

Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto

Katja Tähtinen, Camilla Vornanen, Tuomas Alapieti, Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Paavo Kero, Heikki Miettinen, Mikko Simpanen, Juha Vinha, Heidi Salonen

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2023:57

tietokayttoon.fi

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:57

Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto

Katja Tähtinen, Camilla Vornanen, Tuomas Alapieti,
Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Paavo Kero,
Heikki Miettinen, Mikko Simpanen, Juha Vinha,
Heidi Salonen

Valtioneuvoston kanslia Helsinki 2023

Julkaisujen jakelu

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-
arkivet Valto

julkaisut.valtioneuvosto.fi

Julkaisumyynti

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston
verkkokirjakauppa**

Statsrådets
nätbokhandel

vnjulkaisumyynti.fi

Valtioneuvoston kanslia

This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use.
Commercial use is prohibited.

ISBN pdf: 978-952-383-023-3

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2023

Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2023:57

Julkaisija Valtioneuvoston kanslia

Tekijä/t Katja Tähtinen, Camilla Vornanen, Tuomas Alapieti, Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Paavo Kero, Heikki Miettinen, Mikko Simpanen, Juha Vinha, Heidi Salonen

Kieli suomi

Sivumäärä 142

Tiivistelmä Hankkeessa tutkittiin Suomen koulurakennusten rakenteiden, talotekniikan ja sisäilmaston kuntoa sekä muuttuvien sääolojen ja energiansäästötavoitteiden vaikutuksia rakentamiseen, ja tehtiin havaintoja rakennusten tietojenhallinnasta. Aineistona olivat laajat rekisteri- ja tutkimusaineistot sekä koulurakennusten kunto- ja sisäilmasto-olosuhdetiedot.

Tulosten perusteella kuntien pitäisi kehittää rakennusten ylläpidon pitkän aikavälin investointisuunnittelua ja kiinteistötietojen hallintaa. Investointisuunnittelun pohjaksi tarvitaan systemaattisemmin kerättyä, luotettavaa ja ennakoivaa tietoa rakennusten kunnosta ja sisäilmastosta. Sisäilmasto-olosuhteita tai ilmanvaihtotekniikan kuntoa ei kartoiteta järjestelmällisesti, ja ilmamäärien suunnitelmanmukaisuus on heikkoa riippumatta rakennuksen iästä tai peruskorjauksesta. Rakennuksen painesuhteiden hallintaan sekä ilmanvaihdon ajoittaisen pysäyttämisen energiahyötyjen saamiseksi tarvitaan kokonaisvaltainen tieto rakennuksesta.

Ilmastonmuutoksen haitallisia vaikutuksia rakenteiden toimintaan voidaan ennakoida ja välttää. Monet nykymääräysten mukaan toteutetut ulkovaipparakenteet toimivat jatkossakin, mutta kosteusrasitusten lisääntymisen vaikutukset suunnitteluratkaisuihin on otettava jo huomioon uudis- ja korjausrakentamisessa. Rakennuksen koko elinkaarenaikainen seuranta ja ennakoiva kunnossapito ovat entistäkin tärkeämpiä.

Klausuuli Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa. (tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.

Asiasanat koulurakennukset, kiinteistötietojen hallinta, rakenteiden kunto, sisäilmasto, ilmanvaihto, energiatehokkuus, ilmastonmuutokset, kosteusrasitus, tutkimus, tutkimustoiminta

ISBN PDF 978-952-383-023-3

ISSN PDF 2342-6799

Julkaisun osoite <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-023-3>

Skolbyggnaders skick och inomhusklimat

Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2023:57

Utgivare Statsrådets kansli

Författare Katja Tähtinen, Camilla Vornanen, Tuomas Alapieti, Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Paavo Kero, Heikki Miettinen, Mikko Simpanen, Juha Vinha, Heidi Salonen

Språk finska **Sidantal** 142

Referat Projektet undersökte skicket på konstruktionerna, hustekniken och inomhusklimatet i finska skolbyggnader, hur föränderlig väderlek och energisparmål påverkar byggandet, och gjorde observationer om datahanteringen för byggnaderna. Materialet bestod av omfattande register- och undersökningsdata samt data om byggnadernas skick och inomhusklimat.

Utifrån resultaten borde kommunerna utveckla långsiktig investeringsplanering och hantering av fastighetsdata för fastighetsunderhållet. Investeringsplanering kräver underlag med mer systematiskt insamlad, tillförlitlig och föregripande information om byggnadernas skick och inomhusklimat. Klimatförhållandena inomhus och ventilationsteknikens skick kartläggs inte systematiskt, och luftvolymerna utformas inte planmässigt, oavsett byggnadens ålder eller renovering. För att få kontroll över tryckförhållandena i en byggnad och tillvarata energifördelarna med tidvis avstängd ventilation krävs en övergripande kunskap om byggnaden.

Klimatförändringarnas negativa effekter på konstruktionernas funktion kan förutses och undvikas. Många av de klimatskärmkonstruktioner som utförts enligt dagens bestämmelser fungerar även framöver, men effekterna av ökad fuktbelastning på konstruktionslösningarna måste redan nu beaktas i ny- och ombyggnadsprojekt. Uppföljning av en byggnad över hela livscykeln och föregripande underhåll är viktigare än förut.

Klausul Den här publikationen är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan. (tietokaytoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.

Nyckelord skolbyggnader, fastighetsdata, skicket på konstruktionerna, inomhusklimat, ventilation, energieffektivitet, klimatförändringar, fuktbelastning, forskning, forskningsverksamhet

ISBN PDF 978-952-383-023-3

ISSN PDF 2342-6799

URN-adress <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-023-3>

Condition and indoor climate of school buildings

Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2023:57

Publisher Prime Minister's Office

Author(s) Katja Tähtinen, Camilla Vornanen, Tuomas Alapieti, Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta, Paavo Kero, Heikki Miettinen, Mikko Simpanen, Juha Vinha, Heidi Salonen

Language Finnish **Pages** 142

Abstract The project examined Finnish school buildings, focusing on their structural condition, the quality of building services and indoor air. It also considered the impact of climate change on construction and building data management. A wide range of data was analysed, including registers, surveys and data on building condition and indoor air quality.

The findings recommend that local authorities develop their long-term investment planning and property data management for the purpose of building maintenance. This requires systematically collected, reliable and proactive data on building condition and indoor air quality. Currently, there is no comprehensive programme for monitoring indoor air quality or the condition of ventilation systems, and compliance with design air volumes is poor, regardless of building age or repair status. Comprehensive data is essential to manage pressure ratios and achieve energy benefits from intermittent ventilation shutdown.

The adverse effects of climate change on structures can be anticipated and mitigated. While many code-compliant envelope structures will remain suitable, designing for increased moisture stress has become essential for new and refurbished buildings. Lifecycle monitoring and proactive maintenance are now more critical than ever.

Provision This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

Keywords school buildings, property data management, structural condition, indoor climate, ventilation, energy efficiency, climate changes, moisture stress, research, research activities

ISBN PDF 978-952-383-023-3 **ISSN PDF** 2342-6799

URN address <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-023-3>

Sisältö

1	Johdanto	10
2	Koulurakennusten määrä, laatu ja nykytilanne	13
2.1	Aineisto	13
2.2	Menetelmät	16
2.3	Tulokset.....	16
2.3.1	Koulujen ja oppilaiden määrät	16
2.3.2	Koulurakennusten rakentaminen	21
2.3.3	Koulurakennusten kunto.....	24
2.3.4	Koulujen koko.....	26
2.3.5	Investoinnit koulurakennuksiin.....	28
2.4	Johtopäätökset.....	31
2.5	Yhteenveto ja suositukset	32
3	Koulurakennusten kunto ja sisäilma	33
3.1	Aineisto	34
3.2	Menetelmät	35
3.3	Tulokset.....	38
3.3.1	Ikäjakamat	38
3.3.2	Peruskorjaukset.....	40
3.3.3	Kosteus- ja sisäilmatekniset sekä muut kuntotutkimukset.....	41
3.3.4	Poikkeava kosteus ja sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät.....	43
3.3.5	Rakenteet	46
3.3.6	Painesuhteet ja rakenteiden ilmapuodot.....	81
3.3.7	Ilmanvaihtojärjestelmä ja ilmavirrat	85
3.3.8	Altistumisolosuhteiden arviointi	91
3.3.9	Kuntoarviot	92
3.4	Johtopäätökset.....	94
3.4.1	Rakennusten yleistiedot	94
3.4.2	Tiedonhallinta	95
3.4.3	Peruskorjaukset.....	96
3.4.4	Kosteus- ja sisäilmatekniset sekä muut kuntotutkimukset.....	97

3.4.5	Poikkeava kosteus ja sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät sekä altistumisolosuhteet.....	98
3.4.6	Rakenteet.....	100
3.4.7	Painesuhteet ja rakenteiden ilmapuodot.....	102
3.4.8	Ilmanvaihtojärjestelmä ja ilmavirrat	103
3.4.9	Kuntoarviot	105
3.5	Yhteenveto ja suositukset	106
4	Ilmanvaihdon säätöratkaisut ja vaipparakenteiden kosteusturvallisuus	108
4.1	Aineisto	108
4.2	Menetelmät	111
4.3	Tulokset.....	111
4.3.1	Ilmanvaihdon tyypillinen ohjaustapa.....	111
4.3.2	Kenttätutkimuksissa havaitut sisäilmaston olosuhteet.....	113
4.3.3	Yöilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutus sisäilman laatuun	120
4.3.4	Toimiviksi havaitut ilmanvaihdon käyttötavat.....	122
4.3.5	Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaipparakenteisiin.....	123
4.3.6	Energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset vaipparakenteisiin.....	128
4.3.7	Vaipparakenteiden suositeltavat rakenneratkaisut.....	129
4.4	Johtopäätökset.....	131
4.5	Yhteenveto ja suositukset	132
5	Johtopäätökset	133
6	Yhteenveto ja suositukset	136
	Lähteet.....	138

ESIPUHE

Koulurakennusten kunto ja sisäilmasto (KouluKunto) -hanke vastaa valtioneuvoston kanslian esittämään tarpeeseen tuottaa yhtenäistä, kokoavaa tietoa Suomen peruskoulu- ja lukiorakennusten kunnosta. Erityisesti koulujen sisäilmasto on puhuttanut Suomessa pitkään ja siitä on vallalla ristiriitaisiakin käsityksiä. Myös erilaiset ilmanvaihdon suunnitteluun ja säätöön liittyvät ongelmat ja niiden vaikutukset sisäilmastoon ovat olleet tiedossa, mutta kokonaisvaltainen käsitys niistä sekä ilmanvaihtoteknisten tutkimusten säännönmukaisesta toteutuksesta muiden tutkimusten ohessa on ollut puutteellinen.

Tämä tutkimushanke tuotti tietoa koulurakennusten kunnosta ja ilmanvaihtoon liittyvistä tekijöistä hyvän sisäilmaston, rakennusten ylläpidon, korjaamisen ja energiansäästön näkökulmista, sekä tietojen hallinnasta ja saatavuudesta kuntien järjestelmissä. Raportissa esitetään lisäksi kattavasti uusin, tutkimukseen perustuva tieto nopeasti etenevän ilmastomuutoksen ja muuttuvien sääolosuhteiden vaikutuksista rakennusten kosteustekniseen toimintaan. Ajantasainen tieto on ensiarvoisen tärkeää niin suunnitteluohjeiden ja -määräysten laatijoille kuin kunnillekin koulurakennusten omistajina, jotta uudis- ja korjausrakentamisessa voidaan varautua ennakoivasti tulevaisuuden ilmastoon sekä rakennusten ylläpitoon ja korjaamiseen.

Hankkeen rahoitti valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. Hankkeen toteuttivat Aalto-yliopiston Rakennustekniikan laitos, Rakennustietosäätiö RTS sr, Tampereen yliopiston Rakennustekniikan yksikkö ja Suomen Kuntaliitto ry yhteistyössä FCG Consulting Group Oy:n kanssa. Valtioneuvoston kanslian hankkeelle asettaman ohjausryhmän puheenjohtajana toimi yli-insinööri Katja Outinen ympäristöministeriöstä (30.9.2023 saakka valtioneuvoston kanslian johtava asiantuntija), ja ohjausryhmän jäsenenä neuvotteleva virkamies Vesa Pekkola sosiaali- ja terveysministeriöstä ja rakennusneuvos Mikko Helasvuo opetus- ja kulttuuriministeriöstä. Hankkeen alkuvaiheessa ympäristöministeriön edustajana ohjausryhmässä toimi myös yli-insinööri Timo Lahti.

Aalto-yliopistossa hankekokonaisuudesta ja raportin kirjoittamisesta vastasivat yliopisto-opettaja Camilla Vornanen, joka toimi myös hankkeen projektipäällikkönä, sekä

tutkija Tuomas Alapieti, joka koosti ja analysoi koulurakennusten kuntotiedot. Vastuullisena johtajana toimi professori Heidi Salonen. Rakennustietosäätiössä hankkeen suunnittelusta, kuntayhteistyöstä, koulurakennusten kuntotietojen keräämisestä ja analysoinnista sekä kirjoittamisesta vastasi tutkimusjohtaja Katja Tähtinen. Tampereen yliopiston osuuden hankkeesta tuottivat ja kirjoittivat tutkijat Tuomas Raunima ja Ilkka Valovirta sekä professori Juha Vinha. Kuntaliiton osuuden ohjauksesta vastasi Kuntaliiton tilapalvelupäällikkö Mikko Simpanen, ja tietojen kokoamisesta ja kirjoitustyöstä FCG Consulting Group Oy:n projektipäällikkö Paavo Kero ja tutkimuspäällikkö Heikki Miettinen.

Hanketoimijat kiittävät ohjausryhmää hyvästä yhteistyöstä, asiantuntevasta ohjauksesta ja arvokkaista kommentteista. Kiitokset myös Epsi Rating Finlandille koulurakennusten tutkimustietojen tilastollisesta käsittelystä, Mikael Lindqvistille tutkimustietojen keräämiseen osallistumisesta sekä Jussi Niemelle ja Hanne Lindqvistille hankkeen suunnitteluun ja alkuvaiheeseen osallistumisesta. Erityiset kiitokset tutkimuksen mahdollistamisesta osoitamme kunnille, jotka osallistuivat hankkeeseen, ja kuntien yhteishenkilöille, jotka järjestivät tutkijoille pääsyn koulurakennusten tutkimus- ja korjaustietoihin.

KouluKunto-hanke tukee Terveet tilat 2028 -ohjelmaa sekä sen tavoitteita auttaa kuntia ennakoivassa kiinteistönpidossa ja tervehdyttää julkisia rakennuksia. Toivomme, että hanke tarjoaa kunnille tietoa hyödynnettäväksi koulukiinteistökannan ylläpidossa ja korjaamisessa niin, että edistetään paitsi taloudellisten resurssien järkevää kohdentamista, myös opetusrakennusten hyvää sisäilmastoa ja kestävästä rakentamisesta tavoitteita.

Syyskuussa 2023

Tutkimusryhmän puolesta Camilla Vornanen

1 Johdanto

Poliittisen päätöksenteon päämääränä on rakentamisen laadun parantaminen, sisäilmahaittoihin puuttuminen ja lainsäädännön kehittäminen tavoitteiden edistämiseksi. Rakennuskantamme ikärakenteen vuoksi olisi uudisrakentamisen laadun parantamisen lisäksi keskityttävä nykyisen rakennuskannan korjaamiseen sekä ennakoivaan kiinteistönpitoon, joka takaa tilankäyttäjille terveelliset ja turvalliset sisäympäristöt. Tarkoituksenmukaisesti ja oikea-aikaisesti korjattu rakennus ylläpitää hyvää sisäympäristön laatua ja tilojen käyttäjien hyvinvointia sekä rakennuksen palvelukykyä kokonaisuutena.

Kunnat ovat aiemmissa selvityksissä raportoineet ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat ja kosteus- ja mikrobivauriot yleisimmiksi sisäilmaongelmia aiheuttaviksi tekijöiksi omistamissaan rakennuksissa. Kuntien rakennuksissa merkittävistä sisäilmaongelmista kärsitään eniten peruskouluissa ja lukioissa: 18 %:ssa rakennustyyppien kokonaisneliömäärästä. Kiinteistökannan ikärakenteellinen ongelma ja riittämättömät investoinnit ovat merkittävimpiä taustasyitä sisäilmaongelmille. (Salminen ym., 2019; Kero ym., 2021) Kunnissa on paljon korjausissä olevia tai sen ylittäneitä rakennuksia ja samaan aikaan taloudelliset resurssit ovat rajalliset (ROTI 2021). Kuntien julkisten rakennusten perusparannustarve toiminnallisine ja laaturparannuksineen onkin yli 16 mrd. euroa (ROTI 2019).

Työterveyslaitoksen sisäilmastokyselyjen mukaan kunta-alan työntekijät ja heistä juuri opetus- ja hoitotyötä tekevät kokevat yleisimmin sisäilmaan liitettyjä oireita ja olosuhdehaittoja työpaikoilla (Tähtinen ym., 2020). Opetus- ja hoitotyössä koettiin olosuhdehaittoja erityisesti huonolaatuisesta ja kuivasta sisäilmasta sekä riittämättömästä ilmanvaihdosta. Pelkkien kyselyiden avulla ei voida kuitenkaan arvioida luotettavasti, mitkä tekijät aiheuttavat tilojen käyttäjille oireita tai olosuhdehaittakokemuksia. Siksi on tärkeää selvittää rakennuksen ja sen järjestelmien vaikutus sisäilmastoon ja altistumisolosuhteisiin. (Tähtinen ym., 2020). Sisäilmastoon liitetyt ongelmatilanteet ovat aina monisyisiä kokonaisuuksia, joissa havaittujen sisäilmastohaittojen, rakennusten kunnan ja talotekniikan toimivuuden välinen yhteys on selvitettävä.

Kuntalain (410/2015) sekä erityislainsäädännön perusteella kunnilla on yleinen vastuu oppilaiden terveydestä, turvallisuudesta ja hyvinvoinnista. Maankäyttö- ja rakennuslain 166 §:n mukaan rakennus ympäristöineen on pidettävä sellaisessa kunnossa, että se täyttää terveellisyyden, turvallisuuden ja käyttökelpoisuuden vaatimukset. Vastaava pykälä on myös uudessa rakentamislaissa, joka tulee voimaan 1.1.2025. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen terveydellisistä vaatimuksista on säädetty terveydensuojelulain (763/1994) 26 ja 27 §:ssä. Kattavasta lainsäädännöstä huolimatta yhteisten toimintaohjeiden laatiminen sen tutkimiseksi ja arvioimiseksi, miten rakenteet

ja talotekniikan järjestelmät vaikuttavat sisäilmasto- ja altistumisolosuhteisiin, on ollut käytännössä vaikeaa (Reijula ym., 2012; Tähtinen, 2020).

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että kuntotutkimuksiin liittyvissä asiakirjoissa on puutteita, ja kuntotutkimusraporttien ja -lausuntojen laadussa varsin huomattavaa vaihtelua (Marttila ym., 2015). Siten eri tietojen ja tulosten vertailu rakennusten ja järjestelmien kunnosta sekä niiden vaikutuksesta sisäilmastoon ja altistumisolosuhteisiin on ollut lähes mahdotonta, ja kokonaiskuva sisäilmastoon ja altistumisolosuhteisiin vaikuttavista tekijöistä on puuttunut. Tämä on johtanut vaikeasti hahmotettaviin kokonaisuuksiin kuntien rakennuskannan korjaustarpeista ja korjausten priorisoinnista sekä vaikeuttanut päätöksentekoa. Lisäksi kokonaiskuvan puute on voinut vaikuttaa suuren yleisön riskikäsityksiin sisäilmasto-ongelmien määrästä, laadusta ja syistä (Huttunen, 2021).

Nykyään rakennusalan sekä ympäristö- ja rakennusterveyden asiantuntijoilla on käytössä yhtenäiset, alan laajassa yhteistyössä tuotetut ohjeet kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten tekemiseksi ja tulosten tulkitsemiseksi (Pitkäranta (toim.), 2016) sekä altistumisolosuhteiden arvioimiseksi (Lappalainen ym., 2017; Isokääntä & Rautiala, 2023). Menetelmät ja ohjeet ovat laajasti konsulttitoimistojen käytössä ja niistä annetaan koulutusta täydennys- ja pätevöitymiskoulutuksissa (sisäilma- ja rakennusterveysasiantuntijat sekä kosteusvauriokuntotutkijat), mikä on parantanut viimeisen viiden vuoden aikana tehtyjen rakennusten kosteus- ja sisäilmateknisten tutkimusten ja niistä tuotettujen dokumenttien laatua, yhdenmukaisuutta ja vertailukelpoisuutta.

Energiatehokkuusdirektiivin (EPBD) 2010/31/EU myötä laadukkaaseen sisäympäristöön tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota. Direktiivi edellyttää energian säästöä esimerkiksi ilmanvaihdon osalta. Suomen kunnissa on tällä hetkellä vaihtelevia käytäntöjä palvelurakennusten ilmanvaihdon käyttämiselle. Osassa kunnista ilmanvaihtoa käytetään jatkuvasti ja toisissa rakennusten käyttöaikojen mukaan (Kuntien sisäilmaverkosto, 2019). Ilmanvaihto ja sen muutokset käyttö- ja poissaoloaikoina synnyttävät kuitenkin monissa rakennuksissa suuria paine-eroja vaipparakenteiden yli (Vinha ym., 2019). Tyypillisesti poissaoloaikoina tehtävä pääilmanvaihdon pysäyttäminen lisää alipainetta rakennuksissa, koska likaisten tilojen erillispoistot jäävät kuitenkin päälle, mikä aiheuttaa mahdollisten epäpuhtauksien ja haitta-aineiden kulkeutumista rakenteista sisäilmaan. Ratkaisuna tähän on esitetty ilmanvaihdon kokonaan sammuttamista poissaoloaikoina eli myös erillispoistojen sammuttamista (Tampereen yliopisto, 2020). Kaiken kaikkiaan aihealueesta on vielä vähän tutkittua tietoa. Ennakoivasti tuotetun tutkitun tiedon avulla voidaan ohjeistaa ilmanvaihdon käyntiajat siten, ettei aiheuteta paine-eroja vaipan yli ja toisaalta rakenteille lämpö- ja kosteusteknistä riskiä.

Ilmastonmuutoksen vaikutukset säähän ovat olleet nopeampia kuin aikaisemmin on ennustettu, ja muutosten vaikutuksia rakennuksiin on tarkasteltava ennakoivasti. Ilmatieteen laitoksen julkaisemia säähavaintoihin pohjautuvia uusia tuloksia (2020) voidaan käyttää jatkossa laskelmien pohjana arvioitaessa rakennusten energiantarvetta ja rakennusfysikaalista toimintaa nykyisessä ja tulevassa ilmastossa (Jylhä ym., 2020). On tärkeää, että tarkastelu ulotetaan jo 2100-vuoden ilmastoon, jotta rakenteiden kosteustekniseen toimintaan saadaan lisävarmuutta ja vikasietoisuutta. Tarkastelujen täytyy myös olla pohjana rakentamisen toteutusohjeiden laadinnalle.

Tämän tutkimushankkeen tavoitteina oli tuottaa kattava kokonaiskuva Manner-Suomen yleissivistävän oppilaitosrakennuskannan kunnosta ja sisäilmaston nykytilanteesta, sekä tietoa ilmastonmuutoksen, ilmanvaihdon käytön ja paine-erojen (vaipan yli) vaikutuksesta rakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen, sisätilojen olosuhteisiin ja rakenteiden kosteusturvallisuuteen. Tutkimuksen kohteena olivat peruskoulu- ja lukiorakennukset, joissa tarkasteltiin rakenteiden ja talotekniikan kuntoa sekä sisäilmastoa, ja niihin vaikuttavia rakennusfysikaalisia ja ilmanvaihdon tekijöitä. Hankkeen lähtökohtana olivat seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mikä on yleissivistävän oppilaitosrakennuskannan kunto ja sisäilmaston tila Suomessa?
2. Mitä johtopäätöksiä tulosten perusteella voidaan tehdä yleissivistävän oppilaitosrakennuskannan tilanteesta?
3. Miten oppilaitosrakennusten kiinteistökannan hallintaa voidaan ohjata tulosten perusteella?

2 Koulurakennusten määrä, laatu ja nykytilanne

Paavo Kero ja Heikki Miettinen

Tässä osiossa tarkasteltiin oppilaitosrakennusten kokonaismäärää, ikää ja investointitilannetta laajan rekisteriaineiston avulla. Aineistona käytettiin kuntien kiinteistökantaa ja oppilaitosrakennuksiin liittyviä tilastorekistereitä, joita ovat Tilastokeskuksen, Valtiokonttorin ja Maakuntien tilakeskuksen rekisterit.

Tilastokeskuksen ja Valtiokonttorin tiedoista tarkasteltiin erityisesti perusopetuksen rakennuksiin kohdistettujen vuosittaisten uudis- ja korjausinvestointien määrää (euroina) ja niiden kehitystä viimeisten seitsemän vuoden aikana. Lisäksi analyysissä hyödynnettiin FCG Finnish Consulting Group Oy:n kerryttämää laajaa teknistä aineistoa rakennusten kuntotiedoista ja tulevista korjauskustannuksista.

Tietojen avulla tunnistettiin korjauskustannuksiltaan merkittävät rakenteet ja arvioitiin eri rakenteiden ja järjestelmien korjauskustannusten vaikutusta kokonaiskustannusten muodostumiseen. Maakuntien tilakeskuksen tietokannasta tarkasteltiin kuntien ilmoittamia koulurakennusten kuntoluokkia.

2.1 Aineisto

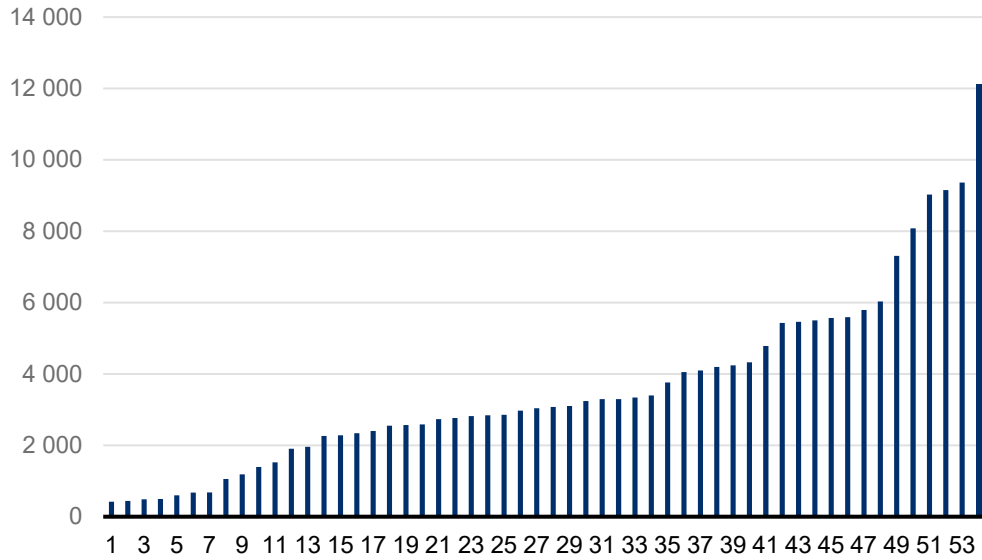
Digi- ja väestötietoviraston (DVV) ylläpitämän väestötietojärjestelmän rakennus- ja huoneistorekisterissä on tiedot Suomen rakennuksista. Rekisteri sisältää tiedot muun muassa rakennuksen käyttötarkoituksesta, omistajasta, kerrosalasta ja rakennus- ja perusparannusvuodesta. Vuonna 1980 rakennusten perustiedot kerättiin väestötietojärjestelmään väestö- ja asuntolaskennan yhteydessä lomakekyselynä rakennuksen omistajilta ja huoneistojen haltijoilta, ja 1.11.1980 jälkeen tiedot luvanvaraisista rakennushankkeista (uusista rakennuksista ja asuinhuoneistoista sekä muutostöistä) on saatu suoraan kunnista. Ennen vuotta 1980 valmistuneista rakennuksista on väestötietojärjestelmässä hieman suppeammat tiedot kuin uusista rakennuksista. Tässä tarkastelussa rakennus- ja huoneistorekisteristä haettiin tietoja rajaamalla käyttötarkoitukseksi peruskoulut ja lukiot, ja rakennuksen omistajaksi kunta tai kunnan omistama yritys.

Tiedot kuntien investoinneista keräsi vuoteen 2020 saakka Tilastokeskus ja vuodesta 2021 alkaen Valtiokonttori. Kuntien investoinnit rakennuksiin perustuvat kuntien tilinpäätöksiin. Tilastossa investoinneista on eritelty uusinvestoinnit ja korjausinvestoinnit sekä rakennuksen käyttötarkoitus. Pienet, suuruusluokaltaan tuhansien eurojen tasoiset, korjaukset kirjataan kuitenkin käyttötalouden menoihin.

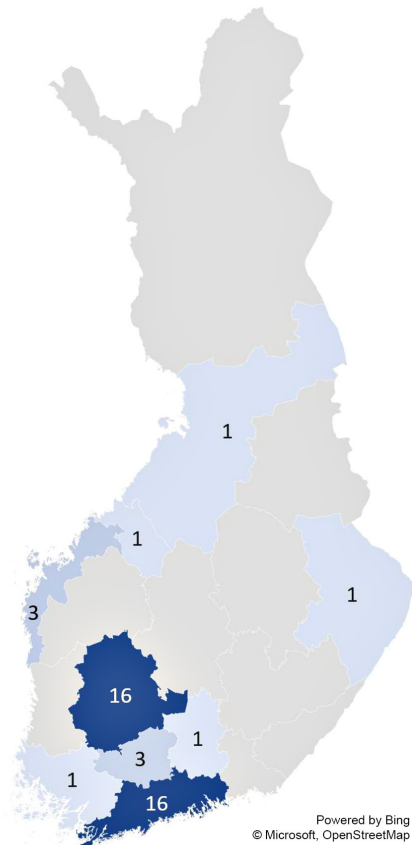
Tilastokeskus pitää yllä tilastoa koulutuksen järjestäjistä ja oppilaitoksista (Tilastokeskus 2023). Tilasto kuvaa julkisen viranomaisen valvoman koulutuksen järjestäjä- ja oppilaitosverkon, siinä tapahtuneet muutokset, osoitetiedot sekä opiskelijamäärät. Tiedot kerätään kyselyllä ja julkaistaan kerran vuodessa. Kunnat puolestaan ylläpitävät tilatietojaan Maakuntien tilakeskuksen kanssa Skenarios-palvelussa, joka kokoaa yhteen kunnan tilatiedot rakennustasolla, tilojen kustannus- ja investointitiedot sekä mahdolliset vuokrasopimukset. 1.10.2022 Maakuntien tilakeskuksen tuottamat kuntien tilatietopalvelut siirtyivät Senaatti-kiinteistöihin.

Tässä tutkimuksessa koulurakennusten kuntoa ja erityisesti korjauskustannuksia tarkasteltiin edellä mainittujen aineistojen lisäksi FCG Finnish Consulting Group Oy:n (FCG) vuosina 2017–2021 laatimien yli 200 kohteen kuntotutkimuksen ja korjauskustannuslaskentatietojen avulla. Näistä kohteista koulurakennuksia oli 54 kappaletta. Tarkasteltujen kohteiden pinta-alat vaihtelivat alle 500 m²:n kohteista yli 10 000 m²:n kohteisiin ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala on lähes 200 000 bruttoneliometriä. Kohteet sijaitsivat ympäri Suomea painottuen kuitenkin selkeästi Pirkanmaan ja Uudenmaan alueille. Tarkasteltujen kohteiden pinta-alat ja määrät maakunnittain on esitetty Kuvioissa 1 ja 2.

Kuvio 1. Tarkasteltujen kohteiden pinta-alat[brm2].



Kuvio 2. Tarkasteltujen kohteiden määrät maakunnittain.



2.2 Menetelmät

Rakennus- ja huoneistorekisterissä (DVV) tarkastelu rajattiin peruskoulujen ja lukioiden omistajan nimen ja omistajaluokan mukaan omistajaluokkiin a) kunnan liikelaitos ja b) kunta tai kuntayhtymä. Rekisterin tietoja vertaamalla havaittiin, että mukana oli 234 koulua, joissa omistajaluokka oli kunta tai kuntayhtymä, mutta omistajana yksityinen henkilö tai yksityinen yritys tai omistajatietoa ei ollut lainkaan. Nämä 234 koulua poistettiin aineistosta. Niiden yhteenlaskettu kerrosala oli 537 246 m². Virheellinen tieto on syntynyt todennäköisesti kiinteistökaupan yhteydessä, jossa omistajalajitieto on jäänyt päivittämättä rakennus- ja huoneistorekisteriin.

Rakennus- ja huoneistorekisterissä ei ole tietoa kaikkien rakennusten kerrosalasta. Aineistoa on tällöin korjattu käyttämällä rakennuksen kerrosalana peruskoulujen ja lukioiden keskimääristä kerrosalaa.

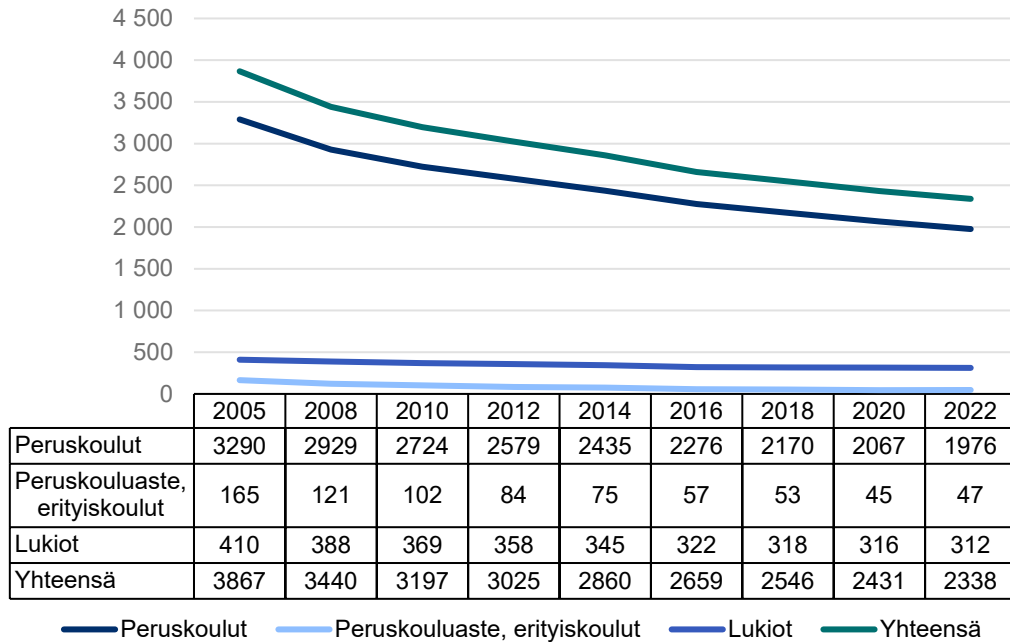
Tulosten havainnollistamiseksi ne luokiteltiin kuntien ominaisuuksien mukaisiin luokkiin. Luokitteluperusteita olivat kunnan asukasluku, kunnan asukasluvun kasvu ja kuntatyyppi. Nopeasti kasvavissa kunnissa väestö kasvaa vuodessa vähintään 1 % ja kasvavissa alle 1 %, ja väestöään menettävissä kunnissa väestö vähenee alle 1 % ja väestöään nopeasti menettävissä yli 1 % vuodessa. Kuntatyyppejä ovat suuret kaupungit, kaupunkimaiset kunnat, taajaan asutut kunnat ja maaseutumaiset kunnat.

FCG:n aineiston jokaisesta tarkasteltavasta kohteesta on laadittu kosteustekninen kuntotutkimus ja tämän perusteella korjaustapaehdotus sekä korjauskustannuslaskenta. Kustannuslaskelmat on laadittu rakennusosa-arviotasoisina ja ne on toteutettu RT-kus-tannuslaskenta-ohjelmistolla. Kaikissa vaiheissa on käytetty samaa rakenne-luokitusta, joten kohteiden kustannukset ovat vertailukelpoisia keskenään.

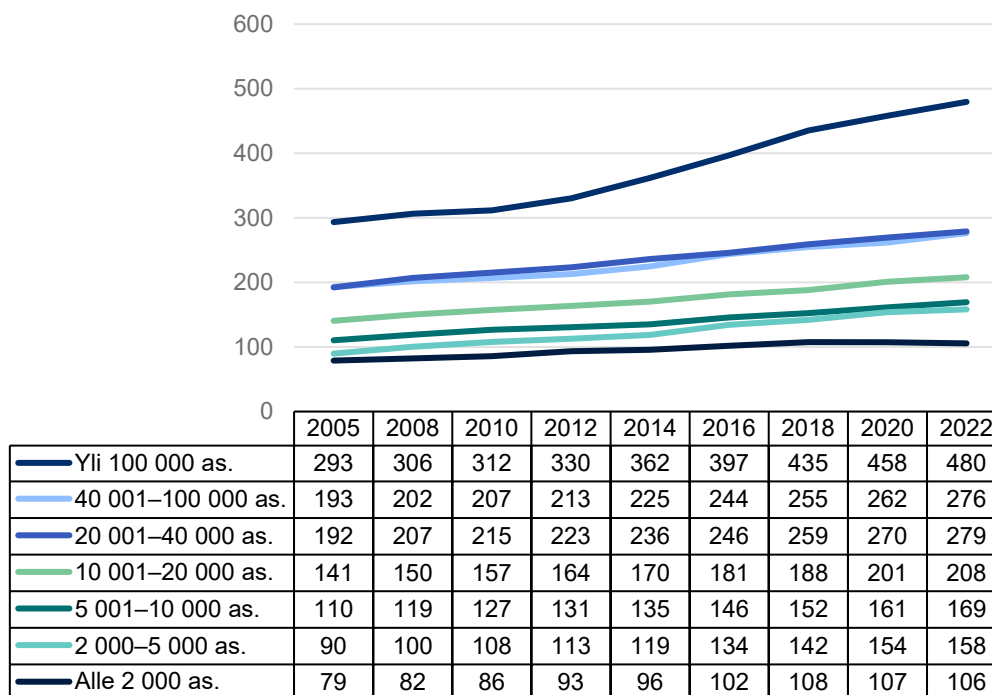
2.3 Tulokset

2.3.1 Koulujen ja oppilaiden määrät

Peruskoulujen ja lukioiden määrä on vähentynyt 40 % vuodesta 2005 (3 867 kpl) vuoteen 2022 (2 338 kpl) (Kuvio 3). Koulujen määrä ja koulurakennusten määrä kuitenkin poikkeavat toisistaan, sillä usein tiettyyn kouluun kuuluu useita rakennuksia. Toisaalta samassa rakennuksessa voi toimia joskus kaksi koulua, esimerkiksi yläasteen koulu ja lukio. Vuonna 2020 rakennus- ja huoneistorekisterissä oli perusopetuksen ja lukioiden rakennuksia 4 224 kpl eli keskimäärin kouluun kuuluu noin 1,8 rakennusta.

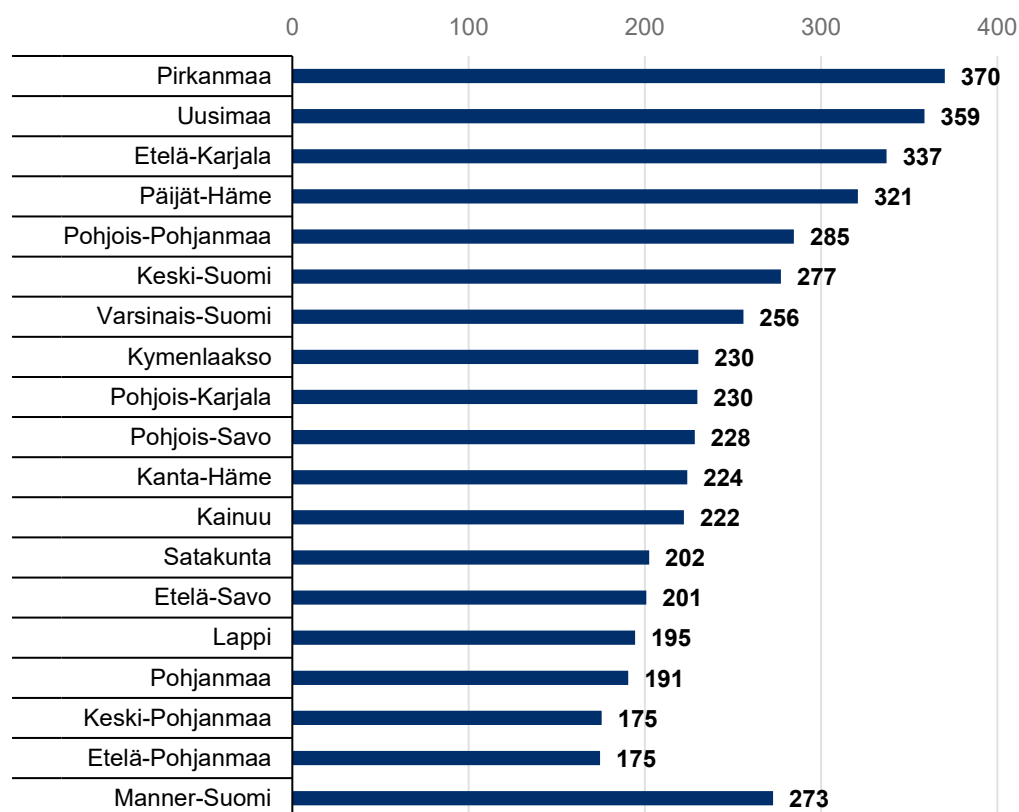
Kuvio 3. Koulujen lukumäärän kehitys (Tilastokeskus, 2023).

Peruskoululaisten määrä on vähentynyt noin 553 000:sta vuonna 2005 noin 539 000:een vuonna 2022. Oppilaiden määrä koulua kohti on kasvanut samalla merkittävästi, 168:sta 273:een. Yli 100 000 asukkaan kunnissa oppilaiden määrä oli vuonna 2022 keskimäärin jo 480, mutta alle 200 asukkaan kunnissa vain 106. Peruskoulujen oppilaiden määrä koulua kohti on esitetty Kuviossa 4 ja maakunnittain Kuviossa 5.

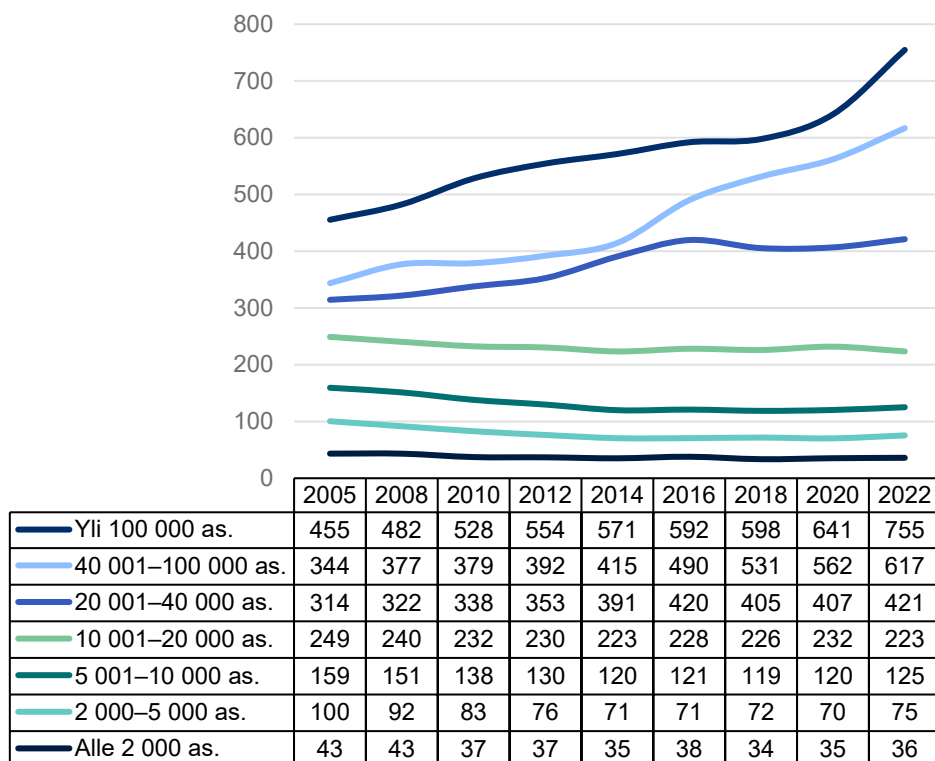
Kuvio 4. Peruskoulujen oppilaiden määrä koulua kohti (Tilastokeskus, 2023).

Maakuntien välillä on suuria eroja peruskoulujen koossa, mikä johtuu osittain kuntarakenteen eroista, mutta muitakin syitä on, kuten kielisuhteet ja kuntien päätökset kouluverkon laajuudesta. Oppilasmääriltään peruskoulut ovat suurimpia Pirkanmaalla, Uudellamaalla, Etelä-Karjalassa ja Päijät-Hämeessä, joissa on keskimäärin yli 300 oppilasta koulua kohti. Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Pohjanmaalla, Pohjanmaalla ja Lapissa peruskouluissa on keskimäärin alle 200 oppilasta.

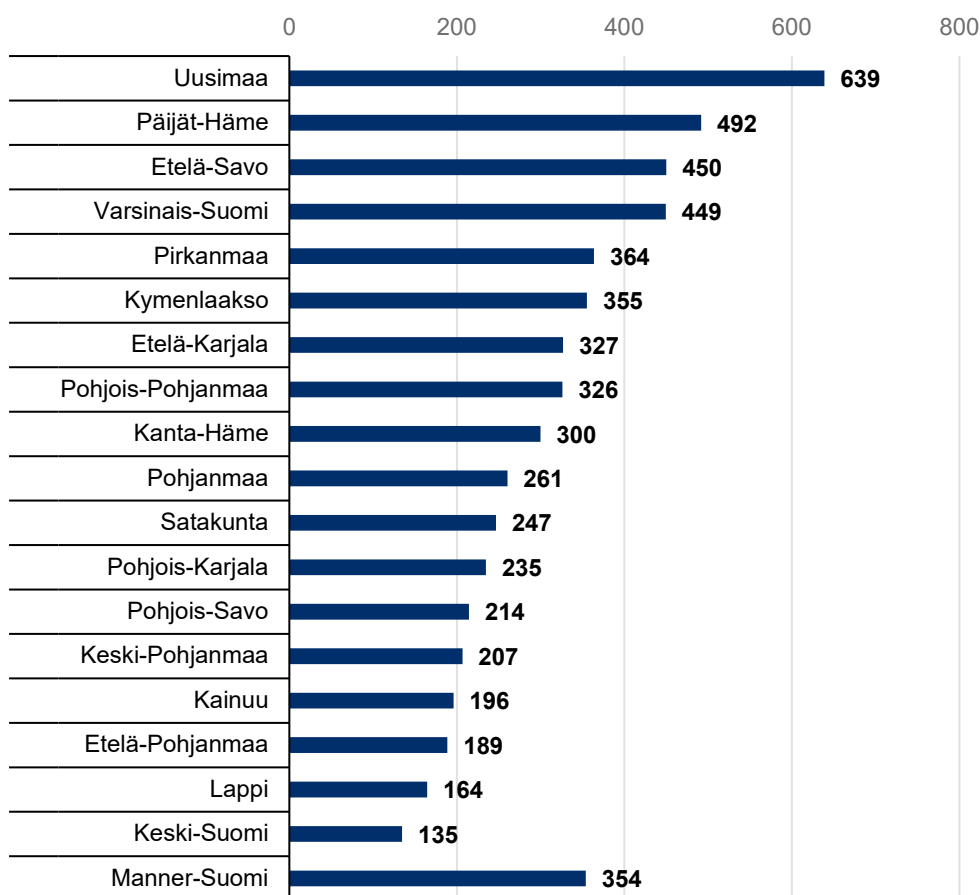
Kuvio 5. Peruskoulujen oppilaiden määrä koulua kohti eri maakunnissa vuonna 2022 (Tilastokeskus, 2023).



Lukioidenkin oppilasmäärät ovat kasvaneet yli 20 000 asukkaan kunnissa. Vuonna 2022 lukioiden oppilasmäärä oli yli 100 000 asukkaan kunnissa keskimäärin 755 ja alle 2000 asukkaan kunnissa 36. Pienet lukiot toimivat usein samassa rakennuksessa peruskoulun kanssa. On myös lukioita, jotka toimivat useissa toimipisteissä. Esimerkiksi Tuusulan lukiolla on toimipisteitä Hyrylässä, Jokelassa ja Kellokoskella. Oppilaiden määrä lukiota kohti on esitetty kunnan koon mukaan Kuviossa 6 ja maakunnittain Kuviossa 7.

Kuvio 6. Oppilaiden määrä lukiota kohti (Tilastokeskus, 2023).

Lukioissa oli oppilaita vuonna 2022 keskimäärin 354. Lukioiden koot vaihtelevat paljon maakunnittain, mikä johtuu osaltaan erilaisesta kuntarakenteesta, mutta taustalla on muitakin tekijöitä. Oppilasmääriltään lukiot ovat suurimpia Uudellamaalla, Päijät-Hämeessä, Etelä-Savossa ja Varsinais-Suomessa, joissa oppilaita on keskimäärin yli 400 koulua kohti. Keski-Suomessa, Lapissa Etelä-Pohjanmaalla ja Kainuussa lukioissa on keskimäärin alle 200 oppilasta.

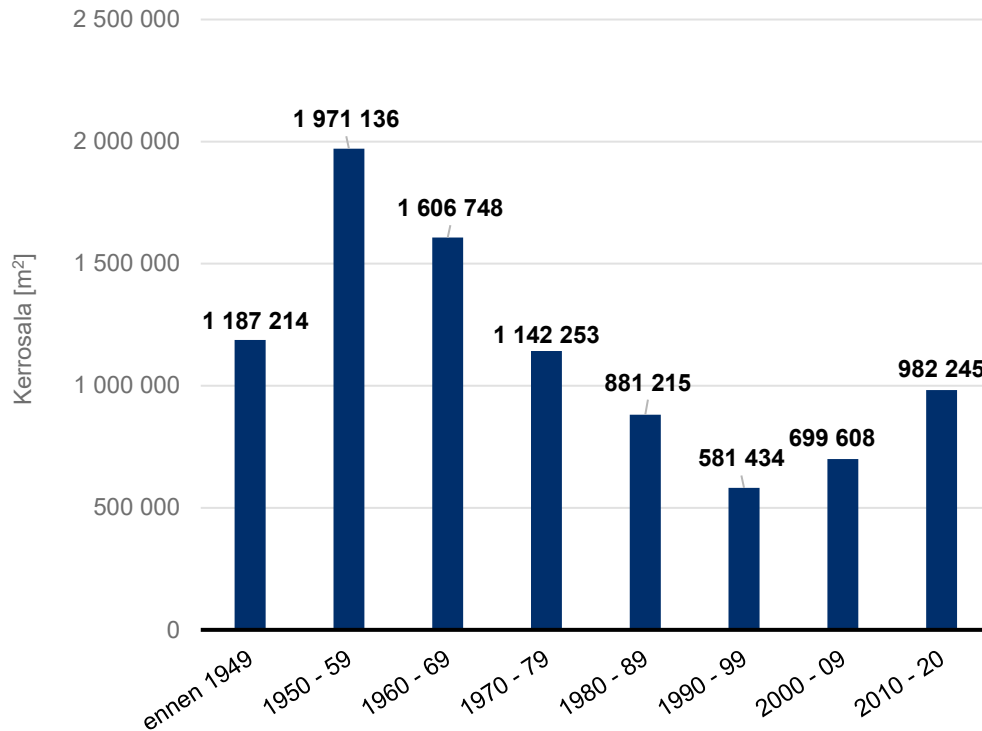
Kuvio 7. Lukion oppilaiden määrä lukiota kohti eri maakunnissa (Tilastokeskus, 2023).

2.3.2 Koulurakennusten rakentaminen

Rakennus- ja huoneistorekisterissä oli vuonna 2020 (tilanne kesäkuussa 2020) kuntien omistamia peruskoulujen ja lukioiden rakennuksia yhteensä 4 256 ja niiden kerrosala oli yhteensä 9 660 000 m². Näistä 361 rakennuksen rakentamis- tai perusparannusaika ei ole tiedossa. Näiden rakennusten kerrosala oli 331 000 m², joka on 3 % peruskoulujen ja lukioiden yhteenlasketusta kerrosalasta.

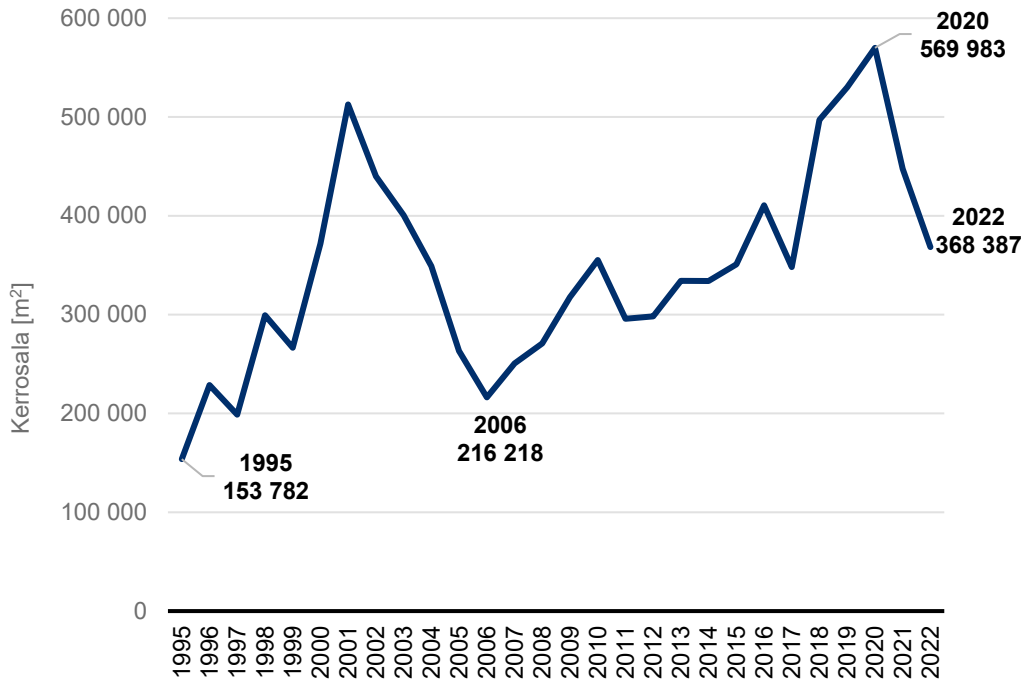
Kuntien omistamien peruskoulujen ja lukioiden kerrosalasta 53 % on rakennettu tai perusparannettu ennen vuotta 1970. Näitäkin rakennuksia on korjattu, mutta yksittäiset korjaukset eivät ole olleet perusparannuksen taseisia, toisin sanoen rakennusta ei ole korjattu uudenveroiseen kuntoon. Kerrosala rakennuksen valmistumis- tai perusparannusajan mukaan on esitetty Kuviossa 8.

Kuvio 8. Kuntien omistamien peruskoulujen ja lukioiden kerrosala vuonna 2020 rakennuksen valmistumis- tai perusparannusajan mukaan (lähde: Rakennus- ja huoneistorekisteri, DVV).

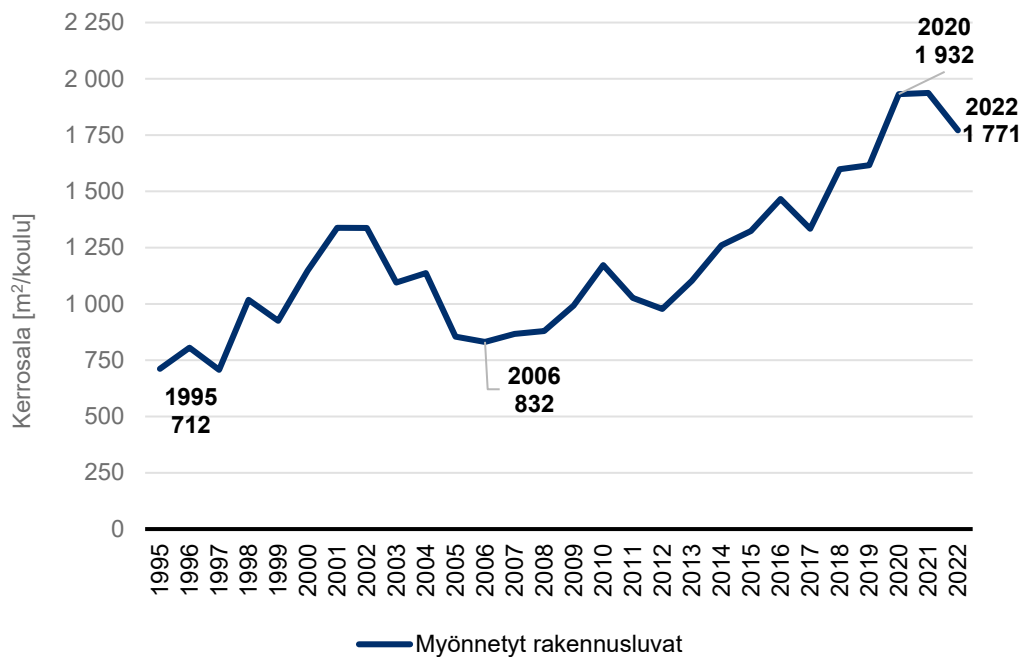


Peruskoulujen ja lukioiden kerrosala oli rakennus- ja huoneistorekisterin perusteella keskimäärin 13,2 m² yhtä 7–18-vuotiasta kohti. Vähiten koulurakennuksia valmistui 1990-luvulla, ja vasta 2010-luvulla on rakentamisessa saavutettu 1980-luvun taso. Tämä näkyy myös rakennuslupien määrässä, sillä ne ovat olleet kasvussa viimeisten kymmenen vuoden aikana. Vuonna 2022 rakennuslupien määrä kuitenkin laski. Rakennuslupien osalta tilastossa ovat kaikki opetusrakennukset, myös esimerkiksi ammatillisen koulutuksen ja korkeakoulujen rakennukset. Uusien opetusrakennusten rakennushankkeiden pinta-alat ovat kasvaneet noin 700 m²:stä vuonna 1995 lähes 2000 m²:iin 2020-luvulla. On huomattava, että joskus rakennushanke on olemassa olevan koulun laajennus. Opetusrakennuksille myönnetyt rakennusluvut suhteessa kokonaiskerrosalaan ja yksittäisen koulun keskimääräiseen kerrosalaan on esitetty Kuvioissa 9 ja 10.

