



Karelia-ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma, insinööri
(AMK)

Rantakylän kirjaston korjaus- hankkeen jälkitarkastukset

Antton Keränen
Niklas Oksa

Opinnäytetyö, huhtikuu 2024

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät
Antton Keränen
Niklas Oksa

Nimeke
Rantakylän kirjaston korjaushankkeen jälkitarkastukset

Toimeksiantaja
Joensuun kaupunki

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Joensuun kaupunki. Opinnäytetyön kohde-
rakennuksena oli vuonna 2023 saneerauksesta valmistunut Rantakylän kirjasto. Työn
tavoitteena oli selvittää erilaisilla tarkastus- ja mittaustoimenpiteillä, onko kirjaston kor-
jausrakentamisessa onnistuttu.

Opinnäytetyössä tutkittiin kohteeseen suoritettua korjausrakentamisen laatua eri mit-
tausten avulla. Ilmativiysmittaus suoritettiin erillisellä tiiviysmittalaitteistolla. Tiiviysmit-
tauksessa käytettiin Retrotec 5000-laitteistoa. Kyseistä laitteistoa käytettiin myös lämpö-
kamerakuvauksen yhteydessä. Lämpökameralla paikannettiin ulkovaipan ilmavuotoja
sisäilman ollessa alipaineinen. Lämpömittaus tehtiin FLIR E76 -lämpökameralla. Koh-
teen sisäilmaa tutkittiin eGate-KOMBI-SKY-laitteistolla. Laitteisto mittasi sisäilman epä-
puhtauksia ja hiilidioksidipitoisuutta.

Kohteen lämpökuvauksessa havaittiin ilmavuotoja rakennuksen ulkovaipassa sijaitse-
vien alumiiniovien saumoista. Ovia lukuun ottamatta kohteesta ei löytynyt merkittäviä il-
mavuotoja ja kohteen ilmanvuotoluvuksi saatiin 0,8 (m³/(h m²)). Suomen ra-
kentamismääräyskokoelma suosittelee ilmanvuotoluvuksi alle 1,0 (m³/(h m²)), joten
kohteen ilmanvuotoluku on suositusten mukainen. Sisäilmamittausten perusteella hiilidi-
oksidipitoisuus ei ylittänyt toimenpiderajoja tarkastelun aikana, mutta TVOC- arvot olivat
hieman koholla.

Kieli
suomi

Sivuja 66
Liitteet 3
Liitesivumäärä 11

Asiasanat
korjausrakentaminen, tiiviys, sisäilma



THESIS
April 2024
Degree Programme in Construction Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Authors
Antton Keränen
Niklas Oksa

Title
Post-renovation inspections of Rantakylä Library

Commissioned by
City of Joensuu

Abstract

The commission for this thesis was given by the city of Joensuu. The target building for the thesis was Rantakylä library, which was renovated in 2023. The aim of the work was to determine, through various inspection and measurement procedures, whether the renovation of library had been successful.

In the thesis, the quality of the renovation carried out on the target site was investigated using various measurements. Airtightness testing was conducted using a separate airtightness testing apparatus. The Retrotec 5000 blower door system was used for the airtightness testing. This system was also used in conjunction with thermal imaging. Air leaks in the building's outer envelope were located using thermal imaging when the indoor air was under negative pressure. Thermal measurements were taken with the FLIR E76 thermal camera. Indoor air was investigated using the eGate-KOMBI-SKY device. The device measured indoor air pollutants and carbon dioxide levels.

During the thermal imaging of the site, air leaks were observed from the seams of aluminum doors in the building's outer envelope. Apart from the doors, no significant air leaks were found in the site, and the air leakage rate for the site was determined to be 0.8 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$). Finnish building regulations recommend an air leakage rate of less than 1.0 ($\text{m}^3/(\text{h m}^2)$), so the site's air leakage rate complies with the recommendations. Based on indoor air measurements, the carbon dioxide concentration did not exceed action limits during the inspection, but TVOC (Total Volatile Organic Compounds) levels were slightly elevated.

Language
Finnish

Pages 66
Appendices 3
Pages of Appendices 11

Keywords
renovation, airtightness, indoor air

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Korjausrakentaminen	6
2.1	Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet ja niiden hallinta	8
2.1.1	Hulevesien hallinta.....	8
2.1.2	Kapillaarisuus	11
2.1.3	Konvektio	12
2.1.4	Diffuusio.....	13
3	Rakennuksen sisäilma	14
3.1	Sisäilmassa olevat epäpuhtaudet	16
3.1.1	Asbesti.....	16
3.1.2	Radon	17
3.1.3	VOC-yhdisteet	18
3.2	Rakennusvaipan ilmatiiviyys.....	19
4	Mittausten teoriaa	19
4.1	Tiiviysmittaus	19
4.2	Lämpökamerakuvaus	27
4.3	Sisäilman mittaustarkastelu	28
4.4	Kosteusmittaus	30
4.4.1	Pintakosteusmittaus.....	31
4.4.2	Piikkikosteusmittaus	32
4.4.3	Porareikämittaus.....	33
4.4.4	Koepalamittaus	34
4.5	Aistinvarainen saneerauksen tarkastelu	35
5	Kohteen tiedot.....	36
6	Saneerauskohteen tarkastelut ja mittaukset	38
6.1	Tiiviysmittaus	38
6.2	Lämpökamerakuvaus	50
6.3	Sisäilman mittaustarkastelu	53
6.4	Pintakosteusmittaus.....	57
6.5	Aistinvarainen saneerauksen tarkastelu	60
7	Käyttäjätyytyväiskysely	61
8	Yhteenveto.....	63
	Lähteet.....	64

Liitteet

- Liite 1 Tiiviysmittausraportti
- Liite 2 Sisäilman tutkimusraportti, eGate.
- Liite 3 Käyttäjätyytyväiskysely

Käsitteet

Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisessa korjataan vaurioituneita rakenteita, jotta rakennuksen laatu säilyisi (RT 10-11251, 2017, 12). Korjausrakentamisen avulla voidaan myös muuttaa rakennuksen käyttötarkoitusta (Lauttalammi, Lehtonen & Laine 2005, 6).

Painekoe

Painekokeen avulla tutkitaan ulkovaipan ilmanpitävyyttä ali- tai ylipaineen avulla. Rakennuksen paineistamiseen käytetään siihen tarkoitettua puhallinta. Tiiviysmittaus on painekoe, jossa aiheutetaan rakennuksen sisäilman ja ulkoilman välille 50 Pa:n paine-ero. Tämän avulla saadaan rakennuksen ulkovaipan ilmanvuotoluvut q50 ja n50-luvut selville. (Paloniitty 2012, 14.)

Ilmanvuotoluku, q50 [m³/hm²]

Ilmanvuotoluku q50 kertoo rakennuksen ulkokuoren läpimenevän vuotoilmavirran tunnissa, kun rakennuksen sisäilmassa ja ulkoilmassa on 50 Pa:n paine-ero. Ilmanvuotoluku kertoo, kuinka monta kuutiometriä ilmaa kulkeutuu rakennuksen ulkokuoren neliömetrin läpi tunnissa. (Paloniitty 2012, 15.)

Ilmanvuotoluku, n50 [1/h]

Ilmanvuotoluku n50 kertoo, kuinka monesti rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnin aikana ulkovaipan vuotoreittien kautta. Mittauksen aikana rakennuksessa on oltava 50 Pa:n yli- tai alipaine. (Paloniitty 2012, 15.)

Rakennuksen ulkovaippa

Rakennuksen ulkovaipalla tarkoitetaan rakenteita, jotka erottavat rakennuksen ulkoilmasta. Ulkoseinät ja yläpohja ovat esimerkkejä ulkovaipan osista. (Ympäristöministeriö 2018, 6.)

VOC-arvo

VOC-arvo (Volatile organic compound) tarkoittaa sisäilmassa olevia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli kemiallisia epäpuhtauksia. Epäpuhtaudet aiheuttavat huonoa sisäilmaa ja ne ovat haitaksi ihmisille. (Sosiaali- ja Terveysministeriö 2003, 56.)

Emissiivisyys

Emissiivisyys tarkoittaa rakennusmateriaalin pinnan kykyä lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyys kertoo, kuinka suuri osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää omaa energiaa. Materiaalin pinnan emissiivisyys ilmoitetaan emissiivisyyskertoimella. Materiaalien pinnan emissiokerroin on 0–1 ja se ilmoitetaan desimaalilukuna. (Paloniitty 2016, 4.)

Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn eli infrapunasäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaaliseksi. (Paloniitty 2016, 4.)

Veto

Veto on lämpöviihtyvyyteen vaikuttava tekijä, jota voi syntyä rakenteiden läpi tulevista ilmapuodoista. Vedon tunteeseen vaikuttavat ilman liikenopeus ja lämpötila. (Paloniitty 2016, 6.)

Mikrobivaurio

Mikrobivaurioita syntyy silloin, kun rakennusosat altistuvat pitkäaikaisesti kosteudelle. Pitkäaikaisen kosteusrasituksen seurauksena rakenteisiin alkaa kasvamaan bakteereja, hiivoja sekä home- ja lahottajasieniä. Näitä kutsutaan mikrobeiksi ja näiden rakenteille aiheuttamia vaurioita mikrobivaurioiksi. (RT 103528, 2023, 1.)

Hulevesi

Hulevesi on rakennuksen katolta tai maan pinnalta pois johdettavaa sade- tai sulamisvettä (RT 89-11196, 2015, 1).

Diffuusio

Diffuusiossa vesihöyry pyrkii siirtymään suuremmasta vesihöyryn osapaineesta pienempään. Rakennuksissa se siirtyy sisältä ulospäin, koska sisäilmassa on enemmän vesihöyryä kuin ulkoilmassa. (RT 103528, 2023, 3.)

Kosteuskonvektio

Konvektio tarkoittaa ilman virtausta paine-eron vaikutuksesta rakenteen läpi. Kosteuskonvektio taas tarkoittaa ilmassa olevan kosteuden kulkeutumista vesihöyrynä rakenteen läpi. (RT 103528, 2023, 4.)

1 Johdanto

Tämän työn tavoitteena on tutkia saneerauskohteen jälkitarkastuksessa käytettäviä toimenpiteitä ja selvittää, onko Rantakylän kirjaston korjausrakentamisessa onnistuttu. Rantakylän kirjasto valikoitui tutkimuskohteeksi työmme toimeksiantajan Joensuun kaupungin toimesta. Tutkimme kirjastoon hiljattain tehtyä saneerausta, jonka tarkoituksena oli puhdistaa ja parantaa kohteen sisäilmaa. Korjaustöissä uusittiin kohteen talotekniikka sekä vanhat pintamateriaalit. Korjaushanke toteutettiin, koska sisäilma aiheutti työntekijöille oireita.

Keskitymme työssämme tutkimaan kirjaston ilmatiiviyttä ja sisäilman laatua erilaisilla mittauksilla ja tarkasteluilla. Kohteen mittaus- ja tarkastelumenetelmiä ovat muun muassa rakennusvaipan ilmatiivysmittaus erillisellä tiivysmittauslaitteella, lämpökamerakuvaus kalibroidulla lämpökameralla, sisäilman mittausta siihen tehdyillä sensoreilla, märkätilojen pintakosteuden mittaamista pintakosteusmittarilla sekä työntekijöiden tyytyväisyyskysely.

Työmme alussa käymme läpi teoriaa korjausrakentamisesta, rakennuksen ulkopuolisista kosteuslähteistä sekä rakennuksen sisäilmassa olevista epäpuhtauksista. Käymme läpi myös erilaisia tarkastelu- ja mittausmenetelmiä, jotka tutkivat sisäilman laatua. Erilaisten mittausmenetelmien jälkeen perehdytään kirjastoon tehtyihin korjaushankkeisiin, sillä kohteeseen on toteutettu aiemminkin korjaustoimenpiteitä. Lopussa siirrymme meidän mittausmenetelmiimme ja tulostemme analysointiin.

Opinnäytetyön liitteenä on muun muassa tiivysmittausraportti, joka saatiin tehtyä Fantestic-ohjelmistolla tiivysmittauksen yhteydessä. Toisena liitteenä opinnäytetyössä on sisäilmamittauslaitteiston muodostama raportti mittaustuloksista. Viimeisenä liitteenä on käyttäjätyytyväisyyskysely, jonka Rantakylän kirjaston henkilökunta täytti anonymisti.

2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen avulla voidaan muuttaa rakennuksen käyttötarkoitusta tilaajan toiveiden mukaisesti. Se voidaan jakaa rakennuksen kunnossapitoon, perusparannukseen sekä restaurointiin. (Lauttalammi, Lehtonen & Laine 2005, 6.) Rakennuksen kunnossapidolla ja perusparannuksella jatketaan rakennuksen käyttöikää rakennusosien sekä pintojen uusimisien avulla. Talotekninen järjestelmä on tyypillisin korjausrakentamisen kohde. Tämä on uusittava 20–50 vuoden välein, jotta rakennus pysyy käyttökunnossa. (Myyryläinen 2019, 11.) Restaurointi tarkoittaa rakennuksen entisöintiä. Rakennuksen entisöinnillä ylläpidetään rakennusta esimerkiksi sen kulttuurihistoriallisuuden takia. Rakennus on korjausrakennettava myös silloin, jos siinä ilmenee kosteusvaurioita, tulipalovaurioita tai muita sisäilmaa huonontavia tekijöitä. (Lauttalammi ym. 2005, 6–7.)

Korjausrakentamishankkeessa otetaan huomioon muun muassa rakennuksen kunto, toimivuus ja arvo sekä rakennukseen tuleva toiminta. Ennen hankkeen aloittamista on selvitettävä rakennuksen kunto sekä sen käytettävyys. Niiden avulla voidaan kartoittaa toimenpiteitä, joita kohteelle täytyy tehdä. Selvittelyiden kautta havaitaan korjaushankkeen hyötyaste. Se kertoo, kuinka hyvin olemassa olevia tila- ja rakenneratkaisuja voidaan hyödyntää uudessa käyttötarkoituksessa. (Lauttalammi ym. 2005, 6–7.)

1970-lukuun asti vanhat rakennukset purettiin, jotta tilalle voitaisiin rakentaa uudisrakennuksia. Silloin rakentaminen painottui selvästi uudisrakentamiseen ja korjausrakentaminen koostui enimmäkseen talotekniikan uusimisesta sekä muista huoneistojen kunnossapidoista. Korjausrakentaminen tuli rakennustekniikan opetukseen 1980-luvulla, jonka seurauksena vanhojen rakennuksien purkaminen vaihtui niiden peruskorjaamiseen. (Lauttalammi ym. 2005, 5–6.)

Korjausrakentamisen nousun ansiosta rakentaminen koostuu nykypäivänä noin 40–45 prosenttia korjausrakentamisesta. Tilastokeskuksen taulukosta 1 nähdään vuosien 2017–2020 väliset uudisrakentamisen sekä korjausrakentamisen osuudet prosentteina kaikista Suomen talonrakennushankkeista.

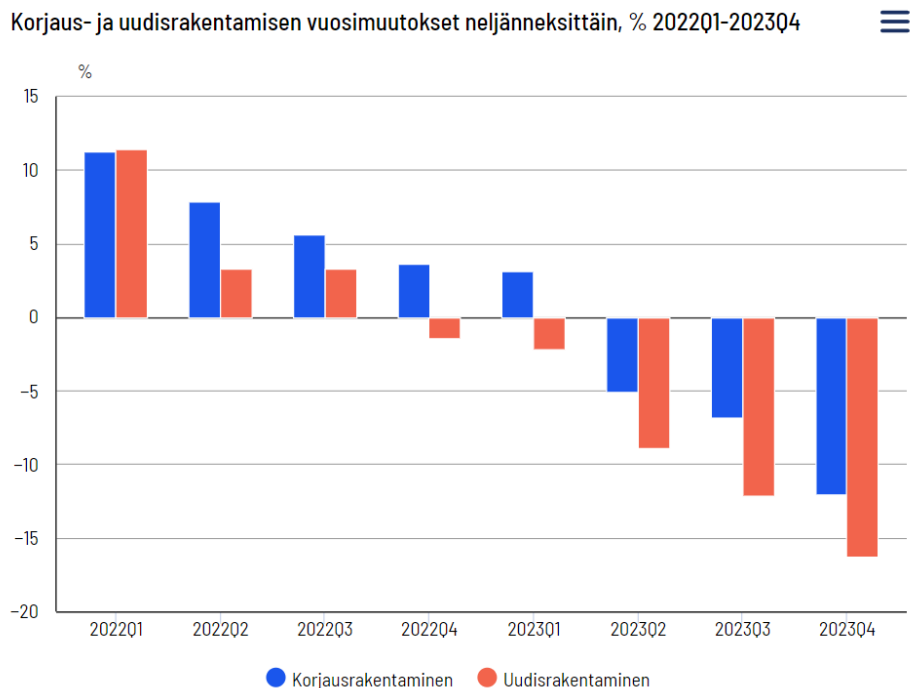
Tarkasteltavien vuosien välissä korjaus- ja uudisrakentamisen osuus ei ole muuttunut radikaalisesti. (Tilastokeskus 2022.)

Korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen osuudet talonrakennushankkeista yrityksen koon mukaan, prosenttia muuttujina Rakennusyrityksen koko, Vuosi ja Tiedot

	Korjausrakentamisen osuus, %	Uudisrakentamisen osuus, %
Kaikki yritykset yhteensä		
2017	44	56
2018	44	56
2019	44	56
2020	39	61
2021	41	59
2022	42	58

Taulukko 1. Korjaus- ja uudisrakentamisen osuudet talonrakennushankkeista. (Tilastokeskus 2022.)

Nykypäivän taloustilanteen myötä uudis- ja korjausrakentaminen ovat hiljentyneet merkittävästi viimeisen kahden vuoden sisällä. Kuviosta 1 tämä huomataan varsinkin uudisrakentamisen kohdalla, sillä tilastokeskuksen kuvaajan mukaan vuoden 2022 viimeisen neljänneksen jälkeen vuosimuutokset ovat olleet negatiivisia. Korjausrakentamisen vuosimuutos on ollut negatiivista vuoden 2023 toisesta neljänneksestä eteenpäin. Kahden vuoden tarkastelulla uudis- ja korjausrakentamisen vuosimuutokset ovat olleet pahimmillaan vuoden 2023 viimeisen neljänneksen aikana. Tällöin uudisrakentamisen vuosimuutos oli -16,3 % ja korjausrakentamisen -12,0 %. (Tilastokeskus 2024.)

