

Otto Lähdesmäki

OSASTOINTI- JA ALIPAINESTUSMENETELMÄ KORJAUSRAKENTAMISEN PÖLYNHALLINNASSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Otto Lähdesmäki: Osastointi- ja alipaineistusmenetelmä korjausrakentamisen pölynhallinnassa (Dust control with partitioning and negative pressurization at renovation sites)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Huhtikuu 2021

Alipaineistus- ja osastointimenetelmä on yleinen menetelmä rakennustyömaan pölynhallinnassa, ja sitä käytetään laajalti sekä uudisrakentamisessa että korjausrakentamisessa yhdessä muiden pölyn- ja puhtaudenhallintamenetelmien kanssa. Tässä työssä keskitytään menetelmän käyttöön korjausrakentamisessa, jossa pölynhallintamenetelmät vaativat sovellettuja ratkaisuja. Korjausrakentamisessa pölynhallinnan toimivuus on oleellista esimerkiksi rakennuksen mahdollisen rakennusaikaisen käytön takia. Aikaisemmissa tutkimuksissa menetelmän toimivuus pölynhallinnassa työmailla on osoittautunut vaihtelevaksi. Tässä työssä esitellään menetelmän toteutus ja toimintatapa teoriassa, tutkitaan mitkä menettelyt ovat olleet virheellisiä kohteissa, joissa pölynhallinta on ollut tehotonta, sekä millaisilla menettelytavoilla osastointi- ja alipaineistumenetelmä saadaan toimivaksi.

Työssä on koottu kirjallisuuslähteistä menetelmän teoreettinen perusta, kuvaus menetelmän laitteistoista ja sekä yleiset toteutusmenetelmät että tunnetut toiminnan varmistamismenetelmät. Alipaineistus- ja osastointimenetelmän käytössä ilmenneitä ongelmia on tutkittu kahden aikaisemman, laajan tutkimuksen havaintojen perusteella. Tutkimuksissa havaituista puutteellisista toteutuksista kootaan ja esitellään yleiset virheet, jotka ovat johtaneet menetelmän käytön epäonnistumiseen.

Suomessa osastoinnin ja alipaineistuksen suunnittelu perustuu osaston ilmanvaihtuvuuteen, joka ei korreloi alipaineen määrän kanssa, mikäli osaston tiiveys ei ole riittävä. Menetelmän teho on kaksiosainen. Alipaineistuspuhallin, joka puhaltaa ilmaa ulos osastosta, vähentää sisäilman pölykonsentraatiota. Tiiviin osaston kanssa osastoon syntyy vakaa alipaine, joka osaltaan estää pölyhiukkasten diffuusion ulos osastosta. Useissa kirjallisuuslähteiden tutkimuskohteissa ilman pölykonsentraatio osaston ulkopuolella ei ole poikennut osaston sisäisestä pölykonsentraatiosta merkittävästi. Kun osasto ei ole tiivis, suuri osa menetelmän hyödystä on jäänyt käyttämättä, jolloin osastoinnilla ei ole saavutettu tavoiteltuja hyötyjä.

Tutkielmassa osoitetaan, että virheellisissä osastointi- ja alipaineistusmenetelmän toteutuksissa yleisin tekijä on osastoinnin puutteellinen tiiveys, mikä estää alipaineen syntymisen osastoon. Myös koneellisen ilmastoinnin käyttö rakennuksessa sekä henkilöliikenne osastoon ja ulos osastosta ovat aiheuttaneet hetkellistä ylipainetta, ja tätä kautta heikentäneet pölynhallinnan tasoa. Tutkimuslähteissä on myös esitetty ratkaisuja edellä mainittuihin ongelmiin. Ratkaisusta ensimmäisenä esille nousevat alipaineen ohjearvon määrittely, jolle esitetty arvo -5 Pa olisi yhteinen kansainvälisten suositusten kanssa. Alipaineen tason varmistamiseksi ehdotetaan seuraavaa: jatkuvatoiminen mittauslaitteisto, osaston huolellinen tiivistys sekä sulkuutilallinen kulkureitti osastoon.

Avainsanat: Pölynhallinta, alipaineistus, osastointi, rakennuspöly

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. OSASTOINTI JA ALIPAINIESTUS	4
2.1 Toimintaperiaatteet	4
2.2 Käyttökohteet	5
3. OSASTOINNIN TOTEUTUS JA LAITTEISTO	7
3.1 Osastointi	7
3.2 Alipaineistuslaitteet	8
3.3 Suodattimet	9
3.4 Mittauslaitteet	10
4. TOIMINNAN VARMISTAMISMENETELMÄT	12
4.1 Suunnittelu	12
4.2 Mitoitus ja kokeet	13
4.3 Tarkkailu	13
5. YLEISET ONGELMAKOHDAT JA RATKAISUT	14
5.1 Ongelmat	14
5.2 Ratkaisut	15
5.3 Pohdinta	16
6. YHTEENVETO	18
LÄHTEET	20

1. JOHDANTO

Pölynhallinta rakennustyömaalla on merkittävä osa sekä rakennustyön että valmiin rakennuksen terveellisyyttä. Kaikki rakennustyömaalla syntyvät pölyt kuormittavat keuhkoja ja liikaa hengitettynä aiheuttavat parantumattomia keuhko- ja keuhkoastma- ja keuhko-oireita (Koski et al. 2015). Pintojen pölykertymät vaikuttavat viihtyisyyteen ja rakennuksen käytönaikaiseen terveellisyyteen. Työmailla työntekijöille yleisenä haittaa aiheuttavana tekijänä koetaan juuri pölyisyys (Koski et al. 2015, s. 4).

Usein rakennustyömaan pölynhallinnan tasoa määrittää tilaajan urakkasopimuksessa määrittämät vaatimukset (Koski et al. 2015, s. 5). Nämä vaatimukset on tarkoitettu vähentämään rakennuspölystä asukkaille koituvia terveys- ja viihtyisyshaittoja.

Rakennuspölyn haittavaikutuksia tulisi pystyä vähentämään mahdollisimman taloudellisilla ja toimintavarmilla ratkaisuilla (Koski et al. 2013, s. 17). Pölynhallinnan suunnittelusta rakennushankkeessa on myös Rakennustieto julkaissut ohjekortin: Ratu S-1225. Pölynhallintaa korjausrakentamisessa on tutkittu hankkeessa Epäpuhtauksien hallinta saneeraushankkeissa – Puhdas ja turvallinen saneeraus (myöhemmin Putusa).

Eräs pölynhallinnan keinoista on tilojen osastointi ja alipaineistus. Alipaineistetulla osastolla estetään pölyn leviämistä työskentelyalueen ulkopuolelle. Etenkin korjausrakentamisessa osastointi- ja alipaineistusmenetelmää käytetään paljon. Työnalaiset tilat, joissa pölyjä syntyy, halutaan saada rajattua muista tiloista. Korjaustyömailla pölyn leviäminen halutaan estää varsinkin rakennusaikana käytössä oleviin tiloihin ja tiloihin, joissa työt ovat jo valmiita.

