



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janne Meriläinen

Rakenneavausympäristön ilmavirtauk- set ja -kontaminaatio

Metropolia Ammattikorkeakoulu

YAMK

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

20.4.2020

Tekijä(t) Otsikko	Janne Meriläinen Rakenneavausympäristön ilmapvirtaukset ja kontaminaatio
Sivumäärä Aika	57 sivua + 6 liitettä 20.4.2020
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Korjausrakentaminen
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Hannu Hakkarainen
<p>Tämä opinnäytetyö on kokeellinen tutkimus rakenneavausympäristön olosuhteista. Työn tarkoituksena oli selvittää rakenneavauskohdalla tapahtuvia ilmapvirtauksia eri paineolosuhteissa, sekä rakenneavauskohdan ympäristön pölykontaminaatiota. Työssä sivuttiin myös kuntotutkijaan kohdistuvaa henkilöaltistusta kenttätutkimustyön aikana.</p> <p>Rakenneavauskohdalta sisäilmaan tapahtuvia ilmapvirtauksia havainnollistettiin merkkisavulla rakenteen yli vallitsevaa paine-eroa ja työtapoja samalla muuttaen. Merkkisavun liikkeitä ja olosuhteiden muutokset videokuvattiin analysointia varten. Tutkimusajankohdan olosuhteiden vaihtelu taltioitiin jatkuvatoimisena seuranta-mittauksena.</p> <p>Rakenneavausympäristön kontaminoitumista tutkittiin silmämääräisen arvioinnin lisäksi lattiapinnalta kerättävillä geeliteippi- ja pölypyyhintänäytteillä. Näytteenotto- kohdat määriteltiin merkkisavukokeiden perusteella, laaditun ”pölyradan” avulla. Näytteet analysoitiin työssä mukana olleen laboratorion toimesta.</p> <p>Kuntotutkijan henkilöaltistumista epäpuhtauksille arvioitiin ilmanliikkeiden ja pölylas- keumien perusteella.</p> <p>Tutkimusten perusteella tavanomaisissa olosuhteissa rakenneavauskohdalta leviää huomattavia määriä pölyä, mineraalivillakuituja ja muita mahdollisia epäpuhtauksia laajalle alalle rakenneavauskohdan ympäristöön. Pölyn leviäminen on nopeaa, ja normaalikokoisen huoneen kontaminoituminen tapahtui nopeimmillaan sekun- neissa. Rakenneavauksiin suositeltava kohdepoistomurointi ei yksistään riitä konta- minaation poistamiseen paine-eron ollessa riittävän suuri.</p> <p>Rakenneavausten työtekniiseen toteutukseen pitäisi kiinnittää enemmän huomioita, etenkin tilojen ollessa normaalisti käytössä. Myös paine-eron tarkastus ennen raken- neavausta tulisi huomioida. Oikeaoppisilla työtekniikoilla välttyttäisiin työntekijän al- tistumiselta ja tilan kontaminaatiolta.</p>	
Avainsanat	Kuntotutkimus, rakenneavaus, paine-ero, rakennusterveys

Author(s) Title	Janne Meriläinen Air Flow and Contamination at the Structural Inspection Site
Number of Pages Date	57 pages + 6 appendices 20 Apr 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Renovations
Instructor(s)	Hannu Hakkarainen Principal Lecturer
<p>This thesis is an experimental study of the circumstances at a building inspection site, while structural inspections are being conducted. The purpose of the thesis was to gather more knowledge about air flows and indoor air quality changes while structures were dismantled. This thesis will also provide background and experience of personal exposure to dust impurities.</p> <p>Air quality research was carried out by doing the structural dismantling while controlling the pressure differential over the outer wall structure. Air flows were visualized by sign smoke, and continuous measurements monitored circumstances during the dismantling.</p> <p>Research of inspection site dust contamination was carried out by taking gel tape and dust wipe samples from the surface of the floor—sample spots were defined results of signal smoke research. Samples analyzed at cooperation laboratory.</p> <p>Personal exposure to the dust impurities was estimated by the results of airflow and contamination research.</p> <p>The end-result of a lot of dust and other impurities are spread to the indoor air and surfaces from structural dismantles. Dust spreading is extremely fast, especially when pressure differential over the structure is high. Contamination of entire rooms air can happen and resulted in seconds. Impurities lower indoor air quality and can cause illness.</p> <p>Existing norms and guides for the inspection work are not updated enough. Especially pressure differential over outer structures should be continuously monitored while dismantling or stripping down structures—the way of working at the inspection site essential and should be better-taken care of doing and performing.</p>	
Keywords	Renovation, structural inspection, indoor air quality

Sisällys

Keskeisimmät käsitteet	1
Lyhenteet	3
1 Johdanto	5
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tarkoitus	5
1.2 Opinnäytetyön rajaus	6
2 Kirjallisuuskatsaus	8
2.1 Rakenneavauksen mahdolliset epäpuhtaudet	9
2.1.1 Hiukkaset	9
2.1.2 Teolliset mineraalivillakuidut	10
2.2 Rakennuksen painesuhteet	13
2.3 Lainsäädäntö kuntotutkimuksissa	14
2.4 Henkilökohtainen suojautuminen kuntotutkimuksissa	17
3 Ilmavirtausten ja kontaminaation tutkimukset	18
3.1 Kohderakennus	18
3.2 Ilmavirtaukset eri paineolosuhteissa	20
3.2.1 Mittauskalusto ja mittauskaluston virhemarginaalit	20
3.2.2 Tutkimushetken olosuhteet, tilan valinta ja valmistelu	23
3.2.3 Ilmavirtauksien tarkastelusta yleisesti	25
3.2.4 Ilmavirtaukset paine-erotavoite +/- 0 Pa	27
3.2.5 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -5 Pa	28
3.2.6 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -10 Pa	30
3.2.7 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -15 Pa	31
3.2.8 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -20...-30 Pa	32
3.2.9 Ilmavirtaukset paine-erotavoite +5 Pa	33
3.2.10 Johtopäätökset	34
3.3 Ympäristön kontaminaatio	37
3.3.1 Tutkimushetken olosuhteet ja tilan valmistelu	38
3.3.2 Pölylaskeuman aistinvaraiset havainnot	40
3.3.3 Pölypyyhintä- ja geeliteippinäytteet	42
3.3.4 Johtopäätökset	47

4 Johtopäätökset	50
Lähteet	55
Liitteet	57

Keskeisimmät käsitteet

Epäorgaaniset kuidut	Epäorgaanisia kuituja ovat mm. lasikuidut (tekniset lasikuidut) ja mineraalivillakuidut kuten vuorivilla, lasivilla ja kuonavilla, jotka voivat esiintyä sisäilmassa leijuvina ja pinnoille laskeutuvina. Mineraalivillakuidut ovat halkaisijaltaan alle 3 µm:stä (0,1 – 3 µm lasimikrokuitu) noin 8 µm:iin
Mineraali- ja teolliset mineraalivillakuidut	Ks. epäorgaaniset kuidut
Altistuminen	Tilanne, jossa sisäympäristössä oleva tekijä (fysikaalinen, biologinen tai kemiallinen) joutuu kosketuksiin ihmisen kanssa. Edellä mainittujen tekijöiden hengittäminen, nieleminen, kosketus silmiin tai iholle ovat altistumista. Altistuminen ei tarkoita sairastumista, mutta voi johtaa siihen.
Monialtistuminen	Useammalle eri päästölähteelle altistuminen yhtäaikaaisesti.
Rakenneavaus	Rakennuksen rakenteiden kunnon ja toteutustavan selvittämiseksi tehtävä rakenteen purkaminen.
HEPA-suodatin	Mikrosuodatin, joka on tarkoitettu erottamaan erittäin pieniä (µm) hiukkasia. Lyhenne tulee englannin kielen sanoista High Efficiency Particulate Air Filter.
Kosteuskonvektio	Vesihöyryn siirtymistä ilman paine-erojen aiheuttaman ilmanvirran mukana.

Kuntoarvio	Rakennuksen tai yksittäisten rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien pintapuolinen arvio, joka tehdään tavallisesti aistinvaraisesti ja rakenteita rikkomatta.
Kuntotutkimus	Rakennuksen tai yksittäisten rakenteiden aistinvaraisten havaintojen lisäksi tarkempiin mittauksiin ja mahdollisesti näytteiden ottoon perustuva tutkimus, jolla vaurion syyt ja laajuutta selvitetään. Edellyttää tavallisesti rakenteiden avaamista.
Kuntotarkastus	Kuntoarvion kaltainen rakennuksen tai yksittäisten rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien pintapuolinen tarkastelu, joka tehdään tavallisesti aistinvaraisesti ja rakenteita rikkomatta. Käytetään yleisesti pientalojen asuntokauppaan liittyvien kuntoselvitysten nimikkeenä.
Riskirakenne	Rakennustapa, missä rakenteen toiminta on puutteellista ja joka voi johtaa rakenteen vaurioitumiseen.
Viitearvo	Sisäilman laatua arvioitaessa viitearvolla tarkoitetaan haittatekijöiden tutkittua ja mitattua määrää tai pitoisuutta sisäilmassa, jonka ylittyminen on tavanomaisesta poikkeavaa.
Vertailunäyte	Tavanomaisesta poikkeavan näytteen kanssa vastaavanlaisissa olosuhteissa otettu näyte, jossa ei ole epäilyä poikkeavista olosuhteista.
Paine-ero	Rakennusten tutkimuksissa eri tilojen, tai sisä- ja ulkoilman välinen ilmanpainesuhteiden ero +/- Pascal Paine-erojen mittauksilla arvioidaan ilmavuotojen riskiä rakenteista, ilmavaihdon toimivuutta, sekä ilmavirtausten suuntaa rakenteiden yli.

Terveyshaitta Terveyshaitalla tarkoitetaan ihmisessä todettavaa sairautta, muuta terveydenhäiriötä tai sellaisen tekijän tai olosuhteen esiintymistä, joka voi vähentää väestön tai yksilön elinympäristön terveellisyyttä

ASA- rekisteri Syöpäsairauden vaaraa aiheuttaville aineille ja menetelmille ammatissaan altistuvien rekisteri.

Lyhenteet

Pa Paineen yksikkö 1 Pascal = $1\text{N/m}^2 = 0,00001\text{ bar}$

PM 2,5 Hengitettäviä hiukkasia, joiden halkaisija on alle 2,5 mikrometriä (μm) Particulate Matter <2,5

PM 10 Hengitettäviä hiukkasia, joiden halkaisija on alle 10 mikrometriä (μm) Particulate Matter <10

VOC VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compound): eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet ovat kaasuja. Niitä ovat esimerkiksi aromaattiset hiilivedyt (tolueeni, bentseeni), aldehydit, halogenoidut yhdisteet, esterit ja alkoholit (etanoli, n-butanoli, propanoli). Etenkin VOC-yhdisteiden yhteisvaikutuksen epäillään aiheuttavan terveyshaittaa.

VOC-yhdisteiden päästölähteitä ovat etenkin rakennus- ja sisustusmateriaalit, pesu-aineet ja joissain tapauksissa mikrobikasvustot. Rakennusmateriaaleista erittyvät päästöt ovat peräisin muun muassa liuotin- ja raaka-ainejäämistä sekä valmistusprosessien reaktio- ja hajoamistuotteista.

HTP-arvo HTP- arvo on lyhenne sanasta haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. HTP- arvot ovat työpaikan epäpuhtauksille

annettuja arvoja, jotka työnantajan on huomioitava työntekijän altistumista arvioitaessa. HTP-arvot on vahvistettu työturvallisuuslain (738/2002) 38 § 4 momentin nojalla annetulla sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella (538/2018).

RH%

Relative Humidity, eli suhteellinen kosteus on todellisen vesihöyrynpaineen ja kyllästyshöyrynpaineen välinen suhde tietyssä lämpötilassa, ts. ilmassa olevan vesihöyryn määrä suhteessa suurimpaan mahdolliseen. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina (%).

PAH

Polysykliset aromaattiset hiilivedyt ovat aromaattisia hiilivetyrenkaita sisältäviä, usein voimakkaan hajuisia kemiallisia yhdisteitä, joista monet ovat terveydelle haitallisia. PAH- pitoisia tuotteita on käytetty vielä -90 luvulla rakennusteollisuudessa esim. puumateriaalin kyllästysaineina, tai vedeneristyksinä käytetyissä bitumituotteissa.

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tarkoitus

Rakennusten eri laajuiset kuntotutkimukset ja -tarkastukset ovat yleistyneet viime vuosien aikana huomattavasti. Tavallisesti kuntotutkimukseen sisältyy rakenteiden tarkempi tutkiminen ns. rakenneavauksilla, joissa rakennetta avataan tai puretaan tarkemman kunnon selvittämiseksi sekä erilaisten mittausten ja näytteenottojen tekemiseksi. Laajemmissa rakennuksissa ko. avauksia voidaan tehdä useita kymmeniä, jopa satoja.

Rakenneavauksista sisäilmaan ja avauskohdan ympäristöön vapautuu helposti useita eri epäpuhtauksia rakenteesta ja mahdollisista rakenteellisista vaurioista riippuen. Epäpuhtauksien vaikutuksesta sisäilmaan hetkellisesti tai pitkäaikaisesti ei ole toistaiseksi varmaa tietoa, eikä vaihtelevien olosuhteiden ja eri tyyppisten rakenteiden vuoksi voida tehdä luotettavia yleistyksiä. Rakenneavausten tekohetkellä suurin henkilöaltistumisen riski on avauksen tekevällä kuntotutkijalla.

Epäpuhtauksista suurin osa, ja silmämääräisesti näkyvin aines jäävät rakenneavauskohdan läheisyyteen. Ilmavirtausten mukana kulkeutuvat kevyemmät epäpuhtaudet voivat kuitenkin kulkeutua huomattavan kauaksi rakenneavauskohdalta. Tällaista kontaminaatiota on vaikea havaita ja arvioida, koska hienojakoista pölyä tai kaasua ei voi silmämääräisesti havainnoida. Näin ollen siivoustarvetta ei myöskään voida silmämääräisesti arvioida luotettavasti.

Epäpuhtauksien leviäminen ympäristöön ja mahdollisesti muihin tiloihin on riippuvainen ilman liikkeistä rakenneavauskohdalla ja sen ympäristössä, näin ollen myös rakennuksen eri tilojen ja sisä- ja ulkoilman välisellä paine-erolla on suuri vaikutus ilman liikkeisiin ja ilmamääriin.

Omakohntaisen kokemuksen perusteella rakenneavauskohdan ympäristöön leviän pölyn määrä voi olla todella runsasta, ja rakennusten painesuhteet vaihtelevat tyypillisesti paljon. Kuntotutkijan hetkellinen altistus voi olla voimakasta, eikä suositusten mukaisia henkilö- tai ympäristön suojaustoimenpiteitä voida läheskään aina käytännössä toteuttaa. Puutteellisten suojaustoimenpiteiden vuoksi kuntotutkija voi työllään altistaa itsensä lisäksi tahattomasti myös muita henkilöitä, sekä pahimmillaan levittää epäpuhtauksia myös laajemmalle tutkittavaan kiinteistöön.

Monissa sisäilmaongelmaisissa rakennuksissa tiloissa koettu oireilu on pahentunut tutkimusten jälkeen. Syitä tähän voi olla useita, yksi syy voi kuitenkin olla rakenneavauksista tilaan ja sisäilmaan huomaamatta jäävät epäpuhtaudet. Epäpuhtauksien leviämiseen vaikuttavat useat eri tekijät, joiden ennakoiminen on käytännössä haastavaa, eikä tiloja voida täysin varmasti suojata tai rajata ns. varmuuden vuoksi.

Tämä opinnäytetyö perustuu pääasiassa henkilökohtaiseen intressiin aihepiiriin liittyen. Työn tarkoituksena oli tuottaa lisätietoa paineolosuhteiden merkityksestä rakenneavausta tehtäessä, sekä rakenneavauksen merkityksestä sisäilman laadun ja kuntotutkijan altistumisen kannalta.

Työssä tehtyjen laboratorioanalyysien yhteistyökumppanina toimi Koestus Oy Oulusta. Kenttätutkimuksiin soveltuvan kohdekiinteistön tarjosi Utajärven kunta.

1.2 Opinnäytetyön rajaus

Kuntotutkimuksissa ja- tarkastuksissa rakenneavauksia tehdään yleisesti kaikkiin eri rakenteisiin, kuten yläpohja-, alapohja- väliseinärakenteet jne. Tässä opinnäytetyössä tarkasteluun valittiin ulkoseinän alaosan rakenne, mikä on luultavasti yleisin rakenneavauksen kohde, rakennuksen iästä riippumatta.

Kohderakennuksen ulkoseinärakenne on puurankarakenteinen ja mineraalivillakeristeinen, mikä on yleisin Suomessa käytetty rakentamistapa, ja näin ollen soveltui hyvin tarkastelun kohteeksi. Esim. täysin tiili- tai betonirakenteisen seinän rakenneavaus on periaatteeltaan täysin erilainen ja edellyttäisi erillisen tarkastelun.

Rakenneavauksissa ympäristöön leviää rakennetyypistä, ja mahdollisesta vaurioasteesta riippuen eri epäpuhtauksia kuten pölyä (hiukkasia), mineraalivillakuituja, mikrobeja, PAH- ja VOC- päästöjä. Myös ulkoilmasta voi päästä sisäilmaan erilaisia epäpuhtauksia. Tässä työssä keskitytään rakenteesta sisäilmaan vapautuviin hiukkasiin (pöly) sekä teollisiin mineraalivillakuituihin (eristevillat).

Tässä työssä ei oteta kantaa kuntotutkijan altistumiselle fyysisille rasitteille.

2 Kirjallisuuskatsaus

Nykyisin rakennusten kuntotutkimukset ja niihin liittyvät mittaukset ja rakenteiden tarkastukset tehdään pääsääntöisesti Ympäristöministeriön julkaisun ”Rakennusten kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus 2016” -oppaan toimintatapoja noudattaen. Oppaaseen on koottu tietoa tutkimuksien tekemisestä ja tilaamisesta useista eri lähteistä. Toistaiseksi ohjeet eivät kovinkaan hyvin huomioi rakenneavausten kontaminaation hallintaa käytännön tasolla, eikä rakenneavauksen merkitystä sisäilmanlaatuun osata aina arvioida riittävän tarkasti.

