

Virpi Hauhia

KOHDEPOISTOJEN AIHEUTTAMAT PAINE-EROT TEKNISISSÄ LUOKISSA

KOHDEPOISTOJEN AIHEUTTAMAT PAINE-EROT TEKNISISSÄ LUOKISSA

Virpi Hauhia
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Virpi Hauhia

Opinnäytetyön nimi: Kohdepoistojen aiheuttamat paine-erot teknisissä luokissa

Työn ohjaaja: Mikko Virpi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 45

Käsityöt ovat keskeinen oppiaine suomalaisessa peruskoulussa. Opetushallituksen mukaan käsityöt ovat monimateriaalinen oppiaine, jossa toteutetaan käsityöilmaisuuksiin, muotoiluun ja teknologiaan perustuvaa toimintaa. Materiaaleina käytetään muun muassa puuta, kankaita ja muoveja, joiden työstäminen tuo tilaan epäpuhtauksia, pölyä ja kemikaaleja. Näiden poistaminen yleisilmanvaihdolla ei ole mahdollista, joten teknisiin tiloihin tarvitaan kohdepoistoja. Kohdepoistoja käytettäessä tilasta lähtee suuri määrä poistoilmaa, jonka korvaaminen täytyy suunnitella tarkasti.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kirjallisuuskatsaus, jossa olisi teoriasisältöä ja -lähteitä uusille suunnittelijoille kohdepoistojen aiheuttamien painesuhteiden hallintaan ja teknisten luokkien ilmanvaihdon suunnitteluun. Työssä tarkasteltiin teoriapohjaisesti paine-erojen syntyyn vaikuttavia tekijöitä ja kuinka suuria paine-eroja voitaisiin ehkäistä ilmanvaihdon suunnittelun avulla. Taustatyössä käytettiin mahdollisimman laajasti ilmanvaihdon suunnitteluun liittyvää lainsäädäntöä, määräyksiä ja asiasta tehtyjä tulkitsevia asiakirjoja.

Koska usein LVI-suunnittelija ei saa pitkän ajan palautetta kohteensa suunnittelusta, otettiin työssä tarkasteluun myös käytännön näkökulma. Tämä näkemys saatiin Oulun peruskoulun teknisten luokkien kohdekäynneillä, joissa haastateltiin kahta alan ammattilaista. Haastattelussa keskityttiin käytännön onnistuneisiin ilmanvaihtoratkaisuihin ja ongelmiin, jotta niitä voitaisiin huomioida tulevaisuuden suunnittelussa. Haastatteluissa tuli selkeästi ilmi, että suunnittelussa tulee tilojen todellinen käyttö huomioida tarkasti. Koulujen tilat ovat usein muun muassa opistojen iltakäytössä, jolloin työskentely voi olla paljon laajamittaisempaa kuin ala-asteen oppilaiden valvottu ja rajattu toiminta. Tällöin pienempään toimintaan suunnitellut kohdepoistoratkaisut eivät ole riittävät, vaan voivat aiheuttaa kohdepoistojen toimimattomuutta, tilaan leviäviä epäpuhtauksia ja pahimmillaan pölyräjähdysvaaran.

Työn toimeksiantaja oli Sweco Finland Oy Oulun yksikkö. Teorian, kohdekäyntien ja haastattelujen pohjalte tehtiin yhteenvedot korvausilman järjestämisen ratkaisuvaihtoehdoista sekä niiden toimivuudesta. Työtä on tarkoitus käyttää perehtymisen tukena ja mahdollisesti tulevaisuudessa yhteisen ohjeistuksen laatimiseen.

Asiasanat: Kohdepoistot, korvausilma, paine-erot, siirtoilma, tekniset luokat yleisilmanvaihto

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building Services, HVAC Design

Author: Virpi Hauhia

Title of thesis: Pressure Differences in Technical Classes Due to Local Exhaust Ventilation Systems
Supervisor: Mikko Virpi

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 45

The purpose of this thesis was to find information content and sources for new designers to manage pressure differences caused by local exhaust ventilation systems. The work examined theoretically the factors influencing the formation of pressure differences and how large pressure differences could be prevented in ventilation design. Legislation, regulations, and interpretative documents related to ventilation design were used as extensively as possible in the background work.

Since HVAC designers do not often receive long-term feedback on the design of their site, a practical perspective was also taken into account in the work. This view was obtained during site visits to technical classes at Oulu Comprehensive School, where two professionals in the field were interviewed. The interview focused on practical successful ventilation solutions and problems. The interviews clearly showed that the actual use of the premises must be carefully considered in the design. School facilities are often used, for example, by folk high schools, which means that the work can be much more extensive than the supervised and restricted activities of primary school pupils. In this case, the local exhaust ventilation solutions designed for smaller operations are not sufficient and may cause the local exhaust ventilation to not work, pollutants spreading into the space and, at worst, the risk of a dust explosion.

The project was commissioned by the Sweco Finland Oy Oulu unit. In addition to a theoretical review, they wanted practical views on functional solutions and potential problems in technical facilities.

Keywords: local exhaust ventilation systems, make-up air, pressure difference, technical classes

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOULUJEN TEKNISTEN LUOKKIEN VAATIMUKSET	7
2.1	Yleiset turvallisuusvaatimukset	7
2.2	Sisäilmastoluokitus 2018	8
2.3	Sisäilmaa haittaavat tekijät	11
2.3.1	Puupöly	12
2.3.2	Kemikaalit	12
2.4	ATEX-lainsäädäntö teknisissä luokissa	13
3	ILMANVAIHDON SUUNNITTELU	15
3.1	Yleisilmanvaihto	15
3.1.1	Paloturvallisuus	18
3.1.2	Alipaine	18
3.1.3	Ylipaine	19
3.2	Kohdepoistot	20
3.2.1	Korkea ja matalapainejärjestelmät	25
3.2.2	Teknisten luokkien kohdepoistoja tilakohtaisesti	26
3.2.3	Purunpoisto	28
4	PAINE-EROJEN HALLINTA ILMANVAIHDON SUUNNITTELUSSA	30
4.1	Paine-erojen hallinta tiiviissä rakennuksessa	30
4.2	Paine-erojen säätäminen vaativissa kohteissa	32
4.3	Teknisten tilojen paine-erojen hallintavaihtoehtoja	32
4.3.1	Kompensointi tuloilmaa lisäämällä	33
4.3.2	Tuloilman tehostus sekä yleispoiston vähentäminen	34
4.3.3	Kohdepoistot omalla ilmanvaihtokoneella	34
4.3.4	Korvausilma tuodaan siirtoilmana	34
5	KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET ERILAISILLA ILMANVAIHTOSUUNNITELMILLA	35
5.1	Kysymykset	35
5.2	Anonymisointi	36
5.3	Haastattelujen yhteenveto	36
6	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Ilmanvaihdon suunnittelussa on keskeistä saada järjestelmä tulo- ja poistoilman suhteen tasapainoon. Koulujen teknisten aineiden tiloissa on työpisteitä, jossa syntyy mittavia määriä pienhiukkasia ja muita yhdisteitä, jotka ovat pitkällä tai suurilla altistuksilla hengityselinten vaurioita aiheuttavia tekijöitä. Teknisiin luokkiin asennettavat kohdepoistot aiheuttavat yleisilmanvaihdon kanssa epätasapainossa ollessaan paine-eroja, jotka pitkittyessään saattavat vaarantaa sisäilmanlaatua. Tämän työn tarkoituksena on tarkastella teorian ja käytännön pohjalta suunnittelussa tehtyjä ratkaisuja. Tällä hetkellä yhtenäistä linjaa suunnittelun perustaksi ei ole, vaan ratkaisuvaihtoehtoja on useita.

Työssä tehdään laaja teoriakatsaus koulujen sisäilman laatua ohjaavaan lainsäädäntöön, ilmanvaihdon perusteisiin ja niiden ratkaisuvaihtoehtoihin. Lainsäädäntö ohjaa koulujen sisäilman terveellisuuden lisäksi työturvallisuutta. Painesuhteiden hallintaan ja siihen vaikuttaviin tekijöihin perehdytään lakien ja asetusten pohjalte tehdyillä tulkitsevilla asiakirjoilla.

Lopuksi haastatellaan kahta asiantuntijaa ja kartoitetaan heidän kokemuksiaan Oulun alueen koulujen teknisten luokkien ilmavaihtoratkaisujen toimivuudesta. Suunnitteluratkaisusta tehdään esimerkkejä, joiden toimivuutta voidaan peilata käytännön osuuteen. Työn tarkoituksena ei ole valita, mikä ratkaisusta on paras, vaan antaa vaihtoehtojen esittelyn lisäksi kokemusperäinen näkemys, jotta suunnittelijalla olisi mahdollisuus perustaa ratkaisuvaihtoehtonsa konkreettiseen tietoon.

Työn aihe tehdään yhteistyössä Sweco Finland Oy:n Oulun toimiston kanssa. Tällä työllä toivotaan olevan ohjaavia linjoja uudelle suunnittelijalle, jotta kohdepoistoja sisältävässä suunnittelussa olisi samansuuntaisia ohjeistuksia.

2 KOULUJEN TEKNISTEN LUOKKIEN VAATIMUKSET

Koulujen teknisten tilojen suunnitteluun liittyy monien lakien ja asetusten huomioiminen. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan teknisten luokkatilojen ilmanvaihtoa ja sen suunnittelua ohjaavaa lainsäädäntöä ja ohjeistusta. Opetussuunnitelmat määrittävät eri luokkatasojen pedagogiset vaatimukset, mukaan lukien tekniset käsityöt. Jotta näihin tiloihin hankittavien laitteistojen käyttö on turvallista, tulee kaikki lait ja määräykset huomioida myös ilmanvaihdon suunnittelussa.

Teknisten käsityöluokkien tilojen suunnittelu- ja rakennusvaiheessa huomioidaan niiden erityisvaatimukset. Tilojen täytyy olla turvalliset, riittävän tilavat ja sisäilmaltaan niin puhtaat kuin mahdollista. Tilojen tulee olla näkyvyydeltään avoimet ja tarvittaessa väliseiniin ja oviin laitetaan ikkunoita esteettömän näkyvyyden takaamiseksi. Tämä johtuu opettajalla olevasta valvontavelvollisuudesta, joka sisältää silmälläpidon alaisen työskentelyn, jossa opettajalla täytyy olla näköyhteys sekä silmällä pidettävää työvaihetta suorittavaan oppilaaseen että muuhun opetusryhmään. Lisäksi valvontavelvollisuuteen kuuluu välittömän valvonnan alainen työskentely, jossa opettajan tulee olla yksittäisen työvaiheen aikana oppilaan välittömässä läheisyydessä, kun työskentely sisältää nuorille työntekijöille vaaralliseksi katsottuja työvaiheita. Näillä säädöksillä pyritään minimoimaan koneista ja laitteista johtuvat vaaratekijät. Koska luokkien toiminta on sellaista, ettei pölyämistä voida estää, pitää oikeanlaisella ilmanvaihdon ja erityispoistoilla puu-, metalli-, muovi- tai kangastöistä johtuvat epäpuhtaudet voida poistaa ja estää niiden leviäminen muihin tiloihin. (1.) LVI-suunnittelijan vastuulla on jo koulun hankevaiheessa selvittää tiloihin tulevien laitteiden ja koneiden tuottamat epäpuhtaudet ja niiden vaatimat erillispoistojen määrät ja tekniset vaatimukset.

2.1 Yleiset turvallisuusvaatimukset

Ennen teknisten tilojen käyttöönottoa oppilaitoksissa tulee tehdä vaarojen selvitys ja arviointi. Selvityksessä arvioidaan vaarojen mahdollisuus työvaiheittain sekä arvioidaan, mitä koneita kullakin asteella voidaan käyttää. Kokonaisarviointi perustuu työturvallisuuslakiin ja se päivitetään aina opetussuunnitelman muuttuessa tai uusia työtapoja aloitettaessa. (2, 10 §; 3, s. 3.) Lisäksi koulujen tulee huolehtia, ettei nuorelle aiheuteta erityistä tapaturmavaaraa tai terveyshaittaa (4, 9 §). Työturvallisuuslain 33 § määrää, että työntekijöillä ja opiskelijoilla tulee olla kelvollista hengitysilmaa,

joka saadaan suunnittelemalla riittävän tehokas ja tarkoituksenmukainen ilmanvaihto. Lisäksi fysi-
kaalisia, kemiallisia ja biologisia altistumistekijöitä koskevia vaatimuksia ja niiden toimenpiderajoja
käsitellään Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista.
Toimenpiderajat löytyvät haihtuville orgaanisille yhdisteille, formaldehydille, hiilimonoksidille ja
hiukkasmaisille epäpuhtauksille. (5, 15–19 §.)

2.2 Sisäilmastoluokitus 2018

Puhtaan sisäilman takaamiseksi on Suomessa tehty velvoittavaa säädäntöä. Sisäilmastoluokitus
2018:ssa on asetettu tavoitteita erityisesti uudisrakennuskohteiden sisäilmaston suunnitteluun.
Näiden määräysten kohteina ovat tavanomaiset työ- ja asuintilat, kuten koulut, päiväkodit ja asuin-
rakennukset. Tavoitteena on S1- ja S2-luokkien tasoinen rakentaminen, joka takaa määräystasoa
paremman sisäilmastotason. (6.)

Sisäilmaluokitus 2018 antaa tavoitetasot sisäympäristön tekniset tavoitearvot rakennuksen käytön
aikana. Ilmanvaihdon suunnitteluun vaikuttavat tavoitearvot liittyvät lämpötiloihin, ilmanlaatuun ja
ilman liikenopeuteen. Sisäilmaluokituksessa on määritetty myös äänitasoihin ja valaistukseen liitty-
vät vaatimukset. Taulukossa 1 määritellään S1-S3- luokkien kriteerit lämpöolosuhteille. Tavoitear-
vot koskevat huonetilan oleskeluvyöhykettä. Oleskeluvyöhyke on korkeussuunnassa lattiasta 1,8
metriin sekä alkaa 0,6 metrin etäisyydeltä seinistä. (6, s. 5.)