Alipaineistuksen toteutuksen ja mitoituksen tulee kuitenkin olla tarkkaa hyvän tuloksen saavuttamiseksi, ja tämä voi aiheuttaa ongelmia työmaaloissa. Markkinoilla on valmiita ratkaisuja osastointiseinille, mutta yleisesti osastointi suoritetaan paikan päällä rakennetuilla ratkaisuilla, joiden toimivuus riippuu tekijän tietotaidosta, huolellisuudesta ja välineistä. Tutkimuksissa, joissa alipaineistuksen toimivuutta on mitattu, on havaittu, että menetelmällä on saavutettu vaihtelevia pölynhallinnallisia hyötyjä.

Alipaineistuksen toimivuutta voidaan testata ilman hiukkaspitoisuutta mittaamalla. Aikaisemmissa tutkimuksissa on tehty hiukkaspitoisuusmittauksia ulko- ja sisäpuolelta erilaisissa alipaineosastoissa, joissa on käytetty erilaisia osastointirakennelma- ja alipaineistuspuhallinkonfiguraatioita. Tutkimuksia on tehty myös alipaineen määrän vaikutuksesta

hiukkasten leviämiseen samalla osastoinnilla. Näistä tutkimuksista useat, kuten The effect of pressure differential and care provider movement on airborne infectious isolation room containment effectiveness (Adams et al. 2011), liittyvät tartuttavien, ilmanteitse leviävien bakteerien ja virusten leviämiseen sairaalaoiloissa. Tutkimuksissa käytetyt hiukkaset ovat kuitenkin kooltaan verrattavissa rakennuspölyyn, halkaisijaltaan kaksi mikrometriä eli samaa suuruusluokkaa kuin asbesti- ja sementtipöly. Näiden tutkimusten havaintojen ja johtopäätösten perusteella on mahdollista määritellä pölyntorjuntaan positiivisesti vaikuttavia menettelyitä korjausrakentamisympäristössä. Korjaustyömailla vastaavia alipaineistuksen vaikutuksia pölyn leviämiseen on tutkittu tutkimuksessa Evaluation of Real-World Implementation of Partitioning and negative Pressurization for Preventing the Dispersion of Dust From Renovation Sites (Kokkonen et al. 2017), jossa tutkittiin juuri osastointi- ja alipaineistusmenetelmän vaikutusta pölyn leviämiseen korjaustyömaiden ympäristöön.

Tässä tutkimuksessa vastataan kysymykseen, mitkä ovat yleisiä virheitä, jotka heikentävät osastointi- ja alipaineistusmenetelmän tehoa korjausrakentamisen pölynhallinnassa, sekä esitellään hyviä menettelyjä, joilla virheitä voidaan välttää. Tutkimuksen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi hyödynnetään seuraavia apututkimuskysymyksiä: ”Mikä on menetelmän teoreettinen perusta?”, ”Miten alipaineistusosaston toteutus tapahtuu käytännössä?” ja ”Millä toimintavoilla alipaineistusosaston toiminnasta voidaan varmistua?”.

Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuskysymykseen vastataan lähdetutkimuksien havainnoista kerättyjen tietojen perusteella. Lähteiksi valittiin englannin- ja suomenkielisiä tutkimuksia 2000-luvulta. Kohteet, joita lähteissä on tutkittu, ovat suomalaisia korjaustyömaita, joissa pölynhallinnassa on käytetty osastointi- ja alipaineistusmenetelmää. Kirjallisuuskatsaus on kandidaatintyön laajuus ja tämän tutkielman aihe huomioon ottaen tarkoituksenmukainen tutkimusmenetelmä, koska sillä pystytään sopivassa laajuudessa keräämään tutkimusaineistoa aikaisempien tutkimusten tuloksista ja yhdistelemään niitä. Uuden kokeellisen tutkimusdatan hankkiminen ei ole tässä tutkimuksessa välttämätöntä, koska tutkimuskysymyksiin pystytään vastaamaan riittävällä laajuudella kirjallisuuskatsauksella.

Tutkimuksen luvussa 2 kerrotaan alipaineisen osaston toimintaperiaatteesta ja toiminnan vertailuperusteista. Luvussa 3 esitellään menetelmän toteutustapoja ja laitteistoa. Luvussa 4 esitellään menetelmän suunnittelun pääpiirteitä sekä menetelmän toiminnanvarmistustapoja. Luvussa 5 käsitellään Putusa-hankkeessa ja Evaluation of Real-World Implementation of Partitioning and negative Pressurization for Preventing the Dispersion

of Dust From Renovation Sites –tutkimuksessa tutkituissa osastoinneissa havaittuja ongelmia, sekä esitellään niiden esittämiä ratkaisuja. Luvussa viisi pohditaan myös menetelmävirheiden syitä ja ratkaisuja. Aikaisempien tutkimustulosten johtopäätöksiä yhdistelemällä saadaan luotua kuva siitä, minkä tyyppisillä ratkaisuilla osastointimenetelmän toiminta ei ole vastannut haluttua lopputulosta, sekä toisaalta millaisilla ratkaisulla pölynhallintaa pystytään parantamaan. Luvussa kuusi kootaan yhteen tutkimuksessa kerätyt havainnot ja johtopäätökset, esitetään ilmenneitä jatkotutkimuskohteita ja pohditaan tutkimuksen luotettavuutta.

2. OSASTOINTI JA ALIPAINIESTUS

2.1 Toimintaperiaatteet

Työmaan pölyjenhallintaan käytetyssä osastoinnissa estetään pölyjen leviämistä pölyisistä tiloista tai osastoista muuhun sisäilmaan. Ilmatiiviisti osastoidulta työskentelyalueelta poistetaan ilmaa koneellisesti, yleensä ulkoilmaan. Kun ilmaa poistetaan koneellisesti osastosta enemmän kuin tuloilmaa pääsee virtaamaan sisään, syntyy osastoon alipaine. Osaston alipaineen seurauksena paineen tasaantuminen aiheuttaa ilmavirtauksen puhtaasta ilmasta pölyiseen päin (kuva 1). Poistoilma suodatetaan joko HEPA (High efficiency particulate airfiltering) -suodattimella, jolloin poistoilma voidaan johtaa sisäilmaan, tai hienosuodattimella, jolloin poistoilma on johdettava ulkoilmaan.



Kuva 1. Kaaviokuva pölynhallintajärjestelmän toiminnasta. (Koski et al. 2013)

Euroopan johtavien työsuojelutarkastajien komitean (SLIC) ohjearvo alipaineen määräksi osastossa, jossa alipaineistusmenetelmää käytetään, on 5 ja 20 Pa:n välillä. 5 Pa alipaine on kuitenkin alhainen, ja menetelmän toimintaan voivat tällöin vaikuttaa ulkoiset tekijät, kuten tuuli (Kokkonen et al. 2017). Suuremmilla paineilla ainakin 20 Pa alipaineeseen saakka saadaan alipaineistuksella parempi käytännön vaikutus hiukkasten leviämiseen osaston ulkopuolelle (Adams et al. 2011).

