

Samuel Rantalainen

# TARPEENMUKAISEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN VERTAAMINEN PERINTEISEEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄÄN

Opinnäytetyö  
Talotekniikka

Toukokuu 2017



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

<b>Tekijä</b>	<b>Tutkinto</b>	<b>Aika</b>
Samuel Rantalainen	Insinööri (AMK)	Toukokuu 2017
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		68 sivua
Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän vertaaminen perinteiseen ilmanvaihtojärjestelmään		5 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Sweco Talotekniikka Oy		
<b>Ohjaajat</b>		
Marianna Luoma Hannu Purola		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämän tutkimuksen tarkoitus oli verrata tarpeenmukaista ilmanvaihtojärjestelmää vakioilmavirtajärjestelmään. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja sähköenergian säästö rakennuksen käyttöprofiililla, kun rakennuksessa käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Tarkasteltava rakennus oli Jyväskylässä sijaitseva Keltinmäen päiväkotia. Tutkimus käsittelee rakennuksen ryhmä- ja lepohuoneiden energiankulutusta. Rakennuksessa on käytössä tarpeenmukainen ilmanvaihto, ja ilmavirtoja ohjataan läsnäolo- ja VOC-antureiden avulla.</p> <p>Rakennuksen trendiseurantajärjestelmän tietopankkiin tallentuu muun muassa ilmavirtatietoja. Näiden tietojen perusteella selvitettiin tutkittavien huoneiden käyttöprofiili. Rakennuksen lämmitys- ja sähköenergian kulutusta tutkittiin IDA ICE simulointiohjelman avulla. Jokaisesta tutkittavasta huoneesta tehtiin tarpeenmukaista ilmanvaihtoa ja vakioilmavaihtoa simuloivat mallit. Kaikista tutkittavista huoneista tehtiin myös yhteinen simulointimalli. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähköenergian kulutusta tarkasteltiin myös hetkellisen sähkötehon trendiseurannan perusteella, jolloin tuloksia voitiin verrata simulointien tuloksiin. Rakennuksesta oli aiemmin tehty ilmanvaihtojärjestelmän jähdyttävän vaikutuksen tarkastelu. Näiden tietojen perusteella selvitettiin lämmitysenergian säästö kokonaisuudessa.</p> <p>Tutkimuksen tulosten perusteella tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä yksittäisen huoneen ilmanvaihtokoneen lämmitysenergiassa voidaan säästää jopa 51 % ja puhaltimien sähköenergiassa 82 %. Kaikkien huoneiden yhteisen simulointimallin tulosten perusteella voidaan säästää ilmanvaihtokoneen lämmitysenergiassa 43 % ja puhaltimien sähköenergiassa 77 %. Huomioitaessa ilmanvaihtojärjestelmän jähdyttävä vaikutus, lämmitysenergian säästö kasvaa 76 %. Tuloksista nähdään selvästi, että tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä on mahdollisuus säästää huomattavasti lämmitysenergiaa sekä sähköenergiaa. Tarpeenmukainen ilmanvaihto on perusteltu vaihtoehto rakennukseen, jossa huoneiden käyttö on vaihtelevaa. Tutkimuksen simulointien energiankulutukset ovat oikean suuruisia verrattain suunnittelun aikaiseen energialaskentaan. Toisaalta tämän tutkimuksen tulokset ovat samassa linjassa Swegonin omien tutkimuksien kanssa, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
ilmanvaihto, tarpeenmukainen ilmanvaihto, energiatehokkuus, energiankulutus		

<b>Author</b>	<b>Degree</b>	<b>Time</b>
Samuel Rantalainen	Bachelor of Engineering	May 2017
<b>Thesis Title</b>		
Demand controlled ventilation compared to constant air volume system		68 pages 5 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
Sweco Talotekniikka Oy		
<b>Supervisors</b>		
Marianna Luoma Hannu Purola		
<b>Abstract</b>		
<p>The thesis was compared demand controlled ventilation to constant air volume system from the point of view of energy consumption. The objective of the thesis was to clarify the saving potential of energy consumptions with the use profile of the building. The subject of the study was demand controlled ventilation system which is in use in the kindergarten. The building was built in 2014. On this DCV-system control is based on presence sensors and VOC-content. This DCV-system is built by Swegon devices.</p>		
<p>The energy consumption of the ventilation system of the building was studied with the IDA ICE simulation software. Airflow data were used from the automation systems database to clarify the use profile. Each room was made with individual simulation models and combine designs for all rooms. The electric energy consumption of the fans was also studied by instantaneous electric power. The cooling effect of the ventilation was also taken into consideration in the consumption of heating energy.</p>		
<p>Based on results, DCV-system can possibly save a lot of heating and electric energy. Demand controlled ventilation is a justified alternative to building where the use of rooms varies. DCV-system can save up to 51 % Air Handling Unit heating energy and 82 % fans electric energy in individual room. A common Air Handling Unit heating energy saving is 43 % and fans electric energy saving is 77 % for all rooms. By taken into consideration the cooling effect of the ventilation heating energy savings increases 76 %. This thesis results are similar than Swegons own research results by their own DCV-systems. The results of thesis can be considered reliable. There are good opportunities for energy efficient construction and reduction of energy consumption by DCV-systems.</p>		
<b>Keywords</b>		
ventilation, demand controlled ventilation, energy efficiency, energy consumption		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SISÄILMASTO.....	7
2.1	Lämpötila.....	8
2.2	Sisäilman laatu ja epäpuhtaudet.....	9
2.3	Viihtyvyys.....	10
2.4	Veto ja ilman liike.....	11
3	ILMANVAIHTO .....	11
3.1	Vakioilmavirtajärjestelmä .....	13
3.2	Muuttuvailmavirtajärjestelmä .....	14
3.2.1	Säätöstrategiat .....	16
3.2.2	Järjestelmän kannattavuus ja muuntojousto .....	17
3.2.3	Swegon WISE-järjestelmä.....	18
3.3	Ilmanvaihdon energiankulutus .....	20
3.4	Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän luotettavuus .....	24
3.5	Määräykset ja ohjeet.....	26
4	IDA ICE -SIMULOINTI .....	28
4.1	Taustatietoa rakennuksesta.....	28
4.1.1	Rakennuksen ilmanvaihto .....	30
4.1.2	Suunnitteluperusteet .....	31
4.2	Tutkittavat huoneet .....	32
4.3	IDA ICE -simulointimenetelmä.....	33
4.4	Puhaltimien sähköenergian kulutuksen tutkiminen .....	39
4.5	Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus .....	42
5	TULOKSET.....	44
5.1	Ryhmien 1 ja 2 huoneet.....	44
5.2	Ryhmien 3 ja 4 huoneet.....	46
5.3	Ryhmien 5 ja 6 huoneet.....	47

5.4	Kaikkien huoneiden tarkastelu kokonaisuutena .....	49
5.5	Kaikki huoneet yhdessä simulointimallissa .....	50
5.6	Puhaltimien sähköenergian kulutus hetkellisen sähkötehon avulla.....	50
5.7	Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus .....	51
6	TULOSTEN TARKASTELU .....	52
6.1	Yksittäisten huoneiden simuloinnit.....	53
6.1.1	Ilmanvaihdon lämmitysenergia.....	53
6.1.2	Ilmanvaihdon puhaltimien sähköenergia .....	56
6.2	Yksittäiset simuloinnit yhdistettynä sekä yhteisessä simuloinnissa.....	57
6.3	Puhaltimien sähköenergian kulutus hetkellisen sähkötehon avulla.....	60
6.4	Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus .....	61
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	62
	LÄHTEET.....	66

## LIITTEET

Liite 1. Pohjakuvat huoneista

Liite 2. Puhallinkäyrä

## 1 JOHDANTO

Rakennusten energiankulutus jakautuu sähkö- ja lämpö- sekä mahdollisesti jäähdytysenergian käyttöön. Eri energiamuotoja käytetään tarpeen vaatien rakennuksen (tilojen energian tarve) erilaisten tarpeiden mahdollistamiseksi, joita ovat lämmitys, jäähdytys, ilmanvaihto, käyttövesi, valaistus ja kuluttajalaitteet. Tekniset järjestelmät vaativat aina jonkun energianlähteen toimiakseen (ostoenergia), joita ovat sähkö, kaukolämpö, kaukojäähdytys ja uusiutuvat ja uusiutumattomat polttoaineet. Ilmanvaihdolla ja lämmityksellä on merkittävä vaikutus rakennuksen sisäolosuhteisiin ja hyvän sisäilmaston mahdollistaminen on ehdottomasti tärkein tavoite. Haluttujen sisäolojen mahdollistaminen kuluttaa Suomen rakennuksissa kolmanneksen kokonaisenergiankulutuksesta, ja samalla tuotetaan erilaisia epäpuhtauspäästöjä. Rakennusten energiankulutusta olisi järkevää vähentää ja nykyisillä laitteilla se on mahdollista. Kuitenkaan energiankulutusta vähentämällä sisäilmasto-olosuhteet eivät saisi huonontua. /1; 2./

Ilmanvaihto kuluttaa rakennuksen energiankulutuksesta ison osan, ja esimerkiksi tarpeenmukaisella ilmanvaihdon käytöllä olisi mahdollisuus laskea energiankulutusta. Toisaalta samalla voidaan parantaa sisäilman laatua teknologian avulla, mutta laitteisiin joutuu investoimaan hieman enemmän kuin tavallisiin. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa voidaan ohjata läsnäolon, lämpötilan, hiilidioksidin ja VOC-pitoisuuksien mukaan. Kaikissa tavoissa on omat hyvät ja huonot puolensa, mutta ohjaustapoja voidaan kuitenkin yhdistää. Ilmanvaihdon tarpeettomalla käytöllä kulutetaan huomattavasti enemmän sähköenergiaa puhaltimien toimintaan, koska suurempi ilmavirta vaatii puhaltimelta enemmän tehoa. Samalla tarvittava ilmamäärä tulee myös lämmittää tai mahdollisesti jäähdyttää, jolloin ilmanvaihtokoneen lämmitys- tai jäähdytyspatterit tarvitsevat oman lämpö- tai jäähdytysenergiansa halutun tuloilman saavuttamiseksi. Toisaalta viileä sisään puhallettu tuloilma lämmitetään huonetilassa, jolloin tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa myös lämmitysenergian kulutukseen. Ilmanvaihdolla on siis suuri merkitys rakennuksen energiankulutuksessa. /3, s.133–136./

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli verrata tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutusta vakioilmavirtajärjestelmään. Tutkimuksen tavoitteet-

na oli selvittää energiansäästö kyseisen rakennuksen käyttöprofiililla, kun käytössä on tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä. Tämä tutkimus kohdentui pääsääntöisesti ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen tarkasteluun. Tutkimus toteutettiin Jyväskylässä sijaitsevaan Keltinmäen päiväkotiin, jossa on käytössä tarpeenmukainen ilmanvaihto. Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kaikkien ryhmä- ja lepohuoneiden (12 kpl) ilmanvaihdon energiankulutusta. Schneiderin logiikalla toteutetusta automaatiosta saatiin trendiseurantatietoja lämpötiloista ja tilakohtaisista ilmavirroista. Trendiseurantaan asetettiin tutkimuksen aikana puhaltimien hetkellisen sähkötehon mittaus, jolloin tätä tietoa pystyttiin hyödyntämään. Ilmanvaihtokoneen energiankulutuksia tarkasteltiin IDA ICE -simulointiohjelman avulla, ja simuloinnit tehtiin teoreettiselle vuodelle. Trendiseurantatietojen perusteella simuloitiin ja laskettiin energiansäästö lämmitys- ja sähköenergian kulutuksille, kun tarpeenmukaista ilmanvaihtoa käytetään. IDA ICE -simulointien tuloksien perusteella haluttiin tarkastella myös ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen aiheuttavaa osuutta huoneen lämmitysenergian kulutuksessa.

## **2 SISÄILMASTO**

Ihmiset viettävät suuren osan ajastaan sisätiloissa (jopa 90 % ajastaan) ja sisäilmastoasiat kuuluvat nykyään keskeisesti arkipäivään. Tärkein tavoite sisäilmaston kannalta onkin saavuttaa sellaiset olosuhteet rakennuksen sisälle, jotta sisätiloissa on terveellistä ja viihtyisää olla. Jotta keskeiset tekijät sisäilmaston kannalta saavutetaan, on hyvä pohtia tarpeenmukaisuutta, laitteiden säätömahdollisuuksia ja etenkin sitä, että sisäilmasto on käyttäjien mielestä viihtyisä ja toiveiden mukainen. Sisäilmasto käsittää fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, joita useimmiten käsitellään lämpöoloina ja sisäilmanlaatuna. Lähi vuosina on otettu käyttöön myös termi sisäympäristö, joka käsittää hieman enemmän. Sisäympäristö käsittää myös valaistuksen, huoneakustiikan ja tilojen suunnittelun aiemmin esitettyjen lisäksi. Kaikki nämä tekijät vaikuttavat vahvasti rakennuksen käyttäjien viihtyvyyteen, terveyteen ja tuottavuuteen ja niihin täytyy panostaa jo suunnitteluvaiheessa. Suunnittelun aikana ei tulisi säästää taloteknisissä ratkaisuissa ja käyttökustannuksessa, koska ilmanvaihdon ja lämmityksen ansioista sisäilmasto-olosuhteet on mahdollista toteuttaa sisätiloihin. Kuitenkin silloin niihin on mahdollista vaikuttaa ja

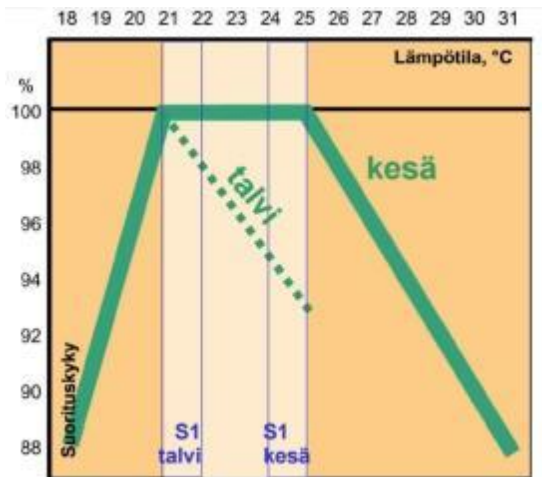
olisi syytä toteuttaa mahdollisimman energiatehokas ratkaisu, jolla haluttu sisäilmasto saavutetaan. /1; 3, s.37; 4, s.3./

## 2.1 Lämpötila

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi ihmisen tuntemukseen sisäilmastosta ja on ehdottomasti tärkein sisäilmatekijä. Sisäilman lämpötila vaikuttaa ihmisen kehon lämpötasapainoon, jolloin tuntemus on miellyttävä tai epämiellyttävä. Tuntemukseen vaikuttaa myös aineenvaihdunnan kautta siirtyvä kehon lämpö sisäilmaan ja myös toisinpäin. Sisäilman lämpötilan tulisikin olla oikealla tasolla, jotta kehosta lämpö pääsisi siirtymään ympäristöön. Tämän takia ihmiset voivatkin tuntea sisäilman eritavalla, koska kaikilla ihmisillä aineenvaihdunta ei toimi samalla tavalla. Myös tuntemukseen vaikuttaa merkittävästi vaatetus ja aktiviteetin taso. Aktiviteetin lisättyä huoneilman lämpötilaa tulisi tietenkin laskea, jotta lämpötasapaino pidettäisiin yllä. Myös vaatetuksen lisääminen vaikuttaa samalla tavalla. Tärkein kysymys koskee sitä, kun ei tiedetä, pitäisikö lämpötilan olla korkeampi vai alhaisempi. Tällöin lämpötilaa voidaan pitää sopivana aktiviteetin tasoon ja vaatetukseen verrattuna. Keskimääräisesti ihmisille sopiva sisäilman lämpötila on talviaikaan 21–22 °C ja kesäisin 24–25 °C. Kuitenkin sisäilman lämpötilan noustessa yli 22 °C, voi aiheuttaa sisäilmaoireita ja viihtyvyys taso voi laskea. Etenkin ilma voi tuntua tunkkaiselta tai siitä voi aiheutua väsymystä. Alhaisia sisäilman lämpötiloja tulee myös välttää, koska sekin voi aiheuttaa sisäilmaoireita, mutta edelleen aktiviteetti- ja vaatetustaso tulee huomioida. /3, s.38–42; 5./

Kuvassa 1 on havainnollistettu sisäilmanlämpötila tuottavuuteen verrattuna. Kuvasta voi selvästi nähdä sisälämpötilan vaikutuksen ihmisen tuottavuuteen. Vaikka kuva perustuu Sisäilmastoluokituksen 2008 [6] S1-luokan mukaisiin arvoihin, niin kuitenkin S2- ja S3-luokan kohdalla tilanne on samansuuntainen. Kuvasta selviää sopiva lämpötila talvi- ja kesäajalle ja etenkin ne lämpötilat, jolloin tuottavuustaso alkaa laskea.





