

TYÖOHJE PÖLYNHALLINNASTA ALIPAINESTUSMENETELMÄLLÄ

Eetu Sorsa

Opinnäytetyö
Marraskuu 2011

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä SORSA, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 14.11.2011
	Pages 58	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkkojulkaisulupa myön- netty (X)
Työn nimi TYÖOHJE PÖLYNHALLINNASTA ALIPAINIESTUSMENETELMÄLLÄ		
Koulutusohjelma Rakennustekniikka		
Työn ohjaaja(t) KORPINEN, Jussi, lehtori		
Toimeksiantaja, yhteyshenkilö PTS-Kiinteistötekniikka Oy HOKKANEN, Veli-Matti, laatupäällikkö		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä tehtiin työohje rakentamisen aikaiselle pölynhallinnalle alipaineistusmenetelmällä. Tavoitteena oli saada aikaan yhtenäinen linjaus alipaineistetun tilan toteuttamiseen ja käydä läpi alipaineistuksessa käytettävää kalustoa, johon kuuluvat alipaineistajat, niissä käytettävät suodattimet sekä alipaineistuksen aikana käytettävät henkilösuojaimet. Työssä perehdyttiin myös siihen, millä rakenneratkaisuilla alipaineistettu tila saadaan osastoitu ilmatiiviiksi, jotta alipaineistus saadaan toimimaan halutulla tavalla.</p> <p>Alipaineistus on yleistynyt rakentamisen aikaisessa pölynhallinnassa, kun tavoitteena on saavuttaa korkeampi sisäilmaluokka S1 tai S2. Korkeampiin sisäilmastoluokkiin päästään vain rakentamisen aikaisella puhtausluokalla P1, jolloin vaaditaan pölyn leviämisen estäminen toimintavalmiisiin tiloihin. Tämä on helpoin toteuttaa alipaineistamalla osastoitu tila, jossa joudutaan tekemään pölyviä töitä. Tällä estetään pölyn leviäminen puhtaisiin tiloihin.</p> <p>Opinnäytetyön yhteydessä tehtiin myös selvitystyö, jonka tarkoituksena oli selvittää, miten suodattimen likaantuminen vaikuttaa alipaineistuksen toimintaan. Saatujen mitta-arvojen avulla pystyttiin määrittämään suunta-antava suhde suodattimen vaihtovälin vaikutuksesta poistettavan ilman määrään.</p> <p>Työssä todettiin, että nykyinen käytäntö vaihtaa suodatin 2-4 päivän välein, on hieman ylimitoitettua. Liitteessä 4 esitetyn esimerkkilaskennan mukaisesti, neljän päivän aikana suodattimen poistoilmamäärä laskee vain kaksi prosenttia. Opinnäytetyössä tehty tutkimus antaa tilaajalle mahdollisuuden arvioida nykyisin käytettävän suodattimen vaihtovälin uudelleen. Vaihtovälin voidaan pitkittää jopa seitsemään päivään, joka aiheuttaa koneen teho laskemisen vain 11 prosentilla.</p>		
Avainsanat (asiasanat) rakentaminen, pölynhallinta, alipaineistus		
Muut tiedot		



Author SORSA, Eetu	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 14.11.2011
	Pages 58	Language Finnish
	Confidential <input type="checkbox"/> Until	Permission for web publication <input checked="" type="checkbox"/>
Title INSTRUCTIONS FOR DUST MANAGEMENT USING UNDERPRESSURED METHOD		
Degree Programme Civil Engineering		
Tutor(s) KORPINEN, Jussi, Senior lecturer		
Assigned by PTS-Kiinteistötekniikka Oy HOKKANEN, Veli-Matti, Quality Manager		
Abstract <p>The assignment for this thesis was to write work instructions for dust management using underpressured method during construction. The aim was to achieve a solid custom for when the contractor implements over- or underpressured room. In chapter four there is an introduction about machinery, filters and personal protective equipment which are used during underpressuring. The thesis also examined viable structures for making subdivided air-tight space which works in the desired manner.</p> <p>Underpressuring has become a common way to control dust during construction when the goal is to achieve a higher indoor air quality S1 or S2. Higher indoor air quality categories can only be achieved using construction purity grade P1, which requires control of dust activity for operation ready spaces. This is most effortless if implemented using underpressured sections to a room where is work that generates dust. This needs to be done to prevent the spread of dust into the clean rooms.</p> <p>The purpose of this study was to determine how an unclean filter affects the machine that makes the space underpressured. With measured values it was possible to determine the indicative ratio of the filter change interval, effect's the exhaust air flow volume.</p> <p>During the thesis writing it was found that the current custom to change the filter after 2-4 days is slightly too often. Annex 4 presents an example which demonstrates that during four days period the filter exhaust air volume drops only by two per cent. The thesis gives the customer an opportunity to evaluate the necessity how often it is cost-effective to change a filter. In the future, for example, seven days switching interval can be used since the engine power will decrease only by 11 per cent.</p>		
Keywords construction, dust control, underpressure		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

KÄSITTEISTÖ	4
1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	6
1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	6
1.2 Tilaajaorganisaatio	7
2 TERVEYSNÄKÖKOHDAT JA TYÖTURVALLISUUS	10
2.1 Pölyn ja epäpuhtauksien terveysvaikutukset	10
2.2 Työturvallisuus.....	11
2.2.1 Yleistä.....	11
2.2.2 Rakennustöiden turvallisuussuunnittelu 10 §	11
2.2.3 Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelu 11 §.....	12
2.2.4 Työhygieeniset haittatekijät 70 §	13
3 PÖLYNHALLINTA RAKENNUSTYÖMAALLA	15
3.1 Yleistä.....	15
3.2 Sisäilmastoluokitus 2008.....	15
3.2.1 Yleistä.....	15
3.2.2 Sisäilmastoluokat	16
3.2.3 Rakennustöiden puhtausluokitus.....	17
3.2.4 Rakennusmateriaalien päästöluokitus	18
3.3 Menetelmät.....	19
3.3.1 Kohdepoisto- ja purkupussimenetelmät	19
3.3.2 Yli- ja alipaineistusmenetelmät.....	20
3.4 Suunnittelu.....	20

3.5 Erikoispuhkutyöt	22
4 Pölynhallinnan kalusto alipaineistusmenetelmässä	23
4.1 Alipaineistajat	23
4.1.1 Toimintaperiaate	23
4.1.2 Mitoitus	24
4.1.3 Alipaineistuksessa käytettävää laitteistoa.....	25
4.2 Suodattimet	26
4.2.3 Karkeasuodattimet (G1 - G4)	28
4.2.3 Hienosuodattimet (F5 - F9).....	29
4.2.3 HEPA-suodattimet (H10 – H14).....	30
4.2.3 ULPA-suodattimet (U15 – U17)	32
4.2.4 Kemiallisten yhdisteiden suodattimet.....	34
4.2.5 Suodattimien vaihtoväli	35
4.2.6 Henkilökohtaiset suojaimet.....	36
5 OSASTOINNIN TOTEUTTAMINEN	37
5.1 Osastointi ja suojaseinämät	37
5.2 Korvaus- ja poistoilma	40
5.2.1 Korvausilma	40
5.2.2 Poistoilma	42
6 TUTKIMUSTYÖ	42
6.1 Kohteen tiedot	42
6.2 Ilmamäärämittaukset	43
6.2.1 Mittausten toteutus	43
6.2.2. Virhetarkastelu.....	44
6.2.3. Laskutoimitukset ja tulosten arviointi	45

7 POHDINTA	46
LÄHTEET	49
LIITTEET	50
Liite 1. Mittaustulokset.....	50
Liite 2. Mitattujen virtausnopeuksien keskiarvot ja virtausmäärät	53
Liite 3. Vaihto välin vaikutus poistoilman määrään.....	54
Liite 4. Esimerkki poistoilmatehon muutoksista	55
Liite 5. Rakennratkaisu 1	56
Liite 6. Rakennratkaisu 2	57
Liite 7. Rakennratkaisu 3	58

KUVIOT

KUVIO 1. Lifa air HepaClean 2500:n ilmanvirta ilman suodattimia on 2600 m ³ /h.....	25
KUVIO 2. Lifa air HepaClean 4000:n ilmanvirta ilman suodattimia on 3850 m ³ /h.....	26
KUVIO 3. Hiukkaskoko ja suodatinluokat	28
KUVIO 4. Toiminnassa oleva alipaineistaja.....	43

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Suodattimien luokittelutapa	33
---	----

KÄSITTEISTÖ

Alipaine	Tarkoittaa kohteen pienempää painetta verrattuna ympäröivien tilojen paineeseen.
Alipaineistaja	Kone, joka siirtää riittävän määrän ilmaa pois tilasta luoden alipaineen.
Alipaineistus	Tila tehdään tiiviiksi ja alipaineistetaan koneellisesti.
Diffuusio	Aineiden pitoisuuserot pyrkivät tasoittumaan väkemmästä laimeampaan seokseen päin.
Hengitettävä fraktio	Ilmassa leijuvan pölyn alue, joka on kooltaan sellaista, että se kulkeutuu ihmisen hengityksen mukana aina keuhkoihin asti.
HEPA-suodatin	Erittäin korkean erotteluasteen omaava suodatin
Interseptio	Tarkoittaa partikkeleiden osumista suorassa liikkeessä kuitujen säteelle ja tarttumista siihen kiinni.
IV	Ilmanvaihto, tässä työssä aina koneellisesti toteutettu.
Kohdepoisto	Pöly poistetaan työkohteen välittömästä läheisyydestä ja näin estetään sen leviäminen tilaan.
Korvausilma	Osastoinnin läpi tuleva hallittu, puhdas ilmamäärä, jolla korvataan tilasta poistettua ilmaa.
Mikrobi	Paljain silmin näkymätön eliö, esim. bakteerit, sienet ja virukset.

Osastointi	Tilojen rajaaminen pienempiin, erillisiin osastoihin
Poistoilma	Alipaineistajan kautta poistuva suodatettu ilma, joka johdetaan ulko- tai sisäilmaan mahdollisuuksien mukaisesti.
Purkupussi- menetelmä	Pölynpoisto suoritetaan purkupussiin liitettävällä korkeapaineisella kohdepoistolla.
Päätoteuttaja	Rakennuttajan nimeämä pääurakoitsija tai pääasiallinen määräysvaltaa käyttävä työnantaja tai sellaisen puuttuessa rakennuttaja itse.
Pöly	Pöly koostuu kiinteistä, erittäin pienistä ainehiukkasisista, jotka leijailevat ilmassa ja laskeutuvat hitaasti.
Pölynhallinta	Pölyn leviämisen estäminen ja määrän vähentäminen ilmassa.
Suodatin	Poistaa ilmasta epäpuhtauksia.
Turbulenssi	Turbulenssi on ilmiö joka tapahtuu kun kaasussa tai nesteessä tapahtuu nopeata nopeuden tai suunnan muutosta.
VOC	VOC (Volatile organic compound) = Haihtuva orgaaninen yhdiste
Ylipaine	Kohdetilan korkeampi paine verrattuna ympäröivien tilojen paineeseen

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Tavoitteeksi tälle opinnäytetyölle asetettiin käyttökelpoisen alipaineistuksen työohjeen laatiminen rakennustyömaakäyttöön, kun pölynhallinta suoritetaan käyttäen koneellista alipaineistusmenetelmää. Pölynhallinta voidaan toteuttaa myös kohdepoistolla ja purkupussimenetelmällä. Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin pääosin osastointiin sekä koneellisen alipaineistuksen käyttöön.

Tavoitteena oli saada aikaan yhtenäinen linjaus alipaineistetun tilan toteuttamiseen ja käydä läpi alipaineistuksessa käytettävää kalustoa, johon kuuluvat alipaineistajat, niissä käytettävät suodattimet sekä alipaineistuksen aikana käytettävät henkilösuojaimet. Työssä perehdyttiin myös siihen, millä rakenneratkaisuilla alipaineistettu tila saadaan osastoitua mahdollisimman ilmatiiviiksi. Tällöin voidaan varmistaa, että alipaineistus saadaan toimimaan tiloissa halutulla tavalla.

Koska P1- ja Terve Talo rakentaminen ovat koko ajan yleistyneet rakennushankkeissa, on pölynhallinnan tarve tästä syystä kasvanut. Lisäksi pölynhallinnan tarpeellisuuteen ovat vaikuttaneet myös oleellisesti työhygienian osalta tiukentuneet työturvallisuusmääräykset. P1-rakentamisesta on kerrottu lisää kappaleessa 3.2.3. (VNa 205/2009).

Työn tilasi PTS-Kiinteistötekniikka Oy, joka on jo useissa hankkeissa toiminut pölynhallinnan- ja Terve Talo –konsultoinnissa. Yrityksen toimijat ovat huomanneet hankkeiden aikana, että rakennusliikkeiden edustajilta puuttuu liian usein sekä tietoa että taitoa erityisesti pölynhallinnan toteutuksesta. Tästä johtuen PTS-Kiinteistötekniikka Oy:lla oli tavoite yhtenäistää eri rakentajien työsuorituksen toteutusta tilanteessa, kun pölynhallinta suoritetaan koneellisella alipaineistuksella. Tämä opinnäytetyö laadittiin ohjeeksi, jolla on tarkoitus helpottaa rakentajien työtä sekä luoda selkeä ohje, kuinka alipaineistuksella aikaansaatu pölynhallinta toimii oikein toteutettuna.

1.2 Tilaajaorganisaatio

PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n on perustanut vuonna 2003 Tauno Pekkanen. Yritys toimi alun perin ainoastaan vauriokartoitus- ja kuivaustoimenpiteiden alalla. Vuonna 2007 yrityksen osti Juhani Koponen. Yrityskaupan jälkeen Koponen alkoi kehittää yritystä ja laajentaa toimintaa rakennuttamiseen sekä valvontaan ja laajentaa rakennustutkimusten palvelusisältöä. Samalla yrityksen kuivauspalveluihin lisättiin vahinkosaneeraustoiminta, jossa tuolloiset neljä kirvesmiestä suorittivat pieniä korjaustyöhankkeita kuivauskohteissa. Sittemmin yritys on profiloitunut enemmän insinööritoimintoihin ja vahinkosaneerauspalvelut ovat vähentyneet.

Yrityksen toimipiste ja varastotilat sijaitsevat Jyväskylän Seppälänkankaalla Grafilan kiinteistössä, vaikka yrityksen kotipaikka on Laukaan kunta. Henkilökuntaa PTS-Kiinteistötekniikka Oy:ssä työskentelee 10 työntekijää, jotka jakautuvat rakennuttamis- ja tutkimuspuoleen. Rakennuttamisen puolella ei ole erillistä esimiestä, mutta tutkimuspuolella vastaavana toimii Veli-Matti Hokkanen. Henkilökunnasta seitsemän on kouluttautunut vähintään rakennusmestarisoisesti, kuitenkin suurin osa työntekijöistä on insinöörinkoulutettuja. Insinöörin lisäksi henkilökuntaan kuuluvat taloussihteeri, yksi rakennusammattimies ja yksi toimihenkilö.

PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n toiminta-alue on pääasiallisesti Keski-Suomi, mutta yrityksellä on kuitenkin toimintaa myös pääkaupunkiseudulla sekä Pirkanmaalla. Asiakkaille tarjotaan asiantuntijapalveluita rakennuttamiseen ja valvontaan, erilaisiin rakennuksiin suoritettaviin tutkimuksiin, kosteusvaurioiden kuivatukseen ja vahinkosaneeraukseen. (Hokkanen 2011.)

Yrityksen tärkeimpiä asiakkaita ovat muun muassa Jyväskylän koulutuskuntayhtymä, Laukaan kunta, Kannonkosken kunta, Jykes Kiinteistöt sekä Patria Aviation Oy ja Millog Oy (Hokkanen 2011).

Tytäryhtiönä naapuritiloissa toimii vuonna 2010 perustettu konserniyritys RSLab Oy, joka tuottaa sisäilman laatuun ja rakennusmateriaalien haitta-aineisiin liittyviä laboratoriopalveluja. Palveluihin kuuluvat näyteanalyysien lisäksi näytteenoton koulutus, asiantuntijalausunnot, puhtaudenhallinta sekä konsultointi.

RSLab Oy perustettiin tukemaan PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n tutkimuspalveluita sekä työmaiden puhtaudenhallintaosaamista. Laboratorio tuottaa kuitenkin palveluita myös ulkopuolisille yrityksille ja on täysin itsenäinen tulosityksikkö.

1.3 Tehtävän toteutus

Opinnäytetyö aloitettiin suorittamalla koonti eri tietolähteistä, joissa käsitellään rakennustyömaiden puhtauden- ja pölynhallintaa. Tällaisia asiakirjoja ovat muun muassa viranomais määräykset työturvallisuudesta, RT- ja RATU-kortistot sekä muut aihealueeseen liittyvät julkaisut. Työn lähdeaineistona käytettiin myös PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n työntekijöiden empiiristä tietoa, joka on hankittu työmaiden pölynhallintaa suunniteltaessa ja toteutettaessa. Työntekijöitä haastateltiin opinnäytetyön kenttämittausten yhteydessä.

Monissa kirjallisissa tietolähteissä käsitellään ainoastaan purkutyövaiheen pölynhallintaa, mutta rakennustyövaiheen pölynhallinnasta sekä erityisesti koneellisesta alipaineistuksesta ei ole olemassa kirjallista ohjeistusta. Suurin osa kirjallisesta materiaalista keskittyy alipaineistuksen osalta ainoastaan erikois-purkutöihin, kuten esimerkiksi kosteus- ja mikrobivaurioutuneita rakenteiden purkamiseen tai asbestiksi luettavia kuituja sisältävien materiaalien purkutöihin.

Alipaineistus on viime vuosina yleistynyt rakentamisen aikaisessa pölynhallinnassa, kun rakennushankkeessa on tavoitteena saavuttaa korkeampi sisäilmastoluokka S1 tai S2. Sisäilmastoluokitus selitetään tarkemmin kappaleessa

3.2. Korkeampiin sisäilmastoluokkiin päästään vain rakentamisen aikaisella puhtausluokalla P1, jolloin vaaditaan pölyn leviämisen estäminen toimintavalmiisiin tiloihin. Tämä on helpointa toteuttaa osastoimalla sekä alipaineistamalla tila, jossa joudutaan tekemään pölyviä työvaiheita. Tällä tavoin estetään pölyn leviäminen puhtaisiin tiloihin. P1 luokituksesta käsitellään tarkemmin luvussa 3.2.2.

Vuonna 2009 tiukentuneiden rakennustöiden työturvallisuusmääräysten takia pölynhallintaa tarvitsee käyttää nykyisin paljon myös työhygieniolosuhteiden parantamiseen sekä pölyn kertymisen estämiseen.

Opinnäytetyön yhtenä osana tehtiin tutkimusta alipainekoneiden suodattimien likaisuuden vaikutuksesta alipaineistuksen tehoon. Tutkimus suoritettiin ilmamäärämittauksina, joita tehtiin vuoden 2011 aikana PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n valvomissa rakennuskohteissa. Näillä mittauksilla saavutettiin tuloksia, joilla pystyttiin luomaan tietopohja suodattimien vaihtovälistä. Mittaukset suoritettiin pääosin Jyväskylän ammattikoulun Kyllön kampuksen E-rakennuksen saneeraustyömaalla. Lisää tietoa rakennushankkeesta ja mittauksista löytyy luvussa 6.

Opinnäytetyön aikana tutustuttiin myös Viitaniementie 1 rakennuksen C-osan peruskorjaustyömaahan sekä Harjun ammattioppilaitoksen saneeraustyömaahan. Kyseisillä työmailla ei pystytty suorittamaan mittauksia, koska työmaiden töiden jaksotus ei mahdollistanut vertailukelpoisia mittauksia.

2 TERVEYSNÄKÖKOHDAT JA TYÖTURVALLISUUS

2.1 Pölyn ja epäpuhtauksien terveysvaikutukset

Normaali huoneilma sisältää paljon erilaisia mikroskooppisen pieniä hiukkasia, allergeenejä sekä orgaanisia kemikaaleja. Nämä ovat peräisin tekstiileistä, huonekaluista, kasveista, ihmisistä ja eläimistä sekä ulkoa sisälle kulkeutuvas-
ta ilmasta tai liasta. (Seppälä. n.d. 2.)

Rakennustyömailla pölyä sekä sitä tuottavia työvaiheita on huomattavasti enemmän kuin normaalissa käytössä olevassa asuin- tai toimitilakiinteistössä. Suuri osa rakennustyössä syntyvästä pölystä on kiviperäistä. Rakennustyö-
maan pölystä suuri osuus on jakeeltaan hengitettävää fraktiota.
(Hokkanen 2011.)

Kaikista yleisesti käytetyistä rakennusmateriaaleista, huonekaluista, sisus-
tusesineistä sekä kemiallisista puhdistusaineista haihtuu sisäilmaan orgaanisia
yhdisteitä (VOC). Useimmat näistä yhdisteistä ovat vaarattomia, mutta joissa-
kin tapauksissa niistä saattaa olla haittaa synnynnäisesti herkille ihmisille tai
tavanomaista korkeammille pitoisuuksille altistuneille ihmisille.
(Seppälä. n.d. 2.)

Huono sisäilma vaikuttaa ihmisten terveyteen lyhyellä ja pitkällä aikavälillä.
Lyhyellä aikavälillä terveysvaikutukset näkyvät kun näkyvät hiukkaset kuten
siitepöly, eläinten hilse ja pöly, tunkeutuvat syväälle keuhkoihin ja aiheuttavat
allergisen reaktion. Näkymättömät hiukkaset tunkeutuvat syväälle keuhkoihin ja
aiheuttavat pitkällä aikavälillä kroonisia terveyshaittoja. (Seppälä. n.d. 2.)

Rakennustyötä tehneiden ihmisten osalla altistus hengitettäville hiukkasille on
huomattavasti voimakkaampi ja aiheuttaa helpommin pitkällä altistuksella
edellä mainittuja kroonisia terveyshaittoja, kuten esimerkiksi keuhkoahauma-
tautia. Kuitenkin suojautuminen fyysikaalisia työhygieniahaittoja vastaan on tä-

hän asti pääasiallisesti ollut ohjeistettua asbesti- sekä mikrobipurkutöissä, joissa terveyshaitta on peräisin muusta kuin pelkästä rakennustyöpölystä. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

2.2 Työturvallisuus

2.2.1 Yleistä

Valtioneuvoston 26.3.2009/205 asetus määrää rakennustyömaan työturvallisuuden suunnittelusta sekä valvonnasta tilaajan ja urakoitsijan vastuiden osalta. Kyseisen asetuksen pykälät 10, 11 ja 70 määrittelevät työhygieniaan liittyviä asioita ja sitä kautta suoraan pölynhallintaan liittyvää työturvallisuutta työmaalle. Uuden asetuksen myötä työturvallisuuden vaatimukset ovat kiristyneet työmailla, minkä vuoksi pölynhallinnan suunnitelmallinen toteuttaminen on nopeasti yleistynyt hankkeissa. (VNa 205/2009. 2009.)

Luvuissa 2.2.2, 2.2.3 sekä 2.2.4 esitetään valtioneuvoston asetuksen pykälien 10, 11 ja 70 mukaiset määräystekstit niiltä osin, joissa viitataan työhygieniaan ja sitä kautta rakennustyöhön liittyvään pölynhallintaan.

2.2.2 Rakennustöiden turvallisuussuunnittelu 10 §

Pykälän 10 mukaisesti rakennushankkeen päätoteuttajan tulee esittää rakennuttajalle rakennustöiden työturvallisuutta koskevat suunnitelmat ennen töiden aloittamista. Näissä suunnitelmissa tulee esittää työt, työvaiheet ja niiden ajoitus mahdollisimman turvallisiksi, jottei rakennustyöstä aiheudu vaaraa työmaalla työskenteleville sekä muille työalueen vaikutuspiirissä oleville henkilöille, esimerkiksi kiinteistön käyttäjille saneerauskohteissa, joissa osa rakennusta on käytössä rakennustyön aikana. (VNa 205/2009. 2009.)

Hankkeen päätoteuttajan tulee poistaa vaara- ja haittatekijät työmaalta asianmukaisesti. Jos tekijöitä ei voida poistaa, tulee arvioida niiden merkitys työmaan vaikutuspiirissä oleville sekä pyrkiä minimoimaan niistä aiheutuvat haittatekijät. (VNa 205/2009. 2009.)

Rakennuttajan työturvallisuusasiakirjassa sekä päätoteuttajan työturvallisuussuunnitelmassa esitetään tarpeelliset muutokset työn edistymisen mukaisesti, jotta asianmukaiset turvallisuustoimenpiteet toteutetaan. Pykälän 10 mukaisesti pölynhallintaan liittyviä määräyksiä, joihin tulee kiinnittää erityistä huomiota, ovat seuraavat:

- 11) pölyn vähentäminen ja sen leviämisen estäminen*
 - 12) työhygieenisten mittausten menettelyt*
 - 13) purkutyö*
 - 14) eri töiden ja työvaiheiden tosiasiallinen ajoitus ja kesto sekä niiden yhteensovittamisen järjestäminen rakennustöiden edistymisen mukaan*
 - 17) henkilönsuojainten käyttötarpeet ja –ajankohdat*
- (VNa 205/2009. 2009.)

2.2.3 Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelu 11 §

Rakennuskohteen työmaan käytössä olevan alueen jakaminen eri toiminnoille helpottaa pykälässä 10 esitettyjen työturvallisuusvaatimusten toteuttamista. Pykälässä 11 on määritelty työmaasta tehtävän aluesuunnitelman vähimmäisvaatimukset, jotka päätoteuttajan on esitettävä rakennuttajalle rakennustyömaa-alueen käytöstä. (VNa 205/2009. 2009.)

Päätoteuttajan on tehtävä kirjallinen rakennustyömaa-alueen käytön suunnitelma. Suunnitelmassa on riittävän järjestelmällisesti ja selkeästi selvitettävä sekä tunnistettava kyseessä olevan työmaa-alueen yleiseen järjestelyyn, toteutukseen ja käyttöön liittyvät vaara- ja haittatekijät. Työmaasuunnitelmassa on otettava huomioon myös rakennuttajan laatiman työturvallisuusasiakirjan tiedot. (VNa 205/2009. 2009.)

Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota tapaturmavaaran ja terveyden haitan poistamisessa ja vähentämisessä ainakin seuraaviin seikkoihin:

- 8) työmaan järjestys ja siisteys sekä pölyn torjuntaan ja hallintaan tarvittavien rakenteiden ja laitteiden sijoitus*
9) jätteiden sekä turvallisuudelle ja terveydelle vaaraa tai haittaa aiheuttavien materiaalien kerääminen, säilyttäminen, poistaminen ja hävittäminen (VNa 205/2009. 2009.)

Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelun keskeiset osat on esitettävä työmaasuunnitelmana kirjallisesti, tarvittaessa rakennus- ja työvaiheittain. Suunnitelmat on tarkistettava olosuhteiden muuttuessa, ja ne on muutenkin pidettävä ajan tasalla. (VNa 205/2009. 2009.)

2.2.4 Työhygieeniset hättatekijät 70 §

Pykälän 70 sisältö kuvaa selkeästi työmaan fysikaalisten hättatekijöiden kuten pölynhallintaa sekä rakennuttajan ja päätoteuttajan velvollisuuksia työmaan olosuhteiden ylläpidosta. (VNa 205/2009. 2009.)

Rakennustyössä on käytettävä sellaisia koneita ja laitteita, joiden melupäästöstä tai muista fysikaalisista hättatekijöistä johtuvat vaarat ja haitat ovat mahdollisimman vähäiset. Työntekijä on suojattava kemiallisilta ja fysikaalisilta vaara- ja hättatekijöiltä ensi sijassa koneisiin, työvälineisiin, työmenetelmiin ja työympäristöön kohdistuvilla toimenpiteillä. (VNa 205/2009. 2009.)

Kemiallisten tekijöiden aiheuttamien vaarojen ehkäisemiseksi sekä pölyntorjunnassa on käytettävä riittävän tehokkaita paikallispoistolaitteita. Tarvittaessa työtilat on osastoitava ja käytettävä paine-eron toteuttavaa ilmastointijärjestelmää ja paine-eron aikaansaavia laitteita. Jos käytetään koneellisia paikallispoistolaitteita, ne on pidettävä toimintakunnossa. Laitteiden on toimittava niin, että työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle ei aiheudu haittaa tai vaaraa. Jos työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden kannalta on tarpeellista, paikallispoistolaitteet on varustettava valvontajärjestelmällä, joka ilmoittaa toimintahäiriöistä. (VNa 205/2009. 2009.)

Asetuksen mukaisesti päätoteuttajan sekä urakoitsijoiden työnantajatahojen velvoitteet pölynhallintaan ovat yksiselitteiset. Käytännössä annetun asetuksen mukaisesti lähes kaikki rakennustyöt tulisi toteuttaa aina koneellisesti alipaineistettuna, koska useissa työvaiheissa on mahdotonta käyttää riittävää kohdepoistoa. Esimerkiksi tasoitus- sekä hiontatyöt ovat työvaiheita, joissa syntyy huomattavia määriä pölyä, eikä työhön ole kehitetty toimivaa kohdepoistojärjestelmää.

Koska asetuksessa on määritelty, että työmaan pölynhallintaan käytettävien laitteiden toimintaa tulee valvoa seurantajärjestelmin, jotka ilmoittavat laitteiden mahdollisista toimintahäiriöistä, eikä tällaisia järjestelmiä löydy monestaakaan laitteesta, on päätoteuttajan valvottava pölynhallinnan toimintaa muulla tavoin (VNa 205/2009. 2009).