Tasaisen alipaineen säilyttäminen osastossa vaikuttaa suuresti pölyn leviämiseen osaston ulkopuolelle. Varsinkin liikenne alipaineistettuun tilaan tai tilasta heikentää pienillä alipaineilla pölyn hallintaa. Etenkin julkisissa rakennuksissa ilta- ja yöaikainen rakennuksen ilmanvaihdon alasajo voi muuttaa työmaan paine-eron positiiviseksi, jolloin pöly pääsee leviämään ulkopuolelle. (Koski et al. 2013, s. 117)

Osastoinnin toimivuuden arviointiin ilman pölyisyysmittauksissa voidaan käyttää suojaustekijää (protection factor, [pf]), joka on osaston pölykonsentraation C_r [mg/m^3] suhde osaston ympäristön ilman pölykonsentraatioon C_a [mg/m^3]

$$pf = \frac{C_r}{C_a}. \quad (1)$$

Suojaustekijällä voidaan arvioida erilaisten osastojen tiiveyden ja alipaineen vaikutusta pölyn leviämisen estämiseen. Suojaustekijän suuruuteen ei vaikuta alipaineistuslaitteen aiheuttaman ilmanvaihtuvuuden osaston sisäistä pölyisyyttä vähentävä vaikutus. (Kokkonen et al. 2017, s. 10).

Alipaineistuksessa pyritään Suomessa 6–10-kertaiseen ilmanvaihtuvuuteen tunnissa tavanomaisissa purkutöissä (Ratu 82-0384 2011, s. 7). Vaarallisia aineita sisältävien materiaalien purkamisen aikana tulisi ilmanvaihtuvuuden olla 10–20-kertainen tunnissa (Ratu 82-0347 2009, s. 4). Ilmanvaihtuvuus osastossa saadaan alipaineistajan tilavuusvirrasta ja alipaineistettavan tilan tilavuudesta.

$$n = Q \div V, \quad (2)$$

missä

n = ilmanvaihtuvuus [1/h]

Q = alipaineistajan tilavuusvirta [m^3/h]

V = alipaineistettavan tilan tilavuus [m^3].

Tehokkaalla ilmanvaihtumisella on suotuisa vaikutus pölykonsentraation laimenemiseen tilassa. Vaikka paine-ero työskentelyalueella ja ulkopuolisissa tiloissa olisi pieni, työskentelytilan ilmanvaihtuvuus vähentää epäpuhtauksia osaston ilmassa. Työskentelytilan alhaisella pölykonsentraatiolla on havaittava vaikutus pölyn määrään osaston ulkopuolella riippumatta osaston tiiveydestä. (Kokkonen et al. 2017, s. 7) Osastoinnin toimivuuden kannalta on oleellista, että paine pysyy mahdollisimman paljon negatiivisena, jottei pölyinen ilma virtaisi puhtaaseen päin (Koski et al. 2013, s. 127).

2.2 Käyttökohteet

Osastointimenetelmää käytetään paljon korjausrakentamisessa. Etenkin hankkeissa, joissa rakennus on korjauksen aikana käytössä, on merkittävää, ettei rakennuspöly pääse leviämään ympäröivään huoneilmaan. Korjausrakentamisessa suoritetaan suhteellisen paljon pölyäviä töitä sisätiloissa, jolloin työterveydellisistä syistä on tärkeää

osastoida pölyisemmät työalueet erikseen. Varsinkin purkutöihin sisältyy monia haitallista pölyä synnyttäviä työvaiheita, kuten piikkaaminen, mineraalivillan purku ja purkujätteen käsittely. Jos pölyävää työtä tehdään yksittäisessä huoneessa tai muussa tilassa, johon on vähän kulkureittejä, on osastointi helppoa ja tehokasta suorittaa.

Alipaineistuksen lisäksi osastoidussa tilassa voidaan käyttää kohdepoistollisia työkaluja pölyisyyden vähentämiseksi. Tämä on tyypillistä ainakin haitallisten aineiden purkutöissä työnaikaisen altistumisen vähentämiseksi. Valtioneuvoston asetuksessa asbestityön turvallisuudesta 798/2015 säädetään asbestin altistumisalueen rajaamisesta ja asbestipölyn kulkeutumisen estämisestä pois altistumisalueelta. Asbestipurkutyö edellyttää aina alipaineistusosastointia.

3. OSASTOINNIN TOTEUTUS JA LAITTEISTO

3.1 Osastointi

Osastoinnin rakentaminen vaatii aina tapauskohtaisia ratkaisuja, ja kiinteitä rakenteita pyritään käyttämään mahdollisimman paljon. Osaston rakenteisiin sisältyvät seinärakenteet, kulkuaukot ja tiivisteet. Osastointiseiniksi on tarjolla valmiita ratkaisuja, jotka voivat helpottaa osastointityötä, mutta tyypillisempi ratkaisu on paikan päällä rakennettu seinä. Osastointiseinä rakennetaan tyypillisesti muovikalvosta. Muovikalvo voidaan teipata olemassa oleviin rakenteisiin (kuva 2), rakentaa puurimoista runko seinälle tai käyttää teleskooppirunkotolppia. Osastointiseinän runkoon voidaan liittää muovin suojaksi alareunaan levytys, joka suojaa muovia repeämiltä (Sorsa 2011, s. 39). Kestävämpi osastointiseinä voidaan rakentaa vanerista tai kipsilevyistä (Koski et al. 2013, s. 46).



Kuva 2. Osastointi käyttäen valmiita rakenteita. Alipaineisuus havaittavissa sisään-päin pullistuneista muoveista. (Sisäilmayhdistys)

Osaston kulkuaukon tulee olla tiivis ja suljettava. Kulkuaukkoina käytetään tavallisesti muovi- tai muovilevyovia sekä vetoketjullisia muoviovia. Jos kulkuaukosta poistuvaa pölyä halutaan rajoittaa, voidaan kulkuaukoksi rakentaa kahdesta ovesta koostuva sulkutila. Sulkutilalla on merkittävä positiivinen vaikutus osastoinnin toimintaan. Sulkutilan käyttö auttaa säilyttämään paine-eron osastoidun tilan ja ulkopuolen välillä (Kokkonen et

al. 2017, s. 10). Erityisen haitallisten rakenteiden purkutöissä käytetään kolmiosaista oviaukkoa eli kaksinkertaista sulkutilaa (Rakennuskone 2020).

Osastoinnin suojaustekijän kannalta merkittävin tekijä on osaston tiiveys (Kokkonen et al. 2017, s. 9). Tiiviissä osastoissa osaston paine-ero saadaan suuremmaksi, ja se saadaan pysymään tasaisempana pitkällä aikavälillä. Osaston tiiveyteen voidaan vaikuttaa parhaiten osastointiseinien ja kiinteiden rakenteiden liitoksien tiivistämisellä. Tiiviiden liitosten aikaansaamiseksi tulee muoviset seinät teipata aukottomasti kiinteisiin rakenteisiin.