Rakenteisiin kohdistuvat tarkemmat tutkimukset tehdään tavallisesti rakenteita avaamalla. Rakenneavauksella voidaan selvittää käytetty rakennustapa, arvioida materiaalien kuntoa, sekä tehdä tarpeen mukaan mittauksia, sekä näytteiden ottoja. (Ympäristöopas 2016)

Rakenneavauskohdat, niiden koon ja määrän määrittää viime kädessä kuntotutkija. Ennakkoon kohteesta voidaan tehdä tutkimussuunnitelma, jossa rakenneavausten määrä on voitu ennakkoon määrittää karkealla tasolla. Avaukset tehdään tavallisesti oletettuihin vaurio- ja riskipaikkoihin. Rakenteet pyritään avaamaan kuivan tilan puolelta, mikäli mahdollista. Ohjeistuksen mukaan rakenneavauksessa käytetään aina vähintään HEPA-suodattimella varustettua kohdepoistoa. (Ympäristöopas 2016)

Ennen rakenteen avaamista tulee harkita, voivatko materiaalit sisältää asbestia tai muita haitta-aineita, joiden vuoksi tarvittaisiin erityistä henkilökohtaista suojasta ja muita tavanomaisesta poikkeavia ympäristöä suojaavia toimenpiteitä. Osastointia ja alipaineistusta suositellaan käyttäessä silloin, kun rakenteissa epäillään olevan kosteus- tai mikrobivaurioita tai muita haitta-aineita kuten asbestia. (Ympäristöopas 2016)

2.1 Rakenneavauksen mahdolliset epäpuhtaudet

Rakenneavauksessa rakenteesta voi päästä sisäilmaan ja kuntotutkijan hengitysvyöhykkeelle pölyä rakenteissa olevista materiaaleista, materiaalien erilaisista vauriosta esim. kosteusvaurio ja kemiallinen vaurio (VOC). Lisäksi rakenteissa voi olla haitta-ainepitoisia materiaaleja joista voi vapautua kuituja ja kaasumaisia yhdisteitä kuten esim. asbesti ja PAH- pitoiset materiaalit.

Mikäli rakenneavaus tehdään ulkovaipparakenteisiin, voi myös ulkoilman epäpuhtauksilla olla vaikutusta. Ulkoilmassa voi olla antropogeenisistä lähteistä johtuvaa esim. liikennepölyä ja polttoperäisiä hiukkasia, sekä luonnollisista lähteistä johtuvia hiukkasia, esim. siitepölyä. (Hänninen 2015)

Hiukkasten koko vaikuttaa niiden kulkeutumiseen ja tunkeutumiseen hengitysteihin. Nenänieluun ja ylähengitysteihin tarttuvat halkaisijaltaan yli 10 µm hiukkaset. Keuhkorakkuloihin pääsevät pääasiassa alle 4 µm hiukkaset. (Pasanen 2017)

Rakennuspölyt ovat tavallisesti hengitettävässä, karkeassa hiukkaskokoluokassa (PM₁₀), ulkoilman mahdolliset hiukkaset ovat pienhiukkasia (PM_{2,5}). (Ympäristöopas 2016)

2.1.1 Hiukkaset

Rakenneavauskohdan pölyt koostuvat hiukkasista, joiden koko määrittää niiden kyvyn liikkua ilmavirtojen mukana ja laskeutua erilaisille pinnoille. Rakenneavauksissa rakenteista tyypillisesti irtoavia pölyjä ovat betonipöly, puupöly, kipsipöly, erilaisista rakennuslevyistä irtoava pöly, sekä teollisista mineraalivilloista kuitujen lisäksi irtoava pöly. Pölyjä ja hiukkasia irtoaa kaiken ikäisistä rakennuksista ja rakenteista; pölyn koostumukseen vaikuttaa rakenteen toteutustapa.

Rakenteista irtoava pöly esim. puupöly voi sisältää myös erilaisia muita epäpuhtauksia, kuten kyllästys- tai liima-aineita. Esim. vanhoissa lastulevyissä on tavattu

usein formaldehydiä, sekä 1930- 1980 luvuilla rakennetuissa rakennuksissa puu-tavara voi sisältää puunsuoja-aineena käytettyjä kloorianisoleja, mm. sinistymi-senestoinetta Ky5. Näiden aineiden on mm. epäilty aiheuttava hengitystie- ja silmäoireita, herkistymistä, sekä tunkkaista ja/ tai pistävää hajua. (Ympäristöopas 2016)

Puupöly itsessään voi aiheuttaa ärsytysoireita. Vuoden 2020 alusta työssään ko-vapuupölylle altistuvat henkilöt on ilmoitettava Työterveyslaitoksen ylläpitämään ASA-rekisteriin. (Työterveyslaitos 2020)

Betonipölylle pitkäaikaisesti altistuminen lisää keuhkosairauksien riskiä; pöly on alkalista ja limakalvoja ärsyttävää. (Ympäristöopas 2016)

Kosteusvaurioitunutta rakennetta tutkittaessa ja avattaessa on aina riski, että ra-kenteiden vaurioista irtoilee epäpuhtauksia sisäilmaan. Rakenteessa mahdल्ली- sesti olevat mikrobit, sienet ja levät kasvavat rakennusmateriaalissa itsessään tai voivat olla kiinnittyneinä kaikkiin rakennusmateriaaleihin. (Viitanen 2017)

2.1.2 Teolliset mineraalivillakuidut

Teolliset, mineraalivillat ovat epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisesta sideai-neesta muodostuvia lämmöneristeitä. Yleisimpiä villoja ovat kivi- ja lasivilla. Muita villalaatuja ovat masuunikuonasta valmistettu kuonavilla, sekä silikaattivilla. Mi-neraalivillakuidut ovat halkaisijaltaan alle 3 µm:stä (0,1 – 3 µm lasimikrokuitu) noin 8 µm:iin. (Siikanen 2001)

Ensimmäiset Suomessa valmistetut mineraalivillat olivat väriltään valkeita lasivil-loja, valkea väri johtui sideaineen puutteesta. Yleensä lasivilla on väriltään kel-taista, mutta villat voivat olla väriltään myös vihreätä, sinistä tai punaista. Kivivillat ovat yleensä väriltään ruskeita tai ruskean harmaita. Ensimmäisissä 1940- luvulla valmistetuissa ulkovaipparakenteissa käytetyissä lasivilloissa käytettiin vahvik-keena kiinni ommeltua voimapaperia. Vuodesta 1955 lähtien lasivillan sideai-neena alettiin käyttää hartsia, villaa kutsuttiin nimellä *Karhuntalja*. Ensimmäinen

suomalainen kivivilla on Vuoksenniska Oy:n 1940-luvun alussa valmistama *Vuorivanu*. Nykyisen mineraalivillan kaltaisia eristeitä on valmistettua Suomessa 1950-luvulta alkaen. (Siikanen 2001; Kaila 1997)

Etenkin vanhoissa, vielä korjaamattomissa julkisissa rakennuksissa on hyvin tavanomaista, että valkeita mineraalivillaeristeitä löytyy rakenteista. Myös Karhunta- ja Vuorivanu -nimitystä kuulee edelleen käytettävän etenkin vanhojen rakentajien keskuudessa. Nykyisin Suomessa suurimmat mineraalivillojen valmistajat ovat Paroc Oy (kivivillat) ja ranskalaiseen Saint-Gobain-konserniin kuuluva Isover Oy (lasivillat).

Suomessa mineraalivilloja on alettu käyttää rakentamisessa 1930-luvulta lähtien. Kotimaisen lasivillan valmistus aloitettiin Suomessa v. 1941, tätä ennen villaa on tuotu mm. Ruotsista. Ennen mineraalivillojen yleistymistä rakenteet olivat tavallisesti massiivirakenteita tai rakenteissa oli käytetty orgaanisia materiaaleja kuten sahanpurua, turvetta jne. Nykyisen mineraalivillaeristeet ovat hyvin yleisiä rakennusten lämmön- ja ääneneristeinä.

Mineraalivillakuituja käytetään, ja niitä on yleisesti käytetty rakennusten ulkoseinien ja ylä- ja alapohjarakenteiden lämmöneristemateriaaleissa, ilmanvaihtokanavien lämpö-, äänen- ja paloeristemateriaaleissa, ilmanvaihtokanaviston ja koneiden suodattimissa ja huonetilojen äänenvaimennusmateriaaleissa kuten akustiikkalevyissä. (Kaila 1997)

Sisäilmassa havaittujen teollisten mineraalivillakuitupitoisuuksien on todettu aiheuttavan ihon, silmien, hengitysteiden, ja limakalvojen ärsytysoireita. Kuidut voivat aiheuttaa myös herkistymistä muille mahdollisille sisäilman epäpuhtauksille. (Ympäristöopas 2016)

Eniten ärsytystä aiheuttavat kuidut, joiden halkaisija on $\geq 5 \mu\text{m}$. Halkaisijaltaan 3-5 μm kuidut voivat joutua henkitorveen, mutta eivät yleensä keuhkoihin saakka. Alle 3 μm kuitujen on kuitenkin mahdollista kulkeutua keuhkoihin saakka. Sisäil-

massa esiintyneiden kuitujen aiheuttamaa ärsytystä on raportoitu kuitupitoisuuden ollessa $<1 \text{ kpl/cm}^3$. Altistumisen loppuessa kuidut poistuvat kudoksista ja oireet katoavat. Kuidut voivat tarttua vaatteisiin ja kulkeutua altistustilan ulkopuolelle. (Työterveyslaitos 2011)

Mineraalivillat luokitellaan Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksellä ihoa ärsyttäväksi. Ominaisuuksista riippuen osa mineraalivilloista voi kuulua myös syöpää aiheuttavien aineiden ryhmään, josta tutkimustietoa ei kansainvälisen syöväntutkimuslaitoksen (IARC) mukaan ole riittävästi tyydyttävän arvioin tekemiseksi. Suomessa valmistettavat mineraalivillat eivät kuulu ko. ryhmään. (Siikanen 2001)

Sisäilmassa mahdollisesti olevia kuitupitoisuuksia tutkitaan ensisijaisesti kartoittamalla mahdollisia lähteitä rakennuksessa ja arvioimalla niistä irtoilevien kuitujen riskiä.

Sisäilmasta kuitupitoisuuksia tutkitaan erilaisin näytteenotoin. Sisäilmasta kerättävät näytteet kertovat aina tilanteen näytteen keräysajankohtana, jolloin on mahdollista, että sisäilmassa on kuitupitoisuuksia huolimatta siitä, että näytteet olisivat puhtaat. Lähtökohtaisesti rakennuksessa havaitut, mahdollisesti sisäilmaan vaikuttavat kuitulähteet tulisi aina poistaa, oli näytteissä pitoisuuksia tai ei.

Sisäilman pitoisuuksien tutkimiseen on tällä hetkellä yleisimmin käytössä ns. kuitulaskeumanäyte, jossa puhdistetulle alustalle annetaan laskeutua pölyä 14vrk:n ajan. Laskeuma-ajan jälkeen pinnasta kerätään geeliteippinäyte, joka analysoidaan laboratoriossa. Menetelmälle on määritetty asumisterveysasetuksessa toimenpiteiden raja-arvoksi $0,2 \text{ kpl kuituja /cm}^2$. Menetelmää ja ko. toimenpidearvoa käytetään asunnoissa ja työpaikoilla. (RT 20-11160 Haitta-ainetutkimus)

Sisäilmassa mahdollisesti olevia kuitupitoisuuksia voidaan myös tutkia keräämällä tilojen tasopinnoilta pölylaskeumanäytteitä, joista analysoidaan pölyn koostumus laboratorio-olosuhteissa. Näytteiden perusteella voidaan saada viitteitä kuiduista, mutta ei tarkkaa tietoa pitoisuuksista tai lähteistä. (Ympäristöopas 2016)

Konkreettista altistumista mitataan työpaikoilla henkilön työolosuhteissa mukana pidettävällä keräimellä, esim. Työterveyslaitokselta vuokrattavissa olevalla IOM-keräimellä. Keräin asennetaan lähelle työntekijän hengitysvyöhykettä, jolloin keräimeen johtuu ilmaa, joka edustaa mahdollisimman hyvin hengitettävän ilman laatua. Eri pitoisuuksille ja päästöille on Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa HTP-arvot 2018 määritetty raja-arvot, joiden alapuolella ei pääsääntöisesti aiheudu haittaa tai vaaraa nykyisen tutkimustiedon valossa. (HTP-arvot 2018, Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja)

2.2 Rakennuksen painesuhteet

Rakennuksen eri tilojen väliset, ja ulko- ja sisäilman väliset painesuhteet vaihtelevat tyypillisesti jatkuvasti, vaihtelu voi olla nopeaa ja hyvinkin voimakasta. Vaihteluun vaikuttavat mm. tuulen vaikutus, tilojen savupiippuvaikutus sekä tilojen käyttö. Muodostuvat paine-erot aiheuttavat ilmavirtauksia tilojen ja rakenteiden välillä. Ilmavirtaukset siirtävät lämpöä ja kosteutta sekä erilaisia epäpuhtauksia käytetyistä rakenteista ja ympäristöstä riippuen. (Ympäristöopas 2016)

Suomessa asuinrakennukset ja oleskelutilat suunnitellaan lähtökohtaisesti alipaineisiksi ulkoilmaan nähden kosteuskonvektion aiheuttaman rakenteellisen vuorioriskin vuoksi. Koneellisella tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmällä varustetun rakennuksen tavoitteellinen sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero on 0...-2 Pa. Koneellisella poistoilmavaihtolaitteistolla tavoitetaso on +5...-20 Pa, sekä painovoimaisella ilmavaihdolla 0...-5 Pa. (Ympäristöopas 2016)

Mikäli rakenteet ja talotekniset järjestelmät on toteutettu määräysten mukaan laadittujen suunnitelmien mukaisesti, ovat tilat alipaineisia ulkoilmaan nähden. Alipaineisuuden taso vaihtelee edellä mainittujen paine-eroihin vaikuttavien seikkojen yhteisvaikutuksesta. Koneellisilla ilmavaihtolaitteistoilla varustetuissa rakennuksissa laitteistojen säädöillä ja kunnolla on suuri vaikutus painesuhteisiin. Tavallisesti laitteistot eivät reagoi ympäristön, kuten tuulen aiheuttamaan luontaiseen paine-eron vaihteluun.

2.3 Lainsäädäntö kuntotutkimuksissa

Kuntotutkimuksia tehtäessä on huomioitava rakennuksissa ja tiloissa tapahtuva toiminta ja tutkimusten edellyttämät vaatimukset mm. sisäilman laadulle.

Asuin- ja työtilojen sekä yleisesti rakennusten terveydellisistä oloista säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa, terveydensuojelulaissa, työturvallisuuslaissa, sekä lakien nojalla annetuissa erilaisissa asetuksissa määräyksissä ja ohjeissa. (Ympäristöopas 2016)

Terveydensuojelulain 763/1994 tarkoituksena on mm. ennaltaehkäistä, vähentää ja poistaa elinympäristössä esiintyviä tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittaa. Lain 26§:ssä ja 27§:ssä on säädetty, että asunnoissa ja muissa oleskelutiloissa sisäilman olosuhteiden on oltava sellaiset, että niistä ei aiheudu tilassa oleskeleville terveyshaittaa. (Ympäristöopas 2016)

Mikäli tiloissa havaitaan mahdollisesti terveyshaittaa aiheuttavia olosuhteita, mm. mikrobeja, pölyä, hajua, kosteutta jne., on terveydensuojelulain 763/1994 27§ mukaan ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin haitan selvittämiseksi, poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Ensisijaisesti haitan poistaminen on haitan aiheuttajan vastuulla. Mikäli haitta aiheutuu rakennuksen rakenteista, eristeistä tai rakennuksen omistajan vastuulla olevista perusjärjestelmistä, on haitan poistamisen vastuu rakennuksen omistajalla, ellei muualla laissa toisin säädetä. Mikäli terveyshaitta aiheutuu asunnon tai muun oleskelutilan tavanomaisesta poikkeavasta käytöstä, on vastuu haitan poistamisesta ko. tilan haltijalla. (Terveydensuojelulaki 763/1994)

Asumisterveysasetuksessa 545/2015 3§:n mukaan terveyshaitta on arvioitava kokonaisuutena, jossa altisteen toimenpiderajaa sovellettaessa huomioidaan myös altistumisen todennäköisyys, toistuvuus ja kesto, sekä mahdollisuudet välttää tai poistaa haitta. (Asumisterveysasetus 545/2015)

Päätöksen mahdollisesta terveydensuojelulain mukaisesta terveystaitasta voi kuitenkin tehdä vain kunnan terveydensuojeluviranomainen. (Terveydensuojelulaki 763/1994)

Kuntotutkijan työolosuhteiden terveydellisistä vaatimuksista sekä mm. työnantajan vastuusta on säädetty työterveyshuoltolaissa 1383/2001 ja työturvallisuuslaissa 738/2002. (Ympäristöopas 2016)

Työterveyshuoltolain 1383/2001 tarkoituksena on edistää työhön liittyvien sairauksien ja tapaturmien ehkäisyä, työn ja työympäristön terveellisyyttä ja turvallisuutta, työntekijän terveyttä sekä toimintakykyä työntekijän, työnantajan, sekä työterveyshuollon yhteistoiminnalla. (Työterveyshuoltolaki 1383/2001)

Työturvallisuuslain 738/2002 tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden työkyvyn turvaamiseksi ja ylläpitämiseksi sekä ennalta ehkäistä ja torjua työtapaturmia, ammattitauteja ja muita työstä ja työympäristöstä johtuvia haittoja. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työturvallisuuslain mukaan työnantaja on velvollinen huolehtimaan työntekijän turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Työnantajan on otettava huomio on työhön, työolosuhteisiin ja muuhun työympäristöön, sekä työntekijän henkilökohtaisiin edellytyksiin liittyvät seikat. Huolehtimisvastuuta rajaavana seikkana voidaan huomioida epätavalliset ja ennalta arvaamattomat olosuhteet ja tapahtumat, joihin työnantaja ei voi vaikuttaa eikä välttää varotoimista huolimatta. Työnantajan on suunniteltava ja valittava työolosuhteet niin, että vaara- ja haittatekijöiden syntyminen estetään. Mikäli estäminen ei ole mahdollista, on työtavat korvattava vähemmän haitallisilla. Lisäksi työnantajan on jatkuvasti tarkkailtava työympäristöä ja työtapojen turvallisuutta. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työntekijän on lain mukaan noudatettava työnantajan antamia määräyksiä ja ohjeita, sekä muutoinkin työn edellyttämän turvallisuuden ja terveellisuuden ylläpitämistä. Työntekijän on huolehdittava käytettävissä olevin keinoin omasta ja mui-

den työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä. Työntekijän on ilmoitettava viipymättä työnantajalle ja työnsuojeluvaltuutetulle havaituista vioista tai puutteista, jotka voivat aiheuttaa haittaa työntekijän turvallisuudelle ja terveydelle. Muun henkilön omistamassa tilassa tai rakennuksessa ilmoitus on tehtävä myös tilan omistajalle ja/tai haltijalle. Työntekijän on mahdollisuuksien mukaan poistettava havaitsemansa vaaraa aiheuttava vika tai puute. Ilmoitusvelvollisuus on voimassa myös korjaavien toimenpiteiden jälkeen. (Työturvallisuuslaki 738/2002)

