



Valle Lehtinen

Ilmanvaihdon saneeraussuunnittelu koulurakennukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Valle Lehtinen
Otsikko: Ilmanvaihdon saneeraussuunnittelu koulurakennukseen
Sivumäärä: 40 sivua
Aika: 30.11.2022

Tutkinto: insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu
Ohjaajat: lehtori Pasi Partonen
talotekniikan asiantuntija Harri Kivikangas

Insinööriyön tarkoituksena oli löytää hyvä, toimiva ja energiatehokas ilmanvaihtoratkaisu vanhaan koulurakennukseen. Työssä tutkittiin ilmanvaihdolle tehtyjä asetuksia opintotiloissa sekä ilmanvaihdon suunnittelun perusteita. Tutkimustyön ohella tehtiin ilmanvaihtosuunnitelmat Lohjalla sijaitsevaan Metsolan kouluun. Toimeksiantajana toimi Lohjan kaupungin Tilakeskus, jonka ohjeistukien mukaan suunnitelmat tehtiin.

Energiatehokkuus sekä kiertotalous ovat vahvasti esillä nykypäivän rakentamisessa. Tässä tutkimustyössä perehdyttiin opintotilojen ilmanvaihdon saneeraussuunnitteluun. Periaatteena oli, että suunnitelmat mahdollistaisivat vanhojen ilmanvaihtokanavien hyötykäytön. Ongelmana oli ilmamäärän nouseminen nykyisillä sisäilmatavoitteilla. Työssä tutkittiin erilaisia ilmanvaihtoratkaisuja ja tehtiin energialaskelmat eri ilmanvaihtotavoille. Energialaskelmien lisäksi tutkittiin ilmamääräsäätimillä toteutetun tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän kannattavuutta.

Tutkielman perusteella päästiin johtopäätökseen, jossa kyseiseen koulurakennukseen paras ilmanvaihtoratkaisu oli vanhan ilmanvaihtojärjestelmän eriyttäminen yhden ison ilmanvaihtokoneen alta. Vanha tulo- ja poistokone palveli opetustiloja, käytäviä sekä keittiötä. Näiden lisäksi järjestelmässä käytettiin likaisten tilojen erillispoistoja. Nämä eriytettiin suunnitelmissa omille lämmöntalteenotolla varustetuille IV-koneille. Parhaimmaksi määritelty ilmanvaihtoratkaisu oli energiatehokas sekä kiertotaloudellinen.

Avainsanat: energiatehokkuus, ilmanvaihto, saneeraus, suunnittelu

Abstract

Author: Valle Lehtinen
Title: Planning of Ventilation Renovation for School Building
Number of Pages: 40 pages
Date: 30 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Pasi Partonen, Senior Lecturer
Harri Kivikangas, Building Services Engineering Expert

The purpose of this final year project was to select and design a well-functioning and energy efficient ventilation system for a school building under renovation. The renovation was to use the current ventilation ducts, which was somewhat problematic as a modern ventilation would require more air flow than was supplied by the old ducts.

The project studied the ventilation requirements of teaching premises, the general guidelines for the design of ventilation in renovation, as well as various ventilation solutions. In addition, the energy efficiency of the solutions and the cost-effectiveness of demand-controlled ventilation were calculated. Based on this study, a ventilation plan that would allow for the utilisation of the old ducts was made for the school in question.

The project established that the best ventilation system for this school building was to divide the old system in smaller areas. The new system that is shown in this bachelor's thesis, is energy efficient and circular economical.

Keywords: energy efficient, ventilation, renovation, planning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Asetukset ja ohjeet sisäympäristölle	2
2.1	Asetukset	2
2.2	Sisäilmastoluokitus 2018 suunnittelun tukena	4
3	Ilmanvaihdon mitoituserusteita	7
3.1	Tilaaajan määrittämät mitoituserusteet	7
3.2	Ilmanvaihdon mitoittaminen koulurakennukseen	7
3.3	Henkilökuorman määrittely opetustilaan	9
3.4	Tilantarpeen mitoitus opetustilaan	9
4	Ilmanvaihto	11
4.1	Vakioilmavirtainen ilmanvaihto	11
4.2	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	11
4.3	Osatehon edellytykset ilmanvaihdossa	12
4.4	Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto	13
4.5	Painesuhteet rakennuksessa	14
5	Ilmanvaihtojärjestelmien suunnitelmat	15
5.1	Kohteen lähtötiedot	15
5.2	Opetustilojen ilmanvaihto	15
5.2.1	Ilmanvaihtokanaviston mitoitus	16
5.2.2	Ilmanvaihtojärjestelmä	16
5.2.3	Ilmanvaihtokoneen mitoitus	19
5.2.4	Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto	19
6	Energialaskenta	21
6.1	Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	21
6.2	Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	24
6.3	Ilmanvaihtokoneiden tarkastelu ja mitoituksen lähtökohdat	25
6.3.1	Alkuperäinen ilmanvaihtojärjestelmä	27
6.3.2	Ilmanvaihtotavat 1 ja 2	29

6.3.3	Ilmanvaihtotapa 3	31
6.3.4	Mitoitusilmavirroilla laskettujen energialaskelmien yhteenveto	32
6.4	Energiansäästöt IMS-pelleillä	34
7	Yhteenveto	37
	Lähteet	39

Lyhenteet

- Hym²: Hyötyala. Kuvaa huonetilojen laajuutta.
- IMS: Ilmamääräsäädin. Mittaa ja säätää ilmavirtaa esim. hiilidioksidin perusteella.
- LTO: Lämmöntalteenotto. Rakennuksen poistoilmasta hyödynnettävä lämpö. Perustuu lämmönsiirtimien läpi virtaavien aineiden lämpötilaeroihin.
- ppm: Parts per million. Englanninkielinen lyhenne suhteellisesta suhdeyksiköstä, joka ilmaisee, kuinka monta miljoonasosaa jokin on jostakin.
- RakMK: Kumottu Suomen rakentamismääräyskokoelma.
- SFP: Ominais sähköteho. Puhaltimien tai puhaltimen sähköverkosta otama sähköteho kW jaettuna puhaltimien tai puhaltimen mitoitusilmavirralla.
- TMA: Takaisinmaksuaika. Hankintakustannus jaettuna vuotuisilla säästöillä.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön tilaajana on Lohjan kaupungin Tilakeskus. Insinööriyössä tutkitaan, millainen ilmanvaihtojärjestelmä olisi järkevintä suunnitella vanhaan peruskoulurakennukseen. Tutkielman pohjalta suunnitellaan ilmanvaihtojärjestelmä toteutettavaksi Lohjalla sijaitsevaan Metsolan kouluun. Tarkoituksena on luoda työ, jota voidaan hyödyntää tämän kohteen lisäksi myös muissa samankaltaisissa peruskorjattavissa koulurakennuksissa.

Tutkielman tavoitteena on löytää hyvä ilmanvaihtoratkaisu saneerattavaan koulurakennukseen perehtymällä opetusrakennuksien ilmanvaihdosta tehtyihin op-paisiin ja ohjeisiin sekä tutkimalla erilaisia ilmanvaihtotapoja olemassa olevista kouluista. Suunnittelun lähtökohtina ovat ympäristöministeriön asetukset sisäilmastolle, ilmanvaihdolle ja energiatehokkuudelle sekä Lohjan kaupungin omat sisäilmataavoitteet. Edellytyksinä suunniteltavalle ilmanvaihtojärjestelmälle on sen toimivuus ja energiatehokkuus sekä saneerauksen kiertotaloudellisuus.

Tämän työn raportointiosuudessa keskitytään opintotilojen ilmanvaihtoratkaisuihin sekä erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien energialaskelmiin. Kaikki tarkastelut tehdään siltä pohjalta, että ilmanvaihtojärjestelmä on elinkaarensa päässä ja ilmanvaihdon saneeraus on tulossa vastaan. Tutkielman ohella tehdään suunnitelmat koko koulun ilmanvaihdolle. Aiheen rajaamisen vuoksi muiden kuin opetustilojen ilmanvaihtosuunnitelmien läpikäynti jätetään pois insinööriyön raportista. Kaikki työn suunnitelmat mallinnetaan MagiCAD-ohjelmalla.

2 Asetukset ja ohjeet sisäympäristölle

Tässä insinööriyössä sisäympäristöllä tarkoitetaan sisätiloissa aistittavien fyysisten tekijöiden kokonaisuutta, jotka ovat yhteydessä ilmanvaihtoon. Sisäympäristöön kuuluvia tekijöitä, joihin pystytään vaikuttamaan ilmanvaihdolla, ovat sisäilman laatu, lämpöolot sekä akustinen ympäristö.

2.1 Asetukset

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa saneerattavaan oppilaitokseen on otettava huomioon tässä luvussa esitetyt asetukset. Vaikka asetukset on tarkoitettu uuden rakennuksen ilmanvaihdolle, on näiden asetusten mukaan toimittava myös saneerauskohteissa, jos halutaan tavoitella hyvää sisäilmastoa.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017, § 4) määrittää vaatimukset huonelämpötilan suunnitteluarvoille seuraavasti:

Huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona on käytettävä lämpötilaa 21 celsiusastetta. Huonelämpötilan hallinnan suunnittelussa huonelämpötila voi vaihdella välillä 20–25 celsiusastetta lämmityskaudella ja välillä 20–27 celsiusastetta lämmityskauden ulkopuolella. (1, s. 2.)

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava huomioon, että tuloilman lämpötilan tulisi olla huoneeseen suunniteltua matalampi. Vakioilmavirtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä tulisi tuloilman olla 2 °C ja tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä 3–4 °C huoneen tavoitelämpötilaa matalampi. Tavoitelämpötilaa kylmempi tuloilman lämpötila mahdollistaa ilmavirran sekoittumisen huoneilmaan myös mitoitusilmavirtaa pienemmissäkin ilmamäärissä. Opetus- ja toimistotilojen lisäksi peruskoulurakennuksessa on yleensä myös taulukon 1 mukaisia tiloja, joiden huonelämpötilojen suunnitteluarvot poikkeavat yllä mainituista arvoista. (2; 3.)

Taulukko 1. Huonelämpötilojen suunnitteluarvoja (3.)

Oppilaitoksessa esiintyviä tiloja	Lämpötila
Kylpyhuone, pesuhuone	22 °C
Liikuntahalli	18 °C
Porrashuone	17 °C

Yksi harvoista epäpuhtauksista, jonka enimmäispitoisuudesta sisäilmassa on tehty viranomaispäätös, on hiilidioksidi (CO₂). Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm. Sisätiloissa hiilidioksidi on pääosin peräisin ulkoilmasta. Suurin osa sisätiloissa muodostuneesta hiilidioksidista on taas peräisin ihmisistä. (4.)

