

Kai Köykkä

**Tarpeenmukainen ilmanvaihto**

**koulurakennuksissa**

Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Tekniikan yksikkö  
Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Kai Köykkä

Työn nimi: Tarpeenmukainen ilmanvaihto koulurakennuksissa

Ohjaaja: Eero Kulmala

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 3

---

Suomessa lakkautetaan kouluja joka vuosi. Tästä johtuen monissa kouluissa oppilasmäärät kasvavat ja vanhimpia kouluja joudutaan saneeraamaan, koska koulurakennuksista halutaan parempikuntoisia ja viihtyisämpiä. Koulurakennuksissa viettää aikaansa vähintään joka kolmas suomalainen viikoittain. Oppilaitosten väheneminen ja oppilasmäärien kasvu luovat sisäilman laatuun tietynlaiset vaatimukset.

Suurin sisäilmaan vaikuttava tekijä on ilmanvaihto, joka on myös rakennuksien suurin yksittäinen energiankuluttaja. Ilmanvaihdon hallitseminen ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon luominen, on yksi nykypäivän haasteista, koulurakennuksissa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua Swegon Oy:n kehittämään System WISE -ilmanvaihtojärjestelmään, joka on tehty palvelemaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Lisäksi työn tavoitteena oli tutustua koulurakennuksen sisäilmavaatimukseen ja erilaisiin tutkimuksiin, jotka koskevat tarpeenmukaista ilmanvaihtoa koulurakennuksissa.

Avainsanat: Ilmanvaihto, sisäilma, energiankulutus

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Kai Köykkä

Title of thesis: The utilization of variable air volume ventilation in schoolhouses

Supervisor: Eero Kulmala

Year: 2013

Number of pages: 41

Number of appendices: 3

---

Every year, a few schools are closed in Finland. Because of this, the enrolment increases in many schools, and old schools must be renovated to make the schoolhouses in good repair and more comfortable. Every week, one third of the Finns spend time in school. The smaller number of schools and larger amount of pupils makes certain requirements for indoor air.

The main factor on indoor air is ventilation, which is the biggest single user of energy in buildings. At the moment, the main challenges in schoolhouses are controlling ventilation by variable air volume ventilation.

The purpose of the thesis was to learn about WISE-ventilation system, developed by Swegon Ltd., which has been made to serve variable air volume ventilation. Furthermore, another goal of the thesis was to study the requirements for indoor air in schools, and different researches on variable air volume ventilation in school.

Keywords: Ventilation, indoor air, energy clearing

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva- ja taulukkoluetelo .....	6
Johdanto.....	7
<b>1 ILMANVAIHDON PERUSTEET .....</b>	<b>8</b>
1.1 Miten syntyy hyvä ilmanvaihto.....	8
1.2 Ilmanvaihtojärjestelmät .....	9
1.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto .....	9
1.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto.....	10
1.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.....	11
1.3 Ilmanvaihdon toiminnan edellytykset.....	13
<b>2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO .....</b>	<b>14</b>
2.1 Yleistä .....	14
2.2 Sisäilmanlaatuun vaikuttavat tekijät .....	14
2.2.1 Lämpöolot .....	15
2.2.2 Ilmanlaatu .....	16
2.2.3 Ääniosuhteet .....	17
2.3 Huonon ilmanlaadun vaikutukset ihmiseen .....	18
<b>3 KOULURAKENNUSTEN ILMANVAIHTO .....</b>	<b>19</b>
3.1 Koulurakennuksen sisäilman laatuvaatimukset.....	20
3.2 Ilmanvaihdon suunnittelu ja ohjeet koulurakennusten ilmanvaihtoon.....	20
<b>4 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO .....</b>	<b>22</b>
4.1 Toimintaperiaate .....	22
4.2 Ilmavirran säätö.....	22
4.3 Ilmankäsittelykoneet.....	23
4.4 Kanavisto .....	23
4.5 Ilmavirran hallintalaitteet .....	24
4.6 Ilmanjakolaitteet .....	24
4.7 Säätimet.....	25

5	REFERENSSIKOHTTEEN ESITTELY .....	26
6	SYSTEM WISE – TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ .....	27
6.1	Järjestelmän esittely.....	27
6.2	Tärkeimmät komponentit.....	28
6.2.1	Swegon GOLD -ilmankäsittelykone .....	28
6.2.2	Super WISE -tiedonsiirtoyksikkö .....	29
6.2.3	ADAPT Damper -huonesäätöpelti .....	30
6.2.4	Aktiiviset poisto- ja tuloilmalaitteet .....	31
7	OHJEITA ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTAAN .....	33
7.1	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja lämmöntalteenotto .....	33
7.2	Ohjeita laskentaan .....	36
8	POHDINTA JA ANALYSOINTI.....	37
	LÄHTEET .....	38
	LIITTEET .....	41

## Kuva- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Painovoimainen ilmanvaihto. ....	10
Kuvio 2. Koneellinen poistoilmanvaihto.....	11
Kuvio 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.....	13
Kuvio 4. Kaikkien oppilaitosten ja peruskoulujen lukumäärä 2007–2012.....	19
Kuvio 5. Pohjan koulu. ....	26
Kuvio 6. Swegon GOLD -ilmankäsittelykone. ....	28
Kuvio 7. Super WISE -tiedonsiirtoyksikkö. ....	30
Kuvio 8. Kotelo Super WISElle.....	30
Kuvio 9. ADAPT Damper -huonesäätöpelti.....	31
Kuvio 10. ADAPT Exhaust -poistoilmalaite. ....	32
Kuvio 11. ADAPT Free -tuloilmalaite. ....	32
Taulukko 1. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C. ....	16
Taulukko 2. Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuden arvoja rakennuksen sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi. ....	17
Taulukko 3. Koulurakennuksen tilojen ohjearvoja RakMK D2 mukaan.....	21
Taulukko 4. Muiden kuin asuntojen hygienia-tilat sekä muut tilat RakMK D2 mukaan.....	21
Taulukko 5. Ilmanvaihdon LTO:n lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhteen, $\eta_t$ arvoja, joita voi käyttää LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa. ....	35

## Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on *"Tarpeenmukainen ilmanvaihto koulurakennuksissa"*. Idea aiheesta syntyi, kun suoritin työharjoittelun kevään ja kesän 2012 aikana K.T.Tähtisen Seinäjoen toimipisteellä, joka tekee ilmastointi- ja peltitöitä Seinäjoella ja Seinäjoen lähiympäristössä.

Vanhojen koulujen saneeraukset yleistyvät kovaa vauhtia ja ilmanvaihtoon kannattaa kiinnittää erityistä huomiota. Vanhoissa kouluissa on tyypillisesti painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, joka saneerauksen yhteydessä olisi hyvä vaihtaa koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään. Koulut ovat usein isoja ja ilman tarve on suuri, joten energiankulutus on myös suuri, koska suuret ilmamäärät tarvitsevat suuret ja tehokkaat ilmanvaihtokoneet.

Ilmanvaihtotuotteita valmistava Swegon Oy on kehittänyt tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon soveltuvan System WISE -ilmanvaihtojärjestelmän, jonka avulla pyritään säästämään energiaa ja huoneisiin/luokkatiloihin saadaan juuri oikeanlaiset olosuhteet. Järjestelmä on kuin tehty palvelemaan juuri koulurakennuksia, joissa ilmamäärien vaihtelu on hyvin merkittävä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on antaa tietoa erityisesti Swegon Wise -järjestelmästä osana koulurakennuksen ilmanvaihtoa. Opinnäytetyöstä saa myös tietoa ilmanvaihdon ja rakennusten sisäilman perusasioista sekä ohjeita ilmanvaihdon energiankulutuksen laskentaan.

# 1 ILMANVAIHDON PERUSTEET

Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda puhdasta ilmaa hengitykseen ja poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet. Ilmanvaihdon toimintaperiaate on se, että raitista ilmaa johdetaan ulkoa puhtaisiin tiloihin ja poistoilma johdetaan likaisista tiloista ulos. Ilmanvaihdon peruseriaate on siis ylläpitää rakennuksessa hyvää sisäilman laatua koko rakennuksen käyttöajan. (Sisäilmayhdistys ry 1995; Kärkkäinen & Puhakka 1996, 28.)