TAULUKKO 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokituksissa (6, s. 6)

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	21
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$< 22,5 + 0,166 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$> 20,5 + 0,075 \times t_u$	$> 20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$< 23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

Taulukossa 2 tarkastellaan ilman liikenopeuden tavoitearvoja. Tavoitearvot ovat samat oleskelutilan mukaiset lukuun ottamatta työpistettä, jossa mitataan 0,1 ja 1,1 metrin korkeudelta. Taulukossa tarkasteltu draft rate kuvaa vetoa aistivien osuutta lämpötilasta, ilman keskinopeudesta ja turbulenssiasteesta. Lämpötilalla t_{ilma} tarkoitetaan liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelupisteessä. (6, s. 5–7.)

TAULUKKO 2. Ilman liikenopeuden tavoitearvot (6, s. 7)

	S1	S2	S3
Vetoa aistivien osuus, draft rate (DR) [%]	10	15	
Ilman liikenopeus [m/s]			
$t_{ilma} = 21$ °C	< 0,15	< 0,15	0,2 (talvi)
$t_{ilma} = 23$ °C	< 0,15	< 0,20	
$t_{ilma} = 25$ °C	< 0,2*	< 0,25*	0,3 (kesä)*

Hiilidioksidin määrä on yksi sisäilman laadun arvoista. Tavoitetasot koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia. Olosuhteiden pysyvyyttä tarkastellaan hiilidioksidipitoisuuden yhden tunnin liukuvana keskiarvona. Taulukossa 3 tarkastellaan hiilidioksidin tavoitearvojen lisäksi ilmankosteutta, radonpitoisuutta sekä pienhiukkasten tavoitearvoja. (6, s. 7.)

TAULUKKO 3. Sisäympäristön laadun tavoitearvot (6, s. 8)

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

Akustisten äänitasojen tarkastelu tehdään joko 1,2 tai 1,5 metrin korkeudelta lattiasta. Taulukossa 4 on opetustilojen akustisten suureiden tavoitearvoja. Ääniolosuhteet suunnitellaan standardin SFS 5907 *Rakennusten akustinen luokitus* mukaisesti. Tilan akustinen luokka valitaan tilakohtaisesti. (6, s. 5–7.)

TAULUKKO 4. Esimerkkejä akustisten suureiden tavoitearvoista (6, s. 8)

Tila ja suure	Merkintä	Yksikkö	S1	S2	S3
Opetustila					
Äänitasoeroluku luokkien välillä ja luokasta käytävään, kun välissä ei ole ovea	$D_{nT,w}$	dB	≥ 48	≥ 44	≥ 44
Äänitasoeroluku luokkien välillä ja luokasta käytävään, kun välissä on ovi	$D'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$	dB	≥ 39	≥ 34	≥ 34
Askeläänitaso ympäristöstä	$L'_{nT,w}$	dB	≤ 63	≤ 63	≤ 63
Jälkikaiunta-aika(1,5)	T	s	0,4–0,6	0,5–0,7	0,5–0,7
Puheensiirtoindeksi(3,5)	STI	-	≥ 0,75	≥ 0,70	≥ 0,70
LVIS-laitteiden äänitaso	$L_{A,eq}$	dB	≤ 30	≤ 33	≤ 33
Rakennusten ulkopuolisten lähteiden äänitaso	$L_{A,eq07-22}$	dB	≤ 30	≤ 35	≤ 35

Taulukossa 5 on valaistuksen tavoitearvoja. Valaistus suunnitellaan standardin SFS-EN 12464-1 mukaisesti. S1- luokan työpisteiden tulee olla käyttäjän säädettävissä. (6, s. 9.)

TAULUKKO 5. Esimerkkejä valaistussuunnittelun tavoitearvoista (6, s. 9)

	S1	S2	S3
Valaistusvoimakkuus, työalue [lx]	> 500	> 500	-
Valaistusvoimakkuus, lähialue [lx]	> 300	> 300	-
Häikäisyindeksi UGR _L	< 19	< 19	-
Värintoistoindeksi R _a	> 80	> 80	-

Yleisilmanvaihtoa suunnitellessa valaistusta lukuun ottamatta kaikki osiot täytyy huomioida. Suomen suurimmat julkisten palvelurakennusten omistajat ohjeistavat, että koulujen talotekniikkasuunnittelussa käytettäisiin sisäilmastoluokituksen S2-luokan ulkoilmavirran ohjearvoja (7, s. 12).

2.3 Sisäilmaa haittaavat tekijät

Sisäilmassa on aina jonkin verran epäpuhtauksia. Suurin osa ei aiheuta terveydellistä haittaa, mutta osa on terveyttä haittaavia yhdisteitä tai pölyjä. Pitkäaikainen ja liiallinen altistuminen pölyille voi johtaa työkyvyttömyyteen. Lisäksi pöly voi aiheuttaa pölyräjähdyksiä ja tulipaloja. Epäpuhtaudet voivat olla ulkoilmasta, materiaaleista, ihmisistä tai rakenteista. Niitä voi syntyä myös huonetiloissa olevasta toiminnasta. Jos epäpuhtauslähteitä ei voida poistaa, tulee ilmanvaihdon riittävyys ja sisäilman laatu ratkaista teknisin keinoin mahdollisimman hyväksi. (8, s. 5.)

Teknisissä käsityöluokissa on monia syitä sisäilman epäpuhtauksien syntyyn. Tekstiilitöiden sisäilmarasite on kangaspöly, mutta sen poistamiseen turvallisesti riittää tehostettu yleisilmanvaihto ja asianmukainen siivous. Pieniä kohdepoistoja voidaan käyttää, mikäli tiloissa tehdään värjäämistä, maalaamista tai muuta vastaavaa, joista voi tulla mahdollisia kemikaalihaittoja. Puu-, metalli- ja muovitoissa syntyy huomattavia epäpuhtauksia, jotka voivat tarvita suuriakin kohdepoistoja. Vaikka epäpuhtauksia voidaan nykyisin arvioida paremmin erilaisten raja-arvojen kautta, on niiden käyttö ilmanvaihdon suunnittelussa vain suuntaa antavaa. Niitä tulee kuitenkin käyttää, jotta rakennus täyttää sisäilman laadulle asetetut vaatimukset. Ilman epäpuhtauksien mittaaminen on työlästä,

joten siihen kannattaa ryhtyä vain, jos epäillään jonkun tietyn aineen pitoisuuden olevan korkealla. (8, s. 6.)

2.3.1 Puupöly

Teknisissä luokkatiloissa syntyy puun käsittelyn seurauksena valtava määrä puupölyä ja hiukkasia. Pölyksi määritellään kaikki kiinteät partikkelit, joiden halkaisija on 1–100 µm, ja ne voivat olla ilmassa leijuvia riippuen niiden alkuperästä, fysikaalisista ominaisuuksista tai ympäristön olosuhteista (9, s. 2). Hiukkasten vaikutus riippuu suuresti niiden koosta. Suuret hiukkaset eivät leijaile pitkään eivätkä ne pääse syvälle hengitysteihin. Pienet halkaisijaltaan alle 2,5 µm:n hiukkaset pääsevät hengitysteiden lisäksi jopa verenkiertoon. Kaikista pienimpien ja vaarallisimpien alle 0,5 µm:n hiukkasten torjunta on erittäin vaikeaa. (8, s. 6.)

Koska puupölylle altistumisen on todettu olevan terveyshaitta, puutöissä käytetään pääasiassa kotimaisia puumateriaaleja. Sosiaali- ja terveysministeriö on tehnyt julkaisun Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet (HTP), jossa määritellään HTP-arvot 8 tunnin aikapainotettuna keskiarvona. Nämä arvot ovat ilman epäpuhtauksille asetettuja arvoja, jotka täytyy ottaa huomioon vaarojen selvittämisessä ja arvioimisessa. Esimerkiksi puupölylle kahdeksan tunnin aikapainotettu arvo on 2 mg/m³. Opetushallituksen työturvallisuusoppaan mukaan peruskoulussa raja-arvo pyritään pitämään 1 mg/m³ kahdeksan tunnin aikapainotettuna arvona. Julkaisun liitteessä on listattu myös HTP-arvot käsityötunneilla käytettäville muoveille ja kemikaaleille. (10, s. 10, 47.)

2.3.2 Kemikaalit

Kemikaaleja voi levitä ilmaan eri materiaalien työstöistä. Suomessa terveydelle vaaraa aiheuttavia kemikaaleja rajoitetaan tiukasti lainsäädännöllä. Hionnasta, juottamisesta, maalaamisesta ja muusta vastavasta työskentelystä voi kuitenkin tulla ilmaan kemikaaleja, joiden joutumista elimistöön tulee hallita ilmanvaihdoilla. Formaldehydi voi suurina määrinä olla terveydelle vaarallista. Sitä vapautuu muun muassa maaleista, lakoista, itsesiliävistä kankaista ja lastulevyistä. (8, s. 6.)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC:t esiintyvät yleensä sisäilmassa kaasumaisina. Raskaamat orgaaniset yhdisteet ovat haitallisia, koska ne saattavat sitoutua sisäilman pienhiukkasiin. Sisäilmasta on mitattu myös erittäin haitallisia orgaanisia yhdisteitä, kuten aromaattisia ja polyaromaattisia hiilivetyjä, esimerkiksi styreeniä. Sahauksessa ja muussa puumateriaalien käsittelyssä ilmaan voi tulla orgaanisia epäpuhtauksia terpeenejä. Korkeat terpeenipitoisuudet voivat aiheuttaa päänsärkyä sekä silmien ja hengitysteiden ärsytystä. Otsonia eli hapen aktiivista isotooppia voi sisätiloissa syntyä lasertulostimista, kopiokoneista tai vastaavista laitteista. Se voi aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä ja pitkäaikaisena altistuksena astmaa. (8, s. 6.)

Radon on maaperässä tapahtuvan luonnollisen radioaktiivisen uraanin hajoamisen tulos. Se on hajuton kaasumainen aine ja se tuottaa kiinteitä radioaktiivisia hajoamistuotteita, jotka hengitysteihin joutuessaan aiheuttavat terveyshaittoja. Sisäilmaan radonia pääsee maanvastaisten rakenteiden epätiiviyksistä. Vaikka radonin poistamisen tekniset ratkaisut tehdään jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa, tulee alimpien kerrosten tiloissa kiinnittää huomiota liiallisen alipaineisuuden estämiseen. (8, s. 6.)

Teknisten tilojen materiaalien käsittelyssä on monia muitakin haitta-aineita. Muovien pehmentäjänä käytettävillä ftalaateilla uskotaan olevan haitallisia vaikutuksia ihmisiin. Muovien valmistuksessa käytetään usein myös bentseeniä, joka haihtuu ilmaan hyvin helposti. (8, s. 6.)

2.4 ATEX-lainsäädäntö teknisissä luokissa

ATEX-lainsäädäntö koskee räjähdysvaarallisia tiloja ja tiloissa käytettäviä laitteita. Kansallisella lainsäädännöllä tätä on ohjattu jo vuodesta 1996, mutta EU:n yhteinen direktiivi tuli voimaan vuonna 2003. Jos kohteessa on syttyviä nesteitä, kaasuja tai pölyä, jotka voivat aiheuttaa räjähdysvaaran, tulee ATEX-direktiivi huomioida. Direktiivi koskee myös räjähdysvaarallisessa tilassa (Ex-tila) tai käytettävällä laitteella (Ex-laite) työtä tekeviä sekä tilaa rakentavia ja suunnittelevia ihmisiä. Ennen käyttöönottoa ATEX-tiloille tulee tehdä arviointi, jossa tunnistetaan vaarat ja niille alttiiksi joutuvat ihmiset sekä arvioidaan riskin määrä ja voidaanko sitä poistaa. Jos riskiä ei voida kokonaan poistaa, tulee sitä vähentää ja saada hallintaan. Arvioinnissa tarkastellaan laitteiden käytöstä johtuvia riskejä, mahdollisia syttymislähteitä ja tilanteita, missä mahdollinen räjähdysvaarallinen ilmaseos voi syntyä. Näiden toimien tarkoituksena on taata lainsäädännön edellyttämä ihmisten suojele. (11, s. 3–6.)

Osa pölylaaduista voi muodostaa räjähtävän seoksen ilman kanssa. Pölyräjähdysten aiheuttavia pölylaatuja ovat orgaaniset pölyt sekä metalli- ja muut hapettuvat pölyt. Räjähdysvaara voi syntyä, jos pölyn pitoisuus ilmassa ylittää 10 g/m³. Millimetrin paksuinen hienojakoinen pölykerros yhden metrin korkuisena pölypilvenä voi räjähtää. (9, s. 5, 35.) Teknisten luokkatilojen käytönotolle oli ehtona vaarojen arviointi, ja pölyräjähdysten todennäköisyyden pienentäminen on ensisijainen tavoite. Tiloissa, joissa käsitellään puuta, tulee olla ATEX-määräysten mukaiset kohdepoistot. Tiloissa syntyvä puupöly, -lastut ja muu hieno materiaali poistetaan purunpoistojärjestelmällä, jonka keräyskontti tai -tila on rakennuksen ulkopuolella. Järjestelmä varustetaan pölyräjähdysten varalta paineenpurkauskanavalla. Koneisiin laitetaan myös automaatiojärjestelmät, joka estää puupölyä aiheuttavan koneen käytön, jos pölynkeräystila on täynnä. (1.)

3 ILMANVAIHDON SUUNNITTELU

Ilmanvaihdolla poistetaan sisäilmasta epäpuhtauksia ja tuodaan tilalle puhdasta ilmaa. Ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla tilojen käyttötarkoitukseen nähden riittävä, ja ulkoilmavirran on oltava riittävän puhdasta. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihdolta voidaan edellyttää suurempia ilmamääriä kuin asumisterveysasetuksen 9 ja 10 §:ssä on määritelty, jos tiloissa harjoitettu toiminta aiheuttaa suuremman epäpuhtaus- tai kosteuskuormituksen. (12, s. 15.) Ilmanvaihdon suunnittelussa tulee ilman määrän lisäksi huomioida käyttöajat, jotta energiankulutus olisi optimaalinen, mutta saavutettaisiin tavoitetasojen mukainen ilmanlaatu.