Osastointiseinät voidaan tiivistää solumuovikaistalla, uretaanivaahdolla tai rakennusliimalla. Alipaineistajan poistoilmaputken reitin ulos osastosta tulee olla tiivistetty. Ilmanvaihtokanavat tulee tukkia tiiviisti peittämällä ne solumuovilla ja teippaamalla. Jos poistoilma johdetaan ulos ikkunasta, kiinnitetään ikkuna-aukkoon tiiviisti rakennuslevy, johon porataan reikä poistoputkelle. Poistoputki tiivistetään kiinni levyyn siten, että sen pää ulottuu vähintään 50 cm rakennuslevyn ulkopuolelle. (Rakennuskone 2020)

3.2 Alipaineistuslaitteet

Alipaineistukseen käytetään koneellista alipaineistuspuhallinta (kuva 3). Alipaineistuspuhallimia on tarjolla markkinoilla useilta valmistajilta. Alipaineistuslaitteet ovat koneistoltaan melko yksinkertaisia laitteita, joissa verkkovirralla toimiva moottori vetää ilmaa suodatinpuolelta, ja puhalttaa ulos toiselta puolelta.



Kuva 3. LIFAairin HepaClean 4000 -alipaineistaja, jolle luvataan 3200m³/h ilmansiirto H13 Suodattimella. (LIFAair)

Myyjät luokittelevat alipaineistajat tietylle ilmanvaihtuvuudelle joko tilavuusvirran perusteella tai puhaltimelle sopivan osaston koon perusteella. Eroja malleissa ilmansiirtotehon lisäksi löytyy merkkivaloista, suodattimen kiinnityksestä ja ergonomisuudesta.

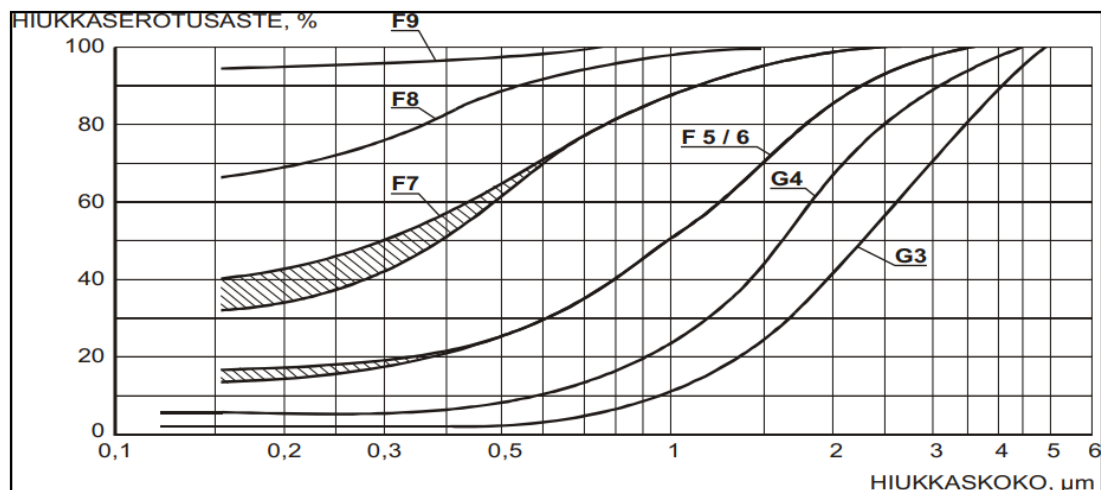
3.3 Suodattimet

Alipaineistajan poistoilma tulee puhdistaa vähintään standardin IEC-60355-2-69 mukaisesti (Asikainen et al. 2009). Rakennusympäristön terveellisyyden säilyttämiseksi tulee kuitenkin käyttää harkintaa oikean suodatintyyppin valitsemiseksi alipaineistajalle. Suodattimissa merkittävää on myös se, että suodatin ja suodatintyyppi vaikuttavat alipaineistajan tilavuusvirtaukseen ja siten osaston ilmanvaihtuvuuteen.

Suomessa pölynsuodattimien luokitteluun oli aikaisemmin käytössä standardi SFS-EN 779, mutta vuonna 2018 siirryttiin SFS-EN ISO 16890 standardiin. Vanhemman standardin merkinnöillä suodatinluokat jaotellaan seuraavasti (Hengitysliitto 2020):

- Karkeasuodattimet G2-G4
- Hienosuodattimet F5-F9
- HEPA-suodattimet H10-H14
- ULPA-suodattimet U15-U17

Suodatintyyppien luokittelu perustuu suodattimen hiukkasten erotusasteeseen. Näistä alipaineistajan poistoilman suodattamiseen tarkoituksenmukaisia ovat hienosuodattimet ja HEPA-suodattimet. Hieno- ja karkeasuodattimille määritellyt hiukkaserotusasteita on esitetty kuvassa 4. Huomioitavaa on, että pienten hiukkasten erotusasteissa eri hienosuodatintyypeillä on merkittäviä eroja.



Kuva 4. Eri pölynsuodattimien hiukkaserotusaste prosentteina eri hiukkasko'oilla. (Asikainen et al. 2009)

Suodattimen kuormittuminen ja käyttöikä ovat myös riippuvaisia suodatintyyppistä. G4-luokan karkeasuodatinta voidaan käyttää esisuodattimena varsinaisen suodattimen keskiön parantamiseksi, jolloin esisuodatin tulee vaihtaa useasti (Rakennuskone). Kuvassa

5 ilmenee tyypillisten poistoilman suodatukseen käytettävien suodattimien arvioitu vaihtoväli tietyn pölyisillä töillä.

Suodatin	Eriyisen pölyävä työ	Pölyävä työ	Tavallinen rakennustyö	Viimeistelytyö
Esisuodatin G4*	2-3 kpl / vrk	2 kpl / vrk	1 kpl / vrk	1 kpl / 2 vrk
Pussisuodatin F7 ^{ff}	1 vrk	2-3 vrk	1-2 vko	1-3 kk
Hepa H13	1 kk	3 kk	6 kk	12 kk

Kuva 5. Pölynsuodattimien suositeltu vaihtoväli eri pölyisyysasteiden töissä. (Metso 2011)

Suodattimen käyttöikä on kuitenkin riippuvainen myös valmistajasta. Etenkin HEPA-suodattimien pinta-alat vaihtelevat (Koski 2013, s. 6), mikä vaikuttaa käyttöikään. Suodattimen todelliseen tehokkaaseen käyttöikään vaikuttaa kuitenkin moni asia, joten suodattimen toimintaa ja kuormitusta on tarkkailtava työmaalla.

3.4 Mittauslaitteet

Osastoinnin toimintaan vaikuttavia tekijöitä on toiminnan varmistamisen kannalta tärkeä pystyä mittaamaan ja vertailemaan mahdollisten ongelmien ja vikojen välttämiseksi. Merkittäviä mitattavia ja monitoroitavia suureita osastointi- ja alipaineistusmenetelmässä ovat ilmanpaine-ero, ilmanvirtaus ja ilmanpölykonsentraatio.

Ilmanpainemittari on tärkeimpiä osastointi- ja alipaineistusmenetelmän toiminnan tarkkailuvälineitä. Painemittareita on markkinoilla paljon ja niiden toimintamekanismit eroavat toisistaan. Käytännöllisimpiä laitteita työmaaoloissa alipaineistuksen tarkkailuun lienevät usein lvi-ammattilaisille markkinoidut elektroniset kannettavat paine-ero- tai monitoimimittarit.