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Paine-ero voidaan saada aikaan joko puhaltimilla (koneellinen ilmanvaihto) tai lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella (painovoimainen ilmanvaihto). Mikäli tuloilma puhalletaan koneellisesti tilaan, on kyseessä tulo- ja poistoilmanvaihto, muussa tapauksessa vain poistoilmanvaihto. Jos tuloilmaa kostutetaan tai jäähdytetään, puhutaan ilmastoinnista. (Sisäilmayhdistys ry 1995.)

## 1.1 Miten syntyy hyvä ilmanvaihto

Rakennuksessa syntyy epäpuhtauksia jatkuvasti, joten ilmanvaihdonkin on oltava aina päällä. Muussa tapauksessa epäpuhtauspitoisuudet nousevat korkeiksi ja epäpuhtaudet varastoituvat esimerkiksi pintamateriaaleihin. Kun ilmanvaihto käynnistetään taas uudelleen, alkavat varastoituneet epäpuhtaudet siirtyä takaisin hengitettävään ilmaan. Tällöin epäpuhtauspitoisuudet voivat nousta haitalliselle tasolle. Epäpuhtaudet kannattaa poistaa syntysijoiltaan, esimerkiksi kohdepoiston avulla, ennen kuin ne ehtivät levitä ympäröiviin tiloihin. (Sisäilmayhdistys ry 1995.)



## 1.2 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 9.)

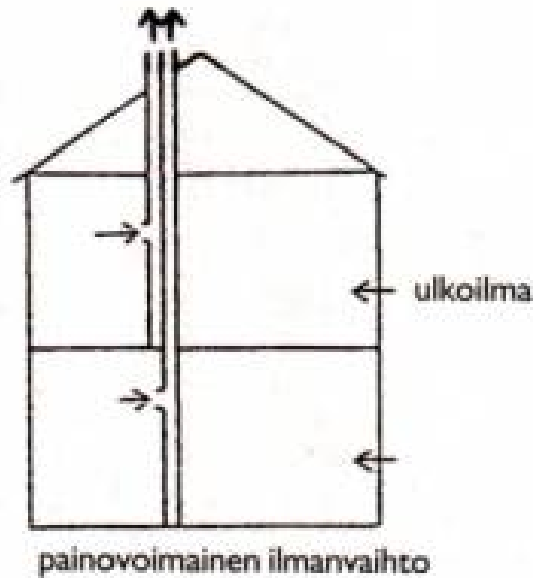
Ilmanvaihtojärjestelmät jaotellaan painovoimaiseen ilmanvaihtoon ja koneelliseen ilmanvaihtoon. Koneellinen ilmanvaihto jaotellaan vielä sekä koneelliseen poistoilmanvaihtoon että koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon. (Harju-Säntti 2011, 3.)

### 1.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisen ilmanvaihdon (kuvio 1) toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Poistoilma johdetaan huonekohtaisesti likaisista tiloista kanavaa pitkin vesikaton yläpuolelle. Tuloilma johdatetaan puhtaisiin huonetiloihin ulkoilmaventtiilin kautta. Koska painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta perustuu lämpötilaeroon ja kiertovoima on pieni, kanavien on oltava lyhyitä ja suorita. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 4; Harju 2003, 174.)

Painovoimaista ilmanvaihtoa joudutaan usein tehostamaan kesällä pitämällä esimerkiksi ikkunoita auki. Hyvin toimiakseen järjestelmä vaatii suuret tuloilmaventtiilit, että ilmaa saadaan tarpeeksi huonetiloihin. Järjestelmän heikkoutena on, että poistoilmasta ei saada lämpöä talteen. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013].)

Kauttaaltaan kaikissa Suomen vanhoissa koulurakennuksissa on käytetty painovoimaista ilmanvaihtoa edullisuuden ja helppouden takia. Nykypäivän rakentamismääräykset rajoittavat painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän asentamista kouluihin.



Kuvio 1. Painovoimainen ilmanvaihto.

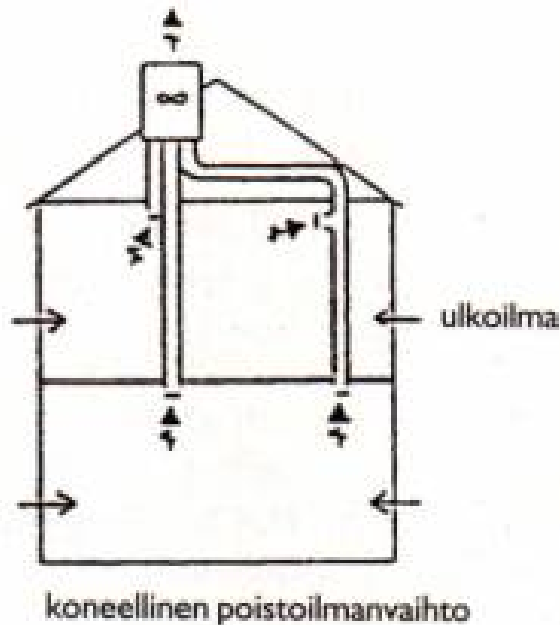
(Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu: 3.4.2013].)

### 1.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisen poistoilmanvaihdon (kuvio 2) perusidea on, että poistoilma kanavoidaan ja poistetaan rakennuksessa puhaltimen, yleensä huippuimurin, avulla. Poistoilmavirtojen säätö on helppoa ja järjestelmään ei vaikuta säätölojen muutokset. Tuloilma johdatetaan puhtaisiin huonetiloihin ulkoilmaventtiilin kautta ja oviin tulisi asentaa oviraot, jotta siirtoilma saisi kulkea vapaasti huoneista poistopisteisiin. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013]; Seppänen & Seppänen 1996, 169-171.)

Järjestelmän suurin ongelma on useimmiten tuloilman sisäänjohtaminen, sillä tehokas ilmanvaihto edellyttää raittiin ilman tuomista oleskeluvyöhykkeelle. Tämä tapahtuu ulkoilmaventtiileiden kautta ja jotta näin tapahtuisi, rakennuksen täytyy olla tiivis. Ulkoilmaventtiilin alla tulisi aina olla lämmityspatteri, jotta kylmän tuloilman aiheuttamalta vedontunteelta vältyttäisiin. Ulkoilman suodatus on vaikea järjestää tehokkaasti ja ulkoilmaventtiili saattaa heikentää ulkoseinän äänieristystä. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013].)

Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä on yleinen asuinrakennuksissa, mutta järjestelmään voi törmätä myös monissa Suomen koulurakennuksissa.



Kuvio 2. Koneellinen poistoilmanvaihto.  
(Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu: 3.4.2013].)

### 1.2.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä (kuvio 3) eroaa koneellisesta poistoilmanvaihdosta siten, että tuloilma tuodaan rakennukseen omalla puhaltimella ja jaetaan puhtaisiin tiloihin omalla kanavistolla. Koneellinen sisäänpuhallus mahdollistaa sen, että raitista, suodatettua ja lämmitettyä ulkoilmaa tuodaan haluttuihin tiloihin haluttu määrä, ja poistopuhaltimella poistetaan haluttu määrä ilmaa halutuista tiloista. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013].)

Järjestelmä toteutetaan ilmanvaihtokojeella, joka sisältää kaikki tarvittavat toiminnot. Laitteistoon voidaan liittää erilaisia suodattimia, joilla hyvä sisäilman laatu voidaan toteuttaa myös alueilla, missä ulkoilma ei ole riittävän puhdasta. Tuloilmasta

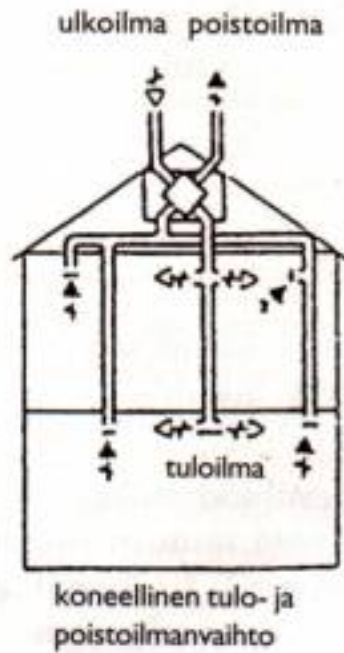
suodatetaan epäpuhtaudet, kuten siitepölyt, pois ennen huonetiloihin johtamista. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013].)