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta määrätään raamit ilmanvaihdon suunnitteluun ja rakentamiseen. Se määrää, että ilmanvaihtojärjestelmän keskeisiä toimintoja pitää voida mitata, ohjata ja seurata. Järjestelmän tulee kestää oikein käytettynä, huollettuna ja kunnossapidettynä koko suunnitellun käyttöiän sekä olla kokonaisuudessaan pysäytettävissä. (13, 8 §.)

3.1 Yleisilmanvaihto

Koulujen ilmanvaihdon mitoittamiseen vaikuttaa valittu sisäilmaluokitus. Lähtökohta on kuitenkin, että ulkoilmavirta on henkilöperustainen. Koulujen teknisten luokkien kohdalla ulkoilmavirta on vähintään 8 dm³/s/hlö. (14, s. 9). Teknisten käsityötilojen suunnittelussa tulee huomioida suurempi henkilömitoitus. Ryhmäkoko suurimpien tilojen kohdalla on 12–16 oppilasta, mutta mitoitus tehdään yli 30 ihmiselle eli paljon suuremmaksi. (1.) Yleisilmanvaihto suunnitellaan tasapainoon, mutta paikallispoistojen vaatima lisäilmavirta voidaan hallitusti tuoda puhtaudeltaan samanarvoisista tai puhtaammista tiloista (14, s. 9).

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käyttöön on tehty ohjeistus, jonka tarkoitus on antaa ohjeet ilmanvaihdon käyttöajoista ja määristä. Julkisten palvelurakennusten, joiden käyttöaika on päivä- ja iltakäyttöä, ilmanvaihtoa voidaan säädellä energian säästämiseksi. *Vakioilmavirtajärjestelmässä* eli CAV:ssa (Constant air volume system) ilmanvaihto on mitoitettu henkilö- tai pinta-alaperusteisesti ja sen toiminta käynnistyy mitoitusteholle 2 tuntia ennen rakennuksen käyttöajan alkamista. Järjestelmää käytetään rakennuksissa, joissa ei tyypillisesti ole muuttuvaa kuormitusta

olosuhteiden tai käyttäjien osalta. Jos henkilökuormitus on huomattavan paljon pienempi, käytetään osatehoa. *Tarpeen mukaan säätävässä eli muuttuvaimavirtaisessa eli VAV (Variable Air Volume System) -järjestelmässä* ilmanvaihto käynnistetään myös kaksi tuntia ennen käyttöajan alkamista, mutta järjestelmä siirtyy käyttöajan alkaessa tarpeenmukaiseen ohjaukseen, jossa ilmanvaihto tehostuu lämpötilan, hiilidioksidipitoisuuden tai läsnäolon perusteella. Uudemmissa järjestelmissä yleisilmanvaihdon ja erillispoistojen säätö tehdään portaattomasti taajuusmuuttajaohjauksella, jolloin ilmavirrat pysyvät suunnitteluarvojen rajoissa. (7, s. 5, 23.) Lisäksi opetushallituksen teknisten tilojen suunnitteluoppaassa määritellään, että käsityötilojen lämpötilan tulee pysyä 18–26 asteen välillä ja kuivaamiseen käytettävien tilojen lämpötila tulee saada 28 asteeseen lisämitoituksella.

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeistuksessa määritellään myös koulurakennusten käytön ulkopuolista ilmavaihtoa. Yleisilmanvaihdon käyntiaika päättyy 1–2 tuntia palvelualueen käyttöajan jälkeen. Erillispoistoja kuten ryömintätilallisten alapohjien, radontuuletusjärjestelmien, putkitunnelien, hissien ja jätehuoneiden, myrkkukaappien, akkutilojen ja kemikaalitilojen erillispoistoja ei saa pysäyttää käyttöajan ulkopuolellakaan. (7, s. 5.) Näiden erillispoistojen määrä tulee kompensoida tarvittavalla tuloilmalla myös käyttöajan ulkopuolella, jottei synny liiallista alipaineisuutta. Opetushallituksen teknisten tilojen suunnitteluoppaassa todetaan myös, että kesäaikana ilmanvaihtoa pitää pystyä säätämään, jotta varastossa olevat materiaalit eivät kostu.

Jos ilmavirtojen määrää ei voida määritellä henkilöperusteisesti, käytetään pinta-alaan perustuvaa mitoitusta. Sitä käytetään ainoastaan, jos tilan käyttäjämäärästä ei ole tietoa. Ulkoilmavirran täytyy kuitenkin olla vähintään $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s) / m}^2$ koko rakennuksen lattiapinta-alaa kohden. Tavanomaisen rakennusten ulko- ja ulospuhallusilmavirrat suunnitellaan yleensä yhtä suuriksi, mutta sisällä tilakohtaiset ilmavirrat voivat olla erisuuruiset. Suurissa rakennuksissa ilmanvaihto on jaoteltu palvelualueisiin, joiden kokonaisvirtaamien tulee olla tasapainossa. (15, s. 17.) Poistot keskitetään ensisijaisesti hygieniatiloihin ja sellaisiin opetustiloihin, joissa on poikkeavia haju-, epäpuhtaus- tai muita kuormia (14, s. 9).

Tilojen ilmanvaihdon yhdistämisessä täytyy ottaa huomioon poistoilmaluokat. Taulukossa 6 määritellään tilojen epäpuhtauksien määrät luokissa 1–4 ja se, kuinka niitä voidaan suunnittelussa kiertää ilmanvaihdoissa. Teknisten tilojen poistoilma luokitellaan joko luokkaan 3 tai 4. Asetuksessa rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdoista pykälässä 15 sanotaan yksiselitteisesti, ettei palautusilmana saa käyttää poistoilmaluokkien 2, 3 ja 4 ilmaa. Saman pykälän mukaan kouluissa ei saa

palautusilmaa käyttää ollenkaan tuloilmana. Luokan 3 poistoilma johdetaan ulos erilliskanavalla tai ilmanpuhtaudeltaan samantyyppisiä tiloja palvelevalla yhteiskanavalla, kokoojakanavalla tai viemällä poistoilmakammioon. Luokan 4 poistoilma johdetaan aina ulos erillisellä poistoilmakanavalla. (13, 13 §, 18 §.)

TAULUKKO 6. Poistoilmaluokat, niiden käytön rajoitukset ja esimerkkejä (15, s.27)

Poistoilma-luokka	Käytön rajoitus	Tilaesimerkkejä
Luokka 1	Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajukuormitusta
Luokka 2	Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa siirtoilmana esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat
Luokka 3	Poistoilmaa tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut olennaisesti huonontavat poistoilman laatua. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, pyykin kuivatushuoneet, ulkoiluvälinevarastot, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, kopiolaitokset.
Luokka 4	Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot sekä pesuloiden likapyykkitilat. Autosuoja- ja katsastusasemat, autokorjaamot ja -maalaamot, ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarviketurvahuoneet, kemialliset laboratoriot ja tupakointitilat Elintarviketurvateollisuuden ja suurpesuloiden tilat

Koulut ovat LVI-suunnittelun kannalta laajoja ja erityisosaamista vaativia kohteita. Rakennusten ilmanvaihdon tulee olla tasapainoinen, vaikka siellä on tiloja, jotka vaativat suunnittelijalta erityistä osaamista ja erityisten vaatimusten huomioimista. Kouluissa näitä ovat teknisten tilojen lisäksi

muun muassa ammattikeittiöt, väestönsuojat, hissit ja sähkötilat. Tiloissa, joissa syntyy paljon epäpuhtauksia, huomioidaan kohdepoistojärjestelmä, painesuhteet ympäröiviin tiloihin sekä laitteiden ja komponenttien materiaalit ja puhdistettavuus. Näiden tilojen ilmanvaihtoa ei yleensä voida yhdistää muihin järjestelmiin, vaan ne suunnitellaan omiksi yksiköikseen. (16, s. 507–508.)

3.1.1 Paloturvallisuus

Teknisten luokkatilat ovat käyttötarkoituksensa takia omassa palo-osastossaan. Ympäristöministeriön asetuksen *Rakennusten paloturvallisuus* mukaan ilmanvaihtojärjestelmä ei saa myötävaikuttaa palon ja savukaasujen leviämiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla (17, 19 §). Koko rakennuksen paloluokka määräytyy asetuksen mukaisesti. Rakennuksen paloluokkia ovat P0, P1, P2 ja P3. Asetuksen mukaan rakennuksen eri osat voivat kuulua eri paloluokkiin, edellyttäen, että palon leviäminen osasta toiseen on estetty palomuurilla. (17, 4 §.) Rakennus jaetaan palo-osastoihin rakennusosia käyttäen. Osastojen paloluokkavaatimus määräytyy muun muassa käyttötavan, rakennuksen paloluokan, kerrosluvun, palokuorman ja palo-osaston sijainnin perusteella. Asetuksen 14–16 § määrittävät osastointien vaatimukset. Kanavan tai laitteen, joka tulee osastoitavan rakenteen läpi, tulee olla palonkestävä ja sen paloteknisen toimivuuden pitää vastata palonkestävyydeltään lävis-tämänsä osaston rakennetta. (18, s. 19.)

3.1.2 Alipaine

Alipaine syntyy, kun rakennuksesta tai tilasta poistuu enemmän ilmaa kuin sinne tulee. Jos tilaan syntyy alipaine, korvausilma tulee sieltä, mistä pääsee esimerkiksi rakenteiden läpi. Kulkiessaan rakenteiden läpi kuljettaa se samalla epäpuhtauksia ulkoa ja rakenteista. Ennen ajateltiin alipaineisuuden olevan kuitenkin parempi kuin ylipaineisuuden, ja ilmanvaihdon suunnittelussa pyrittiin lievään alipaineisuuteen. Kumotussa rakennusmääräyskokoelman osassa D2 tämä vielä ohjeistetaan, mutta nyt suunnittelussa pyritään aina ilmanvaihdon tasapainoon. Tavoitteena on, ettei rakennusvaipan yli synny haitallisia paine-eroja, joten ylipaineisuus rakennuksen ulkovaipan yli korjataan aina säätämällä, eikä alipaine saisi ylittää -5 Pascalia. (19, s. 19; 14, s. 4.)

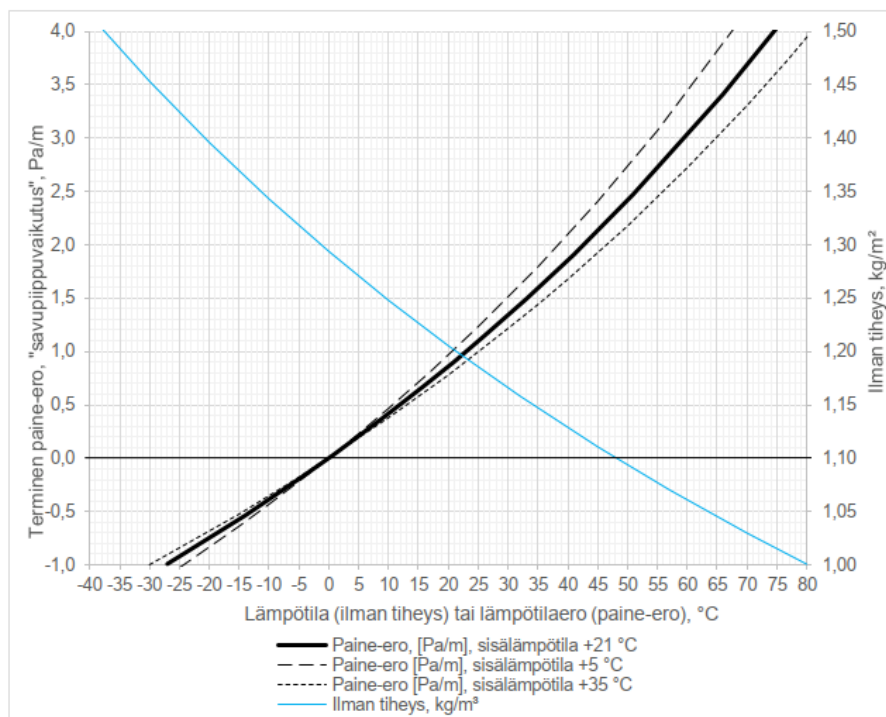
Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa alipainetta käytetään ilmavirtojen oikeansuuntaisen liikkeen saamiseksi. Ilman tulee aina siirtyä puhtaammista tiloista kohti tiloja, joiden puhtausluokitus on alhaisempi. Runsaasti kosteutta ja epäpuhtauksia sisältävät tilat suunnitellaan alipaineiseksi

muihin tiloihin nähden. Tällaisia tiloja ovat muun muassa WC- ja kylpyhuonetilat. Teknisten tilojen kohdalla alipaineisuudella estetään pölyn ja kemikaalien leviämiseen muihin opetustiloihin. (15, s. 44.)

3.1.3 Ylipaine

Ylipaine syntyy, kun rakennukseen tai tilaan tulee enemmän ilmaa kuin siltä hallitusti poistetaan. Suuri ylipaine aiheuttaa ilmavirtauksen rakenteiden läpi, jolloin sisäilman kosteus siirtyy sinne. Syn-
tyy riski kosteusvauriolle. Tyypillisesti tällainen ylipainetilanne tapahtuu, kun poistoilmasuodatin tukkeutuu ja tasapainoon suunnitellusta tilasta ei pääse poistumaan hallitusti oikea määrä ilmaa.

Korkeissa rakennuksissa terminen paine-ero voi aiheuttaa suuria ylipaineita ylempiin kerroksiin. Terminen paine-ero syntyy sisä- ja ulkoilman lämpötilaerojen vaikutuksesta. Alaosasta ulkoilma pyrkii sisään ja yläosasta ulos. Tämä niin kutsuttu hormivaikutus korostuu kylmällä säällä. Tähän voidaan tehdä korjaus määrittämällä terminen paine-ero yksikössä Pa/m. Kertamittauksissa voi-
daan käyttää kuvan 1 tietoja, jos sisä- ja ulkolämpötilat ovat tiedossa. Seurantamittauksissa paine-
erojen korjaus lasketaan kaavalla 1. (20, s. 27–29.)