Asetuksessa (1009/2017, § 5) sisäilman laatuvaatimukset ovat seuraavat:

Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1 450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. (1, s. 2.)

Hiilidioksidipitoisuus on usein käytössä ilmanvaihdon mitoituksen perusteena. Ilmanvaihto on suunniteltava niin, ettei yllä mainittu sisäilman hiilidioksidipitoisuuden raja-arvo ylity. Hiilidioksidin liian suuri pitoisuus huonetilassa aiheuttaa tunkkaisuuden tunnetta, päänsärkyä ja väsymystä. (4.)

Sosiaali- ja terveysministeriön asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista (545/2015, § 8) mukaan

Sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja ylittyy, jos pitoisuus on 2 100 mg/m³ (1 150 ppm) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (5, s. 2).

Tämä on vain toimenpideraja, eikä sitä voida käyttää ilmanvaihdon mitoituksen perusteena. Asetuksessa (545/2015) altisteen toimenpiderajalla tarkoitetaan

Pitoisuutta, mittaustulosta tai ominaisuutta, jolloin sen, kenen vastuulla haitta on, tulee ryhtyä terveydensuojelulain 27 §:n tai 51 §:n mukaisiin toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi (5, s. 1).

Ilmanvaihdoista asetuksen (1009/2017, § 8) mukaan

Ilmanvaihdon on toteutettava terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu oleskelutiloissa. Ilmanvaihtojärjestelmän on tuotava rakennukseen riittävä ulkoilmavirta ja poistettava sisäilmasta terveydelle haitallisia aineita, liiallista kosteutta, viihtyisyyttä haittaavia hajuja sekä ihmisistä, rakennustuotteista ja toiminnasta sisäilmaan aiheutuvia epäpuhtauksia. (1, s. 2.)

Ulkoilmavirrat on määritetty asetuksen (1009/2017, § 9) mukaan

Oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään 6 dm³/s henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilman tarvetta (1, s. 2).

2.2 Sisäilmastoluokitus 2018 suunnittelun tukena

Sisäilmastoluokitus 2018 on Sisäilmayhdistyksen vuonna 2018 tekemä ja julkaissama ohjekortti. Sisäilmastoluokitus 2018 on tehty tukemaan terveellisen ja turvallisen sisäilmaston rakentamista. Sisäilmastoluokitusta käytetään asetetessa sisäilmastotavoitteita, eikä luokitus ei ole viranomaisohje, vaan se on sitova ainoastaan erikseen sovittuna.

Yksilöllisesti viitattaessa johonkin sisäilmaluokituksen osaan sopimusasiakirjoissa, muuttuvat mainittavat asiat sopimustasolla sitoviksi. Viitattaessa on mainittava selkeästi, mikä laatuluokka ja sen osa-alue on kyseessä, esimerkkinä S2 (äänitaso) tai S2 (ilmanvaihto). Sisäilmastoluokat on jaettu kolmeen osaan: laatuluokat S1, S2 ja S3. (6.) Laatuluokkien selitykset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Sisäilmastoluokat, Sisäilmastoluokitus 2018 (6, s. 5).

Sisäilmastoluokat	Selitys
S1: Yksilöllinen sisäilmasto	Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei esiinny ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja.
S2: Hyvä sisäilmasto	Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei esiinny ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauksia. Lämpöolot ovat hyvät ja vetoa ei yleensä esiinny. Yllämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä.
S3: Tyydyttävä sisäilmasto	Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveysuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset.

Ilmanvaihtosuunnittelun alussa valitaan mitoitusperusteet, jotka tulevat yleensä tilaajan puolelta. Pyrittäessä sisäilmastoluokkiin S1, S2 tai S3 saadaan vedettyä selkeä linja siitä, kuinka terveellistä ja viihtyisää rakennusta halutaan rakentaa. Taulukossa 3 on esitetty sisäilmastoluokituksen mukaiset hiilidioksidipitoisuusrajat sisätiloissa. Hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvot ilmaistaan usein hiilidioksidin lisäksi ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen. (6.)

Taulukko 3. Sisäilman hiilidioksidin pitoisuus (6, s. 7).

Tavoitearvot	Yksikkö	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä	ppm	< 350	< 550	< 800
Olosuhteiden pysyvyys, opetustilat	% Käyttöajasta	90	90	-

Sisäilmastoluokituksessa määritellään myös ääniosuhteiden tavoitearvot, jotka otetaan huomioon ilmastointijärjestelmää suunniteltaessa. Ilmanvaihtokanavistosta, säätöpelleistä ja päätelaitteista kulkeutuu ääntä huonetilaan, jota pyritään minimoimaan eristyksillä, äänenvaimentimilla ja päätelaitteiden

valinnoilla. Yleisimmät koulurakennuksessa esiintyvät tilat ja niiden sallitut LVI-laitteiden äänitasot jokaisessa sisäilmastoluokassa on esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4. LVIS-laitteiden äänitaso koulurakennuksessa standardin SFS 5907 mukaisesti (6, s. 8).

Tila	Yksikkö	S1	S2	S3
Opetustila	dB	≤ 30	≤ 33	≤ 33
1–2 hengen toimisto	dB	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Avotilatoimisto	dB	35	35	40

3 Ilmanvaihdon mitoitusperusteita

3.1 Tilaajan määrittämät mitoitusperusteet

Kaupungeilla ja kunnilla on yleensä omat vaatimukset ilmanvaihdon suunnittelulle ja mitoitusperusteille. Lohjan Kaupungin omassa LVIA-suunnitteluohjeessa ilmanvaihdon osalta mitoitusperusteena käytetään ensisijaisesti käyttäjien lukumäärää. Uusissa rakennuksissa tilojen ilmamäärät suunnitellaan henkilöperusteisesti Sisäilmaluokitus 2018:n mukaan käyttäen sisäilmastoluokkaa S2: hyvä sisäilmasto ja saneerattavissa kohteissa se on tavoitteena. (7.)

Suunnitteluohjeissa on omat vaatimukset myös ilmanvaihtokoneille. Lohjan ohjeessa opastetaan asettamaan SFP-lukuvaatimus mitoituspisteessä $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja tehostuspisteessä $1,8 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmanvaihtokoneet on myös mitoittettava niin, että ilmavirtaa voidaan nostaa 20 % ja painetta 45 %. (7.)

3.2 Ilmanvaihdon mitoittaminen koulurakennukseen

Koulurakennuksen ilmanvaihdon mitoituksessa tulee ottaa huomioon tilojen käyttötarkoitukset ja käyttäjämäärät erilaisissa tilanteissa. Luokkatilojen käyttäjämäärät voivat vaihdella hyvinkin paljon riippuen päivän ohjelmasta. Yleensä viikonloppuisin ja lomakausina rakennuksessa ei ole käyttäjiä. Mitoitettaessa ilmanvaihtoa opetustiloihin voidaan lähtökohtaisesti ajatella, että tilat eivät ole koikaikaa enimmäiskäytössä. On kuitenkin tärkeää mitoittaa tilat suunnitelluille käyttäjämäärille tai tilakohtaisille ilmamäärille. (8, s. 9.)

Ilmanvaihto oppilaitoksissa mitoitetaan joko henkilöperusteisesti tai pinta-alan mukaan. Finvac ry:n vuonna 2017 julkaisema Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa (8) käsittelee ilmanvaihdon mitoittamista ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) mukaan. Opas korvasi vuoden 2012 Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 ohjeet ja määräykset koskien rakennusten sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa. Oppaassa on eritelty tilakohtaisesti koulurakennuksesta löytyvien huonetilojen vähimmäisilmamäärät henkilö- sekä

pinta-alaperusteisesti. Ilmamäärät perustuvat hyvään sisäilman laatuun ja sen ylläpitämiseen pienimmällä sallitulla ilmamäärällä. (8.)

Sisäilmastoluokitus 2018:een on määritetty mitoitusarvot luokille S1, S2 ja S3. Taulukossa 5 on esitelty yleisimpiä tiloja, joita on koulurakennuksessa sekä tilojen ilmamäärien mitoitusarvot jokaisessa sisäilmastoluokassa. Taulukkoon on tämän lisäksi lisätty muita koulurakennuksesta olevia tiloja sekä tilojen asetusten mukaiset vähimmäisilmamäärät. (6; 8.)

Taulukko 5. Ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvoja henkilö- sekä pinta-alaperusteisesti (6, s. 16; 8, s. 8–10).

Tila	Yksikkö	S1	S2	S3	Asetus
Opetustila	dm ³ /s, hlö	11	8	6	
	dm ³ /s, m ²	5	4	3	
Ruokala ja kahvila	dm ³ /s, hlö	11	8	6	
	dm ³ /s, m ²	5,5	4	3	
Koulun sali	dm ³ /s, hlö	10	8	6	
Kirjasto	dm ³ /s, m ²	3	2	2	
Teknisen työn tilat	dm ³ /s, hlö				8
Opettajainhuoneet	dm ³ /s, m ²				2
Avotilatoimisto	dm ³ /s, hlö				6
Aula (oleskelu)	dm ³ /s, m ²				3
Sisäliikuntatilat	dm ³ /s, hlö				15–30
	dm ³ /s, m ²				2–4

Lohjan kaupunki määrittelee koulurakennuksissa olevien päiväkodin sekä esi-koulun ryhmätilojen ilmanvaihdon mitoitusperusteet omassa LVIA-suunniteluohjeessa. Tilat mitoitetaan opetustilojen mukaan, jotta tilat pysyvät muuntojoustavina ja tarpeen tullessa tilat voidaan ottaa koulun opetuskäyttöön. (7.)

3.3 Henkilökuorman määrittely opetustilaan

Valtioneuvoston päätös peruskoulu- ja lukiorakennusten suunnittelun, rakentamisen ja normaalihintojen perusteista (264/1988 § 3) määrittää opetustilat kolmeen luokkaan: OT1, OT2 ja OT3. Luokkiin jako on tehty pinta-alan mukaan. Opetustilan käyttäjämäärän mitoituksen ohjearvot näkyvät RT-ohjekortissa: perusopetuksen tilat (10). Tämän ohjekortin mukaan perusvarustellun opetustilan mitoitus on 2,3–4,0 hym^2 / oppilas. Sisäilmastoluokitus 2018 antaa opetustilan tilatehokkuudeksi lattia-alasta 2 m^2 /oppilas. Näiden ohjeiden perusteella pystytään määrittämään arviot henkilömääristä kuhunkin opetustilaan. Perusopetuksen tilat, niiden pinta-alat ja esimerkki vastaavista ohjeellisista käyttäjämääristä on esitetty taulukossa 6. (9; 10, s. 7; 6, s. 16.)

Taulukko 6. Perusopetuksen tilat, niiden pinta-alat ja niitä vastaavat ohjeelliset käyttäjämäärät (9; 10).