Tuloilmaventtiilit asennetaan aina niin sanottuihin puhtaisiin tiloihin, kuten luokka-huoneisiin ja käytäviin, ja poistoventtiilit taas asennetaan likaisiin tiloihin, kuten vessoihin ja varastoihin. Näin ilmapirrat kulkevat kohti likaisia tiloja, joten siellä syntyvät hajut tai kosteus eivät leviä ympäri rakennusta.

Energiankulutuksen kannalta tärkeä on laitteiston lämmöntalteenotto-osa, jonka avulla ulospuhallettava poistoilma esilämmittää tuloilmaa. Pienen alipaineen avulla varmistetaan, että ilma kulkee sieltä mistä pitääkin eikä esimerkiksi rakenteissa olevien epätiivien kohtien kautta. Hyvin toimivassa, koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä saadaan lämpimästä poistoilmasta 60 - 80 % takaisin järjestelmään. (Pientalon ilmanvaihto, [Viitattu: 9.3.2013].)

Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä vaatii jonkin verran huoltoa. Ilmansuodattimet on puhdistettava säännöllisesti ja vaihtovälisuositus on yksi vuosi. Ilmanvaihtoputkistot suositellaan nuohottaviksi kymmenen vuoden välein. (Sisäilmayhdistys ry 2004.)

Suurin osa nykypäivän uusista koulurakennuksista on varustettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä.



Kuvio 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.  
(Sisäilmayhdistys ry, [Viitattu: 3.4.2013].)

### 1.3 Ilmanvaihdon toiminnan edellytykset

Ilmanvaihdon oikean toiminnan edellytyksenä on, että kanavisto säädetään suunnitelmien mukaan. Vain tällöin ilmavirrat kulkevat suunnitelman mukaisesti ja eri tilojen väliset painesuhteet pysyvät hallinnassa. Ilma kulkee aina helpointa reittiä, jolloin huonosti säädetyn rakennuksen joissakin osissa ilmanvaihto aiheuttaa tarpeetonta melua ja vetoa samalla, kun ilma seisoo jossain toisaalla. Ilmanvaihtokanavien oikeanlaisilla säädöillä vältetään tarpeetonta energiantuhlausta. (Sisäilmayhdistys ry 1995.)

On hyvä tietää, että ilmanvaihdon tarve muuttuu järjestettäessä tiloja uudelleen. Tällöin on tärkeää huolehtia vastaavista muutoksista ilmavirtoihin ja tarkistaa, etteivät muutokset huononna ilmanvaihtoa rakennuksen muissa osissa. (Sisäilmayhdistys ry 1995.)

## **2 RAKENNUKSEN SISÄILMASTO**

### **2.1 Yleistä**

Sisäilmastolla tarkoitetaan sisätilojen fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden muodostamaa kokonaisuutta. (Seppänen 2008, 3.)

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 5.)

Eri tilat tarvitsevat, käyttötarkoituksesta riippuen, eri olosuhteet ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdoilla pyritään ylläpitämään sisätiloissa hyvää sisäilmastoa.

### **2.2 Sisäilmanlaatuun vaikuttavat tekijät**

Sisäilmasto muodostuu seuraavista pääosista:

- lämpöolosuhteet
- kosteus
- ilman laatu
- säteilyolosuhteet
- sähköiset ominaisuudet
- valaistus
- melu.

Tärkeimmät asiat, joihin rakennuksen ilmastointijärjestelmää suunniteltaessa voidaan vaikuttaa, ovat rakennuksen lämpöolot, ilmanlaatu ja ääniolosuhteet.

### 2.2.1 Lämpöolot

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Lisäksi tulee huomioida, etteivät ilman liike, lämpösäteily ja pintalämpötilat aiheuta epäviihtyisyyttä oleskeluvyöhykkeellä käyttöaikana. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 5-6)

Lämmityskaudella oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C ja kesäaikana käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C. Rakennuksen käyttöaikana oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei saa yleensä olla korkeampi kuin 25 °C. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 6.)

Joillekin huonetiloille on annettu lämmityskaudelle kuitenkin poikkeavia huonelämpötiloja, joita voidaan käyttää suunnittelussa hyvillä perusteilla. Taulukossa 1 on esillä lämmityskauden lämpötilojen tilakohtaisia ohjearvoja. Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on  $\pm 1$  °C. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 6)

Taulukko 1. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C.

(D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 6.)

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymä	18
-myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

Tilojen haitallisen lämpenemisen estämisestä ja kesäajan huonelämpötilan hallinnasta on annettu säännökset rakentamismääräyskokoelman osassa D3.

### 2.2.2 Ilmanlaatu

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 7).

Sisäilman hiilidioksidin pitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 2160 mg/m<sup>3</sup> (1200 ppm) (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 7).

Taulukossa 2 on esitetty sisäilman laadun suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuusarvoja. Suunnittelun ohjearvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jonka ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käynnissä käyttöajan ilmanvaihdon ilmavirralla.



Taulukko 2. Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuden arvoja rakennuksen sisäilman suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi.

(D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 7.)

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvo max. pitoisuus
Ammoniakki ja amiinit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbesti	kuitua/ $\text{cm}^3$	0
Formaldehydi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Hiilimonoksidi	$\text{mg}/\text{m}^3$	8
Hiukkaset $\text{PM}_{10}$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	$\text{Bq}/\text{m}^3$	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

Kosteus on myös osa ilmanlaatua ja niinpä, rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 7–8)

### 2.2.3 Ääniolosuhteet

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että rakennuksessa on viihtyisät ääniolosuhteet (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 8).

Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 on annettu määräyksiä ja ohjeita LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttamista suurimmista sallituista äänitasoista rakennuksen sisätiloissa ja ulkopuolella.

Äänitason ohjearvot ovat rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama A-taajuuspainotettu keskiäänitaso  $L_{A,eq,T}$  (dB) ja enimmäisäänitaso  $L_{A,max}$  (dB) huoneessa. Ohjearvoja sovellettaessa on otettava huo-

mioon ilmanvaihdon ja muiden äänilähteiden yhteisvaikutus. Jos tilaan tulee ääntä useammasta kuin yhdestä äänilähteestä, tulee kunkin äänilähteen erikseen tuottaman äänitason olla niin alhainen, ettei niiden yhteisesti aiheuttama äänitaso ylitä sallittua äänitasoa. Usean äänilähteen vaikutus huonetilan kokonaisäänitasoon otetaan huomioon laskemalla kaikkien huonetilaan ääntä aiheuttavien laitteiden äänitaso yhteen kaavan (1) avulla. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 24.)

$$L_{A,tot} = 10 \lg(10^{(LA1)/10} + 10^{(LA2)/10} + \dots + 10^{(LAN)/10})$$

(1)

*jossa*

$L_{A,tot}$  = laitteiden yhteisesti aiheuttama äänitaso, [dB]

$L_{A1} \dots L_{An}$  = kunkin laitteen erikseen aiheuttama äänitaso, [dB]