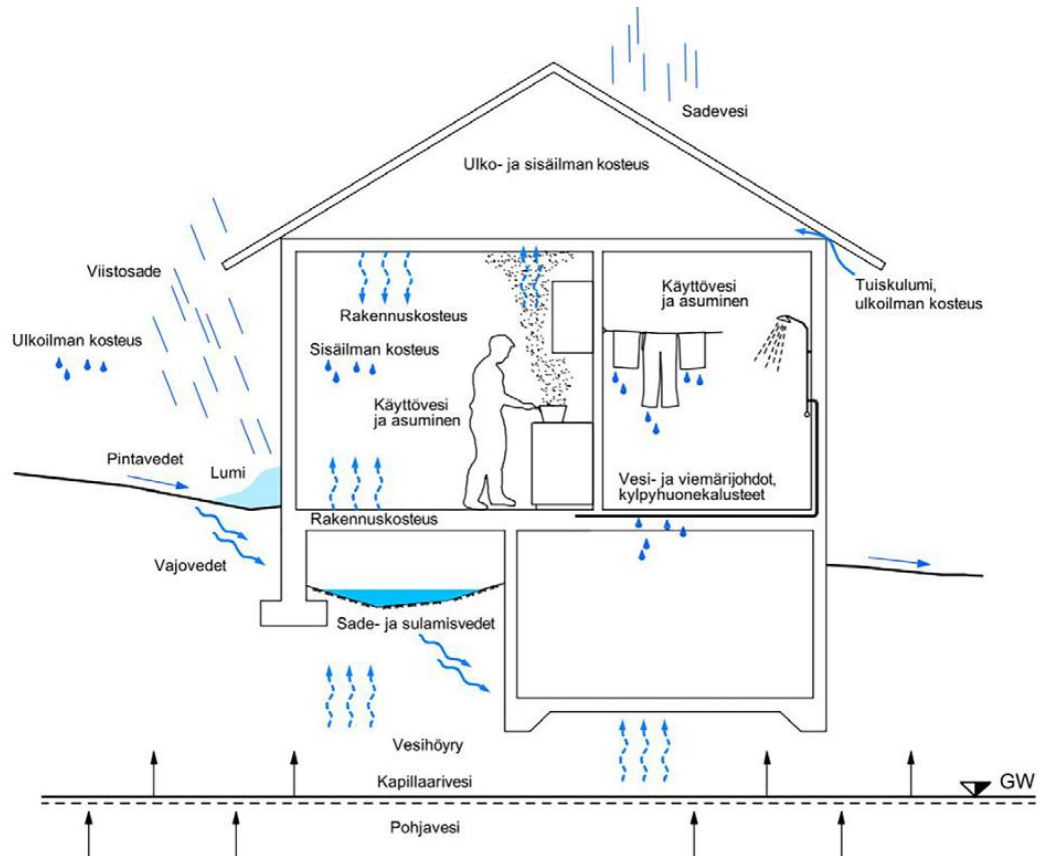


Kuvio 1. Korjaus- ja uudisrakentamisen suhdannekuvaaja. (Tilastokeskus 2024.)

2.1 Rakennuksen ulkopuoliset kosteuslähteet ja niiden hallinta

2.1.1 Hulevesien hallinta

Hulevesi on sadevettä, joka poistetaan rakennuksen katolta, maan pinnalta tai muilta vastaavilta pinnoilta (RT 89-11196, 2015, 1). Hulevesien oikeaoppinen poistaminen ehkäisee rakennuksien altistumista kosteudelle (kuva 1), joka voi aiheuttaa rakennukselle kosteus- ja mikrobivaurioita (RT 103529, 2023, 4–5). Oleellista hulevesien hallinnassa on läpäisemättömien pintojen osuus alueen pinta-alasta, koska näiden pinta-alojen kasvaessa pintavaluntojen määrä kasvaa. Läpäisemättömiä pintoja ovat esimerkiksi rakennusten katot. Näiden alueiden osuus tulee huomioida tontin pintamateriaaleissa, mikäli sadevesien poistoa ei hoideta suoraan sadevesijärjestelmään. (RT 89-11196, 2015, 1–2.)



Kuva 1. Rakennukseen kohdistuvat kosteudet. (RT 103528, 2023, 5.)

Hulevesien hallinnan tärkeä osa on tonttialueen kaadot. Riittäväillä kaadoilla vältetään ylimääräiseltä kosteusrasitukselta, joita sulamis- ja sadevedet aiheuttaisivat rakennukselle. Rakennusta ympäröivän maan kaadot tulisi suositusten mukaan tehdä 1:20 periaatteella 3 metrin etäisyydelle pois päin rakennuksesta. Muun tonttialueen vähimmäiskaadot määräytyvät tontin käyttötarkoituksen mukaan. Myös enimmäiskaadot (taulukko 2) tulee ottaa huomioon, jotta tonttialue pysyy tarvittaessa liikennöitävissä tai esteettömästi kuljettavissa. Kaatojen tarkoituksena on kerätä sulamis- ja sadevedet vedenkeruujärjestelmään. Näitä ovat esimerkiksi sadevesiviemärit tai imeytysrakenteet. Tyypillisesti näistä järjestelmistä vesi johdetaan edelleen tontin ulkopuoliseen sadevesiviemäriverkostoon. Taulukossa 3 käsitellään tonttialueen pintojen vähimmäiskaltevuuksia riippuen pintojen materiaaleista. Mikäli kyseessä on rakentamaton luonnontilainen alue, jonka on tarkoitus jäädä sellaiseksi, ei sitä tarvitse erikseen suunnitella kuivatettavaksi. (RT 81-11000, 2010, 2–3.)

Kohde	Enimmäiskaltevuus	Poikkeus*
Tonttikatu		
• raskas liikenne	5 % (1:20)	8 % (1:12,5)
• kevyt ajoneuvo- liikenne	8 % (1:12,5)	13 % (~1:7,7)
Pysäköinti, ajoväylät	4 % (1:25)	
Lastausalue	3 % (1:33)	
Luiskat		
• jalankulku	10 % (1:10)	14 % (~1:7,1)
• liikkumisesteiset	5 % (1:20)	8 % (1:12,5)
• lastenvaunut	10 % (1:10)	20 % (1:5)
Ulkoporras	30 % (1:3,3)	50 % (1:2)

* Poikkeustapauksessa, jos on toinen yhteys tai matka on erittäin lyhyt

Taulukko 2. Suositeltuja enimmäiskaltevuuksia pintamateriaalin mukaan. (RT 81-11000, 2010, 2.)

Päällyste	Sivukaltevuus	Viettokaltevuus
Asfaltti		
• ajorata	2,5...3,0 % (1:40...1:33)	
• jalkakäytävä	2,0...2,5 % (1:50...1:40)	
• piha		1,0...3,0 % (1:100...1:33)
Kiveys, laatoitus		
• ajorata	3,0...4,0 % (1:33...1:25)	
• jalkakäytävä	2,5...3,0 % (1:40...1:33)	
• piha		2,0...4,0 % (1:50...1:25)
Sora, öljysora		
• ajorata	4,0...5,0 % (1:25...1:20)	
• piha		2,0...4,0 % (1:50...1:25)

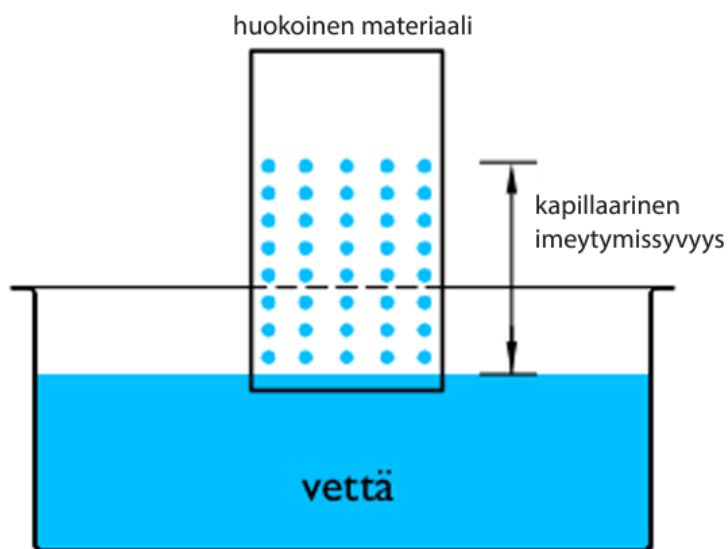
Taulukko 3. Suositeltuja vähimmäiskaltevuuksia pintamateriaalin mukaan. (RT 81-11000, 2010, 2.)

Hulevesien hallinta tulee ottaa huomioon myös rakennuksen ulkoseinän ulko-verhouksessa. Ulko-verhouksen alapinnan ja maanpinnan välinen etäisyys tulee olla vähintään 300 millimetriä, jotta se ehkäisee verhouksen suoraa kosketusta veden ja lumen kanssa. Ulko-verhouksen yläosaa suojaa räystäsrakenteet, joiden vähimmäisleveydeksi suositellaan 600 millimetriä seinärakenteesta

ulospäin. Julkisivuverhouksen yläosassa tulee huomioida myös tuuletusrako. Julkisivuverhouksen ja vesikatteen alapinnan välisen tuuletusraon tulee olla vähintään 20 millimetriä korkea, jotta se on riittävä yläpohjan sekä julkisivuverhouksen taustan tuuletukselle. (Puuinfo 2020.)

2.1.2 Kapillaarisuus

Kapillaari-ilmiö tarkoittaa kosteuden kulkeutumista huokoisessa materiaalissa huokosalipaineen vaikutuksesta (kuva 2). Huokoinen materiaali voi olla esimerkiksi betoni tai maa-aines. Jos betoni on kosketuksessa veden kanssa, kosteus nousee kapillaarisesti betonissa ylöspäin. Maa-aineksen raekoon ollessa tarpeeksi suuri, kapillaari-ilmiötä ei pääse tapahtumaan. Kyseisen ilmiön takia rakenteiden kanssa kosketuksessa olevan maaperän tulee olla tarpeeksi karkeaa, jotta kapillaarista kosteuden nousua ei pääse tapahtumaan. (RT 103528 2023, 4.)



Kuva 2. Kapillaarisuusilmiön toimintatapa. (RT 103528, 2023, 4.)

Eri maalajien kosteuden kapillaarinen nousukorkeus vaihtelee raekoon mukaan. Pienemmällä raekoolla kapillaarinen nousukorkeus on suurempi kuin isomman raekoon omaavilla maa-aineksilla, koska rakeiden väliin jäävä huokostilavuus on pienempi. Maa-aines sisältää yleensä eri kokoisia rakeita, jolloin

kapillaarinen nousukorkeus ei ole yksiselitteistä. Tästä syystä kapillaarikatkoon käytetään maa-aineksena pestyä salaojasoraa, jolloin maa-aineksesta on poistettu sen hienojakoinen osa. Tämän maa-aineksen käytöllä kapillaarinen nousukorkeus pienenee merkittävästi. (Hekkanen, Kilpeläinen, Riippa & Seppälä 2006, 15.)

Massanvaihdoksesta eli maa-aineksen raekooltaan suurempaan vaihtamisesta huolimatta rakennukset suunnitellaan nykyään niin, ettei kosteus pääse nousemaan kapillaarisesti seinärakenteisiin. Lattiarakenteen alle asennetaan 300 millimetrin kapillaarikatkoerros, joka estää kapillaarisen nousun. (RT 81-11000, 2010, 4–5.) Jos perustusrakenteisiin on kuitenkin jostakin syystä päässyt kosteutta, sokkelin ja seinärakenteen väliin tehdään kapillaarikatko esim. bitumikermillä. (RT 83-10955, 2009, 4.)

2.1.3 Konvektio

Suurin osa rakennuksien kosteusvaurioista aiheutuu konvektiosta, joka tarkoittaa ilman virtausta paine-eron vaikutuksesta rakenteen läpi. Paine-eroa voi aiheuttaa lämpötilaero, tuuli sekä ilmanvaihto. Konvektiosta tekee haitallisen ilmavirran mukana kulkeutuva kosteus, sillä se siirtyy ja tiivistyy rakenteisiin samalla, kun paine-erot pyrkivät tasoittumaan. Kosteuden tiivistyminen rakenteisiin aiheuttaa kosteusongelmia ja näiden ilmaantuminen on todennäköisempää ulkoilman ollessa viileämpää. (Lauttalammi ym. 2005, 83.)

Rakennuksille haitallista konvektiota voidaan ehkäistä tiiviillä rakentamisella. Tiivis rakentaminen vaatii huolellisuutta saumojen tiivistyksessä. Tiiviit rakenteet ehkäisevät mahdollisia ilmavirtauksia rakenteiden läpi, joten kosteuden siirtymistä ja tiivistymistä rakenteisiin ei pääse tapahtumaan. Rakennuksen tiiviyys vaikuttaa myös osaltaan sen energian kulutukseen sekä asumismukavuuteen, joten huolellisella rakentamisella saavutetaan muitakin etuja. (Aho & Korpi 2009, 10.)

Rakennuksen tiivyyden toteamista varten voidaan tehdä tiiviysmittaus, jolla selvitetään rakennuksen ulkovaipan tiiviyttä. Tiiviysmittauksen yhteydessä rakennuksen vaipassa olevia vuotokohtia voidaan paikantaa lämpökameralla. Korjausrakentamisen yhteydessä tehtävä tiiviysmittaus kannattaa suorittaa ennen pintamateriaalien asennusta, jolloin mahdollisia vuotokohtia voidaan korjata ennen niiden asennusta. (Aho & Korpi 2009, 10.)

2.1.4 Diffuusio

Suhteellinen kosteus tarkoittaa ilman vesihöyrypitoisuutta eri lämpötiloja kohden. Absoluuttinen kosteus taas tarkoittaa kosteuden määrää, johon ei lasketa ilman lämpötilaa. Kosteuden määrä ilmoitetaan yksikössä grammaa/kuutiossa (g/m^3). Ilman absoluuttisen kosteuden erojen ollessa eriarvoiset, kosteus pyrkii tasoittumaan. Rakennuksissa kosteus pyrkii tasoittumaan ulko- ja sisäilman välillä. Tasoittuminen tapahtuu rakenteiden läpi ja se voi aiheuttaa samalla kosteusvaurioita ja ongelmia sisäilmassa. (Lauttalammi ym. 2005, 83.)

Tyypillisesti diffuusio aiheuttaa ilman ja vesihöyryn siirtymistä lämpimästä viileämpään. Siirtymistä voi tapahtua myös toiseen suuntaan, koska absoluuttinen kosteusero määrittelee kosteuden siirtymissuunnan. Rakennuksen käytön aikana diffuusiota ilmenee lähinnä märkätiloissa, kuten pesutilassa, saunassa sekä kodinhoitohuoneessa. Muissa rakennuksen huoneissa diffuusion vaikutus on vähäistä. Diffuusiota pyritään estämään höyrynsulun avulla. Se estää tehokkaasti kyseistä ilmiötä ja siinä käytetään pääasiassa muovia sen korkean diffuusiovastuksen takia. Ulkoseinärakenteessa höyrynsulun jälkeen seinärakenteiden diffuusiovastuksen tulee madaltua ulospäin, jotta ulkoseinä toimii fysikaalisesti oikein. (Lauttalammi ym. 2005, 83.)

3 Rakennuksen sisäilma

Sisäilma on rakennuksen sisällä olevaa hengitettävää ilmaa. Usein sisäilma ja sisäilmasto sekoitetaan keskenään, vaikka ne tarkoittavat eri asiaa. Sisäilmasto koostuu sisäilman lisäksi erilaisista fysikaalisista tekijöistä, jotka vaikuttavat ilmaan. Näitä tekijöitä ovat mm. lämpötila, kosteus, ilmavirtaus, ja valaistus. Sisäilman puhtaus on tärkeää rakennusten käyttäjille, sillä he hengittävät ison osan elämästään niiden sisällä olevaa ilmaa. (Puhakka 1996, 15.) Sisäilmastoluokitukset S1, S2 ja S3 on suunniteltu määrittelemään sisäilman laatua. Sisäilmastoluokituksista S1-luokka on paras ja S3-luokka huonoin. Uudisrakennusprojektin alkuvaiheessa suunnittelija ja tilaaja asettavat sisäilmastoluokan yhteistuumin. (RT 07-11299, 2018, 5.)

Sisäilmasto S1 tarkoittaa sisäilmaston parhainta laatuluokkaa. Tässä luokituksessa tilan sisäilman laatu on erinomainen ja siellä ei havaita minkäänlaisia hajuja. Sisätiloissa tai niihin liittyvissä rakenteissa ei ole vaurioita tai epäpuhtauslähteitä, jotka voisivat heikentää ilman laatua. Lämpöolot ovat miellyttävät, koska rakennuksessa ei ilmene vedon tunnetta tai yllämpenemistä. Tässä laatuluokassa käyttäjällä on mahdollisuus yksilölliseen lämpöolosuhteiden hallintaan, ja rakennuksen ääniolosuhteet vastaavat erinomaisesti tilan käyttötarkoitusta. Näiden lisäksi rakennuksessa on säädettävä valaistus, joka tukee hyviä valaistusolosuhteita. (RT 07-11299, 2018, 5.)

Sisäilmasto S2 tarkoittaa hyvää sisäilmastoa. Tässä luokituksessa tilan sisäilman laatu on hyvä ja siellä ei havaita häiritseviä hajuja. Sisätiloissa tai niihin liittyvissä rakenteissa ei ole vaurioita tai epäpuhtauslähteitä, jotka voisivat heikentää ilman laatua. Lämpöolot ovat miellyttävät, koska vetoa esiintyy yleensä harvoin. Yllämpeneminen tässä luokituksessa on kuitenkin mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa vallitsee hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet niiden käyttötarkoitusten mukaisesti. Tyydyttävä sisäilmasto S3 tarkoittaa laatuluokkaa, joka täyttää lain, asetusten ja säädösten tuomat vähimmäisvaatimukset (taulukko 4). (RT 07-11299, 2018, 5–7.)

Sisäilman yksi oleellisimmista tekijöistä on hiilidioksidin määrä. Sisäilmaan tu-
leva hiilidioksidi on pääasiassa peräisin rakennuksessa olevien ihmisten
ulohengityksestä. Hiilidioksidin määrä sisäilmassa nousee, mikäli ilmanvaihto
ei toimi rakennuksessa olevan ihmismäärän mukaisesti. Korkea hiilidioksidipitoi-
suus aiheuttaa päänsärkyä, väsymystä sekä työtehon alenemista. (Puhakka
1996, 52.) Taulukossa 4 on määritelty sisäilman tavoitearvot Sisäilmastoluokkiin
S1, S2 ja S3. Taulukon arvot koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia. (RT 07-
11299 2018, 7.)

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä* [ppm]	< 350	< 550	< 800
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	< 100	< 100	< 200
PM _{2,5} [µg/m ³]	< 10	< 10	< 25
PM _{2,5} sisällä/ulkona	< 0,5	< 0,7	-
Ilman suhteellinen kosteus [% RH]	-	-	-
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	-
asunnot	90 %	80 %	-

Taulukko 4. Sisäilman laadun tavoitearvot sisäilmastoluokissa S1, S2 ja S3. (RT 07-11299, 2018, 7.)