Valvontaa voidaan toteuttaa esimerkiksi erillisillä, työhygienisillä mittauksilla joilla voidaan selvittää työntekijän altistuksen määrää ja sen vaihtelua riittävän luotettavasti. Työhygienisille haitoille on määritelty raja-arvot, joihin saatuja mittauservoja verrataan. Työmaalla voidaan yleisesti kuitenkin arvioida esimerkiksi alipaineistuksen toimivuutta työntekijöiden aistimusten perusteella. Tutkimukset ovat alustavasti osoittaneet alipaineistuksen nostavan ilmassa olevan pölyn määrää, mutta parantavan työntekijöiden aistimuksia rakennustyömaan sisäilmasta. Tällöin ilmasta suoritettavat työhygieniamittaukset eivät välttämättä ole paras tapa mitata työmaan ilman laatua. (Karhu 2010.)

Kemiallisten epäpuhtauksien osalta on kuitenkin syytä noudattaa asetettuja raja-arvoja, koska näiden haittatekijöiden vaikutukset sekä altistusajat ovat paremmin tunnettuja kuin fyysisen pölyn (Hokkanen 2011).

3 PÖLYNHALLINTA RAKENNUSTYÖMAALLA

3.1 Yleistä

Pölynhallinnan tavoitteena on hallitusti estää pölyn leviäminen työkohteelta ympäröiviin tiloihin sekä vähentää työskentelyn aikaista pölyllealtistumista ja estää laitteiden, esineiden tai IV- ja sähköjärjestelmien pölyntyminen. Pölynhallintaa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon työkohteen laajuus, työmenetelmä, työn kesto, työkohteen läheisyydessä tapahtuva toiminta, työstä aiheutuva pölyn määrä ja mahdolliset haitta-aineet. Pölynhallinnan suunnitelma tulee aina laatia kohdekohtaisesti, ottaen huomioon hankkeen erityispiirteet, joita voivat olla esimerkiksi poistoilman ohjaamisen rajaukset sekä työalueella olevat erityistilat. (Ratu 1225-S 2009.)

Tarpeen pölynhallinnalle rakennushankkeissa muodostavat lait ja asetukset, joita on käsitelty luvussa 2.2 sekä suunnittelua ohjaavat asiakirjat rakennustyön puhtaudesta ja valmiin rakennuksen tavoitteellisesta sisäilmastoluokasta, johon rakennustyöllä pyritään. Luvussa 3.2.2 esitellään sisäilmastoluokkia sekä niiden toteutukseen liittyvää käsitteistöä.

3.2 Sisäilmastoluokitus 2008

3.2.1 Yleistä

Sisäilmayhdistys ry:n laatiman ohjeasiakirjan luokitus on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarviketeollisuuden apuna. Luokituksen avulla pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan sisäilmastoltaan entistä terveellisempiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Luokitus soveltuu käytettäväksi uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamiseen. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Laadittu luokitus antaa sisäilmaston tavoite- ja suunnitteluarvot tukien rakennuttajien, suunnittelijoiden, laitevalmistajien, urakoitsijoiden ja käyttöhenkilöstön työtä. Arvot ovat ohjeellisia, ja niiden toteutuminen vaatii suunnittelun lisäksi asianmukaista rakennushankkeen toteutusta sekä toteutuksen aikaista laadun valvontaa. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

3.2.2 Sisäilmastoluokat

Luokitus jaetaan kolmeen eri luokkaan S1, S2 ja S3, joista luokka S1 on sisäilman laadun vaatimuksilta tiukin. Vaatimuksien tavoitteena on paras ilmastoluokka, mikä on määritelty ohjetiedostossa seuraavasti:

...mikä merkitsee suurempaa tyytyväisten osuutta. S1-tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Tilan lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai ylläampeämistä esiinny. Käyttäjä kykenee yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on myös erittäin hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet, jotka ovat yksilöllisesti säädettävissä. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Toiseksi parhaassa eli S2-luokassa määritellyn tilan sisäilman laatu on hyvä, eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan suoraan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei saa olla sisäilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Tiloissa ei yleensä esiinny vetoa. Koska S2-luokkaan ei ole kuitenkaan määritelty jäähdytystä, on tilojen yllämpeneminen mahdollista lämpimänä vuodenaikana. Ääni- ja valaistusolosuhteista on määritelty, että ne ovat tilojen käyttötarkoitusta vastaavat, mutta eivät ole niin yksilöllisesti säädettävissä kuin S1-luokan tiloissa. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Alhaisin sisäilmastoluokka on S3, joka saavutetaan lähes millä tahansa nykyisellä järjestelmäkokoopanolla. Luokan ainoa vaatimus on, että sisäilman laatu, lämpötilaolot, valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräyskoelmassa D2 määritellyt vähimmäisvaatimukset. Eli lain mukaiset sisäilmaolosuhteet ovat huomattavasti heikommat kuin sisäilmastoluokituksessa määritellyt luokat S1 ja S2. Tästä johtuen S1- ja S2-luokkien saavuttaminen

vaatii huomattavasti enemmän rakennushankkeelta kuin S3-luokka. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

3.2.3 Rakennustöiden puhtausluokitus

Mikäli rakennushankkeessa pyritään S1- tai S2-luokan sisäilmaluokkaan, on rakennus toteutettava P1 luokituksella, jonka tavoite on varmistaa, että rakentamisen jälkeen tilat ovat puhtaana, kun ne luovutetaan käyttäjälle. Rakennuksen käytön aikana sisäilmaan ei saa kulkeutua rakennusvaiheesta peräisin olevaa epäpuhtautta. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Puhtausluokitusta ei tule sekoittaa rakennusmääräyskokoelman E1 mukaisiin paloluokkiin P1-P3, joita käytetään rakennuksen palosuojauksen ja – turvallisuuden määrittelyyn (Hokkanen 2011).

Puhtausluokat jaetaan kahteen luokkaan, P1 ja P2, joista P1 on vaativampi. P2-luokitukseen ei ole asetettu erityisvaatimuksia rakennustöiden puhtaudelle. P1-luokitelluissa rakennustöissä sisätiloihin ja rakenteisiin tulevat rakennustarvikkeet ja osat on suojattava mm. likaantumiselta ja kastumiselta kuljetusten, työmaavarastoinnin, asennuspaikan välivarastoinnin ja asennustyön aikana peittämällä tai suojaamalla ne muulla tavoin. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Keskeneräiset ja valmiit rakennus- ja laiteosat suojataan siten, etteivät ne vahingoitu tai kastu asennustyön taukojen ja keskeytysten aikana. Toiminta-koevalmiit tilat erotetaan puhtauden arvioinnin jälkeen muista tiloista omiksi osastoikseen, jos muissa tiloissa on valmistumisaikataulusta tai muusta syystä johtuen käynnissä pölyä tai muuta likaa tuottavia töitä. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Rakennussiivous on keskeinen keino, jolla varmistetaan puhtaustavoitteiden täyttyminen. Siivoukseen kuuluvat rakentamisen aikainen- ja loppusiivous. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Rakennuttajan kohteelle asettamat sisäilmastotavoitteet ja niihin pääsemiseksi suunnitellut ratkaisut esitellään työmaan käynnistyessä pidettävissä rakennuttajan, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kokouksissa. Keskeiset kohdat kirjataan urakoitsijoiden laatusuunnitelmiin ja niiden toteutumista seurataan työmaakokouksissa. Kohteessa noudatettavista sisäilmasto-, puhtaus- ja materiaaliluokista laaditaan kirjallinen tiedote, joka jaetaan työmaan jokaiselle työntekijälle. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Rakennuksen tulee olla puhdas, ennen kuin ilmanvaihdon päätelaitteiden suojaukset voidaan poistaa ja toimintakokeet aloittaa. Tavanomaisesti rakennustyömaan puhtaus tarkastetaan kahdessa vaiheessa: ensin toimintakoevaiheessa ja myöhemmin luovutusvaiheessa. Kyseisten vaiheiden puhtausvaatimukset on määritelty Sisäilmastoluokitus 2008 asiakirjassa, jossa esimerkiksi luovutusvaiheelle on esitetty vaatimustasoksi, että pinnoilla ei saa olla näkyvää likaa, kuten roskia, irtolikaa, pölyä, kiinnittynyttä likaa tai tahroja. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

3.2.4 Rakennusmateriaalien päästöluokitus

Rakennusmateriaalien päästöluokitus ei suoraan liity rakennustyön aikaiseen pölynhallintaan, mutta on nykyään suuri osa terveiden rakennushankkeiden toteutusta sekä oleellinen osa sisäilmastoluokitusta. Luokitukseen on määritelty M1-luokka, jota yleisesti käytetään S1- ja S2-luokan rakennuksissa. (Sisäilmastoluokitus 2008. 2008.)

Kaikista rakennus- ja sisustusmateriaaleista vapautuu huoneilmaan erilaisia kemikaaleja. Ne voivat olla peräisin muun muassa käytetyistä raaka-aineista, valmistusprosessin virheistä tai materiaalien vanhenemisestä tai ne voivat aiheutua materiaalien väärästä käytöstä. M1-luokituksella pyritään siihen, että

rakennuskohteeseen asennettavien materiaalien päästöt uusina ja vaurioitumattomina olisivat mahdollisimman alhaiset sekä haitallisimpia yhdisteitä sisältämättömiä. Näitä yhdisteitä ovat muun muassa muovimatoissa pehmittimenä käytettävien ftalaattien haihtumistuotteet. (Hokkanen 2011.)

3.3 Menetelmät

Yleisesti pölyntorjunta jaetaan neljään eri menetelmään: kohdepoisto-, purkupussi- sekä yli- ja alipaineistusmenetelmään. Menetelmät käsitellään luvuissa 3.3.1 ja 3.3.2. Pääpaino tässä työssä on kuitenkin yli- ja alipaineistusmenetelmissä.

3.3.1 Kohdepoisto- ja purkupussimenetelmät

Töissä, joissa pöly syntyy pienellä, hyvin paikallisella alueella, helpoin tapa sen poistamiseen sisäilmasta on käyttää kohdepoistoa, jossa pöly poistetaan kohteesta työnaikaisesti matala- tai korkeapaineella. Kohdepoisto on ilman poistamista suoraan epäpuhtauslähteestä, jolloin epäpuhtaudet eivät pääse leviämään työilmaan. (Ratu 1225-S 2009.)

Yleensä kohdepoisto tarkoittaa työkoneeseen liitettyä imuria, joka kerää työstöstä syntyvän pölyn joko pölypussiin tai erilliseen astiaan. Riippuen työnlaadusta ja työstettävän materiaalin ominaisuuksista, valitaan poistoimuriksi joko niin sanottu rakennustyöimuri tai paremmin suodatettu HEPA-luokiteltu imuri. Korkeamman suodatuksen vaatimia kohteita ovat muun muassa asbestia sisältävien rakenteiden lävistysten poraukset. (Ratu 82-0381 2011.)

Purkupussimenetelmää käytetään yleisesti asbestipurkutöissä, jotka ovat ajaltaan lyhytkestoisia ja paikallisia. Purkupussi asennetaan työkohteen välittömään läheisyyteen siten, että purettava materiaali voidaan laittaa suoraan rakenteesta irrottamisen jälkeen pussiin. Pussin pölynpoisto suoritetaan purkupussiin liitettävällä korkeapaineisella kohdepoistolla, joka voidaan toteuttaa jo-

ko imurilla tai alipainekoneella. Laitteen suodatustaso määräytyy purettavan kohteen vaatimuksen mukaan ja kuten kohdepoistossakin on esimerkiksi asbestia tai mikrobivaurioitunutta rakennemateriaalia purettaessa käytettävä HEPA-suodatinta. (Ratu 1225-S 2009.)

3.3.2 Yli- ja alipaineistusmenetelmät

Yli- ja alipaine luodaan yleisesti työmaalle käyttäen erillisiä työnaikaisia koneita, joiden suodatustaso sekä poistoilman määrä määritellään työkohteen mukaan. Menetelmiä käytetään erityisesti paljon pölyä tuottavissa kohteissa. Jotta koneellinen tilan paine-eron hallinta onnistuisi, käytetään osastoja, jotka alipaineistetaan, jotta voidaan estää pölyn leviäminen muihin tiloihin. Työkoh-teessa ilmanvaihto suunnitellaan sellaiseksi, että ilma virtaa aina puhtaasta tilasta likaisempaan päin. Työskenneltäessä pyritään käyttämään menetelmiä, jotka minimoivat jätteen syntymisen. (Hokkanen 2011.)

Tarvittaessa koneilla voidaan luoda myös paikallisia osastoja rakennuksen sisälle, joissa on ylipaine muihin tiloihin nähden. Tällaisille tiloille on tarvetta saaneerauskohteissa, joissa esimerkiksi kohdekiinteistön käyttöönjääviä tekniikkatiloja jää työmaan sisälle, eikä tilaan saa päästä pölyä. Hallittu puhtaan ilman tuominen tilaan aiheuttaa ylipaineen, joka yhdistettynä ympäröivien tilojen alipaineeseen estää rakennustyön aikaisen pölyn pääsemisen tiloihin. (Hokkanen 2011.)

3.4 Suunnittelu

Työmaan puhtauden ja pölynhallinnan perustana ovat niin asetusten kuin suunnitteluohjeiden mukaiset tavoitteet, joista rakennuttajalla on lähtötilanteessa vastuu teetättää esiselvityksiä työkohteen rakennustyöaikaiseen suunnittelun lähtötiedoksi. Rakennuttaja tai tämän käyttämä asiantuntija kokoavat tiedot kohteessa tunnistetuista haitta- ja vaaratekijöistä työturvallisuusasiakirjaan, johon tulee liittää myös rakennuttajan teetättämät esiselvitykset. Mahdol-

liset vaara- ja haittatekijät otetaan huomioon tuotantosuunnitelmissa. Vaaratekijät, joita ei saada poistettua yleissuunnitteluvaiheessa tai joiden muodostama riskiä ei saada pienennettyä hyväksyttävälle tasolle, siirretään tehtäväkohtaiseen arviointiin. (Ratu 1225-S 2009.)

Rakennuttajan on suositeltavaa antaa lähtötietona urakoitsijalle kohteessa käytettävä puhtausluokka tai Terve Talo –vaatimus, joka määrittelee kohteen puhtautta ja pölynhallintaa. Näiden perusteella päätoteuttajan tulee yhdessä muiden urakoitsijoiden kanssa laatia kohteeseen työnaikainen suunnitelma puhtauden- ja pölynhallinnalle. (Hokkanen 2011.)

