



Työterveyslaitos | Arbetshälsoinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Asbestipurkutytön turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustoimintojen kehittäminen – AsbTest

Markku Linnainmaa
Anna Kokkonen
Ilpo Kulmala
Heli Kähkönen
Erja Mäkelä
Petri Annila
Niina Kemppainen
Tomi Kanerva
Timo Nurkka
Arto Säämänen
Eveliina Häkkinen
Pertti Pasanen





Työterveyslaitos | Arbetshälsöinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Asbestipurkutyön turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustoimintojen kehittäminen – AsbTest

TSR LOPPURAPORTTI (117086, 117087, 117103, 117115)

Markku Linnainmaa, Anna Kokkonen, Ilpo Kulmala, Heli Kähkönen, Erja
Mäkelä, Petri Annila, Niina Kemppainen, Tomi Kanerva, Timo Nurkka, Arto
Säämänen, Eveliina Häkkinen ja Pertti Pasanen

Työterveyslaitos

Helsinki 2019



Työterveyslaitos

Työympäristö

PL 40

00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

Toimitus: Markku Linnainmaa

Valokuvat: Timo Nurkka, Anna Kokkonen, Esa Vanhala, Petri Annila, Erja Mäkelä

Piirroksat: Ilpo Kulmala, Anna Kokkonen, Arto Säämänen

© 2019 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-870-2 (nid.)

ISBN 978-952-261-871-9 (pdf)

PunaMusta Oy, Tampere 2019

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää ja ohjeistaa sellaisia asbestipurkutyön turvallisuuden mittausta- ja valvontakäytäntöjä, joiden avulla työntekijöiden ja muiden ihmisten asbestialistuminen voidaan ennaltaehkäistä. Hankkeessa kehitetyillä ja testatuilla mittausten menetelmillä voidaan todentaa osastoinnin, ilmankäsittelylaitteiden ja hengityksensuojainten toimivuus. Aikaisemmin kaikissa kyseisissä käytännöissä oli selvästi parannettavaa. Turvallisuudessa asbestipurkutyössä yksikään riskinhallintamenetelmä ei saa pettää ja niiden tehokkuutta tulee seurata mittauksin. Kaiken perusta on ennen purkutyötä tehty asbestikartoitus, joka kannattaa teettää sertifioidulla AHA- tai rakennusterveysasiantuntijalla.

Kenttämittausten tulosten mukaan osastointien riittävä alipaine on yleensä saavutettavissa nykyisillä käytänteillä, mutta ilman huuhteluteho on usein puutteellista. Suurikaan alipaine ei takaa korvausilman jakaantumista ja hyvää huuhteluvaikutusta osastoinnin sisällä. Alipaineistuslaitteiden ilmavirrat todettiin valmistajien ilmoittamia pienemmiksi ja suodattinyksiköissä ilmeni vuotoja. Laboratoriotutkimuksissa saatujen tulosten perusteella osastoinnin ja ympäröivän tilan paine-eroksi suositellaan -10- -30 pascalia, jotta lainsäädännön mukainen minimitaso, jatkuva 5 pascalin alipaine saavutetaan kaikissa tilanteissa. Sulkutunnelin läpi kulkeminen, suodattimien likaantuminen ja sääolosuhteiden vaihtelut voivat vaikuttaa osastoinnin alipaineeseen niin, että 5 pascalin alipaine häviää.

Tehokkaan ilmanjaon ja huuhteluvaikutuksen kannalta korvausilma tulee johtaa muualtakin kuin sulkutunnelin kautta erityisesti suurissa ja monimuotoisissa osastoinneissa. Tehokkaan ilmanjaon lähtökohtana on poistoilma-aukon sijoittaminen mahdollisimman kauaksi tuloilma-aukosta. Tuloilma voidaan johtaa osastointiin joko seinään tehdyn, suodattimella varustetun aukon kautta tai joissakin isommissa osastoinneissa palauttamalla suodatettua poistoilmaa osastointiin paineentasaimen avulla.

Joidenkin alipaineistajien todelliset ilmavirrat olivat vain noin puolet laitteelle ilmoitetusta ilmavirrasta. Ilman tilavuusvirran riittävyys tulee varmistaa mittauksin käyttöolosuhteissa ennen purkutöiden aloitusta, jotta voidaan varmistua, että ilmanvaihtuvuus vähintään kymmenen (krokodolilitille 20) vaihtoa tunnissa saavutetaan. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi tutkimuksessa kehitetyllä tarkalla ja helppokäyttöisellä mittausten menetelmällä.

Alipaineistajien ja osastoinnin ulkopuolella olevien kohdepoistoimurien suodattimien toimivuus pitää myös varmistaa mittauksin aina HEPA-suodattimen vaihdon jälkeen ennen purkutöiden aloitusta ja vähintään kerran vuodessa. Kohdepoistoimuri on hyvä varustaa osastoinnin sisään asennettavalla esierottimella. Pitkäkestoisissa ja pölyävissä töissä alipaineistajien HEPA-suodattimet kuormittuvat, mikä aiheuttaa niiden painehäviön kasvua ja siten ilmavirtojen pienenemistä. Tämä on syytä ottaa mitoituksessa huomioon niin, että ilmanvaihtuvuusvaatimus toteutuu myös kuormitetuilla suodattimilla.

Tutkimuksessa havaittiin, että työntekijöiden suojanaamarien kasvoille tiivistymisessä on usein puutteita. Tiivistestaus on välttämätöntä, jotta hengityksensuojaimet olisivat tehokkaita asbestipurkutyoössä. Molemmat testatut hengityksensuojainten tiivistestausmenetelmät osoittautuivat käyttöön soveltuviksi työpaikoilla. Hengityksensuojaimia valittaessa työntekijöiden on päästävä kokeilemaan useita suojanaamarimalleja ja -kokoja, jotta kaikille löytyisi sopiva. Parta tulee ajaa pois, koska se heikentää suojanaamarien kasvoille istuvuutta.

Tutkimuksen tulosten pohjalta laadittiin suositukset ja malliratkaisut altistumisen ehkäisemiseksi. Tuloksia voidaan soveltaa myös kaikessa muussa korjausrakentamisessa, jossa ilmaan vapautuu terveydelle haitallisia tai vaarallisia altisteita.

ABSTRACT

The aim of this study was to improve the safety of the asbestos removal work by developing measuring methods and supervision practices to prevent asbestos exposure of both workers and people working in or occupying the adjacent areas. The performance of the asbestos enclosures, air handling units and respiratory equipment can be evaluated and confirmed using the methods developed and tested in this project. The safe asbestos removal work means that each risk management process needs to be controlled and confirmed. Special attention should be paid to asbestos survey, since it provides the basic information for the planning of asbestos removal work. The asbestos survey should be done by a certified specialist.

According to the field measurements, the Finnish mandatory minimum requirement of -5 pascals pressure difference between the asbestos enclosure and surroundings is easily achieved by the implementation of current practices, but the flushing effect of ventilation is often insufficient due to poor air distribution. A high negative pressure does not assure an effective dilution ventilation. Based on the laboratory studies, the pressure difference of -10 – -30 pascals is recommended to ensure a sufficient margin of safety against external factors, such as person traffic between the enclosure and surroundings, filter clogging, and high wind speed.

The replacement air may need to be supplied, not only through the air lock, but also from another point further away, to achieve effective air distribution inside the enclosure. In principle, the distance between the inlet of the replacement air and the exhaust should be as long as possible. This can be arranged either by locating additional air supply openings far away from the air exhaust point, using recirculation air with a pressure controller, or extending the exhaust location to the poorly ventilated areas.

In some cases, the airflow rates of the negative pressure units were only about a half of those declared by the manufacturers. Moreover, HEPA-filters were leaking in some cases. The performance of the negative pressure units should be checked in real-world conditions before the start of asbestos removal to ensure safe operation and sufficient ventilation rates of 10 air changes per hour (20 for crocidolite).

HEPA filters are being clogged during long-term and dusty removal works, which causes increased pressure drop and decreased airflow rates. This needs to be taken into account to meet the requirement for the air change rate of an enclosure. The performance of negative pressure units and portable vacuums of local exhaust ventilation systems should be confirmed after a change of a HEPA filter before start of asbestos removal (or at least once a year) by measuring the removal efficiencies of filters with a direct-reading particle counter.



The fit of the full face masks to the face of the workers was found to be deficient in the workplaces. Fit testing is essential in making the respiratory protective equipment efficient in asbestos removal. Both of the studied fit test methods were proven to be applicable for the workplaces. When selecting respiratory protective equipment, the workers need to have a chance to try on several models and sizes of full face masks for finding a fitting mask for everyone. Shaving is mandatory to achieve a proper fitting.

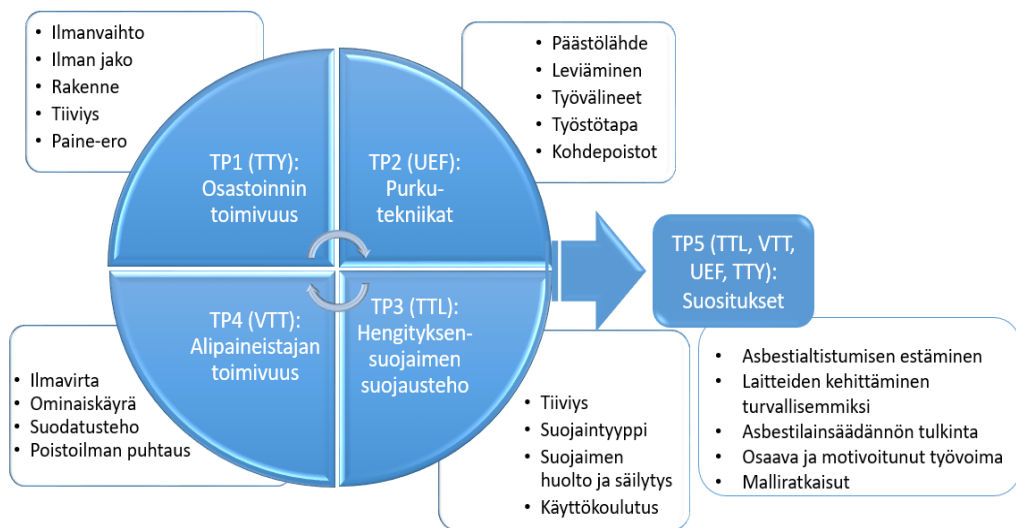
Based on this research, recommendations and best practices for controlling exposure were given. The results can be applied to any other renovation work, where exposure to harmful or hazardous agents is possible.

ALKUSANAT JA KIITOKSET

Konsortiohanke "Asbestipurkutyön turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustointojen kehittäminen" (AsbTest) toteutettiin 1.9.2017 ja 30.4.2019 välisenä aikana. Hankkeen koordinaattorina oli Työterveyslaitos (TTL) ja muina tutkimuslaitoksina Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy (VTT), Itä-Suomen yliopisto (UEF) ja Tampereen teknillinen yliopisto (TTY, vuoden 2019 alusta Tampereen yliopisto). Kohdeorganisaatioina olivat Lifa Air Oy Ltd, Oy Teknocalor Ab, STM/työ- ja tasa-arvo-osasto, ASTQ Supply House Oy, Suomen Asbestiteknikka Oy, Veljekset Paupek Oy, Aavi Technologies Oy, Delete Finland Oy, Rakennusteollisuus RT ry, Rakennusliitto ry, Dustcontrol Fin Oy ja Strong Finland Oy.

Hankkeen keskeinen tutkimustehtävä oli tehokkaiden työmenetelmien sekä torjuntatointien suunnittelun ja toteutuksen kannalta kriittisimmän tiedon hankinta. Hanke jakautui erilaisten työmenetelmien vertailuun sekä sellaisten mittausmenetelmien kehittämiseen, joilla todennetaan osastoinnin, hengityksensuojainten ja ilmankäsittelylaitteiden toimivuus. Tulosten pohjalta laadittiin suositukset altistumisen ehkäisemiseksi.

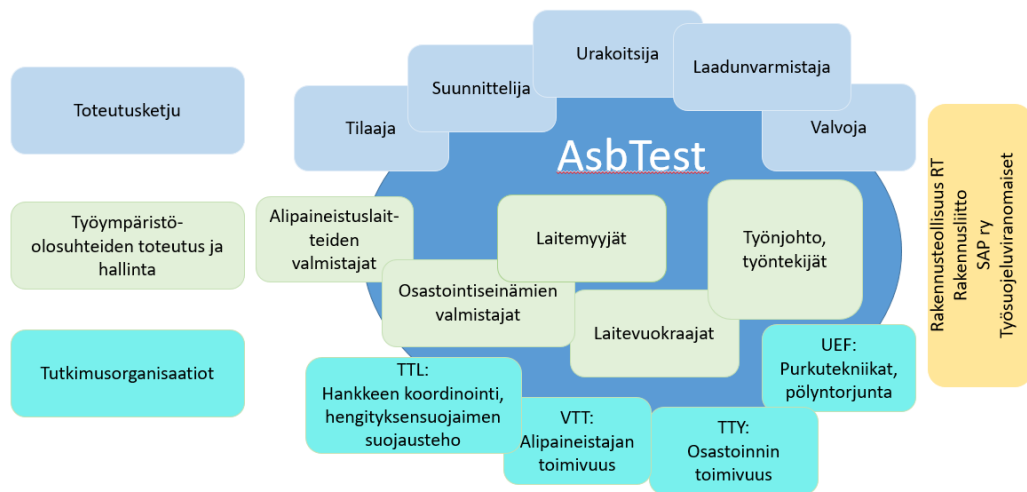
Hanke oli jaettu viiteen työpakettiin (TP 1–5), joiden sisältö ja päävastuutahot selviävät oheisesta kuvasta, jossa on myös lueteltu asbestialtistumiseen ja sen torjuntaan vaikuttavia tekijöitä. Kaikki työpaketit toteutettiin kuitenkin yhteistyössä eri tutkimuslaitosten kesken.



Tutkimushankekokonaisuuteen koottiin tutkimuskonsortio, jossa on osaamista asbestipurkutyön vaatimista osastointiratkaisujen suunnittelusta, toimivuuden tutkimisesta, alipaineistajien kehittämisestä, pölyntorjunnasta sekä henkilökohtaisesta suojautumisesta ja suojaimien testauksesta.

Tutkimuslaitosten vastuuhenkilöinä toimivat vanhempi asiantuntija Markku Linnainmaa (TTL), johtava tutkija Ilpo Kulmala (VTT), tutkimusjohtaja Pertti Pasanen (UEF) ja projekti-päällikkö, tohtorikoulutettava Petri Annila (TTY). Muut hankkeen tutkijat olivat (suluissa tutkimuslaitos ja erityisasiantuntemusalue) tutkija Anna Kokkonen (UEF, osastointien toimivuus), erikoistyöhygieenikko Heli Kähkönen (TTL, hengityksensuojainten tiivistystaustaus), vanhempi asiantuntija Erja Mäkelä (TTL, henkilösuojaimet), erityisasiantuntija Tomi Kärnerä (TTL, altistumisen arviointi), erikoismittaushygieenikko Timo Nurkka (TTL, työhygieeniset mittaukset), vanhempi asiantuntija Arto Säämänen (TTL, riskienhallinta), harjoittelija Eveliina Häkkinen (UEF, kyselytutkimuksen toteutus) ja Niina Kempainen (TTY).

Hankekokonaisuuteen sitoutettiin mukaan asbestipurkutyömaan eristettyjen osastojen rakentamiseen ja ylläpitoon tarvittavien tuotteiden toimittajat ja alaa kehittävät yritykset. Työsuojeluviranomaiset osallistuivat hankkeeseen normiohjauksen ja valvonnan näkökulmasta. Heillä on tärkeä rooli myös tutkimustiedon ja ohjeiden jalkauttamisessa kentälle. Kokonaisuutena tutkimus hyödyttää koko asbestipurkualaa suunnittelusta lopputarkastukseen. Hankkeen eri osapuolet on esitetty seuraavassa kuvassa:



Hanketta rahoittivat tutkimuslaitosten lisäksi Työsuojelurahasto, STM ja mukana olleet yritykset, joita kiitämme hankkeen mahdollistamisesta ja hyvästä yhteistyöstä. Lisäksi kii-



tämme TTL:n erikoismittaushygieenikko Sampsa Törmästä ja tutkija Esa Vanhalaa asbestinäytteiden analysoinnista, VTT:n Matti Niemeläistä avusta kenttämittauksissa sekä UEF:n tutkijatohtori Maija Leppästä kenttätutkimuskohteiden hankinnasta.

Tampereella 30.4.2019

Markku Linnainmaa, FT, dosentti

hankkeen vastuuhenkilö

SISÄLTÖ

1	TUTKIMUKSEN TAUSTA	3
1.1	Asbestipurkutöitä koskevat määräykset	3
1.2	Asbestipurkutyöt ja asbestialtistumisen torjuntakeinot	4
1.2.1	Osastointimenetelmä	5
1.2.2	Kohdeilmanvaihto osastoinnissa	7
1.2.3	Logistiikka ja jätehuolto	7
1.2.4	Henkilönsuojaimet	8
1.3	Hengityksensuojainten tiiviys	9
1.3.1	Hengityksensuojaimille asetettuja vaatimuksia	10
1.3.2	Hengityksensuojainten tiivistestausmenetelmät	11
2	TAVOITTEET	14
3	AINEISTO JA MENETELMÄT	15
3.1	Kyselytutkimus	15
3.2	Osastointien toimivuus	15
3.2.1	Osastointien toimivuus asbestipurkutyökohteissa	15
3.2.2	Alipaineistuslaitteiden mittaukset	20
3.2.3	Osastoinnin rakenne ja ilmanvaihto: savukokeet ja mallinnus	23
3.2.4	Osastoinnin ilmanvaihdon merkkiainemittaukset	30
3.2.5	Osastoinnin paine-eroon vaikuttavat häiriötekijät	34
3.3	Hengityksensuojainten tiivistestaus ja tarkastus sekä haastattelu	36
3.3.1	Testausmenetelmät	36
3.3.2	Hengityksensuojaimen tarkastus ja kysymykset työntekijöille	43
3.3.3	Tiivistestien toteuttaminen	43
4	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	44
4.1	Kyselytutkimus	44

4.1.1	Käytettävät purkutyömenetelmät.....	44
4.1.2	Osastointimenetelmän käytänteet.....	45
4.1.3	Suojautuminen ja suojarusteet.....	46
4.1.4	Osastoinnin puhtauden varmistaminen purkutyön jälkeen	47
4.2	Osastointien toimivuus	48
4.2.1	Osastoinnin toimivuus asbestipurkukohteissa.....	48
4.2.2	Alipaineistuslaitteiden toimivuus	54
4.2.3	Osastoinnin rakenne ja ilmanvaihto: savukokeet ja mallinnus.....	56
4.2.4	Osastoinnin ilmanvaihdon toimivuus ja energiankulutus sekä paine-ero	61
4.3	Hengityksensuojainten tiivistystaus ja tarkastus sekä haastattelu.....	66
4.3.1	Esitestit	67
4.3.2	Tiivistestit työpaikoilla.....	67
4.3.3	Hengityksensuojainten tarkastukset ja työntekijöiden haastattelut	74
4.3.4	Havaitut suojaimen käyttöön liittyvät ongelmat	76
4.3.5	Tiivistestimenetelmien vertailua	77
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	79
5.1	Osastoinnin toimivuus.....	79
5.2	Hengityksensuojaimet.....	81
6	SUOSITUKSET.....	84
	LÄHTEET	87
	LIITTEET	91



1 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Asbestia on Suomessa käytetty rakennusmateriaaleissa ja monissa muissa tuotteissa 1920-luvulta lähtien yhteensä noin 300 000 tonnia. Eniten asbestia käytettiin rakennusmateriaaleissa 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin asbestin kokonaiskäyttö oli enimmillään yli 10 000 tonnia vuodessa, mutta se väheni muutamaan sataan tonniin kotimaisen asbestituoteteollisuuden loputtua vuonna 1988. Asbestin uskäyttö kiellettiin Suomessa vuonna 1993 ja koko EU:n alueella vuonna 2005. Suuri osa kaikesta käytetystä asbestista on kuitenkin vielä jäljellä Suomen rakennuskannassa. (Linnainmaa 2018 a)

Rakentamisessa asbestia on käytetty muun muassa putkieristeissä, ruiskutuseristeinä, taasoitteissa, kiinnityslaasteissa, maaleissa, liimoissa, rakennuslevyissä, ilmastointikanavissa, muovimatoissa, saumauslaasteissa, kaakeleissa, vinyylilaatoissa, palokatkoeristeissä, ovissa, etenkin palo-ovissa, proppausmassoissa, sekä vesikatto- ja julkisivumateriaaleissa (Tyosuojelu.fi 2018). Asbestimateriaalien laajan ja runsaan käytön takia asbestille voi edelleen altistua vanhojen rakennusten korjaus- ja purkutöissä.

Asbestialtistuminen voi aiheuttaa erilaisia sairauksia, joista yleisimpiä ovat asbestiplakkitauti, asbestoosi eli asbestipölykeuhko, keuhkosityöpä ja mesotelioma eli keuhkopussin tai vatsakalvon kasvain. Asbestisairauksissa tyypillistä on pitkä viive (10-40 vuotta) asbestille altistumisen ja sen seurauksena syntyvien sairauksien toteamisen välillä (Hengitysliitto 2019). Erityisessä vaarassa ovat asbestille altistuneet, jotka tupakoivat, koska heidän keuhkosityöpäriskinsä tupakoimattomiin ja altistumattomiin verrattuna on 10-50-kertainen (Oksa ym. 2016).

Asbestin aiheuttamia sairauksia rekisteröidään ammattitautena vuosittain noin 500 kappaletta, ja asbestin aiheuttamiin ammattitauteihin, etupäässä syöpiin, kuolee vuosittain noin sata henkilöä. Asbestisairauksia tai niiden epäilyjä todetaan kaikissa ikäryhmissä, mutta eniten yli 65-vuotiailla. (Hengitysliitto 2019, Koskela ym. 2017) Sairauksia on todettu myös asbestikiellon jälkeen työuransa aloittaneilla, joten asbestialtistuminen on syytä pyrkiä estämään mahdollisimman hyvin.

1.1 Asbestipurkutöitä koskevat määräykset

Uusi asbestilaki (684/2015) ja -asetus (798/2015) tulivat voimaan vuoden 2016 alussa. Lain mukaan ennen vuotta 1994 rakennetuissa taloissa ei saa purkaa mitään ennen kattavaa asbestikartoitusta, mutta asbestimateriaaleja saattaa esiintyä myös joissakin vuonna 1994 käyttöön otetuissa taloissa. Asbestipurkutöitä ovat tarkasti säänneltyjä ja luvanvaraisia ja niitä saavat tehdä ainoastaan asbestipurkutöilyluparekisterissä olevat yritykset ja asbestipurkutöilyöhön pätevien henkilöiden rekisterissä olevat työntekijät. Työnantajan on myös



tehtävä asbestipurkutyötä varten kirjallinen turvallisuussuunnitelma ja nimettävä asbestipurkutyön toteuttamista varten työnjohtaja sekä toimitettava ennakoilmoitus työsuojeluviranomaisille vähintään viikko ennen työn alkamista. (Työsuojelu.fi 2018, Oksa ym. 2016)

Lainsäädännön mukaan pölyn leviäminen ympäristöön tulee asbestipurkutöissä yleensä estää osastoimalla työkohte ja pitämällä se riittävän alipaineisena ympäristöön nähden. Paine-ero osastoinnin ja ympäröivien tilojen välillä on oltava vähintään viisi ja krokidoliittipurkutyössä vähintään kymmenen pascalia. Paine-eron pysyvyyttä on seurattava tallentavalla ja hälyttävällä laitteella. Osastointimenetelmällä tehdyn purkutyön jälkeen purkutilan pinnat on siivottava, ja osastoinnin saa purkaa vasta, kun sen puhtaus on varmistettu ilmittauksella. (Työsuojelu.fi 2018, Oksa ym. 2016)

Alipaineistuslaitteen suodatettu ulospuhallusilma pyritään johtamaan ulkoilmaan, mutta ellei se ole mahdollista, ilma palautetaan rakennuksen sisälle. On kuitenkin näyttöä siitä, että asbestipurkutöitä ei aina ole tehty lainsäädännön edellyttämällä tavalla, ja kuituja on päässyt leviämään ympäristöön. (Linnainmaa 2018 b)

Uuden asetuksen mukaan asbestityössä käytettävien hengityksensuojaimien ja ilmankäsittelykoneiden suojauskyky on tarkistettava, mutta siinä ei ole esitetty, kuinka tämä tulisi tehdä. Asetuksen tulkintaohjeiden mukaan asbestinäytteitä on otettava hengityksensuojaimen sisältä ja osastoinnin ulospuhallusilmasta. Näytteiden analysointi vie kuitenkin aikaa, joten tulokset tulevat liian myöhään, mikäli suojaimissa tai ilmankäsittelylaitteissa on ollut vuotoja. Hengityksensuojaimen tiivistystaustukseen on myös olemassa laitteita, joilla mitataan joko paine-eroja tai vaarattomien hiukkasten pitoisuuksia reaaliaikaisesti. Näillä menetelmillä mahdolliset vuodot suojaimissa voidaan havaita nopeasti altistamatta ihmisiä terveydelle vaarallisille aineille. Myös ilmankäsittelylaitteiden tehokas toiminta tulisi varmistaa jo ennen purkutyön alkua. Sitä varten on tarpeen testata ja kehittää kenttäkäyttöön soveltuvia suodattimien toimintakunnon ja ilmapvirran mittauslaitteita ja niiden luotettavuutta.

1.2 Asbestipurkutyöt ja asbestialtistumisen torjuntakeinot

Asbestipurkutyö on asbestia sisältävien rakenteiden ja materiaalien purkamista ja poistamista, säilytettävien rakenteiden suojausta, purkukohteen siivoamista ja muuta toimintaa, jossa voidaan altistua asbestille (Työsuojelu.fi 2018). Työturvallisuuslain (738/2002) mukaan työnantaja on velvollinen selvittämään ja arvioimaan asbestipurkutyöstä aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. Työnantajan on huolehdittava, että työntekijän altistuminen asbestille on mahdollisimman vähäistä. Lisäksi työnantajan on annettava työntekijälle opetusta ja ohjausta mm. asbestin ominaisuuksista ja terveyshaitoista, turvallisista työtavoista, suojavarusteiden käytöstä ja puhdistuksesta,

hengityksensuojainten toimintakunnon varmistamisesta, työn riskeistä, terveystarkastuksista, asbestialtistumisen seurannasta, raja-arvoista, mittalaitteiden käytöstä, asbestijätteen käsittelystä ja hätämenettelyistä (VNa 798/2015).

Työnantajan on huolehdittava, että asbestipurkutyö tehdään mahdollisimman pölyttömästi (Rakennusalan koordinaatioryhmä 2017). Lisäksi asbestikuitujen leviäminen ja muiden sivullisten henkilöiden altistuminen tulee estää (Ratu 2010, Työturvallisuuskeskus 2011). Asbestikuitupitoisen pölyn syntymistä, leviämistä ja altistumista estetään käyttämällä purkutyöhön tehokkainta purkutyömenetelmää tai purkutyömenetelmien yhdistelmiä, sopivia purkutyökaluja, -koneita, laitteita ja suojarusteita (Työturvallisuuskeskus 2011, HSE 2013). Lisäksi tulee huomioida turvallinen materiaali- ja jätehuolto sekä logistiikka.

Asbestipurkutyömenetelmien valintaan vaikuttavat purettavan rakenteen materiaali, muoto, koko ja sijainti sekä materiaalien asbestikuitupitoisuus ja pölyävyys (Ratu 2010). Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta (798/2015) tarkoittamat hyväksytyvät asbestipurkutyömenetelmät ovat osastointimenetelmä, purkupussimenetelmä, kokonaisena irrottaminen, upotusmenetelmä, märkäpurkumenetelmä tai muu tarkoitukseen tarkoitettu menetelmä (mm. kohdepoistomenetelmä) (Ratu 2010, VNa 798/2015). Osastointimenetelmää on käytettävä krokidoliittipurkutyössä tai tilanteissa, joissa purettavan materiaalin asbestikuitupitoisuudesta ei ole varmuutta (Rakennusalan koordinaatioryhmä 2017).

1.2.1 Osastointimenetelmä

Osastointimenetelmässä purettava kohde eristetään ilmastollisesti muista tiloista ja alipaineistetaan vähintään viiden ja krokidoliittipurkutyössä vähintään kymmenen Pascalin paine-erolla (VNa 798/2015). Osastoinnin sisällä alipaineen on säilyttävä kaikissa olosuhteissa, joten paine-eroa tulee seurata hälyttävillä, tallentavilla laitteilla (VNa 798/2015). Osastoinnin paine-erojen hallintaan vaikuttavat ulkoiset tekijät, kuten rakennuksen hissi-liikkeet ja muutokset ilmanvaihdossa, tuuliolojen muutokset ja lämpötila (SLIC 2006, Pocock ym. 2013). Lisäksi kulku ja oviliikenne osastoinnin ja ympäröivän tilan välillä aiheuttavat muutoksia paine-eroissa (Hayden ym. 1998, Tang ym. 2005).

Osastointi rakennetaan pölytiivisti olemassa olevia rakenteita hyödyntäen tai käyttämällä puurimoja ja muovikalvoa (paksuus vähintään 0,2 mm) tai rakennuslevyjä (Ratu 2010). Muovikalvo on asennettava tukirangan ulkopuolelle. Kulmien ja liitoskohtien tiiviys varmistetaan teippauksella. Mahdolliset vuotoreitit, kuten alasasketut katot, sähköjohtojen ja putkien läpiviennit on tiivistettävä. Osastoinnin ja ympäröivän, normaalissa käytössä ole-

van tilan väliin rakennetaan kolmiosainen sulkutila puurimojen ja muovin avulla tai käytetään valmiita sulkutilarakenteita. Sulkutilan kautta työntekijät kulkevat ja korvausilmaa johdetaan osastointiin. Sulkutilassa työntekijä puhdistautuu ja puhdistaa hengityksensuojaimensa poistuessaan osastoinnista. Sulkutilan sisimmässä osassa on HEPA-suodattimella varustettu imuri suojapukujen, hengityksensuojainten ja jalkineiden imurointia varten sekä jätessäki käytettyjä kertakäyttöisiä suojapukuja ja muita suojaimia varten. Keskimmaisessä osassa on puhdistautumisvälineet työntekijöille ja hengityksensuojaimille. Uloin osa on työntekijöiden pukeutumista varten (normaalit työvaatteet tai suojaruusteet) (Ratu 2010).

Sulkutilan osajaon koko vaihtelee purkukohteesta riippuen, mutta tavoitekoko on 1 m² (Rakennusalan koordinaatioryhmä 2017). Sulkutilan päissä ja sen osien välissä on ilman takaisinvirtauksen estävät ovet. Kulkuaukkoihin rakennetaan esimerkiksi läppäovirakenne, jossa on kaksinkertainen muovitus. Toiseen muoviin viilletään läpimenoaukko ja toisen alaosaan asennetaan paino, joka vetää muovin paikoilleen kulkuaukon eteen kuljettaessa ovesta. Uloimmassa osassa läppäovi on aukon ulkopuolella, muissa sisäpuolella (Ratu 2010). Sulkutilan tai sulkuovien koon ja muodon ei ole todettu vaikuttavan osastoinnin paine-eroon (Pocock ym. 2013). Sulkutilan toimivuudessa on kuitenkin huomioitava, että sulkutilan kautta kulkeva korvausilma aiheuttaa sulkuovien taipumisen ja työskentely sulkutilassa vaikeutuu tilavuusvirran kasvaessa yli 1900 m³/h (Pocock ym. 2013).

Osastoidun tilan korvausilma johdetaan ensisijaisesti osastointiin johtavan sulkutilan kautta. Lisäksi korvausilmaa voidaan johtaa erillisten suodattimien varustettujen korvausilma-aukkojen kautta (Työturvallisuuskeskus 2011). Korvausilma-aukkoja tulee erityisesti käyttää krokidoliittipurkutyössä ja suurissa osastoinneissa (Ratu 2010, Pocock ym. 2013). Esimerkiksi korvausilma-aukot voivat olla osastoinnin seinään asennettuja vaatimuksenmukaisia suodattimia, ja osastoinnin puolelle asennetaan samanlainen läppärakenne kuin sulkutilan ovissa (Pocock ym. 2013). Pocockin ym. (2013) tutkimuksessa tilavuudeltaan 60 m³ osastointiin (rakennettu puukehikoista ja muovista) korvausilma johdettiin sulkutunnelin kautta ja osastoinnin seiiniin asennettujen 1-4 lisäkorvausilma-aukon (suodattimella varustetut) kautta. Jokaisen korvausilma-aukon läpi virtasi osastointiin noin 100–265 m³/h ilmaa. Ilman lisäkorvausilma-aukkoja osastoinnin paine-ero oli -9,2 Pa, ja yhdestä neljään lisäkorvausilma-aukolla -9,8 Pa – -6,8 Pa. Kukin korvausilma-aukko pienensi osastoinnin paine-eroa noin 1 Pa verran (Pocock ym. 2013).

Osastoinnin huuhteluvaikutusten aikaansaamiseksi ilmavirtauksia ohjataan hallitusti korvausilma-aukkojen kautta osastointiin ja HEPA-suodattimella varustettujen ilmankäsittelylaitteiden kautta pois ulkoilmaan (Ratu 2010). Alipaineistuslaitteistot ja korvausilma-aukot on sijoitettava ja mitoitettava siten, että osastoinnin ilman vaihtuu mahdollisimman täydellisesti ja vähintään 10 kertaa tunnissa (krokidoliittipurkutyössä 20 kertaa tunnissa) (Ratu

2010). Korvausilman tulo osastointiin järjestetään niin, ettei osastointiin muodostu katve-alueita (Ratu 2010).

Pocockin ym. (2013) mukaan osastoinnissa ilman tilavuusvirran suuruudella on suurempi merkitys kuin alipaineistajan sijainnilla huuhteluvaikutuksen aikaansaamiseksi. Toisaalta erityisesti epäsäännöllisen muotoisissa osastoinneissa alipaineistuslaitteiston sijaintipaikka voi vaikuttaa merkittävästi huuteluvaikutukseen (Pocock ym. 2013). Sen vuoksi alipaineistuslaitteistot on hyvä sijoittaa sulkutilaa vastapäätä olevalle osastoinnin seinälle (Pocock ym. 2013).

1.2.2 Kohdeilmanvaihto osastoinnissa

Osastointimenetelmässä purkutyöstä syntyvän asbestikuitupitoisen pölyn poistoa tehostetaan kohdeilmanvaihdoilla osastoinnin sisällä (Ratu 2010). Pölyntorjunta toteutetaan ensisijaisesti estämällä pölyn muodostuminen käyttämällä vähemmän pölyä tuottavia työmenetelmiä, esimerkiksi korvaamalla leikkaustyö sahaavalla katkaisumenetelmällä. Kohdeilmanvaihdon avulla asbestikuidut ja pöly poistetaan muodostumispaikaltaan ennen niiden leviämistä purkutyöalueen ilmaan. Työkaluihin liitetyt kohdepoistot vähentävät merkittävästi työntekijöiden altistumista epäpuhtauksille (Fransman ym. 2008, Kokkonen ym. 2013, Kokkonen ym. 2019). Puhdas ja turvallinen saneeraus (PUTUSA) –hankkeessa todettiin, että purkutöiden pölyisimmissä työvaiheissa, kuten piikkauksessa ja hionnassa pölypitoisuudet olivat ilman työkalukohtaisia kohdepoistoja 4-10 –kertaisia verrattuna tilanteeseen, jossa kohdepoistoja käytettiin (Kokkonen ym. 2013). Fransmanin ym. (2008) ja Kokkonen ym. (2019) arvion mukaan kohdepoistojen pölynpoistotehokkuus on työvaiheesta ja kohdepoistotyypistä riippumatta noin 80 %. Kohdepoiston tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa suodattimien kuormitus, epäpuhtauden sieppaustehokkuus ja ilmanvirtauskentät.

1.2.3 Logistiikka ja jätehuolto

Ennen purkutyötä sulkutilaan ja osastointiin viedään tarvittavat työvälineet ja jätteiden käsittelyyn tarkoitetut varusteet. Osastoinnissa purettu asbestipitoinen materiaali pakataan jätessäkkeihin ja suljetaan huolellisesti ilmatiiviisti ilmastointiteipillä, ettei asbestikuituja pääse leviämään ympäristöön. Jätessäkkien pinnat imuroidaan ja pyyhkitään puhtaaksi. Säkit siirretään puhtaisiin kaksikerroksisiin lasikuitu- ja muovisäkkeihin ennen osastoinnista pois kuljetusta. Jätessäkit merkitään varoitustekstillä "ASBESTIJÄTETTÄ". Pölyn hengittäminen vaarallista" ja kuljetetaan vaunuilla tai roskakuilua hyödyntäen peitetylle jätelavalle tai suljettavaan jätekonttiin (Ratu 2010). Purkutyön päätyttyä työkalut, -koneet ja laitteet tulee puhdistaa (mm. imuroimalla, pyyhkimällä) ennen niiden siirtoa osastoinnin ulkopuolelle



(VNa 798/2015). Asbestituotteita ei saa käyttää uudelleen, joten rakennusten purkujätteet kuljetetaan jätekeskuksiin.

1.2.4 Henkilönsuojaimet

Asbestipurkutyössä on käytettävä hengityksensuojaimia, pölyltä suojaavaa suojavaate-tusta, turvajalkineita, suojakäsineitä, kypärää ja tarvittaessa kuulonsuojaimia. Osastoinnin sisällä on käytettävä henkilökohtaista kokonaamarilla ja hiukkassuodattimella varustettua puhallinsuojainta, joka täyttää standardin EN 12942 luokan TM3P vaatimukset. Jos puret-tavassa materiaalissa on kromidoliittia, on käytettävä standardin EN 14594 tyyppin 4 tai stan-dardin EN 14593-1 mukaista kokonaamarilla varustettua paineilmaletkulaitetta. Laitteessa voi olla siirrettävä kompressori ja paineilmasäiliö, jotka ovat osa suojainkokonaisuutta eli suojaimen tyyppihyväksynnän on katettava nämä suojaimen osat. Lyhyen käyttöajan vuoksi kannettavat paineilmalaitteet eivät yleensä sovellu purkutyöhön. Kaikkien paineil-malaitteiden hengitysilman puhtaus on varmistettava säännöllisesti niiden käyttöohjeiden ja standardin EN 12021 mukaisesti. Hengityksensuojaimilta edellytetään käyttäjäkohtaista tiivistystä, kun suojain on tarkoitettu käytettäväksi osastoinnin sisällä. Testi on tehtävä ennen käyttöä ja kerran vuodessa sen jälkeen.

Suojaavaatteet ovat osastoinnin sisällä pääsääntöisesti kertakäyttöisiä. (Työturvallisuuskeskus 2011, Rakennusalan koordinaatioryhmä 2017). Kertakäyttöistä suojapukua ei saa käyt-tää uudelleen, vaan se hävitetään ensimmäisen käyttökerran jälkeen. Käytettävien suoja-pukujen tulee täyttää standardin EN 13982-1 vaatimukset. Tällaisissa puvuissa on muun muassa merkinnät "type 5 tai tyyppi 5", CE- ja standardi EN 13982-1. (VNa 798/2015). Suojapuvut vähentävät asbestikuitujen pääsyä iholle ja riisumistilanteessa hengitysteihin sekä kulkeutumista sulkutilan ulkopuolelle. (Ratu 2010, Työturvallisuuskeskus 2011, Ra-kennusalan koordinaatioryhmä 2017). Suojapuvun lahkeet ja hihat ovat kuminauhalla vah-vistetut, minkä vuoksi suojapuku asettuu tiiviisti kumisaappaiden tai suojakäsineiden päälle. Jos suojapuvussa on peukalolenkki, se laitetaan paikalleen, jotta hihan ja käsineen liittymäkohta saadaan suljettua. Hiha tulee tällöin käsineen alle. Tarvittaessa liittymäkoh-dat teipataan tiiviiden varmistamiseksi (Työturvallisuuskeskus 2011). Puku imuroidaan en-nen riisumista. Riisumisessa varotaan pölyn levittämistä kuorimalla puku päältä pois niin, että se jää nurinpäin. Rakennusalueella osastointiin on kuljettava näkyvissä suojavaatteissa, esimerkiksi liivissä (EN 20471).

Turvajalkineiden varren on yletyttävä kaikissa työn liikkeissä suojahaalarin lahkeensuiden alle. Jalkineiden rakenteen on oltava mahdollisimman saumaton eikä niissä saa olla nauhoja. Keskeistä valinnassa on puhdistettavuus. Yleensä purkutyössä tarvitaan turvajalki-neet, joissa on naulaanastumis- ja varvassuojus ja niiden on täytettävä standardin EN ISO 20345 vaatimukset.



Suojakäsineiden tulee työn riskien mukaan yleensä olla mekaanisilta vaaroilta suojaavat eli standardin EN 388 vaatimukset täyttävät käsineet. Materiaalin on oltava tiivis, mutta yleensä ei kuitenkaan edellytetä kemikaalinsuojakäsineiden täysin tiiviitä materiaaleja. Ranneke tai suojapuvun peukalolenkki käsineen alla voi helpottaa haalarin ja suojapuvun liittymän tiivistymisessä.

Yksittäisten suojainten ja suojainkokonaisuuden valinnassa ja käytössä on huomioitava henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä annettu valtioneuvoston päätös Vnp 1993/1407:

- henkilönsuojainten on täytettävä niitä koskevat vaatimukset eli Asetus (EU) 2016/425, aiemmin Vnp 1993/1406
- henkilönsuojainten valinnassa on huomioitava työntekijän terveyden tila ja ergonomia
- samaan aikaan käytettävien suojainten on sovellettava käyttöön toistensa kanssa siten, että ne edelleen suojaavat työn vaaroilta
- suojainten on oltava sopivia käyttäjälleen ja sovellettava käyttöön työn olosuhteissa
- suojainten on oltava riittävän tehokkaita
- henkilönsuojaimet ovat henkilökohtaisia
- suojainten puhtaudesta ja käyttökunnosta on huolehdittava
- työntekijälle on annettava suojaimista opetusta ja ohjausta

1.3 Hengityksensuojainten tiiviys

Hengityksensuojaimen tiivistystauksen tarkoitus on varmistaa, että suojanaamari istuu henkilökohtaisesti kunkin suojaimen käyttäjän kasvoilla tiiviisti, jolloin hengityksensuojaimen sisällä oleva, hengitettävä ilma on hengityksensuojaimen suodattimien suodattamaa. Jollei naamari tiivisty kasvoille, se vuotaa ja suojaimen suojauskyky ei ole riittävä asbestipurkutyöhön osastoinnin sisälle. Tiivistystesti tulee olla tehtynä ennen purkutöiden aloittamista, jottei suojaimen käyttäjä altistu. Asbestipurkutyössä suojaimesta on saatava irti kaikki mahdollinen suojausteho. Ihmisten kasvot ovat erilaisia ja yhtä kokoa ja mallia edustava suojanaamari ei sovi kaikille kasvoille. Tiivistystestaus varmistaa myös, että käyttäjä osaa pukea suojanaamarin kasvoilleen tiiviisti. Tiivistystauksen ohessa voidaan tarkastaa suojaimen puhtaus ja vaatimuksenmukaisuus silmämääräisesti.

Hengityksensuojainten vaatimustenmukaisuuteen liittyy huomattava määrä luvanvaraisuutta ja valvontaa. Ilman hengityksensuojainten henkilökohtaista tiivistystausta jää kuitenkin turvallinen käyttöliittymä käyttäjään varmistamatta. Käyttäjän on itse vaikea tunnistaa suojanaamarin kasvoille tiivistyminen (Christopher C. Coffey ym. 1998).

Tässä tutkimuksessa vertailtiin ja selvitettiin menetelmiä, joilla voidaan luotettavasti ja nopeasti varmistaa hengityksensuojainten toimivuus purkutöiden aikana. Tiivistestimenä käytettiin kontrolloidun alipaineen menetelmää ja kondensoivan hiukkaslaskennan menetelmää.

Hengityksensuojainten tiiviyden mittaaminen asbestikuiduilla on liian vaikeaa toteutettavaksi, sillä asbestikuitujen ilmapitoisuus tulee saada mahdollisimman vähäiseksi hengitysvyöhykkeellä tehokkailla kohdepoistoilla ja ilmanvaihdolla työturvallisuuteen liittyvien peruseräiteiden mukaisesti. Tiivistestissä kuitupitoisuuden tulisi olla vähintään 1000-kertainen ilmassa mittausmenetelmän määritysrajaan nähden. Ennen ympäröivän ilman kuitupitoisuuksien mittaamista ei voida tietää, että kuituja on ilmassa riittävästi suojaimen tiiviyden testaamiseksi. Suojanaamarien rikkominen neulalla on henkilönsuojainasetuksen 2016/425/EU vastaista. Hankalinta tiiviyden mittaamisessa asbestikuiduilla on kuitenkin, että suojaimen suojaavuus tulee olla varmistettuna ennen kuin työntekijä menee tilaan, jossa on asbestikuituja.

1.3.1 Hengityksensuojaimille asetettuja vaatimuksia

Työpaikoilla tulee käyttää vain vaatimukset täyttäviä henkilönsuojaimia (Vnp 1407/1993). Henkilönsuojainten vaatimukset on esitetty lainsäädännössä (2016/425/EU ja syrjäytyvä Vnp 1406/1993). Suojainten vaatimusten mukaisuuden täytyminen varmistetaan käyttämällä tuotteiden suunnittelussa, testauksessa ja vaatimuksenmukaisuuden valvonnassa harmonisoituja eurooppalaisia standardeja. Standardin harmonisointimenettelyllä tarkoitetaan, että on varmistettu, että standardinmukaisuus luo oletettaman suojaimelle asetettujen lakisääteisten terveyttä ja turvallisuutta koskevien vaatimusten mukaisuudesta. Hengityksensuojaimet kuuluvat suojainluokkaan III, minkä vuoksi ne on EU-tyyppihyväksytettävä ilmoitetussa laitoksessa ja niiden valmistusta valvoo vuosittain ilmoitettu laitos. Valmistaja saa laittaa tyyppihyväksytyyn hengityksensuojaimen CE-merkinnän. CE-merkinnän perässä olevat neljä numeroa ilmaisevat, mikä ilmoitettu laitos vastaa tuotannon vuosittaisesta valvomisesta.

Hengityksensuojainten toimivuus testataan EU-tyyppihyväksyntää edeltävässä testauksessa kokonaisvaltaisesti. Vaatimukseen kuuluu muun muassa, että puhallinsuojainten luokkaan TM3 tyyppihyväksyttävät puhaltimella ja suodattimella varustetut hengityksensuojaimet saavat vuotaa naamarin sisään enintään 0,05 % ympäristön hiukkasista tai kaasusta, kun puhallin on päällä. Kun puhallin sammutetaan enimmäisisäänvuoto saa olla 0,1 %. Sisäänvuototestit tehdään kymmenellä koehenkilöllä, natriumkloridihiuksilla ja rikkiheksafluoridi-kaasulla. Hiukkastestin aikana koehenkilö kävelee juoksumatolla 6 m/s kammiossa, jossa natriumkloridipitoisuus on noin 8 mg/m³ ja natriumkloridihiuksien aerodynaaminen halkaisija on 0,02–2 µm ja mediaanihalkaisija 0,6 µm (EN 12942).



Myynnissä olevia henkilönsuojaimia valvovat viranomaiset (Tyosuojelu.fi). Työpaikkojen työsuojelun valvonnasta vastaavat viranomaiset (Tyosuojelu.fi). Valvontaan kuuluu varmistus, että työssä on käytössä riittäviä altistumista ehkäiseviä toimenpiteitä, mm. henkilönsuojaimet ja että ne ovat asianmukaisessa kunnossa ja käyttäjät ovat koulutettuja. Viranomaisilta myös haetaan asbestipurkutyöluvat, joiden saaminen edellyttää mm. että hakijan henkilönsuojaimet täyttävät vaatimukset ja että työntekijät osaavat käyttää suojaamiaan.

Hengityksensuojainta tulee käyttää sen käyttöohjeiden mukaisesti. Suojaimen kokoonpano on esitetty käyttöohjeissa. Vain käyttöohjeissa esitettyjä tyyppihyväksytyjä kokoonpanoja saa käyttää työpaikalla. Jos henkilönsuojaimen tehdään muutos, on suojaimen valmistajan varmistettava ilmoitetulta laitokseltaan, tarvitaanko tyyppihyväksyntään muutos. Suojainmuutoksia ovat mm. osien ottaminen toisen valmistajan laitteesta, osien itse rakentaminen ja naamarin puhkaiseminen näytteenottoa varten. Näytteenottoa varten on olemassa näytteenottomia eikä reikiä tarvitse tehdä.

Kokonaamarilta edellytetään suurta suojaustehokkuutta asbestityössä. Tämän vuoksi suojaimen tiiviys tulee varmistaa, kun suojain huolletaan, siihen laitetaan uusi suojalasi tai uudet venttiilin läpät. Puhaltimen toiminnan varmistaa se, että siinä on hälytyslaite, joka hälyttää, kun suojain ei tuota riittävästi hengitysilmaa, jonka syitä voivat olla puhaltimen akun varauksen riittämättömyys tai hiukkassuodattimen tukkeutuminen. Käyttötarkastuksissa varmistetaan suojaimen kunto ja kuluneet osat vaihdetaan uusiin.

1.3.2 Hengityksensuojainten tiivistestausmenetelmät

Tutkimukseen mukaan valittiin tiivistestit, jotka voidaan viedä työpaikoille ja joilla voidaan mitata suuria tiiviyskertoimia, jollaiset asbestipurkutyössä tarvitaan. Testit ovat kaupallisia ja niitä on arvioitu tieteellisesti. Alla on kerrottu muutamasta näistä tutkimuksista.

Christopher C. Coffey (1998) tutkimusryhmineen teki kolmen tieteellisen artikkelin sarjan. Ensimmäinen osa käsitteli tutkimusmenetelmän kehittelyä ja validointia. Toisessa tutkimuksen osassa tiivistestin tulos kondensoivalla hiukkaslaskurilla (Portacount 8020, TSI Inc., St. Paul, Minn.) korreloi hengityksensuojain päällä tehtyjä altistumismittauksen tuloksia laboratorio-olosuhteissa. Kontrolloidun alipaineen (Dynatech Nevada Inc., Carson City, Nev.) testin tulokset eivät vastanneet hyvin altistumismittausten tuloksia. Syynä Coffeyn mukaan näiden kahden menetelmän eroon saattoi olla, että alipainetestissä koehenkilö joutui riisumaan hengityksensuojaimensa ennen testiä. Kondensoivalla hiukkaslaskurilla tehdyssä testissä koehenkilö ei joutunut riisumaan naamariaan. Coffeyn et al. mukaan useissa tutkimuksissa on raportoitu, että tiiviyskertoimet korreloivat huonosti hengityksensuojainten tehokkuusmittauksia altistumismittauksien keinoin. Tiivistestit tehtiin kahdella eri kondensoivan hiukkaslaskennan liikesarjalla. Tutkimus ei ehdottanut, että perinteisesti



tehtyihin liikesarjoihin pitäisi tehdä muutoksia, mutta sitä pitäisi tutkia. Perinteisellä liikesarjalla tehtyjen testien tulokset korreloivat altistumismittauksen tuloksia hieman paremmin kuin sellaisella liikesarjalla tehty testi, joihin oli lisätty työn simulointia ja kävelyvaihe. Tutkimuksesta raportoitiin, että merkittävällä määrällä koehenkilöistä todettiin huonosti kasvoille tiivistyviä suojaimeja, vaikka he saivat itse valita suojaimekokeilemalla tiiviyyttä omalla hengityksellään.

Kolmannessa tutkimusosassa Coffey ryhmineen (1999) todisti, että laboratorio-olosuhteissa voidaan ennustaa hengityksensuojaimen vaikutus altistumiseen käyttämällä kondensoivaa hiukkaslaskentaa tiivistestimenetelmänä. Laboratoriossa voitiin haitattomalla testiaineella testata myös henkilöitä, joiden hengityksensuojainten tiiviyskertoimet olivat pieniä. Coffey ryhmineen päätteli, että aiemmat tutkimuksissa korrelaatiota altistusmittausten ja hengityksensuojainten tiivistestien välillä ei ollut löytynyt, koska eettisistä syistä työpaikoilla tehdyissä tutkimuksissa ei oltu tutkittu tapauksia, joissa tiivistestien tulokset olivat pieniä. Hengityksensuojainten tiivistestien ehdoton hyöty todistettiin.

Crutchfield vuonna 1999 raportoi kontrolloidun alipainetiivistestimenetelmän ja kondensoivan hiukkasmittausmenetelmän testiliikkeiden ja suojaimekokeilun vaikutusta tiiviyskertoimiin. Raportin mukaan suojaimekokeilun pukeminen vaikuttaa suojaimekokeilun kasvoille istumiseen enemmän kuin testissä tehdyt liikeharjoitukset. Vartalon taivutus toi liikkeistä selvemmin esiin huonosti istuvan suojaimekokeilun molemmilla menetelmillä. Kun suojaimekokeilun istui hyvin kasvoilla, puhevaiheen tiiviyskertoimet olivat pienempiä kuin suojaimekokeilun pukemisvaiheen kertoimet. Kontrolloitu alipainemenetelmä tuolloin käytössä olevilla laitteilla tunnisti enemmän suojaimekokeilun vuotoja kuin kondensoivan hiukkasmittauksen menetelmä.

Janssen ym. (2002) vertaili eri tiivistestausmenetelmiä ja totesi, että eri fysikaalisten suureiden mittaamiseen perustuvat menetelmät eivät tuota samoja tuloksia. Kuitenkin työryhmä totesi, että tutkimustulokset tukevat tiivistestauksen tekemistä siten, kuin se tehtiin mm. konsentroivalla hiukkaslaskentamenetelmällä ja kontrolloidun alipaineen menetelmällä.

Vuonna 2003 on raportoitu (Zhuang Z ym.) metallisulatoissa tehty tutkimus, jonka mukaan hengityksensuojainten hyvä tiiviyskertoimen ennusti hengityksensuojainten tehokkuutta työssä hyvin.

Tutkimusraportti Ranskasta vuodelta 2018 (Chazelet ym.) esittelee kokonaamareilla varustettujen suodattavien puhallinsuojainten ja paineilmalaitteiden mitattuja työpaikkasuojaukskertoimia asbestipurkutyössä. Työpaikkasuojaukskerroin on työn aikana määritetty, suojaimekokeilun ulkopuolella ja sisäpuolella olevan epäpuhtauden pitoisuuksien suhde. Tutkimuksessa käytetyt muutetut hengityksensuojaimet EC-tyyppihyväksyttiin ja tiivistestattiin käyttäjillä ennen työpaikkasuojaukskertoimien määrittämistä. Hengityksensuojainten sisällä ei



tavattu asbestikuituja 75 % näytteistä. Toisaalta 4 %:ssa näytteistä asbestikuitujen pitoisuus ylitti Ranskan työpaikkaraja-arvon 10 kuitua/l. Kun mitatuista työpaikkasuojaukertoimista määritettiin 5. persenttiili (tilastollisesti määritetty viidenneksi huonoin tulos sadasta), saatiin kokonaamarilla varustetulle puhallinsuojaimelle käytännön suojauskertoimeksi 104 ja paineilmalaitteelle 236. Käytännön suojauskerroin on suojaustaso, jonka 95 % suojainten koulutetuista käyttäjistä saavuttaa, kun tiiviystestit on tehty. Raportissa referoidaan myös aiempia tutkimuksia, joiden mukaan käytännön suojauskertoimet jäävät suunnilleen saman suuruisiksi kuin tässä ranskalaisessa tutkimuksessa. Tutkimuksen tulos korostaa tarvetta estää työntekijöiden altistumista myös kaikilla muilla mahdollisilla tavoilla kuin suojaimilla.