### 2.3 Huonon ilmanlaadun vaikutukset ihmiseen

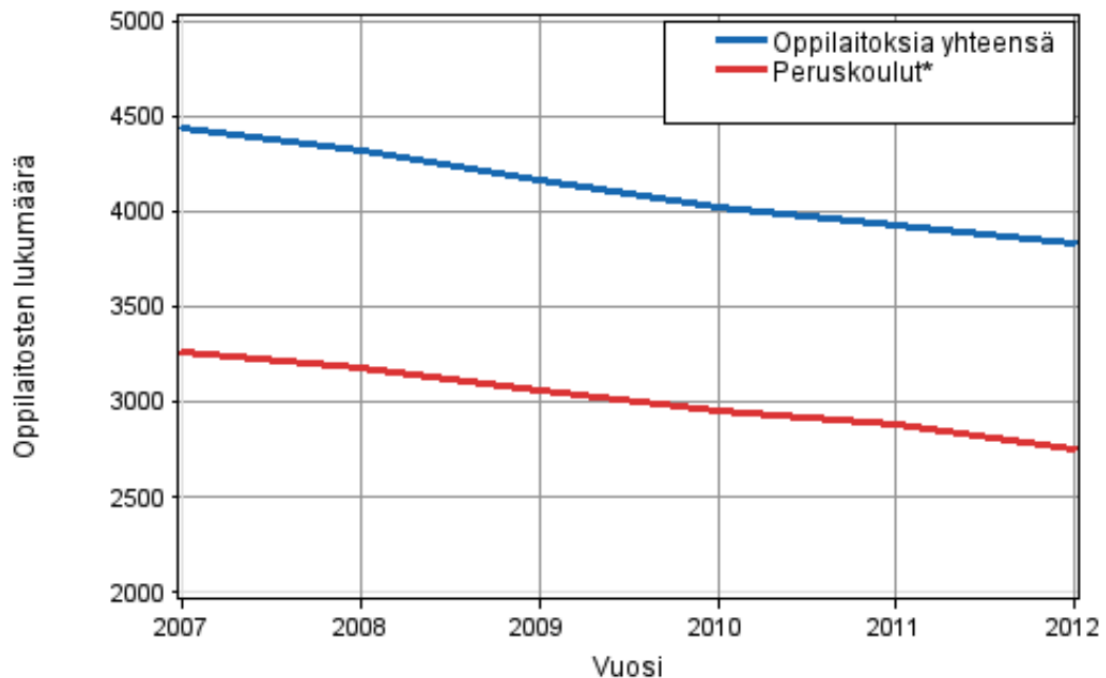
Sisäilman laadun merkitys on tärkeä, koska ihminen viettää päivittäin suurimman osan ajastaan sisätiloissa. Huonon sisäilman tiedetään aiheuttavan monia oireita ja sairauksia sekä epäviihtyisyyden tunnetta. (Kärkkäinen & Puhakka 1996, 10.)

Huonon sisäilman aiheuttamat oireet ja sairaudet ilmenevät tyypillisesti ärsytysoireina, allergioina, toistuvina infektioina ja erilaisina yleisoireina. Syöpäriski kasvaa myös huomattavasti, ollessaan tekemisissä, huonon sisäilman vaikutuksen alaisena. (Kärkkäinen & Puhakka 1996, 10–11; Seppänen & Seppänen 1996, 11–12.)

Huono sisäilma aiheuttaa oireita yleisemmin hengitysteiden limakalvoilla, keuhkoputkessa, veressä, keskushermostossa, iholla ja silmissä (Kärkkäinen & Puhakka 1996, 10).

### 3 KOULURAKENNUSTEN ILMANVAIHTO

Suomessa oli vuonna 2012 tilastokeskuksen koulutuksen järjestäjärekisterin ja oppilaitosrekisterin tietojen mukaan toiminnassa 3 838 oppilaitosta, joissa opiskeli yhteensä 1,92 miljoonaa opiskelijaa. Vuonna 2011 oppilaitosten lukumäärä oli 3 934 eli oppilaitoskanta väheni vuodessa 96 oppilaitoksella. Kaikkiaan oppilaitosten määrä on viidessä vuodessa vähentynyt 14 prosenttia. Peruskouluja oli vuonna 2007 lähes 3 300, kun vuoden 2012 lopussa niitä oli toiminnassa enää vajaat 2 800 kappaletta. (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013, 1–2.)



Kuvio 4. Kaikkien oppilaitosten ja peruskoulujen lukumäärä 2007–2012. (Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013, 1.)

Ennen vuotta 1945 oli kaikissa suomalaisissa kouluissa käytössä painovoimainen ilmanvaihto. Koulujen ilmanvaihtoa ruvettiin hiljalleen 1950-luvulla toteuttamaan koneellisesti. Nykypäivänä melkein kaikkiin uusiin ja saneerattaviin koulurakennuksiin tulee koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. (Harju-Säntti 2011, 3–4; Karjalainen & Kimari 1999, 1–5.)

Luokkahuoneissa ilmanvaihto on usein riittämätön, koska ilmanjako on monissa luokissa puutteellista ja ulkoa tulevan ulkoilmavirran nopeus on riittämätön. Hyvä sisäilman laatu edellyttää noin 6 l/s, yhtä henkilöä kohti, eli tämä johtaa paikoin suuriinkin ilmavirran tarpeisiin luokissa. (Kosonen & Mustakallio 2010, 73.)

### **3.1 Koulurakennuksen sisäilman laatuvaatimukset**

Koulurakennusten sisäilmanlaatua koskevat samat ohjeet, kuin on esitetty kohdassa 2, *Rakennuksen sisäilmasto*.

Koulurakennusten sisäilmanlaatua koskevia viranomaisohjeita on esitetty tarkemmin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2.

### **3.2 Ilmanvaihdon suunnittelu ja ohjeet koulurakennusten ilmanvaihtoon**

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 kerrotaan, että ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle.

Taulukossa 3 on Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 mainittuja ohjearvoja koulurakennusten tiloille.

Taulukko 3. Koulurakennuksen tilojen ohjearvoja RakMK D2 mukaan.

(D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 26.)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!!
Opetustilat	6	3		33 / 38 *		4), *C1 ohje
Käytävät / Aulat		4		38 / 43		2)
Liikuntasali:						3)
- liikuntasalikäyttö		2		38 / 43		
- juhlasalikäyttö		6		33 / 38		
Luentosali	8	6		33 / 38		4)
Ryhmätyötila	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	4)
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Varastot			0,35			S)
2) Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa						
3) Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin						
4) Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan						
S) Voi käyttää siirtoilmaa						

Taulukossa 4 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 määritettyjä ohjearvoja muiden kuin asuntojen hygieniatiloille sekä muille tiloille.

Taulukko 4. Muiden kuin asuntojen hygieniatilat sekä muut tilat RakMK D2 mukaan.

(D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 31.)

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Poistoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Äänitaso L <sub>A,eq,T</sub> / L <sub>A,max</sub> dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!!
WC:t						
- työpaikkatiloihin tai vastaaviin liittyvät			20 / paikka	38 / 43		S)
- yleisön käyttämiin tiloihin liittyvät			30 / paikka	38 / 43		S)
Pesuhuone		3	5,	38 / 43	0,2	S)
Pukuhuone		5	4 / kaappi	38 / 43	0,2	S)
Saunan löylyhuone		1	2	38 / 43		S)
Siivoustilat			4			S)
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	38 / 43		1)
Hissikuilu	4		8			
Hissikonehuone			17			2)
1) Ilmanvaihtokerroin						
2) Tarkistetaan lämpökuorman perusteella. Konehuoneen enimmäislämpötila on 35°C						
S) Siirtoilmavirta						

## 4 TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTO

### 4.1 Toimintaperiaate

Tarpeenmukaisen ilmanvaihto toiminta perustuu MIV-järjestelmään (muuttuvailmavirta-ilmastointi), jonka keskusyksikkö käsittää suodatus-, lämmöntalteenotto-, lämmitys- ja jäähdytystoiminnot. Järjestelmän perusidea on tuottaa huoneisiin halutun lämpöistä ja haluttu määrä huoneilmaa. (Ripatti 2004, 59.)

Järjestelmän huoneyksikölle, eli tuloilmalaitteelle, tulee vakiolämpöistä ilmaa, joka on huoneilmaa kylmempää kaikkina vuodenaikoina. Huonelämpötilan hallinta tapahtuu ilmavirtaa muuttamalla. Ilmavirran tarpeen kasvaessa huoneeseen tuleva jäähdytysteho kasvaa, kun taas ilmavirran pienentyessä jäähdytystehon tarve laskee. (Ripatti 2004, 59.)

MIV-järjestelmä sopii hyvin huonetiloihin, joissa lämpökuormat ovat suuret ja vaihtelevat eri käyttötilanteista riippuen, ja joissa tarvitaan suuria ilmavirtoja, kuten esim. koulu- ja toimistorakennukset. (Ripatti 2004, 59–60.)

### 4.2 Ilmavirran säätö

Yleensä MIV-järjestelmällä tarkoitetaan ilmavirran säätöä lämpötilan perusteella, jonka avulla muuttuvaa ilmavirtaa käytetään vain tuodun jäähdytystehon säätöön. Tuloilma jäähdytetään ilmastointikoneen avulla sopivan lämpöiseksi joko mitoittavan tilan tai keskimääräisen tarpeen perusteella. (Ripatti 2004, 61.)