KUVA 1. Ilman tiheys ja terminen paine-ero (20, s. 28)

$$\Delta P_{\text{korjattu}} = \Delta P_{\text{mitattu}} - \frac{\Delta P}{\Delta h} (h_1 - h_0)$$

KAAVA 1

$\Delta P_{\text{mitattu}}$ = mitattu paine-ero [Pa]

$\Delta P_{\text{korjattu}}$ = laskennallisesti määritelty paine-ero 1,0 m korkeudella lattiasta [Pa]

$\frac{\Delta P}{\Delta h}$ = terminen paine-ero [Pa/m]

h_0 = paine-eron referenssitason korkeusasema [m]

h_1 =mittauskorkeus (läpiviennin korkeusasema) [m]

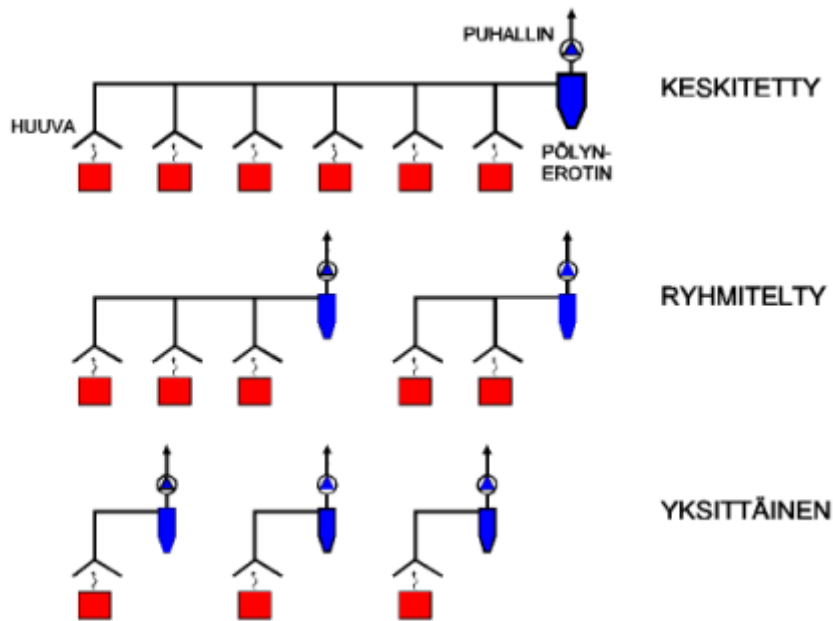
Tuuli aiheuttaa dynaamisen paineen rakennuksen ulkoseinille. Tuulen nopeus kasvaa korkeuden mukaan ja aiheuttaa tuulen puoleiselle seinustalle ylipaineen ja muille seinämille alipaineen. Koska hormivaikutus aiheuttaa ulosvirtausta, on ylemmissä kerroksissa lämpötilan ja tuulen yhteisvaikutus alipaineisille seinustoille samansuuntainen, ja vain tuulen puoleisella seinällä tuuli vastustaa ulosvirtausta. Syntyy vuotoilmavirtojen epätasapaino, jolloin korvaava ilma täytyy saada muista kerroksista hallittuja ilmareittejä pitkin. Ylipaineen suuruuteen vaikuttavat tuulen nopeus ja suunta sekä rakennuksen muoto. Tuulen painevaikutus lasketaan rakennuksen eri pinnoille käyttämällä kertoimia. Rakenteiden suunnittelussa tulee ulkoiset kuormitukset huomioida niin, etteivät ne muuta merkittävästi painesuhteita rakennuksen sisällä. Tällaisia rakenteellisia keinoja ovat muun muassa pyöröovet, alakerrosten pitkät tuulikaapit, hissien odotusalueen erottaminen seinillä muusta kerroksesta sekä porraskuilukatkot. (21, s. 14; 15, s. 44.)

3.2 Kohdepoistot

Kohdepoistot ovat yleisilmanvaihdesta erillään olevia ilmaa poistavia yksiköitä. Kohdepoistolla luodaan imuaukkoon suuntautuva hallittu ilmavirtaus, jolla poistetaan epäpuhtaudet ennen niiden leviämistä huoneilmaan. Teknisten käsityöluokkien ilmanvaihdon suunnittelussa on huomioitava erilaiset kohdepoistot. Isompien kohdepoistojen lisäksi siellä on myös purun- ja pölynpoistojärjestelmä, vetokaappeja, siivousjärjestelmiä ja pieniä kohdepoistoja. Kohdepoistoja suunnitellaan tiloihin, joissa on ylimääräistä hiukkas-, kemikaali- tai kosteusrasitetta. Kohdepoistot voivat olla jatkuvatoimintaisia, jolloin ne voidaan suoraan mitoittaa ilmanvaihdon tasapainotuksessa. Ilmamäärältään suuremmat kohdepoistot ovat yleensä toimintaperustaisia, eli ne käynnistetään vain tarvittaessa. Mikäli tilassa on kohdepoistoja, tulee suunnittelussa huolehtia tuloilman hallitusta tuonnista tilaan, jottei niiden käyttö muuta tilan painesuhteita (15, s. 15).

Yleisilmanvaihto kykenee vain laimentamaan kohdepoistojen ohi päässeitä epäpuhtauksia. Kun epäpuhtausmäärät ovat suuria, ei yleisilmanvaihdon ilmavirtoja voida suunnitella niin suuriksi, että ilmaa voitaisiin laimentaa tarpeeksi. Kohdepoistot suunnitellaan tarpeeksi lähelle epäpuhtauksien muodostumispaikkaa, jolloin epäpuhtaudet eivät pääse merkittävässä määrin leviämään ympäröivään ilmaan. (9, s. 93.) Epäpuhtauksien leviäminen estetään kohdepoistojen avulla, mutta ne eivät kuitenkaan saa vaikuttaa rakennuksen painesuhteisiin (14, s. 9). Sisäilmasto- ja ilmanvaihto-opas opastaa, että kohdepoistojen toteutuksessa tulee huomioida poistettavien hiukkasten koko ja sen vaikutus kanavamateriaaliin ja puhaltimen suojausluokkaan. Puhaltimet varustetaan sulkupellein, jotka estävät hallitsemattomat ilmavirtaukset, kun puhallin on kiinni. Erityisen tärkeitä sulkupellit ovat poistoluokkaan 4 kuuluvissa vetokaapeissa, jotta korvausilma ei pääse vuotamaan sisäilmaan. Kemikaalikaappien ja räjähdysvaarallisten tilojen ilmanvaihtoa ei saa pysäyttää. (15, s. 28.)

Teknisissä luokkatiloissa voi samassa huoneessa olla useita epäpuhtauksia aiheuttavia työpisteitä. Näissä tapauksissa kohdepoistolaitteet voidaan yhdistää samaan poistokanavaan keskitetyksi järjestelmäksi, jota havainnollistetaan kuvassa 2. Jokaisen järjestelmän huuven tulee imeä ilmavirrat suunnitellusti, jotta järjestelmä on tasapainossa. Jos järjestelmään lisätään tai poistetaan huuvia, voi seurauksena olla epätasapaino, koska järjestelmän kunkin haaran huuven ja kanaviston painehäviöiden on oltava samanlaisia. Keskitetyn kanavan etuuksia on kuitenkin sen edullisuus ja huollon helppous, vaikka mitoittaminen on vaikeaa. Muita vaihtoehtoja on yksittäisjärjestelmä, missä kullakin kohdepoistolla on oma puhallin ja suodatinlaitteisto tai ryhmitelty poistojärjestelmä. Tässä järjestelmässä samalle puhaltimelle järjestellään kaikki lähekkäin olevat kohdepoistot. (9, s. 95.)



KUVA 2. Periaatekuva kohdepoistojärjestelmien ryhmittelystä (9, s. 96)

Huuvia on kokoluokiltaan pienistä juotoskolvien poistoimuista suuriin kammioihin. Huuvan poistoilmavirtaan vaikuttavat epäpuhtauksien ominaisuudet, vapautumisnopeus ja -suunta sekä laitteiston rakenne. Huuvia voidaan luokitella teknisten ominaisuuksien mukaan. Koteloinnilla saadaan kokonaan tai osittain ympäröityä epäpuhtauslähteet. Ulkopuoliset huuvat sijaitsevat lyhyen etäisyyden päässä epäpuhtauden lähteestä. Näitä ovat teknisissä luokissa muun muassa hiontapöydissä olevat kohdepoistot tai työskentelypöytien yläpuolelle sijoitetut kiinteät huuvat. Hieman erilaisia kohdepoistoja ovat puhalluksella tehostetut kohdepoistot ja epäpuhtauksien lähtösuuntaa hyödyntävät vastaanottohuuvat. (9, s. 96–97.)

Kokonaan epäpuhtauksia tuottavan lähteen ympäröivä huuva on tehokkain. Koteloidussa huuvassa tarvitaan pienempää poistoilmavirtaa, ja lisäksi ulkoiset tekijät eivät vaikuta epäpuhtauksien leviämiseen. Vaikka täydellinen kotelointi ei onnistuisi, kannattaa kohde ympäröidä seinillä, ovilla ja luukuilla mahdollisimman hyvin epäpuhtauksien hallinnan helpottamiseksi. Koteloiduissa kohdepoistoissa kuten maalauskaapeissa tulee kuitenkin takaisinvirtauksen mahdollisuus. Tämä tarkoittaa, että imun ollessa kammion toisessa päässä on ilmanvirtaus yhdensuuntaista. Tällöin syntyvä takaisinvirtaus voi tuoda epäpuhtauksia hengitysvyöhykkeelle. Takaisinvirtausta voidaan estää sivuttainen työskentelyllä päävirtaussuuntaan nähden tai puhaltamalla ilmaa alaspäin työntekijän yläpuolelle sijoitetusta piennopeusilmanjakolimestä. Suunnittelemalla koteloituun kohdepoistoon

tuloilma yläpuolelta ja kaksi poistoa työntekijän molemmilta puolilta, voidaan työntekijän altistuminen laskea 0,2 prosenttiin verrattuna pelkkään yleisilmanvaihtoon. Koteloitujen kohdepoistojen mitoittamisessa huomioidaan otsapintanopeus, joka saadaan laskettua kaavalla 2. Otsapintanopeus riippuu epäpuhtauden muodostumistavasta ja on luokkaa 0,5–1 m/s. Kun otsapintanopeus on tarpeeksi suuri, voittaa sen häiriövirtaukset, jotka voivat johtua kappaleen viemisestä ja poistamisesta koteloinnista, työntekijän liikkeestä tai yleisilmanvaihdon tuloilmasuihkuista avonaisista ikkunoista ja ovista. Lisäksi mitoituksessa huomioidaan ilman nopeus koteloinnin sisällä, jotta se on riittävä kuljettamaan epäpuhtaudet pois koteloinnin sisältä haitallisen laskeuman välttämiseksi. (9, s. 97–98, 102–103, 111–112.)

$$Q = AV$$

KAAVA 2

Q= Koteloinnin poistoilmavirta

A= avoimen otsapinnan pinta-ala

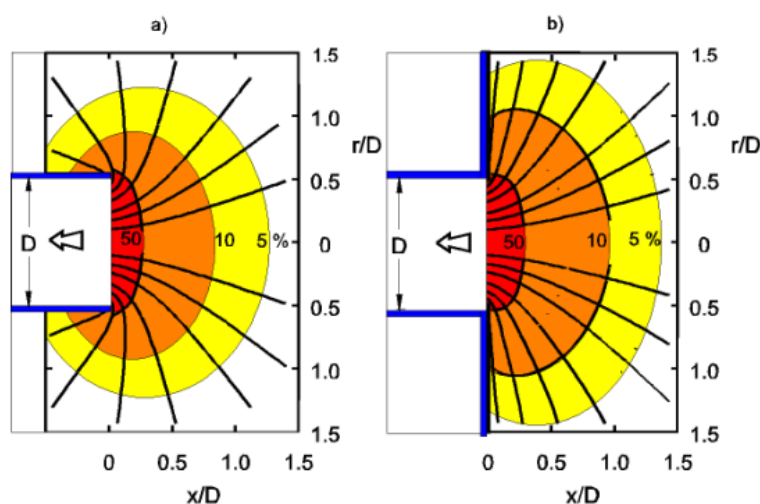
V=otsapintanopeus

Huuvien mitoittamisessa on huomattavasti enemmän haastetta kuin koteloitujen poistojen mitoituksessa. Ilman virtauskenttä epäpuhtauslähteen, imuaukkojen ja työntekijän läheisyydessä vaikuttaa voimakkaasti kohdepoiston tehokkuuteen. Virtauskenttään vaikuttavat imuaukon muoto, sijainti ja poistoilmavirta, häiriövirtaukset, epäpuhtauslähteen ominaisuudet, paikallinen tuloilma sekä puhallussuihkujen käyttö. Laskennallisesti näiden määrittäminen tapauskohtaisesti on haastavaa ja vaatii suurta laskentatehoa ja kalliita ohjelmistoja. Tästä syystä mitoituksessa käytetään sieppausnopeuteen perustuvaa yksinkertaistettua menetelmää. Sieppausnopeudelle ei ole yleispätevää tarkkaa arvoa vaan se vaihtelee tapauskohtaisesti. Taulukossa 7 on annettu likimääräisiä sieppausnopeuksia. (9, s. 103–104.)

TAULUKKO 7. Sieppausnopeuksien suuntaa antavia arvoja (9, s. 104)

Epäpuhtauksien va- pautusnopeus	Sieppausnopeus m/s	Esimerkki
Alhainen	0,3–0,5	Jauhemaisten aineiden annos- telu, haihtuminen altaista
Melko alhainen	0,5–1	Hitsaus; pinnoitus; hitaasti liik- kuvat kuljettimet (nopeus alle 1 m/s)
Melko suuri	1–2,5	Ruiskumaalaus kopissa; avo- kuljettimen täyttö ja purkaminen
Suuri	2,5–10	Hionta; raepuhallus; rum- pukiillotus

Poistoilmavirran määrittämiseksi tarvitaan lisäksi imun aikaansaama ilman virtauskenttä sekä imun ja epäpuhtauslähteen välinen etäisyys. Pyöreiden ja suorakaideimuaukkojen nopeusjakaumien ratkaisemiseksi on tehty kokeellisia käyriä ja laskentayhtälöitä. Laipallisten imuaukkojen virtauskentän laskennassa voidaan käyttää potentiaalivirtausmalleja. Kuvassa 3 on esimerkit laipallisen ja laipattoman imuaukon virtausnopeuksista. (9, s. 103–104.)