Rakennuksessa tulee olla koneellinen ilmanvaihto, jotta hiilidioksidin määrää
voidaan säätää ilmanvaihdolla. Varsinkin kesäisin painovoimaisella ilmanvaih-
dolla varustetuissa rakennuksissa ilmanvaihto voi olla puutteellista ja aiheuttaa
korkeaa hiilidioksidipitoisuutta. (RT 56-10831 2004, 5.) Asumisterveysasetuk-
sessa (545/2015, STM) olevassa taulukossa 5 näkyy sisälämpötilan toimenpi-
derajat. Jos rakennuksen ulkolämpötila ei ole $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja sisälämpötila $+ 21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, pintalämpötilojen toimenpiderajojen laskemisessa on käytettävä an-
nettuja lämpötilaindeksejä.

	<i>Lämpötilojen toimenpiderajat</i>	<i>Lämpötilaindeksi TI</i>
<i>Asunnossa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 18 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 18 °C – + 32 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 18 °C	87
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61
<i>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</i>		
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	+ 20 °C – + 26 °C	
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	+ 20 °C – + 32 °C	
lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat		
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella, palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	+ 20 °C – + 30 °C	
Seinäpinnan alin keskiarvolämpötila	+ 16 °C	81
Lattiapinnan alin keskiarvolämpötila	+ 19 °C	92
Alin pistemäinen pintalämpötila	+ 11 °C	61

Taulukko 5. Rakennusten Sisälämpötilan toimenpiderajat. (Asumisterveysasetus 545/2015.)

3.1 Sisäilmassa olevat epäpuhtaudet

Usein sisäilmaa huonontavat tekijät ovat käyttäjäperäiset sekä rakenteista tai ulkoilmasta tulevat epäpuhtaudet. Näiden epäpuhtauksien pääseminen sisäilmaan voi aiheuttaa käyttäjälle epäviihtyvyyttä, terveydellisiä haittoja tai jopa sairauksia. Terveyshaittoja aiheuttavat epäpuhtaudet ovat mm. rakennusmateriaalista irtoavat hiukkaspölyt, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), kosteusvauriot sekä sen takia syntyneet homeongelmat. (Puhakka 1996, 15–17.)

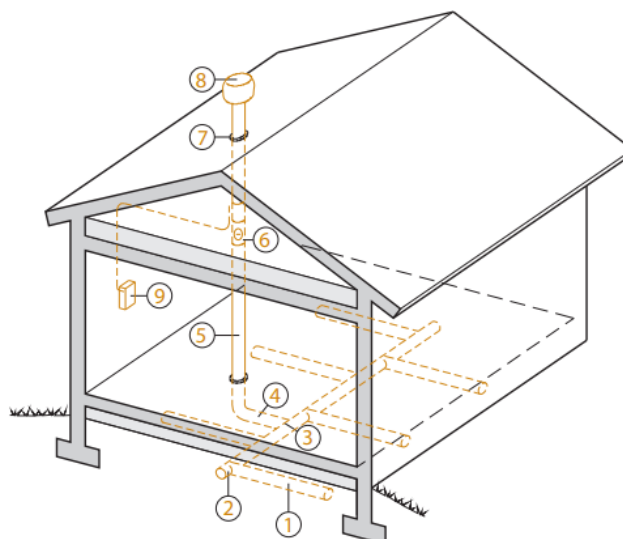
3.1.1 Asbesti

Yksi suurin rakennusmateriaalista syntyvä epäpuhtaustekijä on asbesti. Erilaisista kuitumaisista silikaattimineraaleista käytetään yleisnimitystä asbesti. Niitä

on käytetty rakennusmateriaaleissa vuodesta 1920 ihan 1980-luvun lopulle asti. Suomessa asbestia käytettiin yhteensä jopa 300 000 tonnia. Asbestia käytettiin rakennusmateriaalina, sillä se oli palonkestävä sekä toimi hyvänä vesieristeenä. Sitä käytettiin mm. eristemassoissa, saumauslaastissa, muovituotteissa sekä sen avulla parannettiin maalien ja liimojen ominaisuuksia. Näiden lisäksi asbesti oli todella edullista, joka lisäsi sen käyttöä. Sen valmistus ja maahantuonti kiellettiin vuoden 1993 alussa, koska se aiheutti vakavia terveyshaittoja kuten syöpää. Asbesti tuotteiden myyminen sekä käyttöön ottaminen taas kiellettiin vuoden 1994 alussa. Jos rakennuksessa ilmenee asbestia, sen purkamiseen vaaditaan pätevä henkilö sekä oikeanlaiset toimintatavat ja suojavaatetus. (RT 18-11246, 2016, 1–3.)

3.1.2 Radon

Sisäilmaston epäpuhtauksiin voidaan lukea myös radon. Radon on näkymätön ja hajuton alkuaine, jota ihmisen on mahdotonta aistia. Sen havaitsemiseen tarvitaan siihen tarkoitettu mittalaitteisto. Radonia mittaamisessa käytetään yksikköä becquerelliä kuutiometrissä (Bq/m^3). Kyseistä alkuainetta sijaitsee kallioperässä sekä karkealajisessa maaperässä. Radon kulkeutuu kaasumaisena kallioperästä rakenteiden läpi sisäilmaan ja siten voi aiheuttaa asukkaille jopa syöpää. Suomessa pitoisuus on korkeimmillaan Etelä-Suomen harjuilla. Nykyajan rakennuksissa radon torjutaan radonimurilla (kuva 3) tai ryömintätilan oikeanlaisella tuuletuksella. (Puhakka 1996, 97–99, 101–102, 106, 108.)



Kuva 3. Radonin imukanavisto. (RT 103123, 2019, 9.)

3.1.3 VOC-yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet, eli VOC-yhdisteet ovat terveydelle haitallisia yhdisteitä, jotka ovat peräisin rakennuksen rakennusmateriaaleista. VOC-yhdisteiden määrä ilmoitetaan tyypillisesti TVOC-arvona, joka tarkoittaa VOC-yhdisteiden kokonaismäärää. VOC-yhdisteiden lähteitä ovat esimerkiksi rakennus- ja pinnoitusmateriaalit, huonekalut, pesuaineet sekä tekstiilit. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, 56.) TVOC-yhdisteet jaetaan niiden kiehumispisteiden mukaan ja ne jakautuvat neljään eri ryhmään. VVOC-yhdisteiden kiehumispiste on $>0...50-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, VOC-yhdisteiden kiehumispiste on $50-100...240-260\text{ }^{\circ}\text{C}$, SVOC-yhdisteiden kiehumispiste on $240-260...380-400\text{ }^{\circ}\text{C}$ sekä POM-yhdisteiden kiehumispiste on $>380\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Sisäilmayhdistys 2008, 67.)

VOC-pitoisuuksiin vaikuttaa myös esim. uudet rakennuspinnat. Tämän takia uusissa rakennuksissa arvot ovat mahdollisesti vielä koholla ja ne laskevatkin rakennuksen valmistumisen jälkeen. Muutaman vuoden sisällä arvojen pitäisi tasoittua normaalille tasolle ja vakioitua rakennuksen ilmanvaihdon avulla. (Terveyden ja hyvinvoinnin laitos 2022, 11.) Tavanomaisia VOC-yhdisteistä tulevia oireita ovat mm. päänsärky sekä silmien ja limakalvojen ärtyminen. Jo yksittäinen VOC-yhdiste voi aiheuttaa terveyshaittoja, joten oireiden ilmetessä tuleekin selvittää niiden aiheuttaja. (Puhakka 1996, 31–34.)

3.2 Rakennusvaipan ilmatiiviys

Hyvän rakennusvaipan ilmatiiviyden saavuttaminen on tärkeää. Lisäksi rakennuksen sisäilma tulisi olla alipaineisena verrattuna ulkoilmaan. Tämän avulla voidaan ehkäistä kostean sisäilman kulkeutumista vaipan kylmiin rakenteisiin aiheuttaen kosteus- tai homevauriota. Tämä on hyvinkin mahdollista talvisin, sillä nykypäivänä sisäilmassa voi olla kosteuslisää 4–7 g/m³, jolloin konvektion riski nousee. Kosteuskonvektion takia rakennuksen sisäilma pyritään pitämään alipaineisena. (Paloniitty 2012, 7, 16–17.)

Vaipan ilmatiiviys vaikuttaa myös hyvään asumisviihtyvyyteen ja sisäilmaan. Vaipan ilmavuotojen takia kylmä ulkoilma voi aiheuttaa vedon tunnetta, joka on epämieluisaa. Ulkoilmasta tai rakenteista voi myös kulkeutua epäpuhtauksia tai haitallisia aineita sisäilmaan aiheuttaen jopa terveyshaittariskejä. Rakennuksen ulkovaipan ilmatiiviys on tärkeää myös kustannuksien kannalta. Rakennukseen pääsee kylmää ulkoilmaa vuotoreittien kautta aiheuttaen lisäkustannuksia lämmityksessä. (Paloniitty 2012, 7.)

Täytyy muistaa, että rakenteen ilmatiiviys ei tarkoita sen tiiviyttä. Rakenteen tiiviys on vesihöyryn liikkumista molekyylitasolla rakenteen lävitse eli vesihöyryn diffuusiota. Ilmatiiviys taas tarkoittaa rakenteen kykyä estää ilman kulkeutumista rakenteen läpi eli sitä mitattaessa otetaan selvää ulkovaipan läpimenevistä ilmavirtauksista. (Paloniitty 2012, 12–13.)

4 Mittausten teoriaa

4.1 Tiiviysmittaus

Rakennuksen ulkovaipan ilmatiiviys vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen (RT 80-10974 2009, 3). Energiatehokkuus koostuu rakennuksen käyttöön tarvittavasta energiatarpeesta (RT 10-11251 2017, 28). Nykypäivänä kiinnitetään yhä enemmän huomiota rakennusten energiatehokkuuteen ja sen

parantamiseen. Jokaisesta uudisrakennuksesta tulee toimittaa energiaselvitys ja -todistus rakennusvalvonnalle tarkastettavaksi. Näitä varten tarvitaan ilmanvuotoluku q_{50} , joka saadaan tiiviysmittauksen avulla. (Paloniitty 2012, 16.) Tiiviysmittaus on rakennuksen ulkovaipan ilmatiiviyttä tarkasteleva koe. Mittaus tehdään aina uudiskohteeseen, koska se on pakollinen toimenpide nykypäivänä. Tiiviysmittauksella voidaan uudiskohteiden lisäksi tarkastella myös korjauskohteiden ilmapuotoja ennen ja jälkeen korjauksen. Näiden lisäksi tiiviysmittaus voidaan suorittaa myös käytössä oleviin rakennuksiin niiden energiakatselmuksen tai -todistuksen tekemisen yhteydessä. (RT 80-10974 2009, 3.)

Rakentamisen laadunvarmistamiseksi tiiviysmittaus olisi hyvä tehdä uudisrakennuskohteessa ensimmäisen kerran heti ulkovaipan tiivistämisen jälkeen. Tällä tavalla havaitaan, onko rakennuksen ulkovaipassa ilmapuotoja ennen sen valmistumista. Jos mittauksesta saatu ilmanvuotoluku on kohteen suunnitteluarvoa huonompi tai ulkovaipassa havaitaan ilmapuotoja, vaipparakenteita pystytään vielä tiivistämään lisää. Lisätiivistäminen on tällöin edullisempaa, sillä sisäpuolen pintarakenteet vielä puuttuvat. Tämän jälkeen kohteeseen tehdään vielä uusintamittaus, jotta mittaustulokset olisivat kohteen suunnitteluarvon mukaisia. (RT 80-10974 2009, 12.)

Nykypäivänä uudisrakennuskohteiden ulkovaipan ilmanvuotoluku täytyy olla alle $4 \text{ (m}^3 / (\text{h m}^2))$. Arvo voidaan kuitenkin ylittää, jos rakennuksen rakenteelliset ratkaisut huonontavat huomattavasti ilmatiiviyttä. Rakentamismääräyskokoelman D3-osion kohdassa 2.5.8 kirjoitetaan: *”Kosteusteknisen turvallisuuden, hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta tulisi rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} olla enintään $1 \text{ (m}^3 / (\text{h m}^2))$ ”*. (Ympäristöministeriö 2012, 10, 14.) Paloniitty on muodostanut kyseisiä määräyksistä seuraavan raja-arvotaulukon (Taulukko 6) (Paloniitty 2012, 22).

Ilmanvuotoluku q_{50}	Selite
>4	Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut
≤4	Minimivaatimus kaikille uudisrakennuksille
2	Laskennassa käytettävä vertailuarvo eli määräysten mukainen rakennus
≤1	Määräysten suositusarvo

Taulukko 6. Ilmanvuotoluku q_{50} raja-arvotaulukko. (Paloniitty 2012, 22.)

Suomessa käytetään ilmatiivyyden mittauksessa SFS-EN ISO 9972 -standardin esittämää mittausmenetelmää 2. Tässä mittausmenetelmässä kaikki ilmanvaihtokoneen poisto- ja tuloilmakanavat sekä muut rakennusvaipan läpäisevät läpiviennit tukitaan tiiviisti. Lisäksi kohteen väliovet on oltava auki mittauksen aikana. (SFS-EN ISO 9972, 2015, 10–12.)

Ulkovaipan tiivistämisellä tarkoitetaan ilmanvaihtokanavien tai muiden ulkovaipan läpivientien tukkimista tiiviisti, jotta vuotoilma ei pääse rakennuksen sisälle aiheuttamaan virheellisiä mittaustuloksia. Läpivientien tiivistämisessä käytetään usein ilmalla täytettäviä kumipalloja ja teippiä. Laajemmissa aukoissa voidaan käyttää muovia, jonka saumat teipataan tiiviisti. Ilmanvaihtojärjestelmän tiivistäminen käsin voidaan toteuttaa joko rakennuksen sisä- tai ulkopuolelta. Rakennuksen tiivistäminen sisäpuolelta tapahtuu tukkimalla pääteventtiilit tai IV-koneen poisto- ja tuloilmakanavat. Ulkopuolelta tiivistäminen tehdään tukkimalla ulko- ja jäteilmakanavat rakennuksen katolta käsin. Paloniityn mukaan ilmanvaihtojärjestelmä tulisi tukkia ensisijaisesti rakennuksen ulkopuolelta, jos se on mahdollista. Tällä tavalla voidaan samalla tutkia, onko ilmanvaihtoputkissa ilma- vuotoja. (Paloniitty 2012, 44–45.)

Tiiviysmittaus toteutetaan paine-eron avulla, joka saadaan aikaiseksi rakennuksen sisä- ja ulkoilman välille mittaukseen tarkoitetun puhaltimen avulla. Rakennusvaipan tiivistämisen jälkeen puhallin asennetaan rakennuksen ulko-oven karmiin tai vaihtoehtoisesti avattuun ikkunaan. Paine-ero voidaan saada aikaiseksi myös tarpeeksi tehokkaan ilmanvaihtokoneen avulla.

Tiiviysmittaukseen tarvittavan paine-eron ylläpitämiseen tarvitaan oikeanlainen ilmamäärä, joka mitataan kyseisen puhaltimen tai ilmanvaihdon avulla. Paine-ero mitataan pascaleina [Pa] ja mittaus suoritetaan eri paine-eroilla. Eri paine-erojen aikana mitatut ilmavirtaukset merkitään laskentaohjelmaan ja niiden avulla ohjelma laskee kohteen vuotoilmakäyrän. Vuotoilmakäyrän avulla saadaan 50 pascalin paine-eroa vastaava ilmamäärä Q_{50} . Kyseisen ilmamäärän avulla voidaan laskea energiaselvitykseen tarvittavat ilmanvuotoluvut n_{50} (kaava 1) ja q_{50} (kaava 2). Tiiviysmittauksesta lähetetään tilaajalle tiiviysmittausraportti. Kyseinen raportti toimii ns. tiiviystodistuksena rakennusvalvonnalle. (Paloniitty 2012, 14, 29, 63.)

$$n_{50} = Q_{50} / V \quad \text{(kaava 1)}$$

n_{50} = Rakennuksen ilmavuotoluku 50 pascalin paine-erolla [1/h]

Q_{50} = Ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla [m^3/h]

V = Kohteen sisätilavuus [m^3]

$$q_{50} = Q_{50} / A \quad \text{(kaava 2)}$$

q_{50} = Rakennuksen ilmavuotoluku 50 pascalin paine-erolla [$m^3 / (h m^2)$]

Q_{50} = Ilmavirtaus 50 pascalin paine-erolla [m^3/h]

A = Kohteen ulkovaipan pinta-ala

Tiiviysmittaukseen sisällytetään rakennuksen tilat, jotka ovat rakennusvaipan sisäpuolella. Näitä tiloja voivat olla rakennuksen lisäksi autotallit, tekniset tilat, varastot sekä kellarit. Mittaus voidaan toteuttaa myös osina, jolloin se rajautuu yleensä palo-osastoinnin mukaan. (RT 80-10974, 2009, 12.) Osastointikohtaisesta mittauksesta ei yleensä saada yhtä hyviä tuloksia kuin rakennuksen ulkovaippaan ulottuvalla mittauksella. Tämä johtuu usein osastointien epäonnistuneesta ilmatiivystyksestä. (Paloniitty 2012, 39.)

Fysikaaliset tekijät voivat vaikuttaa mittaustulosten luotettavuuteen. Tämän takia standardin SFS-EN ISO 9972 kohdan 5 mukaan mittauksia ei suositella tehtäväksi, jos mittausajankohtana tuulen nopeus ylittää 6 m/s tai arvon 3 Beauforttaulukossa. Tämän lisäksi rakennuksen sisä- ja ulkoilman lämpötilaerot voivat vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Ulko- ja sisälämpötilojen erotus kelvineinä kerrottuna kohteen huonekorkeudella ei saa ylittää arvoa 250 mK. (SFS-EN ISO 9972 2015, 9.) Jos arvo ylittyy, rakennuksessa ilmenee liiallista savupiippuilmämiötä (Paloniitty 2012, 37).

Rakennuksen paineistamiseen voidaan käyttää tiiviysmittauksiin sertifioitua puhallinta (kuva 4). Kyseinen puhallin on osa tiiviysmittauslaitteistoa. Tämän puhaltimen avulla saadaan selvästi tarkemmat tulokset, jos sitä verrataan rakennuksen omaan ilmanvaihtojärjestelmään. Tämän takia tiiviyden mittaus tulisi toteuttaa kyseisillä kaupallistetuilla tuotteilla. Puhaltimien valinnassa täytyy ottaa huomioon sen käyttöalue (m^3/h). Isommissa kohteissa tarvitaan suuria ilmamääriä, joten yksi puhallin ei välttämättä riitä. Tämän takia mittauksessa joudutaan käyttämään suurempaa tai useampaa puhallinta. Isoissa puhaltimissa pienien ilmamäärien mittaaminen voi olla haastavaa. Ongelman ohittamiseksi valmistajat ovat kehittäneet puhaltimen aukkoon kuristusrenkaita (kuva 5), joiden avulla ilmamääriä saadaan mitattua tarkemmin. (Paloniitty 2012, 30–32.)