Perusopetuksen tilat	OT1	OT2	OT3
Pinta-ala (m^2)	18–20	36–40	54–60
Käyttäjämäärät (henkilöä)	8	17	26
Ilmamäärä (dm^3/s)	70	140	210

Taulukossa 6 esitetyt käyttäjämäärät on laskettu mitoitusarvolla 2,3 hym^2 /oppilas ja jokaisen opetustilan suurimmalla pinta-alalla. Tulokset on pyöristetty alaspäin seuraavaan kokonaislukuun. Ilmamäärät on laskettu Sisäilmastoluokitus 2018:n S2-luokan mukaisella mitoitusarvolla. Tulokset on pyöristetty ylöspäin lähimpään kymmenellä jaolliseen tasalukuun.

3.4 Tilantarpeen mitoitus opetustilaan

Koulun tilat ja tilantarve määritellään aina hankekohtaisesti tarveselvitysvaiheessa. Opetustilojen ilmanvaihto tulee mitoittaa aina mahdollisimman tarkasti vastaamaan käyttäjämäärää. Jos tarkkoja käyttäjämääriä ei ole tiedossa, voidaan ilmanvaihto mitoittaa pinta-alan mukaan. (6, s. 16.)

Lohjan kaupungilla ei ole koulurakennuksien suunnitteluun ja mitoitukseen suoraa ohjetta, josta saataisiin käyttäjämäärien mitoitusperusteet opetustiloille ja sitä kautta suunnitella ilmamäärät tiloihin. Tässä osiossa käydään läpi, miten opetustiloja ja niiden ilmamääriä voidaan mitoittaa ainakin saneerauskohteissa, joissa tilat ilmanvaihtokanavistoille ja -koneille voi olla rajalliset.

Tampereen kaupungin julkaisemassa Perusopetuksen suunnitteluohje 2021 kerrotaan Tampereella käytettävät koulurakennuksen suunnittelun ja mitoituksen lähtökohdat. Ohje on tehty noudatettavaksi kaikissa uudisrakennus-, perusparannus- ja muutostyöhankkeissa. Ohjeessa OT3-luokka on suuruudeltaan noin 55–60 m². Ohjeen mukaan kyseisen tilan käyttäjämäärä voi vaihdella 15–29 oppilaan välillä. Mitoitusperusteena OT3-luokkaan käytetään 25 oppilasta / luokkatila. (11.)

Taulukon 6 mukaan OT3-luokkatilaan saadaan käyttäjämääräksi 26 oppilasta. Tämä on lähellä Tampereen kaupungin määrittämää mitoitusperustetta 25 oppilasta / OT3-luokkatila. Tämän insinööriyön suunnitteluosuudessa käytetään ilmanvaihdon mitoitusperusteena 26 oppilasta / OT3-luokkatila ja 17 oppilasta / OT2-luokkatila. Muiden pienempien opetustilojen ilmanvaihto mitoitetaan pinta-alan mukaan. (11.)

4 Ilmanvaihto

4.1 Vakioilmavirtainen ilmanvaihto

Vakioilmavirtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä jokaiseen tilaan tuodaan sen käyttöaikana mitoitusilmavirta eikä huonekohtaista säätöä ole. Uusissa järjestelmissä voidaan tilojen ilmavirtoja ylläpitää käyttäen paineeseen tai ilmavirtamittaukseen perustuvaa taajuusmuuttaja- tai jänniteohjausta. Tämä mahdollistaa portaattoman säätöalueen, jolloin osatehokäytön tehotaso on myös säädettävissä. Vanhat järjestelmät ovat tyypillisesti kaksiportaisella säätömahdollisuudella eli mitoistusteholla ja osateholla. (2, s. 23.)

Vakioilmavirtajärjestelmän etuina verrattuna muuttuvilmavirtajärjestelmään ovat pienemmät hankinta- ja huoltokustannukset. Vakioilmavirtainen järjestelmä on myös yksinkertaisempi, joten riskit järjestelmät toimimattomuudelle ovat pienemmät. Järjestelmän huonoja puolia on turha ilmanvaihto silloin kun tilassa ei ole ihmisiä, mikä johtaa suurempaan energiankulutukseen. (2, s. 23–24; 8.)

4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan, että huonetilojen ilmanvaihtoa säädetään tilakohtaisesti ilmavirtaa muuttamalla. Indikaattorina voi toimia esimerkiksi henkilömäärä, hiilidioksidipitoisuus tai läsnäolo tai näiden yhdistelmä, joiden perusteella yksittäisten tilojen ilmanvaihtoa ohjataan. Tilan käyttöasteen ollessa alle 50 % on ilmanvaihdon oltava ohjattavissa tarpeenmukaisesti turhan ilmanvaihdon energiakulutuksen välttämiseksi.

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaamisessa on otettava huomioon, ettei ilman hiilidioksidin pitoisuus tilassa ylitä määriteltyä raja-arvoa tai asetusten mukaista enimmäisarvoa liian pitkään. Esimerkiksi Sisäilmastoluokitus 2018 ohjeistaa pysyvyysasteeksi S2-luokassa toimi- ja opetustiloille 90 % käyttöajasta. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta on myös tärkeää, että huonesäätimet on asennettu mahdollisimman tarkkaan oleskeluvyöhykkeelle. (2, s. 23–24; 8, s. 5; 6, s. 7.)

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on taloudellisesti sitä kannattavampaa ja energiasäästön kannalta tärkeämpää, mitä suuremmasta ilmamäärästä ja henkilömäärän vaihtelusta tiloissa on kyse. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän etuna on tilan ilmanvaihdon ohjaus käytön mukaan, mikä johtaa energiasäästöihin. Huonot puolet tarpeenmukaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä verrattuna vakioilmavirtaiseen ovat suuremmat hankinta- ja huoltokustannukset sekä monimutkaisempi järjestelmä säätölaitteiden, niiden suojaetäisyyksien ja tarvittavien lisävarusteiden takia. Yleisimmät tavat toteuttaa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa on ilmamääräsäätimillä sekä sektoripelleillä eli ON/OFF-pelti. Ilmamääräsäädin mittaa ja säätää ilmavirtaa portaattomasti määritellyn indikaattorin mukaan ja ON/OFF-pelti toimii taas porrastetusti. (2, s. 23–24; 8.)

4.3 Osatehon edellytykset ilmanvaihdossa

Ilmanvaihtojärjestelmän osatehokäytöllä on tiettyjä edellytyksiä ilmanvaihdon optimaalisen toiminnan kannalta. Ajettaessa ilmanvaihtokonetta pienemmällä kuin mitoitusilmavirralla on otettava huomioon ilmavirtojen kulkeutuminen kanaviston vaikeimpien reittien päätelaitteille asti. Tästä syystä järjestelmän pienin mahdollinen tehotaso tulee määritellä suunnitelmissa sekä varmistaa toiminta ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyön yhteydessä ilmavirtojen tarkastusmittauksilla. (2, s. 24.)

Opinnäytetyössään, Ilmanvaihdon käyttötapojen ja käyttötasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksessa Antti Alanko (2018) tutkii mm. ilmanvaihdon osatehon toimintaa. Tutkimuksessa oli mukana 4 valittua opetusrakennusta. Alankon mukaan jokaisen kyseisessä tutkimuksessa olleen kohteen tilat tuulettuivat 30–40 % osatehoilla. Tutkimuksessa oli kyse käyttöajan ulkopuolisesta ilmanvaihdosta, mutta käytännössä jos ilmanvaihdon minimi-ilmavirtaa käytetään käyttöajalla 30–40 %:n tasolla, mahdollistetaan tilojen tuulettuminen ja estetään epäpuhtauksien muodostuminen tilassa. (13.)

Suunniteltaessa muuttuvailmavirtaista ilmanvaihtoa on myös päätelaitteiden valinnassa ja mitoituksessa otettava huomioon niiden toiminta pienemmillä ilmavirroilla. Suunnitelmien mukainen toiminta voidaan varmentaa valitsemalla

päätelaite siten, että sille jää tarpeeksi suuri säätöpaine. Liian pieni säätöpaine johtaa siihen, ettei laite ole enää säädettävissä. Tämä johtaa liian pieneen tuloilman heittokuvioon, jolloin ilma ei välttämättä vaihdu huonetiloissa. Valmistajien mitoitusohjelmat valitsevat päätelaitteet yleensä toimimaan optimaalisesti mitoitustilavirralla. Tämän takia erityistä huomiota on kiinnitettävä päätelaitteen toimintaan osateholla, kun suunnitellaan muuttuvilmavirtaista järjestelmää.

4.4 Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto

Käyttöajan ulkopuolisella ilmanvaihdolla poistetaan rakennuksesta peräisin olevia epäpuhtauksia. Muiden kuin asuinrakennusten käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto käynnistetään kaksi tuntia normaalin käyttöajan jälkeen, jotta ihmisistä ja rakennuksen käytöstä johtuvat epäpuhtaudet saadaan huuhdeltua. Käyttöajan ilmavirroille tulisi ilmanvaihtojärjestelmä ohjata 1–2 tuntia ennen käyttöajan alkamista rakennuksesta peräisin olevien epäpuhtauksien huuhtelemiseksi. (2, s. 15–16.)

Ympäristöministeriön asetus (1009/2017, § 10) ohjeistaa asiasta seuraavasti:

Muun kuin asuinrakennuksen ulkoilmavirran on oltava vähintään $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunnitellun käyttöajan ulkopuolella ja ilman on vaihduttava kaikissa huonetiloissa (1, s. 2).

Kuntien sisäilmaverkoston julkaisemassa Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuiustiossa on määritetty käyttöajan ulkopuolista ilmanvaihtoa ympäristöministeriön asetuksen (1009/2017) perusteella. Perustelumuiustion mukaan ilmanvaihtojärjestelmää olisi pidettävä käynnissä pienellä teholla käyttöajan ulkopuolella, jotta ilma saadaan vaihtumaan huonetiloissa hallitusti (2). Perustelumuiustiossa mainitaan kuitenkin seuraavasti:

Mikäli ilmanvaihtojärjestelmän minimi-ilmavirta on merkittävästi suurempi kuin $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$, voidaan ilmanvaihtojärjestelmää käyttää jaksoittain esimerkiksi aikaohjelman ja/tai olosuhdemittausten ohjaamana (2, s. 17).

Jaksottainen tuuletus on toteutettava kuitenkin siten, että vähimmäisilmavirta $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ toteutuu keskimääräisesti käyttöajan ulkopuolella. Jos

hygieniatilat on varustettu erillisillä poistoilla, on niiden jatkuva ilmanvaihto ja korvausilman saanti otettava erityisesti huomioon. (2, s. 16–17.)