Kuva 1. Sisäilmanlämpötila verrattuna tuottavuuteen [1]

## 2.2 Sisäilman laatu ja epäpuhtaudet

Sisäilman laatu käsittää mikrobiologiset ja kemialliset tekijät sekä osaltaan lämpötilan vaikutuksen. Lämpötilan kohotessa voidaan todeta ihmisen omien sekä osaltaan materiaalien epäpuhtaus päästöjen kohoavan. Ulkoilmasta on mahdollista kulkeutua epäpuhtauspäästöjä sisäilmaan, mutta myös tilojen käytöstä aiheutuvasta toiminnasta. Sisäilman laatua huonontavia tekijöitä ja syitä on useita, joita osaa pystytään jo suunnittelun avulla poistamaan. Esimerkiksi tuloilman suodattamisella voidaan vähentää epäpuhtauspäästöjä. Kuitenkin osaltaan tilojen toiminnasta aiheutuvia epäpuhtauspäästöjä ei voida poistaa kuin lisäämällä ilmanvaihtoa. Kaikkia ilmenneitä epäpuhtauspäästöjä ei kannattaisi kuitenkaan poistaa tai vähentää kasvattamalla ilmanvaihtoa, vaan syitä tulisi etsiä ensin. Mahdollisia epäpuhtauslähteitä voi esiintyä rakenteissa tai niitä voi kulkeutua suoraan ulkoilmasta sisäilmaan. Aina ilmanvaihdon kasvattaminen lisää samalla energiankulutusta, jolloin joissakin tapauksissa saataan tarpeettomasti käyttää ilmanvaihtoa. Tästä syystä VOC pitoisuuksien perusteella ohjatussa ilmanvaihdossa on riskinsä, että lisääntyneitä epäpuhtauspäästöjen syitä ei välttämättä selvitetä. Mahdollinen syy voisi olla joku rakenteellinen, joka olisi helppo korjata ja tämä jää huomaamatta. Kuitenkin ilmanvaihto hoitaa automatisoidusti epäpuhtauspäästöjen vähentämisen ja tällöin on mahdollista, että kulutetaan tarpeettomasti energiaa. /3, s.41–59./

Tavanomaisesti sisäilmassa voi esiintyä hiukkasia ja kuituja sekä kaasumaisia epäpuhtauksia, joita ovat hiilidioksidi, typpioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, radon ja formaldehydi. Sisäilmassa on myös mahdollista olla lukuisia määriä muita

kemiallisia yhdisteitä, biologisia epäpuhtauksia tai bakteereja ja viruksia. Yleisesti sisäilmaa huonontavista epäpuhtauslähteistä olevat suuret partikkelit ovat sisätiloista peräisin ja pienet partikkelit ulkoilmasta peräisin. Valviran mukaan suuret partikkelit ovat aerodynaamiselta kooltaan alle 10 mikrometrin ja pienet alle 2,5 mikrometrin. Suuremmat partikkelit ovat yleisesti tekstiileistä ja katupölystä, kun taas pienet partikkelit ovat peräisin pääasiassa palamisreaktiosta. Mikrobiologiset kasvustot ovat myös epäpuhtauslähteitä, jotka huonontavat sisäilman laatua. Kuitenkin mikrobiologiset kasvustot vaativat aina sopivan kosteuden, jotta ne voivat kasvaa lisää. Hyvänä esimerkkinä mikrobiologiselle kasvustolle on home, joka on aina sen esiintyessä sisäilmassa ja huonontamassa sisäilman laatua. Taulukossa 1 on esitetty tyypillisimpiä epäpuhtausaineita, joita yleisesti voi esiintyä sisäilmassa (nähtävissä kappaleessa 3.2.3). /3, s.59–68; 7, s.14; 8./

### 2.3 Viihtyvyys

Operatiivinen lämpötila on yksi viihtyvyyteen vaikuttavista tekijöistä. Operatiivisella lämpötilalla tarkoitetaan sisäilman ja huonetilan ympäröivien pintojen säteilylämpötilojen keskiarvoa. Tämä kuvastaa hyvin sitä, miten ihminen tuntee sisäilman ja huonetilan ympäröivien pintojen lämpötilan poikkeavuuden. Operatiivisen lämpötilan perusteella voidaan hyvinkin päätellä lämpöviihtyvyyttä, koska ympäröivät kylmät pinnat vaikuttavat säteilylämmön kautta viihtyvyyteen, vaikka sisälämpötila olisi sopiva. /9./

Epätasaiset ja muuttuvat lämpöolot vaikuttavat viihtyvyyteen. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla on mahdollista jäähdyttää kiinteistöä liikaa, jolloin lämpötilat vaihtelevat. Toisaalta myös lämmitys ei välttämättä reagoi tarpeeksi nopeasti muuttuviin olosuhteisiin tai järjestelmässä voi olla esimerkiksi anturivikoja, jolloin lämpötila pääsee muuttumaan huomattavasti ilmavirtojen kasvaessa. Syynä epätasaisuuteen ja muuttuviin lämpöoloihin voi yleisesti olla laitteiden ohjattavuus ja säätöjärjestelmät. Epätasaisia lämpötiloja voi aiheuttaa ilmanjakotapa, lämmitysmuoto ja ympäröivät pinnat. Esimerkiksi syrjäyttävää ilmanvaihtoa tai ilmalämmitystä käytettäessä pystysuuntainen lämpötilaero voi päästä kasvamaan. Toisaalta säteilylämmittimet ja kylmät tai kuumat pinnat aiheuttavat paikallisia lämpötilan muutoksia, jolloin näitä voidaan pitää epämiellyttävinä. /3, s.51./

Viihtyvyyteen vaikuttaa vahvasti akustiset ja valaistukselliset tekijät. Valaistus olisikin syytä toteuttaa niin, että oleskeluvyöhykkeellä pystyttäisiin normaaliin toimintaan ilman tarpeetonta energian käyttöä. Ääniolot ja akustiset tekijät vaikuttavat ihmisen kokemaan viihtyvyyteen ja LVI-laitteet eivät saisi kehittää tilakohtaisesti liikaa ääntä. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdon ääniosuhteiden hallinta onkin huomattavasti hankalampaa, kuin vakioilmavirtaisella järjestelmällä. Ilmavirrat muuttuvat ja silti ääniosuhteiden tulisi olla määräysten mukaiset jokaisessa tilanteessa. /9./

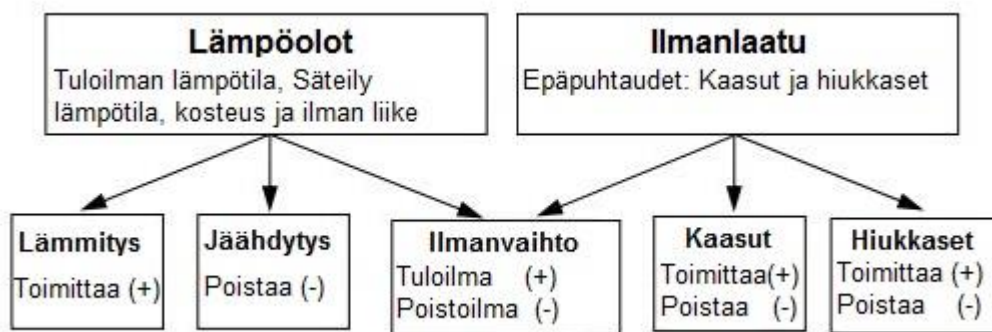
## 2.4 Veto ja ilman liike

Ilman liikkeellä ja sen nopeudella on vaikutuksia ihmisen kokemukseen viihtyvyydestä. Ihminen voi kokea vetoa, kun sisäilman lämpötila viilenee tai ilman liikkeen nopeus kasvaa. Vetoa koetaan useimmiten silloin, kun sisäilman lämpötila on optimilämpötilaa viileämpi. Viileä ilma tuntuu tällöin entistä viileämmältä normaalia suuremmalla ilman liikenopeudella. Etenkin lämpötilan kohotessa ilman liikkeen nopeuden kasvaminen voi tuntua miellyttävämmältä ja viilentävältä tekijältä. Toisaalta vetoon liittyviä asioita täytyy miettiä enemmän muuttuvailmavirtajärjestelmän kohdalla, koska ilmavirta muuttuu kokoajan ja päätelaitteen heittokuvio on erilainen minimi- ja maksimi-ilmavirralla. Tällöin päätelaittevalintoihin on panostettava enemmän ja mahdollisesti tarkasteltava heittokuvioita. Sisäilmastoluokitus 2008 [6] on antanut ohjeita sisäilman liikenopeudelle ja S2-luokan mukaan sisäilman lämpötilan ollessa 21 °C ilman liikenopeuden tavoitearvo on pienempi kuin 0,17 m/s ja lämpötilan ollessa 23 °C pienempi kuin 0,20 m/s. /3, s.47, 135; 6./

## 3 ILMANVAIHTO

Ilmanvaihdon avulla pyritään mahdollistamaan hyvä sisäilmasto kiinteistön käyttäjille lämmityksen kanssa yhteistyössä. Ilmanvaihdon peruserä on ylläpitää sisäilman laatua tai parantaa mahdollista saastunutta sisäilmaa vaihtamalla puhdasta ilmaa tilalle, jolloin voidaan suuresti vaikuttaa viihtyvyyteen. Sisäilman laadun lisäksi ilmanvaihdon avulla on mahdollista vaikuttaa lämpöoloihin, jolloin ilmanvaihdon toiminnalla on merkitystä ihmisen tuottavuuteen ja tervey-

teen. Ilmanvaihdon avulla pystytään vähentämään epäpuhtauspäästöjä, mutta samalla viilentämään kiinteistön huonetiloja ja pitämään huonetilan lämpötila hallinnassa. Kuva 2 havainnollistaa lämpöoloihin ja ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä. Tavallisesti tuloilma puhalletaan sisätiloihin muutama celsiusaste viileämpänä, jolloin lämmityksen avulla viileä tuloilma lämmitetään sisätiloissa. Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmistä on useita variaatioita ja niitä voidaan ohjata erilaisilla tavoilla. Perinteisesti nykyään käytetään koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää, joista variaatioita ovat vakioilmavirta- ja muuttuvilmavirtajärjestelmä. /9; 10, s. 1-4/



Kuva 2. lämpöoloihin ja ilmanlaatuun vaikuttavia tekijöitä [10]

Näitä järjestelmiä voidaan kutsua joko ilmanvaihto- tai ilmastointijärjestelmiksi. Järjestelmät poikkeavat vähän toisistaan, joten järjestelmien sekoittaminen on tavallista. Perinteisellä ilmanvaihdolla tuodaan uutta puhdasta ilmaa sisätiloihin suuremmin ilmaa käsittelemättä. Yleisimmin ilma vain suodatetaan ja lämmitetään sopivaksi. Ilmanvaihdon perusperiaate on vain vaikuttaa ilman laadullisiin tekijöihin kontrolloimatta lämpötilaa. Kuitenkin järjestelmä suunnitellaan mahdollisimman hyvin, että lämpöolotkin toteutuvat halutulla tavalla. Mahdollisuus on myös käyttää kierrätysilmaa, mutta silloin osa uuden puhtaan ilman seassa on saastunutta sisäilmaa. Tavanomaiset ihmiset voivat olettaa ilmastoinnin tarkoittavan vain jäähdytystä, mutta yleisesti se on kaikkea muutakin ilmentämistä. Ilmastoinnilla pyritään pitämään ilman laatu ja lämpötila hallinnassa tulo- tai mahdollista kierrätysilmaa käsittelemällä. Ilmanvaihtokoneessa voidaan käsitellä ilman lämpötila (lämmitys- ja jäähdytyspatterilla) sekä laadulliset tekijät (kostuttimella, ilmankuivaimella ja suodatuksella). Sisätiloissa on mahdollista viilentää ilmastoinnin avulla, mutta järjestelmä tulee silloin varustaa jäähdytysyksiköllä. Etenkin jäähdytys voidaan toteuttaa ilman tai veden avulla. Pelkällä ilmalla jäähdytettäessä ilma puhalletaan viileänä sisätiloi-

hin. Tällä tavalla saadaan minimaalinen jäähdytysvaikutus, mutta suurempia jäähdytystehoja tarvittaessa täytyykin hyödyntää vesi-ilmajärjestelmiä joita ovat esimerkiksi jäähdytyspalkit ja – moduulit. /3, s.113–131; 9./

### 3.1 Vakioilmavirtajärjestelmä

Vakioilmavirtajärjestelmästä käytetään lyhennettä CAV, joka perustuu englannin kielen sanoihin ”Constant Air Volume System”. Nimensä mukaisesti ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat mitoitetaan käyttöajalle vakioiksi eli muuttumattomiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmamäärät mitoitetaan rakennukseen käytön tarpeen mukaan ja järjestelmässä ei ole huonekohtaista kontrollointia ilmavirtojen suhteen. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 [9] ja Sisäilmastoluokitus 2008 [6] on annettu ohjearvoja huonetilojen ilmavirtojen määrittämiseksi. Ilmavirrat voidaan mitoittaa joko henkilömäärän perusteella tai huonetilan pinta-alan mukaan, ja yleisesti näistä valitaan se arvo, joka on suurempi. Myös tilakohtaisia ilmavirtoja mitoittaessa otetaan huomioon kesäajan jäähdytystarve, jolloin joihinkin huonetiloihin saatetaan kasvattaa ilmavirtaa. Toisaalta joskus joudutaan käyttämään erillisiä jäähdyttimiä, mutta yleisesti halpa ratkaisu on vain kasvattaa ilmavirtaa. /9, s.3./

Riippuen rakennuksen käytöstä ilmavirrat voivat vaihdella käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolisen ajan puitteissa. Ilmanvaihtojärjestelmä toimii yleisesti joko täydellä ilmavirralla tai on kokonaan pois. Toisaalta esimerkiksi päiväkodeissa käyttöaika painottuu viikolle, jolloin käyttöä ei ole viikonloppuna. On hyvin tyypillistä käyttää minimi ja maksimiohjausta, jolloin ilmavirrat voidaan ohjata määräysten mukaiselle minimi-ilmavirralla viikonloppun ajaksi. Käyttöajan puitteissa ilmavirrat ovat suunnittelun mukaisissa maksimiarvoissa. Käyttöajan ulkopuolisella ajalla voidaan myös minimi-ilmanvaihto toteuttaa niin, että jaksotetaan ilmanvaihdon toiminta ja välillä ilmanvaihto ei ole käytössä ollenkaan. Tällä tavalla säästetään ensinäkkin energiaa, mutta myös tarpeeton ilmanvaihto on tällä tavalla eliminoitu vakioilmavirtajärjestelmässä. Kuitenkin Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 [2] mukaisesti rakennusta tulee tuulettaa yksi tunti ennen käyttöä ja käytön jälkeen, jolloin käyttöprofiili pitää suunnitella kaksi tuntia pidemmäksi tunnetusta käyttöajasta. Tavallinen käyttöaika päiväkodille on 8.00–16.00, johon ei sisälly alku- ja lopputuuletuksia. Tämä on

kuitenkin ohjearvo ja tietenkin ilmanvaihdon ohjauksessa käytetään rakennuksen oikeaa käyttöaikaa. /2; 3, s.132; 9; 10, s.3./

Tavallisesti vakioilmavirtajärjestelmä on edullinen vaihtoehto, ja se valitaan usein halpojen investointikustannusten perusteella. Välttämättä juuri kyseiseen rakennukseen ei tarvita hienoja ilmanvaihtolaitteita, ja tulevaisuuden näkymät rakennuksen käytöstä ovat selvät. Nykyisin enemmän huomion kohteena oleva järjestelmän muunneltavuus ei kuitenkaan välttämättä ole helppoa. Järjestelmässä on mahdollisuuksia muuntojoustolle, jolloin ilmanvaihto suunnittelun aikana päätelaitteita voidaan valita mahdollisimman laajalle toiminta-alueelle. Tilojen käyttötarkoitus voi muuttua ja laajojen toiminta-alueiden omaavilla päätelaitteilla voidaan säätää ilmavirtoja eri arvoihin. Yleisesti muuntojoustomahdollisuudet ovat pienet vakioilmavirtajärjestelmälle ilman suurempia järjestelmän muutoksia. Tavallisesti vakioilmavirtajärjestelmä suunnitellaan sellaiseen rakennukseen, jossa käyttö on hyvin samantapaista ja käytöstä aiheutuvat kuormitukset eivät vaihtele suuresti. Kuitenkaan järjestelmässä ei ole huonekohtaista säätömahdollisuutta, jolloin yllämpeneminen on tavallista tai mahdollisesti liian suurilla ilmamäärillä huonetilat voivat viilentyä liian kylmiksi. Käyttäjällä on todella vähän mahdollisuuksia vaikuttaa huoneen sisäolosuhteisiin ja yleisimmin ainut säätö on lämmityksen säätö (patteritermostaatti tai lattialämmityksen säätökytkin). /3, s.132./

### **3.2 Muuttuvailmavirtajärjestelmä**

Muuttuvailmavirtajärjestelmälle on muutamia nimityksiä, joita ovat muun muassa VAV- (Variable Air Volume System) ja DCV-järjestelmä (Demand Controlled Ventilation), joka on Per Fahlénin [11] sanoin muuttuvailmavirtajärjestelmän alaryhmä. DCV-järjestelmästä käytetään pääsääntöisesti nimitystä tarpeenmukainen ilmanvaihto. Suomessa käytetään myös monia lyhenteitä, joita ovat MIV- (muuttuvailmavirta), IVS- (ilmavirtasäätö) ja IMS-järjestelmä (ilmamääräsäätö). Tarpeenmukaisuus käsitteellä tarkoitetaan yksiselitteisesti ilmanvaihdon kohdalla sitä, että ilmavirtoja säädellään tarpeenmukaisesti jonkun tekijän perusteella. Yleensä vahvasti mukana vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöolosuhteet, ilman laatu tai joku muu vaikuttava tekijä, joka voi joissakin tapauksissa olla turvallisuus. /3, s.133; 11./

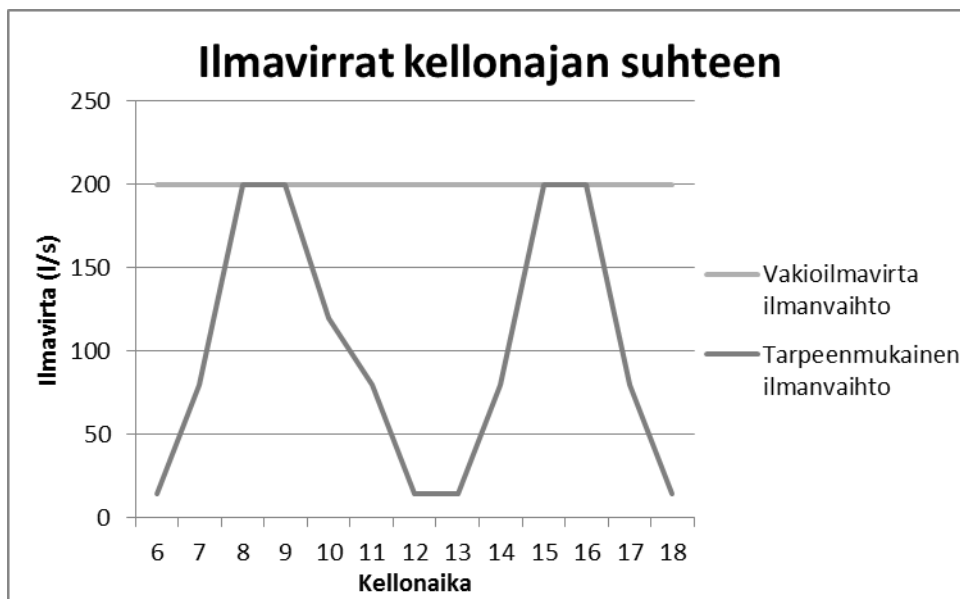
Muuttuvilmavirtajärjestelmä on määritelty yleisesti olevan ilmastointijärjestelmä, jossa ilmavirrat säätyvät kuormituksen ja epäpuhtauspitoisuuksien perusteella. Tarpeenmukainen ilmanvaihto määrillään tavallisesti samanlaiseksi järjestelmäksi, mutta muuttuvilmavirtajärjestelmä on pääsääntöisesti ilmastointijärjestelmä. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja säädelään tavallisesti läsnäolon, ilman laadun, kosteuden ja muiden mahdollisten tekijöiden perusteella. Molemmilla järjestelmillä on pääsääntö, että tilan ilmanlaatua ylläpidetään tai sitä parannetaan. Ohjausperusteita voi olla molemmissa järjestelmissä käytössä yksi tai useampi. Ilmavirtasäätöjärjestelmä on taas ilmastointijärjestelmä, jossa ilmavirtoja säädelään pelkästään jäähdytys- ja lämmitystarpeen mukaisesti. /3, s.385–396./

Tavallisesti muuttuvilmavirtajärjestelmä toimii huone- tai aluekohtaisesti. Yleisesti muuttuvilmavirtajärjestelmä soveltuu sellaisiin rakennuksiin, joissa tarvitaan suurien lämpökuormien hallintaa, joskus suuriakin ilmavirtoja tai huonetilojen ilman laadullista ohjausta. Toisaalta muuttuvilmavirtajärjestelmä valitaan useimmiten myös sellaisiin rakennuksiin, joissa tilojen käyttö vaihtelee paljon. Tällaisia kohteita ovat normaalisti liikerakennukset, hotellit, toimistot, koulut ja päiväkodit. /3, s.133–134./

Vakioilmavirta- ja muuttuvilmavirtajärjestelmät saatetaan joskus ymmärtää hieman väärällä tavalla, koska vakioilmavirtajärjestelmiäkin ohjataan osittain käyttöprofiilin mukaan. Yleisesti muuttuvilmavirtajärjestelmä toimii ja säätyy erilaisten perusteiden mukaisesti. Eurooppalaisen standardin EN13779 [12] mukaisesti DCV-järjestelmää ohjataan läsnäolon (käyttöasteen), kosteuden tai muiden ilmanlaadullisten tekijöiden perusteella, joita ovat esimerkiksi hiilidioksidin- ja VOC-pitoisuudet. Kuitenkin Maripuu kertoi raportissaan [10], että jotkut väittävät DCV-järjestelmien toimivan pelkästään ilman laadullisen ohjauksen perusteella. Useimmiten käsitys on oikea siitä, että DCV- ja VAV-järjestelmät liittyvät vahvasti toisiinsa, vaikka ohjausperuste voi olla eri. VAV-järjestelmien on väitetty toimivan ainoastaan läsnäolon mukaisesti ohjattuna, mutta toisaalta VAV-järjestelmän on viitattu toimivan lämpötilan säädöllisin perustein, jolloin ilmanvaihdolla kontrolloitaisi lämmitystä. DCV- ja VAV-järjestelmiä voidaan soveltaa rakennukseen halutulla tavalla, mutta ihmiset käyttävät tietynlaisen ohjauksen perusteella olevasta järjestelmästä monesti eri nimityksiä. Loppujen lopuksi nimityksellä ei ole käytännön merkitystä, kun kuitenkin kummatkin tar-

koittavat lähes samaa asiaa. Kuitenkaan ei ole ainutta oikeaa tapaa, jolla haluttuun loppu tulokseen voitaisiin päästä, joten ohjausperusteet voivat vaihdella. /3, s.133; 10, s.1–4./

Kuvassa 3 on esitetty havainnollistava käyttöprofiili tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla verrattuna vakioilmavirtailmanvaihtoon. Kuvasta on helposti havaittavissa ilmamäärät verrattuna päivittäiseen käyttöön. Toisaalta kuvasta voi havaita eroavuuden vakioilmavirtailmanvaihdon ja tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnan välillä.