Kuva 4. Tiiviysmittauspuhallin, Retrotec 5000.



Kuva 5. Retrotec 5000-puhaltimen kuristusrengassarja.

Puhaltimen valintaan tarvitaan kohteen ilmatiiveysvaatimus sekä sen ilmatilavuus V ja vaipan pinta-ala A . Ilmatilavuus V lasketaan siten, että mittauskohteen sisämittojen pinta-ala kerrotaan huonekorkeudella. Vaipan pinta-ala A muodostuu ulkoseinien sisämitoista sekä ylä- ja alapohjan alasta, joihin sisältyy myös vaipan läpäisevät aukot. Kaavoilla 3 ja 4 voidaan laskea puhaltimelta tarvittava ilmamäärä mittausta varten. (Paloniitty 2012, 35, 50.)

$$Q = q_{50,arvioitu} \times A$$

Kaava 3

Q = Puhaltimelta tarvittava ilmamäärä [m^3]

$q_{50,arvioitu}$ = Arvioitu ilmanvuotoluku [$m^3/(h \cdot m^2)$]

A = Vaipan pinta-ala [m^2]

$$Q = n_{50,arvioitu} \times V$$

Kaava 4

Q = Puhaltimelta tarvittava ilmamäärä [m^3]

$n_{50,arvioitu}$ = Arvioitu ilmanvuotoluku [$1/h$]

V = Kohteen ilmatilavuus [m^3]

Tiiviysmittauslaitteisto (kuva 6) koostuu ilmamäärää mittaavasta puhaltimesta, oveen tai ikkunan karmiin asennettavasta kehikosta, mittausaukon tiivistävästä peitosta, paine-eromittausyksiköstä, ohjausyksiköstä, paine-eroletkuista, virtajohdoista sekä valmistajan omasta tietokoneohjelmasta. Tiiviysmittauksen voi myös suorittaa ilman tietokoneohjelmaa, mutta laitteisto on suunniteltu toimimaan kyseisen ohjelman kanssa. Mittauksen esivalmistelujen jälkeen käynnistetään tietokoneohjelma, joka aloittaa automaattisesti mittauksen ohjaamisen. Ohjauksen lisäksi ohjelma tekee käyttäjälle tarvittavat laskelmat sekä luo mittausraportin. (Paloniitty 2012, 30, 34.)

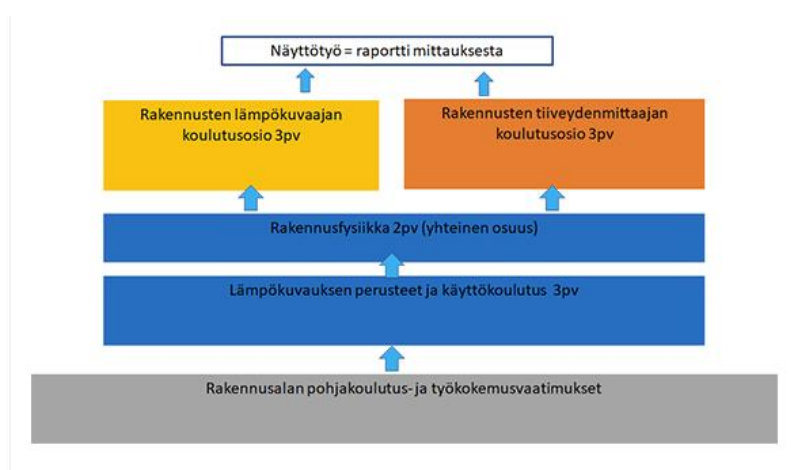


Kuva 6. Tiiviysmittauslaitteisto.

Tiiviysmittauslaitteistot tulee kalibroida säännöllisesti. Valmistajat määrittelevät yleensä kalibrointivälin. Jos valmistaja ei ole ilmoittanut kalibrointiväliä, tulisi painekoelaitteistot sekä virtaus- ja paine-eromittarit kalibroida 2 vuoden välein. Lämpötila-anturit taas kalibroidaan 4 vuoden välein. (RT 80-10974 2009, 13.) Tiiviiden mittaja on vastuussa laitteiden kalibroinnista ja niiden toiminnasta sekä hänen on myös näytettävä tarvittaessa kalibrointitodistus tilaajalle, jos tilaaja sitä vaatii. Mittauslaitteiden toimivuutta voidaan tarkastella viikoittaisella paine-eroyksiköiden kenttätestauksella. Testauksen avulla saadaan selville, onko laitteisto kunnossa. Kenttätestauksessa paine-eroletku yhdistetään kahden paine-eroyhteeseen. Laitteisto on kunnossa, jos paine-ero kummassakin yhteissä on sama. Jos tämä ei toteudu, laitteisto on epäkunnossa. (Paloniitty 2012, 57.)

4.2 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvaajalla tulee olla voimassa oleva lämpökuvaajan sertifiikaatti. Sertifiikaatin voi hankkia itselleen lämpökamerakuvaajan koulutuksella, joka kestää n. 5–8 päivää. Lämpökuvaajan koulutukseen sisältyy mm. laitteistoihin, la-keihin, rakennusfysiikkaan, sopimukseen ja raportointiin liittyviä asioita. Kuvassa 7 on kuvattuna lämpökuvaajan koulutuksen rakenne. Lämpökamerakuvaajan koulutus täyttää ISO 6781-3:2015 vaatimukset, kun henkilöllä on käytynä rakennusalan AMK tai vastaava tutkinto. Tämän lisäksi työkokemus tulee todentaa kolmepäiväisellä lämpökameran käyttökoulutuksella. Kun edellä mainitut kriteerit täyttyvät, henkilö voi osallistua rakennusfysiikan ja lämpökuvaajan koulutusosioon. Henkilö voi työskennellä lämpökamerakuvaajana, kun näyttötyö on hyväksytyksi suoritettu. Tiiviysmittaukselle on myös oma kolmen päivän mittainen koulutus, jonka jälkeen henkilö voi toimia tiiviysmittaajana. (Eurofins Expert Services 2024.)



Kuva 7. Lämpökuvaajan koulutuksen koostumus. (Eurofins Expert Services 2024.)

Lämpökamerakuvaus aloitetaan valmistelutoimenpiteillä, jotka aloitetaan vuorokautta ennen lämpökuvauksen ajankohtaa. Lämpökamerakuvauspäivän ja sitä edeltävän päivän säätiedot tulee kirjata ylös. Muita kirjattavia asioita ovat kuvausetäisyys, pinnan emissiokerroin, tilan lämpötila sekä kosteuspitoisuus. Lämpökamerakuvaamisen ajankohta tulee valita sääolosuhteiden mukaan. Tuulen nopeus saa lämpökamerakuvaamisen aikana olla enintään 10 m/s, jotta

kuvauksella voidaan saada luotettavia tuloksia. Aurinko ei saa lämmittää kohdetta viimeiseen 12–24 tuntiin riippuen kohteen rakennusmateriaalista. (Palo­niitty 2016, 4, 68.)

Lämpökamerakuvaus suoritetaan samaan aikaan, kun rakennus paineistetaan tiiviysmittausta varten. Paine-erona käytetään 50 pascalin alipainetta. Tällöin saadaan hyvin selville mahdollisia ilmanvuotokohtia. Laadunvalvonnassa käytettävän lämpökuvauksen minimitarkkuus on 30 000 pikseliä, kun lämpötilaero on vähintään 15 °C. Yleinen lämpökameran kuvausetäisyys on 2–4 metriä ja kuvaus kannattaa suorittaa mahdollisimman kohtisuoraan kuvattavaan pintaan nähden. Tällä tavalla saadaan tarkempi mittaustulos. (Paloniitty 2016, 4.)

4.3 Sisäilman mittaustarkastelu

Epäilykset liiallisista haihtuvista orgaanisista yhdisteistä sisäilmassa alkavat, kun sisäilmassa ilmenee poikkeavia hajuja tai käyttäjillä todetaan siihen liittyviä oireita. Oireiden sekä hajujen pohjalta voidaan suorittaa mittaus, jossa tutkitaan VOC-yhdisteiden pitoisuutta sisäilmassa. Tämän tutkimuksen pohjalta ei voida suoraan todeta mahdollista sisäilmahaittaa tai -vauriota, mutta sen pohjalta voidaan aloittaa lisätutkimukset ja rakenneavaukset. VOC-tutkimus ei kuitenkaan kata kaikkia kaasumaisia epäpuhtauksia, joihin käyttäjät voivat reagoida. (Ympäristöministeriö 2016, 33.)

VOC-pitoisuuksia mitataan niihin soveltuvilla laitteilla ja mittaushetkenä käytetään VOC-yhdisteiden kokonaisarvoa TVOC. TVOC-arvo ei siis erittele eri VOC-yhdisteitä, vaan sillä saadaan selville niiden yhteismäärä. Sen avulla kartoitetaan korjaustoimenpiteiden tarve. Korjaustoimenpiteitä varten olisi hyvä selvittää myös yksittäisten VOC-yhdisteiden määrä, sillä sen avulla voidaan paikallistaa epäpuhtauden aiheuttaja. TVOC-arvon mittauksessa käytetään yksikköä mikrogrammaa kuutiosta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Puhakka 1996, 31–34.) Ennen VOC-mittausta rakennuksen ilmanvaihdon tulee toimia normaalissa tilassa ja korvausil­maventtiilien tulee olla auki. Rakennuksessa oleva toiminta ei myöskään saa

poiketa normaalista tilanteesta eli esimerkiksi pintarakenteita ei saa avata sekä ikkunat pyritään pitämään kiinni. (Sisäilmayhdistys 2008, 66–67.)

Sisäilman epäpuhtaudet voidaan mitata erilaisilla TVOC-sensoreilla. Kyseiset sensorit asetetaan mittauskohteeseen, jossa ne keräävät dataa sisäilman TVOC-pitoisuudesta. Tarkemmat VOC-pitoisuustutkimukset toteutetaan kuitenkin vain laboratoriossa. Laboratoriossa tutkittava ilmanäyte otetaan siihen tarkoitetulla pumpulla tai diffuusiokeräimen avulla. Ilmanäyte otetaan Suomessa yleensä pumpulla. Pumppu kerää ilmanäytettä n. 50–200 millilitraa minuutissa ja sitä suositellaan kerättäväksi 8–12 litraa. Näytteenottoaikana ja sitä ennen mittaaja ei saa käyttää hajusteita, syödä purukumia, käyttää nikotiinituotteita tai muuta vastaavaa, koska nämä vaikuttavat negatiivisesti mittaustuloksiin. (Ympäristöministeriö 2016, 70.)

Mittauspaikka valikoituu huoneesta, jossa esiintyy eniten epäpuhtauksia. Ilmanäyte otetaan tilan keskeltä ja noin metrin korkeudelta. Mittauksessa otetaan vertailunäyte vastaavanlaisesta tilasta, jos tämä on mahdollista. (Sisäilmayhdistys 2008, 67.) Vertailunäytteet voivat olla merkittäviä apuvälineitä mittauksen onnistumiselle. Vertailunäytteen lisäksi tuloksien tarkastelussa on huomioitava mittausepä-tarkkuus. (Ympäristöministeriö 2016, 69.) VOC-arvojen mittauskalustot tulee kalibroida valmistajien ohjeiden mukaisesti. Kalibroinnin voimassaolo-aika on tarkastettava aina ennen mittauksia. Mittausajan olosuhteet pitää merkitä ylös erilliseen mittauspöytäkirjaan ja mittauspaikat merkitään kohteen pohjapiirustukseen. (Sisäilmayhdistys 2008, 67.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (545/2015, STM) esitetään huoneilman VOC-yhdisteiden tolueenivasteella lasketuksi toimenpiderajaksi $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asetuksessa esitetään myös yksittäisen VOC-yhdisteen tolueenivasteella laskettu toimenpideraja, joka on $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asetuksesta löytyy myös tiettyjen yhdisteiden toimenpiderajat. Esimerkiksi naftaleeniyhdisteen hajua ei saa esiintyä ollenkaan ja sen pitoisuus sisäilmassa tulee olla alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tämän lisäksi styreeniä saa esiintyä sisäilmassa maksimissaan $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sisäilmäyhdistyksen mukaan (taulukko 7) sisäilmassa olevat haihtuvat orgaaniset yhdisteet eivät aiheuta oireilua, kun TVOC-pitoisuus on alle 200 µg/m³. Rakennuksen käyttäjien oireilut voivat alkaa, kun TVOC-pitoisuus ylittää 200 µg/m³. Pahimmassa tapauksessa kyseiset epäpuhtaudet voivat aiheuttaa jopa myrkytysoireita. (Sisäilmäyhdistys 2008, 68.)

TVOC	<200 µg/m ³	Ei oireilua
TVOC	200-3000 µg/m ³	Oireilua voi esiintyä
TVOC	< 3000 µg/m ³	Epämiellyttävä olo
TVOC	>25000 µg/m ³	Myrkytysoireita

Taulukko 7. TVOC-pitoisuuden oireilurajat. (Sisäilmäyhdistys 2008.)

4.4 Kosteusmittaus

Kosteusmittauksilla kartoitetaan rakennusten eri rakenneosissa olevaa kosteuspitoisuutta. Kosteusmittausta varten on kehitetty monenlaisia menetelmiä ja laitteita erilaisiin mittauskohteisiin. Tyypillisimpiä mittausmenetelmiä ovat koepalamittaus, porareikämittaus, pintakosteusmittaus ja piikkimittaus. Mittausmenetelmän valintaan vaikuttaa moni eri tekijä (Taulukko 8). (RT 103333, 2021, 1–4.)

Vaikuttava tekijä	Porareikä	Näytepala	Jaksoittain luettava	Jatkuva seuranta
Soveltuu betonin kuivumisen seurantaan rakennusvaiheessa	x	x	x	x
Voidaan tehdä milloin vain mihin vain	x	x	(x)	(x)
Mittauspaikat valitaan ennen valua			(x)	(x)
Kuivumisen seurannan mittauskohdat voidaan valita kosteustapahtumien perusteella	x	x		
Suunnitelmamuutokset voivat aiheuttaa virhemahdollisuuksia (esimerkiksi tilamuutokset, kalusteasennukset ym. > väärä kohta, asennukset mittauksen tiellä)			x	x
Voidaan käyttää rakenteen pitkäaikaisen kosteuspuiteisuuden seuraamiseen	(x)		x	x
Mittausmenetelmä on työvaltainen mittausta aloitettaessa	x	x	(x)	(x)
Mittapää voidaan kalibroida mittausten välissä; saavutettavissa pieni mittauksen mittalaitte-epävarmuus	x	x	(x)	(x)
Oikean mittaussyvyyden saavuttaminen vaatii mittaajalta harjaantuneisuutta ja erityistä kokemusta		x		
Mittaustarkkuus ennen valua asennettaessa ei välttämättä toteudu haluttuna			x	x
Tavoitellusta poikkeava valupaksuus saattaa johtaa väärään mittaussyvyyteen			x	x
Mittaus on olosuhdeherkkä; lattialämmitys saattaa heikentää mittaustarkkuutta	x		x	x
Mittauksen voi helposti tehdä huonetilan lattiasta, seinästä ja katosta	x		(x)	(x)
Mittapiste saattaa vaurioitua mittausten aikana mekaanisesti	x		(x)	(x)
Ulkopuoliset tekijät, kuten sähkökatko, operaattorin muutokset tms. voivat aiheuttaa virheitä			(x)	(x)
Mittaaminen muusta kuin lattiasta yläkautta saattaa heikentää mitatustarkkuutta merkittävästi		x		

Taulukko 8. Kosteuden mittaustapaan vaikuttavia tekijöitä. (RT 103333, 2021, 4.)

4.4.1 Pintakosteusmittaus

Pintakosteusmittaus on rakenteita rikkomaton mittausmenetelmä, joka perustuu aineen sähkönjohtavuuteen. Toimintaperiaatteen takia mittaustuloksiin vaikuttaa rakenteissa oleva tekniikka kuten putket ja johdot. Pintakosteusmittausta tehdessä tulee huomioida mahdolliset muuttujat rakenteissa. Kyseistä mittaustapaa käytettäessä kannattaa verrata mittaustuloksia toisiinsa ja tehdä referenssimittaus, jotta mahdolliseen tulospoikkeamaan voidaan luottaa. Pelkkää pintakosteusmittausta ei kuitenkaan voida pitää luotettavana mittaustapana. Sen lisäksi tarvitaan vielä tarkempia mittausmenetelmiä, jos kartoitetaan rakenteiden korjauksen tarvetta. Yhtenä tarkempina menetelmänä on porareikämittaus. (Ympäristöministeriö 2016, 53–54.)

4.4.2 Piikkikosteusmittaus

Puun piikkikosteusmittaria käytetään mittaamaan puun kosteuspitoisuutta (kuva 8). Kyseisessä mittarissa on kaksi piikkiä, jotka painetaan puuhun. Piikit mittaavat materiaalin konduktanssia eli sähkönjohtavuutta piikkien välillä ja muodostavat näytölle arvon materiaalin kosteudesta painoprosenteina. Puun kosteus painoprosenteina voidaan laskea kaavalla 5. Mittarin avulla voidaan mitata useita erilaisia puulajeja. (Ympäristöministeriö 2016, 57–58.)



Kuva 8. Puun kosteuden mittaus piikkikosteusmittarilla. (Ympäristöministeriö 2016, 58.)

$$W = m_{\text{kostea}} - m_{\text{kuiva}} / m_{\text{kuiva}} * 100 \text{ paino-\%} \quad (\text{kaava 5})$$

m_{kostea} = näytteen paino kosteana

m_{kuiva} = näytteen paino kuivana

W = Näytteen kosteuspitoisuus painoprosenteina

Puun kosteutta voidaan mitata myös syvemmältä käyttäen apuna junta-anturia (kuva 9). Mittaus tapahtuu piikkien eli elektrodien päistä. Mittauksessa tulee huomioida puun syiden suunnan lisäksi kyllästysaineet ja suolan määrä puussa. Nämä tekijät voivat vaikuttaa tuloksiin. (Ympäristöministeriö 2016, 57.)



Kuva 9. Puun kosteusmittaus junta-anturilla.