Ilman pölyisyyden mittaamiseen käytettävä hiukkasmittari, esimerkiksi Dusttrak drx 8533 (kuva 6), pystyy mittaamaan hiukkaskonsentraation ilmasta. Valmistajan mukaan hiukkasmittari pystyy havaitsemaan 0,1–15µm kokoisia hiukkasia. Suoraan osoittavat mittalaitteet vaativat tuloksien korjaamista kyseisen tyyppiselle pölylle korjauskertoimella.



Kuva 6. Dusttrak drx 8533 aerolsolimittari reaaliaikaiseen pölyisyyden mittaukseen ja monitorointiin. (TSI 2020)

Paine-eromittaukset ovat Suomessa osastointi- ja alipaineistusmenetelmän yhteydessä käytössä asbestityön osastojen jatkuvan alipaineen monitoroinnissa. Tavanomaisissa pölyävissä töissä Suomessa ei ole pakollista suorittaa mittauksia pölynhallinnassa, ja jopa alipaineen monitorointi osastoinneissa on harvinaista.

Epäpuhtauksien leviämistä ympäröiviin tiloihin voidaan mitata myös savukokeilla. Savukokeessa savugeneraattorilla tai -kynällä tuotetaan tutkittavaan tilaan savua. Savun leviämisestä voidaan tulkita ilman liikkeen suunta ja nopeus. Osastointi- ja alipaineistusmenetelmässä savukokeella voidaan havainnoida paine-eron suunta ja mahdollisia vuotokohtia osastoinnissa. (Säämänen. et al. 2004, s. 53–54)

4. TOIMINNAN VARMISTAMISMENETELMÄT

4.1 Suunnittelu

Urakoitsija laatii korjausrakennuskohteille pölyntorjuntasuunnitelman rakennuttajan asettamien sisäilma- ja puhtaustavoitteiden mukaisesti (Koski et al. 2015, s. 6). Työlaji-kohtaisessa pölyntorjuntasuunnitelmassa ilmenevät pölyävät työvaiheet sekä kohdetilat ja niissä käytettävät pölynhallintamenetelmät. Työlajikohtaisen pölyntorjuntasuunnitelman lisäksi osastointia vaativille töille luodaan osastointi- ja alipaineistussuunnitelma, jonka malli on esitetty kuvassa 7.

Osastointi- ja alipaineistussuunnitelman laatimiseksi sekä menetelmän toteuttamiseksi on myös selvitettävä ja suunniteltava ainakin poistoilmareitit, rakennuksen ilmanvaihto ja painesuhteet, suojaseinien sijainnit, palo- ja sähköturvallisuusmääräysten huomiointi, osastoinnin rakenteet ja kulkuaukot, käytettävä laitteisto, niiden sijoittelu ja laitteiden huoltovälit sekä suodattimien vaihdot, mittaus ja seuranta sekä tulosten dokumentointi. (Koski 2013, s. 27)

OSASTOINTI- JA ALIPAINAISTUSSUUNNITELMA								
Rakennuskohde:			Laatija:			Pvm:		
Nro	Tila	Osaston koko m ³	Ilmanvaihtokerroin 1/h	Ilmämäärä m ³ /h ¹⁾	Palo- luokka	Paine-eron seuranta	Laite- ja suodatintyypit	Liite nro Piir. nro
1	Esimerkkitala	1000	6	6000		X	2 kpl (HC 4000) / G4 + H13 (F7)	
				0				
				0				
				0				
				0				
				0				
				0				
				0				
				0				
				0				
Lisätietoja								
Mikäli puhallusilma voidaan johtaa ulos, suodatus F7. Mikäli puhallusilma johdetaan sisätilaan, suodatus H13.								

Kuva 7. Osastointi- ja alipaineistussuunnitelman esimerkkilomake. (Koski 2013)

Osastoinnin ja alipaineistuksen hyvällä suunnittelulla vältetään monilta mahdollisilta ongelmilta ja sujuvoitetaan osastointityötä. Suunnitelmallisella osastoinnilla pystytään hyö-

dyntämään enemmän valmiita rakenteita, varaamaan tarvittava laitteisto ja määrittämään seuranta- ja mittaustarpeet esimerkiksi pölynhallinnan kannalta kriittisiin kohdetiloihin.

4.2 Mitoitus ja kokeet

Alipaineistus- ja osastointimenetelmän mitoitusohjeet koostuvat ilmanvaihtuvuuden sekä alipaineen ohjeistoista. Alipaineistuksen mitoitus urakka-asiakirjoissa määritellään tyyppillisesti ilmanvaihtuvuusperusteisesti (Koski et al. 2013, s. 116). Ilmanvaihtuvuuden ohjeistoon vaadittava alipaineistuslaitteisto voidaan mitoittaa osaston tilavuudesta ja alipaineistuslaitteen tai -laitteiden tilavuusvirrasta.

Alipaineen määrää ei puolestaan pystytä luotettavasti arvioimaan tai mitoittamaan etukäteen. Putusa-tutkimuksessa havaittiin, että ilmanvaihtuvuusmäärältään oikein mitoitetuilla alipaineistuksilla saavutettiin vain hyvin lieviä alipaineita kohteissa, joissa osaston tiiveydessä oli puutteita (Koski et al. 2013). Jos halutaan varmistua riittävästä alipaineistuksesta, täytyy tiiveys varmistaa.

Yksi tapa varmistaa riittävän alipainetason saavuttaminen on suorittaa koealipaineistus. Koealipaineistuksessa alipaineistuslaitteisto kytketään päälle ja painesuhteet mitataan osaston sisältä ja ulkoa. Koealipaineistusta tehtäessä tulee ottaa huomioon ulkoilman olosuhteet. Kova tuuli voi vaikuttaa koealipaineistuksen tuloksiin merkittävästi. (Salo 2015)

4.3 Tarkkailu

Osastointi- ja alipaineistusmenetelmää käytettäessä pölyävän työn aikana on tarkkailtava ainakin alipaineistajan toimintaa sekä osaston yleistä ehjyyttä ja tiiveyttä. Alipaineistajan ja suodattimen toimintaa tulee tarkkailla työn aikana, mutta työajan ulkopuolisen toiminnan varmistamiseksi suositellaan yhden alipaineistajan sijaan käytettäväksi kahta pienempää (Ratu 82-0347, s. 5).

Riittävän paine-eron ja pölynleviämisen tarkkailu ilman mittalaitteistoa ei kuitenkaan ole mahdollista (Kokkonen et al. 2017, s. 9). Tarkkailutoimenpiteissä voidaan käyttää riittävän paine-eron varmistamiseksi jatkuvatoimista tallentavaa paine-eromittaria (Koski et al. 2013, s. 119). Riittävän alipaineen tarkkailun lisäksi ilman pölykonsentraatiota on hyödyllistä tarkkailla työn aikana. Ilman epäpuhtauspitoisuuksien seuraamiseen on suositeltavaa käyttää suoraan osoittavia mittalaitteita, jotka mittaavat paikan päällä ilmasta aerosolipitoisuuden (Koski et al. 2013, s. 6–7).