Kuva 3. Havainnollistava päivittäinen ilmanvaihtojärjestelmien käyttö

### 3.2.1 Säätostrategiat

VAV-järjestelmälle on yleisesti kaksi käyttömahdollisuutta, joita ovat DCV ja MOV (Manual Operation of Ventilation). Per Fahlénin [11] mukaan tarpeenmukaiseksi ilmanvaihdoksi lasketaan myös (MOV) ilmanvaihtojärjestelmä, jota käyttäjä voi säätää itse tarpeidensa mukaisesti esimerkiksi valmiiksi asetettujen arvojen mukaan. DCV-järjestelmässä on kuitenkin aina automatiikka, joka hoitaa käyttäjän puolesta säätämisen useimmiten portaattomasti. /11./

DCV-järjestelmän säätostrategioita on kaksi, joita ovat OCV- (open-loop control) ja CCV-strategia (closed-loop control). Kuvassa 4 on havainnollistettu säätostrategioiden jaottelu ilmanvaihtoperiaatteiden mukaisesti. Yleisesti määritellyn ohjaus tapahtuu joko tiettyä parametria mittaamalla (esimerkiksi hiilidiok-



sidi) tai ohjausta ennustamalla. CCV-strategia perustuu siihen, että parametritietoa saadaan anturilta signaalin muodossa ja tämän perustella säädetään prosessia. Yleisesti tällaisessa prosessissa esiintyy laite, johon on asennettu anturi ja lähetin, joka muuntaa anturilta saatavan signaalin sähköiseksi. Ohjaimen tehtävänä on päättää lähetimen signaalin perustella, onko prosessi hyväksyttävissä, eli onko kaikki kohdillaan prosessin kannalta. Tietysti prosessia täytyy säätää jotenkin, jolloin toimilaitte säättää prosessin tilaa ohjaimen antamien tietojen perusteella. OCV-strategia ei käytä sinänsä parametritietoa antureilta, eli mittaustieto ei vaikuta ohjaukseen. Prosessin ohjaus on siis suoraan ennalta määrätty. Vaikka parametritietoa ei hyödynnetä ohjaukseen, ohjain voin kuitenkin kyseenalaistaa säätöön liittyvistä asioista. Esimerkiksi ohjaimelta voi tulla kysymys, täytyykö ilmavirtasäädin nyt varmasti sulkea kokonaan. /13./

<b>Vakioilmavirtajärjestelmä (CAV)</b>	<b>Muuttuvailmavirtajärjestelmä (VAV)</b>
<p>1 tai 2 vaiheinen ohjaus, eli on/off tai minimi/maksimi</p> <p>CAV= ei ilmavirtojen ohjausta käyttöaikana</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Käsikäyttö ( MOV )</li> <li>- Aikaohjelma ( käyttöprofiili )</li> </ul>	<p>Suurempi kuin kaksi portainen ohjaus tai jatkuva ohjaus eli VAV</p> <p>Automaattinen ohjaus eli DCV</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Käsikäyttö ( MOV )</li> <li>- Open-loop Control ( OCV )</li> <li>- Closed-loop Control ( CCV )</li> </ul>

Kuva 4. Ilmanvaihdon säätöstrategiat [10]

### 3.2.2 Järjestelmän kannattavuus ja muuntojousto

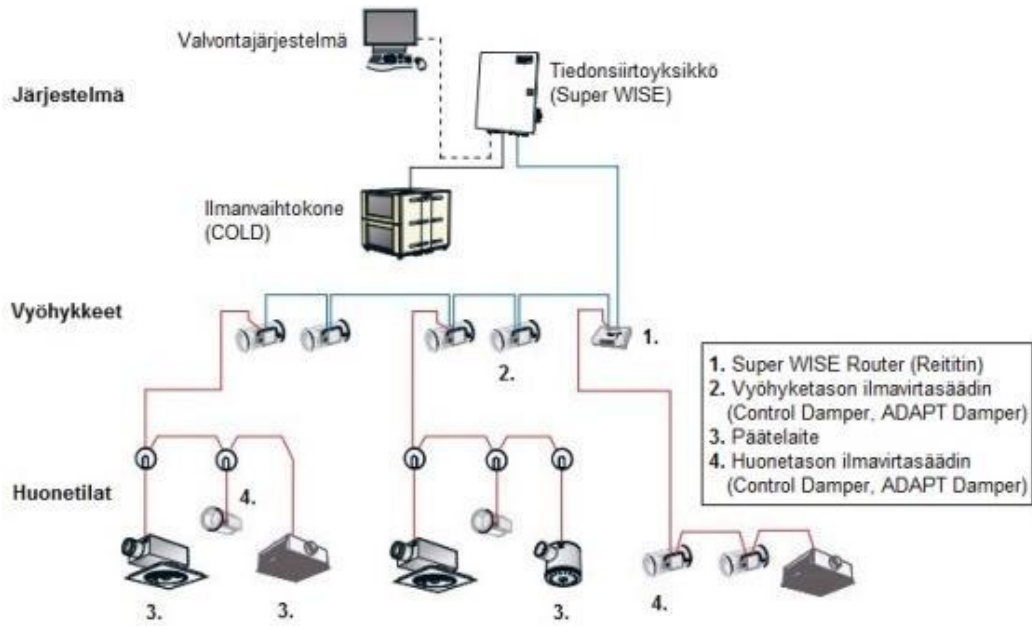
Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä voi olla huomattavastikin kalliimpi verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään, mutta on siinä monia hyviä puolia mikä takia se kannattaa hankkia. DCV-järjestelmä on yksiselitteisesti muuntojoustavampi järjestelmä verrattuna CAV-järjestelmään. Yleisesti DCV-järjestelmän ilmavirtojen säätö on toteutettu aktiivisilla päätelaitteilla ja huone- tai aluekohtaisilla ilmavirtasäätimillä. Huoneen käyttötarkoituksen muututtua ilmavirtoja on helppo muokata automaatiojärjestelmän avulla, eikä sen suurempia asioita tarvitse hoitaa. Tästä nähdään, että DCV-järjestelmä on huomattavasti muuntojoustavampi. Toisaalta kalliimmat investointikustannukset

saadaan maksettua takaisin melko nopeasti pienentyneiden käyttökustannusten johdosta.

Swegon Ab Oy on tutkinut omien DCV-järjestelmien toimintaa ja energiankulutusta ja ovat todenneet, että DCV-järjestelmällä voidaan säästää jopa 80 % puhaltimien sähköenergiasta verrattuna CAV-järjestelmään. Samalla voidaan myös saavuttaa 40 % säästöt lämmitys- ja jäähdytysenergian kulutuksesta. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdon käytöllä voidaan saavuttaa nykypäivän tiukemmat energiatehokkuusvaatimukset ja samalla lisätä viihtyvyyttä energiankulutusta vähentämällä. /14./

### **3.2.3 Swegon WISE-järjestelmä**

Koko tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ydin on Super WISE eli kompakti tietokone, joka kommunikoi kaikkien WISE laitteiden kanssa keskenään. Se ohjaa ja säätää ilmanvaihdon prosessia sekä myös toimii verkkopohjaisena työkaluna ja tiedonsiirtoyksikkönä. Super WISE on edeltäjänsä hieman parempi, ja tähän on tehty toiminto, joka optimoi ilmavaihtokoneen painetason ja pitää käytön aikana vähintään yhden ilmavirtasäätimen aina 90-prosenttisesti auki. Tämä mahdollistaa jopa 25 % pienemmän sähkönkulutuksen ja alhaisemmat äänitasot. Super WISE pystyy ohjaamaan 10 vyöhykettä, ja kussakin vyöhykkeessä saa olla maksimissaan kahdeksan ilmavirtasäädintä. Ilmavirtojen yhteen- ja vähennyslasku onnistuu vyöhykekohtaisesti. Kuvassa 5 on esitetty väylärakenne Swegon WISE-järjestelmälle. /15; 16./



Kuva 5. WISE-järjestelmän väylärakenne [16]

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mahdollistaa ADAPT Damper ilmapirtasäädin. Ilmapirtasäädin pystyy säätämään esiasetettujen ilmapirtojen (maksimi- ja minimi-ilmapirran) perusteella oikean ilmapirran. Ilmapirtasäätimessä on integroitu säädin, jolla on mahdollista toteuttaa ohjaustoiminnot, jolloin esimerkiksi pelti säätyy tulipalon aikana halutulla tavalla. Vakiovarusteena ilmapirtasäätimessä on lämpötila-anturit, joilla voidaan mitata tulo- ja poistoilman lämpötilaa, mutta tarvittaessa on mahdollisuus asentaa seoskaasuanturi eli VOC-anturi. Ilmanlaadun ohjaukselle on oma toiminto, ja se esiintyy CAC-lyhenteellä (Clean Air Control). VOC-pitoisuuksien mittaus tapahtuu poistoilman kanavassa, eikä huonetiloissa ole kuin läsnäoloanturit. Ilmamääriä on myös mahdollista ohjata hiilidioksidipitoisuuksien perusteella. Kuvassa 6 on esitetty Swegonin ADAPT Damper ilmapirtasäädin. /17; 18./



Kuva 6. Swegon Ab Oy ADAPT Damper ilmapirtasäädin

Clean Air Control toimintoa käytetään sellaisissa tapauksissa, joissa ilmamäärää halutaan ohjata tilojen epäpuhtauksien perusteella. VOC-anturi mittaa ilmassa olevia epäpuhtauspitoisuuksia ja ilmoittaa sen yksikössä % VOC. Kun ilmassa esiintyy hiilidioksidia ja VOC-anturi havaitsee epäpuhtauksia, se esittää VOC-pitoisuuden suhteessa hiilidioksidipitoisuuteen. Eri epäpuhtauslähteille voidaan asettaa asetusarvoja, jolloin ilmavirtoja säädetään portaattomasti valittuun asetusarvoon tai maksimi-ilmavirtaan asti. Swegon Ab Oy on kerännyt yhteen tyypillisimpiä epäpuhtauslähteistä peräisin olevia aineita. VOC-anturin on todettu tutkimuksin reagoivan lähes kaikkiin tai ainakin jokaisen ryhmän tyypillisimpiin epäpuhtauslähteistä peräisin oleviin aineisiin. Epäpuhtauslähteet ja tyypillisimmät aineet on esitetty taulukossa 1. /18./

Taulukko 1. Sisäilman epäpuhtauslähteet ja tyypillisimmät aineet [18]

Sisäilman Epäpuhtauslähteet	Emissiolähde	Tyypilliset aineet		CAC Reagoi
		VOC	Muut	
Ihminen	Hengitys	Asetoni, etanoli ja isopreeni		X
		CO <sub>2</sub>		
		Kosteus		X
	Iholta haihtuva kosteus ja hiki	Nonanaali, dekanaali ja α-pineeni		X
		Kosteus		X
	Kehon kaasut	Metaani ja vety		X
	Kosmetiikka	Sitrusöljy ja eukalyptoli		X
	Kodinhoitotuotteet	Alkoholit, esterit ja sitrusöljy		X
		Palamattomat hiilivedyt		X
	Palaminen (moottorit, laitteet ja tupakointi)	CO		X
CO <sub>2</sub>				
Kosteus		X		
Rakennusmateriaalit	Maalit, liimat, liuottimet ja matot	Formaldehydi, alkaani, alkoholit, aldehydit, ketonit ja siloksaanit		X
Huonekalut	Muovi	Tolueeni, ksyleeni ja dekaani		X
Toimistovarusteet	Tulostimet, kopiokoneet ja tietokoneet	Benseeni, styreeni ja fenolit		X
Kuluttajatuotteet				

### 3.3 Ilmanvaihdon energiankulutus

Rakennusten on todettu kuluttavan Euroopan unionin alueella jopa 40 % kokonaisenergiankulutuksesta. Rakennuksia rakennetaan kokoajan lisää ja samalla energiankulutus kasvaa. Energiankulutusta olisi tärkeää saada vähen-

nettyä, jotta kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin vähentää. Euroopan unioni noudattaa Yhdistyneiden kansakuntien kanssa sovittua puitesopimuksen Kioton pöytäkirjaa, jonka perusteella energiankulutusta tulisi vähentää sekä ilmastomuutosta tulisi hidastaa. Euroopan unioni noudattaa myös pitkän aikavälin sitoumusta, jolloin mahdollistetaan maailmanlaajuisen lämpötilan nousu alle 2 °C:ssa. Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti kaikkien uusien rakennusten tulisi olla lähes nollaenergiarakennuksia 31.12.2020 mennessä. Julkisten rakennusten lähes nollaenergiavaatimukset tulevat voimaan jo 31.12.2018, jolloin viranomaiskäytössä ja -omistuksessa olevat rakennukset täytyy rakentaa direktiivin mukaisesti. Energiatehokkuusdirektiivissä esitetään, että jäsenvaltioiden on toteutettava tarvittavat toimenpiteet, jotta lähes nollaenergiarakentamiseen päästään ja vähimmäisvaatimukset varmistetaan. /19./

Lähitulevaisuudessa panostetaan entistä enemmän energiatehokkuuteen, ja tämän perusteella rakennusten energiankulutus on hyvin keskeinen aihepiiri. Nykyään löytyy paljon erilaisia tapoja, joilla rakennusten energiatehokkuutta voidaan parantaa, mutta samalla säilyttää vähintään samantasoiset sisäilmasto-olosuhteet kuin aiemmin. Toisaalta LVI-järjestelmät kehittyvät kokoajan, ja näin ollen uudet energiatehokkuusvaatimukset ovat mahdollisia. Rakenteellisella kokonaisuudella ja teknisillä järjestelmillä on keskenään yhteinen vaikutus koko rakennuksen energiankulutukseen, joten kummatkin täytyy toteuttaa tulevaisuudessa entistä energiatehokkaammin.

Yleisesti ilmanvaihdon energiankulutus sisältää sähköenergian-, lämmitysenergian- ja jäähdytysenergiankulutuksen. Sähköenergiaan voidaan sisällyttää puhaltimien, lämmitys- tai jäähdytysjärjestelmien pumppujen, lämmöntalteenoton laitteiden pumppujen sekä moottorien tai taajuusmuuntajien ja muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden sähkönkulutus. Lämmöntalteenottolaitteella on merkittävä vaikutus ilmanvaihtokoneessa. Lämmöntalteenoton tarkoitus ilmanvaihtokoneessa on käyttää hyödyksi poistoilmaa lämmittäen raitisilmaa sopivammaksi. Lämmöntalteenotolla on mahdollista saavuttaa jo suuret lämmitysenergian säästöt. Välttämättä lämmöntalteenotolla ei saada lämmitettyä raitisilmaa haluttuun tuloilman lämpötilaan, jolloin lämmityspatterin avulla hoidetaan lisälämmitys. Raitisilman lämmitys voitaisiin toteuttaa myös pelkällä lämmityspatterilla, mutta lämmöntalteenotolla säästetään huomattava määrä

lämmitysenergiankulutuksesta. Lämmitysenergiaa laskettaessa on tärkeää, että puhaltimen aiheuttama ilman lämpötilan kohoaminen huomioidaan. Tämä voi olla tavallisesti puolesta celsius asteesta yhteen celsius asteeseen. Puhaltimen aiheuttamalla lämpötilan kokoamisella on yleensä melko pieni vaikutus lämmitysenergian laskennassa, mutta se täytyy kuitenkin muistaa ottaa huomioon. /2./

Lämmitysenergiaa hyödynnetään ilmanvaihtokoneen lämmityspatterissa, ja sitä kutsutaan ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeeksi. Nettotarve muodostuu siitä, kun lämmöntalteenoton jälkeinen ilma lämmitetään tuloilmaksi haluttuun lämpötilaan ja toisinaan esilämmityspatterilla estäen lämmöntalteenottolaitteen jäätyksen. Toisinaan myös lämmitys- ja esilämmityspatterissa voidaan hyödyntää sähköenergiaa lämmitysenergian sijasta. Jäähdytysenergian kulutuksella tarkoitetaan tuloilman tai mahdollisesti tilojen jäähdytysenergian nettotarvetta. Lämmitys- ja jäähdytysenergian nettotarpeeseen huomioidaan myös apulaitteiden kuluttama sähköenergia. Kummassakin tapauksessa huomioidaan tuotosta, varastoinnista, jakelusta ja luovutuksesta aiheutuvat häviöt. /2./