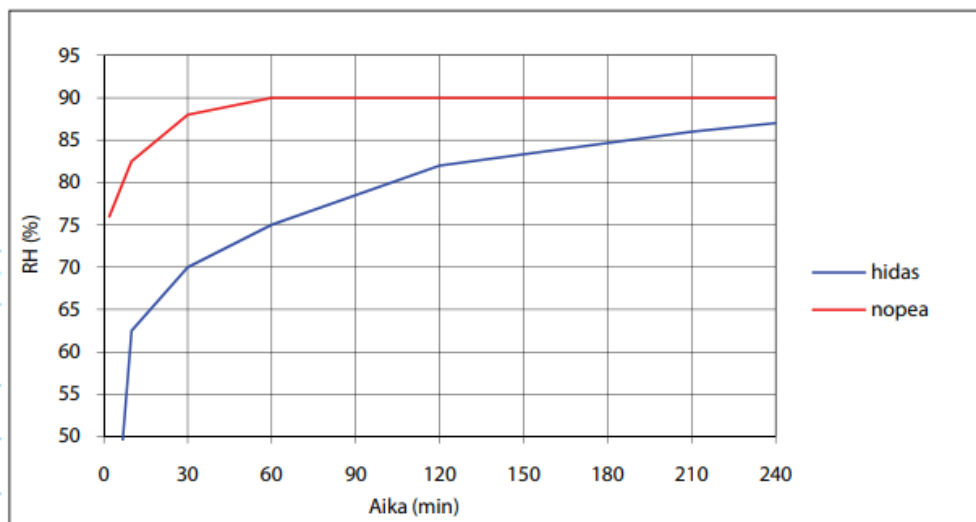
4.4.3 Porareikämittaus

Porareikämittausmenetelmässä voidaan tarkistaa poraamalla rakenteen kosteus halutusta syvyydestä. Porauksen jälkeen mittauspisteet putkitetaan, pudistetaan sekä tiivistetään. Tiivistys tapahtuu putken ja betonin saumasta sekä putken päästä (kuva 10). Laitteen mittapäässä sijaitseva kosteussensori mittaa materiaalin suhteellista kosteutta sekä lämpötilaa. (Ympäristöministeriö 2016, 53–55.)



Kuva 10. Porareikämittauslaite mittauksen aikana.

Mittausreikien tulee antaa tasaantua 2–3 vuorokautta, jonka jälkeen kosteus-sensorit asennetaan paikalleen. Tämän aikana porausreiän suhteellinen kosteus tasoittuu betonin kosteuden kanssa. Mittausten jälkeen poratut reiät tuki-taan. Porareikämittauksia tehdään määrällisesti sen mukaan, kuinka laajasti ha-lutaan selvittää rakenteessa olevaa kosteutta. Mittauksessa saadaan selville ra-kenteen kosteusprofiili ja sitä käytetään apuna, kun halutaan selvittää raken-teessa olevan liiallisen kosteuden syy. (Ympäristöministeriö 2016, 53–55.) Mit-tauspää tarvitsee 1–3,5 tuntia aikaa tasoittua, jotta tuloksesta saadaan tar-peeksi luotettava (kuvio 2) (RT 103333, 2021, 6).



Kuvio 2. Sopiva porausmittauksen suhteellisen kosteuden mittausajankohta. (RT 103333, 2021, 6.)

4.4.4 Koepalamittaus

Koepalamittausmenetelmällä saadaan nopeasti selville tarkkoja tuloksia raken-teen suhteellisesta kosteudesta. Menetelmä on rakenteita rikkova ja sitä käyte-tään tyypillisesti rakentamisvaiheessa, kun halutaan saada selville luotettava tu-los rakenteen suhteellisesta kosteudesta seuraavia työvaiheita varten. Tyypilli-sin koepalamittauksen tarkoitus on mitata betonirakenteen riittävää kuivuutta lattiapäällystettä varten. Koepalamittauksessa tulee varoa rakenteessa olevaa tekniikkaa. Mittauksessa näyte suljetaan koeputkeen ja putken päähän kiinnitetään mittalaite tiiviisti. Mittalaitteesta riippuen näytteen annetaan olla

koeputkessa 5–12 tuntia. Koepalamittausmenetelmä soveltuu käytettäväksi rakenteen lämpötilan ollessa -20 °C - +80 °C välillä. (Ympäristöministeriö 2016, 53–55.)

4.5 Aistinvarainen saneerauksen tarkastelu

Aistinvaraisella tarkastelulla tutkitaan rakennuksen kuntoa rakenteita rikkomatta. Tämän takia kyseisellä tarkastuksella ei voida todeta rakenteissa piileviä vikoja, mutta sen avulla voidaan kuitenkin selvittää laajemman tutkimuksen tarpeellisuus. Tutkimuksessa voidaan avata mahdollisesti pilalle menneitä rakenteita, jotka on havaittu tarkastelussa. (RT 103097, 2019, 1.) Toimistotilojen sisäilmaongelmien kartoittaminen aistinvaraisesti on yleensä haastavaa ja sen takia työntekijöiden oireilut voivat aloittaa sisäilmaongelmien tutkinnan (Lahtinen, Lappalainen & Reijula 2005, 13). Tutkinta aloitetaan käyttäjäkyselylomakkeella, joka keskittyy tilojen turvallisuuteen, terveellisyteen sekä mahdollisten epäkohtien kartoittamiseen. Lomakkeen täyttäjinä toimivat kohderakennuksen käyttäjät, joilla on kokemusta kyseisen rakennuksen sisäilmasta. Käyttäjäkyselyllä voidaan parhaimmillaan ohjata tutkintaa oikeaan suuntaan. (RT 103097, 2019, 6.)

Aistinvaraisessa tarkastelussa tutkitaan mm. rakennuksen sisätilojen kuntoa näkö- ja hajuaisteilla. Sisätilassa tarkastellaan mm. rakennuksen pintojen kuntoa, ikkunoiden saumoja, märkätilojen mahdollisia irtolaattoja, vesikaivon saumojen kuntoa sekä märkätilan kaivolle päin tehtyjä kaatoja. (RT-103003, 2019, 7.) Hajuaistilla voidaan havaita mm. viemäreissä piilevät kosteusvauriot. Viemäriin kosteusvaurio voi syntyä esimerkiksi putkien epätiiviestä putkiliitoksista tai vesiputkien käyttöiän päättymisestä. Kyseiset kosteusvauriot aiheuttavat voimakkaita hajuhaittoja sisäilmaan. Hajuhaittojen altistumiseen liitetään mm. päänsärkyä, väsymystä, lihaskipuja sekä erilaisia nivelsairauksia. (Putus 2017, 130–131.)

Sisätilojen lisäksi rakennus tarkastellaan ulkopuolelta. Rakennuksen ulkopuolen tarkastelussa käydään läpi mm. ulkoseinän pintojen ja saumausten kunto, rakennuksen sisääntulon valaistus ja turvallisuus sekä tikkaiden ja

kattoturvalaitteiden toimivuus. (RT 103003, 2019, 9.) Jos jokin äskeisistä tarkastelukohteista vaarantaa tarkastajan turvallisuuden, tarkastusta niiltä osin ei tarvitse suorittaa. Esimerkiksi kattoturvaluotteiden tarkastusta ei voida suorittaa, jos katolle menevät tikkaat ovat vaurioituneet. Kyseiset vauriot tulee raportoida tilaajalle. (RT 103097, 2019, 8.)

5 Kohteen tiedot

Opinnäytetyön kohteena on korjausrakennettu Rantakylän kirjasto. Kohde on osana Rantakylän toimintakeskusta, joka rakennettiin tarjoamaan alueen asukkaille peruspalveluita. Kiinteistöön kuuluvat mm. yläkoulu, nuorisotila, kirjasto sekä liikuntahalli. Pataluodonkadulla 2 sijaitseva kiinteistö rakennettiin vaiheittain vuosina 1979–1981. Kohteemme valmistui vuonna 1981. Kirjasto toimii nykyään omatoimikirjastona, joten se on päivittäin auki 7.00–21.00. Kirjasto ja nuorisotila BOBO (kuva 11) kuuluvat samaan palo-osastointiin. Pohjapiirustuksessa keskellä näkyvä seinälinja rajaa nuorisotilan ja kirjaston. Tilojen tekninen tila sijaitsee rakennuksen katolla.

koska työntekijöiden oireet sisäilmasta jatkuivat. Kirjasto siirtyi Puronsuunkadulle ja nuorisotoimi Pataluodon koulun aulatiloihin. Viimeisin korjaustoimenpide koostuu n. 1190 m² alueesta ja tämä toteutettiin jaettuna urakkana. Hankkeen laskettu tavoitehintana oli karkeasti n. 1 200 000 € ilman arvonlisäveroja. Arvonlisäverojen kanssa hankkeen hinta olisi 1 488 000 €. Kyseinen tavoitehintana sisältää vain talotekniikasta syntyvät kustannukset. (Joensuun kaupunki 2021, 3, 17–18.)

Tuoreimmassa korjaushankkeessa keskityttiin toimintaan liittyviin muutostöihin sekä korjaustoimenpiteisiin ja tiivistyskorjauksiin, jotka vaikuttavat sisäilman laatuun. Samalla kohteen talotekniikka uusittiin. Korjausvaatimukset rakennustekniikasta olivat mm. WC-tilojen pintojen, kirjaston asiakaspalvelutiskin sekä hätäpoistumistien uusiminen. Tämän lisäksi osa väliseinistä purettiin ja ovet vaihdettiin äänieristäviin oviin. Näiden lisäksi kohteen talotekniikka oli vanhentunutta ja sen toiminta epävakaa. Tästä syystä talotekniikka uusittiin nykypäiväisten määräyksien mukaisiksi. Sen korjausta mietittiin jo vuonna 2013, mutta silloin se siirrettiin myöhemmäksi. Hankkeessa uusittiin kaikki pysyvät vesikalusteet, lattiakaivot ja käyttövesiputket. Entinen ilmanvaihtokone poistettiin ja tilalle asennettiin kolme uutta IV-konetta. Koneet jakautuvat kirjastoon, nuorisotilaan ja likaisiin tiloihin. Kohteen sähköistys ja valaistus uusittiin lähes kokonaan ulkovalaistusta lukuun ottamatta. (Joensuun kaupunki 2021, 11–15.)

6 Saneerauskohteen tarkastelut ja mittaukset

6.1 Tiiviysmittaus

Ennen varsinaista mittausta teimme tarvittavat oheismittaukset sekä tiiviysmittauksen esivalmistelut. Oheismittauksiin lukeutuu kohteen sisä- ja ulkolämpötilan mittaaminen sekä tuulen suunnan ja sen voimakkuuden merkitseminen (kuva 12). Näiden lisäksi otimme mittaukseen kohteen lähimmän sääaseman antaman ilmanpaineen (kuva 13).

16.00		-1°		1 (4)	Tuntuu kuin -1° Pilvistä ja poutaa	65%	0 cm < 10%
17.00		-1°		1 (3)	Tuntuu kuin -1° Melko pilvistä ja poutaa	62%	0 cm < 10%
Sateen todennäköisyys 18-06							< 10%
18.00		-1°		1 (3)	Tuntuu kuin -1° Melko pilvistä ja poutaa	64%	0 cm < 10%
19.00		-3°		1 (3)	Tuntuu kuin -3° Melko pilvistä ja poutaa	70%	0 cm < 10%
20.00		-4°		2 (2)	Tuntuu kuin -6° Melko pilvistä ja poutaa	75%	0 cm < 10%
21.00		-4°		2 (3)	Tuntuu kuin -7° Melko pilvistä ja poutaa	78%	0 cm < 10%

Kuva 12. Tuulen nopeus ja kohteen ulkolämpötila. (Foreca, 2024.)

-2,7 °C



Tuntuu kuin -3°

Havaintoasema: Joensuu Linnunlahti ▼

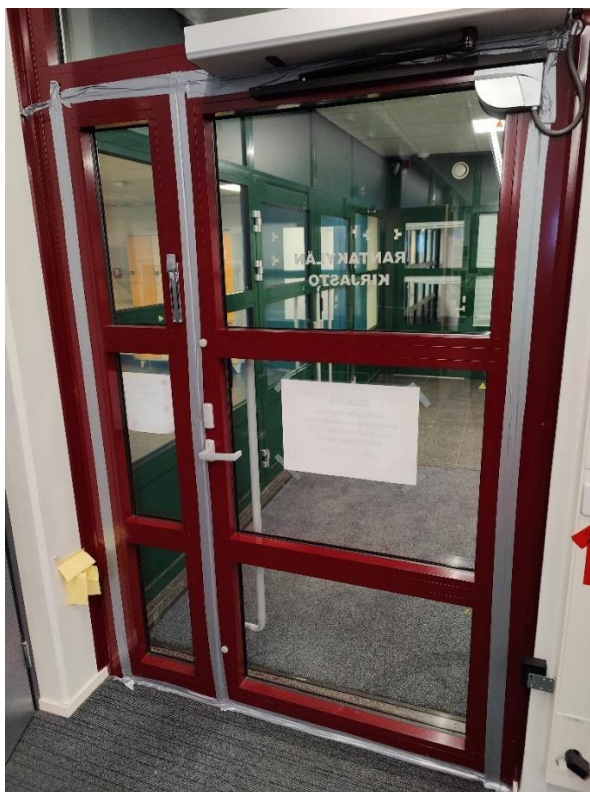
Havaintoaika: 26.3. klo 11.00

Pilvistä ja poutaa	
Ilmanpaine	1011.3 hPa
Suht. kosteus	72%
Kastepiste	-7°

Kuva 13. Lähimmän sääaseman antama ilmanpaine. (Foreca, 2024.)

Mittauksen esivalmistelun aikana laskimme kohteen ilmatilavuuden, lattia-pinta-alan, sekä ulkoilmaa vasten olevien seinien pinta-alan. Näiden perusteella saimme tiiviysmittausohjelmistoon syötettävät kohteen tilavuuden ja vaipan pinta-alan. Kyseisten arvojen laskeminen suositellaan tekemään kahteen kertaan eri henkilön toimesta, jotta välttyttäisiin mahdollisilta laskentavirheiltä (Palo- niitty 2012, 50). Oleellisin osa esivalmistelussa on rakennusvaipan tiivistäminen. Kohteen ilmanvaihtokone saatiin suljettua Joensuun kaupungin toimesta sekä samalla tulo- ja poistoilmakanavat tiivistettiin sulkupelleillä. Muut mahdolliset il- mavuotopaikat tiivistettiin teippiä käyttäen. Näitä olivat mm. osastoivan oven saumojen tiivistäminen (kuva 14), kirjaston palautusluukun tiivistäminen (kuva 15) sekä liesituulettimien poistoilmakanavien tiivistäminen (kuva 16). Kohteessa sijaitsee mittauksien ulkopuolelle jäävä väestönsuoja, joten tiivistimme suojan muusta kohteesta ylivuotoventtiilien avulla (kuva 17). Vuotoilmaa syntyy myös viemärien kautta, joten tämän estämiseksi täytimme jokaisen viemärin vesilukon vedellä (kuva 18). Ennen mittauksia oli tarkastettava, että kaikki kohteen väliovet

ovat varmasti auki. Väliovia ei saa mittausten aikana sulkea, koska tämä häiritsee mittaustuloksia.



Kuva 14. Osastoivan oven tiivistäminen.



Kuva 15. Kirjaston palautusluukun tiivistäminen.



Kuva 16. Liesituulettimen poistoilmakanavan tukkiminen.



Kuva 17. VSS ylivuotoventtiilien sulkeminen.



Kuva 18. Viemärikaivon vesilukon täyttäminen.

Oheismittauksien ja esivalmistelujen jälkeen aloitimme mittalaitteiden optimaalisen sijoittamisen sekä asentamisen. Tiiviysmittauslaitteistona meillä toimi Retrotec 5000 -laitteisto ja se asennettiin nuorisotalon ulko-oveen, sillä se oli eniten tuulelta suojassa (kuva 19). Mittausaukon valinnan jälkeen aloimme mallintamaan asennuskehikkoa sekä tiiviyspeittoa (kuva 20). Tiivistimme mittausaukon epätasaisuudet talotiivisteellä, jotta ilma ei pääsisi niiden kautta kulkemaan (kuva 21).



Kuva 19. Mittalaitteen asennusaukko.



Kuva 20. Kehikon ja tiiviyspeiton mallintamista.



Kuva 21. Aukon tiivistämistä talotiivisteellä.

Kehikon ja tiiviyspeiton asentamisen jälkeen kiinnitimme puhaltimen peitossa olevaan aukkoon (kuva 22). Puhaltimeen kiinnitimme virtajohdon (kuva 23), paine-eroletkun sekä lataus- ja ohjauspiuhat (kuva 24). Ohjausyksikön liitimme puhaltimeen paine-eroletkun sekä lataus- ja ohjauspiuhan avulla. Ohjausyksiköstä lähti myös toinen paine-eroletku, jonka vedimme tiiviyspeitossa olevan reiän läpi rakennuksen ulkopuolelle (kuva 25). Tämä letku mittasi rakennuksen ulkopuolisen ilman painetta. Letkun tulisi olla samalla tasolla sisäilman painemittarin kanssa sekä sen päähän olisi hyvä asentaa t-haara, jotta tuuli ei pääsisi aiheuttamaan painevaihtelua (kuva 26).



Kuva 22. Puhallin asennettuna paikalleen.



Kuva 23. Virtajohto asennettuna puhaltimeen.



Kuva 24. Paine-eroletkun, lataus- ja ohjauspiuhan asennus.



Kuva 25. Ulkoilman painetta mittaava putki läpäisee tiiviyspeiton.



Kuva 26. Ulkona mittauspisteen läheisyydessä sijaitseva t-haarainen paineputki.

Tiiviyssmittauslaitteiston asentamisen jälkeen aloitimme ns. manuaalisen ajon. Kyseisessä toimenpiteessä aiheutimme puhaltimella sisäilmaan 50 Pa paine-ero manuaalisesti puhaltimen kyljessä olevasta säätimestä. Tämän avulla selvitimme, saadaanko puhaltimella riittävä alipaine rakennukseen ja millä kuristusrenkailla mittaus tehdään. Manuaalisen ajon aikana tutkimme, onko ulkovaipan tiivistyksessä onnistuttu. Tämän aikana suoritimme kohteelle myös lämpökuvauksen. Luotettavien tulosten saamiseksi mittajaan tulee valita kohteelle oikeanlaiset kuristusrenkaat ja syöttää ne laskentaohjelmaan (Paloniitty 2012, 50–51).

Tiiviyssmittaus voitiin aloittaa manuaalisen ajon jälkeen. Varsinaisen mittauksen alussa mittasimme kohteen lähtöpaineen sekä kirjasimme tämän laitteistovalmistajan tietokoneohjelmaan. Lähtöpaine saatiin sulkemalla puhaltimen aukko sille tarkoitetulla suojalla (kuva 27). Tällä toimenpiteellä tarkastellaan tuulen sekä savupiippuvaikutuksen aiheuttamaa sisä- ja ulkoilman paine-eroa (Paloniitty 2012, 51). Tietokoneohjelma laskee lähtöpaine-eron useampaan kertaan muutaman sekunnin mittausarjana, joiden pohjalta se laskee keskiarvon. Kyseinen arvo ei saa kuitenkaan ylittää 5 pascalin paine-eroa. Jos 5 pascalin paine-ero ylitetään, on kohteelle tehtävä myös ylipainemittaus (Paloniitty 2012, 51). Meidän lähtöpaineemme eivät ylittäneet 5 pascalin paine-eroa, joten emme tehneet ylipainemittausta.