4.5 Painesuhteet rakennuksessa

Ilmanvaihtojärjestelmä pitää suunnitella niin, ettei se aiheuta rakennuksessa liiallista yli- tai alipainetta. Uusissa sekä saneerattavissa rakennuksissa tulo- ja poistoilmavirrat mitoitetaan yhtä suuriksi paine-erojen välttämiseksi rakennusvaipan yli. Ilmanvaihtojärjestelmän poistoilmavirtojen ollessa tuloilmavirtoja suuremmat, rakennukseen muodostuu alipaine. Vastaavasti tuloilmavirtojen ollessa poistoilmavirtoja suuremmat rakennukseen muodostuu ylipaine. Kummallakin vaihtoehdolla on tutkittu olevan huonoja vaikutuksia rakennukselle sekä rakennuksen sisäilman laadulle. (2, s. 18.)

Ylipaineisessa rakennuksessa kostea sisäilma pääsee rakenteisiin vuotoreittien kautta ja voi edistää kosteuden kerääntymistä sekä biologisen kasvun syntymistä rakenteisiin. Alipaineisessa rakennuksessa korvausilma tulee rakenteiden vuotoreittien kautta sisäilmaan ja voi tullessaan tuoda mukanaan epäpuhtauksia kuten kivipölyä, eriste villakuituja, maaperästä tai kosteusvaurioituneista rakenteista peräisin olevia mikrobiepäpuhtauksia sekä viemärikaasuja. Alipaine voi johtaa myös maaperän radonpitoisen ilman siirtymiseen huoneilmaan ja siten heikentää sisäilman laatua. Koulurakennuksen tilojen ilmanvaihto, jossa on erillispoistoja kuten huuvia, ahjoja tai vetokaappeja, onkin suunniteltava siten, että tilaan tuodaan tarvittava korvausilma hallitusti. (2, s. 18.)

5 Ilmanvaihtojärjestelmien suunnitelmat

Tässä luvussa käydään läpi insinööriyössä tehdyt opetustilojen ilmanvaihtosuunnitelmat. Tarkoitus on tuoda esille suunnitteluprosessissa tehtyjä havain- toja ja niiden perusteella tehtyjä päätöksiä.

5.1 Kohteen lähtötiedot

Ilmanvaihdon saneeraussuunnittelu tehdään Lohjalla sijaitsevaan Metsolan kouluun. Koulurakennus on valmistunut vuonna 1994. Rakennus on yksikerroksi- nen lukuun ottamatta IV-konehuoneita, jotka sijaitsevat ullakolla. Koulutilat ja muut käyttäjien tilat sijoittuvat ensimmäiseen kerrokseen. Rakennuksen kerros- ala on 3 598 m² ja rakennustilavuus on 17 398 m³. Kouluun on tehty kaksi laa- jennusosaa vuonna 2003. Rakennukseen lisättiin uudet tilat kouluterveydenhoi- dolla sekä uusia luokkatiloja. Rakennuksessa toimii ala-aste sekä esiopetus.

Kohteen opetustilojen nykyinen ilmanvaihto on toteutettu samalla ilmanvaihto- koneella kuin käytävät, ruokala ja keittiö. Opetustilojen ilmamäärät on mitoitettu kumotun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan, käyttäen vähimmäisilmamäärää 6 dm³/s, hlö. Ilmanvaihto on toteutettu vakioilmavirtai- sella järjestelmällä, jonka käyttöaika on arkipäivisin klo 8:00–16:00. Muina ai- koina ilmanvaihto on kiinni, ja käytönajan ulkopuolinen ilmanvaihto on toteutettu jaksottaisella tuuletuksella. (14.)

5.2 Opetustilojen ilmanvaihto

Sisäilmastoluokitus 2018 antaa viitteellisen käyttöasteen opetustiloille, jos todel- lista käyttöastetta ei ole tiedossa. Käyttöaste opetustiloille sisäilmaluokituksen mukaan on 0,5. Tämä tarkoittaa, että tilat ovat vain puolet määritellystä käyttö- ajasta käytössä. Tämä ei kuitenkaan ole todellinen käyttöaste, mutta siitä voi- daan päätellä, että opetustiloihin olisi hyvä järjestää tarpeenmukainen ilman- vaihto. (6, s. 14.)

5.2.1 Ilmanvaihtokanaviston mitoitus

Uuden ilmanvaihtojärjestelmän ilmamäärät nousevat alkuperäisestä noin 35 %, jotta Sisäilmastoluokituksen S2 mukaiset ilmamäärät toteutuvat. Luokituksen mukaiset ilmamäärät on esitetty taulukossa 5 sivulla 13. Ilmamäärän kasvaessa myös painehäviö kanavistossa kasvaa. Ilmamäärän kasvaessa nousee kanavapaine toiseen potenssiin. Tässä tapauksessa kanavapaine nousisi $1,35^2$ -kertaisena eli noin 82 %. (15.)

Mitä suurempi painehäviö kanavistossa on, sitä enemmän ilmanvaihtokoneen puhallin käyttää sähköä toteuttaakseen riittävän kanavapaineen. Ilmamäärän ja kanavapaineen kasvaessa myös ilman nopeus kanavistossa kasvaa. LVI-talotekniikkateollisuus ry:n julkaisemassa SFP-oppaassa kerrotaan suositellut suurimmat kanavanopeudet, jotta pysytään maltillisissa painehäviöissä. Kanavanopeudet on esitetty taulukossa 7. (15, s. 14.)

Taulukko 7. Suositellut suurimmat kanavanopeudet (15, s. 14.)

Kanavan halkaisija Ø (mm)	nopeus (m/s)
≤ 160	2,5
200	3
315	4
400	4,5
500	5
630	6
800	7

5.2.2 Ilmanvaihtojärjestelmä

Ratkaisuna ilmamäärän nostamisesta johtuviin ongelmiin on käytävien, WC-tilojen ja muiden likaisten tilojen sekä keittiön ja ruokalan eriyttäminen omille ilmanvaihtokoneille. Tällä tavalla saadaan säilytettyä alkuperäinen runkokanavisto melkein kokonaan ja tehdään suunnitelmista paremmat kiertotaloudellisuuden

kannalta. Tämä mahdollistaa myös eroon pääsyn WC-tilojen sekä keittiön erillispoistoista ja poistoilmat saadaan menemään LTO:n kautta.

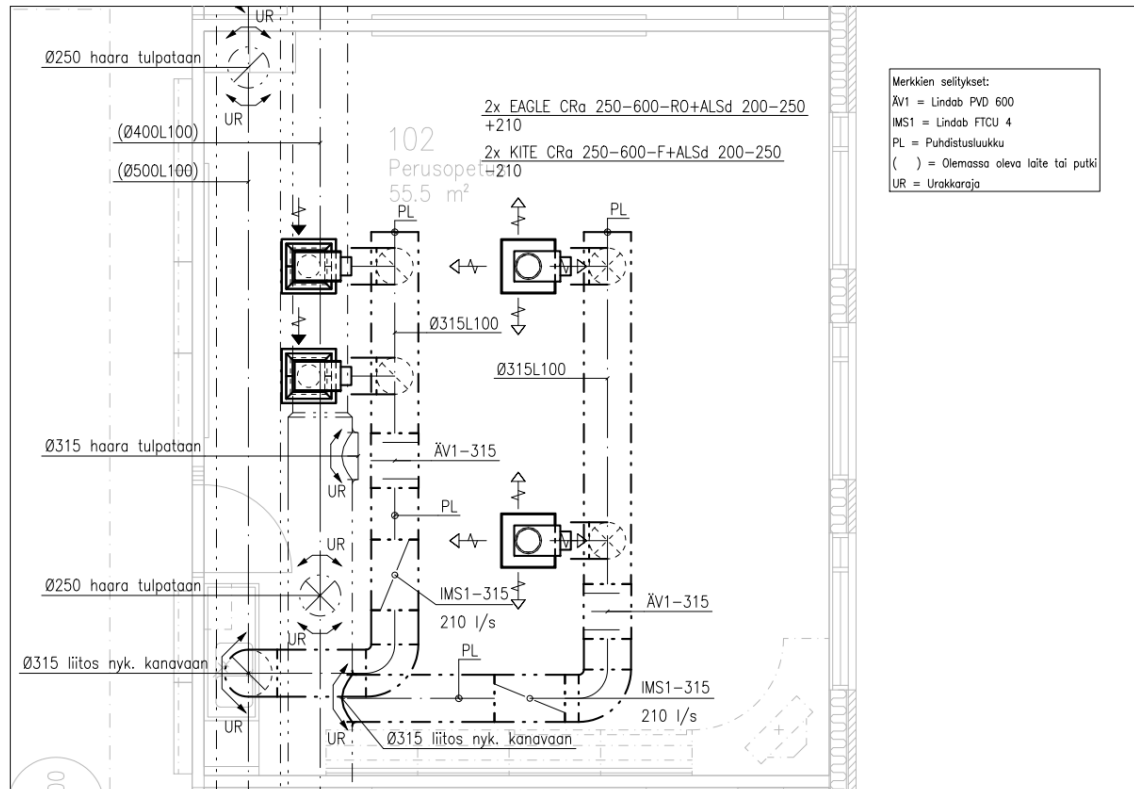
Opetustilojen ilmanvaihto suunniteltiin tarpeenmukaisena käyttäen ilmamääräsäätimiä. Suunniteltaessa tilojen toimivuutta on säätimet hyvä sijoittaa luokkatilojen ulkopuolelle, ettei niistä kantaudu haitallista ääntä tilaan. Kanaviston sijaitessa yläpohjassa eristeessä tai eristeen päällä, voidaan IMS eristettynä sijoittaa myös suoraan tilan yläpuolelle. Yläpohjaan sijoitetuille IMS-pelleille on myös hyvä varmistaa kulkuyhteydet mahdollisten ongelmatilanteiden sekä huoltojen varalta. (7; 12.) Suunnitelmissa käytetty Ab Lindab Oy:n FTCU 4 -ilmamääräsäädin on esitetty kuvassa (1).



Kuva 1. FTCU 4 -ilmamääräsäädin (12).

FTCU 4 -ilmamääräsäädin mittaa virtausta ultraäänen avulla. Ultraäänimittauksen etuna on anturin likaantumattomuus sekä tarkka mittaus pienemmilläkin ilmamäärillä. Suunnittelussa tärkeää on kuitenkin muistaa suojaetäisyydet häiriölähteeseen. Mutkan jälkeen asennettu FTCU 4 tarvitsee vähintään kahden kanavaläpimitan matkan ja t-haaran jälkeen yli 4-kertaisen matkan häiriöstä. Voidaan päätellä, että kyseisen ilmamääräsäätimen kunnollisen toiminnan varmistamiseksi, on hyvä käyttää aina yli neljän kanavaläpimitan suojaetäisyyttä. (12.)