2 TAVOITTEET

Hankkeen päätavoitteena oli parantaa asbestipurkutyön turvallisuutta luomalla ratkaisuja, joiden avulla asbestityötä tekevien sekä työn vaikutuspiirissä olevien henkilöiden asbestialtistuminen voidaan ennaltaehkäistä. Lisäksi tavoitteena oli luoda tutkitut perusteet osastointien ilmanvaihdon järjestämiseksi sekä saada mittauksiin perustuvaa tietoa erilaisien torjuntatoimien tehokkuudesta.

Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi luotiin

- ohjeistus osastointien toimivuudelle, niiden tarvitsemalle paine-erolle, ilmanvaihtuvuudelle ja ilmanjaolle
- luotettavat ja kustannustehokkaat mittaustavat hengityksensuojainten tiiviiden ja alipaineistuslaitteiden ulospuhallusilman puhtauden tarkkailuun
- turvallisia toimintatapoja asbestialtistumisen ehkäisemiseksi.

Tulosten perusteella arvioitiin hyväksi havaittujen testaus- ja mittaustoimintojen kenttäkelpoisuutta ja laadittiin suositukset altistumisen ehkäisemiseksi. Lisäksi annettiin ohjeet hengityksensuojainten ja alipaineistuslaitteiden toimintakunnon mittaamiseksi.

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Kyselytutkimus

Kyselytutkimuksen (liite 1) tarkoituksena oli kartoittaa asbestipitoisen materiaalin poistoon käytettäviä purkumenetelmiä, purkutyöntekijöiden suojavarustusta sekä käytäntöjä purkutyöalueella hankkeessa laadittavan ohjeistuksen tueksi. Kyselytutkimus toteutettiin haastatteleamalla puhelimitse asbestipurkutyöntekijöitä ja työnjohtajia yrityksistä eri puolilta Suomea. Kyselyyn mukaan kutsutut yritykset (N=40) valittiin satunnaisotannalla Aluehallintoviraston (AVI) ylläpitämästä Asbestipurkutyöluparekisteristä (<http://asbestipurkutyöluparekisteri.ahtp.fi/>). Kyselytutkimukseen osallistuneisiin työntekijöihin otettiin yhteyttä sähköpostitse ja puhelimitse yrityksen annettua työntekijöidensä yhteystiedot.

3.2 Osastointien toimivuus

Osastointien toimivuutta tutkittiin todellisissa oloissa neljässä asbestipurkutyökohteessa ja hallituissa olosuhteissa laboratorioissa.

3.2.1 Osastointien toimivuus asbestipurkutyökohteissa

3.2.1.1 Tutkimuskohteiden kuvaus

Kenttätutkimukset tehtiin kahdessa linjasaneerauskohteessa ja kahdessa kellarimaisessa kohteessa, joissa poistettiin asbestipitoista massaputkieristettä (taulukko 1, kuva1). Asbestikartoitusraporttien mukaan materiaaleissa ei esiintynyt krokidoliittia. Tutkimuskohteissa kolmiosisaisella sulkutunnelilla varustettujen osastointien suojaseinät oli rakennettu puurimoista ja rakennusmuovista, kiinnitys nitojalla ja tiivistysteippauksella. Sulkutilojen päissä ja niiden osien välissä oli ilman takaisinvirtauksen estävät kaksiosaiset ovet. Ensimmäisessä osassa muovikalvon keskiosaan oli viilletty kulkuaukko ja toisessa osassa oli ylhäältä kiinnitetty muovista tehty läppäovi, jonka alaosaan oli kiinnitetty rimasta tehty paino (kuva 2). Yhdessä kohteessa (B) sulkutunneli oli toteutettu valmissulkutunnelirakenteena (vetoketjuvirakenteet). Sulkutilat olivat mitoiltaan 0,63–0,83 m × 0,63–0,95 m × 1,8–2,0 m.

Kaikissa kohteissa korvausilma johdettiin sulkutunnelin kautta osastointiin. Korvausilmaukon koko sulkutunnelin suuaukolta mitattuna oli 0,01–0,2 m². Alipaineistus toteutettiin yhdellä tai kahdella alipaineistajalla (taulukko 1). Osastoinnista HEPA-suodatettu ilma johdettiin joko ympäröivään tilaan (A), suoraan ulos ikkunoiden läpi kulkeneita putkia pitkin (B) tai suoraan ulos yhden kerrosnousun verran muovisukan avulla (C-D).

Tarkemmat kohdekuvaukset on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 1. Kohdekuvaukset.

Kohde	Asbestipurkutyö	Osastoinnin tilavuus	Alipaineistaja	Työvälineet
A	linjasaneeraus, huoneistokohtainen osastointi, märkätilojen asbestipitoisten materiaalien purku	23	Lifa Air Hepa Clean 1100	piikkausvasara, ei kohdepoistoa (Hilti TE 1000-AVR, TE 500-AVR); käsihiomakone (Hilti) kohdepoistolla (Dust Control DC Tromb 400)
B	linjasaneeraus, kaksi-kerroksinen osastointi, kaksi huoneistoa / kerros, alipaineistaja kerroskohtaisesti, märkätilojen asbestipitoisten materiaalien purku	220	2 × SILAa2	piikkausvasara, ei kohdepoistoa (Hilti TE 1000-AVR, TE 500-AVR, TE 30-A36); käsihiomakone (Hilti DG-EX 125) kohdepoistolla (Pullman Ermator S26)
C	kellaritunnelin massaputkieristeen purku	208	2 × Husqvarna A2000	puukkosaha (Milwaukee M18 CSX-0) kohdepoistolla (Strong S28)
D	lämmönjakohuoneen massaputkieristeen purku	42	Strong 4000	



Kuva 1. Massaputkieristeen purkua.



Kuva 2. Sulkutilan läppövirakenne.

3.2.1.2 Kenttäkohteissa käytetyt menetelmät

Osastoinnin ja ympäröivän tilan välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisella paine-eroanturilla Dwyer Magnesense, joka oli varustettu dataa tallentavalla HOBO U12 -laitteella. Paine-erodata tallennettiin 30 sekunnin välein.

Osastoinnin ilmanvaihtuvuutta testattiin merkisavukokeella generoimalla savua osastointiin sulkutunnelin suulta 1-3 minuuttia osastoinnin koosta riippuen. Savun leviämistä osastoinnin sisällä tarkasteltiin visuaalisesti.

Osastoinnin epäpuhtauspitoisuuksien ja epäpuhtauksien leviämisen selvittämiseksi mitattiin ilmasta asbestin sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Näytteitä otettiin kiinteistä mittauspaikoista hengityskorkeudelta. Kohdekohtaiset mittauspaikkojen sijainnit on esitetty liitteessä 1. Ilmanäytteiden keräys- ja määrittämenetelmät olivat taulukon 2 mukaiset.



Kuva 3. Mittauspisteet sulkutunnelissa.

Taulukko 2. Näytteenkeräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattu altiste	Näytteenottomenetelmä	Määrittäminen
asbestikuidut	polykarbonaattisuodatin	elektronimikroskopiointi (EM) ja alkuaineanalyysi
hengittyvä ja alveolijakeinen pöly	IOM-vahtokeräin ja selluloosa-asettaattisuodatin	gravimetria

Pyyhintänäytteet otettiin nurinpäin käännettyihin Minigrip-pusseihin asettamalla käsi pussin sisään ja pyyhkimällä pintoja, minkä jälkeen pussit käännettiin oikeinpäin ja suljettiin huolellisesti. Pölynäyte tai edustava osa siitä suodatettiin tislattulla vedellä kalvosuodattimelle ja analysoitiin elektronimikroskooppia (EM) ja siihen liitettyä energiadiispersiivistä spektrometriä (EDS) käyttäen.

Ilman asbestikuitupitoisuus ilmoitetaan vähintään viiden mikrometrin mittaisen kuitujen määränä kuutiosenttimetrissä ilmaa (k/cm^3). Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan kahdeksan tunnin sitova raja-arvo asbestikuiduille on $0,1 \text{ k}/\text{cm}^3$ ja pitoisuus puhtaissa tiloissa ei saa ylittää ns. puhtaan tilan ohjearvoa $0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$ (VNa 798/2015). Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan asbestikuitupitoisuuden tulee käytössä olevissa tiloissa olla alle menetelmän määritysrajan eli $<0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 (STMa 545/2015) mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 9/2018 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on epäorgaaniselle pölylle annettu kahdeksan tunnin ohjeraja-arvoksi ($\text{HTP}_{8\text{h}}$) $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja orgaaniselle pölylle $5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sementtipölyn $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvot ovat $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (hengittyvä pöly) ja $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (alveolijae). Työterveyslaitos on asettanut monille ilman epäpuhtauksille tavoitetasoja, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Hengittyvälle yleiselle pölylle tavoitetaso on $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Nämä yleisen pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä terveyshaittoja, jotka liittyvät erityisesti niukkaliukoisiin partikkeleihin, joiden poistuminen keuhkoista on hidasta.

3.2.2 Alipaineistuslaitteiden mittaukset

Alipaineistuslaitteita käytetään järjestämään osastointien ilmanvaihto sekä ylläpitämään paine-eroa osastoinnin ja ympäröivän tilan välillä. Alipaineistaja imee jatkuvasti ilmaa purkutyön aikana ja sen on tarkoitus puhdistaa poisjohdettava ilma hiukkasmaisista epäpuhtauksista. Alipaineistuslaitteet on varustettu esisuodattimella, korkean erotusasteen HEPA-suodattimella (High Efficiency Particulate Air) sekä puhaltimella. Laitteen poistoilma johdetaan yleensä ulos letkujen avulla.

Kenttäkohteissa alipaineistajista mitattiin niiden keskeisimmät ominaisuudet eli erotusasteet hiukkasille sekä ilmavirrat. Korkea erotusaste on tärkeä, koska HEPA-luokan suodatuksella voidaan varmistaa, että ilmavirrassa olevat asbestikuidut jäävät suodattimelle eivätkä leviä ympäristöön. Ilmavirran tietäminen on puolestaan oleellista riittävän ilmanvaihtuvuuden varmistamiseksi osastoinnissa.

Erotusasteiden ja mahdollisten sisäänvuotojen todentamiseksi käytettiin suoraan osoittavia hiukkaslaskureita. Mittauksissa kokeiltiin kolmea eri laitetta (Met One 237B, TSI 3330 sekä Palas Fidas Frog). Näiden ominaisuudet on esitetty kuvassa 4.



	TSI 3330	Met One 237B	Palas Fidas Frog
Kokoalue	0.3-10 µm	0.3 - >5 µm	0.18 – 18 µm
Kanavia	16	6	64
Näyteilmavirta	1 lpm	2.8 lpm	1.4 lpm
Tallennus	Muistiin	Muistiin, paperi	Muistiin
Pitoisuusalue	0.01-3000 p/cm ³	0.001-74 p/cm ³	0.1-20000 p/cm ³

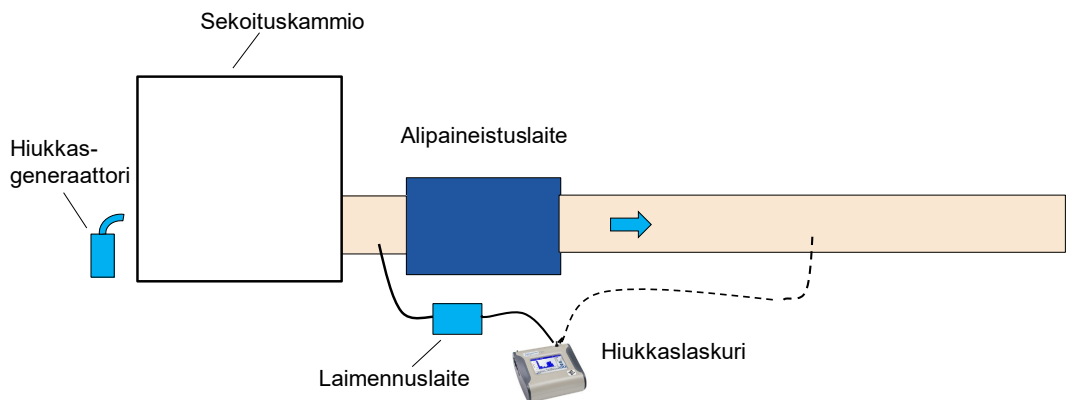
Kuva 4. Kenttäkohteissa käytetyt hiukkaslaskurit ja niiden ominaisuudet

Hiukkaslaskureiden vertailemiseksi keskenään niitä kokeiltiin laboratoriossa, jossa oli mahdollista luoda toistettavat ja stabiilit olosuhteet luotettavien tulosten saavuttamiseksi. Vertailumittauksissa määritettiin alipaineistajan erotusasteet kuvan 5 mittausjärjestelyllä. Erotusasteet eri hiukaskokoluokissa laskettiin kaavalla

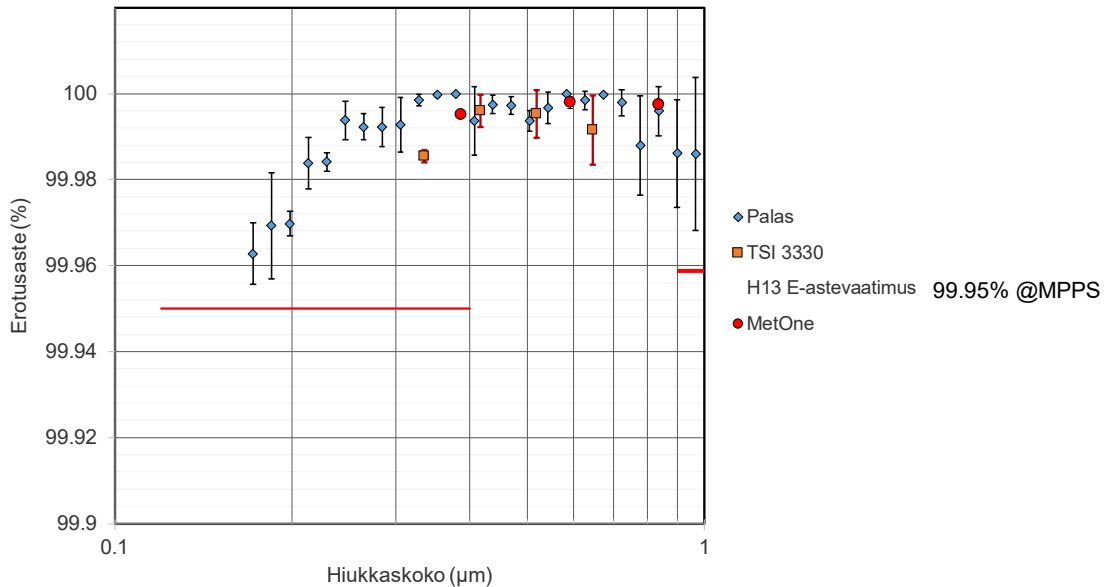
$$E(d) = \left(1 - \frac{N_2(d)}{N_1(d)}\right) 100 (\%) \quad (1)$$

missä $N_1(d)$ on hiukaspitoisuus ennen suodatinta ja $N_2(d)$ on suodattimen jälkeen.

Näiden mittausten tulokset on esitetty kuvassa 6.



Kuva 5. Alipaineistajan erotusasteen mittausta laboratoriossa.

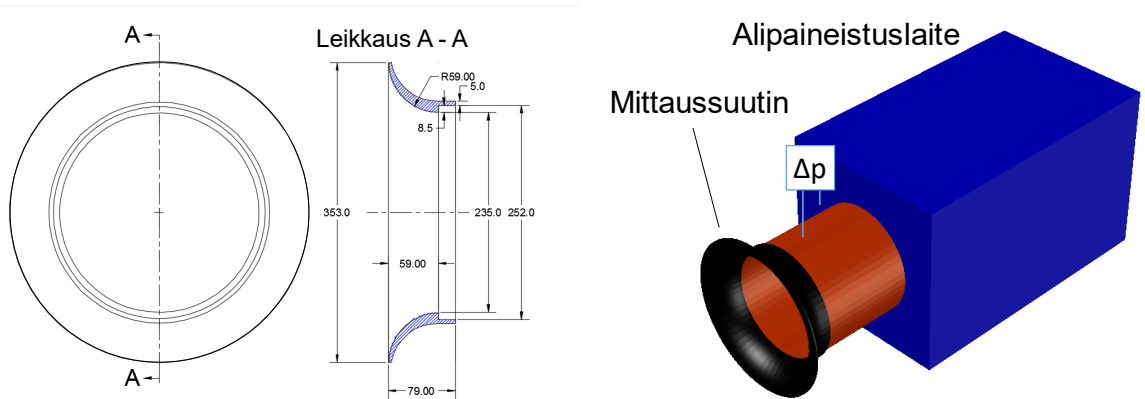


Kuva 6. Hiukkaskalibrointien vertailumittausten tulokset.

Vertailumittausten tuloksista voidaan todeta, että kaikki kokeillut hiukkaskalibrointilaitteet näyttivät samankaltaisia tuloksia. Palas Fidas Frog kykenee mittaamaan laajemmalla hiukkaskoko-alueella kuin Met One ja TSI, mutta vuotojen ja riittävän erotusasteen toteuttamiseksi kaikki hiukkaskalibrointilaitteet toimivat kyllin hyvin.

Ilmavirrat mitattiin alipaineistuslaitteiden otsapinnalta Accubalance -balometrillä. Nimellinen ilmanvaihtokerroin saadaan laskemalla alipaineistajien ilmavirrat yhteen ja jakamalla summa osastoidun alueen kokonaistilavuudella.

Ilmavirtojen mittaaminen balometrillä on mahdollista, mutta vaatii osaavan käyttäjän. Lisäksi laite on verrattain kallis eikä ole kovin helppokäyttöinen asbestipurkutyömaalla. Alipaineistuslaitteiden ilmavirtojen nopeaksi ja luotettavaksi mittaamiseksi kehitettiin tämän vuoksi kenttäkelpoinen mittaussuunnitelma. Se muodostuu standardinmukaisesta mittaussuunnitelmasta (ISO 2017) ja paine-eron mittalaitteesta kuvan 7 esittämällä tavalla. Laitteen etuja ovat hyvä tarkkuus, yksinkertainen ja robusti rakenne sekä helppokäyttöisyys.



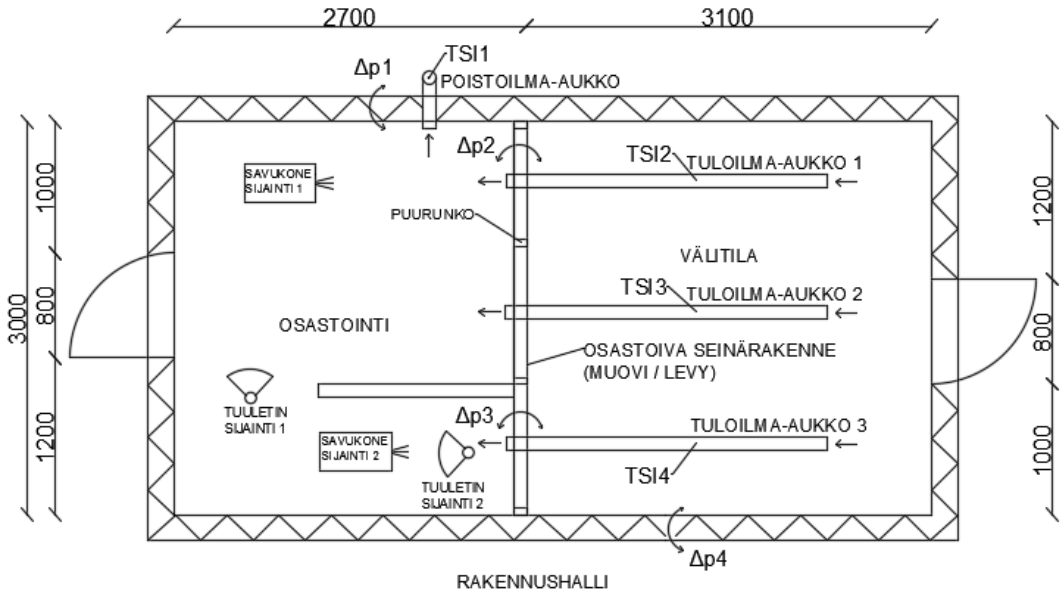
Kuva 7. Hankkeessa kehitetty mittausjärjestelmä alipaineistajan ilmavirran mittaamiseksi.

3.2.3 Osastoinnin rakenne ja ilmanvaihto: savukokeet ja mallinnus

Osastoivien seinärakenteiden tiiviyyttä testattiin ja mitattiin testiosastossa, joka rakennettiin olemassa olevaan tutkimuslaitteeseen (kuva 8), johon voidaan muodostaa hallitut tietokoneohjatut olosuhteet ja kytkeä erilaisia mittalaitteita ja muuta tekniikkaa.

Säärasituslaitteen sisään rakennettiin puinen runko, johon kiinnitettiin vuorollaan testattavat seinärakenteet. Puurunko tiivistettiin säärasituslaitteiston sisäpintoja vasten rakennusmuovilla ja alumiiniteipillä sekä polyuretaanivaahdolla. Säärasituslaitteiston vaipan läpi menneet vanhat pienet reiät tukittiin ja tiivistettiin silikonilla ja tiivistysteipillä.

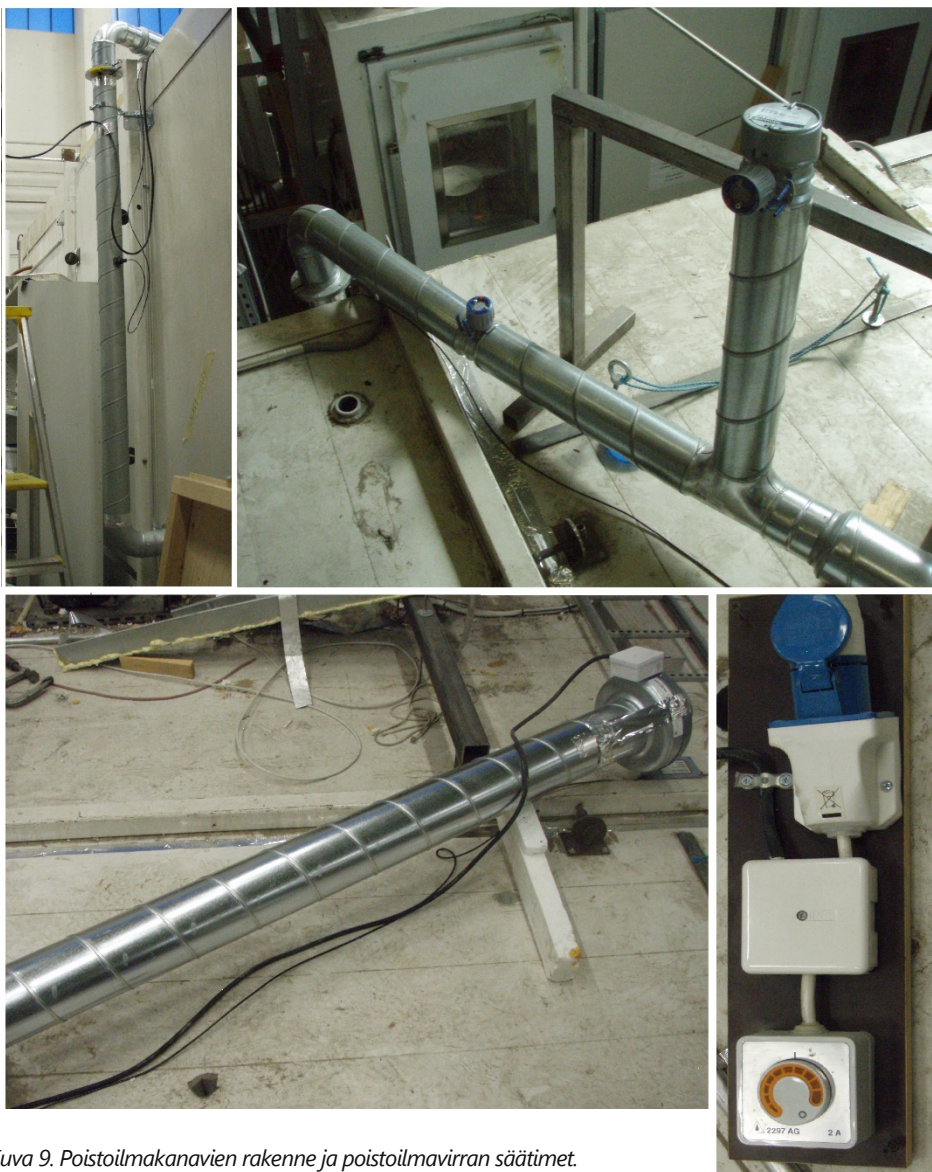
Osastoinnin syvyys oli 2,7 m, leveys 3,0 m, korkeus 2,0 m ja tilavuus 16,2 m³. Osastoivan seinän leveys oli 3,0 m ja korkeus 2,0 m. Säärasituslaitteen toiseen päähän jäi tila, jota kutsuttiin väli tilaksi. Väli tilan syvyys oli 3,1 m, leveys 3,0 m ja korkeus 2,0 m. Hallittu tuloilma järjestettiin osastointiin osastoivan seinärakenteen läpi kolmesta vaihtoehtoisesta kohdasta (tuloaukko 1 – tuloaukko 3).



Kuva 8. Pohjakuva sääräsituskoneesta ja käytetystä mittauslaitteistosta.

Tuloilma johdettiin osastointiin 3,0 m pitkien peltisten pyöreiden kierresaumakanavien kautta. Kanavien halkaisija oli 100 mm. Tuloilma-aukkoja oli auki yhtä aikaa joko yksi tai kaksi kappaletta. Poistoilma johdettiin osastoinnista samanlaisella peltisellä kierresaumakanavalla, jonka pituus oli yhteensä noin 6,7 m. Poistoilmaputki nousi sääräsituslaitteen katolle ja siihen syntyi kaksi 90 ° kulmaa. Tulo- ja poistoilmaputkiin asennettiin kaikkiin yksi ilmannopeusmittari. Kaikki osastoinnin ilma-aukot sijaitsivat korkeussuunnassa noin 20 cm korkeudella lattiatasosta.

Alipaine osastointiin saatiin aikaan kanavapuhaltimella (Online CK-125C 8098006, 62W), jossa oli suora ilman läpivirtaus. Kanavapuhaltimeen liitettiin säädin, jolla pystyttiin säätämään puhaltimen tehoa ja ilman tilavuusvirtaa poistoilmaputkessa. Lisäksi säärasituslaitteen katolle poistoilmaputkeen asennettiin virtaussäädin, jolla voitiin myös säätää ilman tilavuusvirtaa putkessa sekä noin 70 cm haara (kuva 9). Virtaussäätimellä ja haaran avulla



Kuva 9. Poistoilmakanavien rakenne ja poistoilmavirran säätimet.



voitiin säätää poistoilman tilavuusvirtaa vielä pienemmäksi kuin pelkällä puhaltimen tehon säädöllä, jotta osastointiin saatiin tarpeeksi pieni paine-ero.

Ilmavirranmittauksissa käytettiin neljää ilmannoepusanturia, jotka olivat puolisuuntariipuvaisia (TSI Air Velocity Transducer 8465). Yksi ilmannoepusanturi sijoitettiin poistoilmaputkeen (TSI1) ja kolme ilmannoepusanturia sijoitettiin tuloilmaputkiin (TSI2, TSI3 ja TSI4).

Paine-eroa osastoinnin ja ympäristön välillä mitattiin neljällä paine-eroanturilla (Huba Control, tyyppi 694). Osastoinnin ja rakennushallin välistä paine-eroa mittasi ensimmäinen paine-eroanturi, osastoinnin ja välitilan välistä paine-eroa mittasivat toinen ja kolmas paine-eroanturi ja välitilan ja rakennushallin välistä paine-eroa mittasi neljäs paine-eroanturi. Rakennushalli edusti kokeissa purkutilaa ympäröiviä sisätiloja, joiden olosuhteita ei hallittu purkutyöhön liittyen. Anturit liitettiin tietokoneeseen, josta pystyttiin seuraamaan ilmavirran nopeuksia ja paine-eroja sekä tallentamaan testeissä syntyneitä dataa.

Käytössä oli myös savukone (EuroLite Dynamic Fog 1500) ja paineilmalaitte. Osastoinnin tiiviyyttä pystyttiin visuaalisesti tarkkailemaan savukoneen avulla. Kun osastointiin laskettiin savua, pystyi välitilan puolelta näkemään osastoivassa rakenteessa olevat vuotokohtat. Paineilmalla voitiin aiheuttaa pientä ylipainetta välitilaan tai osaston sisälle ja näin häiritä paine-eroja tilojen välillä.

Laboratoriokokeissa testattiin yhteensä kolmen erilaisen seinäjärjestelmän toimivuutta. Näitä olivat:

1. Muovi
2. Muovi + ovi
3. Levyrakente

Kaikissa tiivistesteissä tuloilma tuli aukosta 2. Muoviseinä rakennettiin 0,2 mm:n paksuisesta polyeteenikalvosta. Muovista leikatut kappaleet kiinnitettiin puurunkoon niittaamalla ja tiivistettiin alumiiniteipillä puurunkoa vasten. Ovellista muoviseinä rakennetta testattiin vetoketjullisella valmismuoviovella, joka kiinnitettiin alumiiniteipillä puurungon reunimaiseen aukkoon jo olemassa olevaan muoviseinään. Aiemmin asennettuun muoviin viillettiin oven kohdalle aukko. Levyrakenteinen seinä rakennettiin 15,5 mm paksuista erikoiskipsilevyistä, jotka kiinnitettiin puurunkoon ruuvaamalla. Levyseinän liitokset tiivistettiin polyuretaanivaahdolla ja alumiiniteipillä.

Seinäjärjestelmiä testattaessa tehtiin ensimmäisenä merkkisavulla vuototarkastelu, jonka jälkeen suoritettiin kokeet eri paine-erojen arvoilla sekä eri ilmanvaihtokertoimilla. Kokeissa mitatut paine-erot ja ilmavirranopeudet tallennettiin tietokoneelle.



Koetilanteita olivat:

- 1) Vuototarkastelu merkkisavulla
- 2) Vakio paine-ero, hallittu tuloilma kiinni
 - 5, 10, 15 ja 40 Pa alipaine
- 3) Vakio paine-ero, hallittu tuloilma auki
 - 5, 10, 15 ja 40 Pa (koejärjestelyn maksimi) alipaine
- 4) Vakio ilmanvaihtokerroin, hallittu tuloilma auki
 - 5 ja 10 1/h sekä koejärjestelyn maksimi ilmanvaihto
- 5) Ilmanjakotavat
 - Tarkastelu merkkisavulla

Vuototarkastelussa kanavapuhallin ei ollut päällä ja tuloilma-aukko oli kiinni. Välitilan ovi oli auki ja osastoinnin puoleinen ovi oli suljettu. Merkkisavua laskettiin kerralla kolme sekuntia osastoinnin puolelle. Silmämääräisesti havaitut vuodot kirjattiin ylös. Kun merkkisavun laskemisesta osastointiin oli kulunut viisi minuuttia, johdettiin osastoinnin puolelle paineilmaa, jolla aiheutettiin osastointiin pieni ylipaine. Paineilma oli päällä noin 30 sekuntia. Vuotokohtat tarkistettiin uudelleen ja kirjattiin ylös.

Ensimmäisessä paine-eromittauksessa (2. koetilanne), jossa hallittu tuloilma oli kiinni, säädettiin poistoilmavirta niin, että saatiin haluttu alipaine osastointiin. Toinen paine-eromittaus (3. koetilanne) oli muuten samanlainen kuin ensimmäinen, mutta hallittu tuloilma oli auki. Jokaisen koetilanteen mittaus kesti vähintään kaksi tuntia. Ensimmäisen ja toisen paine-eromittauksen osastoinnin ilmanvaihtokertoimia voitiin vertailla keskenään.

Ilmanvaihtokertoimien mittauksissa pidettiin hallittu tuloilma auki ja säädettiin poistoilmavirta niin, että osastointiin muodostui haluttu ilmanvaihtokerroin. Jokaisen ilmanvaihtokertoimen arvolle suoritettiin vähintään tunnin pituinen seurantamittaus. Mittausdatasta saatiin eri ilmanvaihtokertoimien aiheuttamat paine-erot.

Tarvittava ilmavirran nopeus poistoilmakanavassa laskettiin kaavan 2 mukaan.

$$v = \frac{N \cdot V_{osastointi}}{A \cdot 3600} \quad (2)$$

missä v on keskimääräinen ilmavirran nopeus poistoilmakanavassa [m/s]
 N on haluttu ilmanvaihtokerroin [1/h]
 $V_{osastointi}$ on osastoinnin tilavuus [m³]
 A on poistoilmakanavan poikkipinta-ala [m²].

Osastoinnin tilavuus oli 16,2 m³ ja poistoilmakanavan halkaisija oli 100 mm, joten kanavan poikkipinta-ala oli 7854 mm². Taulukossa 3 on esitetty poistoilmakanavan keskimääräiset ilmavirranopeudet osastoinnin ilmanvaihtokertoimien mukaan. Suurin keskimääräinen ilmavirranopeus, joka käytettävissä oleva puhallin pystyi tuottamaan, oli 6,6 m/s. Tällä ilmavirranopeudella osastoinnin ilma vaihtui 11,5 kertaa.

Taulukko 3. Tilavuusvirrat ja ilmanvaihtokertoimet

Ilmanvaihtokerroin [1/h]	Tilavuusvirta [m ³ /h]	Keskimääräinen ilmavirran nopeus [m/s]
5	81	2,9
10	162	5,7
11,5	186	6,6

Merkkisavulla tutkittiin myös ilman huuhtoutumista osastoinnista eri ilmanjakotavoilla. Tuloilma-aukkoja oli yhtä aikaa auki yksi tai kaksi kappaletta. Poistoilma-aukko oli aina samassa paikassa. Osastoinnin sisälle tehtiin kevyt väliseinä, joka oli osassa koetilanteita paikallaan. Väliseinä sijaitsi tuloilma-aukkojen 2 ja 3 välissä (kuva 8). Muutamassa koetilanteessa kokeiltiin myös tuulettimen vaikutusta ilman vaihtumiseen, kun väliseinä oli paikallaan. Tuuletin sijoitettiin joko väliseinän ja oviaukon väliin suunnattuna kohti vastakkaista seinää, jossa poistoilma-aukko oli (sijainti 1) tai väliseinän taakse suunnattuna pois päin tuloilma-aukosta 3 (sijainti 2). Koetilanteet näkyvät taulukossa 4. Savukoneelle oli kaksi eri paikkaa (sijainti 1 ja sijainti 2, kuva 8). Savua laskettiin osastointiin kolmen sekunnin pituisina impulsseina. Aikaa mitattiin siitä hetkestä lähtien, kun savua laskettiin osastointiin siihen hetkeen saakka, kun poistopuhaltimesta ei näkynyt enää tulevan savua. Ilmanvaihtokerroin oli noin 10 1/h.

Taulukko 4. Ilmanjakotapojen testauksen koetilanteet

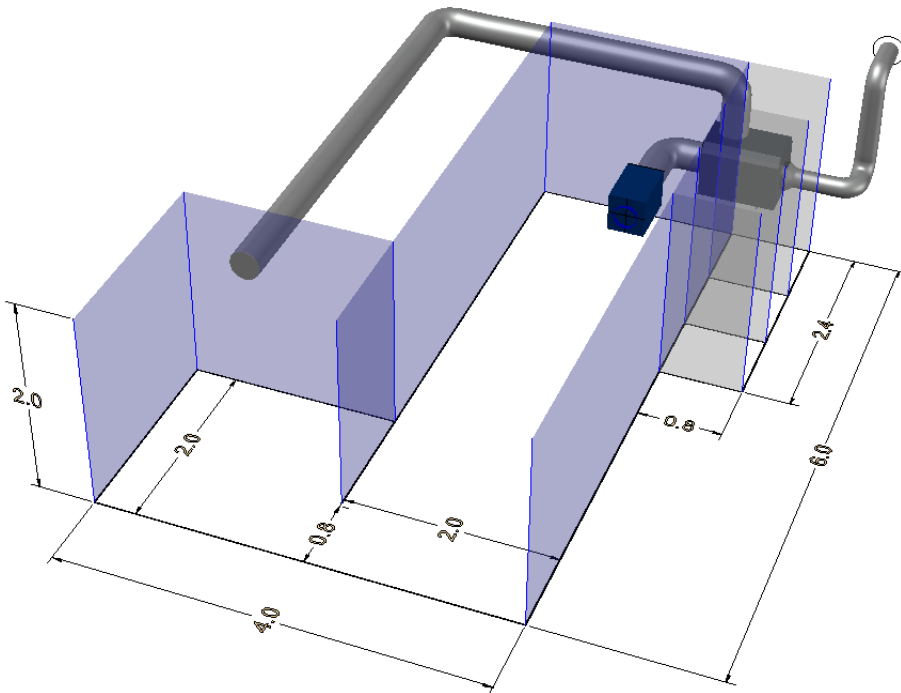
Koeti- lanne	Tuloaukko	Väliseinä	Savu- kone	Tuuletin
1	1	Ei	sijainti 1	Ei
2	1	Ei	sijainti 2	Ei
3	2	Ei	sijainti 1	Ei
4	2	Ei	sijainti 2	Ei
5	3	Ei	sijainti 1	Ei
6	3	Ei	sijainti 2	Ei
7	1	Kyllä	sijainti 1	Ei
8	1	Kyllä	sijainti 2	Ei
9	2	Kyllä	sijainti 1	Ei
10	2	Kyllä	sijainti 2	Ei
11	3	Kyllä	sijainti 1	Ei
12	3	Kyllä	sijainti 2	Ei
13	2	Kyllä	sijainti 1	sijainti 1
14	2	Kyllä	sijainti 2	sijainti 1
15	2	Kyllä	sijainti 1	sijainti 2
16	2	Kyllä	sijainti 2	sijainti 2
17	2&3	Ei	sijainti 1	Ei
18	2&3	Ei	sijainti 2	Ei
19	2&3	Kyllä	sijainti 1	Ei
20	2&3	Kyllä	sijainti 2	Ei

Savukoneen ja tuulettimen sijainnit näkyvät kuvassa 8.

Osastoinnin ilman jakoa tutkittiin myös virtauslaskennalla (Computational fluid dynamics). Virtauslaskennalla simuloitiin ilman liikettä erimallisissa osastoinneissa. Muuttuvina tekijöinä simuloidussa osastoinneissa oli tulo- ja poistoilma-aukkojen paikat, määrät ja koot sekä ilmanvaihtokertoimen arvot. Virtauslaskennalla pyrittiin löytämään ilmanjakotapa, jossa ilma huuhtoutuisi osastoinnista mahdollisimman hyvin.

3.2.4 Osastoinnin ilmanvaihdon merkkiainemittaukset

Osastoinnin ilmanjaon vaikutusta ilmanvaihdon tehokkuuteen tutkittiin Hippotaloon (entinen valtion virastotalo) rakennetussa osastoinnissa. Kokeita varten rakennettiin osastointi, jonka pinta-ala oli 16 m^2 ja tilavuus 32 m^3 (kuva 10). Osastoinnin runko rakennettiin mitallistetusta $48 \times 48 \text{ mm}$ puurimasta ja se päällystettiin $0,2 \text{ mm}$ muovikalvolla. Muovikalvo kiinnitettiin puurunkoon niittaamalla ja tiivistettiin teipillä. Osastoinnin sulkutila oli kolmiosainen ja kunkin osan mitat olivat $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 2,0 \text{ m}$. Kulku osastointiin tapahtui 3-osaisen sulkutilan kautta. Sulkutilan päissä ja sen osien välissä oli ilman takaisinvirtauksen estävät ovet. Ovi oli kaksiosainen, jonka ensimmäisessä osassa muovikalvon keskiosaan oli viilretty kulkuaukko ja toisessa osassa oli ylhäältä kiinnitetty muovista tehty läppäovi, jonka alaosaan oli kiinnitetty rimasta tehty paino.



Kuva 10. Osastoinnin mitat ja ilmankäsittelylaitteiden sijainti.

Mittausjärjestelyjen avulla tutkittiin seuraavia asioita:



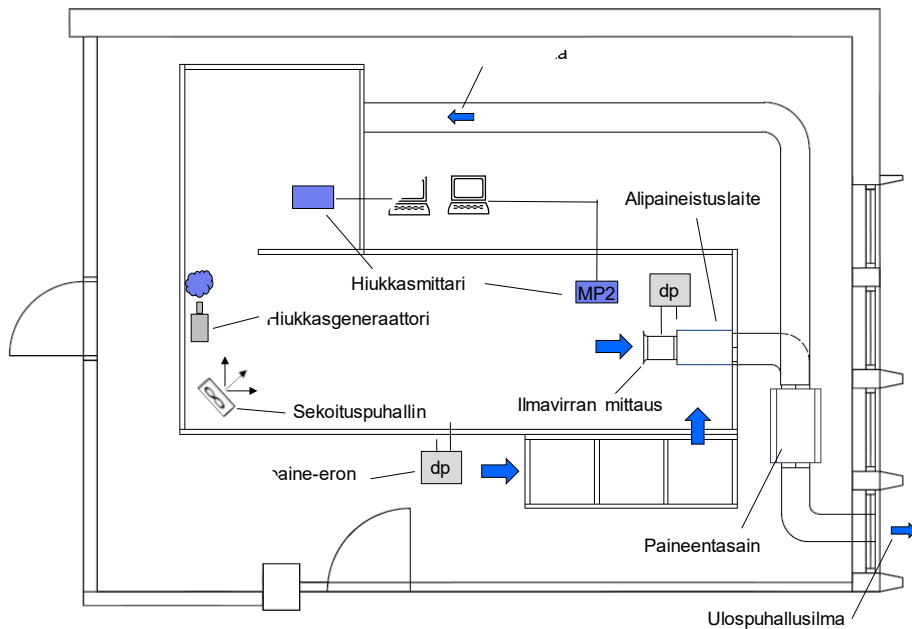
- osastoinnin ilmanvaihdon tehokkuus eri tulo- ja poistoilmanratkaisuilla
- osastoinnin alipaineen muutos suodattimien kuormittuessa
- osastoinnin alipaineen muutos sulkutilassa kuljettaessa
- simuloidun sähkökatkon vaikutus osastoinnin alipaineeseen.

Osastointiin järjestettiin ilmanvaihto alipaineistajalla (Lifa HC 1100), jossa oli säädettävä kierrosnopeus. Alipaineistuslaitteen todellinen ilmavirta mitattiin kuvan 7 mukaisella mitaussuuttimella (ISO 5801, 2007).

Alipaineistaja oli liitetty paineentasaimen (Strong PT-315), joka on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä alipaineistajan kanssa hallitun ja valvotun alipaineistuksen muodostamiseksi pölyntorjuntatyössä. Paineentasaimen automatiikka huolehtii alipainetason ylläpidosta säätämällä palautusilman ja poistoilman suhdetta.

Osassa kokeita paineentasain oli kytketty niin että palautusilma oli suljettu, jolloin alipaineistajan poistoilma johdettiin kokonaan ulos.

Ilmanvaihtuvuuden mittauksissa osastoinnin sisälle syötettiin testihiukkasia ja paikallinen ilmanvaihtokerroin määritettiin hiukkaspitoisuuden alenemanopeudesta kahdesta eri kohdasta. Mittausjärjestelyiden periaate on esitetty kuvassa 11. Testiaerosolina käytettiin dietyyliheksyylibakaattia (DEHS), josta tuotettiin pyöreitä hiukkasia hiukkasgeneraattorilla kuplittamalla ilmaa DEHS-nesteen läpi. DEHS:n höyrynpaine on hyvin alhainen (1 μPa @ 273 K), joten testiaerosolin haihtuminen mittauksen aikana oli olematonta.



Kuva 11. Ilmanvaihdon toimivuuden mittausjärjestelyiden periaate.

Testihiukkasten ajasta riippuvaa pitoisuutta osastoinnin sisällä mitattiin kahden suoraan osoittavan hiukkasmittarin (GRIMM malli 1.108 ja 11-C) avulla. GRIMM malli 1.108 mittaa hiukkasia kokoalueella 0,30-20 μm 15 kanavalla, kun taas malli 11-C mittaa hiukkasia 31 kanavalla kokoalueella 0,265-34 μm . Hiukkasanalysointilaitteet oli liitetty tietokoneeseen, joka tallensi ilman hiukkaspitoisuudet hiukkaskokoluokittain kuuden sekunnin välein. Grimmien hiukkaskokoalueet poikkesivat hieman toisistaan. Ilmanvaihdon toimivuuden määrittämisessä mitattiin hiukkasten käyttäytymistä kokoalueella 0,3-0,65 μm (malli 1.108) ja 0,265-0,675 μm (malli 11-C).

Mittausten tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin ilma vaihtuu eri puolilla osastointia ja kuinka ilmanvaihtoa voitaisiin parantaa. Tämän vuoksi koeympäristössä pyrittiin luomaan todellisia tilanteita kuvaavat olosuhteet, jossa oli oletettavasti hyvän ilmanvaihtuvuuden alue (lähellä alipaineistajaa, mittauspiste MP 2) sekä tila, jossa ilmanvaihtuvuuden ennakoitiin olevan heikompi (erillinen 2m x 2m kokoinen tila, joka oli yhteydessä suurempaan tilaan avoimen 0,8m x 2,0 m kokoinen avoimen aukon kautta, MP 1).

Hiukkaskokoluokkien vertaamiseksi keskenään ne laitettiin mittaamaan rinnakkain samaa tilannetta, jossa pitoisuus ensin nostettiin ja jonka jälkeen alipaineistaja käynnistettiin niin,



että pitoisuudet laskivat takaisin lähtötilanteeseen. Lukemat tallennettiin tietokoneella vertailua varten. Mittarien lukemat poikkesivat toisistaan jonkin verran niin että Grimm 1.108 näytti n. 13 % enemmän kuin Grimm 11-C, mutta niiden välinen lineaarinen riippuvuus oli varsin hyvä (korrelaatio $R^2 > 0.99$). Koska ilmanvaihtuvuuden laskemisessa käytetään suhteellista pitoisuutta, riittää että analysaattorien mittaamien pitoisuuksien suhde pysyy vakiona

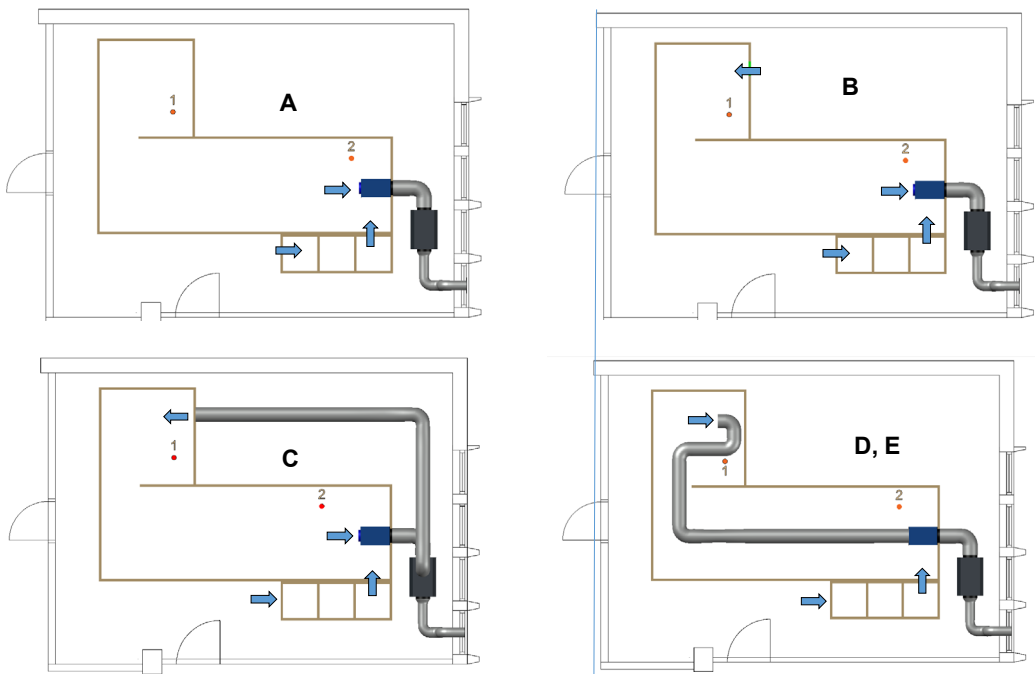
Ilmanvaihtuvuuden mittauksissa hiukkasia tuotettiin osastoinnin sisällä niin, että hiukkaspitoisuus nousi yli satakertaiseksi taustapitoisuuteen verrattuna. Hiukkasten tasainen sekoittuminen varmistettiin osastoinnissa olevan tuulettimen avulla. Pitoisuuden saavutettua halutun tason hiukkasgeneraattori pysäytettiin ja sekoitus-puhaltimen annettiin olla käynnissä vielä noin minuutin ajan, jonka jälkeen käynnistettiin alipaineistuslaitte. Mittauksia jatkettiin standardin ASTM (2007) ohjeiden mukaisesti niin pitkään, että $t\lambda > 1$, missä t on mittausjakson pituus ja λ ilmanvaihtuvuus. Mittausten aikana osastoinnin sisällä ei ollut ihmisiä.

Hiukkassyötön jälkeisessä alenemavaiheessa ilman hiukkaspitoisuutta C osastoinnin sisällä kuvaa yhtälö 3.

$$\ln C - \ln C_0 = -(\lambda + \beta)t \quad (3)$$

missä λ on osastoinnin ilmanvaihtuvuus, β hiukkasten depositionopeus pinnoille ja C_0 pitoisuus hiukkassyötön päättymisen jälkeen hetkellä, jolloin alipaineistaja käynnistettiin. Sovittamalla mittauksiin lineaarinen kuvaaja pienimmän neliösumman menetelmällä voidaan ratkaista sekä C_0 että $\lambda + \beta$.

Osastoinnin ilmanjaon tehokkuutta kokeiltiin eri konfiguraatioilla, jotka on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Mitatut tapaukset ilmanvaihtokertoimen määrittämisessä.

Kokeet tehtiin pääosin alipaineistajan ilmavirralla 90 l/s, mikä vastasi ilmanvaihtuvuutta 10 1/h. Lisäksi tehtiin yksi mittausarja alipaineistajan maksimi-ilmavirralla 170 l/s (19 1/h). Kukin tilanne mitattiin kolme kertaa ja tuloksista laskettiin paikallisen ilmanvaihtokertoimen keskiarvo ja -hajonta.

3.2.5 Osastoinnin paine-eroon vaikuttavat häiriötekijät

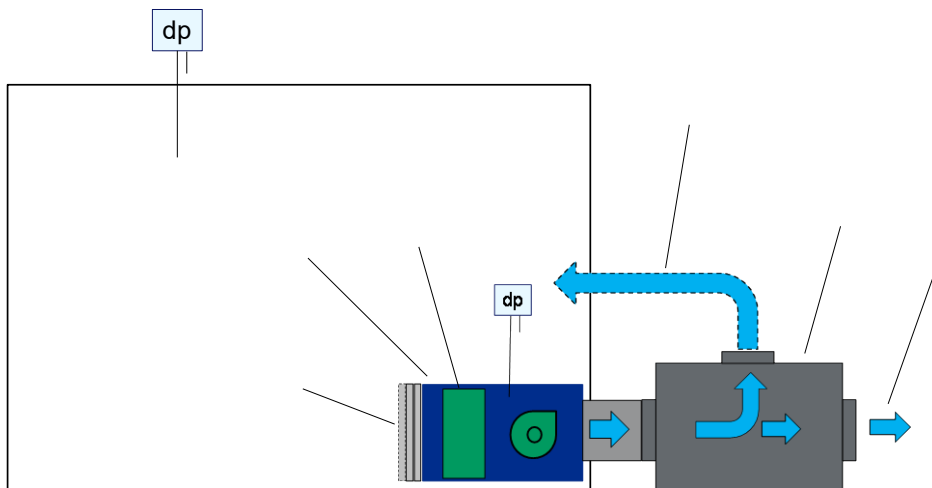
Osastoinnin paine-eroon vaikuttavat kulku osastointiin sulkutilan kautta sekä alipaineistajan ilmavirran muutokset suodattimen kuormituksessa.

3.2.5.1 Kulkeminen osastointiin

Kulun vaikutusta osastoinnin paine-eroon kokeiltiin testitilassa siten, että koehenkilö siirtyi osastoinnin sisälle ja takaisin ulos normaalilla vauhdilla sulkutilan läpi. Paine-ero mitattiin ja tallennettiin 1 sekunnin väliajoin painemittarilla.

3.2.5.2 Alipaineistajan suodattimen kuormittumisen simulointi

Alipaineistajan suodattimen kuormittumista simuloitiin lisäämällä alipaineistajan imupuolelle G4-luokan tasosuodattimia yksi kerrallaan, kunnes niitä oli yhteensä 10 kpl. Tämän jälkeen lisättiin vielä 5 suodatinkerrosta, jolloin esisuodattimien lukumääräksi tuli 15 kpl. Samalla mitattiin osastoinnin alipainetta. Kokeita tehtiin tilanteessa, jossa ulkoilma johdettiin suoraan ulos sekä tilanteessa jossa poistoilmaan oli liitetty paineentasaja (Strong ST 315, kuva 13). Paineentasajassa on säätöjärjestelmä, joka pyrkii pitämään alipaineen asetusarvossa säätämällä poisto- ja kierrätysilman suhdetta.



Kuva 13. Osastoinnin paine-eron mittaus simuloidussa suodattimen kuormitustilanteessa.

3.2.5.3 Simuloitu sähkökatkos

Kokeiden tarkoituksena oli määrittää, kuinka nopeasti osastoinnin alipaine katoaa sähkökatkoksen tai alipaineistajan pysähtymisen johdosta. Kokeissa alipaineistaja sammutettiin ja paine-eron muutosta mitattiin 1 sekunnin väliajoin. Kokeita tehtiin tilanteessa, jossa alipaineistaja oli kytketty suoraan ulkoilmaan sekä tapauksessa, jossa poistokanavassa oli takaisinvirtauksen estävä sulkupelti.

3.3 Hengityksensuojainten tiivistestaus ja tarkastus sekä haastattelu

Hengityksensuojainten tiivistestimenetelmien käytäntöjen varmistamiseksi testit aloitettiin esitestivaiheella, jossa testattiin suojanaamarien tiiviys henkilöillä, jotka melko harvoin käyttivät kokonaamareita ja joiden kokonaamarien käyttö ei liittynyt asbestipurkutöihin. Näitä esitestejä tehtiin kolmessa eri paikassa. Testattujen henkilöiden määrä oli 17.

Esitestien jälkeen tiivistestit tehtiin 5 asbestipurkutyöpaikassa. Testaustilat olivat toimistotiloja ja työmaahalleja. Testattavien määrä oli yhteensä 32.

Työpaikoilla ennen tiivistestejä hengityksensuojaimet testattiin alipainemenetelmällä, jotta mahdolliset vialliset naamarit havaittaisiin ennen varsinaista testausta. Varsinainen hengityksensuojainten tiiviys käyttäjensä kasvoille mitattiin kahdella tekniikalla: kontrolloitu alipaine ja kondensoiva hiukkaslaskuri. Molemmat kaupalliset menetelmät on tarkoitettu varmistamaan, että hengityksensuojaimen naamari istuu kasvoilla tiiviisti.

Hengityksensuojainten puhaltimissa tulee olla varoitin, jotka ilmoittavat, kun puhaltimen läpi ei kulje riittävästi ilmaa. Tällöin yleensä akku vaatii latauksen tai vaihdon tai hiukkas-suodatin on tukossa. Puhallinta ei testata tiivistestissä.

Hengityksensuojainten kuntoa tarkasteltiin myös silmämääräisesti arvioiden. Tarkistettiin myös, että käytössä olevilla suojainyhdistelmillä oli EY-tyyppihyväksyntä. Lisäksi tiivistestihin osallistuville henkilöille tehtiin hengityksensuojainten valintaan, käyttöön ja huoltamiseen liittyvä haastattelu sekä kysyttiin mielipiteitä tehdyistä tiivistesteistä.

Tiivistestien ja haastattelujen eettisyys ja tietosuojanäkökohdat arvioitiin etukäteen Työterveyslaitoksen eettisessä työryhmässä.