Jos MIV-järjestelmän avulla suoritetaan myös tilojen lämmitys, se tapahtuu yleensä minimituloilmavirtaa käyttäen. Lämmitys tapahtuu jälkikäsitteily-yksikössä sijaitsevan vesi- tai sähkölämmittimen avulla. (Ripatti 2004, 61.)

### 4.3 Ilmankäsittelykoneet

Ilmankäsittelykoneen ilmavirran säätöalueen suuruus riippuu tilojen kuormituksista ja käyttöajoista. Normaalisti esimerkiksi toimistorakennuksissa, jos ei ole tarvetta työajan ulkopuoliseen käyttöön, säätöalueeksi riittää 50-100 %. Mikäli osa tiloista on käytössä myös työajan ulkopuolella, tulee ilmankäsittelykoneen ilmavirran minimin olla 15-30 % maksimiarvosta. (Ripatti 2004, 61.)

Tällä tavoin pyritään pitämään staattinen paine kanavistossa mahdollisimman matalana ja näin ollen säästämään energiankulutusta. Säätolaitteistoa ohjataan painesäätimellä, joka ylläpitää pysyvää staattista painetta kanavassa suhteessa valitsevaan paineeseen rakennuksessa. Puhaltimen säätö toteutetaan taajuusmuuttajan avulla. (Ripatti 2004, 61–62.)

### 4.4 Kanavisto

Koska virtaustilanteet vaihtelevat, kanaviston on oltava painehäviöltään mahdollisimman symmetrinen, jotta ilmavirrat pysyisivät suunnitelmien mukaisina. Mikäli kanaviston painehäviöt nousevat suuriksi, asettuvat myös säätö- ja huonelaitteiden painetasot liian suuriksi vaikeuttaen ilmavirtojen ja äänitasojen hallintaa. (Ripatti 2004, 62.)

Kanaviston paineen ja ilmavirran hallinnassa on tärkeä huomioida ilmankäsittelykoneen paineensäätöanturin sijainti kanavistossa. Yleisin syy MIV-järjestelmän toimimattomuuteen on, että paineensäätöanturi on sijoitettu väärin. Paineanturin sijainti määräytyy aina tapauskohtaisesti painehäviölaskelmiin perustuen. (Ripatti 2004, 62.)

#### 4.5 Ilmavirran hallintalaitteet

Huoneen tuloilmavirtaa säätää säätöyksikkö, jonka jälkeen tulee aina asentaa äänenvaimennin. MIV-järjestelmien virtaussäätimet jaotellaan paineesta riippuviin ja paineesta riippumattomiin säätimiin. (Ripatti 2004, 63.)

Paineesta riippuva virtaussäädin ei huomioi kanavistossa tapahtuvia painevaihteluita. Paineesta riippuvat virtaussäätimet tarvitsevat yleensä haarakanaviin erilliset paineensäätöpellit, jotta säätimet toimisivat riittävällä tarkkuudella. (Ripatti 2004, 63.)

Paineesta riippumattomat virtaussäätimet huomioivat kanavistossa tapahtuvat painevaihtelut. Säädin mittaa jatkuvasti ilmavirtaa ja pyrkii pitämään ilmavirran halutunlaisena. (Ripatti 2004, 63.)

#### 4.6 Ilmanjakolaitteet

MIV-järjestelmään ilmanjakolaitteita valittaessa on syytä huomioida ilmavirtojen jatkuva vaihtelu. Erityisesti tuloilmalaitteita valittaessa pitää muistaa sekä minimi- että maksimi-ilmavirtojen vaikutukset heittokuvioon. Ilmanjakolaite mitoitetaan huoneen normaalikäytön maksimi-ilmavirran mukaan, huomioiden kuitenkin sen, että tuloilmalaitteen heittopituuden ja -kuvion tulee olla sellaisia, ettei sen ilmasuihku aiheuta vedon tunnetta minimi-ilmavirrallakaan. (Ripatti 2004, 64.)

Ilmanjakolaitteet jaotellaan yleensä aktiiviseen ja passiivisiin päätelaitteisiin. Aktiivisessa päätelaitteessa sisäänpuhallusaukko pienenee ilmavirran alentamiseksi. Ilmanopeus ja kantama pysyvät kuitenkin muuttumattomina, jolloin vältetään vedon tunteelta. Passiivisessa päätelaitteessa, jossa sisäänpuhallusaukko on vakio, ilmavirtaa kuristaessa ilmanopeus laskee, jolloin vedon tunne oleskeluvyöhykkeellä on yleistä. (Ripatti 2004, 64.)



## 4.7 Säätimet

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon tarkoituksena on säästää energiaa sekä parantaa sisäilman laatua. Ilmanvaihdon tarpeeton käyttö kuluttaa sekä puhaltimen sähköenergiaa että ilmanvaihdon lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen tarvittavaa energiaa. (Ripatti 2004, 64.)

Huonetilojen ilmantarpeet vaihtelevat, koska esimerkiksi luokkahuoneissa oppilasmäärät vaihtelevat. Tästä johtuen huoneisiin tulee asentaa henkilötunnistin, joka tunnistaa, kun huoneeseen tulee henkilö, ja ilmanvaihto kytkeytyy samalla päälle. Henkilötunnistimen heikkoutena on sen kyvyttömyys tunnistaa huoneessa olevien henkilöiden lukumäärää ja ilman laatua, joten ilmavirran säätö tapahtuu pelkästään huonelämpötilan perusteella. (Ripatti 2004, 64.)

MIV-järjestelmän ohjaaminen valvontajärjestelmän kautta kellon avulla soveltuu tiloihin, joissa ilmanvaihtotarve on ajallisesti vaihtelevaa ja tilojen käyttäjät ovat etukäteen selvillä. (Ripatti 2004, 65.)

Luotettavin ilmantarvemittaja on hiilidioksidianturi, joka mittaa huonetiloissa syntyviä epäpuhtauksia. Ilmaa poistuu ja tulee näin ollen oikea määrä, joten huoneen ilman laatu pysyy puhtaana ja raikkaana. (Ripatti 2004, 65.)

## 5 REFERENSSIKOHTTEEN ESITTELY

Työn referenssikohteena oli Pohjan koulu (kuvio 5), joka sijaitsee Seinäjoella, Pohjan kaupunginosassa lähellä Seinäjoen keskustaa. Koulussa on noin 150 oppilasta ja noin 10 opettajaa. Oppilaiden eteen tekevät töitä myös kymmenkunta muuta erilaisissa työtehtävissä olevaa aikuista. Perusopetuksen 1.-6. luokkien lisäksi koulussa on kaksi pienluokkaa. (Seinäjoen kaupunki, [Viitattu 22.3.2013].)

Koulun täydellinen saneerausremontti alkoi keväällä 2012 ja se toteutetaan kahdessa vaiheessa. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului kuviossa 5 taaempana näkyvä matala osa ja toiseen vaiheeseen kuuluu lähempänä oleva korkea osa. Ensimmäinen vaihe valmistui joulukuussa 2012 ja toinen vaihe valmistuu kesällä 2013.

Ilmanvaihtourakkaan kuului System WISE -ilmanvaihtojärjestelmän asennus, jonka avulla luokkiin ja muihin tiloihin saadaan juuri sopivasti ilmaa energiaa säästämällä. Luvussa 6 esitellään tarkemmin System WISE -ilmanvaihtojärjestelmää ja järjestelmän tärkeimpiä komponentteja, joita tuli Pohjan koululle.

Ennen remonttia Pohjan koulun ilmanvaihto toteutettiin painovoimaisella ilmanvaihdolla.



Kuvio 5. Pohjan koulu.

(Kuvia Seinäjoen kouluista, [Viitattu 27.3.2013].)