Työntekijän on käytettävä huolellisesti ja ohjeiden mukaisesti työnantajan hänelle antamia henkilösuojaimia ja muita varusteita, sekä käytettävä asianmukaista vaateetusta, josta ei aiheudu tapaturman vaaraa. Työntekijän tulee saamiensa ohjeiden, sekä ammattitaidon ja työkokemuksen mukaisesti käytettävä oikein koneita, työvälineitä sekä muita laitteita, sekä niiden turvallisuus- ja suojalaitteita. (Työturvallisuuslaki 738/2002 §22)

Työntekijällä on lain mukaan oikeus pidättäytyä työn tekemisestä, mikäli työstä aiheutuu vakavaa vaaraa työntekijän omalle tai muiden työntekijöiden terveydelle. (Työturvallisuuslaki 738/2002 §23)

Työterveyshuoltolain mukaisen työterveyshuollon kuuluu hyvän terveyshuolto-käytännön mukaisesti selvittää ja arvioida mm. työn ja työolosuhteiden terveellisyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat altisteet työpaikkakäynnein ja antaa tarpeen mukaan ohjeistusta ja neuvontaa työntekijän terveyttä koskevissa asioissa. Myös työnantajalla ja työntekijällä on lain mukaan velvollisuus antaa tietoja mahdollisesti työolosuhteisiin vaikuttavista vaaroista. (Työterveyshuoltolaki 1383/2001)

Syöpäsairauksien vaaralle työssään altistuvia henkilöitä seurataan erikseen valtakunnallisesti lain mukaan pidettävällä ASA-rekisterillä. Lain mukaan työnantajan on pidettävä luetteloa työpaikalla käytettävistä ja esiintyvistä syöpäsairauksien vaaraa aiheuttavista rekijöistä ja sisältävistä tuotteista, sekä työntekijöistä, jotka altistuvat ko. sairauden aiheuttaville tekijöille. Vuoden 2020 alusta syöpä-

vaarallisten aineiden määrittelyssä ja työmenetelmien arvioinnissa käytetään Valtioneuvoston asetuksen 1267/2019 liitteen listausta. (717/2001 Laki syöpäsairaiden vaaraa aiheuttaville aineille ja menetelmille ammatissaan altistuvien rekisteristä), (1267/2019 Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta)

2.4 Henkilökohtainen suojautuminen kuntotutkimuksissa

Ohjeita ja vaatimuksia henkilökohtaiseen suojautumiseen kuntotutkimuksien yhteydessä on esitetty useissa eri ohjekorteissa. Työtekijän ohjeistaminen ja riittävien suojainten hankinta on lain mukaan aina esimiehen ja työnantajan vastuulla. Kuntotutkimuksissa tarvittavan suojauksen tasoa on kuitenkin haastavaa määrittää etukäteen, jolloin viimekädessä riittävän suojauksen ja altistumisriskin arviointi jää tutkijalle itselleen. Tutkijan tulee tuntea käytetyt materiaalit, rakenteet, mahdolliset vauriot ja niihin liittyvät riskit. (Ympäristöopas 2016)

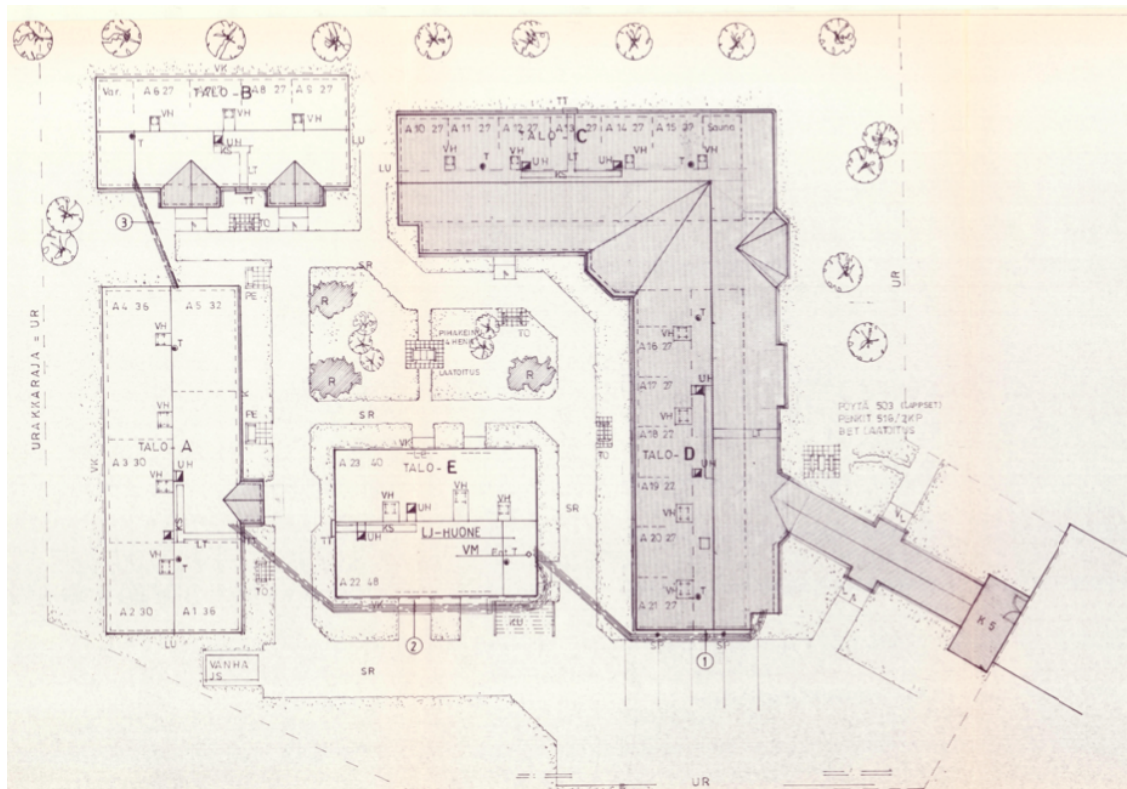
Altistumisen riski on erityisen suuri rakenneavausten yhteydessä, jolloin kuntotutkijan tulisi arvioida oman altistumisen lisäksi ympäristön kontaminoituminen ja muiden mahdollisten henkilöiden altistuminen. Henkilökohtaisesti pöly- ja mineraalivillakuiduilta suojautumiseen edellytetään P1-, P2-, tai P3-luokan hiukkas-suodattimella varustettua henkilösuojainta, sekä tarpeen mukaan kertakäyttöistä suoja-pukua ja -käsineitä. (Ympäristöopas 2016)

Myös eri materiaalien valmistavat voivat edellyttää tietyn tasoisia suojaimia tai työtapoja materiaalia käsiteltäessä. Esim. mineraalivillaeristeitä käsiteltäessä tulisi käyttää kehon peittäviä suojavaatetuksia, sekä vähintään P2- luokan hengityssuojainta. (Siikanen 2001)

3 Ilmavirtausten ja kontaminaation tutkimukset

3.1 Kohderakennus

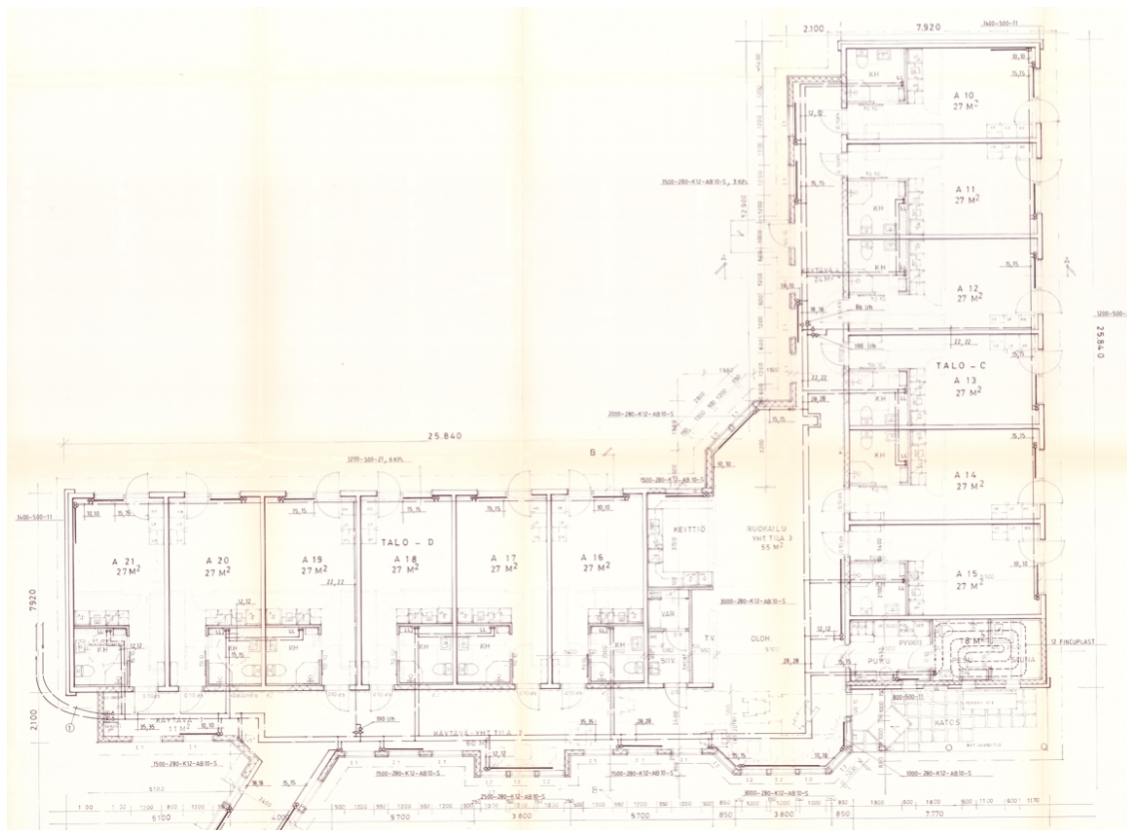
Kenttätutkimusten kohderakennuksena oli Utajärven kunnassa sijaitseva, mm. kosteusvaurioiden ja sisäilmahaitan vuoksi käytöstä poistettu, purkutuomion saanut vanhusten palvelukeskukseen kytketty erillinen asuntola-yksikkö. Rakennuksen osassa on kaksitoista vanhusten asumiseen tarkoitettua yksöitä, sekä hoitohenkilökunnan ja palvelutoiminnan edellyttävät sosiaali- ja yhteistilat. Rakennuksen osan kokonaispinta-ala on n. 1000 brm².



KUVA 1. Ote rakennuskokonaisuuden asemapiirustuksesta vuodelta 1995. Kohderakennus on kuvassa tummalla värillä. (Utajärven kunnan arkisto)

Rakennus on yhdistetty kahdesta vuonna 1977 rakennetusta erillisestä yksiköstä vuonna 1995 rakennetulla käytävällä ja yhteistiloilla. Tällöin tilojen pintamateriaalit ja talotekniset järjestelmät on myös uudistettu. Rakenteet ovat tyypillisiä 1970-luvun rakentamistavan mukaisia. Myös vuonna 1995 rakennetun laajennuksen rakenteet ovat periaatteeltaan 1970-luvun rakentamistavan mukaisia.

Rakennuksen lämmitysmuotona kaukolämpö, lämmönjako on yleisesti vesikiertoisilla pattereilla, pesutiloissa on vesikiertoinen lattialämmitys. Ilmanvaihtojärjestelmä on vuonna 1995 asennettu koneellinen tulo-/ poistoilmanvaihto.



KUVA 2. Rakennuksen pohjapiirros vuodelta 1995. (Utajärven kunnan arkisto)

Kaikki asiakashuoneet olivat kooltaan, varusteiltaan ja pintamateriaaleiltaan lähes toisiaan vastaavia. Tutkimusten luotettavan toistettavuuden kannalta kohde soveltui näin ollen erinomaisesti kohderakennukseksi. Tilat oli myös suurimmalta osin tyhjennetty irtaimistosta, eikä tiloissa ollut toimintaa. Tutkimusten kohteena kulloinkin olevia tiloja ja vallitsevia olosuhteita voitiin näin ollen kontrolloida ja muuttaa toivotulla tavalla.

Tutkimusten ajankohtana rakennuksen sisälämpötilaa oli vähäisesti laskettu. Muilta osin talotekniikka ja tilat olivat tilojen normaalin käytön edellyttämässä tilassa.

3.2 Ilmavirtaukset eri paineolosuhteissa

Rakennuksesta valittiin asiakashuone, jonka ulkoseinärakenteeseen tehtiin tavanomainen rakenteiden kuntotutkimuksiin liittyvä rakenneavaus. Rakenneavaus kohdistettiin seinän alaosaan, joka on hyvin tavanomainen rakenneavauskohta kuntotutkimuksissa.

Rakenneavauskohdalta sisäilmaan johtuvia ilmavirtauksia havainnollistettiin merkkisavulaitteella eri sisä- ja ulkoilman välisissä painesuhteissa. Savun leviäminen huoneistoon videokuvattiin.

3.2.1 Mittauskalusto ja mittauskaluston virhemarginaalit

Paine-eroa muutettiin haluttuun suuntaan ali-/ ylipaineistamalla tila saneerauskohteiden pölynhallintaan tarkoitetulla alipainepuhaltimella, johon jälkiasennettiin tyristorisäädin hienosäädön mahdollistamiseksi. Puhaltimena käytettiin Tamforce CTF-sarjan tuuletuspuhallinta, puhaltimen maksimi teho on 300W, -ilmavirtaus 45- 55m³/min, -paine 295-300 Pa. Merkkisavukoneena käytettiin Tiny CX handyfoggeria, jonka käsikytkin ohitettiin jatkuvan savuntuotannon mahdollistamiseksi.

Savuntuoton suuntaa muutettiin pahvista rakennetulla ohjaimella, joka asennettiin laitteen päähän. Näin ollen savukone ei itsessään antanut merkkisavulle valmista suuntaa, vaan savu jäi koneen päähän ilmavirran vietäväksi. Merkkisavu- ja paine-erolaitteisto on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Tutkimuksessa käytetty savukone (Looksolutions 2020) sekä paineistaja (Puulo 2020).

Paine-eron vaihtelun jatkuvatoimisena mittauskalustona oli Beck Differential Pressure Transmitter 984 ja tallennusyksikkönä Tinytag TGC-0046 dataloggeri. Hetkelliset mittaukset ja tarkastelut tehtiin kannettavalla TSI 5825 paine-eromit-
tarilla. Jatkuvatoimisen mittauksen laitevalmistajan ilmoittama mittavirhemargi-
naali on $\leq \pm 5\%$, hetkellisen $\pm 1\text{Pa}$. Paine-eron mittauslaitteisto on esitetty
kuvassa 4.



KUVA 4. Tutkimuksissa käytetyt paine-eron mittalaitteet. Kuvassa vasemmalla jatkuvaan mittauk-
sen käytetty laitteisto (SWOY), oikealla hetkellisen mittauksen laite (TSI) 2020).

Sisä- ja ulkoilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta seurattiin hetkellisesti ja jatkuvatoimisena mittauksena, mittauskalustona oli Fluke 971 Temperature / Humidity Meter, sekä Tinytag TV-4505 dataloggeri + 10K NTC Thermistor- anturi. Jatkuvatoimisen mittauksen laitevalmistajan ilmoittama virhemarginaali on +/- 3,0% RH @ 25°C, +/- 0,5°C, hetkellisen mittauksen virhemarginaali +/- 2,5 % RH @ 23°C, +/- 0,5°C. Sisäilman kosteuden ja –lämpötilan mittalaitteet on esitetty kuvassa 5.

Lattia- ja seinäpintojen pintalämpötiloja tarkasteltiin infrapunamittarilla Fluke 62 MAX+. Mittausten laitevalmistajan ilmoittama virhemarginaali on +/- 1°C.



KUVA 5. Kuvassa vasemmalla jatkuvatoiminen mittalaite ja anturi (Geminiloggers) ja oikealla puolella hetkellisissä mittauksissa käytetty laite (Fluke).

Yleisesti käytetyt mittalaitteet ovat kiinteistöjen kuntotutkimuksiin tarkoitettuja ja tarkkuudeltaan tutkimuksen lopputuloksen kannalta tavoitteenmukaisia. Mittalaitteiden kalibroinnit olivat tutkimushetkellä voimassa. Lisäksi tutkimuksessa käytettiin normaaleita kuntotutkimuksiin liittyviä käsityökaluja, koneita, ja laitteita.

Suurin virhemarginaali mittauksissa muodostuu käyttäjän työtavoista. Virhemarginaalit on huomioitu tulosten tulkinnassa ja johtopäätöksissä.

3.2.2 Tutkimushetken olosuhteet, tilan valinta ja valmistelu

Tutkimushetkellä 24.10.2019 sää oli sateinen, lievästi tuulinen. Lämpötila ulkona oli +3°C, ilman suhteellinen kosteus 100%. Sisäilman lämpötila oli n. 16- 17 °C, suhteellinen kosteus n. 39- 42%. Tutkimusajankohdan sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihtelu on esitetty liitteenä olevassa kuvaajassa (Liite 4.1).

Tutkimusten kohteena oleva tila valittiin rakennuksen takasivulta, jossa tuulen vaikutus suoraan mittalaitteisiin ja merkkiainelaitteeseen arvioitiin olevan vähäisin. Tutkimusten kohteena oleva tila on merkitty liitteenä olevaan tutkimuskarttaan (Liite 1). Tila ennen tutkimusten aloittamista on kuvattu kuvissa 6 ja 7.



KUVA 6. ja KUVA 7. Yleiskuvia tilasta. Pintamateriaalit yleisesti siistit ja hyväkuntoiset. Siisteystaso oli normaali. (Meriläinen 2019)

Tilan lattian pintalämpötilat olivat välillä 13,7- 14,5°C, rakenneavauskohdan seinäpinnan lämpötilat olivat 14,0- 14,5°C. Tilan lämmitys on yksittäisellä ikkunan alle asennetulla patterilla, sekä pesutilan lattialämmityksellä.

Tilan tulo- ja poistoilmaventtiilit suljettiin teippaamalla, jotta ilmavaihdolla ei olisi vaikutusta tilan paineistukseen, sulkemistapa on esitetty kuvissa 8 ja 9. Samassa yhteydessä varmuuden vuoksi teipattiin palohälytinlaitteisto.