3.3.1 Testausmenetelmät

3.3.1.1 Suojanaamarin eheyden mittaus alipaineella (Pro-Tester)

Ennen varsinaisia tiivistestejä, suojanaamarit testattiin kokonaamareiden tiiviiden testaukseen tarkoitetulla Scott Safety Pro-Tester-testauslaitteella (kuva 14). Laitteessa on alipainepumppu, joka kehittää tarvittavan alipaineen testauspäässä olevan naamarin sisään. Testillä voidaan todeta mahdolliset vuotokohdat naamarin tiivistereunuksessa, visiirinkehysissä, venttiileissä tai puherasiassa.

Testissä suojanaamarin ilman tulon aukko suljettiin tiiviisti sulikutulpalla ja naamari asetettiin kevyesti leukaosa edellä testauspään ja vedettiin paikalleen naamarin ylätiivisteestä.

Mittauksen aikana naamarin sisään kehittyä alipainetta kahdessa eri vaiheessa, ensin nopeasti ja sitten hitaasti. Mittaus kestää 8 sekuntia. Laite osoittaa merkkivaloilla onko testi hyväksytty vai hylätty. Säädetty raja-arvo on -2,5 kPa.



Kuva 14. Naamarin eheyden mittaus alipaineella.

3.3.1.2 Kontrolloidun alipaineen menetelmä (Quantifit)

Testausperiaate

Kontrolloidussa alipainemenetelmässä hengityksensuojaimen sisään vedetään testausohjelman mukainen alipaine. Mittauksen periaate on, että kun suojain vuotaa, laite mittaa, kuinka paljon sen on vedettävä ilmaa suojaimen sisältä lisää säilyttääkseen saman alipaineen mittauksen ajan. Yksi mittausjakso kestää 8 sekuntia. Suojaimen käyttäjän on oltava tämä aika hengittämättä ja kasvojaan liikuttamatta.

Mittaus voidaan tehdä käyttämällä erilaisia mittausprotokollia. Eri protokollissa on erilaiset suojaimen käyttäjän tekemät liikesarjat, mallinnettu hengitysnopeus ja mittauksen alipaine. Mittauksessa käytettävä alipaine on suurin alipaine, jonka oletetaan muodostuvan naamarin sisään, kun työntekijä rasittuu työssä fyysisesti tietyllä tapaa. Niin kutsutulla mallinnetulla hengitysnopeudella tarkoitetaan samassa rasiutilanteessa oletettua hengitysnopeutta.

Quantifit-mittalaite laskee tiiviyskertoimen, joka saadaan yhtälöstä 4.

$$Tiiviyskerroin = \frac{\text{Mallinnettu hengitysnopeus}(cm^3/min)}{\text{Mitattu vuodon nopeus}(cm^3/min)} \quad (4)$$

Testauksessa ei rikota suojanaamaria, mutta suojanaamarin sisäänhengitysventtiilin läppä poistetaan testin ajaksi (kuva 15). Testiä varten suojanaamarin ilman sisään-tuloaukkoon liitetään testiadapteri, joka kytketään Quantifitin paineanturiin ja alipainetta ylläpitävään pumppuun. Testi tehdään ilman puhallinta ja suodattimia. Jos suojanaamari halutaan testata täydellisesti, sille on tehtävä vielä tiiviystesti alipainemenetelmällä.



Kuva 15. Quantifit-laite, testiadapteri suojanaamarissa ja naamarin sisään-tuloventtiilin läppä.

Mittausprotokolla ja mittauksen toteutus

Testissä suojaimeen käyttäjä suorittaa testiliikkeen sarjaa naamari yllään. Testattava henkilö pukee naamarin ja sen annetaan asettua kasvoilla muutaman minuutin. Samalla käydään demonstroiden läpi testivaiheet yhdessä työntekijän kanssa.



Liikkeen aikana käyttäjä hengittää normaalisti. Liikevaiheen lopuksi käyttäjä on paikallaan, hengittää sisään ja sitten pidättää henkeään ja tämän jälkeen painaa Quantifitin käynnistyspainiketta, mikä sulkee sisäänhengitysilman tulon ja käynnistää testin. 8 sekunnin kulluttua testivaihe loppuu ja suojaimen käyttäjä voi hengittää normaalisti.

Quantifit-laitteen ja sen FitTrack Gold -ohjelman käyttöohje suosittelee valmiiksi laitteistoon ohjelmoitua Redon-protokollaa kokonaamarien ja puhaltimella varustettujen kokonaamarien testaukseen. Redon-protokolla on käyttöohjeen mukaan Occupational Safety and Health Administrationin (OSHA) hyväksymä (1910.134 App. A). Tähän tutkimukseen valittiin Redon-menetelmä, johon kuuluu viisi vaihetta:

1. Seisominen kasvot eteenpäin, 30 s
2. Taivutus vyötäröltä kasvot kohti lattiaa, 30 s
3. Pään ravistus noin ja voimakas uloshengitys tai huuto 5 s
4. Kaikkien suojanaamarin nauhojen solkien avaaminen, suojaimen riisuminen ja suojaanamarin pukeminen itsenäisesti uudelleen
5. Suojaanamarin pukeminen uudelleen kuten edellä.

Testi on nähtävissä Kevin Bestin videolla (2017).

Protokollassa tiiviys mitataan alipaineella 144 Pa (0,58 tuumaa vesipatsaalla eli 1,45 cm H₂O) ja mallinnetulla sisäänhengitysnopeudella 53,8 l/min. Protokolla vaatii vähintään tiiviyskerrointa 500, jotta testi olisi hyväksytysti suoritettu. Esimerkiksi armeijakäytössä olevien kokonaamareiden ja kannettavissa paineilmalaitteissa käytettävien kokonaamareiden testaukseen on protokollia, joiden testausalipaine on pienempi kuin Redonissa, koska näissä tarkoituksissa todennäköisesti fyysinen rasitus on suurempi ja käyttäjä vetää hengityksellään suojaimen sisään kovempia alipaineita.

Standardi ISO 16976-1:2015 jaottelee työn fyysisen kuormituksen kahdeksaan luokkaan. Sisäänhengityksen minuuttitilavuus 53,8 l/min liittyy työskentelyyn luokkien 5 tai 6 rasisituksen mukaan. Luokat 6–8 edustavat kuormitusta, joka liittyy lyhytaikaisesti pako- ja pelastustehtäviin. Luokan 5 sanallinen kuvaus on ”hyvin, hyvin raskas työ”. Clifton Crutchfieldin tutkimuksen mukaan sisäänhengitysnopeus 53,8 l/min tuottaa kokonaamarin (MSA Ultra-view) sisään suunnilleen Redon-menetelmän alipaineen, kun käytetään suodattimia (MSA, GMA-H), joiden hengitysvastusta pidettiin vuonna 1993 keskinkertaisena.

Koska kontrolloidun alipaineen Quantifit-menetelmässä otetaan sisäänhengitysventtiilin läppä pois, menetelmän käyttö luo tarpeen varmistaa testin lopuksi, että suojaanamarin jää kuntoon testien jälkeen. Samalla tulee varmistettua, että kyseinen läppä toimii moitteettomasti.

3.3.1.3 Kondensoiva hiukkaslaskuri -menetelmä (PortaCount)

Testausperiaate

Hengityksensuojainten tiivys mitattiin kvantitatiivisella TSI:n PortaCount Fit Tester 8048-1 -laitteella (kuva 16), joka on tarkoitettu hengityksensuojainten tiivyyden testaukseen ja perustuu kondensoivaan hiukkaslaskentaan. Laitte mittaa hengityksensuojaimen ulko- että sisäpuolista hiukkaspitoisuutta ja antaa mittaustuloksena tiivyskertoimen, joka on hiukkasten pitoisuus suojanaamarin ulkopuolella jaettuna hiukkaspitoisuudella naamarin sisällä. Mitattavina hiukkasina käytettiin testihenkilölle vaarattomia suola-aerosoleja (ruoka-suolasta), joita tuotettiin ilmaan ilmankostuttimen avulla. Tässä tutkimuksessa käytimme suojaime ulkopuolella vähimmäispitoisuutena yli 4 000 hiukkasta kuutiokeskimetrillä. Testeissä käytettiin muovista ja mittalaitetelineistä tehtyä teltaa mittausympäristönä, jotta hiukkaspitoisuus vaihtelevissa mittausympäristöissä olisi pysynyt vakaana ja riittävänä (kuva 17).

PortaCount mittaa ympäristön ja suojanaamarin sisällä olevan hiukkaspitoisuuden jokaisen testivaiheen aikana. Kunkin mittausvaiheen tiivyskerroin FF (engl. fit factor) on siten:

$$FF = \frac{\text{Hiukkaspitoisuus ympäristössä ennen näytteenottoa naamarista} + \text{sen jälkeen}}{2 \times \text{Hiukkaspitoisuus suojanaamarin sisällä}} \quad (5)$$

Jos PortaCount-laite ei havaitse lainkaan hiukkasia suojanaamarin sisältä otetussa näytteessä, laitteen ohjelmisto lisää automaattisesti yhden hiukkasen. Näin estetään jakaminen nolalla jakolaskussa, joten tulokseksi ei voi tulla ääretöntä.

Testin lopuksi PortaCount laskee kokonaistiivyskertoimen yksittäisten testiliikesarjan vaiheiden tiivyskertoimista. Kyse ei ole suorasta keskiarvosta, vaan laskutapa korostaa huonoimpia tuloksia.

$$\text{Kokonaistiivyskerroin} = \frac{n}{\frac{1}{FF_1} + \frac{1}{FF_2} + \frac{1}{FF_3} + \dots + \frac{1}{FF_{n-1}} + \frac{1}{FF_n}} \quad (6)$$

jossa: FF = yksittäisten testivaiheiden tiivyskerroin

n = testivaiheiden lukumäärä

numerot alaviitteinä kuvaavat kutakin testivaihetta



Tiiviyskertoimen mittaaminen PortaCountilla

Tiiviystesti koostuu seitsemästä mittausjaksosta, joissa testattava henkilö tekee suojain yllään tehdään eri liikesarjoja. Kukin jakso kestää noin minuutin ja koko testin kesto on noin 10 minuuttia. Testattava henkilö suoritti testiä paikallaan seisten erillisessä mittausteltassa, johon tuotettiin suola-hiukkasia ilmaan. Testin toteuttaja ohjeisti henkilöä jakso jaksolta. Tässä tutkimuksessa käytettiin Health and Safety Executiven liikesarjaa (OC 282/28; HSE 2012), joka on yleisesti käytetty tiiviystesteissä.

Henkilö puki suojaimen kasvoilleen itsenäisesti. Suojaimen annettiin asettua kasvoilla muutaman minuutin ennen testin alkua ja tänä aikana testisarjan liikkeet käytiin demonstroiden läpi testihenkilön kanssa ennen mittauksen alkua. Mittausprotokolla oli seuraava:

1. **Normaali hengitys.** Seistään suojain yllä puhumatta ja rauhallisesti hengitellen.
2. **Syvä hengitys.** Hengitellään hitaasti ja rauhallisesti syvään vähän kuin olisi nousmassa mäkeä ylös.
3. **Pää sivulta sivulle.** Käännellään päätä hitaasti sivulta sivulle ääriasentoihin vilkaisten oikealle ja vasemmalle.
4. **Pää ylös ja alas.** Käännellään päätä hitaasti ylös ja alas. Vilkaistaan kohti lattiaa sekä kattoa.
5. **Vartalon taivutus.** Kumarretaan rauhallisesti syvään ja takaisin pystyyn. Vältetään aivan ääriasentoa.
6. **Kuuluva puhe.** Luetaan annettua tekstiä hitaasti ja kuuluvalla äänellä aivan kuin puhuttaisiin vieressä olevalle henkilölle. Jos testiä on hankala nähdä esimerkiksi naamarin huurtumisen tai silmälasien puuttumisen vuoksi, puhutaan silti jatkuvasti. Pääasia on, että puhetta riittää jatkuvasti.
7. **Normaali hengitys.** Seistään paikallaan rauhallisesti hengitellen.



Kuva 16. PortaCount fit tester



Kuva 17. Mittaustilanne tutkimuksen aikana. Mm. teltassa oleva hengityksensuojaimen käyttäjä, Porta-Count, PortaCountia ohjaava tietokone ja tulostin ovat näkyvillä.

3.3.2 Hengityksensuojaimen tarkastus ja kysymykset työntekijöille

Sekä esitestivaiheen työntekijöille, että varsinaisille asbestipurkajille tehtiin testausten aikana hengityksensuojainten tarkastus sekä haastattelu. Haastattelussa kysyttiin mm. suojaimen valintaan, hankintaan ja huoltamiseen liittyviä kysymyksiä. Lisäksi tiedusteltiin saatua suojainten käyttökoulutusta ja mielipidettä käytetyistä tiiviystestimenetelmistä.

Tarkastuslomake ja haastattelun kysymykset on esitetty liitteessä 3.

3.3.3 Tiiviystestien toteuttaminen

Menetelmien soveltuvuutta ja eroja hengityksensuojainten tiiviystesteihin tutkittiin aluksi esitesteillä testaamalla 17 henkilön kasvoilla heidän työssään ajoittain käyttämiä kokonaamareita. Testattavista henkilöistä 10 oli naisia ja 7 miehiä. Käytettyjen koehenkilöiden mahdollisimman laaja variaatio varmistettiin antropometrisillä mittauksilla.

Esitesteissä myös varmennettiin menetelmien käytön sujuvuus, laitteiden kuljetettavuus sekä testattavien henkilöiden ohjausmenettelyt.

Varsinaisessa testivaiheessa tiiviystestejä tehtiin viidessä eri asbestipurkuyrityksessä yhteensä 32 asbestipurkajalle. Tutkituista yrityksistä asbestipurkajien määrä vaihteli 5-30 purkajan välillä. Kaikki heistä olivat miehiä.

Testattavat henkilöt pukivat suojaimet kasvoilleen itsenäisesti. Jos PortaCountin reaaliaikaisella näytöllä tai Quantifitillä havaittiin, ettei suojain tiivisty tarpeeksi (tiivyskerroin jää alhaiseksi tai laite osoittaa suurta vuotoa) työntekijää pyydettiin korjaamaan suojaimen asentoa tai pukemaan se uudelleen. Jos mittauksissa osoittautui, että naamari ei tiivistynyt riittävästi käyttäjiensä kasvoille, sovitettiin heille mahdollisuuksien mukaan myös mittauksissa mukana olleita lainanaamareita.

Ennen testausta koehenkilöille ja työntekijöille lähetettiin tietoa seuraavista asioista:

- Testattavan henkilön terveydentila tulee olla normaali, esimerkiksi flunssa estää testaamisen.
- Tupakointi on kielletty vähintään puoli tuntia ennen testiä.
- Partaa tai parransänkeä ei saa olla kasvojen alueella, jolle suojanaamarin reunojen tulee tiivistyä.
- Koehenkilöillä ei saanut olla voimakasta kasvomeikkiä testauksen aikana ja pitkät hiukset tuli olla kiinni sidottuina.

Tiiviystesti oli mahdollista keskeyttää milloin tahansa. Kesken jäänyttä testiä jatkettu, vaan se aloitettiin tarvittaessa uudelleen.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

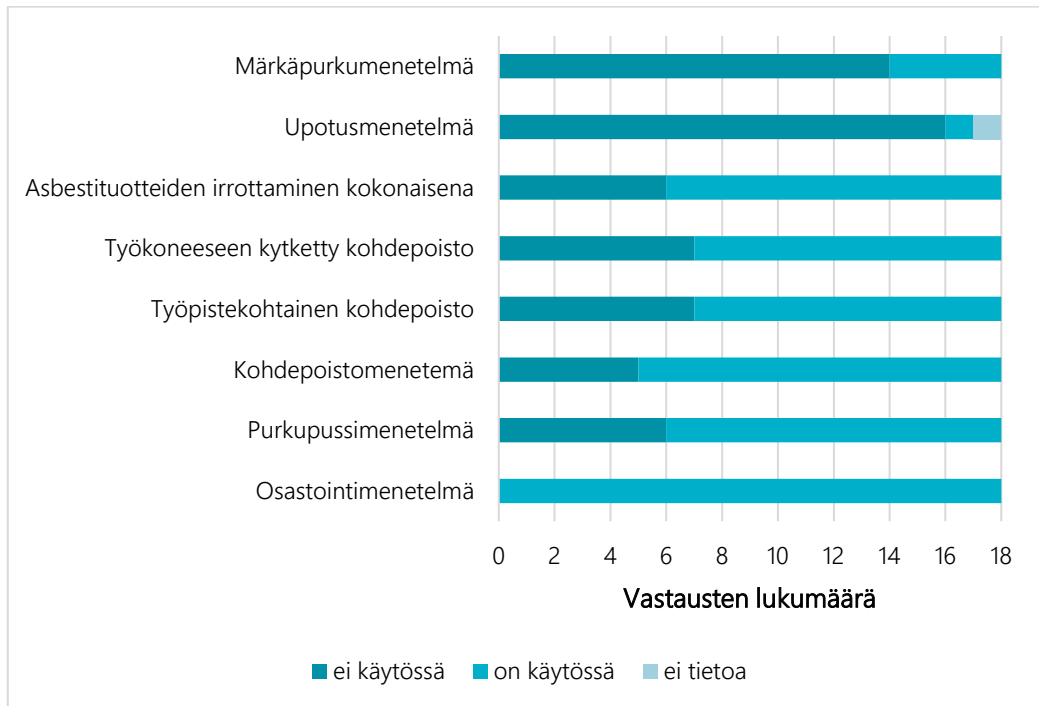
4.1 Kyselytutkimus

Kyselyyn vastasi 18 asbestipurkutyöntekijää yhdestätoista eri asbestipurkuyrityksestä eri puolilta Suomea (Etelä-Savo, Kanta-Häme, Keski-Suomi, Pirkanmaa, Pohjois-Savo, Satakunta, Uusimaa, Varsinais-Suomi). Kyselyn vastausprosentti kontaktoitujen yritysten osalta oli 28 %. Yrityksistä kyselyyn vastasi 1-3 työntekijää per yritys. Yrityksen työnjohtajalle suunnattuun lyhyeen kyselyyn vastasi kymmenen työnjohtajaa kymmenestä yrityksestä (Kanta-Häme, Keski-Suomi, Pohjois-Karjala, Pohjois-Pohjanmaa, Pohjois-Savo, Uusimaa ja Varsinais-Suomi). Työnjohdolle suunnatun kyselyn vastausprosentti oli 25 %. Satunnaisesti valituista yrityksistä valtaosa kieltäytyi osallistumasta mukaan kyselytutkimukseen. Kieltäytymisten syiksi kerrottiin, ettei voi luovuttaa työntekijöiden yhteystietoja, työntekijät ovat haluttomia osallistumaan mukaan tällaiseen kyselytutkimukseen, vedoten kiireellisyyteen tai yritys on juuri aloittanut toimintansa.

Kyselytutkimuksen tulokset on esitetty seuraavissa kappaleissa tiivistetysti. Kaiken kaikkiaan otos on pieni, joten tulokset ovat suuntaa antavia.

4.1.1 Käytettävät purkutyömenetelmät

Kyselyyn osallistuneista kaikki vastasivat suorittavansa asbestipurkutöitä osastointimenetelmällä (kuva 18). Vastaajat kertoivat käyttävänsä yleisesti myös kohdepoistomenetelmää, purkupussimenetelmää ja kokonaisuina irrottamista. Märkäpurkumenetelmää käyttää lähes neljännes vastaajista. Yksi vastaajista raportoi käyttävänsä myös upotusmenetelmää.



Kuva 18. Käytettävät purkutyömenetelmät.

4.1.2 Osastointimenetelmän käytänteet

Kyselyssä selvitettiin osastoinnin ja ympäröivän tilan välisen paine-eron tavoitearvon asettamista, korvausilman tuontitapaa osastointiin ja ilmankäsittelylaitteiden toimintakunnon varmistuskäytänteitä.

Vastauksissa osastointien paine-eron tavoitearvot vaihtelivat -5 Pa ja -20 Pa välillä. Vastaa- jien mukaan korvausilma johdetaan osastointiin joko pelkästään sulkutilan kautta tai käytössä on lisäksi korvausilma-aukot. Yleensä korvausilma-aukot sijaitsevat alipaineistajaa vastapäisellä seinällä, mahdollisimman etäällä sulkutilasta ja niiden käyttö riippuu osas- toinnin koosta.

Kyselyyn vastanneista 15/18 mukaan ilmankäsittelylaitteiden toimintakunto varmistetaan mittauksin säännöllisesti kerran vuodessa, kun taas kahdella vastaajista ei ollut tietoa, tes- tataanko alipaineistajien toimintakuntoa vuosittain ja yhden vastaajan mukaan mittauksia

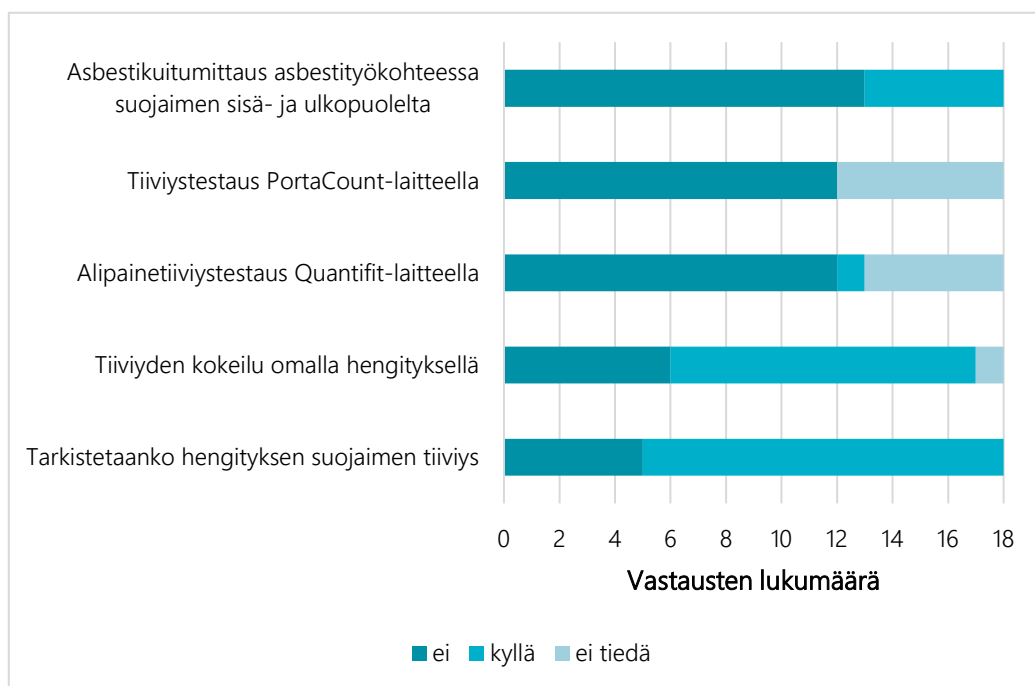
ei tehdä lainkaan. Laitteiden toimintakunto varmistetaan yleisimmin ilmanäytteillä suodattimen jälkeen tulevasta ilmasta, mutta myös mittaamalla suodattimen kuormitusta paine-eromittarilla tai DOP-testillä.

4.1.3 Suojautuminen ja suojavaarusteet

Kyselyyn vastanneista asbestipurkajista kaikki käyttävät asbestipurkutyössä tyypin 5 kerta-käyttöisiä hiukkasilta suojaavia kemikaalinsuojapukuja. Yksi vastaajista kertoi käyttävänsä pestävää suoja-pukua. Lisäksi viiden vastaajan mukaan asbestipurkutyössä käytetään muita kuin tyypin 5 suoja-pukuja, kuten hengittäviä ja ei-hengittäviä pölytiivitä suoja-pukuja sekä kemikaalinsuojapukuja. Suoja-puku puetaan lämpötilasta riippuen alusvaatteiden ja työ-vaatteiden päälle, mutta suoja-puvun alla ei kuitenkaan käytetä alushaalaria.

Vastaajista jokainen käyttää asbestipurkutyössä kokonaamaria, jossa on puhallinosa ja suodattimet. Asbestipurkajat käyttävät myös paineilmalaitteella varustettuja kokonaamareita (3/18 vastaajista) ja pelkillä suodattimilla varustettuja kokonaamareita (8/18 vastaajista). Paineilmalaitteista kokonaamaria käytetään erityisesti krokidoliittipurkutyössä. Vastausten mukaan pelkillä suodattimilla varustettuja kokonaamareita käytetään lyhytkestoisissa töissä, purkupussimenetelmässä ja mineriittipurkutyössä. Lisäksi vastaajat kertoivat käyttävänsä asbestipurkutyössä myös puolinaamaria ja silikonimaskia. Vastanneista kaikilla asbestipurkajilla on oma hengityksensuojain käytössä.

Vastaajista 13/18 mukaan hengityksensuojaimen tiiviys tarkistetaan säännöllisesti kerran vuodessa ja aina uuden suojaimen tai työntekijän tapauksessa (kuva 19). Vastaajien mukaan tiiviystestausmenetelmistä käytetyin ja tunnetuin on suojaimen tiiviyn kokeilu omalla hengityksellä (12/18), jonka vastaajat kertoivat suorittavansa sulkutilassa ennen osastointiin menoa. Noin kolmanneksella vastaajista ei ollut tietoa käytetäänkö Quantifit- ja PortaCount-laitteita tiiviyn testaamisessa ja 2/3:n mukaan hengityksensuojaimia ei testata kyseisillä laitteilla. Vastanneista yksi kertoi, että alipainetiiviystestauksia tehdään Quantifit-laitteella 2-3 kertaa vuodessa erityisliikkeessä. Lisäksi viisi vastaajaa raportoi, että asbestikuitumittauksia tehdään hengityksensuojaimen sisä- ja ulkopuolelta asbestityökohteessa 1-2 kertaa vuodessa.



Kuva 19. Hengityksensuojaimen tiiviyden tarkistaminen.

Suojapukujen ja hengityksensuojainten lisäksi asbestipurkutyössä käytetään kuulosuojaimia tai korvatulppia, suojahanskoja, turvakenkiä, kypärää, valjaita, silmäsuojia ja heijastavia työvaatteita.

4.1.4 Osastoinnin puhtauden varmistaminen purkutyön jälkeen

Kyselyllä selvitettiin loppusiivouksen ja puhtauden varmistamisen käytänteitä. Vastaajien mukaan loppusiivouksessa suoritetaan kaikkien pintojen imurointi kertaalleen, mutta kaikissa tapauksissa imurointia ei toisteta (4/18 vastauksista). Imuroinnin toistaminen riippuu työkohteen pölyisyydestä tai ilmanäytteen tuloksesta. Loppusiivouksessa toteutetaan tavallisesti myös kosteuspyyhintä (17/18 vastauksista) ja vesipesu (14/18 vastauksista).

Kaikkien vastaajien mukaan työkohteen puhtaus varmistetaan purkutyön ja loppusiivouksen jälkeen (aggressiivinen ilmanäytteenotto). Useimmiten ilmanäytteen kerää yritys itse (14/18 vastauksista), mutta myös ulkopuolista asiantuntijaa käytetään (4/18 vastauksista).

Yleisimmät ilmanäytteen analysoivan laboratorion valintaperusteet ovat akkreditointi, nopeus ja hinta sekä luotettavuus, hyvä palvelu ja pitkäaikainen yhteistyö.

4.2 Osastointien toimivuus

4.2.1 Osastoinnin toimivuus asbestipurkukohteissa

4.2.1.1 Paine-erojen hallinta ja ilmanjako

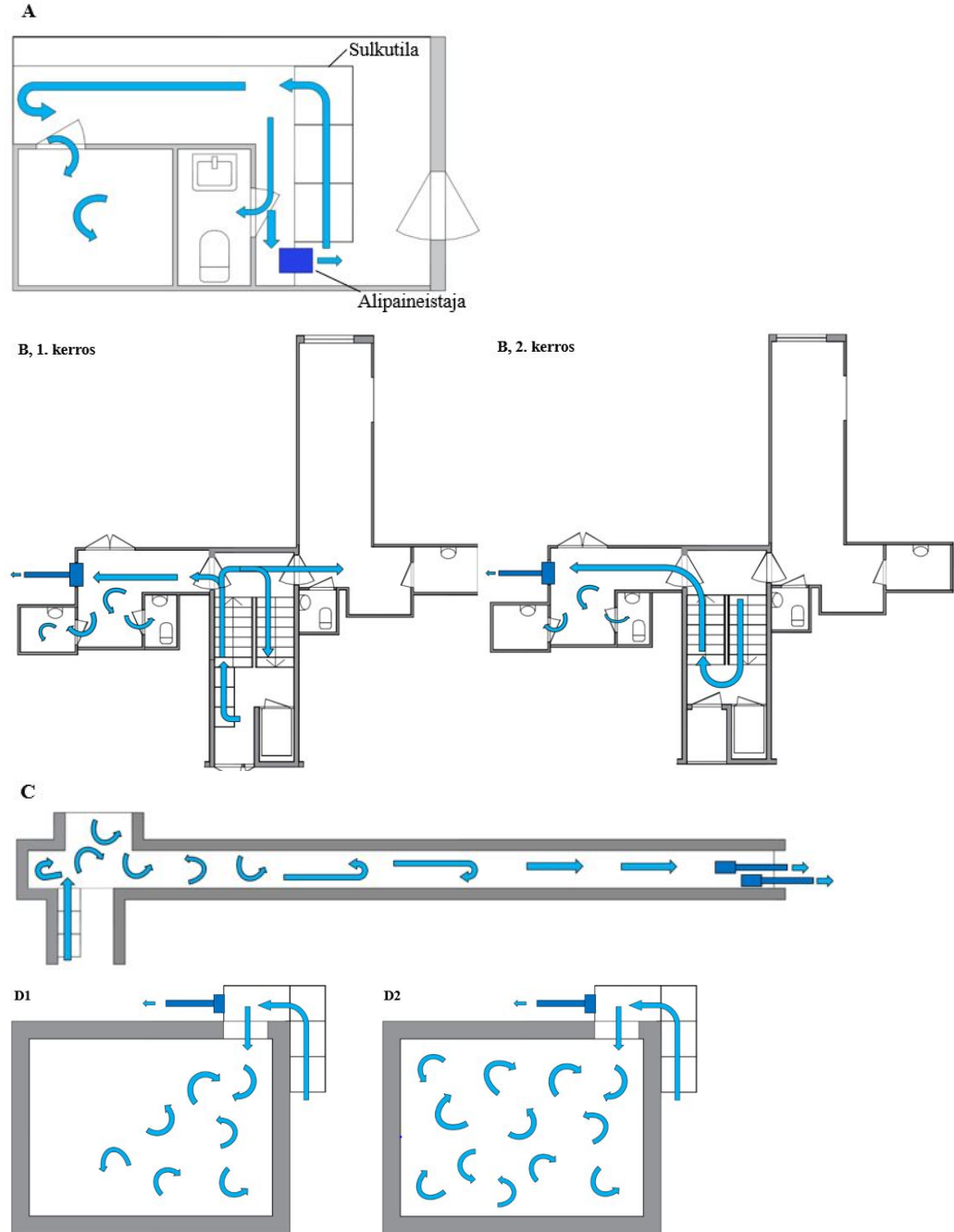
Kaikissa kohteissa paine-eroissa oli suurta vaihtelua mm. tuuliolosuhteiden muutoksista sekä ovi- ja hissiliikenteestä johtuen (taulukko 5, liite 2). Lisäksi painesuhteisiin vaikuttivat osastointien ulkopuolelle sijoitettujen imurien käyttö. Ne tehostivat alipainetta ja vaikutus korostui etenkin pienehköissä osastointilavuuksissa. Esimerkiksi linja-saneerauskohteessa A (osastoinnin tilavuus 23 m³) imuri suurensi alipainetta noin 10 Pa. Osastoinnin tiivys vaikuttaa paine-eron suuruuteen. Tutkimuskohteissa alipaineen suuruutta säädeltiin sulkutunnelin korvausilma-aukon koon perusteella (liite 1). Osastointi noudatti VNa 798/2015 mukaista paine-erovaatimusta vähintään 5 Pa:n jatkuva alipaine ympäröiviin tiloihin verrattuna kohteissa A ja B hetkellisiä häiriötilanteita lukuun ottamatta. Kohteessa A oli lyhytkestoisia sähkökatkoja, mutta tilanteet eivät näy datassa, sillä lukemien tallennusväli oli verrattain pitkä, 30 sekuntia (taulukko 5). Kohteissa C ja D osastoinnin paine-ero ympäröivään tilaan nähden oli jatkuvasti vähintään -5 Pa. Kohteessa D todennetut paineerot (-60 – -80 Pa) olivat tarpeettoman suuria, sillä havaitun kaltaiset paine-erot ovat kriittisellä tasolla suojaseinien kestävyydelle.

Paine-erojen varmentamiskäytänteissä havaittiin puutteita. Esimerkiksi alipaineen pudotessa alle tavoitearvon painemittarin hälytystä ei kuultu kohteissa tai siihen ei reagoitu. Lisäksi painesuhteiden mittaamisessa havaittiin virheellisiä käytänteitä: paine-eromittarin letku oli asennettu alipaineistajan suodattimen taakse, jolloin se näytti paine-eroa noin -20 Pa, vaikka todellinen paine-ero oli kuitenkin vain pari pascalia. Alipaineistajan imun vaikutusta paine-eromittarin letkun sijaintiin testattiin. Kun mittarin letku sijaitsi vähintään 5 cm alipaineistajan kauluksesta, mittauskohta ei ollut enää alipaineistajan imun vaikutusalueella.

Taulukko 5. Kenttätutkimuksen osastointien paine-erot.

Kohde	Paine-ero (Pa)	
	Keskiarvo	Vaihteluväli
A	-18	-7,0 - -25
B	-21	-4,3 - -21
C	-15	-5,4 - -25
D	-70	-60 - -80

Merkkisavukokeilla tarkasteltiin osastoinnin ilmanvaihtuvuutta ja simuloitiin korvausilman leviämistä osastoinnin sisällä (kuva 20). Linjasaneerauskohteen A huoneistossa savu levisi sulkutunnelin suulta suoraan kohti osastoinnin päätyseinää ja pieni osa siitä edelleen kylpyhuoneeseen osastoinnin päässä vasemmalla. Osastoinnin edessä vasemmalla olevaan wc-tilaan savua virtasi heikommin (kuva 20 A). Kaksikerroksisessa osastoinnissa (B) mitoitushjeen mukaisesta ilmanvaihtuvuudesta huolimatta (taulukko 1) korvausilman havaittiin jakautuvan epätasaisesti, mitä todennäköisesti selittää verrattain suuri osastointitilavuus alipaineistajien lukumäärään nähden (1 kpl/kerros) (kuva 20 B). Kohteessa C (kuva 20 C) lämpimämpi korvausilma sekoittui kylmempään kellaritunnelin ilmaan aiheuttaen ilman pyörteilyä. Ilman huuhteluvaikutus oli hitaampaa alipaineistajan puoleisessa päässä tunnelia. Kohteessa D tarpeettoman suuri alipaine (n. 70 Pa) ei taannut tasaista korvausilman jakaantumista eikä tehokasta huuhteluvaikutusta osastoinnissa (kuva 20 D1). Sen sijaan lisäämällä korvausilma-aukon kokoa ja siten riittävää korvausilman määrää paine-eroa saatiin laskettua noin -18 Pa:n tasolle. Tällöin myös ilman huuhteluvaikutus ja siten epäpuhtauksien laimentuminen oli savukokeiden perusteella tasaista koko purkutilassa (kuva 20 D2). Tässä tutkimuksessa käytettiin vesipohjaista merkkisavua, minkä rajoitteena on savun haihtuminen ja mahdollisesti pinnoille kondensoituminen. Sen vuoksi merkkisavupitoisuuksia ei voitu mitata luotettavasti, vaan tarkastelu tehtiin visuaalisesti.



Kuva 20. Osastointien ilmanliikkeet savukokeiden perusteella.

4.2.1.2 Asbestikuitujen ja pölyn pitoisuudet

Korkeimmat asbestikuitupitoisuudet mitattiin massaputkieristeen purkutyön aikana (ei kohdepoistoa) kohteessa D, jolloin pitoisuus oli korkeimmillaan yli 100-kertainen asbestikuitujen kahdeksan tunnin sitovaan raja-arvoon verrattuna (taulukko 6). Kohteessa C massaputkieristeen poisto tehtiin työparina kohdepoistoa käyttämällä, jolloin asbestikuitupitoisuudet olivat D-kohdetta pienemmät: korkeimmillaan 410 % raja-arvosta ja alimmillaan alle menetelmän määrittämissä $0,01 \text{ k/cm}^3$. Samoin pölypitoisuudet olivat huomattavasti pienemmät kohdepoistoa käytettäessä (taulukot 7-8). Kohteessa C hengittyvän pölyn ja alveolipölyn pitoisuudet olivat alle määrittämissä yhtä hengittyvän pölyn näytettä lukuun ottamatta, joka sekin oli vain 3 % epäorgaanisen pölyn HTP-arvosta. Sen sijaan kohteessa D hengittyvän pölyn pitoisuus ylitti epäorgaanisen pölyn HTP-arvon putkieristeen purkutyön aikana. Alveolipölyn pitoisuus oli kaksinkertainen verrattuna Työterveyslaitoksen asettamaan alveolipölyn tavoitetasoon yleiselle pölylle.

Kaiken kaikkiaan kohteissa A ja B mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat pieniä pölypitoisuuksiin verrattuna, mikä osoittaa, että asbestin määrä purettavissa materiaaleissa on ollut vähäinen (taulukko 6). Molemmissa kohteissa tehtiin piikkausta ilman kohdepoistoa ja hiontatöitä, jolloin hiomakoneeseen oli liitetty kohdepoisto. Piikkaustöiden aikana (ei kohdepoistoa) purkutiloissa mitatut asbestikuitupitoisuudet vaihtelivat menetelmän määrittämissä ($0,01 \text{ k/cm}^3$) alittavasta pitoisuudesta 220 %:een kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta asbestikuiduille. Vastaavasti hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat alimmillaan 79 % epäorgaanisen pölyn HTP-arvosta ja korkeimmillaan 1800 % HTP-arvosta. Alveolipölyn pitoisuus oli korkeimmillaan yhdeksänkertainen yleisen pölyn tavoitetasoon verrattuna. Hiontatöiden aikana (kohdepoistot käytössä) asbestikuitupitoisuudet olivat alle raja-arvon, mutta hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat 44–690 % HTP-arvosta ja alveolipöly korkeimmillaan kymmenkertainen yleisen pölyn tavoitetasoon verrattuna.

Kuten massaputkieristeen purkutyössä havaittiin, kohdepoistojen käyttö vähentää merkittävästi työtilan pölypitoisuuksia. Esimerkiksi piikkaustyövaiheissa hengittyvän pölyn pitoisuuden on raportoitu pienentyneen 80–85 % ja alveolipölyn 80–87 %, kun työkoneeseen on liitetty kohdepoisto (Kokkonen ym. 2019). Betonin hiontatöissä kohdepoiston tehokkuudet ovat vaihdelleet välillä 95–>99 % alveolipölylle (Croteau ym. 2002 ja 2004, Akbar-Khanzadeh ym. 2007 ja 2010). Kokkosen ym. (2013) sekä Young-Corbettin ja Nussbaumin (2009) mukaan seinätasoitteen hionnassa kohdepoistolla on saavutettu noin yhdeksän kertaa pienemmät pölypitoisuudet ilman kohdepoistoa tehtävään hiontaan verrattuna. Kohdepoistojen käyttö vähentää myös pölyn leviämistä purkutilan sisällä (Kokkonen ym. 2013).



Sulkutiloista mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alle puhtaan tilan ohjearvon $<0,01 \text{ k/cm}^3$ kohteissa B-D (taulukko 6). Kohteessa A sisimmässä ja keskimmaisessä sulkutilan osassa pitoisuudet olivat ylimmillään yli menetelmän määrittämissä tai puhtaan tilan ohjearvon tasolla. Myös osastoinnin ulkopuolella pitoisuus oli puhtaan tilan ohjearvon tasolla, mikä viittaa kuitujen levinneen osastoinnin ulkopuolelle. Tämä saattoi johtua osastoinnin ulkopuolelle sijoitetun imurin heikentyneestä suodatuskyvystä. Reaaliaikaisella pölymittauksella havaittiin, että pölypitoisuudet nousivat osastoinnin ulkopuolella huoneistossa imurin käytön yhteydessä. Kuitenkaan osastoinnin ulkopuolelta otetuista pyyhintänäytteistä ei löydetty kuituja. Muissa kohteissa osastoinnin ulkopuolen pitoisuudet olivat alle puhtaan tilan ohjearvon. Kuitenkin herkemällä tarkastelulla kuituja löytyi osastoinnin ulkopuolelta myös kohteessa D, mikä viittaa kuitujen levinneen osastoinnin ulkopuolelle. Tätä saattaa selittää kohteen kellaritiloissa havaitut rikkonaiset eristeet, joista kuituja on mitä todennäköisimmin irronnut ilmaan jo aiemmin. Sulkutunnelin ulkopuolelta kerättyjen pyyhintänäytteiden mukaan osastoinnin ulkopuolelle oli levinnyt asbestikuituja kohteissa B (1/5 näytteistä), C (1/3 näytteistä) ja D (6/9 näytteistä). Löydetyt kuitulaadut olivat samoja kuin osastoinnin sisältä purkutöiden aikana kerätyissä ilmanäytteissä (taulukko 6).

Taulukko 6. Yhteenveto asbestikuitupitoisuuksista.

Mittaus- paikka	Kohde A	Kohde B	Kohde C	Kohde D
	Asbestikuitupitoisuus (k/cm ³) ⁽¹⁾			
Purkutila, piikkaus	0,15	0,08 (<0,01-0,22)		
Purkutila, hionta	0,025 (0,01-0,04)	<0,01		
Purkutila, massaputki- eristeen purku			0,16 (<0,01-0,41)	8,5 (6,5-10,4)
Sulkutila (sisäosa)	<0,01-0,04*	<0,01*	<0,01	<0,01*
Sulkutila (keskiosa)	<0,01-0,01*	<0,01	<0,01	<0,01*
Sulkutila (uloin osa)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01*
Ympäröivä tila	<0,01-0,01*	<0,01	<0,01	<0,01*

⁽¹⁾ Asbestilaaudet kohteessa A antofylliitti; kohteessa B antofylliitti, krysotiili; kohteissa C-D antofylliitti, amosiitti, krysotiili

* Herkemmällä laskennalla (herkkyys 0,001 k/cm³) näytteistä löytyi kuituja

Taulukko 7. Yhteenveto hengittyvän pölyn pitoisuuksista.

Mittauspaikka	Kohde A	Kohde B	Kohde C	Kohde D
	Hengittyvän pölyn pitoisuus (mg/m ³)			
Purkutila, piikkaus	129 (78-180)	16 (7,9-21)		
Purkutila, hionta	62 (54-69)	4,5		
Purkutila, massa- putkieristeen purku			0,23 (<0,16–0,29)	24
Ympäröivä tila				0,41 (0,39-0,42)

Taulukko 8. Yhteenveto alveolipölyn pitoisuuksista.

Mittauspaikka	Kohde A	Kohde B	Kohde C	Kohde D
	Alveolipölyn pitoisuus (mg/m ³)			
Purkutila, piikkaus	3,9 (3,3-4,4)	2,3 (1,4-3,1)		
Purkutila, hionta	4,1 (3,2-5,0)	0,87		
Purkutila, massa- putkieristeen purku			<0,16	1,0
Ympäröivä tila				0,24 (0,24-0,24)

4.2.2 Alipaineistuslaitteiden toimivuus

Alipaineistajien toimivuudet kenttäkohteissa mitattiin kappaleessa 2.4 esitetyillä menetelmillä. Esimerkki suodattimen erotusasteiden ja vuotojen kenttämittauksista on kuvassa 21. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 9.



Kuva 21. Alipaineistajan erotusasteen ja vuotojen mittaus hiukkaslaskureilla.

Taulukko 9. Kenttätutkimuskohteiden ilmanvaihtuvuus ja alipaineistajien toimivuus

Kohde	Mitattu ilmavirta (m ³ /h)	Ilmanvaihtokerroin (1/h)	Erotusaste @0.3 µm (%)
A	290	12	>98
B	2300 ⁽¹⁾	10	>99.97
C	1900 ⁽¹⁾	9	95/>99.97 ⁽²⁾
D	2400	57	99.7

⁽¹⁾ Alipaineistajien mitatut ilmavirrat laskettu yhteen (2 kpl)

⁽²⁾ Ennen suodatinvaihtoa/suodatinvaihdon jälkeen

Alipaineistuslaitteissa oli vuotoja HEPA suodattimien ohi, mikä voitiin todeta välittömästi reaaliaikaisilla hiukkaslaskureilla. Suurin vuoto oli 5 %, mikä on 100-kertainen HEPA H13 luokan sallitulle arvolla (0,05 %). Kaikki kolme hiukkaslaskuria antoivat samankaltaisia tuloksia. Kohteessa C mittaukset tehtiin ennen asbestipurun aloittamista, jolloin heikkolaa-tuinen suodatin ehdittiin vaihtaa kunnolliseen ennen töiden aloittamista.

Taulukon 3 mukaan osastointien nimelliset ilmanvaihtokertoimet olivat yhtä kohdetta (B) lukuun ottamatta mitoitusohjeen 10 l/h mukaisia. Kohteissa B, C ja D poistoilma johdettiin ulos muovisukkien avulla ja näistä aiheutuva painehäviö pienentää ilmavirtoja. Näissä ti-lanteissa todellinen ilmavirta käyttötilanteessa oli siten noin puolet laitteiden nimellisilma-virrasta. Ilmanvaihdon mitoituksessa on huomioitava, että alipaineistajan vähimmäisilma-virran tulee olla 1000 m³/h riippumatta osastoinnin koosta (HSE 2013).

4.2.3 Osastoinnin rakenne ja ilmanvaihto: savukokeet ja mallinnus

4.2.3.1 Vuototarkastelu merkkisavulla

Ensimmäisenä vuototarkastelussa oli muoviseinä. Tasapainotilassa merkkisavua vuoti hie-man välitilaan osastoivan seinän yläreunasta ja muoviseinän liitoskohdasta seinän keski-osasta. Seinän yläreunassa teippi oli kiinnittynyt huonosti kattoon osastoinnin sisäpuolella. Katossa oli rosainen kohta, johon teippi ei ollut kunnolla liimautunut ja savu pääsi tämän pienen raon kautta välitilaan. Vuoto seinän keskiosassa johtui muovikalvon liitoskohdan rypystä. Liitoskohdassa muovi oli monin kerroin rypyn kohdalla ja teippi ei ollut pysynyt kunnolla paikallaan.

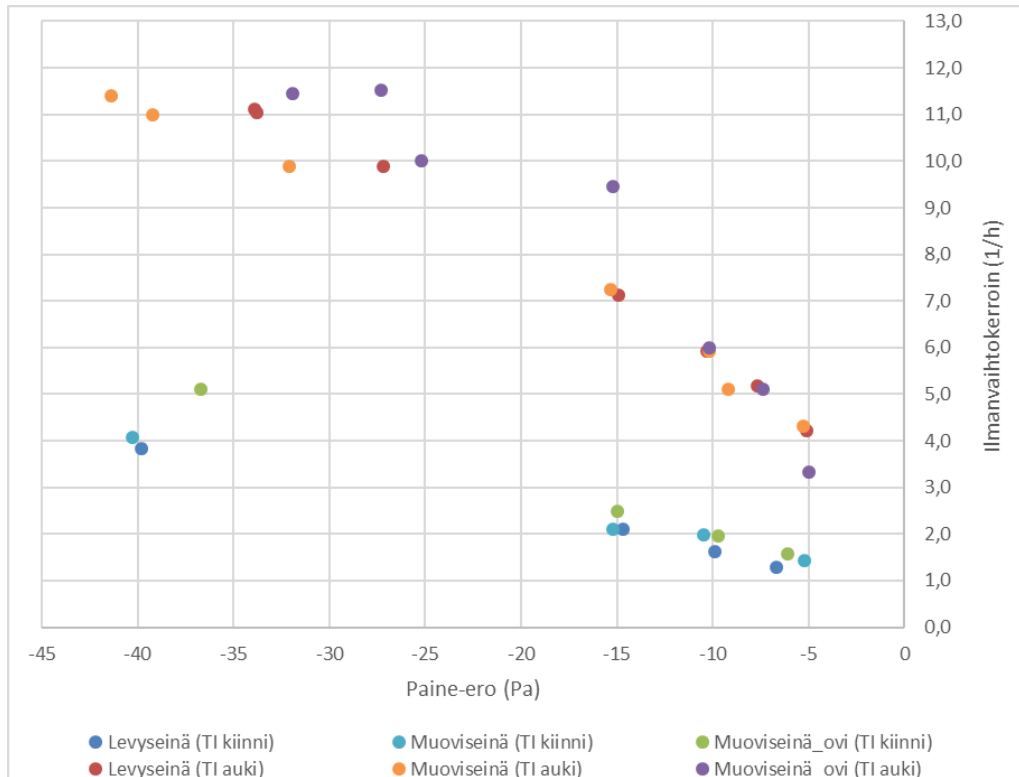
Muoviseinän ovellisen version merkkisavutestissä savua näkyi tulevan välitilaan aukosta, joka oli syntynyt pystytolpan ja muovikalvon liitokseen. Kyseisessä kohdassa oli puukehik-koon kiinnitettyinä kaksi kerrosta muovikalvoa. Kalvoista toinen oli aikaisemmassa raken-teessa ollut muovikalvo, johon oli tehty reikä kulkuaukoksi ja jonka päälle oli kiinnitetty teippaamalla valmis vetoketjullinen muoviovi. Vetoketjun lävitse ei näkynyt vuotoa merkki-savulla testattaessa.

Levyrakenteiselle seinälle tehdyssä merkkisavutestissä havaittiin vuotoa puurungon ylä-puun ja levyn liitoksesta noin 10 senttimetrin matkalta. Kyseisessä kohdassa näkyi läheltä katsottuna pieni rako, jota polyuretaanivaaho ei ollut kokonaan täyttänyt.

Merkkisavulla onnistuttiin helposti toteamaan kunkin osastoivan rakenteen tiiviys sekä paikantamaan selkeät vuotokohdat. Havaitut vuotokohdat korjattiin ennen muiden kokei-den suorittamista.

4.2.3.2 Ilmanvaihtokerroin ja alipaine

Laboratoriossa tehtyjen kokeiden 2 ja 3 tulokset näkyvät kuvassa 22. Kolmen erilaisen osastoivan seinärakenteen kokeissa toteutuneet ilmanvaihtokertoimen arvot on esitetty kuvassa paine-eron funktiona.

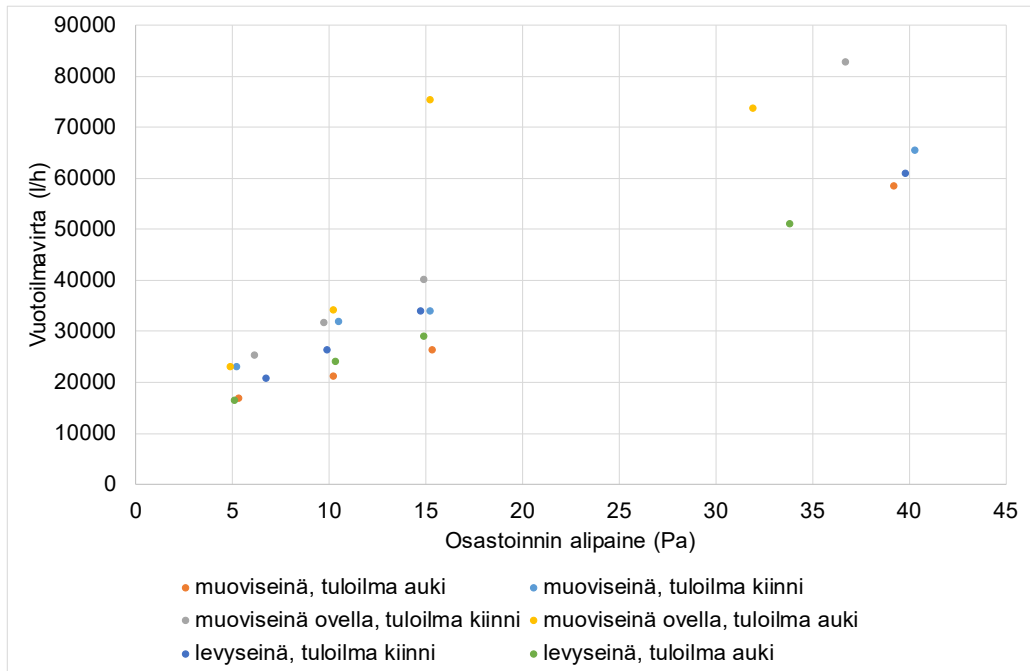


Kuva 22 Testiosastoinnin ilmanvaihtokerroin paine-eron funktiona eri seinärakenteilla

Kuvasta 22 voi huomata, että tuloilman ollessa kiinni osastoinnin ilmanvaihtokerroin oli pienempi kuin tuloilman ollessa auki. Tiiviillä osastoinnilla voidaan siis saavuttaa tavoiteltu alipaine pienelläkin alipaineistajan tilavuusvirralla, mutta ilmanvaihtuvuus jää silloin pieneksi. Pelkkä paine-eron seuranta ei siten riitä varmistamaan osastoinnin toimivuutta.

Eri seinärakenteiden tiiviyyttä arvioitiin laskemalla myös osastoinnin vuotoilmavirta. Vuotoilmavirta on laskettu vähentämällä poistoilmavirrasta tuloilmavirta. Erotuksesta jäljelle jäävä vuotoilmavirta on tullut osastointiin epätiiviykskohdista rakenteiden läpi. Osastoinnin

vuotoilmavirta ei vastaa suoraan tutkitun osastoivan seinärakenteen tiiviyttä, sillä osastoinnissa oli myös kolme muuta seinää, joiden tiiviyttä ei oltu mitattu, mutta näiden seinien tiiviyks pysyi kuitenkin kutakuinkin samana koetilanteiden välillä. Osastoihin seinärakenteiden mitatut vuotoilmavirrat ovat kuvassa 23.



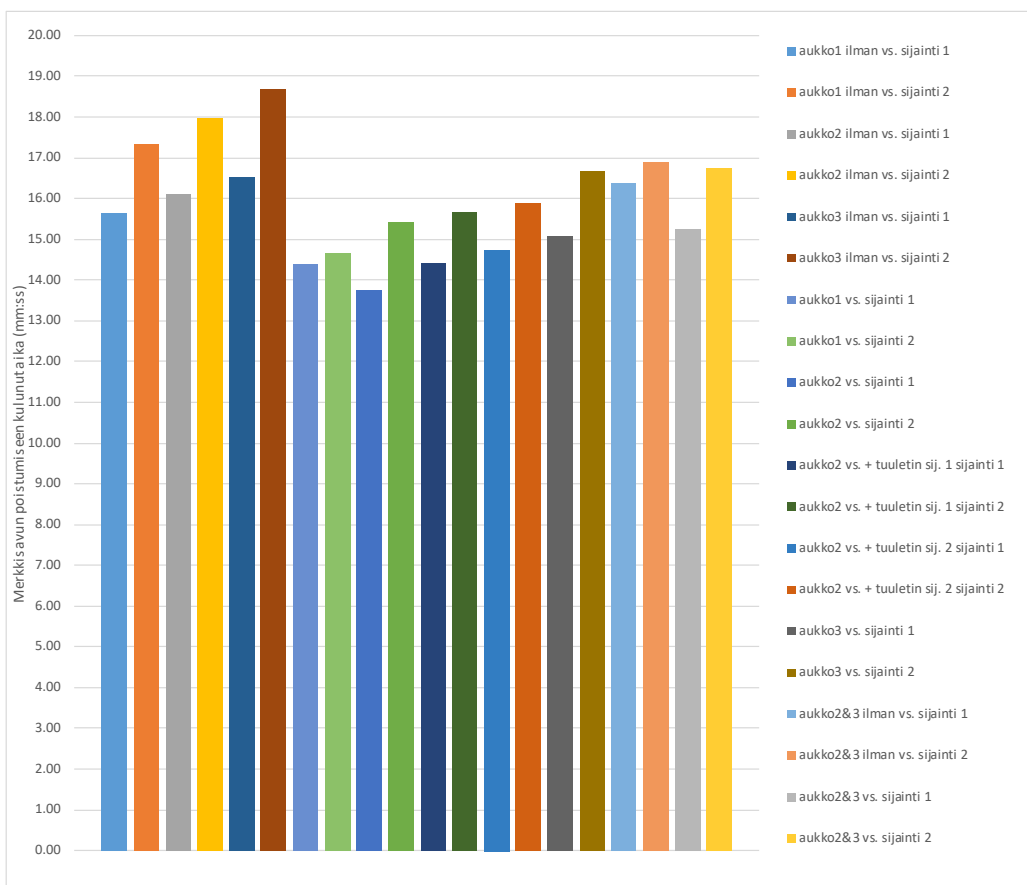
Kuva 23. Osastoihin rakenteiden vuotoilmavirrat.