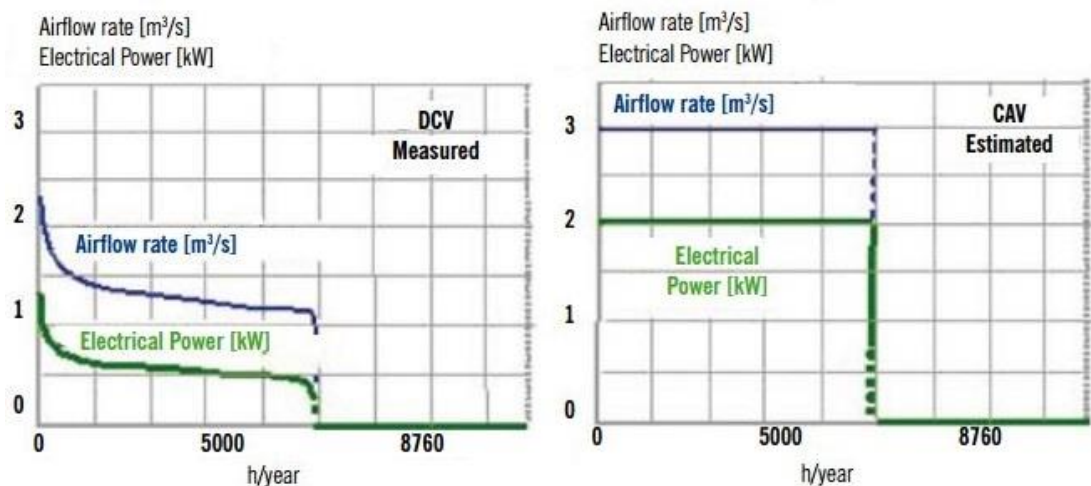
Ilmanvaihdon puhaltimen sähköenergiankulutukseen vaikuttaa useita tekijöitä. Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 pykälässä 7.1.3 on esitetty kaava, jonka avulla voidaan laskea puhaltimen kuluttama sähköenergia, kun tunnetaan puhaltimen kokonaispaineenkorotus (Pa), ilmanvaihtokoneen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), puhaltimen hyötysuhde ja ajanjakson pituus tunteina. Tästä voidaan jo hyvinkin pitkälle päätellä mitkä tekijät vaikuttavat puhaltimen sähköenergiankulutukseen. Usein ilmavaihtokone toimii erisuuruksilla ilmavirroilla ajan suhteen (käyttöaika ja käyttöajan ulkopuolinen aika), jonka perusteella erisuuruksilla ilmavirroilla on eri sähköenergiankulutus. Jokaiselle puhaltimelle on oma puhallinkäyrä, jonka perusteella tiettyä ilmavirtaa vastaava kokonaispaineenkorotus voidaan katsoa. Kokonaispaineenkorotukseen vaikuttaa myös tietenkin ilmanvaihtokanaviston sekä muiden laitteiden aiheuttamat painehäviöt. Puhaltimen kokonaispaineenkorotus täytyy olla suurempi kuin ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöt yhteensä, jotta ilma saadaan kuljetettua huoneeseen asti. Puhaltimen hyötysuhteeseen taas vaikuttaa moottorityyppi ja säätötapa. Yleisesti puhaltimen sähköenergian kulutukseen vaikuttaa ilmavirta, paineenkorotus, puhaltimen hyötysuhde ja ajan jakso kyseisellä ilmavirralla. /20; 21./

Ilmanvaihdon lämmitysenergiantarpeen laskenta on esitetty Rakentamismääräyskokoelman osassa D5 pykälässä 3.4.1, jonka perusteella voidaan havainnollistaa lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Ilmanvaihdon lämmitysenergiaa laskettaessa täytyy tietää ilmanvaihtokoneen keskimääräinen vuorokautinen ja viikoittainen käyntiaikasuhde, ilman tiheys sekä ominaislämpökapasiteetti, ilmavirta, sisäänpuhalluslämpötila, puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu, lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila ja ajanjakson pituus. Lämmitysenergia pitää siis laskea jokaisella tunnetulla ilmanvaihtokoneen ilmavirralla (käyttöaika ja käyttöajan ulkopuolinen aika), ja jokaiselle ilmavirralla useimmiten tunnetaan ajanjakson pituus. Lämmöntalteenottolaitteella on suuri merkitys ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutukseen, ja mitä parempi hyötysuhde lämmöntalteenottolaitella on, niin sitä vähemmän lämmitysenergiaa kuluu. Lämmitysenergiankulutukseen vaikuttaa merkittävästi se, että mihin lämpötilaan asti lämmöntalteenotolla raitisilma saadaan lämmitettyä. Puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu taas vähentää lämmitysenergian kulutusta. Sisäänpuhalluslämpötilasta vähennettynä puhaltimen aiheuttama lämpötilan nousu ja lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila antaa lämpötilaeron, jonka lämmittämiseen kuluu laskettu määrä lämmitysenergiaa tietyllä ilmavirralla. Merkittäviä tekijöitä ovat lämmitysenergiankulutuksen kannalta lämpötilaero, ilmavirta ja ajanjakson pituus. /20./

Erricon tekemässä tutkimuksessa [22] oli tarkoituksena tutkia etelä Ruotsissa sijaitsevan toimisto-liikerakennuksen energiansäästömahdollisuutta. Hän vertasi vakioilmavirtajärjestelmää VAV- ja DCV-järjestelmiin IDA ICE -simulointien perusteella. Tutkimuksessa todettiin, että kokonaisenergiankulutuksessa säästettäisiin VAV-järjestelmällä 21 % ja DCV-järjestelmällä 54 % verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään. Hän tutki myös DCV-järjestelmän energian kulutusta, jossa sisätilojen lämpötila oli annettu kohota hieman korkeammaksi verrattuna muihin tapauksiin. Tällöin kokonaisenergiankulutuksessa säästettiin vielä noin 12 % verrattuna aiempaan DCV-järjestelmän IDA ICE -simulointiin.

Maripuun raportissa [10] on esitetty muutama tapaustutkimus, joissa on havainnollistettu DCV-järjestelmien energiankulutusta toimistorakennuksissa. Yhdessä näistä tapaustutkimuksista tarkasteltiin Ruotsissa Göteborgissa si-

jaitsevaa rakennuksen osaa, joka on kerrosalaltaan 2500 m<sup>2</sup>. Rakennuksen vanha osa on rakennettu 1960-luvulla ja uudempi osa vuonna 2004, jota tapaututkimus koskee. Tutkimukseen oli otettu tarkasteltavaksi ajanjaksoksi vuosi, ja ilmanvaihtojärjestelmän oli todettu olevan tarkastelujakson aikana noin 4900 tuntia päällä. Rakennuksen suunniteltu tuloilmavirta oli 3,0 m<sup>3</sup>/s ja huomioitavana voidaan pitää sitä, että todettu ilmavirta ei ollut koskaan maksimissaan. Tarkastelujaksolla saavutettiin maksimissaan 2.3 m<sup>3</sup>/s suuruinen ilmavirta, joka on huomattavasti vähemmän verrattuna suunniteltuun maksimi-ilmavirtaan. Tämän perusteella oli jo päätelty, että rakennuksen käyttöaste oli pieni. Kuitenkin huomion arvoista on se, että ilmanvaihto toimi 80 % käyttötunneista alle 45 % maksimi-ilmavirrasta. Tämän perusteella tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla on säästetty jo huomattavasti energiakustannuksissa verrattuna vakioilmanvaihtoon. Kuvassa 7 on esitetty kyseisen rakennuksen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon energiankulutus ja ilmavirta ajan suhteen sekä havainnollistava tilanne vakioilmanvaihdolla. Kuvasta on havaittavissa energiankulutuksen ero ilmanvaihtojärjestelmien välillä sekä ilmavirtojen taso tutkitavan vuoden aikana. /10, s.28–30, s.193–199./



Kuva 7. Tapaututkimuksen rakennuksen ilmavirta ja energiankulutus ajan suhteen [23]

### 3.4 Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän luotettavuus

DCV-järjestelmillä on todetusti paljon potentiaalia vaikuttaa ilmanvaihdon energiankulutukseen vähentävästi, mutta kuitenkin aina DCV-järjestelmien energiankulutus riippuu useasta tekijästä. DCV-järjestelmien toteutettavuus ja soveltaminen voi olla erilaista, ja tämän takia energiansäästöpotentiaalia mietittäessä on arvioitava jokainen tapaus erikseen. Järjestelmät voivat olla hyvin



yksinkertaisesti suunniteltuja tai toisaalta melko monimutkaisia. Monimutkaiset järjestelmät eivät välttämättä aina toimi niin kuin niiden oli suunniteltu toimivan, jolloin on mahdollisuus tarpeettomaan energian käyttöön. Erityisesti ongelmia voidaan havaita ohjaustavasta tai antureiden toiminnasta, jonka takia olisi syytä käyttää sellaisia tuotteita, jotka soveltuvat keskenään toimimaan oikein. Etenkin muuttuvailmavirtajärjestelmien kohdalla olisi suotavaa, että laitteisto otetaan huolellisesti käyttöön ja sitä ylläpidetään elinkaaren aikana. Tällä tavalla on mahdollista saavuttaa haluttu suorituskyky, jonka perusteella laitteiston tulisi toimia oikein. Toisaalta ilmanvaihtojärjestelmän käyttö tulisi opastaa rakennuksen henkilöstölle ja tietenkin niissä tilanteissa, kun käyttäjän on mahdollista säätää ilmavirtoja. /7, s.56; 10, s.5./

Fisk ym. tekivät tutkimuksen [24], jossa selvitettiin hiilidioksidiantureiden toimintaa liikerakennuksissa. Heidän tutkimuksessaan kerrotaan, että he ovat havainneet monien muiden tutkimuksissa ilmaantuvan huonosti toimivia hiilidioksidiantureita ja tämän perusteella käytettäisiin ilmanvaihtoa turhaan. Kyseisessä tutkimuksessa arvioitiin 44 hiilidioksidianturin tarkkuutta, toimintaa ja suorituskykyä. He totesivat, että usein antureiden mittausvirhe saattoi olla jopa satoja ppm. Kuitenkin antureiden mittausvirhe vaihteli laajasti, mutta toisaalta he totesivat, että tarvittaisiin tarkempia antureita, jotta voitaisiin luottaa järjestelmän oikein toimivuuteen. Myös mahdollisuus olisi lisätä antureiden huolto- tai kalibrointimenettelyä.

Clark kertoo artikkelissaan [25], että useimpien CO<sub>2</sub>-antureiden toiminta perustuu dispergoivaan infrapuna teknologiaan (NDIR), ja on aivan mahdollista, että anturi epäonnistuu mittauksessa. CO<sub>2</sub>-antureilla on useimmiten taipumus epätarkkuuteen, ja tavallisesti antureiden tarkkuus voidaan olettaa  $\pm 75$  ppm. Kuitenkin anturin toimintaa voi vaikuttaa useampi tekijä, jonka perustella saadaan epätarkkoja arvoja ja ilmanvaihtoa ohjataan siksi väärään suuntaan. Yleisesti CO<sub>2</sub>-antureita on ulkona sekä sisällä, joten mittaus tapahtuu vertaamalla ulkoilman hiilidioksidipitoisuutta sisäilman pitoisuuteen. Toisaalta antureiden mittausvirhe saattaa usein olla lähes yhtä suuri vastakkaisiin suuntiin, jolloin niiden erotuksen takia, pitoisuus voi olla lähes sama verrattuna oikeaan arvoon.

Vaikka tavanomaisella hiilidioksidin perustella ohjatulla DCV-järjestelmällä on suuret mahdollisuudet säästää energiakustannuksissa, kuitenkin tällaiset järjestelmät eivät ole vielä saavuttaneet täyttä potentiaalia, jotta järjestelmiin voitaisiin luottaa täysin. Yleisimmät syyt, mitkä vaikuttavat ihmisten päätökseen DCV-järjestelmien luotettavuudesta, ovat ohjausperuste, ohjauksen tarkkuus, kalibrointi ja huolto. Useimmiten kuitenkin päästään hyvään lopputulokseen, jos rakennuksen tiloja ohjataan VOC-antureilla, jolloin järjestelmä sisältää vähemmän antureita. CO<sub>2</sub>-antureilla ohjatussa järjestelmässä on usein huomattavasti enemmän antureita, ja tämä lisää ohjauksen epätarkkuutta. Mitä vähemmän saadaan käytettyä tilakohtaisia antureita, sitä parempaan lopputulokseen useimmiten päästään. Tällöin järjestelmässä on vähemmän muuttuvia tekijöitä, jotka vaikuttavat järjestelmän toimintaan. /25./

### 3.5 Määräykset ja ohjeet

Ilmanvaihdolle ja sen toiminnalle on asetettu määräyksiä ja ohjeita Suomen rakentamismääräyskokoelmassa, jonka perusteella voidaan päästä ilmanvaihdon osalta minimi vaatimustasolle. Rakennustieto Oy on kuitenkin julkaissut LVI-kortin LVI-05-10440 (Sisäilmastoluokitus 2008) [6], josta voidaan hyödyntää tavoitearvoja, suunnitteluohjeita sekä tuotevaatimuksia. Tämän LVI-kortin perusteella voidaan saavuttaa minimivaatimukseen verrattuna parempi sisäilmasto. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään pääsääntöisesti Sisäilmastoluokitus 2008 mukaisia ohjearvoja ilmavirtojen osalta. Suomen rakentamismääräyskokoelmaa sovelletaan siten kaikilta muilta osin.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 [2] on esitetty määräyksiä ja ohjeita rakennusten energiatehokkuudesta. Ilmanvaihdon energiatehokkuudelle on annettu määräys siten, että ominaissähköteho saa olla tavallisella koneellisella tulo- ja poistoilmanjärjestelmällä enintään 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s). Ominaissähkötehon on mahdollista olla poikkeustapauksissa suurempi, mutta vain jonkun merkittävän perusteen takia, esimerkiksi tavanomaisesta poikkeavan sisäilmaston hallinnan takia. Rakennuksen ilmanvaihdon energiatehokkuus on varmistettava tinkimättä hyvästä sisäilmastosta. On myös määrätty, että lämmöntalteenotolla on otettava ilmanvaihdon poistoilmasta lämpöä talteen vähintään 45 % ilmanvaihdon kokonaislämmitysenergiantarpeesta. Toisaalta mahdollisuus on myös vaihtoehtoisesti parantaa rakenteiden lämmöneristystä

tai ilmanpitävyyttä. Lämmöntalteenottolaitetta ei välttämättä tarvitse hyödyntää jokaisen tilan poistoilman käsittelyssä, mutta se on osoitettava epätarkoituksenmukaiseksi.

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on kerrottu, että käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta on vähintään  $0,15 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$  kaikille muille rakennuksille, paitsi asuinrakennuksille. Lisäksi Sisäilmastoluokitus 2008 mukaisesti käyttöajan ulkopuolinen ulkoilmavirta on S2-luokan asuinrakennuksissa  $0,2 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ . Muille käyttötarkoituksiluokille ei ole kerrottu käyttöajan ulkopuolista ulkoilmavirtaa. Kuitenkin Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on mainittu, että käyttöaikana oleskelutiloihin on johdettava ulkoilmavirta, joka takaa terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston. Tällöin rakennuksessa käyttöajalla ulkoilmavirta on yleisesti vähintään  $0,35 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ , jolloin huonekorkeus on 2,5 metriä. Näillä arvoilla ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h, joka vastaa ilmavirtaa, jolloin ilma vaihtuu huoneessa kahden tunnin aikana kokonaan. Näitä arvoja voidaan hyvin soveltaa sopivaksi rakennuksen ulkopuoliselle ajalle, mutta kuitenkin Rakentamismääräyskokoelman osan D2 vähimmäisarvoa tulee noudattaa, mutta kuitenkin ilman on aina käyttöajalla vaihdettava huoneissa niin, että tilan ilma vaihtuu kokonaisuudessaan vähintään kerran kahdessa tunnissa. Huonekorkeuden kasvaessa ilmavirran tulee olla suurempi, jotta huoneen ilma voidaan vaihtaa vähintään kahden tunnin aikana. Toisaalta myös rakennuksen tilojen väliset paine-erot eivät saa muuttua haitallisesti käytettäessä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa sekä sään vaihtelu ei saa vaikuttaa merkittävästi. /6; 9./

Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on määrätty, että rakennuksen käyttöaikana huonelämpötila on mahdollista pitää viihtyisällä tasolla käyttämättä energiaa tarpeettomasti. Yleisesti tilan oleskeluvyöhykkeen lämpötilan suunnitteluarvona voidaan käyttää lämmityskaudella  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  ja kesäajalla  $23 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tilan oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei saisi kuitenkaan kohota yli  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  rakennuksen käyttöaikana. Kuitenkin tilan oleskeluvyöhykkeen lämpötila saa poiketa suunnitteluarvosta 1,1 metrin korkeudella  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nämä arvot vastaavat Sisäilmaluokitus 2008 mukaisia S3-luokan arvoja, mutta S2-luokan mukaisesti tilan oleskeluvyöhykkeen lämpötilan suunnitteluarvona käytetään  $21,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Toisaalta Sisäilmastoluokitus 2008 mukaisesti oleskeluvyöhykkeen opera-

tiivisen lämpötilan tulisi pysyä 90 prosenttisesti käyttöajan suunnitellulla lämpötilan tasolla. /6; 9./

## 4 IDA ICE -SIMULOINTI

### 4.1 Taustatietoa rakennuksesta

Keltinmäen päiväkotij sijaitsee Jyväskylän Keltinmäessä ja on rakennettu vuonna 2014. Rakennus on kaksikerroksinen ja kerrosalaltaan 1648 neliömetriä. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat päiväkodin käyttäjien tilat ja toisessa kerroksessa varastotila sekä tekniset tilat. Kuvassa 8 on esitetty rakennuksen julkisivu, ja siitä voi nähdä, että toisen kerroksen osuus sijoittuu rakennuksessa toiseen pätyyn ja keskelle. Kuva on otettu rakennuksen parkkipaikalta, ja leikkipiha sijaitsee rakennuksen toisella puolella.



Kuva 8. Keltinmäen päiväkotij

Rakennuksessa on kuusi ryhmä- ja lepo huonetta. Yhdellä ryhmällä on käytössä yksi ryhmä- ja lepo huone, jotka muodostavat yhden ryhmän pääsääntöisen oleskelualueen. Yleisesti jokaisen ryhmä huoneen läheisyydessä on myös tietenkin wc-tilat. Lähes kaikkien ryhmien alueella on myös pienryhmätila (viisi pienryhmätilaa). Tietenkin ryhmät käyvät syömässä ruokalassa sekä liikuntasalissa urheilemassa, mutta pääsääntöinen alue on rajattu. Kuvassa 9 on esitetty esimerkkinä ryhmän 4 normaali oleskelualue, johon sisältyy ryhmä- ja

lepohuoneen lisäksi märkäeteinen, eteinen, wc-tilat ja pienryhmähuone sekä pieni varasto.



Kuva 9. Ryhmän 4 normaali oleskelualue

Päiväkodin ryhmät on jaoteltu niin, että ryhmä 1 ja 2 ovat isojen ryhmiä (3-6-vuotiaat), ryhmä 3 ja 4 ovat pienien ryhmiä (0-2-vuotiaat), ryhmä 5 on integroitu erikoisryhmä ja ryhmä 6 on varahoitoryhmä. Ryhmien sijainnit on aseteltu rakennukseen niin, että toisessa päädyssä on pienien ryhmät. Keskellä rakennusta sijaitsee integroitu erikoisryhmä ja varahoitoryhmä. Rakennuksen toisessa päädyssä sijaitsevat taas ruokala, keittiö ja sali. Näiden vieressä sijaitsevat isojen ryhmien huoneet.

Rakennukseen on sijoitettu henkilöitä, jotka ovat mahdollisesti aiemmin kärsineet sisäilmaoireista tai altistuneet sisäilmaongelmille. Rakennuksen ilmanvaihdon suunnittelu on siis täytynyt toteuttaa hyvien sisäilmasto-olosuhteiden saavuttamisen kannalta. Mahdollisesti aiemmin sisäilmaongelmista kärsineille tai altistuneille henkilöille uusi rakennus voi useimmiten olla parempi vaihtoehto, kuin vanha rakennus. Nykyään on kuitenkin mahdollista käyttää kehittyneempiä laitteistoja, ja tietämystä sekä tutkimustietoa sisäilma-asioista on enemmän. Nämä henkilöt on otettu huomioon rakennusta suunniteltaessa, ja huoneiden ilmavirtoja ohjataan tarpeenmukaisesti läsnäolon ja VOC-pitoisuuden perusteella. Toisaalta myös tilojen ilmavirrat ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisia minimi-ilmavirtoja suurempia.