Kuvio 9. Opetusrakennuksille myönnetyt rakennusluvut 1995–2022 ja kerrosala [m²]. Aineisto sisältää uudet rakennukset ja laajennukset. (Tilastokeskus, 2023)



Kuvio 10. Opetusrakennuksille myönnetyt rakennusluvut (uudet rakennukset ja laajennukset) 1995–2022 ja kerrosala [m²/koulu] (Tilastokeskus, 2023).

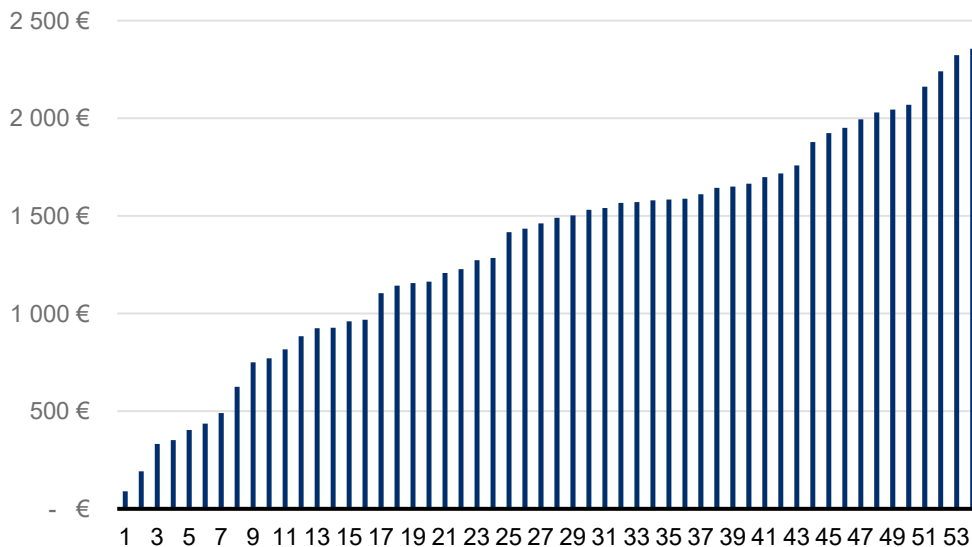


2.3.3 Koulurakennusten kunto

FCG:n keräämän korjauskustannusaineiston perusteella voidaan arvioida myös koulurakennusten kuntoa sekä korjauskustannusten muodostumista. Tarkasteltujen 54 kohteen lähtötilanteet vaihtelivat hieman. Suurimmassa osassa kohteista on havaittu sisäilmaongelmia tai tiedossa oli tarve mittaviin peruskorjauksiin. Lisäksi osassa kohteissa selvitysten taustalla oli kouluverkon tulevat muutostarpeet ja tähän liittyen oli tarpeen selvittää koulurakennusten kuntoa ja korjauskustannuksia.

Analyysin tulosten perusteella yli 70 prosentissa kohteista korjauskustannukset ovat ylittäneet 1000 euroa neliometriä kohden, ja noin puolessa tapauksista korjauskustannukset ovat olleet yli 1500 euroa neliometriä kohden (Kuvio 11). Tämä viittaa siihen, että koulurakennuksissa on huomattavaa korjaustarvetta ja korjauskustannukset voivat olla merkittäviä.

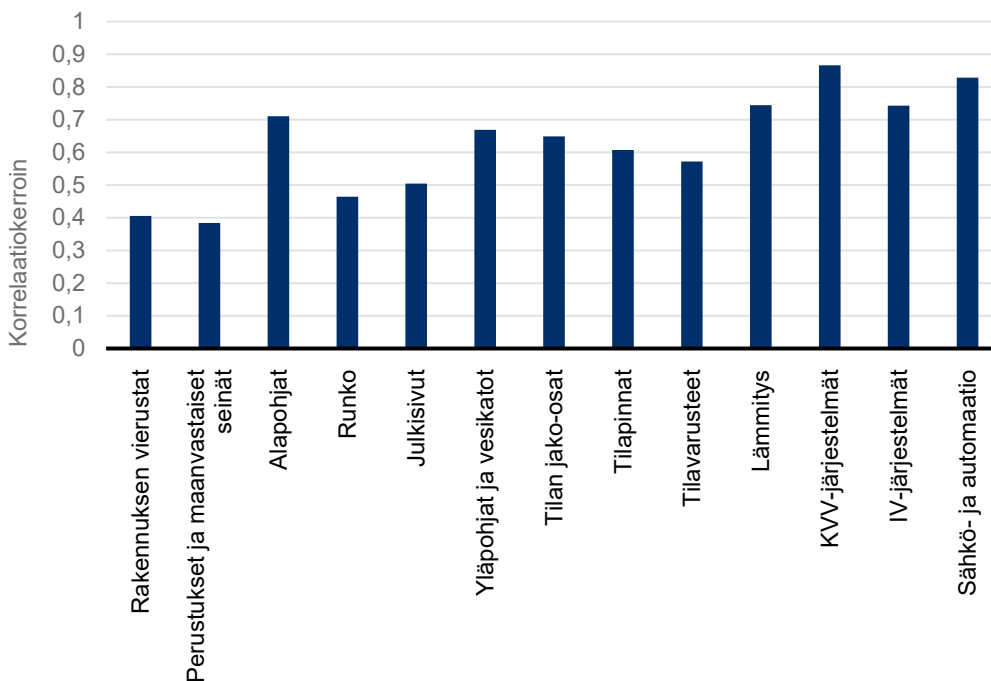
Kuvio 11. Tarkasteltujen koulurakennusten korjauskustannukset bruttoneliometriä kohden.



Erityisesti sisäilmaongelmaisissa kohteissa ovat korostuneet ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvät ongelmat. Korjauskustannuksia tarkasteltaessa nähdään, että ilmanvaihtojärjestelmien osuus kokonaiskustannuksista on keskimäärin alle 10 %. Tämä viittaa siihen, että vaikka nämä järjestelmät voivat aiheuttaa haasteita, niiden osuus koko korjauskustannuksista on yleensä melko pieni.

Eri rakenteiden ja järjestelmien korjauskustannusten vaikutusta kokonaiskustannusten muodostumiseen tarkasteltiin määrittämällä korrelaatiokerroimet eri järjestelmien kustannuksille ja kokonaiskustannuksille (Kuvio 12). Korrelaatiokerroin on tilastollinen mittari, joka ilmaisee kahden muuttujan välistä lineaarista riippuvuutta. Mitä lähempänä 1:tä korrelaatiokerroimen arvo on, sitä voimakkaampi on positiivinen lineaarinen riippuvuus, eli kun toinen muuttuja kasvaa, toinenkin yleensä kasvaa.

Kuvio 12. Rakenteiden ja järjestelmien korjausten korrelaatiokerroin suhteessa kokonaiskustannuksiin.



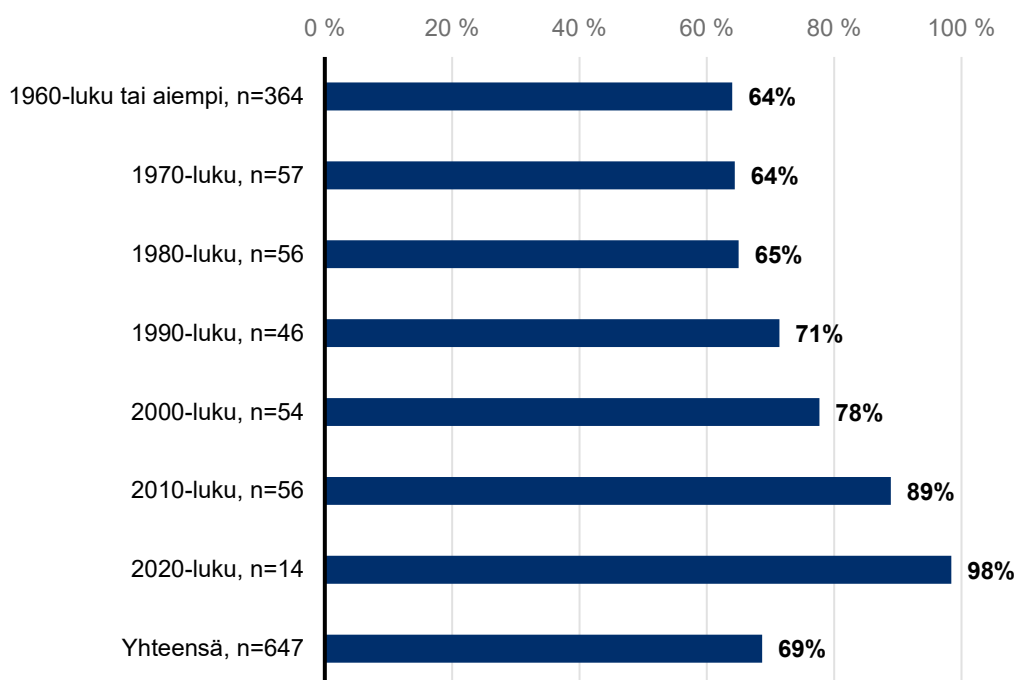
Eri järjestelmien korrelaatiokerroin suhteessa kokonaiskustannuksiin vaihteli välillä 0,4–0,85, mikä tarkoittaa, että näiden kahden muuttujan välillä on kohtalainen tai melko vahva lineaarinen riippuvuus. Suurimmat korrelaatiokerroimet olivat taloteknisillä järjestelmillä sekä alapohjarakenteella.

Kunnat ylläpitävät tietoja tiloistaan Maakuntien tilakeskuksen Skenarios -tietopalvelussa. Kunnat ovat ilmoittaneet sinne myös laskennalliset koulurakennusten kuntoluokat. Rakennuksen kuntoluokka saadaan jakamalla rakennuksen tekninen arvo jälleenhankinta-arvolla, eli mitä pienempi kuntoluokan prosenttiosuus on, sitä huonommassa kunnossa rakennus on. Arvojen määrytykset on tehty vain pienestä osasta opeusrakennuksia, sillä järjestelmään oli syötetty tiedot yhteensä 647 rakennuksesta huhtikuussa 2023. Ei ole tiedossa, miten kunnat ovat valikoineet rakennukset, eli ei

tiedetä, onko joukko edustava. Tarkemmissa korjauskustannuslaskelmissa on havaittu, että kuntoluokka voi antaa rakennuksesta merkittävästi paremman kuvan kuin korjauskustannusten kautta määritettynä muodostuu.

Ennen vuotta 2000 rakennettujen opetusrakennusten kuntoluokka oli keskimäärin 64–71 % mikä tarkoittaa, että rakennusten kunto on keskimäärin tyydyttävä, mutta joukossa on myös välttäväkuntoisia rakennuksia (kuntoluokka alle 60 %). 2000-luvulla rakennettujen rakennusten kuntoluokka on keskimäärin yli 75 %, mikä tarkoittaa, että niiden kunto on keskimäärin hyvä, ja 2020-luvulla rakennetuissa rakennuksissa kunto on erinomainen. Opetusrakennusten kuntoluokat rakennusvuoden mukaan on esitetty Kuviossa 13.

Kuvio 13. Kuntien opetusrakennusten keskimääräiset kuntoluokat rakennusvuoden mukaan. Tarkastelussa oli 647 rakennusta, joista oli tehty kuntoarvio. (lähde: Maakuntien tilakeskus)

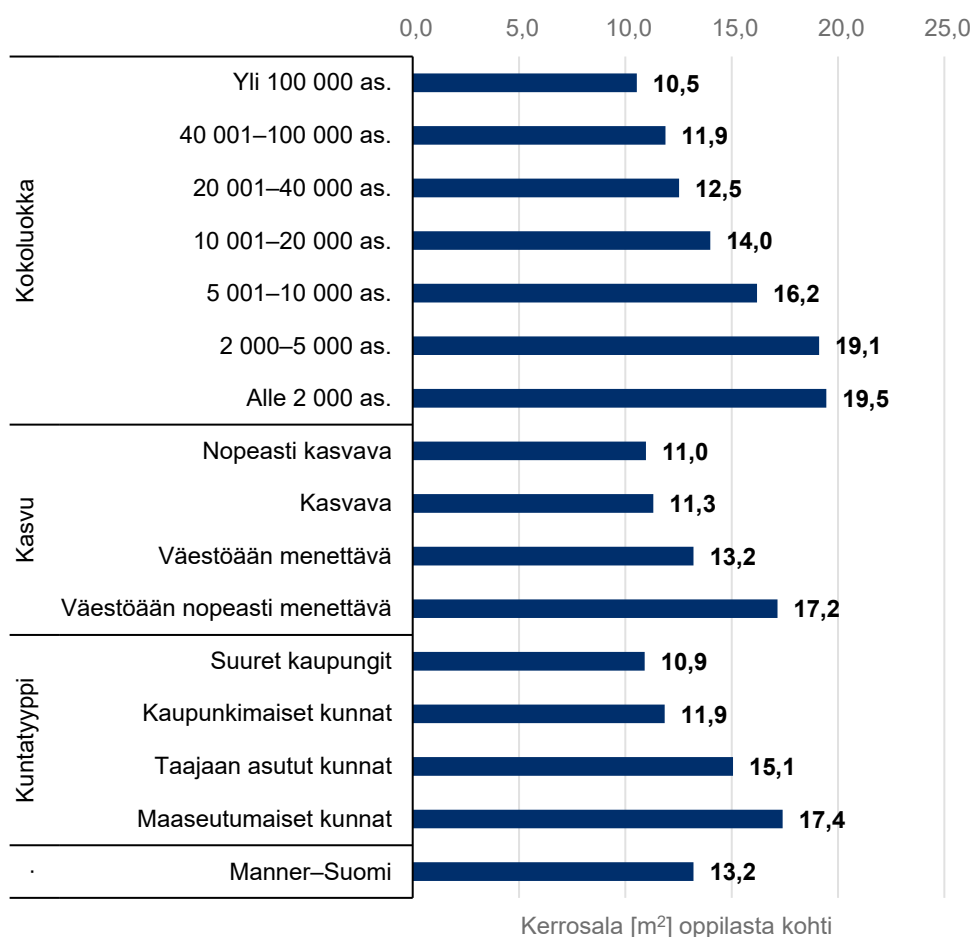


2.3.4 Koulujen koko

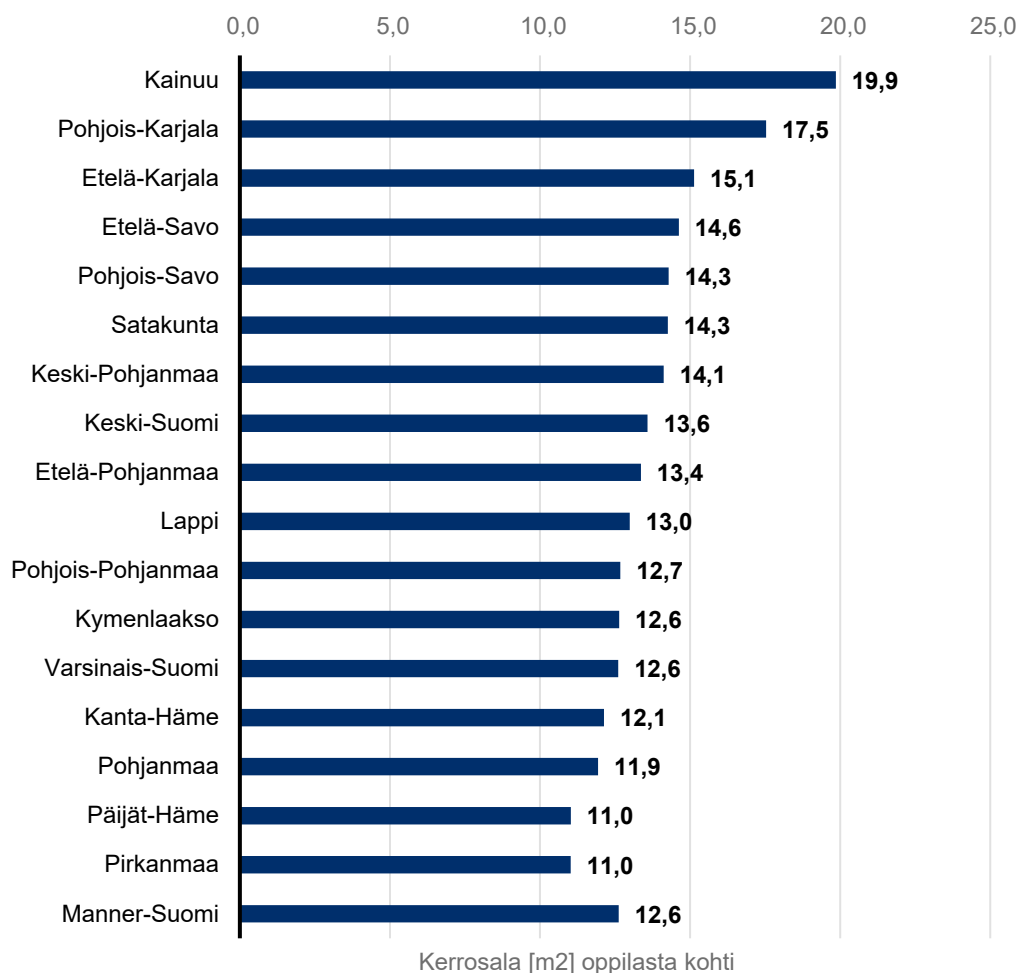
Peruskoulujen ja lukioiden pinta-ala oppilasta kohti on suurin pienissä ja väestöään menettävissä kunnissa, lähes 20 m²/oppilas. Suurissa kunnissa pinta-ala on noin puolet tästä. Jonkin verran tätä tilastoa vääristää se, että tilaelementtikoulut puuttuvat rakennus- ja huoneistorekisteristä, sillä ne ovat toiminnassa korkeintaan viiden vuoden tilapäisellä rakennusluvalla. Tilaelementtikouluja käytetään väistötiloina ja kasvavissa

kunnissa myös tilapuutteen väliaikaisena ratkaisuna. Peruskoulujen ja lukioiden kerrosala 7–18-vuotiasta kohti on suurin väestöään menettävissä maakunnissa, kuten Kainuussa, Pohjois-Karjalassa ja Etelä-Karjalassa. Vähiten tilaa oppilasta kohti on Pirkanmaalla, Päijät-Hämeessä ja Pohjanmaalla. Peruskoulujen ja lukioiden kerrosala oppilasta kohti erityyppisissä kunnissa ja maakunnittain on esitetty Kuvioissa 14 ja 15.

Kuvio 14. Peruskoulujen ja lukioiden kerrosala [m²] 7–18-vuotiasta kohti erityyppisissä kunnissa vuonna 2020. Tilastossa peruskouluja ja lukioita ei ole eritelty. (Lähteet: Rakennus- ja huoneistorekisteri, FCG:n aineisto).



Kuvio 15. Peruskoulujen ja lukioiden kerrosala [m²] 7–18-vuotiasta kohti eri maakunnissa vuonna 2020. Tilastossa peruskouluja ja lukioita ei ole eritelty. (Lähteet: Rakennus- ja huoneistorekisteri, FCG:n aineisto)

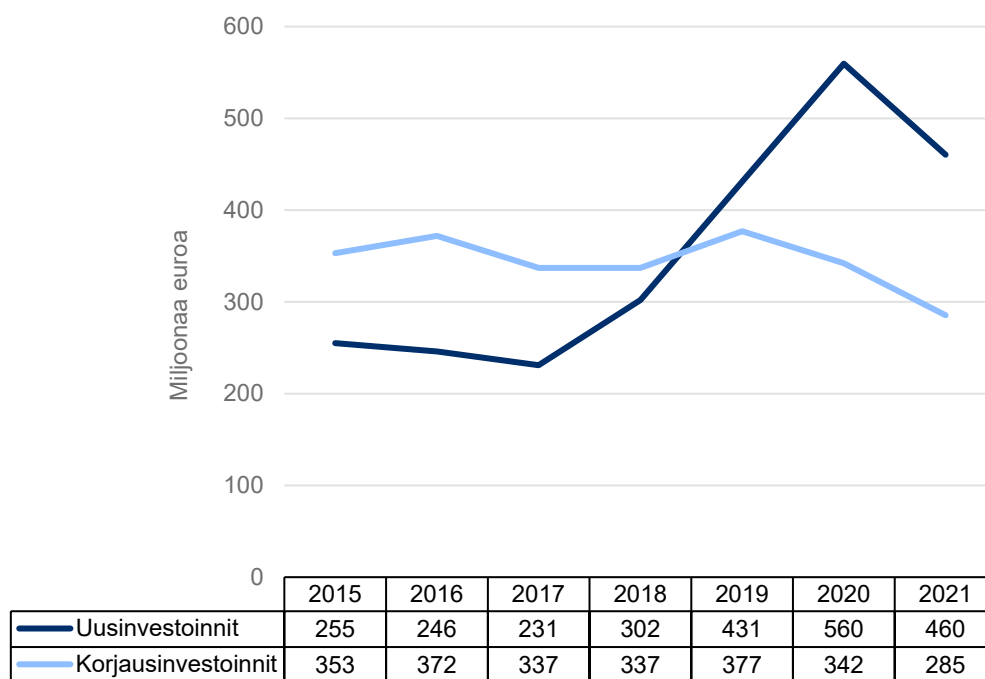


2.3.5 Investoinnit koulurakennuksiin

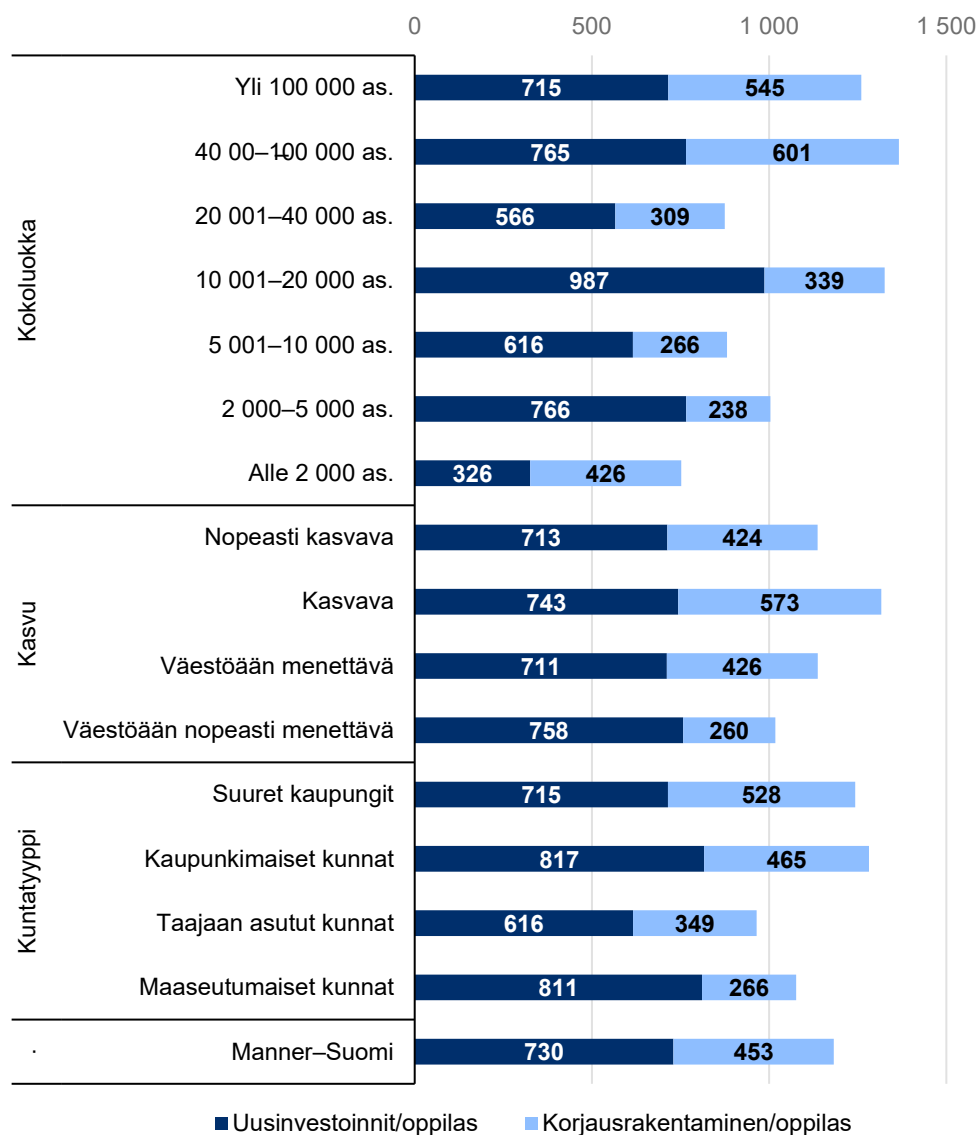
Kunnat investoivat vuonna 2021 peruskouluihin ja lukioihin yhteensä noin 645 miljoonaa euroa, johon sisältyvät uus- ja korjausinvestoinnit. Tämä vastasi noin 26 % kuntien investoinneista muihin rakennuksiin kuin asuinrakennuksiin. On kuitenkin huomattava, että vielä vuonna 2021 kunnat investoivat paljon myös terveydenhuollon rakennuksiin. Esimerkiksi erikoissairaanhoidon rakennuksiin uusinvestoinnit olivat noin 500 miljoonaa euroa. Sosiaali- ja terveydenhuollon järjestämisvastuu on siirtynyt hyvinvointialueille, joten kunnat eivät jatkossa investoi sosiaali- ja terveydenhuollon rakennuksiin merkittävästi, vaikka ne joissakin tapauksissa säilyvätkin rakennusten omistajina. Jatkossa peruskoulut ja lukiot muodostavatkin suurimman osan kuntien investoinneista rakennuksiin.

Vuonna 2015 kuntien uusinvestoinnit peruskouluihin ja lukioihin olivat 255 miljoonaa euroa. Ne ovat nousseet viime vuosina uudelle tasolle: 560 miljoonaa euroa vuonna 2020 ja 460 miljoonaa euroa vuonna 2021. Korjausinvestointien vaihtelu on ollut pienempää: ne olivat 353 miljoonaa euroa vuonna 2015 ja 285 miljoonaa euroa vuonna 2021. Kuntatyypeittäin erot investoinneissa kouluihin ovat suhteellisen pieniä, vähiten on kuitenkin investoitu pienissä kunnissa. Investointien kokonaissumma ja investoinnit euroina per oppilas on esitetty Kuvioissa 16 ja 17.

Kuvio 16. Kuntien uus- ja korjausinvestoinnit [€] peruskouluihin ja lukioihin vuosina 2015–2021. Tilastossa peruskouluja ja lukioita ei ole eritelty. (Tilastokeskus, 2023; Valtiokonttori, 2023)



Kuvio 17. Kuntien uus- ja korjausinvestoinnit peruskouluihin ja lukioihin vuonna 2021 [€/oppilas]. Tilastossa peruskouluja ja lukioita ei ole eritelty. (Tilastokeskus, 2023; Valtiokonttori, 2023).



2.4 Johtopäätökset

Tutkimusaineiston perusteella on havaittavissa, että suuri osa koulurakennuksista vaatii merkittäviä korjaustoimenpiteitä. Yli 70 prosentissa tutkimusaineiston kohteista korjauskustannukset ylittävät 1000 euroa neliometriä kohti, ja jopa puolessa tapauksista korjauskustannukset nousevat yli 1500 euroa neliometriä kohti. Tämä osoittaa selkeästi, että koulurakennuksissa on huomattavaa korjaustarvetta, ja näihin toimenpiteisiin liittyvät kustannukset voivat olla erittäin merkittäviä.

Korrelaatiokertoimien analyysi osoittaa, että taloteknisillä järjestelmillä ja alapohjarakenteella on vahva yhteys kokonaiskustannuksiin. Tämä osoittaa, että näiden osien korjauskustannukset ovat tyypillisesti korkeita ja nämä korjaukset yhdistetään usein laajempaan korjaushankkeeseen. Muita korjauksia voidaan toteuttaa helpommin yksittäisinä korjauksina. Sisäilmaongelmaiset kohteet ovat erityisen haasteellisia, ja ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvät ongelmat korostuvat näissä rakennuksissa. Vaikka ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuu usein korjaustarpeita, niiden osuus kokonaiskustannuksista on keskimäärin alle 10 prosenttia. Tämä tarkoittaa, että vaikka nämä järjestelmät voivat aiheuttaa haasteita ja vaativat huomiota, niiden osuus koko korjausbudjetista on suhteellisen pieni.

Kuntien kouluinvestoinnit ovat kasvaneet merkittävästi viime vuosina. Kuntien investoinnit peruskouluihin ja lukioihin ovat lähes tuplaantuneet vuodesta 2015 vuoteen 2020 mennessä. Koulurakennuksiin tehdyt investoinnit muodostivat noin neljänneksen kuntien taloinvestoinneista. Hyvinvointialueuudistuksen myötä koulut tulevat muodostamaan yhä merkittävämmän osan kuntien investoinneista.

Tilastojen tulkintaa vaikeuttaa se, että peruskoulut ja lukiot toimivat usein samassa rakennuksessa ja toisaalta koulu voi toimia useissa rakennuksissa jopa eri toimipisteissä. Voidaan kuitenkin todeta, että kuntien koulurakennuskanta on uudistunut 2000-luvulla merkittävästi. Runsaasti etenkin pienempiä kouluja on lakkautettu ja samalla koulujen uudisrakentaminen ja korjausrakentaminen ovat lisääntyneet. Uudet koulurakennukset ovat merkittävästi suurempia kuin opetuskäytöstä poistuvat tai purettavat koulurakennukset.

Lasten määrän lasku ja kuntien paineet alentaa tilakustannuksia johtavat koulujen määrän vähenemiseen myös jatkossa. Käytöstä poistuvat koulut ovat usein vanhimpia ja huonokuntoisimpia. Mikäli koulujen uus- ja korjausinvestointien taso säilyy nykyisellään, koulujen keskimääräinen kuntoluokka tulee nousemaan.

2.5 Yhteenveto ja suositukset

Yli puolet kuntien omistamien peruskouluista ja lukioista on rakennettu tai perusparannettu ennen vuotta 1970. Erityisesti tämän ikäluokan rakennuksien korjaustarvetta tulisi kartoittaa jo ennakolta, jotta korjaukset voidaan huomioida pitkän aikavälin investointiohjelmissa.

Laajojen korjaushankkeiden osalta korjauskustannukset voivat nousta hyvin korkeiksi, jopa lähelle uudisrakentamisen tasoa. Näiden hankkeiden valmistelun yhteydessä tulisi tarkastella myös vaihtoehtoisia ratkaisuja kuten uudisrakentamista ja tilavuokrausta.

Kuntien kouluinvestoinnit ovat kasvaneet viime vuosina merkittävästi. Jatkossa pitkän aikavälin investointiohjelmaa laadittaessa tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota kunnan taloudelliseen kantokykyyn. Kiinteistökanta ja -investoinnit tulee olla realistisella tasolla kunnan tulevaisuutta ajatellen.

Rakennus- ja huoneistorekisterissä rakennusten omistajaluokkatieto tulisi kuntien osalta tarkistaa ja tarvittaessa korjata. Tämä onnistuisi muuttamalla omistajaluokka vastaamaan omistajan tunnistetietoja (nimi tai Y-tunnus). Vuonna 2020 rekisteriä tarkistettaessa havaittiin, että omistajaluokka oli väärä yli 200:lla kuntien koulurakennuksella.

3 Koulurakennusten kunto ja sisäilma

Katja Tähtinen, Tuomas Alapieti ja Camilla Vornanen

Kuntien kannalta ongelmallista on, että nykyisen koulurakennuskannan korjaustarpeet rakenteiden kunnan ja sisäympäristön laadun osalta ovat suuria rakennuskannan iän vuoksi, ja samalla kuntien taloudelliset resurssit ovat hyvin rajalliset (ROTI 2019; ROTI 2021). Kuntien omistamista rakennuksista eniten juuri peruskouluista ja lukioista on raportoitu viime vuosina heikentyneistä sisäilmasto-olosuhteista. Merkittävimmiksi taustasyiksi tälle on tunnistettu kiinteistökannan ikärakenteellinen ongelma ja riittämättömät investoinnit. (Salmela ym., 2019; Kero ym., 2021) Kunta-alan työntekijät ja heistä erityisesti opetus- ja hoitotyötä tekevät raportoivat myös eniten kokemiaan sisäilmaan liitettyjä oireita ja olosuhdehaittoja (Tähtinen ym., 2020). Ennakoiva kiinteistönpito ja nykyisen rakennuskannan korjaaminen olisivat tärkeimmät keinot terveellisten ja turvallisten sisäympäristöjen takaamiseksi.

Kuntien rakennuskannan korjaustarpeet ovat kuitenkin vaikeasti hahmotettava kokonaisuus, vaikka toimenpiteiden priorisoinnin ja päätöksenteon kannalta juuri kokonaisuuden hallinta olisi erityisen tärkeää. Kuntotutkimuksiin liittyvien asiakirjojen kirjavasta ja puutteellisesta laadusta (Marttila ym., 2015) johtuen rakenteiden ja talotekniikan kunnosta, sisäilmaston laadusta ja altistumisolosuhteista ei ole saatavilla järjestelmällistä tietoa, ja myöskään vaihtelevista tietojen hallinta- ja tallennuskäytännöistä johtuen kattavaa kokonaiskuvaa kuntien ja valtion tasolla ei ole voitu saavuttaa.

Tässä osiossa tarkasteltiin Suomen peruskoulu- ja lukiorakennusten rakenteiden ja ilmanvaihdon nykykuntoa ja tietoa rakennusten sisäilmaston laadusta ja altistumisolosuhteista. Aineistona käytettiin kuuden eri puolilla Suomea sijaitsevan kunnan kaikkien koulurakennusten tietoja. Tutkimushankkeessa mukana olleet kunnat antoivat pääsyn tietokantoihin tai muihin tiedonhallintakanaviin, joissa ne tallentavat ja käsittelevät koulurakennusten tutkimus-, selvitys-, kunnossapito-, peruskorjaus-, korjaustarve- ja muita vastaavia suunnitelmia ja tuloksia. Näin ollen tutkimuksessa saatiin kattavaa tietoa paitsi koulurakennusten kunnosta, myös tietojen hallinnasta ja saatavuudesta kuntien järjestelmissä.

3.1 Aineisto

Kuntien koulurakennusten kunnon ja sisäilmatilanteen nykytilan selvittämiseksi tutkimuksessa analysoitiin kuntien peruskoulu- ja lukiorakennuksista saatavilla olevia tietoja vuosilta 2016–2022. Tutkimukseen osallistui ja tietoja tutkimuksen käyttöön luovutti kuusi Manner-Suomen kuntaa, joista väestötietojen perusteella kuntakooltaan suurin on 650 000 asukkaan kunta ja pienin 68 000 asukkaan kunta. Kunnat sijoittuvat Uudenmaan (kunta 1), Kanta-Hämeen (kunta 2), Päijät-Hämeen (kunta 3), Pirkanmaan (kunta 4), Pohjanmaan (kunta 5) ja Varsinais-Suomen maakuntiin (kunta 6).

Tapauksissa, joissa tontilla sijaitsi useampi koulurakennus, kaikki rakennukset tilastoitiin erillisinä rakennuksina. Mikäli alkuperäiseen rakennukseen oli tehty laajennusosa, mutta se oli selkeästi eroteltavissa alkuperäisestä rakennusosasta, rakennukset tilastoitiin itsenäisinä rakennuksina. Näin ollen aineistossa oli 496 koulurakennusta. Aineiston rakennuksista sijaitsee Uudellamaalla 185, Kanta-Hämeessä 53, Pohjanmaalla 36, Pirkanmaalla 83, Varsinais-Suomessa 78 ja Päijät-Hämeessä 61.

Aineisto muodostettiin koulurakennuksista saatavilla olevista Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -opasta (jäljempänä: kuntotutkimusopas) (Pitkäranta (toim.), 2016) noudattelevista kuntotutkimusraporteista ja muista kuntotutkimustasoisesti tehdyistä selvityksistä. Mikäli näitä ei ollut tehty, aineistoon otettiin mahdolliset kuntoarviotulokset ja -raportit. Lisäksi aineistoon kerättiin saatavilla olevat rakennusten altistumisolosuhteiden arvioinnin raportoidut tulokset.

Lisäksi kunnista kerättiin perustietoja kaikista kunnan omistuksessa olevista oppilaitosrakennuksista, myös niistä rakennuksista, joista ei ollut saatavilla tai tehty kuntotutkimuksia, -arvioita tai altistumisolosuhteiden arviointia. Näin tarkasteltavaan ja analysoitavaan aineistoon saatiin mukaan kuntien koko koulurakennuskannan tietoja (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kohteessa toteutettujen selvitysten ja tutkimusten määrät aineistossa (N=496).

Kohteessa tehty selvitys, tutkimus tai arviointi	Yhteensä (kpl)
Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (oppaan Pitkäranta (toim.), 2016 mukaisesti)	77
Muu kokonaisvaltainen kuntotutkimus	69
Yksittäisen tilan tai tilojen tutkimus (RAK, SISA, IV)	121
Altistumisolosuhteiden arviointi (ohjeen Lappalainen ym., 2017 mukaisesti)	56
Kuntoarvio (Rakennustietosäätiö RTS:n ohjetta RT 103097 (2019) soveltaen)	44

3.2 Menetelmät

Aineiston kerääminen aloitettiin kokoamalla koulurakennusten tiedot eri kunnista. Yhteistyöhön lupautuneiden kuntien yhteyshenkilöt mahdollistivat hankkeen tutkijoille pääsyn kunnan kiinteistötietojärjestelmään tai vaihtoehtoisesti yhteyshenkilöt keräsivät tarvittavat tiedot pilvipalvelimelle, jonka kautta hankkeen tutkijat saivat tiedot käyttöönsä. Lisäksi useampi kunta toimitti lisätietoja koulurakennuksiin, niiden omistukseen ja käyttöön, oppilasmääriin sekä investointeihin ja muihin suunniteltuihin toimenpiteisiin liittyen sähköpostin ja muiden sähköisten tiedonvälitysmenetelmien avulla.

Kuntien tietojärjestelmistä kerättiin ja taulukoitiin saatavilla olevat koulurakennusten perustiedot (koulun nimi, osoite, rakennusten nimet tai tunnukset, rakennuksen laajuus/koko, valmistumisvuosi, kouluaste, oppilasmäärä, analyysiin valittujen kuntotutkimusten tai muiden selvitysten laajuus ja raportoinnin valmistumisvuosi), mahdolliset peruskorjausvuodet (RAK, IV(A)), tietoja siitä, onko rakennus käytössä vai ei ja miksi ei, sekä rakennukseen suunnitellut toimenpiteet seuraavien vuosien aikana.

Rakenteiden kuntoon liittyvät tiedot kerättiin ensisijaisesti rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisistä kuntotutkimusraporteista. Kerätyistä tiedoista taulukoitiin muuttujat eri rakenneosista ja niiden pääasiallisista tyypeistä, pääasiallisesta materiaalista, vaurioista ja sisäilman epäpuhtauslähteistä (mikrobit, kuidut ja kemialliset), vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden laadusta ja laajuudesta, vaurion mahdollisesta sijainnista rakenteessa, rakenteen poikkeavasta kosteudesta, vaurioituneiden rakenteiden tai rakenteiden ilmavuotoreiteistä ja niiden laajuudesta, rakennuksen painesuhteista, ilmanvaihtojärjestelmästä ja ilmanvaihdosta (ikä, puhtaus, epäpuhtauslähteet ja niiden sijainti järjestelmässä, suodatustaso ja ilmavirtojen suunnitelmanmukaisuus).

Vaurioiden ja ilmapuoreittien laajuuden määrittelyssä taulukoitiin tieto raporteista siten kuin kuntotutkija oli sen määritellyt raportissaan. Mikäli kuntotutkija tai raportin laatija ei ollut määritellyt raportissa vaurioiden laajuutta ja merkittävyyttä tai ilmapuoreittien laajuutta, niin silloin tietoa ei voitu kirjata taulukkoon. Taulukon muuttujien otsikoinnissa käytettiin altistumisolosuhteiden arvioinnin ohjeen (Lappalainen ym., 2017) mukaista luokittelua vaurioiden ja ilmapuoreittien laajuudesta, joka vastasi tavanomaisesti myös kuntotutkimusraporttien terminologiaa.

Raporttien tiedoista kerättiin ja taulukoitiin ne tiedot, jotka vastasivat kuntotutkimusoppaassa (Pitkäranta (toim.), 2016) esitettyjä tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmiä, tulosten tulkintaan liittyviä ohjeita (viite-, toimenpide-, raja- ja vertailuarvot) sekä tapaa tehdä kokonaisvaltainen rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Jotta tehty kuntotutkimus voitiin luokitella oppaan mukaan tehdyksi, sen tuli pääpiirteissään käsitellä koko rakennusta, sen rakenteita, sisäilman laatua, ilmanvaihtoa ja -järjestelmää, painesuhteita ja rakenteiden ilmatiiveyttä.

Mikäli rakennuksesta ei ollut tehty kuntotutkimusoppaan mukaista tutkimusta, vastavia tietoja kerättiin ja taulukoitiin myös muista rakennuksen kokonaisvaltaisista kuntotutkimusraporteista. Näissäkin tutkimuksissa tiedon keräämisen ja taulukoinnin edellytyksenä oli, että tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmät vastasivat kuntotutkimusoppaassa esitettyjä menetelmiä. Näissä tapauksissa oli esimerkiksi tutkittu hieinan suppeammin rakennusta, tai tutkimuksia oli tehty useampia ja jaoteltu ne rakennusosittain, esimerkiksi ylä- tai alapohjan kuntotutkimus tai ilmanvaihtojärjestelmän ja paine-erosuhteiden kuntotutkimus, erillisenä rakennuksen muusta kosteus- ja sisäilmateknisestä kuntotutkimuksesta.

Aineistosta kerättiin ja taulukoitiin myös rakennuksen yksittäisiin tiloihin tai tilaan tehtyjen selvitysten tulokset. Kriteerinä tutkimustulosten taulukoinnille oli, että tutkimus oli tehty noudattaen kuntotutkimusoppaan ja Valviran asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valvira, 2016) esitettyjä tutkimus-, mittaus- ja analysointimenetelmiä.

Aineistoon ei kerätty eikä taulukoitu tietoja ennen vuotta 2016 tehtyjen kuntotutkimustasoisien tutkimusten tuloksista koskien rakenteiden kuntoa tai rakennuksen ja tilojen sisäilman laatua. Sen sijaan 2010-luvulla, mutta ennen vuotta 2016, tehdyistä kuntotutkimustasoisista raporteista kerättiin perustietoja rakennuksen rakenteista, mikäli voitiin muiden tietojen valossa luotettavasti arvioida, että tieto (esimerkiksi rakennetyyppi tai materiaali) on edelleen voimassa. Nämä tiedot kerättiin vain niissä tapauksissa, joissa rakennuksesta ei löytynyt muita tämän tutkimusaineiston kriteereitä täyttäviä kuntotutkimustasoisia tietoja.

Mikäli rakennus oli juuri peruskorjattu tai uusi, eikä kuntotutkimuksia tai muita selvityksiä ollut tehty, niin rakennuksesta kirjattiin aineistoon rakennuksen perustiedot ja tiedossa olevat rakennetyypit ja materiaalit.

Aineistosta kerättiin ja taulukoitiin tiedot myös altistumisolosuhteiden arvioinnin tuloksista. Taulukoitaviksi tiedoiksi valittiin vain Työterveyslaitoksen ohjeen ”Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen” (Lappalainen ym., 2017) mukaisesti tehdyt altistumisolosuhteiden arvioinnin tulokset. Altistumisolosuhteiden arvioinnissa otetaan huomioon rakenteiden, rakennuksen ja rakenteiden tiivyyden, painesuhteiden ja ilmanvaihdon sekä sisäilman epäpuhtauslähteiden vaikutus sisäilman laatuun. Altistumisolosuhteiden arviointi tehdään kuntotutkimusoppaan (Pitkäranta (toim.), 2016) kuntotutkimustuloksiin perustuen.

Niistä rakennuksista, joissa ei ollut tehty rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknistä kuntotutkimusta tai muita kokonaisvaltaisia tutkimuksia, kerättiin ja taulukoitiin saatavilla olevat kuntoarvotiedot. Vain muutamalla kunnalla oli systemaattisesti käytössään rakennusten kuntoarviointimenetelmä. Kerättävien ja taulukoitavien tietojen kriteerinä oli Rakennustietosäätiö RTS:n RT-ohjekorttien kuntoarviointimenetelmän mukaan tai sitä soveltaen tehty ja raportoitu kuntoarvio (Rakennustietosäätiö RTS, 2019). Kuntoarvioituista rakennuksista kerättiin ja taulukoitiin perustiedot (koulun nimi, osoite, rakennusten nimet tai tunnukset, rakennuksen laajuus/koko, valmistumisvuosi, kouluaste, oppilasmäärä, raportoinnin valmistumisvuosi, peruskorjausvuodet ja onko rakennus käytössä vai ei sekä syy, miksi rakennus ei ole käytössä). Perustietojen lisäksi kerättiin ja taulukoitiin pääasialliset rakennetyypit ja materiaalit, eri rakennusosien ja koko rakennus- ja ilmanvaihtotekniikan kuntoluokka, suositellut kuntotutkimukset, havainnot terveysturvallisuudesta ja kosteus- ja mikrobivaurioista, sisäolosuhteiden poikkeamat sekä sisäolosuhteisiin liittyvät lisätutkimustarpeet.

Vain raporteissa olevat tiedot ja niistä raportin kirjoittajan tekemät johtopäätökset, kuten vaurioiden tai ilmavuotoreittien laajuus, taulukoitiin. Tämän tutkimuksen tekijät eivät kirjanneet omia johtopäätöksiään aineiston luokittelutaulukoihin.

Aineistoa käsitteli neljä eri tutkijaa. Usean rakennuksen tietojen osalta tiedot käytiin läpi ristiin ja lisäksi käytiin yhteisiä keskusteluja tietojen arvioinnin tasalaatuisuuden ja yhdenmukaisuuden varmistamiseksi. Tällä menettelyllä pyrittiin siihen, että aineiston taulukointi olisi mahdollisimman luotettava ja tutkijasta riippumaton.

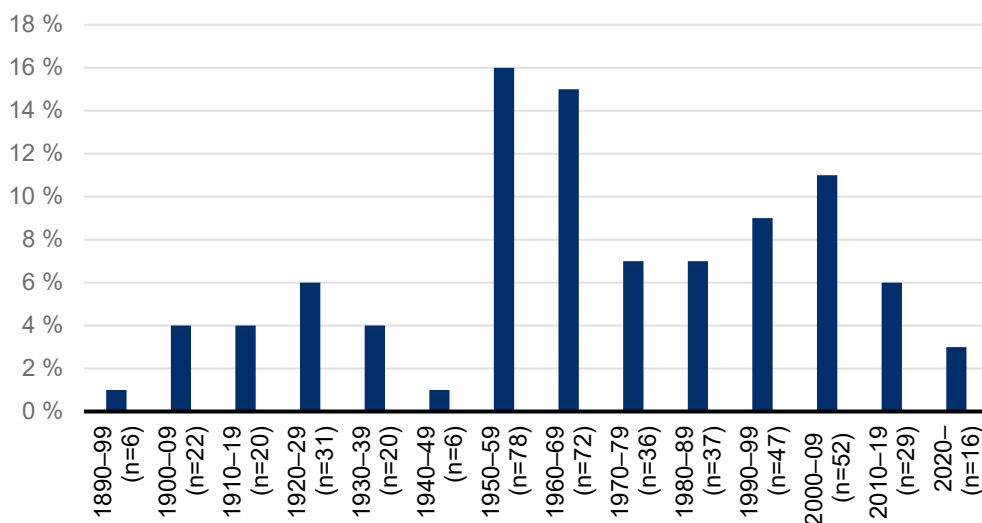
Kerättyjen ja taulukoitujen tietojen muuttujia on yhteensä 116 kappaletta. Aineistosta tehtiin määrällisiä analyysejä. Analyyseissä rakennusten tietoja on käsitelty joko koko aineiston osalta (N=496) tai tapauskohtaisesti jättäen aineistosta pois kuntoarvioitujen (n=44) rakennusten tulokset (N=452), joista ei lähtökohtaisestikaan ollut kuntotutkimustasoisia tuloksia saatavilla.

3.3 Tulokset

3.3.1 Ikäjakamat

Aineiston rakennusten (N=496) ikäjakama ulottui 1830-luvulta aina tarkasteluvuoteen 2022 asti (Kuvio 18). Aineistossa oli eniten vuosina 1950–1959 (n=78, 16 %) ja 1960–1969 (n=72, 15 %) rakennettuja koulurakennuksia. Rakennuksista yhteensä 97 (20 %) oli valmistunut vuosien 2000–2020 välillä (Kuvio 18).

Kuvio 18. Koulurakennusten ikäjakama aineistossa (N=496). Kuvioista on jätetty pois vuosina 1830–59 valmistuneet rakennukset niiden alhaisen lukumäärän vuoksi (n=1, alle 1 %). Aineiston rakennuksista 12:sta puuttui tieto rakennusvuodesta.



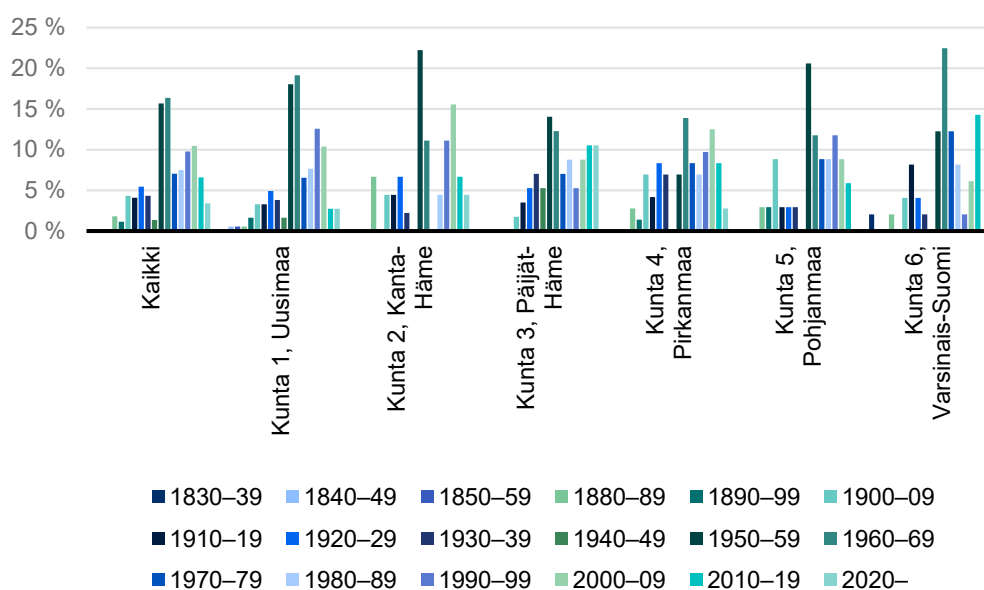
Kunnassa 1 (Uusimaa) oli eniten 1950- (n=33, 18 %) ja 1960-luvulla (n=35, 19 %) sekä seuraavaksi eniten 1990-luvulla (n=23) rakennettuja koulurakennuksia. Kunnan 1 koulurakennuksista 10 % (n=19) oli valmistunut 2000-luvulla (Kuvio 19).

Kunnan 2 (Kanta-Häme) koulurakennuskannassa oli eniten 1950-luvun (n=10, 22 %) rakennuksia. Seuraavaksi eniten koulurakennuksia oli valmistunut 2000-luvulla (n=7, 16 %) (Kuvio 19).

Niin ikään kuntien 4 (Pirkanmaa) ja 6 (Varsinais-Suomi) koulurakennuksia oli rakennettu eniten 1960-luvulla (n=10, 14 % ja n=11, 22 %). Kunnassa 4 oli rakennettu seuraavaksi eniten rakennuksia 2000-luvulla (n=9, 13 %) ja kunnassa 6 (n=7, 14 %) 2010-luvulla (Kuvio 19).

Kunnissa 5 (Pohjanmaa) ja 3 (Päijät-Häme) oli rakennettu eniten koulurakennuksia 1950-luvulla (n=7, 21 % ja n=8, 14 %). Kunnassa 3 oli valmistunut yhteensä 11 koulurakennusta (29 %) 2000–2020 luvulla. Vastaavasti kunnassa 5 oli valmistunut yhteensä 5 koulurakennusta (15 %) 2000–2010-luvuilla (Kuvio 19).

Kuvio 19. Koulurakennusten ikäjakauma kunnittain.



Aineiston rakennuksista ala-asteen kouluja toimi eniten 1950-luvulla (n=37, 22 %) rakennetuissa rakennuksissa. Yläasteen kouluja (n=16, 40 %) ja lukioita (n=8, 26 %) sekä yläasteen ja lukioiden yhdistelmiä (n=3, 43 %) toimi eniten 1960-luvulla rakennetuissa rakennuksissa. Koulut, joissa oli ala- ja yläaste, sijoituivat eniten 1960-luvulla (n=21, 21 %) rakennettuihin rakennuksiin. Yhdistettyjä ala-asteen ja päiväkodin toimintoja oli eniten 2000- (n=3, 30 %) ja 2010-luvuilla (n=3, 30 %) valmistuneissa rakennuksissa. Samoin päiväkodin, esiopetuksen ja ala-asteen yhdistettyjä toimintoja oli eniten 2010- (n=3, 50 %) ja 1990-luvuilla (n=3, 50 %) rakennetuissa rakennuksissa. Monitoimitaloihin sijoittuvia eri kouluasteiden ja muiden palveluiden toimintoja oli eniten 2020-luvulla (n=6, 25 %) ja seuraavaksi eniten 2010-luvulla (n=3, 13 %) valmistuneissa rakennuksissa.

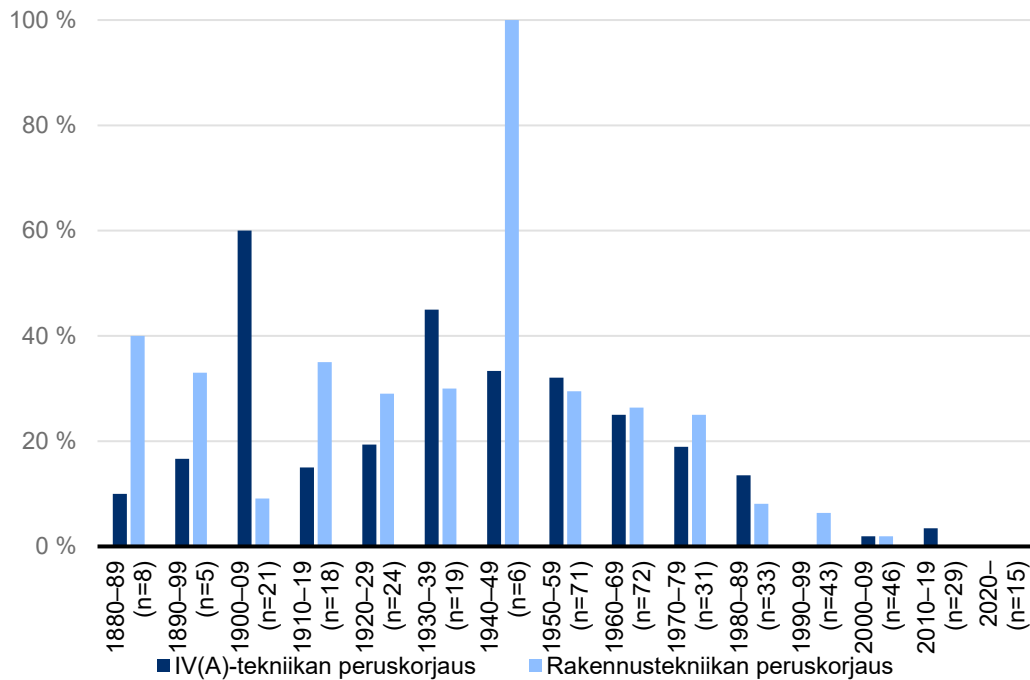
Aineiston 496 rakennuksesta 47 ei saatujen tietojen mukaan ollut käytössä. Syyt siihen, miksi rakennukset eivät olleet käytössä, olivat sisäilmaongelmat (3 %) sekä se, että rakennus odotti korjausta (3 %), päätöksentekoa toimenpiteestä (2 %) tai purkamista (1 %).

3.3.2 Peruskorjaukset

Rakennustekniikan peruskorjaus oli tehty 20 %:ssa (n=91) ja osittainen peruskorjaus 35 %:ssa (n=156) rakennuksista (N=452). Rakennustekniikan peruskorjaustilanteesta ei kuitenkaan ollut saatavilla tietoa 56 %:sta (n=277) rakennuksista. Rakennustekniikan osittaisia korjauksia (esimerkiksi yläpohjaan tai vesikattoon) oli tehty 33 %:ssa (n=147) rakennuksista.