5. YLEISET ONGELMAKOHDAT JA RATKAISUT

5.1 Ongelmat

Osastoinnin ja alipaineistuksen toimivuutta mitanneista tutkimuksista selviää, että menetelmän käyttö on tuottanut käytännössä vaihtelevia tuloksia. Perimmäisiä syitä menetelmän puutteelliselle toteutukselle on vaikea eritellä, sillä tutkimuksissa ei oteta kantaa esimerkiksi työntekijöiden koulutukseen, työnjohdon tasoon tai alipaineistusmenetelmän tuntemukseen. Kuitenkin tuomalla esiin ongelmakohtia, joilla on yhteys pölynhallinnan toimimattomuuteen, on toimintamalleja mahdollista kehittää.

Putusa-hankkeessa tutkittiin kymmentä kohdetta, joissa menetelmää käytettiin, ja Evaluation of Real-World Implementation of Partitioning and negative Pressurization for Preventing the Dispersion of Dust From Renovation Sites –tutkimuksessa kohteita oli 12. Molemmista tutkimuksista noin puolessa osastoinneista oli toiminnan kannalta merkittäviä puutteita. Kohteista, joissa epäpuhtauksien leviäminen on estetty puutteellisesti, löytyy yhteneviä ongelmatekijöitä. Ongelmatekijöistä mainitaan alipaineen vähäisyys, alipaineen epätasaisuus ja ilmanvaihtuvuuden alimitoitus. (Koski et al. 2013) (Kokkonen et al. 2017)

Kokkonen et al. (2017) määrittelevät tutkimuksessaan merkittävimäksi ongelmaksi osaston epätiiveyden. Tutkimuksessa osoitetaan, että tiiviisti toteutetulla osastoinnilla on merkittävä vaikutus pysyvän, kohtuullisen alipaineen luomisessa. Tutkimuksessa osoitettiin myös, että korkealla ilmanvaihtuvuudella ei ollut vaikutusta pölyn leviämisen estämiseen vuotavassa osastoinnissa, mutta toisaalta korkealla ilmanvaihtuvuudella saavutettu pölykonsentraation laimeneminen osastossa vähentää pölyn määrään osaston ulkopuolella. Virheitä, jotka aiheuttivat tutkimuksen kohteissa osaston epätiiveyttä ja alipaineen heikkoutta olivat auki jätetyt ikkunat ja ovet, heiveröiset osastointiseinät sekä puuttuvat tiivistykset. Tutkimuksessa mainitaan myös, että yhdessäkään kohteessa osaston alipainetta ei tarkkailtu mittaamalla työn aikana. (Kokkonen et al. 2017)

Putusa-hankkeessa havaittiin myös osastoinnin ja alipaineistuksen vähentävän pölyn määrää ympäröivissä tiloissa huolimatta osaston tiiveydestä. Alipaineistajat oli kuitenkin ilmanvaihtokertoimen kannalta alimitoitettu verrattuna Ratu-ohjeistukseen neljässä kohteessa kymmenestä. Puutteellinen osastoiden tiiveys ilmeni ongelmana myös tämän tutkimuksen kohteissa. Tilapäisen ja kiinteän rakenteen välinen tiiveys todettiin ongelmaksi. Kohteiden urakka-asiakirjoissa ei osastoinnin tiiveysvaatimuksia ollut määritelty riittävän tarkasti. Merkittäväksi ongelmaksi havaittiin työmaa-alueen tuulettaminen. Kymmenestä

kohteessa neljässä käytettiin tehostettua tuuletusta yhdessä osastointi- ja alipaineistusmenetelmän kanssa. Kohteissa, joissa työmaa-alueilla oli käytössä tehostettu tuuletus, ei paine-eroja pystytty hallitsemaan tarpeeksi, ja seuranta-ajasta suuren osan korjaustilat olivat ylipaineisia. (Koski et al. 2013, s. 108–117)

Taulukko 1. Lähdetutkimuksien tutkimuskohteissa havaitut virheet ja niiden merkittävyys pölynhallinnan heikentymiseen.

Ongelmat	Yleisyys kohteissa	Merkitys pölynhallinnalle	Seuraukset
Puutteellinen ilmanvaihtuvuus (alle viisi kertaa tunnissa)	33 %	Huomattava	Ilman pölykonsentraation laimeneminen tilassa vähäistä. Alipaineen saavuttaminen vaikeaa.
Ilmastointilaitteisto käynnissä	42 %	Lievä	Tasaisen alipaineen tuottaminen voi vaikeutua.
Osaston puutteellinen tiivistys	42 %	Vakava	Alipaineen tuottaminen osastoon erittäin vaikeaa.
Tehostettu tuuletus	67 %	Erittäin vakava	Paine-erojen vaihtelu. Menetelmän toimivuus mahdotonta.
Ei sulkutilaa	75 %	Huomattava	Paine-erovaihtelut varsinkin työpäivän aikana, jolloin pölykonsentraatio tilassa koholla.
Mittauksen puute	100 %	Kausaalinen	Alipaineesta ei voida varmistua, ja muita ongelmia ei havainnoida tai tunnisteta.

5.2 Ratkaisut

Tutkimuslähteissä huonon pölyhallinnan tason saavuttamiseen johti suurimpana tekijänä se, että alipainetta ei saavutettu. Osastoitujen pölyisten tilojen alipaineistukseen tarkoitettu ja soveltuva laitteisto, mittauslaitteistoa lukuun ottamatta, on ollut käytössä, mutta piittaamattomuudesta tai tiedostamattomuudesta on seurannut puutteellinen toteutus. Varsinkin puutteellisesti tiivistetyt osastot estävät riittävän alipaineen syntymisen kokonaan (Kokkonen et al. 2017, s. 10). Tutkimuslähteissä esitetyt ratkaisuehdotukset yleisimpiin virheisiin ovat esitetty koottuna taulukossa 2.

Kokkonen et al. (2017) esittää ratkaisuksi määrätyn ohjearvon myös ei asbestipölyä torjuville osastoineille. Tämä edellyttäisi myös alipaineen mittausta, joka jatkuvatoimisella hälyttävällä alipainemittarilla edesauttaisi myös puutteiden havainnoimista työmailla ajoissa ennen kuin pölyä on päässyt leviämään puhtaisiin tiloihin.

Putusa-tutkimuksessa myös suositetaan kohtalaisen paine-eron 5... 15 Pa ylläpitämistä korjausalueella. Korjaustilan ja ympäröivän tilan ympärille suositellaan rakennettavaksi sulkutila painesuhteiden säilyttämiseksi. Pölynhallinnan toimivuuden varmistamiseksi suositellaan jatkuvatoimista alipaineen mittaamista, sekä korjausalueen ympäristön epäpuhtauksien mittaamista suoraan osoittavalla pöly- tai hiukkasmittarilla.

Taulukko 2 . Ratkaisuehdotuksia kohteissa havaittuihin yleisiin ongelmiin.

