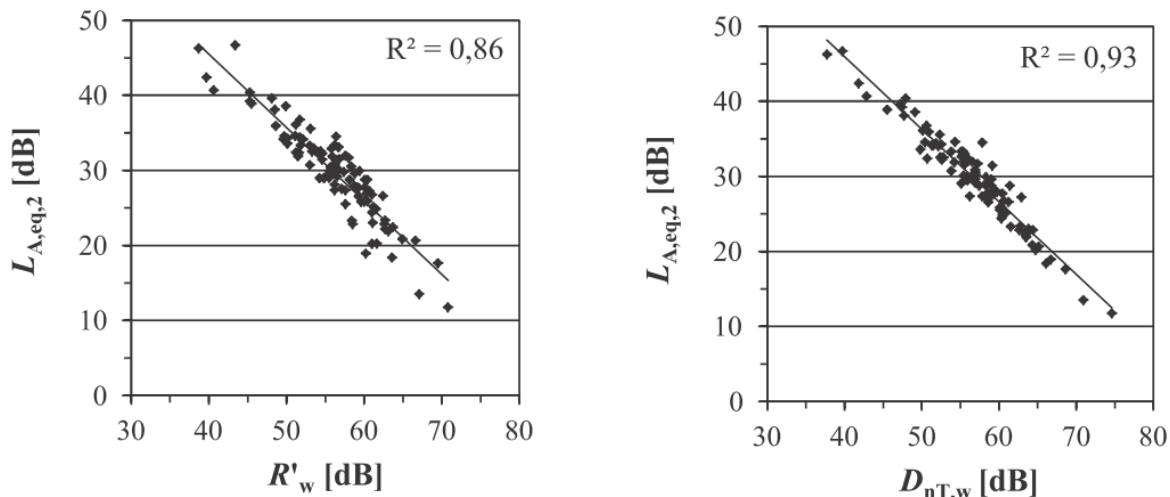
Ilmaääneneristävyden mittalukuna on Suomessa käytetty ilmaääneneristysluku R'_w vuodesta 1967. Askelääneneristävydelle on asetettu määräykset askeläänitasolukuna $L'_{n,w}$. Aiemmin käytettiin mittalukuja, jotka standardisoitiin 0,5 s jälkikaiunta-aikaan [3]. Asetuksessa nämä mittaluvut on jälleen otettu käyttöön: ilmaääneneristävydelle annetaan pienin sallittu arvo tilojen välisenä äänitasoerolukuna $D_{nT,w}$ ja askelääneneristävydelle suurimpana sallittuna askeläänitasolukuna $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$. Taulukossa 1 on esitetty vaatimuksia eri tilojen välisille ääneneristävyksille. Asumiseen tarkoitettujen tilojen osalta määräykset on annettu asetuksessa [4] ja muiden tilojen osalta ääniympäristöohjeessa [6].

Taulukko 1. Esimerkkejä voimassa olevista ääneneristystä koskevista määräys- ja ohjearvoista. Ohjeessa [6] on lisäksi annettu lisää ohjearvoja erilaisille tiloille sekä ohjearvoja ääneneristävydelle tilan ja käytävän välille tai tilojen välille, kun välissä on ovi.

Tila	Pienin sallittu äänitasoeroluku $D_{nT,w}$	Suurin sallittu askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{I,50-2500}$
Asuinhuoneisto	55 dB	53 dB
Opetustila	44 dB	63 dB
Musiikinopetustila	60 dB	46 dB
Neuvottelutila	48 dB	63 dB
Vastaanottohuone	48 dB	63 dB
Toimistohuone	40 dB	63 dB

Ilmaääneneristysluku R'_w oli alkujaan kehitetty laboratoriomittauksiin, joissa ääni siirtyi laboratorion mittauskammioista toiseen vain tutkitun rakenteen kautta. Tämä oletus ei rakennuksessa tehtävissä mittauksissa päde. Aiemmin käytössä olleen askeläänitasoluvun $L'_{n,w}$ mittaukset tehtiin vertailukelpoiseksi normeeraamalla tulokset 10 m^2 absorptioalaan, jollainen kalustetussa huoneessa on silloin, kun sen tilavuus on 30 m^3 . Mutta jos tilavuus poikkeaa tässä, absorptioala onkin jotain muuta, jolloin mittaustulokseen syntyy epätarkkuutta. Sitä vastoin jälkikäiunta-aika on kalustetussa huoneessa jokseenkin vakio $0,5 \text{ s}$ tilavuudesta riippumatta [12].

Kuvassa 2 on esitetty vertailu ilmaääneneristävyuden mittalukujen R'_w ja $D_{nT,w}$ ja huoneistosta toiseen siirtyneen A-painotetun keskiäänitason kanssa, kun äänilähteenä on kovaääninen puhe [12]. Tulokset perustuvat 100 kenttämittaukseen. Kuusi äänityyppiä tutkittiin: kitaransoitto, kaksi äänentoiston kautta toistettua musiikkia, vauvan itku, kovaääninen puhe ja koiran haukunta. Kaikissa tapauksissa äänitasoeroluku $D_{nT,w}$ johti parempaan korrelaatioon välittyneen äänitason kanssa kuin R'_w . Vastaavat tulokset askelääneneristävyuden osalta on raportoitu lähteessä [13]. Näin ollen on perusteltua käyttää mittalukuja, jotka normeerataan $0,5 \text{ s}$ jälkikäiunta-aikaan.



Kuva 2. Naapurissa tapahtuvasta kovaäänisestä puheesta huoneistoon välittynyt keskiäänitaso $L_{A,eq}$ suhteessa ilmaääneneristyslukuun R'_w (vasemmalla) ja äänitasoerolukuun $D_{nT,w}$ (oikealla).

3.2 Askelääneneristävyuden mittaluku

Mitattu ilma- ja askelääneneristävyuden taajuusalue on Suomessa ollut aiemmin $100\text{--}3150 \text{ Hz}$ [3]. Ilmaääneneristävyuden mittauksissa taajuusalueeseen ei ole tehty muutoksia, koska mittausepävarmuuden on osoitettu kasvavan liian suureksi, jos taajuusalue laajennettaisiin 50 Hz asti [14]. Ilmaääneneristävyuden osalta ei taajuusalueen laajentamisella saavutettaisi myöskään erityistä parannusta fyysikaalisten mittalukujen ja ihmisten subjektiivisesti kokeman ilmaääneneristävyuden väliseen korrelaatioon [15].

Askelääneneristävyuden mittaluku on asetuksessa määritelty mitattavaksi 50 Hz asti. Lähteessä [16] raportoidussa tutkimuksessa havaittiin, että taajuusalueen laajentaminen paransi korrelaatiota fyysikaalisten mittalukujen ja ihmisten kokeman askelääneneristävyuden välillä. Toisaalta askelääneneristävyuden mittauksissa mittausepävarmuus ei pienillä taajuuksilla kasva niin paljon, että se estäisi taajuusalueen laajentamisen [17].

Mielenkiintoinen kysymys on, millä tavalla askelääneneristävyyden mittaluvun muutos vaikuttaa välipohjien rakennetyyppeihin. Lähteessä [18] on raportoitu tutkimus, jossa laskettiin 214 askelääneneristävyyden kenttämittaustuloksesta sekä vanha mittaluku $L'_{n,w}$ että nykymääräysten mittaluku $L'_{n,w} + C_{1,50-2500}$. Laskettuja arvoja verrattiin aiemmissä määräyksissä ja nykyisissä määräyksissä annettuihin suurimpiin sallittuihin arvoihin. Tulos oli, että 7 % aiemmat määräykset täyttävistä mittaluvuista ei täyttäisi nykymääräyksiä. Tätä määrää voidaan pitää pienenä, mutta nämä 7 % mittaustuloksista ovat tilanteista, joissa kerrostaloasukkaat ovat ilmaisseet tyytymättömyytensä askelääneneristävyyteen.

3.3 Huoneakustiikka

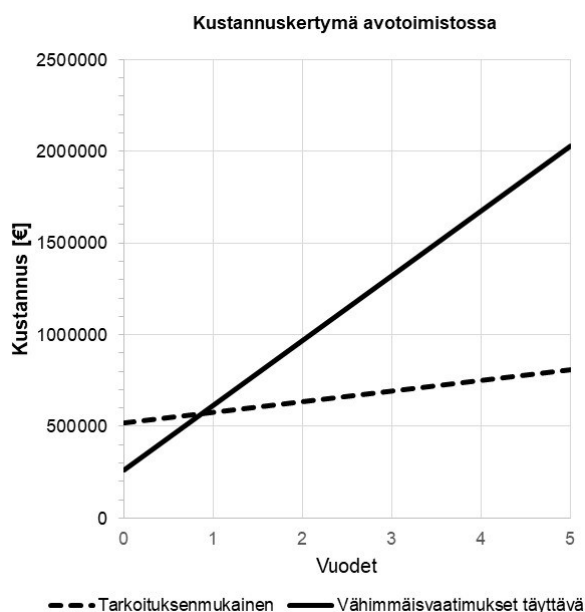
Ääniympäristöohjeessa [6] on annettu ohjeet erilaisten tila- ja huonetyyppien huoneakustiikalle (taulukko 2). Osa ohjearvoista on annettu jälkikaiunta-aikoina, mutta joillekin tiloille ääniympäristöohjeeseen on tuotu jälkikaiunta-ajan rinnalle puheensiirtoindeksi STI. Puheensiirtoindeksi ottaa huomioon kaiun lisäksi puheen äänitason tarkasteltavassa pisteessä sekä tilassa olevan taustäänänen puhetta peittävän vaikutuksen. Puheensiirtoindeksin arvo 0 tarkoittaa, että tilassa satunnaisesti luetelluista tavuista yhdestäkään ei saada selvää ja arvo 1, että kaikista saadaan selvää.

Taulukko 2. Esimerkkejä ääniympäristöohjeen ohjearvoista huoneakustiikalle [6].

Tila	Jälkikaiunta-aika T	Puheensiirtoindeksi STI
Luokkahuone, kokoustila	0,5–0,7 s	$\geq 0,7$
Ruokala, liikuntatila ($\leq 1500 \text{ m}^3$)	$\leq 1,2$ s	$\geq 0,6$
Potilashuone	$\leq 0,8$ s	$\geq 0,6$
Avotoimisto	$\leq 0,6$ s	$\leq 0,5$
Toimistohuone	$\leq 0,8$ s	–
Päiväkodin leikkihuone	$\leq 0,6$ s	–
Porrashuone	$\leq 1,3$ s	–

Huoneakustiikkaan liittyen selvitettiin muutosten kustannusvaikutuksia [10] koskien rakennuskustannuksia ja käyttäjälle akustisesti puutteellisesta tilasta syntyviä kustannuksia. Esimerkki tästä on opetustila, jonka puutteellinen huoneakustiikka voi aiheuttaa opettajille äänihäiriöitä eli ongelmia äänenmuodostuksessa, mikä voi johtaa pitkäaikaiseen kuntoutukseen ja sairauslomiin. Toinen esimerkki on avotoimisto, jossa puutteellinen akustiikka voi johtaa työn keskeytymiseen ja sitä kautta kustannusmenetyksiin työajan hukan kautta [11].

Avotoimistossa työajanhukka on yhteydessä puheensiirtoindeksin arvoon, sillä avotoimistossa oman työtehtävän kannalta tarpeeton puhe on keskittymistä häiritsevä tekijä [19]. Lähteissä [11] ja [20] raportoidussa tutkimuksessa tarkasteltiin 170 hengen avotoimistoa kahdessa tapauksessa: akustisesti tarkoituksenmukaisessa ja minimivaatimukset täyttävässä tilanteessa. Kummastakin tapauksesta määritettiin akustisista ratkaisuista seuraavat rakennuskustannukset sekä työajan hukasta syntyvät kustannukset. Työajan hukka prosentteina työajasta määritettiin lähteessä [19] esitetyllä mallilla. Työajasta 90 % oletettiin laskutettavaksi ja työtunnin myyntihinnaksi oletettiin 60 €/h (alv 0 %). Tulosten perusteella oli ilmeistä, että ääniympäristöohjeeseen oli syytä määritellä avotoimistojen huoneakustiikalle ohjearvot (kuva 3).



Kuva 3. Kustannuskertymä akustisesti tarkoituksenmukaisessa sekä minimivaatimukset täyttävässä 170 työpisteen avotoimistossa viiden vuoden aikana. Vuoden 0 kohdalla on esitetty rakennuskustannukset, minkä jälkeen työajan hukka kasvattaa kokonaiskustannuksia. Minimivaatimukset täyttävä avotoimisto on viidessä vuodessa 1,2 M€ kalliimpi.

4. Akustiikkasuunnittelijan ilmoittaminen

Ääniympäristöohjeessa ensimmäistä kertaa asetetaan vaatimuksia akustiikkasuunnittelijan kelpoisuudelle. Ohjeen mukaan akustiikkasuunnittelija on ilmoitettava rakennuslupahakemuksen yhteydessä silloin, kun hankkeen vaativuusluokka on vaativa tai poikkeuksellisen vaativa [6]. Vaativia hankkeita ovat terveyskeskus, sairaala sekä rakennukset, jotka sisältävät, opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta-, toimisto-, majoitus- tai potilastiloja. Poikkeuksellisen vaativia hankkeita ovat rakennukset, joiden käyttötarkoituksesta aiheutuu poikkeuksellisia vaatimuksia tilojen meluttomuudelle, värinättömyydelle, ääneneristävyydelle tai akustiikalle. Akustisesti ainutkertaiset ratkaisut, joille ei ole valmiita suunnitteluohjeita tai joista ei ole kokemuseräistä tietoa, ovat myös poikkeuksellisen vaativia suunnittelutöitä.

5. Yhteenveto

Tässä artikkelissa on esitetty ääniympäristöasetuksen ja -ohjeen keskeiset muutokset sekä niiden tieteellinen tausta. Uudet määräykset perustuvat perusteelliseen tieteelliseen tutkimukseen sekä tutkimuskirjallisuudesta saatuun tietoon. Uudistuksen kustannusvaikutukset tutkittiin määräysten valmistelun yhteydessä, ja kustannustarkastelut myös tukivat uudistusten tekoa toteutuneella tavalla.

Lähdeluettelo

- [1] Kylliäinen, M. 2009. Kansainväliset yhteydet vuoden 1967 ääneneristysnormien muotoutumisessa. Tekniikan Waiheita. Nro 3, s. 29–47.
- [2] Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2013. Asuinkerrostalojen ääneneristävyyden kehittyminen Suomessa vuosina 1955–2008. Tekniikan Waiheita. Nro 1, s. 5–23.

- [3] Lietzén, J. & Kylliäinen, M. 2014. Asuinkerrostalojen ääneneristävyyden vertailu vanhojen mittaustulosten perusteella. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristöhallinnon ohjeita 1/2014. 68 s.
- [4] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Suomen säädöskokoelma 796/2017.
- [5] Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1: Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa – Määräykset ja ohjeet. 1998. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [6] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. 2018. Helsinki, ympäristöministeriö.
- [7] Sipari, P. & Saarinen, A. 2003. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristöopas.
- [8] Kovalainen, V. & Kylliäinen, M. 2016. Lasitettujen parvekkeiden ääneneristävyys liikennemelualueilla. Helsinki, ympäristöministeriö, ympäristöhallinnon ohjeita 6/2016.
- [9] Hongisto, V. & Kylliäinen, M. 2015. ÄKK Loppuraportti. Turku, Työterveyslaitos. 40 s.
- [10] Kempainen, J. 2017. Akustisten olosuhteiden kustannusvaikutukset. Diplomityö. Espoo, Aalto-yliopisto, sähkötekniikan korkeakoulu.
- [11] Kempainen, J., Niemi, H., Kylliäinen, M. & Mikkilä, A. 2017. Ääniolosuhteiden kustannusvaikutukset avotoimistoissa. Rakennusfysiikka 2017. Tampere, 24.–26.10., Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, s. 609–614.
- [12] Kylliäinen, M., Takala, J., Oliva, D. & Hongisto, V. 2016. Justification of standardized level differences in rating of airborne sound insulation between dwellings. Applied Acoustics. Vol. 102, s. 12–18.
- [13] Lietzén, J., Kylliäinen, M. & Takala, J. 2016. Justification of standardized impact sound pressure levels in rating of impact sound insulation of floors. Proceedings of the 45th International Congress on Noise Control Engineering Internoise 2016. Hamburg, August 21–24.
- [14] Hongisto, V., Keränen, J., Kylliäinen, M. & Mahn, J. 2012. Reproducibility of the present and the proposed single-number quantities of airborne sound insulation. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 98(5), s. 811–819.
- [15] Hongisto, V., Oliva, D. & Keränen, J. 2016. Subjective and objective rating of airborne sound insulation - living sounds. Acta Acustica united with Acustica 100(5), s. 848–863.
- [16] Kylliäinen, M., Hongisto, V., Oliva, D. & Rekola, L. 2017. Subjective and objective rating of impact sound insulation of a concrete floor with various coverings. Acta Acustica united with Acustica 103(2), s. 236–251.
- [17] Kylliäinen, M. 2014. The measurement uncertainty of single-number quantities for rating the impact sound insulation of concrete floors. Acta Acustica united with Acustica. Vol. 100(4), s. 640–648.
- [18] Kempainen, J. & Kylliäinen, M. 2017. Spektripainotusterman $C_{L50-2500}$ vaikutus askelääneneristävyyden arviointiin. Akustiikkapäivät 2017. Espoo, 24.–25.8., Akustinen Seura ry, s. 129–134.
- [19] Hongisto V. 2005. A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. Indoor Air. Vol. 15, s. 458–468.
- [20] Kempainen, J., Niemi, H., Kylliäinen, M. & Mikkilä, A. 2018. The cost effects of acoustics in open-plan office. Proceedings of the Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting. Reykjavik, Icelandic Acoustical Society, April 15–18.

Ahlmanin ammattiopiston musiikkilat – akustiikan ja rakennusfysiikan yhteensovitus

Joose Takala¹, Jussi Rauhala¹, Tuomas Pelli¹ ja Mikko Tarri²

¹ A-Insinöörit, akustiikkasuunnittelu

² A-Insinöörit, korjaussuunnittelu

Tiivistelmä

Tampereella sijaitseva Ahlmanin ammattiopisto laajensi opintotarjontaansa musiikinopetuksella, kun Oriveden opisto muutti Ahlmanin tiloihin vuonna 2018. Oriveden opiston musiikkiopetukselle löydettiin tilat perinteisistä luokkahuoneista. Näiden lisäksi opetuksessa tarvittavat studio ja tarkkaamo sijoitettiin juhlasalin näyttämölle ja sen alla olevaan kellarivarastotilaan. Tässä artikkelissa keskitytään pääosin juhlasalin näyttämön studion ja sen alapuoleisen kellariin sijoitetun tarkkaamon ääneneristävyyden parantamiseen, joka oli haastava ja varsin mielenkiintoinen suunnittelutehtävä niin rakennusfysiikan kuin ääneneristykseen ja huoneakustiikan näkökulmasta. Saneerauksen jälkeen tilojen välinen ääneneristävyys mitattiin ja vaatimustaso ylitettiin. Käyttäjä on ollut tiloihin tyytyväinen sekä tilojen akustisen toiminnan että myös sisäilman osalta.

1. Johdanto

Ahlmanin ammattiopisto Tampereella laajensi opintotarjontaansa musiikinopetuksella, kun Oriveden opisto muutti Ahlmanin tiloihin vuonna 2018. Ennen kuin musiikkilinja voitiin aloittaa, piti Ahlmanin opiston tiloista löytää sopivat tilat. Perinteiset musiikkiluokat sijoitettiin kahteen vanhaan koululuokkaan, joiden akustiikkaa kehitettiin tukemaan musiikinopetusta. Tilat studiolle ja tarkkaamolle löydettiin liikuntasalin näyttämöltä ja sen alapuoleisen kellarin varastosta. Tämä johti varsin mielenkiintoiseen suunnittelutehtävään ääneneristykseen, huoneakustiikan ja rakennusfysiikan näkökulmasta.

Näyttämön ja sen alapuoleisen varaston välinen ääneneristävyys ei sellaisenaan ollut riittävä studion ja tarkkaamon välisiin ääneneristysvaatimuksiin nähden, vaan ääneneristävyyttä piti parantaa. Kellarin asettamia haasteita oli useita: maanvarainen laatta oli valettu suoraan maata vasten (ei eristeitä), kuten sokkelikin, huonekorkeus oli hyvin matala, ilmanvaihto olematon ja ääneneristävyys yläpuoleiseen tilaan, tulevaan studioon, hyvin heikko.

Haasteet ratkaistiin kehittämällä rakenteet, jotka sekä eristävät ääntä että toimivat rakennusfysiikallisesti oikein. Entinen välipohja purettiin, kasvatettiin huonekorkeutta ja tehtiin uusi paremmin ääntä eristävä rakenne. Kellarin uudet ääntä eristävät seinä-, ja lattiarakenteet toteutettiin taustastaan tuulettuvina, ja niiden välitilaan asennettiin ilmanvaihto. Uusien seinä- ja lattiarakenteiden sisäpintaan asennettiin myös tiivis ja elastinen kapselointikerros, jolloin välitilan ilma ja huoneilma ovat omissa osastoissaan. Ilmanvaihto kellariin uusittiin siten, että välitilan ja huoneen ilmanvaihto olivat erillisiä. Musiikkiluokkien osalta noudatettiin Ympäristöministeriön asetusta rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017, 7§, jossa mainitaan: ”*Rakennuksen ääneneristystä, melun- ja värinäntorjuntaa ... ja ääniolosuhteita ei saa rakennuksen korjaus- tai muutostyössä heikentää.*” [1] Studiossa ja tarkkaamossa noudatettiin ympäristöministeriön ohjetta rakennuksen ääniympäristöstä uusille tiloille, sillä kyseessä oli osittain myös käyttötarkoituksen muutos [2].

2. Tilat ennen suunnittelua ja vaatimukset tiloille

2.1 Musiikkiluokat

Oriveden opisto tarvitsi kaksi musiikkiluokkaa opetusta varten. Musiikkiluokissa tapahtuu eri soitinten harjoittelua yksin ja ryhmässä. Tämän lisäksi tilassa myös opetetaan teoriaopintoja, jolloin tilan pitää toimia myös puhekäytössä. Tulevat kaksi musiikkiluokkaa sijoitettiin kahteen entiseen luokkahuoneeseen. Tilojen välistä ääneneristävyttä ei ollut käyttäjän mielestä tarvetta suuresti parantaa, vaan tilojen välistä ääneneristävyttä parannettaisiin vain kustannustehokkaasti ja vältettäisiin kelluvia rakenteita.

2.2 Studio/Näyttämö

Ahlmanin ammattiopiston juhlasalin näyttämö osoittautui parhaaksi paikaksi studion sijoittamiselle, vaikka se asetti akustiselle- ja rakennusfysikaaliselle suunnittelulle haasteita. Studion oli määrä toimia juhlasalin näyttämönä ja itsenäisenä studiona. Siirtoseinän ansiosta näyttämöltä voidaan esittää juhlasaliin esityksiä, jolloin studiolaitteisto on paikoillaan ja opiskelijat voivat taltioida live-esityksen studion laitteistoilla. Kun siirtoseinää pidetään kiinni, tila toimii pelkkänä studiona. Studio/Näyttämölle suunnitteluvaiheessa esitetyt vaatimukset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Studion vaatimukset

Osa-alue	Vaatimus / tavoite
Jälkikaiunta-aika	Muunneltava 0,5 ... 0,9 s
Ilmaääneneristävyys tarkkaamoon	$D_{nT,w} \geq 65$ dB
Askelääneneristävyys tarkkaamoon	$L_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq 43$ dB
Taustäänitaso	$L_{A,eq} \leq 20$ dB
Rakennusfysiikka	Tulevien seinä- ja kattoverhousten kosteuskäyttämisen hallinta

2.3 Tarkkaamo

Koska studion ja tarkkaamon välinen matka haluttiin olevan lyhyt, tarkkaamo sijoitettiin studion/näyttämön alle kellaritilaan, joka oli aiemmin toiminut varastona. Tämän tilan ääneneristuksen parantaminen ja rakenteiden turvallisen kosteuskäyttämisen suunnitteleminen oli kohteessa haastavinta. Valokuva tulevasta tarkkaamosta on esitetty kuvassa 1. Tarkkaamolle suunnitteluvaiheessa esitetyt vaatimukset on esitetty taulukossa 2. Tarkkaamo sijaitsee rakennusfysiikan ja ääneneristävyyden parantamisen kannalta haastavassa paikassa. Tila on puoliksi maan pinnan alapuolella, ja koska tila on tehty varastoksi, ilmanvaihto on olematon ja maanvastaiset rakenteet on tehty ilman kapillaarikatkoja ja eristeitä. Kaikki tilan kantavat rakenteet oli tehty betonista, mukaan lukien tarkkaamon ja studion välinen välipohja. Tilan huonekorkeus oli noin 2,2 m.

Taulukko 2. Tarkkaamon vaatimukset

Osa-alue	Vaatimus / tavoite
Jälkikaiunta-aika	0,3 s
Ilmaääneneristävyys studioon	$D_{nT,w} \geq 65$ dB
Taustäänitaso	$L_{A,eq} \leq 25$ dB
Rakennusfysiikka	Tulevien seinä-, katto- ja lattiaverhousten kosteuskäyttämisen hallinta



Kuva 1. Tuleva tarkkaamo eli kellarivarasto. Kuvassa näkyvä tiiliseinävarasto purettiin.

2.4 Mittaustulokset suunnittelun lähtötietoina

Taulukossa 3 on esitetty suunnittelun lähtötiedoksi mitattuja ääneneristävyksiä eri tilojen välillä. Näyttämön ja alla olevan varaston välistä ilmaääneneristävyttä ei mitattu, sillä se voitiin jo kokemuseräisesti todeta riittämättömäksi: tilojen välillä pystyi keskustelemaan nykyisten ovien kehnon ääneneristävyuden ja rakojen takia. Askelääneneristävyys mitattiin laittamalla ääntä eristävä kotelo askeläänikojeen päälle, jolla minimoitiin askeläänikojeen lähetyshuoneeseen tuottaman ilmaäänänen vaikutus mittaustulokseen. Ilmaääneneristysmittaukset suoritettiin standardin ISO 16283-1 [3] ja askelääneneristysmittaukset ISO 16283-2 [4] mukaan. Yksilukuarvot ilmaääneneristysmittauksille määritettiin ISO 717-1 [5] mukaan ja askelääneneristysmittauksille ISO 717-2 [6] mukaan.

Taulukko 3. Suunnittelun lähtötiedoiksi mitatut ääneneristävydet eri tiloissa.

Mitattu väli	Mittaustulos
Näyttämö – alla oleva varasto	$L_{nT,w} + C_{I,50-2500} = 58 \text{ dB}$ $D_{nT,w} = \text{ei mitattu}$
Musiikkiluokkien väli	$L_{nT,w} + C_{I,50-2500} = 54 \text{ dB}$ $D_{nT,w} = 51 \text{ dB}$

3. Uudet tilat, toteutuneet ratkaisut ja mittaustulokset

3.1 Musiikkiluokat

Musiikkiluokkien väliseen ääneneristävyteen suunniteltiin kolme kustannustehokasta parannuskeinoa: toiseen musiikkiluokkaan tehtiin tärinäneristetty kipsilevykatto, luokkien välisen seinän ääneneristävyttä parannettiin uudella kevytrakenteisellä kipsilevyseinällä ja tilojen pintalaatat sahattiin huoneiden reunoilta irti. Näin luokkien välistä ääneneristävyttä parannettiin kustannustehokkaasti. Molemmissa musiikkiluokissa uusittiin myös ovet ääntä eristävillä ovilla. Musiikkiluokkien huoneakustiikka tehtiin muunneltavaksi, jotta luokassa voisi soittaa sähköisesti vahvistetuilla ja akustisilla soittimilla. Huoneakustiikan muunneltavuus toteutettiin verhojen

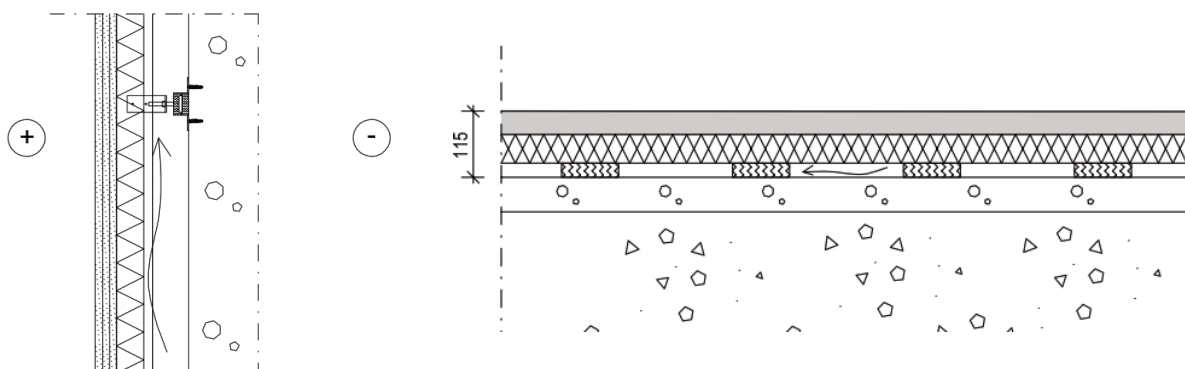
avulla, jolloin verhojen ollessa levitettyinä tila toimii sähköiselle musiikille ja verhojen ollessa supussa tila toimii akustiselle soittamiselle. Tilan kattomateriaali valittiin siten, että tilan jälkikaiunta-aika ei ole liian lyhyt ja katosta saadaan taaimmaiselle penkkiriville hyödyllinen heijastus. Molempiin musiikkiluokkiin asennettiin tilojen nurkkiin myös bassoansat, jotka vaimentavat pieniä taajuuksia.