KUVA 8. ja KUVA 9. Tilan tulo- ja poistoilmaventtiilit suljettiin teipillä. (Meriläinen 2019)

Tutkimushetken olosuhteita ja paine-eroa jatkuvatoimisesti tallentavat mittalaitteet sijoitettiin telineeseen huoneen keskivaiheille, n. 1m korkeudelle lattiapinnasta. Laitteiden sijoitus on esitetty kuvassa 10. Ali-ylipainepuhallin sijoitettiin pesutilaan, jossa sillä arvioitiin olevan vähiten vaikutusta ilmavirtoihin rakenneavauksen ympäristössä. Puhaltimelta johdettiin paineilmaletku huoneiston oven viereen tehtyyn reikään, josta ilmaa puhallettiin käytävään. Ylipaineistuksessa puhallin vaihdettiin käytävälle. Puhaltimen sijainti on esitetty kuvassa 11.



KUVA 10. ja KUVA 11. Vasemman puoleisessa kuvassa sisäilman RH%/T ja PE mittalaitteet, sekä rakenneavauksen kohta esitetty nuolella. Oikean puoleisessa kuvassa puhallin sekä paineletku. (Meriläinen 2019)

Ulkoseinä- ja lattiarakenteen liittymäkohtaan tehtiin n. A4-arkin kokoinen rakenneavaus, avauskohdan sijainti ja koko on esitetty kuvassa 12. Avauskohdalta

poistettiin sisäverhouslevyt, höyrynsulut, sekä seinän lämmöneristeet. Tuulensuojalevyyn ja ulkoverhouslaudoitukseen tehtiin savukoneelle sopiva reikä. Reistä merkkisavu ohjattiin rakennuksen ulkopuolelta rakenneavauskohtaan. Merkkisavukoneen nokkaan tehtiin savun virtauksen hidastamiseksi pahvinen ohjain. Ulkoverhoukseen tehty reikä on esitetty kuvassa 13.



KUVA 12. ja KUVA 13. Vasemman puoleisessa kuvassa seinän alaosaan tehty rakenneavaus. Oikean puoleisessa kuvassa savukoneen asennusreikä. (Meriläinen 2019)

3.2.3 Ilmavirtauksien tarkastelusta yleisesti

Seuraavissa kohdissa käydään läpi havainnot ilmavirtauksien liikkeistä rakenneavauskohdalla eri painesuhteissa. Savun leviämisen nopeus huonetilaan on ilmoitettu sekunneissa [s].

Paine-ero pyrittiin säätämään ja pitämään mahdollisimman stabiilina, vaihtelua tapahtuu kuitenkin pakosta jonkin verran. Paine-eromittauksen jatkuvatoimisen tallennuksen kuvaaja on kokonaisuudessaan liitteenä. (Liite 3.1).

Eri paineolosuhteiden muutosten välissä pidettiin taukoa niin kauan, että merkkisavu oli silmämääräisesti haihtunut kohdalta, eikä häiritsevästi vaikuttanut ilmavirtauksen uudelleen havainnointiin.

Yleisimmin, ja tavoitteellisesti säädettyinä paine-ero kyseisen rakenteen yli on 0...5 Pa alipaineinen. Tästä syystä em. paine-erossa on tehty useampi kokeilu

erilaisilla variaatioilla, jossa yhdessä myös havainnollistetaan tutkijan kokemaa altistusta.

Oletuksena tutkimuksessa on, että ilmavirtausten mukana epäpuhtauksia kulkeutuu sisätiloihin. Ilmavirtausten sisältämää pöly- ja kuitupitoisuutta on tarkemmin selvitetty kohdassa 3.3 Ympäristön kontaminaatio

Kuvat ovat pysäytyskuvia tutkimuksesta kuvatuista videoista.

3.2.4 Ilmavirtaukset paine-erotavoite +/- 0 Pa

Tarkastelun tavoitteellinen paine-ero oli tasapainotila, jossa rakennusvaipan yli ei ollut paine-eroa, toteutunut keskiarvio oli -0,16 Pa. Rakenneavauskohdalta sisäilmaan virtaava ilma jää pääasiassa rakenneavauskohdan edustalle (kuvat 14 ja 15), jossa se hiljalleen lämmitessään nousee patsaana ylöspäin (kuva 16). Ylhäältä ilma taas laskeutuu ja hiljalleen jakautuu ympäri huonetta. Merkkisavu on levinnyt koko huoneen alalle n. 150 s. kuluessa (kuva 17).



KUVA 14. ja KUVA 15. Vasemman puoleisessa kuvassa lähtötilanne, savu kertyy rakenneavauskohdan edustalle. Oikeanpuoleisessa kuvassa aikaa on kulunut n. 90 s. (Meriläinen 2019)



KUVA 16. ja KUVA 17. Vasemman puoleisessa kuvassa savu nousee hiljalleen patsaana ylöspäin. Oikeanpuoleisessa kuvassa savu on laskeutunut ja levinnyt lähes koko huoneen alalle, aikaa on kulunut n. 150 s. (Meriläinen 2019)

3.2.5 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -5 Pa

Tarkastelun tavoitteellinen paine-ero oli -5 Pa, toteutunut keskiarvio oli -6,14 Pa. Rakenneavauskohdalta sisäilmaan virtaava ilma levittäytyy suoraan lattiaa pitkin huoneen keskivaiheille (Kuvat 18 ja 19), jossa se jakautuu ympäri huonetta ja hiljalleen lämmitessään nousee ylöspäin (Kuva 20). Merkkisavu leviää koko huoneen alalle n. 100 s. kuluessa (Kuva 21).

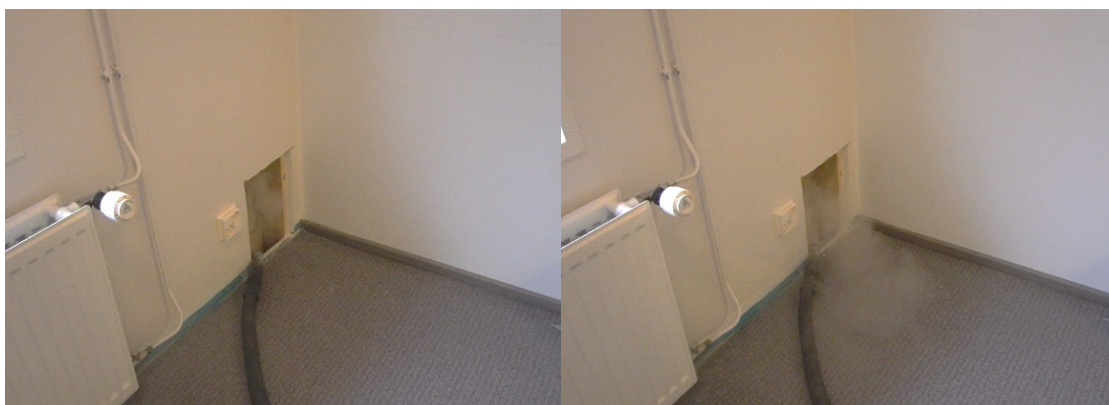


KUVA 18. ja KUVA 19. Vasemman puoleisessa kuvassa lähtötilanne, savu etenee suoraan lattiapintaa huoneen keskelle. Oikeanpuoleisessa kuvassa aikaa on kulunut n. 10 s. (Meriläinen 2019)



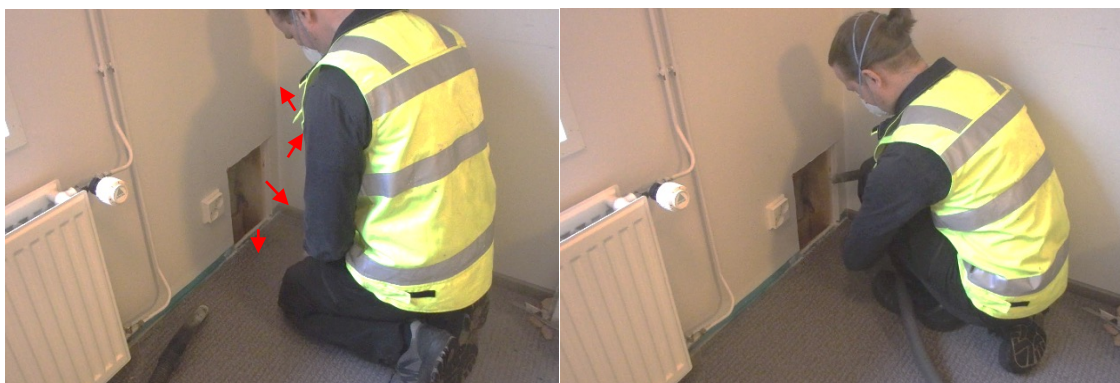
KUVA 20. ja KUVA 21. Vasemman puoleisessa kuvassa savu on levinnyt laajalle huoneeseen, aikaa on kulunut n. 50 s. Oikeanpuoleisessa kuvassa savu on levittäytynyt lähes koko huoneen alalle, aikaa on kulunut n. 80 s. (Meriläinen 2019)

Seuraavissa kuvissa tutkitaan kohdepoistoimurin (Kuvat 22 ja 23) ja tutkijan sijainnin (Kuvat 24 ja 25) merkitystä ilmavirtauksiin em. alipaineisuudessa.



KUVA 22. ja KUVA 23 Vasemman puoleisessa kuvassa kohdepoistoimuri käynnissä, kaikki savu johtuu suoraan imuriin. Oikeanpuoleisessa kuvassa hetki heti imurin sammuttamisen jälkeen. (Meriläinen 2019)

Tutkimuksen perusteella kohdepoistona toiminut imuri on riittävän tehokas keräämään lähes kaiken rakenneavauskohdalta sisäilmaan johtuvan ilman. Kohdepoiston sijainnilla rakenneavauskohtaan nähden ei ollut juuri merkitystä, letkun kärjen tuli kuitenkin sijaita n. sisäverhouslevyn tasolla.



KUVA 24. ja KUVA 25. Vasemman puoleisessa kuvassa 24 henkilön ollessa rakenneavauskohdan edustalla kohdalle muodostuu turbulenssia (havainnollistettu nuolin). Oikeanpuoleisessa kuvassa 25 kohdepoiston ollessa päällä ilmavirtaa sisälle ei ole. (Meriläinen 2019)

Kuntotutkijan ollessa rakenneavauskohdan edessä seinän ja tutkijan väliin muodostuu turbulenssia, joka pyörittää lattian suuntaisesti liikkuvaa ilmaa suoraan rakenneavauskohdalta havaintoja tekevän henkilön hengitysvyöhykkeelle, mikäli kohdepoistoa ei käytetä. Kohdepoiston ollessa päällä ilmavirtaa rakenneavauskohdalta sisäänpäin ei ole.

3.2.6 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -10 Pa

Tarkastelun tavoitteellinen paine-ero oli -10 Pa, toteutunut keskiarvio oli -10,63 Pa. Rakenneavauskohdalta sisäilmaan virtaava ilma leviää viimamaisesti suoraan imurin- ja seinän vierustaa rakenneavauskohdalta huoneeseen suuntaan n. 2-3 m etäisyydelle (Kuvat 26 ja 27), jossa se levittäytyy huoneen keskivaiheille ja hiljalleen lämmitessään nousee ylöspäin (Kuva 28). Merkkisavu leviää koko huoneen alalle n. 60 s. kuluessa (Kuva 29).



KUVA 26. ja KUVA 27. Vasemman puoleisessa kuvassa lähtötilanne, savu etenee suoraviivaisesti seinän vierustaa lattiapinnan tasassa n. 2-3 metrin etäisyydelle rakenneavauskohdasta. Oikeanpuoleisessa kuvassa aikaa on kulunut n. 16 s. (Meriläinen 2019)



KUVA 28. ja KUVA 29. Vasemman puoleisessa kuvassa savu on levinnyt jo laajalle huoneeseen, aikaa on kulunut n. 45 s. Oikeanpuoleisessa kuvassa savu on levittäytynyt lähes koko huoneen alalle, aikaa on kulunut n. 50 s. (Meriläinen 2019)

3.2.7 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -15 Pa

Tarkastelun tavoitteellinen paine-ero oli -15 Pa, toteutunut keskiarvio oli -14,68 Pa. Rakenneavauskohdalta sisäilmaan virtaava ilma leviää viimamaisesti suoraan imurin- / seinän vierustaa rakenneavauskohdalta huoneen suuntaan (Kuvat 30 ja 31). Ilmavirta muodostaa turbulenssia, joka levittää ilmaa myös suoraan huoneen keskivaiheille (Kuva 32). Ilman lämpeneminen ja ylöspäin kohoaminen on aiempia tarkasteluita hitaampaa, joka johtuu todennäköisesti suuremmasta viileän ilman määrästä. Ilmamäärän kasvaessa suhteessa savun määrään havainnointi vaikeutuu. Merkkisavu leviää koko huoneen alalle n. 40 s. kuluessa (Kuva 33).



KUVA 30. ja KUVA 31. Vasemman puoleisessa kuvassa lähtötilanne, savu etenee suoraviivaisesti eteenpäin rakenneavauskohdasta. Oikeanpuoleisessa kuvassa ilmavirtauksen linjan edessä oleva imuri aiheuttaa turbulenssia, joka ohjaa ilmaa myös keskelle tilaa, aikaa on kulunut n. 18 s. (Meriläinen 2019)



KUVA 32. ja KUVA 33. Vasemman puoleisessa kuvassa savu on levinnyt jo laajalle huoneeseen, aikaa on kulunut n. 22 s. Oikeanpuoleisessa kuvassa savu on levittäytynyt koko huoneen alalle, aikaa on kulunut n. 40 s. (Meriläinen 2019)

3.2.8 Ilmavirtaukset paine-erotavoite -20...-30 Pa

Ilmavirtauksia testattiin myös äärimmäisissä olosuhteissa, joita käytännössä tavataan harvoin kuntotutkimusten yhteydessä. Paine-ero asetettiin laitteiston kapasiteetin maksimiin. Paine-eron keskiarvo oli -19,74 Pa, vaihteluväli -17,02...-26,16 Pa.

Ilmavirtauksen havainnointi on haastavaa suuresta ilmamäärästä johtuen, savu leviää nopeasti koko huoneen alalla ja sekoittuu huoneilmaan (Kuva 34). Arviolta merkkisavu on levinnyt koko huoneen alalle 15- 20 s. aikana (Kuva 35).



KUVA 34. ja KUVA 35. Vasemman puoleisessa kuvassa lähtötilanne n. 20 Pa alipaineessa. Oikean puoleisessa kuvassa savu levinnyt lähes koko tilan alalle, savu vaikeasti havaittavaa, aikaa on alkutilanteesta kulunut 15 s. (Meriläinen 2019)

3.2.9 Ilmavirtaukset paine-erotavoite +5 Pa

Tarkastelun tavoitteellinen paine-ero oli +5 Pa, eli testihuone oli lievästi ylipaineinen ulkoilmaan nähden. Toteutunut keskiarvio oli +5,63 Pa.

Liitteenä (Liite 3.1) olevassa paine-eron kuvaajassa havaittavissa oleva vaihtelu johtuu ulko-oven avaamisesta hetkittäin paine-eron muuttamiseksi.

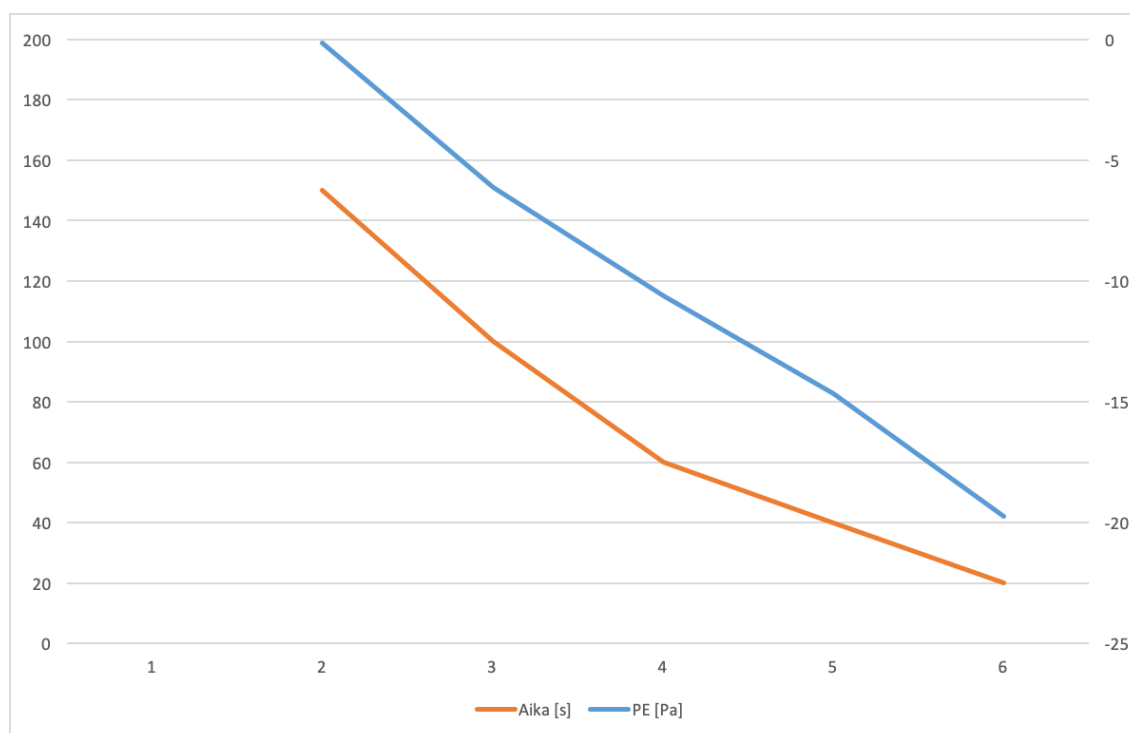
Ylipaineisessa olosuhteessa ilmavirtaa sisälle ei tarkastelun perusteella ole (Kuva 36), eikä pieni paine-eron hetkellinen vaihtelu, esim. oven availu, muuta tilannetta oleellisesti (Kuva 37).



KUVA 36. ja KUVA 37. Vasemman puoleisessa kuvassa tilanne n. +5 Pa ylipaineessa, viitteitä ilmavirroista sisälle ei ole. Oikeanpuoleisessa kuvassa merkkisavua vähäisesti näkyvillä rakennauskohdan yläreunassa ulko-ovea raollaan käytettäessä. (Meriläinen 2019)

3.2.10 Johtopäätökset

Rakenneavauskohdalta huonetilaan ja sisäilmaan tulevat ilmavirrat levittäytyvät todella nopeasti koko huoneen alalle. Oletetussa ”normaalissa” alipaineolosuhteessakin huonetilan sisäilma on kokonaisuudessaan kontaminoitunut minuuteissa, suuremmissa paine-eroissa vastaavasti sekunneissa. Paine-eron määrä korreloi tilan kontaminoitumisen nopeuden kanssa. Tilan kontaminoitumiseen kuuluneen ajan ja paine-eron määrän kuvaajat on esitetty alla.