Osastoihin seinien rakenteiden tiiviyksissä ei ilmennyt merkittäviä eroja vuotoilmavirtojen perusteella. Kaikilla seinärakenteilla pystyttiin saavuttamaan hyvä tiiviyksasto.

4.2.3.3 Ilmanjakotavan tutkiminen merkisavulla

Ilmanjakotavan tutkimisessa jokaisesta koetilanteesta tehtiin kaksi mittausta, joista laskettiin keskiarvot. Ilmannopeusantureilla mitattiin poistoilmavirran keskimääräistä nopeutta, josta laskettiin osastoinnin ilmanvaihtokerroin. Tavoitetaso oli 10 vaihtotunnissa ja toteutunut ilmanvaihtokerroin vaihteli 10,0 ja 10,2 1/h välillä. Jokaisessa tilanteessa mitattiin osastoinnin sisältä myös ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus. Tuloksista tehtiin kaavio (kuva 24), jossa pystyakselilla on savun hälvenemiseen kulunut aika.

Kaaviosta nähdään, että ilman väliseinää tuloilman tullessa aukosta 1 savu huuhtoutui osastoinnista nopeammin kuin tuloilman tullessa aukosta 2. Samoin tuloilman tullessa aukosta 2 savu huuhtoutui nopeammin kuin ilman tullessa aukosta 3. Väliseinän kanssa savukoneen sijainnilla 1 tehdyissä mittauksissa ilman tullessa aukosta 1 savun huuhtoutuminen kesti kauemmin kuin ilman tullessa aukosta 2. Tämä saattoi johtua siitä, että ilman tullessa aukosta 1 savukone ja tuloilma-aukko olivat vastakkain, jolloin tuloilmavirta puhalsi savua poispäin poistoilma-aukolta ja esti osan savun suoran pääsyn poistoilma-aukoon. Muiden mittaustulosten perusteella savu huuhtoutui osastoinnista nopeammin, kun tuloilma-aukko oli lähempänä poistoilma-aukkoa.



Kuva 24. Kaavio savukokeiden tuloksista



Väliseinän ollessa osastoinnissa paikallaan savun huuhtoutuminen oli nopeampaa kuin ilman väliseinää kaikkien mittaustulosten mukaan. Oletuksena ennen testejä oli, että väliseinän ollessa paikallaan savun huuhtoutuminen kestäisi kauemmin. Näiden tulosten perusteella väliseinän lisääminen ei kuitenkaan hidastanut savun huuhtoutumista osastoinnista vaan päinvastoin nopeutti sitä. Selityksenä saattoi olla se, että kun savu oli kerran tullut väliseinän toiselle puolelle eli samalle puolelle poistoilma-aukon kanssa, väliseinä mahdollisesti esti osan savun kiertämisen takaisin väliseinän taakse. Tällöin osa savusta jäi mahdollisesti kiertämään pienemmälle alueelle väliseinän ja sivuseinän väliin.

Kahden tuloaukon tilanteita (aukko 2&3) voitiin vertailla väliseinän ja savukoneen sijainnin suhteen samanlaisiin tilanteisiin, joissa oli samat tuloilma-aukot (aukko 2 tai aukko 3) auki yksi kerrallaan. Tilanteissa, joissa ei ollut väliseinää ja savua generoitiin sijainnista 1, kahdella tuloilma-aukolla savun huuhtoutuminen kesti kauemmin kuin yhdellä tuloilma-aukolla, mutta savua generoitaessa sijainnista 2 savu huuhtoutui nopeammin kahdella tuloilma-aukolla kuin yhdellä. Tilanteissa, joissa väliseinä oli paikallaan, kahdella aukolla savun huuhtoutuminen kesti kauemmin kuin tuloilman tullessa vain yhdestä aukosta riippumatta savukoneen sijainnista.

Tuulettimen kanssa savun hälveneminen kesti kauemmin kuin samassa tilanteessa ilman tuuletinta. Tuulettimen sijainti 2 oli mittausten perusteella vielä huonompi kuin tuulettimen sijainti 1. Tuuletin todennäköisesti lisäsi ilman kiertoa osastoinnissa, mutta ei kuitenkaan mittaustulosten perusteella nopeuttanut savun kulkeutumista ulos osastoinnista.

Kaaviosta huomataan, että sijainnista 1 generoitu savu huuhtoutui osastosta nopeammin, kuin sijainnista 2 generoitu savu. Tämä oli oletettu tulos, sillä savukoneen sijainti 1 oli lähempänä poistoilma-aukkoa. Osa savusta päätyi todennäköisesti heti poistoilma-aukoon, jolloin osastointiin jäi kiertämään savua vähemmän ja poistui siten nopeammin osastoinnista.

Mittaustulosten mukaan lyhin savun huuhtoutumisaika oli tilanteessa, jossa väliseinä oli paikallaan, tuloilma tuli aukosta 2 ja savua generoitiin sijainnista 1. Tämä tulos käy muiden tulosten kanssa yhteen, sillä väliseinän lisäys sekä savun generointi sijainnista 1 sijainnin 2 sijaan nopeutti savun huuhtoutumista osastoinnista myös muiden mittaustulosten perusteella. Tuloilman tuleminen aukosta 2 saattoi vahvistaa väliseinän vaikutusta, kun tuloilma virtasi keskeltä osastointia tilan poikki ja mahdollisesti esti osan sijainnista 1 päästetyn savun kulun väliseinän taakse.



Testien aikana savua tarkkailtaessa huomattiin savun liikkeestä tuloilman vaikuttavan osastoinnin sisäilmavirtoihin melko voimakkaasti. Tuloilma puhalsi savua tuloilma-aukolta pois päin vastakkaista seinää kohti. Osa savusta todennäköisesti lähti kiertämään seinää pitkin ylös kohti kattoa ja kulkeutui sieltä mahdollisesti uudelleen tuloilma-aukolle. Testeissä savun liikkeen näki selvästi juuri savun päästön jälkeen, mutta melko nopeasti savu sekoittui osastointiin niin, ettei sen liikkeen suuntaa pystynyt enää erottamaan.

Virtauslaskennasta saaduista tuloksista pystyi huomaamaan, että osastoinnin sisäisiä ilmavirtoja hallitsi voimakkaasti tuloilmavirta. Ilmiön huomasi parhaiten, jos tuloilma-aukko oli pieni, jolloin ilmaa purkautui aukosta osastointiin ikään kuin puhallussuihkun tavoin. Poistoaukon eli imun vaikutusetaisyys oli puolestaan lyhyt, joten sen vaikutus osastoinnin ilmanjakoon ja sisäisiin ilmavirtoihin oli vähäisempi. Poistoilma-aukon paikalla oli kuitenkin jonkin verran vaikutusta ilman liikkeisiin tiloissa, joissa oli useampia huoneita tai muita esteitä ilman vapaalle liikkeelle. Imuaukko kannattaa joka tapauksessa sijoittaa mahdollisimman lähelle epäpuhtauslähdettä, jotta epäpuhtaudet pääsisivät poistumaan osastoinnista mahdollisimman nopeasti heti muodostumisen jälkeen. Jos epäpuhtauslähde olisi esimerkiksi tuloaukon läheisyydessä leviäisi epäpuhtaudet todennäköisesti osastoinnissa laajemmalle alalle.

Suoritettujen kokeiden perusteella yleisenä ohjesääntönä poisto- ja tuloilma-aukoille voidaan pitää seuraavaa:

- Poistoilma-aukko (alipaineistaja) sijoitetaan mahdollisimman lähellä epäpuhtauksia tuottavaa työvaihetta
- Tuloilma-aukko sijoitetaan mahdollisimman etäälle alipaineistajasta, jotta ilmanvaihtuvuutta tapahtuu koko osastoinnin sisällä.

Ilman liikkumisen kannalta tuloilmavirta katsotaan hallitsevammaksi. Mikäli tulo- ja poistoilmareitit sijaitsevat lähellä toisiaan voi voimakkaamman ilmavirran synnyttävä tuloilma estää hiukkasmaisten epäpuhtauksien pääsyn alipaineistajaan, vaikka suunniteltu ilmanvaihtokerroin toteutuisi.

4.2.4 Osastoinnin ilmanvaihdon toimivuus ja energiankulutus sekä paine-ero

4.2.4.1 Ilmanvaihtuvuus

Paikallisen ilmanvaihtuvuuden mittaustulokset on esitetty taulukossa 10. Kuten tuloksista havaitaan, huonoin tilanne oli tapauksessa, jossa poisto oli lähellä tuloilmaa, jolloin ilmanvaihdon huuhteluvaikutus jäi heikoksi erillisessä tilassa (Mittauspiste 1). Tilannetta paransi huomattavasti tuloilman johtaminen erilliseen tilaan joko seinään tehdyn aukon ja siihen

asennetun suodatinkankaan kautta tai sitten paineentasaimen palautusilman kautta. Myös imun siirtäminen kierresaumaletkun avulla sivuhuoneeseen (tapaus D ja E) paransi ilmanvaihtuvuutta huomattavasti.

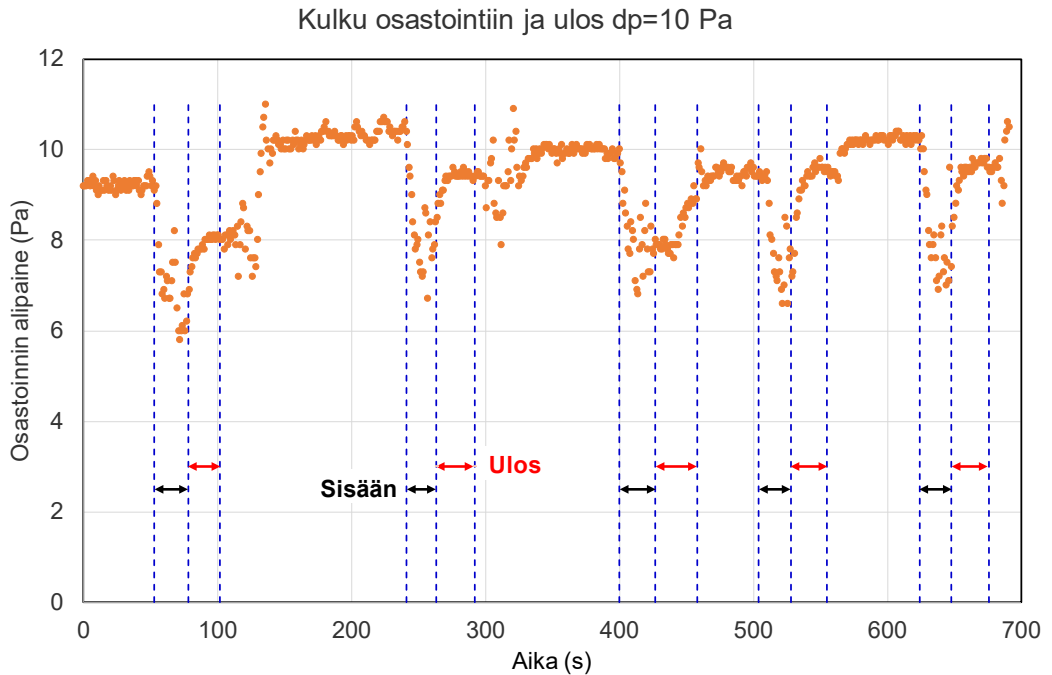
Taulukko 10. Mitatut tilanteet osastoinnin ilmanvaihtuvuuden määrittämisessä.

Ta- paus	Poisto	Tuloilma	Ilman- vaihto- kerroin (1/h)	$\lambda \pm sd$ (h ⁻¹)	
				MP 1	MP 2
A	Sulkutilan vie- restä	Sulkutilan kautta	10	5.6 ± 0.4	7.1 ± 0.6
B	Sulkutilan vie- restä	Sulkutilan + kor- vausilma-aukon kautta	10	11.2 ± 1.3	11.4 ± 0.7
C	Sulkutilan vie- restä	Sulkutilan + pai- neentasaimen pa- lautusilman kautta	10	9.2 ± 0.3	10.3 ± 1.2
C	Sulkutilan vie- restä	Sulkutilan + pai- neentasaimen pa- lautusilman kautta	19	19.1 ± 0.8	19.3 ± 0.9
D	Sivuhuoneesta, imu lattianra- jassa	Sulkutilan kautta	10	10.4 ± 0.2	14.3 ± 0.3
E	Sivuhuonees- ta, imu 1.4 m korkeudella	Sulkutilan kautta	10	12.2 ± 0.5	14.0 ± 0.6

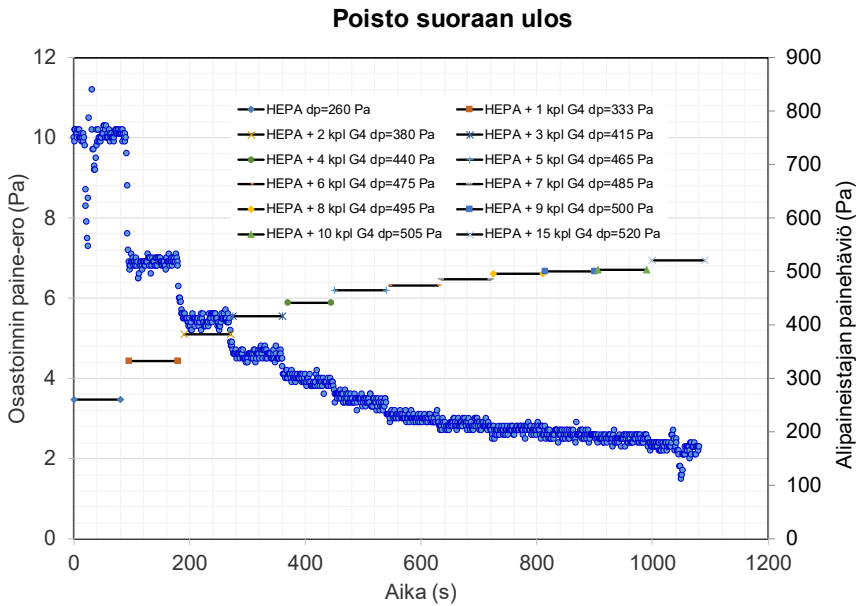
4.2.4.2 Osastoinnin paine-ero

Koehenkilön kulkiessa sulkutilan läpi osastointiin ja takaisin vaikutti osastoinnin paineeroon selvästi. Paine-ero laski hetkellisesti 10 pascalista 6 pascaliiin, kun kulku tapahtui osastointiin päin. Takaisin päin tultaessa paine-ero pieneni jonkin verran vähemmän (kuva 25).

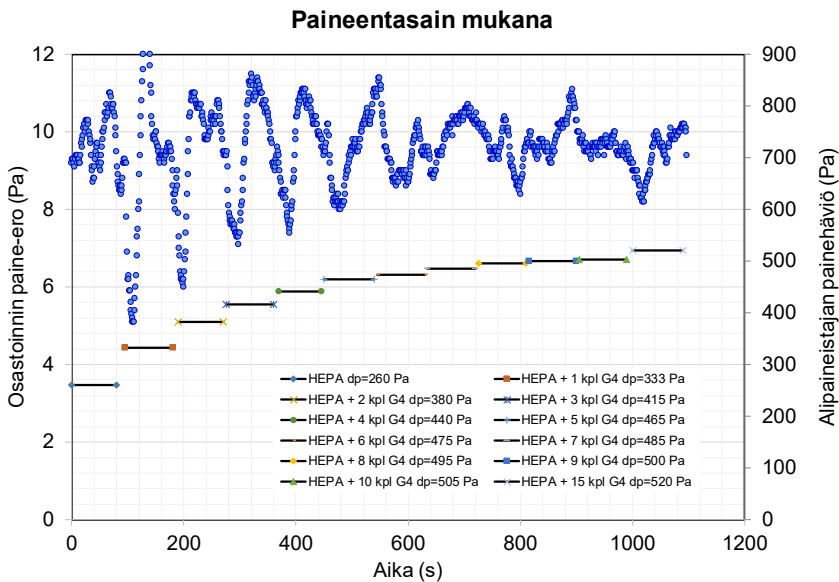
Simuloidun alipaineistajan suodattimen kuormitustestin tulokset on esitetty kuvissa 26 ja 27. Alipaineistajan suodattimien kuormittuessa laitteen ilmavirta alenee ja samalla pienenee osastoinnin paine-ero, mikäli kaikki poistoilma johdetaan suoraan ulos. Sen sijaan painetasainta käytettäessä on mahdollista, että alipaine voidaan pitää asetusarvossa pienentämällä kierrätysilman määrää.



Kuva 25. Osastoinnin paine-eron muutos sulku-tilan läpi kuljettaessa.

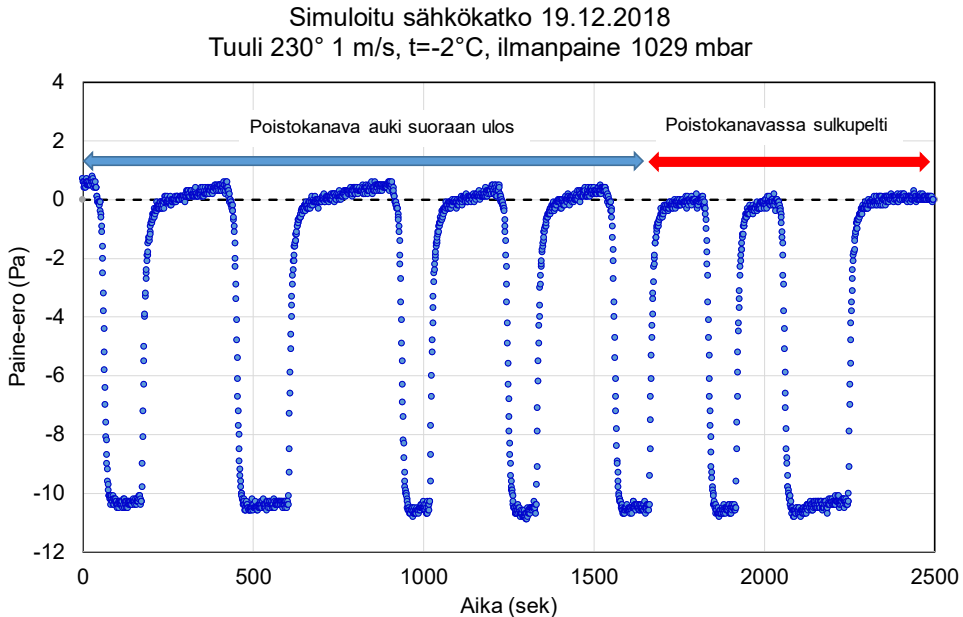


Kuva 26. Osastoinnin paine-eron muutos alipaineistajan simuloitun suodattimen kuormitustestin aikana. Poisto suoraan ulos.



Kuva 27. Osastoinnin paine-eron muutos alipaineistajan simuloitun suodattimen kuormitustestin aikana. Paineentasain käytössä.

Alipaineistajan pysähtymisen vaikutus osastoinnin paine-eroon on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Osastoinnin paine-eron muutos alipaineistajan sammuttamisen jälkeen.

Alipaine osastoinnin sisällä katoaa nopeasti ja mikäli olosuhteet ovat sellaiset, että ulko- ja sisäilman välillä on ilman tiheuseroja lämpötilaeroista johtuen, aikaansa tämä takaisinvirtauksen ulkoa alipaineistajan kautta osastointiin. Tämä näkyy osastoinnin alipaineen muuttumisena pieneksi ylipaineeksi. Poistoilmassa olevan sulkuventtiilin avulla voidaan takaisinvirtaus estää.

4.2.4.3 Osastoinnin ilmanvaihdon energiankulutus

Osastointien ilmanvaihtuvuus on huomattavan suuri, > 10 vaihtoa tunnissa. Suurissa koh-teissa tämä johtaa suuriin ilmapirtoihin. Laitteiden ulospuhallusilma johdetaan yleensä suoraan ulos, mikä merkitsee huomattavaa lämmitysenergian kulutusta rakennusten läm-mityskaudella. Tilanteissa joissa rakennusta joudutaan jäähdyttämään ulospuhallus aiheut-taa jäähdytysenergian hukkaa.

Ilmanvaihdon energiankulutus voidaan arvioida kaavalla

$$\dot{Q} = q_m \Delta h \quad (7)$$

missä q_m on massavirta ja Δh on entalpiaero sisä- ja ulkoilman välillä.

Lämmityskaudella ilman absoluuttisessa kosteudessa ei tapahdu muutoksia, joten entalpiaero on

$$\Delta h = c_p \Delta T \quad (8)$$

missä c_p on ilman ominaislämpökapasiteetti ja ΔT on lämpötilaero.

Käyttäen keskimääräistä ulkolämpötilaa 4 °C ja olettaen sisälämpötilaksi 20 °C voidaan 1m³/s suuruisen ilmavirran lämmitykseen kuluvan tehon olevan 19 kW.

Tätä energiankulutusta voidaan pienentää huomattavasti palauttamalla suodatettu poistoilma takaisin työtilaan. Johtamalla kierrätysilma oikeisiin paikkoihin voidaan samalla tehostaa osastoinnin ilmanvaihtoa.

4.3 Hengityksensuojainten tiiviystestaus ja tarkastus sekä haastattelu

Hengityksensuojainten tiiviys mitattiin kahdella tekniikalla: kontrolloitu alipaine ja kondensoiva hiukkaslaskuri. Molemmat menetelmät on tarkoitettu varmistamaan, että hengityksensuojaimen naamari istuu kasvoilla tiiviisti.

Kaikki testattavat tulivat tiiviystesteihin oman suojanaamarinsa kanssa, mutta aina testejä ei saatu läpi omalla naamarilla. Tällöin kokeiltiin lainanaamaria tai testejä ei voitu jatkaa, koska tutkijoiden mukana olleet lainanaamaritkaan eivät sopineet kasvoille. Osaksi syynä oli testihenkilön parrakkuus tai parransänki, mutta myös suojaimen väärä koko, huono istuvuus, rikkinäinen tai malliltaan sopimaton naamari. Testatuista 32:sta asbestipurkajista oli 6 parrakasta ja kahdella oli pitkäkökö parransänki. Osa voitiin testata, osa ei. Parrakkaita purkajia testattiin, jotta saatiin osoitettua heille parran aiheuttamat sisäänvuodot naamariissa. Yleensä tiiviystestien tekijät eivät testaa suojanaamareita parrakkailla henkilöillä. Yksi henkilö ei halunnut testattavaksi, koska oli sitä mieltä, ettei naamari tiivisty joka tapauksessa hänen kasvoilleen.



4.3.1 Esitestit

Menetelmien soveltuvuutta hengityksensuojainten tiiviystesteihin testattiin aluksi testihenkilöillä, jotka satunnaisesti joutuvat käyttämään kokonaamareita työssään. Testihenkilöillä oli yleisimmin käytössään M/L-kokoisia Scott Safetyn ProMask-naamareita. Osa niistä oli silikonisia.

Kuudelle henkilölle (35 %) jouduttiin lainaamaan suojanaamari, koska heidän oma naamarinsa ei sopinut kasvoille tai oli rikkiäinen. Erityisesti naisille jouduttiin vaihtamaan pienempi naamari. Kaikki testihenkilöt läpäisivät vähintään toisen tiiviystestin. 15 henkilöä läpäisi PortaCount- sekä Quantifit-testin. Neljä henkilöä läpäisi testimenetelmistä ainoastaan toisen. Jos testit olisi yritetty tehdä ainoastaan henkilöiden omilla naamareilla, hylätyjä testejä olisi ollut enemmän. Quantifitilla mitatut tiiviyskertoimet ovat huomattavasti PortaCountilla mitattuja pienempiä. Testitulokset tiiviyskertoimeen ja mittauksissa tehdyne havaintoineen on esitetty taulukossa 11.

4.3.2 Tiiviystestit työpaikoilla

Pro-Tester

Kaikissa yrityksissä kaikki suojanaamarit läpäisivät alipainetestin Pro-Tester-testilaitteella, joten sen perusteella niiden voidaan todeta olleen kunnossa. Testin läpäisi myös neulalla reiätetty naamari.

Tiiviystestit yrityksittäin

Yritys 1

Tiiviystestattavaksi tuli yhdeksän henkilöä, joilla kaikilla oli käytössään M/L-kokoinen Scott Safetyn ProMask-kokonaamari. Testatuista henkilöistä neljä läpäisi testit molemmilla menetelmillä ja yksi vain PortaCount-testin. Ainoastaan kolme testatuista läpäisi testit omalla naamarillaan, kaksi pienempi kokoisella saman mallin lainanaamarilla. Neljä henkilöä jäi kokonaan testaamatta, koska heidän oma naamarinsa sekä lainanaamarit eivät tiivistyneet heidän kasvoilleen riittävästi. Yhdellä henkilöllä tähän oli selkeänä syynä tuuhea parta, joka tuli naamarin tiivistereunojen ulkopuolellekin. Kahdelle sopimattomuuden syyksi arvioitiin naamareiden pieni koko kasvojen korkeussuunnassa. Yhdelle henkilölle suojaimen malli ei todennäköisesti sopinut hänen kasvoilleen.



Taulukko 11. Esitestien tiiviymittauksien tulokset henkilöittäin tiiviyskertoimina (FF). Hyväksyttävän arvon alittavat mittauksien tulokset on merkitty punaisella. Tuloksena viiva merkitsee, että testiä ei onnistuttu viemään läpi useasta yrityksestä huolimatta.

Testi-henkilö	PortaCount FF	Quantifit FF	Havainnot naamarista/mittauksista
1	5909	-	QF-testi ei onnistunut, outo syke kuvaajassa
2	-	1627	PC-testi ei onnistunut useista yrityksistä huolimatta
3	6181	3268	
4	8381	1498	
5	7054	1189	Oma naamari hyvin vanha, venttiililäpät kovettuneet, testit lainanaamarilla.
6	15314	-	Naamari korkeussuunnassa pienehkön näköinen, isompaa kokoa mallista ei ole.
7	10416	1584	
8	12856	3670	
9	9761	2397	
10	12861	2076	
11	408	2251	Naamari todennäköisesti valahti kasvoilta PC-testissä vartalon taivutuksessa huonon istuvuuden vuoksi.
12	9177	1891	Testi läpi pienemmällä lainanaamarilla.
13	14117	3650	Testi läpi pienemmällä lainanaamarilla.
14	14636	1604	
15	4320	1232	Testi läpi pienemmällä lainanaamarilla.
16	1836	885	Testi läpi suuremmalla lainanaamarilla.
17	10029	934	Testi läpi pienemmällä lainanaamarilla, omassa naamarissa neulanreikä sekä puuttui venttiilin osa.
Keskiarvo	8427	1750	
Keskiarvo	9523	1983	Hyväksytyn rajan alittavat tulokset poistettu.
Mediaani	9761	1627	Hyväksytyn rajan alittavat tulokset poistettu.
Pienin	1836	885	Hyväksytyn rajan alittavat tulokset poistettu.
Suurin	15314	3670	Hyväksytyn rajan alittavat tulokset poistettu.

Taulukkoon 12 on koottu yrityksen 1 tiivistestitulokset havaintoineen.

Taulukko 12. Yrityksessä 1 tiivistestin läpäisseiden testitulokset tiiviyskertoimina (FF)

Henkilö	Kokonaamari, koko	PorCount, FF	Quantifit, FF	Havainnot ja naamarista/mittauksista
1	Promask M/L-koko	2213	1290	
2	Promask S-koko	17789	1437	Testi meni läpi S-koon Promask-lainanaamarilla.
3	Promask M/L-koko	14886	1373	
4	Promask S-koko	7154	1275	Testi meni läpi S-koon Promask-lainanaamarilla.
5	Promask M/L-koko	1673	-	Testiä ei saatu läpi QF:llä. Henkilöllä parransänkeä ja naamarista poistettu sisänaamari ja koko naamari oli vino.
	keskiarvo	8743	1344	

Yritys 2

Tiivistestattavaksi tulivat kaikki yhdeksän asbestipurkutöitä tekevää työntekijää. Lähes kaikilla oli hengityksensuojaimena M/L-kokoinen silikoninen Scott Safety Promask-kokonaamari. Yhdellä työntekijällä oli silikoninen yhden koon SARI-kokonaamari.

Kaikki kokonaamarit läpäisivät alipainetestin Pro-Tester-testilaitteella. Lähes kaikki työntekijät läpäisivät myös molemmat tiivistestit. Ainoastaan yksi henkilö läpäisi vain PortaCount-testimenetelmän. Syynä voi olla Quantifit-testin tekninen haastavuus. Hänen naamarissaan havaittiin neulanreikiä, joka saattoi myös vaikuttaa Quantifit-testin läpäisemättömyyteen. Tämä naamari läpäisi kuitenkin Pro-Tester-testin reistä huolimatta. Naamarin neulanreiät havaittiin suojaimen tarkastuksessa.

Muutoin hengityksensuojaimissa ja niiden kunnossa ei ollut moitittavaa. Suojaimet olivat myös hyvin puhdistettuja ja huollettuja. Kohdeyrityksistä tämä yritys oli ainoa, jossa testattavilla henkilöillä ei ollut partaa tai parransänkeä.

Testitulokset havaintoineen on koottu taulukkoon 13.

Taulukko 13. Yrityksessä 2 tiivistestien läpäisseiden testitulokset tiiviyskertoimina (FF)

Henkilö	kokonaamari, koko	PortaCount FF	Quantifit FF	Havainnot naamarista/mitauksista
1	Promask SIL M/L-koko	10204	1012	
2	Promask SIL M/L-koko	17428	1008	
3	Promask SIL M/L-koko	4006	-	QF-testi ei mennyt läpi useista yrityksistä huolimatta. Naamarissa neulanreikiä.
4	Promask SIL M/L-koko	13991	967	
5	Promask SIL M/L-koko	20171	1287	
6	Promask SIL M/L-koko	16574	1480	
7	Promask SIL M/L-koko	8010	2059	
8	Promask SIL M/L-koko	9526	1843	
9	Promask SIL M/L-koko	17990	916	
keskiarvo		13100	1322	

Yritys 3

Yrityksessä 3 on kaikkiaan noin 30 asbestipurkutöitä tekevää työntekijää, joista tiivistestattaviksi tuli ainoastaan kolme. Heillä kaikilla oli erilaiset kokonaamarit: M/L-kokoinen Promask, silikoninen SARI (yksi koko) ja 3M Powerflow 7900- kokonaamari (yksi koko). Työpaikalla havaittiin myös yksi tyyppihyväksymätön laitekokonaisuus. Yhdellä testatulla henkilöllä oli pitkäkö parransänki. Ainoastaan yksi henkilö läpäisi molemmat tiivistestit, kaksi heistä läpäisi vain PortaCount-testin. Mahdolliset syyt Quantifit-testin läpäisemättömyyteen oli toisella testattavalla todennäköisesti testin tekninen suoritus, toisella puolestaan pitkäkö parransänki.

Koska yrityksen asbestipurkajista saatiin testattua vain 10 % henkilöistä, ei yrityksen suojainasioista saatu kokonaista kuvaa. Testitulokset havainnoineen on koottu taulukkoon 14.

Taulukko 14. Yrityksessä 3 tiiviystestin läpäisseiden testitulokset tiiviyskertoimina (FF)

Henkilö	kokonaamari, koko	Porta-Count, FF	Quantifit, FF	Havainnot naamarista/mittauksista
1	SARI SIL yksi koko	20145	769	
2	Promask M/L-koko	20640	-	QF ei läpi useista yrityksistä huolimatta, teknisestä suorituksesta johtuen.
3	Powerflow yksi koko	14993	-	QF ei läpi useista yrityksistä huolimatta. Henkilöllä pitkähäkö parransänki.
keskiarvo		18593	796	

Taulukko 15. Yrityksessä 4 tiiviystestin läpäisseiden testitulokset tiiviyskertoimina (FF)

Henkilö	kokonaamari, koko	Porta-Count, FF	Quantifit, FF	Havainnot naamarista/mittauksista
1	SARI SIL yksi koko	20179	857	
2	Promask S-koko	1900	3036	PC-testi meni läpi S-koon Promask-lainanaamarilla. Oma naamari M/L-koko. QF-testi ei läpi.
3	Promask SIL M/L-koko	1724	-	Henkilöllä partaa, osa testivaiheista jäi alle hyväksytyyn rajan. QF-testi ei läpi.
4	Promask S-koko	24092	-	Testi meni läpi S-koon Promask-lainanaamarilla. QF-testi ei läpi.
5	Vision2 S-koko	1296	-	PortaCount-testi meni läpi S-koon Vision2-lainanaamarilla, osa testivaiheista alle hyväksytyyn. Henkilöllä pitkähäkö parransänki. Oma naamari M/L-koon Promask SIL. QF-testi ei läpi.
keskiarvo		9838	1947	

Yritys 4

Yrityksen kaikki kuusi purkutyötä tekevää henkilöä tulivat tiiviystesteihin. Osa heistä oli parakkaita. Heillä oli käytössään silikonisia SARI- ja Promask-kokonaamareita sekä Vision2-kokonaamareita. Ainoastaan yksi henkilö läpäisi molemmat tiiviystestit omalla naamarillaan. Toinen henkilö läpäisi molemmat testit kokoa pienemmällä lainanaamarilla. Muut läpäisivät ainoastaan PortaCount-testin. Yhdellä heistä Quantifit-testin läpäisemättömyys

johtui todennäköisesti jännittämisestä ja siten teknisen suorituksen ongelmista. Kahdella muulla oli partaa tai parransänkeä, joka todennäköisesti esti riittävän alipaineen muodostumisen naamarin sisälle. PortaCount-testissä kummallakin heistä osa testivaiheista jäi alle hyväksytyyn rajan alle, vaikka kokonaistiivyskerroin olikin juuri hyväksytyyn rajan yli.

Yhdelle henkilölle, jolla oli runsaasti partaa, osoitettiin naamarin sisäänvuoto laitteilla. Laitteet osoittivat suurta vuotoa.

Testitulokset havaintoineen on koottu taulukkoon 15.

Yritys 5

Yrityksessä 5 työskentelee viisi asbestipurkajaa, joista neljä osallistui tiivistestisiin. Heillä kaikilla oli käytössään M/L-kokoinen Vision2-kokonaamari. Ainoastaan yksi henkilö läpäisi molemmat testit omalla naamarillaan vaivattomasti.

Kaikilla muilla oli omien naamareiden tiivistymisessä ongelmia, joten heillä testattiin myös M/L-kokoista Promask-lainanaamaria.

Yhdelle henkilölle lainanaamariin ei sopinut ja tiivyskerroin jäi alle hyväksytyyn (698) tai testi ei onnistunut. Yksi henkilö läpäisi lainanaamarilla PortCount-testin, mutta ei Quantifit-testiä. Hänellä oli jonkin verran parransänkeä, joka todennäköisesti vaikutti tiivyyteen. Kolmannella henkilöllä hänen oma Vision2-naamarinsa läpäisi Quantifit-testin, mutta Porta-

Taulukko 16. Yrityksessä 5 tiivistestien läpäisseiden testitulokset tiivyskertoimina (FF)

Henkilö	kokonaamari, koko	PortaCount FF	Quantifit FF	Havaintoja naamarista/mittauksista
1	Vision2 M/L-koko	14339	1105	
2	Promask M/L-koko	2046	-	QF ei läpi useista yrityksistä huolimatta, henkilöllä hieman parransänkeä.
3	Promask M/L-koko	698	-	Testit tehtiin lainanaamarilla. QF ei läpi useista yrityksistä huolimatta.
4	Vision2 M/L-koko	596	1472	PC-testi ei mennyt läpi hyväksytysti omalla naamarilla.
4	Promask M/L-koko	4317	-	QF-testi ei mennyt läpi Promask-lainanaamarilla. Henkilö itse koki Promask-naamarin istuvan paremmin kasvoille.
keskiarvo		18593	796	

Count-testissä kokonaistiiviyskerroin (596) jäi alle hyväksytyin rajan. Tämän vuoksi hänelle sovitettiin myös Promask-lainanaamaria, jolla puolestaan PortaCount-testi meni läpi, mutta Quantifit-testi ei. Laite ei osoittanut vuotoa, joten todennäköisesti testi epäonnistui testattavan oman teknisen suorituksen vuoksi.

Testitulokset havaintoineen on koottu taulukkoon 16.

Yhteenveto tiivistesteistä

Hengityksensuojainten tiivistestauksia toteutettiin viidessä eri asbestipurkuyrityksessä, joissa testejä tehtiin/yrityttiin tehdä kaikkiaan 32 henkilölle. Heistä omalla suojanaamarilla testit läpäisi molemmat testit 15 henkilöä ja näiden lisäksi lainanaamarilla 2 henkilöä. PortaCount-testin läpäisseitä oli 25 henkilöä (joista omalla naamarilla 18 ja lainanaamarilla 7 henkilöä). Quantifit-testin läpäisseitä oli 18 (joista omalla naamarilla testin läpäisi 14 henkilöä ja lainanaamarilla 4). Pelkän Quantifit-testin läpäisseitä oli yksi. Puolet henkilöistä, jotka läpäisivät molemmat testimenetelmät, oli samasta yrityksestä. Työntekijät olivat parrattomia ja myös suojanaamareista oli pidetty hyvää huolta. Tiivistestit menivät hyvin läpi ja niiden tekemiseen meni vähemmän aikaa kuin muualla.

Tiivistestin perusteella kaikkiaan vain noin puolella testatuista asbestipurkajasta oli sopiva kokonaamari (taulukko 17). Kahdeksalle henkilölle ei löydetty varmuudella sopivaa suojainta osittain partojen tai parransängien vuoksi, mutta osalle myös heidän kasvojen muodon ja koon vuoksi. Jos heidän oma suojaimensa ei ollut sopiva, kokeiltiin lainanaamareita, mutta niitä testaajilla oli käytössä suppea valikoima, ainoastaan S- ja M/L-koon Scott Safety Promask-kokonaamareita. Pienempikasvoisille miehille jouduttiin yleensä vaihtamaan S-kokoinen naamari heidän M/L-kokoisen naamarinsa tilalle.

Taulukko 17. Läpi menneet työpaikkojen tiivistestit. Prosenttiosuudet testatuista suluissa.

Testi	Omalla naamarillaan testin läpäisseiden määrä	Lainanaamarilla testin läpäisseiden määrä	Omalla tai lainanaamarilla testin läpäisseiden määrä
Molemmat testit	15 (47)	2 (6)	17 (53)
Jompikumpi testeistä	19 (59)	8 (25)	27 (84)
Hiukkasmittaustesti	18 (56)	7 (22)	25 (78)
Alipainetesti	14 (44)	4 (12)	18 (56)



Samankaltaiset tulokset saatiin myös esitesteissä, joissa oli 17 henkilöä. Noin kolmasosa joutui vaihtamaan erikokoiseen kokonaamariin. Erityisesti valtaosalla naisista oli liian suuri kokonaamari.

Parrakkaat asbestipurkajat eivät ajaneet partojansa ja Quantifit osoitti, että suojain vuotaa. Myös PortaCountilla parrakkaiden tiiviyskertoimet olivat pienempiä kuin parrattomien. Parrakkaiden purkajien naamarin sopivuus jäi epävarmaksi. Täten asbestialtistumista voi tapahtua naamarin tiivistymisongelmien vuoksi ja parrattomuudella on siten merkitystä.

Lakisääteisen tiivistestauksen omaksumisesta asbestiyritysten turvallisuuskulttuuriin kertoo, kuinka yhdessä kohdeyrityksistä työntekijöistä 10 % tuli tutkimuksen ilmaisiin testeihin. Toki Työterveyslaitos oli korostanut ennen testejä, että tutkimus on vapaaehtoinen osallistujille.

4.3.3 Hengityksensuojainten tarkastukset ja työntekijöiden haastattelut

Hengityksensuojainten kokoonpanot

Puhallinyksiköistä lähes kaikki oli Scott Safetyn Proflow -puhallinyksiköitä, jotka toimivat joko 120 tai 160 l/min virtausnopeudella. Yksi puhallinyksikkö oli Scott Safetyn Duraflow. Puhallinyksiköiden ikä oli keskimäärin 1-3 vuotta, vanhimmat noin 10 vuotta. Yleisimmin käyttäjät arvioivat puhallinlaitteen akkujen kestävän työvuoron ajan. Lyhimmät arviot olivat 2-3 tuntia. Suodattimina käytettiin Scott Safetyn Pro2000 PF10-suodattimia.

Hengityksensuojaimista 24 kpl oli malliltaan Scott Safetyn Promask-naamareita, joista 13 oli materiaaliltaan silikonisia. Viisi naamareita oli Scott Safetyn Vision2-naamareita, 2 naamaria silikonisia SARI-naamareita ja yksi 3M:n Powerflow 7900 -naamari. Keskimäärin naamarit olivat vuoden vanhoja, vanhimmat 3-4 vuotta.

Naamareista seitsemän oli jollain tapaa viallisia tai muunneltuja. Kahdessa naamarissa oli kiristysremmi poikki ja yleensä se oli korjattu teippaamalla tai solmulla. Yhdessä oli neulanreikiä (naamari testattu neulamenetelmällä). Kolmesta naamarista oli poistettu kokonaan sisänaamari ja yksi melko uusi naamari (2kk vanha) oli vino, todennäköisesti puhallinletkun aiheuttaman väännön vuoksi.

Naamareiden kunto vaihteli, yleensä myös yritysittäin. Hyvin huolletut vanhimmat naamarit saattoivat olla uudempiin verrattuina parempikuntoisia. Yhdessä naamarissa havaittiin runsaasti pölyä sisäänhengitysventtiilin läpässä, suunnasta josta ilma tulee suojaimeen suodattimen tai puhallinyksikön kautta.

Työpaikoilla havaittiin yksi tyyppihyväksymätön kokonaisuus, jossa eri valmistajien naamari sekä puhallinyksikkö oli liitetty toisiinsa.



Haastattelut

Testatut henkilöt olivat tehneet asbestipurkutöitä keskimäärin 7 vuotta. Kuusi henkilöä oli tehnyt purkutöitä alle vuoden, 13 henkilöä 1-5 vuotta, 11 henkilöä 8-19 vuotta ja kaksi henkilöä 20-30 vuotta.

20 henkilöä kertoi saavansa vaikuttaa, millaisia suojaimia hänelle hankitaan. 14 henkilölle oli sovitettu naamaria, jotta löytäisi sopivan mallin. Suurin osa haastatelluista kuitenkin kertoi tarkentavien kysymysten jälkeen, että suojaimia oli yleensä saatavilla kaupassa vain yhtä kokoa ja mallia ja osa ei edes tiennyt eri kokovaihtoehtoja olevan olemassakaan.

Työntekijät kertoivat yleensä huomaavansa, että puhallinlaite hälyttää. Kuusi heistä kertoi jatkavansa töitä siitä huolimatta sen vuoksi, että puhallin toimii yhä hälytyksestä huolimatta.

Suodattimina käytettiin Scott Safetyn Pro2000 PF10 -suodattimia ja niitä vaihdettiin yleensä työkohteesta riippuen hyvin vaihtelevasti. Massapurun jälkeen tiheämmin. Kukaan ei kertonut puhaltavansa suodattimia puhtaaksi paineilmalla.

Lähes kaikki käyttäjät osasivat kertomansa mukaan tarkistaa suojaimen tiiviyden omalla hengityksellään, mutta sitä tehtiin harvoin. Yhdelle henkilölle opastettiin tiiviyden tarkistus.

Kaikilla haastatelluilla oli kertomansa mukaan paikka, jossa puhdistaa ja huoltaa suojaimiansa. Niissä ei kerrottu olevan puutteita.

Hengityksensuojaimien käyttökoulutusta oli yleisimmin saatu asbestikurssilla. Viisi henkilöä ei ollut saanut omien sanojensa mukaan minkäänlaista koulutusta. Yksi henkilö oli lukenut ohjeet suojaimen käyttöohjeista.

11 henkilölle oli aiemmin tehty mittauksia suojaimen sisältä neulamennetelmällä. Neulamittaukset oli tehty joko itse tai työnjohdon toimesta. Osassa yrityksistä neulamittauksia oli tehty myös toisen asbestipurkufirman toteuttamana. Ainoastaan yksi henkilö oli aiemmin testattu PortaCount-tiivistestimenetelmällä.

Kaikkien haastatelluiden mielestä tiivistestien tekeminen on järkevää. Lähes kaikki testatut kokivat, että tiivistestit mittasivat suojaimen tiivistymistä luotettavasti. Yksi henkilö ei osannut sanoa ja yksi ei pitänyt Quantifit-menetelmää luotettavana. Tiivistesteistä PortaCount-testiä halusi käytettävän 15 henkilöä. 8 henkilöä halusi mieluummin Quantifit-testin. Muille haastatelluille ei ollut väliä kumpaa menetelmää käytettäisiin.

PortaCount-testiä puollettiin, koska testiä pidettiin helppona (ei epäonnistumista liikkeissä) sekä monipuolisempana, koska mitataan liikkeiden aikana. PortaCount tuntui osan



mielestä tarkemmalta ja järkevämmältä. Myös hiukkaspitoisuuden mittausta koettiin luotettavammaksi. Osa puolsi PortaCount-menetelmää siksi, koska se oli ainut menetelmä, jolla he läpäisivät tiivistestien. Osa PortaCount-testiä puoltavia piti Quantifit-testiä teknisesti haastavampana ja mm. huutaminen ja ravistelu koettiin yhtenä haasteena testijakoissa.

Quantifit-testiä puollettiin mm. siksi, että se tuntui mukavammalta, luotettavammalta, helpommalta ja yksinkertaisemmalta. Testiä pidettiin myös nopeampana ja, että testitulokset näkee heti vaihteittain. Yksi henkilö piti Quantifit-testiä mukavampana, koska PortaCount-testiin käytetty mittaustelppä oli mittaustilanteessa kuuma, mikä huomioitiin tuuletusaukolla tutkimuksen tuottamassa ohjeistuksessa.

Puolet haastatelluista (15 henkilöä) oli sitä mieltä, että tiivistestejä tulisi tehdä kerran vuodessa. Viiden henkilön mielestä testejä tulisi tehdä 2 kertaa vuodessa. Neljä henkilöä koki riittäväksi testaustiheydeksi 2-3 vuoden välein ja yksi viiden vuoden välein.

Tiivistesteissä suurin osa henkilöistä ei kokenut oppineensa juurikaan mitään uutta. Osa kuitenkin kertoi oppineensa, ettei heidän oma naamarinsa ole tiivis. Testeissä koettiin myös oppineen naamarin remmien kiristyksestä mm. ettei niitä saa kiristää liian kireälle. Osa havahtui, että on tärkeää olla oikean kokoinen ja oikeasti istuva naamari. Osa koki oppineensa testaustavan. Pidettiin myös järkevänä, ettei testausta tehdä neuloilla. Yksi henkilö kertoi oppineensa parran vaikutuksesta naamarin tiivistymiseen.

4.3.4 Havaitut suojaimen käyttöön liittyvät ongelmat

Työntekijöiden ymmärrys suojaanamarin käyttöön ja sen tiivistymiseen liittyviin seikkoihin oli yrityksissä vaihtelevaa. Parran heikentävää vaikutusta suojaimeen tiivistymiseen ei oltu ajateltu tai ymmärretty, eikä osa tunnu ottavan seikkaa vakavasti. Parrattomuus tulisi ottaa kriteeriksi asbestipurkutyötä tekeville. Puhaltimeen liitettynä naamarissa on ylipaine, joka voi antaa anteeksi jonkin verran naamarin sisäänvuotoja, mutta vuotavalla naamarilla ei kuitenkaan päästä sellaiseen tehokkaaseen suojaukseen, joka TM3P-luokan puhallinlaitteille on mahdollista. Asbestipurkutyössä suojaimesta on saatava irti sen optimaalinen suojausteho riittävän suojauksen varmistamiseksi. Asbestille voidaan altistua, jos naamari ei tiivisty tarpeeksi parran tai naamarin epäsopivuuden vuoksi. Viimeisin hälyttävä merkki on pölyn kertyminen suojaimeen sisälle. Tällaisista tapauksia oli kaksi testien aikana. Erityisesti tilanteessa, jossa puhaltimen hälytystä ei kuulla tai puhallin sammuu äkkinäisesti, on asbestialtistuminen mahdollista, jos naamari ei ole käyttäjälleen sopiva. TM3P-luokan puhallinsuojaimet on tarkoitettu suojaamaan myös puhaltimen ollessa toimintakyvytön. Se edellyttää, että kokonaamari on aivan tiivis, jolloin suojaimeen käyttäjä vetää ilman keuhkoillaan suodattimien ja puhaltimen ilmaletkun kautta naamarin sisään.

Eräs testatuista asbestipurkutyöntekijöistä kertoi havainneensa, kuinka suojanaamarin ylätiivisteestä pääsee pölyä naamarin sisään. Töitä oli silti jatkettu tällaisella naamarilla. Silmämääräisesti arvioituna naamari myös näytti hänen kasvoillaan pieneltä, eikä lainanaamarilakaan löydetty sopivaa kokoa. Työntekijät kertoivat yleensä saavansa valita suojaimen, mutta siitä huolimatta käytäntönä on, että työnjohtaja toimittaa naamarin työntekijälle tai työntekijät hakevat sen myymälästä itse sovittamatta. Työntekijöiden kertoman mukaan myyjillä on hyllyssä usein lähinnä yhtä mallia ja kokoa (M/L), eivätkä he olleet aina tietoisia, että muitakin malleja saatikka kokoja samasta naamarista on edes olemassa. Työnantajalla on lakisääteinen vastuu, että suojaimet sopivat heidän työhönsä.

4.3.5 Tiivistestimenetelmien vertailua

Keskimäärin PortaCount-testin tekemiseen meni aikaa noin 10–15 minuuttia, silloin kun naamari sopi käyttäjänsä kasvoille. Naamarin vuodot havaittiin myös ennen testausta, reaaliaikaisella tiivyskerroinnäytöllä. Jos jo alussa näytti, ettei suojain tiivisty kasvoille kunnon, testiä ei tehty tai kokeiltiin lainanaamaria. Testihenkilön itsensä vaikutus testiin on vähäisempi kuin Quantifitillä, jossa korostuu testattavan oma tekninen suoritus.

PortaCount-testin alkuvalmistelut veivät hieman enemmän aikaa kuin Quantifitillä. Koska testitilat olivat yleensä isohkoissa halleissa tai huoneissa, jouduttiin testejä varten kokoomaan erillinen mittaustelto riittävän hiukkaspitoisuuden saavuttamiseksi. Myös kokonaa-mareihin liitettävän adapterin ja mittausletkun asentaminen naamarin sisälle vei enemmän valmistelu-aikaa.

Quantifit-testilaitteiston kokoaminen oli nopeampaa. Naamarin esivalmistelu mittauksia varten käsitti ainoastaan sisäänhengitysventtiililäpän irrotuksen ja mittausadapterin kiinnittämisen naamariin. Myös itse Quantifit-testi oli nopeampi, jos tekniikka omaksuttiin heti ja testivaiheet saatiin läpi yhdellä yrityksellä. Tällöin testaamiseen kului aikaa noin 8–10 minuuttia. Useilla testattavilla oli kuitenkin vaikeuksia omaksua heiltä edellytetty testaus-tekniikka. Lisäksi laitteesta ei saanut aina käsitystä testivaiheen epäonnistumisen syystä. Kos syytä ei tiedetty, oli hankala päättää korjaustoimenpiteistä, joilla testitulos olisi saatu aikaan. Ainoastaan sisäänvuodot laite ilmoitti selkeästi. Testaus jouduttiin väliin toistamaan monta kertaa. Laite ei tallentanut mittauskuvaajia myöhempää tarkastelua varten, jotta syitä toistotarpeisiin olisi voitu pohtia.

Quantifitin mittausmenetelmä on hyvin herkkä, joten testattavan henkilön oma vaikutus testiin voi joissain tapauksissa korostua. Herkkyyden vuoksi esimerkiksi kaikki kasvojen liikkeet, kuten kielen liikutus ja nielaisu, mittauksen aikana voivat aiheuttaa testin hylkäyksen. Puutteellisen testattavan oman teknisen suorituksen lisäksi muita testivaiheen epäonnis-



tumisen syytä saattoi olla esimerkiksi jännittäminen, joka näkyi sykepulsseina laitteen kuvaajalla mittauksen aikana. Samoin tupakoitsijoilla verenpaineen nousu tupakoinnin jälkeen saattoi näkyä pulsseina kuvaajalla, vaikka tupakoinnista olisi aikaa.

PortaCount taas antaa reaaliaikaista tietoa hiukkasten pääsystä suojaimen sisään, mikä helpottaa johtopäätösten tekemistä testauksen etenemisestä ja nopeuttaa sitä. Testattavan osaaminen tai hengityselinten kunto ei yleensä tuota vaikeuksia testaukseen PortaCountia käytettäessä.

Osalle henkilöistä, erityisesti tupakoitsijoille, liike, jossa henkilön on oltava kumartuneena ja samalla pidättää henkeä, voi olla hankala. Kyseinen testivaihe on kuitenkin myös kriittinen testin läpäisyn kannalta. Tässä vaiheessa naamari helposti menee pois paikaltaan, jos se on huonosti puettu tai se on väärän mallinen pysyäkseen kasvoilla.

Käytettyjen lähdetietojen mukaan Quantifitin Redon-menetelmän paineolosuhteet kuvastavat hyvin raskasta työtä eli menetelmä soveltuu siltä osin asbestipurkutyön hengityksen-suojainten tiiviysmittauksiin. Kuitenkin Quantifit-menetelmä mittaa suojaimen tiiviyttä paikallaan liikkumatta ja hengittämättä, mikä taas ei kuvasta todellisia olosuhteita. PortaCount mittaa tiiviyttä liikkeiden aikana, kun suojaimen käyttäjä hengittää normaalisti ja myös syvään. Quantifit-testissä suojaimen uudelleen pukeminen ja sen toistaminen voi opettaa hyvin suojaimen oikean pukemisen ja kiinnitysremmien säädön, jos niissä on vaikeuksia. PortaCountilla naamarin pukemista ei toisteta.

Kaikkiaan molemmat testimenetelmät ovat toimivia, kunhan testattavat henkilöt ovat parrattomia, jolloin suojaimen sopivuus ei jää arvailujen varaan. Ennakoon yrityksiä oli ohjeistettu, että testaamme parrattomia henkilöitä. Käytännössä testipaikoilla havaitsimme, että yhtä yritystä lukuunottamatta asbestipurkajilla oli parta tai parransänkeä. Vastoin yleisiä tiiviystestiohjeistuksia, näissä testeissä testattiin myös henkilöitä, joilla oli partaa. Yksikään parran tai parransänkeä omaava ei päässyt molemmista testeistä läpi. Erityisesti Quantifit-menetelmällä parralliset henkilöt saivat poikkeuksetta hylkäyksen. PortaCount-menetelmä antoi parrallisille henkilöille enemmän anteeksi ja sillä saatiin myös mitattava tulos. Vaikka osa partaa tai parransänkeä omaavaa henkilöä läpäisikin PortaCount-testejä, kokonaistiiviyskertoimet jäivät alhaisemmiksi kuin muilla ja osa testivaiheista oli alle hyväksytyyn rajan (1000).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Asbestipurkajat voivat altistua asbestikuiduille, jos osastoinnin ilma ei vaihdu riittävästi, ilma ei jakaudu hyvin koko purkuosaston sisään, kohdepoistoja ei käytetä tai ne eivät toimi tai hengityksensuojaimet vuotavat. Osastoinnin tiiviys ja osastoinnin poistoilman suodatuksen tehokkuus sekä purun jälkeen osastointialueen siivous varmistavat purkualueen turvallisuutta sekä purkajille että alueen muille toimijoille tai asukkaille. Kaikkien näiden mainittujen tekijöiden tehokkuus tulee todeta mittauksin ja tarkastuksin. Kaikissa näissä tekijöissä havaittiin puutteita, joiden vähentämiseksi ja turvallisuuden edistämiseksi tutkimus tuotti kehitysehdotuksia.