Tarkasteltaessa rakennusten ikää rakennustekniikan peruskorjauksia oli tehty suhteessa eniten 1940-luvun (n=6, 100 %) rakennuksissa (Kuvio 20). Määrällisesti eniten peruskorjauksia oli tehty 1950-luvun (n=23, 29 %) ja 1960-luvun (n=19, 26 %) rakennuksiin. Peruskorjaustilanteen tieto puuttui 320 rakennuksen osalta. Ilmanvaihtotekniikan (ja automaation) (IV(A)) peruskorjauksia oli tehty 20 %:ssa (n=92) (Kuvio 20). On otettava huomioon, että tietoa IV(A)-peruskorjauksista ei ollut saatavilla 70 %:sta (n=346) rakennuksista.

Kuvio 20. Aineiston rakennuksissa (N=452) tehtyjen rakennus- ja IV(A)-tekniikan peruskorjausten määrä suhteessa eri vuosikymmenillä rakennettujen rakennusten määrään. Kuvioista on poistettu 1830–50-lukujen tiedot vähäisen rakennusmäärän vuoksi (0–1 rakennusta). Peruskorjaustilanteen tieto puuttui 320 ja IV(A)-tekniikan peruskorjaustieto 346 rakennuksen osalta.

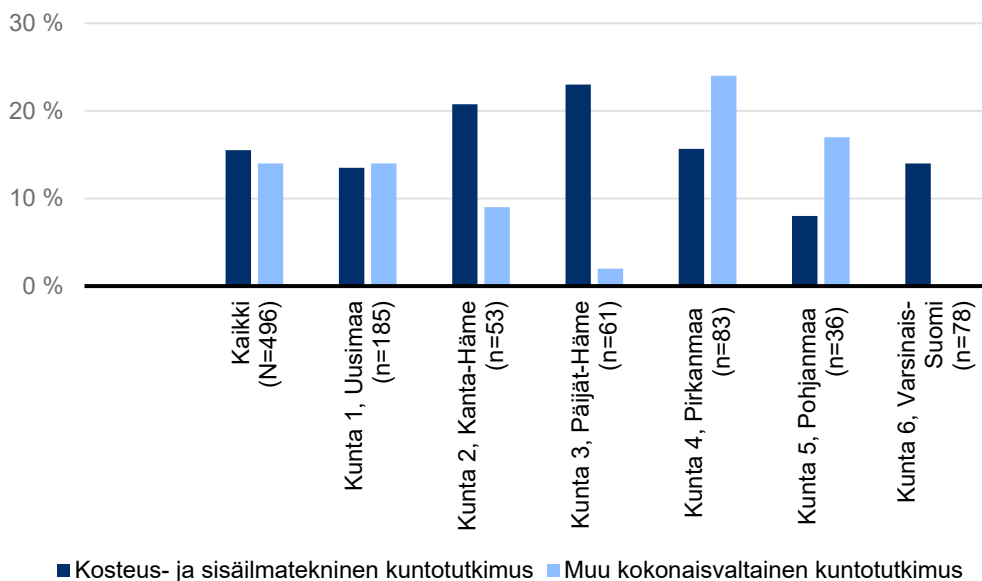


Ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjauksia oli tehty suhteessa eniten 1900-luvulla rakennettuihin rakennuksiin (n=3, 60 %) ja seuraavaksi 1930-luvulla (n=9, 45 %) rakennettuihin rakennuksiin (Kuvio 20). Huomioitavaa kuitenkin on, että tässä aineistossa rakennusten määrä oli vähäinen ja siten prosenttiosuudet ovat suhteessa suuria. Määrällisesti eniten ilmanvaihtojärjestelmän korjauksia oli tehty 1950- (n=25) ja 1960-luvun (n=18) rakennuksiin (Kuvio 20). Ilmanvaihtojärjestelmään liittyvistä peruskorjauksista ei ollut saatavilla tietoa 372 rakennuksen osalta.

3.3.3 Kosteus- ja sisäilmatekniset sekä muut kuntotutkimukset

Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia oli tehty 77 rakennukseen ja niiden jakautumista tarkasteltiin suhteessa koko aineiston rakennuskantaan sekä kunnittain suhteessa kyseisestä kunnasta aineistossa mukana olevien koulurakennusten määrään (Kuvio 21). Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia oli tehty 16 %:ssa kaikista rakennuksista (N=496). Eniten kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia suhteessa koulurakennusten määrään oli tehty kunnassa 3 (Päijät-Häme) (n=14, 23 %) ja seuraavaksi eniten kunnassa 2 (Kanta-Häme) (n=11, 21 %).

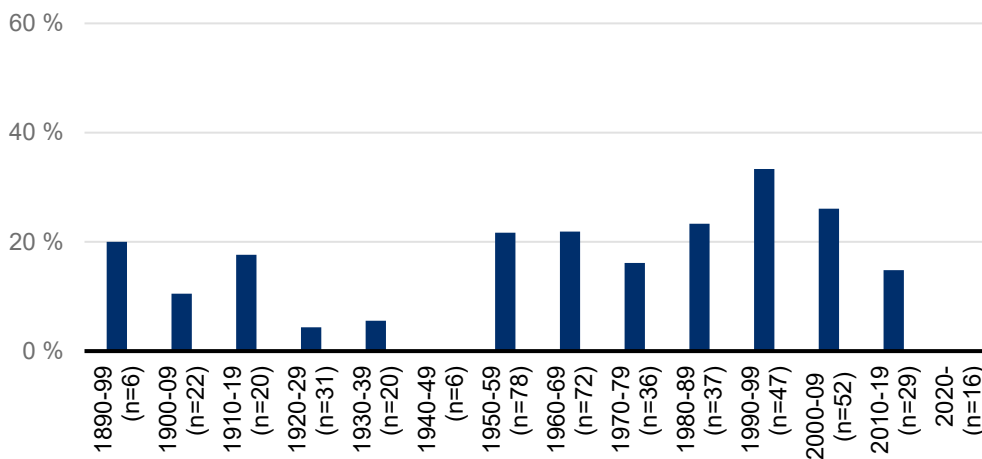
Kuvio 21. Kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimusoppaan (Pitkäranta (toim.), 2016) mukaisesti tehtyjen kuntotutkimusten (n=77) ja muiden kuntotutkimustasoisten tutkimusten (n=69) määrä suhteessa kustakin kunnasta tarkasteltujen koulurakennusten määrään sekä suhteessa koko aineiston rakennusten määrään (N=496).



Muita kokonaisvaltaisia kuntotutkimuksia oli tehty 69 rakennukseen ja niiden jakautumista tarkasteltiin suhteessa koko aineiston rakennuskannan määrään sekä kunnittain suhteessa kunnasta tarkastelussa olleiden koulurakennusten määrään (Kuvio 21). Muita kokonaisvaltaisia kuntotutkimuksia oli tehty 14 %:ssa kaikista rakennuksista (N=496). Eniten muita kokonaisvaltaisia kuntotutkimuksia suhteessa kunnasta tarkasteltujen koulurakennusten määrään oli tehty kunnassa 4 (Pirkanmaa) (n=20, 24 %) ja seuraavaksi eniten kunnassa 5 (Pohjanmaa) (n=6, 17 %) sekä kunnassa 1 (Uusimaa) (n=26, 14 %).

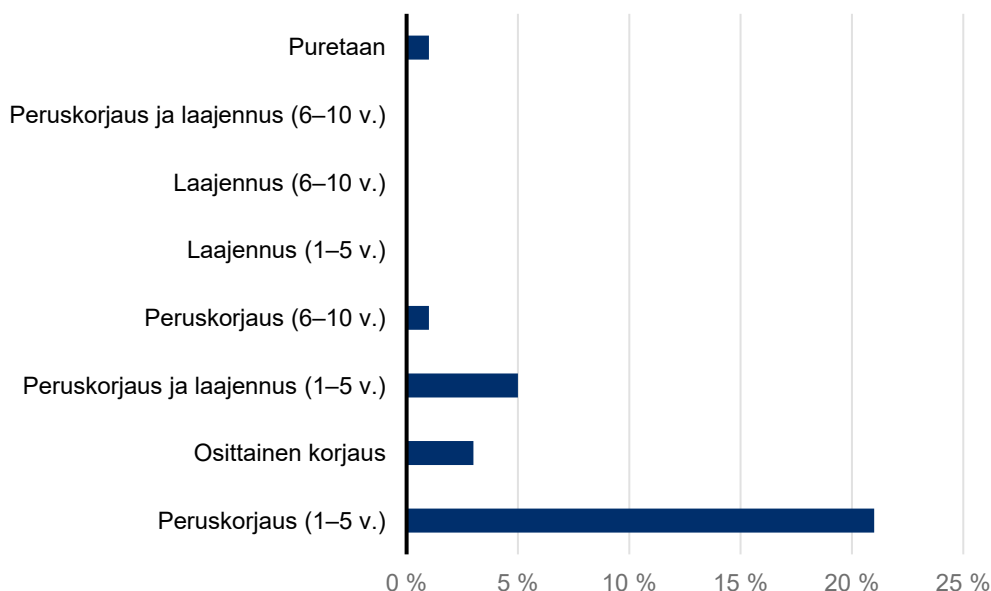
Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia on tehty eniten suhteessa rakennusten määrään 1990-luvulla (n=13, 33 %) ja seuraavaksi eniten 2000-luvulla (n=12, 26 %) rakennettuihin rakennuksiin (Kuvio 22). Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia on tehty melko tasaisesti (16–23 %) 1950–1980-lukujen rakennuskantaan.

Kuvio 22. Tehtyjen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten (n=77) määrä rakennusvuosikymmenen mukaan koko aineistossa (N=496). Kuvioista on jätetty pois rakennukset, joiden rakennusvuosi oli ennen vuotta 1890. Näiden rakennusten osalta tässä aineistossa ei ollut tehty tai saatavilla kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimusdokumentteja.



Kosteus- ja sisäilmateknisiä kuntotutkimuksia (n=77) oli tehty eniten rakennuksissa, joissa tuleva suunniteltu toimenpide on peruskorjaus (n=16, 21 %) tai rakennuksen peruskorjaus ja laajennus seuraavien 1–5 vuoden kuluessa (n=4, 5 %) (Kuvio 23). Yksittäisten tilojen sisäilmaston tai rakenteiden kunnon selvityksiä ja niistä laadittuja raportteja tai muita muistioita oli tehty 347 rakennuksessa.

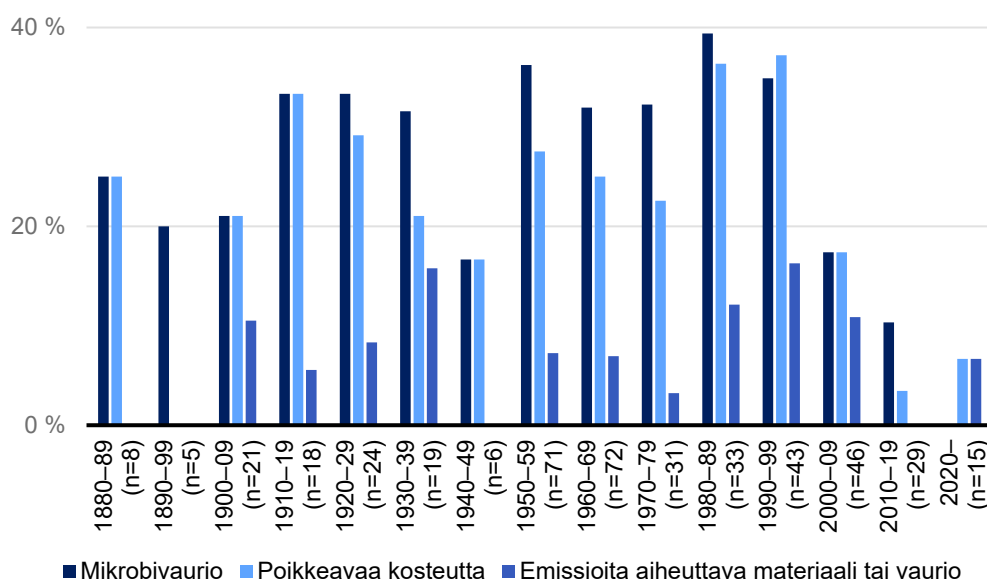
Kuvio 23. Suunnitellut tulevat toimenpiteet niissä rakennuksissa, joissa oli tehty kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (n=77).



3.3.4 Poikkeava kosteus ja sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät

Suhteessa rakennusten määrään eniten rakenne-, koepala- tai viiltomittauksella todettua poikkeavaa kosteutta jossakin rakennuksen rakenteessa oli todettu 1990-luvun rakennuksissa (n=37, 43 %) ja seuraavaksi eniten 1980-luvun rakennuksissa (Kuvio 24). Lähes jokaisen vuosikymmenen rakennuksissa oli todettu poikkeavaa kosteutta jossain rakennuksen rakennusosassa (0–29 %). Eniten mikrobivaurioita oli todettu 1980-luvulla rakennetuissa rakennuksissa (n=33, 39 %) ja seuraavaksi eniten 1950-luvulla rakennetuissa rakennuksissa (n=71, 36 %) (Kuvio 24). Rakennusmateriaaleista tai niiden vaurioista peräisin olevia toimenpide-, vertailu- tai raja-arvot ylittäviä emissioita (ilma- tai materiaalinäyttein todettuja) jossakin rakennuksen rakenteessa oli todettu eniten 1930- (n=39, 16 %) ja 1990-luvun (n=43, 16 %) rakennuksissa ja seuraavaksi eniten 1980- (n=33, 12 %), 1900- (n=21, 11 %) ja 2000-luvun (n=46, 11 %) rakennuksissa (Kuvio 24).

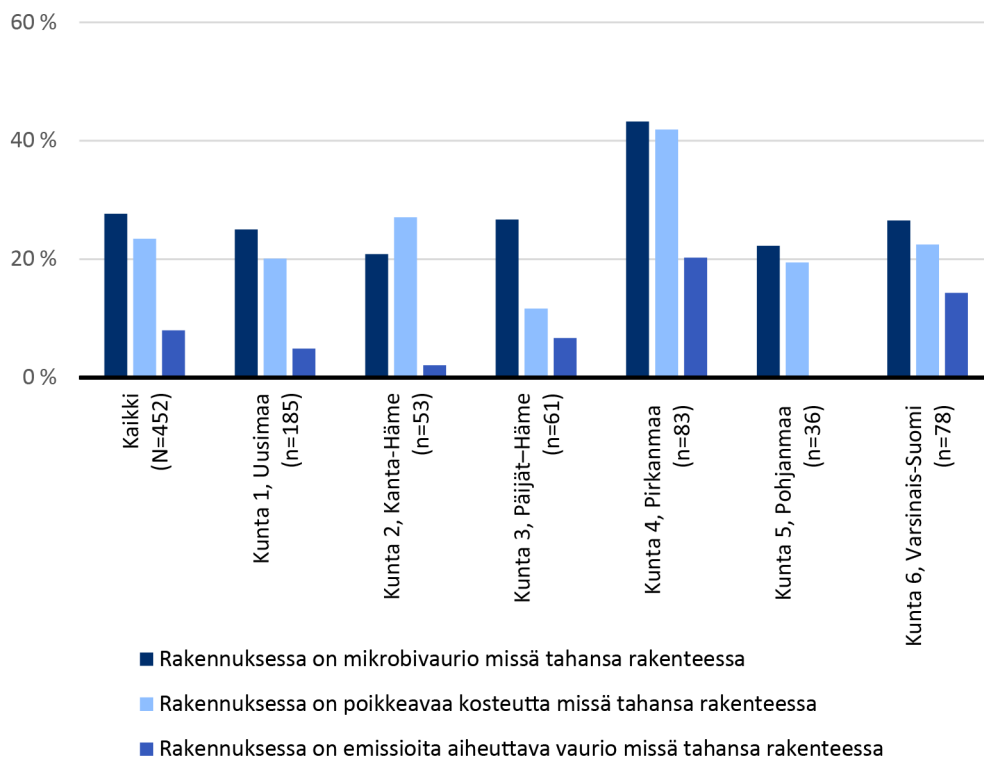
Kuvio 24. Rakennuksen (N=452) jossain rakenteessa todettu poikkeava kosteus, mikrobivaurio tai emissioita aiheuttava materiaali tai vaurio rakennuksen jossain rakenteessa tarkasteltuna aineiston rakennuksista vuosikymmenittäin. Kuvio ei kerro sitä onko poikkeava kosteus, mikrobivaurio tai emissioita aiheuttava materiaali tai vaurio todettu samassa rakennuksessa. Kuvioista on jätetty pois vuosien 1830–59 välillä rakennetut rakennukset, joiden määrä oli aineistossa vähäinen.



Kunnittain tarkasteltuna eniten poikkeavaa kosteutta oli todettu kunnan 4 (Pirkanmaa) koulurakennuksissa (n=31, 42 %) ja vähiten kunnan 3 (Päijät-Häme) koulurakennuksissa (n=7, 12 %) (Kuvio 25). Rakennuksissa esiintyi eniten todettuja mikrobivaurioita suhteessa rakennusmäärään kunnan 4 (Pirkanmaa) koulurakennuksissa (n=32, 43 %) ja seuraavaksi eniten kunnan 6 (Varsinais-Suomi) (n=49, 27 %) sekä kunnan 3 (Päijät-Häme) (n=16, 27 %) koulurakennuksissa (Kuvio 25). Todettuja mikrobivaurioita esiintyi 28 %:ssa aineiston koulurakennuksista (N=452) (Kuvio 25.)

Kunnittain tarkasteltuna eniten todettuja materiaaleihin tai niiden vaurioihin liittyviä emissioita esiintyi kunnassa 4 (Pirkanmaa) (n=15, 20 %) ja seuraavaksi eniten kunnassa 6 (Varsinais-Suomi) (n=7, 14 %) ja kunnassa 3 (Päijät-Häme) (n=4, 7 %). Koko aineistossa materiaaliemissioihin liittyviä poikkeamia esiintyi 8 %:ssa koulurakennuksista (N=452).

Kuvio 25. Rakennuksen (N=452) jossain rakenteessa todettu poikkeava kosteus, mikrobivaurio, tai emissioita aiheuttava materiaali tai vaurio tarkasteltuna kunnittain. Kuvio ei kerro sitä onko poikkeava kosteus, mikrobivaurio tai emissioita aiheuttava materiaali tai vaurio todettu samassa rakennuksessa. Kuvioista on jätetty pois vuosina 1830–59 rakennetut rakennukset, joiden määrä aineistossa oli vähäinen.



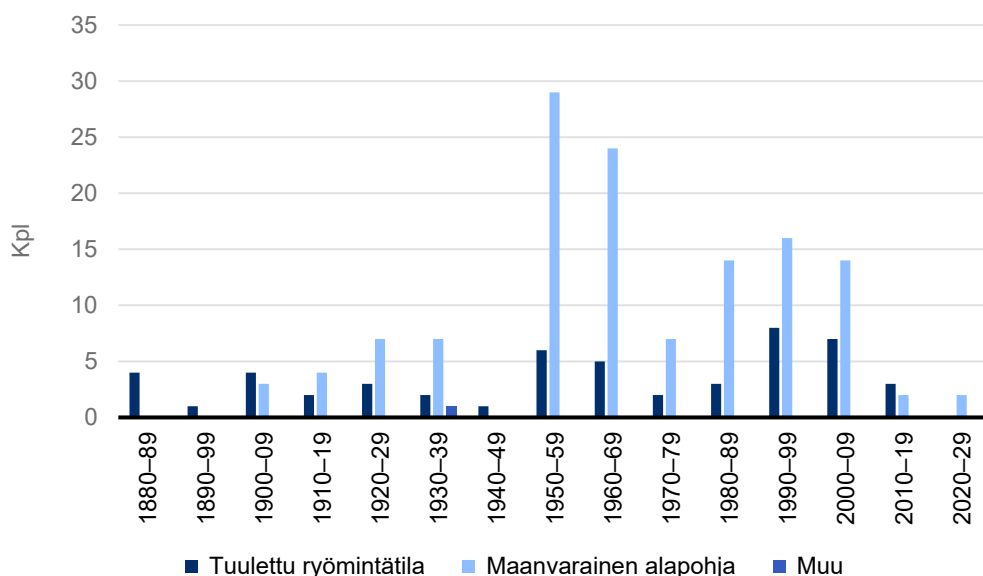
Osittainen korjaus (esimerkiksi vesikatto, yläpohja tai alapohja) oli yleisin seuraavien 1–5 vuoden aikana suunniteltu toimenpide 67 %:ssa niistä rakennuksista, joissa oli todettu poikkeavaa kosteutta ja myös niissä rakennuksissa, joissa oli todettu mikrobivaurio jossakin rakennuksen rakenteessa. Seuraavaksi yleisimmät toimenpiteet kohteissa, joissa oli todettu poikkeavaa kosteutta, olivat peruskorjaus 1–5 vuoden sisällä (45 %) ja peruskorjaus ja laajennus 1–5 vuoden sisällä (44 %). Kohteissa, joissa esiintyi mikrobivaurio, seuraavaksi yleisimmät suunnitellut toimenpiteet olivat peruskorjaus ja laajennus seuraavien 1–5 vuoden aikana (50 %), peruskorjaus seuraavien 1–5 vuoden aikana (48 %) sekä rakennuksen korvaaminen uudisrakennuksella tai toiminnan siirtäminen uudisrakennukseen (47 %). Niissä rakennuksissa, joissa oli todettu emissioihin liittyviä poikkeamia, oli yleisin tuleva suunniteltu toimenpide seuraavien 1–5 vuoden aikana rakennuksen korvaaminen uudisrakennuksella tai toiminnan siirtäminen uudisrakennukseen (16 %). Seuraavaksi yleisimmät suunnitellut toimenpiteet olivat peruskorjaus ja laajennus seuraavien 1–5 vuoden aikana (11 %) ja peruskorjaus seuraavien 1–5 vuoden aikana (8 %).

3.3.5 Rakenteet

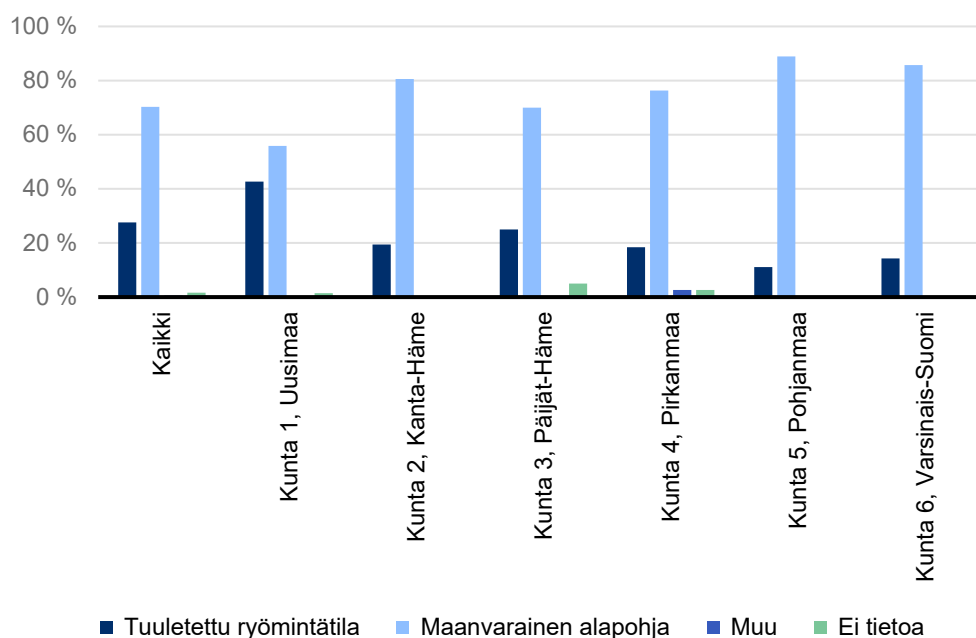
Alapohjarakenteet

Alapohjarakenteiden tyypit oli selvitetty 185 koulurakennuksessa, ja tyyppien jakautuminen rakennusvuosittain esitetään Kuviossa 26. Suurimmassa osassa alapohjan tyyppinä oli maanvarainen alapohja (n=130) ja 51 rakennuksessa alapohjan tyyppinä oli tuulettettu ryömintätila.

Kuvio 26. Kuntotutkimuksissa tutkittujen alapohjien tyypit (N=185) jaoteltuna rakennusvuosikymmenen mukaan.

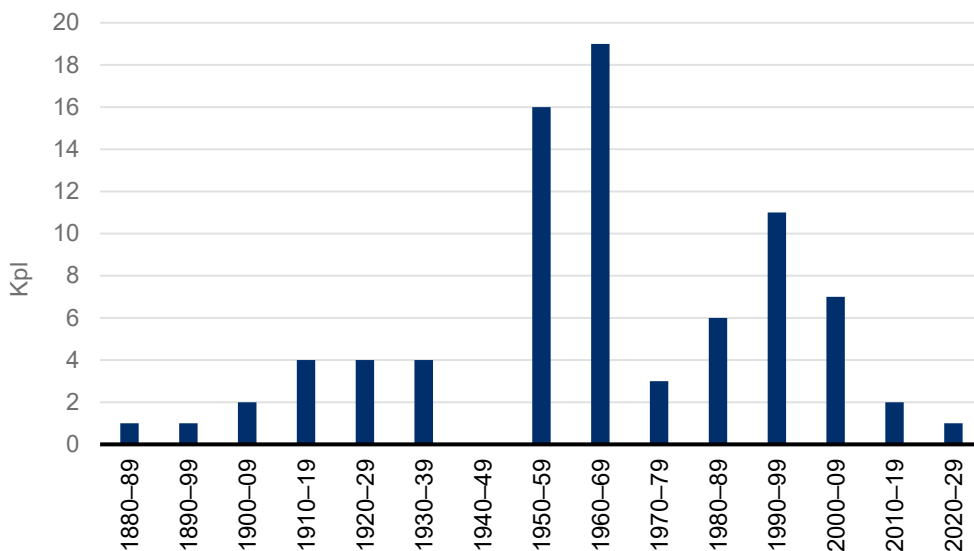


Alapohjan tyyppien (N=185) jakautuminen kunnittain esitetään Kuviossa 27. Maanvarainen alapohja oli kaikkien kuntien osalta yleisin alapohjatyyppe. Muissa kunnissa maanvaraisia alapohjia oli selvästi enemmän, mutta kunnassa 1 (Uusimaa) tuulettujen ryömintätilallisten alapohjien (n=29, 43 %) osuus oli lähempänä maanvaraisten alapohjien osuutta (n=38, 56 %).

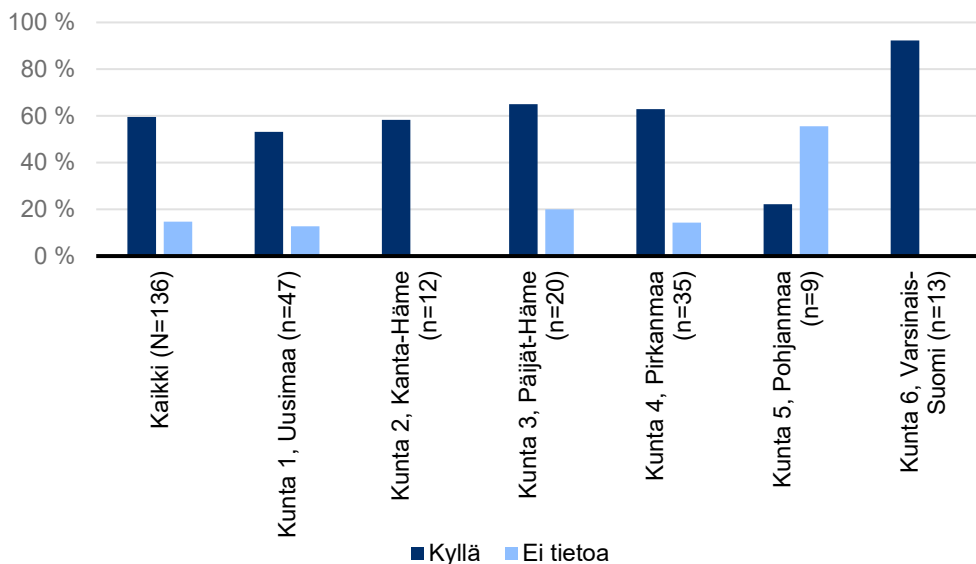
Kuvio 27. Alapohjatyypin (N=185) jakaantuminen kunnittain.

Alapohjarakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli kuntotutkimuksissa tutkittu 136 rakennuksen osalta ja vaurioiden esiintyminen rakennusvuosikymmenittäin sekä maakunnittain esitetään Kuvioissa 28 ja 29. Määrällisesti eniten vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli 1950- (n=16), 1960- (n=19) ja 1990-luvulla (n=11) rakennetuissa rakennuksissa. Tutkituista rakennuksista alapohjarakenteen vaurioita tai epäpuhtauslähteitä esiintyi 60 %:ssa (n=81). Vaurioituneissa alapohjarakenteissa merkittävimpänä tai laajimpana epäpuhtauslähteenä olivat mikrobit 65 alapohjassa ja materiaaliemissio 15 alapohjassa. Kunnittain suurimmat osuudet alapohjarakenteita, joissa oli vaurioita tai epäpuhtauslähteitä, olivat kunnassa 6 (Varsinais-Suomi) (n=12, 92 %), kunnassa 3 (Päijät-Häme) (n=13, 65 %) ja kunnassa 4 (Pirkanmaa) (n=22, 63 %). Kuntaa 5 (Pohjanmaa) lukuun ottamatta kaikissa kunnissa vaurioita tai epäpuhtauslähteitä esiintyi yli 50 %:ssa tutkituista alapohjarakenteista.

Kuvio 28. Alapohjarakenteiden vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden (N=81) määrät eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.

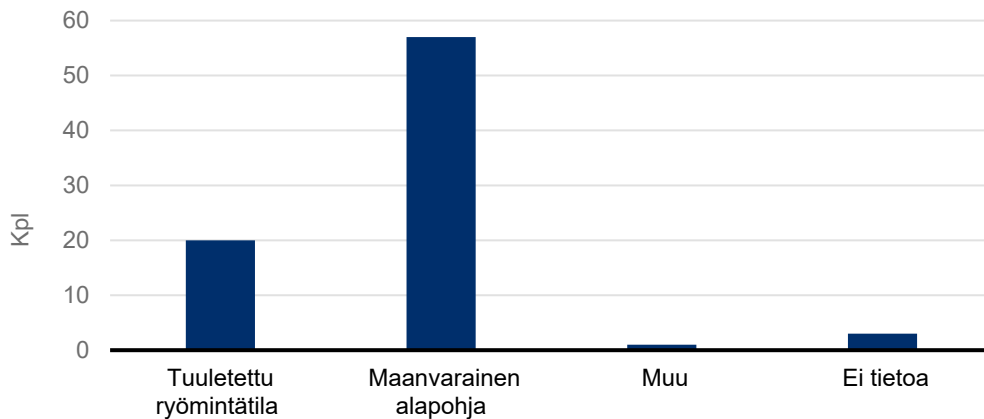


Kuvio 29. Alapohjien vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden osuudet kunnittain kuntotutkimuksilla tutkituissa koulurakennuksissa (N=136).



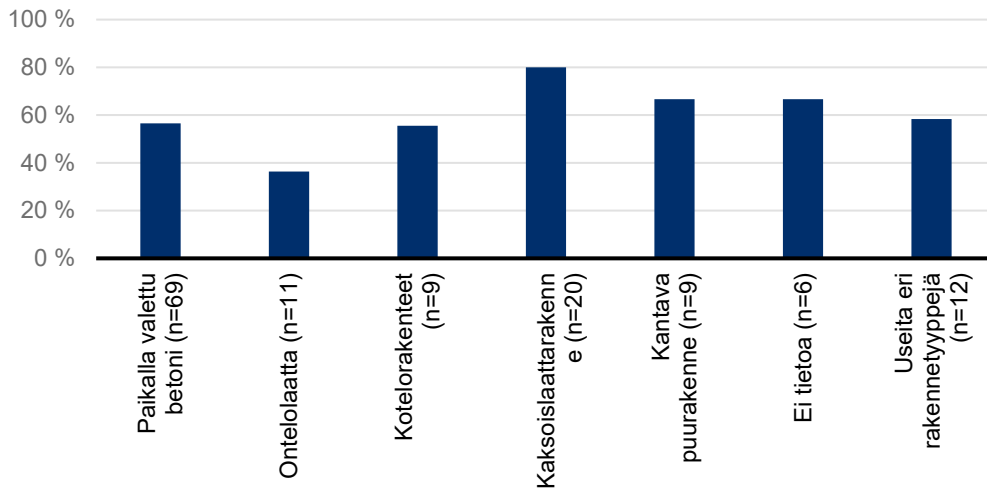
Alapohjarakenteet, joissa oli vaurio tai epäpuhtauslähde, esitetään alapohjatyypeittäin Kuviossa 30. Määrällisesti ja prosentuaalisesti eniten vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli alapohjissa, joiden rakennetyyppinä oli maanvarainen alapohja (n=57, 62 %).

Kuvio 30. Alapohjien vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden (N=81) jakaantuminen alapohjatyypeittäin.



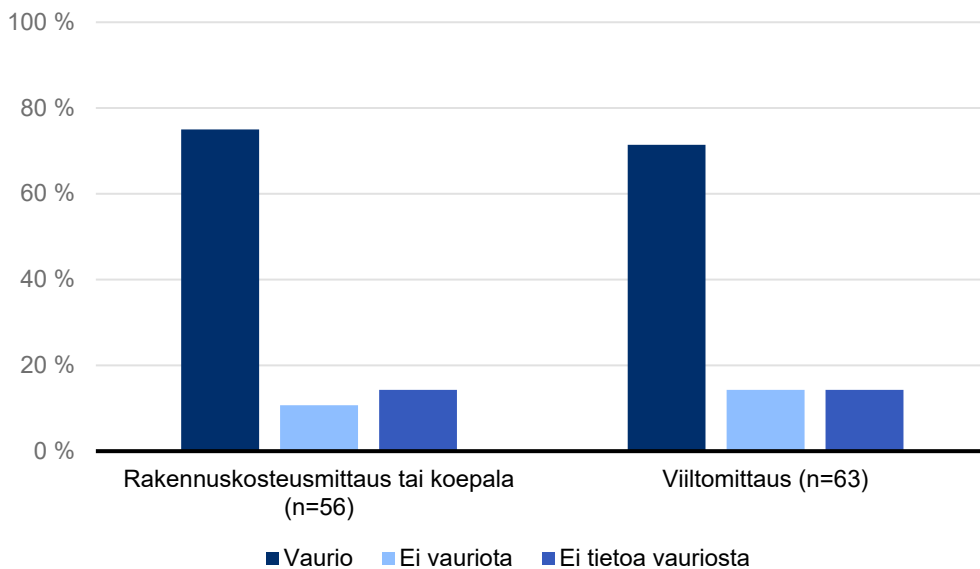
Vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden osuudet erilaisissa alapohjarakenteissa esitetään Kuviossa 31. Kaikissa tutkituissa alapohjarakennetyypeissä ontelolaattoja lukuun ottamatta yli puolessa oli vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Prosentuaalisesti eniten vaurioita oli alapohjissa, joiden pääasiallisen rakenteena oli kaksoislaattarakenne (n=16, 80 %) ja määrällisesti vaurioita oli eniten paikallavaletuissa alapohjarakenteissa (n=39, 57 %).

Kuvio 31. Alapohjarakenteiden vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden osuudet pääasiallisen rakenteen mukaan kuntotutkimuksissa tutkituissa alapohjissa (N=136).



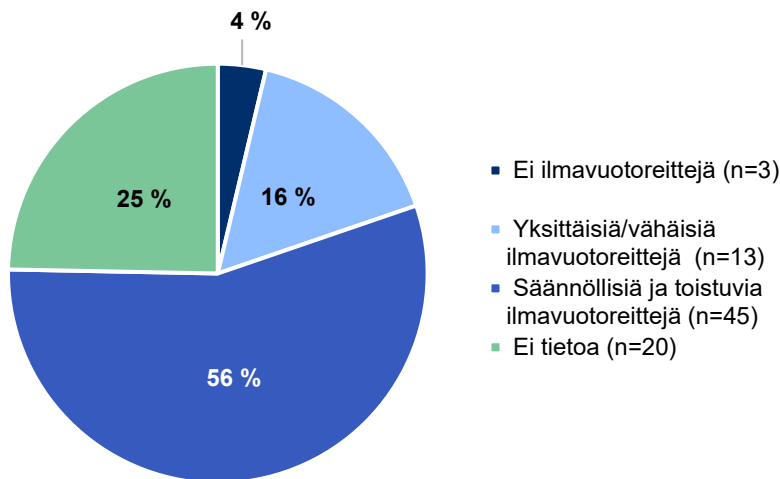
Vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden esiintyminen alapohjissa, joissa oli todettu kosteutta rakennuskosteusmittauksella, koepalalla tai viiltomittauksella, esitetään Kuviossa 32. Rakenteen kohonnut kosteus oli yhteydessä vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintymiseen. 75 %:ssa (n=42) alapohjarakenteita, joissa oli todettu poikkeava kosteus rakennuskosteusmittauksella tai koepalalla, oli myös vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Vastaavasti alapohjarakenteissa, joissa oli viiltomittauksella todettu poikkeava kosteus, oli vaurioita tai epäpuhtauslähteitä 71 %:ssa (n=45).

Kuvio 32. Vaurioiden jakaantuminen alapohjissa, joissa oli todettu poikkeavaa kosteutta joko rakennuskosteusmittauksella tai koepalalla (n=56) tai viiltomittauksella (n=63).



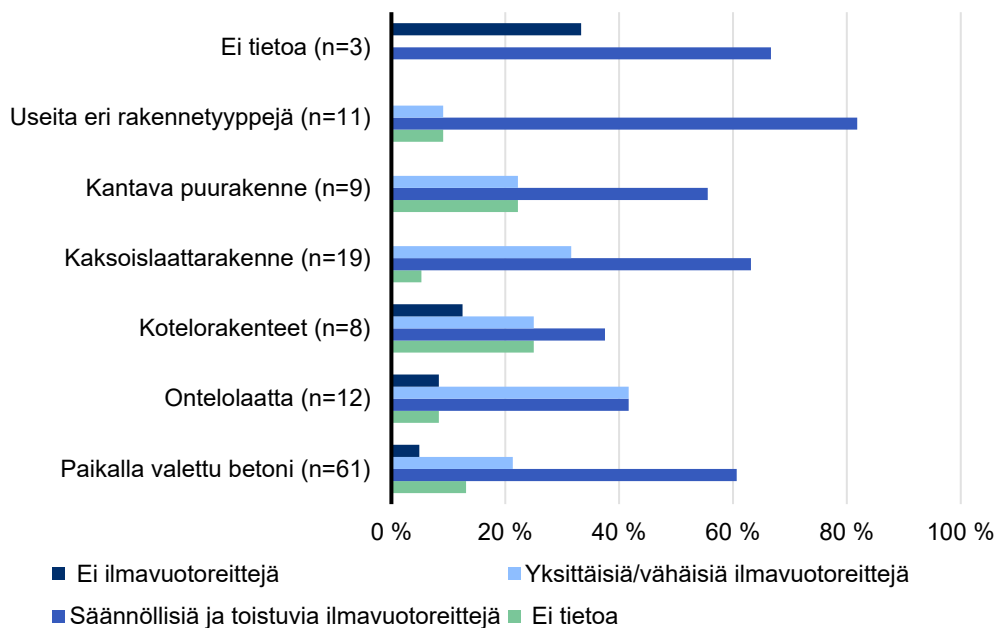
Alapohjarakenteista, joissa oli vaurio tai epäpuhtauslähde (N=81), 56 %:ssa oli säännöllisiä ja toistuvia ilmavuotoreittejä sisäilmaan (Kuvio 33). Vain 4 %:ssa vaurioituneita alapohjarakenteita ei ollut ilmavuotoreittejä ja neljänneksen osalta asiaa ei ollut tutkittu.

Kuvio 33. Ilmavuotoreitit vaurioituneista alapohjista sisäilmaan (N=81).



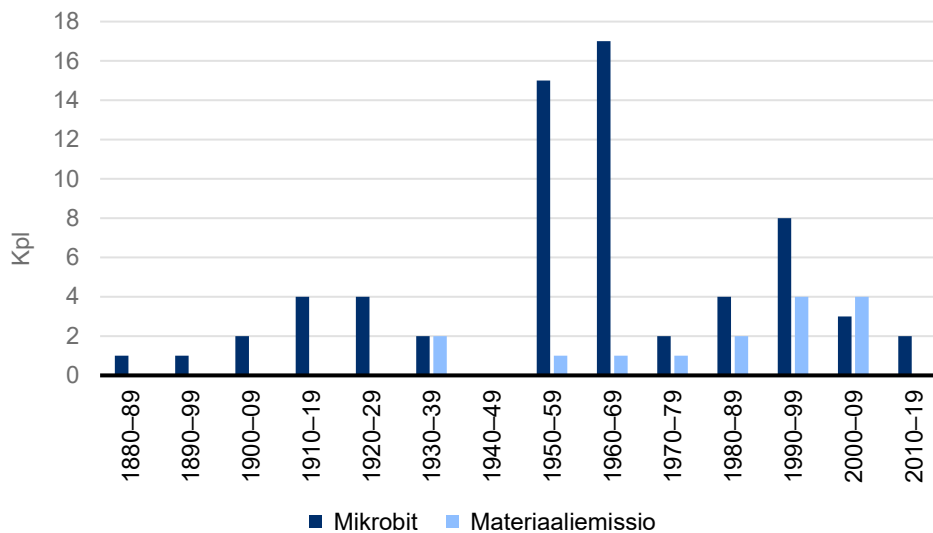
Ilmavuotoreittien yleisyys pääasiallisen alapohjarakenteen mukaan esitetään Kuviossa 34. Alapohjarakenteiden ilmatiiveyttä oli tutkittu 123 koulurakennuksessa. Rakennuksien suurempi määrä edelliseen kuvaajaan selittyy sillä, että ilmatiiveyttä oli selvitetty myös rakennuksissa, joissa alapohjarakenne ei ollut vaurioitunut. Ilmavuotoreitit olivat säännöllisiä ja toistuvia suurimmassa osassa kaikkia alapohjarakenteita, ja ilmatiiviitä alapohjia oli vain kuudessa koulurakennuksessa.

Kuvio 34. Alapohjarakenteiden ilmavuotoreitit pääasiallisen rakenteen mukaan (N=123).



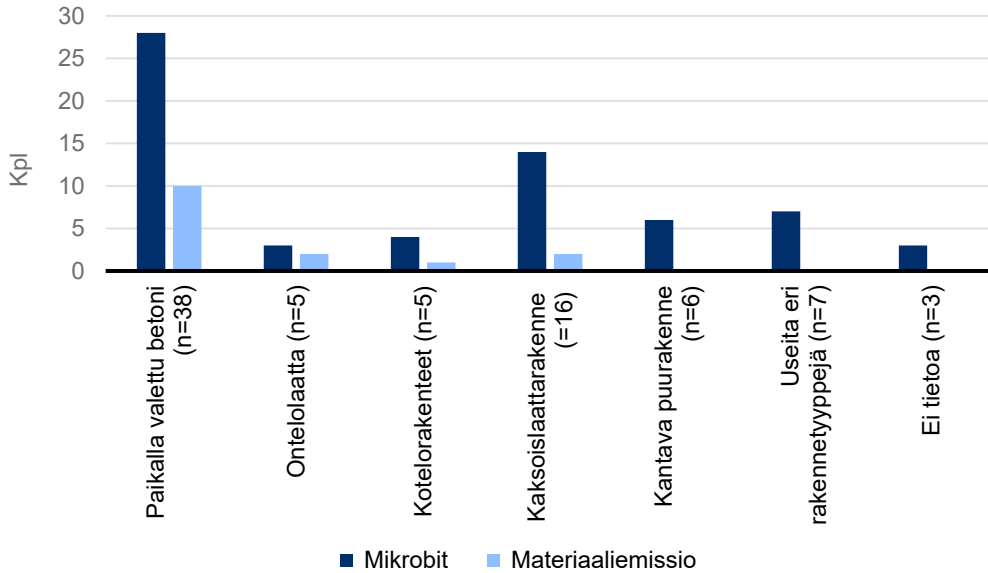
Merkittävimpien tai laajimpien epäpuhtauslähteiden (mikrobit n=65, materiaaliemissio n=15) jakaantuminen eri vuosikymmeninä rakennettujen rakennuksien alapohjarakenteissa esitetään Kuviossa 35. Yhden rakennuksen osalta merkittävintä tai laajinta epäpuhtauslähdettä ei voitu selvittää tutkimusraporteista. Eniten mikrobivaurioituneita alapohjarakenteita oli 1950- ja 1960-luvun rakennuksissa ja materiaaliemissioita 1990- ja 2000-luvun rakennuksien alapohjissa.

Kuvio 35. Alapohjarakenteiden merkittävimpien tai laajimpien epäpuhtauslähteiden (N=80) jakaantuminen eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.



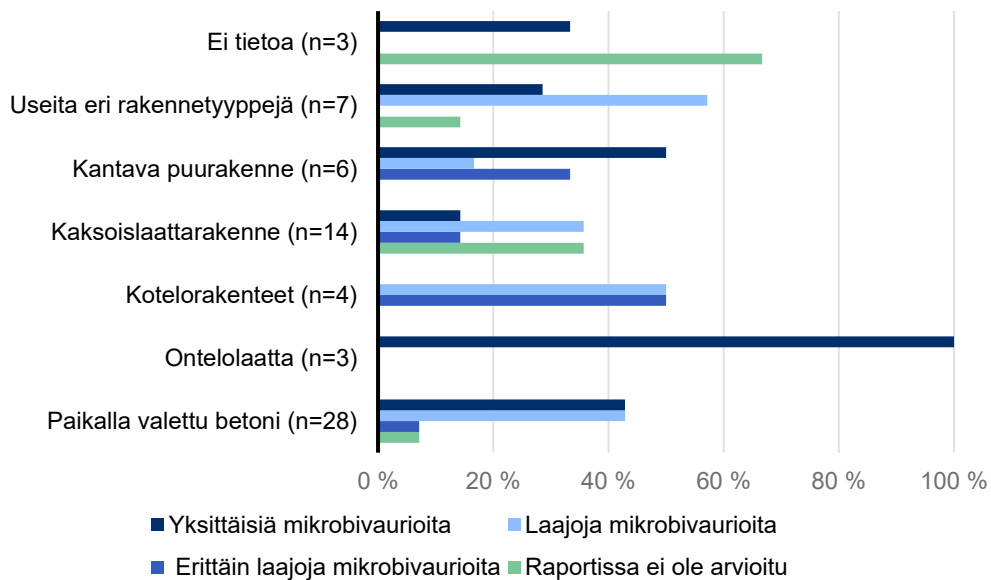
Epäpuhtauslähteiden jakaantuminen alapohjan pääasiallisen rakenteen mukaan esitetään Kuviossa 36. Selvästi eniten mikrobivaurioita (n=28) ja materiaaliemissioita (n=10) esiintyi alapohjissa, joiden pääasiallisen rakenteena oli paikalla valettu betoni-laatta.

Kuvio 36. Alapohjarakenteiden merkittävimpien tai laajimpien epäpuhtauslähteiden (N=80) jakaantuminen pääasiallisen rakenteen mukaan.



Alapohjarakenteiden mikrobivaurioiden (N=65) laajuudet eriteltynä pääasiallisen rakenteen mukaan esitetään Kuviossa 37. Mikrobivauriot eri rakenteissa olivat pääasiassa yksittäisiä (n=23) tai laajoja (n=24), ja erittäin laajoja vaurioita esiintyi kahdeksassa koulurakennuksessa.

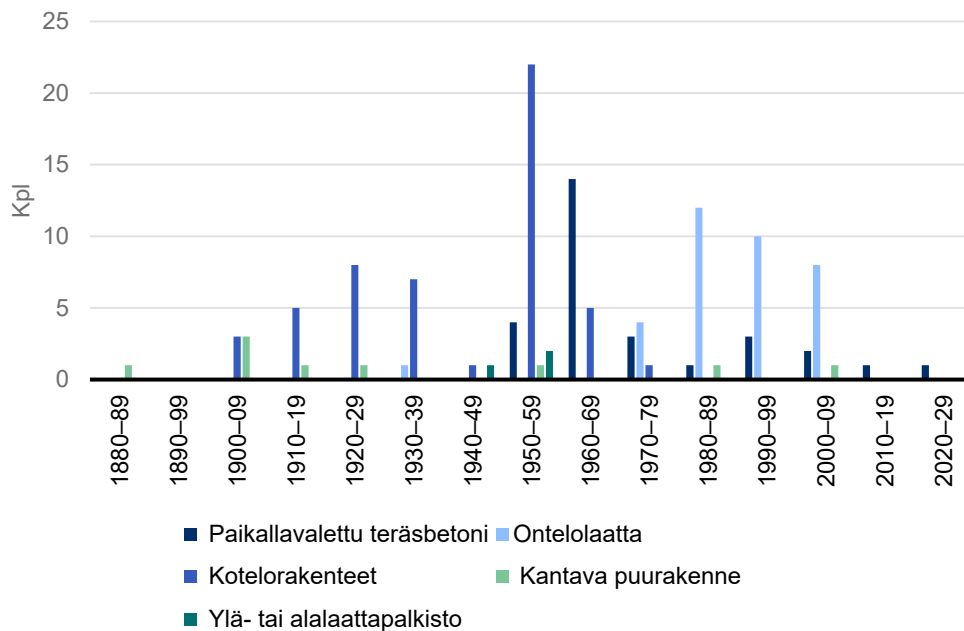
Kuvio 37. Mikrobivaurioituneiden alapohjarakenteiden (N=65) vauriolaajuksien jakaantuminen pääasiallisen rakenteen mukaan.

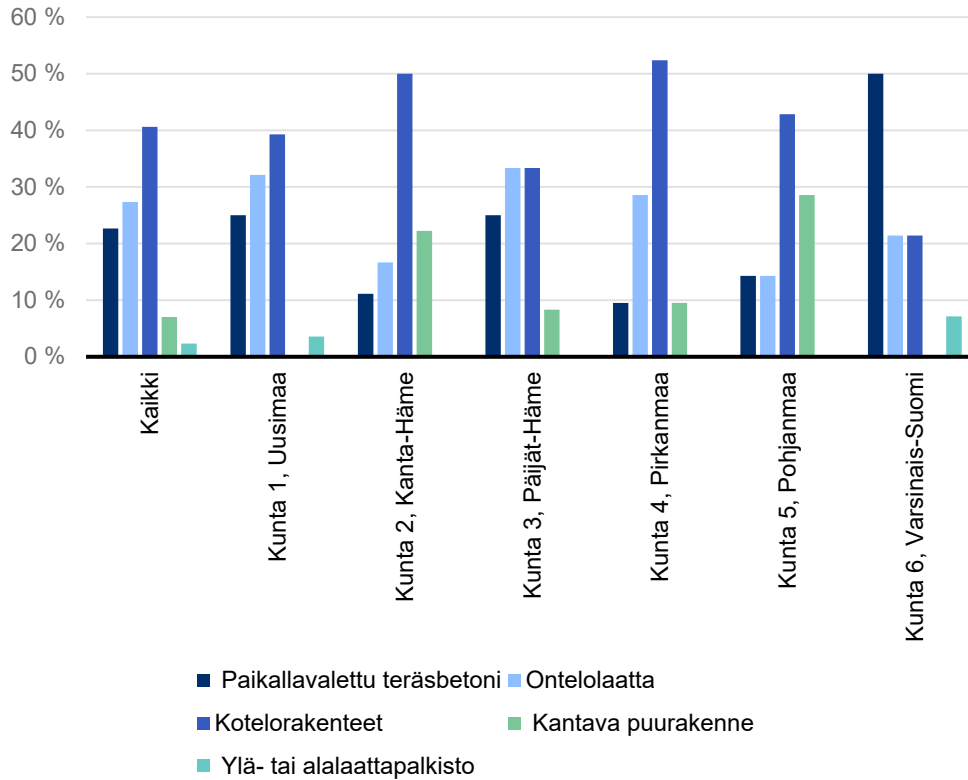


Välipohjarakenteet

Välipohjien rakenteista oli tietoa 128 rakennuksen osalta, ja välipohjien rakenteet eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa esitetään Kuviossa 38. Rakennetyypeistä yleisimpiä olivat kotelorakenteet (n=52), ontelolaatat (n=35) ja paikallavaletut teräsbetoniset välipohjat (n=29). Välipohjien rakennetyyppien jakaantuminen maakunnittain esitetään Kuviossa 39.

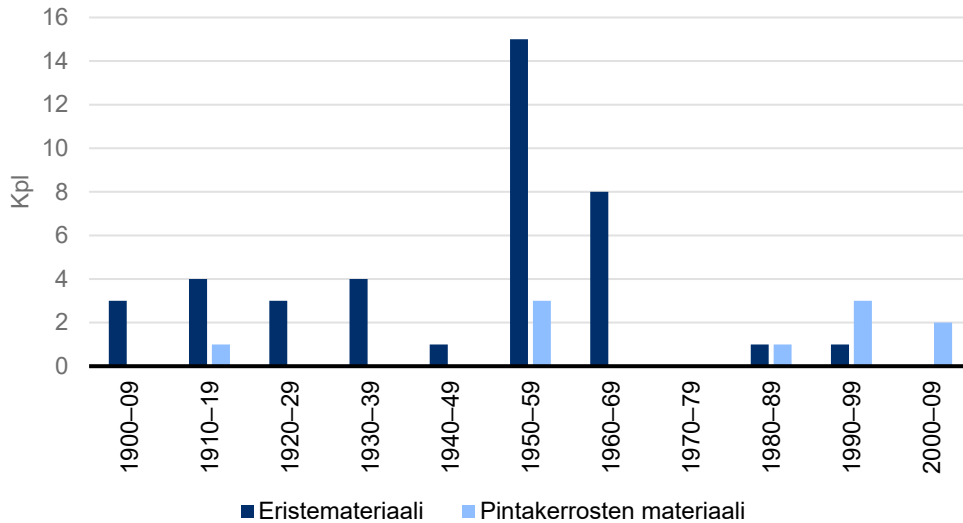
Kuvio 38. Pääasialliset välipohjarakenteet (N=128) eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.



Kuvio 39. Pääasiallisten välipohjarakenteiden (N=128) jakaantuminen kunnittain.

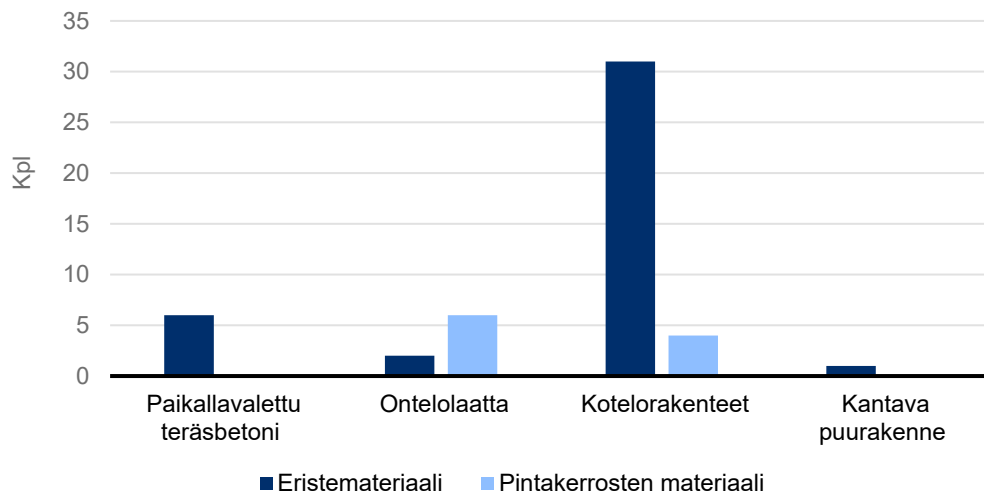
Välipohjarakenteiden vaurioita ja epäpuhtauslähteitä tarkasteltiin erikseen eristemateriaalien ja pintakerrosten materiaalien osalta ja vauriot esitetään koulurakennusten rakennusvuosien mukaan Kuviossa 40. Vaurioita ja epäpuhtauslähteitä välipohjarakenteiden eristysmateriaaleissa oli 40 koulurakennuksessa ja kaikissa tapauksissa kyse oli mikrobivaurioista. Välipohjarakenteiden pintakerrosten materiaaleissa oli vaurioita tai epäpuhtauslähteitä 10 koulurakennuksessa, joista kahdessa oli mikrobivaurioita ja loppuissa materiaaliemissio.

Kuvio 40. Välipohjarakenteiden eristemateriaaleissa (n=40) ja pintakerrosten materiaaleissa (n=10) esiintyneiden vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden määrät eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.



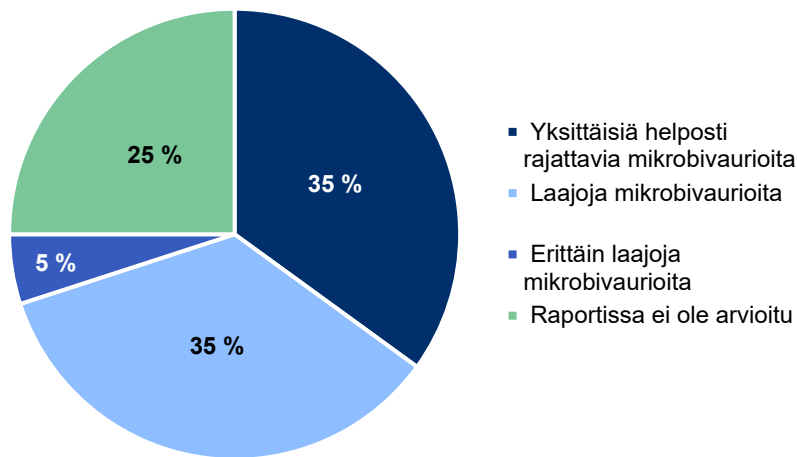
Välipohjien vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden jakaantuminen rakennetyypeittäin esitetään Kuviossa 41. Selvästi eniten eristemateriaalivaurioita oli kotelorakenteisessa välipohjissa (n=31). Pintakerrosten materiaalien vauriot jakaantuivat ontelolaattojen ja kotelorakenteisten välipohjien kesken.