Kuvassa 2 esitetään opetustilan ilmanvaihtosuunnitelma. Tuloilma puhalletaan katosta huonetilan keskeltä, jotta ilma sekoittuisi mahdollisimman tasaisesti huonetilaan. Poistoilma imetään huonetilan reunalta. Päätelaitteina käytetään sisäolosuhdetoimittajan Swegon Group AB:n valmistamia Eagle CR- ja KITE CR -päätelaitteita.



Kuva 2. Opetustilan ilmanvaihto

Esimerkki luokkahuoneen tulo- sekä poistokytöntäkanavat tuodaan runkokanavasta niin, että ilmamääräsäätimille on jätetty riittävät suojaetäisyydet. IMS-pellit varustetaan puhdistusluukulla, jotta niiden huoltaminen helpottuu. IMS:n jälkeen tulee äänenvaimennin, mikä minimoi pellin säädöstä aiheutuvaa sekä kanavistosta tulevaa melua luokkatilaan. Ilmamääräsäätimet suunniteltiin toimivaksi hiilidioksidimittauksen perusteella.

Opetustilojen ilmanvaihtokoneen vaikutusalueella olevat huonetilat, joissa mitoitussilmavirta on pienempi kuin 50 dm³/s, suunniteltiin vakiovirtaussäätimillä toimiviksi. Säätimet toimivat muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä ja ylläpitävät

haluttujen tilojen mitoitusilmavirtaa. Suunnitelmissa käytettiin mekaanista Trox GmbH:n RN vakiovirtaussäädintä.

5.2.3 Ilmanvaihtokoneen mitoitus

Ilmanvaihtokoneen mitoittaminen tapahtuu yleensä valmistajan mitoitusohjelmalla. Mitoitusohjelmaan syötetään ilmamäärä, kanavapaine, lämmityspatterin malli sekä lämmöntalteenoton malli. Ilmamäärä sekä kanavapaine lasketaan esimerkiksi MagiCAD-ohjelmalla.

Mitoitusohjelmassa kanavapaineet on hyvä ilmoittaa hieman yläkanttiin, jotta asennuksista johtuvat ylimääräiset painehäviöt eivät käyttöönottovaiheessa tuota ongelmia. Alimitoittaminen voi johtaa siihen, ettei puhallin jaksa tuottaa tarpeeksi ilmaa tiloihin. Valmistajan mitoitusohjelma laskee myös puhaltimen toimintapisteen oletusliitäntähäviöllä, joka on riippuvainen asennustavasta. On tärkeää, että puhaltimen liittäminen kanavistoon tehdään oikein. Jos liitäntä on tehty huonosti, se kasvattaa painehäviötä, mikä kasvattaa ominaissähkötehoa. Puhaltimen tarvitsema sähköteho kasvaa kolmanteen potenssiin, kun puhaltimen kierrosnopeutta joudutaan nostamaan. Jos ilmavirta jää esimerkiksi 10 % vajaaksi suunnitellusta ja sitä kasvatetaan suunnitteluarvoon puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla, tämä johtaa sähkötehon kasvuun $1,1^3$ eli 1,331-kerlaisena, eli noin 33 %. (15, s. 14.)

5.2.4 Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto

Opetustilojen käyttöajan sekä käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto suunniteltiin toteutettavaksi yhdellä ilmanvaihtokoneella. Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto olisi voitu suunnitella omalla ilmanvaihtokoneella, mutta tilat referenssi-kohteessa ovat rajalliset. Nykyisten asetusten mukaan käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto on oltava vähintään $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ m}^2$. Sivulla 19 mainitun tutkimuksen mukaan käyttöajan ulkopuolisessa ilmanvaihdossa huonetilat tuulettuivat, kun ilmanvaihtokone laitettiin 30–40 % osateholle. $5 \text{ m}^3:\text{n/s}$ kokoisella ilmanvaihtokoneella 30 % mitoitusilmavirrasta on $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tilat kyseisen ilmanvaihtokoneen vaikutusalueella ovat $1\,500 \text{ m}^2$. Siis 30 %:n osateholla tilojen ilmanvaihto

on $1\,500\text{ m}^2 / 1\,500\text{ dm}^3/\text{s}$ eli $1\text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$. Tämä on huomattavasti suurempi kuin asetusten mukainen $0,15\text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$. Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto suunniteltiin siten toimivaksi jaksottaisella tuuletuksella. (1, s. 2.)

Käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto omalla ilmanvaihtokoneella olisi ollut hankintakustannuksiltaan myös huomattavasti kalliimpi ratkaisu. Opinnäytetyössä Päiväkodin ilmanvaihtoratkaisut Pauli Manninen (2016) tutkii ja vertailee erilaisia toteutustapoja ilmanvaihdolle päiväkotitiloissa. Opinnäytetyössä vertaillaan mm. kahta erilaista tapaa toteuttaa käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto. Ensimmäisessä ratkaisussa ilmanvaihto toteutetaan yhdellä tulo- & poistokoneella. Toisessa käytönaikaista ilmanvaihtoa hoitaa yksi tulo- & poistokone ja käytönajan ulkopuolista ilmanvaihtoa hoitaa yksi pienkone. (16.) Hankintakustannukset molemmille ratkaisuille on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Ilmanvaihtoratkaisujen hankintakustannukset (16, s. 26.)

Ilmanvaihtoratkaisu	Hankintakustannukset (€)
1 Ilmanvaihtokone	28 064
2 Ilmanvaihtokonetta	37 304

Mannisen tutkimuksessa esitetyissä hankintakustannuksissa ei ole huomioitu päätelaitteiden, palo- ja säätöpeltien sekä keittiön huuvista aiheutuvia kuluja. Hankintakustannukset perustuvat Talonrakennus 2015 -kirjan mukaisiin keskimääräisiin hintoihin, jotka ovat alv. 0 %. Hankintakustannuksissa on huomioitu IV-koneet lämmöntalteenottolaitteineen sekä ilmanvaihtokanavistot. Tutkimuksen mukaan kahdella ilmanvaihtokoneella toteutettu ilmanvaihtoratkaisu olisi hankintakustannuksiltaan noin 1,3-kertainen eli 30 % kalliimpi vaihtoehto verrattuna yhdellä koneella toteutettuun. (16.)

6 Energialaskenta

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumui-
stiossa on jaoteltu palvelurakennuksen ilmanvaihdon osuus energian kokonaisku-
lutuksesta. Perustelumui-
stiossa kerrotaan ilmanvaihdon osuuden olevan 20–
50 % lämpöenergian kokonaiskulutuksesta ja 30–50 % sähköenergian koko-
naiskulutuksesta. Perustelumui-
stion mukaan tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla
voidaan saavuttaa sähköenergiankulutuksessa 8–28 %:n ja lämpöenergiankulu-
tuksessa 25–60 %:n säästöjä verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään. (2.)

Tässä luvussa esitetään opetustilojen ilmanvaihdon vuosittaiset energialaskel-
mat, joihin kuuluvat ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve sekä ilmanvaihtojär-
jestelmän sähköenergiankulutus. Ympäristöministeriön asetus energiatehok-
kuudesta antaa ohjeet ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen sekä ilman-
vaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksen laskentaan. Asetus on julkaistu
käytettäväksi 1.1.2018 voimaantulevien energiatehokkuussäädösten tukena.
Ohje korvasi Suomen RakMK:ssa vuonna 2012 julkaistun ohjeen D5 Rakennuk-
sen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. (17.)

6.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan erikseen jokaiselle ilman-
vaihtokoneelle kaavalla (1). Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve tarkoit-
taa tuloilman lämmittämiseen kuluva energiaa ilmanvaihtokoneessa. (17.)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad (1)$$

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h / 24 h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

T_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, °C

$\Delta T_{puhallin}$ on lämpötilan nousu puhaltimessa, °C

T_{lto} on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

1000 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Kaavassa (1) esitetty lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila lasketaan kaavalla (2).

$$T_{lto} = T_u + \frac{\phi_{lto}}{t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo}} \quad (2)$$

T_{lto} on lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

ϕ_{lto} on LTO:lla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h / 24 h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

Kaavassa (2) esiintyvä lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho lasketaan kaavalla (3).

$$\phi_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (3)$$

ϕ_{lto} on LTO:lla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

$\eta_{a,ivkone}$ on ilmanvaihtokoneen poistoilman LTO:n vuosihyötysuhde, -

t_d on ilmanvaihtolaitoksen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h / 24 h

t_v on ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk / 7 vrk

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v,poisto}$ on poistoilmavirta, m³/s

T_s on sisälämpötila, °C

T_u on ulkolämpötila, °C

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritellään ympäristöministeriön Tasauslaskentaopas 2018:aan liitteessä 4. Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskenta (Moniste 122) seuraavasti:

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun rakennuksessa ei ole lämmöntalteenottoa. (18.)

Rakennuksen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan erikseen jokaiselle rakennuksessa olevalle ilmanvaihtokoneelle ja sen lämmöntalteenottovaatimusten piiriin kuuluville poistoilmavirroille. Tasauslaskentaopas 2018:n mukaan lasketussa poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteessa otetaan huomioon tulo- ja poistoilmavirtojen suhde, jäätymissuojauksen toiminta sekä tuloilman lämpötilan rajoittaminen. Laskennassa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS-EN 308 mukaan mitattua tai tyyppihyväksyttyä tuloilman lämpötilasuhdetta tasailmavirroilla. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde lasketaan kaavalla (4). (18.)