5.1 Osastoinnin toimivuus

Asbestipölyn hallinnan kannalta on tärkeää, että ilma vaihtuu hyvin ja riittävän usein osastoinnin sisällä. Osastoinnin ilmanvaihto järjestetään alipaineistuslaitteella, jonka keskeiset ominaisuudet ovat suodatusteho ja ilmavirta. Korkea suodattimen erotusaste ja vuotamaton rakenne ovat välttämättömiä, jotta voidaan estää asbestikuitujen leviäminen ulospuhallusilman mukana ympäristöön ja siten ulkopuolisten altistuminen. Riittävä ilmavirta on puolestaan tarpeen vaaditun ilmanvaihtuvuuden saavuttamiseksi. Kenttämittauksissa havaittiin vuotoja noin puolessa mitatuista alipaineistuslaitteista. Suurimmillaan vuodot olivat noin satakertaisia sallittuun tasoon nähden. Nämä vuodot kyettiin havaitsemaan nopeasti reaaliaikaisilla hiukkasmittareilla. Laitteiden mitatut ilmavirrat olivat myös huomattavasti pienemmät kuin valmistajan ilmoittamat nimellisarvot. Ilman tulee vaihtua vähintään 10 kertaa tunnissa (krokidoliitin tapauksessa vähintään 20 kertaa tunnissa). Ilmavirtoja pienentävät suodattimien kuormittuminen ja laitteisiin liitettävät letkut, jotka lisäävät painehäviötä. Luotettava osastoinnin ilmanvaihtuvuuden määrittäminen edellyttääkin paikan päällä tapahtuvaa ilmavirtojen mittausta. Tätä varten hankkeessa kehitettiin tarkka ja kenttäkelpoinen ilmavirran mittausteisto, joka muodostuu standardinmukaisesta mittaus-suuttimesta ja paine-eromittarista.

Ilmanvaihtokertoimen lisäksi tärkeää on ilmanjako osastoinnin sisällä. Onnistuneen ilmanjaon ansiosta ilma vaihtuu koko työskentelyalueella, jolloin ilmanvaihto laimentaa työskentelyssä vapautuvat epäpuhtaudet nopeasti ja tehokkaasti. Kenttä- ja laboratorio-oloissa tehtyjen mittausten mukaan osastoinnin riittävä alipaine on saavutettavissa nykyisillä osastointikäytänteillä, mutta ilmanjako oli useissa tapauksissa tehotonta. Suurikaan alipaine ei takaa korvausilman jakaantumista ja hyvää huuhteluvaikutusta osastoinnin sisällä. Erityisesti suurissa tai monimuotoisissa osastointirakenteissa tehokkaampi ilmanjako saavutetaan, jos korvausilma johdetaan muutakin reittiä pitkin kuin sulkutunnelin kautta.



Mikäli tulo- ja poistoilma-aukot sijaitsevat lähellä toisiaan, voi voimakkaamman ilmavirran synnyttävä tuloilma estää kuitujen ja pölyn pääsyn alipaineistajaan, vaikka suunniteltu las-kennallinen osastoinnin ilmanvaihtokerroin toteutuisi. Tehokkaampi ilmanjako voidaan saavuttaa kahdella tapaa: joko tuomalla poistoilma-aukko mahdollisimman lähelle epäpuhtauksia tuottavaa työvaihetta tai sijoittamalla tuloilma-aukko mahdollisimman etäälle alipaineistajan poistoilma-aukosta. Mikäli alipaineistajaa ei voida sijoittaa vapaasti etäälle tuloilma-aukosta, voidaan imuaukko siirtää kierresaumaletkun avulla edullisempaan paikkaan. Tässä tavassa on kuitenkin huomioitava, että kierresaumaletku kerää asbestikuituja ja voi olla vaikeasti puhdistettavissa, joten se kannattaa suojata muovisukalla. Tuloilma voidaan johtaa osastointiin osastoinnin seinään tehdyn aukon ja siihen asennetun suodatin-kankaan kautta tai joissakin isommissa osastoinneissa palauttamalla suodatettua poistoilmaa osastointiin paineentasaimen avulla.

Tarpeettoman suuri keskimääräinen alipaine (>30 Pa) heikentää osastointirakenteiden kestävyyttä ja saattaa vetää joissain tapauksissa rakennuksen rakenteista terveydelle haitallisia epäpuhtauksia sisäilmaan. Kenttäkohteissa keskimääräiset alipaineet 10-20 Pa osoittautuivat riittäviksi säilyttämään paine-ero lainmukaisesti vähintään 5 Pa:n jatkuvana alipaineena ympäröiviin tiloihin nähden (VNa 798/2015). Osastoinnin tavoitepaine-eroksi suositellaan siis vähintään -10 Pa. Osastoinnin alipaineen todentamisessa on huomioitava oikea paine-eroletkun pään sijainti osastoinnin sisällä. Sen tulee olla vähintään 50 cm alipaineistajan kauluksesta ja sulkutunnelista, jotta mittauskohdan ilmavirta ei vääristä mit-taustulosta. Lisäksi tulee huomioida, että osastoinnin ulkopuolelle sijoitettu kohdepoistoimuri tehostaa alipaineen suuruutta, mikä korostuu etenkin pienen tilavuuden osastoin-neissa. Mikäli korvausilma johdetaan osastointiin pelkästään sulkutilan kautta, tulee huomioida, että korvausilmaläpät pääsevät aukeamaan riittävästi. Sulkutilan uloimman läppä-oven aukon koolla säädetään alipaineen suuruutta.

Asbestipurkutyoikohteissa osastoinneista ei juurikaan levinnyt asbestikuituja ympäröiviin tiloihin asbestipurkutöiden aikaan kerättyjen ilmanäytteiden mukaan yhtä kohdetta lu-kuun ottamatta. Kyseisessä kohteessa kuitujen leviämistä osastoinnin ulkopuolelle toden-näköisesti selitti osastoinnin ulkopuolelle sijoitetun kohdepoistoimurin heikentynyt suo-datuskyky. Osastoinnin ulkopuolelle sijoitettujen imuriyksikköjen toimintakunto on var-mistettava imurin huollon yhteydessä ja HEPA-suodattimen vaihdon jälkeen mittaamalla erotusasteet hiukkasille. Asbestityössä on syytä käyttää esierottimella varustettuja imu-reita. Esierotin kerää valtaosan pölystä ja siten vähentää kohdepoistoimurin kuormitusta. Esierotin sijoitetaan osastoinnin sisäpuolelle, jolloin sen pölynkeräysastian tyhjennys voi-daan tehdä osastoinnin sisällä.



Sähkökatkot aiheuttavat riskin asbestikuitujen leviämiseen osastoinnin ulkopuolelle. Purkutyökohteissa tulee etukäteen varautua niin, että jokainen tietää, miten sähkökatkojen tapaisissa häiriötilanteissa pitää toimia myös työajan ulkopuolella. Useampaa alipaineistajaa käytettäessä ne tulee kytkeä eri virtapiireihin.

Purkutyövaiheissa tulee käyttää kohdepoistoja, sillä pölyn leviämisen estämiseksi osastoinnin sisällä pöly tulee ensisijaisesti siepata sen syntykohdassa. Oikein toimivat kohdepoistot pienentävät purkutyöalueen asbestikuitu- ja pölypitoisuuksia merkittävästi. Mikäli sellaista kohdepoistoa ei voi liittää suoraan työkaluun, toinen työntekijä voi pitää sitä lähellä pölylähdettä koko purkutyön ajan. Kohdepoistoimurien käytön etuna on parempi työkohteen näkyvyys, mikä lisää työturvallisuutta. Lisäksi pölyn leviämisen rajoittaminen osastoinnin sisällä helpottaa siivousta ja vähentää siivoukseen kuluvaan aikaa. Pölyntorjunnan perusperiaatteita tulee toteuttaa myös asbestipurkutyössä huolimatta käytössä olevista hengityksensuojaimista.

5.2 Hengityksensuojaimet

Hengityksensuojainten tiivistestaukset PortaCountilla tai Quantifitilla tulee ottaa vakiokäyttännöksi työntekijöille, jotka työskentelevät purkuosastoinnin sisällä. Tässä tutkimuksessa testattiin suojanaamarin tiiviyys 32 asbestipurkajalla eli noin 1 %:lla Suomen 3000:sta asbestipurkajasta. Noin puolella testatuista oma naamari ei tiivistynyt kasvoille. Puolet testatuista purkajista, joille oma naamari sopi hyvin kasvoille (lkm 8), työskenteli samassa yrityksessä. Tutkimuksen esitesteissä tutkittiin suojanaamarien tiiviyttä 17 henkilöllä, jotka käyttivät suojanaamareita vain joskus. Heistä kuudella (35 %) oma suojanaamari ei tiivistynyt kasvoille.

Tiivistestaus ei ole lainsäädännöstä huolimatta vielä yleistynyt asbestipurkajia osastointimenetelmillä tekevillä työpaikoilla. Testatuista asbestipurkajista yhdelle oli tehty aiemmin tiivistesti PortaCountilla. 32 purkajasta 11:lle oli ainakin joskus mitattu suojaimeen sisältä asbestikuituja puhkaisemalla suojaimeen neulalla. Esitesteissä mukana olleista kahdelle oltiin aiemmin tehty tiivistesti PortaCountilla. Ilmaisista lakisääteistä testeistä huolimatta kaikki kohdeyritysten työntekijät eivät tulleet testeihin.

Testatuista ja haastatelluista asbestipurkajista vain yhdelle piti opettaa, kuinka suojanaamarin tiiviyys tulee kokeilla omalla hengityksellä ennen työn alkua. Loput 31 purkajaa osasi sen tehdä, mutta silti noin puolella purkajista oli naamari, joka ei tiivistynyt kasvoille, vaikka purkajien mukaan suurin osa heistä olisi saanut vaikuttaa suojaimeen hankintaan. Naamarin tiiviyden kokeilu omalla hengityksellä ei siis ole riittävän tehokas keino varmistamaan, että jokaisella on kasvoille istuva suojaimeen.



Tiivistestaus on itse testaamisen lisäksi myös opetustilanne etenkin silloin, kun suojain ei istu kasvoille. Testattu ymmärtää kasvoille istuvan suojaimen merkityksen. Suojain on järkevää myös tarkastaa testauksen ohessa: kunto, puhtaus ja tyyppitarkastuksen mukaisuus silmämääräisesti. Tyyppitarkastamattomia suojaimia ei saa hyväksyä käyttöön työpaikoilla.

Suojanaamarien hankinnassa haastattelujen aikana esiintulleena vaikeutena oli, että suojanaamarien myyjät tarjoavat ensi sijassa vain yhtä kokoa ja mallia ostettavaksi. Suojanaamareiden eri kokoja ja malleja ei päässyt kokeilemaan hankintavaiheessa.

Vääränmallinen ja -kokoinen, huonosti kasvoilla istuva suojain antaa valheellisen käsityksen suojautumisesta. Asbestipurkajien oikeanmallisen ja -kokoisen kokonaamarin valinta ja tiivistestaus on ehdottoman tarpeellista. Ihmisten kasvojen muoto ja koko ovat erilaisia, joten on hyvin epätodennäköistä, että sama suojain sopii kaikkien kasvoille. Tiivistestauksella asbestialtistumista on mahdollista ennaltaehkäistä. Jälkikäteiset mittaukset naamarin sisältä neulamenetelmällä ovat myöhäistä reagointia ja asbestialtistumista on voinut jo tapahtua vääränlaisella hengityksensuojaimella. Neulalla rei'itetty suojain ei ole enää tyyppi-hyväksytty suojain, eikä sellainen suojain läpäissyt näissä testeissä Quantifit-testiä.

Kirjallisuustietojen mukaan tiivistestin hyväksytyksi suorittaminen antaa edellytykset sille, että työn aikana suojaimen suojauskyky on hyvä, kun koulutettu suojaimen käyttäjä käyttää suojaintaan koko ajan oikein. Suojain ei kuitenkaan anna täydellistä suojaa, joten kaikki muut lakisäätteiset ja tässä raportissa esitetyt asbestipurkutyön turvallisuuteen liittyvät toimenpiteet ovat tarpeen asbestipurkajien suojaamiseksi.

Molemmat tiivistestimenetelmät soveltuvat asbestipurkajien suojainten tiivistesteihin. Koska menetelmät perustuvat eri fysikaalisten suureiden mittaamiseen, ne antavat erilaisia tuloksia. On mahdollista tehdä laajahko jatkotutkimus, jolla säädetään laitteiden teknisiä parametreja siten, että tulokset ovat lähempänä toisiaan. Yksi tämänsuuntainen yksinkertainen keino, olisi suurentaa PortaCountin tiiviyskertoimen hyväksymisraja 2000:een, mikä esimerkiksi Yhdistyneessä Kuningaskunnassa vaaditaan (Health and Safety Executive, OC 282/28). Molemmilla menetelmillä saadaan vakavimpia suojainten sisäänvuototapauksia kuitenkin karsittua työpaikoilla. Ennen kuin hioa jo pitkään muualla käytettyjä tekniikoita, oleellista on, että kaikkien asbestipurkajien suojanaamareiden tiiviyden testataan heidän kasvoillaan.

Suojanaamarien tiivistestaus tulee levittää kaikille työpaikoille, joissa suojanaamareita käytetään liiallisten ilman epäpuhtauksien vähentämisessä. Tätä varten Suomeen tulee saada lisää päteviä hengityksensuojainten tiiviyden testaajia. Parrattomuus tulee ottaa kriiteeriksi suojanaamareiden käyttäjille. Työsuojelutarkastajien tulee puuttua suojainten valinnan, käytön ja suojainten tehokkuuden valvonnan puutteisiin työpaikoilla. Suojainten jälleenmyyjillä tulisi olla tarjolla enemmän erimallisia ja -kokoisia naamareita, jotta kaikki



löytäisivät itselleen sopivan. Työnjohtajien ja työntekijöiden tulee osata sellaista myös pyytää. Asbestipurkukursseilla tulee kiinnittää myös enemmän huomiota hengityksensuojainten valinta- ja käyttökoulutukseen.



6 SUOSITUKSET

Tutkimuksessa luotiin malliratkaisuja, joiden avulla työntekijöiden ja muiden ihmisten asbestialistuminen voidaan ennaltaehkäistä. Nämä malliratkaisut ovat (liitteet 4 a-f):

- Yleistä asbestipurkutöistä ja niihin liittyvistä ongelmista
- Osastoinnin rakenne ja alipaine
- Osastoinnin ilmanvaihto
- Tarkistuslista turvalliseen asbestipurkutyöhön osastointimenetelmällä
- Puhdastilamittaus
- Hengityksensuojainten tiiviystestit

Jatkossa tulee varmistaa, että nämä malliratkaisut otetaan aktiiviseen käyttöön tulostamalla ja jakamalla niitä työmailla ja linkittämällä niitä asbestityön turvallisuutta käsitteleville internet-sivuille. Kaikkien alalla toimivien tahojen, kuten isännöitsijöiden, korjausrakennuttajien ja viranomaisten tietotasoa tulee lisätä, jotta valvonta toimisi nykyistä paremmin. Tutkimuksen tulokset tulee ottaa huomioon myös asbestipurkajien sekä AHA- ja rakennusterveysasiantuntijakoulutusten sisältöjä kehitettäessä.

Tässä hankkeessa tuotettiin tutkimusnäyttöön perustuvat ja käytännössä toimivat ratkaisut turvalliseen asbestipurkutyöhön osastointimenetelmällä. Muiden asbestipurkuun käytettävien menetelmien turvallinen käyttö kaipaisi myös tutkimusta ja ohjeistusta.

Asbestipurkutyön turvallisuuden ja riskienhallinnan lähtökohtana on hyvin toteutettu asbestikartoitus. Hankkeen aikana viranomaiset, asbestipurkutyöurakoitsijat ja muut alan toimijat ovat korostaneet asbestikartoituksen roolia asbestipurkutyön turvallisuuden kehittämässä. Nykyisin asbestikartoitukseen liittyy suuria puutteita ja siten selvitystarpeita.

Lainsäädännön mukaan ennen vuotta 1994 rakennetuissa taloissa ei saa purkaa mitään ilman kattavaa asbestikartoitusta. Kartoituksen tekijän on oltava syvällisesti perehtynyt asbestiin, sen esiintymiseen ja rakenteiden purkamiseen. Laiminlyödyn tai puutteellisen asbestikartoituksen takia ihmiset voivat altistua asbestille tietämättään. Tämän takia oma- ja viranomaisvalvontaa tulisi lisätä ja kartoituksia tulisi teettää ainoastaan sertifioiduilla AHA- tai rakennusterveysasiantuntijoilla.



Asbestikartoituksiin liittyy rakennusmateriaalinäytteiden ottoa ja analysointia. Näytteenotto vaatii asiantuntemusta eikä sitä saa tehdä kuka tahansa. Erityisesti näytteiden analysointi on vaativaa toimintaa ja sitä tulisi tehdä ainoastaan riippumattoman tahon päteviksi osoittamat eli akkreditoidut laboratoriot.

Paineentasain osoittautui laboratoriotutkimuksissa toimivaksi menetelmäksi osastoinnin ilmanvaihtuvuuden varmistamisessa ja paine-eron pitämisessä tavoitetasossa. Nykyistä paineentasaintekniikkaa voisi jatkokehittää niin, että se soveltuisi kaikenkokoisiin osastointeihin. Tämä tekniikka voisi olla osaratkaisu epäpuhtauksia tehokkaasti poistavaan, häiriöttömään ja energiatehokkaaseen ilmanjakoon. Tehokkaan ilmanjaon toteuttaminen eri muotoisissa ja -kokoisissa osastoinneissa vaatii muutenkin lisätutkimusta. Tätä tietoa voitaisiin hyödyntää korjausrakentamisessa laajemminkin.

Tämän hankkeen tuloksena on tutkimusnäyttöön perustuen esitetty vaatimukset osastoinnin alipaineisuudelle ja toteutusratkaisut hyvälle ilmanjaolle. Osastoinnin ilmanvaihtuvuudelle on myös annettu ohjeet, 10 l/h tai krokidoliittipurkutyössä 20 l/h. Osastoinnin koosta riippumatta jatkossa tulisi kuitenkin selvittää vähimmäisilmavirta huomioimalla purkutyön epäpuhtauksien päästönopeus.

Nykyisessä asbestiasetuksessa annettua osastoinnin paine-erovaatimusta -5 pascalia tulisi tämän tutkimuksen tulosten perusteella tiukentaa -10 pascalin paineeseen. Asetuksessa mainitaan myös, että osastoinnin saa purkaa, jos asbestikuitupitoisuus ei sen sisällä ylitä arvoa 0,01 kuitua/cm³ ilmaa. Tämä tarkoittaa sitä, että jossain tapauksissa hyväksytään kuitujen löytyminen näytteistä. Tämän takia vaatimuksena pitäisi olla, että ilman kuitupitoisuus on alle menetelmän määrittäjärajan eli alle 0,01 kuitua/cm³ ilmaa.

Tämän tutkimuksen toivotaan herättävän työpaikkojen, viranomaisten ja työturvallisuusasiantuntijoiden huomion hengityksensuojainten tiivistestauksen tarpeellisuudesta. Jollei tutkimuksella ole tällaista vaikutusta, tulee suojainten kasvoille tiivistymisen tutkimusta jatkaa eri aloilla, joilla suojanaamareita käytetään liiallisen ilman epäpuhtauksille altistumisen estämiseksi. Esimerkiksi suodattavien puolinaamarien kasvoille tiivistymisen tutkimukset ovat herättäneet keskustelua muissa maissa (Fjälström 2009). Hengityksensuojainten tehokasta käyttöä ja käytettävyyttä tulee myös tutkia muilla osa-alueilla, joissa havaittiin puutteita tässä tutkimuksessa.

Tutkimuksen tiivistesteissä asbestipurkajien omista suojanaamareista noin puolet vuotivat ilmaa sisälleen. Tiivistestissä vuotava suojain tarkoittaa käytössä suojainta, jonka sisään voi päästää ilmaa, joka ei kulje suodattimen kautta. Asbestipurkuosaston sisällä vuotavan suojanaamarin käyttö voi tarkoittaa asbestille altistumista. Asbestipurkajien suojainten tiivistestausta on tehostettava, jotta se tavoittaisi kaikki purkajat. On todennäköistä,



että muilla työpaikoilla suojanaamarit vuotavat vastaavasti. Tiiviystestaus tulee säätää pakolliseksi myös muilla työpaikoilla, joissa käytetään suojanaamareita liian altistumisen ehkäisemiseksi. Asia tulee ottaa esiin muutettaessa direktiiviä 89/656/ETA, johon valtioneuvoston päätös henkilönsuojainten valinnasta ja käytöstä työssä, 1993/1407, pohjautuu.

LÄHTEET

Akbar-Khanzadeh F, Milz S, Ames A et al. 2007. Crystalline quartz dust and respirable particulate matter during indoor concrete grinding – wet grinding and ventilated grinding compared with uncontrolled conventional grinding. *J Occup Environ Hyg* 4: 770–779.

Akbar-Khanzadeh F, Milz S, Wagner C et al. 2010. Effectiveness of dust control methods for crystalline quartz and respirable suspended particulate matter exposure during manual concrete surface grinding. *J Occup Environ Hyg* 7: 700–711.

Aluehallintovirasto, Työsuojelun vastuualue (2015). Tiedote yrityksille: Asbestilainsäädäntö muuttuu vuoden 2016 alusta.

Asetus 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

Asetus 798/2015. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta.

ASTM International. (2007) E741-00 Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.

Best K Quantifit time Challenge, vierailtu 4.12.2017,
<https://www.youtube.com/watch?v=lsecppclv44>

Chazelet S ym. 2018. Workplace respiratory protection factors during asbestos removal operations. *Ann Work Exp Health* 62: 613-621.

Crutchfield DC, Rairbank EO, Greenstein SL, 1999. Effect of test exercises and mask donning on measured respirator fit, *Appl Occup Environ Hyg* 14: 827-837.

Crutchfield CD, Pham TK, Van Ert MD, 1993. Determination of inspiratory pressures and flow rates for work rate-dependent quantitative respirator fit testing, *Appl Occup Environ Hyg* 8: 103-107.

Coffey CC, Campbell DL, Myers WR et al. 1998. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in a simulated health care environment: Part II – Protocol development, *Am Ind Hyg Assoc J* 59: 852-869.

Coffey CC, Campbell DL, Myers WR et al. 1998. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in a simulated health care environment: Part II – Method comparison testing, *Am Ind Hyg Assoc J* 59: 862-870.

Coffey CC, Campbell DL, Myers WR, 1999. Comparison of six respirator fit-test methods with an actual measurement of exposure in a simulated health care environment: Part III – Validation, *Am Ind Hyg Assoc J* 60: 363–366.

Croteau G, Guffey S, Flanagan M et al. 2002. The effect of local exhaust ventilation controls on dust exposures during concrete cutting and grinding activities. *Am Ind Hyg Assoc J* 63: 458–467.

Croteau G, Flanagan M, Camp J et al. 2004. The efficiency of local exhaust ventilation for controlling dust exposures during concrete surface grinding. *Ann Occup Hyg* 48: 509–518.

EN 12942+A1+A2:2009 Hengityksensuojaimet. Puhaltimella varustetut suodatinlaitteet, jotka sisältävät koko-, puoli- tai neljäsosanaamarin. Vaatimukset, testaus, merkintä, European Committee for Standardization, CEN, 2009, Bryssel, Belgia.

EU 425/2016, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (eu) 2016/425 henkilönsuojaimista ja neuvoston direktiivin 89/686/ETY kumoamisesta.

Fjällström P, Wängberg I, Christensson B, Hur effektivt skyddard andningskydd i praktiken? IVL rapport B1876, Svenska Miljöinstitutet 2009, ss. 40.

Fransman W, Schinkel J, Meijster T et al. 2008. Development and evaluation of an exposure control efficacy library (ECEL). *Ann Occup Hyg* 52: 567–575.

Hayden C, Johnston O, Hughes R et al. 1998. Air volume migration from negative pressure isolation rooms during entry/exit. *Appl Occup Environ Hyg* 13: 518–527.

Health and Safety Executive, Operational Circular OC 282/28, Fit testing of respiratory protective equipment facepieces. http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/ocs/200-299/282_28.pdf

Hengityслиitto. 2019. Hengityслиiton verkkopalvelu, Asbestisairaudet. Saatavilla: <https://www.hengityслиitto.fi/fi/hengityssairaudet/asbestisairaudet> (Luettu 25.2.2019)

ISO/TS 16976-1:2015 Respiratory protective devices -- Human factors -- Part 1: Metabolic rates and respiratory flow rates, ISO International Organization for Standardization, Vernier, Geneva, Switzerland, <https://www.iso.org>

ISO 5801:2017 Fans. Performance testing using standardized airways. ISO International Organization for Standardization, Vernier, Geneva, Switzerland.

Janssen LL et al. 2002. Comparison of three commercially available fit-test methods. *Am Ind Hyg Assoc J* 63: 762–767.

Kokkonen A, Linnainmaa M, Säämänen A et al. 2019. Control of dust dispersion from an enclosed renovation site into adjacent areas by using local exhaust ventilation. *Ann Work Exp Health*; doi:<https://doi.org/10.1093/annweh/wxz016>

Kokkonen A, Linnainmaa M, Koski H ym.: Pölyntorjunta korjausrakentamisessa. Loppuraportti Tekesille hankkeesta Epäpuhtauksien hallinta saneeraushankkeissa: Puhdas ja turvallinen saneeraus (PUTUSA), Itä-Suomen yliopisto, Työterveyslaitos ja VTT, Kuopio, 2013. http://epublications.uef.fi/pub/urn_isbn_978-952-61-1052-3/urn_isbn_978-952-61-1052-3.pdf

Koskela K, Lehtimäki J, Toivio P ym. 2017. Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2014 Työperäisten sairauksien rekisteriin kirjatut uudet tapaukset. Työterveyslaitos 2017.

Kulmala I, Taipale A, Heinonen K. 2001. Asbestitoissa käytettävien koneiden ja laitteiden testausmenetelmän kehittäminen. Raportti TUR B028.

Linnainmaa M. 2018 b. Asbestille altistumista tulisi valvoa entistä tehokkaammin. *Helsingin Sanomat* 7.4.2018, s. C 17.

Linnainmaa M. 2018 a. Kemikaalit ja työ -internetsivusto: Asbesti. <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/asbesti/>

Oksa P, Linnainmaa M, Mäkelä E ym. Asbesti rakennustyössä - Mitä jokaisen rakentajan, isännöitsijän, kiinteistönhuoltajan ja asukkaan tulee tietää asbestista, Työterveyslaitos 2016. <http://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/11/asbesti-rakennustyossa.pdf>

Rakennusalan koordinaatioryhmä 2017. Valtioneuvoston asetus asbestityön turvallisuudesta, soveltamisohje. 11.4.2017.

RATU 2010. Ratu 82-0347, Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Menetelmät.

SLIC. 2006. Euroopan johtavien työsuojelutarkastajien komitea. Hyvien toimintatapojen käytännön opas asbestiin liittyvien riskien ehkäisemiseksi tai minimoimiseksi työssä, jossa esiintyy (tai saattaa esiintyä) asbestia: työnantajille, työntekijöille ja työsuojelutarkastajille. Euroopan komissio, Työllisyys-, sosiaali- ja tasa-arvoasioiden pääosasto.

Sosiaali- ja terveysministeriö (STM). 2018. HTP-arvot 2018 -Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2018:9. Helsinki.

Tang JW, Eames I, Li Y et al. 2005. Door opening can potentially lead to a transient breakdown in negative-pressure isolation conditions: the importance of vorticity and buoyancy airflows. *J Hospital Infections* 61: 283–286.

Työsuojelu.fi, Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, Asbestipurkutyöluupa, vierailtu 28.11.2017 <http://www.tyosuojelu.fi/tietoa-meista/asiointi/luvut-ja-ilmoitukset/asbesti>

Työsuojelu.fi, Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, Henkilönsuojaimet, vierailtu 28.11.2017
<http://www.tyosuojelu.fi/markkina-avalvonta/henkilonsuojaimet>

Työsuojelu.fi. 2018. Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, Rakennusala: Asbesti. Saatavilla:
<https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti> (Luettu 25.2.2019)

Työsuojelu.fi, Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu, Työsuojeluviranomaisen toiminta, vierailtu 28.11.2017
<http://www.tyosuojelu.fi/tietoa-meista/toiminta>

Työterveyslaitos. 2019. Työterveyslaitoksen verkkopalvelu, Asbestin aiheuttama keuhkosyöpä ja mesoteliooma. Saatavilla: <https://www.ttl.fi/tyontekija/ammattitaudit/asbestin-aiheuttama-keuhkosyopa-ja-mesoteliooma/> (Luettu 25.2.2019)

Työturvallisuuskeskus 2011. Toimiva asbestipurku. Työturvallisuuskeskus, TTK, rakennus- ja purkujohtoalan työalatoimikunta, 2011.

Työturvallisuuslaki 738/2002.

United States, Department Of Labour, Occupational Safety and Health Administration. Respiratory fit testing. https://www.osha.gov/video/respiratory_protection/fittesting.html

Vnp 1406/1993.

Vnp 1407/1993.

Young-Corbett D, Nussbaum M. 2009. Dust control effectiveness of drywall sanding tools. J Occup Environ Hyg 6: 385–389.

Zhuang Z et al. 2003. Correlation between quantitative fit factors and workplace protection factors measured in actual workplace environments at a steel foundry. Am Ind Hyg Assoc J 64: 730-738.

LIITTEET

- 1) Kyselytutkimuslomake
- 2) Kohdekohtaiset raportit
 - 2 a) Linjasaneeraus: Asbestipurkutyöt märkätiloissa
 - 2 b) Linjasaneeraus: Asbestipurkutyöt huoneistoissa
 - 2 c) Massaputkieristeen purku kellaritunnelissa
 - 2 d) Massaputkieristeen purku lämmönjakohuonessa
- 3) Hengityksensuojainten tiiviystestauksen tarkastus- ja haastattelulomake
- 4) Malliratkaisut asbestipurkutöihin
 - 4 a) Yleistä asbestipurkutöistä ja niihin liittyvistä ongelmista
 - 4 b) Osastoinnin rakenne ja alipaine
 - 4 c) osastoinnin ilmanvaihto
 - 4 d) Tarkistuslista turvalliseen asbestipurkutyöhön osastointimenetelmällä
 - 4 e) Puhdastilamittaus
 - 4 f) Hengityksensuojainten tiiviystestit



LIITE 1

AsbTest-tutkimus hanke

Asbestipurkutyöntekijä:
Yritys:

Lomakkeen täyttö pvm _____

ASBESTIPURKUTYÖN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Mitkä asbestipurkumenetelmät ovat työssäsi käytössä?

Rengasta vastauksesi kunkin tekijän kohdalle. Tarkenna vastaustasi tarvittaessa.

1. Käytettävät asbestipurkutyön työmenetelmät	Vastaus 0 = ei käytössä 1 = on käytössä x = ei tietoa	Tarke nnuksia (tarvittaessa)
1.1 Osastointimenetelmä	0 1 x	
1.2 Purkupussimenetelmä	0 1 x	
1.3 Kohdepoistomenetelmä	0 1 x	
1.3.1 Työpistekohtainen	0 1 x	
1.3.2 Työkoneeseen kytketty	0 1 x	
1.4 Asbestituotteiden irrottaminen kokonaisena	0 1 x	
1.5 Upotusmenetelmä	0 1 x	
1.6 Märkäpurkumenetelmä	0 1 x	
1.7 Muu mikä?		

Mitkä osastointimenetelmään liittyvät tavat on käytössä.

Rengasta vastauksesi kunkin tekijän kohdalle. Tarkenna vastaustasi tarvittaessa.

2. Osastointimenetelmän toteutustavat ja toimivuuden varmentaminen	Vastaus 0 = ei käytössä 1 = on käytössä x = ei tietoa	Tarke nnuksia (tarvittaessa)
2.1 Osastoinnin toteutustapa		
2.1.1 Rakennuksessa jo olemassa olevia rakenteita	0 1 x	
2.1.2 Levyrakenteita	0 1 x	
2.1.3 Muovikalvoja	0 1 x	
2.1.4 Osastoivia ovia	0 1 x	
2.2 Sulkutilan toteutustapa (osastointiin johtavan sulkutilan osajako, koko):		
2.2.1 Rakennuksessa jo olemassa olevia rakenteita	0 1 x	
2.2.2 Levyrakenteita	0 1 x	
2.2.3 Muovikalvoja	0 1 x	
2.2.4 Osastoivia ovia	0 1 x	



2.3 Osastoinnin alipaineistus			
2.3.1 Osastoinnin paine-eron tavoitearvo ympäröiviin tiloihin nähden	Pa	x	
2.3.2 Laitteet ja niiden toimittajat:			
2.3.3 Osastoinnissa paine-eron seuranta mittari, joka hälyttää häiriötilanteissa	0	1	x
2.3.4 Miten paine-eron seurannan hälytykseen reagoidaan?			
2.4 Korvausilma johdetaan osastointiin hallitusti korvausilma-aukkojen kautta	0	1	x
	Korvausilma-aukkojen sijainti?		
2.5 Ilmankäsittelylaitteiden toimintakunnon varmistaminen mittauksin	0	1	x
	Mittaustapa (esim. tilavuusvirta, suodattimien kuormitus) ja tiheys?		
2.6 Ilmankäsittelylaitteiden huoltotilat			
2.6.1 Ilmankäsittelylaitteilla erilliset huoltotilat	0	1	x
2.6.2 Alipaineistetut huoltotilat	0	1	x
	Paine-ero (Pa)?		
2.6.3 Huoltotiloissa kohdepoistot	0	1	x

Mitkä työtekijöiden suojautumis- ja välineiden puhdistustavat on käytössä?

Rengasta vastauksesi kunkin tekijän kohdalle. Tarkenna vastaustasi tarvittaessa.

Avokysymyksissä vastaa mahdollisimman tarkasti.

3. Suojautuminen ja välineiden puhdistus	Vastaus 0 = ei käytössä 1 = on käytössä x = ei tietoa	Tärkeimmät (tarvittaessa)		
3.1 Suojapuvut				
3.1.1 Pölyiltä suojaava	0	1	x	Valmistaja ja puvun nimi?
3.1.2 Pestävä suojapuku	0	1	x	Valmistaja ja puvun nimi?
3.1.3 Muu suojapuku	0	1	x	Mikä, valmistaja ja puvun nimi?
3.1.4 Suojapuvun alla alushaalarit	0	1	x	Muu mikä?
3.2 Käytettävät hengityksensuojaimet				
3.2.1 Kokonaamari + puhallin + suodattimet	0	1	x	Käyttökohde?
3.2.2 Kokonaamari +	0	1	x	Millainen paineilmalaitte käytössä?
3.2.3 Kokonaamari + suodattimet	0	1	x	Käyttökohde?
3.2.4 Muu suojaain, mikä?				



3.3 Hengityksensuojaimen tiiviyn tarkistamisen käytänteet				
3.3.1 Hengityssuojaimen tiiviyn tarkistaminen	0	1	x	Testaustiheys?
3.3.2 Tiiviyn kokeilu omalla hengityksellä	0	1	x	Testaustiheys? Missä testataan?
3.3.3 Työntekijä kohtainen alipainetiivistystestaus Quantifit-laitteella	0	1	x	Testaustiheys? Missä testataan?
3.3.4 Työntekijäkohtainen tiivistystestaus PortaCount-laitteella (mittaamalla hiukkasia)	0	1	x	Testaustiheys? Missä testataan?
3.3.5 Asbestikuitumittaus asbestityökohteessa suojaimen sisä- ja ulkopuolelta	0	1	x	Testaustiheys?
3.4 Hengityksensuojain käytännöt				
3.4.1 Jokaisella työntekijällä on oma hengityksensuojain	0	1	x	Yhteiskäytössä, mitkä?
3.4.2 Hengityksensuojaimen ulkopinnat puhdistetaan imuria/paineilmaa käyttämällä	0	1	x	Tiheys? Imurilla vai paineilmalla?
3.4.3 Hengityksensuojaimen pestävät osat pestään ja loput pyyhitään ulkopinnalta	0	1	x	Tiheys?
3.4.4 Hengityssuojaimen suodattimille on määritetty enimmäiskäyttöikä. Lisäksi ne vaihdetaan aina, kun suojain hälyttää.	0	1	x	Suodattimien enimmäiskäyttöikä?
3.4.5 Hengityksensuojainten eheys ja toimivuus tarkistetaan mittaamalla alipaineella suojain kumipäähän puettuna	0	1	x	Tiheys?
3.4.6 Teidät on ohjeistettu keskeyttämään työ heti, jos hengityksensuojain hälyttää, sekä seuraamaan hälyttäväkö suojain.	0	1	x	



3.5 Työntekijöiden puhdistautumisen järjestämisen käytänteet				
3.5.1 Suojavaatteiden vaihto asbestipurkutyöalueelta poistuttaessa	0	1	x	Sulkutilassa vai muualla, missä?
3.5.2 Suojavaatteiden puhdistus imuroimalla/paineilmalla ennen riisumista	0	1	x	Sulkutilassa vai muualla, missä? Imuroimalla vai paineilmalla?
3.5.3 Jätessäkki varattuna kertakäyttöisiä suojavausteita varten	0	1	x	Sulkutilassa vai muualla, missä?
3.5.4 Suihku peseytymiseen	0	1	x	Sulkutilassa vai muualla, missä?
3.5.5 Muut peseytymisvälineet	0	1	x	Mitkä? Sulkutilassa vai muualla, missä?
3.5.6 Muuta?				
3.6 Suojapukujen puhdistamisen käytänteet				
3.6.a Kertakäyttöiset suojapuvut				
3.6.1 Puetaanko kertakäyttöinen suojapuku ylle useammin kuin kerran ennen sen hävitystä?	0	1	x	Useammin, montako kertaa?
3.6.b. Pestävät suojapuvut				
3.6.2 Kuinka monta kertaa sama pestävä suojapuku puetaan ylle ennen sen pesua?		krt	x	
3.6.3 Kuinka monta kertaa sama pestävä suojapuku pestää ennen sen hävitystä?		krt	x	
3.6.4 Suojapuvut pestään työpaikalla	0	1	x	
3.6.5 Suojapuvut pestään pesulassa	0	1	x	
3.6.6 Muuta? Alushaalarien, alusvaatteiden, työvaatteiden pesu?				
3.7 Työvälineiden puhdistamisen käytänteet				
3.7.1 Työvälineiden puhdistamiseen erilliset huoltotilat	0	1	x	
3.7.2 Alipaineistetut huoltotilat	0	1	x	Paine-ero (Pa)?
3.7.3 Työvälineiden puhdistaminen purkutyövaiheen päätyttyä	0	1	x	
3.7.4 Muuta?				



Mitkä asbestijätteen käsittely- ja siivoustavat on käytössä?

Renngasta vastauksesi kunkin tekijän kohdalle. Tarkenna vastaustasi tarvittaessa.

Avokysymyksissä vastaa mahdollisimman tarkasti.

4. Asbestijätteen käsittely ja	Vastaus	Tarkennuksia (tarvittaessa)
4.1 Jätteiden kuljetuksen käytänteet purkutyöalueelta		
4.1.1 Asbestijätteitä sisältävät jättesäkit siirretään puhtaisiin jättesäkkeihin ennen osastosta poiskuljetusta	0 1 x	
4.1.2 Jättesäkkien kuljetusta varten suljettavat jätekärryt - tai vaunut	0 1 x	
4.1.3 Jättesäkkien kuljetuksessa alipaineistettu purkukuilu ja jätekontti käytössä	0 1 x	
4.1.4 Muu tapa?	0 1 x	Mikä?
4.2 Siivouskäytänteet purkutyön aikana		
4.2.1 Purkutyön aikana tehdään välisiivouksia	0 1 x	Tiheys? Laitteet?
4.2.2 Purkutyön aikana imuroidaan pintoja	0 1 x	Tiheys? Laitteet?
4.2.3 Muuta?		
4.3 Loppusiivouksen tekijä purkutyön päätyttyä		
4.3.1 Suorittaako asbestipurkutyöntekijä loppusiivouksen vai joku muu, kuka?		
4.3.2 Loppusiivouksen tekijällä suojaruusteet	0 1 x	Mitä?
4.4 Loppusiivouksen vaiheet		
4.4.1 Kaikkien pintojen imurointi	0 1 x	Laitteet?
4.4.2 Imuroinnin toistaminen	0 1 x	
4.4.3 Kosteapyyhintä	0 1 x	
4.4.4 Vesipesu	0 1 x	

LAADUN VARMENNUS

Mitkä puhtauden varmistamisen tavat on käytössä.

Vastaa **avokysymyksiin** mahdollisimman tarkasti.

5. Puhtauden varmistaminen
5.1 Purkualueen puhtauden varmistaminen purkutyön ja loppusiivouksen jälkeen
5.1.1 Millä tavalla varmistatte purkutyöalueen puhtauden purkutyön ja loppusiivouksen jälkeen?
5.1.2 Keräättekö näytteet itse vai joku ulkopuolinen asiantuntija?

KIITOS!

LINJASANEERAUS: ASBESTIPURKUTYÖT MÄRKÄTILOISSA

1 TUTKIMUSKOHDE, OLOSUHTEET JA TUTKITUT TYÖVAIHEET

Tutkimuskohteena oli LVIS-saneerattava viisikerroksinen kerrostalo, jossa on asuntoja kolmessa rappussa. Tutkimuksen aikaan kohteessa oli käynnissä asbestipurkutytöt huoneistoissa, joissa asbestia oli muun muassa märkätilojen lattiarakenteiden bitumisissa kosteus- ja vesieristeissä ja märkätilojen seinälaatoitusten kiinnityslaasteissa. Asbestikartoitus oli tehty 27.9.2017.

Saneeraukset toteutettiin yksi rappu kerrallaan. Työ eteni rappussa ylhäältä alas, ja työt olivat käynnissä noin viidessä osastoinnissa kerrallaan työntekijöiden lukumäärästä riippuen. Osastointi toteutettiin huoneistokohtaisesti tekemällä kolmiosainen sulkutunneli (osakoko 0,65 m × 0,65 m × 1,95 m) puurimoista ja muovikalvoista muovisin läppäövin suoraan kylpyhuoneen ovelle pienemmissä huoneistoissa (huoneistot A8, A11). Huoneisto (A15), jossa asbestipurkutytötä tehtiin sekä kylpyhuoneissa että wc-tiloissa, osastoitiin isommiksi kokonaisuuksiksi (Liite 1). Alipaineistus tuotettiin yhdellä alipaineistajalla (Lifa Air Hepa Clean 1100) huoneistokohtaisesti, ja mitoitusohjeena oli ilmanvaihtuvuus 10 l/h. Turvallisuussuunnitelman mukaan paine-eron tavoitearvoksi oli asetettu vähintään -10 Pa purkutöiden alkaessa.

Alipaineistaja asetettiin ensisijaisesti oven yläosaan (A8, A15). Mikäli se ei ollut mahdollista, alipaineistaja sijaitsi oven alaosassa (A11). Korvausilma johdettiin osastointiin sulkutunnelin läpi, ja alipaineen määrää säädeltiin uloimman läpän avulla. Osastointien tilavuudet olivat 5,2 m³ (A8), 5,7 m³ (A11) ja 23,4 m³ (A15).

Työvaiheina mittausten aikaan oli seinä- ja lattiakaakeleiden piikkaaminen (Hilti TE 500-AVR, TE 1000 AVR) ja seinätaoiteiden poisto timanttihiontana käsihiomakoneella (Hilti). Käsihiomakoneeseen oli liitetty kohdepoisto (Dust control DC Tromb 400). Kohdepoistoimuri (HEPA-suodatus) sijaitsi osastoinnin ulkopuolella. Samaa imuria käytettiin myös puhdistautumisessa työntekijän poistuessa osastoinnista. Piikkausvasaraan ei oltu liitetty kohdepoistoa.

Kussakin osastoinnissa asbestipurkua teki yksi työntekijä. Työntekijät käyttivät kertakäyttöisiä suojahaalareita (tyyppi 5/6), suojakäsineitä ja kenkäsuojia. Jokaisella työntekijällä oli käytössään puhaltimella, kokonaamarilla ja pölynsuodattimilla varustetut hengityksensuojaimet, tehokkuusluokka TM3P. Yhdellä työntekijällä hengityksensuojain oli koottu usean valmistajan osista, joten se ei ollut tyyppihyväksytty.

Mittauksilla selvitettiin osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta (huoneistot A8, A11, A15) sekä asbesti- ja pölypitoisuuksia osastoinnin sisällä ja sen ulkopuolella (huoneisto A15). Mittaukset suoritettiin 25.–27.4.2018.



Kuva 1. Osastoinnin sisäpuoli. Alipaineistaja sulkutunnelin katolla.



Kuva 2. Sulkutunnelin läppäovirakenne ja korvausilma-aukko (noin 100 cm²). Osastoinnin sisällä käytetty imuri sijoitettu osastoinnin ulkopuolelle. Vasemmalla mittauspiste huoneistossa.



Kuva 3. Imurin letku työntekijän puhdistautumista varten johdettu osastoivan rakenteen läpi sulkutunnelin sisimpään osaan.



Kuva 4. Mittauspiste osastoinnin sisällä kylpyhuoneen edessä.



Kuva 5. Mittauspiste osastoinnin sisällä wc-tilan edessä.

2 MENETELMÄT

2.1 Alipaineistajan toimivuus

Alipaineistajien mahdolliset vuodot ja hiukkaserotusasteet mitattiin hiukkaslaskurilla Palas Fidas Frog.

Erotusasteet mitattiin ottamalla näyte ennen alipaineistajaa ja sen jälkeen ulospuhallusilmasta. Erotusaste laskettiin yhtälöstä:

$$E(\%) = \left(1 - \frac{N_1}{N_2}\right) \times 100, \quad (1)$$

missä N_1 on hiukkaspitoisuus suodatuksen jälkeen ja N_2 ennen suodatusta.

Ilmavirrat mitattiin alipaineistuslaitteiden otsapinnalta Accubalance - balometrillä. Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtokerroin saadaan jakamalla alipaineistajan ilmavirta osastoinnin kokonaistilavuudella.

2.2 Jatkuvatoiniset paine-eromittaukset

Osastoinnin (huoneisto A15) ja ympäröivän tilan välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisella paine-eroanturilla Dwyer Magnesense, joka oli varustettu dataa tallentavalla HOBO U12 -laitteella. Paine-erodata tallennettiin 30 sekunnin välein.

2.3 Savukokeet

Osastoinnin (huoneisto A15) ilmanvaihtuvuutta testattiin merkkisavukokeilla generoimalla savua osastointiin korvausilma-aukoista. Savun leviämistä osastoinnin sisällä tarkasteltiin visuaalisesti. Ensimmäisessä testissä savua syötettiin sulkutunnelin suulta. Toisessa testissä osastoivaan muoviseinään tehtiin lisäkorvausilma-aukko, josta savua vapautettiin osastointiin sulkutunnelilta syötön lisäksi.

2.4 Osastoinnin ja ympäröivän alueen asbesti- ja pölypitoisuuden mittaukset

Osastoinnin epäpuhtauspitoisuuksien ja epäpuhtauksien leviämisen selvittämiseksi mitattiin ilmasta asbestin sekä hengittävän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia osastoinnissa (huoneisto A15) ja sen ulkopuolella. Näytteitä otettiin kiinteistä mittauspajoista hengityskorkeudelta.

Mittausvälineet sijoitettiin pölyävän työvaiheen lähelle kylpyhuoneen ja wc-tilan eteen sekä sulkutunnelin jokaiseen osaan. Mittausvälineitä oli myös osastoinnin ulkopuolella huoneistossa ja porraskäytävässä. Lisäksi seurattiin pölypitoisuuksien ajallista vaihtelua osastoinnissa ja sen ulkopuolella suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla, jotka mittaavat halkaisijaltaan 0,1-10 µm hiukkasia. Mittauspisteet on merkitty liitteen 1 pohjapiirroksen.

Ilmanäytteiden keräys- ja määritysmenetelmät olivat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Näytteenkeräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattu altiste	Näytteenottomenetelmä	Määrittäminen menetelmä
asbestikuidut	polykarbonaattisuodatin	elektronimikrosko- pointti, alkuaine- analyysi
hengittyvä ja alveolijakeinen pöly	IOM-vaahrokeräin ja selluloosa- asettaattisuodatin	gravimetria

Pyyhintänäytteet otettiin nurinpäin käännettyihin Minigrip-pusseihin asettamalla käsi pussin sisään ja pyyhkimällä pintoja, minkä jälkeen pussit käännettiin oikeinpäin ja suljettiin huolellisesti. Pölynäyte tai edustava osa siitä suodatettiin tislattulla vedellä kalvosuodattimelle ja analysoitiin elektronimikroskooppia (EM) ja siihen liitettyä energiadiispersiivistä spektrometriä (EDS) käyttäen.

Työterveyslaitoksen laboratoriotoiminta on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T013, akkreditointivaatimus SFS-EN ISO/IEC 17025. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä asbestimateriaalien analyysimenetelmä kuuluvat akkreditoinnin piiriin.

3 VERTAILUARVOT

Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta 798/2015 (VNa 798/2015) mukaan osastoinnin ja ympäröivän tilan välinen paine-ero tulee olla vähintään -5 Pa, ja krokidoliittipurkutyössä vähintään -10 Pa.

Asbestikuitupitoisuus ilmoitetaan vähintään viiden mikrometrin mittaisten kuitujen määränä kuutiosenttimetrissä ilmaa (k/cm^3). Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan kahdeksan tunnin sitova raja-arvo asbestikuiduille on $0,1 \text{ k}/\text{cm}^3$ ja pitoisuus puhtaissa tiloissa ei saa ylittää ns. puhtaan tilan ohjearvoa $0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$ (VNa 798/2015). Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan asbestikuitupitoisuuden tulee käytössä olevissa tiloissa olla alle menetelmän määrittämissä eli $<0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 (STMa

545/2015) mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 9/2018 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on epäorgaaniselle pölylle annettu kahdeksan tunnin ohjeraja-arvoksi (HTP_{8h}) 10 mg/m³ ja orgaaniselle pölylle 5 mg/m³. Sementtipölyn HTP_{8h}-arvot ovat 5 mg/m³ (hengittyvä pöly) ja 1 mg/m³ (alveolijae).

Työterveyslaitos on asettanut monille ilman epäpuhtauksille tavoitetasoja, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Hengittyvälle yleiselle pölylle tavoitetaso on 2 mg/m³ ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle 0,5 mg/m³. Nämä yleisen pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä terveyshaittoja, jotka liittyvät erityisesti niukkaliukoisiin partikkeleihin, joiden poistuminen keuhkoista on hidasta.

Valtioneuvoston asetuksessa 798/2015 asbestityön turvallisuudesta on mainittu, että ilmkäsittelylaitteiden suodattamien erotusaste on oltava riittävä eikä työvälaineistä saa päästä puhtaisiin tiloihin asbestipölyä enempää kuin 0,01 kuitua kuutiosenttimetrissä ilmaa. Erotusasteelle ei siten ole annettu selvää lakisääteistä arvoa.

Rakennusalan koordinaatioryhmä (11.4.2017) täsmentää, että alipaineistajan ja muiden asbestityössä käytettävien ilmkäsittelylaitteiden on puhdistettava käsittelemänsä ilma siten, että erotusaste on kuiduille (vähintään) 99,97 %. Käytännössä alipaineistuslaitteet on varustettu HEPA H13 -luokan suodattimilla, joiden erotusaste on >99,95 % maksimiläpäisyn hiukkaskoolla (Most Penetrating Particle Size, MPPS). Tämä on asbestitöissä käytettävien laitteiden osalta yleensä kokoalueella 0,1-0,3 µm. Tämän vuoksi tässä hankkeessa käytetään erotusasteelle raja-arvoa >99,95% hiukkaskokoalueella, joka on mahdollisimman lähellä maksimiläpäisyä.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

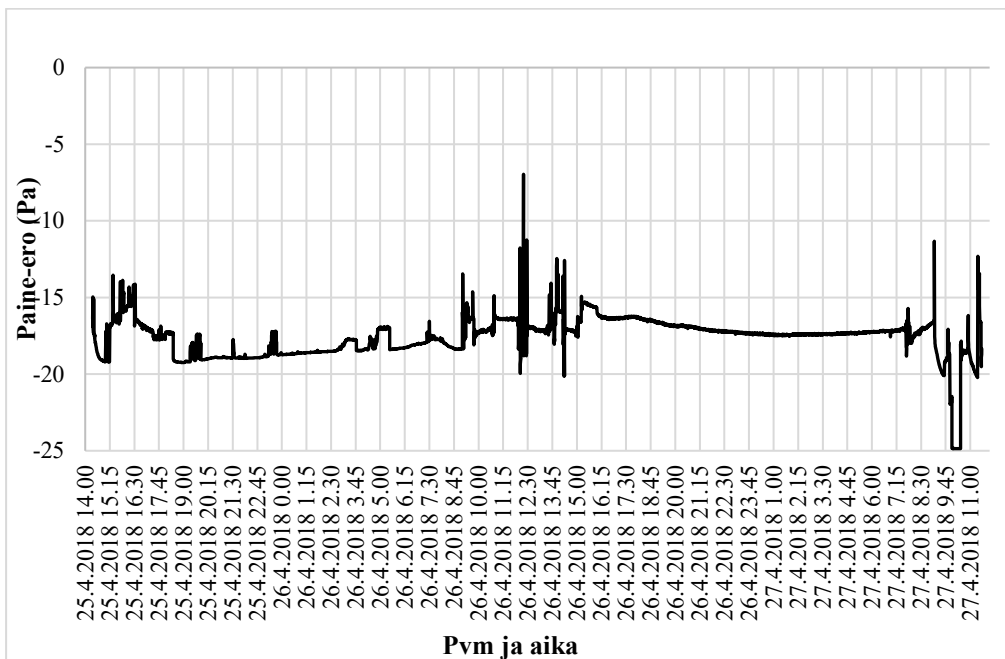
4.1 Paine-eromittaukset

Osastoinnin (huoneisto A15) paine-ero ympäröivään tilaan verrattuna vaihteli mittausten aikaan välillä -5 Pa – <-25 Pa (kuva 6).

Kohdepoistoimurin käyttö lisäsi alipainetta noin 10 Pa:n verran.

Seurantajaksolla oli lyhyet sähkökatkot mittauspäivänä 26.4. noin klo 12.23 ja 12.25, jolloin alipaineistaja ja kohdepoisto olivat pois päältä.

Sähkökatkoetkiä lukuun ottamatta alipaine säilyi alipainevaatimuksen vähintään 5 Pa:n mukaisena (VNa 798/2015). Paine-ero oli vähintään -10 Pa purkutyön alkaessa kohteen turvallisuussuunnitelman mukaisesti.



Kuva 6. Paine-erot mittausten aikana.

Huoneistossa A8 urakoitsijan paine-eromittarin letku oli asennettu suodattimen taakse, jolloin se näytti paine-eroa noin -20 Pa. Todellinen paine-ero oli kuitenkin vain pari pascalia.

Paine-eromittausten yhteydessä testattiin paine-eroletkun sijainnin merkitystä suhteessa alipaineistajan imuun. Havainnot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Paine-eromittarin letkun sijainti suhteessa alipaineistajaan osastoinnissa. Testit tehty huoneistossa A15.