Kuvio 41. Välipohjarakenteiden eristemateriaaleissa (n=40) ja pintakerrosten materiaaleissa (n=10) esiintyneiden vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden jakaantuminen rakennetyypeittäin.



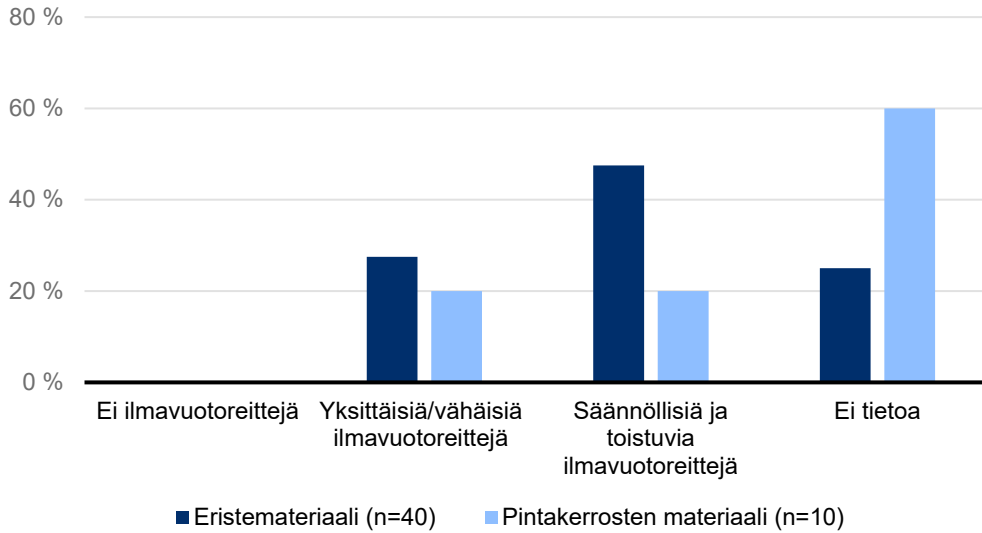
Mikrobivaurioiden laajuuksien jakaantuminen välipohjan eristemateriaaleissa esitetään Kuviossa 42. Vauriolaajuudet jakaantuivat tasaisesti yksittäisien helposti rajattavien vaurioiden (35 %, n=14) ja laajojen vaurioiden (35 %, n=14) välille niiltä osin kuin ne tutkimusraporteissa oli arvioitu. Välipohjien eristemateriaalien mikrobivauriot olivat erittäin laajoja 5 %:ssa (n=2) tapauksessa. Välipohjan pintakerrosten materiaalien mikrobivaurioista yksi oli luokiteltu yksittäiseksi helposti rajattavaksi vaurioiksi ja toinen erittäin laajaksi.

Kuvio 42. Välipohjien eristemateriaalien mikrobivaurioiden (N=40) laajuudet tutkituissa rakennuksissa.



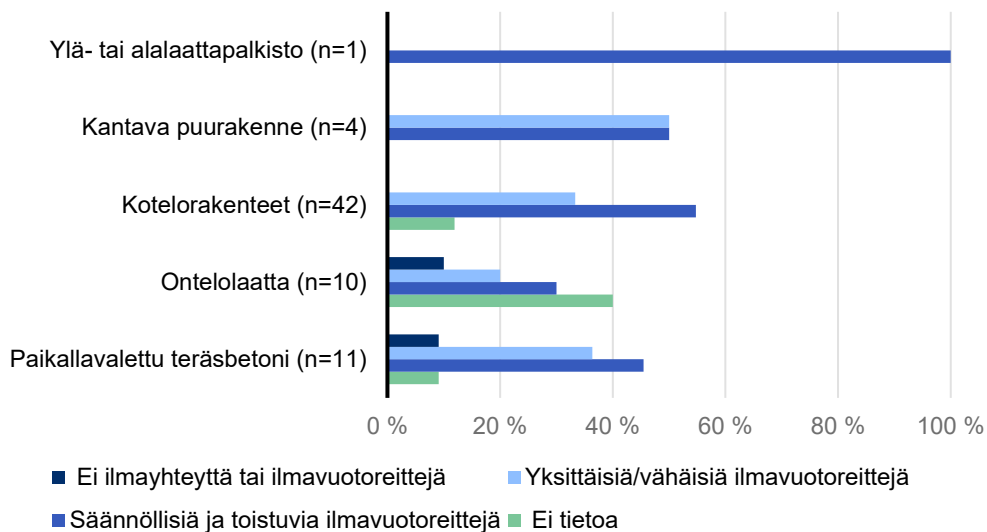
Vaurioituneiden välipohjarakenteiden ilmavuotoreitit sisäilmaan esitetään Kuviossa 43. Eristemateriaalivaurioituneista välipohjarakenteista 48 %:ssa oli säännöllisiä ja toistuvia ilmavuotoreittejä (n=19) ja 28 %:ssa oli yksittäisiä/vähäisiä ilmavuotoreittejä (n=11). Välipohjarakenteissa, joissa oli vaurioita pintakerrosten materiaaleissa, ilmavuotoreitit jakaantuivat tasaisesti yksittäisten/vähäisten ilmavuotoreittien (20 %, n=2) sekä säännöllisten ja toistuvien ilmavuotoreittien välille (20 %, n=2).

Kuvio 43. Ilmavuotoreitit sisäilmaan vaurioituneista välipohjarakenteista.



Välipohjien ilmavuotoreittejä oli tutkittu 68 rakennuksessa (mukana oli myös vaurioitumattomia rakenteita) ja ilmavuotoreittien jakaantuminen rakennetyyppien mukaan esitetään Kuviossa 44. Suurimmassa osassa välipohjarakenteita ilmavuotoreitit olivat yksittäisiä/vähäisiä tai säännöllisiä ja toistuvia. Vain kahdessa välipohjarakenteessa ei ollut ilmayhteyttä tai ilmavuotoreittejä sisäilmaan.

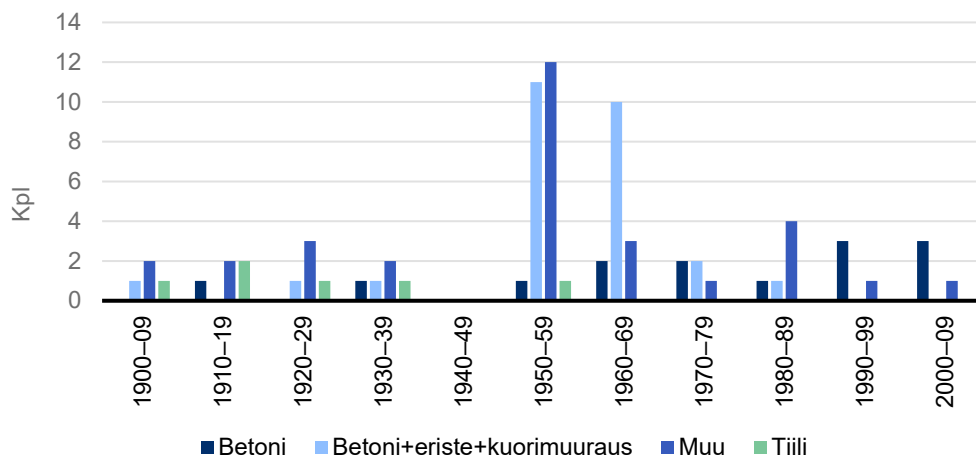
Kuvio 44. Välipohjarakenteiden (N=68) ilmavuotoreitit sisäilmaan rakennetyypeittäin. Mukana ovat myös vaurioitumattomista rakenteista tutkitut ilmavuotoreitit.



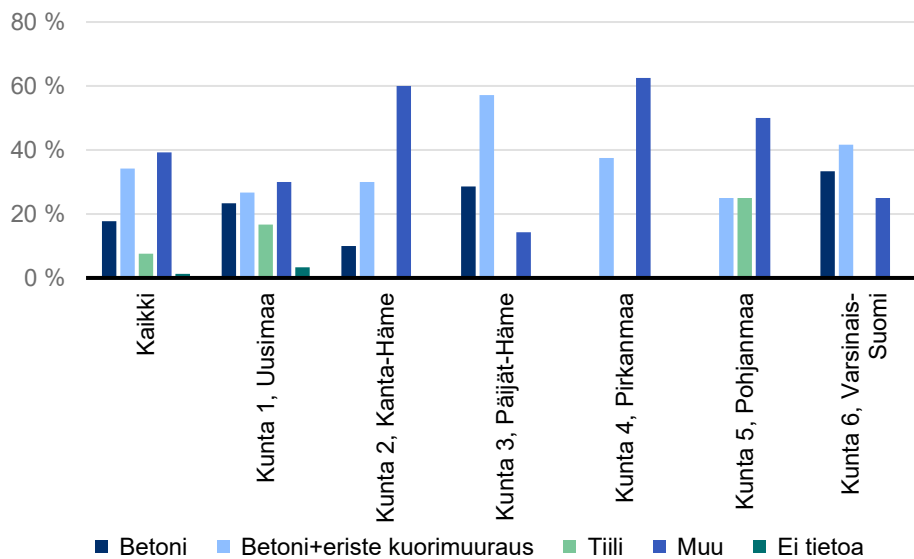
Maanvastaaiset seinärakenteet

Maanvastaisten seinärakenteiden tyyppejä oli kuntotutkimuksissa selvitetty 79 koulurakennuksen osalta. Seinärakenteista 14 kpl oli betonisia, 27 kpl betonisia sisäpuolisella eristyksellä ja kuorimuurauksella, 6 kpl tiilisiä ja muita rakenteita oli 31 kpl. Maanvastaisten seinärakennetyyppien jakaantuminen rakennusvuosittain esitetään Kuviossa 45 ja maakunnittain Kuviossa 46.

Kuvio 45. Maanvastaisten seinärakenteiden (N=79) rakennetyypit eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.

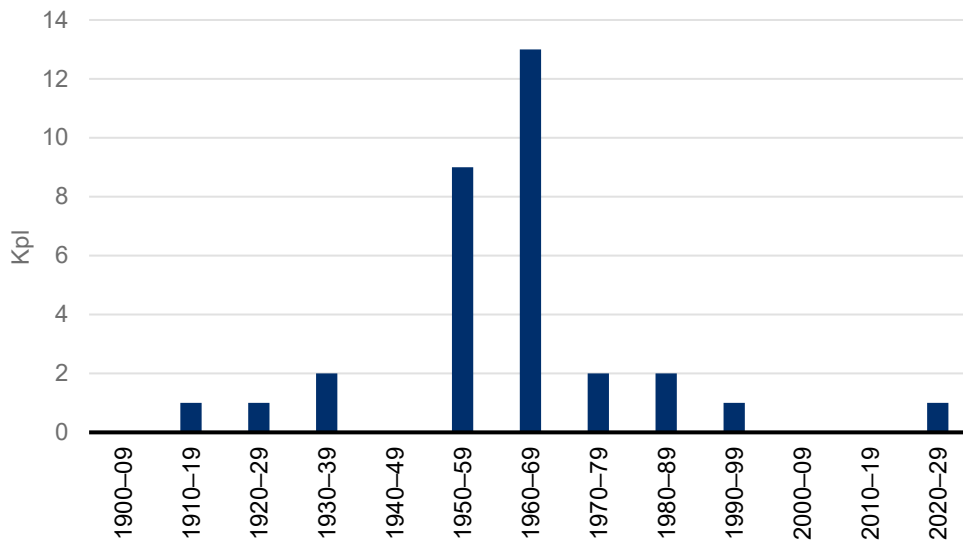


Kuvio 46. Maanvaraisten seinärakenteiden (N=79) rakennetyyppien jakaantuminen kunnittain.

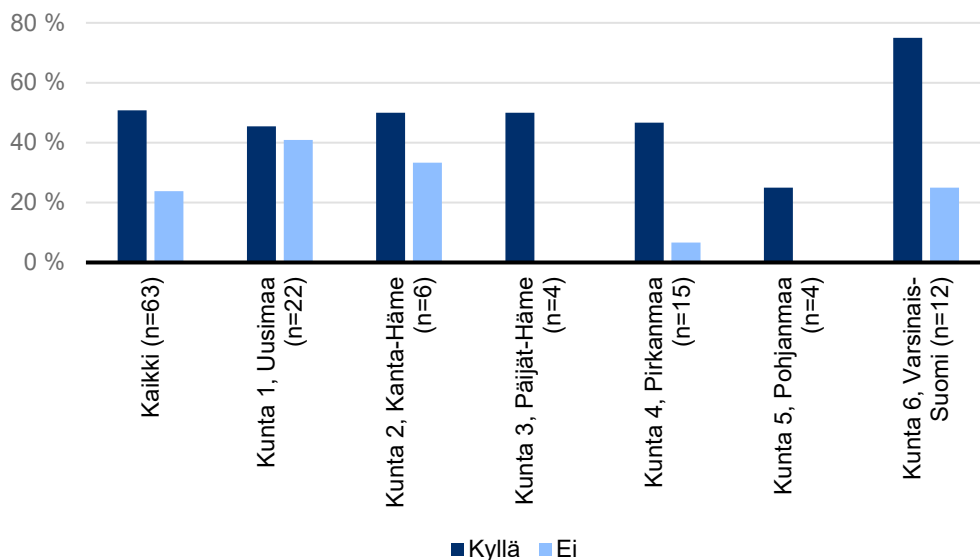


Maanvastaisten seinärakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli tutkittu 63 koulurakennuksen osalta ja vaurioiden jakaantuminen rakennusvuosittain sekä maakunnittain esitetään Kuvioissa 47 ja 48. Eniten todettuja vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli 1950- (n=9) ja 1960-luvun (n=13) rakennuksissa, mutta maanvastaisten seinärakenteiden kuntoa oli myös tutkittu lukumäärällisesti eniten näiden vuosikymmenien rakennuksissa. Kokonaisuudessaan tutkituissa rakenteissa vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli 51 %:ssa (n=32). Merkittävimpiä tai laajimpia vaurioita olivat mikrobit 29 tapauksessa, materiaaliemissio kahdessa tapauksessa ja yhdessä tapauksessa jokin muu. Lähes kaikissa kunnissa tutkituista rakenteista noin puolet oli vaurioituneita, mutta Pohjanmaalla vaurioituneiden rakenteiden osuus oli 25 % (n=1) ja Varsinais-Suomessa 75 % (n=9).

Kuvio 47. Vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden määrä maanvastaissa seinärakenteissa (N=32) eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.

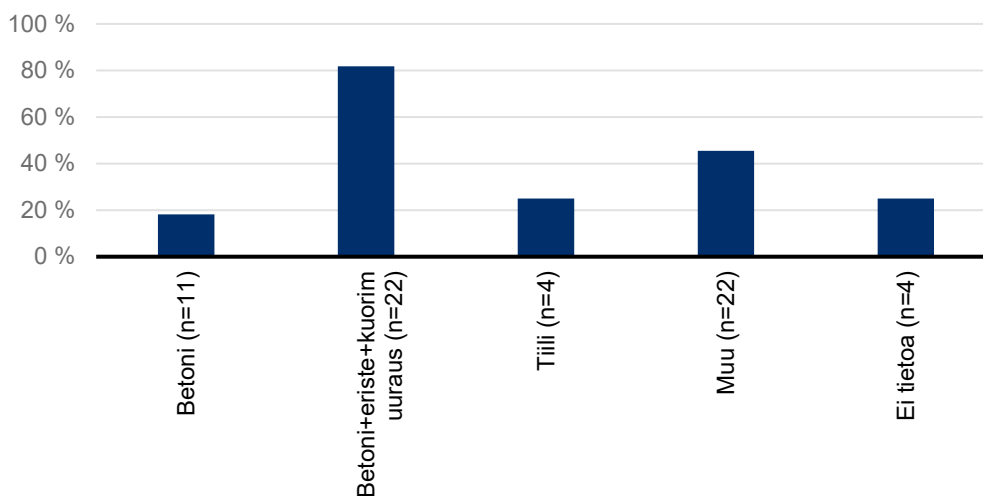


Kuvio 48. Maanvastaisten seinärakenteiden vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintymisen kunnittain tutkituissa koulurakennuksissa (N=63).

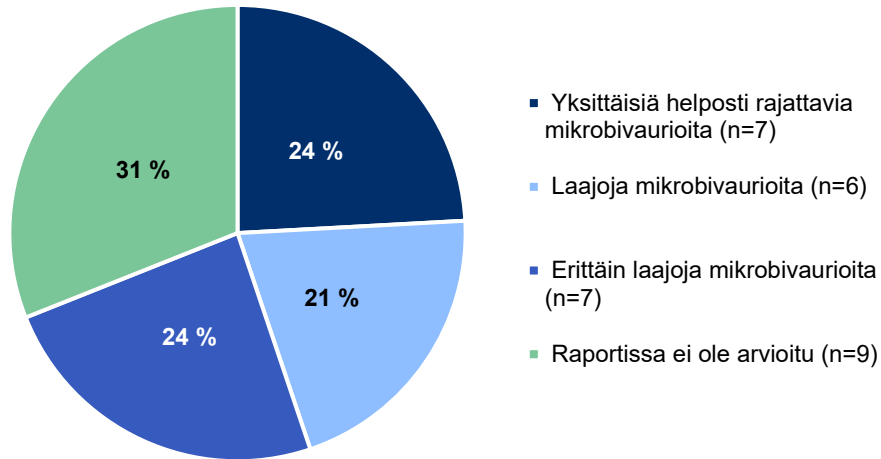


Vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden jakaantuminen rakennetyypeittäin esitetään Kuviossa 49. Yleisimpiä vauriot olivat maanvastaisissa seinärakenteissa, joiden rakennetyyppinä oli betoniseinä sisäpuolisella eristeellä ja kuorimuurauksella (82 %, n=18). Mikroбивaurioiden (N=29) arvioidut laajuudet maanvastaisissa seinärakenteissa esitetään Kuviossa 50. Kuntotutkimusten mukaan laajuuksien taso vaihteli melko tasaisesti.

Kuvio 49. Maanvastaisten seinärakenteiden vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintyvyys rakennetyypeittäin tutkituissa rakenteissa (N=63).

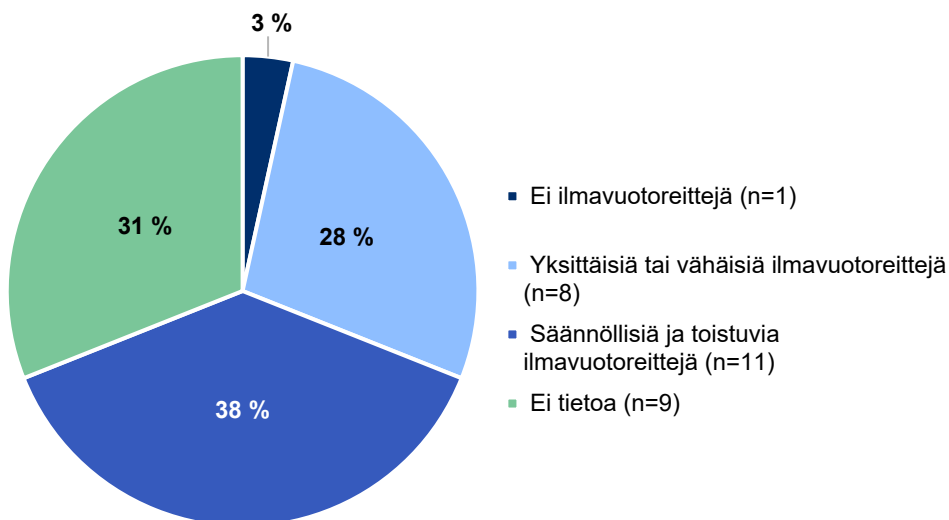


Kuvio 50. Mikrobivaurioiden laajuudet maanvastaisissa seinärakenteissa (N=29).



Suurimmassa osassa mikrobivaurioituneita seinärakenteita (N=29) oli todettu joko yksittäisiä tai vähäisiä (n=8, 28 %) tai säännöllisiä ja toistuvia (n=11, 38 %) ilmavuotoreittejä sisäilmaan (Kuvio 51). Yhdeksän rakenteen (31 %) osalta mahdollisia ilmavuotoreittejä ei ollut tutkittu.

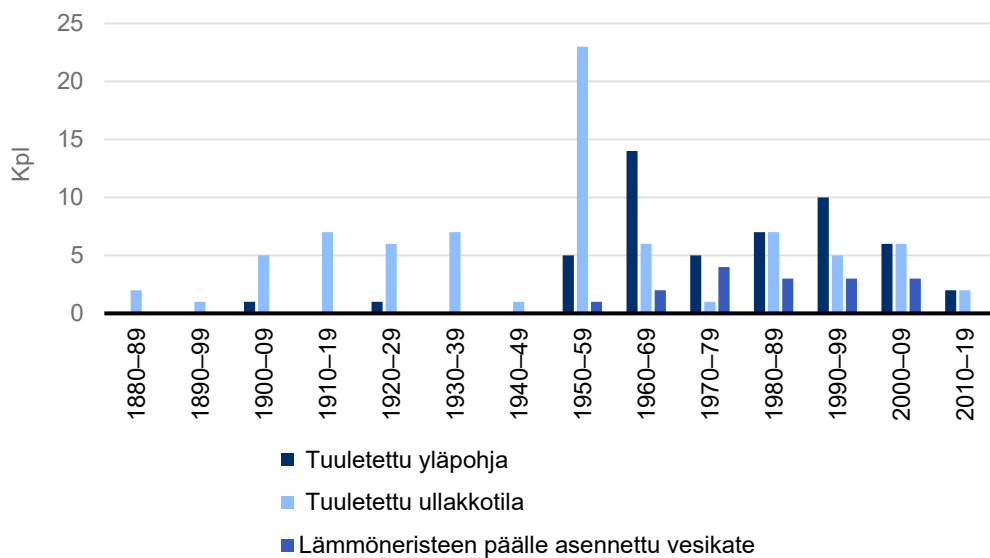
Kuvio 51. Ilmavuotoreitit sisäilmaan mikrobivaurioituneista maanvastaisista seinärakenteista (N=29).

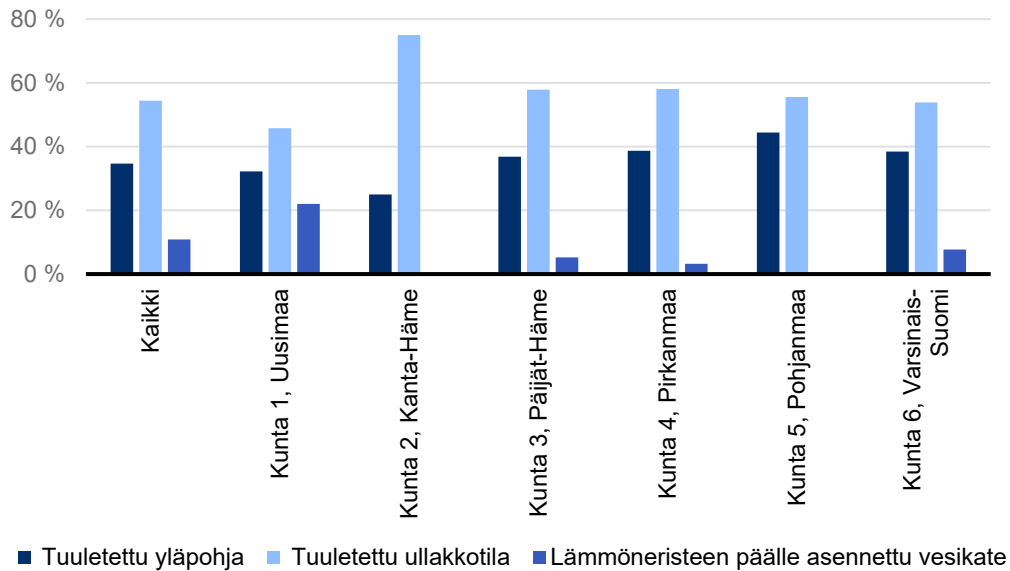


Yläpohjarakenteet

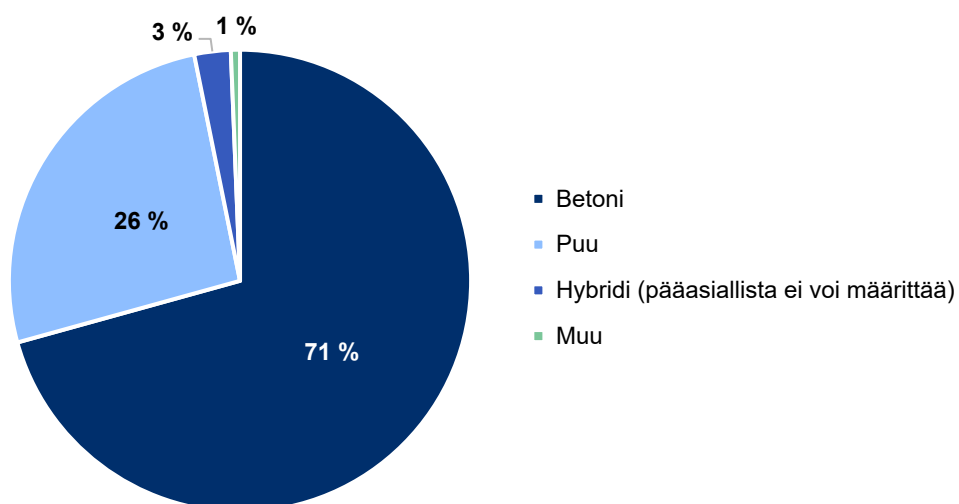
Tieto pääasiallisen yläpohjarakenteen tyypistä oli saatavilla 147 koulurakennuksen osalta, ja rakennetyyppien jakaantuminen rakennusvuosikymmenen ja kunnan mukaan esitetään Kuvioissa 52 ja 53. Suurimmissa osassa rakennuksia yläpohjarakenteen tyyppinä oli tuuletettu yläpohja ullakkotilalla (54 %, n=80), ja tuuletettu yläpohja ilman ullakkotilaa oli 51 koulurakennuksessa (35 %). Tuuletettu yläpohja ullakkotilalla oli vallitsevana rakennetyyppinä ennen vuotta 1960 rakennetuissa rakennuksissa, jonka jälkeen muut yläpohjatyypit yleistyivät.

Kuvio 52. Yläpohjarakenteiden tyypit (N=146) eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa. Yhden yläpohjarakenteen osalta rakennuksen rakennusvuosi ei ollut tiedossa.

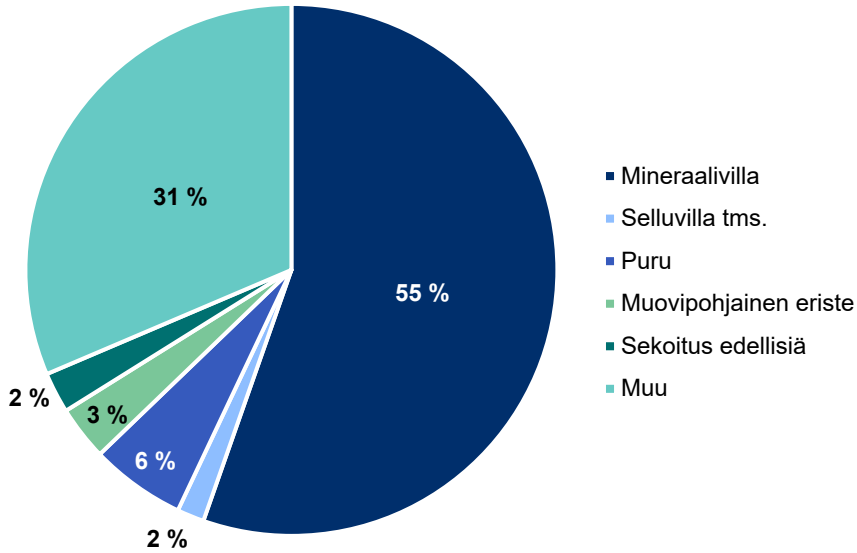


Kuvio 53. Yläpohjarakenteiden tyyppien (N=147) jakaantuminen kunnittain.

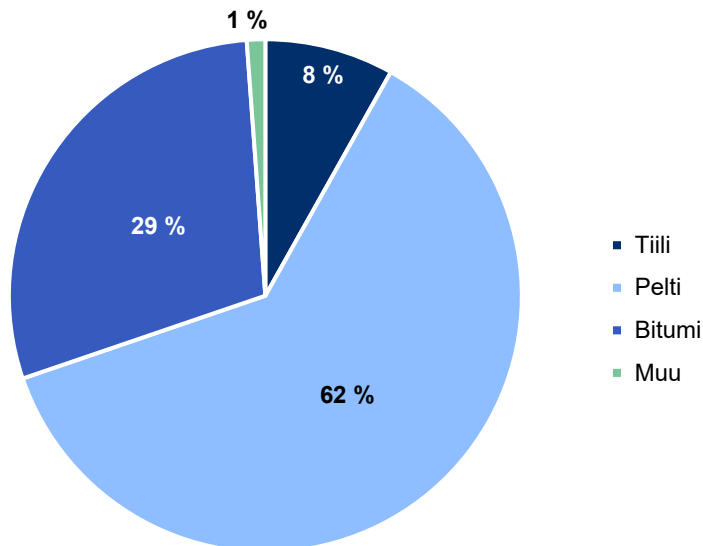
Koulurakennusten yläpohjien runko- (N=157) ja eristemateriaalien (N=121) sekä katemateriaalien (N=172) jakaantuminen esitetään Kuvioissa 54–56. Yläpohjien yleisimmät runkomateriaalit olivat betoni (71 %, n=111) ja puu (26 %, n=41). Eristemateriaaleista yleisin oli mineraalivilla (55 %, n=67). Katemateriaaleista oli eniten käytetty peltiä (62 %, n=106) ja bitumia (29 %, n=50).

Kuvio 54. Koulurakennusten yläpohjien pääasialliset runkomateriaalit (N=157).

Kuvio 55. Koulurakennusten yläpohjien pääasialliset eristysmateriaalit (N=121).

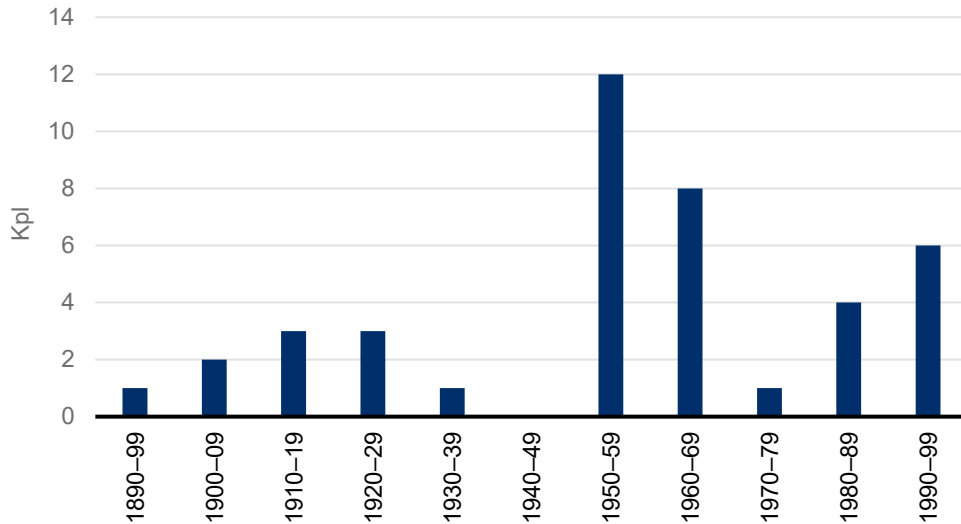


Kuvio 56. Koulurakennusten pääasialliset katemateriaalit (N=172).



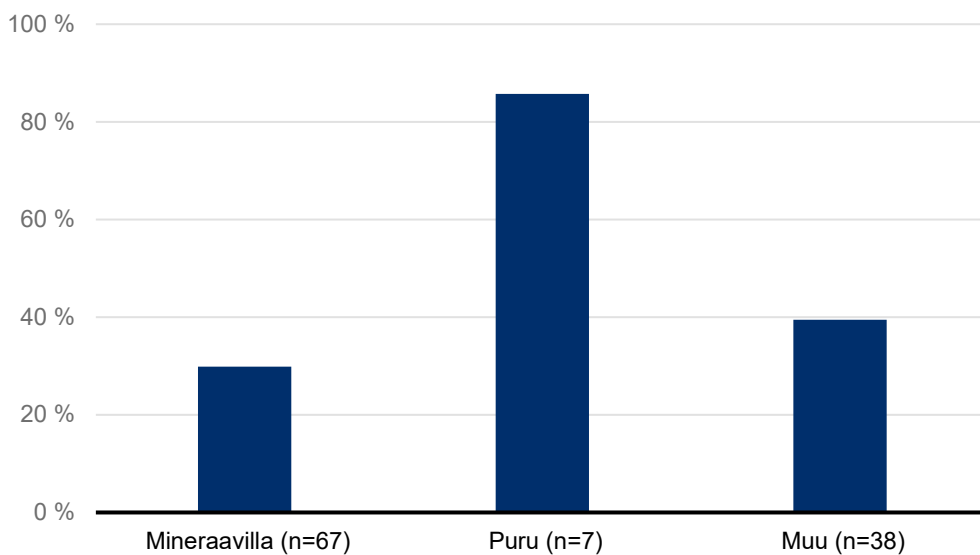
Yläpohjarakenteiden vaurioita oli kuntotutkimusten yhteydessä selvitetty 93 koulurakennuksessa. Vaurioita oli todettu 41 rakennuksessa ja vaurioiden jakaantuminen eri vuosikymmeninä rakennettujen rakennuksien välillä esitetään Kuviossa 57. Todetuista vaurioista yksi oli materiaaliemissio ja 40 oli mikrobivaurioita.

Kuvio 57. Yläpohjarakenteen vauriot (N=41) eri vuosikymmeninä rakennetuissa koulurakennuksissa.



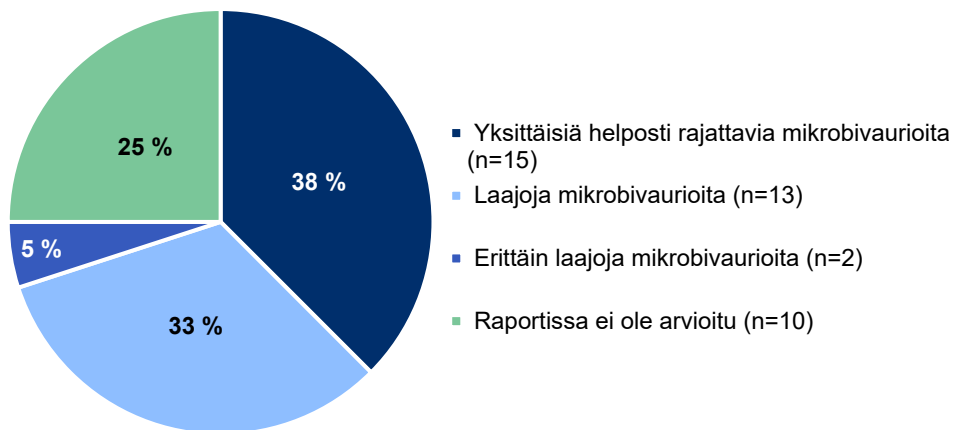
Vaurioituneiden yläpohjarakenteiden osuudet yläpohjissa, joiden eristysmateriaalina oli mineraalivillaa, purua tai muuta eristysmateriaalia, kuten sammal tai muu orgaaninen aine, on esitetty Kuviossa 58. Yläpohjista, joiden eristämateriaalina oli mineraalivillaa, oli vaurioitunut lähes kolmannes (30 %, n=20), ja purueristetyistä yläpohjista 86 % (n=7). Vaurioituneista yläpohjista 15:ssä oli luokittelematon eristysmateriaali.

Kuvio 58. Vaurioituneiden yläpohjarakenteiden (N=41) osuudet pääasiallisen eristämateriaalin mukaan esitettynä.



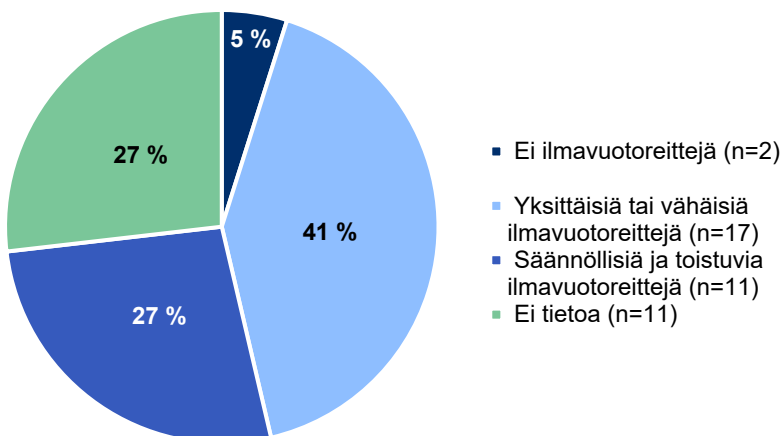
Yläpohjarakenteiden mikrobivaurioiden (N=40) laajuudet esitetään Kuviossa 59. Mikrobivauriot olivat pääsääntöisesti yksittäisiä helposti rajattavia (38 %, n=15) tai laajoja (33 %, n=13) niiltä osin kuin laajuuksien luokittelu raporteista oli luotettavasti mahdollista. Erittäin laajoja mikrobivaurioita raportoitiin kahdessa (5 %) koulurakennuksessa.

Kuvio 59. Yläpohjarakenteiden mikrobivaurioiden (N=40) laajuudet tutkituissa rakennuksissa.



Vaurioituneiden yläpohjarakenteiden (N=41) ilmavuotoreitit sisäilmaan esitetään Kuviossa 60. Suurimmassa osassa vaurioituneita rakenteita oli joko yksittäisiä tai vähäisiä (41 %, n=17) tai säännöllisiä ja toistuvia (27 %, n=11) ilmavuotoreittejä. Kahdesta vaurioituneesta yläpohjarakenteesta ei havaittu ilmavuotoreittejä sisäilmaan ja 11 rakenteen osalta ilmavuotoreittejä ei ollut tutkittu.

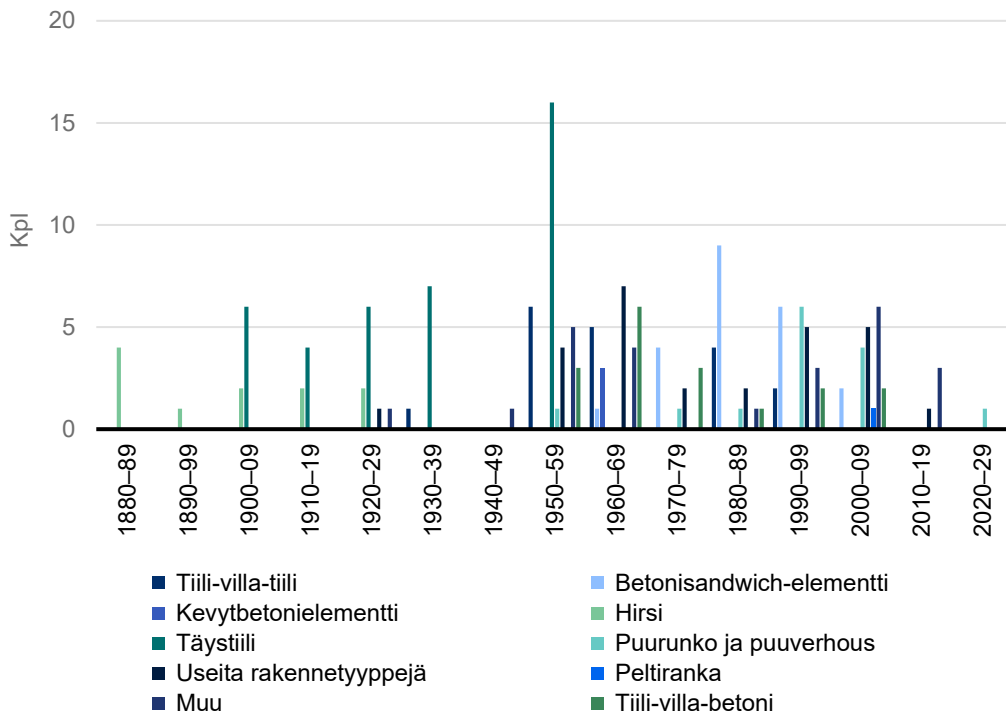
Kuvio 60. Ilmavuotoreitit vaurioituneista yläpohjarakenteista (N=41) sisäilmaan.



Ulkoseinä- ja sokkelirakenteet

Pääasialliset ulkoseinä- ja sokkelirakenteet oli raportoitu 177 koulurakennuksen osalta. Yleisin ulkoseinä- ja sokkelirakenne oli täystiili (40 kpl). 27 rakennuksessa oli käytetty useita erilaisia rakenteita, jolloin pääasiallista rakennetta ei voitu määrittää. Kuviossa 61 on esitetty ulkoseinä- ja sokkelirakenteiden jakaantuminen rakennusvuoden mukaan. Ennen vuotta 1950 rakennetuissa koulurakennuksissa ulkoseinä- ja sokkelirakenteena oli pääsääntöisesti hirsi tai täystiili, ja tämän jälkeen eri rakennetyypit jakautuivat tasaisemmin, vaikkakin 1950-luvulla rakennettiin vielä selvästi eniten täystiilisiä ulkoseiniä.

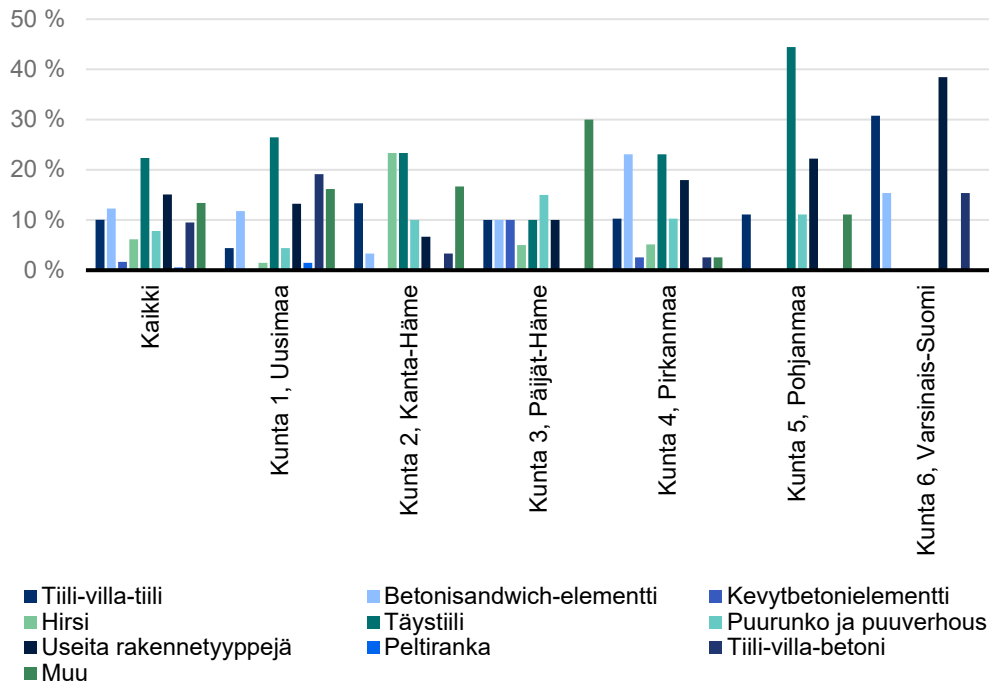
Kuvio 61. Pääasiallinen ulkoseinä- ja sokkelirakenne (N=176) rakennusvuosikymmenen mukaan. Yhden rakennuksen rakennusvuosi ei ollut tiedossa.



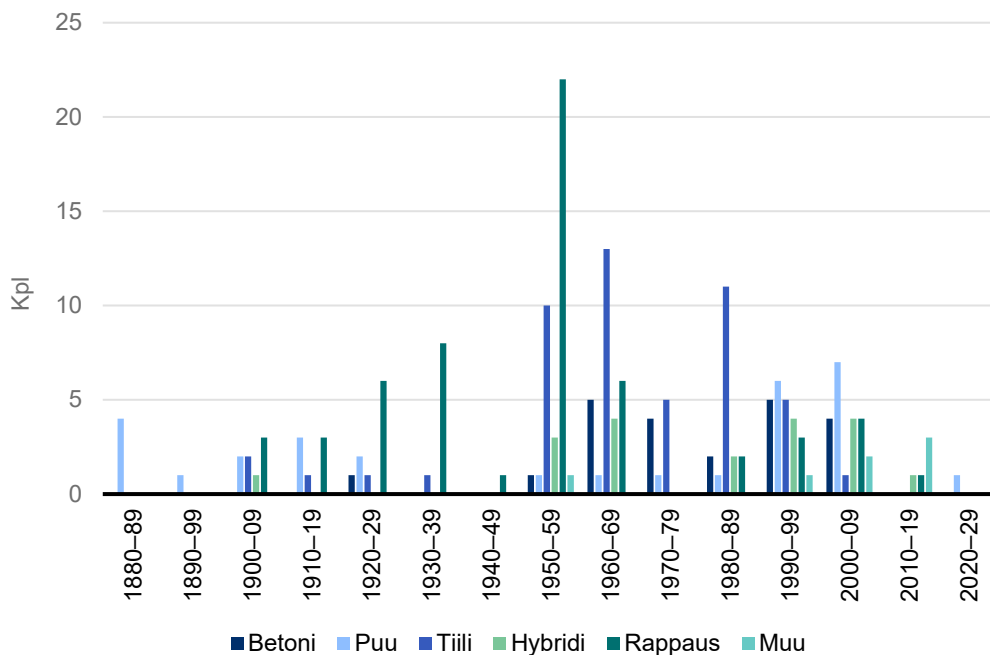
Pääasiallisten ulkoseinä- ja sokkelirakenteiden (N=177) jakaantuminen kunnittain esitetään Kuviossa 62. Erilaiset ulkoseinä- ja sokkelirakenteet jakaantuivat kohtalaisen tasaisesti kuntien välillä. Täystiilinen ulkoseinä- ja sokkelirakenne oli yleisin vaihtoehto kunnassa 5 (Pohjanmaa) (n=4, 44 %).

Pääasiallinen julkisivumateriaali oli tiedossa 187 koulurakennuksen osalta ja osuudet rakennusvuosikymmenen mukaan esitetään Kuviossa 63. Yleisimpiä julkisivumateriaaleja olivat rappaus (59 kpl), tiili (50 kpl) ja puu (30 kpl).

Kuvio 62. Pääasiallisten ulkoseinärakenteiden (N=177) jakaantuminen kunnittain.

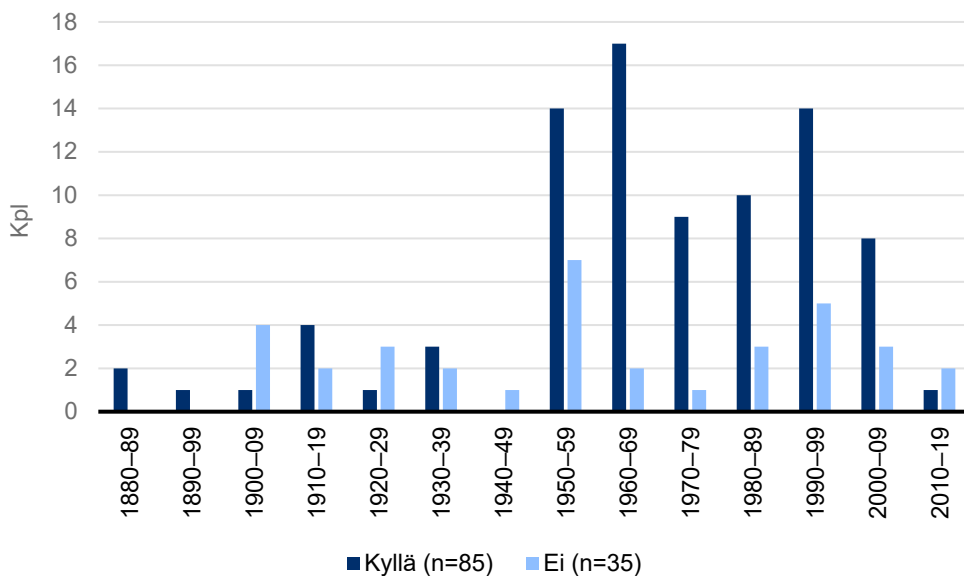


Kuvio 63. Pääasiallisten julkisivumateriaalien (N=187) jakautuminen rakennusvuosikymmenen mukaan.

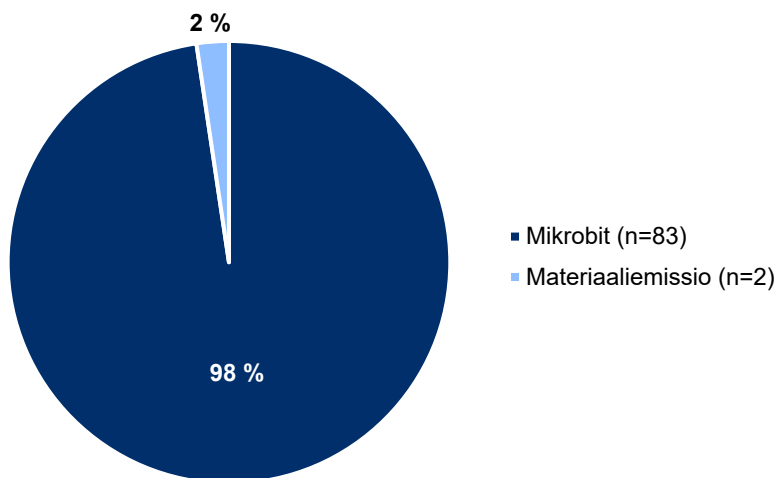


Ulkoseinärakenteiden vaurioita ja epäpuhtauslähteitä oli kuntotutkimuksissa selvitetty 120 koulurakennuksessa, joista 85:ssä oli todettu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Ulkoseinärakenteiden vauriot rakennusvuosikymmenen perusteella esitetään Kuviossa 64. Vaurioituneissa ulkoseinärakenteissa merkittävin tai laajin vaurio oli mikrobivaurio 83 rakennuksessa ja materiaaliemissio kahdessa rakennuksessa (Kuvio 65).

Kuvio 64. Ulkoseinärakenteiden vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden jakaantuminen rakennusvuosikymmenittäin (N=120).

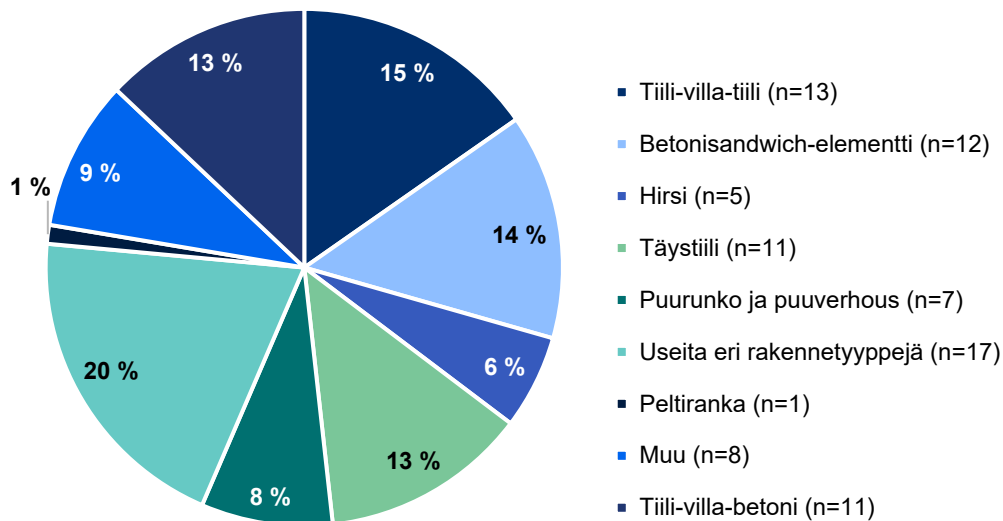


Kuvio 65. Merkittävien tai laajojen ulkoseinärakenteiden vaurioiden (N=85) jakaantuminen vauriotyypeittäin.



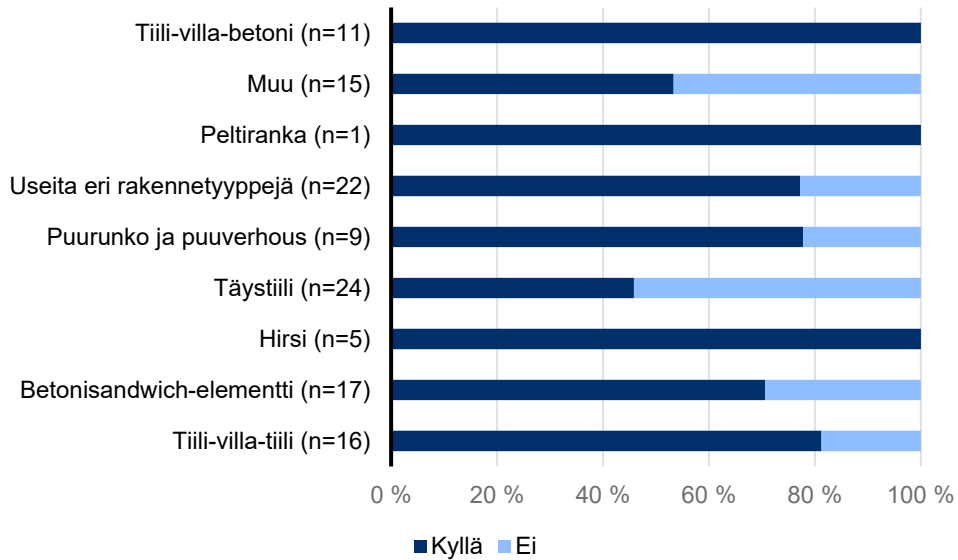
Ulkoseinärakenteiden vauriot (N=85) pääasiallisen rakenteen mukaan esitetään Kuviossa 66. Eniten vaurioita oli ulkoseinissä, joissa oli käytetty useita eri rakennetyyppejä (n=17, 20 %). Seuraavaksi eniten vaurioita oli tiili-villa-tiili-rakenteissa (n=13, 15 %) ja ulkoseinissä, joiden pääasiallisena rakenteena oli betonisandwich-elementti (n=12, 14 %). Molemmat materiaaliemissioperäiset vauriot olivat täystiiliseinissä, mutta vaurioiden lähteenä olivat esimerkiksi seinien patterisyvennyksissä olleet muut materiaalit.

Kuvio 66. Ulkoseinärakenteiden vauriot (N=85) jaoteltuna pääasiallisen rakenteen mukaan.



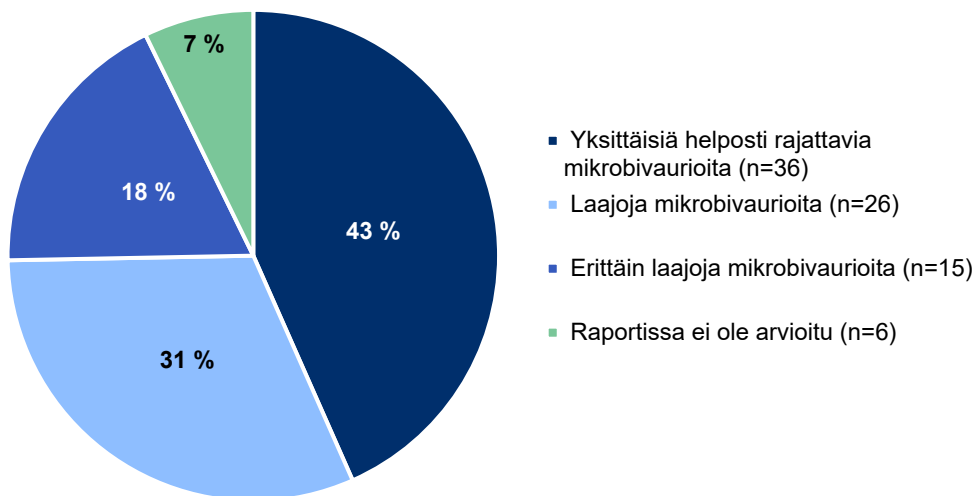
Kuviossa 67 esitetään vaurioituneiden rakenteiden osuudet kuntotutkimuksissa tutkituista ulkoseinärakenteista (N=120) rakennetyypeittäin. Prosentuaalisesti eniten (100 %) vaurioita esiintyi tiili-villa-betoni rakenteisissa, hirsirakenteisissa ja peltirankaisissa ulkoseinissä. Vähiten (46 %) vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli täystiiliseinissä.

Kuvio 67. Vaurioituneiden rakenteiden osuudet tutkituista ulkoseinistä (N=120) rakennetyypeittäin.