#### 4.1.1 Rakennuksen ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on toteutettu neljällä ilmanvaihtokoneella. Ilmanvaihtokoneet ovat Swegon Ab Oy:n valmistamia. Ryhmä- ja lepohuoneiden ilmaa vaihtaa Gold RX 40 -mallin ilmanvaihtokone (TK01), jossa lämmöntalteenotto on toteutettu pyörivällä siirtimellä. Ruokalan ja salin ilmaa vaihtaa Gold RX 14 -mallin ilmanvaihtokone (TK02), jossa on myös pyörivä siirrin. Keittiön ilmaa vaihtaa Gold RX 12 -mallin ilmanvaihtokone (TK03) ja käytävien ja sosiaalitilojen Gold SD 25 -mallin ilmanvaihtokone (TK04). Näissä ilmanvaihtokoneissa on nestekiertoinen lämmöntalteenotto. Kaikki ilmanvaihtokoneet ovat ilman jäähdystä. Kuvassa 10 on esitetty rakennuksen ryhmä- ja lepohuoneiden ilmanvaihtokone TK01.



Kuva 10. Ryhmä- ja lepohuoneiden ilmanvaihtokone

Rakennuksen ilmanvaihdon toteutuksessa on käytetty Swegonin WISE-laitteita, joilla mahdollistetaan tarpeenmukainen ilmanvaihto. Ilmavirtasäätimet on sijoitettu konehuoneeseen, ja tästä syystä jokaiseen tilaan menee oma tulo- ja poistoilmakanava. Kuvassa 6 on esitetty huoneeseen 1001 johtavan tuloilmakanavan ilmavirtasäädin. Kanavistoa on paljon tässä rakennuksessa, mutta toisaalta kanavakoot ovat pysyneet pieninä. Tilojen ilmavirtoja säädetään läsnäolo- ja VOC-antureiden perusteella. VOC-antureiden hiilidioksidivastaavuusprosentti, jonka perusteella ilmavirrat määräytyvät ovat seuraavia: 19–20 % tarkoittaa noin ilmavirtaa 80 l/s ja 34–35 % noin ilmavirtaa 200 l/s. Rakennuksen automaatio on toteutettu Schneiderin logiikalla, joka toimii käyt-

töliittymänä. Automaatiossa on myös tietopankki, johon tallennetaan mittaus-tietoja trendiseurannan avulla. Automaatiosta on mahdollista saada käyttöön muun muassa ilmavirta- ja lämpötilatietoja. Käyttöliittymä on monella tapaa käytännöllinen ja muun muassa koneen asetuksia ja huoneiden ilmavirtoja on erittäin helppo muuttaa. Rakennuksessa on myös kuusi oviverhoa eli kiertoil-makojetta. Oviverhoja on pääsisäänkäynnillä, henkilökunnan sisäänkäynnillä ja leikkipihalle johtavissa märkäeteisissä. Teknisiin tiloihin on myös sijoitettu erillispoistopuhaltimet, jotka vaihtavat teknisten tilojen ilman.

#### **4.1.2 Suunnitteluperusteet**

Ilmanvaihto on suunniteltu toimimaan tarpeenmukaisesti. Tilojen ilmavirrat on suunniteltu käyttäjämäärien perusteella. Kuitenkin suunnitteluvaiheessa on käytetty suurempia tilojen henkilömääriä kuin tavallisesti käytössä olevat henkilömäärät. Ilmamäärät perustuvat Sisäilmaluokitus 2008 [6] S2-luokan arvoihin ja ohjeistus on  $9,0 \text{ (dm}^3\text{/s)/hlö}$  tai  $2,5 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ . Märkäeteisen poistoilmavirran suuruudeksi on ohjeistettu  $5,0 \text{ (dm}^3\text{/s)/m}^2$ . Tutkittavien huoneiden ilma- virtojen määrittämisessä on käytetty pääsääntöisesti henkilömäärään perustu- vaa ilmavirtaa. Rakennukseen on ollut tarkoitus suunnitella hyvä sisäilmasto, jolloin tiloissa ei ilmene yleisesti häiritseviä hajuja ja sisäilman laatu on hyvä. Myöskään vetoa ei pitäisi esiintyä rakennuksessa.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään ei ole asennettu jäähdytystä, jolloin ajoittainen kesäajan yllämpeneminen on mahdollista tässä kohteessa. Kuitenkaan kesäajan yllämpeneminen eli jäähdytysrajan mukaista lämpötilan arvoa ei saa ylittää yli 150 astetuntia. Tämä määräys pätee 1.6–31.8 välisenä aikana. Rakennuksen jäähdyttäminen on tällöin toteutettu yöajan tuuletuksella, jolloin hyödynnetään viileämpää ilmaa kuin päivällä. Kesäajan yllämpene- misen tarkastelu on jouduttu tekemään jo etukäteen, jolloin on varmistettu, että huonelämpötilat pysyvät määräyksien mukaisissa rajoissa. /2./

Rakennuksen ilmanvaihdon käyttöaika poikkeaa Sisäilmaluokitus 2008 [6] mukaisesta suositellusta ilmanvaihdon käyttöajasta, joka on tässä kohteessa kaksi tuntia pidempi (klo: 6.00–18.00). Tämän syynä on se, että Jyväskylän kaupunki on antanut aluekohtaisen määräyksen julkisille rakennuksille, jonka perusteella ilmanvaihto tulee suunnitella niin, että rakennus voidaan tuulettaa

ennen ja jälkeen käyttöajan. Ilmanvaihtojärjestelmä on tässä kohteessa tarpeenmukaisesti säätyvä, ja todellisuudessa käyttöajan ennenaikaista ja jälkeistä tuuletusta ei ole vakioilmavirtajärjestelmän tavoin.

## 4.2 Tutkittavat huoneet

Ilmanvaihdon energiankulutusta tutkitaan ryhmä- ja lepo huoneista. Tutkimuksesta on rajattu pois ilmanvaihtokoneen loput kahdeksan huonetta, joista viisi ovat pienryhmähuoneita, yksi toimistohuone, yksi työtila ja yksi taukokuone. Ryhmä- ja lepo huoneita on kumpiakin kuusi, jolloin tutkittavia huoneita on yhteensä 12. Taulukossa 2 on esitetty huoneiden pinta-ala, käyttöajan ulkopuoliset ja maksimi-ilmavirrat sekä ryhmäluokittelu. Integroidun erikoisryhmän huoneiden (1013 ja 1014) käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta oli tutkittavalla ajanjaksolla 100 l/s, joka hieman korkeampi verrattuna muiden huoneiden 80 l/s. Integroidun erikoisryhmän ja varahoitoryhmän huoneet ovat suunniteltu 16 lapselle, sekä hoitajilleen. Ryhmien 1 ja 2 huoneet on suunniteltu 22 lapselle ja hoitajille. Ryhmien 3 ja 4 huoneet on suunniteltu 8 lapselle ja hoitajille. Vaikka käyttäjämäärät ovat eri suuruisia osassa huoneista, niin kuitenkin jokaisessa tutkittavassa huoneessa maksimi tulo- ja poistoilmavirta on 200 l/s.

On annettu asetus lasten päivähoidosta, jossa määrätään pykälässä 6, että ammatillisen kelpoisuuden omaava henkilö saa hoitaa enintään neljää alle 3-vuotiasta lasta tai kahdeksaa kokopäivähoidossa olevaa vähintään 3-vuotista lasta /26./ Ryhmäkohtaisesti tarvitaan siis maksimissaan kahdesta kolmeen hoitajaa, mutta todellisuudessa ryhmien lapsimäärät ovat nykyään pienempiä kuin suunnitellut henkilömäärät. Toisaalta myös lapsien määrä voi vaihdella päivittäin, koska välttämättä lapsia ei tuoda joka päivä hoitoon. Hoitajien lukumääräkin voi siis vaihdella päivittäin, koska se riippuu lapsien lukumäärästä.



Taulukko 2. Tutkittavien huoneiden tiedot

Huoneen numero	Ryhmä	Huoneen luokittelu	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Maksimi tulo- ja poistoilmavirta (l/s)	Käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta (l/s)
1001	4	Ryhmähuone	40	± 200	± 80
1004	4	Lepohuone	40	± 200	± 80
1005	3	Ryhmähuone	40	± 200	± 80
1007	3	Lepohuone	40	± 200	± 80
1010	6	Ryhmähuone	36	± 200	± 80
1012	6	Lepohuone	36	± 200	± 80
1013	5	Lepohuone	36,5	± 200	± 100
1014	5	Ryhmähuone	36	± 200	± 100
1017	2	Ryhmähuone	40	± 200	± 80
1018	2	Lepohuone	40	± 200	± 80
1020	1	Lepohuone	40	± 200	± 80
1022	1	Ryhmähuone	39,5	± 200	± 80

Tässä tapauksessa tutkittavia huoneita palveleva ilmanvaihtokone on TK01. Kuitenkaan kaikkia TK01 ilmanvaihtokoneen palvelevia tiloja ei ole otettu tutkimukseen mukaan ja muun muassa pienryhmätilat on rajattu pois. TK01 Ilmanvaihtokoneen maksimi-ilmavirta on ± 2970 l/s ja tutkittavien tilojen yhteenlaskettu maksimi-ilmavirta on ± 2400 l/s.

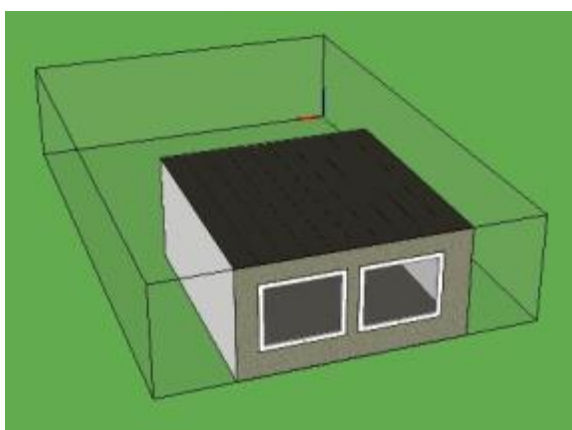
Tutkittavat huoneet ovat osittain 3,0 ja 3,5 metrin korkuisia. Yleisesti suurempi alue on 3,0 metrin korkuista osaa, jossa on laskettu alakatto. Jokaisessa tutkittavassa huoneessa tulo- ja poistoilman päätelaitteet on sijoitettu 3,0 metrin huonekorkeuden alueelle. Tutkittavien huoneiden päätelaiteratkaisut ovat lähes samanlaisia. Huoneissa on käytetty Climeconin MOT tuloilmahajoittajia ja MIK suutinhajoittajia. Poistoilmaventtiilit ovat Fläktwoods KSO-venttiileitä. Toisaalta kaikki huoneet eivät ole samanmuotoisia, joten kanavoinnit ja päätelaitteiden sijainnit eroavat hieman muutamissa huoneissa. Huoneiden pohjakuvat on esitetty liitteessä 1, joista on nähtävissä huoneiden päätelaiteratkaisut.

#### 4.3 IDA ICE -simulointimenetelmä

IDA ICE -simulointiohjelmalla on mahdollista tarkastella rakennuksen sähköenergian, lämpöenergian ja jäähdytysenergian kulutusta sekä sisäilmasto-olosuhteita. Energialaskentaa pystytään tekemään ohjelman avulla erittäin tarkasti, ja myös on mahdollisuus rakentaa sekä simuloida monimutkaisiakin

rakennuksia. Ohjelmalla on mahdollista toteuttaa lukuisia erilaisia simuloiteja kaikkiin käyttötarkoitukseluokkien rakennuksiin. Muun muassa rakennuksen käyttöprofiili on mahdollista määrittää sekä ilmanvaihtokoneen teknisiä arvoja on mahdollista muuttaa.

Ensimmäiseksi tehtiin jokaisesta huoneesta oma simulointimalli ja huonekoko asetettiin oikeaksi oikeiden seinien pituuksien ja pinta-alan perusteella. Jokaisessa simulointimallissa huonekorkeus asetettiin 3,0 metriin, vaikka osaltaan huoneet ovat 3,5 metrin korkuisia. Kuitenkin päätelaitteet sijoittuvat pelkästään 3,0 metrin huonekorkeuden alueelle, jolloin voitiin käyttää tätä korkeutta koko huoneessa. Jokaisessa yksittäisen huoneen simulointimallissa yleisen alueen suuruus on 150 m<sup>2</sup>. Tähän tehtiin vyöhyke, joka kuvastaa huonetta, ja huoneen pystyi sijoittamaan niin, että ulkoseinien ja sisäseinien määrä on oikea. Käytännössä tällä ei pitäisi olla mitään merkitystä ilmanvaihtokoneen energiankulutuksen kannalta, mutta varmuudeksi laitettiin kohdilleen. Ikkunat asetettiin myös oikeille paikoille, jotta simulointimallissa pystyy havainnollistamaan huoneen paremmin. Myöskään seinien U-arvoja ei lähdetty muuttamaan, koska huoneen lämmitysenergian kulutusta ei ollut tarkoitus tarkastella. Muutettavat arvot olivatkin huoneen mitoissa ja ilmanvaihtokoneen arvoissa. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkinä IDA ICE -simulointiohjelman 3D-kuva huoneesta 1004.



Kuva 11. IDA ICE -simulointiohjelmassa huone 1004

Taulukossa 3 on esitetty lähtötiedot, jotka on asetettu jokaiselle simuloitavalle mallille. Suunnittelun aikaisesta teknisestä määrittelystä on otettu lähtötiedot ilmanvaihtokoneen asetusarvoille. Tekninen määrittely pohjautuu Swegonin ProUnit ilmankäsittelykoneiden laskentaohjelman mitoitusohjelmaan. Oikeasti ra-

kennuksen lämmityksen asetus on 21 °C, mutta IDA ICE -ohjelmisto ei ota huomioon ilman kerrostumista. Trendiseurantatiedoista katsottuna poistoilman lämpötila vaihtelee 22 °C molemmin puolin. Tämän perusteella lämmityksen asetusarvo asetettiin 22 °C, jotta IDA ICE -simuloinneissa ilman kerrostuminen ja poistoilman lämpötila olisi otettu huomioon.

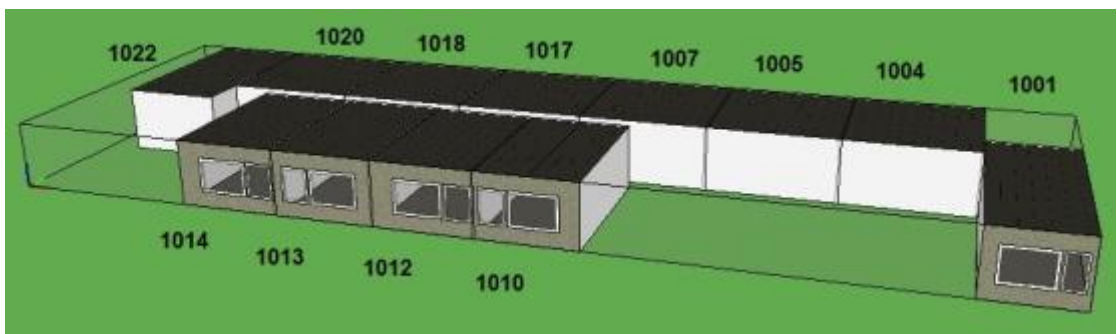
Taulukko 3. IDA ICE -simulointimallien lähtötiedot

<b>Muutettava tekijä</b>	<b>Arvo</b>
Huonekorkeus	3 metriä
Huonelämpötila	22,0 °C
Tuloilman sisäänpuhallus lämpötila	18,0 °C
Lämmöntalteenottolaitteen hyötysuhde	80,50 %
Jäteilman minimi lämpötila	-21,5 °C
Tuloilmapuhaltimen kokonaishyötysuhde	62 %
Poistoilmapuhaltimen kokonaishyötysuhde	62 %
Molemmissa puhaltimissa aiheutuva lämpötilan nousu	1 °C
Tuloilmapuhaltimen kokonaispaineenkorotus	600 Pa
Poistoilmapuhaltimen kokonaispaineenkorotus	600 Pa
Ilmavuotoluku	4 m <sup>3</sup> /(h,m <sup>2</sup> )
Ilman nopeus oleskelu vyöhykkeellä	0,15 m/s

Trendiseurantajärjestelmästä otettiin ilmavirtatiedot 14.2.2017 – 8.3.2017 väliseltä ajalta. Aikaväli oli 14.2 klo: 6.05 alkaen 8.3 klo: 6.05 asti. Ilmavirrat tallentuvat trendiseurantajärjestelmään 10 minuutin välein. Kyseisellä aikavälillä oli 16 arkipäivää, joiden perusteella laskettiin Excel-ohjelmaa hyödyntäen ilmavirtojen keskiarvo päivää kohden ja tämän jälkeen kaikkien päivien kesken. Yhdeltä arkipäivältä otettiin ilmavirtojen keskiarvon laskuun 73 kappaletta ilmavirtatietoja. Käytetty aika väli oli aamu kuudesta iltakuuteen. Laskettua päivittäistä käyttöajan ilmavirtojen keskiarvoa käytettiin IDA ICE -ohjelmassa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloitaessa. Käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on esitetty taulukossa 4 huonekohtaisesti.

IDA ICE -ohjelmassa laadittiin kaksi erilaista simulaatiota huonetta kohden, ja kummatkin simulaatiot ovat vakioilmavirtamenetelmää hyödyntäen tehtyjä malleja. Vaikka simulaatiot tehtiin vakioilmavirtajärjestelmää hyödyntäen, niin 16 päivän ajan toteutuneiden ilmavirtojen keskiarvo korvaa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon simulaatiossa todellisen maksimi-ilmavirran. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa voi hyvin simuloida IDA ICE -ohjelmassa hyödyntäen vakioilmavaihtoa, koska puhaltimen toiminnan asetuksista on mahdollista tehdä tarkkakin käyttöprofiili, jossa asetetaan ilmavirrat tietyille ajalle halutuksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että käyttöprofiilia muutettaessa saadaan simuloitimallista tehtyä tarpeenmukaisesti säätyvä. Kuitenkin tämä voidaan tehdä vain silloin, kun käytössä on mittaustietoja joltain ajanjaksolta. Tätä menetelmää ei siis voi hyödyntää uutta rakennusta suunniteltaessa. Toisaalta, jos uuden rakennuksen kohdalla tiedetään suunnitellut käyttöajat ja niiden aikaiset suunnitellut henkilömäärät, niin on myös mahdollista toteuttaa sen suuntaista tarkastelua.

IDA ICE -simulointeihin otettiin myös vertailukohdaksi simulointimallit kummastakin tapauksesta, joihin on liitetty kaikki tutkittavat tilat. Tämän tarkoitus on käytännössä se, että voidaan varmistaa onko yksittäisten huoneiden simulointien tulokset yhteneviä kaikkien huoneiden yhteisien simulointien suhteen. Kuvassa 12 on esitetty simulointimalli, johon on sijoitettu kaikki tutkittavat huoneet. Tähän malliin huoneet on sijoitettu sillä tavalla, missä järjestyksessä ne esiintyvät pohjakuvassa. Vaikka rakennus ei ole aivan suorakaiteen muotoinen, niin tähän malliin huoneet on aseteltu kuitenkin sillä tavalla. Rakennuksen muoto ei vaikuta ilmanvaihtokoneen energiankulutukseen. Näissä molemmissa IDA ICE -simulointimalleissa yleisen alueen suuruus oli 690 m<sup>2</sup>.