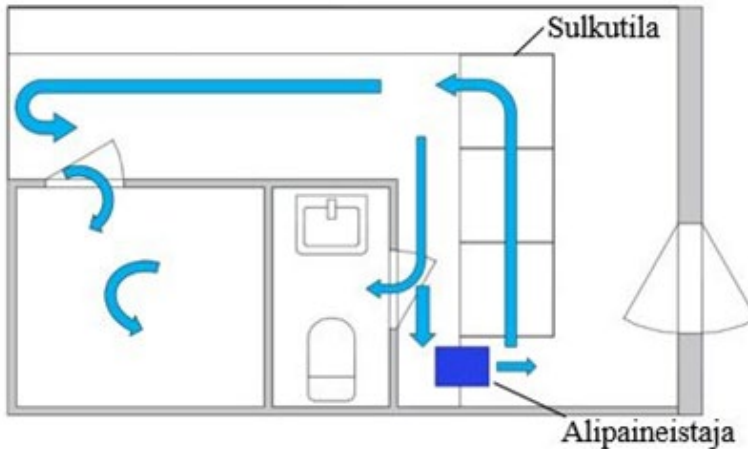
Paine-eromittarin letkun sijainti	Paine-ero (Pa)
verrokki (ei alipaineistajan imun vaikutusalueella)	-19
alipaineistajan suodatinkankaan pinnalla	-22–-23
suodatinkankaan alla	-60
suodatinkankaan reunalla	-41
kehysten kohdalla suodatinkankaan alla	-24
5 cm kauluksesta alaspäin	-19

4.2 Savukokeet

Savukokeilla tarkasteltiin osastoinnin ilmanvaihtuvuutta (Kuva 7). Ensimmäisessä testissä sulkutunnelin oviaukolta (korvausilma-aukko noin 100 cm²) vapautettu savu levisi visuaalisesti tarkasteltuna suoraan sulkutunnelin suulta kohti päätyseinää ja pieni osa siitä edelleen kylpyhuoneeseen (huoneen yläosasta). Ilmasuihku luultavasti törmäsi päätyseinään, josta ilmaa kulkeutui kylpyhuoneeseen. Wc-tilaan savua virtasi heikommin.

Toisessa testissä savua syötettiin samanaikaisesti sulkutunnelin suulta ja osastoinnin päätyseinään (kylpyhuoneen vieressä) tehdystä lisäkorvausilma-aukosta (noin 90 cm²). Savupatsaat törmäsivät toisiinsa käytävätilassa, jossa havaittiin pyörteilyä. Savu sekoittui tasaisesti käytävätilaan, mutta kylpyhuone- ja wc-tilaan sitä virtasi heikommin.

A



Kuva 7. Ensimmäisen savukokeen havainnot.

4.3 Alipaineistajan toimivuus

Alipaineistajien mitatut ilmavirrat ja niiden avulla lasketut ilmanvaihtuvuudet sekä erotusasteet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Alipaineistajien ilmavirrat ja hiukkasten erotusasteet.

Huoneisto	V (m ³)	Ilmavirta		Ilmanvaihtuvuus 1/h	Erotusaste (%)
		l/s	m ³ /h		
A8	5,2	88	317	61	>99,9
A11	5,7	87	313	55	>99
A15	23,4	80	288	12	>98

Huoneistojen A11 ja A15 alipaineistuslaitteissa oli selvästi havaittavaa vuotoja puhtaalle puolelle.

4.4 Asbesti- ja pölypitoisuudet

Ilman asbestikuitujen sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet on esitetty taulukossa 4. Löydetyt kuidut olivat antofylliittiä.

Piikkaustöiden aikana kiinteistä mittauspaikoista purkutiloissa mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat 150 % kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta asbestikuiduille ja hengittyvän pölyn pitoisuus 1800 %

epäorgaanisen pölyn HTP-arvosta. Hiontatyön aikana purkutilasta mitattu asbestikuitupitoisuus oli alle sitovan raja-arvon, vaikka hengittyvän pölyn pitoisuus oli lähes seitsemänkertainen HTP-arvoon verrattuna.

Alveolipölypitoisuudet olivat piikkaus- ja hiontatyövaiheiden aikana 640–1000 % Työterveyslaitoksen asettamasta alveolipölyn tavoitetasosta yleiselle pölylle. Korkeat pitoisuustasot kohdepoiston käytöstä huolimatta viittaavat siihen, että kohdepoistoimuri ei ole ollut täysin toimintakuntoinen.

Osastoinnin ulkopuolella asbestikuitupitoisuudet olivat alle menetelmän määräysrajan tai puhtaan tilan ohjearvon ($0,01 \text{ k/cm}^3$) tasolla, mutta herkemmällä tarkastelulla kaikista näytteistä löytyi kuituja, mikä viittaa kuitujen levinneen osastoinnin ulkopuolelle. Hiontatöiden aikana sulkutunnelin asbestikuitupitoisuudet olivat alle menetelmän määräysrajan, mutta piikkaustöiden aikaan sulkutunnelin sisimmässä osassa pitoisuus ylitti menetelmän määräysrajan ja keskimmaisessä osassa pitoisuus oli puhtaan tilan ohjearvon tasolla. Asbestikuitujen leviäminen sulkuun voi selittyä mittausajanjaksolla tapahtuneista alipaineistuksen hetkellisistä romahtamisista sähkökatkojen vuoksi.

Mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alhaisia pölypitoisuuksiin verrattuna, mikä osoittaa, että asbestin määrä purettavissa materiaaleissa on ollut vähäinen.

Taulukko 4. Ilman asbestikuitu- ja pölypitoisuudet.

Mittauspaikka ja -aika	Asbestikuidut, k/cm ³	Hengittyvä pöly, mg/m ³	Alveo- lipöly, mg/m ³	Mittauspaik- ka liitteessä 1
purkutila, kylpyhuoneen viereinen käytävä, 26.4. klo 8.56-9.28 (piikkausta)	0,15			1
purkutila, kylpyhuoneen viereinen käytävä, 26.4. klo 10.15-10.35 (piikkausta)	0,15			1
purkutila, kylpyhuoneen viereinen käytävä, 26.4. klo 7.43-12.53 (piikkausta)		180	4,4	1
purkutila, kylpyhuoneen viereinen käytävä, 27.4. klo 8.09-8.13 (hiontaa)	0,01			1
purkutila, kylpyhuoneen viereinen käytävä, 27.4. klo 7.50-11.17 (hiontaa)		69	5,0	1
purkutila, wc:n viereinen käytävä, 26.4. klo 10.15- 10.27 (piikkausta)	-*			2
purkutila, wc:n viereinen käytävä, 26.4. klo 7.48- 12.43 (piikkausta)		78	3,3	2
purkutila, wc:n viereinen käytävä, 27.4. klo 8.08-8.20 (hiontaa)	0,04 (0,046)**			2
purkutila, wc:n viereinen käytävä, 27.4. klo 7.52- 11.16 (hiontaa)		54	3,2	2
sisin sulku, 26.4. klo 8.10- 13.55	0,04 (0,022)			3
sisin sulku, 27.4. klo 7.53- 11.07	<0,01 (0,002)			3
keskimmäinen sulku, 26.4. klo 8.11-13.56	0,01 (0,002)			4
keskimmäinen sulku, 27.4. klo 7.53-11.06	<0,01 (0,004)			4
uloin sulku, 26.4. klo 8.12- 13.57	<0,01 (-)			5
uloin sulku, 27.4. klo 7.52- 11.04	<0,01 (0,004)			5
sulun ulkopuoli, 26.4. klo 8.27-13.05	0,01 (0,005)			6
sulun ulkopuoli, 27.4. klo 7.56-11.04	<0,01 (0,002)			6

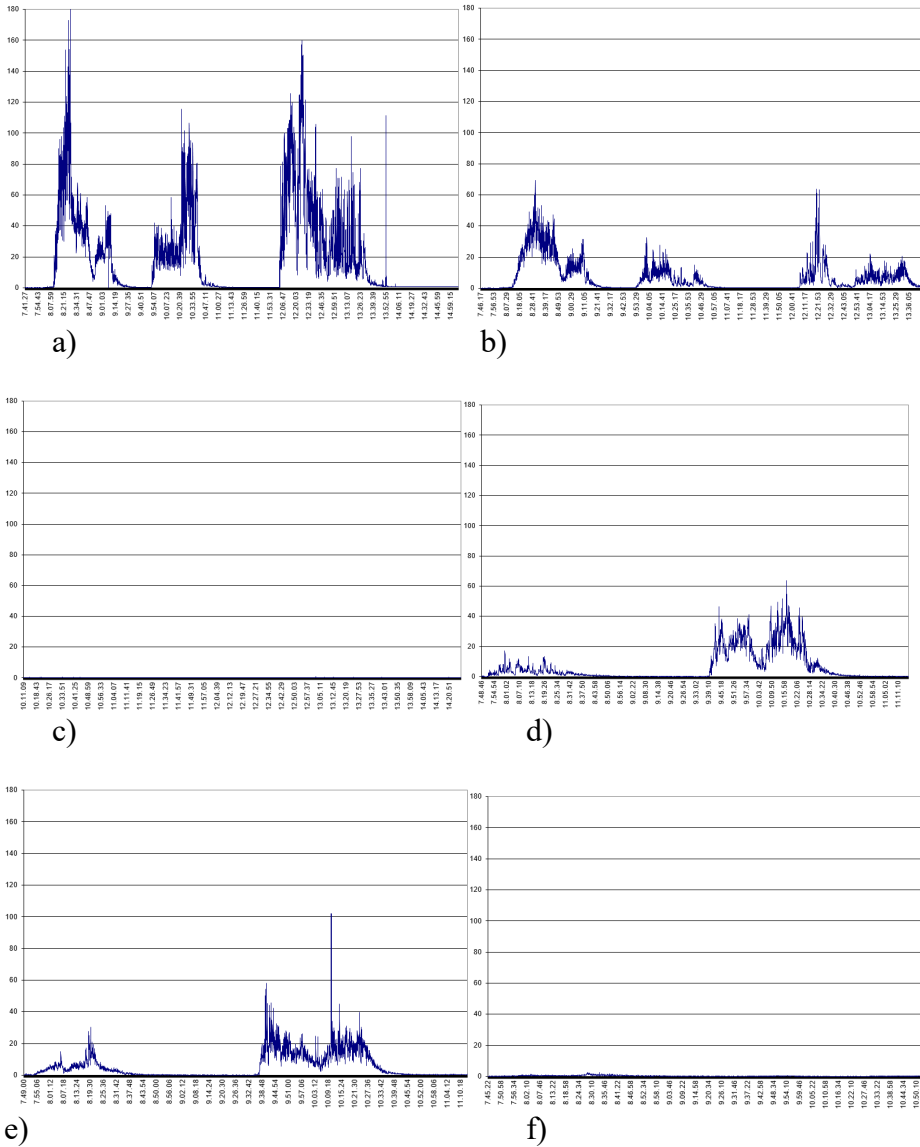


sulun ulkopuoli, 5. kerroksen porrastasanne, 26.4. klo 8.28-13.02	<0,01 (0,002)			7
sulun ulkopuoli, 5. kerroksen porrastasanne, 27.4. klo 7.56-11.02	<0,01 (0,002)			7

*Näytteenotto epäonnistui.

**Suluissa tulokset, kun laskettu ”ylimääräisiä” kenttiä herkkyteen 0,001 k/cm³, - = ei löytynyt yhtäkään kuitua

Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli suurta, kuten kuvasta 8 näkyy. Osastoinnin ulkopuolella pölypitoisuuksissa oli nousua imurin käytön yhteydessä (ei näy kuvassa 8c, sillä pitoisuusasteikko on laadittu osastoinnin sisäpuolen pitoisuustasojen mukaisesti), mikä viittaa osastoinnin ulkopuolelle sijoitetun imurin heikentyneeseen suodatuskykyyn.



Kuva 8. Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu (mg/m^3) eri mittauspaikeissa: a) kylpyhuoneen viereinen käytävä 26.4., b) wc:n viereinen käytävä 26.4., c) sulun ulkopuoli 26.4., d) kylpyhuoneen viereinen käytävä 27.4., e) wc:n viereinen käytävä 27.4. ja f) sulun ulkopuoli 27.4.

Pyyhintänäytteiden analyysitulokset ovat taulukossa 5, jossa on ilmoitettu, sisältääkö näyte asbestikuituja (+) vai ei (-). Mikäli näytteessä esiintyy asbestikuituja, on myös kuitumineraali ilmoitettu. Pyyhintänäytteissä ei esiintynyt asbestikuituja.

Taulukko 5. Asbestikuitujen (>5 µm) esiintyminen pinnoilla sekä kuitumineraalit.

Mittauspaikka	Tulos	Asbestimineraalit
siivousimurin päältä	-	
5. kerroksen porrastasanne, kaiteen päältä	-	
4. kerroksen porrastasanne, lattialta	-	
3. kerroksen porrastasanne, ovilistojen päältä	-	
2. kerroksen porrastasanne, kaiteen pinnalta	-	
1. kerros, hissien ikkunan kehyksestä	-	

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Osastointi noudatti VNa 798/2015 mukaista paine-erovaatimusta vähintään 5 Pa:n jatkuva alipaine ympäröiviin tiloihin nähden sähkökatkoja lukuun ottamatta. Paine-ero oli purkutyön alkaessa turvallisuussuunnitelman mukaisesti vähintään -10 Pa. Paine-eroissa oli tavanomaista vaihtelua muun muassa hissiliikkeiden vaikutuksesta ja tuuliolosuhteiden muutoksista johtuen. Koekohteessa noin -15–-20 Pa:n paine-ero osoittautui riittäväksi pitämään paine-ero tavoitearvossa (vähintään -5 Pa) koko mittausjakson ajan. Paine-erojen hallinnassa tulee huomioida paine-eroon vaikuttavat tekijät, kuten osastoinnin ulkopuolelle sijoitettu imuri, joka tehostaa alipainetta imurin käytön ajan. Tässä kohteessa imurin havaittiin suurentavan alipainetta noin 10 Pa.

Osastoinnin alipaineen todentamisessa on huomioitava oikea paine-eroletkun pään sijainti osastoinnin sisällä. Sen tulee olla vähintään 5 cm alipaineistajan kauluksesta, jotta mittauskohta ei ole alipaineistajan imun vaikutusalueella ja siten mittausulos ei vääristy.

Ylimääräisen korvausilma-aukon vaikutus ilmanvaihtuvuuteen vaikutti savukokeiden visuaalisten havaintojen perusteella vähäiseltä verrattuna tilanteeseen, jossa korvausilma tuli pelkästään sulkutunnelin kautta. Kummassakin tapauksessa savu näytti kulkeutuvan huonosti sekä kylpyhuone- että wc-tilaan.

Alipaineistajien ilmavirrat olivat verrattain suuria suhteessa osastointien tilavuuksiin, joten nimelliset ilmanvaihtuvuudet olivat suuria (12–60 l/h) ja täyttivät mitoitusohjeen arvon (10 vaihtoa tunnissa) selvästi.

Alipaineistajista kahdessa oli selvää vuotoa puhtaalle puolelle. Vuodon havaitseminen ja suodattimen toimintakunnon toteaminen pelkällä silmämääräisellä tarkastelulla on mahdotonta, koska suodatin voi näyttää ulkoisesti ehjältä. Tämän vuoksi reaaliaikainen hiukkasmittaus on ainoa keino havaita mahdolliset vuodot.

Purkutiloista mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alhaisia, vaikka piikkaus- ja hiontatyövaiheet olivat runsaasti pölyä tuottavia ja epäorgaanisen pölyn pitoisuudet ylittivät moninkertaisesti HTP-ohjearvotason. Näin ollen asbestin määrä purettavissa materiaaleissa on ollut vähäinen. Hiontatyövaiheessa käytetty kohdepoisto ei ollut täysin kunnossa, sillä pölypitoisuudet olivat verrattain korkeita ja jatkuvatoiminen pölymittaus osastoinnin ulkopuolella osoitti hiukkaspitoisuuksien nousua imurin käytön yhteydessä.

Purkutyövaiheissa tulee käyttää kohdepoistoja, sillä pölyn leviämisen estämiseksi osastoinnin sisällä pöly tulee ensisijaisesti siepata sen syntykohdassa. Kohdepoistoimurien käytön etuna on myös parempi työkohteen näkyvyys, mikä lisää työturvallisuutta. Lisäksi pölyn leviämisen rajoittaminen osastoinnin sisällä helpottaa siivousta ja vähentää siivoukseen kuluva-aikaa. Pölyntorjunnan peruseräaatteita tulee toteuttaa myös asbestipurkutyössä huolimatta käytössä olevista hengityksensuojaimista.

Osastoinnin ulkopuolella asbestikuitupitoisuudet olivat alle menetelmän määrittämissä rajan tai puhtaan tilan ohjearvon ($0,01 \text{ k/cm}^3$) tasolla, mutta herkemällä tarkastelulla kaikista näytteistä löytyi kuituja, mikä viittaa kuitujen levinneeseen osastoinnin ulkopuolelle. Kuitujen leviäminen osastoinnin ulkopuolelle saattoi johtua osastoinnin ulkopuolelle sijoitetun

imurin heikenneestä suodatuskyvystä. Mikäli imurit sijoitetaan osastoinnin ulkopuolelle, tulee varmistua niiden toimintakunnosta. Imuriyksikköjen toimintakunnon varmistaminen tapahtuu imurin huollon yhteydessä mittaamalla erotusasteet hiukkasille.

Hiontatöiden aikana sulkutunnelin asbestipölypitoisuudet olivat alle menetelmän määrittäysrajan, mutta piikkaustöiden aikaan sulkutunnelin sisimmässä osassa pitoisuus ylitti menetelmän määrittäysrajan ja keskimmaisessa osassa pitoisuus oli puhtaan tilan ohjearvon tasolla. Asbestikuitujen leviäminen sulkuun voi selittyä mittausajanjaksolla tapahtuneista alipaineistuksen hetkellisistä romahtamisista sähkökatkojen vuoksi. Sen takia sähkökatkoksiin tulee varautua ennalta, mikäli niitä ei pystytä välttämään.

LIITTEET

Liite 1 Huoneistojen pohjapiirrokset ja mittauspaikat

LINJASANEERAUS: ASBESTIPURKUTYÖT HUONEISTOISSA

1 TUTKIMUSKOHDE, OLOSUHTEET JA TUTKITUT TYÖVAIHEET

Tutkimuskohteena oli LVIS-saneerattava neljäkerroksinen kerrostalo (rakennusvuosi 1966), jossa on yhteensä 28 asuntoa kolmessa rapussa. Tutkimuksen aikaan kohteessa oli käynnissä asbestipurkutytöt huoneistoissa. Asbestia oli muun muassa märkätilojen lattiarakenteiden bitumisissa kosteus- ja vesieristeissä, märkätilojen seinälaatoitusten kiinnityslaasteissa, kuivatilojen seinätaasoitteissa, kiinnitysten proppausmassoissa ja hormistojen putkieristeissä. Asbestikartoitus oli tehty 27.6.2017.

Saneeraukset toteutettiin yksi rappu kerrallaan. Osastoituna oli yhtä aikaa kaksi kerrosta, joissa molemmissa oli kaksi huoneistoa (3h+k, 5h+k). Työ eteni rapussa ylhäältä alas. Kolmiosainen valmissulkutunneli (osakoko 0,63 m × 0,63 m × 1,8 m, Dehaco) sijaitsi porrastasanteella. Korvausilma johdettiin porraskäytävästä sulkutunnelin läpi kaksikerroksiseen osastointiin. Alipaineistus toteutettiin kahdella alipaineistajalla (Sila2000), jotka oli sijoitettu molempiin kerroksiin isompiin huoneistoihin (Liite 1). Osastoinnista HEPA-suodatettu ilma johdettiin ulos ikkunoiden läpi kulkeneita putkia pitkin. Osastointiin sisältyivät porraskäytävätilat 1. ja 2. kerroksen välillä sekä huoneistoista eteistilat, wc:t ja kylpyhuoneet ja pienemmissä huoneistoissa myös keittiöt. Osastoinnin kokonaistilavuus oli 220 m³. Muut huoneistojen tilat oli rajattu osastoinnin ulkopuolelle muovisin suojakalvoin huoneiden oviaukoissa. Asbestijätteet kerättiin isompien huoneistojen olohuonetiloihin, jotka oli erotettu muusta osastoinnista muovisin läppäövin.

Työvaiheina mittausten aikaan oli kaakeleiden piikkaaminen (Hilti TE 500-AVR, TE 1000 AVR, TE 30-A36) ja purettujen kaakeleiden säkitys sekä seinätaasoitteiden poisto timanttihiontana käsihiomakoneilla (Hilti DG-EX 125). Käsihiomalaitteisiin oli liitetty imurit kohdepoistoiksi (Pullman Ermator S26). Imurit sijaitsivat osastoinnin sisäpuolella ja kierrättivät HEPA-suodatetun ilman takaisin osastoinnin sisäpuolelle.

Samoja imureita käytettiin myös välisiivouksissa. Piikkausvasarassa ei ollut kohdepoistoa.

Asbestipurkua teki ensimmäisenä mittauspäivänä kolme ja toisena mittauspäivänä neljä työntekijää. Työntekijät käyttivät kertakäyttöisiä suojahaalareita (tyyppi 5/6), suojakäsineitä ja kenkäsuoja. Jokaisella työntekijällä oli käytössään puhaltimella, kokonaamarilla ja pölynsuodattimilla varustetut hengityksensuojaimet, tehokkuusluokka TM3P.

Mittauksilla selvitettiin osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta sekä asbesti- ja pölypitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Mittaukset suoritettiin 22.–23.5.2018.



Kuva 1. Osastointi muovikalvoin. Alipaineistuslaite asennettu suojaseinään (kuvassa imupuoli osastoinnin sisäpuolella).



Kuva 2. Osastointiin johtava kolmiosainen valmissulkutunneli. Korvausilma osastointiin sulkutunnelin läpi.



Kuva 3. Sulkutunnelin edusta osastoinnin sisäpuolella.



Kuva 4. Lämpövirakenne jätteiden varastointitilan edessä.



Kuva 5. Mittauspiste kylpyhuoneen edessä.



Kuva 6. Mittauspiste jätteen varastointipaikalla.

2 MENETELMÄT

2.1 Alipaineistajien toimivuus

Alipaineistajien mahdolliset vuodot ja hiukkaserotusasteet mitattiin kolmella eri hiukkaslaskurilla:

- Met One
- TSI malli 3330
- Palas Fidas Frog

Erotusasteet mitattiin ottamalla näyte ennen alipaineistajaa (SILA 2000a2) ja sen jälkeen ulospuhallusilmasta poistoilmakanavasta liitteen 2 esittämällä tavalla. Mittaukset tehtiin samalla tavoin sekä 1. että 2. kerroksen laitteille. Erotusaste laskettiin yhtälöstä:

$$E(\%) = \left(1 - \frac{N_1}{N_2}\right) \times 100, \quad (1)$$

missä N_1 on hiukkaspitoisuus suodatuksen jälkeen ja N_2 ennen suodatusta.



Kuva 7. Erotusasteiden mittauksissa käytetyt hiukkaslaskurit.

Ilmavirrat mitattiin alipaineistuslaitteiden otsapinnalta Accubalance - balometrillä. Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtokerroin saadaan laskemalla alipaineistajien ilmavirrat yhteen ja jakamalla summa osastoinnin kokonaistilavuudella.



Kuva 8. Alipaineistajan ilmavirran mittaus Accubalancella.

2.2 Jatkuvatoimiset paine-eromittaukset

Osastoinnin ja ympäröivän tilan välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisella paine-eroanturilla Dwyer Magnesense, joka oli varustettu dataa tallentavalla HOBO U12 –laitteella. Paine-erodata tallennettiin 30 sekunnin välein.

2.3 Savukokeet

Osastoinnin ilmanvaihtuvuutta testattiin merkkisavukokeella generoimalla savua osastointiin kahdessa lyhyessä jaksossa ensimmäisenä mittauspäivänä. Savun leviämistä osastoinnin sisällä tarkasteltiin visuaalisesti sekä mittaamalla hiukkaspitoisuutta jatkuvatoimisesti neljästä mittauspisteestä DataRam-pölymittareilla. Mittauspisteet sijaitsivat jokaisessa huoneistossa eteistilassa.

2.4 Osastoinnin ja ympäröivän alueen asbesti- ja pölypitoisuuden mittaukset

Osastoinnin epäpuhtauspitoisuuksien ja epäpuhtauksien leviämisen selvittämiseksi mitattiin ilmasta asbestin sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Näytteitä otettiin kiinteistä mittauspaikeista hengityskorkeudelta.

Mittausvälineet sijoitettiin 1. ja 2. kerroksen pienemmissä huoneistoissa pölyävän työvaiheen lähelle kylpyhuoneiden eteen. Mittausvälineitä oli myös isomman huoneiston olohuoneessa (purkujätteiden varastointi), osastoinnin ulkopuolella sulkutunnelin edessä porraskäytävässä ja jokaisessa sulkutunnelin osassa. Lisäksi seurattiin pölypitoisuuksien ajallista vaihtelua osastossa ja sen ulkopuolella suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla, jotka mittaavat halkaisijaltaan 0,1-10 µm hiukkasia. Mittauspisteet on merkitty liitteen 1 pohjapiirroksiin.

Ilmanäytteiden keräys- ja määritysmenetelmät olivat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Näytteenkeräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattu altiste	Näytteenotto- menetelmä	Määritysmenetelmä
asbestikuidut	polykarbonaat- tisuodatin	elektronimikros- kopointi (EM) ja alkuaineanalyysi
hengittyvä ja alveolijakeinen pöly	IOM-vahtokeräin ja selluloosa- asettaattisuodatin	gravimetria

Pyyhintänäytteet otettiin nurinpäin käännettyihin Minigrip-pusseihin asettamalla käsi pussin sisään ja pyyhkimällä pintoja, minkä jälkeen pussit käännettiin oikeinpäin ja suljettiin huolellisesti. Pölynäyte tai edustava osa siitä suodatettiin tislattulla vedellä kalvosuodattimelle ja analysoitiin elektronimikroskooppia (EM) ja siihen liitettyä energiadiispersiivistä spektrometriä (EDS) käyttäen.

Työterveyslaitoksen laboratoriotoiminta on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T013, akkreditointivaatimus SFS-EN ISO/IEC 17025. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä asbestimateriaalien analyysimenetelmä kuuluvat akkreditoinnin piiriin.

3 VERTAILUARVOT

Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta 798/2015 (VNa 798/2015) mukaan osastoinnin ja ympäröivän tilan välinen paine-ero tulee olla vähintään -5 Pa, ja krokidoliittipurkutyössä vähintään -10 Pa.

Asbestipölyn pitoisuus ilmoitetaan vähintään viiden mikrometrin mittaisten kuitujen määränä kuutiosenttimetrissä ilmaa (k/cm^3). Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan kahdeksan tunnin sitova raja-arvo asbestikuiduille on $0,1 \text{ k}/\text{cm}^3$ ja pitoisuus puhtaissa tiloissa ei saa ylittää ns. puhtaan tilan ohjearvoa $0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$ (VNa 798/2015). Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan asbestikuitupitoisuuden tulee käytössä olevissa tiloissa olla alle menetelmän määrittämissä eli $<0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 (STMa 545/2015) mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 9/2018 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on epäorgaaniselle pölylle annettu kahdeksan tunnin ohjeraja-arvoksi ($\text{HTP}_{8\text{h}}$) $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja orgaaniselle pölylle $5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sementtipölyn $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvot ovat $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (hengittyvä pöly) ja $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (alveolijae).

Työterveyslaitos on asettanut monille ilman epäpuhtauksille tavoitetasoja, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Hengittyvälle yleiselle pölylle tavoitetaso on $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Nämä yleisen pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä terveyshaittoja, jotka liittyvät erityisesti niukkaliukoisiin partikkeleihin, joiden poistuminen keuhkoista on hidasta.

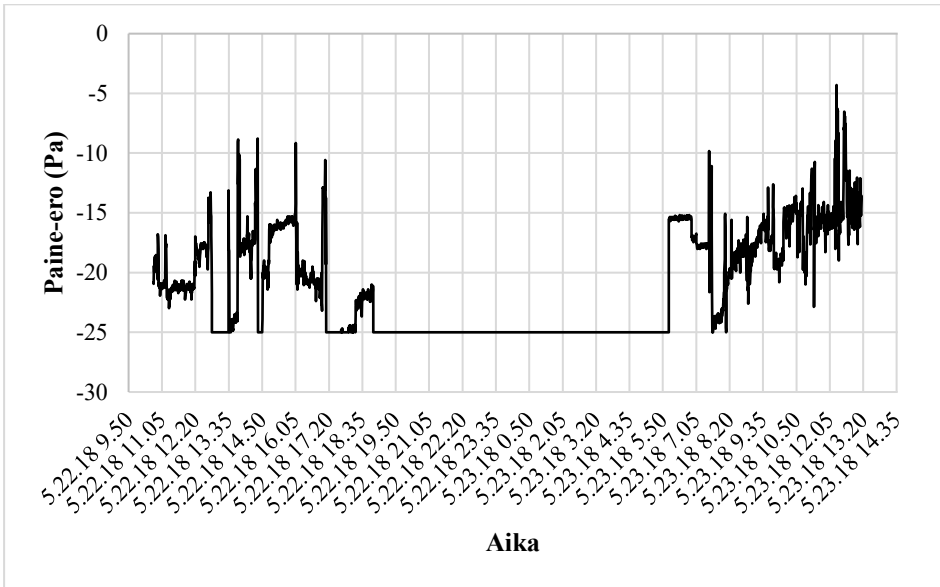
Valtioneuvoston asetuksessa 798/2015 asbestityön turvallisuudesta on mainittu, että ilmankäsittelylaitteiden suodattamien erotusaste on oltava riittävä eikä työvälaineistä saa päästä puhtaisiin tiloihin asbestipölyä enempää kuin 0,01 kuitua kuutiosenttimetrissä ilmaa. Erotusasteelle ei siten ole annettu selvää lakisääteistä arvoa.

Rakennusalan koordinaatioryhmä (11.4.2017) täsmentää, että alipaineistajan ja muiden asbestityössä käytettävien ilmankäsittelylaitteiden on puhdistettava käsittelemänsä ilma siten, että erotusaste on kuiduille (vähintään) 99,97 %. Käytännössä alipaineistuslaitteet on varustettu HEPA H13 -luokan suodattimilla, joiden erotusaste on >99,95 % maksimiläpäisyn hiukkaskoolla (Most Penetrating Particle Size, MPPS). Tämä on asbestitöissä käytettävien laitteiden osalta yleensä kokoalueella 0,1-0,3 µm. Tämän vuoksi tässä hankkeessa käytetään erotusasteelle raja-arvoa >99,95% hiukkaskokoalueella, joka on mahdollisimman lähellä maksimiläpäisyyä.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 Paine-eromittaukset

Osastoinnin paine-ero ympäröivään tilaan verrattuna vaihteli mittausten aikaan välillä -4 Pa – <-25 Pa (kuva 9). Seurantajaksolta alipaine kävi hetkellisesti alle 5 Pa:n raja-arvon (VNa 798/2015). Paine-eroissa oli tavanomaista vaihtelua mm. tuulen (rapun pääovi auki) ja hissiliikenteen vaikutuksesta. Lisäksi paine-eroon vaikutti korvausilma-aukon koko eli se, kuinka paljon sulkutunnelin vetoketjuovet olivat auki (taulukko 2). Yöaikaan sulkutunnelin ovet olivat olleet mitä ilmeisimmin lähes kokonaan kiinni, jolloin paine-ero <-25 Pa on alittanut paine-eromittarin mittausalueen -25–25 Pa. Toisena mittauspäivänä osastoinnissa oli lisätty korvausilman saantia ikkuna-aukkojen kautta pienemmissä huoneistoissa työntekijöiden lounastauon jälkeen. Kuvasta 9 nähdään, että lisäkorvausilman saanti pienensi jonkin verran paine-eroa seurantajakson lopulla. Kuitenkin paine-ero oli raja-arvoon nähden riittävä hetkittäistä häiriötilannetta lukuun ottamatta.



Kuva 9. Paine-erot mittausten aikana.

Korvausilma-aukon koon vaikutusta paine-eroon testattiin taulukon 2 mukaisesti. Kokonaan avonaisen sulkutunnelin oviaukon koko oli 0,45 m × 1,55 m.

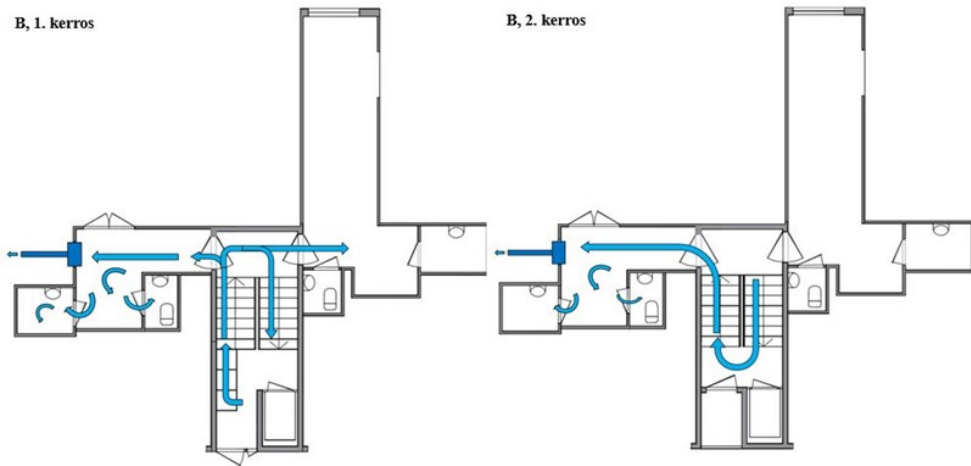
Taulukko 2. Korvausilma-aukon koon vaikutus paine-eroon.

Sulikutunnelin uloin oviaukko auki alaosaasta (m)	Korvausilma-aukon koko (m²)	Paine-ero (Pa)	Huomiot
1,55	0,70	-11 – -12	1)
1,0	0,45	-12 – -14	1)
0,5	0,23	-13 – -15	1)
0,3	0,14	-16 – -17	1)
0	0	-23	1)
0,75	0,34	-15 – -16	2)

- 1) Sulikutunnelin sisemmät ovet kokonaan auki testin ajan
 2) Sulikutunnelin sisemmät ovet puolittain auki (0,75 m) testin ajan

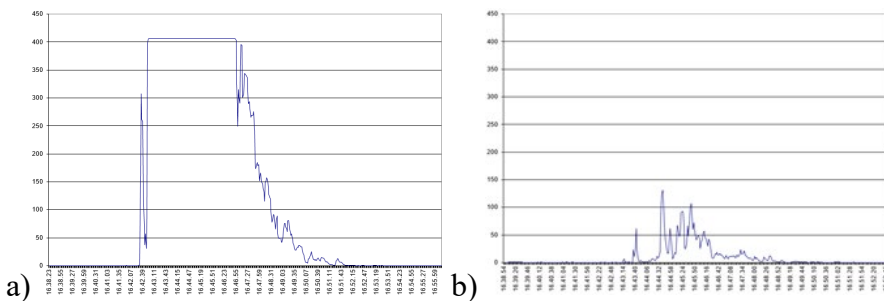
4.2 Savukokeet

Savukokeilla tarkasteltiin osastoinnin ilmanvaihtuvuutta ja simuloitiin korvausilman leviämistä osastoinnin sisällä (kuva 10). Sulikutunnelin oviaukolta vapautettu savu levisi visuaalisesti tarkasteltuna välittömästi kohti 1. kerroksen suurempaa huoneistoa (porraskäytävän vasemmalla puolella), jossa sijaitsi alipaineistaja eteistilan perällä. Huoneiston wc- ja kylpyhuonetiloihin savu levisi pienellä viiveellä. Saman kerroksen pienemmän huoneiston (porraskäytävän oikealla puolella) eteistilaan savua levisi jonkin verran reilun minuutin viiveellä savukokeen aloituksesta. Savu ei kuitenkaan levinnyt eteistilasta pidemmälle wc- ja kylpyhuonetiloihin. Kerrosta ylemmäksi savua levisi suuremman huoneiston alipaineistajan suuntaan. Pienempään huoneistoon savua ei näyttänyt leviävän lainkaan.



Kuva 10. Savukokeiden havainnot.

Hiukkaspitoisuuksia mitattiin savukokeiden aikana myös suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla molempien kerrosten pienemmissä huoneistoissa (kuva 11). Kuvasta näkyy, että savua ja siis myös korvausilmaa kulkeutui 2. kerrokseen huomattavasti vähemmän kuin 1. kerrokseen.



Kuva 11. Savumäärän vaihtelu a) 1. kerroksen pienemmässä huoneistossa (porraskäytävän oikealla puolella) ja b) 2. kerroksen pienemmässä huoneistossa (porraskäytävän oikealla puolella), savupäästö 22.5. klo 16.42-16.45.

4.3 Alipaineistajien toimivuus

Alipaineistuslaitteiden ilmavirrat ja keskimääräiset erotusasteet olivat taulukoiden 3 ja 4 mukaiset.

Taulukko 3. Alipaineistuslaitteiden ilmavirrat

Laite	Kerros	Ilmavirta (m ³ /s)
SILA 2000 a2	1	0,345
SILA 2000 a2	2	0,30

Taulukko 4. Alipaineistajien keskimääräiset erotusasteet eri mittausmenetelmillä

Laite	Kerros	Met One	Palas	TSI
SILA 2000 a2	1	99,999% @ 0.39 µm	>99,99% @0.4µm	99,998 @0,37 µm
SILA 2000 a2	2	99,99% @ 0.39 µm	99,97% @0.4µm	99,99 @0,37 µm

Mittauksissa käytettyjen hiukkaslaskurien mittaama hiukkaskoko kuvastaa hiukkasten optista hiukkaskokoa, joka voi poiketa aerodynaamisesta hiukkaskoosta. Kenttämittauksissa oleellisinta on kuitenkin todentaa, että laitteet ovat turvallisia käyttää. Tässä eksakti hiukkaskoko ei ole siten kriittistä, vaan tärkeintä on, ettei laitteissa ole vuotoja puhtaalle puolelle. Tähän tarkoitukseen kaikki käytetyt hiukkaslaskurit olivat soveliaita. Ne antoivat myös keskenään hyvin samansuuntaisia tuloksia.

Tulosten perusteella voidaan todeta, että mitatut erotusasteet täyttivät erotusastevaatimuksen (E>99,95%) eikä laitteissa ollut vuotoja suodattimien ohi puhtaalle puolelle.

Alipaineistajien ilmavirran (2300 m³/h) ja osastoinnin tilavuuden (220 m³) perusteella laskettu nimellinen ilmanvaihtokerroin oli 10,5 kertaa/h.

4.4 Asbesti- ja pölypitoisuudet

Ilman asbestikuitujen sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet on esitetty taulukossa 5. Löydetyt kuidut olivat antofylliittiä ja krysotiiliä. Kuvassa 12 on muutamia suodattimien pinnoilta otettuja valokuvia.

Piikkaus- ja hiontatöiden aikana 1. kerroksessa kiinteistä mittauspaikoista purkutiloissa mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alhaisia ollen alle menetelmän määrittämissä rajan $<0,01 \text{ k/cm}^3$. Samasta paikasta mitatut hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat 45–79 % epäorgaanisen pölyn HTP-arvosta. 2. kerroksesta mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alle menetelmän määrittämissä rajan yhtä piikkaustyön aikana kerättyä näytettä lukuun ottamatta. Kyseisen purkutilan asbestikuitupitoisuus oli 220 % kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta asbestikuiduille. Myös hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat korkeita ollen noin kaksinkertaisia epäorgaanisen pölyn HTP-arvoon verrattuna. Alveolipölypitoisuudet olivat 170–620 % Työterveyslaitoksen asettamasta alveolipölyn tavoitetasosta yleiselle pölylle.

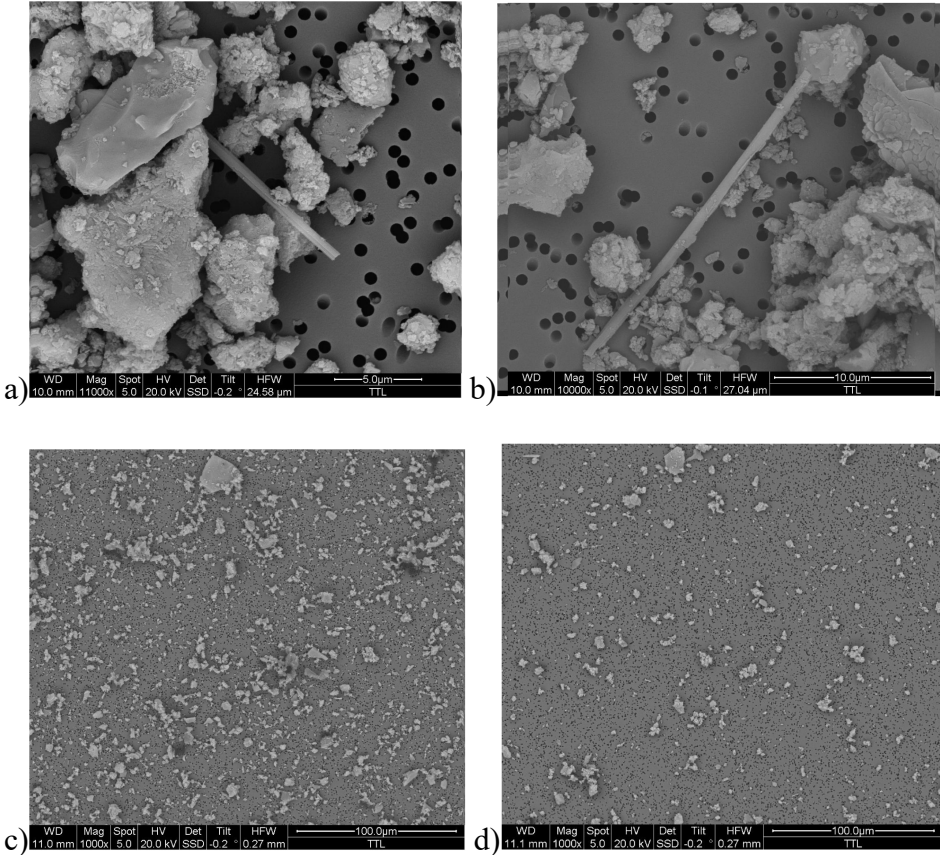
Sulkuilasta ja osastoinnin ulkopuolelta mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alle puhtaan tilan ohjearvon $0,01 \text{ k/cm}^3$. Tosin herkemällä tarkastelulla sulku-tunnelin sisemmistä osista havaittiin kuituja.

Taulukko 5. Ilman asbestikuitu- ja pölypitoisuudet.

Mittauspaikka ja -aika	Asbesti- kuidut, k/cm ³	Hengit- tyvä pöly, mg/m ³	Alveo- lipöly, mg/m ³	Mittaus- paikka liitteessä 1
purkutila, 1. kerros, 22.5. klo 12.55-13.08 (piikkausta)	<0,01 (-)*			1
purkutila, 1. kerros, 22.5. klo 12.51-16.11 (piikkausta, säkitystä)		7,9	1,4	1
purkutila, 1. kerros, 23.5. klo 8.01-8.19 (hiontaa)	<0,01 (-)			2
purkutila, 1. kerros, 23.5. klo 7.40-13.14 (hiontaa)		4,5	0,87	2
purkutila, 2. kerros, 22.5. klo 12.55-13.08 (piikkausta)	0,22			3
purkutila, 2. kerros, 22.5. klo 12.52-16.11 (piikkausta, säkitystä)		21	3,1	3
purkutila, 2. kerros, 23.5. klo 8.01-8.20 (piikkausta)	<0,01 (-)			4
purkutila, 2. kerros, 23.5. klo 7.43-13.13 (piikkausta, säkitystä)		19	2,4	4
purkutila, olohuone, 2. kerros, 22.5. klo 12.54-16.10	<0,01 (-)			5
purkutila, olohuone, 2. kerros, 23.5. klo 7.44-13.13	<0,01 (-)			5
sisin sulku, 22.5. klo 10.48-16.06	<0,01 (-)			6
sisin sulku, 23.5. klo 7.38-13.20	<0,01 (0,001)			6
keskimmäinen sulku, 22.5. klo 10.47-16.05	<0,01 (-)			7
keskimmäinen, 23.5. klo 7.38-13.22	<0,01 (0,001)			7
uloin sulku, 22.5. klo 10.46-16.05	<0,01 (-)			8
uloin sulku, 23.5. klo 7.38-13.23	<0,01 (-)			8
sulun ulkopuoli, 1. kerros, 22.5. klo 10.49-16.14	<0,01 (-)			9

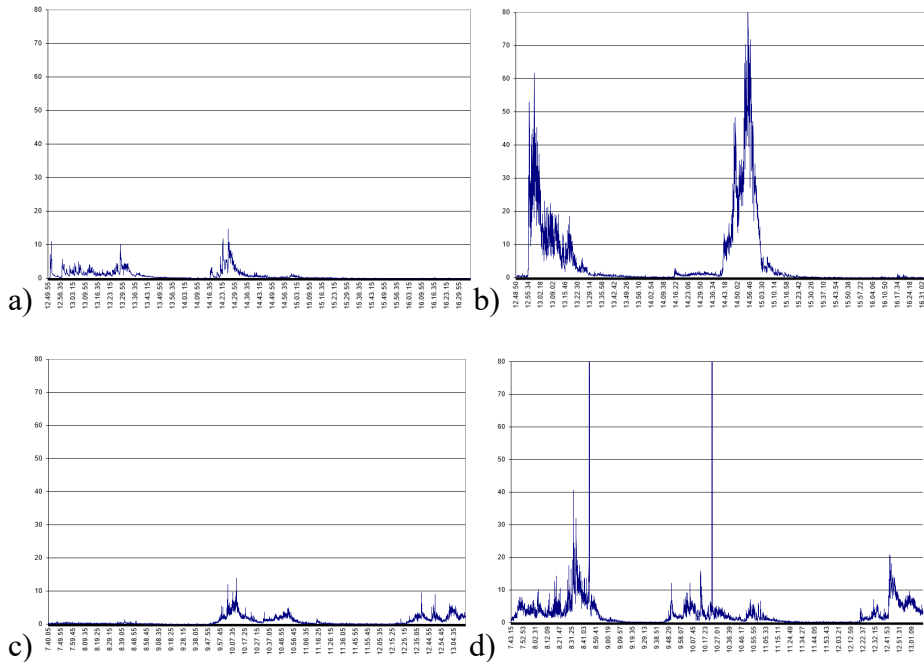
sulun ulkopuoli, 1. kerros, 23.5. klo 7.50-13.11	<0,01 (-)			9
---	-----------	--	--	---

*Suluissa tulokset, kun laskettu ”ylimääräisiä” kenttiä herkkyyteen 0,001 k/cm³,
- = ei löytynyt yhtäkään kuitua



Kuva 12. Valokuvia suodattimien pinnoilta: a) purkutila 2. kerros 22.5. (antofylliitti), b) purkutila 2. kerros 22.5. (krysotiili), c) purkutila 2. kerros 23.5., d) olohuone 2. kerros 22.5.

Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli suurta, kuten kuvasta 13 näkyy.



Kuva 13. Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu eri mittauspaikoissa: a) purkutila 1. kerros 22.5., b) purkutila 2. kerros 22.5., c) purkutila 1. kerros 23.5. ja d) purkutila 2. kerros 23.5.

Pyyhintänäytteiden analyysitulokset ovat taulukossa 6, jossa on ilmoitettu, sisältääkö näyte asbestikuituja (+) vai ei (-). Mikäli näytteessä esiintyy asbestikuituja, on myös kuitumineraali ilmoitettu.

Sulkutunnelin ulkopuolelta kerätyn pyyhintänäytteen mukaan osastoinnin ulkopuolelle oli levinnyt asbestikuituja. Löydetyt kuidut olivat samoja kuituja, joita analysoitiin osastoinnin sisältä purkutöiden aikana kerätystä ilmanäytteistä (antofylliittiä ja krysotiiliä). Muilla tutkituilla pinnoilla osastoinnin ulkopuolella (yläkerrokset) ei esiintynyt asbestikuituja.

Taulukko 6. Asbestikuitujen (>5 µm) esiintyminen pinnoilla sekä kuitumineraalit.

Mittauspaikka	Tulos	Asbestimineraalit
sulkutunnelin päältä	-	
3. kerroksen keittiön kaapin päältä	-	
4. kerroksen keittiön kaapin päältä	-	
4. kerroksen porraskaiteen päältä	-	
1. kerroksen lattialta sulkutunnelin ulkopuolelta	+	antofylliitti ja krysotiili

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Osastointi noudatti VNa 798/2015 mukaista paine-erovaatimusta vähintään 5 Pa:n jatkuva alipaine ympäröiviin tiloihin nähden hetkellistä häiriötilannetta lukuun ottamatta. Paine-eroissa oli suurta vaihtelua muun muassa tuuliolosuhteiden muutoksista johtuen. Koekohteessa noin 15 Pa:n alipaine osoittautui riittäväksi pitämään paine-ero tavoitearvossa (vähintään -5 Pa) koko mittausjakson ajan. Osastoinnin tiiviys vaikuttaa paine-eron suuruuteen, mikä osoitettiin sulkutunnelin korvausilma-aukon kokoa säätelemällä. Valmissulkutunnelin ensimmäinen korvausilma-aukko ei saa olla täysin kiinni, jotta varmistetaan hallittu tuloilman kulkeutuminen sulkutilan kautta osastointiin ja estetään kuitujen leviäminen osastoinnin ulkopuolelle sulkutunnelin läpi kuljettaessa.

Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtuvuus oli noin 10 ilmanvaihtoa tunnissa, mutta savukokeiden perusteella korvausilma jakautui epätasaisesti eri kerrosten välillä todennäköisesti sen vuoksi, että osastointi oli verrattain suuri alipaineistajien lukumäärään nähden (1 kpl /kerros). Ilmanjakoa olisi voitu todennäköisesti parantaa lisäämällä alipaineistajien lukumäärää ja sijoittamalla ne porraskäytävien molemmilla puolilla oleviin huoneistoihin sekä varmistamalla hallittu tuloilman jako.

Työmaalla käytetyt alipaineistajat toimivat hyvin eikä niissä ollut merkittäviä vuotoja suodattimien ohi. Myös kokeillut hiukkaslaskurit toimivat hyvin ja soveltuvat alipaineistajien erotusasteiden ja mahdollisten vuotojen mittaamiseen.

Purkutiloista mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alhaisia, vaikka työvaiheet (piikkaus ja hionta) olivat runsaasti pölyä tuottavia ja epäorgaanisen pölyn pitoisuudet ylittivät puolessa näytteitä HTP-ohjearvotason. Näin ollen asbestin määrä purettavissa materiaaleissa on ollut vähäinen.

Piikkaustyövaiheissa tulee käyttää kohdepoistoja, sillä pölyn leviämisen estämiseksi osastoinnin sisällä pöly tulee ensisijaisesti siepata sen syntykohdassa. Kohdepoistoimurien käytön etuna on myös parempi työkohteen näkyvyys, mikä lisää työturvallisuutta. Lisäksi pölyn leviämisen rajoittaminen osastoinnin sisällä helpottaa siivousta ja vähentää siivoukseen kuluvaa aikaa. Pölyntorjunnan peruseriaatteita tulee toteuttaa myös asbestipurkutyössä huolimatta käytössä olevista hengityksensuojaimista.

Ilmanäytteenoton mukaan osastoinnin ulkopuolelle ei levinnyt asbestikuituja purkutyön aikana, vaikka sulkutunnelin ulkopuolelta otetusta pyyhintänäytteestä havaittiin samoja kuitulaatuja kuin purkutilasta kerätyistä ilmanäytteistä.

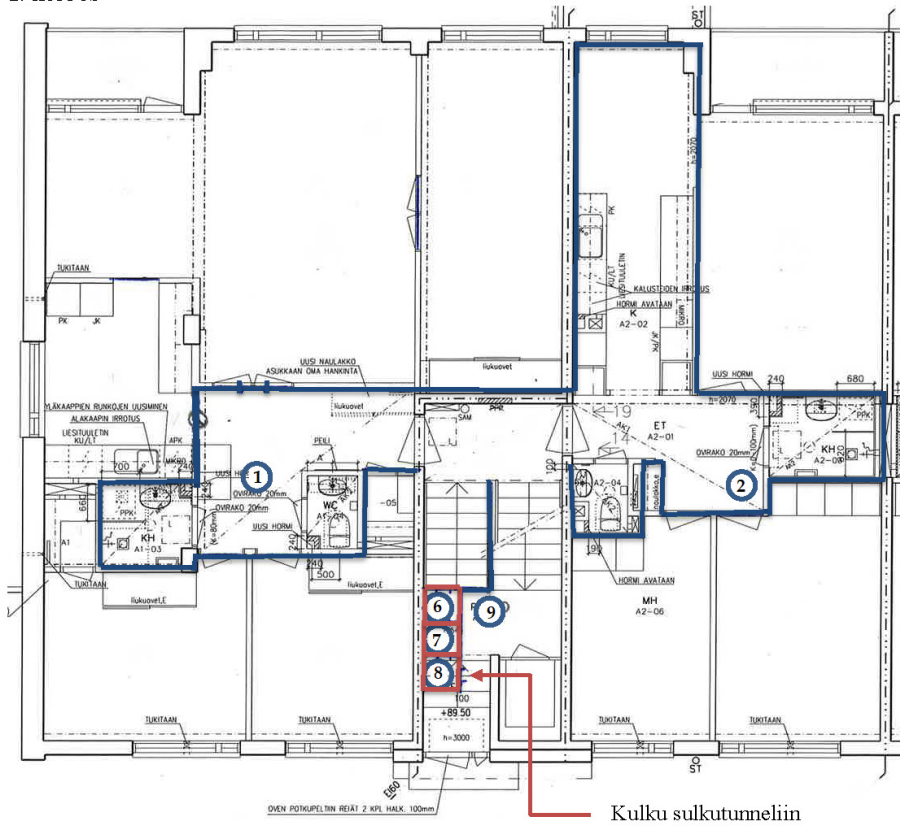
LIITTEET

- Liite 1 Huoneistojen pohjapiirrokset ja mittauspaikat
- Liite 2 Alipaineistajien mittaukset

Huoneistoiden pohjapiirroksat ja mittauspaikat

LIITE 1 (1/2)

1. kerros



MASSAPUTKIERISTEEN PURKU KELLARITUNNELISSA

1 TUTKIMUSKOHDE, OLOSUHTEET JA TUTKITUT TYÖVAIHEET

Tutkimuskohteena oli kahden rakennuksen välinen, kellarikerroksessa sijaitseva huoltotunneli, jossa asbestia oli putkien ympärillä massaeristeenä yhteensä noin 62 metriä. Lisäksi tilassa oli neljä asbestipitoista putkiläpivientä. Asbestikartoitus oli tehty 20.4.2018.

Asbestipurkutytöt tehtiin osastointimenetelmällä, jossa sulkutunnelilla varustettu osastointi rakennettiin puurimoista ja rakennusmuovista. Osastoinnin ja ympäröivän tilan rajapintojen läpiviennit (mm. sähkövedot) tiivistettiin muovikalvon ja teipin avulla. Kolmiosainen sulkutunneli (osajaon leveys 0,83 m × syvyys 0,8–0,95 m × korkeus 1,8–1,95 m) puurimoista ja muovikalvoista muovisin läppäovin valmistettuna sijaitsi porrashuoneessa osin portaikkoon nousten ja sijoittui lähes huoltotunnelin päätyyn. Korvausilma johdettiin porrashuoneesta sulkutunnelin läpi osastointiin. Korvausilma-aukon koko oli noin 390 cm². Alipaineistus toteutettiin kahdella alipaineistajalla (Husqvarna A2000), jotka oli sijoitettu sulkutunnelin suuaukkoon nähden huoltotunnelin kauimmaiseen päätyyn (liite 1). Osastoinnista HEPA-suodatettu ilma johdettiin ulos yhden kerrosnousun verran muovisukkien avulla. Kanavaa ei ollut mahdollista tehdä suoravetona. Selvästi kuristavia taitekohtia oli kolmessa kohtaa muovisukkaa. Yhden kanavan pituus oli noin 20 m. Osastoinnin kokonaistilavuus oli 208 m³.

Asbestipurkua tehtiin työparina. Työvaiheina oli läpivientien purkaminen sahaamalla sekä putkien massaeristeen poisto sahaamalla (puukkosaha Milwaukee M18 CSX-0). Putkieristeet poistettiin kahden metrin osissa siten, että putki sukutettiin muovilla ja sahattiin muovin läpi. Samanaikaisesti toinen työntekijä käytti imuria (Strong S28) kohdepoistona leikkauskohdassa. Imuri kierrätti HEPA-suodatetun ilman takaisin osastoinnin sisäpuolelle. Samaa imuria käytettiin pintojen välisiivouksissa.