KUVAAJA 1. Kuvaajassa esitetty paine-eron kasvun ja tilan kontaminoitumisajan kuvaajat, molemmat kasvavat yhtä voimakkaasti. (Meriläinen 2020)

Vastaavan rakenneavauksen tekeminen ja siihen liittyvät havainnot, mittaukset ja dokumentointi kestävät kokonaisuudessaan rakenteesta riippuen n. 15- 30 min., tässä ajassa huoneilma on todennäköisesti kokonaisuudessaan kontaminoitunut. Näin ollen alipaineisuuden määrällä ei ole juurikaan merkitystä tilan ja sisäilman kontaminaation kannalta. Kontaminaatio on tapahtunut merkittävässä määrin muutamien minuuttien, pahimmillaan muutamien kymmenien sekuntien kuluessa tilan ollessa alipaineinen.

Rakenneavausta tehtäessä kuntotutkijan altistumisen riski rakenneavauksen epäpuhtauksille on todennäköinen, mitä suurempi alipaineisuus on, sitä enemmän ilmaa virtaa suoraan avauskohdan edessä olevan henkilön hengitysvyöhykkeelle, kasvoille ja vaatteille. Suuremmassa kuin 5 Pa:n alipaineessa ilmavirrat alkavat muodostaa turbulenssia, joka pyörittää ilmaa hengitysvyöhykkeellä, mikä lisää altistumisen riskiä entisestään.

Paine-eron ollessa tasapainotilassa ilmamäärät ovat pieniä, mutta avauskohdalta johtuva ilma jää rakenneavauskohdan läheisyyteen. Kuntotutkijan altistumisen riski on tässäkin tapauksessa suuri, tosin epäpuhtauksien määrä on todennäköisesti vähäisempi suurempaan paine-eroon verrattuna. Myös ympäristön kontaminaatio leviää hitaammin ja vähäisemmälle alalle verrattuna alipaineiseen olosuhteeseen.

Ylipainetilanteessa ilmavirtaa rakenneavauskohdalta ei selkeästi ole, tämä poistaa lähes varmasti ympäristön kontaminaation ja kuntotutkijan altistumisen riskin.

Kohdepoistoa käytettäessä vielä n. 5 Pa:n alipaineessa poiston tehokkuus oli riittävä keräämään lähes kaiken ilmavirran rakenneavauskohdalta. Alipaineen kasvaessa kohdepoisto ei ole yksistään riittävä. Kohdepoiston tehokkuudella on suuri merkitys, tosin käytännössä tarkoitukseen soveltuva kalusto täytyy olla mm. helposti liikuteltavissa, mikä rajoittaa laitteiston tehokkuutta. Tarkastelussa käytetty kohdepoistomuri oli tavanomainen kuntotutkimuksissa käytettävä kuiva-/märkäimuri.

Yli 10 Pa:n alipaineisuudessa ilmamäärä lisääntyi liiallisesti suhteessa vakiona pysyneeseen merkkisavun määrään, minkä vuoksi ilmavirtauksien havainnointi hankaloitui. Visuaalista havainnointia ja dokumentointia voisi parantaa käyttämällä esim. paine-eron mukaan skaalautuvaa savukonetta. Lopputulos on kuitenkin varsin selkeä, eikä lisävarmuuden hankkiminen tämän tutkimuksen osalla nähty tarpeelliseksi.

Tasapainotilassa ja alle 10 Pa:n alipaineessa tilassa liikkuminen aiheutti lievää häiriötä ilmavirtauksiin. Etenkin tasapainotilassa ilman liikkeet ovat luonnillisesti täysin riippuvaisia kohdalla tapahtuvista olosuhteiden muutoksista. Todellisessa tilanteessa myös kiintokalusteet, irtaimistot jne. aiheuttavat muutoksia ilmavirtauksiin.

Ulko- ja sisäilman lämpötiloilla, sekä pintojen lämpötiloilla on myös merkitystä ilman liikkeisiin. Esim. mikäli tilassa olisi lattialämmitys olisi ilman lämpeneminen, ja ylöspäin nouseminen todennäköisesti nopeampaa. Tämän varmistaminen edellyttäisi lisätutkimuksia.

Olosuhdemittausten perusteella rakenneavauksen tekeminen laskee luonnollisesti sisäilman lämpötilaa etenkin paine-eron ollessa suuri, samalla myös sisäilman suhteellinen kosteus nousi jonkin verran. Tämä johtui tutkimushetkellä ulkona vallinneista olosuhteista, tilanne muuttuu vastaavasti ulkoilman lämpötilan ja kosteuden mukaan. Tämän tutkimuksen tuloksiin sisäilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan muutoksella ei ole merkittävää vaikutusta. Muutokset näkyvät selvästi kuvaajista (Liite 4.1 ja Liite 4.2). Olosuhteet tasoittuvat aiempaan varsin nopeasti olosuhteen taas muuttuessa normaaliksi.

3.3 Ympäristön kontaminaatio

Kontaminaation tutkimuksiin rakennuksesta valittiin savutestauksia vastaava asiakashuone, jonka ulkoseinärakenteeseen tehtiin vastaava rakenneavaus paine-eron ollessa n. 5 Pa alipaineinen ulkoilmaan nähden. Paine-eroksi valittiin 5 Pa alipainetta koska ilmvaihtolaitteiston ollessa säädetty tavoitetason mukaan, paine-ero on todennäköisesti välillä 0...-5 Pa, näin ollen olosuhde on yleisimmin rakennuksissa vallitseva. Tutkimushetken paine-eron kuvaaja on liitteenä (Liite 3.2).

Leviävän pölyn ja mineraalivillakuitujen määrää tutkittiin aistinvaraisesti, sekä pölypyyhintä- ja geeliteippinäytteillä. Näytteiden keräystä ja toistettavuutta varten tilan lattiapintaan tehtiin ns. "pölyrata". Pölyradassa rakenneavauskohdalta lattian muovimaton pintaan rajattiin 300 mm leveät kaistat ulkoseinän vierustalle, sekä lattian n. keskivaiheen suuntaan. Kohdat valittiin merkkisavutestauksen perusteella kohdille, joihin ilmavirtaukset useimmissa tapauksissa suuntautuivat. Pölyradan tarkka mittapiirros ja näytteiden keräyskohdat on esitetty liitteessä (Liite 2).

Rakenneavaus tehtiin tavanomaisin työtavoin ja menetelmin, jolloin tarkoituksena on selvittää käytetty rakenne ja sen kunto kokonaisuudessaan. Toimintamalli on kuvattu Ympäristöoppaan 2016 ohjeissa. Suosituksista poiketen kohdepoistoa ei käytetty, koska savutestauksen perusteella kontaminaatiota ei juuri tapahdu tällöin ko. paine-eron vallitessa. Toisaalta käytännössä kohdepoistoa ei läheskään aina käytetä rakenneavauksissa.

Rakenneavauksen tekeminen ja ilmatiiviisti sulkeminen kesti n. 33 min. Kohdehuone ja rakenneavauskohta on esitetty tutkimuskartassa (Liite 1).

Paineistus- mittaus- ja tutkimuskalustona oli aiemmassa kohdassa 3.2.1 mainitut koneet ja laitteet. Olosuhteet vastaavat pääpiirteittäin savutestausten ajankohtaa, eikä mittavirheissä ole merkittäviä eroja aiempaan verrattuna.

3.3.1 Tutkimushetken olosuhteet ja tilan valmistelu

Tutkimushetkellä 19.11.2019 sää oli sateinen, maassa oli lumipeite. Lämpötila ulkona oli +2°C, ilman suhteellinen kosteus 99,0%. Sisäilman lämpötila oli n. 15-16 °C, suhteellinen kosteus n. 36- 44%. Tutkimusajankohdan suhteellisen kosteuden ja lämpötilan vaihtelu on esitetty liitteenä olevassa kuvaajassa (Liite 4.2).

Tilan lattian pintalämpötilat olivat välillä 13,2- 15,5°C, rakenneavauskohdan seinäpinnan lämpötilat olivat 14,5- 15,5°C. Tilan lämmitys on kahdella ulkoseinille asennetulla patterilla, sekä pesutilan lattialämmityksellä.

Alla olevassa kuvassa 38 on esitetty lattiapintaan rajattu pölyrata. Radan pinta puhdistettiin nihkeällä mikrokuitupyhkeellä, sekä nukkaamattomalla kuitupyhkeellä ennen rakenneavauksen tekemistä.



KUVA 38. Testihuoneen lattiaan rajattu "pölyrata". Rakenneavauskohhta ulkonurkassa nuolen osoittamalla kohdalla. (Meriläinen 2019)

Rakenneavauksessa ulkoseinärakenteen alaosaista poistettiin sisäverhouslevyt, höyrynsulkumuovit, sekä lämmöneristeet. Alaohjauspuusta leikattiin, ja poistettiin n. 10 cm:n pituinen pala, sekä lattiapinnan alapuolelle viedyn seinänlevyn alaosa poistettiin. Viimeisenä poistettiin pala tuulensuojalevyä. Rakenteesta tehtiin tavanomaiset, kuntotutkimuksiin liittyvät havainnot ja mittaukset, jotta tilanne havainnollistaisi mahdollisimman luotettavasti oikeaa rakenneavaustilannetta. Avattu rakenne ennen mittauksia ja havainnointia on esitetty kuvassa 39.

Rakenneavauksesta muodostuvaa karkeaa pölyä ja materiaalia siirrettiin käsin erityistä varovaisuutta noudattaen viereiselle seinustalle, kuntotutkijan taakse. Materiaalit siirrettiin tutkijan ohi seinän puolelta, pölyradan puolelle varottiin tekemästä toimenpiteitä, jotka voisivat vaikuttaa pölyn normaaliin leviämiseen lattiapinnalle sekä sisäilmaan.



KUVA 39. Kuva rakenneavauksesta. Rakenne avattiin "normaaliin" tapaan niin, että rakenne saadaan täysin selvitettyä, rakenneavauksen kesto oli n. 33min. (Meriläinen 2019)

3.3.2 Pölylaskeuman aistinvaraiset havainnot

Sisäilmasta, ympäristöstä, tutkijan vaatteilta ja pölyradalta tehtiin havaintoja aistinvaraisesti, sekä taskulampun valokeilaa apuna käyttäen rakenneavauskohdan sulkemisen jälkeen, eli n. 35min. avauksen aloittamisesta.

Rakennearauskohdan ympäristössä lattiapinnalle kertyy silmämääräisesti havaittava pölykerros. Myös tutkijan vaatteille kertyvä pölykerros on selvästi nähtävissä (Kuva 40). Kauempana huoneistossa, sekä sisäilmassa pöly ei ole nähtävissä ilman valokeilaa tms., pölyä on kuitenkin sisäilmassa sekä kertyneenä pinnoille (Kuvat 41, 42 ja 43).



KUVA 40. ja KUVA 41. Vasemman puoleisessa kuvassa tutkijan vaateista rakenneavauksen jälkeen, hengitysvyöhykkeen altistumisriski on selvä. Oikean puoleisessa kuvassa silmämääräistä pölykertymää tason päällä olevan tietokoneen päältä. (Meriläinen 2019)



KUVA 42. ja KUVA 43. Vasemman puoleisessa kuvassa pölyä sisäilmassa vielä 1h jälkeen avauksesta. Oikean puoleisessa kuvassa pölyä ei juuri ole 1,5h jälkeen. (Meriläinen 2019)

Sisäilmassa pölyä oli rakenneavauksen jälkeen silmämääräisesti koko huoneiston alalla. Pölyä laskeutui pinnoille myös tilan kauimmaisessa nurkassa rakenneavauskohtaan nähden. Silmämääräisesti arvioituna ilmassa oli pölyä vielä n. 1,5 h rakenneavauksen jälkeen.

Pölyradan reunateipeistä pölyä ei havaittu silmämääräisesti ilman valokeilaa rakenneavauskohta lähialueen ulkopuolelta (Kuva 44). Valokeilan avulla pölykerros on nähtävissä (Kuvat 45, 46 ja 47)



KUVA 44. ja KUVA 45. Molemmissa kuvissa kohta rakenneavauksesta 0,5 m seinän suuntaisesti, pölyä ei silmämääräisesti ole selvästi havaittavissa, kohdalla geeliteippinäyte G01. Oikean puoleisessa kuvassa teippi on otettu kohdalta pois, pöly näkyvässä valokeilan avulla. (Meriläinen 2019)



KUVA 46. ja KUVA 47. Vasemman puoleisessa kuvassa kaukaisin geeliteippinäytteenotto kohta G06 seinän vierustalla, pöly näkyvässä valokeilan avulla teipin poiston jälkeen. Oikean puoleisessa kuvassa kaukaisin kohta huoneen keskellä G012, pöly näkyvässä valokeilan avulla teipin poiston jälkeen. (Meriläinen 2019)

3.3.3 Pölypyyhintä- ja geeliteippinäytteet

Lattiapinnalta kerättiin pölypyyhintänäytteitä yht. 6 kpl ja geeliteippinäytteitä yht. 12 kpl. Näytteet kerättiin asumisterveysasetuksen 545/2015 soveltamisohjeen ja RT- ohjekortin ”Haitta-ainetutkimus RT 20-11160” mukaisin työtavoin. Näytteillä oli tarkoitus selvittää kuinka kauaksi silmämääräisesti näkymätön pöly ja teolliset mineraalivillakuidut leviävät rakenneavauskohdalta, ja muuttuuko pölyn koostumus rakenneavauskohdan eri etäisyyksillä.

Näytteiden tuloksille ei tässä tapauksessa ole virallisia vertailu- tai raja-arvoja. Mineraalivillakuiduille on olemassa raja-arvo $0,2 \text{ kpl/cm}^2$, mikäli näytteet kerätään 14 vrk. laskeuma-ajalla. Raja-arvoa ei voida käyttää virallisesti, mutta se antaa suuntaa määrällisesti. Näytteet analysoitiin Koestus Oy:n laboratoriossa Oulussa.

Näytteet kerättiin pölyn ollessa silmämääräisesti laskeutunut n. 1,5h kuluttua rakenneavauksen aloituksesta/ lattiapinnan puhdistamisesta.

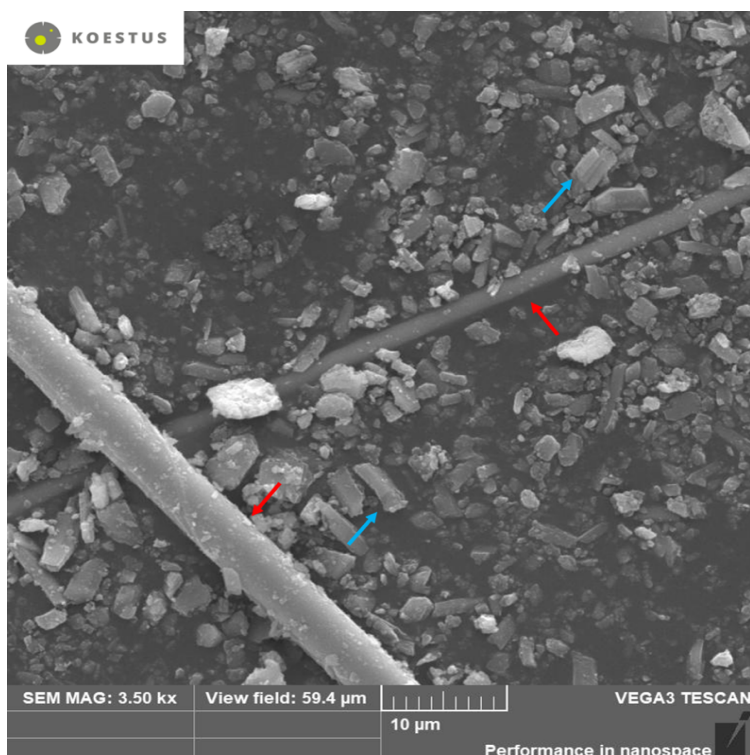
Pölypyyhintänäytteissä (6 kpl) kaikissa havaittiin kipsipölyä ja vähän muita Ca-pohjaisia pölyä, sekä teollisia mineraalivillakuituja. Osassa näytteitä havaittiin lisäksi orgaanisia pölyjä.

Geeliteippinäytteissä (12 kpl) kaikissa havaittiin teollisia mineraalivillakuituja. Rakenneavauskohtaa lähimpänä olevissa näytteissä (G01 ja G07) mineraalivillakuituja oli todella runsaasti (arvio $350-400 \text{ kpl/cm}^2$), kauimpana olevissa kahdessa näytteessä (G06 ja G012) n. 35 kpl/cm^2 . Geeliteippinäytteiden tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon 1.