Kuva 12. IDA ICE -simulointimalli, johon on sijoitettu kaikki tutkittavat huoneet

Vakioilmavirtajärjestelmää simuloiva malli tehtiin jokaiselle huoneelle erikseen, jolloin käyttöprofiili pysyy jokaisen huoneen kohdalla samanlaisena. Vertailukohdaksi tehtyyn malliin kopioitiin jo valmiiksi tehdyt yksittäiset tilat. Tässä kaikkia huoneita simuloivassa mallissa ei tarvinnut muuttaa mitään asetuksia, koska arvot olivat jo kohdallaan yksittäisten huoneiden simulointien takia. Ilmavirtojen asetus muutettiin ilmanvaihtokoneen puhaltimen toiminnan asetuksista, ja minimi-ilmavirta on asetettu klo: 0.00–6.00 ja 18.00–24.00. Puhallin toimii siten maksimi-ilmavirralla klo: 6.00–18.00. Puhaltimen toiminnan asetuksista ilmavirta asetetaan prosenttilukua vastaavana desimaalilukuna, jolloin maksimi-ilmavirta on 1,0 (100 %). Ilmavirtojen arvot täytyi vaihtaa huoneen asetuksista, johon on mahdollista asettaa haluttu maksimi- ja minimi-ilmavirta.

Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloiva malli tehtiin myös jokaiselle huoneelle erikseen. Myös tässä tapauksessa valmiiksi tehdyt yksittäiset tilat kopioitiin vertailtavaan malliin, johon sijoitettiin kaikki huoneet samalla tavalla kuin vakioilmavirtaa simuloivassa mallissa. Puhaltimen toiminnalle täytyikin tehdä jokaisen huoneen kohdalla oma käyttöprofiili. Puhaltimen toiminnan asetuksista minimi- ja maksimi-ilmavirrat asetetaan prosenttilukua vastaavana desimaalilukuna, jolloin esimerkiksi jokaisessa huoneessa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on eri suhteessa maksimi-ilmavirtaan nähden. Huoneiden keskimääräiset 16 päivän ajalla toteutuneet ilmavirrat ovat yleisesti erisuuruiset. Tästä on myös heti mahdollista havaita huoneen käyttöastetta, koska mitä pienempi ilmavirtojen keskiarvo on, niin sitä vähemmällä käytöllä huone on ollut. Taulukossa 4 on esitetty huonekohtaisesti käyttöajan (klo: 6.00–18.00) lasketut keskimääräiset ilmavirrat sekä käyttöajan laskettujen keskimääräisten ilmavirtojen suhde maksimi-ilmavirtaan. Tämä suhdeluku on esitetty prosentteina, ja tätä hyödynnetään puhaltimen toiminnan asetusten asetusarvoissa. Puhaltimen asetuksista määritellään juuri sitä, milloin ilmanvaihtokoneen halutaan toimivan maksimi-ilmavirralla ja milloin milläkin halutulla ilmavirralla (esim. minimi-ilmavirralla).

Taulukko 4. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon IDA ICE -simulaatioiden asetusarvot

Huoneen numero	Keskimääräinen käyttöajan ilmavirta (l/s)	Maksimi-ilmavirta (l/s)	Keskimääräinen ilmavirta suhteessa maksimi-ilmavirtaan (%)
1001	± 99	± 200	49,5
1004	± 93	± 200	46,5
1005	± 106	± 200	53
1007	± 97	± 200	48,5
1010	± 87	± 200	43,5
1012	± 88	± 200	44
1013	± 119	± 200	59,5
1014	± 109	± 200	54,5
1017	± 99	± 200	49,5
1018	± 106	± 200	53
1020	± 105	± 200	52,5
1022	± 92	± 200	46

Kaikkien huoneiden yhteisessä simulointimallissa ei voitu käyttää samaa menetelmää kuin yksittäisten huoneiden kohdalla. Tässä tapauksessa täytyi ajatella vain ilmanvaihtokonetta, ja asettaa puhaltimien asetuksista käyttöprofiili oikeaksi kokonaisuutta ajatellen. Puhaltimen asetuksista ei pysty säätämään tilakohtaisesti ilmavirtoja, joten kaikkien huoneiden ilmavirrat täytyy ajatella kokonaisuutena. Tarpeenmukaisessa simulointimallissa kaikkien huoneiden yhteenlaskettu käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1200 l/s, minimi-ilmavirta 1000 l/s ja maksimi-ilmavirta 2400 l/s. Kaikkien huoneiden yhteenlasketun keskimääräisen ilmavirran suhde kaikkien huoneiden yhteenlaskettuun maksimi-ilmavirtaan on 50 %. Käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on puolet pienempi verrattain maksimi-ilmavirtaan.

IDA ICE -simuloinnit tehtiin teoreettiselle vuodelle, joka on merkitty ohjelmassa aikavälille 1.1.2017–31.12.2017. Excel-ohjelmalla laskettu käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on tilakohtaisesti asetettu jokaiselle arkipäivälle samaksi. Päiväkodin käyttö on normaalisti hiukan pienempää kesän aikana, mutta toisaalta päiväkotiiin keskitetään muista päiväkodeista lapsia, jolloin käyttö pysyy lähes samana. Toisaalta ilmanvaihtokone lisää ilmavirtoja tilakohtaisesti hyvin herkästi, ja esimerkiksi pelkkä yhden henkilön läsnäolo lisää ilmavirtoja. Jo pienellä henkilömäärällä tilakohtainen ilmavirta voi kasvaa maksimiin, joten vaikka henkilöitä olisi huomattavasti vähemmän normaaliin verrattuna, niin kuitenkin joka päivä ilmavirrat vaihtelevat lähes samalla tavalla. Myös IDA ICE -simuloinneissa ei ole otettu huomioon loma-ajankohtia (käyttöajan ulkopuoli-

nen aika), koska useimmiten kuitenkin päiväkotit on lomien aikana toiminnassa. Päiväkotit on myös joitakin päiviä lomien aikana kiinni, mutta niitä on niin vähän, että vaikutus energiankulutukseen voidaan olettaa olevan todella pieni.

Käytännössä tuloksista ei nähdä todellista energian säästöä, vaan enemminkin mahdollisuus energiansäästöille. Tähän vaikuttaa juuri se, että loma-ajankohtia ei oteta huomioon, ja huoneiden keskimääräinen ilmavirta on laskettu 16 arkipäivän ajalta. Kun käyttöajalla käytetään laskettua keskimääräistä ilmavirtaa, niin lämmitysenergian kulutus voidaan olettaa olevan lähempänä oikeata tulosta verrattain puhaltimen sähköenergian kulutukseen. Vaikka tuloksissa on virhettä, niin kuitenkin oletetaan, että tulokset ovat suuruusluokaltaan oikean suuntaisia. Kuitenkin virheen oletetaan olevan tässä tapauksessa niin pieni, että se ei vaikuta suuresti lopputulokseen. Toisaalta tutkimuksen tarkoituksena ei ole saada laskettua todellista energian säästöä, vaan enemminkin sellainen tulos, josta saadaan ilmi oikean suuntainen energiansäästö-potentiaali.

#### **4.4 Puhaltimien sähköenergian kulutuksen tutkiminen**

Puhaltimien energiankulutusta haluttiin myös tarkastella sillä perusteella, että automaatioon asetettiin trendiseuranta puhaltimien hetkelliselle sähköteholle. Normaalisti tässä rakennuksessa hetkellistä sähkötehoa ei ole tallennettu tietopankkiin talteen, mutta tässä tapauksessa haluttiin ottaa pieni ajanjakso, jotta näitä tietoja voitiin hyödyntää tutkimukseen. Tähän päädyttiin sen takia, koska IDA ICE -simulointien puhaltimien energiankulutuksille haluttiin ottaa vertailukohta hetkellisen sähkötehon trendiseurannan avulla. Puhaltimien hetkellinen sähköteho täytyisi katsoa käyttöajan ulkopuolisella ajalla, jolloin tiloissa on minimi-ilmavirtaus ja ajankohdalta ilmavirran ollessa maksimissaan. Myös hetkellinen sähköteho täytyisi katsoa ajankohdalta, jolloin laskettu käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on ilmanvaihtokoneessa.

Kaikkien tutkittavien huoneiden yhteenlaskettu maksimi-ilmavirta on 2400 l/s ja minimi-ilmavirta 1000 l/s. Ilmanvaihtokoneen suunniteltu maksimi-ilmavirta on 2970 l/s, ja ilmanvaihtokone pystyy minimissään toimimaan ilmavirralla 750 l/s. Tutkittavien huoneiden maksimi-ilmavirtaa (2400 l/s) vastaava hetkellinen sähköteho saadaan trendiseurantajärjestelmästä. Kyseiseen TK01 ilmanvaiht-

tokoneeseen on yhdistetty muitakin huoneita, joten käyttöajan ulkopuolella ilmavirta on minimissään 1400 l/s, jolloin suoraan 1000 l/s tai 1200 l/s vastavaa hetkellistä sähkötehoa ei saada trendistä. Kuitenkin puhallinkäyrä on aina progressiivisesti kasvava, joten pienimmillä ilmavirroilla ei sähköteho moottorille kasva niin radikaalisti, jos verrataan esimerkiksi suurimpia ilmavirtoja. Käytännössä suurilla ilmavirroilla jo pienikin ilmavirtojen kasvattaminen nostaa sähkötehoa moottorille huomattavasti enemmän.

Trendiseurantajärjestelmästä ei saatu suoraan 1000 l/s ja 1200 l/s vastaavaa hetkellistä sähkötehoa, joten päädyttiin tekemään kuvaaja seitsemän esiintyneen ilmavirran perusteella. Kuvaaja kuvastaa puhallinkäyrää. Swegonin internet sivuilla ei ollut saatavilla puhallinkäyrää, joten se jouduttiin piirtämään itse. Ilmavirrat valittiin 200 l/s välein, ja ne olivat 1400 l/s, 1600 l/s, 1800 l/s, 2000 l/s, 2200 l/s, 2400 l/s ja 2600 l/s. Piirretystä puhallinkäyrästä voi hyvin katsoa halutuille ilmavirroille hetkellisen sähkötehon. Kuitenkaan piirretyn puhallinkäyrän perustella katsotut hetkelliset sähkötehot eivät välttämättä ole juuri oikeita, mutta tällä tavalla päästään suhteellisen lähelle todellista hetkellistä sähkötehoa. Piirretystä puhallinkäyrästä katsottuna hetkellinen sähköteho on 1000 l/s ilmavirralla 1,15 kW ja 1200 l/s ilmavirralla 1,42 kW. Liitteessä 2 on esitetty seitsemän ilmavirran ja hetkellisen sähkötehon perusteella piirretty puhallinkäyrä. Puhallinkäyrän x-akselilla on ilmavirta yksikössä l/s ja y-akselilla molempien puhaltimien yhteenlaskettu hetkellinen sähköteho yksikössä kW. Tarkastelussa oli siis ainoastaan ryhmä- ja lepohuoneet, mutta jos koko ilmanvaihtokoneen energiankulutuksia olisi tarkastelu, niin trendiseurantajärjestelmästä olisi saatu oikeat hetkelliset sähkötehot.

Laskettaessa hetkellisen sähkötehon perusteella kokonaissähköenergian kulutusta vuodelle täytyy huomioida käyttöaika sekä käyttöajan ulkopuolinen aika. Kummallakin ajanjaksolla on oma tuntimäärä, joista tulee yhteensä siten koko vuoden tuntimäärä (8760h). Käyttöajan tuntimäärä on katsottu sillä perusteella, että vuodessa on 260 arkipäivää, josta käyttöaika on näinä päivinä 12h. Tämän perusteella käyttöajan tuntimäärä on yhteensä 3120 tuntia. Käyttöajan ulkopuolinen aika on määritetty siten, että 260 arkipäivästä puolet (12h) on käyttöajan ulkopuolista aikaa sekä vuoden viikon loput yhteensä 105 päivää, joista 24 tuntia on käyttöajan ulkopuolista aikaa. Tämän perusteella käyttöajan ulkopuolinen aika on 5640 tuntia.



Puhaltimen sähköenergian kulutukseen vaikuttaa useita asioita, mutta vahvasti suodattimien likaisuus. Suodattimella on aina joku painehäviö puhtaana, ja painehäviö kasvaa sen likaantuessa. Tästä päästään siihen, että kun suodatin on likainen, niin sähköenergian kulutus on suurempaa kuin puhtaalla suodattimella. Tämän perusteella ilmanvaihtokoneen suodattimien käyttöaikana puhaltimien sähköenergian kulutukset kasvavat kohti uusien puhtaiden suodattimien vaihtoa. Jos haluttaisiin tietää aivan oikea puhaltimien kuluttama sähköenergian kulutus, niin järkevää olisi asentaa sähköenergian mittaus, ja suodattimen vaihtoväli olisi mittausajanjakso. Tämän perusteella nähtäisiin juuri oikea sähköenergian kulutus. Kuitenkin hetkellisen sähkötehon perusteella voidaan jo määrittää hyvin pitkälle oikea sähköenergian kulutus. Yleisesti hetkellinen sähköteho ei kasva kuitenkaan suuresti suodattimien likaantuessa, joten tämän perusteella satunnaiselta ajalta mitatun hetkellisen sähkötehon perusteella saadaan jo pätevä arvio sähköenergian kulutuksesta. Toisaalta ilmavirta vaikuttaa siihen, mikä on paine-ero suodattimen yli ja paine-eron suuruus voi vaihdella eri ilmavirroilla. Kuvassa 13 on esitetty 27.3.2017 päivän tuloilmapuhaltimen ilmavirta sekä paine-ero tuloilmasuodattimen yli ajan suhteen.



Kuva 13. Tuloilmavirta ja tuloilmasuodattimen yli oleva paine-ero ajan suhteen 27.3.2017

Teknisessä määrittelyssä on annettu tuloilmasuodattimen tiedot. Tuloilmasuodattimen alkupainehäviöksi on annettu 59 Pa ja loppupainehäviöksi 155 Pa. Kuitenkin suodatin huomioidaan suunnitteluvaiheessa niin, että useimmiten käytetään mitoituspainehäviönä näiden keskiarvoa. Suositeltavaksi mitoituspainehäviöksi on annettu 107 Pa. Nämä arvot viittaavat siihen, kun ilmavirta on maksimissaan eli 2970 l/s. Kuvan perusteella paine-ero ei ole missään

vaiheessa päivää edes alkupainehäviön tasolla. Tämän perusteella voidaan päätellä, että suodatint on ollut lähes puhdas. Toisaalta painehäviö olisi varmasti kyseisenä päivän ollut korkeampi, jos tuloilmavirta olisi asetettu maksimille. Kuitenkaan ilmavaihtokone ei käytännössä koskaan ole täydellä teholla, koska huoneiden käyttö vaihtelee ja kaikissa huoneissa ei ole samaan aikaan ihmisiä.

Etenkin muuttuvailmavirtajärjestelmien kohdalla puhaltimien sähköenergian kulutukseen vaikuttaa myös muuttuvat kanavapaineet. Kyseisessä päiväko-dissa on käytössä WISE-järjestelmä, joka pyrkii pitämään kanavapaineet halutuissa rajoissa. Tuloilmakanavan haluttu painehäviö on asetettu jokaiselle ajan hetkelle 140 Pa ja poistoilmakanavan 165 Pa. Kuitenkin järjestelmä pyrkii pitämään kanavapaineet mahdollisimman pieninä jokaisessa käyttötilanteessa. Mikäli ilmanvaihtokanavissa lisääntyvät painehäviöt, niin puhaltimet pyrkivät pitämään asetetun ilmavirran oikealla tasolla. Tämä tarkoittaa sitä, että puhaltimien pyörimisnopeudet kasvavat, jotta sama ilmavirta saadaan kuljetettua kanaviston läpi. Puhaltimen moottorin ottoteho on verrannollinen puhaltimen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin. Kanaviston suuremmilla painehäviöillä puhaltimen moottorin ottoteho on suurempi kuin pienemmällä kanaviston painehäviöillä. On selvää, että kun vastukset kasvavat kanavistossa, niin puhallin joutuu kovemmalle rasitukselle, ja lisää pyörimisnopeutta, jotta haluttu tuloilmavirta saadaan pidettyä.

WISE-järjestelmän Super WISE optimoi ilmanvaihtokoneen painetason ja pitää käytön aikana vähintään yhden ilmavirtasäätimen aina 90-prosenttisesti auki. Tämän avulla järjestelmä pyrkii mahdollisimman pieniin kanaviston painehäviöihin. Trendiseurantajärjestelmästä löytyy asetus, josta voidaan katsoa toteutuneet painehäviöt kanavistossa. Yleisesti kanaviston painehäviöt vaihtelevat noin  $\pm 5$  Pa verran asetusarvosta, mutta hetkellisesti painehäviö voi vaihdella joissakin tilanteissa jopa  $\pm 10$  Pa.

#### **4.5 Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus**

Tutkimukseen otettiin myös ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen näkökulma. Haluttiin selvittää myös säästön suuruus, kun ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus huomioidaan huoneiden lämmitysenergiassa. Toimeksiantajan puo-

lesta tämä tarkastelu oli tehty aiemmin, joten näitä tietoja voitiin hyödyntää tässä tutkimuksessa.

Käytännössä ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus tarkoittaa sitä, että huoneeseen tuodaan esimerkiksi minimi-ilmavirta, ja verrataan siten suhdetta maksimi-ilmavirtaan. Huoneen lämmitystehontarve on tietenkin suurempi maksimi-ilmavirralla, eli pelkällä ilmavirran lisäämisellä saavutetaan lisää jäähdytystehoja. Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä ilmavirrat muuttuvat käyttöajalla, joten samalla huoneen lämmitystehontarve muuttuu. Toisaalta vakioilmavirtajärjestelmällä ilmanvaihdon maksimi-ilmavirtojen vaikutuksen takia huoneen lämmitystehontarve on huomattavasti suurempi käyttöajalla kuin käyttöajan ulkopuolisella. Huoneeseen sisään puhallettava ilma on tässä kohteessa 3 °C viileämpää, ja tietenkin ilmavirran lisääminen nostaa lämmitystehontarvetta.

Tarkoitus on selvittää, kuinka suuri säästö on silloin, kun ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus otetaan huomioon. Ilmanvaihdon jäähdyttävää osuutta voidaan vertailla käyttöajalla, jolloin esimerkiksi vakioilmavirtajärjestelmän tuloilmavirta olisi koko käyttöajan maksimissaan, kun tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän käyttöajan keskimääräisen tuloilmavirran todettiin olevan noin puolet pienempää. Todellisuudessa ilmavirtojen kasvattaminen ei lisää ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kulutusta, mutta otetaan se osuus huomioon ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutukseen, joka joudutaan lisäämään ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen takia huoneen lämmitysenergiantarpeeseen. Tässä tapauksessa tämä osuus lisättiin ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kulutukseen. Toimeksiantajan tarkastelujen perusteella näille 12 tutkittavalle huoneelle ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus on noin 12000 kWh vuodessa, eli noin 1000 kWh huonetta kohden. Ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen takia lämmitysenergian kulutusta kasvattava osuus lisättiin vakioilmavirtajärjestelmän ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutukseen.