Tehtäessä suunnitelmaa pölynhallinnalle on tärkeää ymmärtää kohteet joista syntyy pölyä, kuinka pöly muodostuu sekä miten pöly leviää työympäristöön. Muita huomioon otettavia asioita ovat haitta-aineet, osastoinnin rajaus, tarvittava laitteisto, laitteiston sijoitus, huolto ja suodattimien vaihto, henkilökohtaiset suojainten tarve, vuodenaika, korvaus- ja poistoilmareitit, purettaessa tulevat ilmanvuotokohdat sekä työkohteella tehtävä seuranta ja dokumentointi. (Ratu 1225-S 2009.)

Alipaineistuksen suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon työtehtävien seurauksena ilmaan vapautuvat haitta-aineet, joita ovat esimerkiksi asbesti, home, mikrobit, PCB- ja VOC-yhdisteet. Vapautuvien epäpuhtauksien perusteella voidaan suunnitella vaadittavat alipaineistuskoneiston suodattimet ja henkilökohtaiset suojaimet, joita tulee käyttää työvaiheen sitä vaatiessa. (Ratu 1225-S 2009.)

Osastoinnin rajaus tulee suunnitella helposti toteutettavaksi ja työvaiheiden mukaan ylläpidettäväksi. Osastoinnissa tulee pyrkiä käyttämään mahdollisuuksien mukaan valmiita rakenteita, kuten paikalle jääviä väliseinärakenteita ja väliovia joita ei tarvitse välittömästi purkaa. (Hokkanen 2010.)

Suunnitelma tulee laatia yhteistyössä kaikkien urakoitsijoiden kanssa, jotta alipaineistus saadaan toteutettua tarkoituksenmukaisesti ja alipaineistus on ylläpidettävissä mahdollisimman vähällä vaivalla työmaaolosuhteissa. Tällöin ali-

paineistuksen onnistumisella on paremmat edellytykset, koska alipaineistuksen tulee palvella työmaata eikä työmaan alipaineistusta. (Hokkanen 2011.)

Kokemus on osoittanut, että mitä monimutkaisemmaksi työnaikainen alipaineistusjärjestelmä rakennetaan, sitä heikommin se toteutuu (Hokkanen 2011).

3.5 Erikoispuhkutyöt

Erikoistöiksi lukeutuvat kosteus- ja mikrobivaurioituneiden tilojen purku, asbestipurkutyöt sekä rakenteiden purkutyöt jotka sisältävät kivihiilipikeä. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytä syvällisesti erikoispuhkutöihin, koska aiheeseen on laadittu erilliset ohjekortit. Ohjeet näihin rakenteiden purkutöihin löytyvät seuraavista Ratu-korteista:

Ratu 82-0381. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä.

Ratu 82-0239. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku.

Ratu 82-0384. Tavanomaiset purkutyöt. Vaaralliset aineet – käsittely ja suojaus.

Ratu 82-0236. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Menetelmät.

4 Pölynhallinnan kalusto alipaineistusmenetelmässä

4.1 Alipaineistajat

4.1.1 Toimintaperiaate

Työskentelyalueella ilmaan vapautuu pölyä rakenteista erilaisten työvaiheiden seurauksena. Koneellisen alipaineistuksen tavoitteena on poistaa pölyyntynyt ilma sisätiloista ja korvata se puhtaammalla ilmalla, joka yleensä otetaan ulkoa. Pölyyntynyt ilma johdetaan koneessa suodatuksen kautta mahdollisuuksien mukaan ulkoilmaan käyttäen haitariletkaa tai muovikalvosukkaa. Suodattimina käytetään alipaineistuslaitteisiin liitettäviä karkea- ja mikro- tai hienosuodattimia.

Työmaaolosuhteissa alipaineekoneiden toimintaan vaikuttaa eniten sähkön syöttö laitteille, joka on suositeltavaa järjestää joko toiminnassa olevien tilojen puolelta tai kiinteällä sähkön syötöllä. Muutoin riskinä on laitteiden sähköistykseen tarkoitettujen syöttökaapeleiden siirtyminen muihin käyttötarkoituksiin työmaalla. (Hokkanen 2011.)

Alipaineistusta ylläpidetään kohteen lopullisen siivouksen jälkeen niin kauan, että vaadittu ilman puhtaustaso on saavutettu (Hokkanen 2011).

Tarvittaessa ilman puhtaus varmistetaan ottamalla näytteitä työskentelytilan ilmasta ennen osastoinnin purkamista ja muiden purku- ja korjaustöiden jatkamista. (Ratu 82-0239 2000).

4.1.2 Mitoitus

Mitoituksen tarkoituksena on poistaa koneellisesti enemmän ilmaa, kuin tilaan tulee korvausilmaa. Alipaineistuksen mitoitukseen vaikuttavat käynnissä olevat työvaiheet, työskentelyalueen tilavuus sekä ympäröivien tilojen paine-erot työskentelytiloihin nähden. (Hokkanen 2011.)

Kokemus on osoittanut, että rakennusaikana koneiden kapasiteetti tulee mitoittaa siten, että kunkin osaston ilmatilavuus vaihtuu vähintään kaksi kertaa tunnissa. Esimerkiksi alipaineistettava tila jonka tilavuus on 1000 m^3 , tulee koneen kapasiteetti tulella olla vähintään $2000 \text{ m}^3/\text{h}$. (Koponen 2011.)

Purkutöiden aikana koneiden kapasiteetti mitoitetaan siten, että kunkin osaston ilmatilavuus vaihtuu vähintään neljä kertaa tunnissa. Esimerkiksi alipaineistettava tila jonka tilavuus on 1000 m^3 , tulee koneen kapasiteetti olla vähintään $4000 \text{ m}^3/\text{h}$. (Koponen 2011.)

Asbestipurkutöiden aikainen vaadittu kapasiteetin mitoitus on että, osastojen ilmatilavuuden tulee vaihtua vähintään kymmenen kertaa tunnissa. Esimerkiksi alipaineistettava tila jonka tilavuus on 1000 m^3 , tulee koneen kapasiteetti olla vähintään $10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$. (Ratu 82-0347 2009.)

Koneet voidaan mitoittaa laitteiden valmistajan ohjeen mukaisesti. Tavanomaisesti on kuitenkin suositeltavaa käyttää niin sanottua ylimitoitusta, jotta voidaan varmistua tilojen alipaineistuksen toimivuudesta. Ylimitoituksessa tulee kuitenkin huomioida, ettei työskentelyalueen olosuhde kärsi liiallisesta alipaineesta. Liioiteltu ylimitoitus (esimerkiksi $8000 \text{ m}^3/\text{h}$ poistoteho 1000 m^3 tilaan) voi aiheuttaa muita haittatekijöitä, kuten esimerkiksi ei-toivottuja ilmanvirtauksia sekä haitallista vedon tunnetta. (Hokkanen 2011.)

4.1.3 Alipaineistuksessa käytettävää laitteistoa

Opinnäytetyön tilanneen yrityksen käytössä on Lifa air Oy:n valmistamia laitteita ilman puhdistamiseen ja alipaineistukseen. Tästä syystä laitteistoa käytetään esimerkkilaitteistona. Alipaineistukseen käytettävää kalustoa valmistavat valmistavat muun muassa myös Kiekens, Camfill, Dustcontrol ja Strong.

Opinnäytetyössä käsitellyn valmistajan laitteet soveltuvat asbesti-, home-, rakennus-, kvartsi-, jauho- ja puupölyn puhdistamiseen ja alipaineistukseen. Laitteisiin on mahdollisuus kytkeä perussuodattimien lisäksi aktiivihillisuodatin. (Lifa air pölytön saneeraus n.d.) Kuvioissa 1 ja 2 esitellään käytettävää esimerkkilaitteistoa.



KUVIO 1. Lifa air HepaClean 2500:n ilmanvirta ilman suodattimia on 2600 m³/h.

Työnkohteen alipaineistukseen käytettävän laitteiston valinnassa tulee huomioida ilmamääräkapasiteetin lisäksi laitteeseen asennettavien suodattimien vaihtoehdot sekä laitteen poistotapa, jotta valittu laite palvelisi käyttötarkoitusta.

taan kohteessa mahdollisimman hyvin. Esimerkiksi tavanomainen aksiaalipuhallin ilman suodatinta toimii erinomaisesti, kun ilma voidaan poistaa suodatamattomana suoraan ulkoilmaan. Kyseisen laitteen käyttömahdollisuudet suodatusta tarvittaessa ovat heikkomat kuin esimerkiksi kuvioissa esitettyjen HepaClean –laitteiden. Ilmamäärällisesti HepaClean –laitteet eivät kuitenkaan vastaa tehokkaita aksiaalipuhaltimia. Tämän takia kohdekohtainen laitevalinta on tärkeä osa alipaineistuksen suunnittelua. (Hokkanen 2011.)



KUVIO 2. Lifa air HepaClean 4000:n ilmanvirta ilman suodattimia on 3850 m³/h.

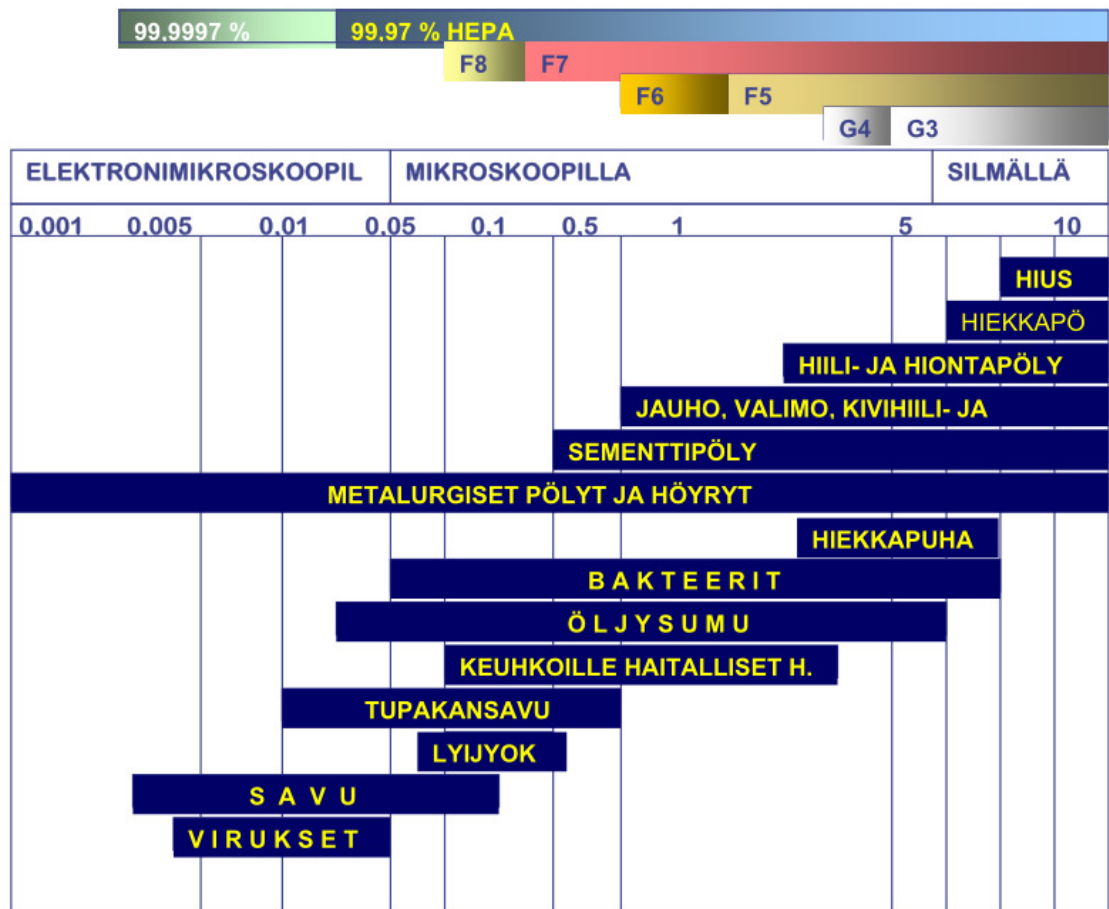
4.2 Suodattimet

Alipaineistuskoneissa sekä yleisesti käytettävät ilman suodattimet jaetaan neljään ryhmään niiden erottelukyvyn mukaisesti. Suomessa käytetään eurooppalaisten standardien EN 1822 (2009) ja EN 779 (2002) mukaisia luokitteluja. Standardeissa suodattimet jaetaan karkea-, hieno-, HEPA- ja ULPA-suodattimiin, joiden kirjaintunnukset ovat G, F, H ja U.

Toinen Suomessa käytetty suodattimien luokittelutapa on Brittiläisen standardin ja Eurovent 4/4 yhdistelmä, jossa käytetään etuliitettä EU. Luokittelutapa on kuitenkin väistynyt eurooppalaisten standardien mukaisen luokituksen tieltä. Molemmilla luokitustunnuksilla saa kuitenkin vielä hankittua asianmukaisen suodattimen (Hokkanen 2011).

Hiukkassuodattimien lisäksi käytetään kemiallisia suodattimia, jotka on tarkoitettu pienten kaasupitoisuuksien suodattamiseen tilan ilmasta. Näissä suodattimissa käytetään materiaalina aktiivihiiltä, joka absorptoi itseensä kemialliset epäpuhtaudet. (Seppälä n.d. 12.)

Kuviossa 3. esitetään eri suodatinluokkien mitoitus erikokoisten partikkelien suodatukseen sekä esimerkkejä erilaisten pöylähteiden partikkelikoosta.



KUVIO 3. Hiukkaskoko ja suodatinluokat (Seppälä n.d. 8).

4.2.3 Karkeasuodattimet (G1 - G4)

Karkeasuodattimet tehdään progressiivisestä muovikuitukankaasta, jolla on suuri pölynsitomiskyky. Karkeasuodattimia käytetään yleisesti esisuodattimena, poistamaan ilmasta kooltaan suurimmat hiukkaset ennen mahdollista hieno- tai HEPA-suodatinta. Karkeasuodatinta voidaan käyttää myös pääsuodattimena, kun tavanomainen rakennuspöly poistetaan suoraan ulkoilmaan, eikä hienojakoisen pölyn leviäminen aiheuta ympäristössä haittaa. (Seppälä n.d. 9.)

Karkeasuodattimia ei voida käyttää ilman hieno- tai HEPA-suodatinta, kun kohteessa suoritetaan mikrobi- tai asbestipurkutöitä tai poistoilma ohjataan takaisin rakennuksen sisäilmaan. Alipaineistajien karkeasuodattimet ovat luokkaa G3 tai G4, joista G3 on yleisemmin käytetty. (Hokkanen 2011.)

Karkeasuodattimien prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa testissä käytetystä koko hiukkasmassasta on jäänyt suodattimeen (Air Filter Testing from Filtration Engineering n.d.).

G1 / EU1 = 50 % - 65 %

G2 / EU2 = 65 % - 80 %

G3 / EU3 = 80 % - 90 %

G4 / EU4 > 90 %

(Air Filter Testing from Filtration Engineering n.d.)