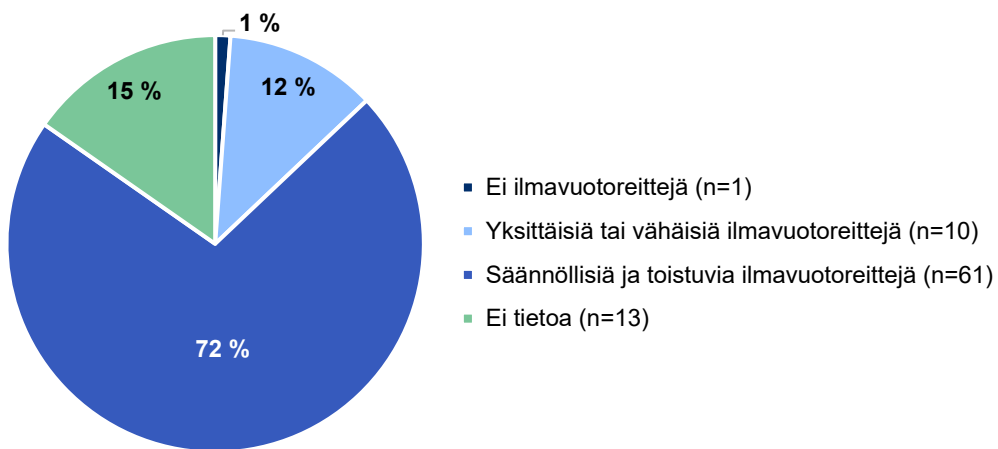
Ulkoseinärakenteissa todettujen mikrobivaurioiden (N=83) laajuudet esitetään Kuviossa 68. Suurin osa vaurioista oli yksittäisiä helposti rajattavia mikrobivaurioita (n=36, 43 %), mutta laajoja (n=26, 31 %) ja erittäin laajoja mikrobivaurioita (n=15, 18 %) oli yhteensä enemmän. Kuuden mikrobivaurion (7 %) laajuutta ei voitu kuntotutkimusraporttien perusteella arvioida luotettavasti.

Kuvio 68. Ulkoseinien mikrobivaurioiden (N=83) laajuudet koulurakennuksissa.



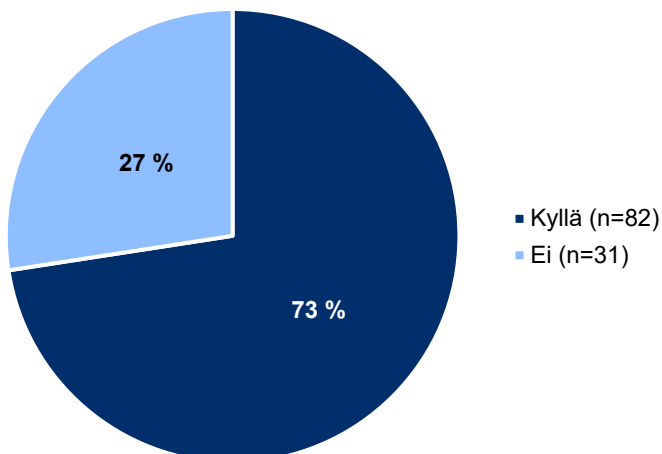
Vaurioituneiden ulkoseinärakenteiden ilmavuotoreitit sisäilmaan esitetään Kuviossa 69. Suurimmassa osassa vaurioituneita rakenteita oli havaittu säännöllisiä ja toistuvia (n=61, 72 %) tai yksittäisiä tai vähäisiä (n=10, 12 %) ilmavuotoreittejä. Vain yhdessä vaurioituneessa ulkoseinärakenteessa ei ollut havaittu ilmavuotoreittejä. 13 rakennuksen osalta ulkoseinän ilmavuotoreiteistä ei ollut raportoitu.

Kuvio 69. Ilmavuotoreitit vaurioituneista ulkoseinärakenteista (N=85) sisäilmaan.

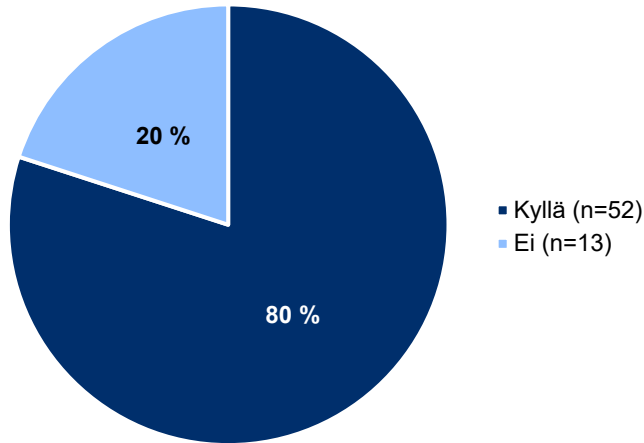


Kuntotutkimusten yhteydessä ikkunarakenteiden ongelmia oli kartoitettu 113 koulurakennuksessa (Kuvio 70). 73 %:ssa kohteista havaittiin ongelmia ikkunarakenteissa. Ikkunarakenteiden ongelmia oli tutkittu 65 rakennuksessa, joiden ulkoseinärakenteissa oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Näistä 80 %:ssa (n=52) havaittiin ongelmia myös ikkunarakenteissa (Kuvio 71).

Kuvio 70. Ongelmia ikkunarakenteissa (N=113).

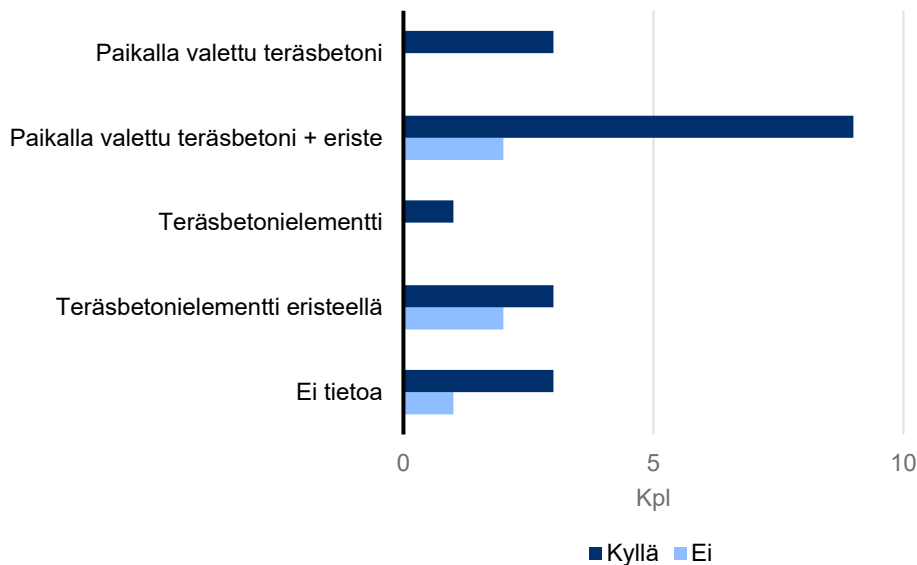


Kuvio 71. Ongelmia ikkunarakenteissa koulurakennuksissa, joiden ulkoseinissä oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä (N=65).



Sokkelirakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli kuntotutkimuksissa erikseen tutkittu 24 koulurakennuksessa, joista 19:ssä oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Kaikki havaitut vauriot olivat mikrobivaurioita. Vaurioiden esiintyminen erilaisissa sokkelirakenteissa esitetään Kuviossa 72. Eniten vaurioita (9 kpl) oli betonisissa paikallavaletuissa ja eristetyissä sokkelirakenteissa. Suurin osa sokkelirakenteiden mikrobivaurioista oli laajoja (32 %, n=6). Erittäin laajoja mikrobivaurioita oli 21 %:ssa (n=4) ja yksittäisiä helposti rajattavia 16 %:ssa (n=3) (Kuvio 73).

Kuvio 72. Sokkelirakenteiden vauriot tai epäpuhtauslähteet erilaisissa sokkelirakenteissa (N=24).



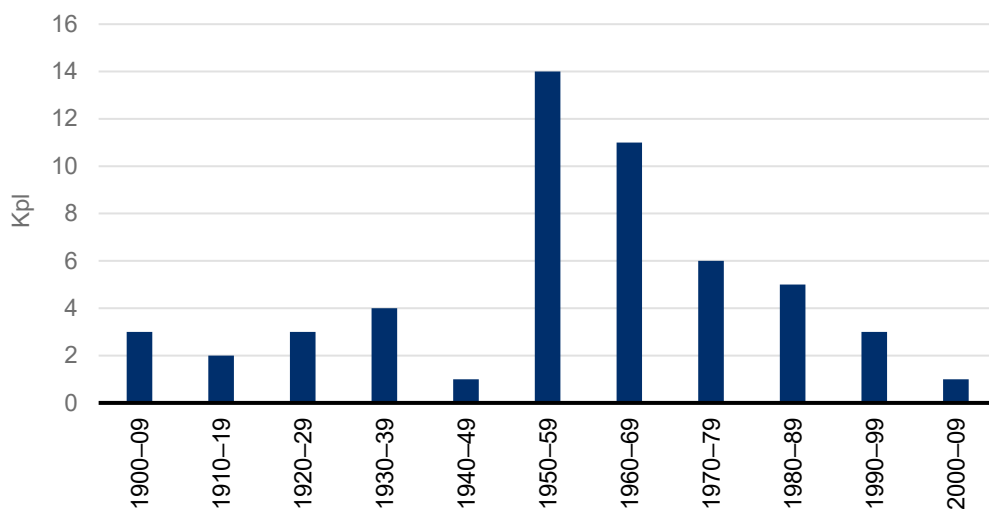
Kuvio 73. Mikrobivaurioiden (N=19) laajuudet sokkelirakenteissa.



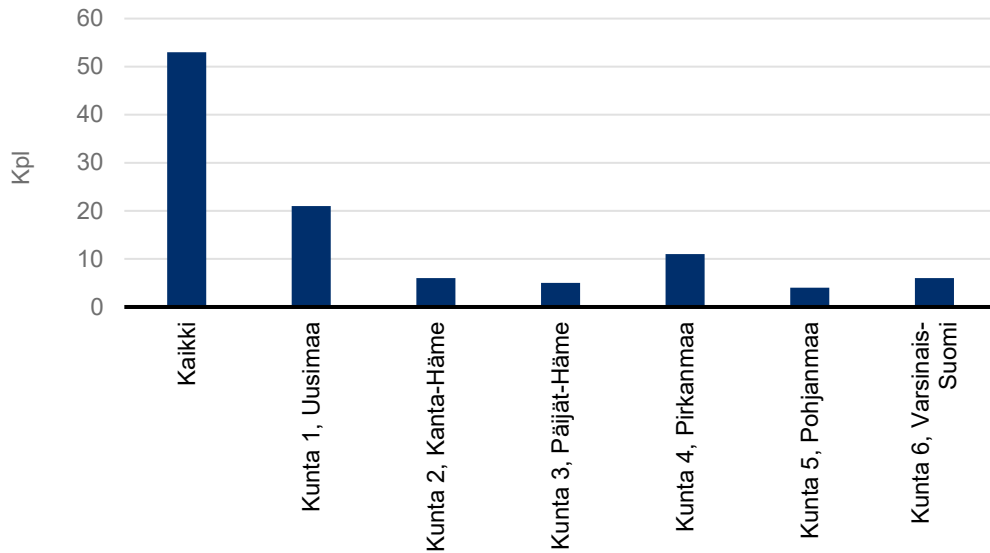
Tekniikkakotelot, alaslasketut katot ja verhoilut

Luokkatiloissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa olevia tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita oli kuntotutkimuksissa raportoitu 53 koulurakennuksessa, ja niiden määrät eri vuosikymmenillä rakennetuissa koulurakennuksissa esitetään Kuviossa 74. Eniten tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita oli 1950- ja 1960-luvuilla rakennetuissa koulurakennuksissa. Tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita sisältävien koulurakennuksien jakaantuminen kunnittain esitetään Kuviossa 75. Luokkatiloissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa olevia tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita oli kaikkien kuntien koulurakennuksissa, ja eniten niitä oli kunnassa 6 (Uusimaa, 21 kpl).

Kuvio 74. Tekniikkakotelot tai putkikanaalit (N=53) luokkatiloissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa eri vuosikymmenillä rakennetuissa koulurakennuksissa.

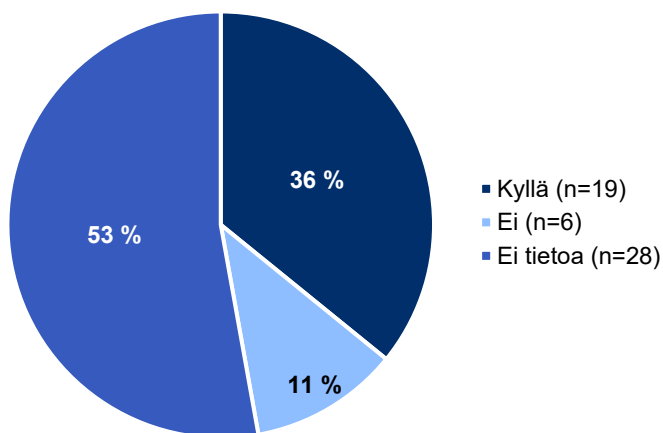


Kuvio 75. Tekniikkakotelot tai putkikanaalit (N=53) luokkatiloissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa kunnittain.



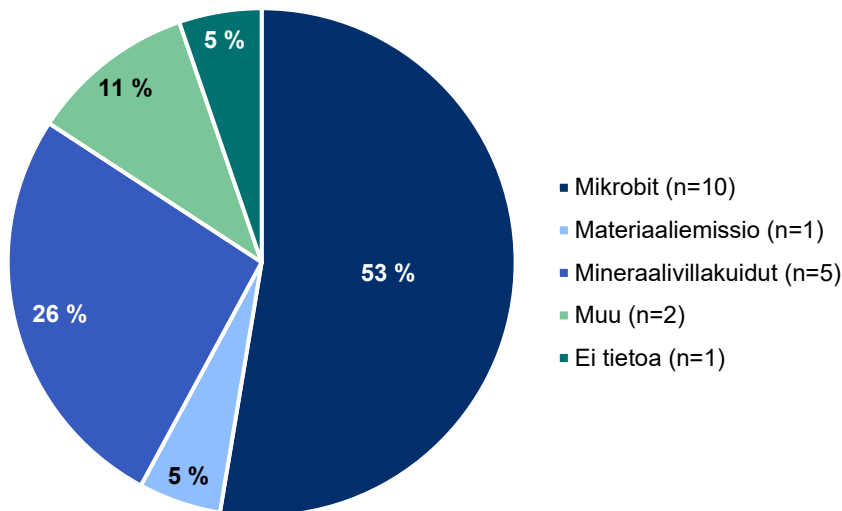
Tekniikkakoteloissa tai putkikanaaleissa oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä 36 %:ssa (n=19) ja vaurioitumattomia oli 11 % (n=6) (Kuvio 76). 53 %:n osalta asiaa ei ollut tutkittu tai sitä ei selvästi ilmaistu kuntotutkimusraporteissa.

Kuvio 76. Vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintyminen tekniikkakoteloissa tai putkikanaaleissa (N=53).



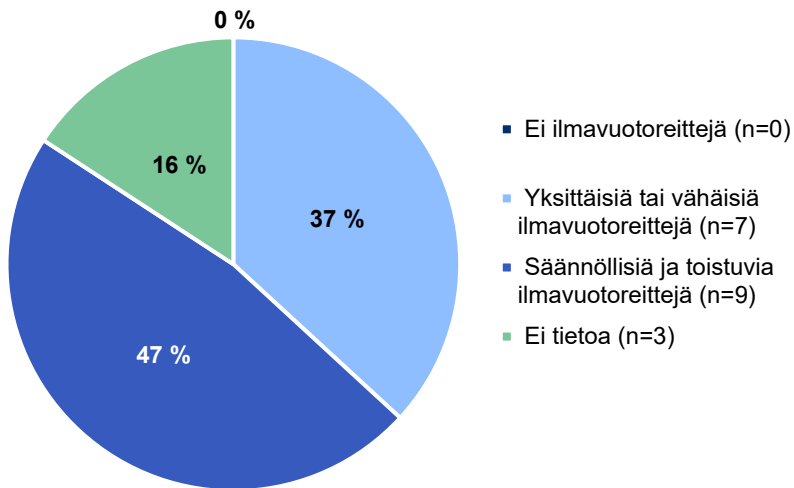
Merkittävimmät epäpuhtauslähteet (N=19) tekniikkakoteloissa tai putkikanaaleissa esitetään Kuviossa 77. Merkittävimpänä epäpuhtauslähteenä olivat mikrobit 53 %:ssa (n=10) ja mineraalivillakuidut 26 %:ssa (n=5) epäpuhtauslähteistä. Materiaaliemissio oli merkittävin epäpuhtauslähde 5 %:ssa (n=1). 11 %:ssa (n=2) tapauksista epäpuhtauslähteenä oli jokin muu ja 6 %:n (n=1) osalta merkittävintä epäpuhtauslähdettä ei voitu määrittää tai se ei ollut tiedossa.

Kuvio 77. Tekniikkakoteloiden tai putkikanaalien merkittävimpien epäpuhtauslähteiden (N=19) osuudet.



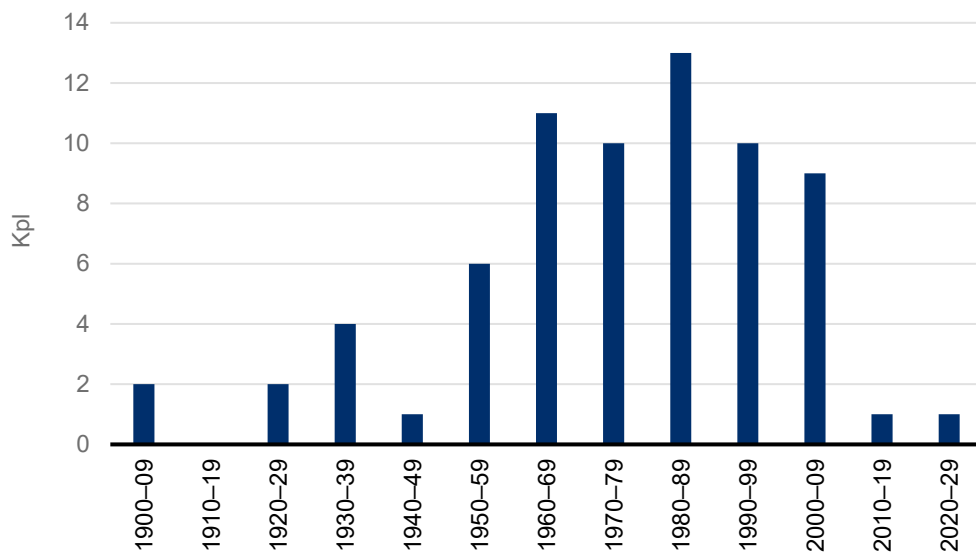
Ilmayhteydet tekniikkakoteloissa tai putkikanaaleissa olevista epäpuhtauslähteistä sisäilmaan esitetään Kuviossa 78. 47 %:ssa (n=9) epäpuhtauslähteistä oli säännöllisiä tai toistuvia ilmapuotoreittejä ja 37 %:ssa (n=7) oli yksittäisiä tai vähäisiä ilmapuotoreittejä. 16 %:ssa tapauksista ilmayhteyttä ei ollut tutkittu tai sen laajuutta ei voitu kuntotutkimusraportin perusteella määrittää.

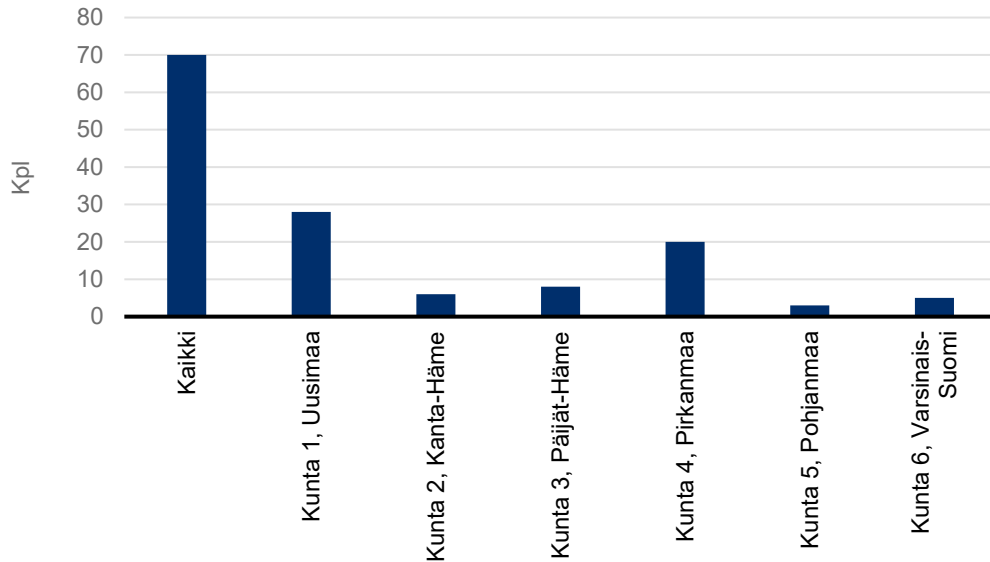
Kuvio 78. Ilmayhteydet tekniikkakoteloissa tai putkikanaaleissa olevista epäpuhtauslähteistä (N=19) sisäilmaan.



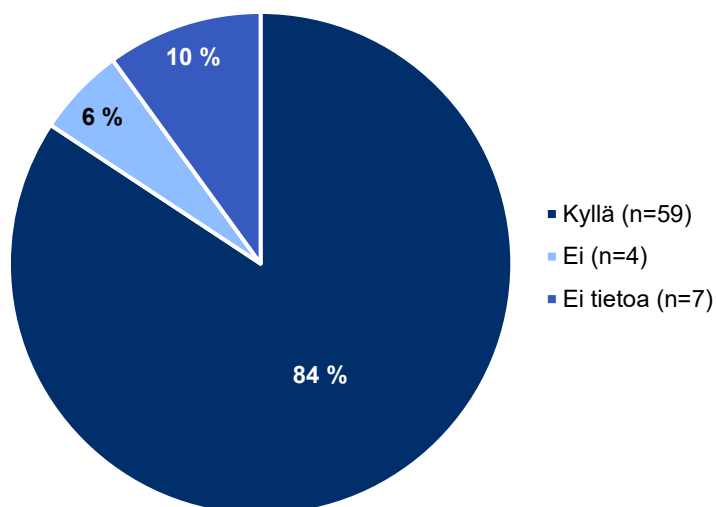
Alaslaskettuja kattotiloja tai katon verhoiluja luokkahuoneissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa oli dokumentoitu 70 koulurakennuksessa, ja niiden jakaantuminen rakennusvuosikymmenittäin esitetään Kuviossa 79. Yleisimmin alaslaskettuja kattotiloja tai katon verhoiluja oli koulurakennuksissa, jotka oli rakennettu vuosien 1960 ja 2010 välillä. Alaslaskettujen kattotilojen tai katon verhoilujen esiintyvyys kunnittain esitetään Kuviossa 80.

Kuvio 79. Alaslasketut kattotilat tai katon verhoilut (N=70) koulurakennuksissa rakentamisvuosikymmenittäin.



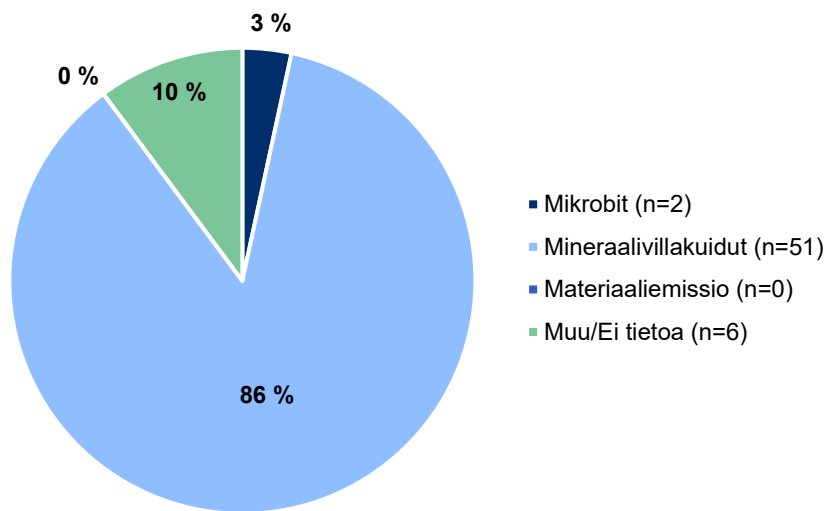
Kuvio 80. Alaslasketut kattotilat tai katon verhoilut (N=70) koulurakennuksissa kunnittain.

Vauriot tai epäpuhtauslähteet alaslasketuissa kattotiloissa esitetään Kuviossa 81. 84 %:ssa (n=59) alaslasketuista kattotiloista esiintyi vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. 6 %:ssa (n=4) ei esiintynyt vaurioita tai epäpuhtauslähteitä, ja 10 %:n osalta vaurioista tai epäpuhtauslähteistä ei ollut tietoa.

Kuvio 81. Vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintyminen alaslasketuissa kattotiloissa tai katon verhoiluissa (N=70).

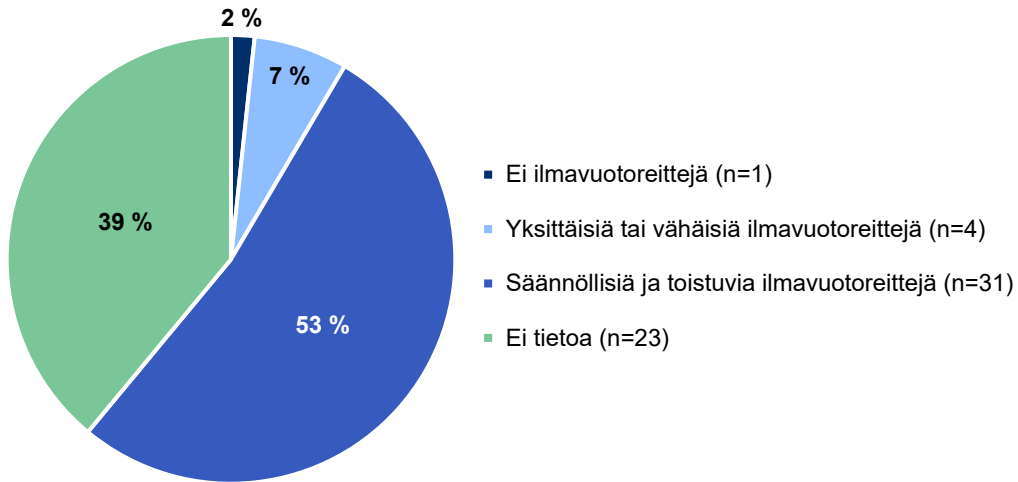
Alaslaskettujen kattotilojen tai katon verhoilujen merkittävimmät epäpuhtauslähteet (N=59) esitetään Kuviossa 82. Suurimassa osassa merkittävin epäpuhtauslähde oli mineraalivillakuidut (n=51, 86 %), ja mikrobit olivat merkittävin epäpuhtauslähde 3 %:ssa (n=2). 10 %:ssa tapauksista merkittävimpanä epäpuhtauslähteenä oli jokin muu tai sitä ei pystytty kuntotutkimusraporttien perusteella määrittelemään.

Kuvio 82. Merkittävimmät epäpuhtauslähteet (N=59) alaslasketuissa kattotiloissa tai katon verhoiluissa.



Ilmayhteydet alaslasketuissa kattotiloissa tai katon verhoiluissa olevista epäpuhtauslähteistä (N=59) sisäilmaan esitetään Kuviossa 83. 53 %:ssa (n=31) epäpuhtauslähteistä oli säännöllisiä ja toistuvia ilmavuotoreittejä, 7 %:ssa (n=4) oli yksittäisiä tai vähäisiä ilmavuotoreittejä ja 2 %:ssa (n=1) ei ollut ilmavuotoreittejä. 39 %:ssa (n=23) epäpuhtauslähteistä ilmavuotoreittejä ei ollut tutkittu tai niiden laajuutta ei pystytty kuntotutkimusraporttien perusteella määrittelemään.

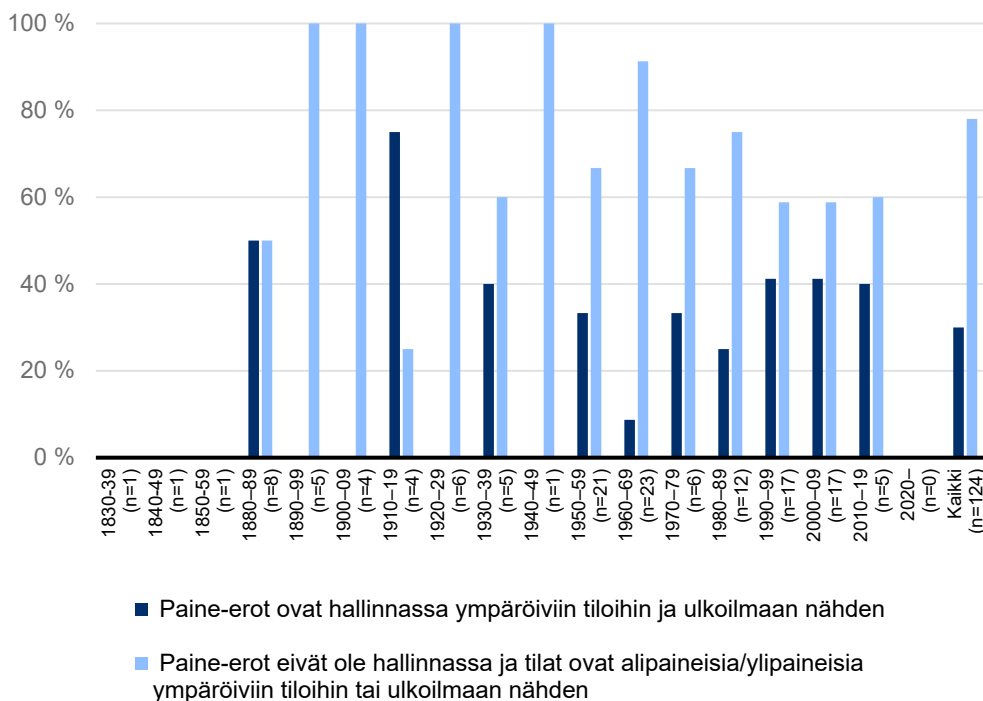
Kuvio 83. Ilmayhteydet alaslasketuissa kattotiloissa tai katon verhoiluissa olevista epäpuh-
tauslähteistä (N=59) sisäilmaan.



3.3.6 Painesuhteet ja rakenteiden ilmapuodot

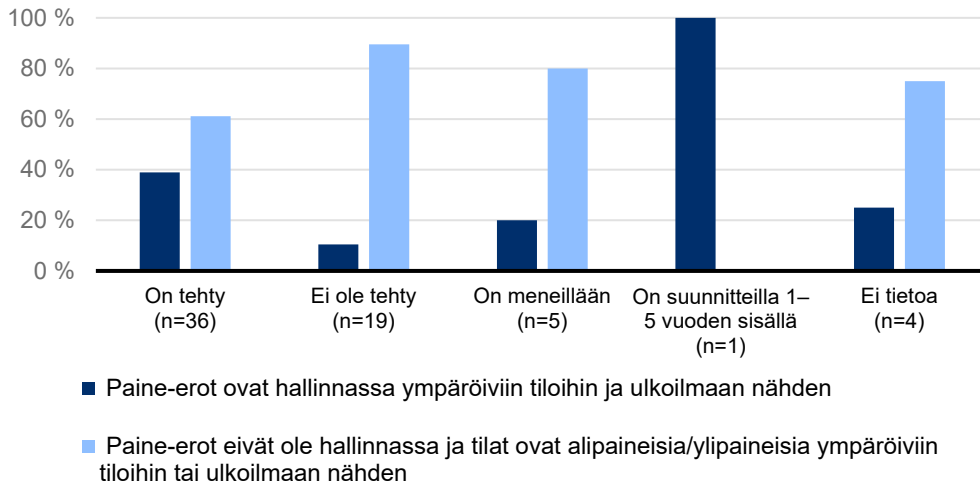
Painesuhteita oli mitattu ja tarkasteltu 124 rakennuksessa. Rakennusten painesuhteet ympäröiviin tiloihin ja/tai vaipan yli ulkoilmaan eivät olleet hallinnassa 71 %:ssa (n=88) rakennuksista aiheuttaen joko yli- tai alipainetta tiloissa (Kuvio 84). Kun tietoja tarkastellaan kunnittain, painesuhteiden suhteen ongelmallisten rakennusten osuus oli 86 % (n=6) kunnassa 5 (Pohjanmaa), 84 % (n=37) kunnassa 1 (Uusimaa), 78 % (n=25) kunnassa 4 (Pirkanmaa), 65 % (n=6) kunnassa 3 (Päijät-Häme), 58 % (n=7) kunnassa 2 (Kanta-Häme) ja 54 % (n=7) kunnassa 6 (Varsinais-Suomi).

Kuvio 84. Mitatut painesuhteet suhteessa ympäröiviin tiloihin tai vaipan yli 1880–2019 rakennetuissa rakennuksissa. Taulukosta on jätetty pois 1830–1859- ja 2020-luvulla rakennettujen rakennusten tiedot alhaisen tapausmäärän vuoksi.



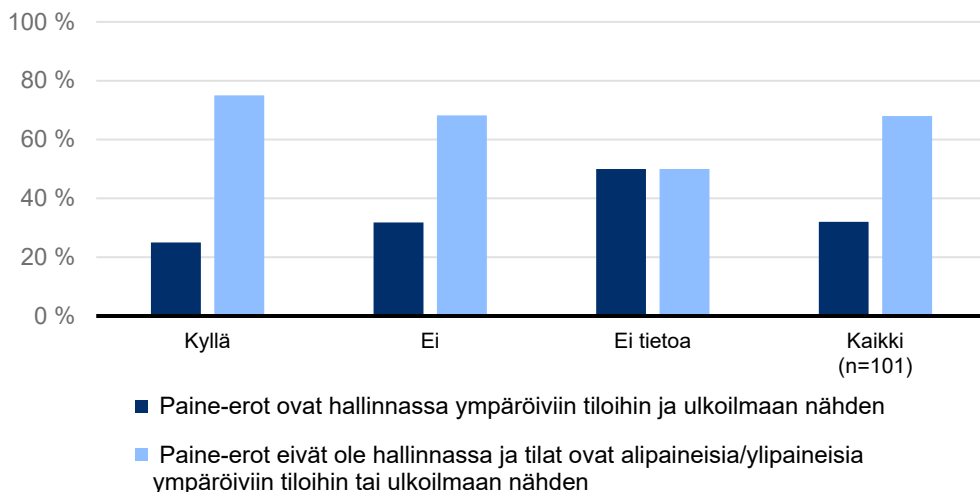
Niissä rakennuksissa, joissa oli tehty ilmanvaihdon (mahdollisesti myös automaation) peruskorjaus, oli suhteessa vähemmän ongelmia painesuhteiden hallinnassa ympäröiviin tiloihin ja/tai ulkoilmaan nähden (61 %, n=14) kuin niissä rakennuksissa, joissa peruskorjausta ei ollut tehty (90 %, n=17). Vastaavasti rakennuksissa, joissa oli tehty ilmanvaihdon peruskorjaus, painesuhteet olivat useammin hallinnassa (39 %, n=22) verrattuna rakennuksiin, joissa ei ollut tehty ilmanvaihdon peruskorjausta (11 %, n=2) (Kuvio 85).

Kuvio 85. Rakennusten painesuhteet suhteessa tehtyihin ilmanvaihdon (ja mahdollisesti automaation) peruskorjauksiin.



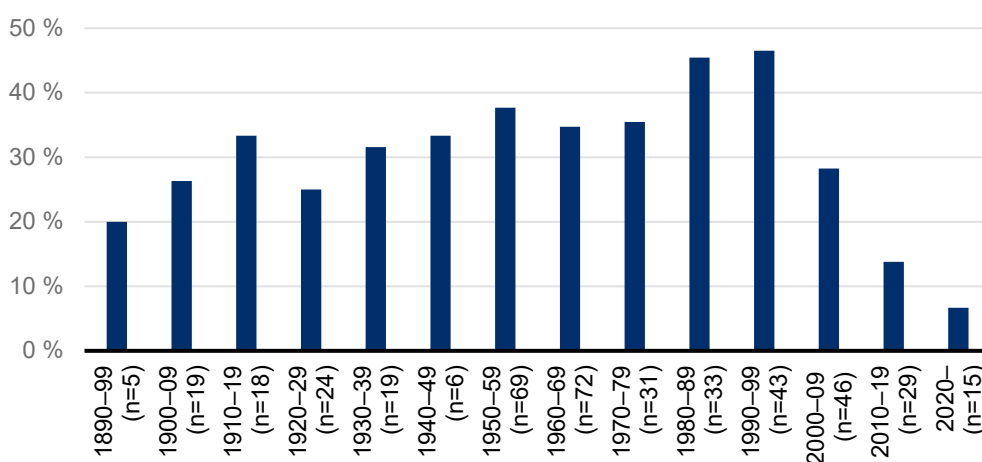
Kun ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä (30 vuotta) oli saavutettu tai ylitetty, painesuhteet eivät olleet hallinnassa 75 %:ssa tapauksista. Kun järjestelmien tekninen käyttöikä ei ollut saavutettu tai ylitetty, oli 68 %:ssa tapauksista painesuhteiden hallinnassa ongelmia (Kuvio 86). Tieto järjestelmän teknisen käyttöiän elinkaaren vaiheesta painesuhteiden mittaushetkellä oli saatavilla aineiston 101 rakennuksesta. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmien kohdalla painesuhteet olivat hallinnassa 32 %:ssa (n=35) ja eivät olleet hallinnassa 68 %:ssa (n=75) tapauksista. Koneellisen poistojärjestelmän kohteissa (n=2) ja kohteissa, joissa oli sekaisin eri ilmanvaihtojärjestelmiä (n=5) painesuhteet eivät olleet hallinnassa yhdessäkään tapauksista (100 %).

Kuvio 86. Painesuhteet ympäröiviin tiloihin ja/tai vaipan yli suhteessa ilmanvaihtojärjestelmän teknisen käyttöiän saavuttamiseen tai ylitykseen.



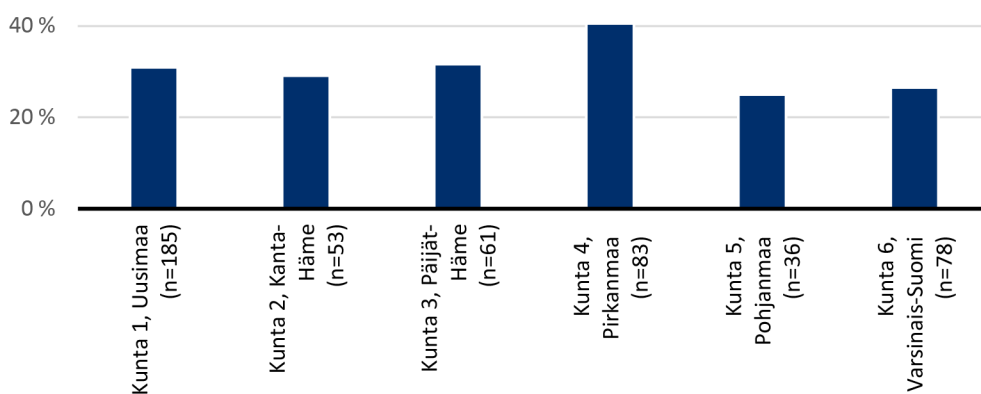
Rakenteiden ilmapuodoista (missä tahansa rakennuksen rakenteessa tai rakenteen läpi ja missä tahansa rakennekerroksessa tai materiaalissa) oli tutkittua tietoa yhteensä 141 rakennuksesta. Suhteessa eniten ilmapuotoja oli todettu 1990- (n=20, 47 %) ja 1980-luvun (n=15, 46 %) rakennusten rakenteissa (Kuvio 87).

Kuvio 87. Niiden rakennusten määrä, joissa esiintyi ilmayhteys rakenteista ja epäpuhtauslähteestä sisäilmaan, rakennusvuosikymmenittäin.



Suhteessa eniten rakenteiden ilmapuotoja oli todettu kunnassa 4 (Pirkanmaa) (Kuvio 88) sekä rakennuksissa, joissa suunniteltu toimenpide seuraavan 1–5 vuoden kuluessa oli peruskorjaus ja laajennus (67 %, n=12) tai peruskorjaus (63 %, n=25) tai jotka oli päätetty korvata uudisrakennuksella tai siirtää toiminta toiseen rakennukseen (47 %, n=9).

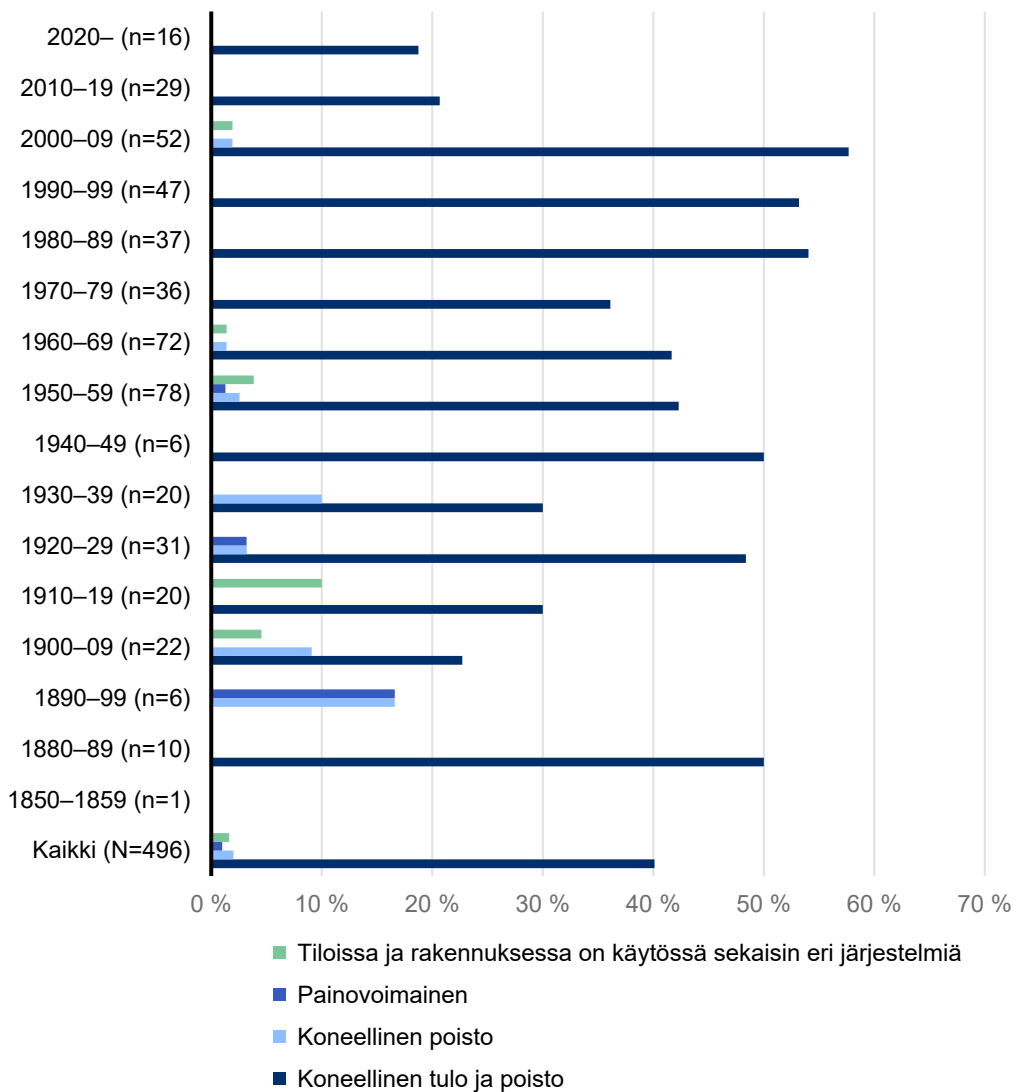
Kuvio 88. Niiden rakennusten määrä, joissa esiintyy ilmayhteys rakenteista ja epäpuhtauslähteestä sisäilmaan, kunnittain.



3.3.7 Ilmanvaihtojärjestelmä ja ilmavirrat

Aineistossa yleisin ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä (N=199, 40 %), kun vaihtoehdot olivat koneellinen tulo- ja poistoilmavaihto, koneellinen poistoilmavaihto tai painovoimainen ilmanvaihto, usean eri järjestelmän yhdistelmä tai muu järjestelmä (Kuvio 89). Se oli myös yleisin ilmanvaihtojärjestelmä jokaisella rakennusvuosikymmenellä pois lukien 1880–1890-luvut ja 2020-luku. Kaikista aineiston rakennuksista ei ollut saatavilla tietoa ilmanvaihtojärjestelmistä.

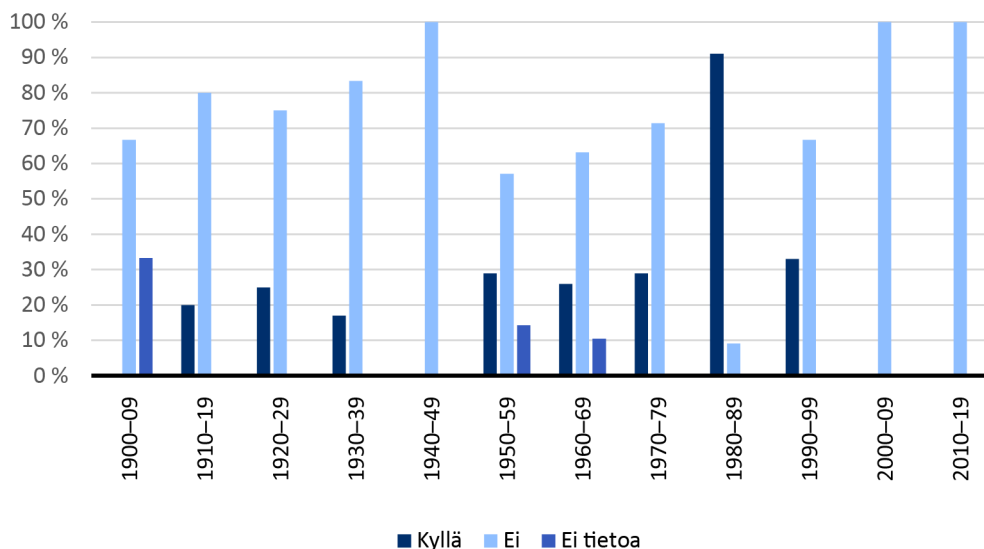
Kuvio 89. Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmätyyppit jaoteltuina aineiston rakennusten (N=496) rakennusvuosikymmenten mukaan. Kuvioista on poistettu 1830–1859 rakennetut rakennukset alhaisen rakennusten lukumäärän vuoksi.



Rakennusten ilmanvaihtojärjestelmistä oli laadittu dokumentti tai kirjallinen merkintä (arvio, tarkastus tai kuntotutkimus tai tieto jonkun muun selvityksen osana) aineistossa (N=452) 109 rakennuksessa. Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty 26 %:ssa (n=107) rakennuksista. Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty 91 %:ssa (n=11) 1980-luvulla ja 33 %:ssa (n=15) 1990-luvulla rakennetuista rakennuksista (Kuvio 90). Järjestelmien tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty hieman alle 30 %:ssa 1950–1970-luvun rakennuskannasta (Kuvio 90).

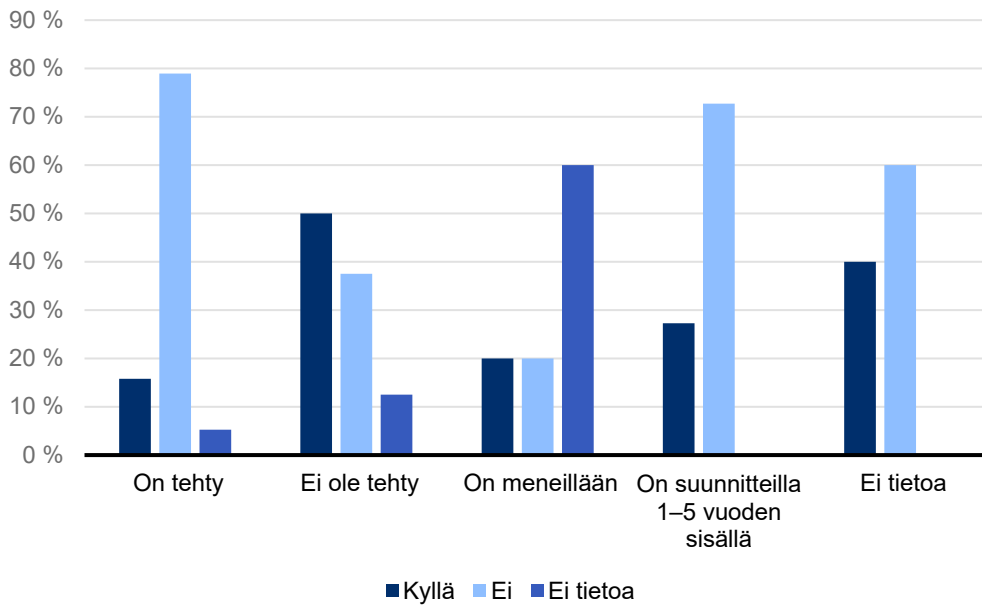
Niiden rakennusten osuus, joissa ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty oli 60 % (n=10) kunnassa 6 (Varsinais-Suomi), 43 % (n=7) kunnassa 5 (Pohjanmaa), 34 % (n=29) kunnassa 4 (Pirkanmaa), 25 % (n=8), kunnassa 2 (Kanta-Häme), 18 % (n=38) kunnassa 1 (Uusimaa) ja 6 % (n=18) kunnassa 3 (Päijät-Häme).

Kuvio 90. Aineistossa 109 rakennuksesta oli dokumentoitu tieto rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä ja 107 rakennuksesta oli saatavilla tieto järjestelmän iästä. Kuviosta on poistettu 1890–1899 rakennetut rakennukset, joista ei löytynyt tietoa ilmanvaihtojärjestelmistä.



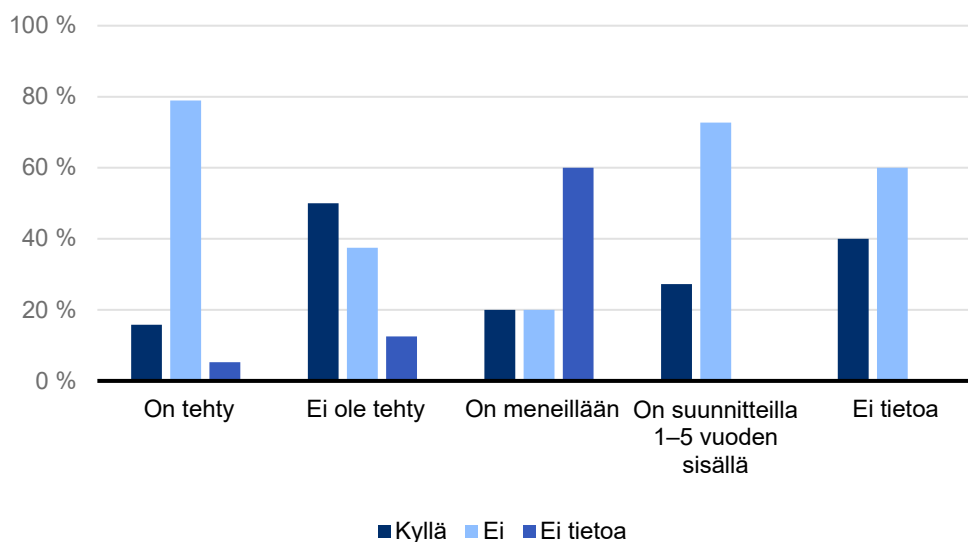
Ilmanvaihtojärjestelmistä ja niiden peruskorjauksista oli tietoa 68 rakennuksen osalta. Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä 30 vuotta oli saavutettu tai ylitetty 13 %:ssa (n=5) niistä rakennuksista, joissa peruskorjaus oli tehty jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta (Kuvio 91). Niissä rakennuksissa, joissa ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjausta ei ollut tehty, oli järjestelmän ikä saavutettu tai ylitetty 42 %:ssa (n=8) rakennuksista.

Kuvio 91. Ilmanvaihtojärjestelmien teknisen käyttöön saavutus tai ylitys suhteessa ilmanvaihtojärjestelmien tehtyihin, meneillään oleviin tai suunniteltuihin IV(A)-peruskorjauksiin nähden. Ilmanvaihtojärjestelmistä ja niiden peruskorjauksista oli saatavilla tietoa 68 rakennuksen osalta.



Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä 30 vuotta oli saavutettu tai ylitetty 16 %:ssa niistä rakennuksista, joissa oli tehty rakennustekniikan peruskorjaus jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta. Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty 50 %:ssa niistä tapauksista, joissa rakennustekniikan peruskorjausta ei ollut tehty (Kuvio 92).

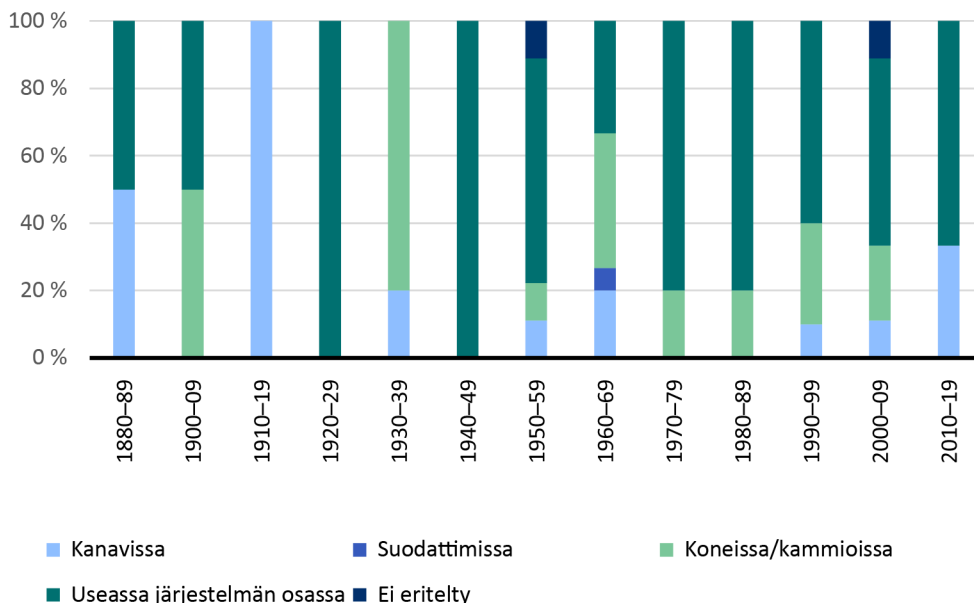
Kuvio 92. Ilmanvaihtojärjestelmän teknisen käyttöön saavutus tai ylitys suhteessa rakennustekniikan tehtyihin, meneillään oleviin tai suunniteltuihin peruskorjauksiin.



Ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtaudet ja niiden sijainti järjestelmässä oli määritelty 81 rakennuksen osalta. Ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtauksia esiintyi yleisemmin ilmanvaihtojärjestelmän useassa osassa yhtä aikaa (n=45, 56 %) ja aineistossa eniten (n=8, 18 %) 1980-luvun rakennuksissa (Kuvio 93). Ilmanvaihtojärjestelmien epäpuhtauksien sijainti kunnittain tarkasteltuna oli samansuuntainen kuin rakennusvuosittainen tarkastelu siten, että kaikkien kuntien rakennuksissa epäpuhtaudet sijaitsivat useammassa ilmanvaihtojärjestelmän osassa.

Vaikka rakennuksessa oli tehty ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta, esiintyi epäpuhtauksia silti järjestelmän useassa osassa (n=11, 41 %) ja koneissa tai kammioissa (n=11, 41 %). Epäpuhtauksia esiintyi useassa ilmanvaihtojärjestelmän osassa eniten niissä kohteissa, joissa ei ollut tehty ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjausta (n=11, 85 %). Kaikki edellä mainitut tulokset koskevat koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon järjestelmiä.

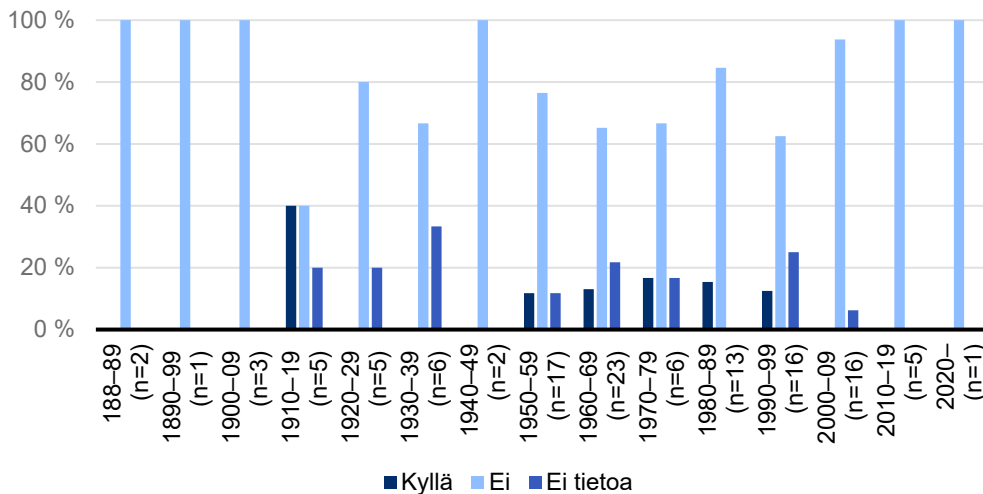
Kuvio 93. Ilmanvaihtojärjestelmässä esiintyvien epäpuhtauksien sijainti rakennusvuosikymmenittäin. Tiedot ovat 81 rakennuksesta. Kuviosta on poistettu vuosikymmenet, joiden tietoja ei ollut saatavilla, tai joilla rakennusten määrä oli pieni.



Kun ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty, esiintyi epäpuhtauksia useimmiten useassa järjestelmän osassa (n=19, 76 %) ja toiseksi eniten kammioissa tai koneissa (n=6, 24 %). Silloin kun ilmanvaihtojärjestelmän teknistä käyttöikää oli jäljellä, epäpuhtauksia esiintyi yleisesti useissa eri järjestelmän osissa (n=20, 49 %) ja koneissa ja kammioissa (n=12, 29 %).