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (4)$$

η_a on poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -

Q_{LTO} on poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia

Q_{iv} on ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve

Jos oletetaan ilmavirtojen ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet yhtä suuriksi, voidaan kaava (4) kirjoittaa lämmöntarveluvuilla ja ilmavirtojen suhteilla kaavaksi (5) (18.).

$$\eta_a = \frac{\sum R_{T,i} S_{T,i}}{S_S} = \frac{\sum R_{P,i} S_{J,i}}{S_S} \quad (5)$$

η_a on poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -

$R_{T,i}$ on ilmanvaihtokoneen (i) tuloilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde, -

$R_{P,i}$ on ilmanvaihtokoneen (i) poistoilmavirran ja kaikkien lämmöntalteenottovaatimuksen piiriin kuuluvien poistoilmavirtojen suhde, -

$S_{T,i}$ on LTO:n jälkeisen tuloilman lämpötilan t_{LTO} ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

$S_{J,i}$ on sisäilman lämpötilan t_s ja jäteilman lämpötilan t_j välinen lämmöntarveluku lämmityskaudella, Kd

S_S on sisäilman lämpötilan t_s ja ulkoilman lämpötilan t_u välinen lämmöntarveluku, Kd

Lämmöntarvelukujen laskennassa voidaan käyttää Ilmatieteen laitoksen testivuoden TRY 2012 säävyöhykkeen I–II ulkoilman lämpötilasta laskettuja pysyvyystietoja. Lämmöntarveluvut S_S , S_T ja S_J lasketaan lämpötila-alue kerrallaan kaavoilla (6), (7) ja (8). Jos tarkasteltavat ajat lämpötila-alueilla eli ulkolämpötilojen pysyvyydet ilmaistaan prosentteina vuodesta, täytyy kaavojen oikea puoli kertoa luvulla 365 ja jakaa luvulla 100, jotta lämmöntarvelukujen yksiköiksi saadaan Kd. (18.)

$$S_S = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{u,n}) \quad (6)$$

$$S_T = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_{LTO,n} - t_{u,n}) \quad (7)$$

$$S_J = \sum_n (\tau_n - \tau_{n-1}) (t_s - t_{j,n}) \quad (8)$$

τ_n on tarkasteltavan ajanhetken aika, d

τ_{n-1} on tarkasteltavaa ajanhetkeä edeltävän ajanhetken aika, d

6.2 Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutuksella tarkoitetaan puhaltimen ja mahdollisten muiden apulaitteiden sähkönkulutusta. Ilmanvaihtokoneiden tai

yksittäisten puhaltimien sähköenergiankulutus lasketaan suunnitellun ilmavirran, ominaissähkötehon sekä käyntiajan avulla kaavalla (9). (17.)

$$W = \sum SFPq_v \Delta t + W_{IV, muut} \quad (9)$$

W on Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus, kWh

SFP on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

q_v on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m³/s

Δt on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla, h

$W_{IV, muut}$ on muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh

6.3 Ilmanvaihtokoneiden tarkastelu ja mitoituksen lähtökohdat

Ilmanvaihtokoneet mitoitetaan valmistajan mitoitusohjelmalla. Tässä insinööri-työssä mitoitukset tehtiin FläktGroupin Acon-valintaohjelmalla. Mitoituksen lähtötiedoiksi tarvitaan ilmamäärä, kanavapaine, tuloilman lämpötila, lämmityspatterin malli sekä lämmöntalteenoton malli. Ilmamäärät ja kanavapaineet saadaan IV-suunnitelmista. Tämän työn uudet ilmanvaihtokoneet mitoitettiin Lohjan kaupungin LVIA-ohjeiden mukaan (ks. s. 7) niin, että ilmavirtaa voidaan halutessa nostaa 20 % ja SFP-luku tehostuspisteessä on maksimissaan 1,8 kW/(m³/s).

Tarkastelussa on vanha ilmanvaihtotavan tulo- ja poistokone ja sen ilmanvaihtojärjestelmän piiriin kuuluvat erillispoistot. Lisäksi tarkastellaan uusia ilmanvaihtotapoja (mallit 1, 2 ja 3). Suunnitteluohjelmalla määriteltiin kaikkien mallien pääilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavien painehäviöksi 300 Pa. WC-tilojen ja käytävien sekä keittiön ilmanvaihtokoneet mitoitettiin 200 Pa:lle. Ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisilmamääräksi suunniteltiin 7,3 m³/s sekä tulo- että poistoilmaa. Acon-valintaohjelmalla saadut ilmanvaihtokoneiden koot esitetään taulukossa 9.

Taulukko 9. FläktGroupin ilmanvaihtokoneiden kokotaulukko

Ilmanvaihtokone	Konekoko (FläktGroup)
Mallikone 1	072
Mallikone 2	068
Mallikone 3	079
WC-tilat ja käytävät	008
Keittiö ja ruokala	018

Kaikissa energialaskelmissa käytettiin mitoitusilmavirtaa. Jotta tuloksista saataisiin mahdollisimman luotettavia, käytetään kaikkien ilmanvaihtojärjestelmien energialaskelmissa taulukon 10 mukaisia lähtöarvoja.

Taulukko 10. Energialaskelmien lähtöarvot

Lähtöarvot	Yksikkö	
Käyntiaika ilmanvaihtokoneille	tuntia/päivä	13
	päiviä/viikko	5
Käyntiaika WC-tilojen erillispoistoille	tuntia/päivä	24
	päiviä/viikko	7
Sisälämpötila	°C	21,5
Sisäänpuhalluslämpötila	°C	18
Lämpötilan nousu puhaltimessa	°C	0,5
Ilman tiheys	kg/m ³	1,2
Ilman ominaislämpökapasiteetti	J/(kg*K)	1000

Vanhassa ilmanvaihtojärjestelmässä käytävien sekä keittiön tuloilma tulee samalla tulo- ja poistokoneella, jolla hoidetaan opetustilojen ilmanvaihtoa. Käytävien sekä keittiön poistoilma hoidetaan käytävillä sijaitsevien WC-ryhmien ja keittiön erillispoistoilla. Koska ilmanvaihtojärjestelmään tehdään muutoksia (ks. s. 16–20), lisätään ilmanvaihtotapojen 1 ja 2 energialaskelmiin käytävien ja WC-tilojen sekä keittiön ja ruokalan ilmanvaihtokoneiden energialaskelmat. Kaikissa

energiälaskelmissa puhaltimen sähköenergia on laskettu kaavalla (9) ja ilmanvaihdon lämmitysenergia on laskettu kaavalla (1). Kaikissa laskelmissa on käytetty ilmanvaihtokoneiden tehostamatonta eli mitoitusilmavirtaa ja sillä ilmavirralla valmistajan ilmoittamaa SFP-lukua sekä lämmöntalteenoton lämpötilasuhdetta.

Tässä insinööriyössä kaikkien uusien ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a on määritelty kaavalla (5). Laskentaan tarvitaan valmistajan ilmoittama lämpötilasuhde, tulo- ja poistoilmavirrat ja niiden ilmavirtasuhde, lämmöntalteenoton jäätymissuojauksen toiminta-arvot sekä tuloilman lämpötilan rajoitusarvot. Kaikkien uusien ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen on rajoitettu +17 °C:seen ja LTO:n jälkeinen poistoilman lämpötila on rajoitettu 0 °C:seen.

6.3.1 Alkuperäinen ilmanvaihtojärjestelmä

Alkuperäisen ilmanvaihtokoneen mitoitus tietoja sekä koneajoa ei ollut saatavilla. Rakennusautomaatiosta saatiin kuitenkin selville tarvittavia tietoja ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarpeen sekä sähköenergiankulutuksen arvion laskemiseen. Lämmöntalteenottona toimii pyörivä lämmönsiirrin, jonka vuosihyötysuhteenä käytettiin kyseisen ilmanvaihtokoneen, jokaisen kuukauden lämmöntalteenoton hyötysuhteen minimi ja maksimi arvoista laskettua keskiarvoa lämmityskaudella. Lämmityskaudella tarkoitetaan ajanjaksoa 1.9.–31.5. Vuosihyötysuhteen arvio laskettiin kaavalla (10).

$$\eta_a = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n}{n} \quad (10)$$

η_a on poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, -

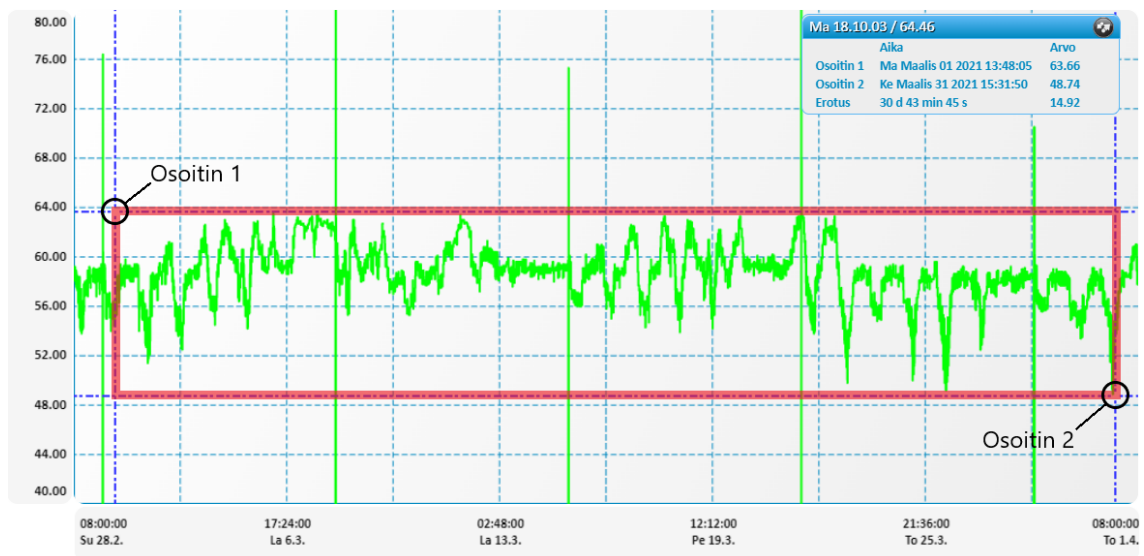
η_1 on ensimmäinen LTO-hyötysuhteen keskiarvo tarkasteltavalla ajanhetkellä

η_2 on toinen LTO-hyötysuhteen keskiarvo tarkasteltavalla ajanhetkellä

η_n on viimeinen LTO-hyötysuhteen keskiarvo tarkasteltavalla ajanhetkellä

n on tarkasteltavien ajanjaksojen summa

Kuvassa 3 on esitetty vuoden 2021 maaliskuun lämmöntalteenoton hyötysuhde havainnekuvana. Pystyakselilla näkyy lämmöntalteenoton hyötysuhde ja vaakakselilla näkyy ajan määre. Punaisella merkitty alue kuvaa ajanjaksoa 1.3.–31.3.2021 ja kyseisen ajanjakson hyötysuhteita. Kuvassa vasemmalla näkyvä ”osoitin 1” kuvaa lämmöntalteenoton maksimi hyötysuhdetta tarkasteltavalla ajanjaksolla. Kuvassa oikealla näkyvä ”osoitin 2” kuvaa lämmöntalteenoton minimi hyötysuhdetta tarkasteltavalla ajanjaksolla. Käyrästä näkyvät piikit johtuvat siitä, että ilmanvaihtokone sammutetaan maanantaisin.



Kuva 3. Vuoden 2021 maaliskuun lämmöntalteenoton hyötysuhde

Vanhassa ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma on $6 \text{ m}^3/\text{s}$ ja poistoilma ilmanvaihtokoneen kautta on $3,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Järjestelmässä käytetään erillispoistoja, joista ei oteta lämpöä talteen. Erillispoistojen ilmamäärä on $2,35 \text{ m}^3/\text{s}$, josta $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$ on WC-tilojen osuus. Vuoden 2021 lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi laskettiin $56,2 \%$ kaavalla (10).