4.2.3 Hienosuodattimet (F5 - F9)

Hienosuodattimet valmistetaan yleensä paperista, polyesteristä tai erilaisista tekstiileistä, kuten kuitukankaasta. Hienosuodattimien prosenttiluku kertoo kuinka suuri osa yli 0,4 mikrometrin hiukkasista on jäänyt suodattimeen (Sepälä n.d. 9.)

F5 / EU5 = 40% - 60%

F6 / EU6 = 60% - 80%

F7 / EU7 = 80% - 90%

F8 / EU8 = 90% - 95%

F9 / EU9 > 95%

(Air Filter Testing from Filtration Engineering n.d.)

Hienosuodattimia käytetään alipaineistuslaitteiston pääsuodattimina, kun halutaan tuottaa puhtaampaa poistoilmaa, jossa hienojakeisen pölyn määrä on alhaisempi. Esimerkiksi kohteissa, joissa ei voida poistaa ilmaa ulos rakennuksesta vaan se palautetaan rakennustyömaan sisäilmaan, on syytä käyttää hienosuodatinta. Hienosuodattimia käytettäessä on erittäin suositeltavaa käyttää karkeasuodatinta esisuodattimena. Tällöin hienosuodattimen käyttöikä pitenee, koska suodatinrakenne ei tukkeudu suurempien hiukkasten takia.

Alipaineistuskoneiden hienosuodattimina käytetään yleensä luokkaa F5-, F7- tai F9 –luokan suodattimia, joista F7-luokan suodatin on yleisimmin käytetty. Jotta voidaan hahmottaa näillä suodattimilla tuotettavan poistoilman puhtaustaso, voidaan käyttää esimerkkinä tietoa, että suurin osa Suomen kiinteistö-kannasta, joka on koneellisen ilmanvaihdon piirissä, on varustettu F7-suodattimilla (Hokkanen 2011.)

4.2.3 HEPA-suodattimet (H10 – H14)

HEPA-suodatin (high efficiency particulate air filter) on erittäin korkean erotte-luasteen omaava suodatin. Suodattimien prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa tunkeutuvimmista hiukkasista pysähtyy suodattimeen.

HEPA-suodatinta kutsutaan myös mikrosuodattimeksi tai absoluuttisuodatti-meksi. (Ratu 82-0239 2000.)

HEPA-suodattimen materiaali voi olla esimerkiksi paperia, jossa materiaalin kuidut ovat sekaisessa matriisirakenteessa. Vaikka suodatin poistaa ilmasta halkaisijaltaan 0,3 mikrometrin partikkeleita, on suodattimen kuitujen välinen ilmatila suurempi kuin 0,3 mikrometriä. Suodattimen toiminta perustuu enem-män diffuusion, interseption sekä törmäykseen kuin ilman siivilöintiin.

(Seppälä n.d. 9-10.)

H10 > 85%

H11 > 90%

H12 > 99,5%

H13 > 99,95%

H14 > 99,995%

(Air Filter Testing from Filtration Engineering n.d.)

EU10 = 95% < 99,9%

EU11 = 99,9% < 99,97%

EU12 = 99,97% < 99,99%

EU13 = 99,99% < 99,999%

(Air Filter Testing from Filtration Engineering n.d.)

Alipaineistajissa käytetään yleensä H13-luokan suodatinta. Se on vaatimuksena mm. asbestisaneerauksessa käytettäville alipaineistajille. HEPA-suodattimia käytetään yleisesti rakennustyöaikana, kun alipaineistajan läpi kulkeva ilma palautetaan takaisin huoneilmaan tai ohjataan alueelle, jossa erityin hienojakeinen pöly voi aiheuttaa haittaa. (Hokkanen 2011.)

Esimerkiksi ylipaineistusta toteutettaessa, käytetään koneissa yleisesti HEPA-suodattimia. HEPA-suodattimilla pystytään luomaan leikkaussaliin kelpavaa, puhdasta sisäilmaa. Kuitenkin tässä käytössä ULPA-suodattimet ovat korvanneet HEPA-suodattimet. (Hokkanen 2011.)

4.2.3 ULPA-suodattimet (U15 – U17)

ULPA-suodattimet ovat harvinaisemmin alipaineistajissa käytettyjä suodattimia, eikä niitä juurikaan käytetä rakennuspölyn keräämiseen. Suodatin vaatii liikaa rakennustyöhön käytettäviltä alipainekoneilta ja aiheuttaa turhaa poistoilman tehohukkaa työmaakäytössä (Hokkanen 2011). Tästä johtuen kyseisiä suodattimia ei ole käsitelty tässä opinnäytetyössä laajemmin.

ULPA-suodattimien (Ultra low penetrate air filter) prosenttiluku kertoo kuinka suuri osa tunkeutuvimmista hiukkasista pysähtyy suodattimeen. Testeissä otetaan huomioon myös ilmavirtaus ja suodatinmateriaali. (Seppälä n.d. 9.)

U15 > 99,9995%

U16 > 99,99995%

U17 > 99,999995%

(EN 1822 2009.)

Suodattimien mittaustavan mukainen jaottelu brittiläisen- ja eurooppalaisen standardin mukaisesti on esitetty taulukossa 1. Taulukko on suomennettu tekijän toimesta.

TAULUKKO 1. Suodattimien luokittelutapa (Air Filter Testing from Filtration Engineering. n.d.)

Suodattimen tyyppi	Suodattimen luokittelutapa		Testaustapa		
	Vanha	Nykyinen			
Karkeasuodattimet	BS6540		Prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa testissä käytetystä koko hiukasmassasta on jäänyt suodattimeen.		
	Pysäytys %				
	EU1	<65		G1	<65
	EU2	65<80		G2	65<80
	EU3	80<90		G3	80<90
	EU4	>90	G4	>90	
Hienosuodattimet	BS6540		Prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa yli 0,4 mikrometrin hiukkasista on jäänyt suodattimeen.		
	Pysäytys %				
	EU5	40<60		F5	40<60
	EU6	60<80		F6	60<80
	EU7	80<90		F7	80<90
	EU8	90<95		F8	90<95
	EU9	>95	F9	>95	
HEPA-suodattimet	Eurovent 4/4		Prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa tunkeutuvimmista hiukkasista pysähtyy suodattimeen.		
	Enimmäis tehokkuus %				
	EU10	95<99.9		H10	85
	EU11	99.9<99.97		H11	95
	EU12	99.97<99.99		H12	99.5
	EU13	99.99<99.999	H13	99.95	
			H14	99.995	
ULPA-suodattimet			Prosenttiluku kertoo, kuinka suuri osa tunkeutuvimmista hiukkasista pysähtyy suodattimeen.		
				EN1822	
				Minimum MPPS %	
			U15	99.9995	
			U16	99.99995	
			U17	99.999995	

BS = British Standards

EN = European Standards

(Air Filter Testing from Filtration Engineering. n.d.)

4.2.4 Kemiallisten yhdisteiden suodattimet

Kemiallisten suodattimien tarkoituksena on poistaa kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten esimerkiksi liuottimien päästöjä, ei fysikaalisia epäpuhtauksia kuten pölyä. Tästä johtuen kemiallisen suodattimen edellä tulee koneessa olla aina vähintään karkea- sekä hienosuodatin, jotka puhdistavat ilmasta pölypartikkelit. Pölyn pääseminen kemialliseen suodattimeen heikentää suodattimen toimintaa oleellisesti hyvin nopealla aikavälillä. (Hokkanen 2011.)

Materiaalina kemiallisissa suodattimissa käytetään yleensä aktiivihiiltä. Suodattimia käytetään hajujen, höyryjen sekä kaasupitoisuuksien poistoon ilmasta (Kemialliset laitteet. n.d.). Ilman kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuus voi olla enintään 0,5 tilavuusprosenttia (5000 ppm), jonka jälkeen tiloissa on suositeltavampaa käyttää tuuletusta ulkoilmaan pitoisuuden laskemiseksi.

Koska aktiivihiilisuodattimia käyttöikä on oikeita esisuodattimia käytettäessäkin yleisesti hiukkassuodattimia lyhyempi, tulee suodattimia vaihtaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Suodattimen aktiivihiili voidaan haluttaessa puhdistaa ja käyttää uudelleen, mutta uuden suodattimen hankkiminen on kustannuksiltaan lähes samaa tasoa. (Hokkanen 2011.)

Ennen kemiallisen suodattimen hankintaa tulee varmistaa, että käytettävään laitteeseen voi kytkeä kyseessä olevan suodattimen. Lisäksi tulee varmistua siitä, että laitteessa, johon suodatin kytketään on riittävä teho suodattimen asennuksen jälkeen. (Hokkanen 2011.)

Rakennustyömaalla kemiallisten suodattimien käyttö on erittäin harvinaista ja harvoin edes tarpeellista. Mikäli tiloissa on tarvetta tuuletukselle, esimerkiksi liuottimien käytön yhteydessä, toteutetaan tuulettaminen normaalilla alipaineistuskoneella suoraan ulkoilmaan, jolloin kemiallisen yhdisteen pitoisuus ilmassa laskee haitallisen tason alle. (Hokkanen 2011.)

4.2.5 Suodattimien vaihtoväli

Alipaineistuslaitteistossa käytettävät suodattimet keräävät ilmasta ja pinnoilta nousevan pölyn itseensä. Tästä syystä suodattimen vaihtoväli riippuu suuresti käynnissä olevista työvaiheista. Erityisesti purkuvaiheessa ja pintojen jyrsimisessä ja tasoituksessa vapautuu suuri määrä epäpuhtauksia ilmaan. Nämä epäpuhtaudet pysähtyvät suodattimille ja vähitellen muodostavat kerroksen, joka tukkii suodattimen huokoisrakenteen. Tämä heikentää ajan kuluessa alipainekoneen poistotehoa, kun ilma ei virtaa enää suodattimen läpi täydellä teholla. (Hokkanen 2011.)

Suodattimien vaihtoväli on myös riippuvainen käytettävästä alipaineistus-koneistosta sekä kohteessa vaaditusta suodatustasosta. Mikäli työvaihe vaatii hienosuodattimen tai HEPA-suodattimen käyttöä, on suositeltavaa käyttää karkeasuodatinta esisuodattimena, jolloin suurimmat hiukkaset eivät pääse tukkimaan pääsuodatinta. (Hokkanen 2011.)

Karkeasuodattimien vaihtovälinä on tavanomaisesti käytetty rakennusvaiheessa kahden työpäivän ajanjaksoa, jolla on pyritty varmistamaan, että suodattimen tukkeutuminen ei pääse heikentämään alipainekoneen poistotehoa (Koponen 2011).

Hienosuodattimen vaihto on normaalisti tehty kohteesta riippuen kerran kuu-kaudessa. Tarvittaessa suodattimia on vaihdettu jopa viikoittain. Tällöin kuitenkin tulee arvioida, onko hienosuodattimen käyttö kohteessa tarpeen, koska suodattimen nopea tukkeutuminen kertoo voimakkaasta pölyn tuotosta työmaalla. Tällaisissa tapauksissa poistoilma olisi yleensä mahdollista ohjata ulos, jossa hienojakoinen pöly ei ole haitaksi työmaahenkilöstölle tai ympäristölle. (Hokkanen 2011.)

4.2.6 Henkilökohtaiset suojaimet

Pölynhallinnassa pyritään ensisijaisesti poistamaan pölyn aiheuttaja tai pöly tilasta. Kun tätä ei pystytä toteuttamaan, joudutaan käyttämään henkilökohtaisia suojaimia. Jäljempänä on lueteltu yleisimpiä rakennustöitä, joissa henkilökohtaisten suojainten käyttö on pakollista tai suositeltavaa. (Ratu 1225-S 2009.)

Valtioneuvoston asetuksen mukaisesti nämä työvaiheet tulee olla käsitelty työhygienian osalta sekä rakennuttajan että urakoitsijan työturvallisuuteen liittyvissä asiakirjoissa (VNa 205/2009 2009).

Betonirakenteiden rakennus- ja purkamistöissä, joissa joudutaan työstämään esimerkiksi piikkaamalla, leikkaamalla tai hiomalla betonirakennetta, tulee työntekijöiden käyttää hengityssuojainta (Ratu 1225-S 2009).

Kivi- ja tiilirakenteiden muuraukseen liittyvissä laasteissa on tavanomaisesti noin 4-10 % terveydelle haitallista kvartsia kivilaadusta riippuen. Tästä syystä laastin sekoittamiseen tarkoitetussa tilassa työskenneltäessä tulee käyttää hengityksensuojainta, mikäli laastipölyä ei voida muutoin poistaa. (Ratu 1225-S 2009.)

Eristevilloista irtoaville pölyille ja kuiduille altistutaan lasi- ja vuorivillaeristeiden asennuksessa, puhallusvillan puhalluksessa ja eristystyön jälkeisessä levytyksessä. Pölypitoisuuteen vaikuttaa eristykseen käytettävän materiaalin valinta. Eristevilloja asennettaessa tulee välttää eristetuoitteiden työstöä. Työkohde siivotaan päivittäin. Työskentelytilassa tulee tarvittaessa käyttää hengityksensuojainta. (Ratu 1225-S 2009.)

Ruiskumaalauksessa muodostuu maalisumua, joka kuivuaan voi muuttua pölymäiseen muotoon. Hengityksensuojaimen tulee olla P2-tasoinen puoli- tai kokonaamari. (Ratu 1225-S 2009.)

Purkutöiden aikana tulee käyttää P2-, P3- tai P3/ A2- luokan suodattimella varustettua moottoroitua koko - tai puolinaamaria tai eristävää naamaria esiintyvistä terveydelle vaarallisista aineista riippuen. (Ratu 1225-S 2009.)

Rakennustöissä tulee käyttää myös muita työturvallisuusmääräysten mukaisia, henkilökohtaisia suojaimia, esimerkiksi silmiensuojaimia sekä kuulonsuojaimia, mutta niitä ei ole tässä opinnäytetyössä käsitelty.

5 OSASTOINNIN TOTEUTTAMINEN

5.1 Osastointi ja suojaseinämät

Osastoinnin tarkoituksena on pienentää työmaa-aluetta helpommin hallittaviin, pienempiin lohkoihin. Tällä tavalla alueiden tilavuutta saadaan pienennettyä, jolloin alipainekoneen tehon tarve pienenee ja tilojen olosuhde on helpommin hallittavissa. Lisäksi osastoinnilla mahdollistetaan esimerkiksi ilmanvaihtotöiden suorittaminen työmaalla, vaikka muilla osastoilla olisi käynnissä pölyäviä työvaiheita (Hokkanen 2011.)