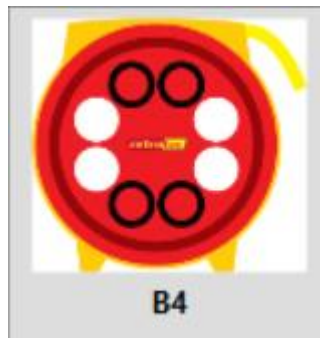


Kuva 27. Puhaltimen aukko tiivistetty.

Lähtöpaine-eromittauksen jälkeen poistimme puhaltimessa olevan suojan ja aloitimme varsinaiset paine-eromittaukset. Kohteen mittauspaineiksi valitsimme kuusi eri paine-eroa. Nämä olivat 10 Pa, 20 Pa, 30 Pa, 40 Pa, 50 Pa ja 60 Pa. Mittauspaineet voidaan valita vapaasti, mutta suurimman paine-eron on oltava vähintään 50 pascalia. Tämän lisäksi mittaus on suoritettava vähintään viidellä eri paine-erolla tasaisin väliajoin. (Paloniitty 2012, 51–52.) Mittauksen aikana puhallin mittasi jokaisen paine-eron saavuttamiseen vaaditun ilmamäärän ja lähetti sen tietokoneohjelmaan. Ilmavirtauksien määrittämisessä käytimme mittauksissa kolmea eri kuristussarjaa. B2-sarjaa (kuva 28) käytettiin 10 pascalin paine-erossa, B4-sarjaa (kuva 29) käytettiin 20 Pa, 30 Pa ja 40 Pa paine-eroissa ja B8-sarjaa (kuva 30) 50 Pa ja 60 Pa paine-eroissa.



Kuva 28. B2-kuristussarja.



Kuva 29. B4-kuristussarja.



Kuva 30. B8-kuristussarja.

Puhallussarjojen jälkeen mittasimme loppupaineen. Loppupaineen mittauksessa teimme samat toimenpiteet kuin alkupaineen mittauksessa. Jos alku- ja loppupaineen paine-ero ovat yli 5 pascalia, mittaustulokset ovat etäpätevät (Palmi 2012, 52). Alku- ja loppupaineet olivat yhteneväiset, joten pystyimme käyttämään tuloksia jatkolaskelmissa. Tietokoneohjelma laski onnistuneiden puhallussarjojen sekä alku- ja loppupainemittausten pohjalta ilmanvuotokäyrän, josta nähdään kohteen ilmanvuotoluku q_{50} . Tiiviysmittauksen tuloksien pohjalta laadimme raportin (liite 1), jossa nähdään lopullinen ilmanvuotoluku q_{50} ja n_{50} . Taulukosta 9 nähdään kohteemme ilmavirtaus 50 Pa (m^3/h) paine-erossa,

ilmanvuotoluku n_{50} (1/h) sekä ilmanvuotoluku q_{50} (m^3/hm^2). Epävarmuusprosentti ilmanvuotoluvuissa on $\pm 2,7\%$.

Yhdistetyt tulokset	Arvo	Vaihteluväli		Epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	1846,0	1802,0	1893,0	+/-2,5%
Ilmanvuotoluku N_{50} [1/h]	0,52	0,5101	0,5380	+/-2,7%
Ilmanvuotoluku qE_{50} [m^3/hm^2]	0,7782	0,758	0,799	+/-2,7%

Taulukko 9. Tiiviysmittauksesta saadut ilmanvuotoluvut.

6.2 Lämpökamerakuvaus

Suoritimme lämpökamerakuvauksen kohteeseen 26. päivä maaliskuuta kello 16.00–19.00 välillä. Teimme valmistelutoimenpiteet ennen lämpökamerakuvausta, joita olivat mm. säätietojen merkitseminen kuvausta edeltävänä päivänä, emissiokertoimen määrittäminen sekä kohteen sisälämpötilan ja kosteuspitoisuuden mittaaminen (kuva 31).

Lämpökamerana käytimme FLIR 76 lämpökameraa, jonka IR-resoluutio on 76 200 pikseliä. Lämpökamera täyttää siis laadunvalvonnassa käytettävän kameran minimitarkkuuden, joka on 30 000 pikseliä. Kameran emissiokerroin valikoituu kuvattavasta rakennusmateriaalista, joten valitsimme kohteen kertoimeksi 0,92. Kuvauspäivänä tuulen nopeus oli 1 m/s ja sisä- ja ulkolämpötilojen ero oli 21 °C, joten sääolosuhteet eivät vaikuttaneet negatiivisesti tuloksiimme.



Kuva 31. Mittausajankohdan sisälämpötila ja kosteuspitoisuus.

Suoritimme lämpökamerakuvauksen samaan aikaan tiiviysmittauksen kanssa. Tiiviysmittauslaitteiston avulla loimme rakennuksen sisätilaan 50 pascalin alipaineen, joka edesauttoi ulkovaipan vuotokohtien paikantamisen lämpökameralla. Valitsimme asetuksista lämpökameran havaitsemaan ja mittaamaan

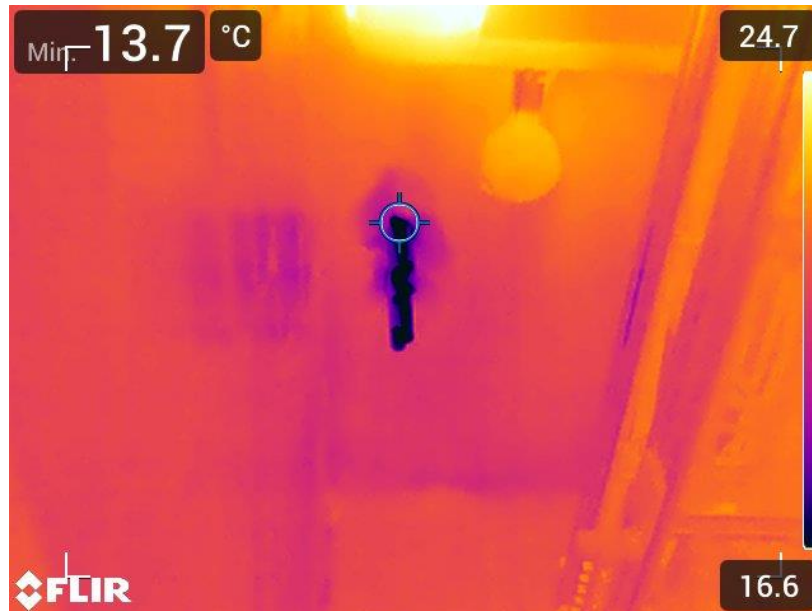
kylmimmän pisteen ja merkitsemään sen otettuun kuvaan. Asetimme kameran väriskaalan automaattiseksi, jolloin kuvien tulkitseminen ja hahmottaminen helpottuivat. Väriskaalaa vastaavat lämpötilat nähdään lämpökameralla otetun kuvan oikeasta laidasta (kuva 32).

Lämpökuvauksen tarkoituksena oli etsiä lämpövuotoja rakennusvaipan sisäpuolelta. Ennen kuvauksen aloittamista annoimme 50 pascalin paine-eron sisä- ja ulkotilan välillä vaikuttaa noin 30 minuuttia, jonka jälkeen suoritimme lämpökamerakuvauksen. Kirjaston puolelta havaitsimme kaksi vuotokohtaa, joista pääsi viileää ulkoilmaa rakennuksen sisätiloihin. Näistä ensimmäinen löytyi kirjaston hätäpoistumistiestä (kuva 32). Kyseinen hätäpoistumistie sijaitsee rakennuksen lännen puoleisella seinustalla. Hätäpoistumistien vuotokohta on kylmimmillään 5.4 °C, joka on jo merkittävä lämpötilaero sisäilmaan verrattuna.

Toinen vuotokohta löytyi kirjaston sähköryhmäkeskustilasta (kuva 33). Holvissa on vanha läpivienti, johon on jätetty läpivientiputket paikalleen. Tämä vuotokohta on 13.7 °C, joten se ei ole niin merkittävä. Läpiviennille ei näyttäisi kuitenkaan olevan enää käyttöä, joten vuotokohdan poistamiseksi läpivienti voitaisiin tukkia.



Kuva 32. Kirjaston hätäpoistumistien ilmavuoto.



Kuva 33. Vanha läpivienti sähköryhmäkeskustilassa.

Nuorisotilan puolelta löysimme yhden vuotokohdan, joka sijaitsee hätäpoistumistiessä (kuva 34). Tämän vuotokohdan alin lämpötila 2.3 °C:tta oli selvästi kohteen kylmin. Nuorisotilan hätäpoistumistie sijaitsee rakennuksen idän puoleisella seinustalla. Molempien hätäpoistumisteiden vuotokohdissa oli kädellä tunusteltaessa havaittavissa selkeää vedon tunnetta. Lämpökuvauksessa tulee kuitenkin muistaa, että näin suurta sisä- ja ulkopuolen välistä paine-eroa ei pääse syntymään normaaleissa olosuhteissa. Tässä opinnäytetyössä mainitut vuotokohdat olivat kuitenkin selkeitä.



Kuva 34. Nuorisotilan hätäpoistumistien ilmavuoto.

6.3 Sisäilman mittaustarkastelu

Sisäilman mittausta varten saimme CRAMO:lta käyttöön KOMBI 3G (Egate-kombi-sky) -mittalaitteen. Tämä mittasi kohteen sisäilmaa käyttäen kuutta eri sensoria. KOMBI 3G -laitteisto mittasi sisälämpötilaa, ilman suhteellista kosteutta (RH%), TVOC-arvoja [ppb] sekä $\mu\text{g}/\text{m}^3$, paine-eroa sekä sisäilman hiilidioksidipitoisuutta. Mittalaitteet koostuivat sensoreiden tukiasemasta (kuva 35) ja kahdesta sensorista, jotka asetimme kirjaston päätilaan (kuva 36). Tukiasema sijoitettiin kirjaston henkilökunnan tiloihin. Kohderakennuksessa oli kyseisten mittausten aikana toimintaa, jotka vaikuttivat mittaustuloksiin. Tämän vuoksi mittaustulokset kuvaavat kirjaston normaalikäytön tilannetta.

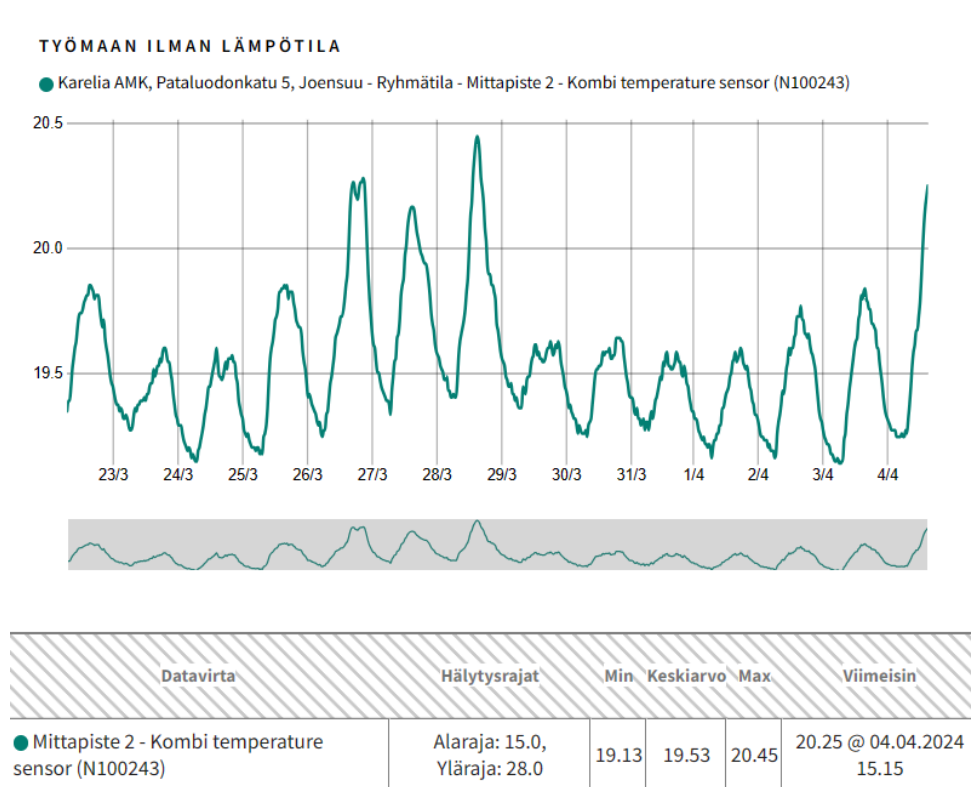


Kuva 35. eGate-KOMBI-SKY-laitteen tukiasema.

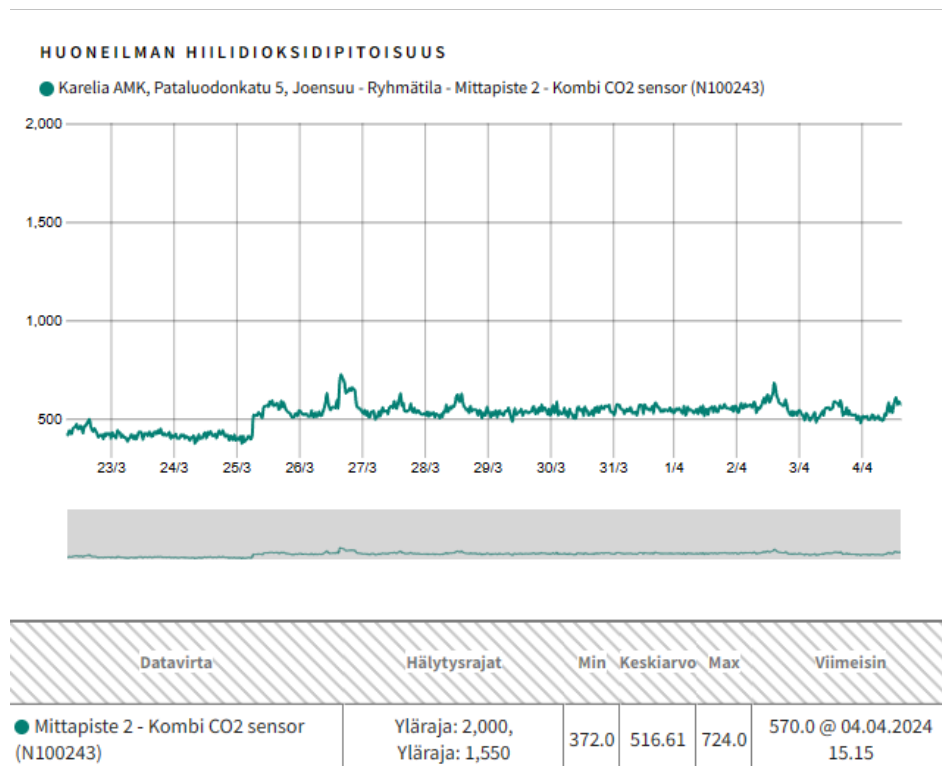


Kuva 36. Kirjaston päätilassa sijaitseva sensori.

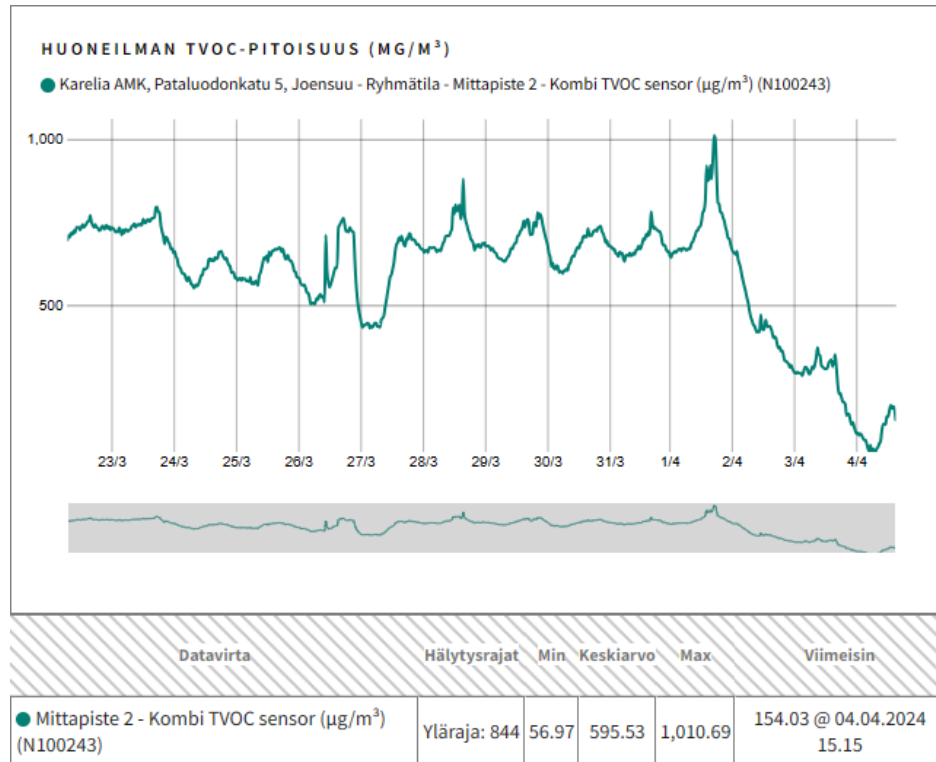
KOMBI 3G -laitteisto mittasi kohdetta kahden viikon ajan. Mittalaitteesta saatiin kyseiseltä mittausajalta raportti, josta voidaan tarkastella sisäilman laatua (liite 2). Mittaustulosten mukaan kohteen sisäilman kosteuspitoisuustulosten keskiarvo oli 24.84 % ja sisälämpötila vaihteli 19 ja 20.5 celsiusasteen välillä (kuvio 3). Ilman hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 516 ppm. Matalimmillaan CO₂-pitoisuus oli 372, mutta korkeimmillaan se oli 724 (kuvio 4). TVOC-pitoisuus sisäilmassa oli keskiarvoltaan n. 595 µg/m³ (kuvio 5). Tästä mittaustuloksesta voidaan päätellä, että haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on hieman enemmän suositusarvoon verrattuna. Yhdisteet voivat syntyä myös mm. uusien pintojen rakennusmateriaalista sekä käyttäjistä. Suosittelemme tekemään kohteeseen tarkemman TVOC-mittauksen. Kuvaajista näkee hiilidioksidipitoisuuden ja VOC-arvojen kohoamista iltapäivisin kirjaston kävijämäärän lisääntyessä.



Kuvio 3. Kohteen sisälämpötila kahden viikon tarkastelulla.



Kuvio 4. Kohteen huoneilman hiilidioksidipitoisuus kahden viikon tarkastelulla.



Kuvio 5. Kohteen huoneilman TVOC-pitoisuus kahden viikon tarkastelulla.