3.2 Studio

Näyttämölle sijoitettavan studion kaikkien seinärakenteiden ääneneristävyyttä parannettiin tekemällä nykyisille betonirakenteisille ulko- ja väliseinille kipsilevyverhoukset. Tämän lisäksi tilan yläpohjan alapuolelle tehtiin tärinäneristetty kipsilevyalakatto, jonka taakse kätettiin suuri osa tilan uutta tekniikkaa. Seinärakenteiden verhous tehtiin rakenteellisten sivutiesiirtymien eristämiseksi.

Studion ja tarkkaamon välinen välipohja purettiin ja tehtiin kokonaan uudestaan. Tähän oli kaksi syytä: alapuoleisen tilan mataluus ja tilojen välisen ääneneristävyyden parantaminen. Uusi välipohja tehtiin sekarakenteena, jossa teräspalkit kannattelivat yläpuoleisen studion betonirakenteista kelluvaa lattiaa. Teräspalkkien alle tehtiin lisäksi tärinäneristetty alakatto, jonka alle asennettiin huoneakustinen verhous.

Ulkovaipan peittäminen sisäpuolelta kipsilevyrakenteilla ja lisäeristeillä on rakenteiden kosteuskäyttäytymisen näkökulmasta haastavaa, sillä uuden seinärakenteen väliin voi tiivistyä kosteutta, joka ei välttämättä kuivu. Tilojen välisten ääneneristysvaatimusten ja toiminnan kannalta tämä oli kuitenkin välttämätöntä, jolloin rakenteen rakennusfysikaalinen ja akustinen käyttäytyminen tuli suunnitella huolellisesti. Kipsilevyverhouksen ja ulkoseinän väliin asennettiin äänenvaimennusmateriaalia, jonka lämmöneristävyyks ei ole suuri, jolloin rakenne pysyy mahdollisimman lämpimänä, mutta kuitenkin hyvin ääntä eristävänä. LVI-suunnittelijan kanssa yhteistyössä suunniteltiin seinärunkojen väliin kanavisto, joka vaihtaa ilman myös seinän välissä, jolloin mahdollinen kostea ilma saadaan seinän välistä pois, eikä se pääse tiivistymään rakenteisiin. Samaa periaatetta noudattamalla suunniteltiin myös yläpohjan tärinäneristetty uusi kattorakenne. Kuvassa 2 on esitetty studion seinän ja tarkkaamon lattian rakennetyypit, joissa molemmissa on kiinnitetty huomiota rakenteiden ääneneristävyyteen ja kosteustekniseen käyttäytymiseen.



Kuva 2. Studion tuulettuva ulkoseinäverhous (vas.) ja tarkkaamon tuulettuva lattiaratkaisu. (oik.)

Studion huoneakustiikka toteutettiin osittain muunneltavaksi, jotta tila olisi monikäyttöisempi ja sopisi myös akustisille soittimille. Akustiikan muunneltavuus ratkaistiin näyttämöverhoilla, jotka voidaan siirtää syrjään, kun tilan halutaan soivan enemmän ja vastaavasti tilan jälkikaiunta-aikaa

saadaan lyhyemmäksi, kun verhot otetaan esiin. Näyttämöaukkoon asennettiin uusi ääntä eristävä siirtoseinä, joka mahdollistaa näyttämön käyttämistä studiona silloin, kun juhlasalia ei käytetä.

3.3 Tarkkaamo

Studion tavoin myös tarkkaamossa kaikki seinä-, ja kattopinnat tehtiin kipsilevyverhoiltuina ja kytkettiin muihin rakenteisiin vain joustavilla liitososilla. Tarkkaamoon haluttiin myös lattialämmitys, jonka toteuttaminen vanhalle maanvaraiselle betonilaatalle, jossa ei ole eristeitä, osoittautui haastavaksi.

Tilan lattia tehtiin kelluvana ratkaisuna, jossa uretaanilevyn päällä on kipsivalu lämmityspotkineen. Ureetaanilevyn ja maanvaraisen betonilaatan välissä oli tärinäneristimillä toteutettu tuulettuva ilmatila, jotta mahdollinen kosteus saadaan rakenteen välistä tuuletettua pois koneellisesti. Tilan rakenteiden sisäpinnat tehtiin kosteutta ja ilmaa läpäisemättömällä kapselikerroksella, jotta mahdolliset haitta-aineet eivät tule sisätiloihin, vaan päätyvät ilmanvaihdon kautta ulos. Tarkkaamon alapohjan rakennetyyppi on esitetty kuvassa 2.

Tarkkaamon huoneakustiikkaan kiinnitettiin erityistä huomiota. Se toteutettiin sijoittamalla ääntä vaimentavia pintoja tilan etuosaan, ja ääntä hajottavia pintoja tilan takaosaan. Ääntä hajottavat pinnat toteutettiin puurimoituksilla. Takaseinä tehtiin lisäksi vinoksi, jotta takaseinän kautta ei tule häiritseviä ensimmäisen kertaluokan heijastuksia. Kuvassa 3 on esitetty valmis tarkkaamo.



Kuva 3. Valmis tarkkaamo

Tilojen välisen ääneneristävyyden hallinta ei rajoitu pelkästään jo mainittujen rakenteiden ääneneristävyyden suunnitteluun, vaan tässäkin projektissa hyvän ääneneristävyyden oleellinen osa on talotekniikan kautta kulkeutuvat äänet. Tarkkaamoon ja studioon tehtiin kokonaan uusi ilmanvaihto sekä itse tilaan että seinäverhousten ja ulkoseinärakenteiden väliin. Ilmanvaihtokanavien sijoittelu ja kanaviston kautta kulkeutuvien äänien vaimentaminen vaati äänenvaimentimia useita metrejä per kanava. Vaikkakin mittaustulokset (kohta 3.4), ylittivät vaatimukset, oli kanaviston kautta kulkeutuva ääni havaittavissa, mikä kertoo ilmanvaihdon äänenvaimentimien merkityksestä.

3.4 Mittaustulokset valmiissa kohteessa

Kohteen valmistuttua suoritettiin tarkkaamon ja studion välillä ääneneristysmittauksia, joiden tulokset on esitetty taulukossa 4. Tuloksista voidaan nähdä, että asetettu vaatimustaso saavutettiin, ja jopa ylitettiin.

Taulukko 4. Mitatut arvot valmiissa kohteessa

Mittaus	Mittaustulos
Ääneneristys Studio → Tarkkaamo	$L_{nT,w} + C_{1,50-2500} = 35$ dB $D_{nT,w} = 72$ dB
Taustäänitaso, Tarkkaamo	16 dB
Jälkikaiunta-aika, Tarkkaamo	0,2 s (250...8000 Hz)

4. Yhteenveto

Ahlmanin ammattiopiston yhdistyi Oriveden opiston kanssa, minkä seurauksena Oriveden opiston musiikkilinjalle tuli löytää tilat Ahlmanin ammattiopiston kampukselta. Uudet tilat musiikkituloille löydettiin entisistä luokkahuoneista, juhlasalin näyttämöltä sekä sen alapuolella olevasta kellaritilasta.

Nyttämölle tehtävän studion ja sen alapuolelle tehtävän tarkkaamon välinen ääneneristävyys suunniteltiin nykymääräysten mukaisin ääneneristysarvoin, joka tarkoitti ulkoseinän ja yläpohjan lisäeristämistä lämpimältä puolelta kipsilevyverhouksin. Tämän takia uuden ulkoseinän ilmaväliin asennettiin ilmanvaihto, joka poistaa mahdollisen kostean ilman. Lisäksi ulkoseinän vastaisissa rakenteissa käytettiin huonosti lämpöä eristävää, ääntä vaimentavaa materiaalia, jolloin rakenteet pysyvät lämpimämpinä, jolloin kosteuden tiivistyminen rakenteisiin on vaikeampaa.

Mittaustulosten perusteella suunnitelmat ja toteutus vastasi vaatimustasoa, ja jopa ylitti sen. Tilojen käyttäjä on ollut tiloihin tyytyväinen, niin ääneneristyksen kuin sisäilman kannalta.

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä.
- [2] Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä (28.6.2018).
- [3] SFS-EN ISO 16283-1:2014. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [4] SFS-EN ISO 16283-2:2015. Acoustics. Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [5] SFS-EN ISO 717-1:2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto SFS ry.
- [6] SFS-EN ISO 717-2:2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Helsinki, Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Kuntosalin yläkerrassa asunto - melun ja tärinän torjuntakeinoja

Henri Penttinen, Sakari Tervo, Jukka Pätynen ja Mats Heikkinen
Akukon Oy

Tiivistelmä

Kuntosalitoiminnan aiheuttama runkomelu ja tärinä etenevät rakennusrungossa helposti useiden kerrosten päähän. Torjuntaratkaisut ovat tarpeellisia erityisesti hybridihankkeissa, joissa kuntosalin lähetyvillä sijaitsee muuta toimintaa. Kuntosalien edellyttämät massiiviset torjuntaratkaisut voivat muodostaa haasteita rakennusprojektille suurien piste- ja viivakuormien sekä suurien pystysuuntaisten tilantarpeiden kautta. Onnistuneessa kuntosalisuunnittelussa on tärkeä huomioida välipohjarakenteiden dynaamiset ominaisuudet. Etenkin ryhmäliikunnan kannalta välipohjien matalimpien ominaistuuksien huomioimien on kriittistä. Herätteen ja rakenteiden ominaismoodien ei tulisi muodostaa resonanssiketjua, joka vahvistaa kuntosalin aiheuttamaa värähtelyherätettä.

Perinteiset ilma- ja askeläänitunnusluvut eivät kuvaa riittävän kattavasti kuntosalin aiheuttamaa tärinä- tai meluriskiä. Kuntosaleissa painopakkalaitteiden ja vapaiden punnusten pudottamisen aiheuttamaa runkomelua ja ryhmäliikunnan aiheuttamaa tärinärisiä tulisi arvioida laskennallisella mallinnuksella ja lähtötilannemittauksin. Lähtötilanneselvityksen avulla arvioitavat torjuntatarpeet määräytyvät toiminnan ja tilasijoittelun mukaan.

Tässä artikkelissa esitellään kuntosalin aiheuttaman melun ja tärinän torjuntasuunnittelua, sen vaikutuksia rakennesuunnitteluun sekä mittaustuloksia valmiista kohteista.

1. Johdanto

Riittävän hyvän ääniympäristön toteuttaminen on tärkeä osa rakentamista, koska sillä on suoria vaikutuksia ihmisten hyvinvointiin ja terveyteen. Meluisa asuin ympäristö hankaloittaa nukkumista, ja vähäisen tai heikkolaatuisen unen on osoitettu olevan terveydelle haitallista. [1]

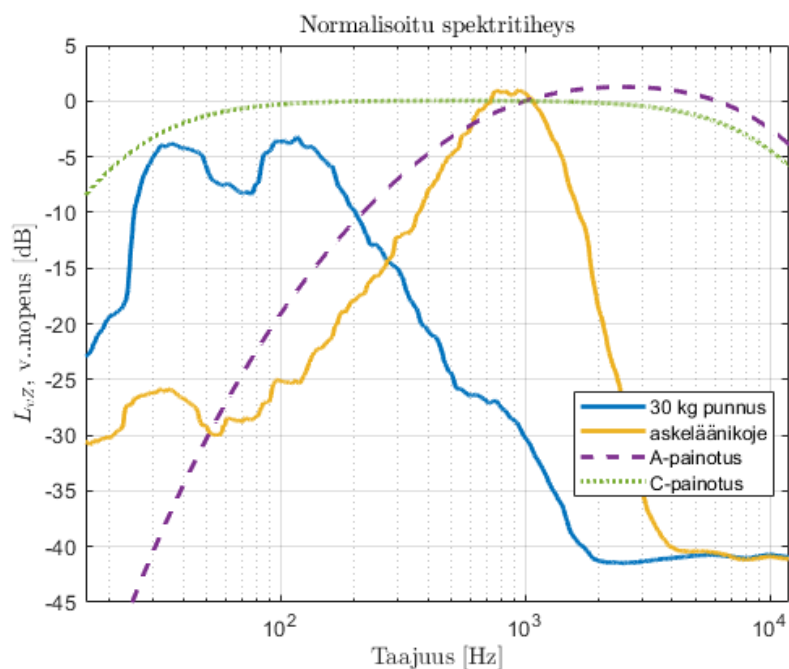
Modernissa rakentamisessa melulähteiden määrä on kasvanut, ja eräs mahdollinen melunaiheuttaja on kuntosali. Kuntosalit ovat aiemmin enimmäkseen sijainneet erillisissä tiloissa, joissa on omat vankat perustukset ja joiden etäisyydet asuntoihin, hotelleihin ja liiketiloihin ovat suuria. Kaupunkirakenteen tiivistyessä kuntosaleja on enenevässä määrin sijoitettu samaan rakennukseen asuntojen, hotellien, toimistojen sekä lääkärikeskuksien kanssa.

Kuntosalista muihin tiloihin päin melua aiheuttavat laitteiden tai painojen käytöstä johtuvat impulssimaiset äänet. Kuntosalin toiminnan aiheuttama värähtelyheräte vaimenee hitaasti rakennusrungossa ja sen energia on spektriltään pienitaajuisista (1 Hz...250 Hz), ja se kantautuu kauas betonirakenteisessa kerrostalossa. Torjuntaratkaisut tämänkaltaiselle värähtelylle voivat olla vaativia ja aiheuttavat haasteita rakennushankkeelle kustannuksiin, aikatauluihin, tilankäyttöön sekä rakenteiden kuormien siedolle. Lisäksi, äänentoisto, sekä useat muut toiminnot voivat aiheuttaa meluhaittoja rakennuksen muille toimijoille.

Eräs yleinen harhakäsite melun leviämisestä kuntosaleista muualle rakennukseen päin on se, että ilmaäänien torjuminen on riittävä ratkaisu melun leviämisen estämiseksi. Tämän takia useisiin kuntosaleihin asennetaan pehmeää materiaalia lattialle, esimerkiksi kumirouhemattoja, jotka vaimentavat painojen putoamisesta johtuvaa ilmaääntä kuntosalin sisällä. Tämä johtaa siihen, että kuntosalin toiminta ei välttämättä aiheuta salin puolella merkittäviä melutasoja tai tärinähaittoja

ja käyttäjät tai toiminnanharjoittajat eivät välttämättä huomaa aiheuttavansa melu- tai värinähaittoja muihin tiloihin päin. Käytännössä pehmeät kumirouhematot suojaavat lattiaita, mutta eivät kuitenkaan vaimenna rakennuksen runkoon siirtyvää alle 250 Hz pientaajuista melua juuri ollenkaan. Juuri pientaajuinen melu on ongelmallisinta, sillä pienet taajuudet vaimenevat etäisyyden suhteen hitaimmin teräsbetonirakenteessa ja kantautuvat talossa kauimmaksi. Lisäksi teräsbetonirakenteiset välipohjien ominaistuuksia ovat usein pienillä taajuuksilla ja välipohjat näin ollen vahvistavat enemmän pientaajuista ääntä.

Kuvassa 1 on esitetty esimerkki betonirakenteisessa talossa etenevästä impulssimaisesta melusta. Käsipunnuksen aiheuttama impulssimainen melu etenee rakennusrungossa pitkälle.



Kuva 1. Normalisoidut värähtelynopeudet askeläänikoneelle ja käsipunnukselle (20 cm, tiputuskorkeus), sekä A- ja C-taajuuspainotukset.

2. Kuntosalin aiheuttama runkomelu ja värinä

Kuntosalin toiminnasta voi aiheutua useampia meluhaittoja, joiden etenemisreitti muihin tiloihin päin riippuu lähteen tyypistä. Painojen ja laitteiden aiheuttamat kolahdukset etenevät useimmiten pientaajuisena värähtelynä rakennusrungon kautta muihin tiloihin ja ne havaitaan runkomeluna. PA-järjestelmän kautta vahvistettu musiikki tai puhe voi edetä runkomeluna kaiuttimien kiinnityksen kautta värähtelynä, kytkeytyä ilmaäänestä värähtelyksi rakennusrunkoon tai edetä ilmaäänenä ilmastointikanavien kautta ja kuulua muissa tiloissa runkomeluna tai meluna. Tärinä aiheutuu ryhmäliikunnasta, juoksumatoista tai painojen ja laitteiden kolahduksista ja etenee rakennusrungon välityksellä muihin tiloihin. Voimakas värinä voi lisäksi aiheuttaa sekundäärilähteiden kautta melua. Esimerkiksi joustavan välipohjan voimakas värähtely voi siirtyä siihen kiinnittyneisiin kevyisiin rakenteisiin ja aiheuttaa kuultavaa melua tai räminää.

Kuntosalin aiheuttamaa runkomelua esiintyy tyypillisesti noin 20–250 Hz taajuusalueella. Tätä pienemmillä taajuuksilla kuuloaistin herkkyys on niin pieni, ettei runkomelu yleensä ole kuultavissa. Lisäksi suuremmilla taajuuksilla rakennusrungon häviöt kasvavat jyrkästi ja kuntosalin suojamatot (rouhematot) alipäästävät herätettä.

Kuntosalin aiheuttamaa tärinää esiintyy ryhmäliikunnan ja juoksumattojen aiheuttamana tyypillisesti 1-20(...40) Hz taajuusalueella. Ryhmäliikunnan matalin ominaistaajuus on tyypillisesti 0,5...2 Hz luokkaa, mutta niiden korkeataajuisemmat kerrannaiset sekä jäykkien rakenteiden kautta kytkeytyvä värähtelyheräte voivat silti saada rakennusrungon värähtelemään korkeammillakin tärinätaajuuksilla (10...20 Hz). Lisäksi yksittäiset kolahdukset painoista tai laitteista herättävät välipohjat tyypillisesti samoilla taajuusalueilla, tosin vain hetkeksi.

3. Viranomaismääräykset, ohjearvot ja laatutasomääritykset

Rakentamista koskevat keskeisimmät akustiset vaatimukset on annettu maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) nojaavassa Ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä [2]. Asetus koskee hankkeita, jotka ovat tulleet vireille aikaisintaan 1.1.2018. Ympäristöministeriö on julkaissut asetusta täydentävän ohjeen rakennuksen ympäristöstä [3]. Asetus [2] ja ohje [3] antavat vastaavasti vaatimuksia tärinään liittyvistä olosuhteista.

Useissa tällä hetkellä meneillään olevissa rakennushankkeissa noudatetaan vielä Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C1:1998 [4]. Täydentäviä vaatimuksia on esitetty muun muassa standardissa SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus [5]. Sisämelutasoja koskevia ohjearvoja on esitetty myös Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 [6].

Tavoitetasot määräytyvät vastaanottavan toiminnan mukaan, eli lepäämiseen käytettävissä tiloissa käytetään tiukempia arvoja kuin avokonttoreille tai neuvotteluhuoneille. Jos kyseessä ei ole soiva musiikki, runkomelua tai tärinää esiintyy tyypillisesti vain hetkellisesti toiminnan aikana. Kuntosalin aiheuttama melu ja tärinä voi olla impulssimaista ja kapeakaistaista, joka voidaan huomioida tiukempina raja-arvioina, vastaavaan tasaiseen ja laajakaistaiseen herätteeseen verrattuna. Koska aiheuttajaa ei yleensä näy ja ajankohtaa on vaikea ennakoida, voidaan kuntosalin toiminta kokea erityisen häiritseväksi. Laadukkaimmillaan kuntosalitoiminta ei erotu taustamelusta, mutta muuten noudatetaan annettuja akustisia vaatimuksia [2-6].

4. Torjuntatarpeen arviointi

Kuntosalin torjuntatarpeita arvioitaessa tarvitaan laaja määrä tietoa, dokumentteja ja lähtötietoja:

- toiminnan tarkka kuvaus ja sijoittelu,
- altistuvat kohteet ja niiden toiminta, etäisyydet kuntosalille,
- rakennuksen tiedot: perustustapa, rakennusrungon tyyppi, välipohjien tiedot, sekä
- IV-suunnitelmat ja rakenteiden liitosdetaljit.

Lähtötietojen ja aikaisempien mittausten avulla on laskennallisesti mahdollista arvioida kuntosalitoiminnan aiheuttamia torjuntatarpeita. Välipohjien ominaistaajuuksia voidaan arvioida laskennallisesti [7, 8, 9]. Rakennuksen toteutukseen liittyy kuitenkin suuri määrä tekijöitä, jotka vaikuttavat runkomelun ja tärinän lopullisiin arvoihin. Tästä syystä käytetään usein rakentamisaikaisia tai valmiissa kohteessa lähtötilannemittauksia suunnittelua tarkentavana ja riskejä minivoivana työkaluna.

Lähtötilannemittauksilla voidaan laskennallista arvioita tarkemmin selvittää todelliset vaimennustarpeet sekä rakenteiden toteutuneita ominaistuuksia. Lähtötilannemittauksissa aiheutetaan runkomelua ja tärinää, joka vastaa kuntosalin toimintaa. Runkomelun tuottaminen voidaan tehdä esim. 35 kg käsipunnuksella, joka pudotetaan n. 50 cm korkeudelta. Käsipunnuksessa on kiihtyvyyssanturi, joka tarvittaessa mittaa herätteen määrää. Ryhmäliikunnan ja tanssin aiheuttamaa tärinää voidaan arvioida myös punnuksella tehtävillä impulssimittauksilla, mutta luotettavampaa on kerätä ryhmä ihmisiä (n. 10 kpl), jotka hyppivät ja juoksevat samaan tahtiin. Melua ja tärinää mitataan samanaikaisesti altistuvassa kohteessa tai rakennusrungosta, jos rakennushanke on vielä kesken. Tulokset skaalataan vastaamaan kuntosalin aiheuttamaa runkomelua.

5. Kuntosalin toiminnan aiheuttaman melun ja tärinän torjuntakeinoja

Koska kuntosalin aiheuttama heräte on pientaajuista, vaativat torjuntaratkaisut onnistuakseen yleensä paljon massaa, jotta kellutustaajuudet saadaan riittävän alhaisiksi. Tämä johtaa usein tilaa vieviin ja massiivisiin torjuntaratkaisuihin.

5.1 Kellutuksilla runkomelua vastaan

Kellutukset ovat tyypillinen tapa vaimentaa kuntosalin aiheuttamaa runkomelua. Koska putoavan punnuksen spektri (kts. kuva 1) sisältää paljon pieniä taajuuksia, rakenteen kellutustaajuus tulisi olla riittävän alhainen. Yleensä suositetaan kellutustaajuutta, joka on vähintään alle kuuloalueen (< 20 Hz). Lisäksi välipohjan resonanssit ja niiden vaikutukset joustavana alustana tulisi huomioida mitoituksessa. Jos kellutuksen mitoituksessa ei huomioida välipohjien ominaistuuksia on mahdollista, että luodaan pientaajuinen vahvistin, jolloin vaimennuksen sijaan vahvistetaan toiminnan aiheuttamaa häiriötä.

Kellutetut lattiarakenteet ovat tyypillinen ja muuntojoustava tapa vaimentaa kuntosalin aiheuttamaa runkomelua. Painopakkalaitteet voidaan kelluttaa myös jalkakohtaisesti, jolloin on mahdollista hieman säästää torjuntakustannuksissa. Pystysuuntaiset tilatarpeet vaihtelevat mm. vaimennustarpeen mukaan:

- 25...75 mm runkomelueriste
- 100...300 mm kellutettu lattiarakenne
- 20...50 mm suojaava rouhematto

5.2 Jäykisteet ja massat tärinän torjuntaan

Kun runkomelua torjutaan usein joustavalla rajapinnalla, joka katkaisee äänisillan, tärinän torjunnassa ratkaisut perustuvat rakenteiden jäykistämiseen. Kuntosalien tärinäntorjunta voidaan toteuttaa:

1. jäykistäviä teräs- tai betonipalkkeja käyttäen,
2. tukipilareilla, jotka tukeutuvat kantaviin rakenteisiin,
3. viritetyllä massavaimentimella (TMD, Tuned-Mass-Damper) ja
4. kellutetuilla rakenteilla, joita voidaan käyttää, jos kellutustaajuudet ovat riittävän pieniä.

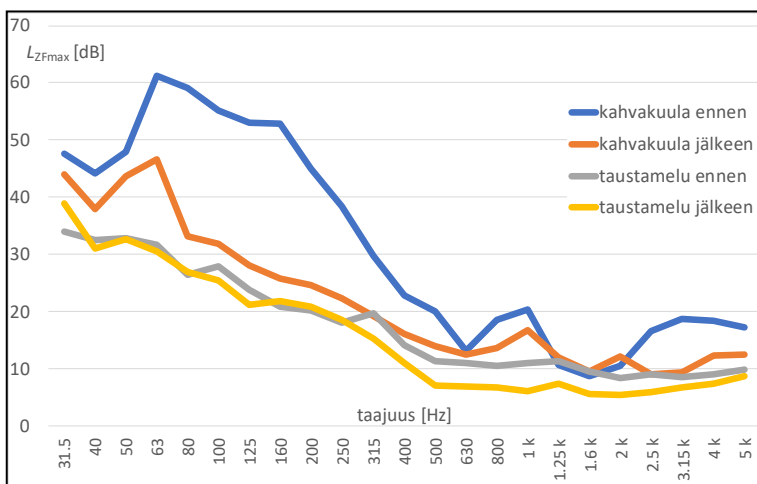
Tärinän torjuntaratkaisut ovat runkomelun torjuntaan nähden askelta massiivisempia, koska värähtelevät taajuudet ovat pieniä ja herätteen kokonaismassat (esim. 12x60 kg tanssijaa) suuria.

6. Mittaustuloksia

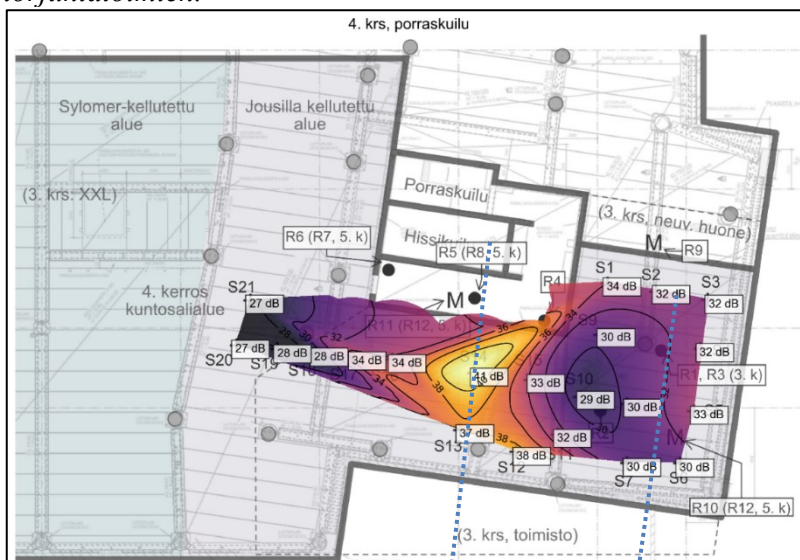
Kuvassa 2 on esitetty kerrostalon kellarissa kellutetulla betonilaatalla mitatut äänitasojen spektrit ennen ja jälkeen torjuntatoimien. Kerrostaloon toteutettiin elastomeerikaistoilla (Getzner, Sylomer) kellutettu betonilaatta (100 mm).

Kuvassa 3 havainnollistetaan teräsjousilla kellutetun betonilaatan alueellista vaimennuskykyä. Redin/Kalasadaman kuntosalikohteessa teräsjousilla (Gerb) kellutetun betonilaatan (125 mm), vaimennuskyvyksi runkomelutaajuuksilla 20...250 Hz mitattiin 25...30 dB.

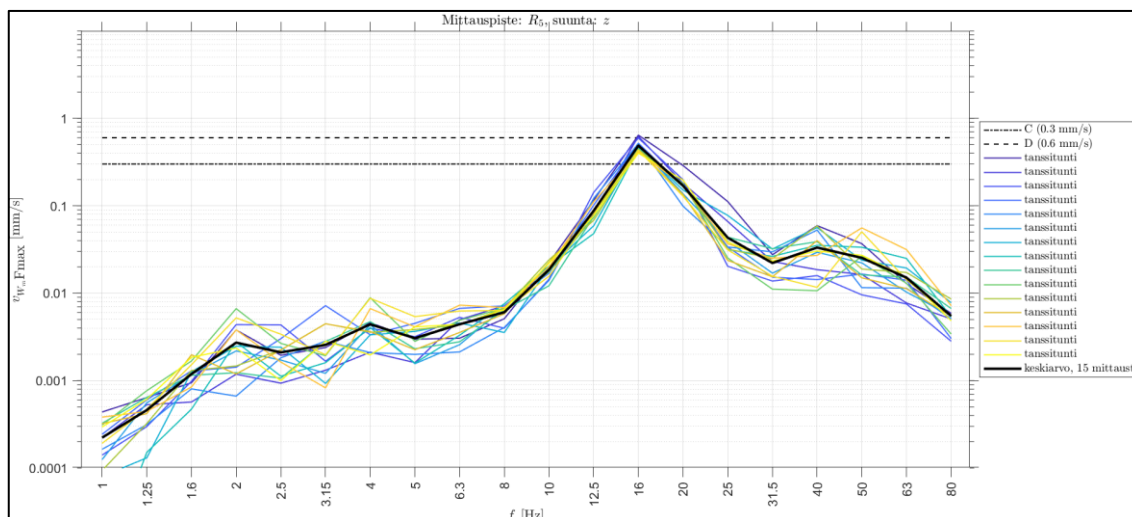
Kuvassa 4 on esitetty ryhmäliikunnan/tanssitunnin aiheuttamaa tärinää, mitattuna kerrosta ylemmän toimiston välipohjasta. Välipohja värähtelee pääasiallisia herätetaajuuksia (1...10 Hz) korkeammilla taajuuksilla, koska impulssimainen heräte sisältää myös laajakaistaisen komponentin, joka vahvistuu joustavassa välipohjassa.