Osastoinnin suunnitteluvaiheessa tulee pyrkiä käyttämään mahdollisuuksien mukaan valmiita rakenteita kuten paikalle jääviä väliseinärakenteita ja välioivia, joita ei tarvitse välittömästi purkaa. Ilmanvaihtokanavien venttiilit, yms. peitetään muovikalvolla ja teipataan tiiviisti, osastoon johtavat ovet suljetaan ja ovien sekä ikkunoiden käyntivälit teipataan kiinni. (Hokkanen 2011.)

Mikäli olemassa olevia rakenteita ei pystytä hyödyntämään osastoinnissa tai osastot jäävät liian suuriksi tai epäkäytännöllisiksi alipaineistuksen toteuttamiseen, tulee osastointi tehdä erillisin suojaseinärakentein (Hokkanen 2011). Perusvaatimus suojaseinällä on tiiviys ja kyky estää pölyn kulkeutuminen ilmavirtausten mukana työkohteen ulkopuolelle (Ratu 1225-S 2009).

Tilapäisiä osastointiseiniä voidaan yksinkertaisimmillaan rakentaa kiinnittämällä olemassa oleviin rakenteisiin teippaamalla rakennusmuovi osastoitavan alueen rajoille. Tällaiset osastointirakenteet ovat hyviä ja käyttökelpoisia, kun osastointi on lyhytaikainen, eikä sen kestävyydelle ole vaatimuksia. (Hokkanen 2011.)

Seuraava vaihtoehto muoviseinän toteuttamiseen on muovin pingoittaminen puurimoilla katto- ja lattiarakenteiden väliin. Tässäkin tapauksessa asennus tiivistetään teippaamalla muovin reunat kiinni rakenteisiin, mutta muovin paikoillaan pysymisen varmistaa rimat. Rakenne on helppo ja nopea toteuttaa ja se kestää huomattavasti paremmin esimerkiksi muovisen kulkuoven toteuttamista kuin edellä esitetty vaihtoehto. (Hokkanen 2011.)

Toteutettaessa pidempi aikaista suojaseinää, jonka on tarvetta kestää liikennöintiä suojaseinän ympäristössä sekä sen läpi, tulee rakenne toteuttaa puurunkoisena. Tällöin runko kiinnitetään mekaanisesti tai liimaamalla olemassa olevien rakenteiden pintaan. Muovikalvo kiinnitetään puurungon ympärille kiertämällä muovin reuna puun ja rakenteen väliin. Muovikalvojen saumat tiivistetään teipillä. (Hokkanen 2011.)

Erityisen tiiviitä suojaseinärakenteita toteutettaessa voidaan rakennepintoihin kiinnitettävien runkojen alle asentaa muovin ja olemassa olevan rakenteen väliin talotiiviste, esimerkiksi solumuovikaista. Mikäli tiiviyttä halutaan edelleen parantaa, voidaan talotiiviste liimata rakenteeseen käyttäen esimerkiksi uretaanivaahtoa tai rakennusliimamassaa, kuten Sikabond 505 –massaa. Liimamassa asennetaan myös talotiivisteeseen sekä muovin väliin. Näin tiiviitä rakenteita käytetään yleensä osastoidessa, kun on tarve erottaa työmaa-alue rakennuksessa käytössä olevista alueista, esimerkiksi saneerauskohteissa. (Hokkanen 2011.)

Tällaisten pidempiaikaisten suojaseinärakenteiden kohdalla on syytä harkita seinän tekoa kokonaan rakennuslevystä, esimerkiksi vanerista, työmaan puolelle jäävällä osalla. Seinissä on kuitenkin syytä olla muovi rungon toisessa pinnassa, jotta seinärakenteen tiiviyys säilyy, vaikka levyyn tulisi reikä. Mikäli

suojaseinälle on asetettu vaatimuksia palo-osastoinnin tai ääneneristävyyden osalla, tulee seinärakenne toteuttaa näiden vaatimusten mukaisesti, jolloin rakenne automaattisesti täyttää myös sille asetetut pölyn osastointivaatimuksen. (Hokkanen 2011.)

Tilapäisten osastojen rakenne voidaan toteuttaa esimerkiksi seuraavalla tavalla.

- Seinäksi tulevan muovin alapää asennetaan seinärakenteen alajuoksun alle ja tiivistetään esimerkiksi uretaanimassalla.
 - Rungon tulee olla vähintään 48 x 48 mm puuta.
- Muovi nostetaan yläohjauspuun ylitse ja tiivistetään esimerkiksi uretaanimassalla.
- Seinän alaosaan asennetaan levytys, jonka yläreuna on noin 1200 – 1500 millimetrin korkeudella lattiapinnasta.
 - Levytyksen tarkoituksena on suojata muovitusta ja osastointia iskuilta ja repeämiltä.
 - Materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi vaneria. (Hokkanen 2010.)

Tilapäinen muovirakenteinen ovi voidaan rakentaa seuraavalla tavalla.

- Kulkuaukkoon asennetaan rakennusmuovi, joka kiinnitetään aukon sivuihin ja yläreunaan kiertämällä se 48 mm rima ympärille ja rima kiinnitetään seinärakenteeseen.
- Muoviin leikataan halkio alaosaan ja alaosa jätetään kiinnittämättä.
- Aukkoon asennetaan toinen muovi, joka on aukon levyinen, muovi kiinnitetään yläosastaan kuten toinenkin muovi, mutta jätetään muilta osin irti.
- Muovin alaosaan asennetaan lauta, joka vetää muovin paikoilleen aukon eteen. (Hokkanen 2010.)

Kevyt muovirakenteisia ovia parempi vaihtoehto on muovilevyovet, joissa on alaosassa laahusmuovi. Ovet varustetaan heilurisaranoilla, jolloin ovista voidaan kulkea ovea työntämällä kumpaakin suuntaa vapaasti ja ovi palautuu kiinni asentoon itsestään. Tällaisia ovia voidaan hyödyntää useammalla eri

työmaalla, jolloin säästetään aikaa ja kustannuksia ovimateriaaleissa. (Hokkanen 2010.)

Kulku osastoon järjestetään tilapäisen eteistilan kautta. Urakka-alueen rajapintaan rakennetaan puurangoista ja muovikalvosta noin puolesta metrillä metriin etäisyydelle urakka-alueen rajaavasta rakenteesta. Eteistilan päähän tehdään ilman kulun estävä ovirakenne. Ovi on esimerkiksi kaksikerroksinen muovirakenne, joka toteutetaan kuten tilapäinen muovirakenteinen ovi.

Muodostuneen eteistilan ilmatila alipaineistetaan siten, että puhaltimen poisto on urakka-alueelle päin. Tällä varmistetaan rajapinnan osastoinnin pölyn pitävyys. (Hokkanen 2011.)

Väliaikaisia osastointeja voidaan toteuttaa myös käyttäen teleskooppituennalista runkoa ja rakennusmuovia. Tilapäisinä osastoivina ovina käytetään paljon myös markkinoilla olevia vetoketjullisia muoviovia. Nämä ratkaisut ovat hyviä, jos osastoinnin tarve on ajaltaan lyhytkestoinen tai sen paikka vaihtuu useasti.

Liitteet 5, 6 sekä 7 ovat rakennetyyppejä, tilapäisen osastoivan seinämän rakentamiseen.

5.2 Korvaus- ja poistoilma

5.2.1 Korvausilma

Koneellisesti alipaineistetun tilan tulee olla niin tiivis, että korvausilmareitit voidaan mitoittaa hallitusti. Yleinen käytäntö on, että alipaineistettuun tilaan otetaan noin 20 % vähemmän korvausilmaa, kuin ilmaa, jota tilasta poistetaan. Korvausilman tulee olla mahdollisimman puhdasta, mielellään ulkoilmasta otettua. (Hokkanen 2011.)

Talviaikaan ulkoilmasta korvausilmaa otettaessa tulee käyttää korvausilmareitissä lämpöpatteria, joka lämmittää sisälle tulevan ilman. Tällä tavoin työmaan

lämpötila saadaan pysymään hyväksyttävällä tasolla, lämpöenergiaa ei mene hukkaan alipaineistuksen myötä ja vedon tunne tiloissa vähenee. Lämpöpatterina voidaan käyttää joko sähkökäyttöistä lämpövastusta tai esimerkiksi kaukolämpöön liitettyä vesikiertoista lämpösäteilijää. Esimerkiksi vanhasta ilmanvaihtokoneesta purettu esilämmityspatteri soveltuu hyvin asennettavaksi korvausilmareitin aukkoon. (Hokkanen 2011.)

Korvausilman tuloaukon koko poistoilma-aukkoon nähden tulee olla 20 prosenttia pienempi, jolloin saavutetaan samassa suhteessa pienempi korvausilman määrä. Korvausilman mitoittamisesta on alla esimerkki.

Esimerkki 1.

Osaston tilavuus on 1000 kuutiometriä. Tilaan on asennettu alipainekone, jonka kapasiteetti on 2000 m³/h, poisto tapahtuu halkaisijaltaan 300 millimetrin putkella. Minkä kokoinen tulee korvausilma-aukon olla?

- 1) Saatu tilavuusvirta jaetaan poistokanavan pinta-alalla. Ympyrän pinta-ala lasketaan kaavalla $\pi * r^2$.
 $(0,15 \text{ m})^2 * \pi = 0,071 \text{ m}^2$
- 2) Vähennetään saadusta pinta-alasta 20 prosenttia kertomalla tulos 0,8.
 $0,071 \text{ m}^2 * 0,8 = 0,057 \text{ m}^2$
- 3) Saadun pinta-alan hahmottamiseksi fyysisenä aukkona, voidaan tuloksesta ottaa neliöjuuri. Tällä tavalla saadaan neliön muotoisen aukon sivun pituus.
 $\sqrt{0,057 \text{ m}^2} = 0,24 \text{ m}$

Esimerkistä voimme havaita, että alipaineistuksen toimivuuden takaamiseksi mahdollisimman tehokkaasti, tulee ulkovaipan sekä osaston suojaosien olla tiiviitä, eikä niissä saa olla suuria aukkoja.

5.2.2 Poistoilma

Alipainekoneiden poistot pyritään ohjaamaan ulos rakennuksesta kohdan 4.2 mukaisia suodattimia käyttäen. Mikäli ilmavirtaa ei voida ohjata ulos, tulee asennuksessa huomioida, ettei poistoilmavirtaus aiheuta ei-toivottuja ilmavirtauksia ja pölyn liikettä tiloissa. Poistoilma tulisi pyrkiä jakamaan tilaan käyttäen hajottavaa ilmanavaa. Tällainen poistoilman hajoitusta voidaan toteuttaa esimerkiksi asentamalla alipaineistuskoneen poistoilmaputken tilalle niin sanottu suutinkanava, joka hajottaa poistoilman tasaisemmin tilaan. Kanavana voidaan käyttää esimerkiksi Fläktwood Activent –mallista suutinkanavaa. (Hokkanen 2011.)

Ulos poistettaessa poistoputki asennetaan yleensä ikkuna-aukkoon, käyttäen joko levyeristettä tai rakennuslevyä. Levy kiinnitetään aukkoon joko ruuvamalla tai teippaamalla. Levyn leikataan aukko, johon poisto asennetaan. Poistoletkun pään tulee ulottua vähintään 500 millimetriä levyn ulkopuolelle. Letku tiivistetään levyn teippaamalla. (Hokkanen 2010.)

6 TUTKIMUSTYÖ

6.1 Kohteen tiedot

Kyllö E-rakennuksessa suoritettiin tilojen osittainen saneeraus, johon sisältyi myös hissien lisääminen. Saneerauksen tarkoituksena oli muuttaa tilat uudelle vuokralaiselle sopiviksi, kun tilojen vuokrasuhde muuttui. Rakennus oli suunniteltu alun perin peruskorjattavaksi kokonaisuudessaan, mutta investointi ei ollut tarpeellinen tilojen toimivuuden kannalta tässä vaiheessa tilaajan arvion perusteella.

Kuviossa 4. on laskennassa esimerkkinä käytettävä Lifa air HepaClean 4000, joka on kytketty alipaineistamaan Kyllö E-rakennuksen kolmannessa kerroksessa.



KUVIO 4. Toiminnassa oleva alipaineistaja.

6.2 Ilmamäärämittaukset

6.2.1 Mittausten toteutus

Ilmamäärämittaukset suoritettiin käyttäen TSI:n Velocicalc -mallista termoneometri-mittauslaitetta. Laitteella voidaan mitata ilman virtausnopeutta sekä paine-eroja. Mittaukset suoritettiin poistoilmaletkusta, jolloin saatiin laitteesta poistuvan ilman nopeus. Poistoilmaletkuna käytettiin halkaisijaltaan 300 millimetristä haitariletkua. Mittaukset tehtiin letkun keskiöstä, noin 10 senttimetrin

päästä alipaineistuskoneesta. Saatujen arvojen perusteella pystyttiin laskemaan tuloksista ilmamäärä, joka kulkee poistoilmaletkun kautta. Saaduilla tuloksilla tarkasteltiin suodattimien likaisuuden vaikutusta poistoilman määrään.

Mittaussarja koostui neljästä tai kymmenestä mittauksesta, jotka tallennettiin mittauslaitteen muistiin. Mittausmäärää nostettiin neljästä kymmeneen, kahden mittauskerran jälkeen, koska tulosten yhteydessä huomattiin paljon hajontaa. Tällä pyrittiin varmistumaan siitä, etteivät yksittäiset virheelliset mittausarvot vaikuttaneet liian paljon tuloksen keskiarvoon. Virhetarkastelu löytyy kohdasta 6.2.2.

Jokaiseen mitattavaan alipaineistajaan oli asennettu tavanomaisissa rakennustöissä käytettävä G3-luokan karkeasuodatin.

Mittaukset suoritettiin suodattimen vaihdon yhteydessä. Ensimmäinen mittaussarja suoritettiin ennen suodattimen vaihtoa, suodattimella, joka oli ollut käytössä kahdesta neljään päivää. Suodattimen vaihtoväliä ei kasvatettu, koska mittauskohteena toimi käynnissä oleva työmaa, joka suoritettiin Terve Talo -hankkeena. Tutkimus ei saanut haitata projektin toteutumista.

6.2.2. Virhetarkastelu

Ilmanvirran mittaustulosten tarkkuuteen käytetyillä mittalaitteella vaikuttavat seuraavat tekijät: ilman turbulenssi kanavassa, mittapään sijainti kanavassa, mittapään kulma suhteessa ilmanvirran suuntaan sekä mittauksen suorittajasta johtuvat tekijät. Näiden tekijän vaikutusta on pyritty arvioimaan alla.

Mittauksen suorittaja oli koulutettu tehtävänsä ja mittaukset pyrittiin suorittamaan joka kerta samalla tavalla. Mittaajasta johtuvan virheen arvioidaan tässä tutkimuksessa olevan vähäinen eikä sitä ole tarkasteltu tarkemmin.

Koska mittaus suoritettiin muovista valmistetusta haitariputkesta, on todennäköistä, että ilman turbulenssi on tavanomaista poistoilmaa suurempi kyseisessä putkessa. Turbulenssin vaikutus mittaustuloksiin on arvioitu olevan noin +/- 0,2 metriä sekunnissa.