KOMBI 3G -laitteen hiilidioksidipitoisuussensoria ei oltu kalibroitu, joten teimme tästä vertailumittauksen Karelia-ammattikorkeakoululta saadulla hiilidioksidimittalaitteella (kuva 37). Koulun mittalaite sijoitettiin aikaisemman laitteen läheisyyteen ja se mittasi kohdetta viikon ajan. Kyseisen CO₂-mittarin tulokset olivat paremmat verrattuna KOMBI 3G -laitteiston tuloksiin. Koulun laitteen mukaan ilman hiilidioksidipitoisuuden keskiarvo oli 417 ppm. Korkeimmillaan CO₂-pitoisuus oli 521 ppm ja matalimmillaan se oli 400 ppm.



Kuva 37. Airwits CO2 plus -sensori.

6.4 Pintakosteusmittaus

Pintakosteusmittalaitteena käytimme Testo 616 -laitetta, jonka saimme käyttöömmme Karelia-ammattikorkeakoululta (kuva 38). Laitteessa on materiaalivalikko, josta valitaan mitattava materiaali. Testo 616 -laitteen toimintaperiaatteena on mitattavan materiaalin sähkönjohtavuus, joka on tyypillinen pintakosteusmittareiden toimintaperiaate. Kyseisellä pintakosteusmittarilla voidaan tarkastella rakennusmateriaalin kosteutta 30–50 millimetrin syvyyteen asti.



Kuva 38. Testo 616 pintakosteusmittauslaite.

Suoritimme pintakosteusmittauksen kirjaston märkätiloihin. Märkätiloihin kuuluu mm. henkilökunnan suihkutila, yleiset WC-tilat sekä siivouskomero. Mittarin avulla tarkastimme, löytyykö kohteen märkätilojen pintamateriaaleista merkittäviä kosteuseroja. Ennen varsinaista mittausta olisi hyvä ottaa märkätiloista referenssipiste, joka on varmasti kuiva ja verrata tätä arvoa tarkastettaviin kohtiin. Me otimme referenssipisteen märkätilan seinästä läheltä katon rajaa (kuva 39).



Kuva 39. Märkätilan seinän kuiva referenssipiste.

Mittasimme referenssipisteen märkätilojen seinästä n. 2 metrin korkeudelta. Referenssipisteen kosteusarvoksi mittasimme 15.5 %. Tämän jälkeen vertasimme referenssipisteen arvoa muiden seinistä saatujen arvojen kanssa ja etsimme eroavaisuuksia. Märkätilojen seinien kosteusprosentit vaihtelivat 15.5–18 %:n välillä. Merkittäviä poikkeamia seinien kosteusarvoista ei löytynyt, joten pintakosteusmittausten osalta märkätilojen seinät olivat kunnossa.

Märkätilojen lattioiden pintakosteusmittauksen toteutimme samalla periaatteella. Pintakosteusmittauksessa tulee ottaa huomioon rakenteiden seassa oleva tekniikka ja huomioida niiden mahdollinen vaikutus mittaustuloksiin. Tämän vuoksi valitsimme lattian referenssipisteen kuivasta kohdasta, jossa ei ole talotekniikkaa kuten viemäröintejä (kuva 40). Pintakosteusmittarin avulla todettiin, että märkätilojen lattiat olivat kuivat. Lattioiden osalta pintakosteusprosentit vaihtelivat 23–31 %:n välillä eli suurempia kosteuseroja ei löytynyt. Märkätilojen seinien ja lattioiden pintakosteustarkastuksessa emme siis havainneet merkittäviä poikkeamia, joiden pohjalta olisi syytä ryhtyä jatkotoimenpiteisiin.



Kuva 40. Märkätilan lattian kuiva referenssipiste.

6.5 Aistinvarainen saneerauksen tarkastelu

Aistinvaraisen saneerauksen tarkastelussa käytimme hyväksi kuntotarkastuksessaakin käytettyjä toimenpiteitä. Keskitimme näitä toimenpiteitä kohteen saneerattuihin osiin ja pyrimme selvittämään niiden kuntoa ja työn laatua. Ranta-kylän kirjaston viimeisin korjaustoimenpide koostui rakennuksen sisäpintojen ja ilmanvaihdon uusimisesta, joten käytetyt tarkastustoimenpiteet valikoituivat tämän perusteella. Käytettyjä aistinvaraisia tarkastustoimenpiteitä olivat mm. kaatojen ja irrallisten laattojen tarkastus, tiivistysaumojen tarkastaminen, hajuhaittojen havaitseminen sekä oireiden ilmeneminen. Silmämääräisessä tarkastelussa emme havainneet vatupassin avulla märkätilojen kaadoissa puutteita tai epäkohtia (kuva 41). Emme havainneet myöskään laattojen saumoissa puutteita tai irrallisia laattoja.



Kuva 41. Henkilökunnan suihkun lattian kaadon tarkistus.

Märkätilojen tarkastuksen yhteydessä kiinnitimme huomiota myös mahdollisesti ilmeneviin oireisiin ja hajuhaittoihin. Emme havainneet tarkastuksen yhteydessä kummassakaan normaalista poikkeavaa. Aistinvaraisen tarkastelun aikana ei

havaittu puutteita tai ongelmakohtia kohteen sisätiloista, eikä sisäilmaoireita kuten päänsärkyä, pahoinvointia, kurkun kutinaa tai silmäoireita.

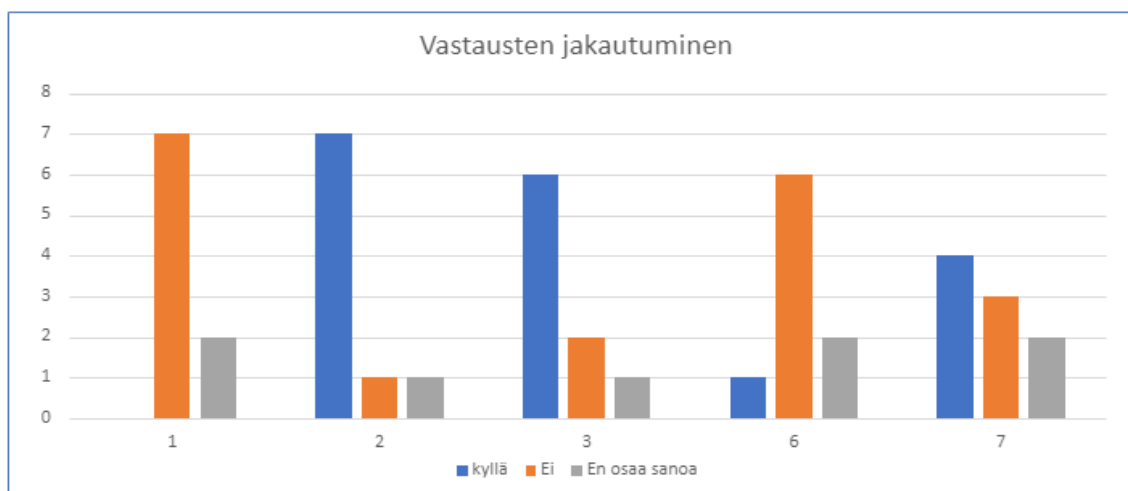
7 Käyttäjätyytyväisyysselvitys

Käyttäjätyytyväisyysselvityksellä pyrimme saamaan selville käyttäjien huomaamia sisäilman epäkohtia tai puutteita. Mikäli kyselyssä havaitaan puutteita sisäilmanlaadusta, voidaan tulosten pohjalta tehdä mahdollisia lisäselvityksiä ja -mittauksia. Kyselyn kysymykset koskevat rakennuksen sisäilmaa ja siinä olevia mahdollisia epäpuhtauksia tai muita epäkohtia. Kysymysten tulosten tarkoitus on varmistua siitä, ettei saneerauksen jälkitarkastuksissa ole jäänyt asioita huomaamatta. Mikäli mittaustuloksemme ovat linjassa kyselyn vastausten kanssa, voidaan tarkastus todeta onnistuneeksi. Kyselyyn osallistui Rantakylän kirjaston henkilökunnan 9 jäsentä. Kysely on kaksisivuinen ja se tulostettiin henkilökunnalle kaksipuoleisena (Liite 3). Tyytyväisyyskysely suoritettiin anonyymisti.

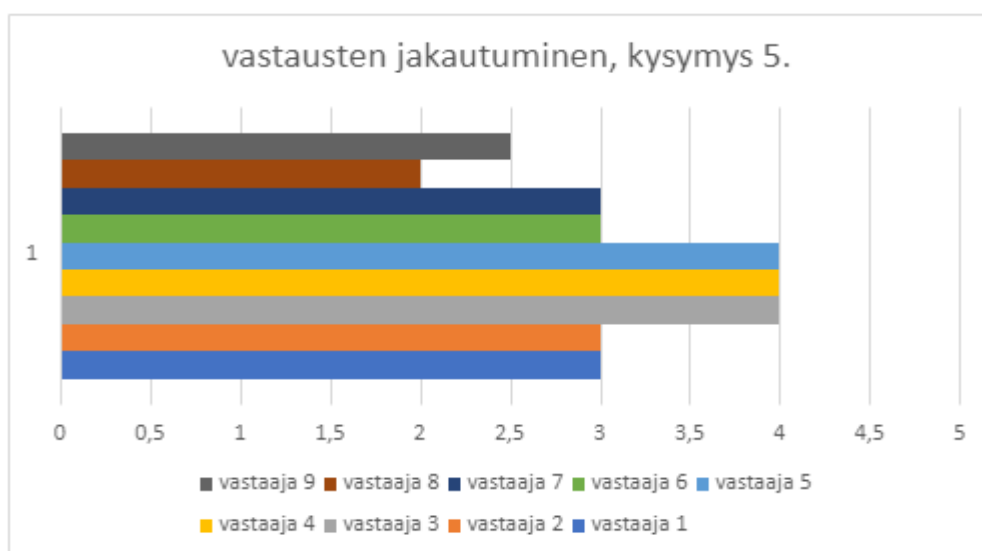
Tyytyväisyyskyselyn vastausten perusteella muodostimme Excel-ohjelmistolla pylväskaaviot, joista kysymyksien vastausten jakautuminen käy ilmi (kuviot 6 ja 7). Kuvion 6 vasemman reunan lukema osoittaa vastausten määrää ja pylväiden värien selitykset on kerrottu kuvan alalaidassa. Käyttäjäkyselyn ensimmäisen kysymyksen vastausten perusteella rakennuksessa ei ole havaittu vedon tunnetta. Päänsärkyä (kysymys 2) ja huonovointisuutta (kysymys 3) vastausten perusteella todettiin kirjaston tiloissa oleskellessa ja työskennellessä. Kyselyn lisätietoihin henkilökunta tarkensi oireiden ilmenevän kirjaston henkilökunnan tiloissa. Oireilu on yhteydessä siihen, kuinka kauan henkilökunnan tiloissa työskennellään (kysymys 4).

Kysymyksessä 5 henkilökuntaa pyydettiin arvioimaan kirjaston sisäilman laatua asteikolla 1–5 ja vastausten keskiarvoksi saatiin 3,2 (kuvio 7). Ilmanvaihdon riittävyyttä arvioitiin kysymyksen 6 avulla. Vastauksista kävi ilmi, että henkilökunnan tiloissa ilmanvaihto ei ole riittävää. Vastaavasti muualla rakennuksessa sen todettiin olevan riittävää. Kysymys 7 oli ainoa, jonka vastauksissa oli selkeää

hajontaa. Käyttäjien mukaan hajuhaitat paikannettiin asiakasvessoihin, joissa havaittiin viemärin hajua.



Kuvio 6. Vastausten jakautuminen. Kysymykset 1, 2, 3, 6 ja 7.



Kuvio 7. Vastausten jakautuminen sisäilman laadun arvioinnista (kysymys 5).

Kyselyn pohjalta kirjaston henkilökunnan vastaukset olivat sisäilmamittaus-temme kanssa yhtenäiset. Mittauksessa TVOC-arvot olivat hieman koholla ja kyselyssä ilmeni henkilökunnan oirehdintaa henkilökunnan tiloissa. Suosittelemme näiden perusteella lisäselvityksiä rakennuksen sisäilmasta. Vastausten perusteella hajuhaittoja esiintyy asiakaskäymälöiden puolella, joka saattaa johduttaa vesilukkojen kuivumisesta. Suosittelemme lisätutkimuksia myös tämän osalta.

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kyseisen kirjaston korjaushankkeen onnistuneisuutta. Jälkitarkastusmenetelmiin perehtymisen jälkeen suoritimme tarkastukset ja mittaukset opinnäytetyömme toimeksiantajan tarjoamaan kohteeseen eli Rantakylän kirjastoon. Jälkitarkastusmenetelmiksi valikoitui alalla yleisesti käytössä olevia menetelmiä, joita käytetään uudisrakentamisessa sekä kuntotarkastuksissa ja -tutkimuksissa. Toimeksiantajan tarjoamaan esimerkkikohteeseen käytettiin kuitenkin pintoja rikkomattomia menetelmiä, koska rakennuksen korjaustoimenpiteet ovat valmistuneet ennen tämän opinnäytetyön aloittamista.

Tiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus rajattiin niin, että mukana mittaustoimenpiteissä oli myös saneerattu nuorisotila, joka kuuluu samaan palo-osastointiin. Nuorisotilan väestönsuojaa emme ottaneet näihin toimenpiteisiin mukaan. Lämpökamerakuvauksessa havaittiin muutama vuotokohta rakennuksen ulkovaipassa, mutta vakavia puutteita rakennuksen tiiviydessä ei ollut. Ilmatiiviysmittauksen avulla saimme kohteen ilmanvuotoluvuksi 0,8, joka on hyvä arvo kyseiselle rakennukselle. Silmämääräisessä saneerauksen tarkastelussa varsinaisia puutteita tai laadullisia virheitä emme löytäneet. Sisäilmamittausten osalta rakennuksen TVOC-arvo oli koholla, jonka todenperäisyyttä tuki käyttäjätyytyväisyyskyselyn kysymykset 2 ja 3. Suoritetut tarkastukset, mittaukset ja niiden tulokset tukivat käyttäjätyytyväisyyskyselystä saatuja vastauksia, joten voimme todeta tekemämme saneerauskohteen jälkitarkastuksen onnistuneeksi.

Tiiviysmittauksen osalta haasteita opinnäytetyössä aiheutti käyttämämme tiiviysmittauslaitteisto, joka lukuisten kokeilukertojen jälkeen todettiin vioittuneeksi tuulettimen osalta. Kiitämme Rakennuspalvelu Ketolainen Oy:tä, jolta saimme vastaavan tiiviysmittauslaitteiston käyttöön. Kyseisen yrityksen omistaja oli myös konsultoimassa tekemäämme tiiviysmittausta ja lämpökamerakuvausta Rantakylän kirjastossa. Haluamme kiittää myös Joensuun CRAMO-konevuokraamoaa, jolta saimme eGate-KOMBI-SKY-laitteiston käyttöön sisäilmatutkimuksia varten.

Lähteet

- Aho, H. & Korpi, M. 2009. Ilmapitävien rakenteiden ja liitosten toteutus asuinrakennuksissa. Tampereen teknillinen yliopisto.
https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128381/ilmanpita-vien_rakenteiden_ja_liitosten_toteutus_asuinrakennuksissa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 27.2.2024.
- Eurofins Expert Services Oy. 2024. Rakennusten lämpökuvaaja. https://rakentamisensertifikaatit.fi/sertifikaatit/rakennusten_lampokuvaaja. 18.4.2024.
- Foreca Oy. 2024. Havaintohistoria Joensuu Linnunlahti. <https://www.foreca.fi/Finland/Joensuu/havaintohistoria>. 26.3.2024.
- Hekkanen, M., Kilpeläinen, M., Riippa, T. & Seppälä, P. 2006. Pientalon tekninen laatu Tähtiluokitus. Ympäristöministeriö. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38840/YO_Pientalon_tekninen_laatu.pdf?sequence=1. 27.2.2024.
- Joensuun kaupunki. 2021. Rantakylän nuorisotoimen ja kirjaston tilat, korjaushanke, Pataluodonkatu 2. <http://dynastyjulkaisu.pohjoiskarjala.net/joensuu/kokous/2021246-7-13963.PDF>. 3.4.2024.
- Lahtinen, M., Lappalainen, S. & Reijula, K. 2005. Sisäilman hyväksi. Työterveyslaitos. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/141072/TTL_951-802-675-0.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 29.2.2024.
- Lauttalammi, A., Lehtonen, J. & Laine, K. 2005. Talojen korjausrakentaminen. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.
- Myyryläinen, L. 2019. Rakennusten elinkaari, energia ja kunto. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Tampere: Suomen Rakennusmedia Oy.
- Paloniitty, J., Paloniitty, S. & Haimalahti, J. 2016. Lämpökuvaus rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Puhakka, E. 1996. Terveellinen sisäilma. Askola: Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy.

- Putus, T. 2017. Home ja terveys. Pori: Suomen Ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.
- Puuinfo 2020. Ulkoverhous. <https://puuinfo.fi/teeseitse/remontointi/ulkoverhous/>. 13.3.2024.
- RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustieto.
- RT 10-11251. 2017. Kiinteistö- ja rakentamisanalysointikeskeinen sanasto - Versio 1.0. Rakennustieto.
- RT 18-11246. 2016. Asbesti rakentamisessa. Rakennustieto.
- RT 80-10974. 2009. Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje. Rakennustieto.
- RT 81-11000. 2010. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus. Rakennustieto.
- RT 83-10955. 2009. Perustusten ja perusmuurien veden- ja kosteudeneristys. Rakennustieto.
- RT 89-11196. 2015. Hulevesien hallinta. Rakennustieto.
- RT 103003. 2019. Asuinkiinteistön kuntoarvio - Kuntoarvioijan ohje. Rakennustieto.
- RT 103097. 2019. Toimitilakiinteistön kuntoarvio - Kuntoarvioijan ohje. Rakennustieto.
- RT 103123. 2019. Radonin torjunta. Rakennustieto.
- RT 103333. 2021. Betonin suhteellisen kosteuden mittaaminen. Rakennustieto.
- RT 103528. 2023. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot - Yleistä. Rakennustieto.
- RT 103529. 2023. Rakennuksen kosteus- ja mikrobivauriot. Korjausrakentaminen. Rakennustieto.
- RT 56-10831. 2004. Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän Peruskorjaus- ja -parannus. Rakennustieto.
- SFS-EN ISO 9972. 2015. Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Sisäilmayhdistys ry. 2008. Ongelmien tutkiminen. <https://www.lyyti.fi/att/fb6d6af383f4ee/d6121534cdb8a7e973e15d4a21cc65ad75bd8f227bf682d86921cedb0604>. 10.4.2024.