Kuva 2. Kahvakuulalla mitatut enimmäisäänitasojen painottamattomat terssispektrit ennen ja jälkeen torjuntatoimien.



Kuva 3. Teräsjousilla kellutetun betonilaatan runkomeluhuherätteen enimmäistasot (L_{NAFmax}) mitattuna kuntosalin viereisessä 4. kerroksen porraskuilussa (mittauspisteet kuvassa R4-R6). Kellutettujen betonilaattojen liikuntasaumot on hahmoteltu katkoviivoin.



Kuva 4. *Tanssituntien aiheuttamaa tärinää mitattuna kerrosta ylemmän toimiston lattiasta/välipohjasta.*

7. Yhteenveto

Kuntosalien yhteydessä runkomelueristykselle on usein selvä tarve. Lähes kaikki kuntosalin toiminta aiheuttaa runkomelua, joka tulisi huomioida suunnittelussa. Jopa rouhematolle tiputetut käsipunnukset aiheuttavat häiritsevää melua useiden kerrosten päähän. Ryhmäliikunnan aiheuttamat tärinärismit (1-20 Hz) saattavat olla vähäisempiä, jos toiminnansijoittelu on huomioitu suunnittelun alkuvaiheessa.

Esitetyt mittaustulokset osoittavat, että kuntosalin aiheuttamaa häiriötä voidaan vähentää merkittävästi suunnittelulla ja onnistuneella toteutuksella. Kuntosalin torjunta on monialasuunnittelua, joka vaatii rakennesuunnittelijan, toiminnan harjoittajan sekä akustikon että työmaan tiivistä yhteistyötä.

Lähdeluettelo

- [1] World Health Organization, Night Noise Guidelines For Europe, 2009, Ed. C. Hurtley
- [2] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017
- [3] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriö, Helsinki 2018.
- [4] Suomen rakentamismääräyskokoelma C1 – Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö, Helsinki 1998.
- [5] Rakennusten akustinen luokitus, SFS 5907. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki 2004.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyys vaatimuksista 545/2015.
- [7] Feldmann, M. et al. Design of floor structures for human induced vibration. EUR 24084 EN. Joint Research Centre – European Commission. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2009. 64 s.
- [8] Talja, A., Toratti, T. & Järvinen, E. Lattioiden värähtelyt – Suunnittelu ja kokeellinen arviointi. VTT tiedotteita 2124. Espoo. 2002.
- [9] Heikkinen, M. Raideliikenteen aiheuttama rakenteiden värähtely. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Signaalinkäsittelyn ja akustiikan laitos. 2019. 86 + 39 s.

Hybridihankkeiden akustinen suunnittelu

Janne Hautsalo, Jukka Ahonen, Henri Penttinen ja Olli Salmensaari
Akukon Oy

Tiivistelmä

Hybridihankkeissa korostuu akustisen suunnittelun monipuolisuus. Hybridihankkeet rakennetaan usein liikenteen solmukohtiin, jolloin hankkeessa tulee varmistaa riittävä liikenteen aiheuttaman melun, runkomelun ja tärinän torjunta. Kauppakeskusten tavara- ja huoltoliikenne aiheuttaa erityisesti runkomelua, joka voi edetä häiritsevänä useinkin kerroksen päähän, jollei riittävään runkomelueristykseen kiinnitetä huomiota. Hybridihankkeisiin sisältyy usein myös akustisesti vaativia tiloja kuten elokuvasealeja. Hybridihankkeiden tilasijoittelulla voidaan pyrkiä pienentämään ääneneristyksellisesti vaativien ratkaisujen tarvetta.

Suomessa on tällä hetkellä meneillään useita eri hybridihankkeita, joista esimerkkinä esitellään Keski-Pasilan Tripla, Kalasataman Redi sekä Tampereen Kansi ja areena.

1. Johdanto

Suomessa on tällä hetkellä rakenteilla useita hybridihankkeita, joissa rakennuskokonaisuus tulee valmistuttuaan palvelemaan useita eri käyttötarkoituksia. Kauppakeskukset toimivat usein julkisen liikenteen solmupisteinä ja niiden yhteyteen rakennetaan yhä useammin myös asuntoja, toimistorakennuksia ja pysäköintilaitoksia. Suurissa hybridihankkeissa rakennuskokoisuuteen kuuluu usein myös hotelleja, elokuvateattereita ja erilaisia tapahtumakeskuksia.

Yhdessä hybridihankkeessa on mukana useita rakennuskokonaisuuteen asettuvia toimijoita, joilla on kaikilla omat tavoitteensa myös akustiikan kannalta. Asuntojen kannalta ensisijaisena tavoitteena on tyypillisesti ääniympäristön rauhallisuus ja häiriöttömyys. Liikenteen aiheuttama melu ei saa kantautua sisätiloihin liian voimakkaasti, ja esimerkiksi kauppakeskuksen toiminnasta aiheutuvat äänet, kuten tavaraliikenne ja ravintoloiden musiikkimelu, eivät saa kantautua häiritsevästi asuntoihin. Elokuvateattereiden kannalta elokuvasealien huoneakustiset olosuhteet ovat puolestaan tärkeitä, ja elokuvasealien ja ympäröivien tilojen väliset ääneneristysvaatimukset ovat yleensä hyvin korkeita. Toimistotiloihin sisältyy tyypillisesti akustisesti vaativia avotoimistotiloja ja neuvottelukeskuksia, joiden akustisiin olosuhteisiin tulee panostaa.

2. Viranomaismääräykset, ohjearvot, laatutasomääritykset

Rakentamista koskevat keskeisimmät akustiset vaatimukset on annettu maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) nojaavassa Ympäristöministeriön asetuksessa 796/2017 rakennuksen ääniympäristöstä [1]. Asetus koskee hankkeita, jotka ovat tulleet vireille aikaisintaan 1.1.2018. Ympäristöministeriö on julkaissut asetusta täydentävän ohjeen rakennuksen ääniympäristöstä [2]. Useissa tällä hetkellä meneillään olevissa rakennushankkeissa noudatetaan vielä Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa C1:1998 [3]. Täydentäviä vaatimuksia on esitetty muun muassa standardissa SFS 5907 Rakennusten akustinen luokitus [4].

Rakennusten ulko- ja sisämelutasoja koskevia ohjearvoja on esitetty Valtioneuvoston päätöksessä melutason ohjearvoista [5]. Sisämelutasoja koskevia ohjearvoja on esitetty myös Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa [6].

Maaperäisen runkomeluun ja tärinään liittyvät vaatimukset on esitetty Ympäristöministeriön asetuksessa [1] sekä ohjeessa [2].

3. Hybridihankkeiden akustisen suunnittelun osa-alueita

3.1 Liikenteen melu, runkomelu ja tärinä

Hybridihankkeet rakennetaan usein liikenteen solmukohtiin ja ne saattavat altistua yhtä aikaa monelle eri liikennemelutyypille. Tie- ja lentoliikenne aiheuttavat rakennusten ulkovaippaan kohdistuvaa ilmaääntä. Raideliikenne aiheuttaa ilmaäänien lisäksi myös rakennuksen perustusten kautta välittyvää runkomelua ja tärinää.

Suurissa hybridihankkeissa tie- ja raideliikenteen melu mallinnetaan yleensä jo aikaisessa hankevaiheessa tavallisesti yhteispohjoismaisia tie- ja raideliikennemelumalleja käyttäen [7, 8]. Tyypillisesti mallinnus tapahtuu kolmiulotteista akustista maasto- ja melulähdemallia hyödyntäen, joka sisältää jo olemassa olevat ja suunnittelut rakennukset, kadut, maaston muodot ja muut meluesteinä toimivat rakenteet sekä ääntä heijastavien tai absorboivien pintojen akustiset ominaisuudet. Melumallinnuksen tuloksia voidaan hyödyntää määrittäessä hankkeen ulkovaipan ääneneristykseen kaavavaatimus.

Annetun ääneneristykseen kaavavaatimuksen tai melumallin avulla määritettyjen ulkovaippaan kohdistuvien liikennemelun äänitasojen perusteella voidaan määrittää ulkovaipan rakennusosilta vaadittavat ääneneristävyysvaatimukset. Ulkovaipan ääneneristykseen mitoituslaskenta tehdään tyypillisesti Ympäristöministeriön oppaan [9] laskentamenetelmää käyttäen.

3.2 Huolto- ja tavaraliikenteen aiheuttama melu

Liiketilojen tavaraliikenteestä aiheutuu sekä suoraan ilman välityksellä etenevää ilmaääntä että rakenteisiin kytkeytyvää runkoääntä. Erityisesti päivittäistavarakauppojen tavaraliikenne on hyvin vilkasta ja tavaratoimituksia on usein myös yöaikaan (klo 22 - 07), jolloin noudatettavat melutasojen ohjearvot ovat päiväaikaan tiukempia.

Tyypillisesti rakennuksen sisällä tapahtuvan tavaraliikenteen osalta ilmaääntä merkittävämpää häiriötä aiheuttaa runkomelu, joka aiheutuu tavarankuljetukseen käytettävien rullakoiden ja pumppukärryjen työntämisestä lastauslaitureilla, huoltokäytävillä ja liikkeiden tiloissa. Voimakas runkomelu etenee rakennusrungossa helposti useiden kerrosten päähän. Tavarankuljetusreiteillä esiintyvät epätasaisuuskohdat, kuten kynnykset, hissien kynnykset ja liikuntasaumot, aiheuttavat lisäksi impulssimaisia melupiikkejä, jotka etenevät runkomeluna.

Tavaraliikenteen aiheuttaman runkomelun torjunnan kannalta olennaista on laatia arvio melun vaimenemisesta tavarankuljetusreitien ja häiriintyvän kohteen, esimerkiksi asuinhuoneiston, välillä. Mikäli näiden välinen etäisyys on riittävän pitkä, ei erityisiä runkomelun vaimennustoimenpiteitä välttämättä tarvita. Tavarankuljetusreittien runkomelueristystä voidaan parantaa esimerkiksi tekemällä reiteistä ns. kelluvia, tyypillisesti toteuttamalla teräsbetonirakenteinen laatta joustavan runkomelueristemateriaalin päälle. Samoin lastauslaiturit,

niihin liittyvät kuormaussillat ja vastaavat tulee tarpeen mukaan toteuttaa kelluvin ratkaisuin. Joissakin tapauksissa on mahdollista sijoittaa tehokkaasti runkomelua vaimentava liikuntasäily runkomelulähteen ja häiriintyvän kohteen väliin. On huomattava, että tavanomaisen rakenteellisen liikuntasäily äänenvaimennus voi olla vähäistä, mikäli liikuntasäily akustiseen toimivuuteen ei ole kiinnitetty huomiota.

Tavara- ja huoltoliikenteestä aiheutuu myös ilmaääntä, joka saattaa edetä rakennuksen ulkovaipan läpi melulle herkkiin tiloihin. Raskaiden ajoneuvojen pientaajuinen ääni läpäisee erityisesti ikkunarakenteet ja kevyet ulkoseinärakenteet helpommin kuin henkilöautojen ääni. Lisäksi tavarapurku saattaa tapahtua ulkoalueilla, jolloin tavaroiden liikuttelusta kuorma-auton lavalla ja ulkoalueilla aiheutuu melua. Meluhäiriötä voidaan vähentää panostamalla tavallista enemmän melulle kohdistuvien melulle herkkien tilojen ulkovaipan rakenteiden ääneneristävyyteen. Mahdollisuuksien mukaan tavarankuljetus- ja huoltoreittejä voidaan sijoittaa niin, että ne eivät sijaitse asuntojen ikkunoiden välittömässä läheisyydessä.

3.3 Akustisesti vaativat tilat

Usein hybridihankkeisiin sisältyy akustisesti sinällään vaativia tiloja. Suuriin kauppakeskuksiin kuuluu yleensä esim. elokuvakeskus. Tavallisesti elokuvasalit toteutetaan ns. kelluvin rakentein, eli elokuvasalien sisäkuori (so. lattian, ääntäeristävän alakaton ja seinien sisärunkojen muodostama kokonaisuus) erotetaan muusta rakennusrungosta tärinäeristetyksi. Tyypillisesti elokuvasalien lattiarakenteena on mineraalivillan tai muun elastisen materiaalin päällä ”kelluva” teräsbetonilaatta, jonka päälle elokuvasalin seinärakenteet ja sisärakenteet toteutetaan. Elokuvasalien jälkikäilyntä-ajan tulee olla lyhyt, mikä edellyttää tehokasta huoneakustista vaimennusta. Tehokas bassotaajuuksien vaimennus edellyttää tavanomaista toimitilarakentamista paksumpien äänen absorptiomateriaalien käyttöä, mikä tulee huomioida riittävin tilavarauksin.

Hybridihankkeiden yhteyteen rakennetaan usein eri kokoisia esitystiloja ja ravintoloita, joissa syntyvät äänitasot asettavat ympäröivien rakenteiden ääneneristykselle korkeita vaatimuksia varsinkin, jos lähellä on asuntoja, hotellihuoneita tai muita häiriölle erityisen alttiita tiloja.

Kuntosalit ja tanssisalit aiheuttavat runkomelua ja tärinää sekä ilmaääntä. Kuntosalin aiheuttama runkomelu ei välttämättä kuulu itse salissa muun taustamelun yli, mutta se kantautuu rakennusrunkoa pitkin jopa kymmenen kerroksen päähän. Kuntosaleilla runkomelua aiheuttavat mm. painonnostoalueet, käsipainot, painopakkalaitteet ja heitettävät kuntosallot. Ryhmäliikunnan ja tanssin aiheuttamaa tärinää ei usein kuulla vaan se havaitaan välipohjan värähtelynä tai esimerkiksi pöytien ja lamppujen heilumisena. Kuntosaleilla toistettava musiikki voi aiheuttaa meluhaittoja lähimpiin tiloihin. Ilmanvaihtoputket, joissa ei ole äänenvaimentimia, ja jäykästi rakennusrunkoon kiinnitetyt kaiuttimet johtavat melua naapuritiloihin.

3.4 Taloteknisten laitteiden melu

Suuriin hybridihankkeisiin sisältyy valtava määrä talotekniikkaa. Akustisen suunnittelun kannalta keskeinen hybridihankkeisiin liittyvä haaste on hallita suuri määrä erilaisia melulähteitä. Erityisesti suunnittelussa tulee huomioida, että asunnot ja muut häiriölle alttiit tilat eivät altistu muita tiloja palvelevien laitteiden, ohjeavot ylittävälle melulle.

3.5 Tilasijoittelun vaikutus

Tilasijoittelun avulla voidaan pienentää riskiä, että hybridihankkeiden toiminnot häiritsevät toisiaan ja samalla vähentää ääneneristyksellisesti vaativien ratkaisujen tarvetta. Esimerkiksi ravintolatiloja ja tavarankuljetusreittejä voidaan sijoittaa mahdollisimman kauas asunnoista. Mikäli liikuntakeskus voidaan sijoittaa mahdollisimman kauas häiriöille alttiista tiloista, kevennetään liikuntakeskuksen vaatimien runkomelueristysratkaisujen vaatimuksia.

3.6 Akustiset koemittaukset

Useissa tapauksissa akustisten ratkaisujen mitoittaminen on hankalaa, sillä melulähteestä ei ole saatavilla tarkkoja lähtötietoja eikä erityisesti runkomelun etenemistä rakennuksessa voida kaikissa tapauksissa mallintaa kovin tarkasti. Tällöin tapauskohtaisesti arvioinnin apuna voidaan käyttää kohteessa tehtäviä akustisia koemittauksia. Esimerkiksi tavarankuljetusreitien runkomelueristystarvetta voidaan arvioida kohteessa tehtävin koemittauksin, mikäli lopullinen päätös toteutustavasta voidaan tehdä kyseisessä vaiheessa, joka on tyypillisesti melko myöhäinen suunnittelutyön kannalta.

Hybridihankkeiden osakokonaisuuksien valmistumisen yhteydessä voidaan tiloissa tehdä akustisia mittauksia, esim. ilmaääneneristys- ja askeläänentasomittauksia, joiden avulla voidaan tarkastaa akustisten vaatimusten toteutuminen valmiissa tiloissa.

4. Merkittäviä hybridihankkeita

4.1 Keski-Pasilan Tripla

Tripla on Helsingin Pasilan rautatieaseman yhteyteen rakennettava, kolmesta korttelista koostuva kokonaisuus, joka valmistuu vuosien 2019 - 2020 aikana. Triplaan valmistuu muun muassa Pasilan uusi asema, kauppakeskus, elokuvakeskus, ravintoloita, toimistoja, asuntoja, hotelli sekä musiikkimuseo.

Triplan akustinen suunnittelu alkoi kaupunkisuunnitteluvaiheessa vuonna 2014. Hankkeessa laadittiin ensimmäisessä vaiheessa runkomelu- ja tärinäselvitys. Selvityksen lähtötiedoksi Pasilan vanhan asemarakennuksen tiloissa selvitettiin juna- ja raitioliikenteen aiheuttamaa tärinää ja runkomeluhäätettä asemahallin tasolla ja laituritasolla tehdyin värähtelymittauksin. Alueen kaavoitukseen liittyen hankkeesta laadittiin kolmiulotteinen liikennemelumalli, jonka avulla analysoitiin ulkovaippaan kohdistuvat liikennemelun äänitasot. Liikennemelun mallilaskennan tulosten perusteella asetettiin kaavamääräykset hankkeen ulkovaipan ääneneristykselle yhteistyössä kaupunkisuunnitteluviraston kanssa.

Myöhemmissä suunnitteluvaiheissa Triplan akustiseen suunnitteluun on kuulunut muun muassa seuraavia osa-alueita:

- junaliikenteen ja raideliikenteen runkomelueristysten suunnittelu
- ulkovaipan ääneneristysten mitoituslaskenta
- hotellin, toimistojen ja neuvottelutilojen akustinen suunnittelu
- elokuvakeskuksen, tapahtuma-alueiden ja musiikkimuseon akustinen suunnittelu
- kauppakeskuksen huoneakustinen suunnittelu
- asuinrakennusten akustista suunnittelua

- ravintoloiden aiheuttaman melun arviointia ja melun edellyttämien ääneneristysratkaisujen suunnittelua
- kauppakeskuksen tavarankuljetusliikenteen aiheuttaman runkomelun ja tarvittavien eristysratkaisujen suunnittelu
- talotekniikan aiheuttaman ympäristömelun mallinnus ja äänenvaimennustarpeiden määrittely
- esitysteknistä suunnittelua ja AV-suunnittelua
- kuntosalin aiheuttaman runkomelun torjunta akustisin kellutuksin sekä ryhmäliikunnan aiheuttaman tärinän huomioiminen jäykistävin rakentein

4.2 Kalasataman Redi

Helsingin Kalasatamassa sijaitseva Redi koostuu kauppakeskuksesta, pihakannesta puistoalueineen sekä kahdeksasta asuin-, hotelli- ja toimistokäyttöön tarkoitettu korkeasta tornitalosta. Näistä kauppakeskus ja osa pihakannen puisto- ja oleskelualueista ovat valmistuneet vuonna 2018. Ensimmäinen asuinkäyttöön tarkoitettu tornitalo valmistuu vuoden 2019 lopussa. Koko hankkeen on suunniteltu valmistuvan vuonna 2023.

Redin kauppakeskus sijoittuu pihakannen alapuolelle ja tornitalot sen yläpuolelle. Kauppakeskusrakennus rajoittuu vilkasliikenteisen Itäväylän silta- ja tunnelirakenteisiin sekä metrosiltaan. Käytännössä siis Itäväylän tieliikenne ja metroliikenne kulkevat kauppakeskuksen tilojen läpi, mikä on asettanut merkittäviä haasteita melun ja tärinän torjunnan suunnittelulle. Lisäksi kauppakeskuksen sisälle on sijoitettu koko kauppakeskuksen korkuinen vapaalento-tuulitunneli, jossa suuritehoinen sähkömoottori tuottaa enimmillään 300 km/h nopeudella kulkevan ilmavirran suljettuun putkeen. Vapaalento-tuulitunnelin tuottamaa voimakasta melua ja tärinää on torjuttu irrottamalla tuulitunnelin rakenteet ympäröivästä rakennusmassasta, riittävästi ääntäeristävillä rakenteilla ja yksityiskohtaisesti suunnitelluilla äänenvaimentimilla tuulitunnelin jäähdytysilman tulo- ja poistokammioissa.

Redin akustinen suunnittelu aloitettiin vuonna 2011, ensin Kalasataman kaavamuutoksen meluselvityksellä sekä runkomelu- ja tärinäeristystarpeen selvittämällä värähtelyteknisin mittauksin. Nämä selvitykset ovat toimineet lähtötietoina mm. tornitalojen julkisivurakenteiden ääneneristyksen suunnittelussa ja runkomelun sekä tärinän torjunnan suunnittelussa. Muita Redin akustiseen suunnitteluun kuuluvia tehtäviä ovat mm.:

- tornitalojen sisäpuolisen ääneneristyksen ja meluntorjunnan suunnittelu
- elokuvakeskuksen ääneneristyksen suunnittelu
- kuntosalin ääneneristyksen sekä runkomelun ja tärinän torjunnan suunnittelu
- kauppakeskuksen huoneakustinen suunnittelu

4.3 Tampereen Kansi ja arena

Tampereen keskustaan rakennetaan rautatien päälle kansi, jonka päälle valmistuu noin 13 000 katsojaa vetävä monitoimiarena, jossa järjestetään jääkiekko-otteluita, konsertteja ja kongresseja. Kannen päälle rakennetaan myös toimisto- ja liiketiloja, asuntoja, hotelli ja kasino.

Kansi ja arena -hankkeessa raideliikenteen aiheuttamaa runkomelua on torjuttu ratatasolla ja siltakannella sijaitsevilla joustavilla akustisilla kellutuksilla. Poikkeuksellisen lyhyet etäisyydet kiskoihin (pienimmillään < 5 m), alueen vaihteet ja siltakannen dynaaminen joustavuus tekee kohteen runkomelu- ja tärinäsuunnittelun haastavaksi. Kohteen suunnittelussa on huomioitu koko

resonanssiketju, ratatasolta siltakannelle sekä kellutetuista rakennuksista välipohjiin saakka. Lähes kaikki Kansi ja areena -hankkeen rakennusrunkojen osat on kellutettu joustavasti siltakannen tasolla.

Monitoimiareenan musiikki on huomioitu sekä akustiikkasuunnittelussa että rakennuksen ulkovaipparakenteissa. Tapahtumamelun aiheuttama melukuorma on niin merkittävä, että musiikkimelu on huomioitu sekä Areenan katon että hotellin ja asuintornien julkisivujen suunnittelussa. Musiikkimelun pientaajuisten jyllinän vaimentaminen vaatii selvästi enemmän massaa, suurempia ilmapälejä kuin normaalirakentamisessa sekä joissain detaljeissa akustisesti kellutettuja ratkaisuja. Monitoimiareenan sisäpuolinen akustiikka on suunniteltu kolmiulotteista akustista mallia hyödyntäen.

5. Yhteenveto

Erityisesti suurissa hybridihankkeissa akustisen suunnittelun tarve on hyvin laajaa ja se voi ulottua ajallisesti hankkeen alkuvaiheiden melu-, värinä- ja runkomeluserelvityksistä aina vastaanoton akustisiin tarkistusmittauksiin.

Hybridihankkeiden akustisen suunnittelun lisähaasteena on varmistaa, että eri toiminnot eivät aiheuta toisilleen meluhäiriötä. Tyypillinen esimerkki on kauppakeskuksen yhteyteen rakennetut asunnot, joita kauppakeskuksen tavarankuljetusliikenteen aiheuttama runkomelu ei saa häiritä liiallisesti. Suunnittelussa on arvioitava runkomelun vaimenema ja määriteltävä riittävät runkomelun torjuntaratkaisut.

Hybridihankkeisiin kuuluu usein akustisesti sinällään vaativia tiloja, kuten elokuvakeskuksia tai muita tiloja, joissa ääneneristysvaatimukset ja huoneakustiikan vaatimukset ovat korkeita.

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä 796/2017
- [2] Ääniympäristö – Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriö, Helsinki 2018.
- [3] Suomen rakentamismääräyskokoelma C1 – Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa, määräykset ja ohjeet 1998. Ympäristöministeriö, Helsinki 1998.
- [4] Rakennusten akustinen luokitus, SFS 5907. Suomen standardisoimisliitto SFS, Helsinki 2004.
- [5] Valtioneuvoston ohje melutasojen ohjearvoista 993/1992. Helsinki 1992.
- [6] Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.
- [7] Road traffic noise – Nordic Prediction Method. TemaNord 1996:525. Nordic council of ministers. 110 s. Tieliikennemelun laskentamalli, Ohje 6/1993. Ympäristöministeriö, Helsinki 1993.
- [8] Raideliikennemelun laskentamalli. Ympäristöopas 97. Ympäristöministeriö, Helsinki 2002. 58 s.
- [9] Ympäristöopas 108, Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. Ympäristöministeriö, Helsinki 2003.
- [10] Huttunen, Erno & Taina, Pekka: Hybridi haastaa akustiikan. Ympäristö ja Terveys -lehti 2/2019, sivut 12 – 16, Pori 2019.

B10. Vähähiilinen ja luonnonmukainen rakentaminen

EU Level(s) sekä elinkaarimalli rakennusfysikaalisessa suunnittelunohjauksessa

Mika Keskisalo
Karelia- ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

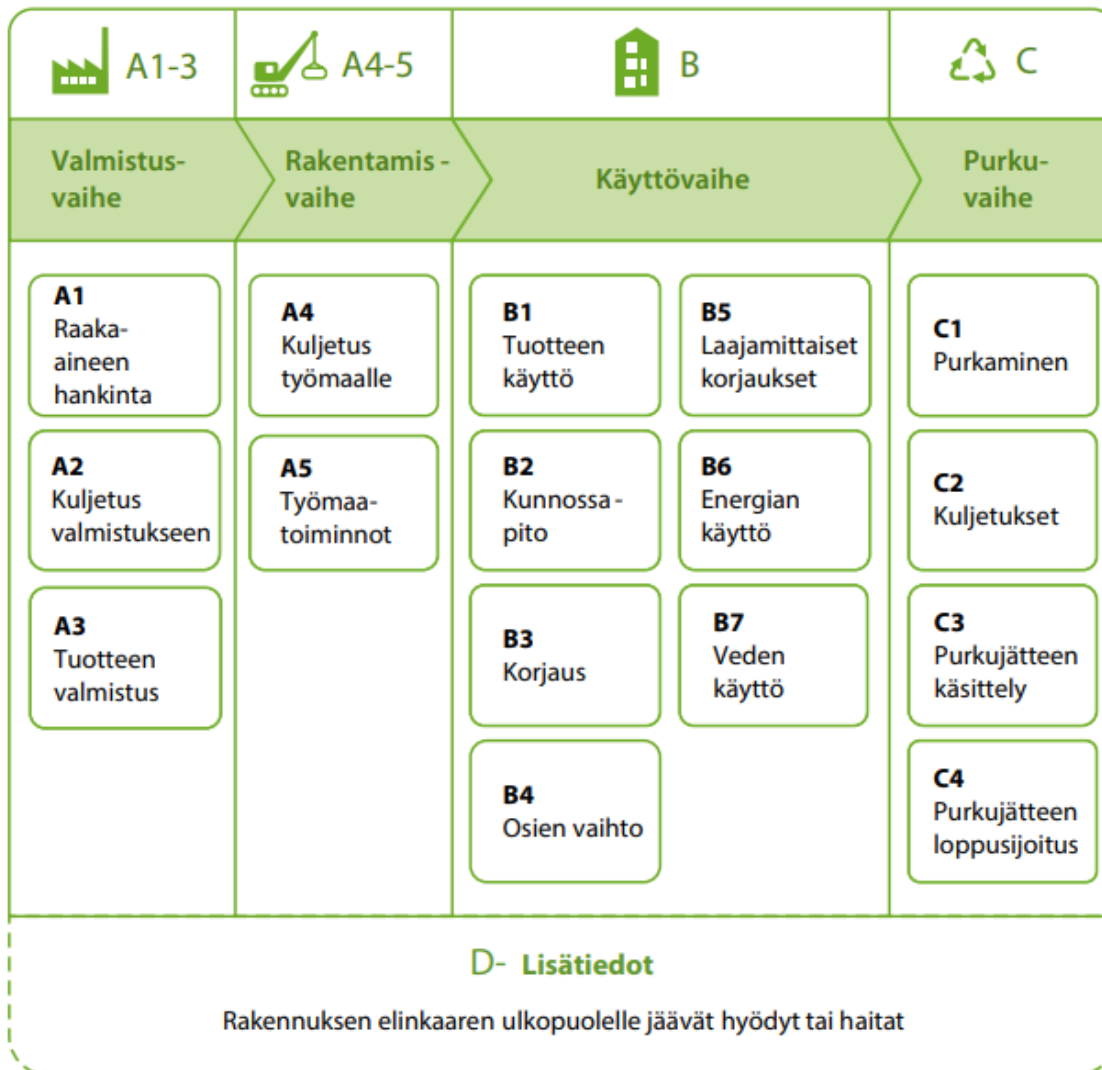
Artikkelin tavoitteena on kertoa tämänhetkisestä EU:n sekä Suomen säädöskehityksestä kohti vähäpäästöisempää rakentamista. Artikkelin näkökulmaksi on otettu EU Level(s) menetelmän käyttö rakentamisen ohjauksessa sekä sen kytkeytyminen uudistuvaan rakentamisen säädöskehitykseen. EU Level(s) menetelmän käyttö on vapaaehtoista, mutta sen avulla voidaan osaltaan edistää vähähiilisen rakentamisen toteutusta sekä parempaa rakennussuunnittelua myös muissa ympäristövaikutusluokissa. EU Level(s) toimiikin usean aikaisemman rakentamisen ympäristötekijöiden mittariston ja tavoitearvon yhdistäjänä. Tällöin kuluttajat, suunnittelijat, rakentajat ja sijoittavat saavat selkeämpää ja laadukkaampaa tietoa rakentamisen aiheuttamista ympäristövaikutuksista. Vertailu perustuisi tällöin EN- ja ISO standardeihin, jonka arvoja käytetään ohjausmenetelmien pohjana.