Tämä tarkastelu haluttiin tehdä vain kaikkien huoneiden yhteiselle simuloinnille sekä yksittäisten huoneiden simulointien yhteenlasketulle lämmitysenergian kulutukselle. Tässä tapauksessa kokonaisuus kiinnostaa enemmän kuin yksittäisten tilojen mahdollinen säästö. Toisaalta tämä tarkastelu on tehty ennen rakennuksen valmistumista, joten jos tarkastelu tehtäisiin tämän hetkisten tie-

tojen perusteella, ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus voisi olla joko pienempi tai suurempi. Kuitenkin suunnittelun aikaiseen energialaskentaan voidaan hyvin pitkälti luottaa, jolloin tätä arvoa voidaan luotettavasti käyttää.

## 5 TULOKSET

Tässä osiossa esitetään IDA ICE -simulointien ja laskennan tulokset. Ensimmäisessä kohdassa on esitetty ryhmien 1 ja 2 huoneiden tuloksia, toisessa ryhmien 3 ja 4 huoneiden tuloksia ja kolmannessa ryhmien 5 ja 6 huoneiden tuloksia. Neljännessä osiossa on otettu kolmen ensimmäisen osion tulokset yhteen ja esitetty tutkittavia huoneita kokonaisuutena. Viidennessä osiossa on esitetty kaikkien huoneiden yhteisen simuloinnin tulokset.

IDA ICE -simulointien puhaltimien energiankulutuksen vertailukohtaksi haluttiin ottaa myös hetkellisen sähkötehon trendiseuranta, joten puhaltimien sähköenergian kulutus esitetään myös tämän avulla laskettuna. Hetkellisen sähkötehon avulla laskettu vuosittainen sähköenergian kulutus on esitetty kuudennessa osiossa. Viimeinen osio käsittää ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen lämmitysenergian kulutukseen.

### 5.1 Ryhmien 1 ja 2 huoneet

Ryhmän 1 tutkittava ryhmähuone oli 1022 ja lepo huone 1020. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 80$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1022 huoneessa  $\pm 92$  l/s ja 1020 huoneessa  $\pm 105$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1022 huoneen ilmavirroilla 344,9 kWh/a ja 1020 huoneen ilmavirroilla 382,1 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1022 huoneen ilmavirroilla 250,9 kWh/a ja 1020 huoneen ilmavirroilla 306,5 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1022 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 312,2 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1063,4 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1020 lämmitysenergian kulutuksen

laskettu säästö on 327,6 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1007,9 kWh/a. Taulukossa 5 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 5. Huoneiden 1022 ja 1020 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
		lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1020	Vakio	709,7		1314,4	
1020	Tarpeenmukainen	382,1	46 %	306,5	77 %
1022	Vakio	657,1		1314,3	
1022	Tarpeenmukainen	344,9	48 %	250,9	81 %

Ryhmän 2 tutkittava ryhmähuone oli 1017 ja lepo huone 1018. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 80$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1017 huoneessa  $\pm 99$  l/s ja 1018 huoneessa  $\pm 106$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1017 huoneen ilmavirroilla 370,4 kWh/a ja 1018 huoneen ilmavirroilla 384,1 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1017 huoneen ilmavirroilla 279 kWh/a ja 1018 huoneen ilmavirroilla 331,4 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1017 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 339,3 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1035,4 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1018 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 325,6 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1003 kWh/a. Taulukossa 6 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 6. Huoneiden 1017 ja 1018 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
		lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1017	Vakio	709,7	48 %	1314,4	79 %
1017	Tarpeenmukainen	370,4		279	
<hr/>					
1018	Vakio	709,7	46 %	1314,4	76 %
1018	Tarpeenmukainen	384,1		311,4	

## 5.2 Ryhmien 3 ja 4 huoneet

Ryhmän 3 tutkittava ryhmähuone oli 1007 ja lepohuone 1005. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 80$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1007 huoneessa  $\pm 97$  l/s ja 1005 huoneessa  $\pm 106$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1007 huoneen ilmavirroilla 366,6 kWh/a ja 1005 huoneen ilmavirroilla 384,1 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1007 huoneen ilmavirroilla 270,6 kWh/a ja 1005 huoneen ilmavirroilla 311,4 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1007 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 343,1 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1043,8 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1005 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 325,6 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1003 kWh/a. Taulukossa 7 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 7. Huoneiden 1007 ja 1005 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
		lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1005	Vakio	709,7	46 %	1314,4	76 %
1005	Tarpeenmukainen	384,1		311,4	
<hr/>					
1007	Vakio	709,7	48 %	1314,4	79 %
1007	Tarpeenmukainen	366,6		270,6	

Ryhmän 4 tutkittava ryhmähuone oli 1001 ja lepo huone 1004. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 80$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1001 huoneessa  $\pm 99$  l/s ja 1004 huoneessa  $\pm 93$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1001 huoneen ilmavirroilla 903,5 kWh/a ja 1004 huoneen ilmavirroilla 379,5 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1001 huoneen ilmavirroilla 279,3 kWh/a ja 1004 huoneen ilmavirroilla 254,7 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1001 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 523,8 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1036,6 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1004 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 387,2 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1059,8 kWh/a. Taulukossa 8 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 8. Huoneiden 1001 ja 1004 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
		lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1001	Vakio	1427,3		1315,9	
1001	Tarpeenmukainen	903,5	37 %	279,3	79 %
1004	Vakio	766,7		1314,5	
1004	Tarpeenmukainen	379,5	51 %	254,7	81 %

### 5.3 Ryhmien 5 ja 6 huoneet

Ryhmän 5 tutkittava ryhmähuone oli 1014 ja lepo huone 1013. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 100$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1014 huoneessa  $\pm 109$  l/s ja 1013 huoneessa  $\pm 119$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1014 huoneen ilmavirroilla 433,8 kWh/a ja 1013 huoneen ilmavirroilla 453,4

kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1014 huoneen ilmavirroilla 456,8 kWh/a ja 1013 huoneen ilmavirroilla 514,1 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1014 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 265,9 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 984,2 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1013 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 251,4 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 927 kWh/a. Taulukossa 9 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 9. Huoneiden 1013 ja 1014 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	Puhaltimien sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1013	Vakio	704,8		1441,1	
1013	Tarpeenmukainen	453,4	36 %	514,1	64 %
1014	Vakio	699,7		1441	
1014	Tarpeenmukainen	433,8	38 %	456,8	68 %

Ryhmän 6 tutkittava ryhmähuone oli 1010 ja lepohuone 1012. Kummassakin huoneessa vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 80$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 1010 huoneessa  $\pm 87$  l/s ja 1012 huoneessa  $\pm 88$  l/s.

Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 1010 huoneen ilmamäärillä 329,3 kWh/a ja 1012 huoneen ilmamäärillä 330,7 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli 1010 huoneen kohdalla 233,2 kWh/a ja 1012 huoneen kohdalla 236,6 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1010 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 264,7 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1080,1 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla huoneen 1012 lämmitysenergian kulutuksen laskettu säästö on 262,9 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen 1076,7 kWh/a. Taulukossa 10 on esitetty molempien huoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.



Taulukko 10. Huoneiden 1010 ja 1012 IDA ICE -simulointien tulokset

Huone	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
		lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
1010	Vakio	594	45 %	1313,3	82 %
1010	Tarpeenmukainen	329,3		233,2	
1012	Vakio	593,6	44 %	1313,3	82 %
1012	Tarpeenmukainen	330,7		236,6	

#### 5.4 Kaikkien huoneiden tarkastelu kokonaisuutena

Tässä osiossa esitetään edellisten osioiden (5.1, 5.2 ja 5.3) tulokset yhdistettynä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen huoneen lämmitysenergian ja puhaltimien sähköenergian kulutus on laskettu yhteen. Eli tässä kohtaa esitetään kaikkien huoneiden yhteisvaikutus energiankulutukseen. Aiemmissa osioissa on esitetty huonekohtaiset ilmavirrat eri simulointimalleissa.

Kaikkien tutkittavien huoneiden vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutus oli yhteensä 8991,7 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli yhteensä 16025,4 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli kaikilla tutkittavilla huoneilla yhteensä 5062,4 kWh/a. Puhaltimien sähköenergian kulutus oli yhteensä 3704,5 kWh/a.

Kaikkien huoneiden yhteenlasketussa lämmitysenergian kulutuksessa säästettiin 3929,3 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksessa 12320,9 kWh/a. Taulukossa 11 on esitetty yhteenlaskettu ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 11. Kaikkien huoneiden yhteenlasketut tulokset

Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
	lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
Vakio	8991,7	44 %	16025,4	77 %
Tarpeenmukainen	5062,4		3704,5	

## 5.5 Kaikki huoneet yhdessä simulointimallissa

Tässä osiossa esitetään tuloksia IDA ICE -simulointimallien perusteella, joihin oli sijoitettu kaikki tutkittavat huoneet. Vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa maksimi-ilmavirta oli  $\pm 2400$  l/s ja minimi-ilmavirta oli  $\pm 1000$  l/s. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli  $\pm 1200$  l/s ja minimi-ilmavirta  $\pm 1000$  l/s.

Vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutus oli 8619,1 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutus oli 15993 kWh/a. Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä lämmitysenergian kulutus oli 4883,5 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutus oli 3619,2 kWh/a. Laskettu lämmitysenergian kulutuksen säästö on 3735,6 kWh/a ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen säästö on 12373,8 kWh/a. Taulukossa 12 on esitetty ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutus molemmilla ilmanvaihtotavoilla sekä säästö prosentteina, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 12. Tutkittavien huoneiden yhteisen simuloinnin tulokset

Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon		Puhaltimien	
	lämmitysenergia (kWh/a)	Säästö	sähköenergia (kWh/a)	Säästö
Vakio	8619,1	43 %	15993	77 %
Tarpeenmukainen	4883,5		3619,2	

## 5.6 Puhaltimien sähköenergian kulutus hetkellisen sähkötehon avulla

Puhaltimien sähköenergian kulutus vuodessa laskettiin myös hetkellisen sähkötehon avulla. Minimi-ilmavirralla hetkellinen sähköenergian kulutus oli puhaltimilla yhteensä 1,15 kW ja maksimi-ilmavirralla yhteensä 3,42 kW. Minimi sähköenergian kulutus katsottiin piirretystä puhallinkäyrästä 1000 l/s kohdalta ja maksimi sähköenergian kulutus 2400 l/s kohdalta. Tarpeenmukaisuutta kuvaava keskimääräinen ilmavirta oli 1200 l/s, ja tältä kohdalta katsottu hetkellinen sähköenergian kulutus oli puhaltimilla yhteensä 1,42 kW.

Puhaltimien sähköenergian kulutus laskettiin tämän jälkeen, kun tunnetaan maksimi- ja minimi-ilmavirtojen käyttötunnit. Vakioilmavirtajärjestelmän sähköenergian kulutus oli yhteensä 17156 kWh. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojär-

jestelmän sähköenergian kulutus oli yhteensä hieman vähemmän eli 10916 kWh. Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä säästettiin sähköenergian kulutuksessa 6240 kWh eli 36 %. Taulukossa 13 on esitetty käyttöajan ja käyttöajan ulkopuolisen ajan sähköenergian kulutukset sekä vuosittainen sähköenergian kulutus ilmanvaihtotavoittain.

Taulukko 13. Hetkellisen sähkötehon avulla lasketut sähkönkulutukset vuotta kohden

Ilmavirta	Puhaltimien hetkelliset sähkötehot yhteensä	Ajanhetket	Vakioilmanvaihto	Tarpeenmukainen ilmanvaihto
1000 l/s	1,15 kW	Käyttöaika	10670 kWh	4430 kWh
1200 l/s	1,42 kW	Käyttöajan ulkopuolinen aika	6486 kWh	6486 kWh
2400 l/s	3,42 kW	Vuosittainen	17156 kWh/a	10916 kWh/a
		<b>Säästö</b>	<b>6240 kWh/a = 36 %</b>	

## 5.7 Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus

Tässä osiossa esitetään yksittäisten huoneiden simulointien kokonaisuuden ja yhteisten simulointien perusteella ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus lämmitysenergian kulutukseen. Osioden 5.4 ja 5.5 vakioilmavirtajärjestelmän simulointien lämmitysenergian kulutukseen on lisätty ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen aiheuttama huoneen lämmitysenergiantarvetta kasvattava osuus. Näiden perusteella on laskettu lämmitysenergian säästö, kun ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus huomioidaan.

IDA ICE -simulointien vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutukseen lisättiin ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen lisäävä osuus huoneen lämmitysenergiantarpeesta. Tutkittavien huoneiden yksittäisten simulointien vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutus oli yhteensä 8991,7 kWh/a, ja jäähdyttävä vaikutus huomioituna 20991,7 kWh/a. Yhteisen vakioilmavirtajärjestelmän simuloinnin mukaisesti ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus oli 8619,1 kWh/a, ja jäähdyttävä vaikutus huomioituna 20619,1 kWh/a. Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus kasvattaa säästöä, jolloin yksittäisten huoneiden simulointien perusteella säästettäisiin kokonaisuutena 15929,3 kWh/a, ja yhteisen simuloinnin perusteella 15735,6 kWh/a. Taulukossa 14 on esitetty simulointien ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus vuodessa sekä jäähdyt-

tävä vaikutus huomioituna. Taulukossa on myös esitetty prosentuaalinen säästö, kun käytetään tarpeenmukaista ilmanvaihtoa.

Taulukko 14. Lämmitysenergian kulutus huomioiden ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus

Simulointi	Ilmanvaihto	Ilmanvaihdon lämmitysenergia (kWh/a)	Jäähdyttävä vaikutus huomioituna (kWh/a)	Säästö
Huoneet erikseen	Vakio	8991,7	20991,7	76 %
Huoneet erikseen	Tarpeenmukainen	5062,4	-	
Yhteinen simulointi	Vakio	8619,1	20619,1	76 %
Yhteinen simulointi	Tarpeenmukainen	4883,5	-	

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

Päiväkodin ryhmä- ja lepohuoneiden ilmanvaihdon lämmityksen ja puhaltimien energiankulutusta tarkasteltiin IDA ICE -simulointiohjelman avulla sekä puhaltimien energiankulutusta myös hetkellisen sähkötehon perusteella. IDA ICE -simuloinnit tehtiin jokaiselle huoneelle erikseen ja yhteisenä mallina. Jokaisesta mallista tehtiin vakioilmanvaihtoa ja tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivat mallit. Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivien mallien käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli laskettu trendiseurannan perusteella jokaiselle huoneelle erikseen. Rakennus on suunniteltu S2-luokan mukaisesti, ja ilmavirrat perustuvat tämän luokan ohjeiden mukaan. Rakennuksen käyttöaika on normaalia S2-luokan päiväkodin käyttöaikaa pari tuntia pidempi (Klo:6-18).

Tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivat mallit toteutettiin niin, että puhaltimien toiminnan asetuksista määritettiin ilmavirrat käyttöajalle sekä käyttöajan ulkopuoliselle ajalle oikeiksi. Näissä malleissa käytettiin trendiseurannasta saatujen ilmavirtatietojen perusteella käyttöajalle laskettua keskimääräistä ilmavirtaa. Huoneiden keskimääräiset ilmavirrat olivat pääsääntöisesti erisuurat, jolloin osaa huoneista käytetään enemmän kuin toisia. Myös huoneiden 1013 ja 1014 käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta oli hieman suurempi verrattuna muihin huoneisiin.

Puhaltimien sähköenergian kulutusta päätettiin tutkia myös hetkellisen sähkötehon avulla. Kuitenkaan ilmanvaihtokone ei koskaan käy niin pienillä ilmavirroilla, että tutkittavien huoneiden oikea hetkellinen sähköteho olisi saatu mitattua. Tämä johtuu siitä, että kyseinen ilmanvaihtokone palvelee myös kahdeksaa muuta huonetta, jotka rajattiin pois tutkimuksesta. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää pelkästään ryhmä- ja lepohuoneiden ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian ja puhaltimien sähköenergian säästö käytettäessä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Lopuksi selvitettiin vielä ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus lämmitysenergian kulutuksessa.

## **6.1 Yksittäisten huoneiden simuloinnit**

Yksittäisten huoneiden simulointien tuloksista voidaan huomata, että ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kulutuksessa säästetään 36–51 %. Käyttöajan keskimääräisen ilmavirran perusteella eroa näkyy huoneittain. Puhaltimien sähköenergian kulutuksessa säästettiin huoneittain 64–82%. Huoneiden 1013 ja 1014 kohdalla puhaltimien sähköenergian kulutus oli suurinta. Muiden huoneiden kohdalla sähköenergian kulutus oli verrattain hieman pienempää sekä säästö oli 76–82 % välillä.

### **6.1.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergia**

Ryhmiä 1, 2,3 ja 6 huonekohtainen säästö on pääsääntöisesti noin 44–48 %. Vaikka näissä huoneissa käyttöajan keskimääräiset ilmavirrat eroavat suuresti toisistaan, silti säästö prosentteina on tosi lähellä toisiaan. Esimerkiksi tarkasteltaessa ryhmien 2 ja 6 huoneita huoneen 1010 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on 87 l/s ja huoneen 1018 ilmavirta on 106 l/s. Huoneiden lämmitysenergian säästöissä on vain yhden prosenttiyksikön verran eroa, vaikka huoneen 1010 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on 19 l/s pienempi. Kilo-wattitunteina tarkasteltuna tuloksia 1010 huoneen lämmitysenergian kulutus on noin 55 kWh vähemmän vuodessa. Täytyy kuitenkin muistaa, että 1010 huone on 4 m<sup>2</sup> pienempi huone. Toisaalta 1010 huoneen vakioilmavirtajärjestelmän ja tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergian kulutukset ovat molemmat pienempiä verrattuna 1018 huoneen tuloksiin.

Verrattaessa huonetta 1018 ja 1020, jolloin huoneen 1020 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 105 l/s ja 1018 huoneen 106 l/s. Voidaan huomata, että tarpeenmukaisten simulointien lämmitysenergian kulutuksessa ei käytännössä ole eroa. Pohjakuvista huomaa, että huoneet ovat aivan identtisen muotoiset sekä samankokoiset pinta-alalta. Voidaan myös huomata, että kaikki tulokset ovat identtiset huoneiden 1005 ja 1018 kohdalla. Molemmilla huoneilla on sama käyttöajan keskimääräinen ilmavirta, sekä huone on mitoiltaan samanlainen.

Tarkastellaan huoneita 1005 ja 1007. Molemmat huoneet ovat samankokoisia, ja käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on 1005 huoneella 106 l/s ja 1007 huoneella 97 l/s, jolloin Ilmavirtojen erotus on yhdeksän yksikön verran. Molempien huoneiden vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutus on yhtä suuri. Näiden huoneiden lämmitysenergian kulutuksen erotus tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä on 17,5 kWh vuodessa. Vaikka huoneella 1005 on enemmän käyttöä, niin toisaalta noin 10 l/s muutosta keskimääräisessä ilmavirrassa ei tuota suuria säästöjä. Kuitenkin verrattaessa vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutukseen säästöt ovat tietenkin suuremmat, koska käyttöajan ilmavirta on ainakin lähes puolet pienempi jokaisen huoneen kohdalla.