KUVA 3. Laipattoman (a) ja laipallisen (b) virtausnopeudet ja virtaviivat prosentteina keskimääräisestä nopeudesta imuaukossa (9, s. 104)

Kun kaikki poistoilmamäärän suuruuteen vaikuttavat tekijät ovat tiedossa, voidaan poistoilmamäärän laskennassa käyttää tunnettuja kaavoja. Yleensä epäpuhtauslähde suunnitellaan olevan imu-

huuvan keskiakselilla, jolloin poistoilmavirran määrityksessä voidaan käyttää keskiakselin virtausnopeutta. Yhtenä esimerkkinä DallaVallen esittämä kaava (kaava 2) ja sillä voidaan määrittää pyöreän ja suorakulmaisen imun nopeus. Kaavasta voidaan päätellä, että huuvan ja epäpuhtauslähteen etäisyydellä on suuri merkitys. Kun etäisyys kaksinkertaistuu, tarvittava poistoilman määrä nelinkertaistuu. (9, s. 105.)

$$Q = V(x) (10x^2 + A)$$

KAAVA 3

Q = Poistoilmavirta

V (x) = Keskiakselin nopeus etäisyydellä x imuaukosta

a = Imuaukon otsapinta-ala

Epäpuhtauksien sieppaamisen jälkeen mitoitetaan myös kanavisto ja puhallin. Kanaviston mitoituksessa on tärkeää, että se mitoitetaan siten, ettei kanavistoon laskeudu hiukkasia. Suositeltavia nopeuksia on kevyelle pölylle kuten puu- ja muovipölylle 15 m/s, tavalliselle teollisuuspölylle kuten hiontapölylle 20 m/s ja raskaalle pölylle kuten kostea pöly 25 m/s. Pitkissä vaakakanavissa pölyn kertyminen vai vähentää ilmavirtausta ja heikentää kohdepoiston toimintaa. Lisäksi kanavassa oleva pöly lisää tulipalovaaraa. Toisaalta liian suuret nopeudet kuluttavat kanavaa ja lisäävät turhaa painehäviötä. Kanavaksi suositellaan pyöreää kanavaa, koska niissä on nopeusjakauma tasaisempi. Kanaviston päätteeksi puhdistuslaitteen jälkeen tulee puhallin. Näin järjestelmä voidaan pitää alipaineisena, jotta likainen poistoilma ei vuototilanteessa pääse työilmaan. Lisäksi puhdistuslaite poistaa pölyt, jotta se suoja puhallinta korroosiolta ja kulumiselta. Tyypillisesti järjestelmässä käytetään keskipakoispuhallinta. Purulle ja hiontapölylle kannattaa huonosta hyötysuhteesta huolimatta valita suorasiipinen puhallin, koska se ei tukkeennu niin helposti. Taaksepäin kaartuvien varustetulla puhaltimella on paras hyötysuhde ja sitä käytetään usein. Räjähdy- ja palovaaran yhteydessä puhaltimen pitää olla kipinöimättömästä materiaalista. Ilmavirran lisäksi puhaltimen paine-erolla täytyy voittaa huuvan, kanaviston ja puhdistuslaitteen painehäviöt. (9, s. 106–108.)

3.2.1 Korkea ja matalapainejärjestelmät

Kohdepoistot voidaan jakaa korkea- ja matalapainejärjestelmiin. Korkeapainejärjestelmässä kohdepoistossa on suuri nopeus, mutta pieni ilmamäärä. Korkeapainejärjestelmässä poisto tapahtuu

lähellä epäpuhtauksien alkulähdettä. Korkeapainejärjestelmien mitoituksessa täytyy selvittää kokonaisilmamäärän tarve, joka vaihtelee suuresti erilaisissa kohteissa. Taulukossa 8 on kerätty korkeapainejärjestelmän suunnittelua ohjaavia arvoja. Teknisissä luokissa tällaisia kohteita ovat muun muassa työkalukohtaiset suulakkeet hiomakoneissa, leikkureissa, hiekkapuhalluksessa ja hitsauspistoleissa. (22, s. 4, 57.)

TAULUKKO 8. Korkea- ja matalapainejärjestelmien suunnitteluarvoja (22, s. 4)

	Korkeapaine	Matalapaine
Epäpuhtaus	Leijuva tai kiinteä	Leijuva
Alipaine kPa	15–50	1–3
Ilmamäärä/käyttökohde m ³ /h	80–400	jopa 3000
Ilman nopeus m/s	20–90	jopa 25

Matalapainejärjestelmässä kohdepoistossa on matala nopeus, mutta suuri ilmamäärä. Järjestelmällä voidaan poistaa 600–2000 m³/h, ilmannopeus on 10–25 m/s ja painehäviöt ovat 1–3 kPa. Matalapainejärjestelmä toimii parhaiten hitaasti leijuvien epäpuhtauksien ja käryjen poistamiseen. Koska järjestelmässä on suuri ilmamäärä, voidaan poisto tehdä suuremmalta alueelta kuin korkeapainejärjestelmässä. Teknisissä luokkatiloissa matalapainejärjestelmiä ovat muun muassa erilaiset koneisiin liitettävät huuvat sekä pienkohdepoistolaitteet. Jälkimmäisellä voidaan poistaa käryjä, höyryjä ja vähäistä pölymäärää. (22, s. 4, 14.)

3.2.2 Teknisten luokkien kohdepoistoja tilakohtaisesti

Opetushallitus on tehnyt laajan oppaan, jossa käsitellään teknisten luokkien suunnittelun erityisvaatimuksia. Koska teknisten luokkien sisällä on erilaisia toimintoja sisältäviä tiloja, on niiden ilmanvaihdon ja etenkin kohdepoistojen suunnittelussa mitoitus tehtävä koulukohtaisesti. Jokaisesta tilasta on oppaassa tehty laajempi käsittely tilakorteilla. Alla käsitellään lyhyesti tilojen kohdepoistoja. Mainitsematta jää vain tilat, joissa ei kohdepoistoja tyypillisesti käytetä, vaan tiloissa riittää mitoituksen mukainen yleisilmanvaihto.

Monitoimitilassa on digitaalista työskentelyä, puhdasta työskentelytilaa vaativia töitä, muovimateriaalien lämpökäsittelyä sekä robotiikan, ohjelmoinnin ja elektroniikan opetussarjoja. Työskentelyistä

voi syntyä haitallisia päästöjä kuten höyryjä ja savukaasuja, joiden poistamiseen tarvitaan yleisilmanvaihdon lisäksi kohdepoistoja. Jos muovimateriaalien lämpökäsittelyn linja sijoitetaan kokonaisuudessaan monitoimitilaan, tulee sille rakentaa oma tuloilmakanava sekä linjaston yläpuolelle huuva eli poistokupu. Huuvan sisälle tulee jokaista laitetta kohden yksi nivelkärsä. Päästöt johdetaan suoraan ulkoilmaan. Laitekohtaiset kohdepoistot varustetaan myös 3D-tulostimelle, polttopiirtimelle ja polttokolville. Laserleikkurille varataan halkaisijaltaan 160 mm:n poistokanava. (1.)

Käsityön materiaalien varastointitilat on jaettu toiminta-alueittain. Varastoinnin lisäksi tiloissa katkaistaan sahatavaraa, puulevyjä, metalliputkia, -tankoja ja -levyjä sekä muovilevyjä. Koska nämä toiminnot aiheuttavat pölyämistä, suunnitellaan ne omiksi tiloiksi. Kohdepoisto tulee katkaisusahalle, joka liitetään purunpoistojärjestelmään. (1.)

Märkätöyskentelyn tilassa tehdään kankaiden ja lankojen värjäystä, maalausta, villakuitujen huuvutusta, muovityöskentelyä, kynttilöiden valmistusta ja muita materiaalien viimeistelyjä. Työskennellessä käytetään muun muassa painovärejä, vahoja, öljyjä, etsausaineita sekä happoja ja emäksiä, joten tilaan voi tulla haitallisia epäpuhtauksia kuten käryjä ja pölyä. Kohteeseen suunnitellaan vetokaappi sekä kohdepoistot työskentelytilan päälle ja lieden yhteyteen. Kemikaaleja sisältävään kaappiin suunnitellaan jatkuvalla ilmavirralla varustettu poisto, joka ei yhdisty yleisilmanvaihtoon. Vetokaapin alaosan säilytyskaappiin tulee myös jatkuva poisto. (1.)

Koneellisen puuntyöstön tilassa käsitellään erilaisia puulajeja ja raaka-aineita höyläämällä, sahaimalla, sorvaamalla, taivuttamalla, poraamalla tai talttaamalla. Kaikki koneet kytketään purunpoistojärjestelmään ja tilassa tulee huomioida ATEX-vaatimukset. (1.)

Hiontatilassa työstön alla oleva kappale hiotaan tasaiseksi koneen avulla tai käsin. Käsikäyttöisiä koneita varten oleva hiontapöytä ja kiinteät hiomakoneet kytketään purunpoistojärjestelmään. Jos tilaan sijoitetaan puusorvi, varataan sille pölyn- ja purunpoisto toimintaan kytketyllä sulkupellillä. (1.)

Elektroniikkatöiden alueella käsitellään sähköisiä peruskytkentöjä, piirilevyn suunnittelua, robotiikkaa ja ohjelmointia. Haitallisia käryjä ja huuruja synnyttävät kiinteät kytkennät tehdään juotostöillä, joten piste varustetaan kohdepoistolla, joka johdetaan suoraan ulkoilmaan. Jotta epäpuhtaudet saadaan parhaiten kiinni, on juotostöissä hyvä käyttää nivelillä varustettua imuputkea, jolla pääsee

lähelle työkohdetta. Imuputken halkaisijaksi suositellaan 50–75 mm ja ilmamäärä noin 60 l/s. Kohdepoistoja tarvitaan myös piirilevyjen valmistuspisteellä, koska siellä tehdään syövyttämistä. Poistoilmanvaihdossa on huomioitava syövytysaineiden korroosiota aiheuttava vaikutus. (1.)

Tulityötiloissa hitsataan, kuumennetaan, leikataan ja hiotaan metallia. Töistä saattaa syntyä pölyä, joka voi aiheuttaa palo- ja räjähdysvaaran. Savu- ja hitsauskaasut poistetaan kohdepoistoilla, joissa on oma tai tilakohtainen ajastettava käyttökytkin. Hitsauspisteille varataan omat kohdepoistot ja niiden imuputkien halkaisijaksi suositellaan 160 mm ja ilmamääräksi 200–250 l/s. Hiili- ja nestekaasuahjot varustetaan huuvalta tai huippuimurilla, joista poistettava ilma viedään suoraan ulos. Tilojen ja sen ilmanvaihdon suunnittelussa noudatetaan ATEX-määräysten lisäksi tulityöpaikasta annettua suunnitteluohjetta. (1.)

Muovityöstön alueella työstetään erilaisia muovimateriaaleja muovaten, leikaten, taivuttaen, tulo- taen ja muotoillen. Tilassa on myös mekaanista käsittelyä kuten hiomista ja sahaamista. Muovityöstön alueelle suunnitellaan oma tuloilmakanava. Muovia käsitellään pääasiassa lämpökäsittelyn linjalla, johon tulee poistokupu haitallisten kemikaalihöyryjen poistamiseen. Siihen tulee lisäksi nivelkärsä jokaista laitetta kohden. Kohdepoiston imuputken halkaisijaksi suositellaan 75 mm ja ilmamääräksi 260 l/s. 3D-tulostin voidaan sijoittaa myös tähän tilaan, jolloin noudatetaan samoja kohdepoisto-ohjeita kuin monitoimitilaan suunniteltavalle 3D-tulostimelle. (1.)

Pintakäsittelytilassa muokataan eri materiaalien pintoja maalaamalla, lakkaamalla, vahaamalla ja öljymällä erilaisilla kemikaaleilla ja pintakäsittelyaineilla. Työtapoina on levittäminen tai sumuttaminen. Tilaan suunnitellaan maalauskaappi, jossa on ajastimella varustettu poistoilmanvaihto. Maalauskaapin suositusilmamäärä on 140 l/s yhtä leveysmetriä kohden. Tilassa voi olla myös elektroniikan syövytysasema, joka varustetaan vähintään kohdepoistolla tai erillisellä vetokaapilla. Käsittelyaineet säilytetään jatkuvalla ilmanpoistolla varustetussa kaapissa. Tila suunnitellaan lievästi alipaineiseksi kemikaalipäästöjen leviämisen estämiseksi. (1.)

3.2.3 Purunpoisto

Purunpoisto on yksi keskeisimpiä järjestelmiä teknisissä luokkatiloissa. Sen tarkoitus ei ole ainoastaan pitää tilojen sisäilmaa puhtaana puruista ja pölystä, vaan sen avulla saadaan ylläpidettyä

turvallisuutta ATEX-määräysten mukaisesti. Purunpoistojärjestelmä mitoitetaan aina koulukohtaisesti konekanta huomioon ottaen. Suunnittelun tukena voidaan käyttää taulukon 9 mukaisia konekohtaisia suositusilmamääriä. Järjestelmän tulee olla tarpeeksi tehokas, jotta kaikki puu- ja tekstiilitöissä syntyvä puupöly ja kangasjäte saadaan kerättyä, mutta liian suuret poistot ovat taas energiatehokkuuden kannalta huonoja. Järjestelmään voidaan lisätä myös metallisirun keräys erillisellä imurilla. Laitteiston kohdepoistoihin tulee omat sulkupellit, joita voi parhaimmillaan olla auki 10 kappaletta. Sulkupellit ovat yleensä paineilmatoimisia, ja ne avautuvat koneen käynnistyessä, ja sen seurauksena myös purunpoistolaite käynnistyy. Koneessa tulee olla automatiikka, joka estää käynnistyksen, jos purunpoisto on täynnä tai muuten pois käytöstä. Purunpoistojärjestelmässä tulee aina olla täyttymisenilmaisin. (1.)