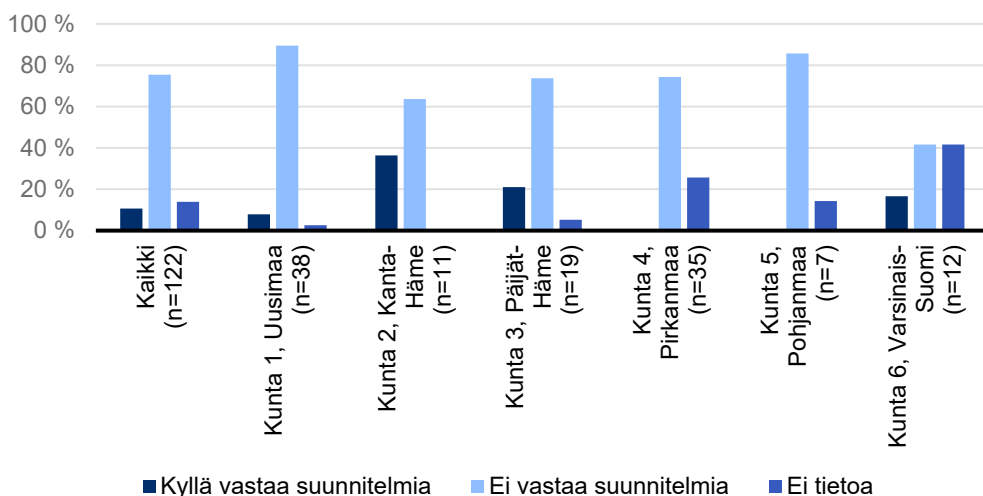
Aineistossa oli selvitetty myös luokkatilojen ilmanvaihdon ilmavirtojen vastaavuutta suunnitelmiin 104 rakennuksessa, ja ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa yleisesti 122 tapauksessa. Luokkatilojen ilmanvaihdon ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia 75 %:ssa (n=92) niistä kohteista, joissa ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuneita selvityksiä oli tehty. Luokkatilojen ilmavirrat vastasivat suunnitelmia 11 %:ssa (n=13) tapauksista ja 14 %:ssa (n=17) tapauksista ei löytynyt tietoa, vaikka ilmanvaihtoon liittyviä selvityksiä ja niiden dokumentaatiota oli tehty. Kuvion 94 mukaan rakennusten ilmavirrat eivät rakennuksen iästä riippumatta vastanneet suurimmalta osin sitä, mitä oli esitetty suunnitelmissa. Huomionarvoista on, että myös uudemmassa rakennuskannassa, jossa ilmanvaihtojärjestelmät ovat uusia, on tilanne samankaltainen (Kuvio 94).

Kuvio 94. Luokkatilojen ilmavirtojen vastaavuutta niiden suunnitelmiin oli selvitetty ja tulokset dokumentoitu 104 rakennuksen osalta. Ilmavirtojen vastaavuutta suhteessa suunnitelmiin on tarkasteltu rakennusvuosikymmenittäin vain niiden kohteiden osalta, joissa ilmanvaihtojärjestelmän tutkimukset oli tehty (N=122).



Kunnittain tarkasteltuna luokkatilojen ilmanvaihdon ilmavirrat vastasivat melko heikosti suunnitelmia. Kunnassa 2 (Kanta-Häme) luokkatilojen ilmavirrat vastasivat parhaiten suunniteltuja ilmavirtojen määriä (n=11, 36 %) (Kuvio 95).

Kuvio 95. Luokkatilojen ilmanvaihdon ilmavirtojen vastaavuus suunnitelmiin kunnittain. Ilmavirtojen vastaavuutta suhteessa suunnitelmiin on tarkasteltu vain niiden kohteiden osalta, joissa ilmanvaihtoon liittyvät tutkimukset oli tehty (N=122).



Ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvistä peruskorjauksista oli saatavilla dokumentoitua tietoa 68 rakennuksen osalta. Niistä rakennuksista, joissa oli tehty ilmanvaihdon peruskorjaus, 68 %:ssa (n=27) luokkatilojen ilmavirrat eivät vastanneet ja 15 %:ssa (n=6) vastasivat suunnitelmia. Rakennuksista, joissa ilmanvaihtojärjestelmien peruskorjausta ei ollut tehty, 84 %:ssa luokkatilojen ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia.

Kun ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty, 76 %:ssa (n=80) luokkatilojen ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän rakennuksissa 74 %:ssa (n=86) luokkien ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia. Koneellisen poistoilmanvaihdon ja ilmanvaihdon sekajärjestelmissä 100 %:ssa (n=6) tapauksista luokkatilojen ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia.

Kun luokkatilojen ilmavirrat vastasivat suunnitelmia, painesuhteet olivat hallinnassa 24 %:ssa (n=8) ja eivät olleet hallinnassa 58 %:ssa (n=19) tapauksista. Kun luokkatilojen ilmavirrat eivät vastanneet suunnitelmia, 85 %:ssa (n=67) tiloista painesuhteet eivät olleet hallinnassa ja aiheuttivat yli- tai alipainetta tiloissa.

3.3.8 Altistumisolosuhteiden arviointi

Työterveyslaitoksen ohjetta (Lappalainen ym., 2017) noudatteleva altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty 10 %:ssa (n=53) aineiston rakennuksista (N=496). Altistumisolosuhteiden arviointi on tehty 60 %:ssa (n=46) niistä rakennuksista, joissa oli tehty myös rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (n=77) ja 7 %:ssa (n=10) niistä rakennuksista, joissa oli tehty jokin muu kokonaisvaltainen kuntotutkimus (n=69). Niissä rakennuksissa, joissa altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty (n=53), kohdistui arviointi eniten 1960–69- (n=11, 21 %) ja 2000–2009 (n=9, 17 %) -luvulla rakennettuihin rakennuksiin, ja vähiten ennen 1940-lukua rakennettuihin rakennuksiin. Kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus sekä altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty useimmiten ala-asterakennuksissa (n=17, 22 %), ja sen jälkeen ylä- ja ala-asterakennusten yhdistelmissä (n=13, 17 %) ja yläasterakennuksissa (n=8, 10 %).

Rakennuksissa, joissa suunniteltu toimenpide oli peruskorjaus seuraavan 1-5 vuoden aikana, oli altistumisolosuhteiden arviointi tehty useammin kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen kanssa (n=9) kuin niissä rakennuksissa, joissa suunniteltu toimenpide seuraavien 1–10 vuoden sisällä oli jokin muu kuin peruskorjaus. Näitä muita vaihtoehtoja olivat: peruskorjaus 6-10 v. sisällä (n=0), rakennus korvataan uudisrakennuksella tai toiminta siirretään uudisrakennukseen (n=2), osittainen peruskorjaus 1-5 v. sisällä (n=0), peruskorjaus ja laajennus 1-5 v. sisällä (n=4) tai 6-10 v. sisällä (n=0), laajennus 1-5 v. sisällä (n=0) tai 6-10 v. sisällä (n=0) tai rakennus puretaan (n=0).

Eniten altistumisolosuhteiden arviointia (n=53) oli tehty kunnassa 4 (Pirkanmaa, n=13, 25 %) ja kunnassa 3 (Päijät-Häme, n=13, 25 %) ja vähiten kunnassa 5 (Pohjanmaa, n=2, 4 %). Altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty rakennuskohtaisesti 25 rakennuksessa, kerroskohtaisesti 4 rakennuksessa ja tilakohtaisesti 10 rakennuksessa sekä edellisten yhdistelminä 14 rakennuksessa. Taulukossa 2 esitetään koulurakennusten rakennus-, kerros- ja tilakohtaisesti arvioitujen (n=53) olosuhteiden tulokset.

Taulukko 2. Rakennus-, tila- ja kerroskohtaisten altistumisolosuhteiden arvioinnin tulokset aineistossa. Aineiston rakennuksista (N=496) 53 rakennukseen oli tehty Työterveyslaitoksen ohjeen (Lappalainen ym., 2017) mukainen altistumisolosuhteiden arviointi rakennus-, kerros- tai tilakohtaisesti tai edellisten yhdistelmänä.

Tavanomaisesta poikkeava olosuhde	Rakennuskohtainen arviointi (n=25)	Kerroskohtainen arviointi (n=4)	Tilakohtainen arviointi (n=10)	Arviointi tehty yhdistelmänä (rakennus, kerros, tila) (n=14)
Epätodennäköinen	3	0	3	-
Mahdollinen	4	1	4	-
Todennäköinen	10	7	3	-
Erittäin todennäköinen	4	2	2	-

3.3.9 Kuntoarviot

Aineistossa oli 44 rakennusta, joista oli tehty kuntoarviointi vuosina 2016–2022 (näihin rakennuksiin ei ollut kohdistunut kuntotutkimustasoisia selvityksiä kyseisenä aikana). Suurin osa kuntoarviokohteiden tiedoista keskittyy kunnan 2 (Kanta-Häme) ja kunnan 6 (Varsinais-Suomi) alueille. Osassa kunnista kuntoarviointi ei ole kuulunut kiinteistöpidon ohjelman menetelmiin yli 10 vuoteen.

Kuntoarvioituista rakennuksista ala-asterakennuksia oli 21, ala- ja yläasterakennuksia kahdeksan, päiväkodin ja ala-asteen yhdistelmiä yksi ja lukioita kaksi. Aineistossa ei ollut yhtään yläasterakennusta eikä päiväkodin ja yläasteen yhdistävää rakennusta.

Rakennustekniikka

Tehtyjen kuntoarvioiden mukaan rakennustekniikan kuntoluokka oli kokonaisuudessaan tyydyttävä 20 %:ssa (n=9) ja tyydyttävä tai hyvän ja tyydyttävän välillä 13 %:ssa (n=6) arvioituista rakennuksista, ja tässä aineistossa riippumaton kouluasteesta tai rakennuksen pinta-alasta. Rakennustekniikan kuntoluokka oli arvioitu välttäväksi (n=1), hyväksi (n=1) ja tyydyttäväksi (n=1) 2 %:ssa kohteista. Arvioituista rakennuksista 56 %:ssa (n=25) ei ollut arvioitu rakennustekniikan kuntoluokkaa kokonaisuutena.

Vesikattojen kuntoluokka oli tyydyttävä 24 %:ssa (n=11), hyvä 20 %:ssa (n=9) ja välttävä 9 %:ssa (n=4) tapauksista. Julkisivujen kuntoluokka oli tyydyttävä 41 %:ssa (n=18), hyvä 14 %:ssa ja uutta vastaava 2 %:ssa tapauksista. Ikkunoiden kuntoluokka oli välttävä 24 %:ssa (n=11), tyydyttävä 18 %:ssa (n=8) ja hyvä 13 %:ssa (n=6) tapauksista.

Kuntoarvioituissa kohteissa pääasiallinen runkomateriaali olivat betoni (n=9, 20 %) ja puu (n=5, 11 %). Pääasiallinen perustustapa oli antura- ja sokkeliperustus (n=24, 55 %). Yleisin alapohjatyyppejä oli maanvarainen alapohja (n=10, 23 %) ja toiseksi yleisin tuulettuva alapohja / ryömintätila (n=5, 11 %). Yleisin yläpohjatyyppejä oli ullakollinen yläpohja (n=6, 32 %). Pääasialliset ulkoseinärakenteet olivat täystiili (n=5, 11 %) ja puu (n=4, 9 %). Julkisivun pääasiallinen pintamateriaali oli 32 %:ssa tapauksista rappaus (n=14) ja 18 %:ssa tapauksista puu (n=8).

Kun rakennustekniikan kuntoluokka oli tyydyttävä, oli 43 %:ssa (n=3) tapauksista suositeltu kuntotutkimusta liittyen kosteus- ja mikrobivaurioihin, ja 64 %:ssa (n=7) suositeltu asbesti- ja haitta-ainekartoitusta. Havaintoja näkyvistä kosteus- ja mikrobivaurioista oli tehty 7 %:ssa (n=3) kuntoarvioituista rakennuksista. 16 %:ssa kohteista oli suositeltu kosteus- ja mikrobivaurioiden lisätutkimuksia.

Kuntoarvioiden yhteydessä (n=44) oli annettu suosituksia tarkemmista kuntotutkimuksista julkisivujen osalta 27 %:ssa (n=12), yläpohjien osalta 9 %:ssa (n=4) ja runkorakenteiden osalta 7 %:ssa (n=3) tapauksista.

LVI-tekniikka

Lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtotekniikan (LVI) kunto oli arvioitu tyydyttäväksi (asteikolla heikko, välttävä, tyydyttävä, hyvä ja uusi) 20 %:ssa kuntoarvioituista rakennuksista (n=44). LVI-kuntoluokan keskiarvo oli tyydyttävä. LVI-kuntoluokasta ei ollut tietoa tai sitä ei ollut arvioitu kokonaisuutena 71 %:ssa (n=32) rakennuksista.

Pääasiallinen ilmanvaihtojärjestelmä oli 59 %:ssa (n=26) koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä. LVI-järjestelmän kunto oli arvioitu tyydyttäväksi 17 %:ssa koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kohteista (n=6), 25 %:ssa koneellisen poistoilmanvaihdon kohteista (n=1) ja 50 %:ssa painovoimaisen järjestelmän kohteista (n=1), sekä hyväksi 8 %:ssa (n=3) koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmien kohteista.

67 %:ssa niistä kohteista, joissa LVI-tekniikan kokonaiskuntoluokka oli arvioitu tyydyttäväksi, oli suositeltu LVI-tekniikan kuntotutkimusta (n=6), ja vastaavasti kuntoluokaltaan hyväksi arvioituista 11 %:ssa (n=1). Niissä kohteissa, joissa LVI-tekniikan kuntoluokitusta ei ollut tehty, oli 22 %:ssa (n=2) suositeltu LVI-kuntotutkimuksen tekemistä. LVI-tekniikan kuntotutkimusta oli suositeltu kolmeen 1920-luvun (n=7) rakennukseen ja kahteen 1950- (n=9) ja 1980-luvun (n=4) rakennukseen. Kuntotutkimusta oli suositeltu 22 %:ssa (n=8) kohteista, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (n=36).

Sisäolosuhteet

Havainto poikkeavista sisäolosuhteista oli tehty 25 %:ssa kohteista (n=11) ja niissä oli annettu suositus ilmanlaadun tarkempien selvitysten tekemiseen 23 %:ssa (n=24) tapauksista. Poikkeavista hajuista oli tehty havainto kolmessa kohteessa (7 %) ja näihin liittyen yhteen kohteeseen oli suositeltu lisätutkimusta.

Poikkeavaan ilmanlaatuun liittyvistä lisätutkimustarpeista 19 % (n=6) oli suositeltu alasteen (n=31) käytössä oleviin tiloihin ja 44 % (n=4) ala- ja yläasteen (n=9) käytössä oleviin tiloihin.

3.4 Johtopäätökset

3.4.1 Rakennusten yleistiedot

Vuonna 2022 peruskoulujen ja lukioiden määrä oli 2 338. Koulujen määrä ja koulurakennusten määrät poikkeavat toisistaan, ja usein tiettyyn kouluun kuuluu useita rakennuksia. Toisaalta samassa rakennuksessa voi toimia kaksi koulua, esimerkiksi yläasteen koulu ja lukio. Keskimäärin yhteen kouluun kuuluu noin 1,8 rakennusta (ks. luku 2), jolloin karkea arvio Suomen peruskoulurakennusten määrästä on noin 4 200 rakennusta. Tämän aineiston 496 koulurakennusta edustaa siis arviolta noin 12 %:a koko Suomen koulurakennusten määrästä. Tämän takia tämän tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koskemaan koko Suomen peruskoulujen rakennuskantaa.

Lisäksi tutkitussa aineistossa oli edustettuna vain suuria tai keskikokoisia kuntia, ja siten saadut tulokset eivät ole yleistettävissä pienempiin kuntiin. Jokaisesta maakunnasta oli aineistoa vain yhdestä kaupungista tai kunnasta, joten tuloksia ei myöskään voida yleistää maakunnittain. Jatkossa tutkimuksiin on sisällytettävä myös pienempiä kuntia koko Suomesta, ja tutkimusta on laajennettava niin, että saadaan laajempi ymmärrys maakuntien ja koko Suomen koulurakennuskannasta. Huomioitava kuitenkin on, että hyvin monia tämän tutkimuksen tuloksia vahvistavat aikaisempien tutkimusten samansuuntaiset tulokset (muun muassa Kero ym., 2021; FCG Konsultointi Oy, 2020; Salminen ym., 2019; Hyvärinen ym., 2017; Marttila ym., 2015; Reijula ym., 2012).

Valtaosa Suomen koulurakennuksista on valmistunut 1950- ja 1960-luvuilla (36 %, N=2 812), mikä vastaa aikaisempaa tutkittua tietoa (FCG Konsultointi Oy, 2020) siitä, että perusopetuksen rakennusten valmistusajankohta sijoittuu merkittävältä osin vuosiin 1950–1969. Näin ollen rakennuskanta on vanhaa.

Tutkitussa aineistossa ala-astetoiminnot sijoituivat eniten 1950-luvulla rakennettuihin rakennuksiin. Yläasteen koulut, yhdistetyt ala- ja yläasteen koulut, lukiot, sekä yläasteen ja lukioiden yhdistelmät esiintyivät pääasiassa 1960-luvulla rakennetuissa rakennuksissa. Yhdistetyt ala-asteen ja päiväkodin sekä päiväkodin, esiopetuksen ja ala-asteen toiminnot sijaitsivat eniten 2000- ja 2010-luvuilla valmistuneissa rakennuksissa. Tämä osoittaa, että uudemmissa rakennuksissa on otettu käyttöön monipuolisempia palveluyhdistelmiä toimintojen ja tilojen yhdistelemiseksi ja hyödyntämiseksi erityisesti varhaiskasvatuksen ja ala-astetoimintojen osalta.

Monitoimitalot, jotka sisältävät eri kouluasteiden ja muiden palveluiden toimintoja, sijoittuvat pääasiassa 2020-luvun rakennuksiin ja seuraavaksi eniten 2010-luvulla valmistuneisiin rakennuksiin. Monitoimitalojen suosio on kasvanut viime vuosikymmeninä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että koulurakennusten käyttötarkoitus ja toiminnallisuus ovat muuttuneet viimeisten kahden vuosikymmenen aikana vastaamaan yhteiskunnan muuttuvia tarpeita, mikä näkyy uudempien koulurakennusten valmistumisena monitoimitaloiksi ja joustaviksi rakennuksiksi.

3.4.2 Tiedonhallinta

Kokonaiskuvan saaminen kuntien koulurakennuksista oli osittain vaikeaa, sillä kuntien tiedonhallintajärjestelmät ovat monimuotoisia. Yksittäisen rakennuksen tai kiinteistön tiedot voivat sijaita useassa eri järjestelmässä ja järjestelmien sisällä useissa eri tallennuspaikoissa. Tietoa tallentavat ja käsittelevät kiinteistönomistuksessa ja hallin-

nassa useat eri henkilöt, ja tiedot pirstoutuvat helposti, minkä vuoksi niiden systemaattinen hallinta on hankalaa. Aineistoon kootun tiedon ajantasaisuudessa esiintyikin puutteita tai epävarmuutta, ja kaikista rakennuksista tai kiinteistöistä olevaa tietoa ei ollut systemaattisesti samoissa paikoissa tai järjestelmissä. Tiedon tallentajalle on jäänyt melko paljon vapauksia valita erilaisten tietojen tallennuspaikkoja (järjestelmät ja järjestelmissä olevat sijainnit).

Tutkimusta tehdessä havaittiin, että joidenkin raportoitujen ja tallennettujen tietojen yhdistäminen tontilla oleviin eri rakennuksiin oli mahdotonta henkilölle, joka ei tuntenut rakennuksia entuudestaan. Tämän vuoksi yksittäisten rakennusten, kiinteistöjen sekä koko koulurakennuskannan kokonaiskuvan muodostamisessa voi olla ongelmia myös kunnissa sekä valtakunnan tasolla. Samantyyppiseen johtopäätökseen päädyttiin FCG Konsultointi Oy:n selvityksessä (2020), jossa todetaan, että Suomessa ei ole kansallista koulurakennuksia koskevaa tietovarantoa, johon olisi koottu keskitetyt tiedot koulurakennuskannasta.

Huomioitavaa kuitenkin on, että Keron ym. tekemän selvityksen (2021) mukaan noin 60 % kunnista ilmoitti käyttävänsä sähköistä kiinteistönhallintajärjestelmää, jota myös kehitetään. Tulos ei kuitenkaan kerro sitä, kuinka hyvin järjestelmiin tallennetut tiedot ovat identifioitavissa ja yhdistettävissä kyseessä oleviin rakennuksiin, ja kuinka systemaattista ja selkeää tiedon tallentaminen ja tallennuspaikat ovat itse järjestelmien sisällä. Tämän lisäksi esimerkiksi erilaisten kuntotutkimusten ja korjaustapaselvitysten raporttien tiedot ovat järjestelmissä pääosin PDF-tiedostoina, ja siten niistä saatava tieto on yleensä syötetty tai tulisi syöttää manuaalisesti itse järjestelmän muihin osiin. Tutkimuksemme tärkeä havainto onkin, että tämänkaltainen työ on monin osin ja hyvin yleisesti tekemättä, ja jos se on tehty, niin tieto ei ole systemaattista ja siinä on monin paikoin aukkoja, myös niissä kunnissa, joissa sähköiset kiinteistönhallintajärjestelmät ovat käytössä.

Rakennusten ennakoivan kunnossapidon, korjaamisen, kestäväen rakentamisen sekä resurssien oikein kohdistamisen vuoksi olisi välttämätöntä, että tiedonhallintaa voitaisiin yhdenmukaistaa systemaattisesti kunnissa, mutta myös laajemminkin, rakennuskannan kunnon, käytettävyyden, muunneltavuuden sekä uudelleenikäytön ja kierrätyksen näkökulmista ja niiden edistämiseksi Suomessa.

3.4.3 Peruskorjaukset

Rakennuskannan rakennustekniikan korjaustilanteesta oli saatavilla tietoja vain hie-man yli puolesta aineiston rakennuksista. Niistä rakennuksista, joista oli tehty kos-teus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, oli myös usein saatavilla listaus tehdyistä pe-

ruskorjauksista. Sen sijaan tiedonhallintajärjestelmistä, joissa tiedot kuntotutkimuksista sekä kuntoarvioista sijaitsivat, ei useinkaan ollut saatavilla tietoa peruskorjauksista. Sähköisten kiinteistöhallintajärjestelmien ohessa peruskorjaustilanteesta oli laadittu muun muassa Excel-listoja. Tämän lisäksi osassa kuntia kuntotutkimukset ja muut rakennuksen kuntoon liittyvät selvitykset eivät sijainneet erillisessä tiedonhallintajärjestelmässä, vaan organisaation verkkoasemien kansioissa. Tämän tutkimuksen valossa rakennustekniikan peruskorjauksen tilanteesta oleva tieto on sirpaleista, vain manuaalisesti yhdistettävissä rakennuksen muihin tietoihin, ja tiedoissa on usein aukkoja. Tutkimuksessa tunnistettiin suuri tarve parantaa merkittävästi rakennuksista saatavan ja olevan tiedon hallintaa, ja erityisesti tiedon yhdistämistä systemaattisesti kunnissa ja valtakunnallisesti.

Vanhoissa, erityisesti 1940-luvulta peräisin olevissa rakennuksissa oli tehty suhteessa eniten rakennustekniikan peruskorjauksia. Määrällisesti eniten rakennustekniikan ja ilmanvaihtojärjestelmien peruskorjauksia oli kuitenkin kohdistunut 1950- ja 1960-luvuilla rakennettuihin rakennuksiin. Peruskorjauksille kyseisen aikakauden rakennuksissa on tarvetta, sillä määrällisesti tarkasteltuna 1950- ja 1960-luvun rakennuksissa esiintyi systemaattisesti eniten vaurioita tai epäpuhtauslähteitä kaikkien rakenteiden kohdalla. Vanhaan rakennuskantaan kohdistuu peruskorjaustarvetta rakennuksien rakenteiden ja järjestelmien ikääntymisen vuoksi. Vanhassa rakennuskannassa esiintyi myös riskirakenteiden riskien toteutumista, rakenteissa ja pinnoilla sijaitsevia mahdollisia sisäilman epäpuhtauslähteitä, vanhoja rakenteellisia ilmanvaihtojärjestelmiä, toimimattomia ilmanvaihtoratkaisuja, rakennuksen korjaamisen kokonaisvaltaisen tarkastelun puutteen aiheuttamia muita ongelmia, ja niiden aiheuttamia toimenpide- ja korjaustarpeita.

3.4.4 Kosteus- ja sisäilmatekniset sekä muut kuntotutkimukset

Jokaisessa tarkastellussa kaupungissa ja kunnassa oli tehty koulurakennuksiin kosteus- ja rakennusteknisiä kuntotutkimuksia, jotka noudattivat hyvin tai melko hyvin Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -opasta (2016). Lisäksi rakennuksiin oli tehty muitakin kuntotutkimustasoisia tutkimuksia ja selvityksiä, joissa käytetyt menetelmät ja tulokset vastasivat hyvin tai melko hyvin edellä mainitussa opassa esitettyjä periaatteita. Aikaisemmassa selvityksessä (Marttila ym., 2015), jossa arvioitiin kuntien rakennusten kuntoon liittyviä dokumentteja vuosilta 2012–2013, todettiin, että kuntotutkimuksiin liittyvissä asiakirjoissa on puutteita ja kuntotutkimusraporttien sekä -lausuntojen laadussa oli varsin huomattavaa vaihtelua. Siten voidaan todeta, että Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -opas (2016) on otettu käyttöön laajalti ja se on yhtenäistänyt rakennuksiin kohdistuvien kosteus- ja sisäilmateknisten selvitysten sisältöjä sekä raportointia.

3.4.5 Poikkeava kosteus ja sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät sekä altistumisolosuhteet

Tämän tutkimuksen aineiston rakennuksissa (N=452) esiintyvä poikkeava kosteus oli yleisempää hieman vanhemmassa koulurakennuskannassa ja kosteuspoikkeamia oli todettu suhteessa vähemmän uudemmassa 2010- ja 2020-luvun rakennuskannassa. Kokonaisuudessaan poikkeavaa kosteutta oli todettu noin viidenneksessä koulurakennuksista. Tulosten perusteella rakenteiden kosteuspoikkeamat osataan tunnistaa, ja kosteuspoikkeamien syyt, laajuus ja niiden aiheuttamat seuraukset rakenteissa sekä materiaaleissa osataan tutkia ja tulokset tulkita. Erityisesti betonirakenteiden kosteuspoikkeamien kartoittamiseen ja mittaamiseen sekä tulosten tulkintaan on Suomessa ohjeita jo pidemmältä ajalta ja tutkimustoiminta on melko vakiintunutta.

Tämän tutkimuksen aineistossa (N=452) mikrobivaurioita oli todettu lähes 30 %:ssa rakennuksista ja suhteessa eniten niitä esiintyi ennen 2000-lukua rakennetuissa rakennuksissa. Rakenteiden materiaalien päästöjä esiintyi 8 %:ssa koulurakennuksista. Osittaiset korjaukset ja peruskorjaukset seuraaville vuosille kohdistuivat eniten rakennuksiin, joissa oli todettuja kosteuspoikkeamia ja mikrobivaurioita rakenteissa.

Työterveyslaitoksen ohjetta (Lappalainen ym., 2017) noudattavia altistumisolosuhteiden arviointeja oli tehty jopa 60 %:ssa niistä rakennuksista, joissa oli tehty myös rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus (N=77). Altistumisolosuhteiden arviointia oli tehty sekä vanhempaan että uudempaan koulurakennuskantaan. Ala-asterakennuksiin kohdistui suhteessa enemmän altistumisolosuhteiden arviointeja kuin muihin koulurakennuksiin, mikä voi johtua ala-asterakennusten ja ala- ja yläasterakennusten yhdistelmien suuresta määrästä aineistossa (56 %) sekä siitä, että ala-asteen toimintoja sijoittui määrällisesti eniten vanhaan rakennuskantaan (1950- ja 1960-luku).

Altistumisolosuhteiden arvioinnin avulla tutkituissa rakennuksissa tai tiloissa oli laadittu kokonaiskuva altistumisolosuhteiden luokituksesta ja rakenteiden, ilmanvaihtojärjestelmän ja sen toiminnan sekä ympäristön vaikutuksesta sisäilmaston laatuun. Niissä kohteissa, joissa altistumisolosuhteet oli arvioitu, arvioinnin tulos kertoi tavanomaisesta poikkeavan olosuhteen olevan useimmiten todennäköinen (asteikolla epä-todennäköinen, mahdollinen, todennäköinen ja erittäin todennäköinen).

Kun altistumisolosuhteiden arviointi oli määritelty todennäköiseksi, oli arvioituissa tiloissa jo laajoja vaurioita ja sisäilman epäpuhtauslähteitä sekä niistä ilmayhteys sisäilmaan. Tämä osoittaa, että altistumisolosuhteiden arviointi tehdään siinä vaiheessa, kun rakennuksessa ja tiloissa on todennäköisesti myös pitkälle edenneitä kosteus- ja mikrobivaurioita ja niistä sisäilmayhteys esimerkiksi epätiivien rakenteiden kautta.

Näitä voitaisiin pitkälti välttää rakennuksen suunnitelmallisella huollolla, kunnossapidolla ja korjaamisella sekä säännöllisillä kuntoarvioilla, tarkastuksilla, katsastuksilla ja tarpeenmukaisilla kuntotutkimuksilla. Samaan johtopäätökseen on päädytty vuonna 2020 tehdyssä selvityksessä (FCG Konsultointi Oy), jossa todetaan, että ylläpidon kannalta rakennusteknisten ongelmien aiheuttamia yllätyksiä tulisi pyrkiä ehkäisemään kehittämällä ennakoiva korjauskulttuuri, jossa rakennuksesta pidetään jatkuvasti laajemmin huolta ja sen kuntoa tarkkaillaan myös siellä, missä ei ole ongelmia.

Altistumisolosuhteiden arviointi yhdessä rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisen kuntotutkimuksen kanssa oli tehty selkeästi useammin kohteisiin, joihin suunniteltu toimenpide oli peruskorjaus seuraavien 1–5 vuoden aikana, kuin niihin rakennuksiin, joissa suunniteltu toimenpide seuraavien 1–10 vuoden aikana oli jokin muu kuin peruskorjaus. Tämä osoittaa, että peruskorjauspäätösten perusteeksi käytetään teknisen kuntotutkimustiedon lisäksi sisäilmasto-olosuhteiden ja altistumisolosuhteiden arvioinnin tietoja. Tulosta tukee aikaisemmin kunnille tehdyn kyselytutkimuksen (Hyvärinen ym., 2017) tulos siitä, että rakennusten jatkotoimenpiteiden määrittelyyn ja kiireellisyyden arviointiin käytettiin yleisimmin perusteena tietoja altistumisolosuhteiden todennäköisyydestä.

Rakennusten kunto oli tutkittu luotettavasti ja kuntotutkimustasoisesti noin 30 %:ssa aineiston (N=496) rakennuksista. Vain tästä määrästä rakennuksia voidaan katsoa olevan riittävän laajasti tietoa rakennusten tosiasiallisesta kunnosta. Huomioitavaa on, että 20 % rakennuksista oli rakennettu 2000-luvulla ja niiden kunnan voidaan pääsääntöisesti katsoa olevan tässä elinkaaren vaiheessa hyvä tai uutta vastaava. Jos rakennusten kuntoarviointeja ei tehdä systemaattisesti tarpeenmukaisten kuntotutkimusten lisäksi, on vaikea saada kokonaiskuvaa koko rakennuskannan todellisesta, tutkitusta ja arvioidusta, kunnosta. Koska tämän tutkimuksen aineisto (N=496) edustaa arviolta vain 12 %:a Suomen koulurakennuksista, tutkimuksen tulos ei ole kokonaiskuva koko Suomen koulurakennuskannan kunnosta. Mikäli muissa Suomen kunnissa rakennusten kuntotutkimusten ja rakennuskannan tilanne on vastaava kuin tämän tutkimuksen kunnissa, voidaan arvioida, että noin 50 %:sta koulurakennuksia saattaa olla saatavilla luotettavaa tietoa niiden kunnosta.

Kokonaisuudessaan altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty 10 %:ssa aineiston koulurakennuksista. Vain tästä määrästä rakennuksia voidaan katsoa olevan saatavilla kokonaisvaltaisesti tehty sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden arviointi, joka perustuu kuntotutkimustasoisten selvitysten tuloksiin rakennuksen, sen toiminnan ja ympäristön tekijöiden vaikutuksesta sisäilmasto-olosuhteisiin. Näistä arvioinneista 53 %:ssa päädyttiin tulokseen, että tavanomaisesta poikkeava altistumisolosuhde on todennäköinen tai erittäin todennäköinen.

3.4.6 Rakenteet

Alapohjarakenteiden tyypit oli selvitetty 185 koulurakennuksessa. Alapohjarakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli kuntotutkimuksissa tutkittu 136 ja ilmatiiveyttä 123 koulurakennuksessa. Maanvarainen alapohja oli koko aineistossa ja kaikkien kuntien osalta yleisin alapohjatyyppejä. Määrällisesti eniten alapohjarakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli 1950-, 1960- ja 1990-luvulla rakennetuissa rakennuksissa. Eniten mikrobivaurioituneita alapohjarakenteita oli 1950- ja 1960-luvun rakennuksissa ja eniten materiaaliemissioita 1990- ja 2000-luvun rakennuksissa. Eniten vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli alapohjissa, joiden rakennetyyppinä oli maanvarainen alapohja ja pääasiallinen rakenne paikalla valettu betonilaatta. Prosentuaalisesti eniten vaurioita oli kaksoislaattarakenteisissa alapohjissa. Rakenteen kohonnut kosteus oli yhteydessä vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden esiintymiseen.

Välipohjien rakenteista oli saatavilla tietoa 128 rakennuksesta ja ilmapuoreittejä oli tutkittu 68 rakennuksessa. Rakennetyypeistä yleisimpiä olivat kotelorakenteet, ontelolaatat ja paikallavaletut teräsbetoniset välipohjat. Selvästi eniten välipohjan eristemateriaalivaurioita oli kotelorakenteisissa välipohjissa. Pintakerrosten materiaalien vaurioita esiintyi ontelolaatoissa ja kotelorakenteisissa välipohjissa. Eristemateriaalien vaurioita ja epäpuhtauslähteitä oli havaittu noin kolmanneksessa tutkituista rakennuksista. Kaikissa tapauksissa kyse oli mikrobivaurioista.

Maanvastaisten seinärakenteiden tyyppejä oli kuntotutkimuksissa selvitetty 79 koulurakennuksessa, ja vaurioita tai epäpuhtauslähteitä 63 rakennuksessa. Suurin osa seinärakenteista oli betonisia, betonisia sisäpuolisella eristyksellä ja kuorimuurauksella, tai muita rakenteita. Eniten todettuja vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli 1950- ja 1960-luvun rakennuksissa. Vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli hieman yli puolessa kohteista. Merkittävimpiä tai laajimpia vaurioita olivat mikrobivauriot. Yleisimpiä vaurioita olivat maanvastaisissa seinärakenteissa, joiden rakennetyyppinä oli betoniseinä sisäpuolisella eristeellä ja kuorimuurauksella.

Tieto pääasiallisen yläpohjarakenteen tyypistä oli saatavilla 147 koulurakennuksesta, ja yläpohjarakenteiden vaurioita oli selvitetty 93 koulurakennuksessa. Yläpohjarakenteen yleisin tyyppi oli tuuletettu yläpohja ullakkotilalla, joka oli vallitsevana rakennetyyppinä ennen vuotta 1960 rakennetuissa rakennuksissa, ja seuraavaksi yleisin oli tuuletettu yläpohja ilman ullakkotilaa. Yläpohjien yleisimmät runkomateriaalit olivat betoni ja puu. Eristemateriaaleista yleisin oli mineraalivilla. Katemateriaaleista oli eniten käytetty peltiä ja bitumia. Vaurioita oli todettu 41 rakennuksessa, ja lähes kaikki olivat mikrobivaurioita. Yläpohjista, joiden eristemateriaalina oli mineraalivilla, oli vaurioitunut lähes kolmannes. Purueristettyjä yläpohjia oli vain vähän, mutta niistä valtaosassa oli vaurio.

Pääasialliset ulkoseinärakenteet oli raportoitu 177 koulurakennuksesta, ja pääasiallinen julkisivumateriaali 187 rakennuksesta. Ulkoseinärakenteiden vaurioita ja epäpuhtauslähteitä oli selvitetty 120 koulurakennuksessa. Yleisin ulkoseinärakenne oli täystiili, mutta monessa rakennuksessa oli käytetty useita erilaisia rakenteita, jolloin pääasiallista rakennetta ei voitu määrittää. Ennen vuotta 1950 rakennetuissa koulurakennuksissa ulkoseinärakenteena oli pääsääntöisesti hirsi tai täystiili, ja tämän jälkeen oli käytetty tasaisemmin eri rakennetyyppejä, vaikkakin 1950-luvulla rakennettiin vielä selvästi eniten täystiilisiä ulkoseiniä. Yleisimpiä julkisivumateriaaleja olivat rappaus, tiili ja puu.

Valtaosassa ulkoseinärakenteista oli todettu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Vauriot olivat pääasiassa mikrobivaurioita. Eniten vaurioita oli ulkoseinissä, joissa oli käytetty useita eri rakennetyyppejä, tiili-villa-tiili-rakenteissa, ja ulkoseinissä, joiden pääasiallisena rakenteena oli betonisandwich-elementti. Kaikissa tutkituissa tiili-villa-betoni-rakenteisissa, hirsirakenteisissa ja peltirankaisissa ulkoseinissä oli todettu vaurioita, mutta rakennetyyppien osuus koko aineistosta oli huomattavasti pienempi kuin edellä mainittujen. Vähiten vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli täystiilissä ulkoseinissä.

Ikkunarakenteiden ongelmia oli kuntotutkimusten yhteydessä kartoitettu 113 koulurakennuksessa, ja valtaosassa havaittiin ongelmia. Ikkunarakenteiden ongelmia oli tutkittu 65 sellaisessa rakennuksessa, joiden ulkoseinärakenteissa oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä ja näistä valtaosassa oli ongelmia myös ikkunarakenteissa.

Sokkelirakenteiden vaurioita tai epäpuhtauslähteitä oli kuntotutkimuksissa erikseen tutkittu 24 koulurakennuksessa, joista suurimassa osassa oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Kaikki havaitut vauriot olivat mikrobivaurioita, ja niistä suurin osa oli laajoja. Eniten vaurioita oli betonisissa paikallavaletuissa ja eristetyissä sokkelirakenteissa.

Kuntotutkimusten yhteydessä raportoitiin tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita 53 koulurakennuksessa ja alaslaskettuja kattotiloja tai katon verhoiluja 70 koulurakennuksessa luokkatiloissa tai niihin yhteydessä olevissa tiloissa. Eniten tekniikkakoteloita tai putkikanaaleita oli 1950- ja 1960-luvuilla rakennetuissa koulurakennuksissa ja alaslaskettuja kattotiloja tai katon verhoiluja vuosien 1960 ja 2010 välillä rakennetuissa rakennuksissa. Yli kolmanneksessa tekniikkakoteloista tai putkikanaaleista oli havaittu vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Yli puolessa asiaa ei ollut kuitenkaan tutkittu tai sitä ei selvästi ilmaistu kuntotutkimusraporteissa. Merkittävimpänä epäpuhtauslähteenä olivat mikrobit ja mineraalivillakuidut. Valtaosassa alaslasketuista kattotiloista esiintyi vaurioita tai epäpuhtauslähteitä, joista merkittävien olivat mineraalivillakuidut.

Yleisesti ottaen vauriot ja epäpuhtauslähteet korostuivat erityisesti 1950- ja 1960-luvun koulurakennuksissa. Määrällisesti eniten vaurioita ja epäpuhtauslähteitä oli raportoitu tämän aikakauden rakennuksissa kaikkien rakenteiden osalta. Toisaalta kuntotutkimuksia oli myös eniten tehty tämän aikakauden rakennuksiin, mikä osaltaan selittää havaittujen vaurioiden ja epäpuhtauslähteiden määrää. Vauriot eivät kuitenkaan rajoittuneet pelkästään kyseisen aikakauden rakennuksiin, vaan niitä oli raportoitu lähes kaikenikäisistä rakennuksista. Prosentuaalisesti tarkasteltuna 1950- ja 1960-luvun rakennuksien vauriot eivät olleet yleisimpiä kaikkien rakenneosien kohdalla. Suhteellisten osuuksien tarkastelua kuitenkin hankaloitti erityisesti uudempien ja vanhempien rakennuksien pienet määrät kuntotutkimuksissa tutkituista rakennuksista, ja niiden osuudet olisivat monin paikoin yli- tai alikorostuneet suhteellisessa tarkastelussa. Tämän takia rakenteiden vaurioiden tarkastelu toteutettiin pääasiassa määrällisenä.

Kuntotutkimuksissa tutkittujen rakennuksien osalta vauriot olivat kohtalaisen yleisiä eri rakenneosissa, ja suurimmassa osassa vaurioita esiintyi yli puolessa tutkituista rakenneosista. Raportoidut vauriot olivat pääsääntöisesti mikrobivaurioita. Materiaalimissioihin johtavia vaurioita havaittiin lähinnä ala- ja välipohjista. Vaurioita esiintyi sekä peruskorjatuissa että korjaamattomissa rakennuksissa, mutta korjauksiin liittyvän tiedon pirstaleisuuden takia niiden osuuksista ei saatu tarkempaa tietoa.

Vaurioituneissa rakenteissa esiintyi yleisesti ilmavuotoja sisäilmaan niissä rakennuksissa, joissa ilmavuotoreittejä oli tutkittu. Useimmiten ilmavuotoreitit olivat säännöllisiä ja toistuvia, ja vain harvoissa tapauksissa ilmavuotoreittejä ei havaittu. Näin ollen on hyvin mahdollista, että vaurioituneet rakenteet huonontavat sisäilman laatua. Osassa rakennuksista vaurioita esiintyi useammassa rakenneosassa, mikä lisää riskiä altistua rakenteista peräisin oleville epäpuhtauksille.

3.4.7 Painesuhteet ja rakenteiden ilmavuodot

Painesuhteita oli mitattu ja tarkasteltu 124 rakennuksessa. Tieto järjestelmän teknisen käyttöään elinkaaren vaiheesta painesuhteiden mittaushetkellä oli saatavilla aineiston 101 rakennuksesta. Rakenteiden ilmavuotoja (missä tahansa rakennuksen rakenteessa tai rakenteen läpi ja missä tahansa rakennekerroksessa tai materiaalissa) oli tutkittu yhteensä 141 rakennuksessa.

Tilojen painesuhteet ympäröiviin tiloihin ja tai vaipan yli ulkoilmaan eivät olleet hallinnassa yli 70 %:ssa rakennuksista, joissa tilannetta oli tutkittu (n=88), mikä aiheutti joko yli- tai alipainetta tiloissa. Tulos koski kaikenikäisiä rakennuksia, myös uudempaa 2000–2010-lukujen rakennuskantaa. Vaikuttaa siltä, että painesuhteiden hallinta tilojen välillä ja rakennuksen vaipan yli on vaikeaa riippumatta rakennusajankohdasta. Tähän liittyy monia tekijöitä, kuten ilmanvaihtojärjestelmät, tilojen käyttö, vanhemman

rakennuskannan rakenteiden heikompi tiiviys ja vastaavasti taas uudemman rakennuskannan hyvin tiiviit rakenteet, rakennusten monimuotoisuus ja korkeus sekä ulkoilman olosuhteet, kuten tuuli ja lämpö (Laine, 2023; Eskola & Björkroth, 2021; 2019). Rakennusten ja niiden järjestelmien yhteensopivuus on aina suunniteltava rakennuskohtaisesti eri ominaisuudet ja tilanteet huomioiden (Eskola ym., 2023; Eskola & Björkroth, 2021).

Painesuhteisiin liittyviä ongelmia oli huomattavasti vähemmän rakennuksissa, joissa oli tehty peruskorjaus tai ilmanvaihdon peruskorjaus. Sen sijaan painesuhteiden hallinnan ongelmia esiintyi riippumatta siitä, oliko ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä ylitetty vai ei. Tämä tutkimus viittaa siihen, että painesuhteiden hallinnassa on ongelmia riippumatta ilmanvaihtojärjestelmän teknisen käyttöiän vaiheesta. Eri ilmanvaihtojärjestelmien vaikutuksesta painesuhteiden hallintaan ei ollut saatavilla laajasti tietoa, joten vertailu eri järjestelmien välillä ei ole mielekäästä tämän tutkimuksen perusteella.

Rakenteissa tai rakenteiden kautta esiintyviä ilmavuotoja rakenteessa olevasta epäpuhtauslähteestä sisäilmaan esiintyi kaikissa aineiston kuntotutkimustasoisesti tutkituissa rakennuksissa (n=146) ja suhteessa eniten 1990- ja 1980-luvulla rakennetuissa rakennuksissa. Ilmavuotoja epäpuhtauslähteestä sisäilmaan esiintyi enemmän vanhemmassa rakennuskannassa kuin 2010-luvun jälkeen rakennetuissa rakennuksissa. Uudempaan rakennuskantaan on luonnollisesti kohdistunut vähemmän kuntotutkimustarvetta, ja lainsäädännön muutosten myötä 2000-luvulla rakennettujen rakennusten ilmatiiviyysvaatimukset ovat myös kiristyneet huomattavasti.

Eniten rakenteiden ilmavuotoja oli todettu rakennuksissa, joissa suunniteltu toimenpide seuraavien 1–5 vuoden aikana oli peruskorjaus tai laajennus. Aineisto ei kerro rakenteiden ilmavuotoreittien tilannetta niiden rakennusten osalta, joita ei ollut tutkittu kuntotutkimustasoisesti. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että rakenteiden ilmavuotoreitit ovat yleisiä ja todennäköisiä vanhemmassa rakennuskannassa ja silloin, kun rakennukseen ei ole tehty peruskorjausta ja erikseen tai peruskorjauksen yhteydessä rakenteiden tiivistyskorjauksia.

3.4.8 Ilmanvaihtojärjestelmä ja ilmavirrat

Tieto ilmanvaihtojärjestelmästä löytyi alle 40 %:sta aineiston rakennuksista (N=496). Yleisin (40 % niistä rakennuksista, joista tieto löytyi) ilmanvaihtojärjestelmä oli koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä. Mitä vanhemmasta rakennuskannasta oli kyse, sitä enemmän aineistossa oli koneellisen poistoilmanvaihdon ja painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän kohteita tai kohteita, joissa oli useita eri järjestelmiä samassa rakennuksessa.

Vain noin viidenneksestä aineiston rakennuksista oli käytössä jonkintasoinen dokumentoitu tieto rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä ja sen toiminnasta. Niissä kohteissa, joissa oli tehty kuntotutkimustasoiset selvitykset (n=146), löytyi valtaosasta (75 %) myös dokumentoitu tieto ilmanvaihtojärjestelmän kunnan ja toiminnan arvioinnista tai tutkimustuloksista. Rakennuksen kuntotutkimukset sekä ilmanvaihtojärjestelmien selvitykset ajoittuvatkin hyvin usein samoihin ajanjaksoihin. Toisaalta kokonaisvaltaisen kuvan saaminen rakennuksen toiminnasta ja sisäilmastotilanteesta vaatii aina myös ilmapuhtautekniikan selvitykset, joita ei kuitenkaan tehdä vielä täysin systemaattisesti rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä tai samalla ajanjaksolla.

Ilmanvaihtojärjestelmän tekninen käyttöikä oli saavutettu tai ylitetty 26 %:ssa aineiston rakennuksista ja erityisesti vanhemmassa rakennuskannassa (1950–90-luvuilla rakennetut rakennukset). Rakennustekniikan tai ilmanvaihdon suhteen peruskorjatuissa rakennuksissa oli teknistä käyttöikää huomattavasti useammin jäljellä kuin niissä rakennuksissa, joissa rakennustekniikan tai ilmanvaihdon peruskorjausta ei ollut tehty. Sen sijaan ilmanvaihtojärjestelmän epäpuhtauslähteitä havaittiin järjestelmän useassa osassa peruskorjauksesta tai teknisen käyttöiän ylityksestä tai alituksesta riippumatta. Ilmanvaihtojärjestelmässä esiintyviä epäpuhtauslähteitä havaittiin useimmiten useassa ilmanvaihtojärjestelmän osassa yhtä aikaa ja suhteessa eniten 1980-luvun rakennuksissa.

Luokkatilojen ilmanvaihdon ilmapuhtaus eivät vastanneet suunnitelmia 75 %:ssa niistä kohteista, joissa ilmanvaihtojärjestelmiin kohdistuneita selvityksiä oli tehty. Koko aineiston osalta ilmapuhtaus eivät vastanneet suurimmalta osin sitä, mitä oli esitetty suunnitelmissa. Huomionarvoista on, että tilanne on samanlainen myös uudemmassa rakennuskannassa, jossa itse ilmanvaihtojärjestelmätkin ovat uusia.

Ilmapuhtaus eivät vastanneet suunnitelmia 84 %:ssa niistä rakennuksista, joissa ilmanvaihtojärjestelmiin ei ollut tehty peruskorjausta, ja jopa 68 %:ssa rakennuksista, vaikka peruskorjaus oli tehty jossain elinkaaren vaiheessa. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmien kohteissa 74 %:ssa ja pelkän koneellisen poistoilman ja erilaisten sekajärjestelmien kohteissa 100 %:ssa ilmapuhtaus eivät vastanneet suunnitelmia. Näissä tapauksissa 85 %:ssa tiloista havaittiin myös yli- tai alipainetta tiloissa, tilojen välillä ja tai rakennuksen vaipan yli.

Kokonaisuutena ilmapuhtaus suunnitelmien mukaisuus on heikko ja sitä ei merkittävästi näytä parantavan tehty peruskorjaus. Ilmapuhtaus hallinta vaatii huolellista suunnittelua ja ilmanvaihtojärjestelmän säätöä sekä koko rakennuksen toiminnan huomiointia. Tulosta tukee myös Eskolan ym. (2023) havainto vaipparakenteeltaan tiiviiden rakennusten ilmanvaihdon säätötyön vaikeudesta ja mittaus- ja säätötyön oh-

jeiden tarpeesta. Tulosten mukaan ilmanvaihtojärjestelmien ilmapurrojen suunnitelmanmukaisuuden varmentaminen ja säätäminen tulisi tehdä huomioiden koko rakennus ja sen toiminta, koska vain osittaisilla tarkasteluilla, toimenpiteillä ja parannuksilla ei saavuteta ja ylläpidetä suunniteltuja ilmapurroja. Rakennusten paine-erojen mittauksen yhdenmukaistamiseen on saatavilla tuore ohje ”Rakennusten paine-erojen mittausohje” (Eskola & Björkroth, 2019).

3.4.9 Kuntoarviot

Kuntien käytännöt rakennusten kuntoarvioiden tekemisestä vaihtelevat merkittävästi, mikä saattaa vaikuttaa kykyyn seurata ja ylläpitää rakennuskannan kuntoa tehokkaasti. Tulosta tukee aikaisemman selvityksen (Kero ym., 2021) tieto siitä, että kiinteistöjen kunto tarkastetaan säännöllisesti kuntoarvioiden avulla vain noin puolessa kyselytutkimukseen vastanneista kunnista (N=107), ja samassa tutkimuksessa vain 8 % vastanneista kunnista ilmoitti, että toimintatapaa myös kehitetään.

Suoraviivainen johtopäätös voisi olla osoittaa tarve kehittää yhdenmukaisia tavoitteita ja käytäntöjä kuntoarvioiden tekemiseksi kunnissa. On kuitenkin syytä ensin selvittää, miksi kuntien rakennuskannan säännönmukaisia ja systemaattisia kuntoarvioita ei tehdä tai miksi niiden tekemisestä on luovuttu eri kunnissa. Syy saattaa liittyä esimerkiksi kuntien resurssien vähäisyyteen, resurssien kohdentamisen priorisointiin, kuntoarvioiden tuloksista saatujen tarvittavien toimenpiteiden (kuntotutkimukset, huolto- ja korjaustoimenpiteet) tosiasiallisiin mahdollisuuksiin toteutua, ja tähän liittyen myös kuntien päätöksentekoprosesseihin. Resurssien ollessa vähäiset tehtyjen kuntoarvioiden tuloksia ei ehkä pystytä hyödyntämään, koska kiireellisimmät toimenpiteet kiinteistönhallinnassa priorisoidaan ensin. Samansuuntaisiin johtopäätöksiin on päädytty Keron ym. tutkimuksessa (2021), jossa selvitettiin muun muassa kuntien rakennuskannan investointien priorisointia, päätöksentekoprosesseja ja ennakkoivaa ylläpitoa.

Mikäli kiireellisille toimenpiteille on niukasti taloudellisia resursseja, ei ennakoivillekaan toimenpiteille useinkaan jää tarvittavia resursseja. Tämä johtaa siihen, että kuntoarviotulosten hyödyntämisen mahdollisuudet voivat olla vähäisiä ja siten niiden tekeminen ei johda toimenpiteisiin ja hyötyihin kiinteistön ennakkoivassa toiminnassa. Ennakoiva ja suunnitelmallinen korjauskulttuuri tulisi huomioida myös jo suunnitteluvaiheessa (FCG Konsultointi Oy, 2020). Näin toimenpiteet voisivat olla hallitummin aika- ja talutettujen huolto- ja ylläpitotoimien suorittamista kiireellisesti tehtävien pakollisten korjausten sijaan (FCG Konsultointi Oy, 2020).

Tämän tutkimuksen aineiston kuntoarvioiden (N=44) mukaan rakennustekniikan kuntuoluokka oli kokonaisuudessaan tyydyttävä 20 %:ssa ja tyydyttävä tai hyvä 13 %:ssa

arvioituista rakennuksista, ja tässä aineistossa riippumaton kouluasteesta tai rakennuksen pinta-alasta. Kun rakennustekniikan kuntoluokka oli arvioitu tyydyttäväksi, oli kohteisiin useimmiten suositeltu myös kuntotutkimusta kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyen. Kaikista kuntoarvioituista rakennuksista 16 %:ssa oli suositeltu kuntotutkimusta kosteus- ja mikrobivaurioihin liittyen. Tulos osoittaa, että ennakoiva toiminta on jo myöhässä, jos rakennukseen on ehtinyt mahdollisesti kehittyä kosteus- ja mikrobivaurioita.

LVI-tekniikan kunto oli arvioitu tyydyttäväksi 20 %:ssa arvioituista kohteista. Poikkeavasta ilmanlaadusta oli tehty havainto neljänneksessä rakennuksista ja niissä lähes kaikissa oli suositeltu ilmanlaatuun liittyviä tarkempia tutkimuksia. Näin ollen yli viidennekseen kuntoarvioituista rakennuksista kohdistuu tarkempi selvitystarve rakennus- ja LVI-tekniikan kunnosta ja korjaustarpeesta sekä rakennusten sisäilman laadusta. Tätä ei saisi sivuuttaa, mikäli halutaan ennakoida tulevia toimenpiteitä ja välttää akuutteja ja pitkälle edenneitä korjaustarpeita tulevaisuudessa.

3.5 Yhteenveto ja suositukset

- Koulurakennusten käyttötarkoitus ja toiminnallisuus ovat muuttuneet vuosikymmenien aikana vastaamaan yhteiskunnan muuttuvia tarpeita.
- Kuntien tiedonhallintajärjestelmät ja -käytännöt ovat monimuotoisia ja tieto on hyvin pirstaleista. Yksittäisten rakennusten ja kiinteistöjen sekä koko koulurakennuskannan kokonaiskuvan muodostamisessa on vaikeuksia kunnissa sekä valtakunnan tasolla. Tiedonhallinnan puutteet haittaavat järkevää resurssien kohdentamista, rakennuskannan ylläpitoa ja kestävää rakentamista. Rakennuskannan järjestelmällistä tiedonhallintaa ja tietojen yhdistämistä on parannettava kunnissa merkittävästi.
- Kuntoarviointeja ei tehdä systemaattisesti tarpeenmukaisten kuntotutkimusten lisäksi, mikä voi heikentää kykyä ylläpitää rakennuskannan kuntoa ja ennaltaehkäistä akuutteja ja pitkälle edenneitä sisäilmaongelmia. Kuntien käytännöt rakennusten kuntoarvioiden tekemisessä vaihtelevat merkittävästi. Koulurakennusten kuntoarviointien tekemisen lopettamiseen ovat voineet johtaa useat syyt, joita kunnissa tulisi selvittää.
- Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus -opas (2016) on otettu käyttöön laajalti ja se on yhtenäistänyt rakennuksiin kohdistuvien kosteus- ja sisäilmateknisten selvitysten sisältöjä sekä raportointia.
- Kosteuspoikkeamien tunnistaminen ja vaikutusten arviointi on vakiintunutta, erityisesti betonirakenteiden osalta.