Ongelmat	Esitetyt ratkaisut
Puutteellinen ilmanvaihtuvuus	Henkilöstön koulutus. Alipaineen varmistaminen mittaamalla.
Ilmastointilaitteisto käynnissä	Kytetään pois, jos mahdollista, muuten huomioidaan alipaineistuksen suunnittelussa.
Puutteellinen tiivistys	Jatkuvatoiminen hälyttävä alipaineen mittaus. Huolellisuus osastoinnin tiivistyksessä. Henkilöstön koulutus
Tehostettu tuuletus	Henkilöstön koulutus.
Ei sulkutilaa	Sulkutilalliset sisäänkäynnit osastoituihin tiloihin määritettävä sopimuksissa pakolliseksi.
Mittauksen puute	Ohjearvon määrittäminen alipaineelle. Sopimuksissa esitettävä vaadittu alipaineen määrä ja tarkkailu.

5.3 Pohdinta

Osastointi- ja alipaineistusmenetelmässä pölyntorjunta voidaan käsittää kaksiosaisiksi. Alipaineistuskone puhdistaa käydessään osaston ilmaa, ja vähentää siten pölyn määrää osastossa sekä sen ulkopuolella. Tämän osan toiminnan voidaan tulkita olevan riippuvainen ilmanvaihtuvuuden tasosta. Toinen osa menetelmän tehoa on tilaan syntyvän alipaineen aiheuttama ilmanvirtaussuunta ulkopuolelta osastoon päin, mikä estää pölyä leviämästä alipaineosastosta muihin tiloihin. On kuitenkin huomioitavaa, että ilmanvaihtuvuus on riippuvainen lähinnä alipaineistuskoneen mitoituksesta, kun taas alipaineen taso on ilmanvaihtuvuuden ja osaston tiiveyden tuotos.

Tiiviin osaston luomiseksi täytyy osaston koko ja liitokset valmiisiin rakenteisiin suunnitella hyvin. Koska osastoinnissa pyritään käyttämään valmiita rakenteita mahdollisimman paljon, on korjausrakennuksessa osastoinnissa usein kyse tilan kulkuaukkojen, ikkunoiden sekä ilmastointiventtiilien tukkimisesta ja tiivistämisestä. Osastointialueen epätiivit rakenteet, kuten alakatot, tulee ottaa huomioon osastoa suunnitellessa. Silmämääräinen tarkastelu ei riitä osaston tiiveyden varmistamiseen. Tämän takia tulee varautua

toimiin, joilla saavutetun alipaineen määrästä voidaan varmistua. Saavutetun alipaineen mittaaminen osastosta ennen töiden aloittamista on kriittisen tärkeää, jotta voidaan todeta osaston tiiveys, mutta hyvän tason säilyttämiseksi jatkuvatoiminen mittaus on myös erittäin suositeltavaa.

Hyvin toimivassa alipaineistusosastossa ilmanvaihtuvuus on ohjearvojen mukainen, ja alipaine on riittävä ja vakaa. Voidaan siis tulkita, että hyvän alipaineistuksen saavuttamiseksi tarvitaan tiiviin osaston lisäksi oikein mitoitettu alipaineistuslaitteisto. Alipaineistusosasto ei kuitenkaan sijaitse tyhjiössä, vaan se toimii työmaa-alueella muuttuvassa ympäristössä ja sen toimintaan vaikuttavat muuttuvat tekijät, kuten tilassa työskentely, kulku osastoon ja osastosta, ulkopuoliset ilmanpaineen vaihtelut sekä osastointi- ja alipaineistuslaitteiston toimintakunto. Osaston alipaineen tulee siis olla riittävä, jotta äkilliset tekijät eivät aiheuta hetkellistä ylipainetta osastoon. Siitä kuinka paljon alipaineen ohjearvon, jolla saavutettaisiin riittävän vakaa suojaustekijä, tulisi olla, on lähteissä eri näkemyksiä. Osaston kulkureitin avaus on havaittu yhdeksi syyksi hetkellisille painevaihteluille. Osastoon kulku tulee järjestää siten, että pölyt eivät pääse leviämään, eikä paineero tasaantumaan tai kääntymään ovea käytettäessä. Sulkutilallinen sisäänkäynti osastoidulle alueelle tulisi olla vakiomenettely.

Suurin yksittäinen yleinen laiminlyönti Putusa-hankkeen tutkimuskohteissa oli tuuletuksen käyttö työmaa-alueella. Tuuletuksen käyttö kohteissa, joissa on kuitenkin osastoitu tiloja, osoittaa että alipaineistus- ja osastointimenetelmän toimintaperiaatteen ymmärryksessä on ollut puutteita. Työmaahenkilöstön perehdytyksellä pölyhallintaan voitaisiin ehkäistä tämänkaltaisia virheitä. Toisaalta myös jatkuvatoimisen hälyttävän alipainemittarin käyttö voisi riittää ennaltaehkäisemään virhemenettelyitä.

6. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mitä virheitä osastointi- ja alipaineistusmenetelmän käytössä tapahtuu korjaustyömailla, sekä mitä menetelmiä voidaan käyttää näiden virheiden ehkäisemiseksi. Tutkimuksessa selvitettiin, miten teoriassa toimiva alipaineistusosasto toteutetaan, sekä miltä osin toteutus on käytännön kohteissa jäänyt usein puutteelliseksi.

Osastointi- ja alipaineistusmenetelmässä työalue eristetään muista tiloista tiiviillä osastoinnilla. Osastoon luodaan alipaine koneellisella puhalluksella, jonka seurauksena ilmavirtaus suuntautuu puhtaasta ilmasta osastoon päin, eikä pöly pääse leviämään työalueen ulkopuolelle. Samanaikaisesti alipaineistuspuhallin vähentää pölyä työalueen ilmasta puhaltaessaan suodattimen läpi ilmaa ulos. Alipaineistuspuhallimet mitoitetaan tilan tilavuuden mukaan. Hyvän tuloksen saavuttamiseksi tiiveys ja alipaineen riittävyys varmistetaan kokeellisesti mittaamalla.

Tutkimuksessa havaittiin, että Suomessa yleisesti osastointi- ja alipaineistusmenetelmän suunnitteluperusteena käytetty ilmanvaihtuvuusluku ei takaa alipaineen syntyä. Yleisenä ongelmana oli, että osastoissa ei saatu pidettyä tarpeeksi suurta tai tasaista alipainetta. Ongelmaan johtaneista syistä yleisimmät liittyivät osaston tiiveyteen. Osaston ovien avaaminen, tehostettu tuuletus ja käytössä oleva koneellinen ilmastointi ovat myös estäneet alipaineen säilymisen ja aiheuttaneet hetkellistä ylipainetta osastoissa. Hetkellisen ylipaineen on havaittu tutkimuksissa aiheuttavan huomattavia nousuja ympäröivien tilojen ilman pölykonsentraatiossa. Tehostetun tuuletuksen käyttäminen korjauskohteessa estää osastoinnilla saavutetut hyödyt kokonaan, eikä paine-eroja voida kontrolloida. Tämänkaltaisten menetelmän käytön väärinymmärrysten välttämiseksi henkilöstön koulutus pölynhallintaan voisi olla ratkaisu. Myös osastoidun alueen sulkutilallinen sisäänkäynti tulisi saada yleiseksi käytännöksi.