Mittapään sijainnin ja kulman vaikutus kanavassa on arvioitu olleen +/- 0,15 metriä sekunnissa.

6.2.3. Laskutoimitukset ja tulosten arviointi

Termoaneometrillä mitatut tulokset olivat virtausnopeuksia (m/s) poistoilma-putkessa. Tulokset esitellään liitteessä 1. Ilman virtausnopeuksella ei saatu haluttua tietoa, vaan tulokset muutettiin virtausmääräksi, jolloin saatiin ilmamäärä kuutiometreinä tunnissa.

Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli selvittää kuinka suodattimen vähitellen tapahtuva tukkeutuminen vaikuttaa alipaineistuskoneen ilman poistotehoon. Kerätyt mittaustulokset analysoitiin muuttamalla mittauservojen keskiarvot suhdeluvuiksi. Suodattimen vaihdon jälkeen mitattua arvoa käytettiin nollapisteinä, johon suhteutettiin 2-4 päivän vaihtovälillä mitatut arvot. Tuloksena saatiin aikaiseksi liitteen 3 mukainen diagrammi.

Koska arvot oli muutettu suhdanteiksi, suodattimenvaihdon jälkeisestä arvosta, olivat ne tällöin vertailukelpoisia toisiinsa nähden. Suhdeluvuista laskettiin ilmamäärän vaihtelun suhteelle nollapisteeseen nähden keskiarvo, joka näkyy liitteen 3 diagrammissa. Tästä suhdanteen keskiarvosta laskettiin arvoille polynominen suuntaus, joka näkyy diagrammissa ohuena mustana viivana. Polynomisella suuntauksella pyritään ennustamaan alipaineistuskoneen tehon muutosta ajanjaksolla.

Polynomisen suuntauksen kuvaajan funktiota käytettiin laskemaan prosenttiosuus, joka kertoo, paljonko suodattimien pidennetty vaihtoväli muuttaa poistoilman määrää prosentteina. Tulokset löytyvät liitteestä 4.

Laskettujen arvojen avulla pystyttiin myös selvittämään, paljonko koneen valmistajan antama ilmamäärän arvo poikkeaa todellisesta. Lifa air antaa Hepa-Clean 4000 -laitteelle ilmanvirtauksen arvon 3850 m³/h ilman suodattimia. Työmaaolosuhteissa samalla laitteistolla mitattavat arvot olivat kuitenkin suurempia, kun mittaukset suoritettiin suodattimen vaihdon jälkeen.

Esimerkkinä käytettävästä laitteesta, joka sijaitsi tutkimuskohteen kolmannen kerroksen pukutilassa, mitattiin suodattimen vaihdon jälkeen ilman virtauksen keskiarvoksi 4380 m³/h. Tästä voimme päätellä, että valmistajan antamat arvot olivat hieman alimitoitettuja. Laskennallisesti valmistajan mukainen ilmamäärä on 12 prosenttia pienempi kuin todellinen.

Huomiota tulee kiinnittää siihen, että koska mittausten aikavälinä päästiin käyttämään vain 2-4 päivän vaihtoväliä, tehon muutoksen kaava ei ole absoluuttisen oikea. Pidemmän aikavälin arvot ovat hyvin suuntaa-antavia, eikä taulukkoa kannata käyttää paljoa yli kahdeksan päivää pitkille arvoille.

Liitteen 4 taulukon mukaisesti voidaan päätellä, että vasta seitsemän päivän jälkeen suodattimen läpi kulkeva ilmamäärä laskee valmistajan ilmoittaman ilmamäärän tasolle.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tehtävänä oli tehdä ohje rakentamisen aikaisen alipaineistuksen toteuttamiseen, sekä tehdä selvitys alipaineistuskoneissa käytettävien suodattimien vaihtovälistä. Tavoitteisiin päästiin tutkimalla aiheeseen liittyvää kirjallista materiaalia ja haastatteleamalla PTS-Kiinteistötekniikka Oy:n työntekijöitä kenttämittausten yhteydessä. Haastatteluiden tuloksena saatiin paljon empiiristä tietoa, jota ei löydy aihetta käsittelevissä julkaisuissa.

Rakentamisen aikainen alipaineistus on vielä uusi asia rakentamisessa ja sen huomaa nykyisin tarjolla olevasta kirjallisesta materiaalista. Suurin osa virallisista julkaisuista käsittelee alipaineistusta erikoispurkutöiden pohjalta, jossa yleinen periaate on sama, mutta suojaus, turvatoimet ja mitoitus eivät sovellu verrattaviksi tavanomaisen rakentamistyön yhteydessä käytettävään alipaineistukseen.

Pölynhallintana käytettävä koneellinen alipaineistus yleistyy nopeasti P1- ja Terve Talo –rakentamisen suosion yhteydessä. Lisäksi pölynhallinnan tarpeellisuuteen ovat vaikuttaneet myös oleellisesti työhygienian osalta tiukentuneet työturvallisuusmääräykset. Osastoimalla tehtävä koneellinen alipaineistus on paras ratkaisu suorittaa pölynhallinta työolosuhteissa, joissa pölyn syntymistä ja leviämistä ei voida estää.

Opinnäytetyönä tehtävän työhjeen tavoite oli kirjoittaa ohjeistus, miten koneellinen alipaineistus toimii ja mitä tarvitaan käytettäväksi laitteistoksi sekä millä rakenneratkaisuilla saadaan osastointi toimimaan niin, että alipaineistettu tila toimii tavoitellulla tavalla. Ohjeen yhteydessä käsiteltiin myös pölyn ja muiden haitta-aineiden terveydellisiä haittoja. Tämä auttaa ohjeen lukijaa ymmärtämään, miksi pölyn hallinta rakennustyön yhteydessä on tärkeää. Rakennustyössä syntyvän pölyn vaikutusta työntekijöihin on tutkittu laajasti ja tämän avulla pystytään ehkäisemään altistumista niiden haittavaikutuksille. Työn yhteydessä käytettävä alipaineistus tarjoaa hallitun ratkaisun työmaan pölynhallintaan ja auttaa ehkäisemään työn ohessa syntyviä terveyshaittoja.

Tutkimusosassa perehdyttiin alipaineistuskoneiden suodattimien vaihtoväliin ja vaihtovälin muuttamisen vaikutukseen alipaineistuksen toimintaan. Nykyinen toimintatapa on pohjautunut suurimmaksi osin silmämääräiseen arviointiin ja kokemusperäiseen tietoon. Opinnäytetyön tilaaja halusi, että työn yhteydessä suoritetaan mittauksia, joiden pohjalta vaikutuksia voidaan arvioida. Kenttämittaus koostui hieman alle 480 mittauksesta, joiden avulla selvitettiin, miten nopeasti suodattimen tukkeutuminen vaikuttaa alipaineistuskoneiden toimintaan.

Saatujen tulosten perusteella voitiin muodostaa suuntaa antava kuvaaja, joka osoittaa vaihtovälin vaikutus alipaineistuksessa käytettävän laitteen poistoilman määrään. Tulosten avulla pääteltiin, että nykyisellä 2-4 päivän vaihtovälillä ei ole merkittävää vaikutusta poistoilman määrään. Suodattimien vaihtoväliä voidaan tutkimuksen perusteella pidentää jopa seitsemään päivään, mikäli osastossa suoritettavat työvaiheet eivät tuota suurta määrää rakennuspölyä.

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin asiantuntijoiden antamien haastattelujen avulla. Tulevaisuudessa yhä suurempi osa rakennushankkeita tullaan toteuttamaan käyttäen koneellista alipaineistusta pölynhallinnan ratkaisuna ja tästä syystä aihetta käsittelevää materiaalia tullaan tarvitsemaan lisää. Opinnäytetyön pohjalta tullaan tekemään myöhemmässä vaiheessa tiivistetty työohje, joka tulee palvelemaan erityisesti työmaan tarpeita.

LÄHTEET

Air Filter Testing from Filtration Engineering. n.d. Artikkel. Filtration Engineering Ltd:n verkkosivuilla. Viitattu 3.4.2011.

http://www.filtration-engineering.co.uk/air_filter_testing.htm

EN 1822. 2009. New European Standard for HEPA & ULPA Filters.

Hokkanen, V-M. 2010. Alipaineohje Viitaniementie 1 C peruskorjaus 2010. Työohje. PTS-Kiinteistötekniikka Oy.

Hokkanen, V-M. 2011. Rakennusterveysasiantuntija. PTS-Kiinteistötekniikka Oy. Haastattelu 2.8.2011.

Karhu, T. 2010. Työmaan sisäilmaston olosuhdehallinta. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Tekniikan ja liikenteen ala, rakennustekniikan koulutusohjelma.

Kemialliset laitteet. n.d. Hengitysliiton verkkosivuilla. Viitattu 7.11.2011.

<http://www.heli.fi/Hengitysilma/Sisailma/Ilmanpuhdistimet/Kemialliset/>

Koponen, J. 2011. Toimitusjohtaja. PTS-Kiinteistötekniikka Oy. Haastattelu 2.8.2011.

Lifa air pölytön saneeraus. n.d. Esite. Lifa air Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 26.10.2011.

http://www.lifa.net/brochures/fi/polyton_saneeraus_150509_4s.pdf

Seppälä, A. n.d. Pölynhallinnan käsikirja. Viitattu 26.10.2011.

http://www.astq.composer.fi/images/esite/Polyhallinnan_kasikirja.pdf

Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. Sisäilmayhdistys ry.

Ratu 82-0239. 2000. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakenteiden purku. Rakennustieto Oy.

Ratu 82-0237. 2000. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Rakennustieto Oy.

Ratu 82-0347. 2009. Asbestia sisältävien rakenteiden purku. Rakennustieto Oy.

Ratu 1225-S. 2009. Pölyntorjunta rakennustyössä. Rakennustieto Oy.

VNa 205/2009. 2009. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Suomen säädöskokoelma 205/2009.

LIITTEET

Liite 1. Mittaustulokset

Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	KA	
15.7.2011	3	1.krs varasto	HC 4000	17,3	18,5	19	18,6	18,35	
	3	2.krs varasto	HC 2000	9,6	9,4	9,5	8,6	9,275	
	3	2.krs kirjasto	HC 2000	12,6	12,8	14,5	14,6	13,63	
	3	3.krs varasto	HC 2000	ei pääsyä työvaiheitten takia					
	3	3.krs pukutila	HC 4000	18,6	17,15	17,75	17,5	17,75	
Päivämäärä	Vaihtovä Tila		Tyyppi	#1	#2	#3	#4	KA	
15.7.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	17,1	17,5	17,05	17	17,16	
	0	2.krs varasto	HC 2000	10,4	10,6	10,5	11	10,63	
	0	2.krs kirjasto	HC 2000	12,2	14,6	14,35	14,9	14,01	
	0	3.krs varasto	HC 2000	ei pääsyä työvaiheitten takia					
	0	3.krs pukutila	HC 4000	16,4	16,6	16,7	16,4	16,53	
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	KA	
19.7.2011	4	1.krs varasto	HC 4000	16,8	16,9	17,8	17,2	17,18	
	4	2.krs varasto	HC 2000	10,2	10,1	10,1	8,85	9,813	
	4	2.krs kirjasto	HC 2000	13,8	13	12,8	13,1	13,18	
	4	3.krs varasto	HC 2000	9,45	9,95	10	10,1	9,875	
	4	3.krs pukutila	HC 4000	18,1	17,5	17,8	18,4	17,95	
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	KA	
19.7.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	16,8	16,9	17,8	17,2	17,18	
	0	2.krs varasto	HC 2000	11,6	11,5	11,3	10,3	11,18	
	0	2.krs kirjasto	HC 2000	12,8	13,1	13,1	13,0	13,0	
	0	3.krs varasto	HC 2000	14,3	12,7	14,1	13,8	13,73	
	0	3.krs pukutila	HC 4000	18	17,8	18	17,3	17,78	

Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
21.7.2011	2	1.krs varasto	HC 4000	14,4	13,5	13,7	13,1	12,4	13,3	13,1	12,7	13	13	13,22
	2	2.krs varasto	HC 2000	7,55	8,2	8	7,5	7,45	7,55	7,4	7,3	7,1	6,95	7,5
	2	2.krs kirjasto	HC 2000	13,4	13,5	13,5	13,4	13	13,1	13,5	14	13,3	13,4	13,41
	2	3.krs varasto	HC 2000	12,7	12,7	13,1	13,1	13,3	13,4	13,2	13,4	13	13,7	13,16
	2	3.krs pukutila	HC 4000	17,6	16,8	17,4	17,3	17,4	17	17,8	18,8	17,5	17,3	17,49
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
21.7.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	14	13,3	13,4	13,2	13,2	13,6	13,4	13,6	14	14	13,57
	0	2.krs varasto	HC 2000	9,4	8,85	9,7	9,45	9,35	8,6	9,15	9	9,35	9,6	9,245
	0	2.krs kirjasto	HC 2000	10,2	10,5	10,5	11,2	11,8	10,6	11,8	11,1	10,8	11	10,95
	0	3.krs varasto	HC 2000	14,3	13,9	13,5	13,3	11,9	13	13,2	13,1	13,2	12,9	13,23
	0	3.krs pukutila	HC 4000	17,9	17	17,1	18	17,1	17,7	18,2	18,3	17,4	18,6	17,73
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
26.7.2011	4	1.krs varasto	HC 4000							ei pääsytä työvaihteitten takia				
	4	2.krs varasto	HC 2000	10	9,9	9,8	9,6	9,55	10	9,65	10	9,9	9,75	9,815
	4	2.krs kirjasto	HC 2000	13,5	12,5	12,5	12,9	12,8	13	13,4	12,7	13	13,1	12,94
	4	3.krs varasto	HC 2000	10,8	11,8	11,6	11,8	11,9	11,5	11,9	11,3	11,3	11,3	11,52
	4	3.krs pukutila	HC 4000	18,1	18,5	18,2	17,5	17,8	16,8	17,6	18,1	18,2	16,9	17,77
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
26.7.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	17,4	17,1	17,7	18	17,3	16,6	17,2	17,7	17	17,5	17,35
	0	2.krs varasto	HC 2000	10,6	10,9	10,1	10,7	10,9	10,6	10,8	11,5	10,7	10,9	10,77
	0	2.krs kirjasto	HC 2000	9,65	10,7	10,1	9,75	9	8,95	9,25	10	8,8	8,65	9,485
	0	3.krs varasto	HC 2000	12,4	11,8	11,8	11,6	11,5	12,3	11,9	12,1	12,2	12,1	11,97
	0	3.krs pukutila	HC 4000							ei pääsytä työvaihteitten takia				

Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
28.7.2011	2	1.krs varasto	HC 4000	17,2	17,3	16,7	16,9	17,4	16,4	16,4	16,8	17,3	16,3	16,87
	2	2.krs varasto	Valu/piikkaus	9,55	8,95	9,75	9,15	9,2	8,4	8,4	8	8,6	8,25	8,825
	2	2.krs kirjasto	Siivottu	13	13,1	12,4	12,9	11,9	12,5	12,7	12,9	12,6	12,6	12,66
	2	3.krs varasto	Piikkaus	10,4	9,4	10,1	9,7	9,7	10,3	10,8	9,95	10,3	9,95	10,06
	2	3.krs pukutila	Tasoite valettu	16,8	17,3	16,6	16	17,4	16,9	16,9	17,6	17,6	17	17,01
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
28.7.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	16,2	16,8	16,9	16,9	17,6	17,6	16,9	18	17,1	17	17,1
	0	2.krs varasto	Valu/piikkaus	13	12,5	12,4	12,7	12,9	12,2	12,2	11,8	12,1	11,8	12,36
	0	2.krs kirjasto	Siivottu	11	9,65	10,9	10,4	10,3	11,3	11,5	12	10	10,5	10,76
	0	3.krs varasto	Piikkaus	10,8	11,2	11,5	10,8	11,1	10,8	10,8	10,7	10	10,6	10,83
	0	3.krs pukutila	Tasoite valettu	17,8	17,3	17,4	16,7	18	17,2	17,9	18,3	17,7	17,8	17,61
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
2.8.2011	4	1.krs varasto	HC 4000	19,1	19,4	18,9	19,5	19,1	19,3	18,7	19	19,1	19	19,11
	4	2.krs varasto	Valu/piikkaus	5,85	5,45	5,65	6,25	6,25	6,7	6,4	7	5,8	6,6	6,195
	4	2.krs kirjasto	Siivottu	11,1	11	10,8	11,1	11,4	10,8	10,6	11,1	10,9	10,9	10,97
	4	3.krs varasto	Piikkaus	14,5	14,3	14,6	13,9	14	14,4	14,2	14,3	13,9	14,1	14,22
	4	3.krs pukutila	Tasoite valettu	16,2	17,1	17	16,7	16,6	16,7	16,3	16,1	16,7	17,1	16,65
Päivämäärä	Vaihtovä Tila	Työn kuvaus	Tyyppi	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	KA
2.8.2011	0	1.krs varasto	HC 4000	17,5	18,3	17,8	17,8	18,7	17,7	18,5	18,7	18,1	18,4	18,15
	0	2.krs varasto	Valu/piikkaus											ei pääsyä työvaiheitten takia
	0	2.krs kirjasto	Siivottu											ei pääsyä työvaiheitten takia
	0	3.krs varasto	Piikkaus	13,5	12,9	13,3	13,2	13,4	13,1	13,5	13,3	13	13,1	13,23
	0	3.krs pukutila	Tasoite valettu	15,9	16,4	17,2	17,1	17,1	16,4	17	16,6	16,4	16,4	16,65

Liite 2. Mitattujen virtausnopeuksien keskiarvot ja virtausmäärät

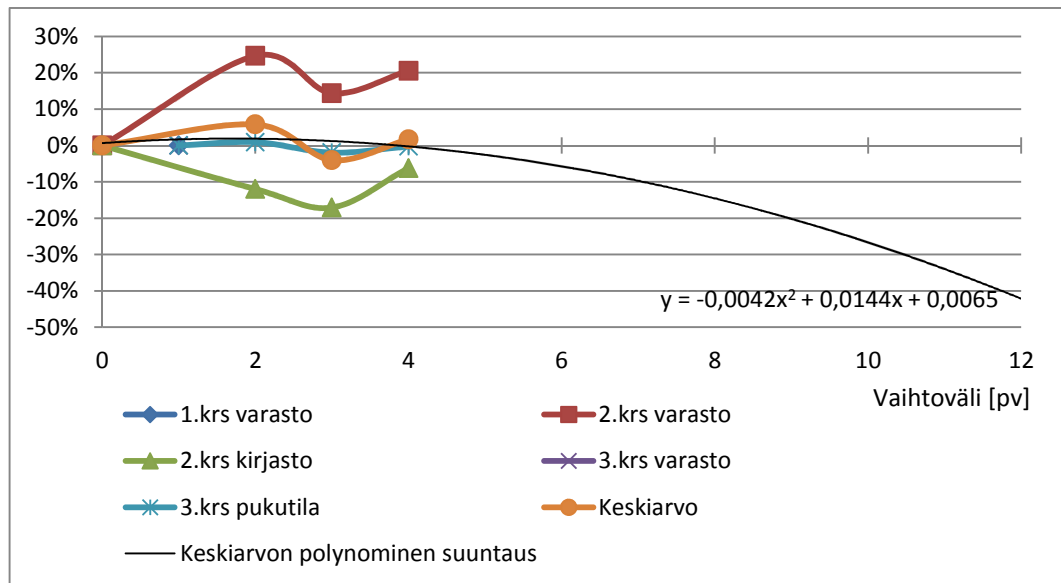
Ilman virtausnopeuksien keskiarvot vaihdosta neljään päivään.
Arvot ovat esitetty metreinä sekunttia kohden.

	Vaihtoväli	0	2	3	4
HC 4000	1.krs varasto	17,06	15,05	18,35	18,14
HC 2000	2.krs varasto	9,88	8,16	9,28	8,61
HC 2000	2.krs kirjasto	11,85	13,04	13,63	12,36
HC 2000	3.krs varasto	12,35	11,61	-	11,87
HC 4000	3.krs pukutila	17,22	17,25	17,75	17,46

Ilman tilavuusvirtojen keskiarvot vaihdosta neljään päivään.
Arvot ovat esitetty kuutioina tuntia kohden

	Vaihtoväli	0	2	3	4
HC 4000	1.krs varasto	4341,48	3828,49	4669,51	4616,70
HC 2000	2.krs varasto	2513,20	2077,10	2360,20	2190,34
HC 2000	2.krs kirjasto	3014,58	3317,00	3467,14	3145,66
HC 2000	3.krs varasto	3142,22	2954,39	-	3020,97
HC 4000	3.krs pukutila	4380,68	4389,59	4516,82	4442,18

Liite 3. Vaihto välin vaikutus poistoilman määrään



Liite 4. Esimerkki poistoilmatehon muutoksista

Käytetään vertailuarvona HC 4000 -laitetta joka sijaitsee 3. kerroksen pukuhuoneessa. Esimerkki laitteen poistama ilmamäärä on suodattimen vaihdon jälkeen 4381 m³/h.

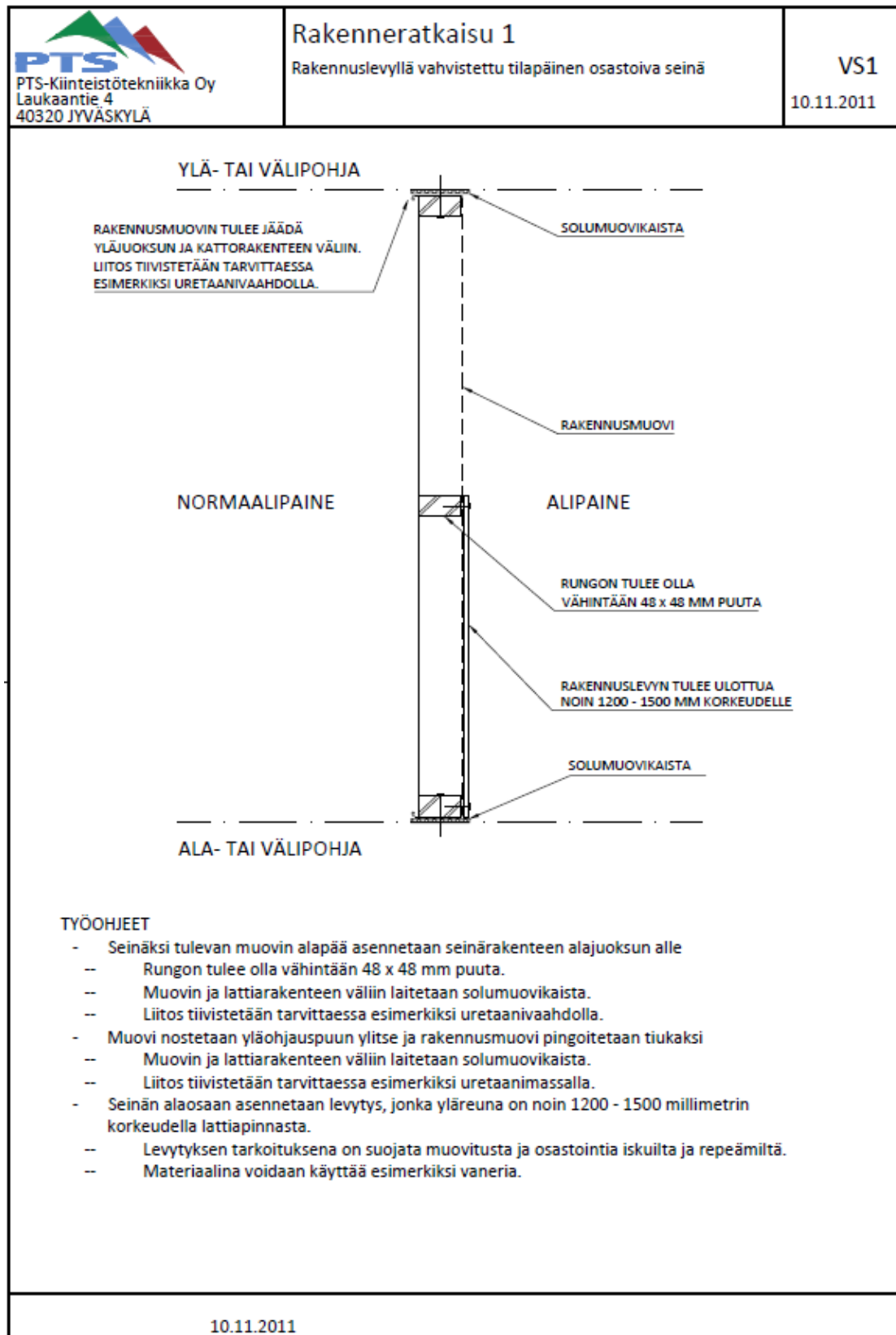
Taulukossa käytetään edellisistä laskuista saatua poistoilman tehon laskun funktiota:
 $y = -0,0042x^2 + 0,0144x + 0,0065$

Ajanjakso [pv]	Ilmamäärä [%]	Ilmamäärä [m ³ /h]
0	-	-
1	100 %	4397
2	101 %	4405
3	100 %	4376
4	98 %	4310
5	96 %	4208
6	93 %	4068
7	89 %	3892
8	84 %	3679
9	78 %	3430
10	72 %	3143
11	64 %	2820
12	56 %	2460
13	47 %	2063
14	37 %	1629
15	26 %	1159
16	15 %	651
17	2 %	107

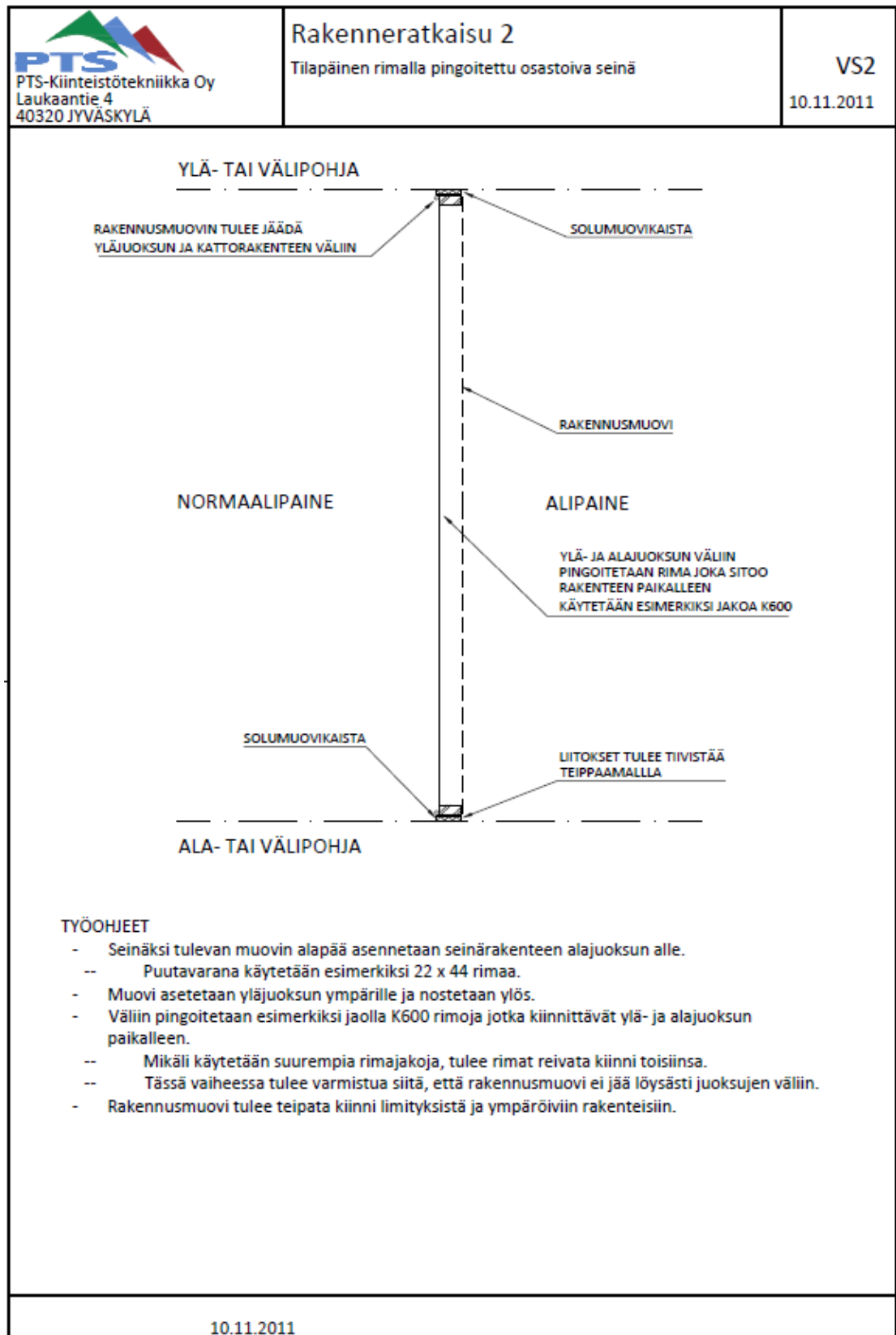
x = ajanjakso

y = ilmamäärän suhteellinen muutos tarkasteltavaa ajanjaksoa kohden

Liite 5. Rakeneratkaisu 1



Liite 6. Rakenneratkaisu 2



Liite 7. Rakenneratkaisu 3