Alkuperäinen Ilmanvaihtojärjestelmä on vuodelta 1994. Koska vuoden 1987 rakentamismääräyskokoelmassa ei ole mainintaa ilmanvaihtojärjestelmän SFP-luvun vaatimuksista, käytetään ilmanvaihtokoneen ja erillispoistojen SFP-lukuina kumotun rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2003) mukaisia enimmäisarvoja $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ tulo- ja poistoilmajärjestelmille ja $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

erillispoistolle (14). Taulukossa 11 on esitetty vanhan ilmanvaihtojärjestelmän ilmanvaihtokoneet ja erillispoistot sekä niiden mitoitus tiedot.

Taulukko 11. Alkuperäinen ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtokone	SFP	LTO η_a	Tuloilmavirta	Poistoilmavirta
	kW/(m ³ /s)	%	m ³ /s	m ³ /s
Tulo- ja poistokone	2,5	56,2	6,0	3,65
Erillispoistot	1,0	-	-	1,8
WC-tilat	1,0	-	-	0,55

Yllä esitetyt ilmamäärät on saatu rakennusautomaatiosta, ja ne täsmäävät alkuperäisten suunnitelmien kanssa. Alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän vuosittaiset puhaltimien sähköenergiakulutukset ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve mitoitusilmavirralla on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän energialaskelmat

Ilmanvaihtokone	Puhaltimien sähköenergia	Ilmanvaihdon lämmitysenergia
	kWh	kWh
Tulo- ja poistokone	30 927	160 655
Erillispoistot + WC	10 919	-
Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus (kWh)		202 501

6.3.2 Ilmanvaihtotavat 1 ja 2

Ilmanvaihtotavoissa 1 ja 2 ilmanvaihtokoneet korvataan uusilla ja vanhaan ilmanvaihtojärjestelmään tehdään suunnitelmien mukaiset muutokset (ks. s. 16–20). Mallikone 1 valittiin niin, että SFP-luku pysyi Lohjan kaupungin asettamien omien ohjeiden rajoissa (ks. s. 7). Mallikone 2 valittiin mitoitusohjelman energiatehokkaimpana vaihtoehtona, jotta nähdään, minkälaisia mahdollisia energiasäästöjä se toisi. Kummassakin mallikoneessa lämmöntalteenottona toimii

pyörivä lämmönsiirrin. Käytävien ja vessojen sekä keittiön ilmanvaihtokoneissa lämmöntalteenotto on toteutettu vastavirta levylämmönsiirtimillä. Valmistajan mitoitusohjelma määrittää koneille SFP-luvut sekä lämmöntalteenoton lämpötilasuhteet tasailmavirroilla. Ilmanvaihtokoneet ja niiden mitoitus tiedot, valmistajan ilmoittamat SFP-luvut sekä lasketut LTO-vuosihyötysuhteet ovat esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Ilmanvaihtotavat 1 ja 2: IV-koneet

Ilmanvaihtokone	SFP	LTO η_a	Tuloilmavirta	Poistoilmavirta
	kW/(m ³ /s)	%	m ³ /s	m ³ /s
Mallikone 1	1,55	72,4	5,04	5,04
Mallikone 2	1,40	72,6	5,04	5,04
Käytävät ja WC	1,51	72,6	0,72	0,72
Keittiö ja ruokala	1,43	72,6	1,54	1,54

Taulukossa 14 on esitetty uusien ilmanvaihtotapojen 1 ja 2 vuotuiset energiankulutukset. Lisäksi energiankulutus on laskettu käytävien ja WC-tilojen sekä keittiön ja ruokalan ilmanvaihtokoneille. Käytävien ja WC-tilojen ilmanvaihtokoneen energialaskelmat on tehty siltä pohjalta, että ilmanvaihtokonetta pidetään jatkuvasti päällä.

Taulukko 14. Ilmanvaihtotavat 1 ja 2: energialaskelmat

Ilmanvaihtokone	Puhaltimien sähköenergia	Ilmanvaihdon lämmitysenergia
	kWh	kWh
Mallikone 1	26 447	23 875
Mallikone 2	23 915	23 356
Käytävät ja WC	9 524	8 624
Keittiö ja ruokala	7 464	7 137
Ilmanvaihtotavan 1 kokonaisenergiankulutus		83 071 (kWh)
Ilmanvaihtotavan 2 kokonaisenergiankulutus		80 020 (kWh)

6.3.3 Ilmanvaihtotapa 3

Tässä mallissa vanha ilmanvaihtokone korvataan uudella, mutta järjestelmään ei tehdä muita muutoksia kuin ilmamäärien nostaminen Lohjan kaupungin asettamien sisäilmastotavoitteiden eli Sisäilmastoluokituksen S2-luokan tasolle. Tämän mallin ilmanvaihtokanavisto jouduttaisiin uusimaan melko laajasti runkokaavia myöden, sillä ilmamäärä kasvaa noin 35 %. Myös korvausilman saanti olisi varmistettava jatkuvasti päällä olevien WC-tilojen poistoille, tai vaihtoehtoisesti WC-tilojen ilmanvaihto olisi laitettava kiinni käyttöajan ulkopuolella. Energialaskelmat laskettiin sen mukaan, että erillispoistot olivat jatkuvasti päällä ja korvausilma tuodaan pääilmanvaihtokoneella.

Valmistajan ilmoittama lämpötilahyötysuhde kyseiselle ilmanvaihtokoneelle on 75,7 % tasailmavirroilla. Kun ilmanvaihtojärjestelmään lisätään erillispoistot, jotka imevät huonetiloista ilmaa 2,35 m³/s, ilmanvaihtokoneen ilmavirtasuhde muuttuu. Ilmanvaihtokoneen poistoilmavirran pienentyessä erillispoistojen ilmamäärän verran pienenee myös lämmöntalteenoton hyötysuhde. Ilmanvaihtokoneen mitoitusarvot on esitelty taulukossa 15, jossa SFP-luku on saatu valmistajan mitoitusohjelmalla ja LTO-vuosihyötysuhde η_a on laskennallinen. Erillispoistojen SFP-luvut on määritelty asetusten mukaisiksi maksimiarvoiksi 0,9 kW/(m³/s) poistoilmajärjestelmille.

Taulukko 15. Ilmanvaihtotapa 3: IV-koneet

Ilmanvaihtokone	SFP	LTO η_a	Tuloilmavirta	Poistoilmavirta
	kW/(m ³ /s)	%	m ³ /s	m ³ /s
Mallikone 3	1,36	56,8	7,3	4,95
Erillispoistot	0,9	-	-	1,8
WC-tilat	0,9	-	-	0,55

Taulukossa 16 on esitetty ilmanvaihtotapa 3:n vuotuiset energialaskelmat. Kyseisessä ilmanvaihtotavassa energialaskelmat laskettiin sen mukaan, että erillispoistot olivat jatkuvasti päällä ja korvausilma tuodaan ilman lämmöntalteenottoa samalla ilmanvaihtokoneella kuin käyttöaikana.

Taulukko 16. Ilmanvaihtotapa 3: energialaskelmat

Ilmanvaihtokone	Puhaltimien sähköenergia	Ilmanvaihdon lämmitysenergia
	kWh	kWh
Mallikone 3	26 834	218 202
Erillispoistot + WC	9 827	-
Ilmanvaihtojärjestelmän 3 energiankulutus (kWh)		254 863

6.3.4 Mitoitusilmavirroilla laskettujen energialaskelmien yhteenveto

Taulukkoon 17 on koottu alkuperäisen ilmanvaihtojärjestelmän sekä uusien ilmanvaihtotapojen eli mallien 1, 2 ja 3 ilmanvaihtojärjestelmien lasketut kokonaisenergiankulutukset vuodessa. Taulukon alapuolella analysoidaan tuloksia ja vertaillaan niitä toisiinsa.

Taulukko 17. Ilmanvaihtotapojen energiankulutuksien vertailu

Ilmanvaihtokone	Puhaltimien sähköenergia	Ilmanvaihdon lämmitysenergia	Yhteensä
	kWh	kWh	kWh
Alkup.	41 846	160 655	202 501
Malli 1	43 435	39 636	83 071
Malli 2	40 903	39 117	80 020
Malli 3	36 661	218 202	254 863

Ilmanvaihtotapojen 1 ja 2 välillä ei energialaskelmien tuloksissa ollut juurikaan eroja. Pieni ero löytyi puhaltimien sähköenergian kulutuksissa, missä mallilla 1 se oli n. 6 % suurempi. Tämä johtui siitä, että malli 1:ssä ilmanvaihtokone oli pienempi malliin 2 nähden. Kokonaisenergiankulutuksessa se vastasi alle 4 %:n suuruusluokkaa. Suunnitelmiin valittiin kuitenkin malli 1:n mukainen ilmanvaihtokone, jotta referenssikohteen konehuonetta ei tarvitse laajentaa.

Ilmanvaihtotapa 3 oli tehty sillä periaatteella, että ilmanvaihtojärjestelmä pysyy samanlaisena alkuperäiseen verrattuna, mutta uusi ilmanvaihtokone on ilmavirtaaltaan n. 35 % isompi. Ilmamäärää kasvatetaan niin, että Sisäilmaluokitus 2018:n S2-luokan ilmamäärät toteutuvat huonetiloissa. Tässä ilmanvaihtojärjestelmässä säilytetään erillispoistot, joista ei oteta lämpöä talteen. Ilmanvaihtokoneeksi valittiin mitoitusilanteessa SFP-luvulla 1,36 kW/(m³/s) toimiva tulo- ja poistokone. Tulokset eroavat toisistaan noin 25 % vanhan järjestelmän hyväksi. Tässä täytyy ottaa huomioon, että WC-tilojen ilmanvaihto on jatkuvasti päällä, mutta alkuperäisessä järjestelmässä sille ei tuoda lämmitettyä korvausilmaa. Malli 3:ssa lämmitetty korvausilma tuodaan hallitusti ilmanvaihtokoneella.

Malleissa 1 ja 3 huomataan suuriakin eroja energialaskelmien välillä. Malli 3:ssa ilmanvaihtojärjestelmän kokonaisenergiankulutus on noin kolminkertainen verrattuna mallin 1 energiankulutukseen. Malli 1:ssä puhaltimien sähköenergian tarve on noin 1,18 kertaa suurempi, mutta ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve on noin 5,5 kertaa pienempi verrattuna malliin 3. Pelkästään laskennallisia

energiankulutuksia tarkasteltaessa ilmanvaihtotapa 1 on paljon järkevämpi ratkaisu ilmanvaihtotapaan 3 verrattuna.

6.4 Energiansäästöt IMS-pelleillä

Ilmanvaihtojärjestelmä referenssikohteeseen suunniteltiin edellisessä luvussa esitetyn ilmanvaihtotavan 1 mukaan. Tässä käydään läpi mahdolliset energiansäästöt, joita ilmamääräsäätimillä voidaan saavuttaa. Laskelmat tehdään opetustilojen ilmanvaihtokoneelle. Laskelmissa otetaan huomioon ilmamäärien pienentymisestä johtuvat ilmiöt IV-koneessa ja koneen ominaisuuksissa. Laskelmissa tulo- ja poistoilmakanaviston painehäviöt pidetään suunnitelmien mukaisina (ks. s. 25). Energialaskelmat tehdään ilmamäärillä, joissa ilmanvaihtoa saadaan pienennettyä keskimääräisesti 10 %, 20 % ja 30 % mitoitusilmavirrasta.