Työntekijät käyttivät kertakäyttöisiä suojahaalareita (tyyppi 5/6), suojakäsineitä ja kenkäsuojia. Työntekijöillä oli käytössään puhaltimella, kokonaamarilla ja pölynsuodattimilla varustetut hengityksensuojaimet, tehokkuusluokka TM3P. Sulkutilassa puhdistautumisessa työntekijöillä oli käytössään imuri (Strong S14) sekä vettä ja siivousrättejä. Imuri oli sijoitettu sulkutunnelin ulkopuolelle.

Mittauksilla selvitettiin osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta sekä asbesti- ja pölypitoisuuksia osastoinnin sisällä ja sen ulkopuolella. Mittaukset suoritettiin 28.–29.5.2018.



Kuva 1. Osastointiin johtava kolmiosainen sulkutunneli, jossa läppäovirakenne. Mittauspiste sulkutunnelin edessä.



Kuva 2. Mittauspiste osastoinnin ulkopuolella. Osastoiva seinärakenne: muovikalvot, puurimat ja rajapintojen tiivistysteippaukset.



Kuva 3. Alipaineistajat osastoinnissa.



Kuva 4. HEPA-suodatetun ilman johtaminen muovisukkien avulla ulos. Kanavassa taitekohtia.



Kuva 5. Mittauspisteet sulkutunnelissa.



Kuva 6. Mittauspiste purkutilassa.



Kuva 7. Massaeristeen purkua puukkosahalla, toisella työntekijällä imuri sahauskohdan läheisyydessä. Purettava eriste pussitettu.

2 MENETELMÄT

2.1 Alipaineistajien toimivuus

Alipaineistajien mahdolliset vuodot ja hiukkaserotusasteet mitattiin kolmella eri hiukkaslaskurilla:

- Met One
- TSI malli 3330
- Palas Fidas Frog

Erotusasteet mitattiin ottamalla näyte ennen alipaineistajaa (Husqvarna A2000) ja sen jälkeen ulospuhallusilmasta poistoilmakanavasta. Erotusaste laskettiin yhtälöstä:

$$E(\%) = \left(1 - \frac{N_1}{N_2}\right) \times 100, \quad (1)$$

missä N_1 on hiukkaspitoisuus suodatuksen jälkeen ja N_2 ennen suodatusta.

Ilmavirrat mitattiin alipaineistuslaitteiden otsapinnalta Accubalance - balometrillä. Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtokerroin saadaan laskemalla alipaineistajien ilmavirrat yhteen ja jakamalla summa osastoinnin kokonaistilavuudella.

2.2 Jatkuvatoiniset paine-eromittaukset

Osastoinnin ja ympäröivän tilan välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisella paine-eroanturilla Dwyer Magnesense, joka oli varustettu dataa tallentavalla HOB0 U12 -laitteella. Paine-erodata tallennettiin 30 sekunnin välein.

2.3 Savukokeet

Osastoinnin ilmanvaihtuvuutta testattiin merkkisavukokeella generoimalla savua osastointiin noin minuutin ajan ensimmäisenä mittauspäivänä. Savun leviämistä osastoinnin sisällä tarkasteltiin visuaalisesti sekä mittaamalla hiukkaspitoisuutta jatkuvatoimisesti kahdesta mittauspisteestä DataRam-pölymittareilla. Toinen mittauspiste

sijaisi noin kymmenen metrin päässä alipaineistajista ja toinen huoltotunnelin vastakkaisessa päässä.

2.4 Osastoinnin ja ympäröivän alueen asbesti- ja pölypitoisuuden mittaukset

Osastoinnin epäpuhtauspitoisuuksien ja epäpuhtauksien leviämisen selvittämiseksi mitattiin ilmasta asbestin sekä hengittävän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Näytteitä otettiin kiinteistä mittauspajoista hengityskorkeudelta.

Mittausvälineet sijoitettiin osastoinnissa noin kymmenen metrin päähän alipaineistajista ja vastakkaiseen päähän huoltotunnelia sekä jokaiseen sulkutunnelin osaan. Osastoinnin ulkopuolella mittausvälineet olivat sulkutunnelin edessä porrashuoneessa ja alipaineistajien puoleisen päädyn porrashuoneessa (noin 2,3 metriä osastoivasta seinästä). Lisäksi seurattiin pölypitoisuuksien ajallista vaihtelua osastoinnissa ja sen ulkopuolella suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla, jotka mittaavat halkaisijaltaan 0,1-10 µm:n hiukkasia. Mittauspisteet on merkitty liitteen 1 pohjapiirrokseen.

Ilmanäytteiden keräys- ja määritysmenetelmät olivat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Näytteenkeräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattu altiste	Näytteenottomenetelmä	Määritysmenetelmä
asbestikuidut	polykarbonaattisuodatin	elektronimikroskopointi (EM) ja alkuaineanalyysi
hengittävä ja alveolijakeinen pöly	IOM-vahtokeräin ja selluloosa-asettaattisuodatin	gravimetria

Pyyhintänäytteet otettiin nurinpäin käännettyihin Minigrip-pusseihin asettamalla käsi pussin sisään ja pyyhkimällä pintoja, minkä jälkeen pussit käännettiin oikeinpäin ja suljettiin huolellisesti. Pölynäyte tai edustava osa siitä suodatettiin tislatulla vedellä kalvosuodattimelle ja

analysoitiin elektronimikroskooppia (EM) ja siihen liitettyä energiadispersiivistä spektrometriä (EDS) käyttäen.

Työterveyslaitoksen laboratoriotoiminta on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T013, akkreditointivaatimus SFS-EN ISO/IEC 17025. Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä asbestimateriaalien analyysimenetelmä kuuluvat akkreditoinnin piiriin.

3 VERTAILUARVOT

Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta 798/2015 (VNa 798/2015) mukaan osastoinnin ja ympäröivän tilan välinen paine-ero tulee olla vähintään -5 Pa, ja krokidoliittipurkutyössä vähintään -10 Pa.

Asbestipölyn pitoisuus ilmoitetaan vähintään viiden mikrometrin mittaisten kuitujen määränä kuutiosenttimetrissä ilmaa (k/cm^3). Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan kahdeksan tunnin sitova raja-arvo asbestikuiduille on $0,1 \text{ k}/\text{cm}^3$ ja pitoisuus puhtaissa tiloissa ei saa ylittää ns. puhtaan tilan ohjearvoa $0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$ (VNa 798/2015). Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan asbestikuitupitoisuuden tulee käytössä olevissa tiloissa olla alle menetelmän määritysrajan eli $<0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 (STMa 545/2015) mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 9/2018 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on epäorgaaniselle pölylle annettu kahdeksan tunnin ohjeraja-arvoksi ($\text{HTP}_{8\text{h}}$) $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja orgaaniselle pölylle $5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sementtipölyn $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvot ovat $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (hengittyvä pöly) ja $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (alveolijae).

Työterveyslaitos on asettanut monille ilman epäpuhtauksille tavoitetasoja, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Hengittyvälle yleiselle pölylle tavoitetaso on $2 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle $0,5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Nämä yleisen pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä

terveyshaittoja, jotka liittyvät erityisesti niukkaliukoisiin partikkeleihin, joiden poistuminen keuhkoista on hidasta.

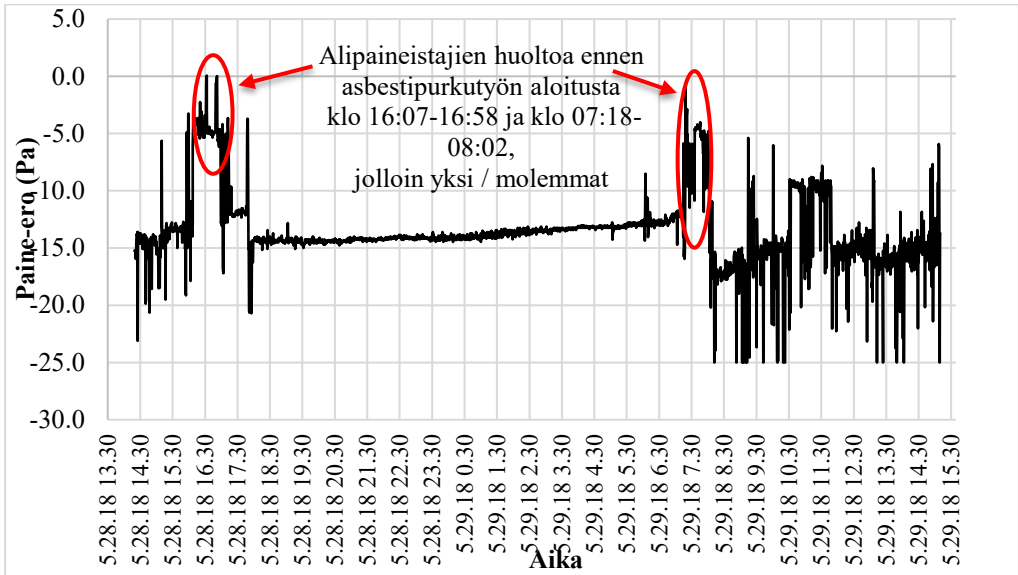
Valtioneuvoston asetuksessa 798/2015 asbestityön turvallisuudesta on mainittu, että ilmankäsittelylaitteiden suodattamien erotusaste on oltava riittävä eikä työvälaineistä saa päästä puhtaisiin tiloihin asbestipölyä enempää kuin 0,01 kuitua kuutiosenttimetrissä ilmaa. Erotusasteelle ei siten ole annettu selvää lakisääteistä arvoa.

Rakennusalan koordinaatioryhmä (11.4.2017) täsmentää, että alipaineistajan ja muiden asbestityössä käytettävien ilmankäsittelylaitteiden on puhdistettava käsittelemänsä ilma siten, että erotusaste on kuiduille (vähintään) 99,97 %. Käytännössä alipaineistuslaitteet on varustettu HEPA H13 -luokan suodattimilla, joiden erotusaste on >99,95 % maksimiläpäisyn hiukkaskoolla (Most Penetrating Particle Size, MPPS). Tämä on asbestitöissä käytettävien laitteiden osalta yleensä kokoalueella 0,1-0,3 µm. Tämän vuoksi tässä hankkeessa käytetään erotusasteelle raja-arvoa >99,95% hiukkaskokoalueella, joka on mahdollisimman lähellä maksimiläpäisyä.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 Paine-eromittaukset

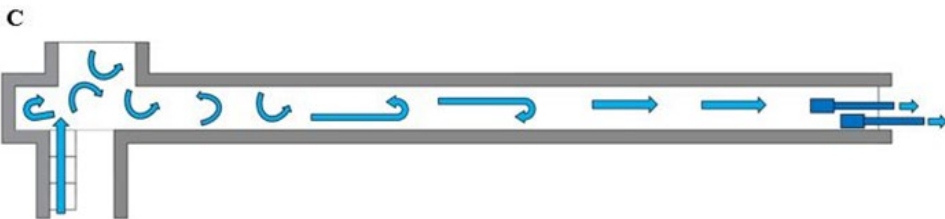
Osastoinnin paine-ero ympäröivään tilaan verrattuna vaihteli koko seurantajaksolla neutraalipaineen ja -25 Pa:n välillä (kuva 8). Alle 5 Pa:n alipaine- ja neutraalipainetilanteet liittyivät ennen purkutyön aloitusta suoritettuihin alipaineistajien huoltotoimiin, jolloin yksi tai molemmat alipaineistajat olivat poissa käytöstä. Purkutyön aloituksen jälkeen (29.5. noin klo 9.20) osastoinnin paine-ero ympäröivään tilaan nähden oli jatkuvasti vähintään -5 Pa (VNa 798/2015). Paine-eroissa oli tavanomaista vaihtelua mm. ovi- ja hissiliikenteen vaikutuksesta.



Kuva 8. Paine-erot mittausten aikana.

4.2 Savukokeet

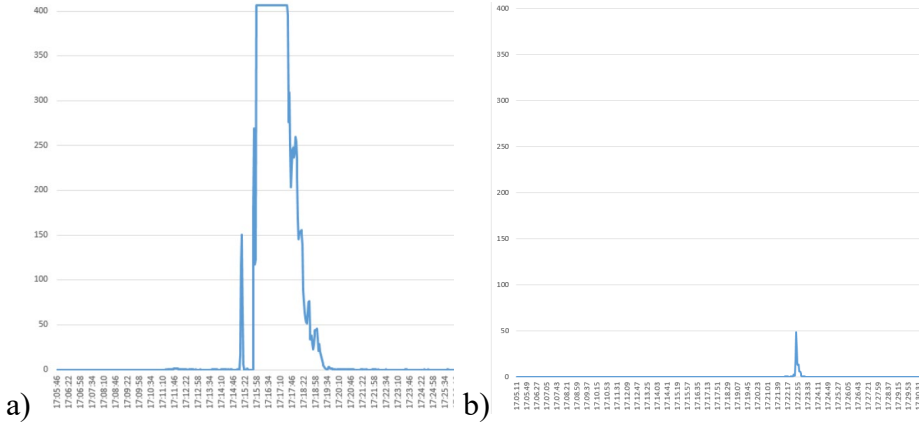
Savukokeilla tarkasteltiin osastoinnin ilmanvaihtuvuutta ja simuloitiin korvausilman leviämistä osastoinnin sisällä (kuva 9). Sulkutunnelin oviaukolta vapautettu lämmin savu virtasi kohti osastoinnin sisäpuolen kylmää tilaa. Kylmän ja lämpimän ilman törmääminen toisiinsa aiheutti pyörteilyä visuaalisesti tarkasteltuna. Lämpökerrostumia oli havaittavissa. Näin ollen savu levisi hitaasti kohti alipaineistajia tunnelin päässä ja myös laimeni hitaasti.



Kuva 9. Savukokeiden havainnot.

Hiukkaspitoisuuksia mitattiin savukokeiden aikana myös suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla (Kuva 10). Kuvista näkyy, että

savua kulkeutui purkutilan alipaineistajien puoleiseen päähän hyvin vähän.



Kuva 10. Pölypitoisuuden alenema a) purkutilan sulkutunnelin puoleisessa päässä ja b) purkutilan alipaineistajien puoleisessa päässä, savupäästö klo 17.15-17.16.

4.3 Alipaineistajien toimivuus

Alipaineistuslaitteiden ilmavirrat ja keskimääräiset erotusasteet olivat taulukoiden 2 ja 3 mukaiset. Kanavan taitteita oikaistiin ennen purkutyön aloitusta, jotta vältettäisiin kanavan kuristumisesta aiheutuvaa ilmavirtauksen pienenemistä.

Taulukko 2. Alipaineistuslaitteiden ilmavirrat.

Laite	Laite nro	Ilmavirta (m ³ /s)
Husqvarna A2000	1	0,25 *) /0,26 **)
Husqvarna A2000	2	0,26

*) ennen suodatinvaihtoa

***) suodatinvaihdon jälkeen

Taulukko 3. Alipaineistajien keskimääräiset erotusasteet eri mittausten menetelmillä.

Laite	Laite nro	Met One	Palas	TSI
Husqvarna A2000	1 ^{*)}	97 % @ 0,39 µm	97 % @ 0,38 µm	95 % @ 0,37 %
	1 ^{**)}	>99,99% @ 0,39 µm	ei mitattu	>99,99% @ 0,37 µm
Husqvarna A2000	2	>99,97% @ 0,39 µm	>99,9 % @0,38 µm	99,97% @ 0,37 µm

*) ennen suodatinvaihtoa

***) suodatinvaihdon jälkeen

Mittauksissa käytettyjen hiukkaslaskurien mittaama hiukkaskoko kuvastaa hiukkasten optista hiukkaskokoa, joka voi poiketa aerodynaamisesta hiukkaskoosta. Kenttämittauksissa oleellisinta on kuitenkin todentaa, että laitteet ovat turvallisia käyttää. Tässä eksakti hiukkaskoko ei ole siten kriittistä, vaan tärkeintä on, ettei laitteissa ole vuotoja puhtaalle puolelle. Tähän tarkoitukseen kaikki käytetyt hiukkaslaskurit olivat soveliaita. Ne antoivat myös keskenään hyvin samansuuntaisia tuloksia.

Ensimmäisessä mittauksessa alipaineistaja 1 ei täyttänyt erotusastevaatimusta, koska siinä oli selvää vuotoa puhtaalle puolelle. Erotusasteena ilmaistuna (95-97%) vuoto ei tunnu suurelta, mutta oleellista on laitteen läpäisy (läpäisy P=1-E, missä E=erotusaste). Läpäisy oli siis luokkaa 3-5% mikä on n. 100-kertainen raja-arvoon verrattuna. Alipaineistuslaitteen suodatin vaihdettiin uuteen ennen asbestitöiden aloitusta ja laite mitattiin uudelleen. Uudella suodattimella erotusastevaatimus (E>99,95%) täyttyi selvästi (taulukko 3).

Alipaineistajien yhteenlaskettu ilmavirta oli 0,52 m³/s eli n. 1900 m³/h. Jaettuna osastoinnin tilavuudella (208 m³) saadaan ilmanvaihtuvuudeksi 9 vaihtoa tunnissa. Maahantuojan ilmoittama ilmavirta Husqvarna A2000 laitteelle on 2000 m³/h. Poistoilma johdettiin ulos muovisukkien avulla ja näistä aiheutuva painehäviö pienentää ilmavirtoja. Todellinen ilmavirta käyttötilanteessa oli siten alle puolet laitteen nimellisilmavirrasta.

4.4 Asbesti- ja pölypitoisuudet

Ilman asbestikuitujen sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet on esitetty taulukossa 4. Löydetyt kuidut olivat krysotiiliä, amosiittia ja antofylliittiä. Kuvassa 11 on muutamia suodattimien pinnoilta otettuja valokuvia.

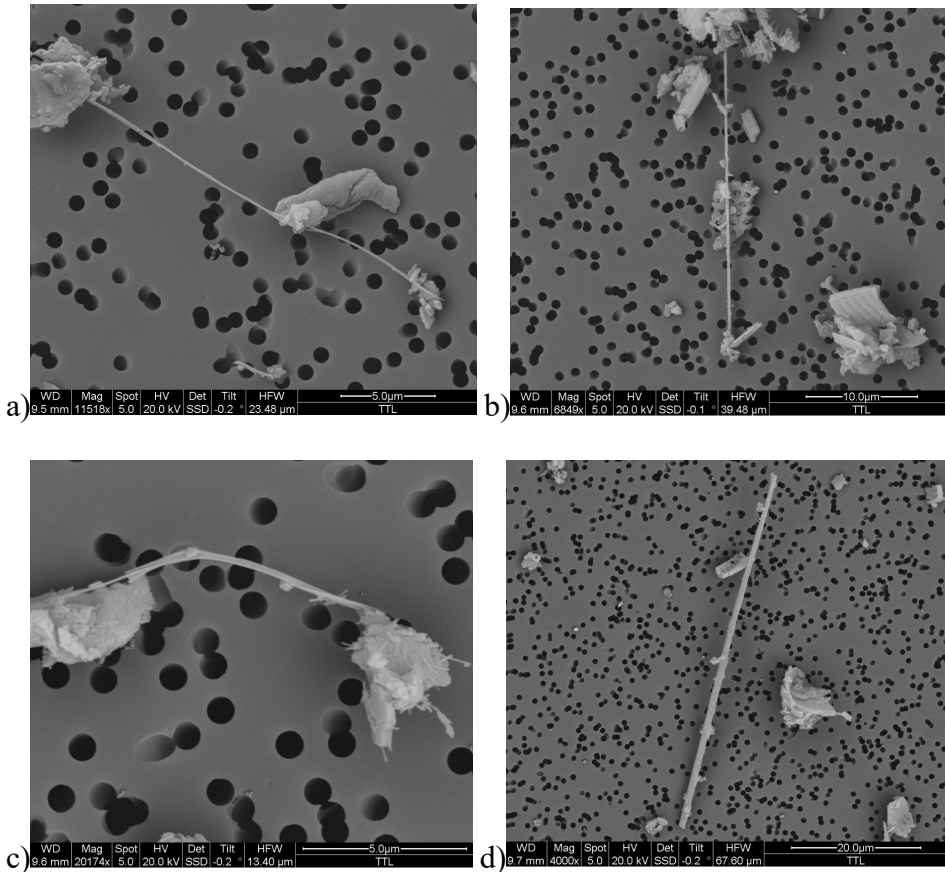
Purkutilasta mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat korkeimmillaan 410 % kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta asbestikuiduille ja alimmillaan alle menetelmän määrittämissä raja-arvoissa $<0,01 \text{ k/cm}^3$. Hengittyvän pölyn ja alveolipölyn pitoisuudet olivat alhaisia ollen alle määrittämissä raja-arvoissa yhtä hengittyvän pölyn näytettä lukuun ottamatta, joka sekin oli vain 3 % epäorgaanisen pölyn HTP-arvosta. Sulkutilasta ja osastoinnin ulkopuolelta mitatut asbestikuitupitoisuudet olivat alle puhtaan tilan ohjearvon $0,01 \text{ k/cm}^3$.

Taulukko 4. Ilman asbestikuitu- ja pölypitoisuudet 29.5.2018.

Mittauspaikka ja -aika	Asbestikuidut, k/cm ³	Hengittyvä pöly, mg/m ³	Alveolipöly, mg/m ³	Mittauspiste liitteessä 1
purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää, klo 10.04-10.25 (läpivientien purkua)	0,12			1
purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää, klo 14.11-14.45 (putkieristeiden purkua)	<0,01 (-)*			1
purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää, klo 9.31-14.58		0,29	<0,16	1
purkutila, alipaineistajien puoleinen pää, klo 10.04-10.24 (läpivientien purkua)	0,08			2
purkutila, alipaineistajien puoleinen pää, klo 14.12-14.43 (putkieristeiden purkua)	0,41			2
purkutila, alipaineistajien puoleinen pää, klo 9.32-14.59		<0,16	<0,16	2
sisin sulku, klo 9.29-14.56	<0,01 (-)			3
keskimmäinen sulku, klo 9.29-14.56	<0,01 (-)			4
uloin sulku, klo 9.28-14.55	<0,01 (-)			5
sulun ulkopuoli, sulkutunnelin edessä, klo 9.28-15.08	<0,01 (-)			6

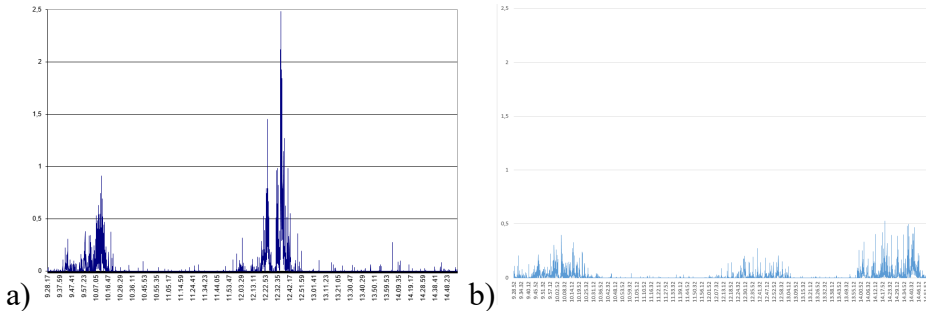
sulun ulkopuoli, huoltotunneli alipaineistajien lähellä, klo 9.30-15.10	<0,01 (-)			7
---	-----------	--	--	---

*Suluissa tulokset, kun laskettu ”ylimääräisiä” kenttiä herkkyYTEEN 0,001 k/cm³, - = ei löytynyt yhtäkään kuitua



Kuva 11. Valokuvia suodattimien pinnoilta: a) purkutilan alipaineistajien puoleinen pää, putkieristeiden purkua (krysotiili), b) purkutilan alipaineistajien puoleinen pää, putkieristeiden purkua (amosiitti), c) purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää, läpivientien purkua (krysotiili), d) purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää, läpivientien purkua (antofylliitti)

Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli suurta, kuten kuvasta 12 näkyy.



Kuva 12. Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu eri mittauspaikoissa: a) purkutila, sulkutunnelin puoleinen pää ja b) purkutila, alipaineistajien puoleinen pää

Pyyhintänäytteiden analyysitulokset ovat taulukossa 5, jossa on ilmoitettu, sisältääkö näyte asbestikuituja (+) vai ei (-). Mikäli näytteessä esiintyy asbestikuituja, on myös kuitumineraali ilmoitettu.

Yhdessä kolmesta osastoinnin ulkopuolelta kerätyssä pyyhintänäytteessä esiintyi asbestikuituja. Löydetyt kuidut olivat samoja kuituja, joita analysoitiin osastoinnin sisältä purkutöiden aikana kerätyistä ilmanäytteistä.

Taulukko 5. Asbestikuitujen (>5 µm) esiintyminen pinnoilla osastoinnin ulkopuolella sekä kuitumineraalit.

Mittauspaikka	Tulos	Asbestimineraalit
sulkutunnelin puoleinen pää, putken päältä	-	
huoltotunneli, alipaineistajien lähellä, putken päältä	+	antofylliitti, amosiitti ja krysotiili
alipaineistajien puoleinen pää, portaikko	-	

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Osastointi noudatti VNa 798/2015 mukaista paine-erovaatimusta vähintään 5 Pa:n jatkuva alipaine ympäröiviin tiloihin nähden. Paine-eroissa oli suurta vaihtelua muun muassa tuuliolosuhteiden muutoksista johtuen. Koekohteessa noin -15 Pa:n paine-ero osoittautui riittäväksi pitämään paine-ero tavoitearvossa (vähintään -5 Pa) koko mittausjakson ajan.

Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtuvuus oli 9 kertaa tunnissa, mutta savukokeiden perusteella ilman huuhteluvaikutus oli hitaampaa alipaineistajien puoleisessa päädyssä tunnelia. Lämpimämmän korvausilman sekoittuminen kylmempään huoltotunnelin ilmaan aiheutti ilman pyörteilyä selittäen eroavaisuutta korvausilman liikkeissä tunnelin eri päädyissä.

Alipaineistajista toisessa oli selvää vuotoa puhtaalle puolelle viallisen suodattimen vuoksi. Tämä voitiin todeta selvästi kaikilla käytetyillä hiukkasmittareilla. Uuden suodattimen asennuksen jälkeen laite toimi suunnitellusti. Tämänkaltaisen vuodon havaitseminen ja suodattimen toimintakunnon toteaminen pelkällä silmämääräisellä tarkastelulla on mahdotonta, koska suodatin näytti ulkoisesti ehjältä ja siinä oli valmistajan ilmoittama erotusasteen mittaustulos, jonka mukaan suodatin täyttää HEPA H13 -luokan vaatimukset. Tämän vuoksi reaaliaikainen hiukkasmittaus on ainoa keino havaita vastaavat poikkeavuudet.

Alipaineistajien todellinen ilmavirta käyttötilanteessa oli alle puolet laitteen ilmoitetusta nimellisilmavirrasta. Ilmavirta olisi siten hyvä mitata ennen purkutöiden aloitusta, jotta voidaan varmistua, että tavoiteltu ilmanvaihtuvuus saavutetaan. Pitkäkestoisissa ja pölyävissä töissä alipaineistajien HEPA-suodattimet kuormittuvat, mikä aiheuttaa niiden painehäviön kasvua ja siten ilmavirtojen pienenemistä. Tämä olisi syytä ottaa huomioon mitoittamalla ilmanvaihtuvuus niin, että se täyttää vaatimukset myös kuormitetuilla suodattimilla.

Purkutilasta mitatut asbestikuitupitoisuudet ylittivät kahdeksan tunnin sitovan raja-arvon asbestikuiduille, mutta hengittyvän pölyn ja alveolipölyn pitoisuudet olivat alhaiset. Työntekijöiden työskentelytapa (parityöskentely) ja käytetyt pölyntorjuntakeinot (purettavan putken

sukitus, kohdepoistomuri leikkauskohdassa) olivat hyvän pölyntorjunnan toteutuksen mukaisia. Tulosten perusteella asbestipölyä ei levinnyt purkutyön aikana sulcutunneliin tai osastoinnin ulkopuolelle.

LIITTEET

Liite 1 Pohjapiirros ja mittauspaikat

Pohjapiirros ja mittauspaikat

LIITE 1 (1/1)



MASSAPUTKIERISTEEN PURKU LÄMMÖNJAKOHUONEESSA

1 TUTKIMUSKOHDE, OLOSUHTEET JA TUTKITUT TYÖVAIHEET

Tutkimuskohteena oli kerrostaloyhtiön kellarikerroksessa sijaitseva lämmönjakohuone, jossa asbestia oli putkien ympärillä massaeristeenä yhteensä noin 18 metriä. Asbestipurkutyön turvallisuussuunnitelman mukaan asbestikartoitus oli tehty 29.8.2018.

Asbestipurkutyöt tehtiin osastointimenetelmällä, jossa sulkutunnelilla varustetun osastoinnin suojaseinät oli rakennettu puurimoista ja rakennusmuovista. Osastoinnin ja ympäröivän tilan rajapintojen läpiviennit (mm. sähkövedot) oli tiivistetty villan ja polyuretaanimassan avulla. Kolmiosainen sulkutunneli oli rakennettu (osajaon leveys 0,8 m × syvyys 0,7 m × korkeus 1,8 m) puurimoista ja muovikalvoista muovisin läppäövin. Sulkutunneli sijaitsi lämmönjakohuoneen ulkopuolella sen pidemmällä sivulla. Sulkutunnelin sisäosa sijoittui lämmönjakohuoneen edessä olevaan ns. eteistilaan (pohjapiirros, liite 1). Korvausilma johdettiin kellaritilasta sulkutunnelin läpi osastointiin. Purkutyön aikaan sulkutunnelin uloimman osan korvausilma-aukon koko oli noin 300 cm². Alipaineistus tuotettiin yhdellä alipaineistajalla (Strong 4000), jonka imupuoli sijaitsi osastoinnin eteistilassa sulkutunnelin suuaukkoa vastapäätä (liite 1). Osastoinnista HEPA-suodatettu ilma johdettiin ulos yhden kerrosnousun verran muovisukan avulla. Kanavaa ei ollut mahdollista tehdä suoravetona. Muovisukassa oli yksi ilmavirtaa selvästi kuristava taitekohta. Kanavan pituus oli noin 3,5 m. Osastoinnin kokonaistilavuus oli 42 m³.

Asbestipurkua teki yksi työntekijä. Työvaiheina oli putkien massaeristeen poisto ja työvälineinä käytössä oli kirves, puukko ja mattoveitsi. Lisäksi työntekijä säkitti purettuja eristeitä. Välisiivouksissa ja työntekijän puhdistumisessa käytetty imuri (Pullman Ermator S26) oli sijoitettu sulkutunnelin ulkopuolelle. HEPA-suodatettu ilma johdettiin osastoinnin ulkopuolelle kellaritilaan.

Työntekijä käytti kertakäyttöisiä suojahaalareita (tyyppi 5/6), suojakäsineitä ja kenkäsuojia. Työntekijällä oli käytössään puhaltimella, kokonaamarilla ja pölynsuodattimilla varustettu hengityksensuojain, tehokkuusluokka TM3P. Sulkutilassa puhdistautumisessa työntekijällä oli imurin lisäksi käytössään vettä, siivousrättejä ja desinfiointiliinoja.

Mittauksilla selvitettiin osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta sekä asbestikuitu- ja pölypitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Mittaukset suoritettiin 16.10.2018.



Kuva 1. Lämmönjakuhuoneen purettavat asbestia sisältävät massaeristeputket. Kuvassa vasemmalla DataRam-hiukkasmittari telineessä hengityskorkeudella.



Kuva 2. Osastoinnin eteistila, jossa oikealta kulku sulkutunneliin. Kuvassa keskellä mittauspiste.



Kuva 3. Osastoinnin ulkopuolella sijaitseva mittauspiste. Sulkutunneliin kulku.



Kuva 4. Sulkutunnelin edusta.



Kuva 5. Mittauspiste kattila-/lämmivesivaraajahuoneessa osastoinnin ulkopuolella kauempana lämmönjakuhuoneesta.

2 MENETELMÄT

2.1 Alipaineistajan toimivuus

Alipaineistajan mahdolliset vuodot ja hiukkaserotusasteet mitattiin Met One hiukkaslaskurilla. Erotusasteet määritettiin ottamalla näyte ennen alipaineistajaa (Strong 4000) laitteen imuaukon otsapinnalta ja suodatuksen jälkeen ulospuhallusilmasta (kuva 6). Ulospuhallusilman näytteenottopiste oli muovisukasta tehdyssä poistoilmakanavassa n. 1 m:n päässä ulospuhallusaukosta. Erotusaste laskettiin yhtälöstä:

$$E(\%) = \left(1 - \frac{N_1}{N_2}\right) \times 100, \quad (1)$$

missä N_1 on hiukkaspitoisuus suodatuksen jälkeen ja N_2 ennen suodatusta.



Kuva 6. Hiukkaspitoisuuden mittaus alipaineistajan ulospuhallusilmasta.

Ilmavirrat mitattiin alipaineistuslaitteen otsapinnalta Accubalance - balometrilla (kuva 7).



Kuva 7. Alipaineistajan ilmavirran mittaus Accubalancella.

Osastoinnin nimellinen ilmanvaihtokerroin saadaan jakamalla alipaineistajan ilmavirta osastoidun alueen kokonaistilavuudella.

2.2 Jatkuvatöimiset paine-eromittaukset

Osastoinnin ja ympäröivän tilan välistä paine-eroa mitattiin jatkuvatoimisella paine-eroanturilla Dwyer Magnesense, joka oli varustettu dataa tallentavalla HOBO U12 –laitteella. Paine-erodata tallennettiin 10 sekunnin välein.

2.3 Savukokeet

Osastoinnin ilmanvaihtuvuutta testattiin merkkisavukokeella generoimalla savua osastointiin kahdessa lyhyessä jaksossa. Savun leviämistä osastoinnin sisällä tarkasteltiin visuaalisesti sekä mittaamalla hiukkaspitoisuutta jatkuvatoimisesti kahdesta mittauspisteestä DataRam-pölymittareilla. Mittauspisteet sijaitsivat lämmönjakohuoneen eteistilassa ja lämmönjakohuoneen takaosassa (liite 1).

2.4 Osastoinnin ja ympäröivän alueen asbesti- ja pölypitoisuuden mittaukset

Osastoinnin epäpuhtauspitoisuuksien ja epäpuhtauksien leviämisen selvittämiseksi mitattiin ilmasta asbestikuitujen sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuuksia osastoinnin sisä- ja ulkopuolella. Näytteitä otettiin kiinteistä mittauspaikoista hengityskorkeudelta.

Mittausvälineet sijoitettiin osastoinnin sisällä lämmönjakohuoneen keskelle, lämmönjakohuoneen takaosaan ja eteistilaan. Mittausvälineitä oli myös osastoinnin ulkopuolella sulkutunnelin edessä ja kellaritilan toisessa päädyssä olevassa kattila-/lämminvesivaraajahuoneessa sekä jokaisessa sulkutunnelin osassa. Lisäksi seurattiin pölypitoisuuksien ajallista vaihtelua osastoinnissa ja sen ulkopuolella suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla, jotka mittaavat halkaisijaltaan 0,1–10 µm hiukkasia. Mittauspisteet on merkitty liitteen 1 pohjapiirroksiin.

Ilmanäytteiden keräys- ja määrittymenetelmät olivat taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Näytteenkeräys- ja analyysimenetelmät.

Mitattu altiste	Näytteenottomenetelmä	Määrittymenetelmä
asbestikuidut	polykarbonaattisuodatin	elektronimikroskopiointi (EM) ja alkuaineanalyysi
hengittyvä ja alveolijakeinen pöly	IOM-vahtokeräin ja selluloosa-asettaattisuodatin	gravimetria

Pyyhintänäytteet otettiin nurinpäin käännettyihin Minigrip-pusseihin asettamalla käsi pussin sisään ja pyyhkimällä pintoja, minkä jälkeen pussit käännettiin oikeinpäin ja suljettiin huolellisesti. Pölynäyte tai edustava osa siitä suodatettiin tislattulla vedellä kalvosuodattimelle ja analysoitiin elektronimikroskooppia (EM) ja siihen liitettyä energiadiispersiivistä spektrometriä (EDS) käyttäen.

Työterveyslaitoksen laboratoriotointoiminta on FINAS-akkreditointipalvelun akkreditoima testauslaboratorio T013, akkreditointivaatimus SFS-EN ISO/IEC 17025. Hengittävän ja alveolijakeisen pölyn näytteenotto- ja analyysimenetelmät sekä asbestimateriaalien analyysimenetelmä kuuluvat akkreditoinnin piiriin.

3 VERTAILUARVOT

Valtioneuvoston asetuksen asbestityön turvallisuudesta 798/2015 (VNa 798/2015) mukaan osastoinnin ja ympäröivän tilan välinen paine-ero tulee olla vähintään -5 Pa, ja krokidoliittipurkutyössä vähintään -10 Pa.

Asbestikuitupitoisuus ilmoitetaan vähintään viiden mikrometrin mittaisten kuitujen määränä kuutiosenttimetrissä ilmaa (k/cm^3). Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan kahdeksan tunnin sitova raja-arvo asbestikuiduille on $0,1 \text{ k}/\text{cm}^3$ ja pitoisuus puhtaissa tiloissa ei saa ylittää ns. puhtaan tilan ohjearvoa $0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$ (VNa 798/2015). Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan asbestikuitupitoisuuden tulee käytössä olevissa tiloissa olla alle menetelmän määrittämissä eli $<0,01 \text{ k}/\text{cm}^3$. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 (STMa 545/2015) mukaan asbestikuitujen esiintymistä pinnoille laskeutuneessa pölyssä pidetään toimenpiderajan ylittymisenä.

Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisussa 9/2018 "Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet" on epäorgaaniselle pölylle annettu kahdeksan tunnin ohjeraja-arvoksi ($\text{HTP}_{8\text{h}}$) $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ ja orgaaniselle pölylle $5 \text{ mg}/\text{m}^3$. Sementtipölyn $\text{HTP}_{8\text{h}}$ -arvot ovat $5 \text{ mg}/\text{m}^3$ (hengittävä pöly) ja $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ (alveolijae).

Työterveyslaitos on asettanut monille ilman epäpuhtauksille tavoitetasoja, jotka auttavat yrityksiä tavoittelemaan lakisääteistä tasoa parempaa työympäristöä. Hengittävälle yleiselle pölylle tavoitetaso on

2 mg/m³ ja alveolijakeiselle yleiselle pölylle 0,5 mg/m³. Nämä yleisen pölyn tavoitetasot on tarkoitettu vähentämään hiukkasten epäspesifisiä, kaikille hengitysteihin ja keuhkoihin pääseville partikkeleille yhteisiä terveyshaittoja, jotka liittyvät erityisesti niukkaliukoisiin partikkeleihin, joiden poistuminen keuhkoista on hidasta.

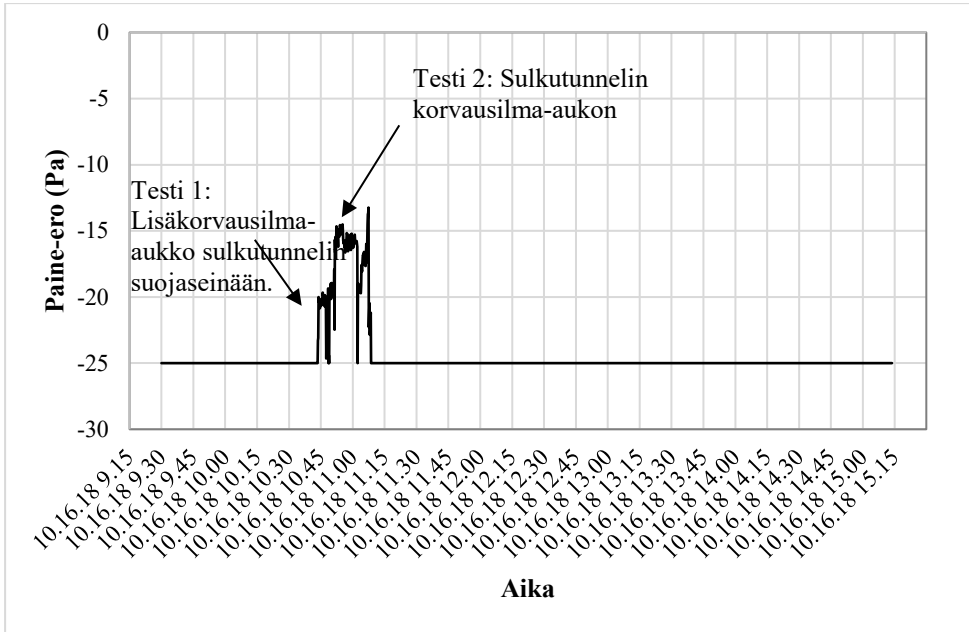
Valtioneuvoston asetuksessa 798/2015 asbestityön turvallisuudesta on mainittu, että ilmankäsittelylaitteiden suodattamien erotusaste on oltava riittävä eikä työvälaineistä saa päästä puhtaisiin tiloihin asbestipölyä enempää kuin 0,01 kuitua kuutiosenttimetrissä ilmaa. Erotusasteelle ei siten ole annettu selvää lakisääteistä arvoa.

Rakennusalan koordinaatioryhmä (11.4.2017) täsmentää, että alipaineistajan ja muiden asbestityössä käytettävien ilmankäsittelylaitteiden on puhdistettava käsittelemänsä ilma siten, että erotusaste on kuiduille (vähintään) 99,97 %. Käytännössä alipaineistuslaitteet on varustettu HEPA H13 -luokan suodattimilla, joiden erotusaste on >99,95 % maksimiläpäisyn hiukkaskoolla (Most Penetrating Particle Size, MPPS). Tämä on asbestitöissä käytettävien laitteiden osalta yleensä kokoalueella 0,1-0,3 µm. Tämän vuoksi tässä hankkeessa käytetään erotusasteelle raja-arvoa >99,95 % hiukkaskokoalueella, joka on mahdollisimman lähellä maksimiläpäisyyä.

4 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

4.1 Paine-eromittaukset

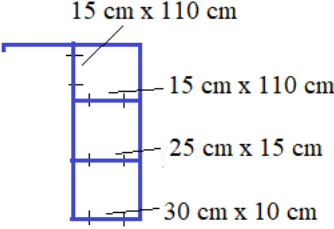
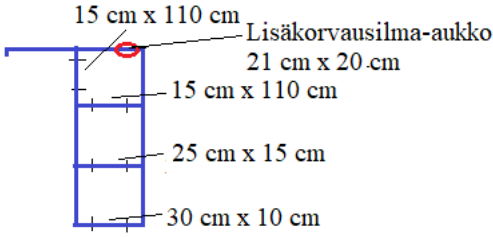
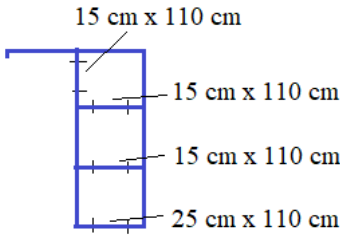
Purkutyön aikana osastoinnin paine-ero ympäröivään tilaan nähden oli jatkuvasti vähintään -5 Pa (VNa 798/2015). Paine-ero vaihteli mittausten aikaan välillä -13 Pa – <-25 Pa (kuva 8). Kuvassa 8 paine-ero <-25 Pa on alittanut paine-erologgerin mittausalueen -25–25 Pa. Todellisuudessa paine-ero vaihteli purkutyön aikaan välillä noin -60 Pa – -80 Pa, mikä havainnoitiin seuraamalla paine-eroanturin näytön lukemia aika ajoin. Paine-eroissa oli tavanomaista vaihtelua mm. tuuliolosuhteiden muutoksista johtuen, sillä porrashuoneen ulko-ovi oli auki kaiken aikaa. Lisäksi paine-eroon vaikutti korvausilma-aukon koko eli se, kuinka paljon sulkutunnelin muoviläppäovet olivat auki (taulukko 2).



Kuva 8. Paine-erot mittausten aikana. Korvausilma-aukkojen koon vaikutuksen testaukset osastoinnin ja ympäröivän tilan väliseen paine-eroon ennen purkutöön aloitusta klo 10.44-11.09. Purkutyo alkoi klo 12.10.

Korvausilma-aukon koon vaikutusta paine-eroon testattiin taulukon 2 mukaisesti. Purkutöön aikana korvausilma-aukkojen koon säätö oli taulukossa esitetyn normaalitilanteen mukainen.

Taulukko 2. Korvausilma-aukon koon vaikutus paine-eroon.

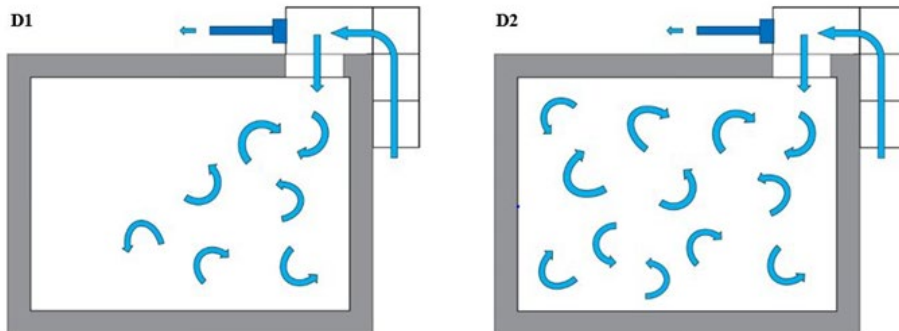
Testi	Osastoinnin ulkovaipalla sijaitsevan korvausilma-aukon koko (m ²)	Alipaine (Pa)
<p>Normaalitilanne</p> 	0,03	keskimäärin -70 Pa (vaihteluväli -60 – -80 Pa)
<p>Testi 1</p> 	0,07*	-36 – -37 Pa
<p>Testi 2</p> 	0,28	keskimäärin -18 Pa, vaihteluväli -13 – -25 Pa

*Sisältää uloimman sulkutunnelin korvausilma-aukon lisäksi osastoinnin suojaseinään tehdyn lisäkorvausilma-aukon

4.2 Savukokeet

Savukokeilla tarkasteltiin osaston ilmanvaihtuvuutta kahdella testillä (kuva 9). Ensimmäisessä testissä korvausilma-aukot oli säädetty taulukossa 2 esitetyn normaalitilanteen mukaisesti, jolloin osastoinnin ja ympäröivän tilan välinen paine-ero oli keskimäärin -70 Pa. Sulkutunnelin oviaukolta vapautettu savu levisi visuaalisesti tarkasteltuna lämmönjakohuoneen etuosaan ja sekoittui nopeasti ko. osaan huonetta. Lämmönjakohuoneen perälle savua virtasi viiveellä ja huoneen nurkkaan jäi katvealue. Kun lämmönjakohuoneen etuosassa savu oli jo hälventynyt, huoneen perälle levinnyt savu oli vasta sekoittunut ko. osaan huonetta. Siltikin nurkassa näkyvyys säilyi hyvänä koko testin ajan.

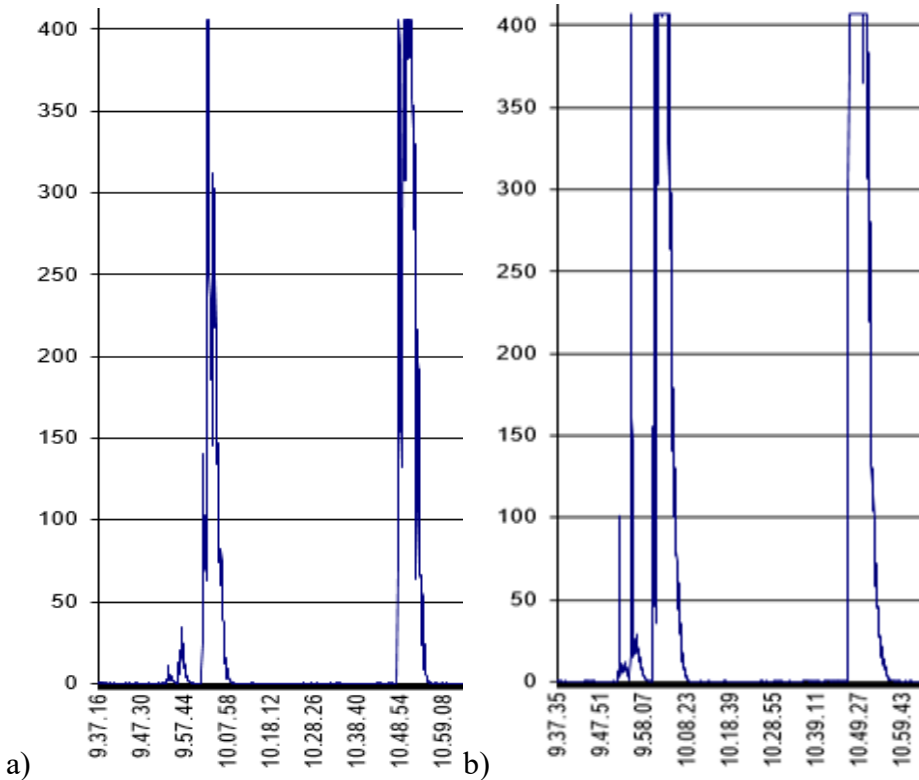
Toisessa testissä korvausilma-aukot oli säädetty taulukossa 2 esitetyn Testi 2 –säädön mukaisesti, jolloin paine-ero oli keskimäärin -18 Pa. Visuaalisesti tarkasteltuna toisessa testissä savu levisi ensimmäistä savukoetta huomattavasti nopeammin koko lämmönjakohuoneeseen. Savun syötön päätyttyä savu oli sekoittunut tasaisesti tilaan ja laimeneminen näytti tapahtuvan tasaisesti hengitysvyöhykkeen korkeudella.



Kuva 9. Savukokeiden havainnot: D1 on ensimmäinen testi ja D2 toinen testi.

Hiukkaspitoisuuksia mitattiin savukokeiden aikana myös suoraan osoittavilla DataRam-pölymittareilla lämmönjakohuoneessa ja sen eteistilassa (kuva 10). Kuvasta näkyy, että ensimmäisessä testissä savua ja siis myös korvausilmaa kulkeutui lämmönjakohuoneen takaosaan

huomattavasti vähemmän kuin sen eteistilaan. Toisessa testissä kulkeutuminen oli selvästi tasaisempaa.



Kuva 10. Pölypitoisuuden alenema lämmönjakohuoneen a) takaosassa (mittauspiste 7, liite 1) ja b) eteistilassa (mittauspiste 8, liite 1), savupäästö (esitesti klo 9.57-9.58) klo 10.00-10.03.

4.3 Alipaineistajan toimivuus

Alipaineistajan Strong 4000 ilmavirta oli $0,66 \text{ m}^3/\text{s}$ ($2400 \text{ m}^3/\text{h}$). Jaettuna se osastoinnin tilavuudella (42 m^3) saadaan ilmanvaihtuvuudeksi 57 vaihtoa tunnissa. Laitteen erotusaste $0,37 \mu\text{m}$ kokoisille hiukkasille oli 99,7 %. Tämä ei täytä erotusastevaatimusta (99,95%).

Mittauksissa käytetyn hiukkaslaskurin mittaama hiukkaskoko kuvastaa hiukkasten optista hiukkaskokoa, joka voi poiketa aerodynaamisesta hiukkaskoosta. Kenttämittauksissa oleellisinta on kuitenkin todentaa, että

laitteet ovat turvallisia käyttää. Tässä eksakti hiukkaskoko ei ole siten kriittistä, vaan tärkeintä on, ettei laitteissa ole vuotoja puhtaalle puolelle.

4.4 Asbesti- ja pölypitoisuudet

Ilman asbestikuitujen sekä hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn pitoisuudet on esitetty taulukossa 3. Löydetyt kuidut olivat antofylliittiä, krysotiiliä ja amosiittia. Kuvassa 11 on muutamia suodattimien pinnoilta otettuja valokuvia.

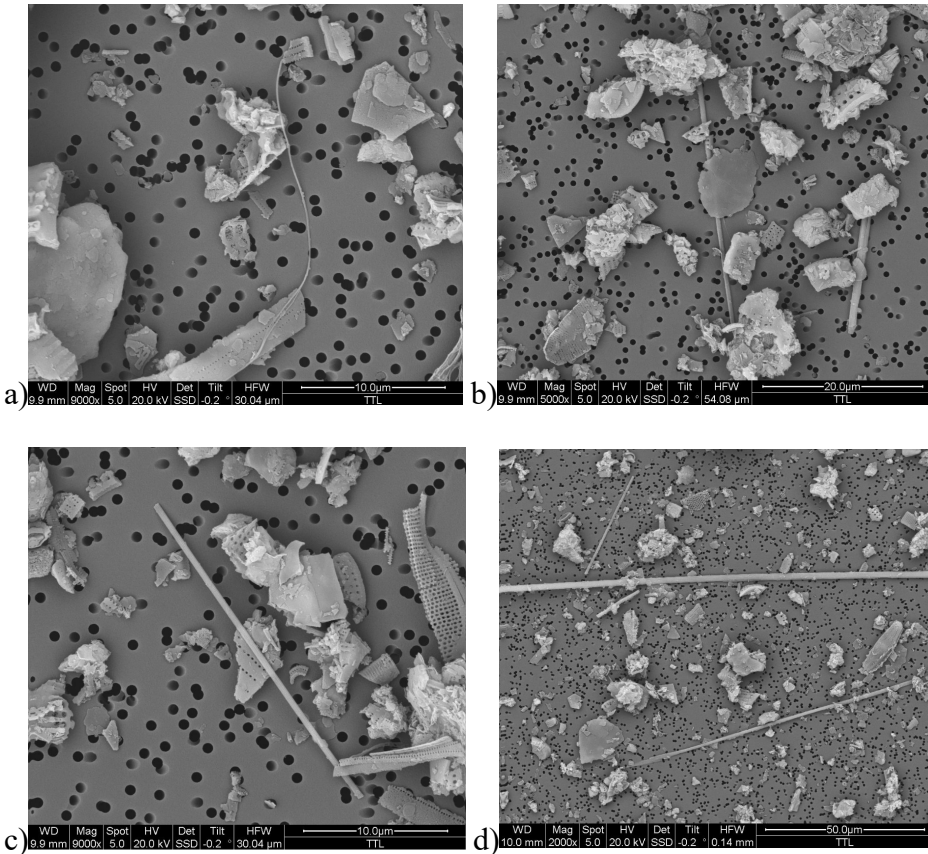
Purkutilasta mitatut asbestipölypitoisuudet olivat korkeimmillaan yli 100-kertainen asbestikuitujen kahdeksan tunnin sitovaan raja-arvoon verrattuna. Hengittyvän pölyn pitoisuus ylitti epäorgaanisen pölyn HTP-arvon purkutöiden aikana. Alveolipölyn pitoisuus oli kaksinkertainen verrattuna Työterveyslaitoksen asettamaan alveolipölyn tavoitetasoon yleiselle pölylle. Sulkutilasta ja osastoinnin ulkopuolelta mitatut asbestipölypitoisuudet olivat alle puhtaan tilan ohjearvon $0,01 \text{ k/cm}^3$, mutta herkemällä tarkastelulla kuituja löytyi yhtä vaille kaikista kerätyistä näytteistä.

Taulukko 3. Ilman asbestikuitu- ja pölypitoisuudet.