## 6 SYSTEM WISE – TARPEENMUKAINEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ

### 6.1 Järjestelmän esittely

System WISE on Swegon Oy:n kehittänyt ilmanvaihtojärjestelmä, joka on suunniteltu palvelemaan huone-, vyöhyke- ja järjestelmätasolla. System WISE -ilmanvaihtojärjestelmän toiminta perustuu järjestelmään kytkettyjen laitteiden kykyyn toimia. Kaikki WISE-järjestelmään kuuluvat laitteet ovat muuttuvan ilmavirran säätimiä, jotka pitävät täsmälleen oikean ilmavirran, ihmisten läsnäolon ja huonelämpötilan huomioon ottaen. Tämän ansiosta huoneessa on aina juuri niin paljon ilmaa, kun sitä tarvitaan. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

Swegon WISE -ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu rakennuksiin, missä sekä ilmantarve- että ilmanlaatuvaatimukset ovat korkeat ja tilojen käyttöaste vaihtelee. Tästä johtuen WISE-järjestelmä sopii erityisen hyvin koulurakennuksiin. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

Järjestelmän toimintaperiaate on se, että tiedonsiirtoyksikkö Super WISE on yhteydessä kaikkiin vyöhykepelteihin ja huonelaitteisiin. Super WISE kommunikoi GOLD-ilmankäsittelykoneen kanssa vaaditun paineen alentamiseksi runkokanavassa. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

Järjestelmän etuja ovat:

- koko ilmanvaihtojärjestelmä on täysin hallittavissa, mikä tarjoaa mahdollisuuden optimaaliseen mukavuuteen ja taloudelliseen käyttöön
- ilma- ja vesikiertoisia ilmastointituotteita voidaan yhdistellä
- sisäänrakennettu verkkopalvelin, automaattisella konfiguroinnilla, mahdollistaa nopean ja yksinkertaisen asennuksen ja säädön
- tietojen rekisteröinti helpottaa seurantaa ja energianoptimointia
- tiedonsiirto GOLD-koneen ja rakennusautomaatiojärjestelmän kanssa.

## 6.2 Tärkeimmät komponentit

### 6.2.1 Swegon GOLD -ilmankäsittelykone

Swegonin GOLD -ilmankäsittelykoneet (kuvio 6) ovat energiatehokkaita, tehokkaalla lämmöntalteenotolla varustettuja ilmankäsittelykoneita, jotka sisältävät integroitua ohjaus- ja tiedonsiirtolaitteita. Koneen puhaltimet ovat uudella EC-tekniikalla varustettuja matalaenergiapuhaltimia, jotka pystyvät käsittelemään erilaisia ilmavirtoja hyötysuhdetta heikentämättä. GOLD-koneet ovat helppo asentaa ja kytkeä järjestelmään. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

GOLD-ilmankäsittelykoneet sisältävät suuren määrän ohjaustoimintoja, joista seuraavat soveltuvat hyvin tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon:

- puhaltimen ohjaussäätö
- ulkolämpötilan kompensointi
- kesäyöjäähdytys
- puhaltimen orjaohjaus
- jäähdytys- ja lämmitysveden menolämpötilojen ohjaus.



Kuvio 6. Swegon GOLD -ilmankäsittelykone.

(Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

## 6.2.2 Super WISE -tiedonsiirtoyksikkö

Super WISE -tiedonsiirtoyksikkö (kuvio 7 & kuvio 8) on WISE-järjestelmän aivot, jonka ympärille järjestelmän toiminta perustuu. Super WISE on pieni ja älykäs tietokone, jolla sekä hallitsee tarpeenmukaisen ilmanvaihdon että optimoi käytön ja energiatehokkuuden helposti. Super WISEn sisäisellä verkkopalvelimella voi ohjata koko järjestelmää sekä lukea ja muuttaa olo- ja asetusarvoja aina huonetasolle asti. Laite kommunikoi kaikkien WISE-järjestelmään kuuluvien tuotteiden kanssa sekä GOLD-ilmankäsittelykoneiden kanssa. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)

Super WISE -laitteen tärkeimpiä toimintoja ovat:

- toimii tiedonsiirtoyksikkönä kaikille WISE-järjestelmän tuotteille ja GOLD-ilmankäsittelykoneelle
- tunnistaa kaikkien vyöhykepeltien asennot ja lähettää GOLD-koneelle mahdollisimman alhaisen paineasetusarvon.
- laskee yhteen tai vähentää jopa 80 vyöhykepeltin ja 10 eri vyöhykkeen ilmamäärät
- tunnistaa automaattisesti järjestelmän kaikki tuotteet ja generoi selkeän puurakenteen
- tiedonsiirto verkkosivun kautta, jossa voidaan lukea ja muuttaa olo- ja asetusarvoja huone-, vyöhyke- ja järjestelmätasolla
- voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään Modbus RTU/TCP tai BACnet TCP -verkon kautta.



Kuvio 7. Super WISE -tiedonsiirtoyksikkö.

(Super WISE - Järjestelmätuotteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään, [Viitattu: 9.2.2013].)



Kuvio 8. Kotelo Super WISElle.

(Super WISE - Järjestelmätuotteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään, [Viitattu: 9.2.2013].)

### 6.2.3 ADAPT Damper -huonesäätöpelti

ADAPT Damper -huonesäätöpelti (kuvio 9) on integroidulla säätimellä varustettu motorisoitu pelti vaihtuville ilmavirroille. Pelti säätelee oikean ilmavirran esiastetuista poissaolo-, minimi- ja maksimi-ilmavirroista. ADAPT Damper -huonesäätöpelti voi toimia joko isäntä- tai orjapeltinä. Laitteessa on sisäänrakennettu lämpötila-anturi, Clean Air Control -ilmanlaatuanturi, ilmavirran mittaus ja säätö. Tiedonsiirto tapah-

tuu Modbus RTU:n kautta. Laite on helppo asentaa kanavaan ja kytkeä WISE-järjestelmään. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)



Kuvio 9. ADAPT Damper -huonesäätöpelti.

(ADAPT Damper - Huonelaitteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään, [Viitattu: 9.2.2013].)

#### **6.2.4 Aktiiviset poisto- ja tuloilmalaitteet**

Aktiivinen poistoilmalaite on nimeltään ADAPT Exhaust (kuvio 10) ja tuloilmalaite on nimeltään ADAPT Free (kuvio 11). Molemmat laitteet on varustettu aktiivisella ilmaraolla/pellillä, joka avautuu sen mukaan, kuinka paljon ilmaa poistetaan huoneesta tai tuodaan huoneeseen. Aktiiviset ilmalaitteet ovat paineesta riippumattomia laitteita, joissa on sisäänrakennettu läsnäoloanturi, lämpötila-anturi, ilmavirran mittaus ja säätö. Laitteisiin voi liittää lisäksi myös ilmalaatuanturin. Tiedonsiirto tapahtuu Modbus RTU:n kautta. Laite on helppo asentaa kanavaan ja kytkeä WISE-järjestelmään. (Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto, [Viitattu: 15.3.2013].)



Kuvio 10. ADAPT Exhaust -poistoilmalaite.

(ADAPT Extract - Asennus - Sääto - Huolto - ADAPT Ec, [Viitattu: 15.3.2013].)



Kuvio 11. ADAPT Free -tuloilmalaite.

ADAPT Free b - Asennus - Sääto - Huolto - ADAPT Fb, [Viitattu: 15.3.2013].)



## 7 OHJEITA ILMANVAIHDON ENERGIANKULUTUKSEN LASKENTAAN

Yleisellä tasolla puhuttaessa rakennuksen energiankulutuksesta suurin yksittäinen energiankuluttaja on ilmanvaihto. Ilmastointiala kehittyä kova vauhtia ja energiansäästöön on kiinnitetty tosi paljon huomiota.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa D3 ja D5 annetaan selvät ohjeet ilmanvaihdon energiankulutuksen laskentaan.

### 7.1 Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia,  $Q_{iv}$ , lasketaan kaavalla (2) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 22).

$$Q_{iv} = \sum (H_{iv} (T_s - T_u) \Delta t / 1000)$$

(2)

jossa

$Q_{iv}$  = ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, [kWh]

$H_{iv}$  = ilmanvaihdon ominaislämpökapasiteetti, [W/K]

$T_s$  = sisäilman lämpötila, [°C]

$T_u$  = ulkoilman lämpötila, [°C]

$\Delta t$  = ajanjakson pituus, [h]

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö,  $H_{iv}$ , lasketaan kaavalla (3) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 22).