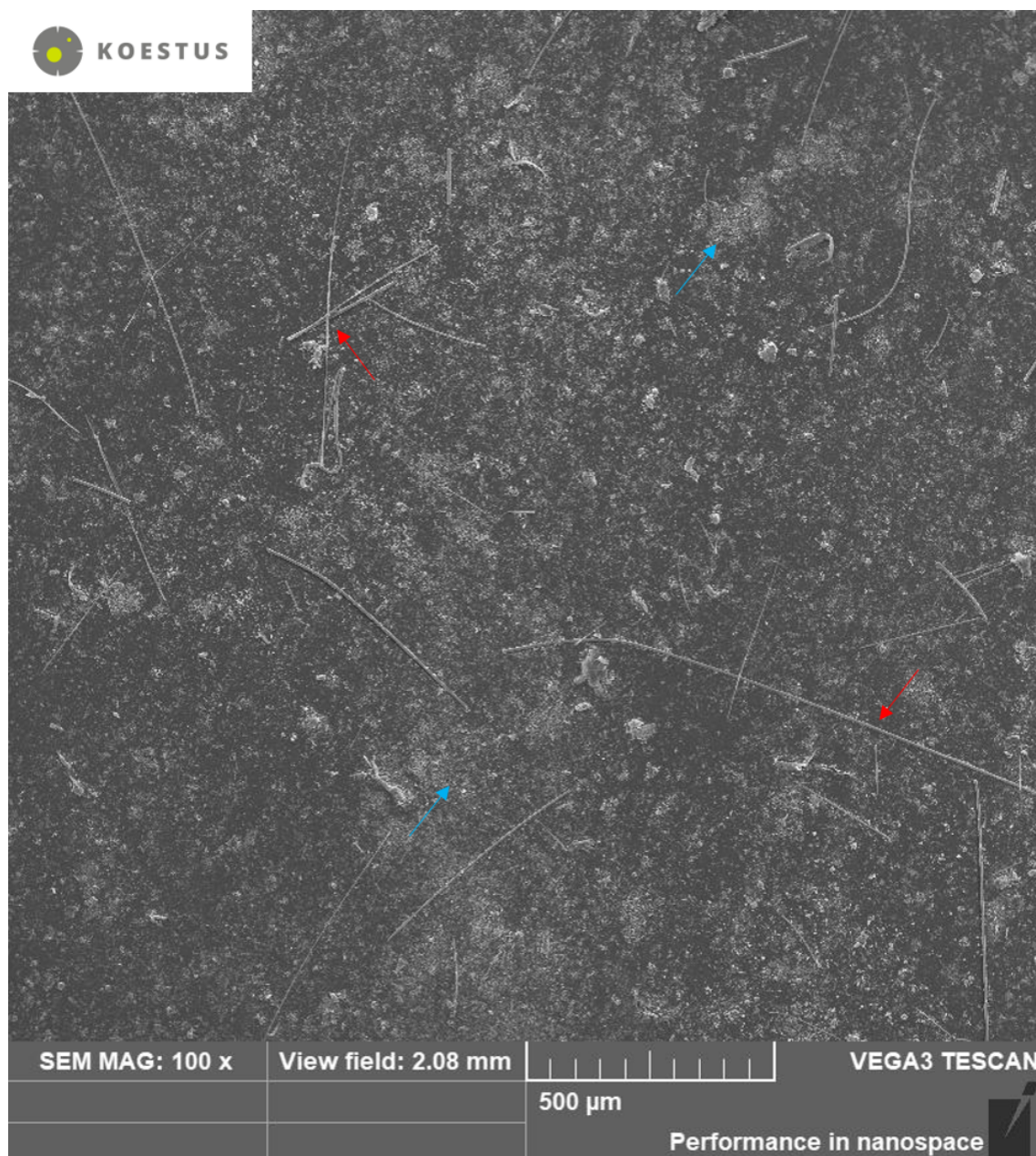
KOESTUS		Teollisten mineraalikuitujen laskenta geeliteippinäytteestä			
Näyte	Ottopaikka	Tulos (kpl/cm ²)	Näyte	Ottopaikka	Tulos (kpl/cm ²)
G01	480 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 400	G07	800 mm avauksesta, viistoon	n. 350
G02	960 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 240	G08	1280 mm avauksesta, viistoon	n. 170
G03	1440 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 190	G09	1760 mm avauksesta, viistoon	n. 110
G04	1920 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 80	G10	2240 mm avauksesta, viistoon	n. 70
G05	2400 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 70	G11	2720 mm avauksesta, viistoon	n. 65
G06	2880 mm avauksesta, seinän vierestä	n. 35	G12	3200 mm avauksesta, viistoon	n. 35

TAULUKKO 1. Teollisten mineraalivillakuitujen laskennan tulokset. Havaittujen kuitujen määrä vähenee tasaisesti etäisyyden mukaan. (Koestus Oy 2020)

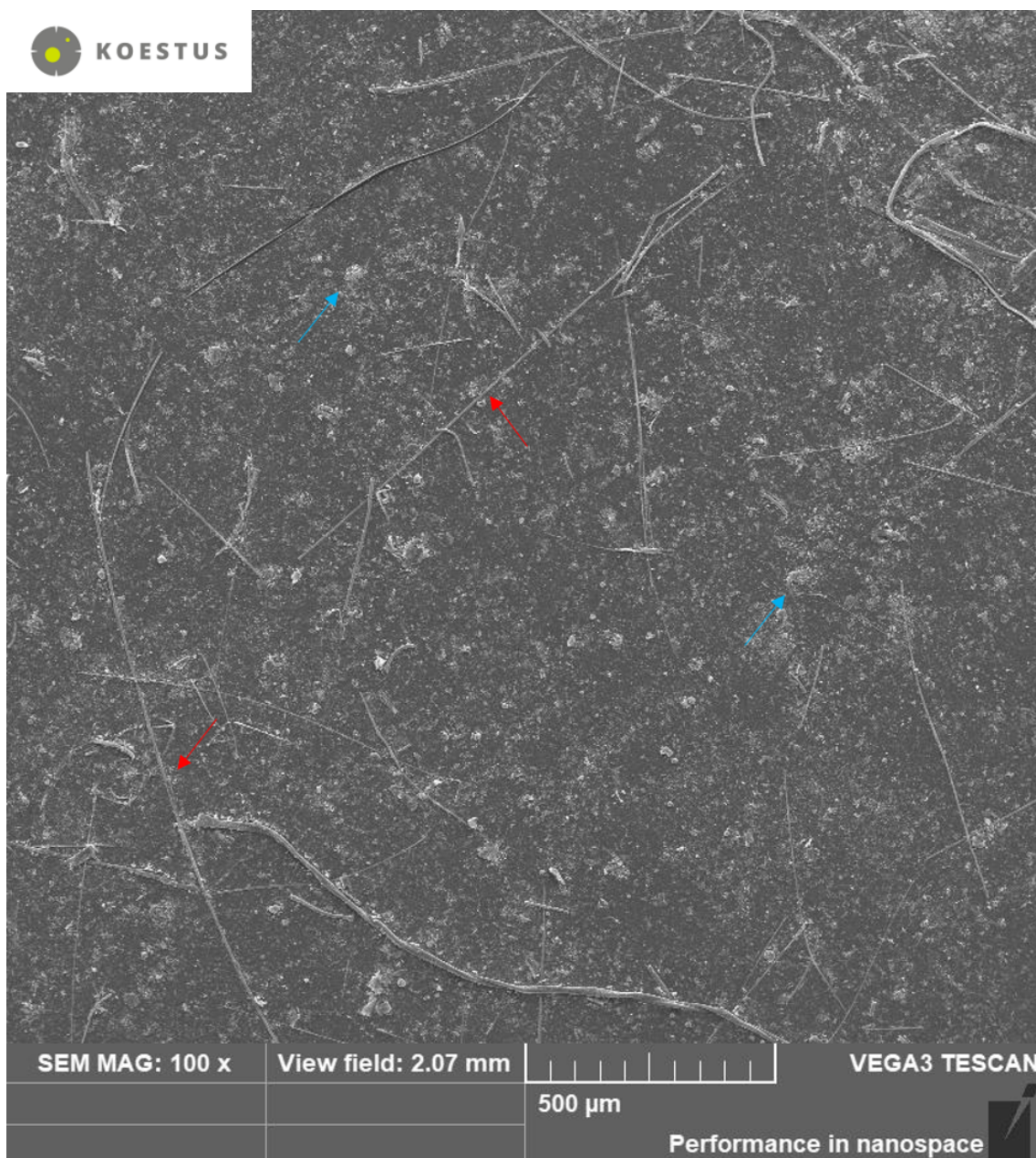
Alla on esitetty pölypyyhintänäytteiden kuvia elektronimikroskooppitarkastelusta (Kuvat 48-51). Näytteiden keräysalueet on esitetty pölyradan mittapiirroksessa (Liite 2).



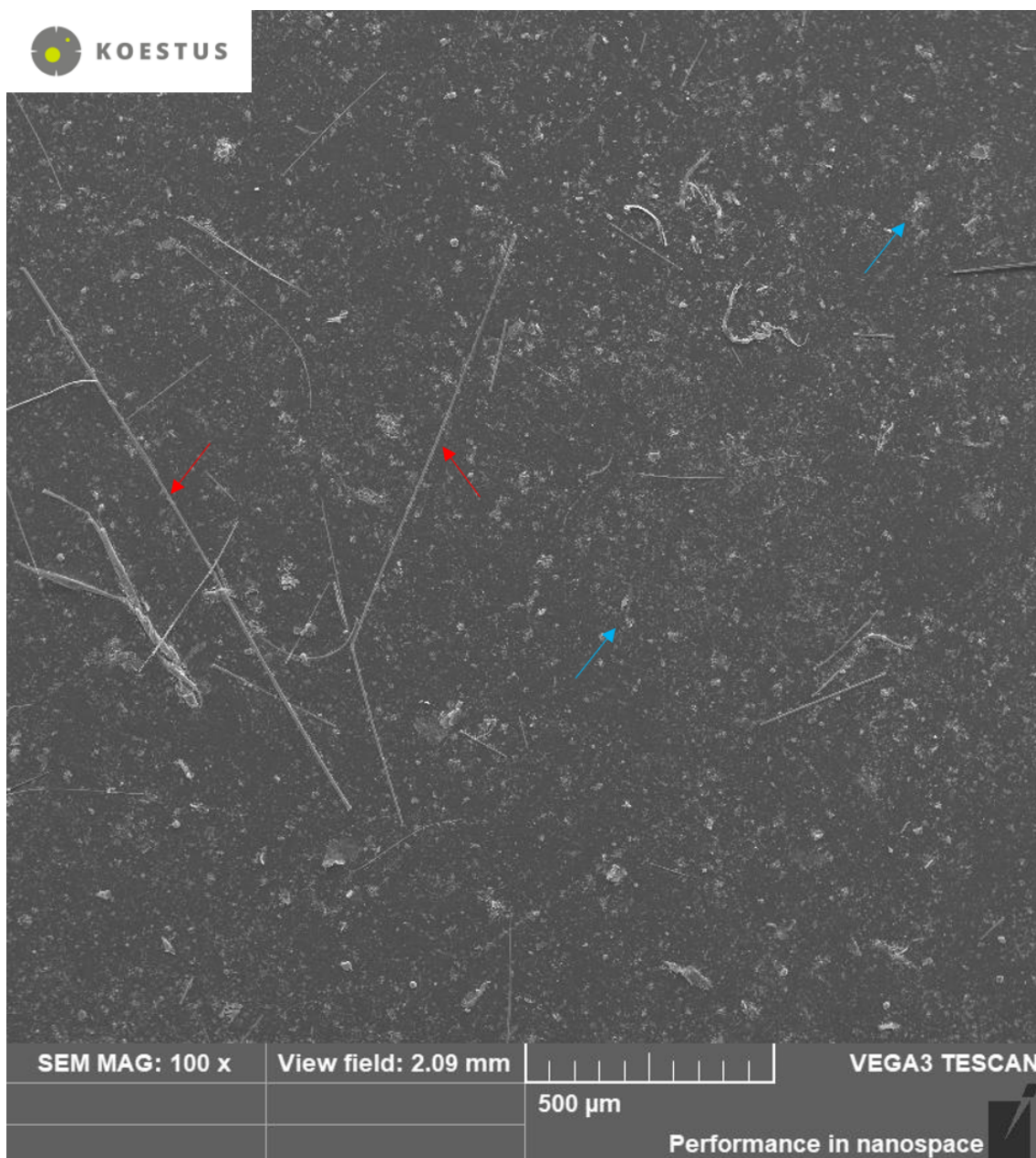
KUVA 48. Pyyhkäiselektronimikroskooppikuva näytteestä PO1, 3500-kertainen suurennos. Pitkät, kapeat, sekä suorakylkiset kuidut ovat teollisia mineraalikuituja (punaiset nuolet) ja pienet rakeet pääosin kipsiä (siniset nuolet), sekä vähäisemmässä määrin muita kalkkipohjaisia hiukkasia. (Koestus Oy 2020)



KUVA 49. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva näytteestä PO1, joka on kerätty rakenneavauskohdan läheisyydestä. 100-kertainen suurennos. Pitkät, kapeat sekä suorakylkiset kuidut ovat teollisia mineraalikuituja (punaiset nuolet) ja pienet rakeet pääosin kipsiä (siniset nuolet), sekä vähäisemmässä määrin muita kalkkipohjaisia hiukkasia. Alueelta kerättyssä geeliteippinäytteessä G01 havaittiin n. 400kpl/cm² teollisia mineraalivillakuituja. (Koestus Oy 2020)



KUVA 50. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva näytteestä PO3, joka oli kaukaisin keräysalue seinän vierustalla. 100-kertainen suurennos. Pitkät, kapeat sekä suorakylkiset kuidut ovat teollisia mineraalikuituja (punaiset nuolet) ja pienet rakeet pääosin kipsiä (siniset nuolet), sekä vähäisemmässä määrin muita kalkkipohjaisia hiukkasia. Alueelta kerätyssä geeliteippinäytteessä G06 teollisia mineraalivillakuituja havaittiin n. 35kpl/cm². (Koestus Oy 2020)



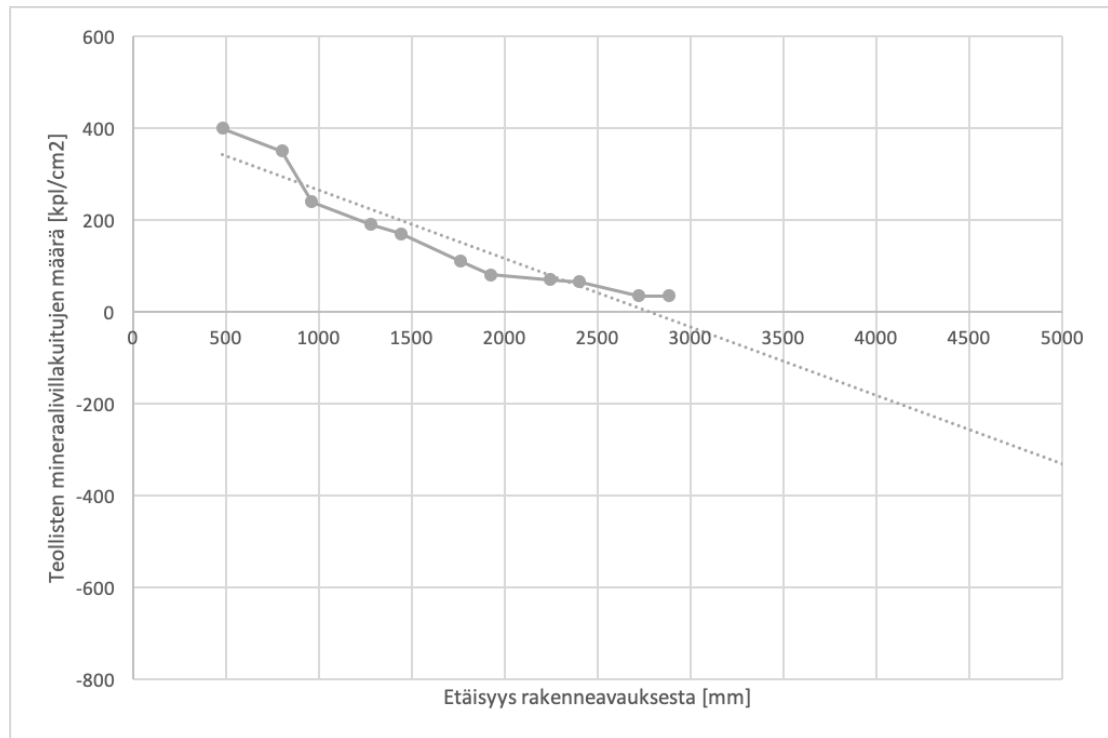
KUVA 51. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva näytteestä PO6, joka oli kaukaisin keräysalue huoneen keskivaiheilla. 100-kertainen suurennos. Pitkät, kapeat sekä suorakylkiset kuidut ovat teollisia mineraalikuituja (punaiset nuolet) ja pienet rakeet pääosin kipsiä (siniset nuolet), sekä vähäisemmässä määrin muita kalkkipohjaisia hiukkasia. Alueelta kerätystä geeliteippinäytteestä G012 teollisia mineraalivillakuituja havaittiin n. 35kpl/cm². (Koestus Oy 2020)

3.3.4 Johtopäätökset

Silmämääräisesti pölyä ja mineraalivillakuituja ei voida havaita pinnoilta, eikä sisäilmasta rakenneavauskohdan lähialueen ulkopuolelta. Myöskään pinnalle laskeutuneen- tai sisäilman sisältämän pölyn määrää ei pysty luotettavasti arvioimaan aistinvaraisesti. Valokeilan avulla pöly on helposti näkyvillä etenkin tummilla pinnoilla ja myös sisäilmassa. Laboratorionäytteiden perusteella pölyä ja kuituja on kuitenkin laskeutunut pinnoille merkittävästi koko huoneen alalle, joten sisäilman pitoisuus on ollut ennen pölyn laskeutumista korkea.

Teollisia mineraalivillakuituja on kertynyt pinnoille todella paljon, pitoisuudet ylittävät moninkertaisesti kahden viikon laskeumalle annetun raja-arvon. Jo pienet pitoisuudet sisäilmassa voivat aiheuttaa ihon ja hengitysteiden ärsytysoireita. Mikäli pintoja ei siivota rakenneavauksen jälkeen, on kuiduilla mahdollista irrota uudestaan sisäilmaan ja kulkeutua myös muihin tiloihin.

Geeliteippinäytteiden perusteella epäpuhtauksien määrä vähenee tasaisesti etäisyyden kasvaessa rakenneavauskohtaan nähden, mikä on loogista. Näytetulosten perusteella laaditun kuvaajan mukaan väheneminen ei kuitenkaan ole lineaarista, eikä tulosten perusteella voida sanoa etäisyyttä jossa pölyä ei varmuudella olisi. Huoneen muoto ja koko vaikuttavat mm. pölyjen leviämiseen, joten pölyn leviämisen etäisyyttä kauemmaksi tulisi selvittää lisätutkimuksilla suuremmassa tilassa vastaavissa olosuhteissa. Mineraalivillakuitujen määrä suhteessa etäisyyteen on estetty alla olevassa kuvaajassa 2.



KUVAAJA 2. Kuvaajassa esitetty teollisten mineraalivillakuitujen määrä suhteessa rakenneavauskohdan etäisyyteen. (Meriläinen 2020)

Tässä tapauksessa sisäverhouslevynä oli kipsilevy, jonka pöly on valkeaa ja rakenteeltaan painavaa, esim. lastulevyllä verhoilluissa seinissä irtoava pöly olisi kevyempää, vaikeammin havaittavaa ja leviäisi todennäköisesti tehokkaammin ympäri huoneistoa. Eri rakennusmateriaalien ja seinärakennetyyppien pölyn leviämistä tulisi selvittää erikseen.

Pöly ja kuidut voivat sitoa itseensä myös muita mahdollisia rakenneavauskohdalla olevia epäpuhtauksia kuten mikrobeja, VOC-päästöjä tai esim. PAH-yhdisteitä. Tällaisissa tapauksissa haitallinen vaikutus todennäköisesti kertaantuu.

Etenkin ilman kohdepoistoa sähkötyökalut aiheuttavat ilmapirtauksia, jotka tehostavat epäpuhtauksien leviämistä huoneeseen, sekä tutkijan hengitysvyöhykkeelle. Käytettävien koneiden valinnassa olisi hyvä huomioida poistoilman suuntaus ja käyttää mahdollisesti laitteita joissa poistoilman suuntaus on huomioitu tai muutettavissa.