Lähdetutkimuksista selvisi, että alipaineistusosaston toiminnan mittaus on harvinaista. Kun osaston alipainetta ei mitata, ei voida varmistua saavutetaanko tehokkaan pölynhallinnan kannalta tärkeä tasainen alipaine. Suomessa alipaineen määrälle pitää esittää vaatimukset urakka-asiakirjassa, sillä yleistä ohjearvoa ei ole. Ohjearvoksi esitetty -5 Pa olisi yhtenevä kansainvälisiin arvoihin, mutta tämän riittävydestä on lähdeaineistoissa eriäviä näkemyksiä, ja se vaatisi lisätutkimusta käytännössä. Korjausrakoiden tilaajien tulisi myös asettaa nykyistä selkeämpiä vaatimuksia pölynhallinnan tasolle.

Taulukko 3. Merkittävimmät löydetyt ongelmat alipaineistus- ja osastointimenetelmän käytössä, sekä ehdotetut ratkaisut.

Ongelmat	Seuraukset	Ratkaisut
Puutteellinen tiivistys	Alipaineen tuottaminen osastoon erittäin vaikeaa.	Jatkuvatoiminen hälyttävä alipaineen mittaaminen. Huolellisuus osastointin tiivistyksessä. Henkilöstön koulutus
Tehostettu tuuletus	Paine-erojen vaihtelu. Haluttua paine-eroa ei voida saavuttaa.	Henkilöstön koulutus.
Osastossa ei sulku tilaa	Paine-erovaihtelut varsinkin työpäivän aikana, jolloin pölykonsentraatio tilassa koholla.	Sulku tilalliset sisäänkäynnit osastoihin tiloihin määritettävä sopimuksissa pakolliseksi.
Mittauksen puute	Alipaineesta ei voida varmistua, ja muita ongelmia ei havainnoida tai tunnisteta.	Ohjeiston määrittäminen alipaineelle. Sopimuksissa esitettävä vaadittu alipaineen määrä ja tarkkailu.

Tutkimuksen tulokset perustuvat viitattujen tutkimusten löydöksiin. Kandidaatin tutkielman laajuuden takia tutkimuksessa ei päädytty kokeellisiin mittauksiin, vaan tutkimuskäytännön pyrittiin vastaamaan lähdeaineiston pohjalta. Lähdeaineistojen tutkimuksissa otokset ovat suhteellisen pieniä, mutta tutkimusmenetelmät luotettavia. Tutkimuksen tulosten varmistaminen vaatisi lisää mittausdataa ja havainnoita työmaiden alipaineistusjärjestelyistä.

Tässä tutkimuksessa ei otettu kantaa osastointi- ja alipaineistusmenetelmän kustannuksiin ja kustannustehokkuuteen, vaan keskityttiin tehtyjen toteutuksien toimivuuteen ja parantamiseen suhteuttamatta hyötyjä kustannuksiin. Rakentaminen on kuitenkin liiketoimintaa, ja pölyhallintaa suoritetaan usein sillä tasolla mitä määräyksissä, sopimuksissa ja ohjeissa määritetään. Jatkotutkimusta ajatellen olisi tärkeää selvittää tutkimuskohteiden pölyhallintatoteutusten lisäksi paljonko kustannuksia toteutuksista on syntynyt, ja mitkä vaatimukset kohteen pölyhallinnalle oli asetettu. Jotta toimimattomien osastointi- ja alipaineistusratkaisujen syihin päästäisiin kiinni, tulisi kustannusten ja suunnitteluperusteiden lisäksi selvittää, onko puutteellisten menettelyiden taustalla aiheesta tietämättömyys.

LÄHTEET

Adams, N. et al. (2011). The effect of pressure differential and care provider movement on airborne infectious isolation room containment effectiveness. *American journal of infection control*. Saatavissa (viitattu 25.05.2020): <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019665531000739X>

Asikainen, V. et al. (2009). Rakennuspölylle altistumisen vähentäminen uudisrakentamisessa. Loppuraportti TSR-hanke 107051 (osa A). Työsuojelurahasto. Saatavissa (viitattu 15.02.2020): <https://www.tsr.fi/documents/20181/40645/107051Loppuraportti.pdf/c296e8fe-01e6-4ab8-9be1-e3ff2ddf23da>

Hengitysliitto. Suodatinluokat ja niiden tunnuksot, saatavissa (Viitattu 07.05.2020) https://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/liitetiedostot/suodatinluokat_tunnukset.pdf

Kokkonen, A. et al. (2017). Evaluation of Real-World Implementation of Partitioning and Negative pressurization for Preventing the Dispersion of Dust from Renovation Sites. Oxford University Press. Saatavissa (viitattu 02.05.2020) https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/2612/Revised%20version_Kokkonen_et%20al_03042017.pdf;jsessionid=EE59105121A663E9532C55C8CDD88814?sequence=2

Koski, H. et al. (2013). Pölynhallinta korjausrakentamisessa, Loppuraportti hankkeesta Epäpuhtauksien hallinta saneeraushankkeissa, Publications of the University of Eastern Finland saatavissa (viitattu 1.2.2020): https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2019/05/P%C3%B6lynhallinta-korjausrakentamisessa_loppuraportti.pdf

Koski, H. et al. (2015). Korjaushankkeen pölyntorjunta. Rakennustietosäätiö. Saatavissa (viitattu 1.2.2020): <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150501.pdf>

LIFAair, HepaClean 4000- alipaineistaja. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.05.2020) <https://www.suomi.lifa.net/lifa-hepaclean-4000.html>

Metso, S. (2011). Pölyntorjuntaratkaisut rakennustyömaille. Saatavissa (viitattu 07.05.2020) <https://docplayer.fi/4463531-Polyntorjuntaratkaisut-rakennustyomaille-xxxvi-rakennuskonepaivat-20-22-10-2011-viking-line-m-s-mariella-sami-metso.html>

Rakennuskone, Osastointi ja alipaineistus. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 06.05.2020) <https://www.rakennuskone.fi/osastointi-ja-alipaineistus/>

Ratu 82-0347 (2009). Asbestia sisältävien rakenteiden purku.

Ratu 82-0384 (2011). Tavanomaiset purkutyöt. Vaaralliset aineet- käsittely ja suojaus. Menetelmät.

Salo, E. (2015). Alipaineistusmenetelmä sisäilmakorjauksissa. Rakennustietosäätiö. Saatavissa (viitattu 08.05.2020) <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK150506.pdf>

Sorsa, H. (2011). Työohje pölynhallinnasta alipaineistusmenetelmällä, opinnäytetyö, Jyväskylän ammattikorkeakoulu saatavilla (viitattu 06.05.2020) <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/34596/Tyohje%20pölynhallinnasta%20alipaineistusmenetelmalla.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sisäilmayhdistys, Purkutekniikat. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 06.05.2020) <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kuvasarjat/Purkutekniikat>

Säämänen, A. et al. (2004). Pölyntorjunta. Kansanvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristöratkaisujen edistämiseksi. Saatavissa (viitattu 23.02.2021) <http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/polyverkko/pace.pdf>

TSI (2020), Tsi Incorporated. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 07.05.2020) <https://tsi.com/products/aerosol-and-dust-monitors/dust-monitors/dusttrak-drx-aerosol-monitor-8533/>