1. Johdanto

Rakennusfysikaalisen suunnittelun tavoitteena on tuottaa toimivia sekä kestävän rakentamisen periaatteiden mukaisia rakennuksia. Tavoitteena käyttäjällä/tilaajalla voi olla käyttää vähän energiaa, vettä ja materiaaleja. Sisäilmaston kannalta rakennustuotteina M1-tuotteita, jotka ovat toki osaltaan osa kestävän rakentamisen edellytyksiä. Toisaalta, jos näille tavoitteille ei ole määritettyä yhtenäisiä mittaristoja on niiden keskinäinen vertailu sekä tiedon kerääminen hankalaa rakennushankkeen edetessä ja tavoitteet voivat paisua laaja-alaisiksi. Rakennusfysikaalisella suunnittelulla onkin merkitystä materiaalivalintojen sekä energiatehokkuuden osalta, joilla voidaan vaikuttaa myös ympäristöystävällisiin valintoihin. Valintojen tulee kuitenkin olla kokonaisvaltaisia sisältäen tarkastelunäkökulmina niin ympäristötekijät, arkkitehtuuriset näkökulmat kuin rakenteelliset tekijätkin.

2. Rakennuksen elinkaari hiilijalanjäljen näkökulmasta

Rakennuksen elinkaaritarkastelu (LCA) pyrkii tarkastelemaan ja arvioimaan rakennuksen ympäristövaikutuksia sen koko elinkaaren aikana (Kuva 1) aina rakennusmateriaalien valmistuksesta rakennuksen elinkaaren loppuun sekä loppukäyttöön saakka. Rakennuksen elinkaari voidaan kuvata standardin EN15978 mukaisesti. Elinkaaritarkastelussa laskenta perustuu EN- sekä ISO standardeihin. EN15978 kattaa LCA laskentamenetelmän sekä rajaussäännöt mm. tarkastelun ulkopuolelle jätettävien materiaalien osalta. ISO14044 ja ISO14071 taas toimivat tulosten arvioinnissa, jotta voidaan varmistaa arvioinnin läpinäkyvyys, johdonmukaisuus sekä käytettyjen menetelmien soveltuvuus. Standardi EN15978 antaa myös prosessikuvauksen elinkaariarvioinnin suorittamiseksi, jota käytetään niin EU Level(s) kuin Ympäristöministeriön ohjauksen pohjanakin. Tällöin tarkastelun suorittajien välillä ei tulisi esiintyä suuria eroavaisuuksia käytetyn laskentamenetelmän osalta vaan tulokset ovat vertailukelpoisia.



Kuva 4. Rakennuksen elinkaaren vaiheet.

Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet (Lähde: Ympäristöministeriö, Vihreä julkinen rakentaminen)

3. Rakennusten päästöt ja päästöjen kehitys

Rakennusten osuus Suomen kasvihuonepäästöistä on noin 30 % ja noin 40 % primäärienergiankulutuksesta. Suurin prosentuaalinen osuus Suomen rakennuskannan energiankäytöstä muodostuu asuinrakennuksista (pientalot, rivi- ja kerrostalot), joka on noin 52 %. Rakentamisen osuus sen sijaan on Suomen energiankulutuksesta noin 5 % ja rakentamiseen käytetään myös noin 50 % kulutettavista raaka-aineista. Tarkastelussa käytetään GWP100 arvoa kg CO₂eq, joka kuvaa eri kasvihuonekaasujen (esim. hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni) kertoimella painotettua arvoa suhteessa hiilidioksidin (kerroin 1) säilyvyyteen ilmakehässä 100 vuoden ajanjaksona eli ekvivalenttia arvoa.

Rakentamisen päästöt muodostuvat nykyisellään käyttövaiheen energiankulutuksesta, materiaalien tuotannosta sekä käytöstä. Tämä onkin johtanut ensi sijassa rakentamisen päästöjen vähentämiseen rakennuskannan energiantehokkuuden parantamisen kautta [1, p. 15] ja pitkän aikavälin tavoitteena on vuoteen 2050 mennessä 60 % vähennys rakennusten energiankulutuksessa. Kyseisellä energiapolitiikalla on saatu jo aikaan osaltaan laskua asumisen

energiankulutukseen, joka näkyi selvemmin vuonna 2018 uusien energiamääräysten myötä. Energiankulutuksen lasku on kuitenkin hidastunut viimeisinä vuosina: vuosina 2010-2017 kokonaislasku oli 6%. Tämän seurauksena rakennussektorilla tarvitaan uusia päästöjen vähentämiskeinoja. [2]

Tulevana tavoitteena on vähentää rakennusmateriaalien päästöjä, joka kytkeytyy Ympäristöministeriön ”Vähähiilisen rakentamisen tiekarttaan” [3]. Tulevat pienentämismahdollisuudet voidaankin nähdä elinkaaren aikana rakennusmateriaalien, rakentamisen sekä rakennusjätteen sekä hukkaan vaikuttavien toimenpiteiden osalta. Rakentamisen päästöjen tarkastelun osalta on muistettava myös rakentamisen muut ympäristövaikutukset, joiden painoarvot määritetään hankkeelle asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Ympäristövaikutukset voidaan jakaa vaikutuskategorioiden osalta maantieteelliseltä vaikutukseltaan globaaleihin, manneralueellisiin, alueellisiin (EU-15 alue), paikallisiin (maakohtainen) sekä työympäristön vaikutusluokkiin. Vaikutuskategorioita tulisi tällöin tarkastella niin maantieteellisen kuin ajallisen vaikuttavuuden osaltakin. [4]

EU Level(s) huomioi tavanomaisesta elinkaariarvioinnista (LCA- Life Cycle Analysis) poiketen myös päästöjen ”Human toxicity potential HTP” eli päästöjen vaikutukset ihmisten terveyteen yhtenä mittarikategorioista. Yleensä LEED ja BREAAAM ympäristösertifioinneissa kuten myös EU Level(s) menetelmässäkin otetaan elinkaariarvioinnissa huomioon ilmaston lämpeneminen (kg CO₂e), otsonikato (kg CFC11e), happamoituminen (kg SO₂e), rehevöityminen (kg PO₄e), alailmakehän otsoni (kg Ethene e), uusiutumattoman energian käyttö MJ ja biogeeninen hiilivarasto (kg CO₂e bio). HTP tarkastelu on kuitenkin rakennusfysikaalisen suunnittelun sekä sisäilmaston arviointiin todennäköisesti soveltuvin vaikutuskategoria.

Tällöin tarkastelun lähtökohtana toimii potentiaalisen altistuksen suhde sallittuun (turvalliseen) altistumismäärään, jossa tarkastelun lähtökohdaksi otetaan myös altistumisaika sekä päästön lähde. Päästöjen ylittäessä sallitun altistumismäärän voivat ne vahvistaa tai aiheuttaa mm. astmaa, syöpää, sydänsairauksia tai syntyvyyden laskua. EU Level(s) on huomionnut nämä tekijät määrittelemällä EN-standardin mukaisia tavoitetasoja ilmanvaihdolle, hiilidioksidin määrälle, sisäilmaston kosteudelle sekä lämpöoloille. Tämä onkin yhdistettävissä Suomen Sisäilmastoluokitukseen sekä rakennustöiden puhtausluokitukseen, jossa on yhteneväisyyksiä sekä seikkaperäisempi opastus tavoitetasojen saavuttamiseksi. Suurimpana erona Suomen Sisäilmastoluokituksen ja EU Level(s) mukaisessa tarkastelussa on suhteellisen kosteuden (RH-%) suositusarvojen määrittely sisätiloille kostutuksen sekä kuivatuksen kannalta. [5]

4. Rakentamisen säädöskehitys hiilijalanjäljen näkökulmasta

Ympäristöministeriö on ottanut rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimisen osaksi rakentamisen ohjausta ja tavoitteena on ottaa ohjaus käyttöön vuoteen 2025 mennessä. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelmassa tämä on tuotu myös vahvasti esille Suomen tavoitteena olla hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen tämän jälkeen. [6] Aikaisempi tavoite pääministeri Juha Sipilän hallituksen energia- ja ilmastostrategiassa hiilineutraaliudelle oli vuosi 2045. [7] Toimenpiteinä tämän saavuttamiseksi on mainittu päästövähentämistoimet sekä hiilinielujen vahvistaminen. EU tasolla hiilineutraaliuden tavoitteeksi on asetettu vuosi 2050. Rakentamisen tulevassa säädöskehityksessä korostetaan etenkin rakennuksen sekä rakentamisen hiilijalanjälkeä vähähiilisen rakentamisen tiekartan kautta.

Ensimmäinen vaihe testauksen ja menetelmien osalta päättyi vuoden 2019 keväällä, jolloin päättyi myös EU Level(s) testaus (katso kohta 4.) erinäisissä valmiissa kuin

suunnitteluvaiheessakin olevissa rakennuksissa. Seuraavana vaiheena on ohjausjärjestelmän laatiminen, jota tuetaan pilottihankkeiden laajentamisella sekä valmistelemalla säädösohjausta kaavoitusta ja energiaohjausta varten. Ohjaus on tarkoitus ottaa käyttöön vuoteen 2025 mennessä rakentamisessa, jolloin on tavoitteena suorittaa myös hiilineutraaliustavoitteen arviointi. Tällöin tavoitteena on kytkeä rakennuskanta ohjaukseen vaiheittain sekä rakennuskannan päästötietojen seuranta sekä ilmoitusvelvollisuus ennen raja-arvojen asettamista. [8] Rakennuksen elinkaaren huomioinen kokonaisuutena tulee korostumaan ja suunnittelijan alkuvaiheen valintojen merkitys kasvaa tällöin entisestään.

5. EU Level(s)

EU Level(s) -menetelmän testaus oli osana Ympäristöministeriön vähähiilisen rakentamisen ensimmäistä vaihetta, jonka tarkoituksena oli kerätä tietoa sekä kokemuksia EU tasolla hiilijalanjäljenhuomioimiseksi. Testaukseen osallistui testajia eri organisaatioista, yrityksistä sekä yhteisöistä EU- jäsenvaltioiden alueelta. EU Level(s) tavoitteena on yhtenäistää eri rakennusten vertailuperusteita käyttäen olemassa olevia EN- ja ISO standardeja, jolloin saatu tieto on vertailukelpoista sekä todennettavissa. Menetelmän tarkoituksena on antaa rakennushankkeen osapuolten käyttöön menetelmiä, joilla vähentää ympäristövaikutuksia ja antaa eväitä käyttää myös vaativampia arviointijärjestelmiä- sekä työkaluja. Tällöin Level(s) soveltuu käytettäväksi niin suunnittelijoiden, rakennusliikkeiden, kiinteistöhuollon, kiinteistösijoittajien kuin rakennusten omistajien ja käyttäjien työkaluna. [9, p. 6]

5.1 EU Level(s) mittariluokat sekä skenaariot

EU Level(s) koostuu kuudesta päätavoitteesta, jotka voidaan jakaa eri ympäristövahinkokategorioihin, joita ovat asumisterveys, resurssi- ja materiaalitehokkuus sekä ilmastonmuutos.

Level(s) -menetelmän mittariluokat (indikaattorit) [9]

- Mittariluokka 1: Elinkaaren hiilijalanjälki
- Mittariluokka 2: Resurssitehokas materiaalien käyttö
- Mittariluokka 3: Veden kulutus
- Mittariluokka 4: Terveelliset tilat ja sisäilman laatu
- Mittariluokka 5: Sopeutuminen ilmastonmuutokseen
- Mittariluokka 6: Elinkaarikustannukset

EU Level(s) arviointi voidaan suorittaa käyttämällä kolmea eri arvioinnin tarkkuustasoa: yksinkertaistettu, vertaileva sekä yksityiskohtainen optimointi. Yksinkertaistettu tarkkuustaso soveltuu yleiseen rakennuksen suoritustason arviointiin ollen pelkistetty sekä alkuvaiheen vaikutusarvioinnin työkalu. Vertailevan tarkkuustason tarkoituksena on suorittaa vertailu ominaisuuksiltaan yhteneväisten rakennusten kanssa ja pyrkiä tämän kautta tehostamaan valintoja tarkasteltavassa kohteessa. Yksityiskohtaisen optimoinnin tavoitteena on suorittaa arviointi perustuen todennettuihin sekä mitattuihin tietoihin.

Tämän kautta tapahtuu eri toteutusvaihtoehtojen luonti suunnittelun sekä käyttövaiheen toiminnan tehostamiseksi sekä eri tulevaisuuden skenaarioiden luonti rakennuksen elinkaaren aikana (kustannukset, riskit ja mahdollisuudet). Tämä korostuu EU Level(s) ohjaustavassa, jossa arvioinnin suorittaja arvioi käytettyjen tietojen sekä elinkaariarvioinnin tekijän laatua ja luotettavuutta mittariluokakohtaisesti; tekninen, maantieteellinen, ajallinen luotettavuus sekä epävarmuustekijöiden huomioinen. Luokitusasteikkona käytetään neliportaista pisteytystä

ISO14044 ja ISO14071 soveltaen (O=laatu ei ole arvioitu, 1=alhainen, 2 =keskitasoinen, 3=korkea). Suoritettujen pisteysten keskiarvon pohjalta muodostetaan mittariluokkakohtainen luotettavuusindeksi. Tällöin saatuja tuloksia voidaan tarkentaa rakennushankkeen edistymisen aikana, jotta asetut tavoitteet saadaan toteutumaan.

Rakennushankkeen kannalta arviointi voidaan jakaa: suunnitteluvaiheeseen, toteutusvaiheeseen, valmistunut rakennus sekä rakennuksen käyttövaihe. Tämä vaikuttaa kuitenkin osaltaan vaadittavien tietojen laajuuteen sekä luotettavuusasteeseen. Alkuvaiheen elinkaariarvioinnissa tiedot voivat perustua suunnitteludokumentteihin ja tarkennetussa menetelmässä todennettuihin mm. määräluetteloihin.

6. Rakennusfysikaalinen suunnittelu osana materiaalivalintoja sekä energiatehokkuutta

Jotta voidaan luoda elinkaareltaan pitkäikäisiä, huollettavia- ja ylläpitojaksoiltaan toimivia rakennuksia on niiden sovelluttava myös ilmastonmuutoksen vaikutuksiin. Tällöin materiaalivalintoja eivät enää ohjaa ainoastaan materiaalien valmistuksen hiilijalanjälki tai elinkaarenlopussa tapahtuva kierrätettävyys tai uusiokäyttö. Vertailuperusteeksi on tällöin otettava kokonaisvaltainen tarkastelu niin estetiikan, ympäristön, rakenteellisen kuin rakennusfysikaalisenkin toiminnan kannalta. Kyseinen arvottaminen johtaakin materiaalivalintojen osalta kasvavaan hiilijalanjälkeen tietyillä osa-alueilla, kuten ulkoseinien rakenteet.

Tämä tulee esille etenkin asuinrakennusten hiilijalanjälkitarkasteluissa. Rakenteellisen energiatehokkuuden parantamisella päästövaikutukset hiilijalanjäljen osalta kasvavat hieman tavanomaisesta rakenneratkaisuista matalaenergiaratkaisuihin siirryttäessä (elinkaaren vaiheet A1-A5). Suurimmat erot tavanomaisen talon ja 33§ [1] mukaisen ratkaisun välillä syntyvätkin tarkasteltaessa käytön aikaista energiankulutusta (vaiheet B3-4, B6). On kuitenkin huomioitava, että rakenteellisen energiatehokkuuden pykälässä asetetaan myös vaatimukset lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteelle sekä rakennuksen lämmitysjärjestelmälle.

Näistä syntyy taloteknisten järjestelmien valinnoilla myös suuremmat päästöjen säästöt (pientalot 6-9 % ja kerrostalot 13-18 %) kuin julkisivu- tai eristeratkaisujen osalta (alle prosentti). Matalaenergiarakentamisen materiaalien hiilipäästö saadaan nykyisellään tasattua energiansäästönä 3- 6 vuodessa verrattuna tavanomaiseen rakentamiseen verrattuna. [11] Toisaalta jos energiantuotannon päästöt vähenevät on niillä suurempi kokonaisvaikutus tuleviin päästöihin.

7. Suunnitteluvaihtojen vaikutusarviointi

Kokonaisuuden tarkastelu on ensisijaisen tärkeää ja johtaa lopulta parhaimpaan lopputulokseen. Lausuntokierroksella äskettäin olleessa Ympäristöministeriön ” Rakennusten hiilijalanjäljen arviointimenetelmä” versiossa ei kuitenkaan ole sisällytettynä käyttövaiheen osalta vaihteita B1 (tuotteen käyttö), B2 (kunnossapito) ja B5 (Laajamittaiset korjaukset). Tämä voi osaltaan johtaa haitallisiin valintoihin hiilijalanjäljen ollessa ensisijainen painoarvo suhteessa rakennusfysikaaliseen toimivuuteen. Rakennusfysikaalisten valintojen vaikutusarvioinnissa hiilijalanjäljen näkökulmasta korostuvat seuraavat rakennuksen elinkaaren vaiheet: materiaalivalinnat/ valmistusvaihe (A1-A3), huolto- ja ylläpitojaksot/käyttövaihe (B1-B6) ja kierrätettävyys ja uusiokäyttö/purkuvaihe (C1- C4).

Esimerkkinä kokonaistarkastelun tarpeesta toimii lämmöneristyksen lisääminen energiamääräysten sekä tavoiteltavan pienemmän hiilijalanjäljen näkökulmasta. Lisättäessä lämmöneristystä saadaan pienennettyä kokonaisenergiankulutusta sekä käyttövaiheen hiilijalanjälkeä. Toisaalta tämän on taas todettu heikentävän rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa tulevia ilmastonlämpenemisen skenaarioita ajatellen, mukaan lukien kosteustekninen toiminta. [11] Tämä taas voi johtaa kasvavaan hiilijalanjälkeen lisääntyneen huollon ja ylläpidon kannalta. Vaihtamalla suunniteltu tuote paremman lämmöneristekyvyn tuotteeseen (mineraalivilla vs. polystyreeni) aiheutuu sen sijaan lämmöneristykseltään paremman tuotteen hiilijalanjäljen kasvusta suurempi haitallinen vaikutus päästöihin pienemmän lämmöneristyskyvyn omaavan rakenteen aiheuttamaan suurempaan energiankulutukseen verrattuna. On myös huomioitava ratkaisun takaisinmaksuaika kustannuksien ja energiankulutuksen (hiilijalanjälki) näkökulmasta, jolloin tulee miettiä valintojen merkitsevyyttä rakennuksen jäljellä olevaan suunniteltuun käyttöikänsä nähden. Myös muiden energiantehokkuutta parantavien toimenpiteiden vaikutus voi olla kustannuksiltaan sekä hiilijalanjäljeltään tehokkaampi vaihtoehto materiaalin vaihtamiseen nähden kuten rakennuksen mm. vaipan ilmapitävyyden parantaminen, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhteen parantaminen sekä ilmanvaihdon säätäminen (määräajoin).

Tällä hetkellä elinkaaren vaiheiden B4-B6 osalta arviot tehdään elinkaariarvioinnissa teoreettisesta näkökulmasta, käyttäen kiinteistöjen teknisten käyttöikien ja kunnossapitajaksojen (RT 18-10922) oletusarvoja. Kokonaisuuden tarkastelua ei kuitenkaan tehdä hiilijalanjälkilaskijan toimesta rakenteellisen toimivuuden osalta. Tämä voi osaltaan johtaakin yleisiin suosituksiin käyttää uusiutuvia ja ekologisia materiaaleja sekä rakenteiden lisäeristystä, jotka eivät välttämättä sovellu rakenteellisen tai rakennusfysikaalisen suunnittelun näkökulmasta toimiviksi ratkaisuksi. Elinkaarikustannuksien (LCC Life Cycle Cost) näkökulmasta tulisi pyrkiä ennakoimaan toimenpiteiden vaikuttavuutta, huoltokustannuksia ja yleistä takaisinmaksuaikaa sekä sen suhdetta jäljellä olevaan rakennuksen käyttöikänsä. Tulevaisuusskenaarioissa huomionkohteena ovat mm. korkokannan kehitys, energian hinta ja elinkaaren lopussa tapahtuvat hävittämisen- tai kierrätyskustannukset.

8. Yhteenveto

Tarkasteltaessa tulevaa lainsäädännön kehittymistä, entisestään kiristyviä energiamääräyksiä sekä materiaalien valintaan kohdistuvia odotuksia ilmastonmuutoksen hillitsemisessä on tarpeen miettiä myös sitä, ovatko toimenpiteet riittäviä. Nykyisen ilmastonmuutoksen pysäyttämiseksi ilmaston lämpeneminen tulisi saada pysymään alle 1,5 asteessa Pariisin ilmastosopimuksen mukaisesti. Nykyiset toimenpiteet eivät kuitenkaan vielä mahdollista kyseiseen tavoitteeseen pääsemistä vaan lainsäädännön sekä määräysten tulisi olla entistä tiukempia tulevina vuosina. Tämä tulee asettamaan kasvavia vaatimuksia niin viranomaisille, kohteiden tilaajille, toteuttajille kuin suunnittelijoillekin. Jotta asetetut tavoitteet saadaan täytettyä, tarvitaan tulevaisuudessa monialaista osaamista. Tämä ei tule enää rajoittumaan tiettyyn ammattialaan, vaan vaatii yhteistyön lisäämistä entisestään rakennushankkeen osapuolten kesken sekä lisäkoulutusta ympäristöasioiden huomioimiseksi.

Lähdeluettelo

- [1] Ympäristöministeriö, 2017. 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö
- [2] Tilastokeskus. 2018. Asumisen energiankulutus laski hieman vuonna 2017. Viitattu 16.08.2019. https://www.stat.fi/til/asen/2017/asen_2017_2018-11-22_tie_001_fi.html
- [3] Ympäristöministeriö. 2019. Vähähiilinen rakentaminen. Viitattu 16.08.2019. <https://www.ymp.fi/vahahiilinenrakentaminen>
- [4] S. H. Matthews, C. T. Hendrickson ja D. H. Matthews, Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter, 2014.
- [5] Rakennustietosäätiö RTS. 2018. RT 07-11299 SISÄILMASTOLUOKITUS 2018 Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS
- [6] Valtioneuvosto. 2019. 2019:23 Osallistava ja osaava Suomi- sosiaalisesti taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta, Helsinki: Valtioneuvosto
- [7] Ympäristöministeriö. 2017. Ministeri Tiilikainen: Suomesta hiilineutraali yhteiskunta viimeistään vuonna 2045. Viitattu 16.08.2019. [https://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_Suomesta_hiilineut\(42208\)](https://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Ministeri_Tiilikainen_Suomesta_hiilineut(42208)).
- [8] Ympäristöministeriö. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Viitattu 16.08.2019. <https://www.ymp.fi/vahahiilinenrakentaminen>
- [9] N. Dodd, M. Cordella, M. Traverso ja S. Donatello, Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. 2017. Joint Research Centre, European Commission.
- [10] Ympäristöministeriö. 2018. Level(s) – Rakennusten resurssitehokkuuden yhteiset EU-mittarit. Viitattu 16.08.2019. https://www.ymp.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Kansainvalinen_yhteistyö/Levels__Rakennusten_resurssitehokkuuden_yhteiset_EUmittarit.
- [11] P. Pasanen. 2019. *Asuinrakennusten rakenteellisen energiatehokkuuden elinkaarihyödyt*. Bionova. Viitattu 16.08.2019. <http://www.rakennusteollisuus.fi/Toimialat/Rakennustuoteteollisuus-RTT/Rakennusmateriaalit/rakenteellinenenergiatehokkuus/>
- [12] Tampereen teknillinen yliopisto. 2008. MATA LAENERGIARAKENTEIDEN TOIMIVUUS, Tutkimustuloksia ja suosituksia uusiin lämmöneristys- ja energiankulutusmääräyksiin ja -ohjeisiin, loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto

Low Carbon Design -periaatteen implementoinnin hygrotermisen toiminnallisuuden hypoteesit ja testaus, tuoteistettu massiiviolkirakenneratkaisu

Kati Juola-Alanen¹ ja Juho Laaksonen²

¹The Natural Building Company Oy

²Dynaamiset Rakenteet Ry

Tiivistelmä

Aikaa kestäväää rakentamista on osattu tehdä satoja vuosia sitten. Mistä johtuu, että nykyteknologiaan yhdistettynä kehityskaaremmen rakentamisessa on tuottanut lopputuloksena lyhytikäisempää rakennuskantaa? Luonnonmateriaaleista on kehitetty ja tuoteistettu kestävään kehityksen tavoitteita täyttäviä rakennusmateriaaleja ja tuotteita. Artikkelissa esitellään yksityiskohtaisemmin oljen mahdollisuuksia tulevaisuuden ja tämän päivän rakentamisessa.

1. Johdanto

Rakenteiden hyvä toimivuus edellyttää rakenteessa käytettävien materiaalien hyvää kosteusteknistä toimivuutta. Nykyrakentamisen muuttuminen kestäväälle pohjalle vaatii radikaaleja muutoksia koko rakentamisalan asenteisiin, jotta kestäväää sekä innovatiivista muutosta saadaan aikaiseksi. Rakentamisessa on käytetty luonnonmateriaaleja vuosituhansien ajan. Kehityksessä taaksepäin ei ole syytä mennä, mutta tarvitsemmeko asennemuutoksen, jotta energiatehokkaaseen ja hiilineutraaliin rakentamiseen päästään kestäväällä ja turvallisella tavalla?

2. Rakentamisen kehityskaari suunnattava kohti kestäviä ratkaisuja

Rakentamisen alalla voimme vaikuttaa määräyksiin, suunnitteluun, rakennustekniikoihin ja -tapoihin, sekä materiaalituotantoon. Jossakin edellä mainituista osa-alueista, tai kaikissa on mahdollisuus epäonnistua ja silloin rakentamisen lopputuloksen kanssa ilmenee ongelmia. Hyväää sekä kestäväää rakentamista on osattu tehdä jo vuosituhansia sitten. Miksi nykyaikainen ihminen, kaikki teknologia apunaan ei pystyisi samaan kuin muinoin; jopa vuosituhansia kestäviin rakennuksiin? Nykyvaatimukset toki eroavat vanhasta, alkeellisestakin rakentamisen tasosta, mutta miten olemme päätyneet ns. kertakäyttörakentamisen tapaan?

Rakentamisen kehitys on ottanut harha-askeleita, kuten uuden kehittämisen historiamme aikana yleensä aina tekee, kehityskaarensa jossakin vaiheessa. Vastuun jakaminen kehityksen muutoksessa jakaantuu vahvasti päättäjien, rakennusalan ammattilaisten ja kuluttajien kesken. Muutos parempaan lähtenee jokaisesta meistä, jotka rakennettua ympäristöä käyttävät. Kuluttajat ovat heittäneet ilmoille hätähuutonsa jatkuvasti raportoiduissa sisäilmaongelmissa ja huolestuttavan rakentamisen laadun epäkohtien ilmenemisen myötä. Päättäjät ja viranomaiset ovat saaneet aikaan tarvittavat tavoitteet terveen ja järkevän rakentamisen suuntaviivoiksi ympäristömme huomioiden. Nyt on tekojen aika. Miten tavoiteltu muutos kestäväää ja turvalliseen rakennuskantaan saadaan aikaan? Mikä on rakentamisen ja rakentamisteollisuutemme ohjaavana tavoitteena nyt; hiilineutraalisuus ja energiatehokkuus yhdistettynä mahdollisimman toimivaan tekniseen kokonaisuuteen? Onko tavoite kirkas ja sama kaikille rakentamiseen vaikuttaville tahoille? Tavoitteet ovat selvät, mutta miten ohjaamme

tuotantoa ja rakennusteollisuutta tavoitteellisen rakentamisen suuntaan?

Ajatus siitä, että rakennusteollisuudessamme ja rakentamisen tavassamme menisimme ajassa satoja, jopa tuhansia vuosia taaksepäin, on absurdi. Taistelemme ylitsepääsemättömältä tuntuvan ongelman kanssa valtavine korjausvelkoinemme ja kalliin rakentamisen hinnan kanssa. Emme kuitenkaan pysty tarjoamaan rakentamisen hintaan korreloituvaa laatutasoa. On tehtävä radikaaleja muutoksia tuotekehittämissä ja olemassa olevan rakentamiskulttuurimme parissa. Materiaalien elinkaaren suorat vaikutukset alkavat raaka-ainehankinnasta ja päättyvät purkuun, sekä niiden loppukäsittelyyn. Koko tämä alue, valtavine komponentti määrineen, vaatii hallittua ohjausta kestäväen kehityksen periaattein. Olemme menossa kohti päämäärää, missä rakennustuotteilla olisi vaadittuna tuoteselvitys. Samalla tavoin kuin elintarviketeollisuudessa, niin myös rakentamisteollisuudessa otettaisiin käyttöön listaus haitallisista aineista ja selvästi tullaan kieltämään ympäristöllemme haitallisten aineiden käyttö, sekä laadittaisiin selvä ohjeistus siitä, miten materiaalin sisältötiedot on ilmoitettava. Tämä kehitysvaihe tuo kuluttajia lähemmäksi toimivia rakennustuotteita.

Muoin rakentaminen oli suhteellisen yksinkertaista ja muutamat käytössä olleet rakennusmateriaalit sekä tekniikat kehittyivät ja kulkivat edelleen sukupolvelta toiselle. Jos rakentamistapa olisi yksinkertainen niin lopputulosta on luonnollisesti helpompi hallita. Pitäisikö meidän pyrkiä yksinkertaistamiseen, niin säännöksissä, rakenteissa, kuin käytettävissä rakennusmateriaaleissa, jotta rakentamisen hallinta olisi mahdollista? Tähän ei varmasti löydy aukotonta vastausta, mutta on olemassa lupaavia mahdollisuuksia.