TAULUKKO 9. Työstökoneiden suositusilmamäärät (1)

	Ilmamäärä	Paine	Huomioitavaa	Korkeapaineimu (pöly)/ Matalapaineimu (puru)
	[m ³ /h]	[Pa]		
Tarkistuspyörösaha	1600	800	160 mm letku	MP
Oikohöylä	1250	700	125 mm letku	MP
Katkaisujiirisaha	500	22150	40 mm letku / 3 m	KP
Tasohöylä	1600	600	160 mm letku	MP
Oiko- ja tasohöylä	1600	600	160 mm letku	MP
Vannesaha	1300	650	125 mm letku	MP
CNC-jyrsin	1300	650	125 mm letku	MP
Alajyrsin	1850	1300	125 mm letku	MP
Jyrsinpöytäyhdistelmä	1850	1500	125 mm letku	MP
Reunahiomakone	2050–3000	1800	160 mm letku	MP
Laikkahiomakone	600	10600	50 mm letku	KP
Tappihiomakone	530	22500	40 mm letku / 3 m	KP
Konelehtisaha	300	15000	Erittäin pieni rako, joten iso paine	KP
Siivouspiste	300/piste	22500	40 mm letku / 5 m	KP
Hiontapöytä	1850	400	160 mm letku	KP
Käsihiomakone	250	18000	32 mm letku	KP
Tekstiilityön työtasojen pölynpoistopisteet (om- pelu- koneet ja saumurit)	käytössä olevaa pistettä kohden			

4 PAINE-EROJEN HALLINTA ILMANVAIHDON SUUNNITTELUSSA

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta määrätään, että rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat on suunniteltava niin, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan (13, 21 §). Rakennusten paine-erojen syntymiseen vaikuttavia tekijöitä on lukuisia. Keskeisintä on, että paine-erot saataisiin ilmavirtojen tasapainotuksella mahdollisimman pieniksi. Joissakin tapauksissa tilan lievä alipaineistaminen on tärkeää epäpuhtauksien leviämisen estämiseksi. Erityisen haastava tilanne on, jos tiiviissä rakennuksessa tai tilassa on suuret mitoitusilmavirrat, paljon tehokkaita kohdepoistoja ja ilmanvaihto on tarpeenmukaisesti säädettävissä. Tulevissa kappaleissa rakennusten paine-eroilla tarkoitetaan rakennuksen vaipan tai eri tilojen välillä mitattavia paine-eroja. Kuvassa 5 on määritelty tavoitetasot rakennuksen paine-eroille rakennuksen vaipan yli normaalissa käyttötilanteessa.

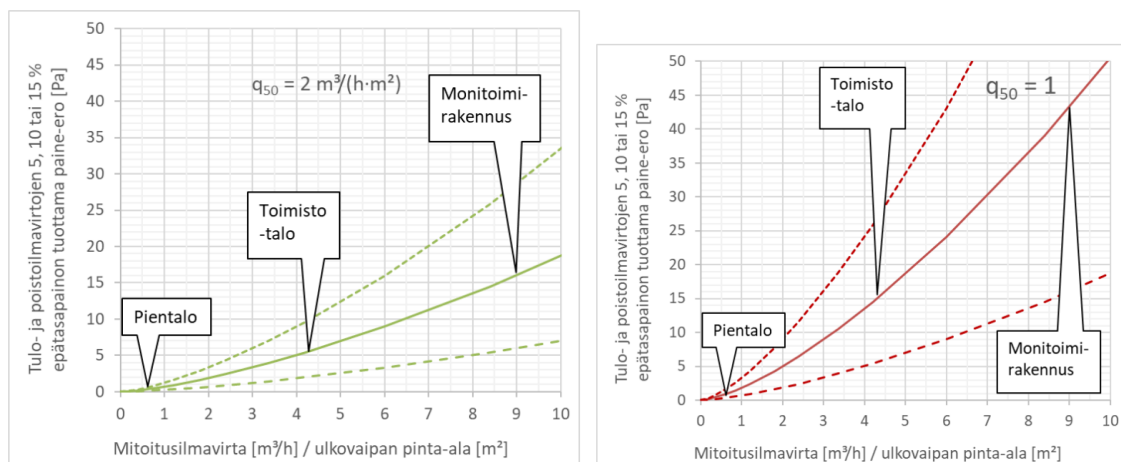
Rakennuksen tyyppi	Normaali käyttötilanne	Maksimi-arvo	Lisätieto
Toimisto-, liike- tai opetusrakennus	+5...-5 Pa	+5...-10 Pa	Ei erillispoistoja, mitoitusilmavirta noin 2 l/(s·m ²) vähäinen kosteuslisä
Paine-erojen hallinnan kannalta vaativa kohde	+5...-15 Pa	Määritetään tapauskohtaisesti	Muuttuvailmavirtaiset ja siirtoilman käyttöön perustuvat järjestelmät, suuret mitoitusilmavirrat, yli 25 m korkea rakennus

KUVA 1. Opetusrakennusten ja vaativien kohteiden paine-erojen tavoitetasot (23, s. 15)

4.1 Paine-erojen hallinta tiiviissä rakennuksessa

Rakennusten tiiveys on parantunut huomattavasti viime vuosikymmeninä. Tiiviissä talossa on vähemmän energiankulutusta ja tiiveys estää radonin pääsyn sisäilmaan. Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen energiatodistuksesta määritellään ilmanvuotoluvun olevan rakennusvaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tunnin aikana rakennusvaipan neliometriä kohden, paine-eron ollessa 50 Pa (24, s. 11). Ilmanvuotoluku q₅₀ on tällä hetkellä maksimissaan 4 m³/(h·m²), vaikka uudisrakentamisessa tavoitellaan lukua 1 m³/(h·m²). Rakennusten tiiviiden huomattava paranemi-

nen aiheuttaa kuitenkin säätöongelmia, koska ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtausten mittaustarkkuus ei ole riittävä pienille ilmavirroille. Toleranssirajat ovat yksittäisessä huoneessa $\pm 20\%$ ja järjestelmäkohtaisissa $\pm 10\%$ suunnitelluista ilmavirroista sisältäen mittausvirheet. Kuvasta 6 voidaan tulkita, että opetusrakennuksen mitoitusvirtaama ollessa 3–5 l/s lattianeliötä kohti, voi 10 % epätasapaino aiheuttaa yli 15 Pa:n paine-eron ulkoilmaan verrattuna. Kun katsotaan kuvaajaa, 1 $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 0...-5 Pa:n paine-eron saavuttaminen koulurakennuksissa edellyttää ilmanvaihdon säätämistä parin prosentin tarkkuudella. Kun tulevaisuudessa ilmanvuotoluvun oletetaan vielä pienevän, tulee erittäin tiiviissä rakennuksessa tulo- ja poistoilmavirrat säätää 0,5 %:n tarkkuudella. (23, s. 3–5.)



KUVA 2. Ilmanvaihdon tuottaman paine-eron riippuvuus ilmavirtojen epätasapainon suuruudesta (5,10,15%) sekä mitoitusilmavirran ja ulkovaipan pinta-alan suhteesta, kun $q_{50}=2$ ja $q_{50}=1$ (23, s. 6-7).

Jos huonekohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat ovat erisuuruiset, tulee niihin järjestää korvaus- ja siirtoilmareittejä. Mitoitusilmavirtojen ollessa pieniä paine-erot jäävät pieniksi, mutta suuremmilla virtaamilla tila voi muuttua yli- tai alipaineiseksi. Teknisissä luokissa epätasapaino voi olla erittäin suuri, ja lisäksi tilat on tehty tiiviiksi äänierityksen vuoksi. Näiden tilojen kohdalla erityistä haastetta luovat vetokaappipoistot, purunpoistojärjestelmät, sekä ahjojen ja hitsauksen huuva- ja kohdepoistot. Syntyy erittäin tiivis tila, joissa epätasapaino tulo- ja poistoilmavirroissa voi muuttaa tilan paine-erot äärimmillään $+20 \dots -70 \text{ Pa}$ ulkoilmaan verrattuna. Suurien ilmavirtaerojen ja tiiveyden lisäksi säätämistä vaikeuttavat eri aikakausina tehdyt tilat, tiivistyskorjaukset, ja eri tekniikoilla toimivat ilmanvaihtokoneet, sekä tilojen käyttöajat ja -tavat poikkeavat suuresti toisistaan. Suuret paine-erot

voivat aiheuttaa teknisten luokkatilojen hajujen ja epäpuhtauksien lisäksi pölyn ja mineraalikuitujen siirtymisen rakenteiden sisältä sisäilmaan. (23, s. 6–7.)

4.2 Paine-erojen säätäminen vaativissa kohteissa

Vaativissa, paljon kohdepoistoja sisältävissä kohteissa, on ilmanvaihdon säätäminen erityisen tarpeellista. Ennen säätöä tulee tehdä paine-eron seurantamittaus, jossa viikon ajan mitataan sisä- ja ulkoilman paine-eroa. Korkeissa rakennuksissa mittauspisteet tulee olla sekä maanpinnan tasolla että ylimmässä kerroksessa, jotta todellinen hormivaikutus saadaan selville. Muita tärkeitä mittauspisteitä teknisten luokkien ja muiden erillispoistoja sisältävien tilojen lisäksi ovat aulat, keittiö, liikuntasali ja auditoriot. Mittauksen aikana rakennuksen tulee olla normaalikäytössä ja ilmanvaihtojärjestelmän normaalisti toiminnassa. Koko rakennuksen suuriin poikkeamiin tulisi reagoida kuntotutkimuksen avulla. Kun tiloissa on suuria kohdepoistoja ja niiden käyntiajat poikkeavat ilmanvaihtokoneiden käyntiajoista, voidaan vakioilmavirtajärjestelmä tasapainottaa kertasäätönä. Järjestelmän tulee toimia säädön jälkeen kaikilla toimintatasoilla. Muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä valitaan lähtötilanteessa asetusarvot ja säätöparametrit niin, etteivät ohjauksen mukaan muuttuvat ilmavirrat aiheuta suuria paine-eroja. Hallitun siirtoilman liikkumisen kannalta tämä on tärkeää. (23, s. 9–10, 13–14.)

Tyypillisiä muutoksia poikkeavien paine-erojen korjaamiseksi on useita. Jos käytössä on 1–2-nopeuksinen puhallin, voidaan se muuttaa kierroslukusäätöiseksi taajuusmuuttajakäyttöä lisäämällä tai uudella EC-moottoripuhaltimella. Portaaton säätöä voidaan myös lisätä käyttämällä kanava-, kammio- tai puhallinpaineen seurantaa. Jos puhaltimen tehot riittävät, voidaan ilmavirtaa kasvattaa kierrosnopeutta lisäämällä. Muita vaihtoehtoja on muuttaa automaatiojärjestelmää esimerkiksi lisäämällä vakiokanavapainesäätö. Suurimpia muutoksia ovat tilakohtaisten ilmanvaihtokoneiden lisääminen tai vanhojen koneiden korvaaminen. Myös korvaus- ja siirtoilmareittien tarkastelu on suositeltavaa. (23, s. 10–11.)

4.3 Teknisten tilojen paine-erojen hallintavaihtoehtoja

Teknisissä luokkatiloissa voi olla kymmeniä kohdepoistoja. Kun tilasta poistetaan kohdepoistoilla ilmaa, tulee vastaava määrä korvata lämmitetyllä korvausilmalla. Ilmanvaihdon suunnittelijan tulee

selvittää kohdepoistojen määrä ja yhtäaikaisen käytön tarve. Siirtoilman hallinnan kannalta on tiedettävä yhtä aikaa käytettävät tilat. Myös koneiden mitoittamisen kannalta on tärkeää tietää, kuinka paljon kohdepoistoja käytetään samanaikaisesti. Järjestelmän toimintaa voidaan ohjailla mekaanisilla auki-kiinni-kytkimillä, huoneiden välisten paine-erojen, sisä- ja ulkoilman paine-erojen tai kanavapaineiden muutosten avulla. Varsinkin uudisrakentamisessa rakennusautomaation laaja hyödyntäminen on keskeistä paine-erojen hallinnassa. Kohdepoistojen kompensatioksi on useita eri vaihtoehtoja, joiden toimivuutta voidaan tarkastella käytännön toiminnalla. Alla tarkastellaan erilaisia teknisten tilojen suunnitteluratkaisuja.

4.3.1 Kompensointi tuloilmaa lisäämällä

Kohdepoiston ilmamäärien ollessa pieniä voidaan korvausilma kompensoida saman määräisen yleispoiston sululla. Suurissa kohdepoistoissa, kuten maalauskaapit, voi poistoilmavirta olla yli 500 litraa sekunnissa. Niin suurta yleisilmanvaihdon poistoa ei yleensä tilassa ole. Maalauskaapin käynnistyessä tilaan asennetun syrjäyttävän päätelaitteen moottoripelti avautuu ja vaatii ilmanvaihtokoneelta suurempaa tuloilmavirtaa. Syrjäyttävä päätelaite tulisi sijoittaa kohdepoiston läheisyyteen, jotta epäpuhtauden liikkuisivat haluttuun suuntaan eli kohdepoistoon. Päätelaite on osa yleisilmanvaihtoa. Kone on mitoitettu niin, että se pystyy kohdepoiston käytön ajan lämmittämään tuloilmaa, vaikka koneen kautta menevät ilmavirrat ovat epätasapainossa. Käytännössä suuren kohdepoiston ilma ohjataan suoraan ulkoilmaan, jolloin ilmanvaihtokoneen kautta tulee enemmän ilmaa kuin sen kautta poistuu. Näin ulkoilman lämmittämiseen tarvitaan enemmän tehoja, koska lämmön talteenotolla (LTO) ei saada otettua kohdepoiston palautusilman lämpöä. Jos suuria ilmamääriä omaavia kohdepoistoja on paljon, on varmistettava LTO-patterin tehon riittäminen tehostustilanteissa. (25.)

Käytön suunnittelussa tulee myös huomioida ilmanvaihtokoneen viive. Jos kohdepoisto lähtee suoraan täydelle teholle, menee hetki ennen kuin moottoripelti avautuu, ilmanvaihtokone reagoi ja tuloilma on tasapainossa kohdepoiston kanssa. Tästä voi seurata tilan suuri alipaineisuus. Yksi vaihtoehto on säätää kohdepoiston nopeutta lähtötilanteessa rakennusautomaation avulla. Toinen vaihtoehto on alipaineen estämiseksi seinään asennettava korvausilmasäleikkö, joka avautuu suuren kohdepoiston käynnistyessä ja sulkeutuu, kun tuloilma on saavuttanut tavoitetasonsa. Ilmanvaihtokoneen tulisi pystyä tehostustilassa tuottamaan saman määrän tuloilmaa mitä kohdepoistosta tai -poistoista menee ulos. (25; 26, s. 337.)