Mittauspaikka ja -aika	Asbestikuidut, k/cm^3	Hengittyvä pöly, mg/m^3	Alveolipöly, mg/m^3	Mittauspiste liitteessä 1
purkutila (lämmönjakohuone), keskellä, klo 12.25-12.41	6,5			1
purkutila, keskellä, klo 14.19-14.34	10,4			1
purkutila, keskellä, klo 11.58-15.15		24	1,0	1
sisin sulku, klo 11.59-15.28	<0,01 (0,004)*			2
keskimäinen sulku, klo 11.58-15.27	<0,01 (0,005)			3
uloin sulku, klo 11.57-15.27	<0,01 (0,002)			4
sulun ulkopuoli, klo 12.00-15.29	<0,01 (0,003)	0,39	0,24	5

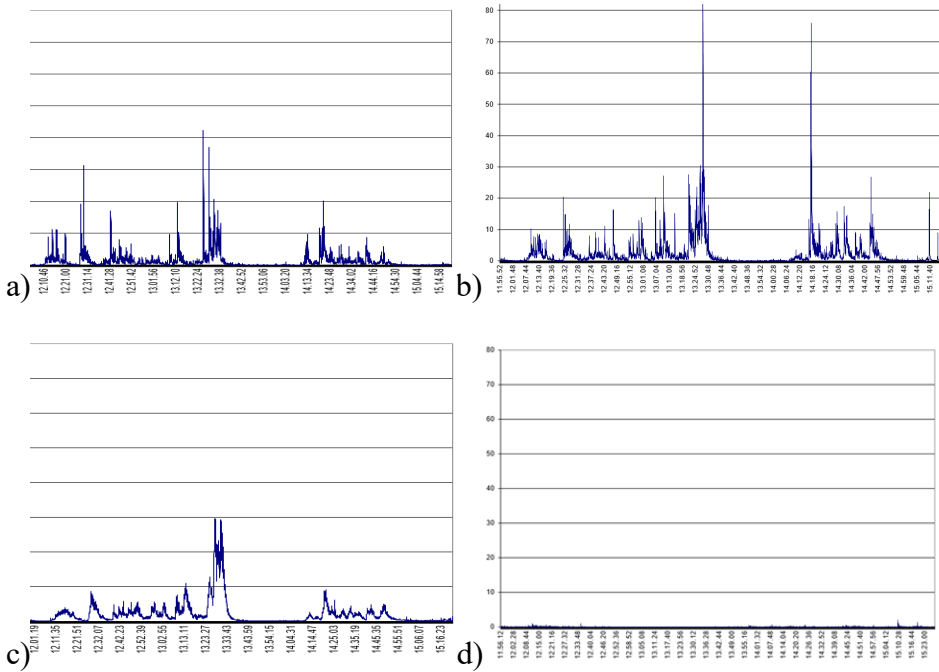
kattila- /lämminvesivaraaja- huone, klo 12.01- 15.32	<0,01 (-)	0,42	0,24	6
---	-----------	------	------	---

*Suluissa tulokset, kun laskettu ”ylimääräisiä” kenttiä herkkyyteen 0,001 k/cm³,
- = ei löytynyt yhtäkään kuitua



Kuva 11. Valokuvia suodattimien pinnoilta: a) purkutilan keskellä (krysotiili), b) purkutilan keskellä (antofylliitti x 2), c) purkutilan keskellä (amosiitti), d) purkutila, lämmönjakuhuone (antofylliitti x 4)

Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu oli suurta, kuten kuvasta 12 näkyy.



Kuva 12. Pölypitoisuuksien ajallinen vaihtelu eri mittauspaikoissa: a) purkutila (lämmönjakuhuone) takaosa, b) purkutilan keskellä, c) purkutilan eteistila ja d) kattila-/lämmivesivaraajahuone.

Pyyhintänäytteiden analyysitulokset ovat taulukossa 4, jossa on ilmoitettu, sisältääkö näyte asbestikuituja (+) vai ei (-). Mikäli näytteessä esiintyy asbestikuituja, on myös kuitumineraali ilmoitettu.

Osastoinnin ulkopuolelta kerättyjen pyyhintänäytteiden mukaan osastoinnin ulkopuolelle oli levinnyt asbestikuituja.

Taulukko 4. Asbestikuitujen (>5 µm) esiintyminen pinnoilla sekä kuitumineraalit.

Mittauspaikka	Tulos	Asbestimineraalit
sisäänkäynti, katutaso, lipaston päältä	-	
portaikko, portaan päältä	+	antofylliitti
lämmönjakohuone, putken muovipinnoitteen päältä	+	antofylliitti ja amosiitti
lämmönjakohuone, moottoriventtiilin kotelon päältä	+	antofylliitti
kattila/lämminvesivaraajahuone, viemäriputken päältä	+	antofylliitti
paisuntasäiliön päältä	+	antofylliitti ja amosiitti
kattila/lämminvesivaraajahuone, lattia keskellä	+	antofylliitti, amosiitti ja krysotiili
siivousimurin vierestä, lattialta	-	
kellarivarasto (paisuntasäiliöt), lattia keskeltä	-	

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPIDESUOSITUKSET

Osastointi noudatti VNa 798/2015 mukaista paine-ero vaatimusta vähintään 5 Pa:n jatkuva alipaine ympäröiviin tiloihin nähden, mutta todennetut paine-erot (-60 – -80 Pa) olivat käytännössä tarpeettoman suuria. Tämänkaltaiset paine-erot ovat kriittisellä tasolla suojaseinien kestävyydelle. Lisäksi suuri paine-ero ei takaa hyvää ilmanvaihtuvuutta, kuten savukokeet osoittivat. Lisäämällä korvausilma-aukon kokoa ja siten riittävää korvausilman määrää paine-eroa saatiin laskettua noin -18 Pa:n tasolle. Tällöin myös ilman huuhteluvaikutus ja siten epäpuhtauksien laimentuminen oli savukokeiden perusteella tasaista koko purkutilassa.

Alipaineistajassa oli selvää vuotoa puhtaalle puolelle. Vuodon havaitseminen ja suodattimen toimintakunnon toteaminen pelkällä silmämääräisellä tarkastelulla on mahdotonta, koska suodatin voi näyttää ulkoisesti ehjältä. Tämän vuoksi reaaliaikainen hiukkasmittaus on ainoa keino havaita mahdolliset vuodot. Alipaineistajan ilmavirta oli verrattain

suuri suhteessa osastoinnin tilavuuteen, joten ilmanvaihtuvuus oli suuri (57 l/h) ja täytti mitoitusohjeen arvon (10 vaihtoa tunnissa) selvästi.

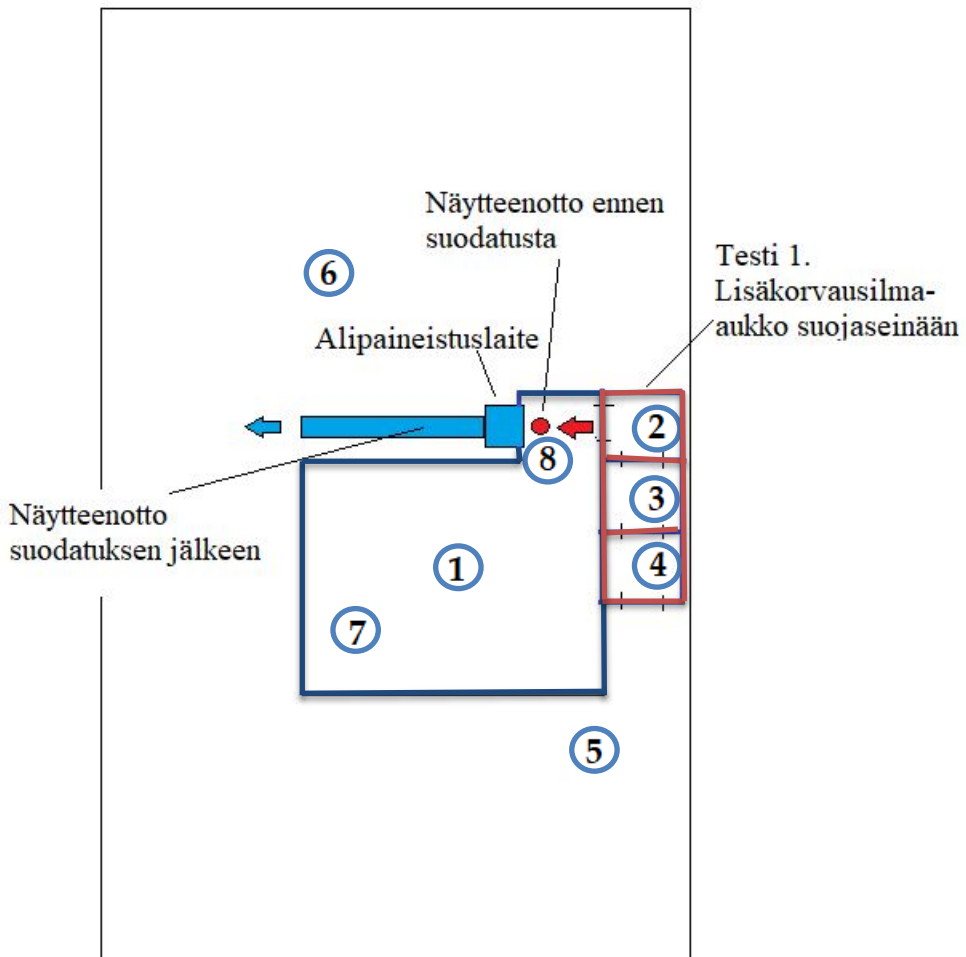
Ilmanäytteiden tulosten mukaan asbestikuituja ei juurikaan levinnyt purkutyon aikana sulcutunneliin tai osastoinnin ulkopuolelle, mutta kerättyjen pyyhintänäytteiden tulosten mukaan osastoinnin ulkopuolella oli asbestikuituja. Tätä selittää kellaritiloissa havaitut rikkonaiset eristeet, joista kuituja on mitä todennäköisimmin irronnut ilmaan jo aiemmin. Eristeet tuleekin korjata viipymättä ja kellaritilat siivota sen jälkeen perusteellisesti.

Purkutilasta mitatut asbestipölypitoisuudet olivat korkeita ylittäen kahdeksan tunnin sitovan raja-arvon asbestikuiduille. Myös hengittävän pölyn ja alveolipölyn pitoisuudet olivat korkeita ylittäen ohjearvo- ja tavoitetaso. Purkutyyössä tuleekin käyttää kohdepoistoa. Mikäli sellaista ei voi liittää suoraan työkaluun, toinen työntekijä voi pitää sitä lähellä pölylähdettä koko purkutyon ajan.

Liite 1 Kellaritilan pohjapiirros ja mittauspaikat

Kellaritilan pohjapiirros ja mittauspaikat

LIITE 1 (1/1)



Huomiot pohjapiirrokseen: Kuva vain suuntaa antava. Osastoitu lämmönjakohuone rajattu kuvaan sinisellä (ml. eteistila, jossa alipaineistajan imuosuus) ja sulkutunnelirakenteet merkitty punaisella. Osastoinnista HEPA-suodatetun ilman johtaminen ulkoilmaan yhden kerrosnousun verran muovisukan avulla.

LIITE 3. HENGITYKSENSUOJAINTEN TARKASTUS JA TIIVIYSTESTAUKSEEN LIITTYVÄ HAASTATTELU

Pvm. _____ Tarkastaja _____ Suojaimen käyttäjä _____

Tarkastus ennen tiiviystestiä

- 1) Testausta estäviä tekijöitä
 - a) Suojaimessa ei ole kokonaamaria.
 - b) Naamari on rikki. Miten: _____
 - c) Naamari on liian likainen testattavaksi.
 - d) Käyttäjä on tupakoinut viimeisen puolen tunnin aikana.
 - e) Suojanaamarin käyttäjällä on parta tai parran sänki, joka estää testauksen.
 - f) Jokin muu asia estää testauksen. Mikä: _____
- 2) Laitteen kokoonpanon EY-tyyppihyväksyntä
 - a) Puhaltimen valmistaja, malli, ikäarvio _____
 - b) Suojanaamarin valmistaja, malli, koko, ikäarvio _____
 - c) Suodatinten valmistaja ja malli _____
 - d) Mahdolliset muut osat _____
 - e) Laite tunnustetaan, CE-merkintä on ja sillä tiedetään olevan tyyppihyväksyntä.
 - f) On tunnistettavissa, että kokonaisuudella ei ole tyyppihyväksyntää.
 - g) Ei saada selville, kuuluvatko osat tyyppihyväksytyyn kokonaisuuteen.
 - i) Valokuvataan osat merkintöineen myöhempää tarkastusta varten. Valokuvien kel-
lonaika _____
- 3) Laitteen soveltuminen käyttöön muiden käytössä olevien suojainten kanssa. Kun käyttäjä
pukee kaikki suojaimen kanssa päähän tulevat suojaimet päälleen, suojaimet sopivat käyt-
täjän ylle käyttäjän mielipide: _____
- 4) Suojanaamari on käyttäjän omassa käytössä oleva suojain.
- 5) Naamarin käyttäjä osaa varmistaa suojanaamarin tiiviiden omalla hengityksellään.
 - a) Käyttäjää opastettiin tiiviiden varmistamiseen omalla hengityksellä.
- 6) Laitteen kunto.
 - a) Suojaimen jokin osa on rikki. Mikä: _____
 - b) Tukittaessa toiminnassa olevan kootun laitteen suodatinten sisäänmenoaukot se hä-
lyttää.
 - c) Mikä on käyttäjän arvio puhallinlaitteen akkujen nykyisestä kestoajasta, ____ h:
 - d) Suojanaamari läpäisee tiiviystestin (Scott Safety, ProTester).
 - e) Jos ei läpäise, tarkastetaan käyttäjän kanssa, että naamarin venttiilit ovat kunnossa ja
roskattomat. Tiiviystestataan tarvittaessa uudelleen: _____

Testeissä käyttäjän päässä tulee olla ne suojaimet ja silmälasit, joilla saattaa olla vaikutusta tiiviyteen.

Tiivistestauksen jälkeen

- 7) Suojaimen käyttäjä tarvitsi apua suojaimen pukemisessa tiiviisti. Testi tehtiin kuitenkin vasta, kun työntekijä oli itse pukenut suojaimen ylleen.
- 8) Työntekijällä testattiin _____ kpl naamareita.
- 9) Testiä ei saatu menemään läpi PC QF
- 10) Kuinka monta kertaa testi tehtiin naamarilla, jolla se saatiin menemään läpi? _PC / _QF
- 11) Kuinka kauan testaamiseen meni, noin min PC _____ QF _____
- 12) Suojanaamarin lopputarkastus tiivistestien jälkeen (Scott Safety, ProTester).

Haastattelu

- A. Kauanko olet tehnyt asbestipurkutöitä? ___ v
- B. Saatto itse vaikuttaa, millaisia suojaimia sinulle valitaan? kyllä en aina en
- C. Kun sait kokonaamarin, sovitettiinko naamaria sinulle, että sait sopivan kokoisen mallin? kyllä ei
- D. Huomaatko työn aikana, jos puhallinsuojain hälyttää? kyllä en aina en lainkaan laitteessa ei ole hälytintä
- E. Keskeytätkö työn, jos puhallinsuojain hälyttää työn aikana? kyllä en
- F. Milloin vaihdat yleensä suodattimet?
- G. Milloin viimeksi vaihdoit suodattimet?
- H. Puhalletaanko suodattimiasi puhtaaksi paineilmalla?
- I. Kokeiletko ennen työtä omalla hengityksellä, että suojain on tiivis? kyllä en
- J. Onko sinulla paikka ja välineet, joilla pystyt puhdistamaan ja huoltamaan suojaimesi? kyllä ei Onko puutteita? _____
- K. Millaista koulutusta olet saanut hengityksensuojainten käyttöä varten? _____
- L. Onko sinulle aiemmin tehty hengityksensuojainten tiivistestejä tai mittauksia suojainten sisältä? kyllä ei Menetelmä _____
- M. Koetko, että tiivistestit mittaivat suojanaamarisi kasvoille tiivistymisen luotettavasti
 - a. PortaCount eli hiukkasten sisäänvuototesti, kyllä ei
 - b. Quantifit eli kontrolloidun alipaineen testi, kyllä ei
- N. Kumpaa testiä haluaisit, että työnantajasi käyttää?
 - a. PortaCount eli hiukkasten sisäänvuototesti
 - b. Quantifit eli kontrolloidun alipaineen testi
 - c. Miksi? _____
- O. Onko tiivistestin tekeminen mielestäsi järkevää? kyllä ei Jos ei, niin miksei? _____
- P. Kuinka usein testi pitäisi mielestäsi tehdä? _____
- Q. Opitko testin aikana suojainten käytöstä jotain uutta? Mitä? _____



Huomioita tarkastajalle

Jos laite ei ole EY-tyyppihyväksytty kokonaisuutena, se on lainvastainen (1406/1993) eikä sitä saa käyttää työpaikalla (Vnp 1407/1993). Puhallinlaite muodostaa kokonaisuuden: jos jokin osa ei kuulu kokonaisuuteen, ei suojainta voida pitää tehokkaana ja tyyppihyväksyttynä. Mallimuu- tokset vaativat, että suojaimen valmistaja tyyppihyväksyttää suojaimen. Työsuojelutarkastajalla on mahdollisuus keskeyttää työt, jos suojaimet eivät ole tyyppihyväksytyjä. Tiiviystestaus menee hukkaan, jos se tehtiin laitteelle, jolla ei ole tyyppihyväksyntää.

Tarkista ensin: tuleeko suojanaamari kasvoille tiiviisti, onko jotain välissä, onko naamari aivan väärän kokoinen. Ei kannata testata, jos voi nähdä, että suojain ei ole tiiviisti kasvoilla.



Malliratkaisut asbestipurkutöihin

Yleistä asbestipurkutöistä ja niihin liittyvistä ongelmista



Asbesti aiheuttaa edelleen työperäisiä sairauksia ja ennenaikaisia kuolemia, vaikka sen uusiokäyttö kiellettiin jo vuonna 1994. Asbestisairauksia on todettu myös asbestikiellon jälkeen työuransa aloittaneilla, mikä osoittaa, että asbestille altistutaan edelleen suojautumisesta huolimatta. Asbestipurkutöiden malliratkaisuja noudattamalla altistumista voidaan vähentää ja sairastumiset estää.



Ratkaisuja asbestipurkutöiden ongelmiin on **malliratkaisuissa** ja tutkimushankkeen **loppuraportissa**. Muuta ajankohtaista tietoa asbestista on koottu **Kemikaalit ja työ** -altistumistietosivustolle.

Malliratkaisut:

- Osastoinnin rakenne ja alipaine
- Osastoinnin ilmanvaihto
- Tarkistuslista turvalliseen asbestipurkutöihin osastointimenetelmällä
- Puhdastilamittaus
- Hengityksensuojainten tiivistystit

Lisätietoa:

- Asbestipurkutöiden turvallisuuden kehittämishankkeen loppuraportti (Linnainmaa ym. 2019); <http://www.julkari.fi/>
- Kemikaalit ja työ: Asbesti <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/asbesti/>

Tausta

Entistä tiukemmat asbestipurkutöitä koskevat laki (684/2015) ja asetus (798/2015) tulivat voimaan vuoden 2016 alussa. Asetuksen tulkinta-ohjeet ja niissä vaadittavat seurantamittaukset ovat kuitenkin osin puutteellisia ja kaipaavat tarkentamista, jotta työntekijät ja purkukohteen lähistöllä olevat ihmiset eivät altistuisi asbestille.

Tutkimuksessa "Asbestipurkutöiden turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustoimintojen kehittäminen" luotiin loppuraportin lisäksi malliratkaisuja, joiden avulla työntekijöiden ja muiden ihmisten asbestialtistuminen voidaan ennaltaehkäistä.

Lainsäädännön mukaan ennen vuotta 1994 rakennetuissa taloissa ei saa purkaa mitään ilman kattavaa asbestikartoitusta. Kartoituksen tekijän on oltava syvällisesti perehtynyt asbestiin, sen esiintymiseen ja rakenteiden purkamiseen. Puutteellisen asbestikartoituksen takia ihmiset voivat altistua asbestille tietämättään. Kartoitus kannattaa teettää sertifioitulla AHA- tai rakennusterveysasiantuntijalla.

Asbestipurkutöihin liittyviä ongelmia

Rakennetussa ympäristössämme on edelleen paljon asbestimateriaaleja, joita puretaan korjausrakentamisen yhteydessä. Asbestipurkutöiden kohde yleensä osastoidaan ja alipaineistetaan kuitujen leviämisen estämiseksi. Osastoinnin riittävä alipaine on helposti saavutettavissa, jos osastointi on oikein rakennettu, mutta ilmanvaihtuvuudessa ja -jaossa on usein puutteita. Pelkkä alipaineen seuranta ei riitä, vaan myös **ilman riittävä huuhteluvaikutus** osastoinnin kaikissa osissa **tulee varmistaa**.

Tutkimuksessa havaittiin myös, että työntekijöiden hengityksensuojaimien tiiviydessä on usein puutteita. Sen takia suojaamaan istuvuus asbestipurkajien kasvoille tulee varmistaa ennen purkutöitä ja **tiiviytestäuksen** tulee olla **yleinen toimintapa kaikille purkajille**.

Malliratkaisu asbestipurkutöihin

Osastoinnin rakenne ja alipaine



Osastoinnin tarkoitus on estää asbestikuitujen leviäminen purkutilan ulkopuolelle. Tässä malliratkaisussa on esitetty asbestipurkutöissä vaadittava osastoinnin rakenne sekä osastoinnin tiiviiden ja alipaineen varmistaminen.

Purkuosasto

Sulkutilan sisin osa: Imurointi

- Imuri suojavaatteiden puhdistamiseen
- Huom. Imuysikön sijoitus sulun ulkopuolelle
- Jätesäkki kertakäyttöisille suojavaatteille ja muille jätteille

Sulkutilan keskiosa: Vedellä puhdistus

- Peseytymis- ja puhdistautumisvälineet työntekijöille ja hengityksensuojaimille
- Vähimmäisvaatimuksena peseytymiseen pyyhkeitä ja puhdasta vettä tai valmiiksi märkiä pyyhkeitä

Sulkutilan uloin osa: Puhdas tila

- Puhdistetut työvaatteet
- Huom. Puhtaat vaatteet voi pukea myös sulkutilan ulkopuolella, mikäli sulkutilan koko on rajallinen pukeutumiseen.

Puhdas huonetila

Rakenne ja materiaalit

Osastointi rakennetaan **pölytiivisti** olemassa olevia rakenteita hyödyntäen tai käyttämällä puurimoja ja muovikalvoa (paksuus vähintään 0,2 mm) tai rakennuslevyjä. Muovi on hyvä asentaa tukirangan ulkopuolelle, koska rakenteen on oltava kestävä. Kulmien ja liitoskohtien tiiviys varmistetaan teippauksella. Mahdolliset **vuotoreitit**, kuten alaslasketut katot, sähköjohtojen ja putkien läpiviennit on **tiivistettävä**.

Sulkutila osastointiin on **kolmiosainen** (kuva vasemmalla). Sen kautta työntekijät kulkevat osastointiin. Myös **korvausilmaa** johdetaan osastointiin sulkutilan kautta. Sulkutilassa **työntekijä puhdistautuu ja puhdistaa hengityksensuojaimensa** poistuesaan osastoinnista.

Sulkutila rakennetaan puurimojen ja muovin avulla tai käytetään valmiita sulkutilarakenteita. Sulkutunnelin yhden osan koko on oltava riittävä siellä toimimiseen.

Sulkutilan kulkuaukkoihin rakennetaan esimerkiksi **läppäovi-rakenne**, jossa on **kaksinkertainen muovitus**. Toiseen muoviin viilletään läpimenoaukko ja toisen **alaosaan** asennetaan **paino**, joka vetää muovin paikoilleen kulkuaukon eteen kuljettaessa ovesta. Uloimmainen läppäovi on aukon ulkopuolella ja sisimmäinen sisäpuolella. Yleensä myös keskimmäiset läppäövet ovat aukon sisäpuolella, jolloin ne estävät kuitujen leviämisen esimerkiksi sähkökatkon aikana.



Muistilista

- Osastoinnin ilmatiiviys on tarkistettu.
- Ilman huuhteluvaikutus on varmistettu merkkisavulla.
- Osastoinnissa on jatkuva 10-30 Pa:n alipaine, joka on todennettu tallentavalla paine-eromittarilla.
- Paine-eron mittauspiste on vähintään 50 cm:n etäisyydellä alipaineistajan imukauluksesta ja sulkutunnelista.
- Paine-eromittari on varustettu hälytyksellä.
- Häiriötilanteita varten on laadittu varautumissuunnitelma.

Osastoinnin tiiviyn varmistaminen

Osastoinnin tiivys varmistetaan silmämääräisesti ennen purkutyön käynnistämistä. Apuna voidaan käyttää savukoneella tuotettua **merkkisavua**, jolla voidaan havainnollistaa vuotoreittien sijaintia ja löytää mahdolliset lisätiivistämistä vaativat paikat. Osastoinnin tiivys on ensiarvoisen tärkeää, jotta asbestikuidut eivät pääse leviämään osastoinnin ulkopuolelle mahdollisissa häiriötilanteissa, jossa esimerkiksi sähkökatkon takia menetetään osastoinnin sisäinen alipaine. **Häiriötilanteita varten pitää varautua** etukäteen niin, että jokainen tietää, miten näissä tilanteissa pitää toimia.

Paine-ero

Epäpuhtauksien leviäminen osastoinnin ulkopuolelle estetään osastoinnin **jatkuvalle alipaineella**. Lainsäädännön mukaan alipaineen minimitaso on 5 Pa. Alipaineen tavoitetaso tulisi kuitenkin olla vähintään 10 Pa koko purkutyön ajan, koska sulkutunnelin läpi kulkeminen, suodattimien likaantuminen ja sääolosuhteiden vaihtelut voivat vaikuttaa osastoinnin alipaineeseen niin, että 5 Pa:n alipaine häviää.

Alipainetta seurataan jatkuvatoimisella, tallentavalla **paine-eromittarilla**, johon on kytketty hälytys. Tämä ilmoittaa vaaditun alipaineen alittumisesta asbestipurusta vastaavalle henkilölle, jonka tulisi saada tieto asiasta myös työajan ulkopuolella. **Valosignaalin** tulee olla riittävän näkyvä, jotta häiriöön reagoidaan nopeasti ja vika voidaan korjata viivytyksettä. Mittauksen tallennusväli saa olla korkeintaan 30 sekuntia. Valosignaalin lisäksi paine-eromittariin on hyvä kytkeä riittävän voimakas **hälytysääni**.

Pitkäkestoista suurta alipainetta (alipaine yli 30 Pa) tulee välttää, koska tämä voi olla haitallista osastoinnin rakenteiden kannalta. Alipainetta voidaan alentaa mm. lisäämällä korvausilmareittejä, mikä samalla tehostaa ilmanvaihtuvuutta ja parantaa siten puhtautta osastoinnin sisällä. Haluttu paine-ero voidaan joissakin tapauksissa luoda myös paineentasainta käyttämällä. Korkeakaan alipaine (yli 30 Pa) ei takaa ilmanvaihtuvuutta osastoinnin sisällä.



Lisätietoa asbestipurkutyöstä ja osastointeihin liittyvistä asioista saa mm. seuraavista lähteistä:

- Asbestipurkutyön turvallisuuden kehittämishankkeen loppuraportti (Linnainmaa ym. 2019); <http://www.julkari.fi/>
- Ratu 82-0347. 2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku
- Muut asbestipurkutyön malliratkaisut

Malliratkaisu asbestipurkutöihin

Osastoinnin ilmanvaihto

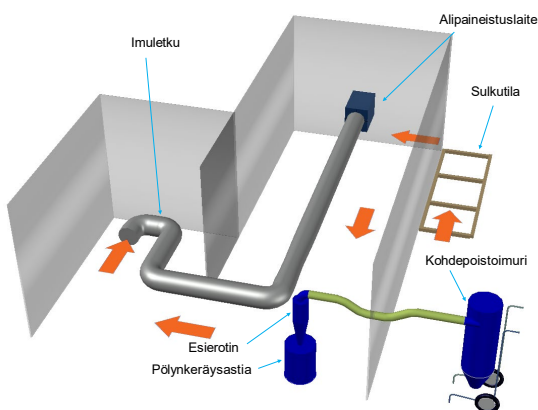


Osastoinnin ilmanvaihdon tarkoituksena on luoda hallittu huuhteluvaikutus osastoinnin sisälle sekä ylläpitää paine-ero osastoinnin ja ympäröivän tilan välillä. Ilmanvaihto toteutetaan poistamalla ilmaa jatkuvasti osastoinnin sisältä alipaineistajalla, joka on varustettu tehokkaalla hiukkassuodattimella asbestikuitujen ja muiden haitallisten hiukkasten erottamiseksi.

Asbestityössä käytetään esierottimella varustettua kohdepoistomuria käsityökoneiden kohdepoistolaitteena sekä asbestipölyn siivoukseen. Esierotin kerää valtaosan pölystä, mikä vähentää kohdepoistomurin kuormitusta.

Esierotin sijoitetaan osastoinnin sisäpuolelle, jolloin sen pölynkeräysastian tyhjennys voidaan tehdä osastoinnin sisällä.

Osastoinnin alipaineeseen voivat vaikuttaa tuulen paine, hissien liike sekä alipaineistajan ilmavirran pieneneminen suodattimien kuormittumisen johdosta. Alipaineen säilyttämiseksi tavoitearvossaan voidaan käyttää erillistä paineentasainta, joka palauttaa osan poistoilmasta takaisin osastointiin. Palautusilma johdetaan osastoinnin sisälle niin, että ilmasuihkut eivät osu suurella nopeudella osastoinnin seinämiin.

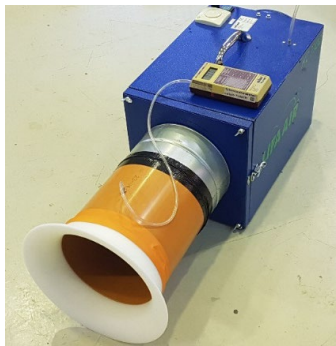


Osastoinnin ilmanvaihto

Osastoinnin ilmanvaihtuvuus on oltava vähintään 10 vaihtoa tunnissa (krokidoliittipurussa 20 1/h) ja paine-ero 10 Pa. Korvausilma on johdettava osastointiin niin, että saavutetaan hyvä huuhteluvaikutus.

Ilmanvaihtuvuus lasketaan jakamalla alipaineistajan ilmavirta (m^3/h) osastoinnin tilavuudella (m^3). Riittävän ilmanvaihtuvuuden varmistamiseksi on tiedettävä alipaineistuslaitteen todellinen ilmavirta sekä osastoinnin tilavuus.

Korvausilma johdetaan osastointiin yleensä sulkutilan kautta. Ilmanjakoon on kiinnitettävä huomiota varsinkin sokkeloissa tiloissa, joissa muodostuu helposti alueita, joissa ilmanvaihtuvuus on vähäistä. Ilmanvaihtoa voidaan parantaa lisäämällä osastointiin tuloilma-aukkoja tai siirtämällä imupiste letkun avulla heikon ilmanvaihdon alueelle.



Erotusaste $E = 100 \cdot (1 - N_2/N_1)$ (%),

jossa N_1 on hiukkaspitoisuus ennen suodatusta ja N_2 hiukkaspitoisuus suodatuksen jälkeen.

Erotusaste on mitattava aina HEPA-suodattimen vaihdon jälkeen, jotta voidaan varmistua laitteen turvallisesta toiminnasta.



Lisätietoa asbestipurkutyöstä ja ilmanvaihdosta saa mm. seuraavista lähteistä:

- Asbestipurkutyön turvallisuuden kehittämishankkeen loppuraportti (Linnainmaa ym. 2019); <http://www.julkari.fi/>
- Ratu 82-0347.2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku
- Muut asbestityön malliratkaisut

Ilmavirran seuranta

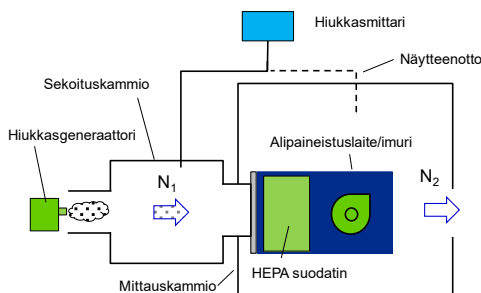
Alipaineistaja tulee valita asbestityökohteen mukaan niin, että osastoinnin ilma vaihtuu vähintään 10 kertaa tunnissa (krokido-liittipurussa 20 l/h).

Alipaineistajan toimintaan vaikuttavat suodattimien kuormitus sekä laitteeseen liitetyt letkut, joten sen **ilmavirrat on mitattava käyttöolosuhteissa ennen asbestipurkutyön aloitusta**.

Ilmavirran mittaamiseksi on kehitetty **tarkka ja helpokäyttöinen mittaamenetelmä**. Se muodostuu mittaussuuttimesta, jonka paine-ero riippuu ilmavirrasta (kuva vasemmalla). Mittausmenetelmän avulla alipaineistajan ilmavirta voidaan määrittää nopeasti ja luotettavasti.

Vuotojen mittaus

Alipaineistajan ja kohdepoistoimurin **suodattimien toimintakunto ja mahdolliset vuodot** on mitattava aina HEPA-suodattimen vaihdon jälkeen. Tarkoitusta varten voidaan käyttää mittausjärjestelmää, joka koostuu hiukkasgeneraattorista ja -mittarista (kuva alla). Testihiukkasia syötetään laitteen imuilmaan ja niiden pitoisuutta mitataan ennen suodatusta ja sen jälkeen (kaava vasemmalla). Erotusasteen tulee olla $>99,95\%$ @0,3 μm .



Laitteiden siirto ja huolto

Asbestityön jälkeen alipaineistajan esisuodatin on irrotettava ja laitettava muiden asbestijätteiden joukkoon. Laitteet on puhdistettava ulkopuolelta ja kanavoinnin liitosyhteet tulpattava kuljetusta varten.

Huollossa laite on puhdistettava myös sisältä ja tarvittaessa HEPA-suodatin on vaihdettava uuteen.

Malliratkaisu asbestipurkutöihin

Tarkistuslista turvalliseen asbestipurkutyöhön osastointimenetelmällä



Tässä malliratkaisussa on esitetty keskeiset huomioitavat asiat ja ratkaisut, joilla varmistetaan turvallinen asbestipurkutyö osastointimenetelmällä.

Alipaineistuslaitteen oikeanlaisessa toiminnassa on huomioitava, että

- alipaineistajan ilmavirta on mitattu paikan päällä ennen purkutöiden aloitusta.
- alipaineistajan suodattimien toimintakunto on tarkistettu mittauksin.
- huuhteluvaikutus on tarkistettu merkkisavulla.

Ilmanvaihdon mitoituksessa huomioitavaa:

- !** Alipaineistajan käytännössä tuottama ilmavirta on pienempi kuin sen nimellisilmavirta.
- !** Pölykuormittuneet suodattimet ja ilmavirtaa kuristavat taitekohdat ulospuhalluskanavassa pienentävät alipaineistajan ilmavirtaa.
- Huomioi, että ilmanvaihto on mitoitettu oikein: vähintään 20 1/h krokidoliitille ja vähintään 10 1/h muille asbestilaaduille todellisessa käyttötilanteessa.

Alipaineen suuruus ei kerro ilmanjaon hyvyydestä.

Osaostoinnin tiiviyys vaikuttaa osaostoinnin alipaineeseen.

Korvausilma-aukon koolla voidaan säätää alipaineen suuruutta.

Painesuhteiden hallinnassa huomioitavaa:

- !** Osaostoinnin ulkopuolelle sijoitetun imurin käyttö tehostaa alipainetta.
- !** Jos korvausilma johdetaan osastointiin pelkästään sulku-tilan kautta, korvausilmaläpät pitää olla riittävän paljon auki.

Huomioi myös, että

- osaostoinnin alipaine on välillä 10-30 Pa.
- paine-ero on mitattu ja lukemat tallennettu jatkuvatoimisesti jälkitarkastelua varten.
- paine-eromittarin letku on vähintään 50 cm:n etäisyydellä alipaineistajan imukauluksesta, jotta mittaustulos ei vääristy imun vaikutuksesta.
- käytössä on valosignaali ja mielellään hälytyksellä varustettu paine-eromittaus.
- on selvillä, kuka reagoi hälytykseen ja korjaa tilanteen tarvittaessa myös työajan ulkopuolella.
- hälytyksiin reagoivan henkilön tiedot löytyvät asbestityön turvallisuus-suunnitelmasta.
- sähkökatkoihin on varauduttu (oma työmaakeskus, alipaineistajat eri virtapiireihin).



Työterveyslaitos

Tehokkaan ilmanjaon toteutusratkaisuja

! *Suurissa tai monimuotoisissa osastoinneissa korvausilmaa on johdettava hallitusti osastointiin muualtakin kuin sulktunnelin kautta.*

! *Nyrkkisääntönä on, että alipaineistajan imuaukko sijoitetaan mahdollisemman etäälle korvausilma-aukosta.*

➤ Jos alipaineistajaa ei voida sijoittaa etäälle korvausilma-aukosta, siirrä imuaukko muovisukalla suojatun kierresaumaletkun avulla edullisempaan paikkaan.

TAI

➤ Johda korvausilmaa osastointiin osastoinnin seinään tehdyn aukon ja siihen asennetun suodatinkankaan kautta.

TAI

➤ Johda korvausilmaa palauttamalla suodatettua poistoilmaa takaisin osastointiin paineentasaimella (suurissa tiloissa, ks. loppuraportista paineentasaimen soveltumisesta asbestipurkutyöhön).



Lisätietoa turvallisesta asbestipurkutyön toteutuksesta saa mm. seuraavista lähteistä:

- Asbestipurkutyön turvallisuuden kehittämishankkeen loppuraportti (Linnainmaa ym. 2019); <http://www.julkari.fi/>
- Ratu 82-0347. 2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku
- Muut asbestityön malliratkaisut

Onnistuneen ilmanjaon ansiosta ilma vaihtuu koko työskentely-alueella.

Suuri alipaine ei takaa hyvää ilman huuhteluväikutusta osastoinnissa.

Kohdepoistoilla vähemmän siivottavaa pölyä pinoilla.

Kohdepoistoja käyttämällä työkohte näkyy paremmin.

Pölyntorjunnassa on huomioitava, että

- purkutyö on tehtävä mahdollisimman vähän pölyävällä tavalla.
- käsityökaluihin on liitetty kohdepoistomurit tai toinen työntekijä pitää imuria lähellä pölylähdetä purkutyön ajan.
- kohdepoistomurissa käytetään esierotinta, joka kerää valtaosan pölystä vähentäen imurin kuormitusta.
- kohdepoistomurin esierotin on sijoitettu osastoinnin sisäpuolelle, jolloin sen pölynkeräysastian tyhjennys voidaan tehdä osastoinnin sisällä.
- osastoinnin ulkopuolelle sijoitetun kohdepoistomurin suodatuskyky on varmistettu, jotta asbestikuituja ei pääse leviämään puhtaisiin tiloihin.



Säkitetyn massaputkieristeen purku parityöskentelynä käyttämällä imuria kohdepoistona eristeen leikkauskohdassa.

Malliratkaisu asbestipurkutöihin

Puhdistilamittaus



Osastointimenetelmällä tehdyn purkutyön jälkeen tilan pinnat on siivottava, ja osastoinnin saa purkaa vasta, kun sen puhtaus on varmistettu ilmamittauksella. Tässä malliratkaisussa kuvataan, kuinka näytteenotto tulee tehdä ja mitä asioita pitää huomioida, jotta analyysitulokset on luotettava.



Näytteenoton kulku

- 1) Kirjoita keräintä ympäröivään valkoiseen teippiin näytteen numero. Varmista keräimen tiiviys vielä ylimääräisellä kangasteipillä.
- 2) Irrota keräimen päissä olevat tulpat ja kiinnitä siihen letku. Keräintä ei tule avata missään vaiheessa.
- 3) Asenna mittauslaitteisto paikoilleen kuvan mukaisesti.
- 4) Käynnistä pumppu sekä kirjaa ylös kellonaika ja näytetiedot.
- 5) Suojaudu ja käy harjaamassa seiniä ja lattiapintoja kertakäyttöisellä lattiaharjalla 2-3 kertaa mittauksen aikana.
- 6) Huolehdi siitä, että ilma pääsee kulkemaan vapaasti keräimen ja pumpun kautta ja että pumppu pysyy käynnissä koko näytteenkeräysajan.
- 7) Näytteenoton päättyessä kirjaa ylös kellonaika tai lue näytteenottoaika suoraan pumpun näytöltä. Laske suodattimen läpi imetyt ilman tilavuus kalibroidun pumpun kalibroitukertoimen ja käytetyn mittausajan perusteella.

Jatkuu seuraavalla sivulla.

Näytteenkeräys

Luotettavien ja riippumattomien tulosten saamiseksi näytteenottoon tulee käyttää **ammattitaitoista ulkopuolista asiantuntijaa**, kuten AHA- tai rakennusterveysasiantuntijaa.

Asbestikuidut kerätään ilmasta polykarbonaattisuodattimelle (halkaisija 25 mm, keskimääräinen huokoskoko 0,8 µm) noin 1,5 m:n korkeudelta akkukäyttöisellä vakiovirtauspumppulla virtausnopeudella noin 2,0 l/min.

Näytteenotossa käytetään **valmiiksi pakattuja suodatinkoteloita** (esim. SKC 225-1604), jotka on hyvä hankkia näytteet analysoivasta laboratorista.

Pumppu pitää kalibroida kalibroitilaitteella ennen näytteenottoa ja/tai sen jälkeen siten, että sen virtausnopeus tunnetaan ±5 %:n tarkkuudella.

Ilmanäyte kerätään ns. **aggressiivisella menetelmällä**, jolla pinnoilla mahdollisesti olevat asbestikuidut saadaan siirtymään ilmaan. Harjauksen tulee simuloida tilan normaalia käyttöä eli se ei saa olla liian voimakasta. Kontaminaation estämiseksi joka tilassa on käytettävä eri harjaa ja hävitettävä se mittauksen jälkeen asbestijätteenä.

Puhdistilamittausta ei saa tehdä aistinvaraisesti pölyisissä tiloissa. Lisäksi tilojen tulee olla kuivia.

Näytteenkeräysajan tulee olla sellainen, että hiukkaset levittäytyvät suodattimelle tasaiseksi kerrokseksi eivätkä peitä toisiaan. Sopiva **näytteenkeräysaika** on yleensä **90-120 minuuttia** (ilmamäärä n. 180-240 litraa).



- 8) Sammuta pumppu ja irrota keräin vasta sitten (ei pumpun käydessä).
- 9) Kiinnitä keräimen tulpat tiiviisti takaisin paikoilleen ja pura mittauslaitteisto.
- 10) Pyyhi pumppu ja letku etanolilla tai vedellä. Tee puhdistustoimet mieluiten vetokaapissa tai ulkotilassa.
- 11) Toimita näytteet analysoitaviksi.



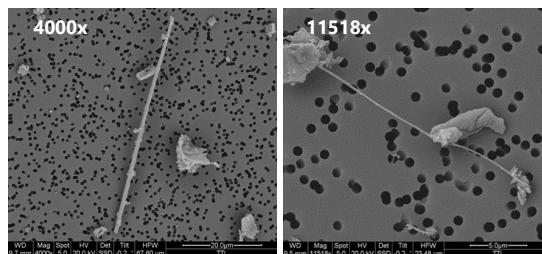
Analyysi

Näytteet analysoivalta laboratoriolta kannattaa edellyttää riippumattoman tahon toteamaa pätevyyttä eli **akkreditointia**.

Ilmanäyte analysoidaan elektronimikroskoopilla ja siihen kytketyllä alkuaineanalysaattorilla.

Näytteiden asbestikuitupitoisuus on määritettävä **elektronimikroskoopilla**, koska valomikroskooppisella menetelmällä asbestikuituja ei voi tunnistaa luotettavasti, eivätkä kaikki ohuet asbestikuidut näy valomikroskoopilla.

Ohessa on kaksi elektronimikroskooppikuva, joista ensimmäisessä näkyy antofylliittiasbestikuitu ja toisessa ohut krysotiilikuitu.



Ilman asbestikuitupitoisuus pitää purkutyön jälkeen olla <0,01 kuitua/cm³, ennen kuin alipaineistuksen saa poistaa ja osastoinnin purkaa.

Valtioneuvoston asetuksen 798/2015 mukaan tilan katsotaan olevan puhdas, kun ilman asbestikuitupitoisuus ei ylitä ns. puhtaan tilan ohjearvoa 0,01 kuitua/cm³. Työterveyslaitoksen suosituksen mukaan pitoisuuden tulee olla alle menetelmän määritysrajan (<0,01 kuitua/cm³), jolloin suodattimella ei ole havaittu lainkaan kuituja. Jos osastoinnin sisältä ilmasta löytyy asbestikuituja, tilat on siivottava uudelleen ja mittaus uusittava.



Lisätietoa asbestipurkutyöstä, osastointien rakentamisesta ja puhdistilamittauksesta saa mm. seuraavista lähteistä:

- Asbestipurkutyön turvallisuuden kehittämishankkeen loppuraportti (Linnainmaa ym. 2019); <http://www.julkari.fi/>
- Ratu 82-0347. 2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku
- <https://www.ttl.fi/service-document/tyopaikan-ilman-asbestipitoisuuden-mittaaminen-puhdistilamittaus-3/>
- Muut asbestityön malliratkaisut



Malliratkaisu asbestipurkutöihin

Hengityksensuojainten tiivistestit



Asbestipurkutöissä hengityksensuojaimen on oltava hyvin tehokas, jotta se estäisi asbestisairaudet. Suojain ei puhaltimesta tai paineilmaasta huolimatta ole riittävän tehokas, ellei suojanaamari istu tiiviisti kasvoilla. Lakisääteinen tiivistesti on välttämätön suojaustehon varmistamiseksi.

Suojaanamarin tiivistestaus on välttämätöntä.

Tiivistestien tarpeellisuudesta on tietoa tutkimusraportissa Asbestipurkutyön turvallisuuden ja siihen liittyvien testaus- ja mittaustoimintojen kehittäminen, <http://www.julkari.fi/>



Testauspää

Hengityksensuojaimet asbestipurkutyössä

Osastointimenetelmällä tehtävässä asbestipurkutyössä on käytettävä henkilökohtaista kokonaamarilla ja hiukkassuodattimella varustettua puhallinsuojainta, joka täyttää standardin EN 12942 luokan TM3P vaatimukset. Jos purettavassa materiaalissa on kromidoliittia, on käytettävä standardin EN 14594 tyyppin 4 tai standardin EN 14593-1 mukaista kokonaamarilla varustettua paineilmaletkulaitetta. Laitteessa voi olla siirrettävä kompressori ja paineilmasäiliö. Lyhyen käyttöajan vuoksi kannettavat paineilmalaitteet eivät sovellu purkutyöhön.

Suojaanamarin sovitetaan ostettaessa, jotta oikea koko ja malli löytyvät. Suojaanamarin kasvoille istuminen testataan henkilökohtaisella tiivistestillä ennen kuin uusi työntekijä aloittaa purkutyön tai kun suojainmallia vaihdetaan ja sen jälkeen vuosittain. Suojainta ei saa vahingoittaa tiivistestissä.

Ennen jokaista käyttökertaa tarkastetaan, että suojain on ehjä, akku kestää tarvittavan käyttöajan, suodattimilla on suodatuskapasiteettia riittävästi jäljellä ja hiukkassuodatustehon loppumista ilmaiseva varoitin on kunnossa. Jos naamarista vaihdetaan osia, sen eheys varmistetaan aina pukemalla naamari testauspähän, joka mittaa tiiviiden esimerkiksi alipaineella.

Suojain puhdistetaan aina käytön jälkeen osastoinnin sulkutilassa. Puettaessa naamarin tiiviys kokeillaan omalla hengityksellä.

Parta ja jo päivän sänki heikentävät suojanaamarin tiivistymistä kasvoille ja vaarantavat asbestipurkajan terveyden. Työnantajan on neuvoteltava parran kieltämisestä yhteistoiminnassa työntekijöiden kanssa.



Testauksen edellytykset

- Testattavan terveydentilan on oltava hyvä.
- Ennen testiä testattavan ei tule tupakoida puoleen tuntiin.
- Testattavan henkilön parta tulee olla ajettuna samana päivänä ennen testiä suojanaamarin tiivistymisalueelta.
- Testi tehdään ilman silmälasia ja niiden tulee olla kyseisen suojaimeen sisään tarkoitetuissa sangoissa.
- Testattavan tulee osata pukea suojaimeen oikein sekä osata kokeilla suojaimeen istuvuus omalla hengityksellään. Jos suojaimeen pukemista ohjataan, tulee testi aloittaa uudelleen vasta, kun testattava on itsenäisesti pukeutunut suojaimeen ylleen.
- Likaisia tai rikkiäisiä suojaimeita ei testata.
- Tarkistetaan, että kokonaamari, suodattimet ja puhallinyksikkö on tyyppihyväksytty kokonaisuus. Jos näin ei ole, testausraporttiin laitetaan huomautus, että suojaimeen ei täyty lakisääteisiä vaatimuksia.
- Testilaitteiden kalibroinnin on oltava ajan tasalla ja laitteiston toimivuus tarkastetaan aina testipäivänä.
- Testaukseen tarvitaan suojaimeen välikappaleet, joilla testilaitteet liitetään suojaimeen.
- Testauksessa on huomioitava henkilötietoihin liittyvä lainsäädäntö.



Quantifit

Suojanaamarien henkilökohtaiset tiivistestit

Kokonaamarien tiivistestaukseen soveltuu kaksi kaupallista menetelmää: kontrolloiva alipainemenetelmä (Quantifit, OHD) ja kondensoiva hiukkaslaskurin (PortaCount Fit Tester, TSI) menetelmä. Testaajan on tunnettava hyvin hengityksensuojaimet ja pystyttävä arvioimaan niiden kunto ja vaatimustenmukaisuus. Hänen on perehdyttävä hyvin laitteisiin ja niiden ohjelmistoihin sekä harjoitettava testausta monilla henkilöillä ja useassa testipaikassa ennen testaukseen ryhtymistä.

Quantifitillä kokonaamarien tiivyskertoimen on oltava vähintään 500 ja PortaCountilla vähintään 1000. Jos testi ei mene läpi, suojaimeen käyttäjää kehoitetaan pukemaan naamari paremmin ylleen ja testataan uudelleen. Joskus toistoja tehdään useita kertoja. Siltä varalta, että naamari ei sovi käyttäjälleen, testauksessa tulee olla saatavilla eri kokoisia ja mallisia naamareita vaihtoehtoina. Ne voi joko testien tilaaja tai testaaja järjestää testauspaikalle. Testatuille ja heidän työnantajalleen on annettava ymmärrettävät tulokset kirjallisina.

Tiivistestaus Quantifit-laitteella

Testaukseen käytetään laitteeseen asetettua Redon-menetelmää. Testi kestää noin 8-10 minuuttia.

Testiä ennen kokonaamarista otetaan sisäänhengitysventtiilin läppä pois ja mittausvälikappale asetetaan suodattimen paikalle.

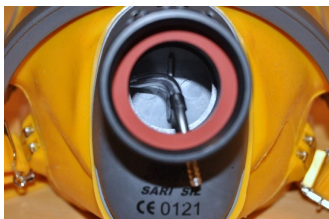
Suojaimeen käyttäjä pukee naamarin ja antaa sen asettua kasvoilleen muutaman minuutin. Samalla testaaja käy läpi testin testiliikkeen yhdessä testattavan kanssa.

Redon-menetelmään kuuluu viisi testiliikettä:

1. Seisominen kasvot eteenpäin, 30 s
2. Taivutus vyötäröltä kasvot kohti lattiaa, 30 s
3. Pään ravistus ja voimakas uloshengitys tai huuto 5 s
4. Kaikkien suojanaamarin nauhojen solkien avaaminen, suojaimeen riisuminen ja suojanaamarin pukeminen itsenäisesti uudelleen
5. Suojanaamarin pukeminen uudelleen kuten edellä.

Jokaisen testiliikkeen lopuksi käyttäjä on paikallaan, hengittää sisään ja sitten pidättää henkeään ja tämän jälkeen painaa Quantifitin käynnistyspainiketta, mikä sulkee ilman pääsyn naamariin ja käynnistää testin. Testivaihe loppuu 8 sekunnin kuluttua ja suojaimeen käyttäjä voi hengittää normaalisti.

Testauksen päätyttyä sisäänhengitysventtiilin läppä asetetaan paikalleen.



Näytteenottoletkun asennus sisänaamariin



PortaCount

Tiiviystestaus PortaCount Fit Tester -laitteella

Testaukseen käytetään laitteen tietokoneohjelmassa olevaa Health and Safety Executiven (HSE) ohjelmaa. Testi kestää noin 10-15 minuuttia.

Ennen testiä suojanaamarin sisänaamariin viedään välikappaleen kautta näytteenottoletku (kuvat vasemmalla). P3-suodatin kiinnitetään mittausvälikappaleeseen.

Testattava pukee naamarin ja antaa sen asettua kasvoilleen muutaman minuutin. Testaaja käy läpi testin liikesarjan testattavan kanssa.

Testissä mitataan hiukkaspitoisuutta suojaimeen ulko- ja sisäpuolelta, kun suojanaamarin käyttäjä tekee liikesarjan:

1. Normaali hengitys. Seistään puhumatta ja rauhallisesti hengitellen.
2. Syvä hengitys. Hengitetään hitaasti ja rauhallisesti syvään vähän kuin olisi nousemassa mäkeä ylös.
3. Pää sivulta sivulle. Käännellään päätä hitaasti sivulta sivulle. Liike pysähtyy lyhyesti ääriasennoissa katse oikealla ja vasemmalla.
4. Pää ylös ja alas. Käännellään päätä hitaasti ylös ja alas. Ääriasennoissa katsotaan lattiaa ja kattoa.
5. Vartalon taivutus. Kumarretaan rauhallisesti syvään ja takaisin pystyyn. Vältetään aivan ääriasentoa.
6. Kuuluva puhe. Luetaan annettua tekstiä hitaasti ja kuuluvalla äänellä aivan kuin puhuttaisiin vieressä olevalle henkilölle. Jos lukeminen ei ole mahdollista, puhutaan silti aivan jatkuvasti.
7. Normaali hengitys. Seistään paikallaan rauhallisesti hengitellen.

Ympäristön riittävä hiukkaspitoisuus varmistetaan ennen testejä ja aina, kun olosuhteissa on muutoksia. Kun tiiviyskertoimen hyväksymisraja on 1000, sopiva ympäristön hiukkasten vähimmäispitoisuus on 4000 1/cm³ epävarmuuden pienentämiseksi. Testilaitteen vaatima 1000 on optimoitu pienemmille suojauskertoimille. Yleensä testissä on käytettävä suola hiukkaskasgeneraattoria. Testaustilaksi käy pieni huone, ja jossa ei ole voimakasta ilmastointia tai suurien ilmavirtojen lähteitä. Tilaksi voidaan rakentaa noin 1 x 1 x 2,1 m³ teltoa, jonka yläosaan jätetään rako lämmön ja hiilidioksidin kertymisen estämiseksi. Hiukkaskasgeneraattori asetetaan lattialle pienen matkan päähän testattavasta – teltan sisään, jos teltta on käytössä.

Tiiviiden kokeilu omalla hengityksellä naamaria puettaessa

Suoja-naamari puetaan ylle käyttöohjeen mukaan. Ilman sisäänmenoaukko tukitaan kämmenellä. Vedetään henkeä sisään, jolloin ilmaa ei tule ja suojaimeen saadaan alipaine noin 8 sekunniksi. Jos suojaimeen ei pysy alipaineisena, se puetaan uudelleen. Jos naamaria ei saada tiivistymään kasvoille, se on joko rikki tai se ei sovi kasvoille, jolloin se on vaihdettava ehjään ja kasvoille istuvaan. Tiiviiden kokeilu tällä tavoin ei korvaa tiiviystestiä.

Tutkimuksessa kehitettiin ja ohjeistettiin sellaisia asbestipurkutyön turvallisuuden mittaus- ja valvontakäytäntöjä, joiden avulla työntekijöiden ja muiden ihmisten asbestialtistuminen voidaan ennaltaehkäistä. Hankkeessa kehitetyillä ja testatuilla mittausmenetelmillä voidaan todentaa osastoinnin, ilmankäsittelylaitteiden ja hengityksensuojainten toimivuus. Turallisessa asbestipurkutyössä yksikään riskinhallintamenetelmä ei saa pettää ja niiden tehokkuutta tulee seurata mittauksin. Tutkimuksen tulosten pohjalta laadittiin malliratkaisut altistumisen ehkäisemiseksi. Tuloksia voidaan soveltaa myös kaikessa muussa korjausrakentamisessa, jossa ilmaan vapautuu terveydelle haitallisia tai vaarallisia altisteita.



Työsuojelurahasto
Arbetskyddsfonden
The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos
Arbetshälsainstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00032 Työterveyslaitos

www.ttl.fi

ISBN 978-952-261-870-2 (nid.)

ISBN 978-952-261-871-9 (pdf)