- Mikrobivauriot ovat melko yleisiä jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta. Rakenteissa esiintyvät ilmapuoreitit ovat hyvin yleisiä. Altistumisolosuhteiden arviointi tehdään useimmiten siinä vaiheessa, kun rakennuksessa ja tiloissa on jo todennäköisesti myös pitkälle edenneitä kosteus- ja mikrobivaurioita, joista on yhteys sisäilmaan. Rakennusten osittaiset korjaukset ja peruskorjaukset kohdistuvat eniten näihin rakennuksiin. Peruskorjauspäätösten perusteeksi käytetäänkin usein teknisen kuntotutkimustiedon lisäksi altistumisolosuhteiden arvioinnin tietoja.
- Korjausten ja peruskorjausten selvitysten yhteydessä tulee selvittää rakenteiden ilmapuoreittien, painesuhteiden ja ilmanvaihdon yhteisvaikutusta sisäilmastoon ja rakenteiden toimintaan, sekä tehdä tarvittavat toimenpiteet korjausten ja peruskorjausten yhteydessä. Ilmavaihtotekniikan selvitykset tulee tehdä systemaattisesti rakennuksen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä tai samalla ajanjaksolla, jotta saadaan luotettava ja kokonaisvaltainen kuva rakennuksen toiminnasta ja sisäilmastotilanteesta.
- Painesuhteiden hallinta tilojen välillä ja rakennuksen vaipan yli on vaikeaa riippumatta rakennuksen iästä. Ilmavirtojen suunnitelmanmukaisuus on heikko myös uudessa tai peruskorjatussa rakennuskannassa. Ilmamäärien suunnittelussa ja säätämisessä sekä suunnitelmanmukaisuuden varmentamisessa tulee huomioida koko rakennus ja sen toiminta.
- Kokonaisvaltaisia sisäilmaston laatuun vaikuttavien tekijöiden tutkimuksia oli tehty vain 10 %:ssa aineiston rakennuksista. Määrä on vähäinen tässä aineistossa ja myös, mikäli se suhteutettaisiin koko Suomen koulurakennuskantaan. Tutkimusten vähäisen määrän vuoksi ei voida arvioida luotettavasti sitä, mikä on Suomen koulurakennusten sisäilmaston laatu.
- Sisäilmastotilanteen nykytilan selvitystä varten olisi tehtävä hyvin kattavat rakennuksen kosteus-, sisäilma- ja LVIA-tekniset kuntotutkimukset, jotka vievät paljon resursseja. Vain sisäilmastotilanteen tilastoinnin vuoksi tällaista ei kannata tehdä. Paras tapa vaikuttaa rakennusten sisäilmastotilanteeseen on pitää rakennukset ja sen järjestelmät kunnossa, eli huoltaa ja korjata niitä oikea-aikaisesti.
- Ennakoivaan ja oikea-aikaiseen kunnossapitoon ja korjaamiseen tulee panostaa enemmän.
- Tämän tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koskemaan koko Suomen oppilaitosrakennuskantaa. Kuitenkin, mikäli koulurakennusten kuntotutkimusten ja rakennuskannan tilanne Suomen kunnissa vastaa tämän tutkimuksen aineistoa, voidaan arvioida, että noin 50 %:sta Suomen koulurakennuksista olisi saatavilla luotettavaa tietoa niiden kunnosta.

4 Ilmanvaihdon säätöratkaisut ja vaipparakenteiden kosteusturvallisuus

Tuomas Raunima, Ilkka Valovirta ja Juha Vinha

Ilmanvaihdon säädöillä on ratkaiseva merkitys rakennuksen painesuhteiden hallintaan, mikä taas vaikuttaa olennaisesti vaipan läpi tapahtuviin ilmavirtauksiin. Hallitsemattomat ilmavirtaukset aiheuttavat energiahukkaa sekä pahimmillaan tuovat alipainetilanteessa epäpuhtauksia sisäilmaan ja aiheuttavat ylipainetilanteessa ulkovaipparakenteille ylimääräistä kosteusrasitusta. Viimeaikaisissa tutkimuksissa on selvitetty keinoja paine-erojen hallintaan sekä ilmanvaihdon yöaikaisen sammuttamisen vaikutuksia. Paine-erojen hallinnalla on mahdollista parantaa sisäilman laatua. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla säästetään energiaa, mutta sen vaikutukset sisäilman laatuun ovat olleet esillä, minkä vuoksi aiheetta on selvitetty kenttätutkimuksilla.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ja pitkäaikaiskestävyyteen on syytä pyrkiä ennakoimaan, koska ilmastonmuutoksen on havaittu etenevän ripeästi ja sen vaikutukset Suomen ilmastoon tulevat olemaan huomattavia. Samoin ulkovaipparakenteiden lisäeristämisen vaikutus rakenteiden kosteustekniseen toimintaan nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa on selvitettävä perusteellisesti, koska lisäeristäminen vaikuttaa väistämättä rakenteiden kosteustekniseen toimintaan.

Tässä osiossa esitetään kenttätutkimusten tuloksia sekä suosituksia ilmanvaihdon käyttötavoista. Lisäksi esitetään ajantasaiseen tutkimustietoon perustuvat arviot erityyppisten ulkovaipparakenteiden toiminnasta tulevaisuuden ilmastossa sekä suosituksia vaipparakenteiden energiatehokkuuden parantamiseen.

4.1 Aineisto

Tampereen yliopiston rakennusfysiikan tutkimusryhmä on viime vuosina suorittanut laajoja kenttätutkimuksia kouluissa ja päiväkodeissa osana kahta erillistä tutkimushanketta. COMBI-hankkeessa (Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings) tehtiin sisäilmamittauksia yhteensä 12 uudis- ja 12 korjauskohteessa Pirkanmaan alueella ja Helsingissä vuosina 2016–2018. Hankkeen pääteemana oli energiatehokkuus koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa uudis- ja

korjauskohteissa. Näiden kohteiden joukossa oli yhteensä 20 koulu- ja päiväkotirakennusta, joista kymmenen oli päiväkoti- ja neljä koulurakennusta sekä kuusi näiden yhdistelmää. Tutkituissa kohteissa mitattiin jatkuvatoimisesti paine-eroa ulkovaipan yli, sisäilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta sekä hiilidioksidipitoisuutta. Kohteissa tehtiin lisäksi radonmittauksia. Ulkoilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden arvoina käytettiin Ilmatieteen laitoksen avoimen datan palvelusta ladatun lähimmän havaintoaseman mittaamaa olosuhdedataa. Mitattujen arvojen perusteella laskettiin myös sisäilman kosteuslisän arvot. Keskeinen hankkeen kenttätutkimuksissa havaittu ilmiö oli rakennusten alipaineisuus yöaikana, kun tuloilmanvaihto oli pysähtynyt tai osateholla erillispoistojen jäädessä päälle likaisissa tiloissa.

Future Spaces -hankkeen keskeinen tutkimusaihe oli COMBI-hankkeessa havaitun poissaoloaikaisen alipaineisuuden eliminoimisen vaikutus mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun. Hankkeessa tehtiin vuosina 2021–2022 sisäilmamittauksia yhteensä 12 koulu- ja päiväkotikohteessa Pirkanmaalla. Rakennusten normaalitilanteen selvittämisen jälkeen ilmanvaihto pysäytettiin yöajaksi kokonaan 11 viikon ajan. Hankkeen kohteista 6 kpl oli entisiä COMBI-kohteita. Rakennuksista 4 kpl oli päiväkoteja, 3 kpl koulurakennuksia ja 5 kpl näiden yhdistelmiä. Future Spaces -hankkeessa oli vähemmän tutkittuja rakennuksia kuin COMBI-hankkeessa, mutta mitattavia suureita oli enemmän ja mittaukset olivat kattavampia – kaikkia suureita mitattiin jokaisesta tutkitusta tilasta. Tutkituissa tiloissa mitattiin COMBI-hankkeessa mitattujen suureiden lisäksi jatkuvatoimisesti TVOC-pitoisuutta sekä pienhiukkaspitoisuuksia (PM10, PM2,5 ja PM1). Lisäksi tutkittuihin tiloihin kohdistettiin käyttäjäkyselyt ennen ja jälkeen ilmanvaihdon pysäyttämisen.

COMBI- ja Future Spaces -hankkeisiin liittyen on kirjoitettu julkaisuja, joita käytettiin aineistona ilmanvaihdon säätöä käsittelevässä osuudessa. Hankkeiden kenttätutkimuksiin liittyvät valmiit julkaisut on listattu ohessa:

Vertaisarvioidut kansainväliset lehtiartikkelit

- Indoor air temperature and relative humidity measurements in Finnish schools and day-care centres. Raunima T, Laukkarinen A, Kauppinen A, Kiviste M, Tuominen E, Ketko J & Vinha J. Arvioitavana.
- Reduced night-time ventilation did not impact indoor air quality for occupants in a sample of Finnish schools and daycare centers. Kuurola P, Raunima T, Ketko J, Toyinbo O, Vinha J & Haverinen-Shaughnessy U. Energy and Buildings. 2023.
- Air Pressure Differences over External Walls in New and Retrofitted Schools and Daycare Centers. Kauppinen A, Kiviste M, Pirhonen J, Tuominen E, Laukkarinen A, Huttunen P & Vinha J. Buildings. 2022.

Opinnäytetyöt

- Yöaikaisen ilmanvaihdon sammuttamisen vaikutukset koulujen ja päiväkotien kaasua- ja hiukkaspitoisuuksiin. Ketko J. 2023.
- Uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-erot ulkovaipan yli. Kauppinen A. 2018.

Rakennusfysiikka-seminaarien artikkelit

- Sisäilman kosteuslisä palvelu- ja toimistorakennuksissa. Raunima T, Laukkarinen A & Vinha J. 2021.
- Koulujen ja päiväkotien sisäilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidipitoisuuden mittaukset COMBI-hankkeessa. Laukkarinen A, Kauppinen A, Tuominen E, Raunima T & Vinha J. 2019.
- COMBI-hankkeen paine-eromittausten yhteenveto. Tuominen E, Laukkarinen A, Kauppinen A, Raunima T & Vinha J. 2019.
- Paine-erot Pirkanmaan ja Helsingin julkisissa palvelurakennuksissa. Kauppinen A, Kiviste M, Pirhonen J & Vinha J. 2017.

Vaipparakenteita käsittelevässä osuudessa aineistona käytettiin julkaistuja oppaita ja opinnäytetöitä. Hyödynnettävät lähdejulkaisut on listattu ohessa:

Kirjat

- RIL 107-2022 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. RIL ry. 2022.
- Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Ympäristöministeriö. 2019.

Tutkimusraportit

- Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kestävänsä jähdytystehontarpeen mitoitusolosuhteet – Rakentamisen mitoitusolosuhteet (RAMI) -hankkeen loppuraportti. Laukkarinen A, Jokela T, Vinha J, Pakkala T, Lahdensivu J, Lestinen S, Jokisalo J, Kosonen R, Lindfors A, Ruosteenoja K, Jylhä K. 2022.

Opinnäytetyöt

- Sisäpuolisen lämmöneristämisen vaikutukset rakenteiden kosteustekniseen toimintaan liitosalueilla. Karhunen K. 2023.
- Tuulettuvien yläpohjarakenteiden rakennusfysikaalinen toiminta. Yletyinen K. 2023.
- Sisäpuolisen lämmöneristämisen vaikutukset massiivitiiliseinien kosteustekniseen toimintaan. Karhunen P. 2022.
- Tiili-villa-tiili-ulkoseinärakenteen rakennusfysikaalinen toiminta. Parkkinen J. 2020.
- Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lisälämmöneristäminen. Heiskanen R. 2016.

4.2 Menetelmät

Ilmanvaihdon säätötavoista paine-erojen tasaamiseksi ulkovaipan yli ja sisäilman laadun takaamiseksi koottiin aiemmissa tutkimushankkeissa tuotettua tietoa. Sisäilman fysikaalisia olosuhteita sekä sisäilman epäpuhtauksien indikaattorisuureita mitattiin COMBI- ja Future Spaces -hankkeissa. Lisäksi hankkeissa on kertynyt tietoa ilmanvaihdon käyttötavoista. Hankkeiden raportoinnissa on esitelty yksittäisten koekohteiden tuloksia sekä yhdistetty päiväkotij- ja koulukohteiden mittausdataa yhdenvertaistetuissa tarkasteluissa. Osittain tulosten raportoinnissa on siten mukana myös päiväkotikohteita, sillä data-analyysijä ei ole mahdollista suorittaa uudestaan erikseen esikoulu- ja koulukohteille.

Ilmastonmuutoksen ja energiatehokkuuden näkökulmasta toimivista vaipparakenteista koottiin aiemmissa tutkimushankkeissa tuotettua sekä kirjallisuudessa julkaistua tietoa. Eri rakennetyyppien toiminnasta on saatu tietoa lukuisissa hankkeissa, kuten COMBI ja Future Spaces. Huomattava määrä tietoa on julkaistu myös opinnäytetöiden, erityisesti diplomitöiden, muodossa. Vaipparakenteiden toiminnasta on saatu tietoa kenttä- ja laboratoriomittausten avulla sekä mallintamalla. Mallinnuksen avulla on ollut mahdollista tutkia rakenteiden kosteusteknistä toimintaa myös tulevaisuuden ilmastossa. Erityisesti RAMI-hankkeessa tuotetut nykyisen ja tulevaisuuden ilmastorakennusfysikaaliset mitoitusvuodet ovat mahdollistaneet rakenteiden toiminnan analysoinnin tulevaisuuden ilmastossa sekä vertailun nykyisen ja tulevaisuuden ilmastorasisolosuhteiden välillä (Laukkarinen ym., 2022).

4.3 Tulokset

4.3.1 Ilmanvaihdon tyypillinen ohjaustapa

Koulurakennusten koneellinen ilmanvaihto koostuu yleisilmanvaihdosta ja kohdepoistoista. Yleisilmanvaihdon tehtävänä on puhtaan ilman tuonti tiloihin ja vastaavan suuruisen ilmamäärän poistaminen. Luokahuoneissa, päiväkotien ryhmätiloissa ja lepo- huoneissa, toimistohuoneissa, oppilashuollon vastaanottohuoneissa ja vastaavissa tiloissa on tyypillisesti sekä tulo- että poistoilmanvaihdon päätelaitteet, eikä ilmaa siirretä tarkoituksellisesti tilasta toiseen. Kohdepoistolla puolestaan tarkoitetaan järjestelyä, jossa jostakin tilasta tai tietyltä tilan alueelta poistetaan tavanomaista likaisempaa ilmaa. Oppilaitosrakennuksissa tyypillisiä kohdepoistolla varustettuja tiloja ovat WC-tilat, keittiöt sekä tietyt erityisopetustilat, kuten teknisen työn hionta- ja maalaustilat. Kohdepoistojen tarkoituksena on poistaa likainen ilma tietystä tilasta tai tietyltä alueelta ilman, että se pääsee pilaamaan viereisten tilojen tai alueiden ilmaa. Kohde-

poisto ottaa ilmavirran joko samasta tilasta tai siirtoilmalaitteen kautta viereisestä tilasta. Tällöin tilojen yleisilmanvaihdon tuloilmamäärä mitoitetaan ja säädetään siten, että se on yhtä suuri kuin yleisilmanvaihdon poistoilmavirta sekä kohdepoiston ilmavirta yhteenlaskettuna. Monesti rakennusten ilmavirrat on suunniteltu tuottamaan sisätiloihin lievä alipaine, jolloin poistoilmavirrat ovat yhteenlaskettuna hiukan suuremmat kuin tuloilmavirta.

Oppilaitosrakennusten yleisilmanvaihto on tyypillisesti toteutettu useilla ilmanvaihtokoneilla, joista jokaisessa on tulo- ja poistoilmapuhaltimet sekä tarpeelliset varusteet, kuten suodattimet ja äänenvaimentimet. Kullakin koneella on oma palvelualueensa, jonka tulo- ja poistoilmanvaihto tapahtuu asianomaisen koneen avulla. Rakennusten jako useampaan palvelualueeseen on tarpeellista sekä ilmanvaihdon toteutuksen käytännön syistä sekä eri alueiden käyttöä ajatellen. Mikäli jonkin alueen ilmanvaihtoa on tarpeen tehostaa, se voidaan toteuttaa ilman koko rakennuksen ilmanvaihdon tehostusta. Esimerkkinä mainittakoon liikuntasalin käyttö koulun juhlissa, jolloin ilmanvaihtoa on syytä tehostaa suuren väkimäärän vuoksi.

Vanhemmissa rakennuksissa käytetään osittain edelleen painovoimaista ilmanvaihtoa sekä koneellista poistoa. Tällöin ilmanvaihdon poistot on sijoitettu WC-tiloihin, keittiöihin ja vastaaviin tiloihin, joista ilma on syytä poistaa suoraan. Tuloilma on pyritty ohjaamaan tiloihin, joissa puhtaan ilman tarve on suurin.

Koneellista ilmanvaihtoa ohjataan tyypillisesti kello-ohjauksella. Ohjauksen periaatteena on koneiden tehonsäätö ilmanvaihtotarpeen mukaan. Tyypillisesti ilmanvaihtokoneet menevät arki-iltoina päälle tai siirtyvät osateholta normaaliteholle klo 5.00–7.00. Arki-iltoina koneet pysähtyvät tai menevät osateholle joko klo 16.00–18.00 tai 21.00–22.00, riippuen tilojen iltakäytöstä. Viikonloppuisin koneiden käyntisykli riippuu esimerkiksi tilojen mahdollisesta harrastuskäytöstä.

Koneiden sammuttamisella tai osateholle säätämällä säästetään sekä koneiden käyttämiseen tarvittavaa sähköä että myös lämmitysenergiaa, koska jäteilman mukana poistuu lämpöenergiaa lämmöntalteenotosta huolimatta. Ilmanvaihdon yöaikaisen sammutuksen vaikutuksista sisäilmaan on kuitenkin kaivattu lisää tutkimustietoa. Ilmanvaihdon säätämisen, erityisesti yöaikaisen sammuttamisen, vaikutuksia sisäilmaan on tämän vuoksi selvitetty mittauksin (Ketko, 2023, Kuurola ym., 2023). Käyttäjien kannalta oleellisia mitattavia suureita ovat kaasu- ja pienhiukkaspitoisuudet sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus. Kaasuista ja pienhiukkasista on mitattu hiilidioksidin (CO₂), radonin (Rn), pienhiukkasten (PM) sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC, volatile organic compounds) pitoisuutta. Viimeksi mainitusta käytetään myös lyhennettä TVOC (total volatile organic compounds), jolla tarkoitetaan kaikkien mittauksella tunnistettavien yhdisteiden kokonaispitoisuutta.

Koneellinen ilmanvaihto, tuuli sekä sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero aiheuttavat paine-eron rakennuksen vaipan yli. Erityisesti korkeissa rakennuksissa tämä voidaan toisinaan havaita aistinvaraisesti ulko-ovesta kuljettaessa tai tuuletusikkunaa avattaessa. Koneellinen ilmanvaihto on perinteisesti pyritty säätämään hieman alipaineiseksi, jolloin ilmavirtaukset eivät pääse kuljettamaan sisäilman kosteutta rakennuksen ulkovaippaan. Alipaineen on kuitenkin todettu imevän herkästi epäpuhtauksia rakennuksen sisälle ulkovaipan vuotokohtien kautta. Tämän vuoksi ilmanvaihto tulisi säätää siten, että sen aiheuttama paine-ero on mahdollisimman pieni. Ilmanvaihto ei nykyisten ohjeiden mukaan saisi aiheuttaa ylipainetta. Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeessa (Valvira, 2016) ohjeistetaan selvittämään jatkuvan ylipaineen syy ja tasapainottamaan ilmanvaihtoa. Myös yli 15 Pa:n alipaineisuuden syy on selvittävä ja tilanne korjattava mahdollisuuksien mukaan. Hetkellinen yli- tai alipaineisuus on mahdollista erityisesti tuuliolosuhteiden vuoksi, eikä se vaadi toimenpiteitä. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeissa RIL 107-2022 on ohjeistettu, että paine-erojen vaihteluvälin tulisi olla $-5...+15$ Pa välillä (RIL ry, 2022). Ohje ei koske korkeita aulatioita, porrashuoneita ja hissikuiluja, joissa esiintyy talviaikaan väistämättä suurempia paine-eroja lämpötilaerojen vuoksi.

Paine-ero ei käytännössä ole vakio rakennuksen sisällä, vaan rakennuksen alaosiin syntyy herkästi alipainetta ja yläosiin puolestaan ylipainetta. Tämä mahdollistaa muun muassa radonin ja erilaisten epäpuhtauksien kulkemisen maaperästä rakennukseen ilmapuotojen mukana, sekä vastaavasti sisäkosteuden kulkeutumisen yläpohjaan paine-erojen vaikutuksesta. Tällaisia ei-toivottuja ilmiöitä voidaan estää tekemällä rakennusvaipasta mahdollisimman tiivis sekä säätämällä ilmanvaihto mahdollisimman tasapainoiseksi.

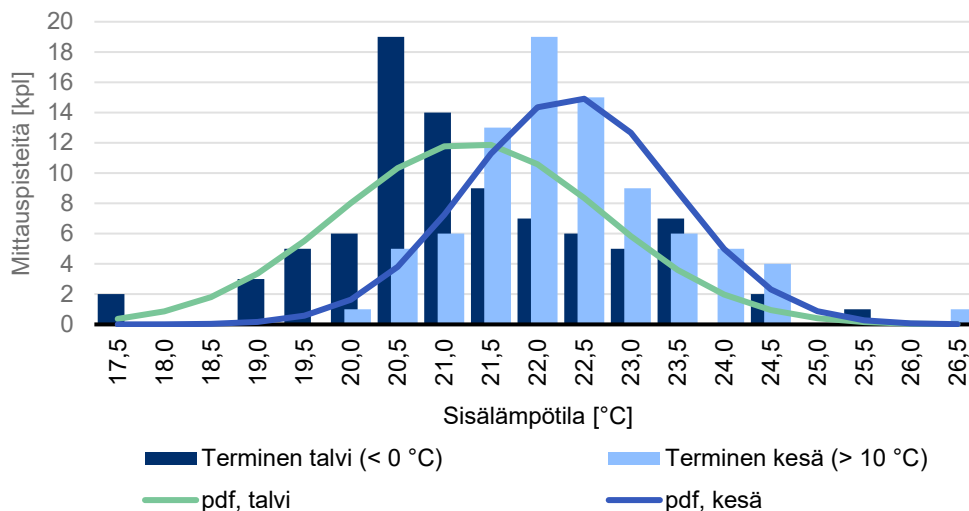
4.3.2 Kenttätutkimuksissa havaitut sisäilmaston olosuhteet

COMBI-hankkeessa tehtyjen paine-eromittausten tulosten tarkastelussa havaittiin kohteiden olevan yöaikaisen mittausdatan perusteella keskimääräisesti alipaineisempia kuin arkipäivän käyttötilanteessa (Kauppinen, 2018). Alipaineisuus on seurausta siitä, että tuloilmanvaihto joko pysähtyy tai säätyy osateholle kello-ohjauksen mukaisesti liikaisten tilojen erillispoistojen pysyessä päällä. Rakennusten alipaineisuus ei ole toivottua, sillä se aiheuttaa korvausilman virtausta sisäilmaan vaipparakenteiden vuotokohdista. Tällöin sisäilmaan voi kulkeutua epäpuhtauksia vaipparakenteiden mahdollisista mikrobivauriokohdista tai rakennuksen ryömintätilasta. Alipaineisuuden torjumiseksi haluttiin selvittää ilmanvaihdon poissaolonaikaisen kokonaan pysäyttämisen vaikutusta mitattuun ja koettuun sisäilman laatuun. Asiaa tutkittiin myöhemmin Future Spaces -tutkimushankkeen kenttämittauksissa.

COMBI-hankkeen kenttämittauksissa kerätyn mittausdatan perusteella määritettiin ja taulukoitiin kohderakennusten sisäilman lämpötilan sisäilmastoluokka sekä kosteusliisää vastaava kosteusluokka. Sisäilman lämpötilan osalta käytettiin sisäilmastoluokkia S1, S2 ja S3, joista käyttäjäytyvyisyys ylittää todennäköisemmin suurimpaan osuuteen sisäilmastoluokassa S1. Sisä- ja ulkoilman välistä vesihöyrypitoisuuseroa kuvaavan kosteusliisän osalta rakennukset jaoteltiin ohjeessa RIL 107-2012 (RIL ry, 2022) esitelyihin kosteusluokkiin 1–3, joista kosteusluokka 3 on kuivin. Ohjeesta julkaistiin vuoden 2023 alussa uusittu versio RIL 107-2022, mutta kosteusluokkien rajat ovat samat. Julkisten rakennusten kosteusluokkaa kiristettiin ohjeen uudempaan versioon tutkimustulosten perusteella kosteusluokasta 2 kosteusluokkaan 3.

Lämpötilan sisäilmastoluokituksen osalta kaksi uudiskohdetta ylsi sisäilmastoluokkaan S2. Muissa kohteissa sisäilman käytönaikaisen lämpötilan ohjeelliset raja-arvot ylittyivät, minkä vuoksi nämä kohteet kuuluivat sisäilmastoluokkaan S3. Kohteissa esiintyi käytönaikaisen lämpötilan raja-arvojen ylittymistä ja alittumista, mutta vähimmäisarvon alittuminen oli enimmäisarvon ylittymistä yleisempää. Sisäilman lämpötilojen keskiarvot on esitetty Kuviossa 96. Kesän ja talven ulkolämpötiloina on käytetty niiden 24 tunnin liukuvia keskiarvoja.

Kuvio 96. Talvi- ja kesäjaksojen keskimääräinen sisälämpötila mittauspisteittäin COMBI-hankkeessa.

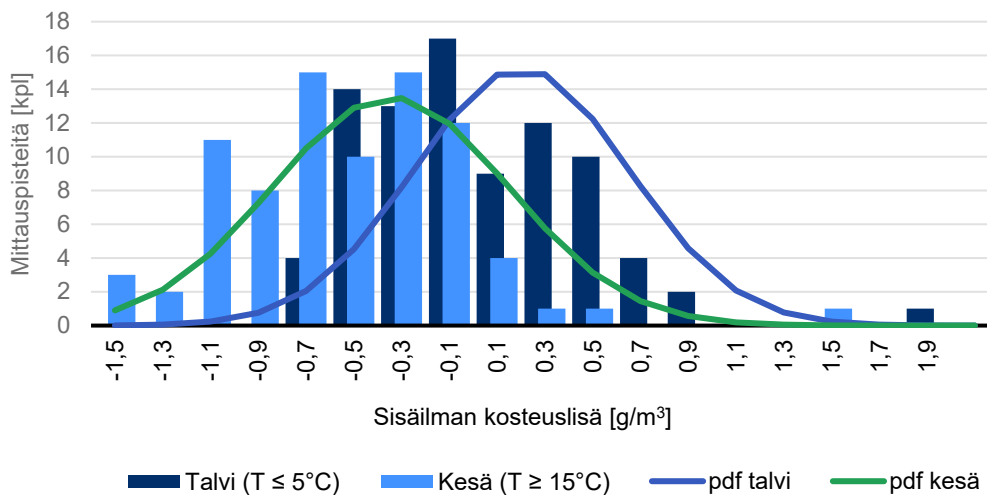


Kuvaajaa tarkasteltaessa osassa mittauspisteistä Sisäilmastoluokituksen mukainen pistepilvi pysyi hyvin suositusarvojen sisällä, mutta osassa paljastui selkeitä kehityskohtia. Kuvaajasta voi tehdä tulkintoja lämmityksen ja jäähdytyksen säädöstä. Selkeitä puutteita säädössä oli esimerkiksi tapauksissa, joissa talvella sisäilma oli lämpimämpää kuin kesällä. Lisäksi osassa mittauspisteistä esiintyi ääriämpötiloja. Tämän

vuoksi on suositeltavaa tarkastella mittausdataa numeerisen tarkastelun lisäksi kuvaajina, jolloin huolto- ja ylläpitohenkilöstön on helpompi havaita mahdollisia kehityskohteita.

Sisäilman kosteuslisä oli ohjearvoihin (RIL 107-2012) verrattuna matala ja kaikki kohteet kuuluivat kosteusluokkaan 3, sillä kosteuslisä oli keskimäärin lähellä nollaa. Talvi- ja kesäjaksojen keskimääräiset kosteuslisät mittauspisteittäin on esitetty Kuviossa 97.

Kuvio 97. Talvi- ja kesäjaksojen keskimääräiset kosteuslisät mittauspisteittäin.



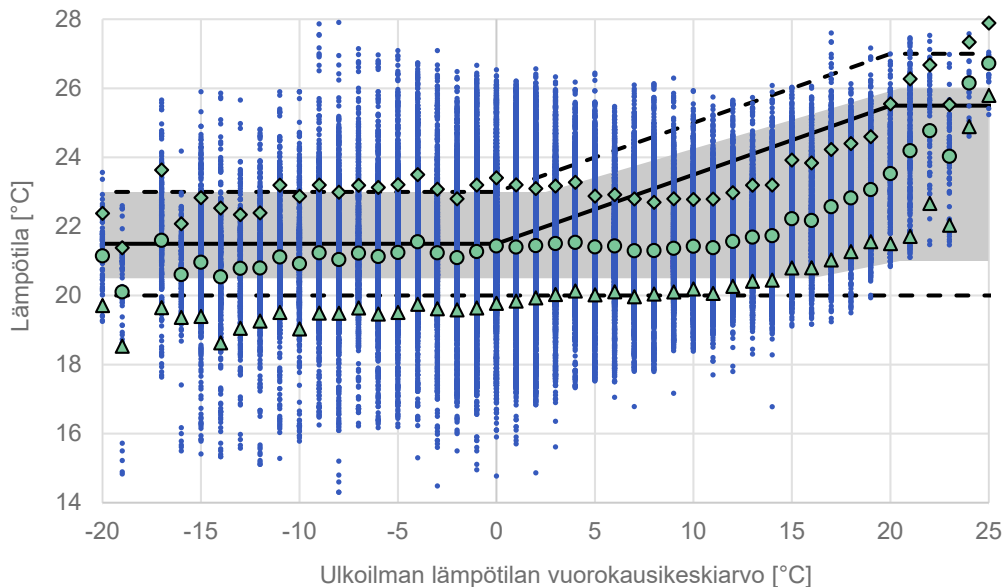
Kohteiden kosteuslisät olivat keskimäärin lähellä nollaa, mutta kosteuslisän kuvaajan pistepilven muoto vaihteli. Ulkoilman lämpötilaan verrattaessa kosteuslisän arvojen pistepilvi painottui lähelle nollaa suurimmassa osassa mittauspisteistä, mutta monessa mittauspisteessä pistepilvi oli talvella positiivisella puolella ja laski lämpötilan noustessa kosteusvajeen puolelle. Korjauskohteissa sisäilma oli talvella kuivempaa uudiskohteisiin verrattuna. Tälle selittäviä tekijöitä voivat olla erot ilmanvaihtojärjestelmien toiminnassa, rakennusten käytössä ja mittauslaitteiden sijoittelussa.

Future Spaces -tutkimushankkeessa rakennusten normaalitilanteesta kertyi mittausdataa maaliskuusta 2021 tammikuun 2022 alkuun ennen ilmanvaihdon pysäytysjaksoa. Normaalitilanteen aikana kertynyt mittausdata huomioitiin kahden tutkimushankkeen yhdistettyjen mittaustulosten tarkastelussa ja muutetun tilanteen aikana kertynyt data jätettiin pois tarkastelusta, koska se ei kuvaa rakennuksissa normaalisti vallitsevia olosuhteita. Tuloksista on kirjoitettu kansainvälinen vertaisarvioitu lehtiartikkeli (Kuurola ym., 2023). Artikkelin tuloksia lämpötila- ja kosteusolosuhteista käsitellään

tässä raportissa. Tutkimushankkeissa tehtiin mittauksia yhteensä 26 koulu- ja päiväkotirakennuksessa. Tutkituista rakennuksista karsittiin pois mittausdata niistä tiloista, jotka eivät edusta opetushenkilökunnan tai huollettavien tyypillisesti käyttämiä tiloja. Tällaisia tiloja olivat esimerkiksi keittiöt, pesutilat ja varastot. Mittausdatasta karsittiin lisäksi lomat ja arkipyhät, jonka jälkeen arjen käyttöajalta kertynyt data kuvaa todennukaisesti rakennuksen käyttöajalla vallinneita olosuhteita.

Yhdistettyä lämpötilamittausdataa tarkasteltiin jälleen Sisäilmastoluokitus 2018:ssa esitetyn tarkastelun mukaisesti. Kohdekohtaisen tarkastelun perusteella kaikki kohteet kuuluivat nyt luokkaan S3. Kaikkien kohteiden yhdenvertaistettua datamassaa vertailtiin visuaalisesti kuvaajalla luokan S2 raja-arvoihin (Kuvio 98).

Kuvio 98. Sisäilman lämpötilan tilakohtaiset tunnitaiset keskiarvot (siniset pisteet) verrattuna Sisäilmastoluokitus 2018:n käyttölämpötilaluokitusrajoihin. Kuva sisältää kaikki mittauspisteet. Vihreät pisteet kuvaavat ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvoja vastaavien mittaustulosten 90 % persentiiliä, keskiarvoa ja 10 % persentiiliä.

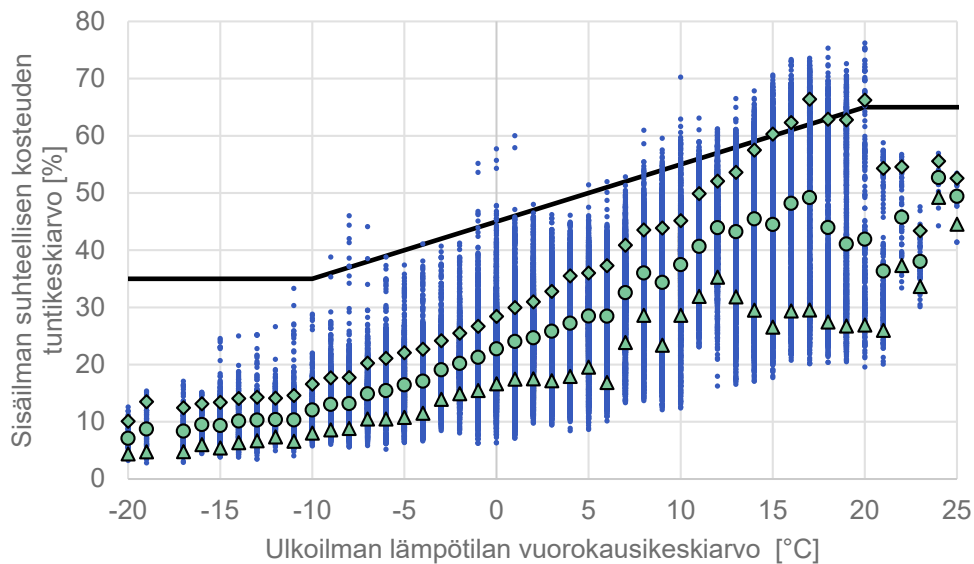


Kuviossa 98 on esitetty 104 vertailukelpoisesta tilasta mitatun kokonaisdatan vertailu luokan S2 raja-arvoihin. Mittaustulokset pysyvät pääosin S2-luokan tavoitearvoalueen (harmaa alue) sisällä, mutta vaatimus 90 %:n pysyvyydestä ei kuitenkaan täyty. Luokitustason S2 vaatimukset eivät siten täyty ja kaikki tutkitut rakennukset kuuluvat luokkaan S3. Lisäksi tutkitusta käytönaikaisten tuntien datasta 25 % on vähimmäisarvon alapuolella ja 6 % enimmäisarvon yläpuolella. 20 rakennuksessa on enemmän raja-arvojen ylityksiä ja 6 rakennuksessa enemmän raja-arvojen alituksia.

Ulkoilman lämpötilan vuorokausikeskiarvon ylittäessä 20 °C sisäilman lämpötila alkoi nousta yli suositellun alueen. Ulkoilman lämpötilan vuorokausikeskiarvon ylittäessä 25 °C käytännössä kaikissa mitatuissa rakennuksissa sisäilman lämpötila ylitti suositellun alueen. Kuvion 98 arvot sisältävät vain käytönaikaiset tunnit ja esimerkiksi kesälomien aikaisten keskikesän helteiden aikana sisäilman lämpötilat saattoivat olla kuvaajassa esitettyjä suurempia.

Yhdistettyä suhteellisen kosteuden mittausdataa tarkasteltiin standardissa EN ISO 13788:2012 esitetyn menetelmän mukaisesti. Sisäilman suhteellisen kosteuden tunnitaisia keskiarvoja verrattiin ulkoilman lämpötilan vuorokausikeskiarvoihin. Tarkasteltavassa datassa on jälleen mukana vain käytönaikainen data, jolloin käyttäjien aiheuttama kosteuskuorma on läsnä. Tarkastelu on esitetty Kuviossa 99.

Kuvio 99. Sisäilman suhteellisen kosteuden tunnitaiset keskiarvot (siniset pisteet) verrattuna ulkoilman lämpötilan vuorokausikeskiarvoon. Musta viiva kuvaa standardissa EN ISO 13788:2012 annettua normaalin käyttöasteen mitoitusarvoja. Data sisältää kaikkien tarkasteltujen tilojen mittauksia. Vihreät pisteet kuvaavat ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvoja vastaavien mittauksien 90 % persentiiliä, keskiarvoa ja 10 % persentiiliä.



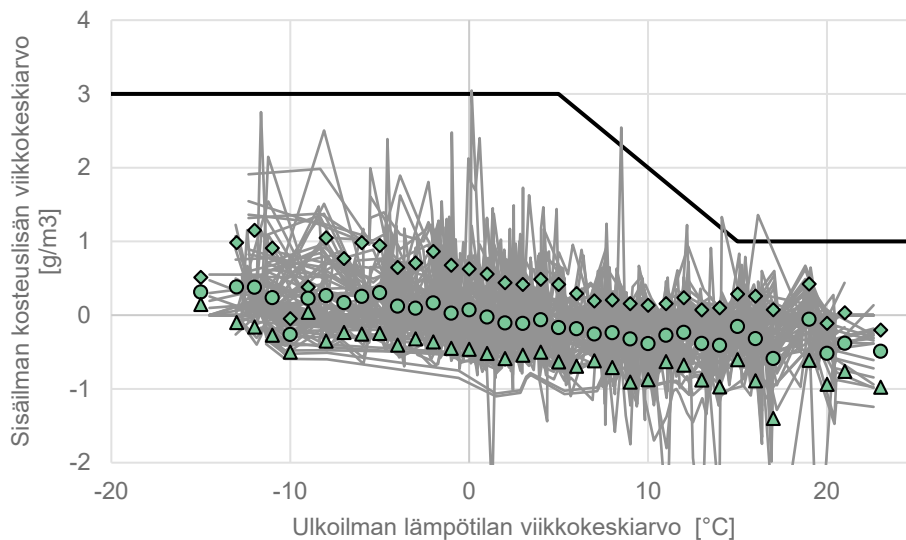
Sisäilman suhteellinen kosteus jäi suurimmaksi osaksi EN ISO 13788 -standardin (SFS ry, 2012) mukaisten mitoitusarvojen (luokka A, normaali käyttöaste) alapuolelle, sillä lähes 99 % datasta on mitoitusarvojen alapuolella. Termisen talven (ulkolämpö-

tilan vuorokausikeskiarvo alle 0 °C) aikana sisäilman kosteus pysyi jatkuvasti mitoitusarvojen alapuolella. Lähes 96 % mitoitusarvon ylityksistä tapahtuu termisen kesän (ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvo yli 10 °C) aikana.

Kuvion 99 tarkastelu osoittaa, että keskiarvot ja 90 % persenttiilit olivat selvästi alle mitoitusarvokäyrän erityisesti alle -10 °C ulkoilman lämpötilassa, mutta lämpimissä (yli +15 °C) ulkoilman lämpötilaolosuhteissa esiintyi jonkin verran ylityksiä. Datan vähäisyys yli +20 °C:n lämpötiloissa johtuu kesälomajaksojen aikaisen mittausdatan tarkoituksellisesta puuttumisesta käytönaikaisesta tarkastelusta. Sisäilman suhteellisen kosteuden hajonta väheni kohti kylmempää ulkoilman lämpötilaa ja kasvoi kohti lämpimämpää ulkoilman lämpötilaa.

Sisäilman kosteuslisän viikkokeskiarvo on esitetty Kuviossa 100 ulkoilman lämpötilan viikkokeskiarvon funktiona. Viikkokeskiarvon tarkastelun perusteluna on se, että ulko-vaipparakenteiden kannalta pidempiaikainen vaikutus on hetkittäistä vaihtelua merkittävämpää. Tarkastelussa on lisäksi poikettu tavanomaisesta tarkastelemalla viikko-kohtaisten käytönaikaisten tuntien keskiarvoja. Tämän perusteluna on se, että COMBI-hankkeessa jo havaittiin kosteuslisän olevan hyvin matala kokonaisaikaisessa tarkastelussa. Nyt tarkasteltava data sisältää vain käytönaikaiset tunnit, kun käyttäjien aiheuttama kosteuskuorma on läsnä.

Kuvio 100. Sisäilman kosteuslisän viikkokeskiarvot ulkoilman lämpötilan viikkokeskiarvon funktiona. Harmaat viivat kuvaavat yksittäisten tilojen viikkokeskiarvoja. Kiinteä musta viiva kuvaa ohjeessa RIL 107-2022 esitetyn kosteusluokan 3 mitoitusarvoja. Vihreät pisteet kuvaavat ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvoja vastaavien mittaustulosten 90 % persenttiiliä, keskiarvoa ja 10 % persenttiiliä.



Kuvion 100 käyttötuntien viikoittaisten keskiarvojen tarkastelu osoittaa, että kosteuslisä pysyy selvästi tiukimman kosteusluokan 3 raja-arvojen alapuolella, vaikka tarkastelu keskittyisi 90 % persenttiin arvoihin. Ulkoilman olosuhteisiin nähden sisäilman vesihöyrypitoisuus on tasapainossa tai jopa kosteusvajeen puolella. Tutkimushankkeiden yhdistetyn 26 rakennuksen tarkastelu havainnollistaa, että koneellisella ilmanvaihdolla varustetuissa koulu- ja päiväkotirakennuksissa on riittävä ilmanvaihtuvuus sisäilman kosteuden kannalta, koska ilmanvaihto on suunniteltu pitämään hiilidioksidia ja muut epäpuhtauspitoisuudet kohtuullisella tasolla myös korkean käyttöasteen aikana.

Kahdesta tutkimushankkeesta kertyneen yhdistetyn datan tarkastelussa havaittiin koulujen ja päiväkotien sisäilman lämpötilan olevan melko vakaa ympäri vuoden. Ääriolosuhteissa havaittiin kuitenkin puutteita mittausarvojen pysyvyydessä suositusarvojen sisällä. Termisen talven käyttötuntien aikaisissa mittauksissa 34 %:ssa tutkituista tiloista yli 10 % lämpötilan mittausdatasta alitti suositusarvot. Ulkoilman lämpötilan vuorokausikeskiarvon ylittäessä +20 °C:n lämpötilan sisälämpötilan suositusyläraajat alkoivat ylittyä ja ylitysten määrä kasvoi merkittävästi kovimmissa hellelukemissa, joita tosin oli rajallisesti käytönaikaisen datan tarkastelussa.

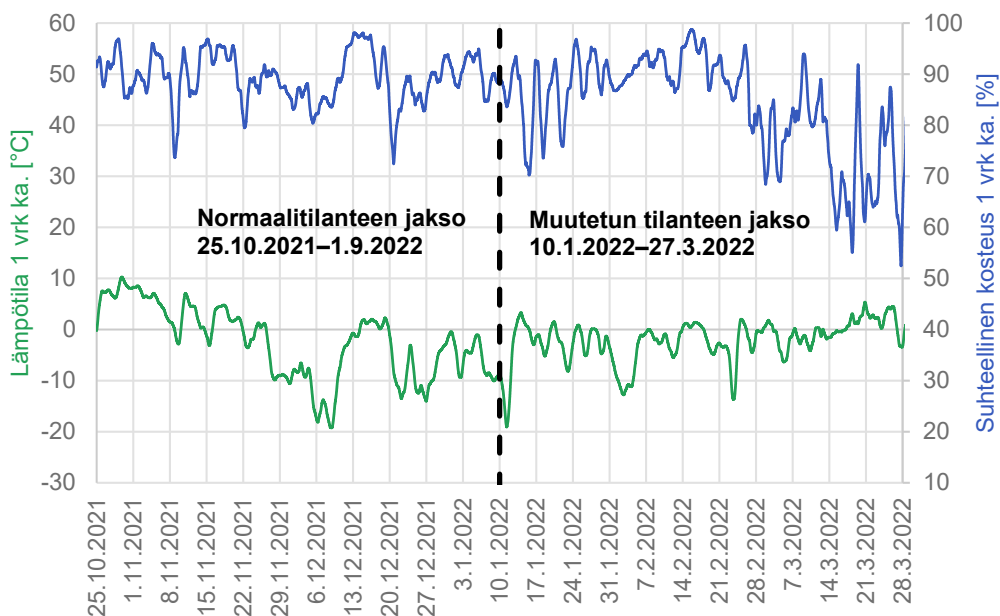
Sisäilman suhteellinen kosteus oli hyvin matala termisen talven aikana, jonka seurauksena sisäilman suhteellisen kosteuden arvojen pysyvyys suositusarvojen sisällä oli heikkoa. Talven aikainen kuiva sisäilma aiheutuu julkisten rakennusten tehokkaasta ilmanvaihdosta, joka on suunniteltu pitämään sisäilman epäpuhtauspitoisuudet maltillisina korkeillakin tilojen käyttöasteilla. Tämän seurauksena sisäilman kosteus kuitenkin huuhtoutuu käyttäjien kannalta liiankin tehokkaasti, sillä kuiva sisäilma aiheuttaa ihon ja limakalvojen ärsytystä.

Sisäilman kosteuslisän voimassa olevan ohjeen RIL 107-2022 (RIL ry, 2022) mukaan oppilaitokset kuuluvat tiukimpaan kosteusluokkaan 3, jossa kosteuslisän raja-arvoksi on asetettu talvella 3 g/m³ ja kesällä 1 g/m³. Mittaustulosten viikkokeskiarvojen tarkastelussa kosteuslisän arvot pysyivät selvästi raja-arvojen alapuolella. Sisäilman vesihöyrypitoisuus vaikutti olevan tasapainossa ulkoilmaan nähden tehokkaan ilmanvaihdon vaikutuksesta ja osittain jopa kosteusvajeen puolella. Vaikka kuivalla sisäilmalla on negatiivisia vaikutuksia käyttäjämukavuuteen, niin toisaalta se suojaaa rakennuksen vaipparakenteita kosteusvaurioilta.

4.3.3 Yöilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutus sisäilman laatuun

Future Spaces -hankkeessa ilmanvaihdon yöaikaisen kokonaan pysäyttämisen vaikutusta sisäilman laatuun tutkittiin kahdella peräkkäisellä vertailukelpoisella jaksolla mittauslaitteilla mitattuna ja käyttäjäkyselyiden perusteella koettuna sisäilman laatuna. Rakennusten normaalitilanne määritettiin 25.10.2021–9.1.2022 kestäneellä mittausjaksolla. Muutettu tilanne, jolloin rakennusten ilmanvaihto pysäytettiin kokonaan erillispoistoja myöten, määriteltiin 10.1.2022–27.3.2022 kestäneellä mittausjaksolla. Molempien mittausjaksojen pituus oli 11 viikkoa. Ulkoilman keskilämpötila oli normaalitilanteen vertailujaksolla $-2,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja muutetun tilanteen vertailujaksolla $-2,52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vertailujaksot ajoitettiin talvikaudelle ja ulkoilman olosuhteiden toivottiin olevan mahdollisimman samankaltaiset, koska vertailujaksoilla tutkittiin myös koettua sisäilman laatua käyttäjäkyselyiden avulla. Vertailujaksojen aikaiset ulkoilman olosuhteet on esitetty Kuviossa 101.

Kuvio 101. Future Spaces -tutkimushankkeen ilmanvaihdon yöaikaisen pysäyttämisen vertailujaksojen aikaiset ulkoilman olosuhteet.



Kenttätutkimuksissa oli keskeisenä mielenkiinnon kohteena ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutus mitattuihin paine-eroihin ulkovaipan yli. Tuloilmanvaihdon säätäminen osateholle tai pysäyttäminen aiheuttaa rakennukseen alipaineisuutta, kun samanaikai-

sesti likaisten tilojen erillispoistot jäivät päälle. Oletuksena oli, että ilmanvaihdon kokonaan pysäyttäminen yöaikaan tasaa rakennuksen paine-eroja ulkovaipan yli. Tämä suurelta osin toteutuikin, mutta vaikutus oli oletettua pienempi. Tähän saattavat vaikuttaa talvikaudella vallitsevat ulko- ja sisäilman suuret lämpötilaerot, mikäli ilmanvaihto pääsee toimimaan osittain painovoimaisesti, vaikka ilmanvaihtokoneiden sulkupellit menevätkin kiinni koneiden sammuttamisen yhteydessä. Osassa kohteista havaittiin suurempaa alipaineisuutta muutetun tilanteen vertailujaksolla, vaikka vaikutuksen piti olla päinvastainen. Tämä havainnollistaa menettelyyn liittyviä haasteita. Lähes kaikissa kohteissa jouduttiin tekemään erityisjärjestelyitä, jotta kaikki ilmanvaihtokoneet saatiin pysähtymään automaation kautta. Osassa kohteista jäi kuitenkin esimerkiksi hissikuilun tai lämmönjaon poistokone päälle, ja vanhemmissa kohteissa saattoi olla myös vanhoja poistokoneita, joiden kytkimien sijainnista ei edes ollut tietoa, saati että niitä olisi voitu yhdistää automaatioon.

Sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteisiin ilmanvaihdon yöaikaisella pysäyttämällä ei ollut merkittävää vaikutusta. Muutetun tilanteen vertailujaksolla sisäilman lämpötila oli keskimäärin 0,3 °C korkeampi ja suhteellinen kosteus 3,8 % matalampi, mikä todennäköisesti selittyy mainitulla lämpötilan nousulla. Kosteuslisään ilmanvaihdon pysäyttäminen ei käytännössä vaikuttanut, sillä käyttäjien aiheuttama lisäkosteus ehti huuhtoutua pois ennen ilmanvaihdon pysäyttämistä eikä tiloissa ollut öisin sisäilman kosteuslähteitä.

Erityisesti TVOC- ja osittain myös radonpitoisuuksien havaittiin nousevan yöllä ilmanvaihdon ollessa pysäytettynä. Yöaikaisissa pitoisuuksissa todettiin huomattavia eroavaisuuksia kohteiden välillä ja myös yksittäisten kohteiden eri tilojen välillä. TVOC-pitoisuuksiin vaikuttaa merkittävästi yksittäisten tilojen rakennus- ja sisustusmateriaalien valinta, sillä nämä toimivat VOC-päästöjen lähteinä. Radonpitoisuuksiin vaikuttavat ensisijaisesti rakennuksen sijainti, perustamistapa ja radontorjunnan toteutus. Paineeroilla tai rakennuksen mitatulla ilmavuotoluvulla ei havaittu selvää yhteyttä radonpitoisuuksien huippuihin.

Vertailujaksojen viimeisten viikkojen aikana koekohteissa toteutettiin käyttäjäkyselyt, joiden perusteella määritettiin ilmanvaihdon poissaolonaikaisen pysäyttämisen vaikutus koettuun sisäilman laatuun. Yöaikaisen ilmanvaihdon pysäyttämisen vaikutusta koettuun sisäilman laatuun ja terveyteen tutkittiin hyödyntämällä sisäilman mittaustuloksia, standardoituja kyselylomakkeita ja monitasomallinnusta. Joidenkin mitattujen ja koettujen sisäilman laatuparametrien välillä oli odotetusti tilastollisesti merkittäviä assosiaatioita. Yöaikaiseen ilmanvaihdon pysäyttämiseen liittyviä merkittäviä assosiaatioita ei kuitenkaan ollut, eli sisäilman laatu ei heikentynyt käyttötuntien aikana, eikä tutkimuksessa havaittu sisäilman laatuun tai terveyteen liittyviä seikkoja, jotka eivät tukisi ilmanvaihdon pysäyttämistä poissaoloaikoina. Yöaikaisella ilmanvaihdolla ei ha-

vaittu olevanmerkittäviä mitattuun tai koettuun sisäilman laatuun liittyviä etuja, kun ilmanvaihto käynnistettiin uudelleen riittävän aikaisin, jotta sisäilma ehti huuhtoutua ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista paikalle. Sen sijaan ilmanvaihdon pysäyttämisen arvioitiin tuottavan keskimäärin 26 % säästön ilmanvaihdon lämmitykseen liittyvässä energiankulutuksessa. (Kuurola ym., 2023)

Koneellisen ilmanvaihdon havaittiin huuhtelevan yöllä kohonneet TVOC- ja radonpitoisuudet normaalitasolle 2–3 tunnissa (Ketko, 2023). Tämän perusteella ympärivuorokautinen ilmanvaihto ei ole edellytys puhtaalle sisäilman laadulle, vaan ilmanvaihto on mahdollista pysäyttää poissaoloaikoina esimerkiksi energiansäästösyistä, kunhan ilmanvaihto käynnistetään uudelleen riittävän aikaisin, jotta kohonneet pitoisuudet ehtivät huuhtoutua sisäilmasta ennen rakennuksen käyttäjien saapumista paikalle. Osassa kohteista havaittiin TVOC- ja radonpitoisuuksien olevan muutetussa tilanteessa lievästi koholla normaalitilanteeseen nähden, mutta tilojen käytöllä ja pitoisuuksien luonnollisella vaihtelulla on suurempi merkitys käyttäjän eroavaisuuksissa kuin ilmanvaihdon yöaikaisella pysäyttämällä.

Kaikkia rakennuksia tulee käsitellä yksittäisinä, ja sisäilman riittävä huuhtelu-aika tulisi varmistaa mittauksin, mikäli poissaolonaikaista ilmanvaihdon pysäyttämistä halutaan toteuttaa esimerkiksi energiansäästösyistä. Myös ilmanvaihdon kokonaan sammuttamisen tekniset haasteet ja toimintavarmuus on varmistettava kohdekohtaisesti, jotta rakennukseen ei tuoteta alipainetta yksittäisten poistokoneiden jäädessä päälle. Tutkimustuloksissa tulee huomioida, että hankkeeseen ei saatu mukaan kohteita, joissa on todettuja sisäilmaongelmia. Alipaineisuuden poistamisella on mahdollisia hyötyjä sisäilmaongelmaisissa kohteissa, mutta ilmanvaihdon yöaikainen pysäytys ei ole yksiselitteinen ratkaisu tällaisissa kohteissa. Menetelmän soveltuvuus sisäilmaongelmaisissa kohteissa tulisi selvittää rakennuskohtaisesti ja varmistaa mittauksilla vaikutus sisäilman laatuun.

4.3.4 Toimiviksi havaitut ilmanvaihdon käyttötavat

Koneellisen ilmanvaihdon toiminnassa tulee huomioida riittävät ilmanvaihtomäärät sisäilman epäpuhtauksien pitämiseksi matalana ja puhtaan sisäilman takaamiseksi myös tilojen korkean käyttöasteen tilanteissa. Lisäksi tulo- ja poistoilmamäärät tulee säätää keskenään tasapainoon siten, että ilmanvaihto ei aiheuta rakennukseen merkittäviä paine-eroja. Ilmamäärien tasapainottaminen on vaikeaa erityisesti hyvin ilmatiiwiissä rakennuksissa.

COMBI-hankkeen kohteissa havaittiin yöaikaisen ilmanvaihdon käyttötavasta johtuvaa alipaineisuutta, kun tuloilmanvaihto pysäytettiin tai säädettiin osateholle öisin erillisten poistokoneiden jäädessä päälle. Ilmiötä ei havaittu yhtä voimakkaana Future Spaces -

hankkeen aikaisissa mittauksissa. On mahdollista, että hankkeen koekohteisiin valikoitui vähemmän tällaisia kohteita, mutta mukana oli myös COMBI-hankkeessa tutkituja kohteita, joissa silloin havaittu merkittävä alipaineisuus oli mittausten perusteella saatu tasapainotettua tutkimushankkeiden välisenä aikana. Paine-erojen taustalla on toisaalta vanhempien ilmanvaihtojärjestelmien yksinkertaisemmat tehonsäätömahdollisuudet ja toisaalta uudemmat erittäin ilmatiiviit rakennukset, joissa ilmanvaihdon säätäminen on vaikeaa.

Future Spaces -hankkeessa havaittiin erityisesti uusimmissa kohteissa, joiden ilmanvaihtojärjestelmä edusti modernia rakennuskantaa, että paine-erot olivat maltillisia läpi vuorokauden. Ilmamäärien onnistuneen tasapainottamisen lisäksi näiden kohteiden ilmanvaihdossa oli yhteistä ilmanvaihdon hienoportaisempien tehonsäätömahdollisuuksien hyödyntäminen siten, että poissaoloaikoina käytettävä ilmanvaihto ei ole tarpeettoman suurta, ja myös poistoilmamääriä säädetään siten, että suuria paine-eroja ei pääse syntyään. Poissaoloaikaista ilmanvaihtoa toteutettiin laajemmissa rakennuksissa käytännössä siten, että useasta ilmanvaihdon tulokoneesta yksi jäi päälle pienellä osateholla poistoilmanvaihdon säättyessä samassa suhteessa siten, että tulo- ja poistoilmamäärät ovat tasapainossa.

Future Spaces -hankkeessa todettiin, että ilmanvaihdon poissaolonaikainen pysäyttäminen ei vaikuta negatiivisesti käytönaikaiseen sisäilman laatuun, kun ilmanvaihto käynnistetään uudelleen 2–3 tuntia ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista sisäilman laadun takaamiseksi. Käytönaikainen sisäilman kosteuslisä huuhtoutuu tehokkaasti jo ennen ilmanvaihtokoneiden pysäyttämistä, joten käyttötappaa voidaan pitää myös vaipparakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta turvallisena. Käyttötappaa ei päästy tutkimaan sisäilmaongelmaisissa kohteissa, joissa poissaolonaikaisen alipaineisuuden eliminoimisella voisi hypoteettisesti olla myös sisäilman laatua parantavaa potentiaalia. Käyttötavalla on kuitenkin energiansäästöön liittyviä etuja erityisesti rakennuksissa, joissa käytetään vanhemmankantaista ilmanvaihtojärjestelmää, jonka tehonsäätömahdollisuudet ovat rajalliset.