4.3.2 Tuloilman tehostus sekä yleispoiston vähentäminen

Kompensaatio voidaan suunnitella yleisilmanvaihdon tuloa lisäämällä ja yleispoistoa vähentämällä. Kohdepoiston käynnistyessä valittu yleispoiston poistokanava sulkeutuu sulkupellillä. Tilassa olevan tehostustilanteeseen suunnitellun tuloilmakanavan sulkupelti avautuu ja kanavapaineen muutos lisää ilmanvaihtokoneelta tuloilmaa mitoituksen verran. Järjestelmän toimivuus vaatii tarkkaa mitoittamista sekä huoltoa, koska tehostustilanteen toimintaan on kaksi automaatiota vaativaa tapahtumaa.

4.3.3 Kohdepoistot omalla ilmanvaihtokoneella

Teknisten tilojen kohdepoistot voidaan suunnitella kokonaan omalle ilmanvaihtokoneelle. Kohdepoistojen käynnistyessä ilmanvaihtokoneesta tulee vastaava määrä tuloilmaa kuin kohdepoistoista lähtee. Kone on käynnissä, kunnes jokainen kohdepoisto on sulkeutunut. Paine-eroja ei synny, koska tuloilman määrä on sama kuin kohdepoistojen ilmamäärä. Toiminta ei vaikuta yleispoistoon, koska se toimii omana järjestelmänä. Järjestelmä etuna on sen energiatehokkuus, koska se toimii vain tehostustilanteissa, mutta on kalliimpi hankintahinnaltaan sulkupelti- ja siirtoilmajärjestelmiin verrattuna.

4.3.4 Korvausilma tuodaan siirtoilmana

Kohdepoiston käynnistyessä rakennusautomaatiikka ohjaa yleispoiston kanavien säätöpeltien sulkeutumisen. Sulkeutuvien yleispoistojen määrä on käynnistettävää kohdepoistoa vastaava. Korvausilma voidaan tuoda teknisten luokkien muista tiloista siirtoilmasäleikköjen tai ovirakojen kautta alipaineiseen tilaan, jossa kohdepoistot ovat käynnissä. Jos korvausilma ohjataan rakennuksen muista osista, tulee sen olla puhtausluokaltaan samanarvoista tai puhtaampaa. Siirtoilman suunnittelussa tulee huomioida, ettei rakennusten eri tilojen välille synny suuria paine-eroja. Jos siirtoilman ottoa ei huomioida muissa tiloissa, voi se aiheuttaa nopeasti suuren alipaineen muualle rakennukseen. Vähäisillä kohdepoistoilla toimiva ratkaisu, mutta kun kohdepoistoja on useassa teknisten luokkatilojen huoneessa, ne ovat ilmamääriltään suuria ja toimivat yhtä aikaa, voi ilmavirtojen suunnittelu olla haastavaa.

5 KÄYTÄNNÖN KOKEMUKSET ERILAISILLA ILMANVAIHTOSUUNNITELMILLA

Haastattelun keskeinen ajatus oli saada esille kouluissa jo käytössä olevien teknisten luokkien onnistuneita ja ongelmia tuovia ratkaisuja. Käytännön ongelmiin tehtävät ratkaisut ja niiden toteuttaminen on tärkeää tietoa. Haastattelut tehtiin henkilökohtaisina haastatteluina.

Ensimmäinen haastateltava oli Oulun tilapalveluiden hankepäälikkö Esa Jussinniemi. Hänen vastuullaan on Oulun koulukohteiden lisäksi muita kaupungin LVI-suunnitteluun liittyviä hankintoja sekä LVI-valvontaa. Toisena haastateltavana oli Lintulammen koulun teknisten käsitöiden lehtori Mika Korhonen. Hän toimii opettamisen lisäksi teknisenä yhdyshenkilönä teknisten luokkien suunnittelussa sekä ATEX-tarkastuksissa.

Haastattelutyyppiä valikoitui teemahaastattelu. Se on yksi käytetyimmistä haastattelutyypeistä, jossa aihepiirit ovat ennakoon määriteltäviä, mutta aiheille ei ole tiukkaa järjestystä. Haastattelu on vapaamuotoisempaa, jossa kysymykset toimivat lähinnä keskustelun runkona. Tämä haastattelutyyppi vaatii asiaan perehtymistä myös haastateltavalta, jotta keskustelu pysyy aiheessa ja tavoitteiden mukaisena. (27.) Teemahaastattelu oli tässä todennäköisesti toimivin ratkaisu, koska se antaa mahdollisuuden avoimempaan keskusteluun. Kokemuseräistä tietoa hankittaessa avoimet kysymykset toimivat paremmin kuin pikkutarkat kysymykset, jotka luultavasti vain rajaisivat keskustelua liikaa. Haastattelun yhteenveto on koostettu kahdesta eri haastattelusta ja kohdekäynnistä (28, 29).

5.1 Kysymykset

Haastateltavien kanssa käytiin seuraavat kysymykset:

1. Millaisia teknisesti erilaisia vaihtoehtoja suurien kohdepoistojen korvausilman tuomiseen ja paineenhallintaan Oulun peruskoulujen teknisissä luokissa on käytössä?
2. Mitä painesuhteisiin liittyviä ongelmia olet huomannut eri järjestelmien kohdalla? Onko niitä korjattu ja kuinka niitä on korjattu?
3. Mitkä ovat olleet hyviä suunnitteluratkaisuja ja miksi?

4. Mitä käytännön ongelmaa tai hyvää ratkaisua tai ideaa haluaisit korostaa uudelle suunnittelijalle, jotta teknisten luokkien toiminta olisi mahdollisimman ongelmaton?

5.2 Anonymisointi

Haastattelun yhteenvedossa käytetään anonyymeja valmistajia ja kouluja, koska työn tarkoitus ei ole vertailla valmistajia tai suunnittelijoita, vaan suunnitteluratkaisujen toimivuutta käytännössä. Koulujen purun- ja kohdepoistojärjestelmien valmistamisesta on pitkään vastannut kaksi yritystä. Heidän ratkaisuihinsa käytetään lyhennettä *Valmistaja 1*. Nämä on yhdistetty yhdeksi, koska järjestelmät ovat kokoluokaltaan samankaltaisia. Markkinoiden tuoreempi kilpailija tuo teollisuustason järjestelmiä, ja heistä tekstissä viitataan nimellä *Valmistaja 2*. Näiden kolmen lisäksi ei muiden valmistajien nimiä ilmennyt haastattelun aikana. Koulukohteista käytetään samankaltaista numeerista järjestystä. *Koulu 1* on 300 oppilaan ala-aste ja sen tekniset luokat on saneerattu lähivuosina. *Koulu 2* on noin 700 oppilaan ala- ja yläaste. Oppilaiden lisäksi tekniset luokat ovat alueen opiston käytössä. *Koulu 3* on myös noin 700 oppilaan ala- ja yläaste. Tekniset tilat ovat opistokäytössä. *Koulu 4* on 400 oppilaan ala-aste, jonka teknisissä luokissa ei ole opistokäyttöä.

5.3 Haastattelujen yhteenveto

Tilojen suunnittelussa tulee ensisijaisesti huomioida niiden käyttötarkoitus. Tämä seikka tuli haastatteluissa molempien haastateltavien kohdalla esille. Jos kohteen teknisiä tilat ovat vain ala-aste-tasoisessa käytössä, voivat pienemmätkin purunpoistojärjestelmät olla toimivia ratkaisuja. Hankepäällikkönä toimiva Jussinniemi korosti, että tiloissa toimii usein iltaisin opisto- ja aikuiskoulutustasoista toimintaa, joka puolesta puhuu suurempien teollisuustasojen järjestelmien hankintaan. Liian pienen kohdepoistojärjestelmän seurauksena tulee käyttökatoja, eikä purunpoistolla saada tarpeeksi tehokasta poistotasoa, josta seuraa tilojen pölyn lisääntyminen. Pienissä kohteissa on tyypillisesti käytetty *Valmistaja 1*:n purunpoisto- ja kohdepoistoratkaisuja. Kohdepoistojen tehokkuusvaatimusten lisääntyessä, on markkinoille tullut teollisuustasoisia kokonaisjärjestelmiä tarjoava *Valmistaja 2*, jonka järjestelmät mahdollistavat laajamittaisen toiminnan teknisissä luokkatiloissa. Purun- ja kohdepoistojen yhtäaikaista käyttöä onnistuvat jopa kymmenelle kohdepoistolle.

Kokonaisuuksien suunnittelun haasteita tuovat taloudelliset näkökulmat. Usein julkisrahoitteisissa saneeraus- ja uudiskohteissa projektit pilkotaan pienemmiksi hankinnoiksi, joka ei välttämättä ole

lopulta taloudellisin vaihtoehto. Haastateltavat molemmat kokivat, että kokonaisuutena hankitut järjestelmät olivat toimivampia, vaikka hankintakustannukset ovat suurempia. Näissä yritys suunnittelee kohteeseen kokonaisuuden, jossa on huomioitu purunpoiston vaatimat laitteistot, matalapaineiset kohdepoistot ja muut ilmanvaihtoratkaisut. Kaikki purunpoistoon tarvittavat laitteistot sijaitsevat omassa lisärakennuksessa teknisten luokkien ulkopuolella. Tällainen lisärakennusratkaisu on valittu *Koulu 1*:seen, jonka laajassa saneerauksessa tekniset luokkatilat tehtiin täysin uusiksi. Tilaan oli valittu *Valmistaja 2:n* järjestelmä, joka vastaa tilojen matalapoistoista sekä järjestelmän vaatimasta ilmanvaihdesta. Valmistaja tuo tehtaalta kokonaisuuden yhtenä konttimaisena paketina, jossa on kaikki järjestelmän laitteistot kuten matalapaine- ja korkeapainepuhaltimet sekä metallisirupuhallin. Kuvassa 7 on purunpoistojärjestelmän erotinyksikön siirtolava, jonne suodattimien kautta menevä hiontapöly kerätään.



KUVA 7. Purunpoistojärjestelmän keräyskontti ja karkeasuodattimet *Koulu 1*: ssä

Koulu 1:ssä kohdepoistojen käytön aikainen korvausilma tuotetaan omalla ilmanvaihtokoneella. Kohdepoistojen käynnistyessä ilmanvaihtokoneen oma paineanturi ohjaa ilmanvaihtokonetta lisäämään oikean määrän tuloilmaan. Se ei ole kytköksissä tilan yleisilmanvaihtoon, vaan toimii täysin purunpoiston korvausilman tuottamiseen. Korvausilma tulee teknisen luokan yhtenäiseen tilaan omalla kanavallaan. Koska tekniset luokkatilat on jaettu toiminnoiltaan erilaisiin tiloihin, oli tilojen välinen korvausilman siirtyminen ratkaistu siirtoilmakanavilla. Kuvassa 8 on koneellisen puuntyöstön tilaan menevä siirtoilmakanava. Koska kohdepoistojen korvaava tuloilma tulee vain yhteen paikkaan, on ainut ongelma syntynyt, jos muihin tiloihin on avoimia ovia. Se aiheuttaa kylmän ilman

siirtymisen avoimista ovista kohti tuloilman päätelaitetta ja käynnissä olevia kohdepoistoja sisältävää tilaa. Ongelma ei kuitenkaan Korhosen mukaan ole ollut häiritsevää, koska se on helppo ratkaista sulkemalla muihin tiloihin vievät avoimet ovet.



KUVA 8. Siirtoilmakanava työskentelytilojen välissä

Tiloissa on lisäksi omalla tuloilmalla varustettu maalauskaappi ja korkeapainejärjestelmän pienpoistoja. Näitä ei ole yhdistetty Valmistaja 1:n järjestelmään. Niiden vaatima korvausilma saadaan pienentämällä kohdepoistojen käytön aikana yleisilmanvaihdon poistoa samalla määrällä.

Koulu 1:ssä tehty ilmanvaihdon kokonaisratkaisu on koettu toimivaksi. Ilmanlaatu oli luokkatilan käytön jälkeenkin erittäin hyvä. Edes koneellisen puuntyöstön tilassa ei ole missään vaiheessa ilmennyt pölyongelmaa, vaikka se on teknisten luokkien pölyävimpiä työvaiheita sisältävä tila. Tämä on mahdollista vain silloin, jos purunpoistojärjestelmä on mitoitettu tarkasti kohdepoistojen mukaisesti ja tuloilman määrä on suhteessa vastaava. Kohdepoistojen ilmanvaihdosta vastaava ilmanvaihtokone koettiin haastateltavien mukaan parhaimmaksi ratkaisuksi eikä tässä ratkaisumallissa ole ollut muissakaan kouluissa suuria ongelmia. Lisäksi paineilmalla toimivat sulkupellit ovat nopeita avautumaan. Näin viiveen takia ei ehdi syntyä suuria alipaineisuuksia.

Oulun uudis- ja saneerauskohteissa on aina jatkuva paine-eron mittaus vaipan yli. Sitä ei tarkkailla jatkuvasti, mutta siitä saadaan seurantatulosta ongelmatapauksissa. Oulusta löytyy myös useita koulukohteita, joissa teknisten luokkatilojen kohdalla on jatkuvasti ongelmia. Yleensä ongelmat ovat alipaineisuudesta johtuvia, eli kohdepoistojen tilalle ei tule tarpeeksi korvausilmaa. Ongelmat ilmenevät muun muassa ovien aukeamattomuutena, ja lisäksi tiloissa työskentelevät kokevat sisäilman olevan huono. Yksi ongelmallinen ratkaisu on ollut kaavamaisilla ilmamäärillä avautuvat IMS-eli ilmamääräsäätimet. Yleensä ratkaisuissa on käytetty taulukkoarvoja konekohtaisista poistoista, ja poiston käynnistyessä IMS-pellit avautuvat päästäten poistoa vastaavan määrän tuloilmaa. Koska taulukkoarvot ovat arvioita, on tiloissa usein syntynyt hyvin suuria alipaineisuuksia. Tilannetta on korjattu esimerkiksi ulkoseinään laitettavilla tuloilmaventtiileillä, jotka avautuvat alipaineen noustessa suureksi. Yleensä raja on viimeistään 50 Pa:n kohdalla.