Sisäilmasta pölyn laskeutuminen tasopinnoille kesti silmämääräisesti n. 1,5 h. Käytännössä rakenneavauksia tehtäessä pölyn laskeutumista ei voida odottaa esim. tilan siivouksen järjestämiseksi. Tällöin pölyä on sisäilmassa ovia availtaessa, jolloin tiloista toiseen liikuttaessa pölyllä on suuri riski levitä myös muihin tiloihin. Epäpuhtauksia voi siirtyä tilasta toiseen myös tutkijan vaatteissa tai käytetyissä työvälineissä ja laitteissa.

Rakennepuhtauskohdalta sisäilmaan tulevat epäpuhtauksia sisältävät ilmavirtaukset osuvat suoraan tutkijan hengitysvyöhykkeelle. Henkilökohtaisen altistumisen riski on korkea, ja mikäli hengityssuojain ja suojavaatteet eivät vastaa tarkoitusta on altistuminen lähes varmaa. Pitkäaikainen ja toistuva altistuminen voi aiheuttaa oireita tai herkistymistä. Henkilösuojainten käyttö rakennepuhtausolosuhteissa tulisi ottaa vakavasti.

4 Johtopäätökset

Tutkimusten perusteella voidaan sanoa, että sisätilat ja sisäilma kontaminoituvat merkittävästi rakenneavauksen aikana, mikäli tilat ovat vähänkään alipaineisia. Alipaineisuuden kasvaessa rakenneavauskohdan läpi virtaavan ilman määrä luonnollisesti lisääntyy, ja näin ollen ympäristön kontaminaation taso- ja kuntotutkijan altistumisen riski kasvavat. Rakenneavauskohdalla tilaan ja sisäilmaan leviävät epäpuhtaudet voivat aiheuttaa herkimmille ihmisille sisäilmaoireita ja pahentaa mahdollisesti tilassa jo koettua oireilua. Rakenneavaus voi näin ollen myös aiheuttaa sisäilmaongelman tilaan tai ympäröiviin tiloihin, missä sitä ei aiemmin ole ollut. Ongelma voi muodostua, vaikka rakenneavauskohta olisi huolellisesti korjattu ilmatiiviiksi tutkimuksen jälkeen. Tämä voi olla yksi selitys miksi joissakin tapauksissa rakennuksen sisäilmaongelmat pahenevat niitä tutkittaessa.

Rakenneavausten tekeminen on yleistynyt nykypäivinä myös asuntokaupan yhteydessä tehtävissä kuntotarkastuksissa. Näissä tapauksissa rakenteiden tarkistus/ rakenneavaus tehdään samanaikaisesti muun tarkastuksen yhteydessä. Näin ollen rakenneavauksia tai olosuhteita ei yleisesti voida käytännössä ennakoita tai valmistella, ja tilat ovat tavallisesti normaalissa asuinkäytössä. Näissä tapauksissa rakenneavauksessa on mukana myös erinäinen määrä kaupan eri osapuolia. Tässä tutkimuksessa esille tullut kontaminaatoriski huomioiden avauksia ei tulisi tehdä, pahimmassa tapauksessa rakenneavauksella saastutetaan tilat ja altistetaan mukana olevat henkilöt erilaisille epäpuhtauksille. Mahdollisista avauksista tulisi sopia uusi ajankohta, jossa olosuhteet ja niiden hallinta voidaan huomioida.

Lain mukaan ympäristöön vaikuttavan toiminnan harjoittajan on tunnistettava riskit ja mahdollisuuksien mukaan estää mahdollinen haitan syntyminen. Kuntotutkija/ -tarkastaja rikkoo tietoisesti tai tietämättään terveydensuojelulakia tehdessään rakenneavauksia olosuhteita ja riskejä täysin tietämättä. Yleiset toimintatavat eivät toistaiseksi ole huomioineet riskiä riittävän hyvin.

Pölyä ja mineraalivillakuituja leviää vastaavasti myös uusita rakenteista, joten tilanne voi olla lähes vastaava rakennuksen iästä huolimatta. Uusissa rakennuksissa ilmastointilaitteistot voivat toisaalta aiheuttaa vanhoja rakennuksia suurempia alipaineisuuksia, jolloin epäpuhtauksien leviäminen voi olla vanhaa rakennuskantaa voimakkaampaa. Erityisiä suojauksia suositellaan nykyisin vain mikrobivaurioituneisiin yms. kohteisiin. Havaintojen perusteella suojausten taso / valmistelavat työt tulisi olla parhaalla mahdollisella tasolla kohteen aina.

Rakenneavauskohdalta sisäilmaan pääsevät epäpuhtaudet vaihtelevat mm. käytetyn rakenteen ja mahdollisen vaurion mukaan. Eri epäpuhtaudet edellyttävät erilaisia suojaustapoja, esim. tässä tutkimuksessa selvitettyjen pöly- ja kuitupitoisuuksien suojaimet eivät yksistään täysin estä mm. kemiallisten epäpuhtauksien vaikutusta. Kaikkien epäpuhtauksien leviäminen on kuitenkin riippuvainen ilman liikkeistä, joihin paine-erot suoraan vaikuttavat. Tässäkin mielessä paine-erojen hallinta rakenneavauksissa on erityisen tärkeä ja tulisi aina huomioida.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin ulkoseinärakenteen rakenneavauksen osalla tapahtuvia ilmavirtauksia. Vastaavia ilmavirtauksia voi muodostua myös väliseinärakenteiden osalle, mikäli tilojen välille muodostuu riittävä paine-eron suuntaan taikka toiseen. Väliseinärakenteiden osalle liika ylipaineisuus voi aiheuttaa kontaminaation toiseen, esim. viereisiin tiloihin.

Paine-ero tutkittavan rakenteen yli tulisi aina selvittää ennen rakenneavausta ja arvioida kontaminaatoriski. Tarvittaessa tehdään toimet paine-eron muuttamiseksi haluttuun suuntaan. Koneellisella tulo-/poisto järjestelmällä varustetuissa kohteissa tilan ylipaineistaminen voi onnistua yksinkertaisesti muuttamalla tilan tulo- ja poistoilmamäärien suhdetta. Rakennukset ovat lähes aina yksilöllisiä, joten yleistä ohjetta tarvittaville toimenpiteille ei voida antaa, ja tilanne on arvioitava aina tapauskohtaisesti. Haastavimpia kohteita ovat todennäköisesti rakennukset, joissa on vain koneellinen poistoilmanvaihto.

Vähäisessä alipaineessa (n. 5 Pa) kontaminaatio- ja altistumisriski saadaan lähes varmasti poistettua riittävän tehokkaalla kohdepoistoimurilla, painerot kuitenkin

vaihtelevat tyypillisesti, etenkin jos tilat ovat käytössä tutkimuksen aikana. Tämän vuoksi kohdepoistoa ei voida yksistään pitää luotettava tapana estää ilmavuodot sisäilmaan täysin. Varmana tapana voidaan havaintojen perusteella pitää tilan ylipaineistusta tasolle 5...10 Pa. Paine-eroa olisi hyvä seurata jatkuvatoimisena mittauksena työn ajan. Väliseinärakenteiden osalla varmin tapa on saattaa tilojen välinen paine-ero lähelle tasapainotilaa ja käyttää kohdepoistoa huolellisesti. Ali-paineisissa olosuhteissa rakenneavauksia ei tulisi tehdä olleenkaan, ellei tiloja, talotekniikkaa yms. irtaimistoa ole tarkoitus puhdistaa perusteellisesti tutkimusten jälkeen.

Tutkimushavaintojen mukaan kuntotutkijan altistumisen riski eri epäpuhtauksille rakenneavaustilanteessa on todennäköinen, puutteellisin suojauksien altistuminen on varmaa. Altistumisen riski voidaan kuitenkin minimoida lähes kokonaan työteknisillä seikoilla, suojaimilla ja paino-eron hallinnalla. Tutkijan omakohtaisen, riittävän hyvän riskiarvion laatiminen erilaisten suojausten käytölle edellyttää laajaa tietämystä eri aikakausien rakenteista, epäpuhtauksista ja työtavoista.

Paine-erojen hallinta ja muuttaminen edellyttävät myös laajaa näkemystä ja tietämystä taloteknisistä järjestelmistä ja eri aikakausien rakenteista, sekä rakennustavoista. Tavallisesti taloteknisten järjestelmien selvitykset suorittaa erillinen LVI-tekniikan asiantuntija, tällöin kommunikaation tulisi toimia eri asiantuntijoiden välillä. Yleisesti laajempiin kohteisiin tehtäviin tutkimussuunnitelmiin olisi hyvä sisällyttää ainakin maininta mahdollisesti tarvittavista paine-erojen tarkasteluista, jotta ne osataan huomioida.

Yritystasolla tulisi arvioida kunkin kyseisiä tutkimuksia tekevän henkilön ammatillinen osaaminen, ja varmistaa että työtavat ja henkilökohtainen suojaus toteutuvat tarkoituksen mukaisella tasolla. Tähän voisi olla ratkaisuna ajoittain pidettävät esim. yrityksen sisäiset koulutukset ja laadunvarmistustarkastukset kenttätyössä. Tutkijan henkilökohtaista altistumisen arviointia voisi helpottaa myös seikkaperäinen tutkimussuunnitelma ja yritys- / henkilökohtainen toimintatapaohje tutkimuksen laajuudesta riippuen. Ohjeen laadinnassa ja ylläpidossa tulisi olla mukana työterveyshuoltolain mukaan työntekijä, työnantaja sekä työterveyshuolto.

Kuntotutkimuksiin erikoistuneet henkilöt voivat tehdä vastaavia rakenneavauksia viikoittain, jopa päivittäin. Tällöin altistuminen on jossakin määrin todennäköistä ja puutteellisin suojauksin pitkäaikaista. Altistumisen aiheuttamaa mahdollista oireilua on mahdotonta ennustaa oireilun ollessa yksilöllistä. Laajempaa näkökulmaa tilanteesta valtakunnallisesti on myös vaikea hahmottaa kyseistä työtä tekevien suhteellisen vähäisen henkilömäärän vuoksi.

Ympäristöoppaan ja soveltamisohjeen mukaan tehty rakenneavauskohdan aistinvarainen havainnointi etenkin hajuhavainnon osalta altistaa kuntotutkijan väistämättä erilaisille epäpuhtauksille rakenneavauksesta riippuen. Ohje on ristiriidassa työsuojelulain edellyttävän suojautumisen ja altistumisen estäminen kanssa. Lähtökohtana ympäristöoppaan ohjeistuksen mukaiseen rakenneavauskohdan aistinvaraiseen arviointiin voisi olla esim. näytteen kerääminen kaasutiivistä suljettavaan minigrip- pussiin, josta havainnointi tehdään rakenneavauksen jälkeen esim. täysin eri tilassa. Näin ollen voitaisiin keskittyä paremmin eri materiaalien vaurioihin ja itse rakenneavaus voitaisiin tehdä tehokkaammin sekä nopeammin, näin altistumisen- ja ympäristön kontaminaation riski jäävät pienemmiksi.

Tutkimuksessa havaittiin, että yksittäisen tilan sisäilman kontaminoituminen on varsin nopeaa etenkin suurissa paine-erotasoissa. Sisäilmaongelmaisissa rakennuksissa tehdään joissakin tapauksissa ns. ”ylipaineistus”, jossa sisä- ja ulkoilman välinen paine-ero tehdään koneellisesti ylipaineiseksi rakenteiden epätiivetyksiltä sisäilmaan tapahtuvien ilmavirtausten poistamiseksi. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella jo muutamia sekunteja kestävä muutos paine-eroihin voi aiheuttaa koko tilan sisäilman kontaminoitumisen. Teoriassa ylipaineistetuissa rakennuksissa ja niiden osissa ulkovaipan tiiveydellä ei niinkään ole merkitystä, mikäli paine-ero saadaan varmuudella pysymään ylipaineen puolella. Ylipaineistuksessa käytettävän talotekniikan tulisi olla automaatioiltaan sellainen, että se huomioi luontaisen ja käytöstä johtuvan paine-eron vaihtelun, muuten paine-eron vaihtumien hetkellisesti alipaineiseksi on todennäköistä.

Tässä tutkimuksessa tehtyjen kenttätutkimuksen toistojen määrä on vähäinen etenkin ilmavirtausten ja pölykertymien yksiselitteisten tulosten vuoksi. Tilojen kontaminoitumiseen ja henkilöaltistukseen vaikuttavat kuitenkin erittäin moni eri asia, joiden yhtäaikainen tutkiminen on työlästä ja haastavaa. Eri tyyppisten rakenteiden aiheuttama kontaminaatio poikkeaa todennäköisesti tämän tutkimuksen tuloksista, joten eri rakenteiden vastaavia riskejä olisi hyvä jatkotutkia. Myös kuntotutkijoiden henkilökohtainen altistuminen edellyttäisi lisätutkimuksia, ja pitkäaikaisen altistumisen vaikutusten seurantaa.

Lähteet

ASA-rekisteri 2020. Luettu 6.3.2020 <https://www.ttl.fi/rekisterit/asa-rekisteri/>

Asumisterveysasetus 545/2015

Asumisterveysasetuksen soveltamisohje 14.4.2016

Fluke 2020. Fluke 971 Lämpö- ja kosteusmittari. Luettu 20.04.2020. <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/rakennusinfrastrukturi/sisailman-laadun-tes-taus/fluke-971>

Geminiloggers 2020. Tinytag TV-4505 Lämpötilan ja suhteellisen kosteuden jatkuvatoiminen mittalaite. Luettu 20.04.2020. <https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-view-2/tv-4505>

Hänninen O. 2017. Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen luento UEF- adu- cate, Kuopio 11.11.2017

Kaila P. 1997. Talotohtori. Werner Söderström Oy, Helsinki 1997.

Laki syöpäsairaiden vaaraa aiheuttaville aineille ja menetelmille ammatissaan al- tistuvien rekisteristä 17.8.2001/717. Luettu 6.3.2020 <https://www.fin-lex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010717>

LookSolutions 2020. Tiny CX Mini Fog machine. Luettu 20.04.2020. <http://www.looksolutions.com/news/34/128/TINY-CX/d,produkte.html#3>

Pasanen P. 2017. Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen luento UEF- adu- cate, Kuopio 20.1.2017

Puילו 2020. Tamforce alipaineimuri. Luettu 20.04.2020. <https://www.puילו.fi/10087299>

Rakennustieto Oy 2014. Haitta-ainetutkimus RT 20-11160, Rakennustietosäätiö
RTS 2014

Siikanen U. 2001. Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy, Helsinki 2001
SWOY 2020. Beck 984 painelähetinsarja. Luettu 20.04.2020.
<https://www.swoy.fi/tuote/beck-984/>

Terveysuojelulaki 763/1994. Luettu 11.2.2020 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19940763>

TSI (2020). TSI 5825 paine-eromittari. Luettu 20.04.2020. <https://tsi.com/getmedia/cb32be15-fcba-4332-b026-2fc0aa853447/5825-DP-Calc-Finnish-6001236-web?ext=.pdf>

Työterveyshuoltolaki 1383/2001. Luettu 11.2.2020 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20011383>

Työterveyslaitos 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Tampere 2011.
Valtioneuvoston asetus työhön liittyvän syöpävaaran torjunnasta 1267/2019. Luettu 6.3.2020 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20191267>

Viitanen H. 2017. Rakennusterveysasiantuntijakoulutuksen luento UEF- aducate, Kuopio 25.8.2017

Ympäristöministeriö 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus, Ympäristöopas, Helsinki 2016.

Liitteet

Liite 1 Tutkimuskartta

Liite 2 Pölyradan mittapiirros

Liite 3.1 Paine-eromittausten kuvaaja merkkisavukokeet

Liite 3.2 Paine-eromittausten kuvaaja kontaminaatiotutkimukset

Liite 4.1 Olosuhdemittausten kuvaaja merkkisavukokeet

Liite 4.2 Olosuhdemittausten kuvaaja kontaminaatiotutkimukset

Kontaminaatiotutkimukset 19.11.2019

Puhaltimen+ letkun sijoitus

Rakenneavauskohta

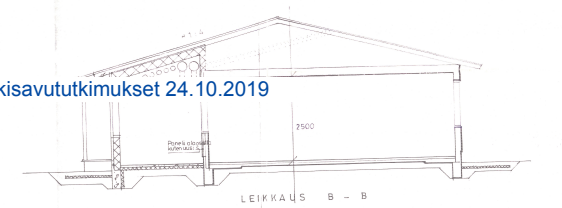
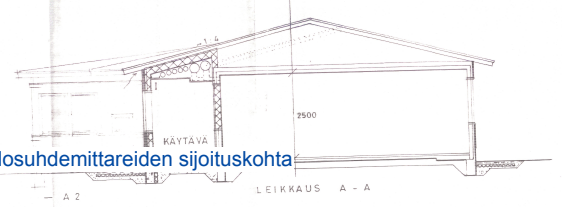
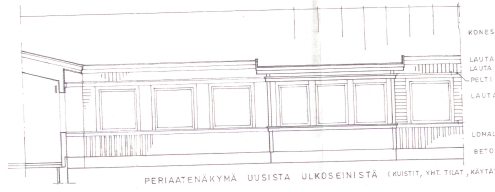
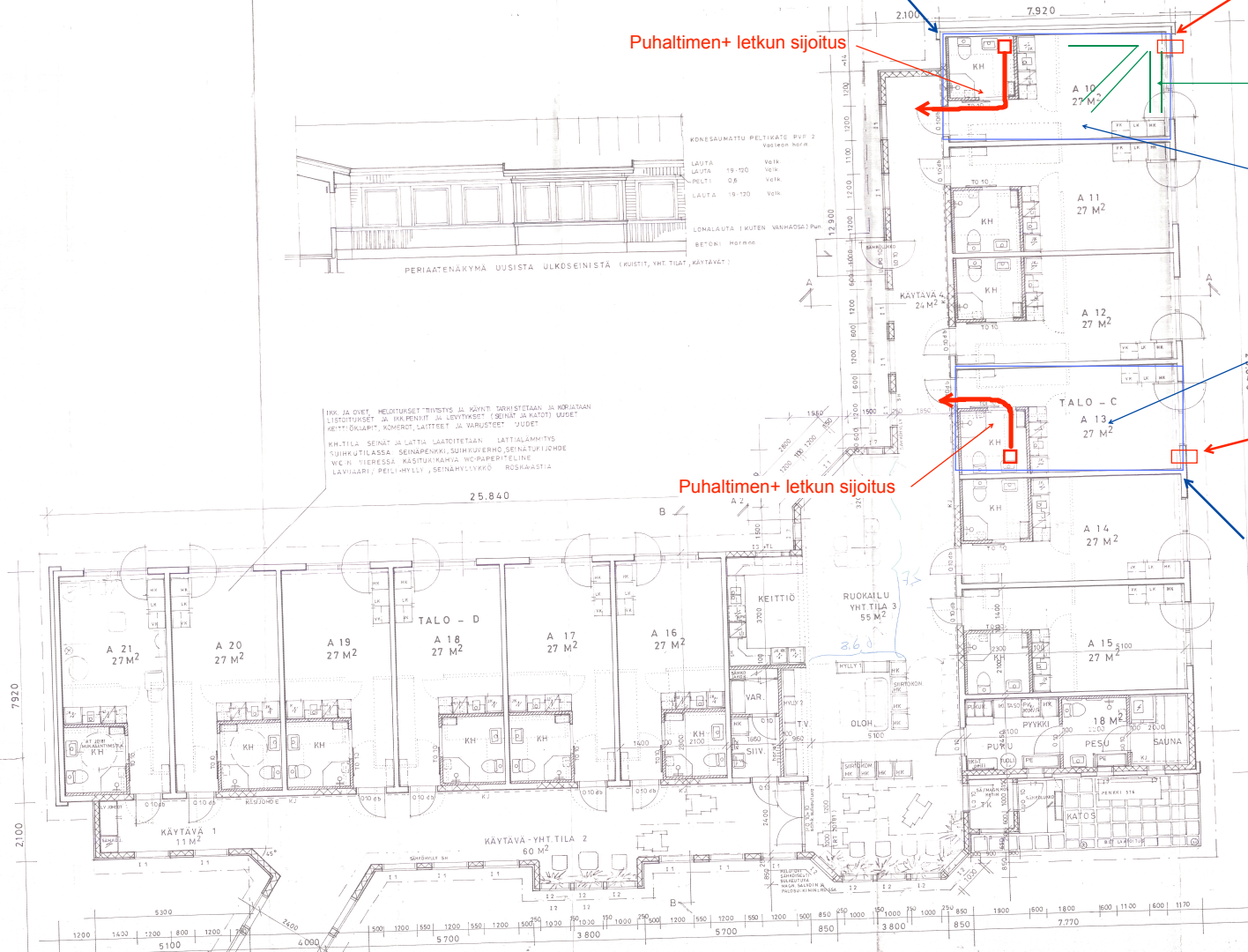
Pölyradan viitteellinen sijainti
 Mittapiirros on liitteenä 2