Se missä eroja sisäilman laadussa syntyy, ovat materiaalipäästöt, vikatilanteiden seuraukset ja rakenteiden vikasetoisuus. Kuitenkin ilmanlaatu sisäilmassa voi laskea pelkästään yhden muuttujan vikatilasta, esim. ettei ilmanvaihto toimi kunnolla. Materiaalipäästöt linkittyvät jonkin verran vikatilanteisiin ja vikatilanteet edelleen rakenteiden ominaisuuksiin. Kokonaisuuden toimivuuden taustalla on hallinta rakenteiden toiminnallisista perusteista. Päätäjille alkaa selvitä, että suurin ekoteko minkä yksilö voi elämänsä aikana tehdä; on rakentaa mahdollisimman vähän ympäristöämme kuormittava, rakennusteknisesti toimiva ja pitkäikäinen rakennus. Yksikin virheellisesti rakennettu rakennus aiheuttaa korjausrakentamisen myötä moninkertaisesti täysin vastakkaisia seuraamuksia kuin mitä energiatahokkaalla ja hiilineutraalilla rakennustavalla tavoitellaan. Lähtökohtana tulee olla rakennuksen terve rakennustekninen toimivuus uusilla innovaatioilla, koska nykytekniikoin emme ole tavoitteisiin päässeet. Toimivuuden, turvallisuuden ja kestävyuden lisäksi, huollon ja korjaamisen toteutus on suunniteltava mahdollisimman helpoksi ja järkevästi toteutettavaksi.

Rakentaminen on maankäyttöä, jossa tilaa viedään luontoympäristöltä. Vaikutukset ulottuvat syvälle. Rakentamisen ympäristövaikutus ei rajoitu rakennustontille ja alueen infrastruktuuriin. Elinkaaren suorat vaikutukset alkavat raaka-ainehankinnasta ja päättyvät purkuun, sekä materiaalien loppukäsittelyyn. Ympäristöystävällinen rakentaminen tarkoittaa tässä kirjoituksessa edellä kuvattujen vaikutusten minimointia verrattuna ns. BAU-malliin, eli ”business as usual”-toteutukseen. Vaikutussuhteiden moninaisuuden takia yhtä oikeaa toimintamallia on lähes mahdotonta aiheen tiimoilta luoda. Ympäristövaikutukset jaetaan moneen eri vaikutuskategoriaan ja niiden painotuksissa on eroja. Vaikutuskategorioita ei pysty yhteismitallistamaan, eli muuntamaan vertailukelpoisiksi. Esimerkkinä massiivipuu- ja betonielementin vertailu:

- Betonielementti tuottaa valtavan kasvihuonekaasupäästön, joten ilmastonmuutosta koskevassa arvioissa puu päihittää betonin mennessä tullen. Vaikutus luonnon monimuotoisuuteen taas on vaikeampi hahmottaa; siihen liittyy paljon muuttujia, kuten metsätalouteen liittyvät menetelmät ja kestävyys, maankäytön muutokset jne.

- Massiivipuurakenteet ovat monelta kantilta tarkasteltuina erityisen soveltuvia ympäristöystävällistä tematiikkaa toteutettaessa. Raaka-ainepohja on uusiutuva, sisältää eloperäistä, eli biogeenistä hiiltä. Vaikka tuotetason vertailun elinkaaren loppusumma hiilen osalta onkin nettona nolla, eli materiaaleihin sitoutunut hiili vapautuu lopulta takasin ilmakehän kiertoon. Hiiltä tähän nopean kierron systeemiin ei päädy geologisesti varastoituneesta fossiilisesta varannosta muuten kuin jalostusprosesseista välillisesti. Energiasektorin puhdistuessa tämäkin määrä pienenee merkittävästi.

Reunaehdoiksi onkin pitkäaikaisissa kehityskaarissa asetettava juurikin muuttumattomat, perusominaisuudet. Betoni- ja puuelementtiä verrattaessa betonin hyvänä puolena tulee mainita kuitenkin se, että lähtökohtaisesti tämän hetken tekniikoilla oikein toteutettuna betonirakenteella on parempi pitkäaikaiskestävyys kuin puuelementillä, jolloin huoltotoimenpiteitä tarvitaan vähemmän kuin puuelementissä.

2.1.1 Materiaalin kosteustekninen toiminta

Kosteusongelma syntyy, mikäli kosteuskuorma ylittää rakenteiden kyvyn käsitellä kosteutta. Diffuusioavoin rakenne ei siis nojaa kosteusteknisessä toimivuudessa höyrynsulkuun, tai muuhun rakenteen osaan, jolla sisäilman kosteuden pääsyä rakenteeseen estetään. Sen sijaan toimivuus perustuu materiaalien luontaiseen vuorovaikutuskykyyn tasata kosteutta, eli sitoa ja luovuttaa kosteutta. Materiaaleilla on niille ominainen kosteuspitoisuus, joka on riippuvainen ympäröivän olosuhteen suhteellisesta kosteudesta. Tämä kosteustasapainottuminen tapahtuu solutasolla, eikä sen toimivuus vaadi esimerkiksi ylimääräistä lämpöä. Tasapainottuminen tuo vikasietokykyä, koska kosteuskuorma jakautuu suurelle massalle, eikä esimerkiksi sisäilman sisältämä kosteusmäärä kykene heilauttamaan rakenteiden kosteuspitoisuuksia tasolle, josta olisi haittaa. Kosteuskapasiteetti kertoo kuinka suuria määriä kosteutta materiaali tai rakenne kykene käsittelemään menettämättä toimivuutta tai tavoitteellisia ominaisuuksiaan merkittävästi. Yleisesti luonnonmateriaalien kapasiteetti on kertaluokkia suurempi kuin ilman kapasiteetti. Kosteutta sitovilla ja luovuttavilla materiaaleilla toteutetuissa rakenteissa ei tästä syystä yleensä tapahdu kosteuden tiivistymistä (kondensoitumista) materiaalikerrosten rajapintoihin. Rakenteen sisäpinnassa ei myöskään ole tällöin tarvetta suuren vesihöyryvastuksen omaavalle höyrynsululle, jolloin rakenteella on mahdollisuus kuivua myös sisäilmaan.

Jos rakennusmateriaalien kosteuskapasiteetti on vähäinen, rakenteen vikasietoisuus ylimääräistä kosteusrasitusta vastaan on pienempi ja niihin voi syntyä helpommin vaurioita. Rakenteiden kerroksellisuudesta johtuen vauriot tapahtuvat niiden sisällä piilossa, jolloin niiden havainnointi muuttuu vaikeaksi.

Rakenteiden toimimattomuus normaalitilanteessa rakennushistoriamme aikana käytetyillä luonnonmateriaaleilla ja massiivirakenteilla on lähes olematonta. Vaurioiden havainnointimahdollisuus mahdollisimman aikaisin on suuri etu; korjaaminen jää pienemmäksi, samaten mahdollinen altistuminen vaurioitumisen sisäilmavaikutuksille. Kun rakenne on riittävän yksinkertainen ja toteutettu kosteusteknisesti oikein toimivilla materiaaleilla vikatila näkyy rakenteessa selvästi.

2.1.2 Mahdollisuuksia luonnonmateriaaleissa

Vallalla oleva mielikuva esimerkiksi saven ja oljen käytöstä nykyrakentamisessa johtaa väistämättä ns. epäammattimaisiin käytäntöihin ja ei standardisoi tuihin ratkaisuihin. Kuitenkin Saksassa on yli miljoona savirakenteista rakennusta ja meitä lähempänä Baltian maissa on katkeamaton savirakentamisen vanha tietotaito-perinne. Mainituissa maissa on myös kehitetty

meille tuntemattomampia materiaaleja vastaamaan korjausrakentamisen tarpeita. Tuotekehityksessä on myös innovoitu uusia tuotteita kuten valmiita savirappausseoksia eri raeeasteina, useine kymmenine väri vaihtoehtoineen sekä puurankaisia olkieristeisiä elementtiratkaisuja.

Luonnonmateriaalien käytöllä on pitkät perinteet, joten näiden materiaalien käytöstä tiedetään hyvin niiden heikkoudet, jotka eivät juurikaan poikkea muista materiaaleista. Eloperäisten materiaalien vahvuusistakin on kertynyt tietoa paitsi rakennusfysikaalisten ominaisuuksien, myös rakennusten mikrobiologiaan liittyvistä seikoista. Luonnonmateriaalien osalta tiedämme jo luotettavasti, että materiaalit itsessään, sekä niille tyypillinen mikrobiosto ovat asioita, joiden kanssa kehomme normaalitilassaan tulee toimeen.

Mikrobiologiasta ymmärtävät tahot painottavatkin nyt, ettei mikrobeja pitäisi demonisoida. Materiaalien homeutumisherkkyyteen keskittymisen sijasta pitäisi edelleen keskittyä olosuhdehallintaan; toimivat rakenteet eivät mahdollista vaurioitumisen edellyttämiä olosuhteita. Mikäli olosuhde rakenteissa on huono, ei tilannetta pelasta mikään materiaaliominaisuus.

Emissiokuorma vastavalmistuneissa rakennuksissa koostuu yhteenlasketun materiaalmäärän kautta. ”Suuri osa ilmasta ihmiseen kohdistuvasta kemiallisesta altistuksesta on peräisin rakennusten sisäilmasta. Terveelliset rakennus- ja sisustusmateriaalit ja niiden oikea käyttö ovat yksi hyvänlaatuisen ja miellyttävän sisäilman perustekijöistä. Rakennuksissa käytettävien materiaalien päästöt ovat siten eräs keskeisimmistä tekijöistä, jotka vaikuttavat ihmisen altistumiseen sisätiloissa. Altistumisen merkitsevyyttä lisää se, että materiaalien päästöt ovat yleensä pitkäikäisiä.” [1]

Sisäilmaongelmissa keskitymme etsimään syitä mahdollisista ongelmalähteistä, kuten hajuista ja VOC (haihtuvat orgaaniset yhdisteet) päästöistä. Sisäilmaongelmien syyt ovat usein monisyisiä, eikä ongelmaratkaisu löydy yksin materiaalien arvioinnista. Ilmanlaatu sisäilmassa voi laskea pelkästään yhdenkin muuttujan vikatilasta, esim mikäli ilmanvaihto ei toimi kunnolla.

Keskusteluun ovat nousseet ympärillämme ja ennen muuta rakennusmateriaaleissa viihtyvät mikrobit. Olemme mikrobien peittämiä ja pelkästään suolistomme tarvitsee n. 4 kilogrammaa mikrobeja, erilaisia maitohappobakteereja jne. Itseasiassa suurin osa mikrobeista on joko hyödyllisiä tai välttämättömiä selviytymisellemme. Myös ympäristömme, jopa rakennettu ympäristömme on eriasteisesti mikrobien peittämä. Helsingin yliopiston emeritaprofessori, Mikrobiologi Mirja Salkinoja-Salonen kertoo ihollamme olevan yhdellä neliösenttimetrillä 100 miljoonaa mikrobia! Nämä mikrobit ovat kilpemme haitallisia mikrobeja vastaan. Tervettä ja rikasta mikrobikantaa on syytä varjella, muutoin vastustuskykyisemmät mikrobit täyttävät tyhjiötä. Yleensä reagoimme juuri näille, mikrobien keskeniäisen häiriintyneen kilpailutilanteen johdosta vallalla oleville mikrobeille. Oli materiaali miten steriili tahansa valmistuttuaan, se ei sitä ole kauaa. Ellei materiaalilla ole erityisen antiseptisiä ominaisuuksia, se tulee rakennuksen käyttöaikana, vuosien saatossa olemaan mikrobien asuttama. Mikrobeilla on, kuten luonnossa muillakin eliötyypeillä, jatkuva kilpailu elintilasta ja elimistömme on sopeutunut ympäristömme mikrobitasapainoon. Kun häiritsemme mikrobien luonnollisia elinoloja, aiheutamme ongelmia itsellemme reagoiden uudentyyppisille vallalla oleville mikrobeille.

Ympäristöystävällinen rakentaminen luonnonmateriaaleja käyttäen tuntuu houkuttelevasti oikealta ja turvalliselta tavalta täyttää rakennuksilta vaadittava ekologinen suorituskyky ja tarjota terveellinen ympäristö ihmisille. Luonnonmateriaaleista jalostettujen uusien rakennustuotteiden ehdottomana vaatimuksena, jotta niitä saadaan uudisrakentamisen käytäntöön, on vastaaminen nykyrakentamisen tarpeisiin mieluummin mullistavalla tavalla, kuin täyttämällä perinnerakentamisen tämän hetken tavoitteita.

3. Olki ja savi rakennusmateriaalina

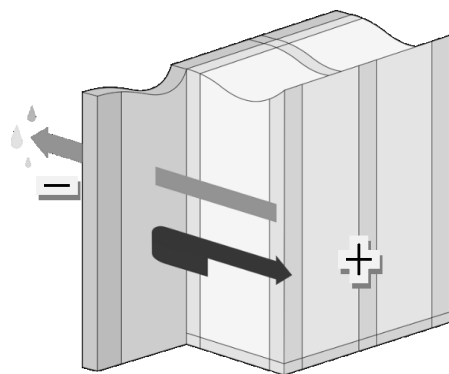
Oljen käyttö rakentamisessa on herättänyt kasvavaa kiinnostusta. Jos yritämme kehittää vaihtoehtoja vallalla olevalle betonirakentamiselle, on meidän kehitettävä muutakin kuin puurakentamista, tai ajamme itsemme seuraavaan ekokatastrofiin liiallisilla metsähakkuilla. Olkea on riittävästi rakentamisen tarpeisiin. Suurin osa suomalaisesta oljesta, 75-90% kynnetään takaisin peltoon.

”Suomen vehnäsato oli vuonna 2016 824 miljoonaa kiloa. Tämän tuottamisesta tulee olkea suunnilleen saman verran. Tästä kahdeksan miljoonaa kiloa oli luomua. Ruissato oli 87 miljoonaa kiloa, josta luomua kahdeksan miljoonaa kiloa. Kauraa tuotettiin 1 035 miljoonaa kiloa ja ohraa 1 580 miljoonaa kiloa. Yllä mainitusta olkimäärästä voisimme rakentaa pelkästään rukiista yli miljoona 400 mm paksuista seinäneliötä. Määrä vastaa noin 7000 kappaletta 100 neliöisiä omakotitaloja. Jos laskemme kaikki tuotetut oljet niin voimme rakentaa yli 36 miljoonaa seinäneliötä eli noin 240 000 omakotitaloa.” Suomen asuinrakennustuotanto oli vuonna 2013 29566 kpl. Tästä määrästä erillisiä asuinrakennuksia oli 9971 kpl. Kaikkien rakennustyyppien, vuoden 2013 yhteenlaskettu rakennettu kerrosala oli 7080928 m². [2]. Vertailun vuoksi voisimme rakentaa kaiken tämän kerrosalan yli kolminkertaisesti, jos jaamme sen 100m² rakennusaloihin, joissa on 3m ulkoseinäkorkeus. Tuotetulla olkimäärällä voisimme siis helposti rakentaa kaikki suomen asuinrakennukset, liikerakennukset, sekä koulu- ja hoitolarakennukset. [3]

Olki koostuu hyvin pitkälle samoista materiaaleista kuin puu; selluloosaa 34-40%, hemiselluloosaa 20-25 %, ligniiniä 20 %, tuhkaa 7-9 %, silikaattia 1,5-2 %, ja pieniä pitoisuuksia proteiinia ja tärkkelystä. Massiivipuurakenteeseen verrattuna tiiviisti pakatussa olkirakenteessa on noin 3-4% ilmaa, mikä tuo lisää materiaalin lämpöarvoa ja ääneneristävyyttä.

Euroopassa on tuotannossa erilaisia modulaarisia elementtirakennusjärjestelmiä. Laaja valikoima erikokoisia elementtejä mahdollistaa tuotteiden käyttämisen missä tahansa suunnitelmassa rajoittamatta luovuutta suunnittelussa. Elementtien syvyys on yleensä 350 mm - 400mm, leveydet min. 400mm - max. 1200mm, korkeudet min.400mm - max.3000mm. Kantavat ylä- ja alapalkistot, sekä jäykistetyt kulmaelementit kuuluvat myös elementtivalikoimaan.

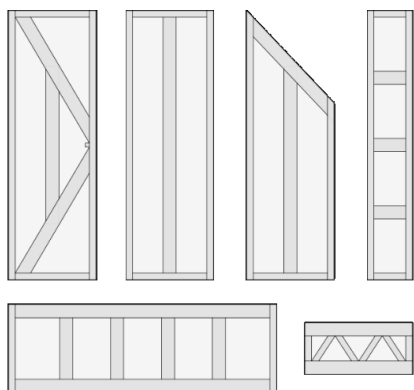
Olkielementtien lämmönjohtavuus on 0.056 W/(mK) ja niistä toteutettujen seinärakenteiden U-arvo on 0,11W/(m²K) sisältäen lisäksi 100mm:n puukuitulevyn rakenteen ulkopuolella. Terminen massa ja rakenteen hyvä lämpökapasiteetti tuo viihtyvyyttä huoneilmaan. Oljen ja puun lämmön tunkeutumisenopeus materiaaliin on 40 min/cm. Vertausta varten EPS:n (styrox) vastaava arvo on 13 min/cm, ja mineraalivillan 15min/cm. Olki ja puu ylläpitävät tasaisen ja mukavan sisälämpötilan, päihittäen lämpökapasiteetillaan rakentamisessa yleisesti käytetyt materiaalit.



Kuva 1 Diffuusioavoin rakenne-esimerkki (Ecococon)

Kuva 2 Ecococonin olkieristeisellä seinäelementillä toteutettu teollisuuskeittiö Tammisaaressa (The Natural Building Company Oy)

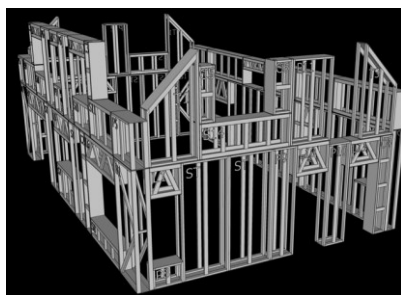
Koska seinäjärjestelmän kosteustekninen toiminta sallii kosteuden kulkea läpi rakenteen, eliminoi se kokonaan pois liiallisen kosteuden kertymisen seiniin. Savirappaus toimivalla kosteudensäästöominaisuuksillaan voidaan levittää suoraan olkielementin sisäpintaan. Järkevästi tuotetut seinäelementit vaativat valmistusprosessissa hyvin vähän energiaa. Elementin eristävyysarvolla päästään kokonaisrakenteeseen minkä avulla säästetään rakennuksen elinkaaren aikana energian kulutuksessa ja kuitenkin kesäisin rakennus pysyy viileänä. Kiinteistökohtainen energiasäästö vaikuttaa suoraan myös hillitsevästi ilmastonmuutokseen. Kasvukautensa aikana sekä olki että puu muuttavat CO₂:n säilytyksi hiileksi sitomisprosessissa. Jokainen neliömetri (m²) 400mm:n paksuisen seinän pinta-alaa säilöo itsensä keskimäärin 75kg CO₂:ta. Tämän vuoksi pieni rakennus säilöo noin 10 tonnia CO₂:ta, eikä ole rasitteena ympäristölle. Sen sijaan rakenne varastoi itsensä hiiltä rakennuksen koko elinkaaren ajan. Kuljetuksella on mitätön vaikutus tähän yhtälöön. Seinärakenteen eristävyys passiivitalon vaatimuksilla, sekä rakenteen avulla selvästi vähentyneillä lämmitys- ja jäähdytyskuluilla pystymme vähentämään rakentamisen hiilijalanjälkeä. Verrattuna normaalirakenteeseen rakennukseen, tyypillinen olkieristeinen rakennus säästää energiankulutuksessa keskimäärin 1 tonnin CO₂:ta per vuosi.



Kuvat 3 Erilaisia elementtimalleja

Kuva 4 Suurelementtien valmistusta The Natural Building Company Oy:n tehtailla Billnäsissä

Elementtien rakentamisen aikana oljen suhteellinen kosteus dokumentoidaan prosessin alusta toimituksen luovutukseen asti. Kosteudenhallintaketju työmaalle on aukoton. Elementin rakenteellinen lujuus saavutetaan kantavalla puurungolla, joka on suunniteltu niin että kylmäsilloilta rakenteessa vältytään. Tuotteiden valmistaja tarjoaa kantavuuslaskelmamalleja, joiden avulla suunnittelijan on helppo tehdä lujuuslaskelmat rakenteen rungolle. Tiivistetty, mutta joustava olkirakenne kestää suuria painoja ja rakenteellista rasitusta.



Kuva 5 malli Elementtijärjestelmän kantavasta puurungosta (Rakenteessa 6% puuta, 94% olkea)

Markkinoilta saatavia elementtejä on testattu tiiviisti kodeissa, kouluissa ja toimistoissa viimeisen vuosikymmenen aikana. Yli sata vuotta vanhat olkirakennukset ovat ehjiä ja viehättäviä; rakenne on säilynyt terveenä jopa haastavissa talvisissa, sekä kosteissa ilmastoissa. Elementille on saatu lisäksi ”Passivhaus” ja ”Cradle to Cradle” -sertifikaatit. ”Passivhaus” ja ”Cradle to Cradle” -sertifikaatit tarjoavat vakuuttavan takuun siitä, että elementit ja rakenneratkaisut ovat testattuja ja täyttävät erittäin hyvin lämmöneristykselle, ympäristön kokonaisvaltaiselle ja rakenteellisille ominaisuuksille asetetut vaatimukset. ”Passivhaus”-sertifikaatin tukena elementtiratkaisun tuottajalta on saatavilla yksityiskohtaisesti selitetty ilmantiiviyskonsepti siihen liittyvine rakenteellisine yksityiskohtineen. Pienet yksityiskohdat, kuten esimerkiksi miten rakenteen ilmatiiveyskalvoa voi käyttää rakentamisen aikaisena sääsuojana, tai miten elementin tasainen sekä sileä olkipinta toimii suoraan rappauspintana savirappauksille nopeuttaen rappausprosessia, tekevät tästä järjestelmästä miellyttävän työskenneltävän rakennusalan ammattilaisille.

Rakennus on arvokas sijoitus, jos rakennukselle voidaan taata arvoa useille vuosikymmenille jopa vuosisadoille. Huomispäivän standardit täyttävä rakennejärjestelmä (terveellisyys, lämpötehokkuus ja nolla hiilipäästöt) lisää kiinteistösjoiituksen pitkäaikaista arvoa. Energiatehokkaalla olkirakenteella säästetään energiankulutuskustannuksissa. Yksinkertainen ja nopea rakennustapa tekee olkielementtirakentamisesta edullisen asiakkaille ja kustannustehokkaan rakentajille.

Rakennelma on kehitetty ammattikäyttöön. Kehitystä vaativat alapohja- ja yläpohjarakenteiden sekä muiden rakenteiden ja liitoskohtien huolellinen suunnittelu, jotta rakennuskokonaisuus vastaa elementin tasoa. Kehitystyöllä on saavutettu tasalaatuista tuotantoa. Tehdastiloissa tapahtuvalla tuotannolla pystytään tuottamaan sertifioituja, korkean laadun omaavia rakennustuotteita mittatarkasti.

Suomessa on rakennettu olkielementtisysteemillä viimeisen 4 vuoden aikana yli 20 omakotitaloa. Oljesta voidaan muokata tulevaisuudessa suomalaista maataloustuotantoa hyödyttävä arvokas rakennusmateriaali.

3.1.1 Saven ominaisuuksia

Savesta on kehitetty hienoja, trendikkäitä ja ominaisuuksiltaan erinomaisia rakennustuotteita. Rakenteissa savi sitoo ja luovuttaa kosteuden erinomaisesti. Uudisrakentamisessa savea käytetään yleisimmin sisäpinoissa rappauspintana. Savi on luonnollinen pinnoite mm. olkiseinille, eikä siitä irtoa haitallisia hiukkasia huoneilmaan. Savea voidaan seinärappausten lisäksi käyttää lattioiden tekemiseen, jolloin lopputulos on kiillotetun betonin kaltainen. Pinta saadaan kovetettua pellavaöljyllä ja kosteutta sietävämmäksi vahaamalla luonnon vahoilla. Savirappauksiin voidaan tehdä erilaisia pintoja lisäämällä hienoviimeistelykerrokseen tehosteaineita. Savipinta voi olla sileää tai rouheaa, riippuen millaisesta pintaa tavoitellaan. Saveen voidaan tehdä erilaisia struktuureja tai siihen voidaan kaivertaa kuvioita, ornamentteja, kirjoittaa tarinoita, logoja yms. Savi on luonnostaan paloturvallinen ja toimii jopa rakenteita suojaavana palosuojana. 30mm savikerros reagoi tulipalossa takertumalla tiukemmin kiinni rakenteisiin murtumatta. Se suojaaa alla olevia puu- tai olkirakenteita 30 minuuttia, jonka jälkeen ne alkavat vasta hiiltä. Savirappausten paloteknistä käyttäytymistä hirsiseinässä on tarkasteltu Raaseporissa sijaitsevassa olemassa olevassa rakennuksessa. [4]

RakMK E1:n mukaiset vaatimukset kohteen asuntojen välisille, osastoiville seinille on REI30,

pintaluokka D-s2, d2.

Savirapatun hirsiseinän arvioidaan täyttävän kyseiset vaatimukset seuraavasti:

- REI30 luokka toteutuu, kun savirappauksen paksuus on vähintään 30 mm
- Savirappaus täyttää pintaluokkavaatimuksen D-s2,d2 selvästi .

Koetulosten perusteella savirappauksen tyyppi ei vaikuta juurikaan tuloksiin. Käytettävältä savirappaukselta edellytetään kuitenkin, että se on standardin DIN 18947 mukainen. [4] Savella on erinomainen kosteuskäyttäytyminen. Savella on pieni vesihöyrynläpäisevyys ja suuri kosteuskapasiteetti, jolloin esimerkiksi pelkkä 35 mm paksuinen savirappaus toimii rakenteen sisäpuolella riittävänä höyrynsulkuna. [5] Dynaamiset Rakenteet ry:n VTT:llä teettämästä selvityksestä voidaan todeta että, voimakkaasti hygroskooppisessa pinnassa tapahtuu latenttia energiasiirtoa kosteuden askelmuutoksen yhteydessä. Latentti energiansiirto viittaa vesihöyryn liikenopeuden muutokseen. Ilmiön pohjalta muodostetun hypoteesin mukaisesti rakennuksen käytön aiheuttama, sisäilmaston kosteusvaihtelu aiheuttaa savirappauksen pinnan tasapainokosteuden saavuttamisen jälkeen diffuusiovirtaa rakenteessa olevan vesihöyryn osapaineen vaikutuksesta rakenteen läpi, sekä rakenteen pinnan suuremman osapaineen vaikutuksesta samanaikaisesti myös rakennuksen sisäilmaan. Tämä materiaaliominaisuus toki tunnetaan melko hyvin, mutta diffuusiovirta ajatellaan usein lineaariseksi vain korkeamman osapaineen alueelta (sisältä) kohti pienemmän osapaineen aluetta (ulos). Sisäpinnan interaktio muodostaa kosteuskapasiteettiin suhteutuvan vesihöyryn liikettä rakenteeseen estävän funktion ilman että rakenteen kuivumispotentiaalia tarvitsee huonontaa erillisellä Sd-lukua kasvattavalla kerroksella. Ilmiö istuu paksuun (n. 30mm) savirappaukseen hyvin.

4. Yhteenvedo

Suurin ekoteko minkä yksilö voi elämänsä aikana tehdä on rakentaa mahdollisimman vähän ympäristöämme kuormittavan rakennuksen. Turvallinen ja ekologinen rakennustuote voi olla yhdellä osa-alueella tavoitteen täyttävä tuote ja yhtä aikaa ihmiselle ja ympäristölle haitallinen. Se että kangas tiettyssä tarkoituksessa on paloturvallinen voi merkitä valtavaa kemikaalimäärää itse tekstiilissä. Viestit (palamaton, homehtumaton, kosteutta pitävä) luovat turvallisuutta, mutta keinot, joilla tavoitteeseen on päästy voivat olla haitallisia sekä meille ihmisille että ympäristölle. Kuluttajien yleinen halu tietää tuotteiden tuotantoketjun järjestyksestä on vaikuttamassa myös rakennusalaan. Kokonaisuuden huomioimiseen kuuluu miettiä mitä tapahtuu, kun tuote on elinkaarensa päässä? Onko tuote jollakin tavalla ongelmallinen meille tai ympäristöllemme vai voiko sen puhtaasti kierrättää tai vaihtoehtoisesti polttaa tai kompostoida. Luonnonmateriaalien moderni käyttö voit olla yksi ratkaisu kohti tervettä kehitystä.