Koulu 2:ssa teknisten tilojen toiminta on ratkaistu vyöhykepelleillä. Vyöhykepeltien avulla pyritään energiatehokkuuteen, koska ne päästävät korvausilmaa paineohjatusti tilan tarpeen mukaan. Vaikka vyöhykepellit ovat energiatehokkaat ja toimivat takia ilmanvaihtoratkaisu, on *Koulu 2:ssa* ollut ongelmia alipaineisuuden kanssa. Kohteessa on *Valmistaja 2:n* matala- ja korkeapainejärjestelmät, ja korvausilma tulee yleisilmanvaihdon ilmanvaihtokoneen kautta.

Koulu 3:ssa ongelmana oli ollut uretaanilevypoltosta aiheutuvien hajujen leviäminen rakennuksen muihin tiloihin. Tämä ongelma johtui ilmanvaihtokoneesta, jossa oli pyörivä lämmön talteenotto, jonka käytössä on tunnetusti mahdollisuus tulo- ja poistoilmojen sekoittumiseen. Ensin ongelmaa oli ratkottu suodattavan systeemin asentamisella, jotta poistoilmasta saataisiin lämpö talteen. Korjauksen jälkeen rakennuksen muilla alueilla koettiin edelleen hajuongelmia eli suodattamisen jälkeen LTO:lle ohjattu ilma sisälsi vieläkin hajua, jotka levisivät muualle rakennukseen. Lopulta asia ratkaistiin tekemällä kohdepoistoon suora poistokanava vesikatolle, jotta ilmassojen sekoittuminen saatiin pois. Tähän ongelmaan ratkaisu toimi, eikä hajuongelmia enää ilmennyt. Kohteessa on *Valmistaja 1:n* korkeapaine-poistojärjestelmä ja käytössä on IMS-pellit. Kohteessa on ollut myös IMS-peltien toimimattomuudesta johtuvia kovia alipaineita, ja ongelmia on ratkottu useaan kertaan.

Koulu 4:ssa ratkotaan juuri haastattelun aikana teknisten luokkien sisäilmaongelmaa. Erityisesti tekstiilityön luokassa on koettu, ettei tekstiilipöly poistu tilasta kohde- ja siivouspoistojen avulla. Kohteessa on *Valmistaja 1:n* poistojärjestelmä. Sisäilman laadun ongelma on haastava ratkoa,

koska se voi olla alimitoitetusta järjestelmästä johtuvaa, jolloin samaan aikaan liian moni poisto päällä, eikä juuri ongelmatilan poisto toimi silloin optimaalisesti.

Kuten muissakin ongelmakohteissa Jussinniemi kertoo korjausratkaisujen olevan aina yksinkertaisia. Pieniin säätöihin ei lähdetä vaan ongelmat pyritään ratkaisemaan suoraviivaisilla ratkaisuilla, jotka ovat helposti tehtävissä, huollettavissa ja seurattavissa. Ratkaisuja tehtäessä on myös huomioitava, että tiloja huoltaa ja käyttää useita ihmisiä. Mitä monimutkaisempaan korjaamiseen ja ratkaisujen erikoishuoltoon mennään, sitä todennäköisemmin tieto käyttö- ja korjaustavoista katoaa ajan kuluessa. Lisäksi käyttäjien puolelta jo ilmanneihin ongelmiin toivotaan ratkaisuja erittäin nopealla aikataululla.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tehdä kirjallisuuskatsaus peruskoulun teknisten luokkien ilmanvaihtoon, kohdepoistoihin ja niiden aiheuttamiin painesuhteisiin. Työssä tarkasteltiin yleisesti koulujen ilmanvaihtoon vaikuttavia lakeja, säädöksiä ja niiden perusteella tehtyjä virallisia tulkintoja. Lähteinä käytettiin mahdollisimman laajaa otantaa, jotta lukija voi lisätietoja etsiessään löytää niiden avulla oikeille sivuille ja dokumenteille. Lisäksi työssä oli tavoitteena saada näkemys jo tehtyjen ilmanvaihtoratkaisujen toimivuudesta Oulun alueen kouluilla, ja sitä varten haastateltiin kahta asiantuntijaan, jotka päivittäin ovat kosketuksessa koulujen ilmanvaihdon suunnittelun ja käytön kanssa. Työn aihe saatiin Sweco Finland Oy Oulun yksiköltä ja sen on tarkoitus olla tukimateriaali aloittelevalle suunnittelijalle, kun hän perehtyy koulujen teknisten tilojen ilmanvaihdon suunnitteluun.

Suomessa sisäilman laatu on tarkasti määritelty lainasäädännöllä. Koulujen kohdalla ilmanvaihdon suunnittelussa käytetään perusmääräyksiä tiukempaa luokitusta. Lisäksi teknisten luokkien ilmanvaihdon suunnittelussa tulee huomioida oppilaiden ja opettajien työturvallisuuteen liittyvät asetukset. Työssä perehdyttiin näiden lisäksi ilman teknisten luokkien erilaisiin kohdepoistoihin ja niiden poistoilmamääriin. Lisäksi kohdepoistot jaetaan matala- ja korkeapaineisiin riippuen poistettavan epäpuhtauden tyypistä. Viimeisenä teoreettisena osiona olivat painesuhteet, ja mitkä seikat niihin vaikuttavat. Nykyisin rakennukset pyritään rakentamaan mahdollisimman tiiviiksi, jolloin tuulen ja lämpötilojen aiheuttamat luonnolliset vaikutukset eivät ole enää niin suuria. Uusimmassa A-insinöörien kirjoittamassa asiakirjassa osoitettiin kuitenkin, että tiiviys tulee tuomaan ongelmia suuria ilmamääriä sisältävissä tiloissa, koska säätäminen määräysten mukaisesti ei tämänhetkisillä mitauslaitteistoilla tule onnistumaan.

Käytännön osuudessa haastateltiin kahta Oulun alueen teknisten tilojen toimintaan perehtynyttä asiantuntijaa. Heillä on vuosien kokemus vastaavien tilojen käytöstä ja tilojen ilmanvaihdon ongelmista ja korjaamisesta. Molemmilta haastateltavista tuli selkeä näkemys, että suunnittelun tulisi olla mahdollisimman tarkkaan tiloihin räätälöityä, suunnittelun laitteistoineen olisi hyvä tulla samalta valmistajalta, ja kohdepoistojen ilmanvaihdon tulisi toimia omalla ilmanvaihtokoneella. Kokemukset näin tehdyistä koulukohteista ovat olleet hyvät, eikä ongelmia ole ollut samoissa määrin kuin muissa kohteissa. Yleisimpiä toisilla tekniikoilla suunnitelluissa kohteissa olivat alipaineisuus, pölyisyys ja huono sisäilma. Nämä kertovat purun- ja kohdepoistojärjestelmien olevan alimitoitettuja, korvausilmaa ei tule poistojen vastaava määrä tai laitteistoon on valittu väärä koneita, kuten pyörivä

LTO. Ongelmat pyritään ratkaisemaan suoraviivaisilla ratkaisuilla kuten paine-erojen avulla avautuvilla mekaanisilla venttiileillä korvausilman saamiseksi.

Haastattelun tarkoituksena oli vertailla toimivia ilmanvaihtoratkaisuja. Tekstistä saa helposti kuvan, että vain yhden valmistajan ratkaisu on hyvä. Tämä on virheellinen päätelmä, koska yksi kyselyn aiheista oli ongelmat, ja yleensä kyseessä onkin ollut toiminnan mitoitusvirhe. Kun illalla on aikuisen käyttöä, on usein kohdepoistoja mahdollisimman moni päällä ja se asettaa järjestelmän optimaaliselle toiminnalle rajat. Pienen ala-asteluokan muutaman laitteen samanaikaiseen käyttöön taas järjestelmä voi olla aivan riittävä, mutta järeämpään toimintaan vaaditaan teollisuustason kohdepoistoratkaisuja.

Tietomäärä teknisten luokkien ilmanvaihdon kokonaissuunnitteluun liittyen on valtavaa. Vaikein osuus on tiedon rajaaminen, mutta työn luettavuuden ja käytön kannalta käytännöllisempää on tietolähteistä keskeisten asioiden poimiminen, ja tarvittaessa lisätietoa haluava voi lähteiden avulla lukea asiaa laajemmin. Työn tilaajalta tuli toive käytännön näkökulman hankkimisesta osaksi opinäytetyötä. Näkemykset kentällä ovat selkeitä, että ongelmien ratkaisut halutaan pitää yksinkertaisina. Itse suunnitelman tekijälle ei välttämättä ole selvää, ettei ongelmatilanteita ratkota pienillä säädöillä ja pitkällä seurannalla, vaan ongelmat halutaan ratkaista nopeasti ja tehokkaasti. Se on käyttäjäystävällistä sekä merkittävää taloudelliselta kannalta, ettei työpanosta käytetä loputtomiin, kun ratkaisut voidaan tehdä nopeasti. Koska teknisten luokkien laitteistot ja ilmanvaihtojärjestelmät ovat aina suuria investointeja, voisi tulevaisuudessa aihetta tutkia lisää eri järjestelmien hankinta- ja käyttökustannusten kautta. Onko suurempi hankintahinta aina kalliimpi ratkaisu, jos asiaa tarkastellaan pitkällä aikajänteellä?

LÄHTEET

1. Opetushallitus 2024. Käsityön oppimis- ja työympäristön suunnitteluopas. Hakupäivä: 6.4.2024. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/perusopetus/kasityo-perusopetuk-sessa/kasityon-oppimisympariston-suunnitteluopas>.
2. Työturvallisuuslaki 738/2002. Hakupäivä 8.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>.
3. Aluehallintovirasto 2016. Peruskoulujen teknisen työn opetustilojen koneet ja laitteet. Linjauksia tarkastusten tueksi ja yhtenäistämiseksi. Hakupäivä 11.4.2024. <https://docplayer.fi/46182114-Peruskoulujen-teknisen-tyon-opetustilojen-koneet-ja-laitteet.html>.
4. Laki nuorista työntekijöistä 998/1993. Hakupäivä 8.4.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19930998>.
5. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Hakupäivä 19.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545#Pidm46651396462320>.
6. RT 07-11299 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Hakupäivä 8.4.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2007-11299>. Vaatii lisenssin.
7. Kuntien sisäilmaverkosto 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön perustelumuiotio. Hakupäivä 8.4.2024. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Hyva-sisailma-suositukset>.
8. LVI 05-10417 2007. Rakennusten sisäilmaston suunnitteluperusteet. Hakupäivä 8.4.2024. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2005-10417>. Vaatii lisenssin.
9. Kulmala, Ilpo, Riipinen, Hannu, Säämänen, Arto & Welling, Irma 2004. Pölyntorjunta. Kansainvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristöratkaisujen edistämiseksi. Julkaistu työsuojelurahaston tuella.
10. Sosiaali- ja terveysministeriö 2018. HTP-arvot 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 9/2018. Helsinki. Hakupäivä 27.4.2024. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160967/STM_09_2018_HTParvot_2018_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
11. Tukes 2015. ATEX. Räjähdyksvaarallisten tilojen turvallisuus. Hakupäivä 15.4.2024. <https://urly.fi/3uJt>.

12. Valvira 2024. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje osa 1. Hakupäivä 9.4.2024. <https://valvira.fi/terveydensuojelu/asumisterveys>.
13. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta 1009/2017. Hakupäivä 11.4.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>.
14. FINVAC ry 2019. Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Korjaus 28.1.2020. Hakupäivä 11.4.2024. <https://finvac.org/iv-opaat/>.
15. Talotekniikkainfo 2024. Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. Päivitetty 6.7.2023. Hakupäivä 11.4.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>.
16. Sandberg, Esa 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 2. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
17. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 848/2017. Hakupäivä 26.4.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Lidm46651395518368>.
18. Talotekniikkainfo. Ilmanvaihdon paloturvallisuusopas. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry. Päivitetty 2.11.2023. Hakupäivä 26.4.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas>.
19. Ympäristöministeriö 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Kumottu. Hakupäivä 11.4.2024. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>.
20. A-insinöörit 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohjeprojektin loppuraportti. Hakupäivä 22.4.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/rakennusten-paine-erojen-mittausohje-loppuraportti>.
21. Taitotalo 2023. Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus. Hakupäivä 23.4.2024. https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmavirtojen%20mittaus%20ja%20tasapainotus%20-opas_19.12.2023.pdf.
22. Teca 2014. Kohdeilmastoinnin ja työympäristön suunnitteluopas. Hakupäivä 16.4.2024. <https://www.e-julkaisu.fi/teca/suunnitteluopas/mobile.html#pid=57>.
23. A-insinöörit 2023. Ilmanvaihdon säätöohjeet tiiviille rakennuksille. Hakupäivä 22.4.2024. <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/ilmanvaihdon-saadon-yleisohje-rakennusten-paine-erojen-hallintaan-tiiviit-rakennukset>.
24. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017. Liite 1. Hakupäivä 22.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048>.
25. Heiskari, Kari, Komu, Nina & Virpi, Mikko 2024. T680410 Desing of Ventilation 10 op. Viideotallenteet. Oulun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. 27.4.2024.

<https://moodle oulu.fi/course/view.php?id=20909§ion=17#tabs-tree-start>. Vaatii kirjautumisen.

26. Sandberg, Esa 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointitekniikka osa 1. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
27. Spoken” 2017. Haastattelun lajityypit. Hakupäivä 25.5.2024. <https://spoken.fi/haastattelun-lajityypit/>.
28. Jussinniemi, Esa 2024. Hankepääällikkö. Oulun tilapalvelut. Haastattelut 23-24.5.2024.
29. Korhonen, Mika 2024. Opettaja. Tekninen yhdyshenkilö. Sivistys- ja kulttuuripalvelut. Haastattelu 24.5.2024