FläktGroupin Acon-valintaohjelma antaa kyseiselle ilmanvaihtokoneelle SFP-luvut sekä lämmöntalteenoton lämpötilasuhteet jokaisella ilmamäärällä. Päivitettyä SFP-lukua käytetään kaavalla (8) lasketuissa puhaltimien sähköenergiankulutuksien laskelmissa. Päivitettyä lämpötilasuhdetta käytetään kaavalla (5) lasketuissa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteissa. Päivitettyä LTO-vuosihyötysuhdetta käytetään kaavalla (1) lasketuissa ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarpeen laskelmissa. Taulukossa 18 on esitetty opetustilojen ilmanvaihtokoneen mitoitus tiedot kullakin ilmamäärällä.

Taulukko 18. Opetustilojen ilmanvaihtokoneen mitoitus tiedot

ilmamäärän pieneneminen	SFP	LTO η_a	Tuloilmavirta	Poistoilmavirta
	kW/(m ³ /s)	%	m ³ /s	m ³ /s
10 %	1,44	72,6	4,54	4,54
20 %	1,34	72,6	4,03	4,03
30 %	1,27	72,7	3,53	3,53

Taulukosta 18 nähdään, että ilmamäärän pienentäminen ilmanvaihtokoneessa ei juurikaan muuta teoreettista lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta, mutta SFP-luvun lasku on selkeästi havaittavissa. Todellisuudessa SFP-luku laskee vielä enemmän ilmanvaihtokanaviston painehäviön pienentyessä. Taulukossa 19 esitetään opetustilojen ilmanvaihdon laskennalliset vuotuiset energiankulutukset.

Taulukko 19. Opetustilojen ilmanvaihtokoneen energialaskelmat IMS-pelleillä

Ilmamäärän pieneneminen	Puhaltimien sähköenergia	Ilmanvaihdon lämmitysenergia
	kWh	kWh
Mitoitus	26 447	23 875
10 %	22 158	21 039
20 %	18 303	18 676
30 %	15 195	16 177

Ilmamääräsäätimien takaisinmaksuajan laskelmissa käytetyt hinnat ovat alv 0 %. Ilmamääräsäätimien hintatiedot saatiin valmistajalta. Laskelmissa sähköenergian hintana on 14 c/kWh ja kaukolämmön hintana 8,5 c/kWh. Ilmamääräsäätimien ja äänenvaimentimien kustannukset esitetään taulukossa 20.

Taulukko 20. Ilmamääräsäätimien kustannukset

Tuote	Koko	Hinta	Määrä	Yht.
-	mm	€	kpl	€
Lindab FTCU	315	450,00	42	18 900,00
Lindab PVD	315 x 600	204,81	42	8 602,02
			Yhteensä	27 502,02

Kun halutaan arvioida ilmamääräsäätimien kannattavuutta, niille voidaan laskea takaisinmaksuaika. Se kertoo, kuinka nopeasti ilmamääräsäädin maksaa

säästetyllä ilmanvaihdon energialla itsensä takaisin. Ilmamääräsäätimien takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla (11).

$$TMA = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuinen säästö}} \quad (11)$$

Seuraavissa laskelmissa hankintakustannuksena käytetään taulukosta 18 saatua yhteenlaskettua kokonaissummaa euroina IMS-pelleille sekä äänenvaimentimille. Vuotuinen säästö saadaan kertomalla energiamuodon yksikköhinta (c/kWh) vuodessa säästetyllä energialla (kWh). Tulos muunnetaan euroiksi jakamalla se sadalla. Taulukon 19 arvoista lasketut vuotuiset energiansäästöt on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. IMS-pelleillä saatavat vuotuiset energiansäästöt

Ilmamäärän pieneneminen	Puhaltimien sähköenergian säästö		Ilmanvaihdon lämmitysenergian säästö	
	kWh/vuosi	€/vuosi	kWh/vuosi	€/vuosi
10 %	4 289	600	2 836	241
20 %	8 144	1 140	5 199	442
30 %	11 252	1 575	7 698	654

Takaisinmaksuajat ilmamääräsäätimille ja säätimien yhteyteen lisättäville äänenvaimentimille, kun ilmanvaihtoa saadaan pienennettyä IMS-peltien avulla, ovat seuraavat:

$$TMA \text{ kun ilmamäärä pienenee } 10 \% = \frac{27\,502 \text{ €}}{842 \text{ €/v}} \approx 33 \text{ vuotta}$$

$$TMA \text{ kun ilmamäärä pienenee } 20 \% = \frac{27\,502 \text{ €}}{1\,528 \text{ €/v}} \approx 17 \text{ vuotta}$$

$$TMA \text{ kun ilmamäärä pienenee } 30 \% = \frac{27\,502 \text{ €}}{2\,230 \text{ €/v}} \approx 12 \text{ vuotta}$$

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä selvitettiin, miten suunnitellaan oppilaitoksen ilmanvaihtojärjestelmälle saneeraus. Työssä käytiin läpi sisäilman laatuvaatimuksia, ilmanvaihdon mitoitusperusteita, ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua, ilmanvaihtokoneen mitoitusta sekä energialaskentaa erilaisille ilmanvaihtojärjestelmien mallille. Insinööriyön lopputuloksena syntyi tutkielma sekä sen perusteella tehdyt ilmanvaihtosuunnitelmat Lohjalla sijaitsevaan koulurakennukseen.

Ilmamäärien nostaminen Lohjan kaupungin sisäilmatavoitteiden tasolle toi haasteita suunnitteluun. Suunnitelmien lähtökohtina oli ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus sekä saneerauksen kiertotaloudellisuus. Vanhat ilmanvaihtokanavat pyrittiin säilyttämään mahdollisimman laajalti. Ratkaisuna tilojen ilmamäärien nostamiselle oli käytävien, WC-tilojen sekä keittiön eriyttäminen opetustilojen ilmanvaihtokoneen alta omille lämmöntalteenotolla varustetuille ilmanvaihtokoneille. Tällä tavalla saatiin säilytettyä vanha ilmanvaihdon runkokanavisto ja uusista ilmanvaihtokoneista saatiin energiatehokkaita.

Työssä tehtiin energialaskelmat alkuperäiselle sekä kolmelle uudelle ilmanvaihtoratkaisulle ja vertailtiin niitä toisiinsa. Energialaskelmien tulokset mukailivat suunnitelmissa tehtyjä havaintoja. Paras ilmanvaihtoratkaisu energiankulutuksen kannalta tämän tyyppiselle koulurakennukselle oli ilmanvaihtojärjestelmä, jossa vanhat erillispoistot korvataan lämmöntalteenotolla varustetuilla ilmanvaihtokoneilla.

Opetustilat suunniteltiin tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla. Suunnitelmissa käytettiin ultraäänimittauksella varustettuja ilmamääräsäätimiä. IMS-peltien tuomista energiansäästöistä tehtiin kustannuslaskelmat. Ilmamääräsäätimille laskettiin potentiaaliset energiansäästöt, kun kokonaisilmamäärää saadaan pienennettyä 10 %, 20 % ja 30 %. Takaisinmaksuajaksi IMS-pelleille ja niiden yhteyteen asennettaville äänenvaimentimille oli 12 vuotta, kun ilmamäärä pienentyy 30 %. Jos IMS:lle laskettu tekninen käyttöikä on 15–20 vuotta, voidaan todeta hankkeen olevan kannattava, jos ilmamäärää on mahdollista keskiarvoisesti pienentää 30 %.

Tätä työtä jatketaan tekemällä lisäselvitys kustannuslaskelmista työssä esitetyille ilmanvaihtojärjestelmille ja niissä toimiville ilmanvaihtokoneille. Lisäselvityksen ja tämän työn perusteella arvioidaan erilaisten ilmanvaihtotapojen kannattavuutta tarkemmin. Tätä työtä voitaisiin myös kehittää ja jatkaa tutkimalla koulurakennuksen tilojen ilmanvaihtoa, joissa käytetään erillispoistoja. Tärkeää olisi löytää hyviä ratkaisutapoja tilojen painesuhteiden hallintaan ja erillispoistojen korvausilman saantiin.

Lähteet

- 1 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. Annettu Helsingissä 20.12.2017.
- 2 Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja sen perustelumuistio. 2019. Kuntien sisäilmaverkosto.
- 3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 2021. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Päivitetty 11.6.2021. Luettu 8.7.2022.
- 4 Kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhauudet>. Luettu 6.10.2022.
- 5 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Annettu Helsingissä 23.4.2015.
- 6 Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2018. Sisäilmayhdistys ry. RT 07-11299. Rakennustieto Oy.
- 7 LVIA-suunnitteluohje. 2022. Lohjan Kaupunki, Tilakeskus. Organisaation sisäinen dokumentti.
- 8 Opas ilmanvaihdon mitoittamiseen muissa kuin asuinrakennuksissa. 2019. Verkkoaineisto. FINVAC ry. https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_ilmanvaihdon_mitoittamiseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_2019b.pdf. Luettu 16.6.2022.
- 9 Valtioneuvoston päätös peruskoulu- ja lukiorakennusten suunnittelun perusteista 264/1998. Annettu Helsingissä 24.3.1988.
- 10 Perusopetuksen tilat. Suunnittelun lähtökohdat. 2019. RT 103080. Rakennustieto Oy.
- 11 Perusopetuksen suunnitteluohje 2021. Verkkoaineisto. Tampereen Kaupunki. https://www.tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/TRE_Koulujen_suunnitteluohje_2021.pdf. Luettu 11.7.2022.
- 12 UltraLink ilmamääräsäädin FTCU 4 käyttöohje. 2022. Verkkoaineisto. Oy Lindab Ab. <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/Technical-FTCU.pdf>. 3.8.2022. Luettu 5.8.2022.

- 13 Alanko, Antti. 2018. Ilmanvaihdon käyttötapojen ja käyttötasojen vaikutus sisäilmaan koulurakennuksissa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen Yliopisto. Theseus-tietokanta.
- 14 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 15 SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 2009. Verkkoaineisto. LVI-talotekniikka-teollisuus ry. https://www.filtech.fi/data/sfpopas3_060709.pdf. Luettu 16.8.2022.
- 16 Manninen, Pauli. 2016. Päiväkodin ilmanvaihtoratkaisut. Opinnäytetyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 17 Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriö. Annettu Helsingissä 20.12.2017.
- 18 Tasauslaskentaopas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2017. Helsinki: Ympäristöministeriö.