Lähdeluettelo

- [1] Kirsi Villberg, Kristina Saarela & Tiina Tirkkonen VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Anna-Liisa Pasanen, Jukka-Pekka Kasanen, Pertti Pasanen & Pentti Kalliokoski Kuopion yliopisto, Helena Mussalo-Rauhamaa, Marjatta Malmberg & Tari Haahtela HYKS, Iho- ja allergiasairaala: *Sisäilman laadun hallinta*. VTT PUBLICATIONS 540, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, 2004. Sivut 18
- [2] Tilastokeskus. 2017
- [3] Jaakko Pöytäniemi: *Terveellinen Rakennussuunnittelu Case Study, Iso-Orvokkiniityn Savi-Olkipaalitalo*, Diplomityö Oulun yliopiston arkkitehtuurin tiedekunta, Oulu, 2017. Sivut 24.
- [4] Palotekninen Insinööritoimisto Markku Kauriala, *Lausunto Savirappauksen Paloteknisestä Käyttäytymisestä*, 2017. Sivut 11.
- [5] Tuomo Ojanen, *Dynaaminen Puukuitueristerakenne*, VTT CR-00672-16, 12.2.2016

Hengittävä seinärakenne luonnonmukaisista materiaaleista

Juhani Lehtisalo
A-Insinöörit Suunnittelu Oy

Tiivistelmä

Hengittäviä rakenteita voidaan toteuttaa myös nykyaikana, mutta ne vaativat toimiakseen oikeita materiaaleja ja ymmärrystä niiden rakennusfysikaalisesta toiminnasta. Näihin rakenteisiin sopii yleensä luonnonmukaiset materiaalit, jotka ovat puhtaita, ekologisia ja kotimaisia. Tällaisia materiaaleja ovat muun muassa puu, savi, ruoko, olki, lampaanvilla, pellava ja hamppu. Näistä materiaaleista on olemassa useita eri rakennustuotteita, joiden käyttö rakentamisessa voisi vähentää muovin ja sekajätteen määrää.

1. Johdanto

Tämä artikkeli perustuu opinnäytetyöhöni, jonka tein Lapin Ammattikorkeakoululle keväällä 2019. Opinnäytetyöni tavoitteena oli kerätä tietoa luonnonmukaisista rakennusmateriaaleista sekä selvittää niiden hyödynnettävyyttä hengittävissä ulkoseinärakenteissa. Työ sisältää tietoa materiaalien saatavuudesta, ominaisuuksista, vaihtoehtoista ja mahdollisuuksista. Työssä on myös selvitetty, mitä tarkoitetaan hengittävyydellä ja luonnonmukaisilla materiaaleilla.

Opinnäytetyössäni määrittelin luonnonmukaiset materiaalit niin, että ne ovat mahdollisimman vähän jalostettuja, niitä on helposti saatavilla, niihin ei ole lisätty luonnolle haitallisia lisäaineita ja ne voidaan palauttaa käytön jälkeen takaisin luonnon kiertokulkuun aiheuttamatta haittaa ympäristölle.

Valitsin aiheeksi luonnonmukaiset materiaalit, koska haluan kehittää rakennusalaan kestävämpään ja ekologisempaan suuntaan sekä tuoda esille Suomalaisten luonnonmateriaalien potentiaalia rakentamisessa. Rakennukset eivät ole ikuisia, joten rakennusmateriaalien tulisi olla mahdollisimman hyvin kierrätettävissä. Halusin selvittää, pystyykö nykyaikaisia seinärakenteita muodostamaan luonnonmukaisista materiaaleista ja minkälaisia materiaalivaihtoehtoja on saatavilla. Keräsin tietoa useasta eri materiaalista, koska eri materiaalit soveltuvat erilaisiin rakenteisiin ja olosuhteisiin.

2. Hengittävyys

Hengittävyys tarkoittaa materiaalin kykyä sitoa itseensä kosteutta ja luovuttaa sitä pois [1]. Hengittävät materiaalit kykenevät sitomaan ja läpäisemään sekä nestemäistä, että kaasumaista kosteutta [2]. Näitä materiaaleja voidaan kutsua myös hygroskooppisiksi eli ne pyrkivät tasapainokosteuteen ympäristön kanssa sitomalla ja luovuttamalla kosteutta [3]. Hygroskooppisuus voidaan ajatella yhden materiaalin ominaisuudeksi, mutta hengittävyydellä viitataan useammasta tällaisesta materiaalista koostuvan kokonaisuuden, kuten esimerkiksi seinärakenteen toimintaan.

Hengittävät rakenteet tasaavat huoneilman kosteutta ottamalla vastaan ja luovuttamalla sitä takaisin. Päivittäinen kosteudenvaihtelu tapahtuu useimmiten rakenteen pintakerroksessa, eikä

ulotu syvälle rakenteeseen. Päivittäistä kosteudenvaihtelua hitaampi hengittämisen muoto liittyy eri vuodenaikojen ilmankosteuden vaihteluun. Kesän ja syksyn aikana kosteus imeytyy syvälle rakenteeseen ja talvella ympäröivän ilmankosteuden laskiessa, kosteus haihtuu rakenteista ulos. [1]

Hengittävät rakenteet poikkeavat rakenteellisesti nykyaikaisista tiiviistä rakenteista siten, että niissä ei ole vesihöyryä sulkevaa kerrosta eli höyrynsulkua tai muita vesihöyryn kulkua estäviä materiaaleja. Höyrynsulun tarkoitus on pitää kostea ilma poissa rakenteista ja estää ilman kulku rakenteen läpi. [4]

Hengittävässä rakenteissa tulee käyttää vain hengittäviä materiaaleja, mutta höyrytiiviseen rakenteeseen ne eivät aina sovi. Seinän materiaalit tulee valita yhteensopiviksi sen mukaan, miten seinä toimii. Hengittäväksi tarkoitetun rakenteen hengittävyys voidaan helposti pilata tiiviillä maalikerroksella tai muovipintaisella tapetilla. Seinäpäällysteenkin tulee mukaila rakenteen kykyä hengittää ja säädellä kosteuseroja luonnollisesti. Seinän päällystäminen vettä läpäisemättömällä kerroksella tai muovipohjaisella maalilla voi johtaa veden kondensoitumiseen rakenteen sisälle. [5]

3. Luonnonmukaiset materiaalit

Rakennusala käyttää Suomessa kulutetusta muovista noin 20-28 prosenttia. Määrä on valtava ja muovien talteenotto ja kierrätys ovat alalla vähäistä. Rakennusmateriaalit valitaan rakenteisiin lähinnä toiminnallisten ominaisuuksien mukaan, eikä sen, mistä materiaali koostuu. [6] Luonnonmukaisia materiaaleja käyttämällä on mahdollista vähentää muovin käyttöä ja sekajätteen määrää. Biohajoavia rakennusjätteitä voisi myös olla mahdollista kierrättää kompostoimalla.

Luonnonmukaisten materiaalien käyttö vähentyi huomattavasti 1900-luvun puolivälissä, kun uudenlaisia synteettisiä materiaaleja otettiin käyttöön rakennusteollisuudessa. Nykyään on taas kyseenalaistettu näiden materiaalien terveys- ja ympäristövaikutukset. Luonnonmukaisten materiaalien käyttö nykyrakentamisessa on mahdollista, mutta jotta luonnonmukaisia materiaaleja voidaan käyttää kustannustehokkaasti, tulee myös niiden tuotantomenetelmiä kehittää [7].

Nykyään luonnonmukaisia materiaaleja myydään ensisijaisesti vanhojen rakennusten kunnostukseen tarkoitettuina perinnemateriaaleina. Perinnemateriaaleina myydyt uudet luonnonmukaiset tuotteet eivät ole aina puhtaita luonnontuotteita, vaan niihin on voitu lisätä esimerkiksi palonsuoja-aineita sekä muovia sidosaineeksi. Tuotteen tiedot eivät aina selviä tuoteselosteesta. [8]

Luonnonmukaisia materiaaleja pidetään lyhytikäisinä, helposti homehtuvina ja tuhohyönteisiä houkuttelevina. Oikeilla rakenneratkaisuilla luonnonmukaiset materiaalit saattavat toimia paremmin, kuin synteettiset materiaalit.

4. Rakennusmateriaalit

Tässä kappaleessa on esitetty olennaisimpia rakennusmateriaaleja, joita voidaan käyttää hengittävien ja luonnonmukaisten seinärakenteiden valmistuksessa ja joita on mahdollista tuottaa Suomessa. Artikkelista on rajattu pois pintamateriaalit, kuten maalit, tapetit ja rappaukset, mutta näillekin löytyy monia tällaisiin rakenteisiin sopivia vaihtoehtoja.

4.1 Puu

Puu on monipuolinen materiaali, josta on saatavilla paljon tietoa ja erilaisia tuotteita. Se on melkein ainoa luonnonmateriaali, joka on säilyttänyt arvonsa synteettisten materiaalien rinnalla. Monissa puutuotteissa kuitenkin käytetään muoviliimoja, jotka eivät sovellu luonnonmukaisiin materiaaleihin ja joilla voi olla hengittävyyttä heikentäviä vaikutuksia. Tämän vuoksi liimattuja CLT-levyjä, vaneria, liimapuuta ja kertopuuta ei voida tällä hetkelle käyttää luonnonmukaisessa rakenteessa. Puupohjaisista tuotteista hengittäviä, muovittomia ja myrkyttömiä ovat muun muassa monet puukuitulevyt, puukuitueristeet, käsittelemätön puutavara ja lämpökäsitelty puutavara.

4.2 Savi

Savea on Suomessa runsaasti saatavilla. Maarakennustoissa savi on monesti ongelma-ainesta ja esimerkiksi tielaitos pyrkii pääsemään kaivetusta savesta eroon läjittämällä ja antamalla sitä ilmaiseksi tarvitseville. [7]

Materiaalina savi on hengittävää ja palamatonta sekä massiivirakenteissa hyvin ääntä eristävää. Savesta ei irtoa haitallisia yhdisteitä sisäilmaan ja se on luonnostaan antibakteerista, joten sitä voidaan pitää käyttäjille terveellisenä rakennusmateriaalina. [8; 9] Savi sopii hyvin yhteen puurakenteiden kanssa, sillä se sitoo hyvin vettä ja on hapanta, minkä ansiosta se suojaa ympärillään olevaa puuta lahottajaisieniltä [10; 8].

Saven vetolujuus on heikko, mutta puristuslujuus suhteellisen suuri. Tämän ansiosta savea voidaan käyttää kantavana rakenteena, mutta aukkojen ylitykset täytyy tehdä holvaamalla ilmakeivillä savitiilillä tai esimerkiksi puupalkeilla. Savirakenne tulee suojata vedeltä, sillä tarpeeksi kastuessaan savi menettää kantavuutensa. [4] Ympäristön kannalta savi on erinomainen materiaali, sillä maasta tehdyt rakennukset kuormittavat ympäristöä kaikkein vähiten. Rakennusmateriaali on helposti saatavilla, sen työstäminen vaatii vähän energiaa ja jäteongelmaa ei synny, koska maa maatuu maaksi. [11]

4.3 Ruoko

Ruokokasveista yleisimmin hyödynnetty on järviruoko, jota kasvaa Suomessa runsaasti. Järviruoko on kasvu on viime vuosina kiihtynyt muun muassa ilmastomuutoksen ja vesistöjen rehevöitymisen vuoksi. Siitä onkin muodostunut paikoin ongelma monille rannoille. Järviruoko on korjuu hyötykäyttöön parantaisi vesistöjemme kuntoa ja pitäisi rantamme siistimpänä. [12; 7]

Ruoko on ilmaa sisältävän onton korren ansiosta hyvä lämmön ja ääneneristyskyky. Rakennustuotteisiin sitä voidaan hyödyntää täyspitkinä, lyhennettynä, silppuna, paalattuna tai levyinä. [13] Yleisimmin ruokoa on käytetty kattomateriaalina, mutta siitä valmistetaan myös seiniin soveltuvia ruokolevyjä. Ruoko on korkea pihappopitoisuus, mikä saa ruokolevyn kestävämmän hyvin kosteutta ja tuholaisia. Levy ei myöskään pala, vaan hiiltyy korkeassa kuumuudessa hitaasti. [7]

4.4 Olki

Olki on maataloudessa syntyvää jätettä, joka muodostuu viljan puinnin yhteydessä viljakasvien varsista. Olki on vaikeasti lahoavaa ja huonosti palavaa, mikä tekee sen hävittämisestä työlästä.

[14] Tämä ei kuitenkaan aiheuta ongelmia rakennuskäytössä, sillä juuri näitä ominaisuuksia rakennusmateriaaleilta halutaan. Lisäksi olki on halpaa ja myrkytöntä eikä sen tuotannossa synny jätettä eikä merkittävästi saasteita [14]. Olki sisältää lähes samoja ainesosia kuin puu, mutta kasvaa huomattavasti nopeammin ja on myös puuta eristävämpää. [15] Olkirakenteet kootaan yleensä valmiista olkipaaleista. Oikein tehty olkipaalirakenne on hengittävä, pitkäikäinen ja paloturvallinen, sillä olki ei sisällä tarpeeksi happea palaakseen. [14] Olkipaalien lämmönjohtavuus korsien suuntaan on 0,06–0,065 W/mK sekä korsia vastaan 0,05 W/mK [7].

4.5 Lampaanvilla

Suomessa lampaanvillaa syntyy noin 90 000 kiloa vuoden aikana [16]. Tällä hetkellä kuitenkin noin puolet suomalaisesta lampaanvillasta heitetään roskeen. Villan jatkojalostajat eivät ota vastaan likaista, roskaista tai huopunutta villaa. Tuottajille taas maksetaan villasta niin vähän, ettei sen puhdistaminen ja kuljetus ole kannattavaa. [17] Rakennustuotteissa villan laadulla ja puhtaudella ei ole niin suurta merkitystä, joten niissä voidaan hyödyntää hukkavillaa, joka ei lankateollisuuteen kelpaa. Lampaanvillasta tehdään rakennuskäyttöön pääasiassa eristäviä tuotteita, kuten levyjä ja hirrenvälinauhaa.

Lampaanvilla kykenee sitomaan itseensä vettä jopa 30% kuivapainostaan ilman, että se tuntuu märältä tai, että sen lämmöneristävyys heikkenisi. Villan sisältämä keratiini ja villaan imeytynyt vesi tekevät siitä vaikeasti syttyvän. Villan syttymispiste on 560-600°C, mikä on luonnonkuiduista korkein. Villa palaa kytämällä, tuottaen vain vähän lämpöä ja sammuu itsestään. [7; 18] Lampaanvillan ongelmana on siinä viihtyvät hyönteiset, kuten koit ja turkiskuriaiset [7]. Näiden torjumiskeinoja tulisi tutkia lisää, jotta villaa voitaisiin hyödyntää eristeenä kaupallisena tuotteena.

4.6 Pellava

Pellavasta saadaan pitkää kuitua eristeisiin sekä korsisilppua eli päistärettä esimerkiksi savirappaukseen sidosaineeksi [7]. Pellava on yksi edullisimmista kasvipohjaisista eristetuotteista ja se soveltuu hyvin hengittäviin rakenteisiin [5]. Siitä ei irtoa haitallisia aineita huoneilmaan eikä se kelpaa tuhohyönteisten ravinnoksi [8]. Pellavaeristeitä on saatavilla paksuina laattoina, rullina ja hirrenvälinauhana [8]. Eristeisiin lisätään usein homeen- ja palontorjunta-aineita, kuten booriyhdistettä ja vesilasiasia. [7; 4]. Pellavaeristeissä saatetaan käyttää sidosaineena myös muovikuitua, jolloin eriste ei ole täysin biohajoava.

4.7 Hampu

Hampun maine on kärsinyt sen päihdyttävän käytön seurauksena, mutta Suomessa viljellyillä sertifioituilla kuituhampullajikkeilla ei ole narkoottisia vaikutuksia, joten ne eivät sovellu päihteksi [19]. Näin ollen kuituhampua voidaan hyvin hyödyntää rakentamisessa.

Hampu on luonnollinen, kierrätettävä, uusiutuva ja biohajoava tuote, joka sopii hengittäviin rakenteisiin [5]. Hampukuitu kestää hometta paremmin kuin puukuitu eikä sillä ole havaittu merkittäviä tuholaisia. Se kestää muuttumattomana jopa 370 °C:n kuumuudessa eikä myöskään turpoa kastuessaan [19; 7].

Hampun kuiduista tehdään pellavaeristeen kaltaisia eristeitä ja hampun päistärettä käytetään hamppubetonin raaka-aineena. Hamppubetoni tehdään päistäreistä, sammutetusta kalkista ja

vedestä. Siitä valettu rakenne on yhtenäinen, ilmatiivis, lämpöä eristävä ja painumaton. Hamppubetonia on tutkittu Pohjoismaissa melko vähän, eikä materiaalille ole vielä suunnitteluohjeita eikä standardeja edes ulkomailla. [20; 21]

5. Johtopäätökset

Hengittävien ja luonnonmukaisten materiaalien saatavuus on Suomessa hyvä. Nämä materiaalit ovat usein muille aloille ongelma-ainesta, jätettä ja hukkamateriaalia. Luonnonmukaisten materiaalien hyödyntäminen rakennustuotteissa vähentäisi ympäristön kuormitusta. Kierrättäminen on mahdollista esimerkiksi kompostoimalla. Luonnonmukaiset materiaalit vaativat yleensä hengittävän rakenteen toimiakseen oikein. Luonnonmukaisista materiaaleista on tälläkin hetkellä saatavilla riittävästi rakennustuotteita erilaisten hengittävien seinärakenteiden muodostamiseen. Kosteus käyttäytyy hengittävässä rakenteessa eri tavalla, kuin tiiviissä, minkä vuoksi rakenteiden kosteuskäyttäytymistä tulisi tutkia lisää, ennen rakenteiden laajempaa käyttöä.

Lähdeluettelo

- [1] Rinne, H. 2010. Perinnemestarin remonttikirja. Helsinki: WSOY.
- [2] Nyman, A. 2017. Hengittävät rakenteet. Tuuma 4/2017, 12–20.
- [3] Puuinfo Oy 2017. Puu sisäilman kosteuden tasaajana. Puu: 2/2017, 34–41.
- [4] Kaila, P. 1997. Talotohtori. Helsinki: WSOY.
- [5] Conran, T. 2009. Eco house book. Lontoo: Conran Octopus Ltd.
- [6] Huusko, M. 2018. YM selvittää muovien käyttöä rakentamisessa. Rakennuslehti 2.11.2018, 12–13.
- [7] Westermark, M., Heuru, E-R. & Lundsten, B. 1998. Luonnonmukaiset rakennusaineet. Tampere: Tammer-Paino Oy.
- [8] Rinne, H. 2018. Perinnemestarin materiaalioppi. Helsinki: WSOY.
- [9] The Natural Building Company Oy 2016. Hirsiseinän savirappaus – Näin se tehtiin Merimiehen mökissä. Viitattu 26.2.2019 <http://naturalbuilding.fi/project/merimiehenmokki/>.
- [10] Borg, O. 2016. Terveellinen ja hengittävä. Tuuma 2/2016, 36–39.
- [11] Kivekäs, E. & Komonen, M. 1994. Savi, Keramiikan ja arkkitehtuurin perinne Länsi-Afrikassa. Helsinki: F. G. Lönnberg.
- [12] Ympäristöhallinto 2015. Järviruoko. Viitattu 25.2.2019 <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ruoko/Jarviruoko>.
- [13] Lautkankare, R. & Alijoki, T. 2013. Ruoko rakennusmateriaalina, Cofreen-hanke ruo' on hyötykäytön edistäjänä. Tampere: Suomen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy.
- [14] Tuomi, V. 2001. Talo olkipaaleista. Saarijärvi: Saarijärven Offset.
- [15] The Natural Building Company Oy 2019. EcoCocon olkielementti – Luonnonmukainen massiivirakenne. Viitattu 26.2.2019 <http://naturalbuilding.fi/ecococon/>.
- [16] Haakana, T. 2018. Jopa puolet lampaanvillasta menee roskeen tai poltettavaksi – "Suomenlampaan villan arvot ovat samanlaiset kuin merinovillan". Etelä-Suomen Sanomat 7.11.2018. Viitattu 12.2.2019 <https://www.ess.fi/uutiset/kotimaa/art2497096>
- [17] Valta, L. 2019. Puolet suomalaisesta lampaanvillasta päätyy roskeen samalla, kun Suomeen tuodaan villaa ulkomailta. Yle: 11.01.2019. Viitattu 12.2.2019 <https://yle.fi/uutiset/3-10588584>.
- [18] Saatsi, E. & Saatsi, P. 2017. Hirsitalon lämmöneristeet. Tuuma 2/2017, 12–15.
- [19] HempRefine Oy 2019. Kuituhamppu lyhyesti. Viitattu 15.1.2019

<https://www.hemprefine.fi/projects/kuituhamppu-lyhyesti>.

- [20] Norokytö, N. & Simi, P. 2018. Hampputalo. Turun ammattikorkeakoulun oppimateriaaleja 119. Viitattu 26.2.2019. julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522167026.pdf.
- [21] Rakennetaan hampusta 2019. Teknistä tietoa. Viitattu 26.2.2019 <http://rakennetaanhampusta.turkuamk.fi/tietopankki/teknista-tietoa/>.

Yritysten ja yhdistysten ilmoitukset

ABRESTO

KALSIUMSILIKAATTILEVYT KOKEMUKSELLA

» **Kokenut toimija**

Kalsiumsilikaattilevyjen toimittaja jo vuodesta 1985

» **Luotettavat materiaali-
valmistajat**

» **Hyvä saatavuus**

Toimitukset varastostamme Helsingin Herttoniemestä tai suuremmissa erissä suoraan tehtaalta

Lue lisää osoitteessa
www.abresto.fi

Oy Abresto Ab - Puusepänkatu 11 FI-00880 Helsinki
info@abresto.fi - www.abresto.fi

ains.fi



Terveellisiä ja viihtyisiä tiloja. Me autamme.

Ihmisiä, joiden kanssa rakennat
rohkeasti parempaa

 **A-INSINÖÖRIT**

AKUKON

SOUND – VISION – VIBRATION

**Suunnittelemme
erinomaista akustiikkaa.**

**Osaamme myös melun
ja tärinän torjunnan.**

Akukon Oy

www.akukon.com

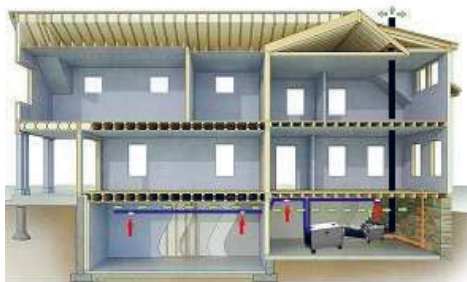
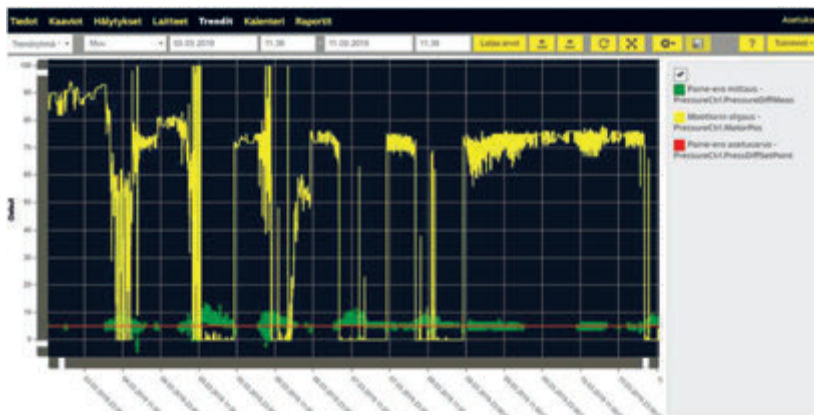
info@akukon.com

010 320 0700





Sisäilmaongelmaisten rakennusosien ilmanhallintaa kontrollidulla alipaineistuksella



- Nopea vaikutus
- Kustannustehokas
- Kiinteä tai väliaikainen
- Etäseuranta ja -ohjaus
- Helppo käyttää

Patentoitua Suomalaista ilmanhallintaosaamista

www.apadt.com | www.strong.fi





AX-Suunnittelu



COMPOSITES & POLYURETHANES

BANG & BON SOMER

Markkinoiden parhaimmat eristeet niin lämmön kuin vedeneristykseen.

Eristä tehokkaasti ja tiiviisti ruiskutettavalla polyuretaanilla

Ekospray tarjoaa markkinoiden korkeatasoisimman lämmön ja kosteuden eristyksen. Yhdellä ammattilaisen asennuskerralla vaivattomasti luotettava, 100% tiivis ja saumaton rakenne.

Edistynyttä eristämistä polyuretaanilla

- Täysin tiivis eristekerros
- Toimii höyrynsulkuna. Jo 35mm paksuudella saavutetaan tarvittava vesihöyrynvastus.
- Lämmönjohtavuus 0,025W/mK, kun paksuus min 120mm.
- Suojaa kosteudelta ja homeelta.
- Ei heikennä matkapuhelin liikennettä
- Ympäristöystävällinen tuote
- M1 päästöluokitus
- CE hyväksytty

EKOSPRAY®

by BANG & BON SOMER



ROOFSPRAY®

by BANG & BON SOMER



Veden eristys tämän päivän vaatimuksien mukaan ruiskutettavalla polyurealla

RoofSpray tarjoaa markkinoiden suorituskykyisimmän vedeneristyksen kaikkiin kohteisiin. Kestävä ja äärimmäisen elastinen polyurea takaa 100% tiiviin ja saumattoman vedeneristyksen.

Edistynyttä eristämistä Polyurealla

- Täysin tiivis ja saumaton.
- Kovettuminen tapahtuu jo 10 sekunnissa ja 2..3mm vahvuinen pinnoite kestää kävelyn jo minuutin kuluttua.
- Katoille suoraan vanhan katteen päälle. Sopii erityisen hyvin suurille pinta-aloille joissa vanha bitumikate (markkinoiden paras joustavuus)
- Paloluokitus bitumi-, tiili-, pelti- ja mineriittikatteille BroofT2 sekä Ekospray polyuretaanieristeen päälle
- Paloluokka E (EN 11925-2)
- Murtovenymä jopa 1900% joka on markkinoiden paras. (DIN53504)
- Säilyttää ominaisuutensa jopa +120C asteessa
- Ei sisällä liuottimia tai haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC-vapaa)
- Vesihöyryn läpäisevyys 1000µ
- CE hyväksytty



BANG & BON SOMER
DELIVERING SMART MATERIAL TECHNOLOGIES

bangbonsomer.com

Kattosi onnistuminen on meille tärkeää



BMI

Icopal-konserni ja Braas Monier Building Group ovat yhdistyneet BMI Group -nimen alle. Uusi BMI pystyy tarjoamaan asiakkailleen oikeat kattoratkaisut teknisiin tarpeisiin kaikilla katoilla.

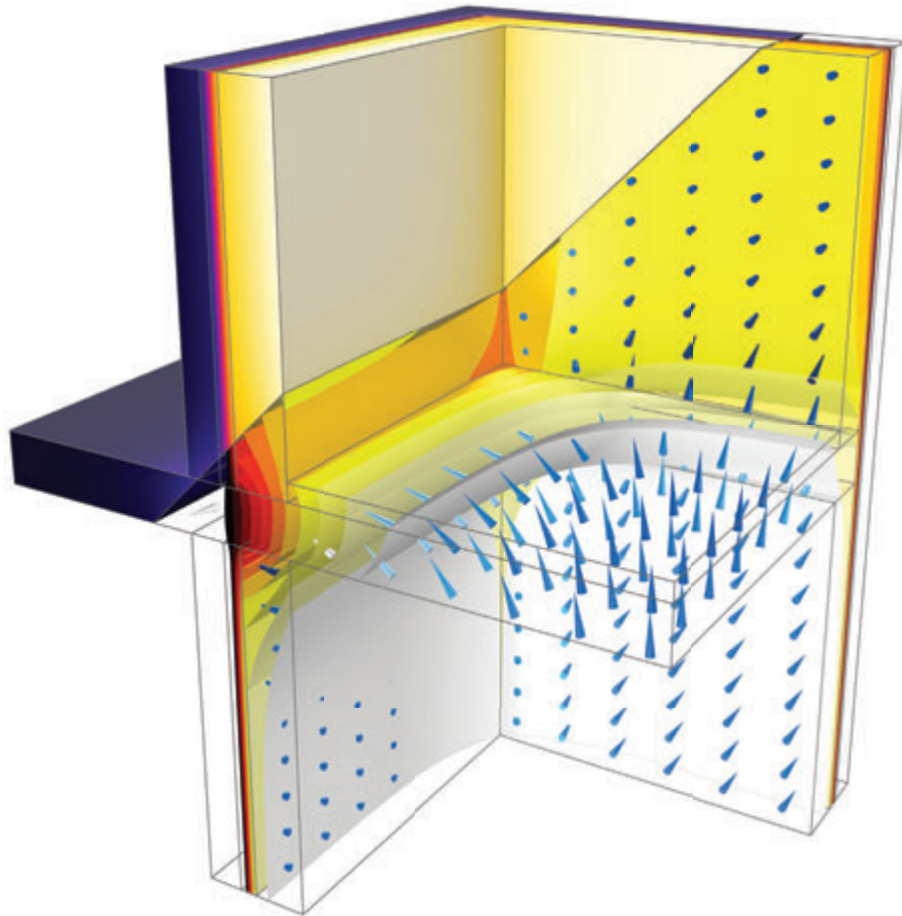
BMI Suomen valikoimiin kuuluu useita vahvoja ja vakiintuneita tuotebrändejä, kuten BMI Icopal ja BMI Ormax.

icopal.fi | ormax.fi
bmigroup.com/fi



**CHRISTIAN
BERNER**

Simulation-Driven Design for the Thermal Management of Buildings



Simulation of a thermal bridge in a building.

The COMSOL Multiphysics® software is used for simulating designs in all fields of engineering, manufacturing, and scientific research. See how you can apply it to building physics.

comsol.com/offers/application-note-thermal-management-buildings

dim  n

GROUP

**DYNAAMISET
RAKENTEET_{RY}**
auktorisoitu tuote

FCCG. ●

FF
FINNFOAM®

F I S E



HYVINVOINTIA RAKENNETUSSA YMPÄRISTÖSSÄ

Lue lisää palveluistamme:

» [granlund.fi](https://www.granlund.fi)

1960 perustettu Granlund keskittyy hyvinvointiin rakennuksissa. Talotekniikkasuunnitteluun, konsultointiin ja ohjelmistoihin erikoistunut yhtiö työllistää yli 900 asiantuntijaa 22 paikkakunnalla aina Helsingistä Rovaniemelle.





Terveellinen julkinen rakennus hirrestä.