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d r t_v (1 - \eta_a)$$

(3)

jossa

- $\rho_i$  = ilman tiheys, [ $1,2 \text{ kg/m}^3$ ]  
 $c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, [ $1000 \text{ J/(kgK)}$ ]  
 $q_{v,poisto}$  = poistoilmavirta, [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $t_d$  = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, [ $\text{h}/24\text{h}$ ]  
 $r$  = muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan  
 $t_v$  = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, [ $\text{vrk}/7\text{vrk}$ ]  
 $\eta_a$  = ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde tai keskimääräinen laskentajakson hyötysuhde

Ellei laitteen vuosihyötysuhdetta  $\eta_a$ , tiedetä, voidaan se laskea kaavalla (4) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 22).

$$\eta_a = 0,6 \eta_t$$

(4)

jossa

- $\eta_t$  = ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) tuloilman lämpötilasuhde, kun tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret

Kaava (4) ei päde, jos laitteen tulo- ja poistoilmavirran suhde (R) on pienempi kuin 0,6. LTO:n tuloilman lämpötilasuhteena käytetään yleensä valmistajan ilmoittamaa varmennettua lämpötilasuhdetta. Ellei tuotteen lämpötilasuhteita ole käytettävissä, voidaan käyttää taulukossa 5 esitettyjä tyypillisiä arvoja erilaisten lämmönsiirtimien lämpötilasuhteille. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 23.)

Taulukko 5. Ilmanvaihdon LTO:n lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhteen,  $\eta_t$  arvoja, joita voi käyttää LTO:n vuosihyötysuhteen laskennassa.

(D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 23.)

Lämmönsiirintyyppi	Lämpötilasuhte, $\eta_t$
Nestekiertoinen lämmönsiirrin	0,45
Ristivirtalevyllämmönsiirrin	0,55
Vastavirtalevyllämmönsiirrin	0,70
Regeneratiivinen lämmönsiirrin	0,75

Ilmanvaihtokoneessa tai tuloilmakanavassa olevan tuloilman jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutus,  $Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$ , sisältyy ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan,  $Q_{\text{iv}}$  (kaava 2). Jälkilämmityspatterin lämmitysenergiankulutus lasketaan kaavalla (5). (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 24.)

$$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}} = \rho_i c_{p,i} q_{v,\text{tulo}} t_d r t_v (T_{\text{tulo}} - T_u - \eta_{t,a} (T_s - T_u)) \Delta t / 1000$$

(5)

*jossa*

$Q_{\text{lämmitys, tuloilmapatteri}}$  = tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutus, [kWh]

$q_{v,\text{tulo}}$  = tuloilmavirta, [m<sup>3</sup>/s]

$T_{\text{tulo}}$  = tuloilman lämpötilan asetusarvo jälkilämmityspatterin jälkeen (yleensä 15 ... 18 °C), [°C]

$\eta_{t,a}$  = lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhte

Lämmöntalteenoton tuloilman vuotuinen lämpötilasuhte,  $\eta_{t,a}$ , lasketaan kaavalla (6). (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 24).

$$\eta_{t,a} = \frac{\eta_a}{R}$$

(6)

*jossa*

$\eta_a$  = lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde

$R$  = tuloilmavirran suhde poistoilmavirtaan

Ellei tarkempaa tietoa ole niin ilmavirtasuhteena,  $R$ , voidaan käyttää arvoa 0,9 (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 24).

## 7.2 Ohjeita laskentaan

Koneellisen ilmanvaihdon käyntiaikasuhde,  $t_d$ , valitaan rakennuksen todellisen käytön mukaan. Viikonloput ja muut seisokit otetaan huomioon kertoimella,  $t_v$ . Tarpeenmukaisesti ohjatun ilmanvaihdon vaikutus voidaan ottaa huomioon käyntiaikatekijöillä tai arvioidulla keskimääräisellä ilmavirralla. Opetusrakennuksissa keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde,  $t_d$ , on tyypillisesti 8 h/24 h ja keskimääräinen viikoittainen käyntiaikasuhde,  $t_v$ , on tyypillisesti 5 vrk/7 vrk. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 25–40.)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskelmissa ulkoilman lämpötila vastaa vuorokautista keskilämpötilaa (ks. liite 1 & 2) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 25).

Jos ilmanvaihtoa käytetään vain päivällä, todellinen ulkoilman lämpötila on vuorokautista keskilämpötilaa korkeampi. Käyntiaika voidaan korjata kertoimella  $r$ . Kerroin  $r$  on 1,00, kun järjestelmä on ympärivuorokautisessa käytössä, 0,93, kun järjestelmä on päiväaikaisessa käytössä ja 1,07, kun järjestelmä on yöaikaisessa käytössä. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007, 25)

## 8 POHDINTA JA ANALYSOINTI

Varsinaiset mittaukset jätin työstäni pois, koska uuden ja vanhan järjestelmän vertailu on melko hankalaa. Pohjan koululle tullut uusi WISE-ilmanvaihtojärjestelmä täyttää nykypäivän vaatimukset ja luo koulurakennukseen mieluisat opiskelu- ja työolot. Vanha, painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä ei riitä täyttämään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Oppilaitosten vähenemisen ja oppilasmäärien kasvun vuoksi ilmantarve kasvaa, ja ilmanvaihtojärjestelmän tulisi olla sen mukainen.

Kuten edellä mainitsin, kun WISE-järjestelmä toimii moitteettomasti, se luo koulurakennukseen mieluisat opiskelu- ja työolot, koska luokkatiloissa on aina haluttu määrä ilmaa. Jo itse koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto luo viihtyvyyden tunteen ja sisäilman laatu pysyy hyvänä.

## LÄHTEET

- ADAPT Damper - Huonelaitteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään. Ei päiväystä. Esite. [Verkkosivu]. [Viitattu: 9.2.2013]. Saatavana: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/\\_fi/ADAPTDc.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_fi/ADAPTDc.pdf)
- ADAPT Extract - Asennus - Säättö - Huolto - ADAPT Ec. Ei päiväystä. Esite. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.3.2013]. Saatavana: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/\\_fi/ADAPTEc-m.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_fi/ADAPTEc-m.pdf)
- ADAPT Free b - Asennus - Säättö - Huolto - ADAPT Fb. Ei päiväystä. Esite. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.3.2013]. Saatavana: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/\\_fi/ADAPTFb-m.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_fi/ADAPTFb-m.pdf)
- D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö: Rakennetun ympäristön osasto. [Viitattu: 7.2.2013]. Saatavana: [http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf)
- D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten energiatehokkuus [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö: Rakennetun ympäristön osasto. [Viitattu: 2.4.2013]. Saatavana: [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf)
- D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö: Asunto- ja rakennusosasto. [Viitattu: 28.3.2013]. Saatavana: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>
- Harju, P. 2003. LVI-tekniikan perusteet. 5.painos. Keuruu: Otava
- Harju-Säntti, E. 5.10.2011. Energiansäästöinvestointien kannattavuuden arvioiminen koulurakennuksissa. Diplomityö. Tampere. Teknillinen yliopisto, Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Saatavana: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/20742/harju-santti.pdf;jsessionid=4C7F254DF3C553DE1EB9C4E5113745EE?sequence=3>
- Karjalainen, K & Kimari, P. 1999. Koulujen sisäilma ja energiatalous. Tutkimus. Oulu. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Tekniikan yksikkö. [Viitattu: 28.3.2013]. Saatavana: [http://www.tekniikka.oamk.fi/tutkimukset/Koulujen\\_sisailma\\_ja\\_energiatalous/Koulujen\\_sisailma\\_ja\\_energiatalous.pdf](http://www.tekniikka.oamk.fi/tutkimukset/Koulujen_sisailma_ja_energiatalous/Koulujen_sisailma_ja_energiatalous.pdf)