4.3.5 Ilmastonmuutoksen vaikutukset vaipparakenteisiin

Suomen ilmasto on lämmennyt viimeisen sadan vuoden aikana noin 2 °C ja lämpenemisen ennustetaan kiihtyvän (Jylhä ym., 2020). Mikäli ihmiskunnan tuottamat hiilidioksidipäästöt kasvavat koko tämän vuosisadan ajan (päästöskenaario RCP8.5), ennustetaan Suomen vuotuisen keskilämpötilan nousevan kuluvan vuosisadan loppuun mennessä noin 4 °C nykyisestä. Myös vuotuiset sademäärät tulevat lisääntymään, esimerkiksi pääkaupunkiseudulla lisäys on noin 15 %. Talvilämpötilat tulevat nouse-

maan eniten ja kesälämpötilat vähiten. Myös sademäärä lisääntyy eniten talvella. Mikäli hiilidioksidipäästöjen kasvu saadaan taittumaan ennen tämän vuosisadan loppua, nousevat keskilämpötilat ja sademäärät vähemmän, mutta eri vuodenaikoina tapahtuvat muutokset ovat samansuuntaisia. Toisin sanoen suurimmat muutokset tapahtuvat talvella. Talvien huomattava lämpeneminen vaikuttaa erityisesti betoni- ja muurattujen julkisivujen pitkäaikaiskestävyyteen sekä osaltaan pakottaa arvioimaan uudelleen ulkoseinien ja yläpohjarakenteiden suunnitteluperiaatteita (Vinha ym., 2013).

Ilman suhteellisen kosteuden odotetaan muuttuvan varsin vähän (Ruosteenoja & Jylhä, 2021). Keskilämpötilan noustessa ulkovaipparakenteiden ulko-osien homeutumiskäytäntö on kuitenkin aiempaa suurempi, koska lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja tutkittavan rakennusmateriaalin funktiona määräytyvä homeindeksi nousee lämpötilan nousun vuoksi (Tampereen yliopisto, 2022).

Etelä-Suomessa tulee olemaan eniten tarvetta suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöjen muutokseen. Tässä raportissa esitetyt tutkimustulokset ja suositukset on syytä ottaa käyttöön erityisesti eteläisen Suomen rannikkoalueilla. Toistaiseksi ei ole varmaa, missä osissa Suomea voidaan jatkossakin toimia nykykäytännön mukaan.

Säälle alttiiden betonirakenteiden raudoitteiden aktiivinen korroosioriski kasvaa Etelä- ja Keski-Suomessa hieman. Pohjois-Suomessa korroosioriski nousee selvästi, mutta jää kuitenkin nykyisiä Etelä-Suomen arvoja alhaisemmaksi. Betonirakenteiden pakkasrasitus puolestaan vähenee eteläisellä rannikkoalueella vuodesta 2030 alkaen joutuessaan ilmaston lämpenemisestä. Sisämaassa olosuhteet muuttuvat sateisuuden noustessa jopa nykyistä ankarammiksi. Tutkimusten perusteella nykysuositusten mukaan toteutetut betonirakenteet kuitenkin kestävät myös tulevan ilmaston aiheuttamat rasitukset (Vinha ym., 2013). Vanhojen, 1960–1980-luvulla tehtyjen betonirakenteiden pakkasrapautumisriski pysyy nykytasolla, lukuun ottamatta eteläisen Suomen alueita, joissa jäätymis-sulamissykli määrä vähenee selvästi.

Rankarakenteisissa ulkoseinissä tuulensuojalevyn lämmönvastus ja vesihöyrynläpäisevyys nousevat entistä merkittävämmiksi. Mikäli nämä ominaisuudet eivät ole riittävällä tasolla, esiintyy tuulensuojalevyn sisäpinnassa homeenkasvulle otollisia olosuhteita. Pitkään noudatettu ohje, jonka mukaan rakenteen sisäpinnan vesihöyrynvastuksen tulee olla vähintään viisinkertainen tuulensuojalevyn vesihöyrynvastukseen nähden, pätee vuoden 2100 ilmastossa vain tuulensuojalevyillä, joilla on erityisen suuri lämmönvastus ja vesihöyrynläpäisevyys, nykyisistä tuotteista käytännössä mineraalivillatuulensuojalla (Vinha ym., 2013). Nykyisin paljon käytetyt 9 mm:n vahvuisen tuulensuojakipsilevyn ominaisuudet eivät yksinään tule riittämään, vaan sen ulkopuolelle on asennettava esimerkiksi 30 mm:n vahvuinen mineraalivillalevy.

Julkisivuverhous vaikuttaa oleellisesti puurankaseinän kosteustekniseen toimintaan. Tiilijulkisivujen suojaaminen sateelta on tulevaisuudessa erittäin tärkeää, erityisesti puurankaseinien ulkopuolella. Kokemus on osoittanut julkisivutiilien voivan vettyä sadevedestä siinä määrin, että ne haihduttavat vettä tuuletusraon puolelle. Tällöin suhteellinen kosteus tuuletusraossa nousee, mikä nostaa myös tuulensuojalevyn ja lämmöneristeen suhteellista kosteutta. Olosuhteiden odotetaan muuttuvan homeen kasvulle huomattavan edulliseksi vuosien 2060 ja 2100 välisenä aikana (Mäkitalo, 2012). Tulevaisuuden ilmastossa toimivan rakenteen edellytyksenä on tuulensuojalevy, jolla on korkea lämmönvastus ja vesihöyrynläpäisevyys, esimerkiksi mineraalivillatuulensuoja.

Mikäli tiilijulkisivu on sateelle alttiina, kuten räystäättömät ja/tai korkeat julkisivut lähtökohtaisesti ovat, on rakenteen toimintaa syytä parantaa estämällä märästä tiilimuurauksesta haihtuvan vesihöyryn pääsy sisemmäs rakenteeseen. Tämä voidaan toteuttaa asentamalla tuuletusraon puoliväliin kuumasinkitty teräsohutlevy, niin sanottu sadetakkipelti. Levyn molemmin puolin järjestetään hyvä tuuletus seinän ylä- ja alaosista. Tällöin seinän läpi tuleva sisäilman kosteus poistuu levyn sisäpuolisen raon kautta ja tiilimuuraus puolestaan pääsee kuivumaan sisälle päin ulomman tuuletusraon kautta.

Puu- ja levyverhoiltujen sekä taustaltaan tuulettuvalla levyrappauksella verhoiltujen rankaseinien tapauksessa ei tulevaisuudessakaan ole tiedossa ongelmia verhouksesta tuuletusrakoon haihtuvan kosteuden takia. Näissä rakenteissa tulee kuitenkin ottaa huomioon julkisivuverhouksen tyypillisesti pieni lämpökapasiteetti, mikä ei estä rakenteen ulko-osien jäähtymistä kylminä öinä. Ratkaisuna on riittävän lämmönvastuksen tuulensuojalevyn käyttö, millä estetään homeindeksin nousu eristetilassa ja puurungossa.

Eristerapattuja, taustaltaan tuulettumattomia julkisivuratkaisuja ei pidä käyttää rankarakenteissa niiden heikon vikasietoisuuden vuoksi. Mikäli tällainen rakenne pääsee kastumaan esimerkiksi ikkunaliitosten tai muiden detaljien kohdalla tapahtuvien vesivuotojen vuoksi, sen kuivuminen on erittäin hidasta. Tulevaisuuden ilmastossa homeenkasvun nopeus kastuneessa rakenteessa on nykyistäkin suurempi. Eristerappaukset, erityisesti niin sanotut ohutrappaukset, ovat edellä mainitun kastumisriskin vuoksi ongelmallisia myös kiviaineisten ulkoseinien yhteydessä, joskin niissä vesivuotojen aiheuttamat ongelmat liittyvät lähinnä seinien ulko-osiin. Rakenteen suunnitteluun ja toteutukseen on kiinnitettävä erityishuomiota (RIL ry, 2022).

Hyvin tuulettuva, tyypillisesti harja- tai pulpettikatolla varustettu yläpohja on ollut varmatoiminen rakenne Suomen ilmastossa. Yläpohjat on tähän asti pyritty tuulettamaan mahdollisimman tehokkaasti, mikä onkin ollut perusteltua muun muassa pienten vesi-

vuotojen sekä yläpohjan läpi tulevan sisäilman kosteuden kuivattamiseksi. Tulevaisuuden ilmastossa ulkoa tuleva ilma muodostaa kuitenkin itsessään kosteuslähteen. Ongelmaksi muodostuu yläpohjan tuuletustilan ilman tiivistyminen kirkkaina, kylminä öinä. Tästä aiheutuneita vaurioita on jo todettu muun muassa Etelä-Ruotsissa (Nik ym., 2012). Ilmiön odotetaan muodostuvan ongelmalliseksi Suomessa vuosien 2050 ja 2100 välisellä ajanjaksolla (Vinha ym., 2013), joten sen huomioon ottaminen uudisrakentamisessa sekä yläpohjia korjattaessa on perusteltua.

Mahdollisia keinoja yläpohjien kosteusteknisen toiminnan varmistamiseksi ovat lämpöä eristävän aluskatteen käyttö sekä yläpohjan ilmanvaihtuvuuden optimointi. Lämpöä eristäväksi aluskatteeksi soveltuu käytännössä 20–30 mm vahvuinen eristelevy, jonka lujuus-, pitkäaikaiskestävyys- ja palotekniset ominaisuudet ovat käyttötarkoitukseen soveltuvia. Tuuletusilman mukana yläpohjaan kohdistuvaa kosteusrasitusta ajatellen optimaalinen yläpohjan ilmanvaihtuvuus olisi nykytiedon mukaan 0,5–1 vaihtoa tunnissa. Tämä saavutetaan nykyistä pienemmillä yläpohjan tuuletusrakojen/-aukkojen pinta-aloilla. Tällöin kuitenkin väistämättä heikennetään yläpohjan kuivumiskykyä esimerkiksi erilaisissa vesivuototilanteissa. Lämpöä eristävän aluskatteen käytöllä ei ole tiedossa haittavaikutuksia, joten sen käyttö on mahdollista jo nykyrakentamisessa.

Tuuletusta rajoitettaessa tulee yläpohjan kosteusrasitus minimoida suunnittelemalla ja toteuttamalla vesikate ja aluskate erityisen huolellisesti sekä tiivistämällä yläpohjan höyrynsulku tai sellaisena toimiva kantava rakenne erityisen huolellisesti.

Kevytsovelluksissa eristetyissä, lievästi tuulettuvissa yläpohjissa ilmastonmuutoksen vaikutus jäänee hyvin tuulettuvia yläpohjia vähäisemmäksi. Sama koskee mineraalivillaeeristeisiä yläpohjia, joiden tuuletus hoidetaan uravillan avulla. Tämänhetkisen suunnittelun ja toteutuskäytännön muuttamiselle ei löydetty aiheita tässä hankkeessa.

Yläpohjien kosteustekninen toiminta tulevaisuuden ilmastossa on tutkimuksen alla oleva aihe sekä Suomessa että muissa pohjoismaissa, joten rakenteita suunniteltaessa on syytä nojautua viimeisimpään tietämykseen ja ohjeistukseen. Tuuletuksen osalta on perusteltua toimia vielä toistaiseksi perinteisen käytännön mukaan, hyvä tuuletus varmistuen. Tuuletuksen rajoittaminen voidaan tarvittaessa tehdä jälkeenpäin.

Tuulettuvat alapohjat ovat jo nykyisellään ongelmallinen rakenne Suomen ilmastossa. Ilmastonmuutoksen myötä kohoava kesäajan absoluuttinen ilmankosteus tuottaa lisähaastetta. Ryömintätillaisen alapohjan kosteuslähteitä ovat tuuletusilman mukanaan tuoman kosteuden lisäksi maasta haihtuva kosteus. Alapuolisen maan suuren lämpökapasiteetin takia ryömintätillaisen alapohjan lämpötila on kesällä tyypillisesti ulkoilman lämpötilaa viileämpi ja talvella korkeampi. Talvitilanne on rakennusfysiikan kannalta edullinen, kun taas kesäaikana ryömintätillan ulkoilmaan verrattuna alhainen

lämpötila aiheuttaa ilman suhteellisen kosteuden kohoamisen ja pahimmillaan kondenssiriskin.

Koska ryömintätilaisen alapohjan perusongelma on kylmä ja kostea maanpinta ke-sällä, tulee maapohjan päälle asentaa kapillaarikatko sekä lämmöneriste. Kapillaari-katko estää kapillaarisesti nousevaa kosteutta haihtumasta ryömintätilan ilmaan, ja lämmöneriste estää kylmää maata jäähdyttämästä ryömintätilaa tehokkaasti. Kapillaari-katkona on tyypillisesti käytetty pestyä murskettä ja lämmöneristeenä EPS-eristettä. Myös kevytsorakerrosta, joka toimii sekä kapillaarikatkona että lämmöneristeenä, on käytetty.

Ryömintätilan ilmanvaihtomäärä on erittäin kriittinen muuttuja. Ryömintätilan tuuletuk-sen tulee olla riittävä muun muassa radonin torjunnan sekä ryömintätilaan mahdolli-sesti pääsevien sade- ja lumensulamavesien kuivatuksen vuoksi. Toisaalta liian suuri ilmanvaihtuvuus aiheuttaa kesäaikana ryömintätilaan kosteusrasitusta. Tutkimuksissa on todettu ilmanvaihtuvuuden 0,5 vaihtoa tunnissa johtavan korkeimpaan keskimää-räiseen ryömintätilan lämpötilaan (Kurnitski ym., 1999). Tämä puolestaan johtaa kes-kimäärin alhaisimpiin ilman suhteellisiin kosteuksiin, mikäli kosteustuotto on vakio. Mi-käli maanpinta peitetään lämmöneristeellä, pysyy alapohjan tuulensuojalevyn homein-deksi alle 1,0 vuoden 2050 ilmastossa, kun ryömintätilan ilmanvaihtuvuus on 0,3–0,6 1/h ja tuulensuojalevynä käytetään puukuitulevyä tai vastaavan homeutumisherkkyys-luokan omaavaa materiaalia (Vinha ym., 2013). Laskelmat on tehty maanpinnan läm-möneristysten arvoilla 1,4–5,6 m²K/W. Käytännössä tämä tarkoittaa esimerkiksi 50–200 mm:n vahvuista EPS-eristettä.

Maanvaraisessa alapohjassa ilmastonmuutoksen vaikutukset jäävät nykytietämyksen mukaan vähäisiksi. Ulkoilman lämpötilan ja kosteuden muutokset vaikuttavat myös maanvastaisiin seiniin vain vähän, eikä niiden toteutusperiaatteita tarvitse muuttaa sen vuoksi (Heiskanen, 2016). Sademäärien kasvun ja sään ääri-ilmiöiden vuoksi maanvastaisten seinien vedeneristys sekä hulevesien poisjohtaminen ovat tulevaisuu-dessakin kriittisiä rakenteiden toiminnan kannalta.

Rakenteiden työnaikainen suojaus on jatkossa vielä tärkeämpää kuin nykyisin, koska kastuneiden rakenteiden kuivuminen on tulevaisuudessa hitaampaa kuin nykytilan-teessa. Rankkasateiden yleistymisen sekä rakenteiden kuivumisen kannalta hankalan syyskauden pidentymisen myötä kattokaivojen, vesikourujen, syöksytorvien, sadeve-sikaivojen ja muiden sade- ja hulevesijärjestelmien osien huolto on entistä tärkeäm-pää.

4.3.6 Energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset vaipparakenteisiin

Betonisandwich-elementtien lämmöneristepaksuuksien kasvattaminen vaikuttaa rakenteiden kosteustekniseen toimintaan varsin vähän, niin nykyisessä kuin tulevaisuuden ilmastossa. Tulevaisuuden ilmastossa rakentamisaikaisen kosteuden kuivuminen hidastuu, mikä nostaa teoriassa homeriskisiä mineraalivillaeristeen ulkopinnassa ja solumuovieristeen sisäpinnassa. Uuden betonin alkalisuus estää kuitenkin homeenkasvun käytännössä. Betonisandwich-elementin ulkokuorten korroosio ja pakkasrapautuminen puolestaan on estettävissä nykykäytäntöjä noudattamalla, kuten edellä on todettu.

Rankarakenteisissa ulkoseinissä lämmöneristepaksuuksien lisääminen aiheuttaa eristeen ulko-osien ja tuulensuojalevyn jäähtymisen. Tällöin suhteellinen kosteus ja homeindeksin arvot nousevat. Homehtumisen estämiseksi tuulensuojalevyn tulee olla vesihöyryä kyllin hyvin läpäisevä ja sillä tulee olla riittävä lämmönvastus. Paksuissa lämmöneristekerroksissa kasvaa myös sisäisen konvektion riski (Vinha ym., 2019). Sisäisen konvektion mahdollisuus riippuu rakenteen geometriasta ja asennosta (vaakatai pystyrakenne), lämmöneristeen ilmanläpäisevyydestä ja lämmönjohtavuudesta sekä lämpötilaerosta eristeen yli. Eristeen ilmanläpäisevyys on parametri, johon tulee kiinnittää suunnittelu- ja toteutusvaiheessa erityishuomiota. Muut parametrit määräytyvät pitkälti U-arvovaatimuksista, vallitsevista olosuhteista sekä valituista tilaratkaisuista, esimerkiksi seinän korkeudesta. Sisäinen konvektio aiheuttaa lämmönhukkaa heikentäen siten lämmöneristepaksuuden lisäämisestä saatavaa hyötyä. Sisäinen konvektio on ongelma nimenomaan rankarakenteisissa seinissä, joiden toteutustekniikka sallii hyvinkin kevyet eristeet, joilla on suuri ilmanläpäisevyys. Tilanteissa, joissa eristeiltä vaaditaan mekaanista kestävyyttä, esimerkiksi betonisandwich-elementit, käytetään käytännössä eristelaatuja, joiden alhainen ilmanläpäisevyys ei mahdollista merkittävää sisäistä konvektiota.

Korjauskohteissa seinien lisälämmöneristys on suositeltavaa asentaa olemassa olevan lämmöneristeen ulkopuolelle. Tällöin olemassa oleville rakenteille muodostuu aiempaa kuivemmat olosuhteet. Sisäpuolinen lisälämmöneristys aiheuttaa vaipan ulko-osien jäähtymisen entisestään ja nostaa homeindeksin arvoa sekä kiviaineisten julkisivujen tapauksessa lisää pakkasrapautumisriskiä. Sisäpuolisen lämmöneristykseen käytön edellytykset sekä rakenteiden rakennusfysikaalisen toiminnan kannalta mahdollinen eristepaksuus tulee aina selvittää tapauskohtaisesti.

Tuuletetuissa yläpohjissa eristepaksuuden lisääminen laskee tuuletustilan ja alus- ja vesikatteen lämpötilaa. Tämä lisää homehtumisriskiä sekä kondenssiriskiä yläpohjan

jäähtyessä kylminä öinä. Erityisesti puhalluseristeellä eristetyissä yläpohjissa on lisäksi huomattava sisäisen konvektion riski, kuten rankarakenteisissa ulkoseinissäkin. Pahimmillaan konvektio voi aiheuttaa suunniteltuun nähden yli puolitoistakertaisen lämpövirran yläpohjan läpi (Kivioja & Vinha, 2020). Ilmiö tulee pyrkiä estämään. Ellei tämä ole kokonaan mahdollista, tulee se ottaa huomioon lämpöhäviö- ja energiankulutuslaskelmissa.

Alapohjissa ja maanvastaisissa seinärakenteissa eristepaksuuden lisäämisen vaikutus jää vähäiseksi, mikäli rakenteet toteutetaan oikein (Heiskanen, 2016).

Rakennusvaipan sisäpinnan ilmatiiviydellä on suotuisa vaikutus paitsi energiankulutukseen, myös rakenteiden kosteustekniseen toimintaan. Lämmityskaudella sisäilman absoluuttinen kosteus on tyypillisesti ulkoilman absoluuttista kosteutta korkeampi, jolloin rakenteisiin ilmavuotojen mukana pääsevä sisäilma saattaa tiivistyä rakenteiden kylmiin osiin. Alapohjissa ilmatiiviyttä estää myös radonin pääsyä sisäilmaan.

4.3.7 Vaipparakenteiden suositeltavat rakenneratkaisut

Betoniraidotteiden korroosio etenee sateisuuden kasvaessa nykyistä nopeammin, joten se on otettava huomioon betonirakenteiden toteutuksessa. Suunnitelmien mukaisten peitepaksuuksien saavuttamiseen tulee kiinnittää sääälle alttiissa rakenteissa erityistä huomiota. Mikäli peitepaksuuksien saavuttaminen on epävarmaa, tulee harkita ruostumattomien raidotteiden käyttöä. Muilta osin sääälle alttiit betonirakenteet voidaan toteuttaa nykyisten määräysten ja ohjeiden mukaan. Vanhojen, pakkasenkestävyydeltään puutteellisten betonirakenteiden pakkasrapautuminen tulee kiihtymään sademäärien kasvaessa. Tällaisten rakenteiden kuntoa on syytä tarkkailla säännöllisesti ja varautua rakenteiden korjauksen tai uusimiseen.

Puurankaseinät on varustettava tuulettuvalla verhouksella nykyohjeita ja yleistä käytäntöä vastaavasti. Mineraalivillatuulensuojan lämmönvastuksen on oltava vähintään $0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$ ja hygroskooppisen tuulensuojan, kuten puukuitulevyn, puolestaan vähintään $0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$. Tuulensuojan vesihöyrynvastuksen suositeltava enimmäisarvo on $0,68 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$ ($5 \times 10^3 \text{ s/m}$) (Mäkitalo, 2012). Mikäli rankaseinän ulkopintaan asennetaan esimerkiksi rakenteen jäykistyksen vuoksi kipsilevytuulensuoja tai vaneri, suositellaan levyn ulkopuolelle asennettavaksi diffuusioavoin lämmöneriste, esimerkiksi tuulensuojamineraalivilla. Rakenteen sisäpinnassa suositellaan käytettäväksi höyrynsulkumuovia tai muovitiivistyspaperia, ellei rakenteen toimintaa tutkita tarkemmin.

Tiiliverhouksen takana suositellaan käytettäväksi sadetakkipeltiä tai muuta kerrosta, joka estää sateen kyllästämästä muurauksesta haihtuvan kosteuden pääsyn rakenteen sisäosiin. Pelti toteutetaan siten, että sen molemmat puolet tuulettuvat kunnolla ja että siihen tiivistyvä kosteus pääsee valumaan pois rakenteista.

Lämmöneristeen sisäinen konvektio tulee minimoida käyttämällä riittävän alhaisen ilmanlämpöisyyden omaavaa lämmöneristettä tai jakamalla rakenne diffuusioavoimilla ilmansulkukalvoilla tai -papereilla osiin. Konvektion mahdollisuutta rakenteissa voidaan arvioida modifioidun Rayleighin luvun avulla. Laskentamenetelmä on esitetty julkaisussa RIL 225-2023 (RIL ry, 2023).

Yläpohjien kosteusteknistä toimintaa jouduttaneen lähivuosina arvioimaan uudelleen ainakin Etelä-Suomessa. Nykytiedon valossa muutoksia joudutaan tekemään rakenteiden tuuletukseen sekä aluskatekäytäntöön. Yläpohjien tuuletusta ei ole syytä tehostaa nykyisestä, poikkeuksena korjauskohteet, joissa ilmeisen puutteellinen tuuletus muodostaa vaurioriskin. Hyvin tuulettuvien yläpohjien tuuletusta on todennäköisesti perusteltua rajoittaa tulevaisuudessa. Tuuletuksen toteuttaminen nykykäytännön mukaan ei kuitenkaan aiheuta lyhyellä tähtämellä ongelmia. Tuuletuksen rajoittaminen onnistuu tulevaisuudessa suhteellisen helposti, mikäli se todetaan aiheelliseksi.

Tuuletuksen tulevaan rajoittamiseen on syytä varautua suunnittelemalla vesikate läpivienteineen ja detaljeineen huolella sekä pyrkimällä mahdollisimman yksinkertaisiin, helposti toteutettaviin ja vikasietoisiin ratkaisuihin. Yläpohjan ilmatiiviyteen tulee myös kiinnittää erityishuomiota ilmavuotojen aiheuttaman kosteusrasituksen eliminoinemiseksi. Puukuitueristetyille yläpohjalle voidaan suositella sisäpinnan vesihöyrynvastusta $s_d \geq 1 \text{ m}$ ($Z_v \geq 40 \times 10^3 \text{ m/s}$, $Z_p \geq 5 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$) ja mineraalivillaeristetyille yläpohjalle arvoa $s_d \geq 10 \text{ m}$ ($Z_v \geq 400 \times 10^3 \text{ m/s}$, $Z_p \geq 50 \times 10^9 \text{ m}^2\text{sPa/kg}$), ellei rakennetta analysoida tarkemmin (Vinha ym., 2013). Ongelmakohtiksi osoittautuneet yläpohjan ja ulkoseinän liitokset sekä talotekniikan läpiviennit on syytä suunnitella ja toteuttaa parhaan nykytietämyksen mukaan.

Tuulettuvien yläpohjien varustaminen lämpöä eristävällä aluskatteella on suositeltavaa. Aluskatteen lämmönvastukseksi suositellaan 0,4–0,6 m²K/W.

Ryömintätilaisten alapohjien toimintaperiaate pysyy tulevaisuudessa ennallaan, mutta ulkoilman mukana tuleva kosteuskuorma kasvaa kesäaikana. Maapohja on peitettävä lämmöneristeellä ja veden kapillaarinen nousu ryömintätilan pohjalle on estettävä. Lämmöneristeen lämmönvastukseksi suositellaan 1,5–3,0 m²K/W (Vinha ym., 2013). Tällöin pyritään noin 0,5 l/h ilmanvaihtuvuuteen. Maapohjan lämmöneristystä ja ilmanvaihtuvuutta on tarkasteltava kokonaisuutena. Mikäli maapohja on eristämätön, on tuuletuksen rajoittaminen helposti haitallista. Puurakenteisessa ryömintätilassa puupalkkien alapuolella tulisi olla tuulensuojalevy, jonka lämmönvastus on vähintään

0,4 m²K/W. Tämä arvo riittää, kun maanpinta on eristetty lämmöneristeellä, jonka lämmönvastus on vähintään 1,4 m²K/W. Toimenpide estää palkkien homehtumisen.

Maanvastaisten alapohjien ja seinien suunnitteluperiaatteisiin ei nykytietämyksen mukaan ole tulossa muutoksia. Päähuomio on syytä kiinnittää lämmöneristeyksen oikeaoppiseen sijaintiin sekä veden- ja kosteudeneristykseen.

4.4 Johtopäätökset

Koneellisen ilmanvaihdon tulo- ja poistoilmamäärien tasapainottaminen on tärkeää rakennuksen ulkovaipan yli muodostuvien paine-erojen ehkäisemiseksi. Alipaineisuus voi aiheuttaa erityisesti rakennuksen alaosissa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan ulkovaipan ilmavuotokohdista. Ylipaineisuus voi puolestaan aiheuttaa erityisesti rakennuksen yläosissa sisäilman kosteuden tunkeutumista vuotokohdista, joista se voi kondensoitua rakenteiden pinnoille. Ilmanvaihdon tasapainottaminen on haastavaa erityisesti hyvin ilmatiiviissä rakennuksissa. Myös yöaikainen ilmanvaihto voi aiheuttaa alipainepeikkoja, mikäli tuloilmanvaihtoa pysäytetään tai käytetään osateholla likaisten tilojen erillispoistojen jäädessä päälle.

Koulujen ja muiden julkisten rakennusten sisäilman on havaittu tutkimusten perusteella olevan kuivaa tehokkaan ilmanvaihdon huuhtoessa tehokkaasti käyttäjien aiheuttaman sisäilman lisäkosteuden. Julkisten rakennusten ilmanvaihto on suunniteltu pitämään sisäilman epäpuhtauspitoisuuden maltillisena myös korkean käyttöasteen tilanteissa. Tämän seurauksena sisäilman vesihöyrypitoisuus pysyy tasapainossa ulkoilman vesihöyrypitoisuuden kanssa, minkä seurauksena erityisesti talvella sisäilman suhteellinen kosteus on hyvin matala. Kuiva sisäilma toisaalta suojaa vaipparakenteita kosteusvaurioilta, mutta käyttäjämukavuuden kannalta sisäilma voi olla liiankin kuivaa aiheuttaen silmä- ja ihoärsytysoireita.

Julkisten rakennusten poissaolonaikaisen ilmanvaihdon pysäyttämällä voidaan säästää ilmanvaihdon lämmitykseen kuluva energiaa. Tutkimustulosten mukaan yöaikaisen ilmanvaihdon pysäyttäminen ei heikennä käytönaikaista mitattua tai koettua sisäilman laatua, kun ilmanvaihto käynnistetään uudelleen 2–3 tuntia ennen käyttöajan alkamista, jotta sisäilma ehtii huuhtoutua ennen ensimmäisten käyttäjien saapumista hyvän sisäilman laadun takaamiseksi. Kaikkia rakennuksia tulee kuitenkin käsitellä yksittäisinä ja sisäilman epäpuhtauspitoisuuksien palautuminen normaalitasolle ennen käyttöaikaa tulee varmistaa mittauksin. Lisäksi menetelmässä tulee huomioida rakennuskohtaisten ilmanvaihtojärjestelmien toimintaan liittyvät haasteet. Kaikki ilmanvaihto on kytkettävä toimimaan automaation kautta, mikä voi olla haasteellista erityisesti vanhemmissa rakennuksissa, joissa on alkeellisempi ilmanvaihtojärjestelmä.

Yksittäinen päälle jäävä poistokone voi aiheuttaa rakennukseen merkittävää alipainaisuutta muiden ilmanvaihtokoneiden pysähtyessä.

Ilmastonmuutoksen seurauksena nykyisiin rakennetyyppeihin joudutaan tekemään muutoksia. Tämä koskee niin uudis- kuin korjausrakentamistakin. Vaikka tarvittavat muutokset ovat pääosin pieniä parannuksia, muuttuvat rakenteiden suunnitteluperusteet joissain tapauksissa. Tämä koskee erityisesti uusia ulkobetonirakenteita sekä tuulettuvia yläpohjia. Ensin mainituissa rakenteissa raudoitteiden korroosioriski muodostuu määrääväksi tekijäksi Etelä-Suomen ilmastossa sademäärien kasvaessa ja pakkasrasituksen vähetessä. Yläpohjissa puolestaan on jatkossa syytä optimoida tuuletustilan ilmanvaihtuvuus sen sijaan, että se maksimoitaisiin. Nykyrakentamisessa kannattaa varautua tuleviin haasteisiin niiltä osin, kuin muutokset suunnittelun ja toteutuksen nykykäytäntöihin parantavat rakenteiden toimintaa nykyilmastossa. Esimerkiksi suuren lämmönvastuksen ja vesihöyrynläpäisevyyden omaavien tuulensuojalevyjen käyttö puurankaseinissä parantaa rakennusfysikaalista toimintaa jo nykyhetkellä ja on tulevaisuudessa välttämätöntä.

4.5 Yhteenveto ja suositukset

Koneellisen ilmanvaihdon tehon säädössä on syytä hyödyntää hienoportaisempia säätömahdollisuuksia rakennuksen poissaoloaikoina tarpeettoman tehokkaan ilmanvaihdon ehkäisemiseksi. Tällöin myös poistoilmanvaihdon tulee ohjautua toimimaan samassa suhteessa tuloilmanvaihdon mukaan, jotta tulo- ja poistoilmamäärät ja siten paine-erot ulkovaipan yli pysyvät tasapainossa. Poissaolonaikaisen ilmanvaihdon pysäyttämällä voidaan saavuttaa huomattavaa energiansäästöä erityisesti rakennuksissa, joissa on vanhempi ilmanvaihtojärjestelmä rajoitetuilla tehonsäätömahdollisuuksilla. Ilmanvaihdon poissaolonaikaista pysäyttämistä suunniteltaessa on kuitenkin varmistettava rakennuskohtaisesti koko ilmanvaihtojärjestelmän pysähtyminen automaation kautta ja käyttötunteja edeltävä riittävä sisäilman huuhtoutumisaika.

Ulkovaipparakenteiden osalta on syytä toteuttaa uudis- ja korjausrakentaminen viimeisimmän tietämyksen mukaan pitäen mielessä tulevaisuuden ilmaston aiheuttamat haasteet. Nykymääräysten ja -ohjeiden mukaan kunnolla suunnitellut ja toteutetut ulkovaipparakenteet toimivat monilta osin tulevaisuudessakin, mutta monien rakennetyyppien tiettyjen uloimpien osien (kuten tuulensuojalevy, aluskate tai tiilijulkisivun tausta) toteutuksessa sekä tuulettuvien rakenteiden ulko-osien tuuletuksessa joudutaan omaksumaan uusia käytäntöjä. Ilmastonmuutos sekä sen vaikutus rakenteisiin ovat jatkuvasti tutkimuksen kohteena, joten rakentamisessa on syytä hyödyntää aina ajantasaista tietoa.

5 Johtopäätökset

Tässä tutkimushankkeessa perehdyttiin Suomen oppilaitosrakennusten kuntoon ja nykytilaan, rakennuskannan tietojen hallintaan kunnissa sekä tekijöihin, jotka kuntien on otettava uudis- ja korjausrakentamisessa huomioon energiansäästön, sisäilmasto-olosuhteiden sekä kiihtyvän ilmastonmuutoksen ja muuttuvien sääolosuhteiden vuoksi. Tutkimushankkeessa tarkasteltiin näistä eri näkökulmista poikkeuksellisen laajaa ja monipuolista aineistoa, johon kuuluivat useat valtakunnalliset ja kunnalliset rekisteriaineistot koulurakennuksista, kuuden kunnan kaikkien koulurakennusten kuntoon ja ylläpitoon liittyvät kuntien tiedonhallintajärjestelmiin tallennetut dokumentit, sekä usean kattavan opetusrakennuksiin liittyvän tutkimushankkeen tulokset ja analyysit.

Tutkimus vahvisti aiempia havaintoja siitä, että kuntien tiedonhallintajärjestelmät ovat hyvin monimuotoisia ja niissä oleva tieto on pirstaleista. Näin ollen sekä yksittäisten rakennusten ja kiinteistöjen että koko koulurakennuskannan kokonaiskuvan muodostaminen kunnissa ja valtakunnan tasolla on vaikeaa, käytännössä mahdotonta. Kuntien järjestelmällinen ja yhdenmukainen tiedonhallinta olisi välttämätöntä rakennusten ennakoivan kunnossapidon ja korjaamisen sekä kestäväen rakentamisen ja resurssien oikein kohdistamisen vuoksi. Lisäksi se edistäisi niin rakennuskannan käytettävyyttä ja muunneltavuutta kuin rakennusten ja rakennusosien uudelleenkäyttöä ja kierräystä, jotka ovat välttämättömiä edellytyksiä tulevaisuuden kiinteistönhallinnalle.

Rakenteiden kunnan ja sisäilmaston tilanteen osalta tämän tutkimuksen tuloksia ei voida yleistää koskemaan koko Suomen oppilaitosrakennuskannan tai yksittäisen maakunnan tilannetta, vaikka mukana olleet kunnat edustivatkin eri maakuntia. Toisaalta useat aiemmat tutkimukset tukevat tämän tutkimuksen tuloksia, mikä antaa aihetta uskoa, että tulokset olisivat yleistettävissäkin. Rakennusten kunnosta oli saatavilla luotettavaa tietoa noin kolmasosasta aineistossa olleista koulurakennuksista, ja lisäksi viidesosa rakennuksista oli rakennettu 2000-luvulla ja niiden kunto oli hyvä, uutta vastaava tai erinomainen. Mikäli oletetaan, että tilanne olisi suurin piirtein vastaava koko Manner-Suomen koulurakennuskannassa, voidaan arvioida, että lähtökohteisesti vain noin puolesta Suomen koulurakennuksista olisi saatavilla luotettavaa tietoa niiden kunnosta.

Koulurakennusten sisäilmaston tilasta oli saatavilla vain vähän luotettavaa tietoa, joka perustui kuntotutkimustasoiseen ja kokonaisvaltaiseen arviointiin rakennuksen, sen toiminnan ja ympäristön vaikutuksista sisäilman laatuun. On syytä korostaa, että yksittäisen rakennuksen sisäilmastotilanteesta ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä ilman kokonaisvaltaista rakennuksen ja ilmanvaihdon tutkimusta ja siihen liitettyä altistumisolosuhteiden arviota. Resurssien käytön ja tilankäyttäjien kannalta on kuitenkin huomattavasti järkevämpää tehdä ennakoivaa kunnossapidon suunnittelua ja siihen

liittyviä tarkastuksia, kuntotutkimuksia ja korjaustoimia kuin kokonaisvaltaisia sisäilmaselvityksiä vasta silloin, kun ongelmia on jo syntynyt. Ilmanvaihtotekniikan selvityksiä ei tehdä järjestelmällisesti kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä. Tällöin ei saada kokonaisvaltaista kuvaa rakennuksen toiminnasta ja sisäilmastotilanteesta.

Myös rakennustekniikan peruskorjausten tilanteesta saatavilla oleva tieto on hajanaista ja puutteellista. Peruskorjauspäätösten perusteeksi käytetään usein teknisen kuntotutkimustiedon lisäksi altistumisolosuhteiden arvioinnin tietoja. Todetut kosteuspoikkeamat ja mikrobivauriot näyttävätkin ohjaavan rakennusten osittaisia korjauksia ja peruskorjauspäätöksiä.

Yli puolessa niistä rakennuksista, joissa sisäilmaston tilanteesta kertova kokonaisvaltainen altistumisolosuhteiden arviointi oli tehty, oli havaittu todennäköinen tai erittäin todennäköinen tavanomaisesta poikkeava altistumisolosuhde. Rakenteiden ilmavuotoreiitit ovat puolestaan hyvin yleisiä ja todennäköisiä vanhemmassa rakennuksessa ja silloin, kun rakennukseen ei ole tehty peruskorjausta ja/tai tiivistyskorjauksia. Tulosten perusteella altistumisolosuhteiden arviointi tehdään useimmiten siinä vaiheessa, kun rakennuksessa ja tiloissa on todennäköisesti myös pitkälle edenneitä kosteus- ja mikrobivaurioita, joista on yhteys sisäilmaan.

Ilmanvaihtojärjestelmien ilmavirtojen suunnittelussa ja suunnitelmanmukaisuuden varmentamisessa sekä säätämisessä on aina otettava huomioon koko rakennus ja sen toiminta. Ilmamäärien tasapainottaminen on vaikeaa erityisesti hyvin ilmatiiviissä rakennuksissa. Kokonaisuutena ilmavirtojen suunnitelmienmukaisuus on tutkimustulosten perusteella heikkoa, ja sitä ei merkittävästi näytä parantavan tehty peruskorjaus.

Tilojen ja rakennuksen painesuhteiden hallinta tilojen välillä ja rakennuksen vaipan yli on vaikeaa riippumatta rakennuksen iästä. Alipaineisuus voi aiheuttaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan ulkovaipan ilmavuotokohdista erityisesti rakennuksen alaosissa. Ylipaineisuus voi puolestaan aiheuttaa sisäilman kosteuden tunkeutumista ilmavuotokohdista ja kondensoitumista rakenteiden pinnoille erityisesti rakennuksen yläosissa. Koulujen tehokas koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto aiheuttaa kuivaa sisäilmaa, mikä on tästä näkökulmasta suotuisaa rakenteille, mutta aiheuttaa haittoja tilankäyttäjille. Koulujen kuivaan sisäilmaan liittyen olisi hyvä tehdä jatkotutkimusta esimerkiksi ylipaineisuuden sallimisen tai sisäilman kostuttamisen näkökulmasta.

Ilmanvaihdon suotuisilla käytötavoilla voidaan saavuttaa merkittävää energiansäästöä. Tutkimuksen mukaan ilmanvaihdon poissaolonaikainen pysäyttäminen on oikein toteutettuna turvallista käytönaikaisen sisäilman laadun kannalta. Tällöin on oleellista käynnistää ilmanvaihto uudelleen riittävän aikaisin ennen rakennuksen käyttäjien saapumista, jotta kohonneet epäpuhtauspitoisuudet ehtivät huuhtoutua sisäilmasta pois.

Yönaikaisella pysäytyksellä ilmanvaihdon lämmitysenergiansäästö voi olla tutkimuksen mukaan jopa 26 %. Ilmanvaihdon sammuttamisen tekniset edellytykset, toimintavarmuus ja sisäilman riittävä huuhteluaika tulee kuitenkin aina varmistaa kohdekohtaisesti, ja aivan erityisesti, mikäli kyseessä on sisäilmaongelmainen kohde.

Ilmastomuutos tulee olemaan kunnille merkittävä haaste. Sen seurauksena nykyisiin rakennetyyppeihin joudutaan tekemään muutoksia niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Vaikka tarvittavat muutokset ovat pääosin pieniä parannuksia, muuttuvat rakenteiden suunnitteluperusteet joissain tapauksissa. Tämä koskee erityisesti uusia ulkobetonirakenteita, joissa raudoitteiden korroosioriski muodostuu määrääväksi tekijäksi Etelä-Suomen ilmastossa sademäärien kasvaessa ja pakkasrasituksen vähentessä, sekä tuulettuvia yläpohjia, joissa on jatkossa syytä optimoida tuuletustilan ilmanvaihtuvuus sen sijaan, että se maksimoitaisiin. Toistaiseksi on kuitenkin syytä pitää nykykäytännössä tuuletuksen rajoittamiseen liittyvien riskien vuoksi.

Ulkoilman ja sääolosuhteiden aiheuttama kosteusrasitus rakenteille tulee lisääntymään ja rakenteiden kuivumismahdollisuudet heikkenemään, joten ulkovaipparakenteiden suunnittelu ja toteutus vaativat entistä enemmän huolellisuutta. Ilmastomuutos vaikuttaa eri tavoin eri osissa Suomea, joten paikalliset olosuhteet on otettava huomioon.

Yleisesti ottaen nykyinen rakennuskanta selviää tulevaisuuden olosuhteista, ja nykyilmastossa hyvin toimivat rakenteet toimivat pääosin myös tulevaisuudessa. Uudisrakentamisessa on toistaiseksi syytä suosia nykyilmastossa varmatoimiseksi todettuja ulkoseinärakenteita, koska niiden odotetaan pääosin toimivan riittävän hyvin tulevaisuudessakin. Rankarakenteissa ulkoseinissä ja puurakenteisissa alapohjissa on tulevaisuudessa välttämätöntä käyttää tuulensuojalevyä, jolla on suuri lämmönvastus ja vesihöyrynläpäisevyys, ja samoin tuulettuvissa yläpohjissa, mikäli rakenne vaatii tuulensuojalevyn (esimerkiksi vinot yläpohjat ja muut ns. kotelorakenteet). Näillä ratkaisuilla parannetaan rakenteen rakennusfysikaalista toimintaa jo nykyhetkellä. Rakennusten lisäeristys on puolestaan syytä tehdä vaipparakenteiden ulkopuolelle, jolloin eristys ei aiheuta ongelmia vanhan rakenteen toiminnalle. Hyvin suunniteltuna ja toteutettuna lisäeristyksellä saadaan jopa parannettua ulkovaipparakenteen rakennusfysikaalista toimintaa.

Ilmastomuutos ja sen vaikutus rakenteisiin ovat jatkuvasti tutkimuksen kohteena, joten rakentamisessa ja kiinteistönhallinnan ohjauksessa on aina syytä hyödyntää ajantasaista tietoa.

6 Yhteenveto ja suositukset

1. Kuntien on laadittava pitkän aikavälin investointisuunnitelmat rakennusten ylläpidosta ja peruskorjauksista, jotta korjaustarpeet voidaan ennustaa ja budjetoida asianmukaisesti. Budjetoinnin on oltava realistista ja riittävää, jotta kaikki tarvittavat toimenpiteet voidaan suorittaa ilman merkittäviä viivästyksiä. Tämän pohjaksi tarvitaan luotettavaa ja ennakoivaa tutkimustietoa rakennusten kunnosta ja sisäilmasto-olosuhteista.
2. Pitkän aikavälin investointiohjelmaa laadittaessa on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota kunnan taloudelliseen kantokykyyn. Kiinteistökan- nan ja -investointien on oltava realistisella tasolla kunnan tulevaisuutta ajatellen.
3. Kuntien tietojärjestelmät olisi päivitettävä ja yhdenmukaistettava valta- kunnallisen tilastoinnin ja seurannan kehittämistä varten. Tämä parantaisi rakennuskannan hallintaa myös kiertotalouden ja uudelleenkäytön näkökulmista.
4. Kokonaisvaltainen sisäilmasto-olosuhteiden arviointi oli tehty vain noin kymmenesosaan tutkimuksen rakennuksista. Aineiston perusteella vain tästä määrästä koulurakennuksia voidaan siis katsoa olevan saatavilla kokonaisvaltaisesti tehty sisäilmaston laatuun ja altistumisolosuhteisiin vaikuttavien tekijöiden arviointi. Määrä on vähäinen siihen nähden, kuinka paljon kunnissa on tarvetta arvioida rakennusten sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ja niiden laajuutta rakennuksissa.
5. Tutkimusaineiston perusteella peruskorjauspäätösten perusteeksi käytetään teknisen kuntotutkimustiedon lisäksi sisäilmasto-olosuhteiden ja altistumisolosuhteiden arvioinnin tietoja. Peruskorjaukset kohdistuvat eniten rakennuksiin, joissa nämä tutkimukset on tehty.
6. Rakenteissa ja niiden materiaaleissa esiintyvät mikrobivauriot ovat melko yleisiä jossain vaiheessa rakennuksen elinkaarta. Rakenteiden ilmapuoreitit ovat hyvin yleisiä vanhemmassa rakennuskannassa.
7. Rakennuksen ilmamäärien suunnittelu, säätö ja tasapainottaminen on tehtävä huomioiden koko rakennus, sen järjestelmät ja toiminta. Tavoitteena on pitää painesuhteet suunnitelmanmukaisina kaikissa käyttötilan- teissa ja tiloissa.
8. Ilmavaihtotekniikan selvitykset kannattaa tehdä systemaattisesti raken- nuksen kosteus- ja sisäilmateknisten kuntotutkimusten yhteydessä tai samalla ajanjaksolla, jotta saadaan luotettava ja kokonaisvaltainen kuva rakennuksen toiminnasta ja sisäilmastotilanteesta.
9. Ilmanvaihdon poissaolonaikainen pysäyttäminen on oikein toteutettuna turvallista käytönaikaisen sisäilman laadun kannalta, ja sillä voidaan saavuttaa merkittävää energiansäästöä.

10. Koulujen tehokkaan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon aiheuttama kuiva sisäilma pienentää rakenteiden kosteusrasituksen riskiä, mutta aiheuttaa viihtyvyys- ja hyvinvoinnin haittoja. Siihen liittyen suositellaan jatkotutkimusta esimerkiksi ylipaineisuuden sallimisen tai sisäilman kostuttamisen näkökulmasta.
11. Ilmastonmuutoksen nopeaa etenemistä ja sen vaikutuksia ulkovaipparakenteisiin on seurattava ja rakentamisessa hyödynnettävä aina ajantasaista tutkimustietoa. Nykyrakentamisessa kannattaa ottaa käyttöön niitä tulevaisuudessa välttämättömiä suunnittelun ja toteutuksen käytäntöjä, jotka parantavat rakenteiden toimintaa jo nykyilmastossa. Nykymääräysten ja -ohjeiden mukaan suunnitellut ja toteutetut ulkovaipparakenteet toimivat monilta osin tulevaisuudessakin, mutta monien rakentyyppien toteutuksessa sekä tuulettuvien rakenteiden ulko-osien tuuletuksessa on omaksuttava uusia käytäntöjä.
12. Rakennusten lisäeristys on tehtävä vaipparakenteiden ulkopuolelle, jolloin eristys ei aiheuta ongelmia vanhan rakenteen toiminnalle.
13. Lisääntyvien sään ääri-ilmiöiden vuoksi kuntien on huolehdittava entistä paremmin sade- ja hulevesijärjestelmien puhdistuksesta ja kunnossapidosta sekä ulkovaipparakenteiden pellityksistä ja muista rakenteiden yksityiskohdista.

Lähteet

Eskola L. & Björkroth M. 2019. Tiiviiden asuinrakennusten ilmanvaihdon suunniteluohje paine-erojen hallintaan. A-insinöörit Suunnittelu Oy. Saatavilla: [tiivien_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_suunniteluohje_paine-erojen_hallintaan_19.3.2021.pdf](#) (talotekniikkainfo.fi)

Eskola L. & Björkroth M. 2021. Ilmanvaihdon uudet ohjeet. Teoksessa Ahola M. & Merikari A. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2021, Helsinki 9.3.2021: SIY Sisäilmastoyhdistys Oy, 95–101.

Eskola L., Mäkinen S., Hyvärinen J. 2023. Ilmanvaihdon uudet mittaus- ja säätöohjeet. Teoksessa Ahola M. & Merikari A. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2023, Helsinki 14.3.2023: SIY Sisäilmastoyhdistys Oy, 273–279.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Rakennusten energiatehokkuus. Euroopan unionin virallinen lehti. 18.6.2010. Saatavilla: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=RO>

FCG Konsultointi Oy. 2020. Terveet tilat 2028: Yleissivistävien oppilaitosrakennusten nykytilaselvitys. Opetushallitus. Saatavilla: <https://www.oph.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/julkaisut/terveet-tilat-2028-yleissivistavien-oppilaitosrakennusten>

Heiskanen, R. 2016. Maanvastaisten seinien sisäpuolinen lämmöneristäminen. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tampere. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tyy-201606014206>

Huttunen K. 2021. Sisäilma, terveys ja riskikäsitteet. Ympäristö- ja Terveys-lehti, 5;2021. Vsk 52.

Hyvärinen A., Marttila T., Kero P., Pekkanen J., Ung-Lanki S., Lampi J., Leppänen H., Jalkanen K., Turunen K., Haverinen-Shaughnessy U., Annala P., Suonketo J., Niemi J. 2017. Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoreportti. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 44/2017. Valtioneuvoston kanslia. Saatavilla: https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/134868/44_AVATER_loppuraportti___Hyv%C3%A4rinen.pdf?sequence=1

Isokääntä & Rautiala. 2023. Sisäilmastaselvitys ja olosuhdearviointi: Ohje työpaikkojen sisäilmastaselvityksiä ja olosuhdearviointeja tekeville. Työterveyslaitos. Helsinki. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-391-037-9>

Jylhä K., Ruosteenoja K., Böök H. ym. 2020. Nykyisen ja tulevan ilmaston säätietoja rakennusfysikaalisia laskelmia ja energialaskennan testivuotta 2020 varten. Ilmatieteen laitos. Raportteja - Rapporten - Reports 2020:6. Saatavilla: <http://hdl.handle.net/10138/321164>

Kauppinen A. 2018. Uusien ja korjattujen palvelurakennusten paine-erot ulkovaipan yli. Opinnäytetyö. Tampereen yliopisto.

Kero P., Salmela A., Jalkanen K., Niemi J., Mäntynen K., Lindqvist H., Skön N., Hyvärinen A., Koramo M., Lahdenkauppi L., Korhonen E., Oksanen R., Miettinen H. 2021. Sisäilmaongelmien korjaamiseen liittyvät investoinnit, priorisointitarpeet ja päätöksenteko kunnissa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2021:45. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163213/VNTEAS_2021_45.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ketko, J. 2023. Yöaikaisen ilmanvaihdon sammuttamisen vaikutukset koulujen ja päiväkotien kaasu- ja hiukkaspitoisuuksiin. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tampere. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202305135729>

Kivioja, H., Vinha, J. 2020. Hot-box measurements to investigate the internal convection of highly insulated loose-fill insulation roof structures. Energy & Buildings 216 (2020) 109934. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109934>

Kuntalaki. 410/2015. Saatavilla: www.finlex.fi

Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelu-muistio 14.3.2019.

Kurnitski, J., Pasanen, P., Matilainen, M., Hyttinen, M. & Asikainen, V. 1999. Ryömintätilan kosteus ja mikrobit. Kevytsora-, sepeli- ja kuivauskoneratkaisu. Mikrobit ryömintätalassa ja asuinnoissa. Raportti B62. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, Espoo.

Kuurola P, Raunima T, Ketko J, Toyinbo O, Vinha J & Haverinen-Shaughnessy U. 2023. Reduced night-time ventilation did not impact indoor air quality for occupants in a sample of Finnish schools and daycare centers. Energy and Buildings 297 (2023) 113470. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113470>

Laine, K. 2023. Rakenteiden ilmatiivyyden parantamien – Tilaajan opas. Teoksessa Ahola M. & Merikari A. (toim.) Sisäilmastoseminaari 2023, Helsinki 14.3.2023: SIY Sisäilmastoyhdistys Oy, 291–296.

Lappalainen S., Reijula K., Tähtinen K., Latvala, J. Hongisto, V., Holopainen, R., Kurttio, P., Lahtinen, M., Rautiala, S., Tuomi, T., Valtanen, A. 2017. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelman selvittämiseen. Työterveyslaitos. Helsinki. Saatavilla: <https://www.julkari.fi/handle/10024/131872>

Laukkarinen, A., Jokela, T., Vinha, J., Pakkala, T., Lahdensivu, J., Lestinen, S., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lindfors, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystehon tarpeen mitoitusolosuhteet: RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto, Rakennetun ympäristön tiedekunta, Rakennustekniikka. Tutkimusraportti 3. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Saatavilla: www.finlex.fi

Marttila T., Annila P., Kero P., Suonketo J., Heino S., Pentti M. 2015. HKPro3 – valtion tukemien homekorjaushankkeiden arviointi. Jatkotutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennetekniikka. Tutkimusraportti 163. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116586>

Mäkitalo, M. 2012. Puurunkoisten ulkoseinien kosteustekninen toimivuus nykyisessä ja tulevaisuuden ilmastossa. Diplomityö. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/20999>

Nik, V., Kalagasidis, A. Kjellström, E. 2012. Assessment of hygrothermal performance and mould growth risk in ventilated attics in respect to possible climate changes in Sweden. Building and Environment, Vol. 55, pp. 96–109. Saatavilla: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013231200039X>

Pitkäranta M. (toim.). 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75517>

Reijula K., Ahonen G., Alenius H., Holopainen R., Lappalainen S., Palomäki E., Reiman M. Rakennusten kosteus ja homeongelmat. 2012. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan selvitys 1/2012. Saatavilla: https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatointii/julkaisut/Documents/trvj_1+2012.pdf

RIL ry. 2022. RIL 107-2022 Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. ISBN: 978-951-758-683-2

RIL ry. 2023. RIL 225-2023 Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien laskenta. ISBN: 978-951-758-679-5

Rakennustietosäätiö RTS. 2019. RT 103097. Toimitilakiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje. Rakennustietosäätiö RTS, Rakennustieto Oy, Helsinki 2019.

ROTI 2019. Rakennetun omaisuuden tila 2019. Saatavilla: <https://www.ril.fi/fi/alan-kehitys/roti-2023/taustat/roti-raportit.html>

ROTI 2021. Rakennetun omaisuuden tila 2021. Saatavilla: <https://www.ril.fi/fi/alan-kehitys/roti-2023/taustat/roti-raportit.html>

Ruosteenoja, K. ja Jylhä, K. 2021. Projected climate change in Finland during 21th century calculated from CMIP6 model simulations. Geophysica 56 (1), s. 39–69. Saatavilla: https://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2021_56_1_039_ruosteenoja.pdf

Salminen A., Tähtinen K., Hartikainen T., Pekkanen J., Lampi J., Jalkanen K., Niemi J., Lappalainen S., Lahtinen M., Sainio M., Manninen T., Wallenius K., Reijula K. ja Lindqvist H. 2019. Sisäilma ja terveys: kehitys, nykytilanne, seuranta ja vertailu eri maiden sekä julkisen ja yksityisen sektorin välillä. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2019:59. Saatavilla: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161843>

SFS ry. 2012. SFS-EN ISO 13788:en. Hygrothermal performance of building components and building elements. Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation. Calculation methods (ISO 13788:2012, Corrected version 2020-05).

Tampereen yliopisto. 2020. Future Spaces -tutkimushanke. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/tutkimusprojektit/future-spaces/>

Tampereen yliopisto. 2022. Suomalainen homemalli. Saatavilla: <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>

Tilastokeskus. 2023. Suomen virallinen tilasto (SVT): Koulutuksen järjestäjät ja oppilaitokset [verkkójulkaisu]. ISSN=1796–3796. Helsinki: Tilastokeskus [Viitattu: 25.4.2023]. Saantitapa: <https://stat.fi/tilasto/kjarj>

Tähtinen K. 2020. Perceived indoor environment and probability of abnormal indoor air exposure in health care workplaces. Aalto University publication series doctoral dissertations, 125/2020. Saatavilla: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/46635>

Tähtinen, K., Remes, J., Karvala, K., Salmi, K., Lahtinen, M., & Reijula, K. 2020. Perceived indoor air quality and psychosocial work environment in office, school and health care environments in Finland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 33(4), 479–495. Saatavilla: <https://bibliotekanauki.pl/articles/2116581>

Valvira. 2016. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. Saatavilla: <https://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>

Vinha, J., Laukkarinen, A., Kaasalainen, T. ym. 2019. Comprehensive development of nearly zero-energy municipal service buildings (COMBI). Tutkimushankkeen johdanto- ja yhteenvetoraportti. Tutkimusraportti 168, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laboratorio, Rakennetekniikka. 45 + 111 s. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116607>

Vinha, J., Laukkarinen, A., Mäkitalo ym. 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristyksen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energiankulutuksessa. Tampere, Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan laitos, Rakennetekniikka, Tutkimusraportti 159. 354 + 43 s. Saatavilla: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116675>

tietokayttoon.fi

ISBN PDF 978-952-383-023-3

ISSN PDF 2342-6799