TERVEELLINEN HIRSIRAKENNUS ON KOKONAISEDULLINEN SIOJITUS

Sisäilman huono laatu on erittäin suuri terveysongelma Suomessa ja asiantuntijat pitävät kosteusvauriota sen keskeisimpänä syynä. Hirsi on tutkitusti terveellinen ja turvallinen rakennusmateriaali, joka sopii erinomaisesti myös julkiseen rakentamiseen. Hirsinen päiväkotii, koulu tai hoivakoti on viihtyisä ja turvallinen ratkaisu, joka sopii myös kaupunkimaiseen.

PAINUMATON HIRSI TUO ETUJA JULKISEEN RAKENTAMISEEN

Honkarakenteen kehittämä painumaton hirsi mahdollistaa eri materiaalien yhdistelyn massiivipuurunkoon sekä modernit detaljit ja listoitukset. Painumattomasta hirrestä valmistetun kehikon tiiviyys, helppo ja nopea asennus sekä huoltovapaus ovat merkittäviä etuja julkisessa rakentamisessa. Painumaton hirsi yhdistettynä nollanurkkatekniikkaan on esteettisesti kaunis ja soveltuu erittäin hyvin myös urbaaniin ympäristöön.

Kysy lisää: Markus Saarelainen, Honkarakenne, projektimyöntipäällikkö, 040 596 6007, markus.saarelainen@honka.com



WWW.HONKA.FI



HONKA



HUNTON

Luonnosta. Luonnolle.

IAQe - Sisäilman laadun ekosysteemi

**INDOOR
AIR
QUALITY** ECOSYSTEM

Avoin yhteistyöalusta kokonaisvaltaisesti terveeseen
sisäilman saavuttamiseksi

RAKENNUKSEN OMISTAJAT JA OPEROIJAT

- | Kokonaisvaltaiset ratkaisut
- | Korkeatasoinen osaaminen
- | Yhteistarjoama
- | IAQ as a Service
- | Ekosysteemin verkostot
- | Hankintamenettelyt

PALVELUNTARJOAJAT JA TEKNOLOGIAYRITYKSET

- | R&D&I projektit
- | Co-creation
- | Verkostoituminen
- | Yhteistarjoama
- | Yhteismarkkinointi
- | Kansainväliset verkostot

KANSAINVÄLINEN VERKOSTO

- | Suomalainen osaaminen
- | Yhteistarjoama
- | Projektit
- | Co-creation
- | IAQe:n laaja verkosto
- | Tapahtumat

www.IAQe.fi

YRITYKSET, JOTKA OVAT JO LIITTYNEET PARTNEREIKSEMME:



IAQe | Indoor Air Quality ecosystem | www.IAQe.fi | +358 40 513 6917



Suunnittelemme pitkäikäisiä, laadukkaita ja energiatehokkaita rakennuksia

***Palvelumme perustuvat vahvaan osaamiseen rakennetekniikassa, korjausrakentamisessa, rakennusfysiikassa sekä sisäilmatekniikassa.
Katso lisää: www.ideastructura.com***





MEHTO

Insinööritoimisto Lauri Mehto Oy

MONIPUOLISET RATKAISUT
**RAKENTEIDEN
TIIVIYTEEN**

40
YEARS
PRODUCTION

ISO
CHEMIE
Use the blue technology.



Jaatimet 



JONECON OY



Karkaistu kevytbetoni on yksiaineinen, hengittävä ja erittäin paloturvallinen rakennusmateriaali

Kevytbetonin ehdoton etu on sen huippuluokkaa oleva paloturvallisuus. Karkaistu kevytbetoni on luonnonmateriaali, josta ei palotilanteessa vapaudu ollenkaan savua tai myrkyllisiä kaasuja, jotka voivat olla tulipalossa jopa vaarallisempia kuin itse liekit. Yksi kevytbetonituotteiden käyttökohde onkin osastoivat seinät ja palomuurit.

JAMERA

Terveellisen rakentamisen puolesta!

www.jamera.fi

TOIMIVAT RATKAISUT TERVEELLISEN SISÄILMAN PUOLESTA!

**KALSIUMSILIKAATTI TUOTTEET OVAT NYT MYÖS SUOMESSA
HENGITTÄVÄ, HOMEHTUMATON JA PALAMATON RAKENNE
VOIKO OLLA TOTTA . . . KYLLÄ VOI !!**



Tuotteet soveltuvat saneeraus ja uudisrakentamiseen.

- Kasil Elche Homedesinfointiliuos
- Kasil Pura lämpöeriste
- Kasil E-lämpöeriste
- Kasil K-levy (rakennuslevy)
- Kasil Kapillaarikatko
- Kasil Pura rouhe-eriste
- Kasil Vesieristerappaus
- Dry 100 vesivahinkokuivain
- UULA COLOR Maalit
- Sekä runsaasti muita alan tuotteita

**KASIL FINLAND OY
WWW.KASIL.FI**

**EERIKINPOLKU 5 32800 KOKEMÄKI
MARKO PALIN +358400 726 413**



Pitävä ja pätevä.



Toimivia ratkaisuja perustuksista aina kattoon asti

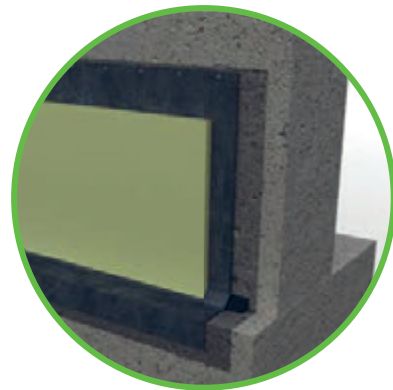
Kerabit on kotimainen katto- ja vedeneristysrakentamisen laatumerkki. Valikoimaamme kuuluu monenlaisia laadukkaita kosteus- ja vedeneristämisen tuotteita ja ratkaisuja. Toimimme myös Isola-tuotteiden maahantuojana.

Tässä muutamia huippujamme:



Kerabit Ekokatot: bitumikattoon integroitava Kerabit Aurinkokatto®, viherkatot ja ympäristö-ystävälliset Kerabit Nature® ja Kerabit LESSNOX®

Kerabit Bituminen holkkalista ja Kerabit 3700 UT Fleece perusmuurien vedeneristykseen



Koneellisesti ilmastoitu Platon-lattia on ratkaisu betonilattioiden haju- ja kosteusongelmiin

Lisätiedot www.kerabit.fi.

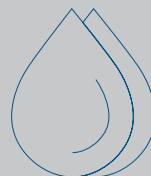


Järjestelmät ja palvelut **rakennuksen elinkaaren hallintaan**

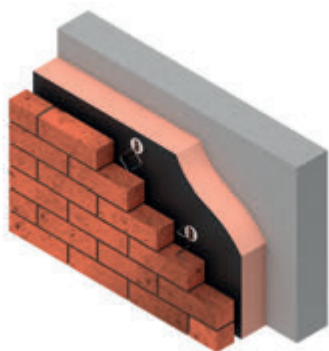
Elinkaariratkaisujen taustalla on vastuullinen kehitystyö, joka toteutetaan läheisessä yhteistyössä tutkimuslaitosten ja muiden yhteistyökumppanien kanssa. Autamme hankkeen kokonaisuuksien hallinnassa tarjoamalla rakentamisen palvelut ja tuotteet osana kokonaisuutta, valmiiksi mietittyinä ratkaisuinä.

Energiatehokkaat ja turvalliset lämmöneristeet

The facts matter.



Kingspan Kooltherm® -julkisivueristeillä toteutetaan energiatehokas ja lämmityskuluissa säästöjä tuova seinärakenne.



Lämmöneristävyys $U=0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ saavutetaan jo 120 mm ohuella eristekerroksella.

Kingspan Kooltherm® K15 ja K15 C Julkisivueristeet

- Soveltuvat käytettäväksi P1-paloluokan tuuletuvissa julkisivuissa.

Kingspan Kooltherm® K3 Betonielementtieroite

- Betonielementtiteollisuuden tuote
- Nopea ja helppo asentaa



Lue lisää: www.kingspan.com/fi/kosteudenhallinta

Puh.: 0207 786 700 Email: info@kingspaneristeet.fi

#MoistureControlMatters



Kuntoarviot ja elinkaari



Rakennusterveys ja sisäilma



Rakenteiden kuntotutkimukset



Talotekniset kuntotutkimukset



Mikrobi-, asbesti-, betoni- ja kemian laboratorio



Korjaussuunnittelu, rakentaminen ja valvonta



Lakisääteiset tarkastukset

Olemme mukana huolehtimassa kiinteistösi hyvinvoinnista ja turvallisuudesta koko sen elinkaaren ajan.

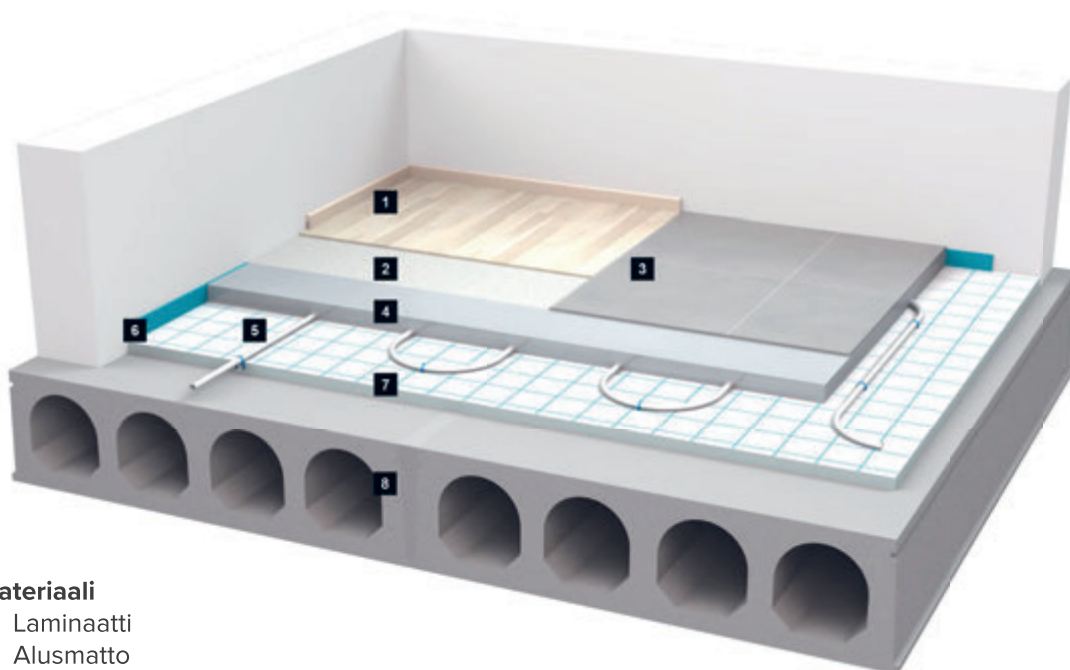
Tarkastuksen, testauksen, sertifiointin ja teknisen konsultoinnin laatutalo Inspecta on nyt **Kiwa Inspecta**.

kiwa.com/fi puh. 010 521 600, fi.asiakaspalvelu@kiwa.com

PATTERITTA

LATTIARATKAISU, JOKA VETÄÄ HILJAISEKSI

Sen kummemmin meteliä pitämättä Uponor ja Knauf yhdistivät osaamisensa, jonka tuloksena syntyi Patteritta-kipsilattialämmitysjärjestelmä. Patteritta on hiljainen, täyttää tiukimmatkin askeläänivaatimukset ja reagoi nopeasti lämpötilamuutoksiin ilman vedon tunnetta.



Materiaali

1. Laminaatti
2. Alusmatto
3. Klinkkeri
4. Knauf LM80 -kipsilattiamassa, minimipaksuus 30 mm putken yläpuolella
5. PE-Xa 17 x 2,0 mm lattialämmitysputki
6. Knauf-reunanauhat
7. Uponor Tacker -lattiaeriste EPS DES 30 mm
8. Ontelolaatta

TUTUSTU RATKAISUUN

[näyttelyosastolla 33 ja osoitteessa patteritta.fi](#)

MATolog[®] CURE Makes Concrete Talk!

MATolog CURE 3-in-1 Concrete IoT-Sensor:

Is using Wireless LoRa -technology and will give you all critical parameters from concrete pouring to end of sensor lifetime and will do it always **ONLINE**

Following parameters are available:

- Strength development (Mpa)
- Concrete humidity (RH%)
- Concrete temperature (°C)

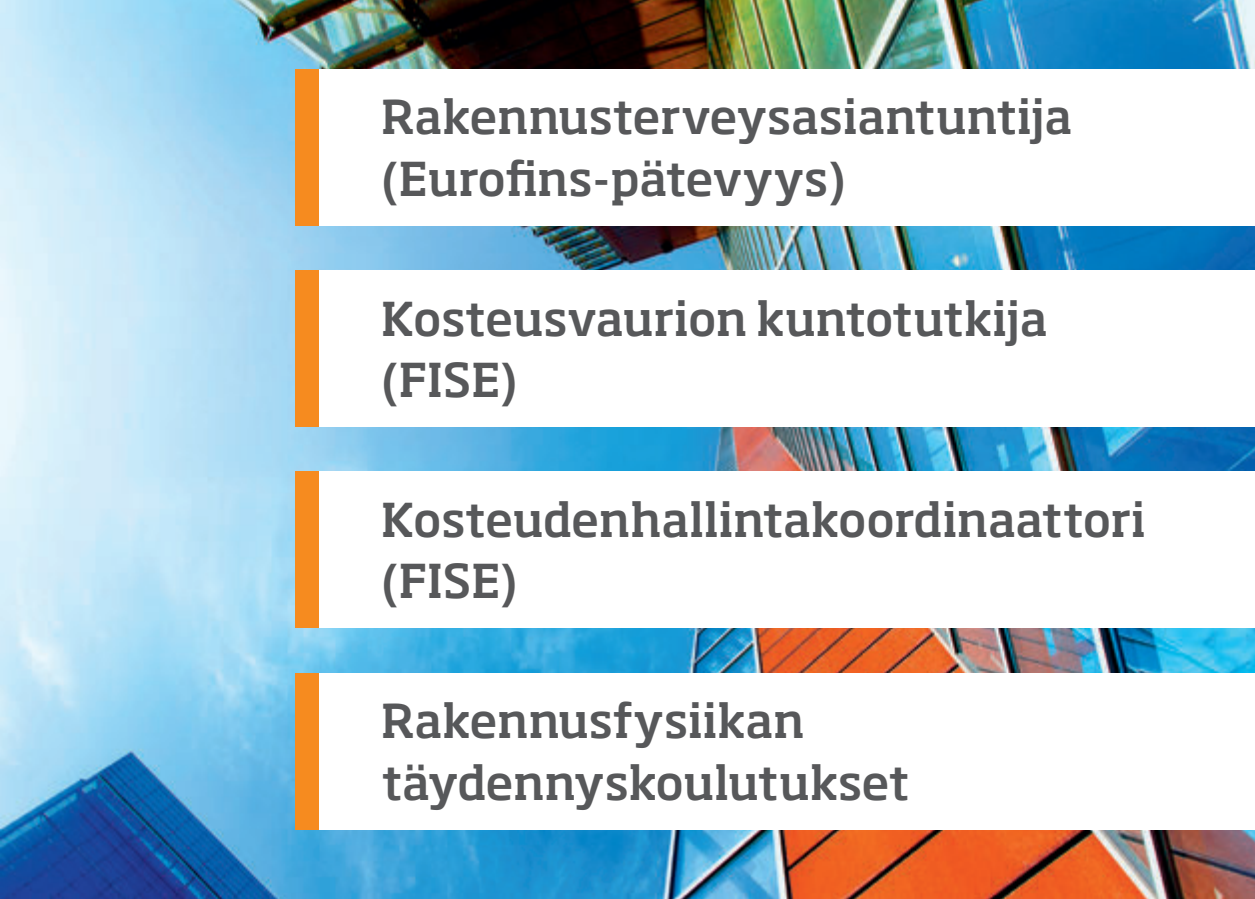


The sensor is installed before concrete pouring and provides data up to ten years

With MATolog technology construction teams can speed up construction process, avoid freezing, mould problems and improve quality and safety



Kuntotutkimus- ja kosteudenhallintakoulutukset



**Rakennusterveysasiantuntija
(Eurofins-pätevyys)**

**Kosteusvaurion kuntotutkija
(FISE)**

**Kosteudenhallintakoordinaattori
(FISE)**

**Rakennusfysiikan
täydennyskoulutukset**

www.metropolia.fi/rakennusala

Hyvä
hengitys-
ilma
on terveyttä

Sisäilman ja
rakennusterveyden
kemiallisia ja mikrobiologisia
analyysijä asiantuntijoille

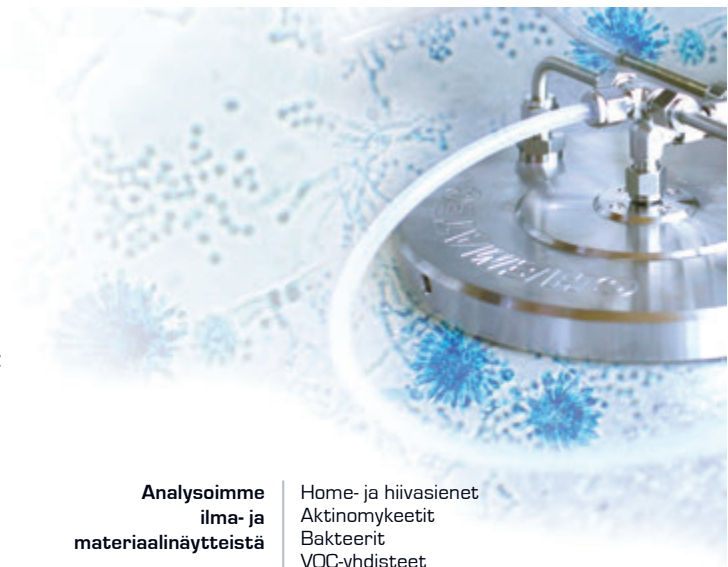
Analysoimme
ilma- ja
materiaalinäytteistä

Home- ja hiivasienet
Aktinomykeetit
Bakteerit
VOC-yhdisteet
Formaldehydi
Ammoniakki
PAH ja muut kemialliset haittatekijät

FLEC-välineistö
Myös asbestimääritykset

www.metropolilab.fi
sisaymparisto@metropolilab.fi - puh. 010 3913 505

 **MetropoliLab**





mikrobitekniikka

Suoritamme ammattitaidolla

Tutkimukset



Jos epäilet, että kiinteistössä jossa asut tai olet töissä voi olla sisäilmassa haitta-aineongelmia tai homepölyä, tutkimus antaa sinulle varmuuden epäilyjen poistamiseen.

Erikoispuhdistus



Olemme erikoistuneet homepöly- ja haitta-ainepuhdistuksiin sisäilmasta. Irtaimistojen erikoispuhdistus suoritetaan joko kohteessa tai puhdistuskeskuksessamme.

Vahinkosaneeraus



Kun hätä on suurin, niin apukin on lähellä. Vesi- tai tulipalovahingon sattuessa tulemme paikan päälle nopeasti. 24H vahinkopalvelu palvelee sinua 044 980 3878

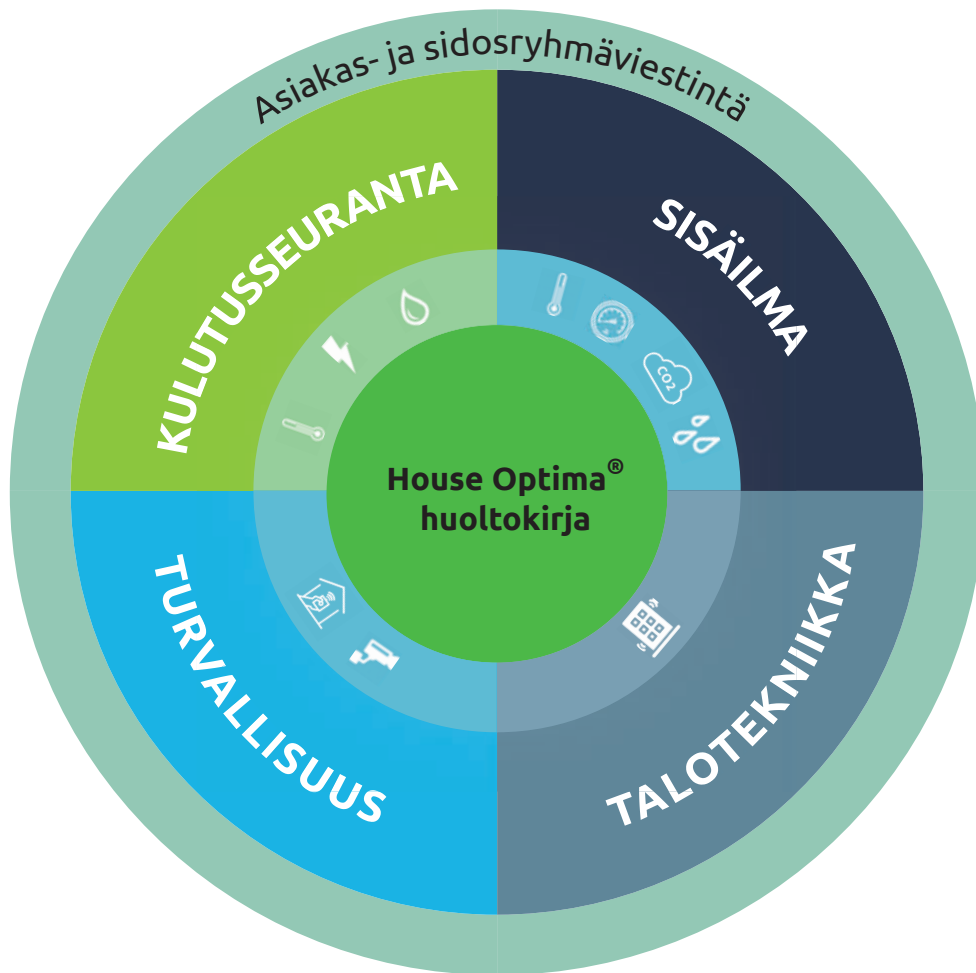
Oikein tehty työ on kaikkien etu



Ota yhteyttä ja kerro, miten voimme palvella!

JK Mikrobitekniikka Oy
Rattikatu 2, 37150 Nokia
p. 044 9781 884

www.mikrobitekniikka.fi info@mikrobitekniikka.fi



Hyvinvointia tiedolla.



optima

optima.fi



TULEVAISUUDEN KOULU

Kuntien resursseja tulisi ohjata nykyistä paremmin tärkeimpään pääomaamme, koulutukseen. Lainaaminen ja muunneltavuus ovat tätä päivää myös rakentamisessa. Lainattava rakennus ei kasvata kunnan korjausvelkaa tai turhia ylläpitokustannuksia ja se pidetään hyvässä kunnossa koko laina-ajan.

Tulevaisuuden koulu on puhdas ja turvallinen. Se on aina oikean kokoinen ja oikeassa paikassa. Tulevaisuuden koulu on päättäjiltä vastuullinen valinta.

Ota yhteyttä! parmaco.fi



TEHTIIN SITTEEN MARKKINOIDEN KUIVIN ERISTE



NIKLAS BERGMAN

Tutkimus- ja kehitysjohtaja, Paroc. Yli 20 vuoden kokemus kivillatuotteiden kehittämisestä.

Rakentamisen kosteudenhallinta on monen asian summa. Parocin kosteusturvallinen kivillaeriste mahdollistaa nopeamman rakentamisen, pitää rakenteet kuivina eikä siihen muodostu hometta. Parocin kivilla on tutkitusti kuivin eriste*.

Lue lisää VTT:llä teetetystä tutkimuksesta: tutkittujuttu.fi

*VTT 2017





Uuden sukupolven Pihla Antennilasi

Puheluiden huono kuuluvuus ja mobiilidatan hidas toiminta sisätiloissa ovat kasvavia ongelmia, sillä energiatehokkaiden rakennusten ulkoseinät, nykyaikaiset rakennusmateriaalit ja tiivis kaupunkirakentaminen vaimentavat mobiilisignaalia.

Uuden sukupolven Pihla Antennilasi tarjoaa mobiilisignaalille sujuvan etenemistien ikkunan rakenteen läpi vähentäen sisätilojen kuuluvuusongelmaa.

- Huomaamaton Antennilasi on tehokas ja turvallinen tapa varmistaa signaalinläpäisy
- Puhelut ja mobiilidata toimivat 3G-,4G- ja 5G-verkoissa operaattorista riippumatta
- Ekologinen ratkaisu, ei vaadi sähköä tai huoltoa
- Sopii Pihlan kaikkiin ikkunoihin ja oviin
- Helppo hankkia osana ikkuna- ja ovivalintaa

Pihla osastolla 35 Rakennusfysiikkaseminaarissa





OIKEA LÄMPÖ OIKEAAN PAIKKAAN



OIKEAT LÄMMITYSRATKAISUT

Oikea lämpö oikeaan paikkaan -ajattelu tarkoittaa miellyttävän sisäilmaston luominen kotiin tai muuhun oleskelupaikkaan – lämmön ja ulkoisen ilmeen avulla. Radiaattoreiden muotoja, väriä ja kokoa voi vaihdella tarpeen mukaan. Oikeat lämmitysratkaisut lisäävät sairaaloiden, hotellien, asuinrakennusten, julkisten rakennusten ja koulujen viihtyisyyttä. Sisäilma ja paljolti nimenomaan lämmitys vaikuttaa meihin enemmän kuin tiedostammekaan. Myös tekniset näkökohdat on otettava huomioon – esimerkiksi sairaaloissa radiaattoreiden on oltava hygieenisä.

PURMO 
clever heating solutions



Rakennetun ympäristön osaava kumppani hankevaiheesta toteutukseen

ÅF Pöry on merkittävä kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyhtiö.

Kehitämme maailmanlaajuisesti asiakkaillemme ratkaisuja, jotka edistävät kestävää kehitystä ja auttavat hyödyntämään kaupungistumisen ja digitalisaation tuomia mahdollisuuksia. Olemme yli 16 000 sitoutunutta asiantuntijaa, jotka kehittävät kestäviä, uuden sukupolven ratkaisuja infra-, teollisuus- ja energiasektoreille ympäri maailman.

Making Future.

 **PÖYRY**
The connected company

www.poyry.fi

KOSKA AINA EI VOI OLLA PERJANTAI



Perjantaisin ilmestyvä Rakennuslehti kertoo kaiken olennaisen rakennusalasta tiiviissä paketissa. Koska aina ei ole perjantai ja rakentamisessa tapahtuu koko ajan, tuoreet uutiset löytyvät viikon muinakin päivinä verkkolehdestä osoitteessa www.rakennuslehti.fi. Tilaajana pääset lukemaan kaikkea digisisältöä missä ja milloin vain haluat. Näillä kolmella helpolla askeleella olet laajemman sisällön parissa.

1

Ota esille henkilökohtainen tilaustunnuksesi. Se löytyy lehden osoitekentästä, laskusta tai liittojäsenillä myös jäsennumerosta.

2

Mene osoitteeseen www.rakennuslehti.fi/rekisteroidy. Tee rekisteröinti sivustolle ja luo käyttäjätunnus sekä salasana.

3

Kirjaudu tunnuksellasi ja salasanasillasi, ja pääset lukemaan vain tilaajille tarkoitettuja sisältöjä niin verkossa kuin mobiilissakin.

Rakennuslehti

Kaikki mitä tietää pitää



Rakennustarkastusyhdistys RTY ry.

RT tietoväylä – suorin tie hyvään rakennustapaan



RT tietoväylästä löydät yhdestä paikasta rakentamis- ja kiinteistöalan luotettavan ja puolueettoman tiedon ja työkalut.

> rt.rakennustieto.fi

Osta verkkokaupastamme: rakennustietokauppa.fi



Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus
312 s., 88 € (sis. alv)

UUTTA



KorjausRYL Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Julkisivut
270 s., 275 € (sis. alv)

KorjausRYL Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Esiselvitykset ja purkaminen
192 s., 275 € (sis. alv)

Uusia RT-ohjekortteja

RT 103087 Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK18
RT 103088 Rakennesuunnitelmien ulkopuolisen tarkastuksen tehtäväluettelo RTA19

RT 103002 Asuinkiinteistön kuntoarvio. Tilaajan ohje
RT 103003 Asuinkiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje
RT 103096 Toimitilakiinteistön kuntoarvio. Tilaajan ohje
RT 103097 Toimitilakiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje
RT 103098 Kiinteistön kuntoarvio. Kuntoluokan määräytyminen

RT 103079 Perusopetuksen tilat. Rakennushankkeen valmistelun lähtökohtia.

RT 103058 Palvelumuotoilu kiinteistö- ja rakentamisalalla

Tulossa pian

Vaihtoehtoisia hankinnan malleja julkisten tilojen ja infraresurssien hankintaan
PPP (Public-Private-Partnership) -malli rakennushankkeen hankinnan mallina, yleiskuvaus ja kuvaus palvelusopimuksessa sovittavista asioista

Elinkaariaasiakirjojen ohjekorttikokonaisuus: yleiskuvaus, puitesopimus ja palvelusopimus
Haitalliset aineet rakentamisessa

Työmaavalvonnassa tehtäväluettelot (talonrakennustyö, talotekniikkatyö ja maa- ja vesirakennustyöt)

RAKENNUSTIETO

rt.rakennustieto.fi

RAKLI

Tilaa elämälle

RAKLI on maamme kattavin ja vaikuttavin kiinteistöjen ammattimaisten omistajien, kiinteistösijoittajien ja rakennuttajien järjestö.