- Kosonen, R & Mustakallio, P. 2010. Eri ilmanjakotapojen toimivuus luokkahuoneessa. Teoksessa: Backman, H & Säteri, J (toim.) Sisäilmastoseminaari 2010. Sisäilmayhdistys ry, 73-78.
- Kuvia Seinäjoen kouluista. Ei päiväystä. Valokuva-albumi: Pohjan koulu. [Viitattu: 27.3.2013]. Saatavana: <http://www.edu.seinajoki.fi/karki/kuvat/pohja.htm>
- Kärkkäinen, J & Puhakka, E. 1996. Terveellinen sisäilma. Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy.
- Pientalon ilmanvaihto. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Lahti. Lahden kaupunki. [Viitattu: 9.3.2013]. Saatavana: <http://www.lahti.fi/www/cms.nsf/pages/68C5A353B7609C2FC2256F4E0045344B>
- Ripatti, H. 2004. Ilmastointijärjestelmät. Teoksessa: Seppänen, O (Toim.) Ilmastoinnin suunnittelu. Talotekniikka-Julkaisut Oy, 41-72.
- Seinäjoen kaupunki. Ei päiväystä. Seinäjoen kaupungin opetustoimi: Pohjan koulu. [Viitattu: 22.3.2013]. Saatavana: <http://koulu.seinajoki.fi/pohja/>
- Seppänen, O. 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto.1.painos (lisäpainos). Anjalankoski: Solver palvelut Oy.
- Seppänen, O & Seppänen, M. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 3.painos. Espoo: SIY Sisäilmatieto Oy.
- Sisäilmayhdistys ry. Päivitetty 27.10.1995. Ilmanvaihdon perusteet. [Verkkosivu]. Espoo. [Viitattu: 9.2.2013]. Saatavana: [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon\\_perusteet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/)
- Sisäilmayhdistys ry. Päivitetty 31.3.2004. Ilmanvaihdon vaikutus. [Verkkosivu]. [Viitattu: 9.3.2013]. Saatavana: [http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon\\_vaikutus/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon_vaikutus/)
- Sisäilmayhdistys ry. Ei päiväystä. Ilmavirtaukset rakennuksessa. [Verkkosivu]. Espoo. [Viitattu: 3.4.2013]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/ap-pics/teti/iv-ratkaisut-painov.jpg>
- Sisäilmayhdistys ry. Ei päiväystä. Ilmavirtaukset rakennuksessa. [Verkkosivu]. Espoo. [Viitattu: 3.4.2013]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/ap-pics/teti/iv-ratkaisut.jpg>
- Sisäilmayhdistys ry. Ei päiväystä. Ilmavirtaukset rakennuksessa. [Verkkosivu]. Espoo. [Viitattu: 3.4.2013]. Saatavana: <http://www.sisailmayhdistys.fi/ap-pics/teti/iv-ratkaisut-tulo.jpg>

Suomen virallinen tilasto (SVT). 19.2.2013. Koulutuksen järjestäjät ja oppilaitokset 2012 [www-sivusto]. Helsinki. Tilastokeskus. [Viitattu: 1.4.2013]. Saatavana: [http://www.stat.fi/til/kjarj/2012/kjarj\\_2012\\_2013-02-19\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/kjarj/2012/kjarj_2012_2013-02-19_tie_001_fi.html)

Super WISE - Järjestelmätuotteet Swegonin tarpeenmukaiseen WISE-ilmanvaihtojärjestelmään. Ei päivystä. Esite. [Verkkosivu]. [Viitattu: 9.2.2013]. Saatavana: [http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/\\_fi/SuperWISE.pdf](http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_fi/SuperWISE.pdf)

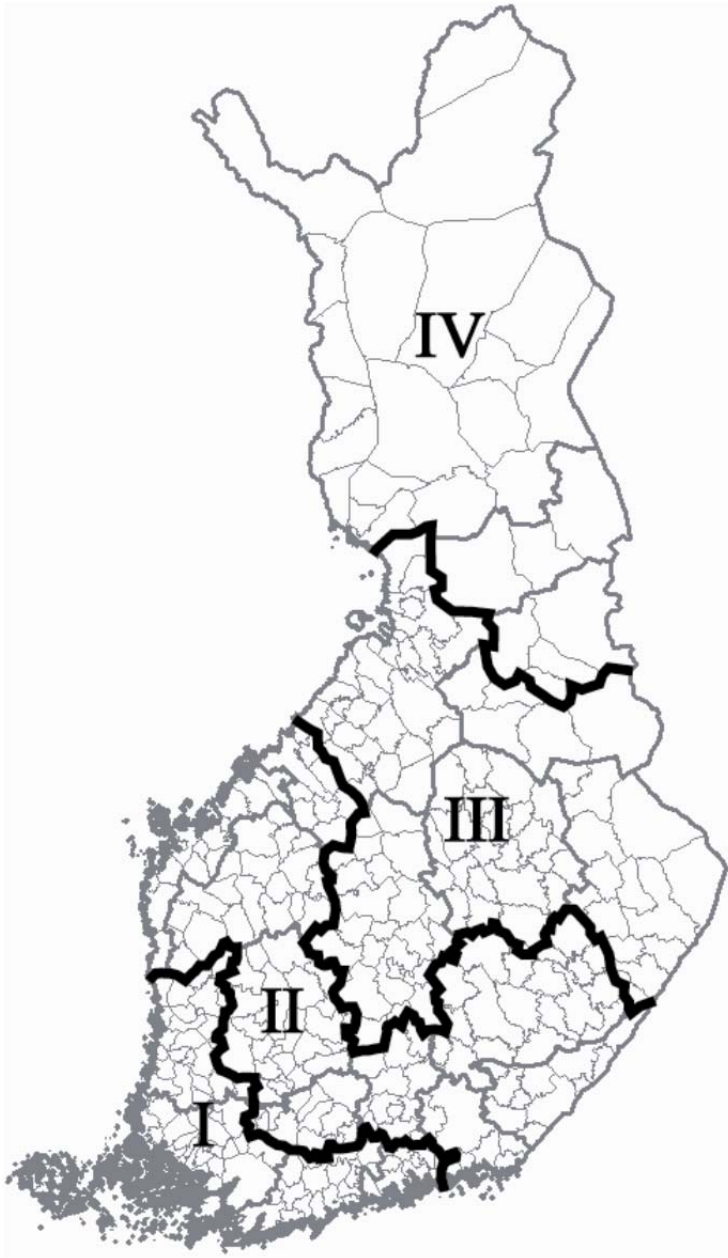
Yleiskuvaus - Tarpeenmukainen ilmanvaihto. Ei päivystä. Esite. [Verkkosivu]. [Viitattu: 15.3.2013]. Saatavana: <http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/Esitteet-ja-hinnasto/>



## LIITTEET

**LIITE 1. Lämmitystehon ja energiankulutuksen laskentaan käytettäviä tietoja  
1.**

*Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen, joiden keskilämpötilat on laskettu kuukausille ja vuodelle. Säävyöhykkeet ovat Helsinki-Vantaan säävyöhykkeet 1 ja 2, Jyväskylän säävyöhyke 3 ja Sodankylän säävyöhyke 4. Säävyöhykkeen 2 tiedot, johon Seinäjokikin kuuluu, pohjautuvat Jokioisten säähavaintoihin.*



(D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 29.)

LIITE 2. Lämmitystehon ja energiankulutuksen laskentaan käytettäviä tietoja  
2.

*Taulukko L2.1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.*

Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

*Taulukko L2.2. Säätiiedot kuukausittain säävyöhykkeellä I ja II. Helsinki-Vantaa.*

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ , kWh/m <sup>2</sup>	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-3,97	6,2	650
Helmikuu	-4,50	22,4	602
Maaliskuu	-2,58	64,3	607
Huhtikuu	4,50	119,9	354
Toukokuu	10,76	165,5	117
Kesäkuu	14,23	168,6	9
Heinäkuu	17,30	180,9	0
Elokuu	16,05	126,7	31
Syyskuu	10,53	82,0	161
Lokakuu	6,20	26,2	331
Marraskuu	0,50	8,1	495
Joulukuu	-2,19	4,4	595
Koko vuosi	5,57	975	3952

(D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 29–30.)

### LIITE 3. ADAPT Damper – huonesäätöpellin asennuskuvia Pohjan koulun työmaalta.

*Huonesäätöpellin jälkeen pitää asentaa aina äänenvaimennin ja laitetta asentaessa tulee huomioida laitteen suojaetäisyydet kanavaosiin. (Kuvat olen ottanut itse!)*