Olosuhdemittareiden sijoituskohta

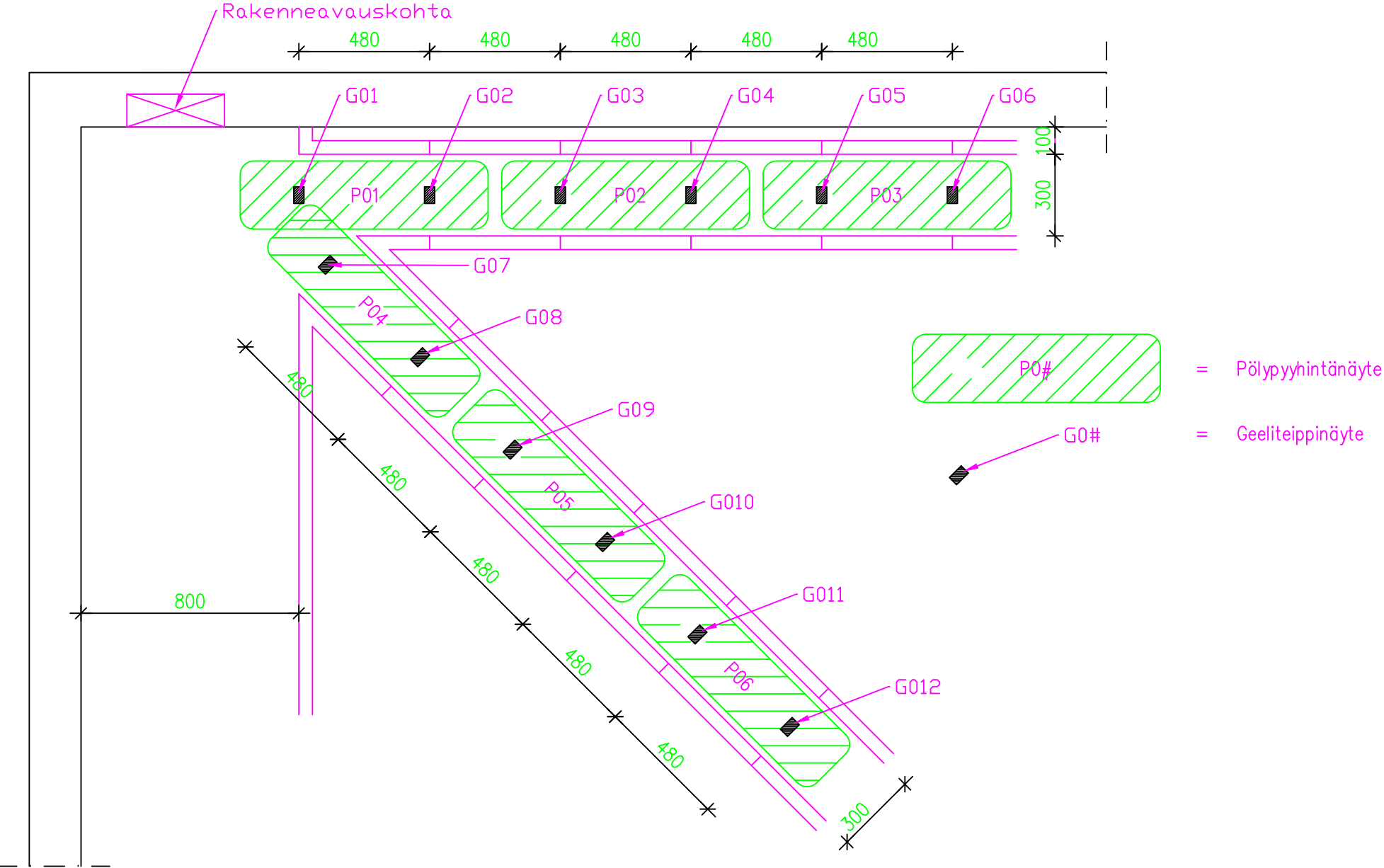
Olosuhdemittareiden sijoituskohta

Rakenneavauskohta

Merkkisavututkimukset 24.10.2019

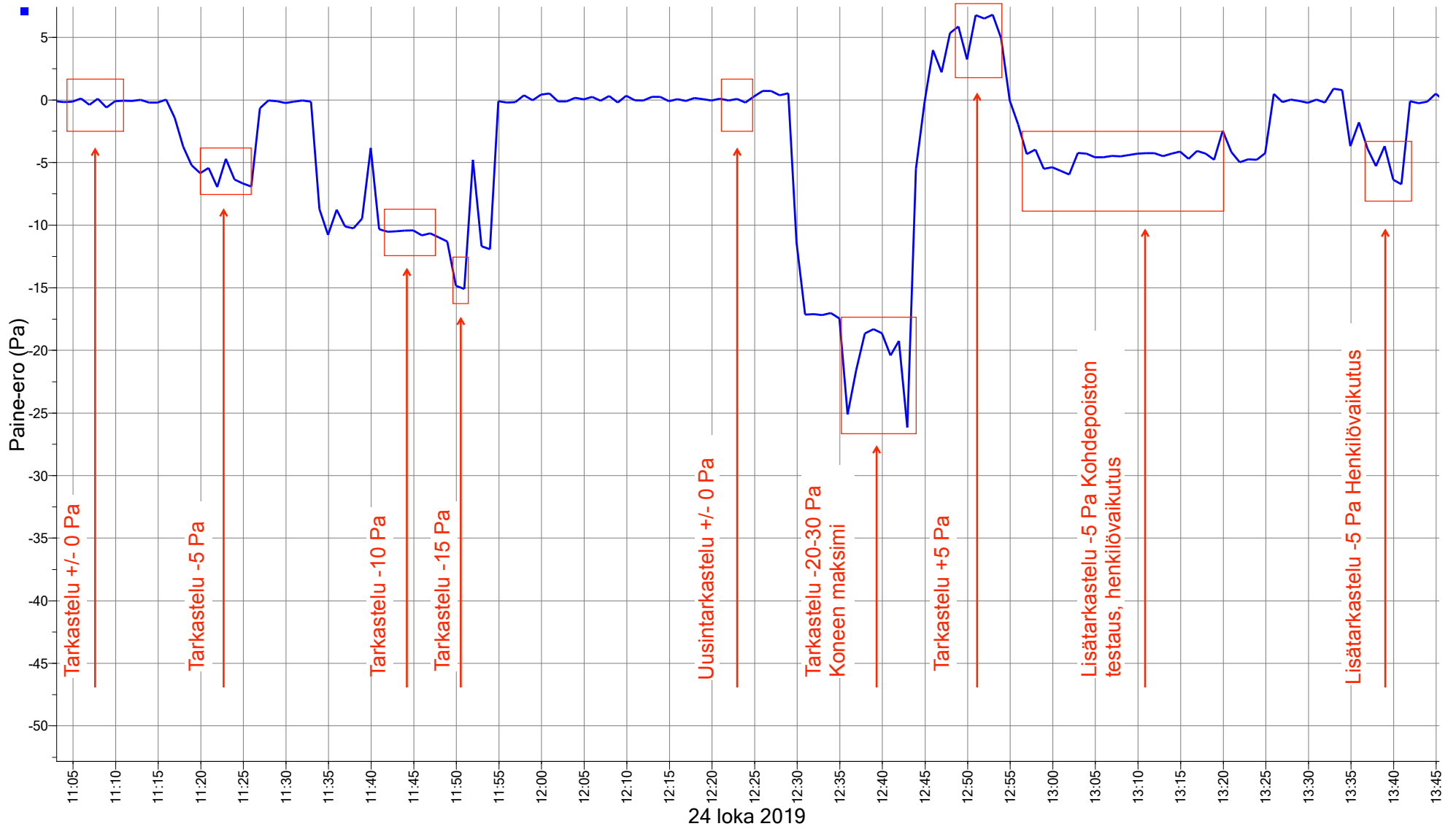


UTAJÄRVI MUUTOS JA PERUSKORJAUS LEPOLA UTAJÄRVEN YUNTA ARK OULU 1995 -3 -30	TALO C JA D 1:50 790 - 13
--	---------------------------------



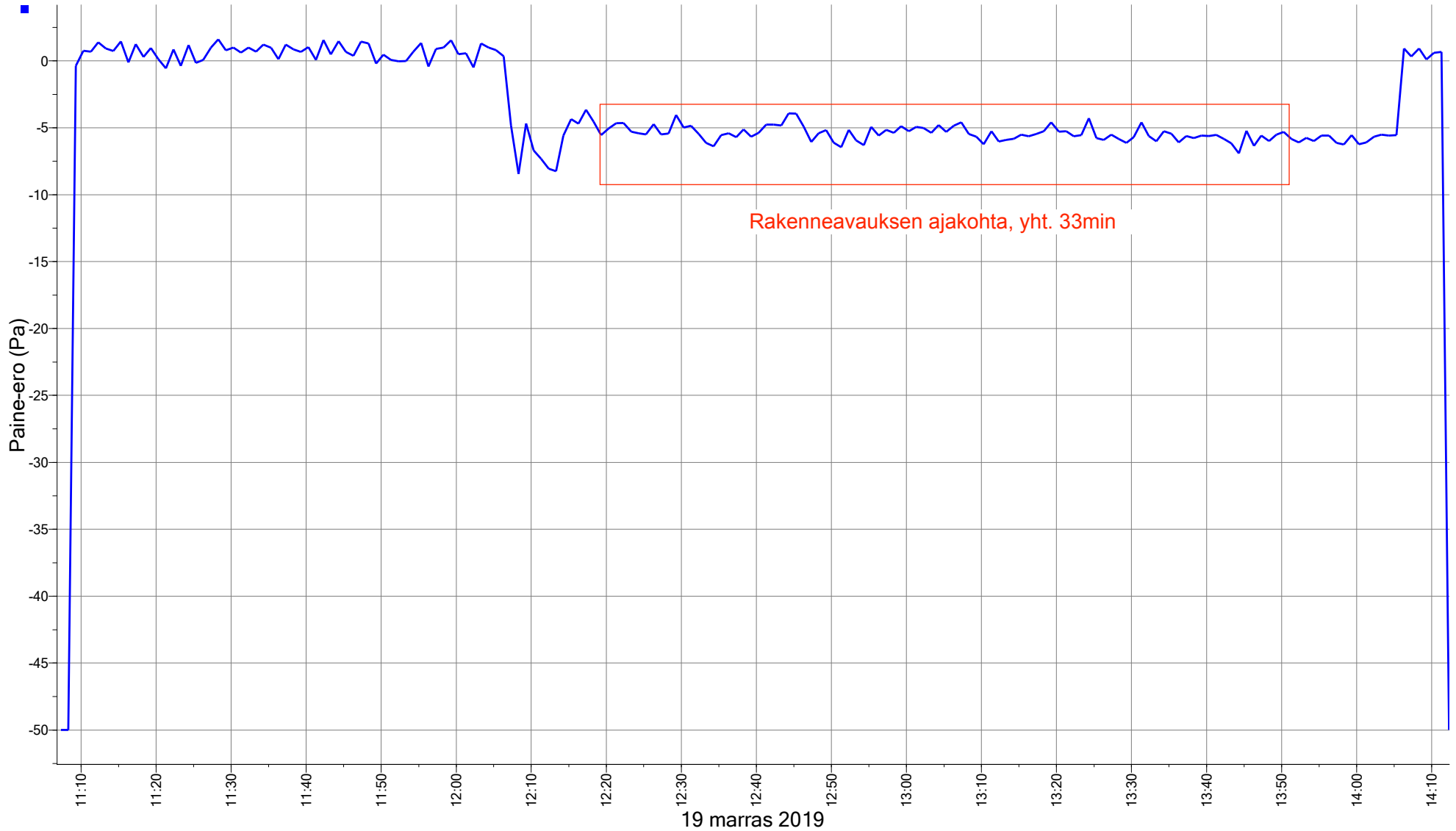
YAMK Opinnäytetyö
Rakenneavausympäristön ilmapirtaukset ja kontaminaatio. J. Meriläinen
Liite 3.1 Paine-eromittausten kuvaaja merkkisavukokeet

■ 799583 Paine-ero Utajärvi 24.10.2019

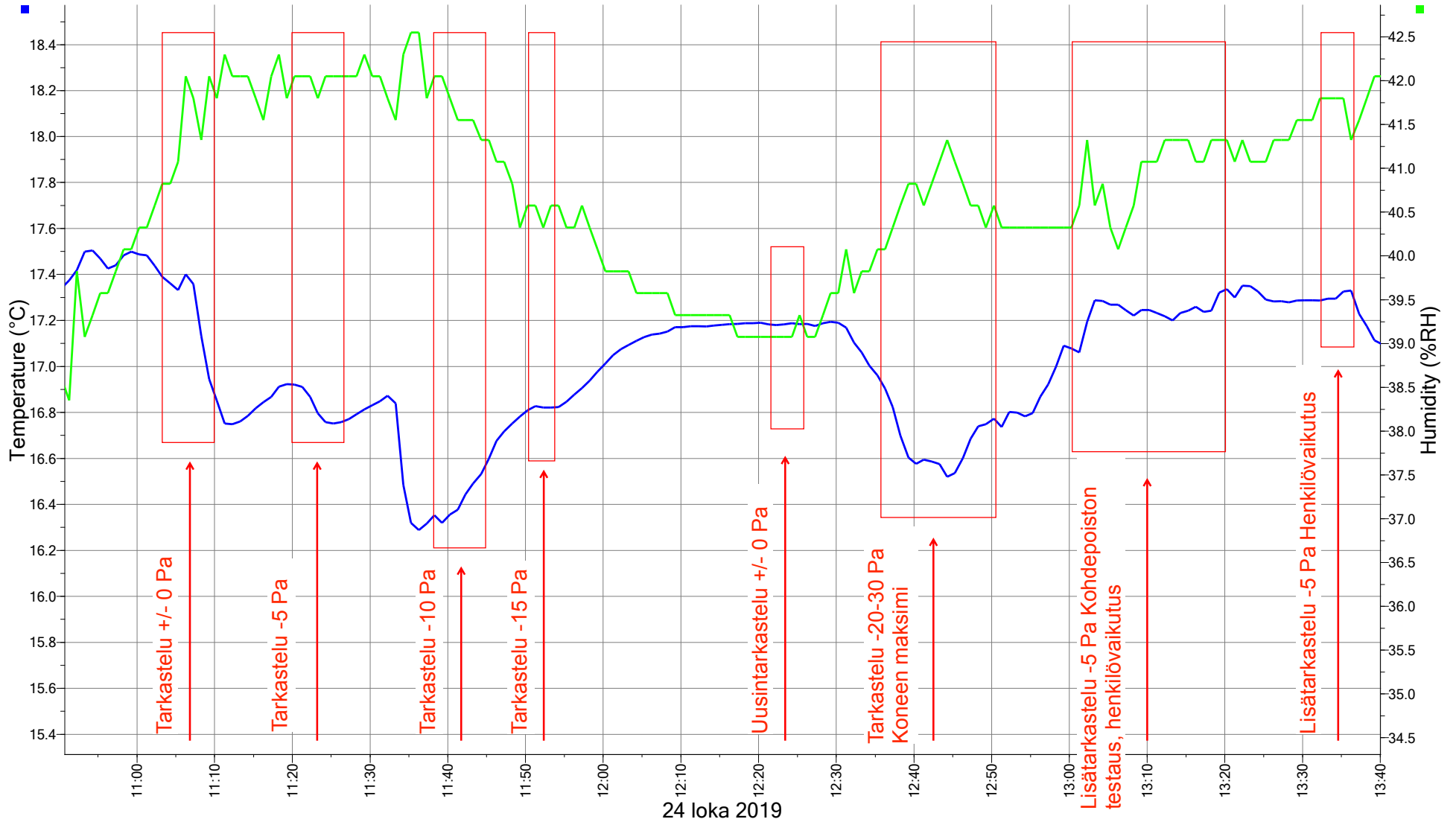


YAMK Opinnäytetyö
Rakenneavausympäristön ilmapirtaukset ja kontaminaatio. J. Meriläinen
Liite 3.2 Paine-eromittausten kuvaaja kontaminaatiotutkimukset

■ 799583Paine-ero Utajärvi 19.11.2019



- 813805 Temperature Utajärvi 24.10.2019
- 813805 Humidity Utajärvi 24.10.2019



YAMK Opinnäytetyö

Rakenneaivausympäristön ilmapvirtaukset ja kontaminaatio. J. Meriläinen

Liite 4.2 Sisäilman lämpötilan ja suhteellisen kosteuden kuvaajat, kontaminaatiotutkimukset

- 813805 Temperature Utajärvi 19.11.2019
- 813805 Humidity Utajärvi 19.11.2019