- Sosiaali- ja terveysministeriö. 2003. Asumisterveysohje. https://www.finlex.fi/data/normit/14951/asumisterveysohje_pdf.pdf. 27.2.2024.
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.
- Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. 2022. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet asunnoissa - Työpäperi 5/2022. https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/144128/URN_ISBN_978-952-343-809-5.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 10.4.2024.
- Tilastokeskus. 2022. Korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen osuudet talonrakennushankkeista. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_kora/statfin_kora_pxt_12i8.px/table/table-ViewLayout1/. 20.3.2024.
- Tilastokeskus. 2024. Korjausrakentamisen arvo laski vuoden 2023 viimeisellä neljänneksellä. <https://www.stat.fi/julkaisu/clmt1ahgef78n0aus22de8hvl>. 20.3.2024.
- Ympäristöministeriö. 2012. Rakennusten energiatehokkuus – Määräykset ja ohjeet 2012. https://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf. 29.2.2024.
- Ympäristöministeriö. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75517/YO_2016_Kuntotutkimusopas.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 8.4.2024.
- Ympäristöministeriö. 2018. Ääniympäristö. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf. 27.2.2024.

Ilmatiivysmittausraportti

03.04.2024

ILMATIIVYDEN RAPORTTI

Noudattaa standardia SFS-EN ISO 9972:2016

Kohteen tiedot

Rakennuksen osoite: Pataluodonkatu 2 Joensuu, Pohjois-Karjala Suomi 80160 Mittaajat: Antton Keränen, Niklas Oksa Yritys: Karelia Amk	Rakennuksen tilavuus: 3 524,7 Vaipan kokonaispinta-ala: 2 373,3 Rakennuksen tuuialttius: Osin suojattu rakennus Rakennuksen mittojen virhe: 1%
--	---

Laitteisto - Puhallin: Retrotec 5000 , SN: 5FN202035 - Painemittari: DM32 , SN: 408120

Tulos

$$n_{50} = 0,52 \text{ 1/h}$$

$$qE_{50} = 0,7782 \text{ m}^3/\text{hm}^2$$

Yhdistetyt tulokset	Arvo	Vaihteluväli		Epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V_{50} [m^3/h]	1846,0	1802,0	1893,0	+/-2,5%
Ilmanvuotoluku N_{50} [1/h]	0,52	0,5101	0,5380	+/-2,7%
Ilmanvuotoluku qE_{50} [m^3/hm^2]	0,7782	0,758	0,799	+/-2,7%

Lisätiedot:



ALIPAINNE

Mittaustulokset

Päiväys: 2024-03-26

Olosuhteet: Ilmapaine: 101,180 KPa. Tuulen nopeus: 3: Kevyt tuuli

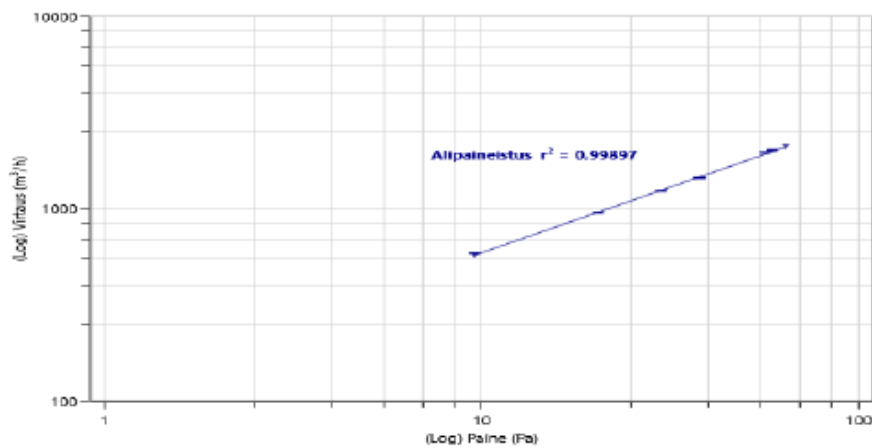
Lämpötilat: Alussa: sisällä 20 , ulkona -1,3. Lopussa: sisällä 20 , ulkona -1,3.

Vallitseva paine alussa [Pa]	0,44	0,60	0,43	-0,08	0,58							
Testipaine [Pa]	-9,1	-19,8	-29,3	-37,1	-55,5	-58,0						
Vallitseva paine lopussa [Pa]	0,44	0,60	0,43	-0,08	0,58							
Puhallinpaine [Pa]												
Virtaus, V, [m ³ /h]	638,595	1038,11	1349,87	1572,56	2131,04	2190,61						
Korjattu virtaus, V _{av} [m ³ /h]	591,34	961,29	1250,0	1456,2	1973,4	2028,5						
Virhe [%]	1,5%	-1,2%	-1,1%	-1,7%	1,4%	1,2%						

Vallitsevan paineen keskiarvot: alussa [Pa] ΔP_{01} 0,39, ΔP_{01} -0,08, ΔP_{01} 0,51, lopussa [Pa] ΔP_{01} 0,39, ΔP_{01} -0,08, ΔP_{01} 0,51

	tulokset	95% varmuus		epävarmuus
Ilmavirtaus 50 Pa, V ₅₀ [m ³ /h]	1847,0	1802	1893	+/-2,5%
Ilmanvuotoluku 50 Pa, n ₅₀ [1/h]	0,5240	0,5101	0,5380	+/-2,7%
Ilmanvuotoluku 50 Pa, qE ₅₀ [m ³ /h.m ²]	0,77823	0,758	0,799	+/-2,7%
Ominaisvuoto 50 Pa, w ₅₀ [m ³ /h.m ²]	1,9723	1,9198	2,0249	+/-2,7%

Ilmavuotokäyrä



Sisäilman tutkimusraportti, eGate

Rantakylän kirjasto

22.03.2024 - 04.04.2024

Cramo Finland
Antton Keränen
09.04.2024 13.41
Kliinteä aikaväli 22.03.2024 07.00 - 04.04.2024 23.59

TYÖMAAN ILMAN LÄMPÖTILA 


Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi temperature sensor (N100243)

TYÖMAAN ILMAN KOSTEUS 

Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi humidity sensor (N100243)

PAINE-ERO 

Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi differential pressure sensor (N100243)

HUONEILMAN TVOC-PITOISUUS (MG/M³)Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (µg/m³) (N100243)**HUONEILMAN TVOC-PITOISUUS** 

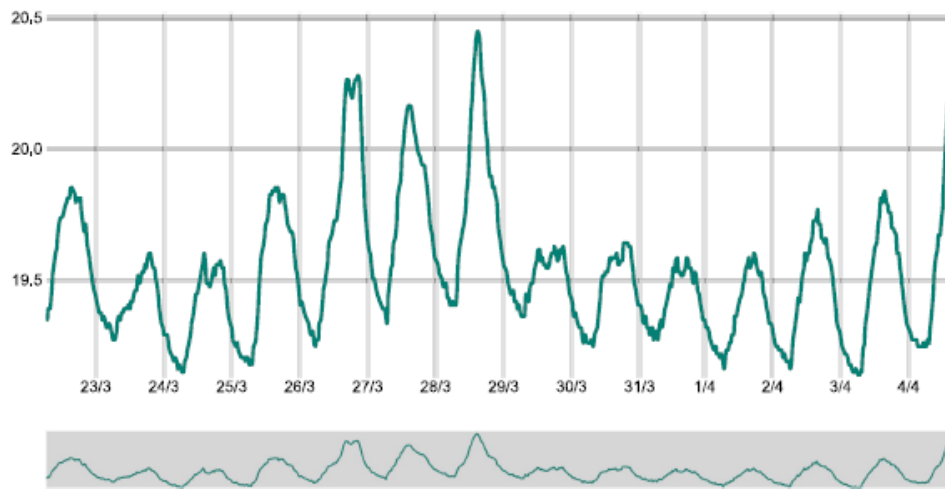
Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (N100243)

HUONEILMAN HIILIDIOKSIDIPITOISUUS CO₂

Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi CO2 sensor (N100243)

TYÖMAAN ILMAN LÄMPÖTILA

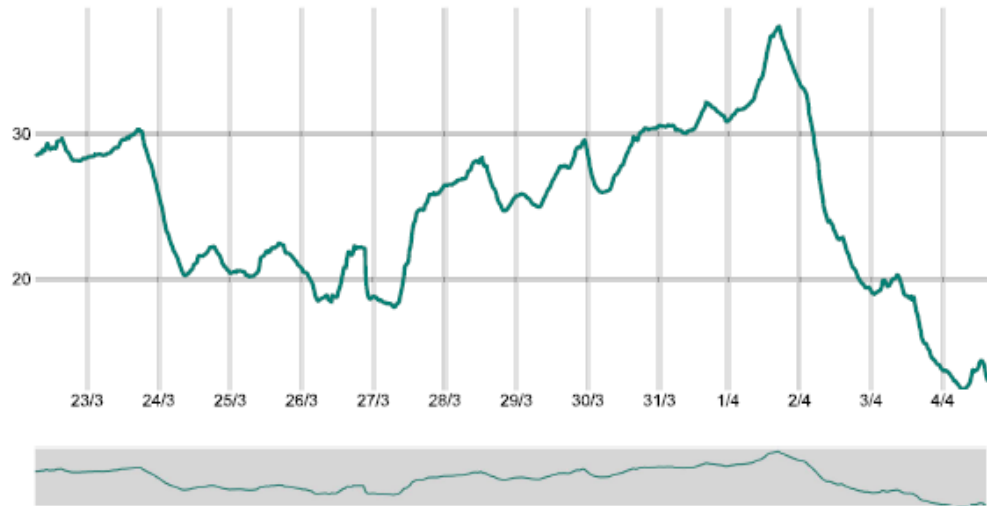
● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi temperature sensor (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat	Min	Keskiarvo	Max	Viimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi temperature sensor (N100243)	Alaraja: 15.0, Yläraja: 28.0	19.13	19.53	20.45	20.25 @ 04.04.2024 15.15

TYÖMAAN ILMAN KOSTEUS

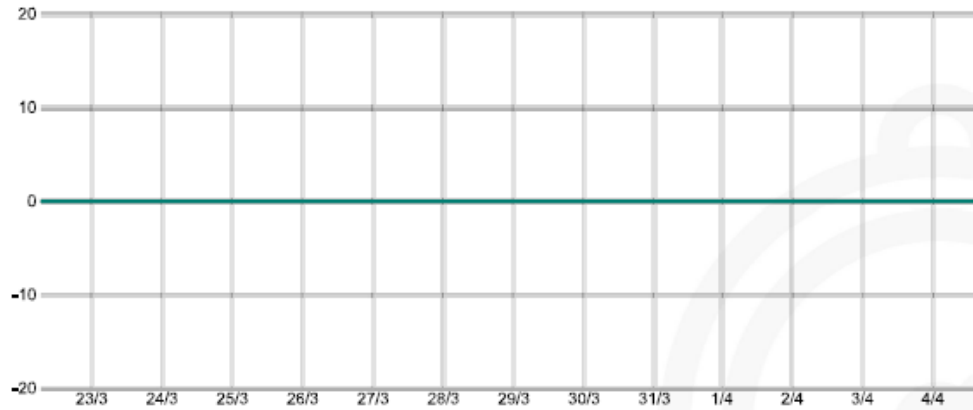
● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi humidity sensor (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat	Min	Keskiarvo	Max	Viimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi humidity sensor (N100243)	Yläraja: 90.0, Alaraja: 20.0, Yläraja: 60.0	12.36	24.84	37.37	12.96 @ 04.04.2024 15.15

PAIN E - ERO

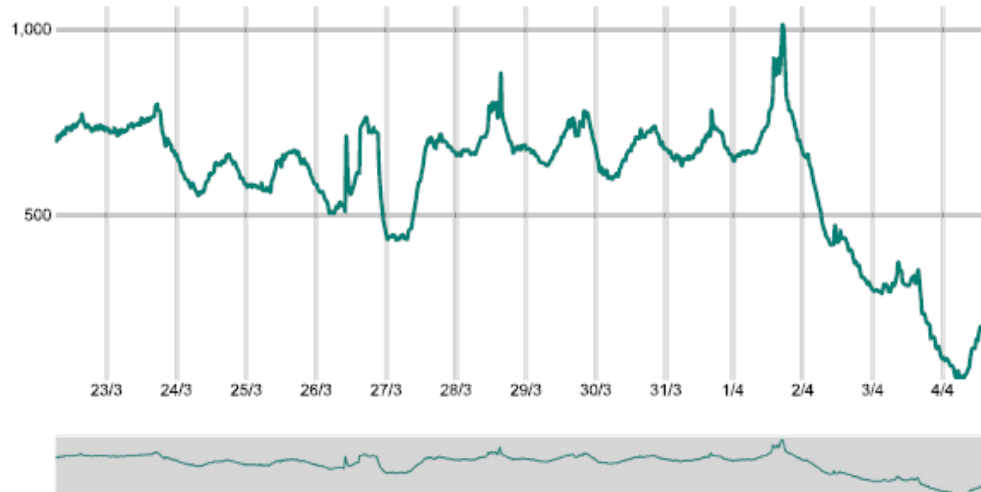
● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi differential pressure sensor (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat	Min	Keskiarvo	Max	Väimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi differential pressure sensor (N100243)	Alarajat -6.0, Ylärajat -15.0	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13 @ 04.04.2024 15.15

HUONEILMAN TVOC-PITOISUUS (MG/M³)

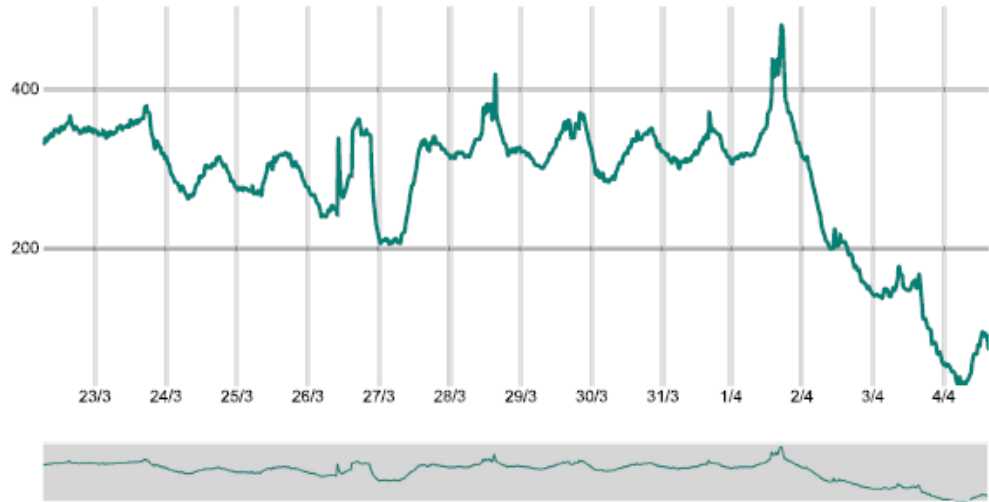
● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (µg/m³) (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat	Min	Keskiarvo	Max	Viimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (µg/m ³) (N100243)	Yläraja: 844	56.97	595.53	1,010.69	154.03 @ 04.04.2024 15.15

HUONEILMAN TVOC-PITOISUUS

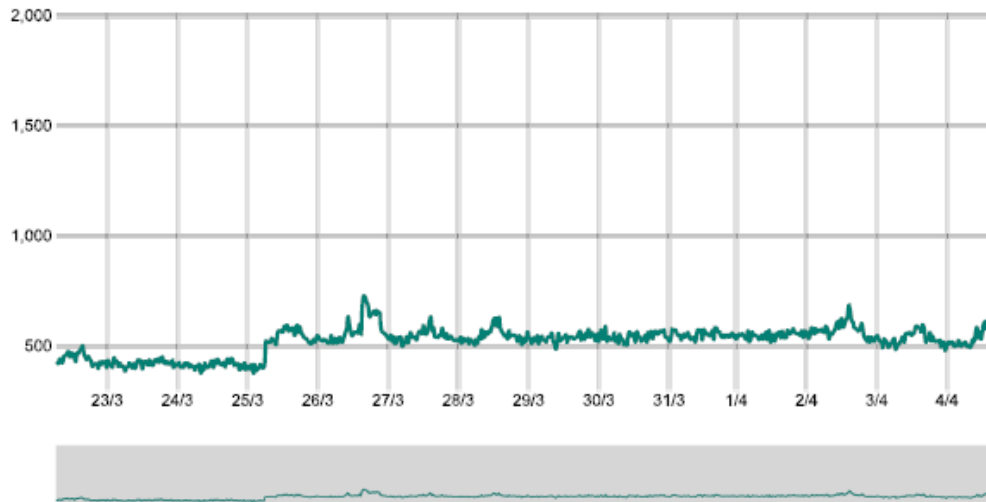
● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat: Min Keskiarvo Max				Viimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi TVOC sensor (N100243)	Yläraja: 400	27.0	282.24	479.0	73.0 @ 04.04.2024 15.15

HUONEILMAN HIILIDIOKSIDIPITOISUUS

● Karelia AMK, Pataluodonkatu 5, Joensuu - Ryhmätila - Mittapiste 2 - Kombi CO2 sensor (N100243)



Datavirta	Hälytysrajat	Min	Keskiarvo	Max	Viimeisin
● Mittapiste 2 - Kombi CO2 sensor (N100243)	Yläraja: 2,000, Yläraja: 1,550	372.0	516.61	724.0	570.0 @ 04.04.2024 15.15

Käyttäjättyytyväisyyskysely

Rantakylän kirjaston tyytyväisyyskysely						
ohje: rastita vaihtoehdon alla oleva ruutu.						
kysymys 1	Kyllä	En osaa sanoa	Ei	vapaa sana / missä?		
Onko rakennuksessa mielestäsi vedon tunnetta?						
kysymys 2	Kyllä	En osaa sanoa	Ei	vapaa sana / missä?		
Ilmeneekö rakennuksessa oleskellessa päänsärkyä?						
kysymys 3	Kyllä	En osaa sanoa	Ei	vapaa sana / missä?		
Ilmeneekö rakennuksessa oleskellessa huonovointisuutta?						
kysymys 4						
Mikäli vastasit kysymyksiin 2 tai 3 kyllä, mihin kellon aikaan oireet sijoittuvat?						
kysymys 5	0	1	2	3	4	5
Arvioi rakennuksen sisäilman laatua (0 huono, 5 erinomainen)						
kysymys 6	Kyllä	En osaa sanoa	Ei	vapaa sana / missä?		
Koetko rakennuksen ilmanvaihdon olevan riittävää?						
kysymys 7	Kyllä	En osaa sanoa	Ei	vapaa sana / missä?		
Esiintyykö rakennuksen sisäilmassa hajuhaittoja?						

Rantakylän kirjaston tyytyväisyyskysely	
kysymys 1	vapaa sana:
Onko rakennuksessa mielestäsi vedon tunnetta?	
kysymys 2	vapaa sana:
Ilmeneekö rakennuksessa oleskellessa päänsärkyä?	
kysymys 3	vapaa sana:
Ilmeneekö rakennuksessa oleskellessa huonovointisuutta?	
kysymys 5	vapaa sana:
Arvioi rakennuksen sisäilman laatua (0 huono, 5 erinomainen)	
kysymys 6	vapaa sana:
Koetko rakennuksen ilmanvaihdon olevan riittävää?	
kysymys 7	vapaa sana:
Esiintyykö rakennuksen sisäilmassa hajuhaittoja?	