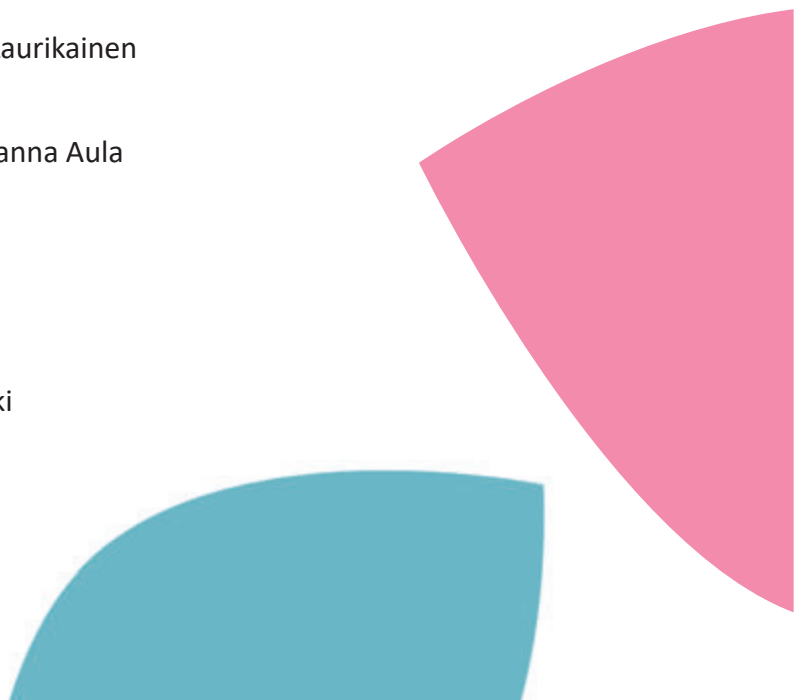
Valvomme jäsentemme etua, osallistumme yhteiskunnalliseen keskusteluun sekä teemme työtä kestävästä elinympäristön puolesta. Tarjoamme myös tutkittua tietoa vastuullisen päätöksenteon tueksi sekä kehitämme toimialaa ja jäsentemme osaamista.

Ota yhteyttä!

Toimitusjohtaja Jyrki Laurikainen
puh. 040 844 2573

Viestintäpäällikkö Susanna Aula
puh. 040 763 6994

RAKLI ry
Annankatu 24, Helsinki
www.rakli.fi
@RAKLlry



U-ARVON MITTAUKSELLA TERVEELLISTÄ JA TALOUDELLISTA KORJAUSRAKENTAMISTA

Nopea U-arvon mittausmenetelmä mahdollistaa rakennuksen eristyksen suorituskyvyn tarkan määrittämisen taloudellisesti. Jo yhden tunnin aikana salkullisella laitteita voidaan saada 5-10 mittausta kerrallaan!

TODELLISISTA U-ARVOISTA ON HYÖTYÄ ESIMERKIKSI

- laadittaessa rakennukselle energiakatselmusta ja -todistusta
- korjausrakentamisen sekä jälkiasennustyön suunnittelussa
- rakentamisen sekä materiaalien laadunvalvonnassa
- vanhojen, historiallisesti merkittävien, rakenteiden tutkimuksissa
- kosteusvaurioituneiden rakenteiden havaitsemisessa



OLE YHTEYDESSÄ!

Antti Hatsala

p. 030 670 5623

antti.hatsala@raksystems.fi

► Tutustu ja lue lisää www.raksystems.fi



 030 670 5500*  asiakaspalvelu@raksystems.fi  www.raksystems.fi

*Puhelut 030-alkuisiin numeroihin lankapuhelimista 8,35 snt/puhelu + 8,83 snt/min (alv. 24 %), matkapuhelimista 8,35 snt/puhelu + 22,32 snt/min (alv. 24 %)

Tarjoamme asiantuntijapalveluja
infrastruktuurin, ympäristön ja rakennusten
suunnitteluun, rakennuttamiseen,
rakentamiseen ja ylläpitoon sekä
johdon konsultointiin.

**TERVEITÄ
RAKENNUKSIA
(TAIDOLLA JA
TUTKIMALLA)**

fi.ramboll.com

RAMBOLL

Bright ideas. Sustainable change.

Vahvista osaamista vanhaa hyödyntäen

RATEKOn rakennusterveyden koulutusohjelmat lisäävät ja vahvistavat kosteus- ja sisäilma-ongelmien selvittämisessä vaadittavaa osaamista ja tietoa. Sisältökokonaisuudet ovat työelämälähtöisiä ja helposti käytäntöön sovellettavissa.

Opinnot muodostuvat etä- ja lähiopiskelusta, tehtävistä, tenteistä ja opinnäytetyöstä henkilökohtaisen opiskeluohjelman mukaisesti. Voit hyödyntää vanhat opintosi, sillä koulutuksen laajuus määräytyy opiskelijan aiemmin hankkiman osaamisen perusteella. Sinulla on myös mahdollisuus suorittaa useampi koulutus kerralla.

	RAKENNUSTERVEYS- ASiantuntija	KOSTEUSVAURION Kuntotutkija	SISÄILMA- ASiantuntija
RAKENNUSFYSIIKKA, FYSIKAALISET OLOSUHTEET, KUNTOTUTKIMUSMENETELMÄT, RAKENNE- JA TUOTANTOTEKNIikka, JURIDIikka	14 op	17 op	9 op
Rakennusfysiikka ja fysikaaliset olosuhteet	5 op	5 op	5 op
Kuntotutkimusmenetelmät	4 op	5 op	2 op
Rakenne- ja tuotantotekniikka	3 op	5 op	1 op
Juridiikka	2 op	2 op	1 op
ILMANVAIHTO JA ILMASTOINTITEKNIikka	3 op	3 op	3 op
Teoria	1,5 op	1,5 op	1,5 op
Tutkimusmenetelmät	1,5 op	1,5 op	1,5 op
SISÄILMAN EPÄPUHTAUDET, TERVEYSVAIKUTUKSET, TUTKIMINEN JA TORJUNTA	13 op	7 op	13 op
Sisäilman epäpuhtaudet	8 op	5 op	8 op
Sisäympäristöön tutkimusmenetelmät	3 op	1 op	3 op
Terveysvaikutukset	2 op	1 op	2 op
OPINNÄYTETYÖ	15 op	0 op	0 op
	45 op	27 op	25 op

Rakennusterveyden, sisäilma-asiantuntijan ja kosteusvaurion kuntotutkijan koulutusohjelmat alkavat tammikuussa 2020. Tutustu myös kosteusvaurion korjaussuunnittelijan ja kosteudenhallintakoordinaattorin koulutuksiin.

Ota yhteyttä, katsotaan miten voit hyödyntää osaamistasi uusissa opinnoissa. www.rateko.fi





**KORJAUSRAKENTAMISEN
TUTKIMUS- JA SUUNNITTELUPALVELUT**

www.renovatek.fi



AMMATTILAISTEN VALINTA

RIA ry on ammattikorkeakouluista ja teknillisistä oppilaitoksista valmistuneiden rakennusalan toimihenkilöiden edunvalvoja.

RIA ry on FISE:n betonirakenteiden suunnittelijoiden ja kosteusvaurion kuntotutkijoiden pätevyyslautakuntien sihteerijärjestö.

LIITY NUOREKKAASEEN JOUKKOOMME!

www.ria.fi



Roxtec

www.ruukki.fi

KAIKKI OK!

KUIVAKETJUSSA EI OLE ENÄÄ HEIKKOA LENKKIÄ.

Inhimilliset virheet, sää sekä puutteellinen suojaus ovat saattaneet katkaista kuivaketjun seinäpaneelien asennusvaiheessa ja aiheuttaa paneelien kastumisen, lisätöitä ja jopa työmaan viivästymisen.

Ruukki® Rain Protect on nyt kaikkien seinäpaneelien yläpäässä oleva suojausratkaisu, joka poistaa asennuksen aikaisen sadesuojaustarpeen ja ison huolen kaikilta projektivastaavilta. Paneelien kuivaketju on nyt varma.

Lue lisää: www.ruukki.fi/rainprotect

**RUUKKI®
RAIN
PROTECT**

RUUKKI
Building your tomorrow.

S A F A

SAFE
Drying

**PATENTOITU
UUTUUS**

**RAKENNUKSET
IKUISESTI KUIVIKSI**

ILMAN VÄISTÖTILOJA

TALOYHTIÖN PELASTUS



“Kuivatus oli pelastuksemme”

- Tapio Kojo,
hallituksen puheenjohtaja

RATKAISU KOSTEUSONGELMIIN



**“Kosteusongelmiin on
nyt ratkaisu”**

- Timo Kujanpää,
tilapalvelupäällikkö

Lue lisää:

www.safedrying.fi

Autamme rakentamaan erinomaisia elinympäristöjä ja parantamaan elämänlaatua yhdistämällä mukavuuden ja vastuullisuuden.




SAINT-GOBAIN

Ratkaisemme ja ehkäisemme sisäilmaongelmat

ASiantuntemus tuo mukanaan vastuuta. Me Siraten sertifioidut rakennusterveysasiantuntijat hallitsemme sisäilmaan liittyvät laajat ja monimutkaiset kokonaisuudet.



SIRATE

TAMPERE

046 851 4392
Tampereentie 495
33880 Lempäälä

TURKU

046 850 5088
Kutterintie 5
20900 Turku

KUOPIO

040 089 7727
Leväsentie 23
70780 Kuopio

JYVÄSKYLÄ

020 786 2430
Alasinkatu 1-3
40321 Jyväskylä

ROVANIEMI

040 029 5434
Pulkamontie 3 C
96900 Rovaniemi

www.sirate.fi

Sisäilmayhdistyksen tapahtumia

Sisäilmapaja11

Seinäjoki 13.-14.11.2019

Lähde hyvään sisäilmaan.



10.3.2020



**SISÄILMASTO
SEMINAARI**



SISÄILMAYHDISTYS

sisailmayhdistys.fi/tapahtumat

Tilaa Sisäilmauutiset- uutiskirje:
www.sisailmauutiset.fi

SITOWISE



ONNISTUNUT JA LAADUKAS SISÄILMAKORJAUS =

Erikoistuneet ja pätevyityneet asiantuntijat +
Koko hanke tutkimuksista valmiin
työn laadunvarmistukseen.

Saumattomasti saman toimijan hallussa. Ota yhteyttä!

WWW.SITOWISE.COM



SKOL ry on suunnittelu- ja konsultointialan yritysten toimialajärjestö. Edistämme hyvää suomalaista suunnittelua ja konsultointia, joka ratkaisee yhteiskunnan ja elinkeinoelämän merkittäviä tulevaisuuden haasteita.

One more reason to go green

Kerrannaisliimattu LVL G mahdollistaa
suuremmat ja lujemmat viilupuutuotteet.

Lue lisää Stora Enson uusimmasta
tuoteinnovaatiosta: www.storaenso.com/lvl



THE RENEWABLE MATERIALS COMPANY



storaenso



SYK

**SUOMEN YLIOPISTO-
KIINTEISTÖT OY**

10 VUOTTA
YEARS

SWECO RAKENNUSFYSIIKAN PALVELUT

Rakennusfysiikan osaamisemme varmistaa toimivat ja pitkäaikaiskestävät rakenteet sekä terveellisen sisäilmaston. Palvelumme kattavat koko rakentamisen ketjun sekä kiinteistön ylläpidon, ympäri Suomen.

Ydiosaamistamme on:

- Rakennusfysikaalinen suunnittelu
- Rakennusten sisäilma- ja kosteustekniset tutkimukset ja työmaan laadunvarmistuspalvelut
- Ulkovaipparakenteiden korjaustarveselvitykset ja korjaussuunnittelu
- Rakenteiden toiminnan arviointi rakennusfysikaalisen mallinnuksen avulla (FEM, CFD)
- Tuotekehitys hyödyntäen laaja-alaista kokemusta sekä rakennusfysikaalista mallinnusta
- Kosteuskoordinaattorin tehtävät
- Suunnittelijan erikoisvalvonta työmaalla
- 3. osapuolen rakennusfysikaaliset suunnitelmatarkastukset
- Asiantuntijalausunnot

WWW.SWECO.FI

SWECO 

**TAMPEREEN
TILAPALVELUT**

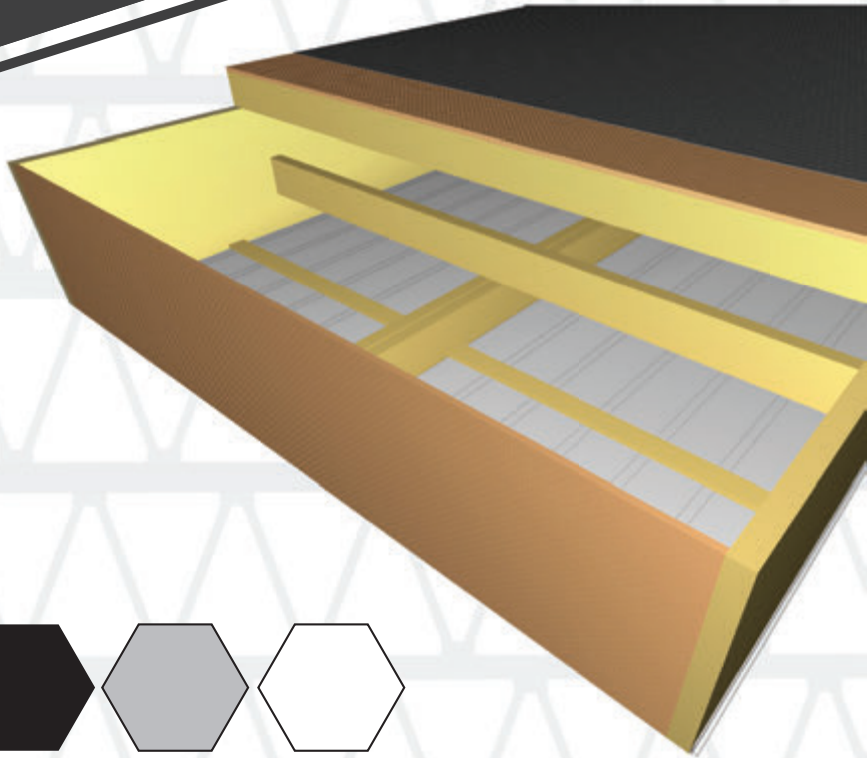




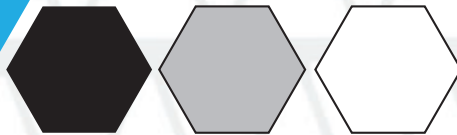
LOISTO KATTOELEMENTTI

SISÄKATTO: TERÄSOHUTLEVY

LAADUKAS
KOTIMAINEN!



SISÄKATON
VÄRIVAIHTOEHDOT



LÄMMIN KATTOELEMENTTI:

- Elementin U-arvo 0.09 W/m²K
- Kattoelementin leveys 2,4m ja max pituus 23,5m
- Jänneväli 9000mm (tuen leveys min. 215mm)
- 2-aukkoisen elementin kertopuut 2 x 51 x 480 (2.0kN/m² lumikuormalle)
- Max jänneväli 2-aukkoisena 11m
- Kattoelementtien paino 0,60kN/m²
- **Laskennallinen kantavuus mitoitetaan aina tapauskohtaisesti**

PUOLILÄMMIN KATTOELEMENTTI:

- Elementin U-arvo 0.14 W/m²K
- Kattoelementin leveys 2,4m ja max pituus 21m
- Jänneväli 7000mm (tuen leveys min. 215)
- 2-aukkoisen elementin kertopuut 2 x 51 x 350 (2.0kN/m² lumikuormalle)
- Max jänneväli 2-aukkoisena 9m
- Kattoelementtien paino 0,50kN/m²
- **Laskennallinen kantavuus mitoitetaan aina tapauskohtaisesti**

TERMATER



myynti@termater.fi • 040 159 2770 • Koulutie 142 • Veteli • termater.fi



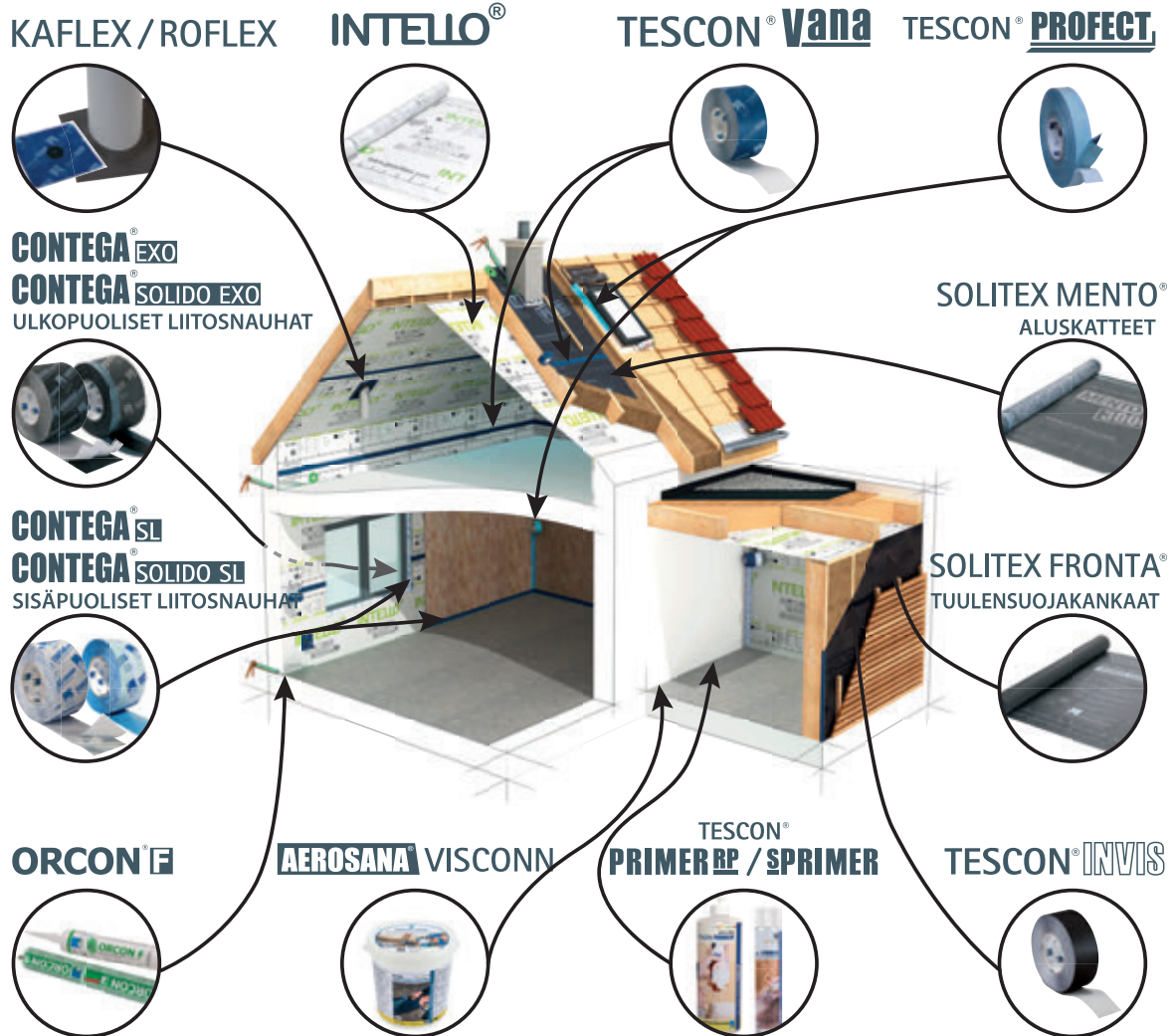
WWW.LAMOX.FI

termotuote[®]

PALKITTU JA PATENTOITU VALESOKKELIN KORJAUSMENETELMÄ: LÄMMIN - EDULLINEN - NOPEA

TIIVISTALO

TIIVISTYSJÄRJESTELMÄT RAKENTAMISEEN

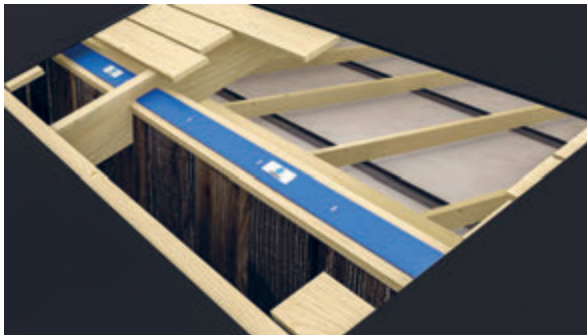


MYYNТИ
myynti@tiivistalo.fi
0207 439 670

TEKNINEN TUKI
info@tiivistalo.fi
0207 439 675

OSOITE
Yrittäjätie 24
Klaukkala

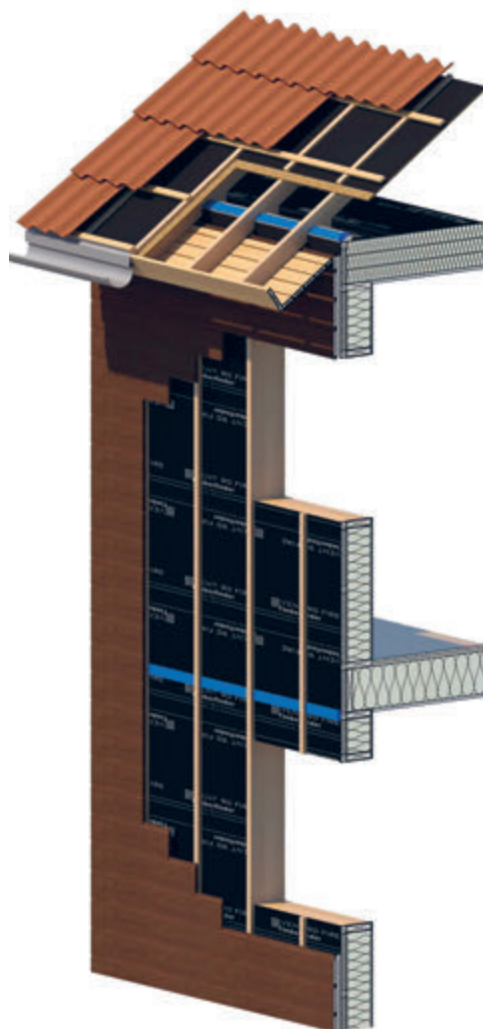
WWW.TIIVISTALO.FI



TENMAT VENT FIRESTOP

Räystään ja ulkoseinän tuuletusvälin paisuva palokatkonauha

- Täyttää palokatkolokituksien EI 30 ja EI 60 vaatimukset
- Mahdollistaa rakenteen vapaan tuulettuvuuden
- Palotilanteessa tuote paisuu ja hidastaa palon etenemistä tuuletusvälissä
- Sopii 50 mm tuuletusväleihin asti
- Nopea ja helppo asentaa



Timberfinder

WWW.TIMBERFINDER.COM

Timberfinder Oy | Karjarannantie 18, 28100 Pori | Puh. 050 3422 363 | jarno.naskali@timberfinder.com



RATKAISUJA SISÄILMAONGELMIIN

Ilmavuototiivistyksiset ja haitta-aineidenhallinta



- ✓ Haitta-aineiden läpäisevyystutkimus (Vahanen 2012, 2015)
- ✓ Lattiapinnoitteen ammoniakkin läpäisevyystutkimus (VTT-S-02095-16)
- ✓ Tarttuu ja kestää teräslattiakaivoissa ja niiden liittymissä, SFS-EN 1253-2/9.1.2



- Haitta-aineiden, asbestin, mikrobien, PAH-, VOC -yhdisteiden ja ammoniakkin sulkuna
- TKR tuotteilla ja menetelmillä pitkä käyttöhistoria, jo 30 vuotta.

www.tkr.fi

TKR
Plastic by nature





**tremco
illbruck**

TURUN YLIOPISTO | Biodiversiteetti

AEROBIOLOGIA

TURKU

RAKENNUSMIKROBIOLOGISTA OSAAMISTA VUODESTA 1991

Mikrobianalyysit:
Materiaali-,
pinta- ja ilmanäytteet

Tutkimusprojektit
ja menetelmäkehitys

Koulutukset:
Mikrobit ja sisäilma

Analyysipalvelut:
Teolliset mineraalikuidut

Laboratoriolla on Ruokaviraston myöntämä hyväksyntä terveydensuojelulain 763/1994 määrittelemille analyyseille, jotka tehdään viranomaiskäyttöön asumisterveyteen liittyvien terveyshaittojen toteamiseksi.

Postiosoite:
Aerobiologian laboratorio
20014 Turun yliopisto
Käyntiosoite:
Yliopistonmäki
Natura-rakennus 3. krs, h. 325
(Vesilinnantie 3), Turku

Puh. 050 431 3268, aerobiologit@utu.fi
www.utu.fi/aerobiologia



**TURUN
YLIOPISTO**

uponor

**SOVELTAVAA
RAKENNUSFYSIIKKA
VUOSIKYMMMENTEN
KOKEMUKSELLA**

**TUTKIVA INSINÖÖRITOIMISTO
VAHANEN RAKENNUSFYSIIKKA OY**

VAHANEN

www.vahanen.com



KAIKKI VAHINKOSANEERAUSPALVELUT YHDELTÄ TOIMIJALTA
KARTOITUKSESTA KORJAUSRAKENNUSTYÖHÖN JO VUODESTA 1996

KOSTEUSKARTOITUKSET

ASBESTIKARTOITUKSET

RAKENNEKUIVAUKSET

HOMESANEERAUKSET

KORJAUSRAKENNUSTYÖT

HAJUNPOISTOT

UUDISRAKENTAMISEN KOSTEUSSEURANTA

VAHINKOPÄIVYSTYS 24 h

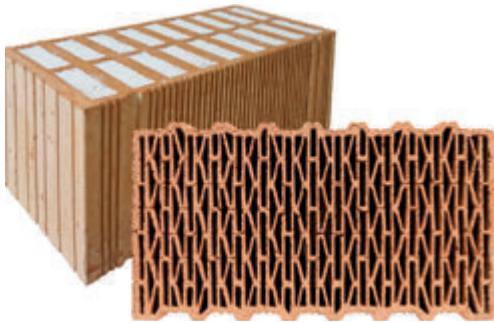
02 244 4060

vskiinteistokuivaus.fi

AUKTORISOITU VAHINKOALAN URAKOITSIJA

Hyvä sisäilma on
investointi
tulevaisuuteen

*Poroton S8 P ja Poroton U8 -harkko
(248x490x249 mm)*



Keraaminen kennoharkko jatkaa pitkää ja toimivaksi todettua tiilirakentamisen perinnettä. Yksiaineisuus on merkittävä etu, kun halutaan varmistaa seinärakenteen riskitön toimivuus ja hyvä sisäilma pitkällä aikavälillä.

Avokennoisten, ilmaeristeisten kennoharkkojen lisäksi Wienerbergerin tuotevalikoimasta löytyy myös perliittäytytteisiä harkkoja.

www.wienerberger.fi


Wienerberger



Etäluettavat ja lähiluettavat langattomat mittalaitteet rakenteisiin sekä olosuhteiden seurantaan | Kattavalla kosteusmittauksella parempi aikataulun ja laadun hallinta edullisemmin kokonaiskustannuksin | Seuranta pohjakuvista ja graafeista, sähköinen raportointi, hälytykset | Mahdollistaa automaattisen elinkaariseurannan | Integroitavissa muihin järjestelmiin

Tutustu: www.wiiste.com

WIISTE

LANGATTOMAN MITTAAMISEN EDELLÄKÄVIJÄ

woodplanet
PUURAKENNUSLIIKE



Korjausrakentamisen kokonaispalvelut

Rakennusten ja rakenteiden korjaussuunnittelu
Rakenteiden kunto- ja sisäilmatutkimukset
Materiaali-, pinta- ja ilmanäytteiden laboratorioanalyysit

YHTEYSTIEDOT:

PÄIVI NIKULA Yksikönpäällikkö, Laboratoriopalvelut
+358 40 536 6814, paivi.nikula@wsp.com

MARKKU ESTOLA Yksikönpäällikkö, Rakennustekniikka
+358 400 325 561, markku.estola@wsp.com

WSP FINLAND OY

Heikkiläntie 7, 00210 HELSINKI | Kelloportinkatu 1 D, 33100 TAMPERE
Kympinkatu 3 B, 40320 JYVÄSKYLÄ | Kiviharjunlenkki 1 D, 90220 OULU

[wsp.com](https://www.wsp.com)



PALOKATKOTUOTTEET

ETA-HYVÄKSYTYT JA CE-MERKITYT TUOTTEET



Ympäristö ja Terveys-lehti 50u.

Lehdessä julkaistaan alan asiantuntijoiden ympäristönsuojelusta, ympäristöterveydenhuollosta ja ympäristötekniikasta kirjoittamia artikkeleita. Lehti tarjoaa luotettavaa ja ajantasaista tietoa kaikille alaan liittyvistä asioista kiinnostuneille. Lehden 8 teemanumeroa vuodessa ovat kattava lukupaketti, josta saatua tietoa sovelletaan myös käytännön työssä.

RIL :n jäsenille lehtitilaukset - 50% norm. tilaushinnoista.
(Tarjous ei koske näköislehteä eikä irtonumeroita).

TILAUSHINNAT (sis. ALV. (10 %).

Vuosikerta 72,00 €

Kesto 67,00 €

Irtonumero 10,00 €

Näköislehden tilaukset: www.lehtiluukku.fi

 www.facebook.com/ymparistojaterveys.fi
 @YTerveyslehti



www.ymparistojaterveys.fi

Puhtaamman huomisen ääni



Home ja terveys

Kosteusvauriohomeiden, hiivojen ja sädesienten esiintyminen sekä terveyshaitat
Uudistettu 3. painos

Hinta 36,00

ISBN **978-952-9637-58-4**



Laboratorio-opas

Mikrobiologisten asumisterveystutkimuksien näytteenotto ja analyysimenetelmät

Hinta 22,00

ISBN **978-952-9637-61-4**

tilaukset@ymparistojaterveys.fi

Ympäristökustannus Oy | Gallen-Kallelankatu 8 | 28100 PORI | 02 630 4900 | www.ymparistojaterveys.fi