Huoneilla 1013 ja 1014 oli käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta 100 l/s, jonka perusteella voidaan huomata, että lämmitysenergian säästö on pienintä näissä huoneissa. Huoneessa 1013 säästö oli 36 % ja huoneessa 1014 säästö oli 38 %. Verrattaessa muihin huoneisiin näitä tuloksia, niin huomataan että näiden huoneiden kohdalla säästö on noin 10 % vähemmän. Tästä voidaan johtaa, että käyttöajan ulkopuolisen ilmavirran nostaminen vaikuttaa huomattavasti energiankulutuksen säästöihin. Verrattaessa huoneita 1013 ja 1014 huoneisiin 1010 ja 1012 vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutuksen näkökulmasta, voidaan huomata, että huoneilla 1010 ja 1012 on lämmitysenergian kulutus noin 100 kWh vähemmän. Sama tilanne on huomattavissa näiden huoneiden tarpeenmukaisten simulointien tuloksia tarkasteltaessa. Kaikki nämä neljä huonetta ovat samankokoisia ja ainoastaan käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta on eroava vakioilmavirtajärjestelmää simuloivassa mallissa. Toisaalta tarpeenmukaisuutta simuloivissa malleissa käyttöajan keskimääräiset ilmavirrat eroavat suuresti toisistaan.

Näistä huoneista, joissa käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta oli 80 l/s, prosentuaalisesti eniten säästöä saavutettiin huoneen 1004 kohdalla (51 %). Tässä huoneessa käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli pienimmästä päästä (93 l/s). Huoneen 1022 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli (92 l/s), ja tämän huoneen kohdalla säästö oli 48 %. Tätä pohdittiin, minkä takia tulokset eivät ole samassa linjassa. Muuten asetusarvot ovat samat, mutta huoneet ovat erimuotoiset. 1022 huone on erilainen mitoiltaan verrattuna 1004 huoneeseen. Ulkoseinää on selvästi vähemmän ja ikkuna pinta-ala on pienempi 1022 huoneella. Toisaalta huoneet 1004 ja 1005 ovat mitoiltaan aivan samanlaiset, mutta 1004 huoneen ikkuna pinta-ala on suurempi. Vakioilmavirtajärjestelmän lämmitysenergian kulutukset ovat myös erisuuret näillä huoneilla. Ilmeisesti IDA ICE -ohjelmisto ottaa jollain tapaa huomioon ulkoseinien ja ikkunoiden pinta-alat pelkästään ilmanvaihtokoneen energioita simuloitaessa. Tämä on ainut ero huoneiden kohdalla, ja kuitenkin asetusarvot ovat muuten samat, joten täytyisi tuloksetkin olla johdonmukaiset.

Suurin osa huoneista on pinta-alaltaan 40 m<sup>2</sup> suuruisia, mutta pinta-alaltaan 4 m<sup>2</sup> pienemmillä (1010 ja 1012) huoneilla säästö oli muutaman prosenttiyksikön verran pienempi. Näillä huoneilla oli kuitenkin kaikista pienimmät käyttöajan keskimääräiset ilmavirrat. Voidaan päätellä, että jos näillä huoneilla käyttöajan keskimääräiset ilmavirrat olisivat olleet samalla tasolla muiden huoneiden kanssa, säästö olisi ollut selvästi pienempi. Nämä huoneet ovat hieman ylimitoitettu, eli ilmavirrat ovat suuremmat suhteessa pinta-alaan nähden. Näitä huoneita käytetään ehdottomasti vähiten kaikista ryhmä- ja lepohuoneista, ja nämä huoneet ovatkin varahoitoa varten. Eli jos pienempään huoneeseen tuodaan saman käyttöprofiilin mukaisesti ilma kuin isompaan huoneeseen, säästöä kertyy vähemmän.

Aiempien esitettyjen vertailuiden perusteella voidaan todeta, että tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä käyttöajan keskimääräisen ilmavirran tulisi olla noin puolet maksimi-ilmavirrasta, jotta lähes 50 % säästöt saavutetaan lämmitysenergian kulutuksessa. 1004 huoneella on ainoastaan saavutettu 51 % säästö, jolloin käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli 93 l/s, eli alle puolet maksimi-ilmavirrasta. Tarkastelussa huomattiin, että käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta vaikuttaa myös suuresti lämmitysenergian kulutukseen, ja 20 l/s

eroava käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta teki eroa lämmitysenergian kulutukseen noin 100 kWh vuotta kohden.

### 6.1.2 Ilmanvaihdon puhaltimien sähköenergia

Tarkastellaan kaikkia muita huoneita paitsi 1013 ja 1014. Puhaltimien sähköenergian kulutuksien huomataan olevan jokaisessa huoneessa yhtä suuri vakioilmavirtajärjestelmää simuloivissa malleissa. Verrattaessa tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivia malleja huomataan sähköenergian kulutuksien olevan oikeassa suhteessa käyttöajan keskimääräiseen ilmavirtaan nähden. Esimerkiksi huoneiden 1005 ja 1018 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on sama 106 l/s. Tällöin puhaltimien sähköenergian kulutus on myös sama 331,4 kWh vuodessa. Käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloivassa mallissa 1004 huoneessa 93 l/s ja 1017 huoneessa 99 l/s. Huoneen 1004 puhaltimien sähköenergian kulutus on tällöin pienempi kuin huoneen 1017. Puhaltimien sähköenergian kulutus 1004 huoneelle oli 254,7 kWh/a ja 1017 huoneelle 279 kWh/a. Myös 1001 ja 1017 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli sama, joten puhaltimien sähköenergian kulutuskin on sama. Voidaan huomata, että mitä pienempi käyttöajan keskimääräinen ilmavirta on ollut, sitä pienempi on puhaltimien sähköenergian kulutus. Näissä huoneissa prosentuaalinen säästö on 76–82 % välillä.

Huoneiden 1013 ja 1014 käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta oli suurempi sekä huoneiden käyttöajan keskimääräiset ilmavirrat olivat myös suurimmat. Huoneen 1018 käyttöajan keskimääräinen ilmavirta oli kaikista lähimpänä näiden kahden huoneen käyttöajan keskimääräistä ilmavirtaa. Huoneiden 1013 ja 1014 puhaltimien sähköenergian kulutus on huomattavasti korkeampi muihin tiloihin verrattuna. Molempien huoneiden kohdalla puhaltimien sähköenergian kulutus oli noin 500 kWh vuodessa ja vertailuksi huoneella 1018 noin 300 kWh vuodessa. Suurempi käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta nostaa varmasti puhaltimien sähköenergian kulutusta vuotta kohden. Huoneiden 1014 ja 1018 puhaltimien sähköenergian kulutuksen tarkka erotus on 145,4 kWh/a ja huoneiden 1013 ja 1018 tarkka erotus on 202,7 kWh/a.

Pohdittaessa sitä, kuinka suuri vaikutus käyttöajan keskimääräisellä ilmavirralla on puhaltimien sähköenergian kulutukseen, se voidaan hyvin huomata ver-



rattaessa huoneita 1004 ja 1007. Näillä huoneilla käyttöajan keskimääräisten ilmavirtojen ero oli 4 l/s, ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen erotus oli 15,9 kWh vuodessa. Huoneiden 1014 ja 1018 käyttöajan keskimääräisen ilmavirtojen ero oli 3 l/s, ja pohdittaessa aiemmin esitettyjen vertailuiden perusteella käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta nostaa huomattavan määrän puhaltimien sähköenergian kulutusta.

Puhaltimien sähköenergian kulutus oli vakioilmavirtajärjestelmällä 1014 huoneelle 1441 kWh/a ja 1018 huoneelle 1314,4 kWh/a. Näiden erotus on 126,6 kWh/a, joten voidaan päätellä, että 20 l/s suurempi käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta nostaa noin 100 kWh verran puhaltimien sähköenergian kulutusta vuodessa. Tässä kohtaa täytyy kuitenkin muistaa se, että puhallinkäyrä on progressiivisesti kasvava, ja erilaiset tilanteet voivat nostaa moottorin ottotehoa, jolloin mitä enemmän ilmavirtaa kasvatetaan, sitä radikaalimmin moottorin ottoteho kasvaa.

Tuloksista voidaan kuitenkin huomata, että tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä puhaltimien sähköenergian kulutus on huomattavasti pienempää kuin vakioilmavirtajärjestelmällä. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla puhaltimien sähköenergian kulutuksessa on mahdollisuus säästää paljon, ja varmasti säästö on suurempaa S2- tai S1-luokan rakennuksissa, koska käyttöajan ilmavirrat tulee suunnitella huomattavasti suuremmiksi kuin S3-luokassa. Puhaltimien sähköenergian kulutukseen vaikuttaa tietenkin käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta. Voidaan myös todeta samalla tavalla sähköenergian suhteen, että 20 l/s suurempi käyttöajan ulkopuolinen ilmavirta nostaa puhaltimien sähköenergian kulutusta noin 100 kWh vuodessa. Kyseisen päiväkodin käyttöprofiililla oli mahdollista säästää huonekohtaisesti puhaltimien sähköenergian kulutuksessa jopa 82 %.

## **6.2 Yksittäiset simuloinnit yhdistettynä sekä yhteisessä simuloinnissa**

Yksittäisten huoneiden simulointien yhteenlasketut lämmitysenergian ja sähköenergian kulutukset ovat hyvin lähellä kaikkien huoneiden yhteisen simuloinnin energiankulutuksien suhteen. Yksittäisten huoneiden simulointien yhteenlasketuista tuloksista ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa säästö on tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä 44 % ja puhaltimien sähkö-

energiassa 77 %. Kaikkien huoneiden yhteisen simuloinnin tulokset antavat ilmanvaihdon lämmitysenergian säästöksi 43 % ja puhaltimien sähköenergian säästöksi 77 % käytettäessä tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Tulokset vastaavat toisiaan, vaikka menetelmä oli erilainen (yhdessä mallissa ~ huonekohtaiset mallit). Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että simulointien tulokset ovat samassa suuruusluokassa molemmilla tavoilla. Tulokset ovat niin lähellä toisiaan, että niitä voidaan pitää todenmukaisina. Vaikka tuloksissa on virhettä, kuitenkin saadaan käsitys säästöpotentiaalista. Todellisuudessa säästöt eivät välttämättä ole noin suuria, mutta lähes tämän suuruisiin säästöihin on mahdollisuus. Käytännössä lämmitysenergian kulutuksen säästö on huomattavasti lähempänä todellista säästöä kuin sähköenergian säästö.

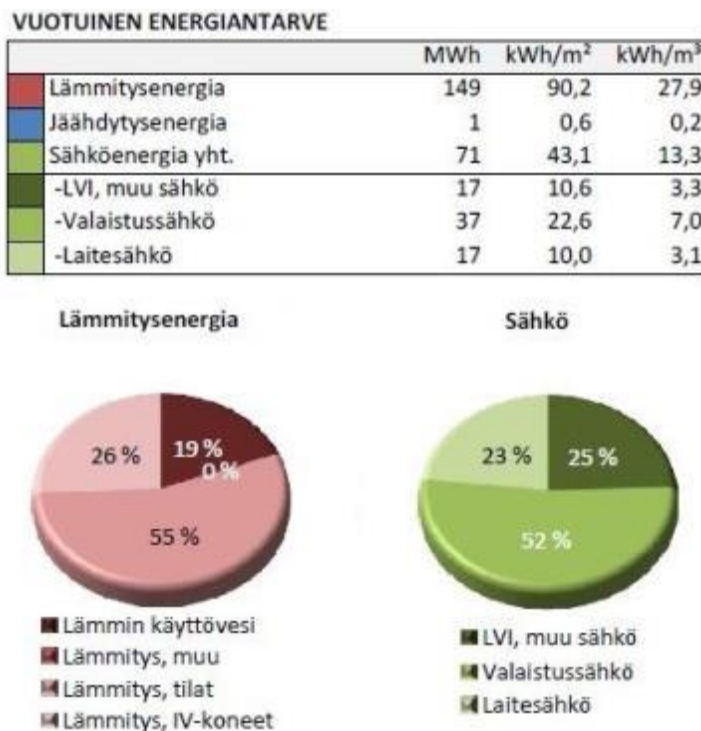
Ilmavirrat muuttuvat päivän aika normaalisti niin, että huonekohtaisesti maksimi-ilmavirta tuodaan tilaan käyttöajalla noin muutaman tunnin ajan, jolloin muulla ajalla on minimi-ilmavirta. Toisaalta jokaisessa huoneessa ei ole käyttöä samaan aikaan (ryhmähuone ~ lepo huone), eli yhden ryhmän huoneiden käyttö jakautuu eri hetkiin. Vaikka ilmavirrat vaihtelevat huoneittain, ilmanvaihtokoneella ilmavirrat ovat asettuneet jollekin tasolle. Tietysti puhaltimilla kokonaisilmavirta heittelee hieman yli ja ali sen tason, jolle kokonaisilmavirta asetuu. Lapset vaihtavat huonetta, jolloin huoneessa johon mentiin, ilmavirta alkaa kasvaa, ja toisessa huoneessa tietysti ilmavirta alkaa laskea. Tästä syystä keskimääräisellä käyttöajan ilmavirralla saadaan hyvin todenmukainen ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kulutus, koska ilmanvaihtokoneen kokonaisilmavirta pysyy lähes samalla tasolla käyttöaikana.

Puhaltimien sähköenergian kulutuksen voidaan todeta olevan hieman suurempaa todellisuudessa verrattain simulointien tuloksiin. Puhaltimien hetkelliseen sähköenergian kulutukseen voivat vaikuttaa suodattimen likaisuus sekä kanaviston muuttuvat painehäviöt. Erilaisissa tilanteissa sähköenergian kulutus voi olla suurempaa, vaikka kokonaisilmavirta on ilmanvaihtokoneella samansuuruinen. Tästä syystä simulointien puhaltimien sähköenergian kulutus ei vastaa aivan suoraan todellisuutta, mutta kertoo kuitenkin kuinka paljon on mahdollista säästää.

Huomioitaessa kaikkien huoneiden yhteisvaikutus ilmanvaihtokoneen energiankulutukseen voidaan todeta, että päiväkodin käyttöprofiililla voidaan säästää

lämmitysenergian kulutuksessa lähes 4000 kWh (43 %) ja puhaltimien sähköenergian kulutuksessa noin 12000 kWh (77 %). Säästöt ovat huomattavan suuria, ja jos kilowattitunteja ajateltaisiin rahallisesti, varmasti olisi merkittävä summa. Jos mietitään, että lämmöntalteenottolaitteella voidaan säästää merkittävästi lämmitysenergian kulutuksessa ja tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä vielä lisää, tarpeenmukaisia ilmanvaihtojärjestelmiä pitäisi rakentaa enemmän. Lämmitys- ja puhaltimien sähköenergian kulutuksissa todettiin olevan mahdollisuus säästää, tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä on tämän perusteella kannattava vaihtoehto. Tällaisia säästöjä on kuitenkin mahdollisuus saavuttaa vain silloin, kun ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan hyvin sekä sitä käytetään oikein.

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa oli tehty energialaskenta, ja saatuja tuloksia voidaan verrata energialaskennan tuloksiin. Kuvassa 14 on esitetty suunnittelun aikaisen energialaskennan tulokset. Kuvasta selviää ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian ja sähköenergian kulutus.



Kuva 14. Suunnittelun aikaisen energialaskennan tulokset

Energialaskennan mukaan kaikkien ilmanvaihtokoneiden lämmitysenergian kulutus on 39000 kWh vuodessa. Simuloinneilla saatiin pelkän TK01 ilmanvaihtokoneen osalle huoneista lämmitysenergian kulutukseksi noin 5000

kWh/a. Täytyy huomata, että tutkittavia huoneita oli 12, ja ilmanvaihtokone palvelee 20 huonetta. Käytännössä tutkittavien huoneiden osuus koko ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian kulutuksesta on noin 60 %. Simulointien lämmitysenergian kulutuksen vuotta kohden voidaan todeta olevan oikean suuruinen.

Energialaskennan mukaisesti kaikkien ilmanvaihtokoneiden sähköenergian kulutus on vuotta kohden 17000 kWh. Simulointien perusteella tutkittaville huoneille puhaltimien sähköenergian kulutus on noin 3600 kWh/a. Simulointien puhaltimien sähköenergian kulutus oli vain tutkittavien huoneiden osuus. Toisaalta energialaskennan ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutuksessa on mukana myös lämmityspattereiden pumppujen ja lämmöntalteenottolaitteiden apulaitteiden ja moottoreiden sähköenergian kulutus. Näiden osuus vuosittaisesta ilmanvaihtokoneen sähköenergian kulutuksesta voidaan olettaa olevan suhteellisen pieni. Voidaan todeta, että simulointien sähköenergian kulutus on oikean suuruinen.

### **6.3 Puhaltimien sähköenergian kulutus hetkellisen sähkötehon avulla**

Hetkellisen sähkötehon avulla laskettuna vakioilmavirtajärjestelmän puhaltimien sähköenergian kulutus oli vuotta kohden 17156 kWh ja tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä 10916 kWh. Tällä tavalla säästöksi saatiin 36 %, ja puhaltimien sähköenergian kulutuksen säästö oli huomattavasti pienempi kuin simuloinneilla. Trendiseurannasta ei saatu suoraan oikeata minimi-ilmavirtaa ja käyttöajan keskimääräistä ilmavirtaa vastaavia hetkellisiä sähkötehoja. Puhallinkäyrä jouduttiin piirtämään itse, jolloin näitä ilmavirtoja vastaavat hetkelliset sähkötehot eivät välttämättä ole aivan oikein.

Simulointien perusteella tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähköenergian kulutus oli hieman alle 4000 kWh/a. Hetkellisen sähkötehon perustella laskettu puhaltimien sähköenergian kulutus ei kohtaa lähellekään simulointien kanssa. Piirrettyä puhallinkäyrältä ei ehkä saa katsottua juuri oikeita hetkellisiä sähkötehoja. Kuitenkin kohdistuspisteitä puhallinkäyrään oli katsottu trendiseurannasta seitsemän eri ilmavirran kohdalta, jolloin näiden perustella voidaan kuitenkin piirtää puhallinkäyrä. Tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla 36 % säästö tuntuu liian pieneltä.

Simuloinneilla saavutettiin hieman yli 12000 kWh säästö vuotta kohden, ja hetkellisen sähkötehon avulla hieman yli 6000 kWh/a. Simulointien perusteella säästö olisi puolet suurempi verrattain hetkellisen sähkötehon avulla laskettuun sähköenergian kulutukseen. Tulokset poikkeavat melko paljon toisistaan, ja voidaan olettaa, että piirretyltä puhallinkäyrältä katsotut hetkelliset sähkötehot eivät kohtaa todellisuutta. Laitevalmistajien puhallinkäyrä on todennäköisesti aivan erilainen, ja sen takia tässä tapauksessa voidaan luottaa enemmän simulointien perusteella saatuihin tuloksiin. Swegon Ab Oy on tutkinut omia tarpeenmukaisia ilmanvaihtojärjestelmiään, ja he ovat huomanneet, että puhaltimien sähköenergian kulutuksessa voidaan säästää 80 % verrattuna vakioilmavirtajärjestelmään /14/. Tähän perustuen hetkellisen sähkötehon avulla saadut tulokset eivät pidä paikkaansa. Kuitenkin voidaan ajatella, että säästö on todellisuudessa lähempänä simulointien mukaisia tuloksia kuin hetkellisen sähkötehon perusteella laskettuna. Tulokset olisivat varmasti erilaiset, jos käyttöön olisi ollut mahdollista saada oikea puhallinkäyrä.

#### **6.4 Ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus**

Kaikkien huoneiden yhteisen vakioilmavirtajärjestelmän simuloinnin mukaisesti lämmitysenergian kulutus oli vuodessa 8619,1 kWh, ja yksittäisten huoneiden vakioilmavirtajärjestelmän simulointien yhteenlaskettu lämmitysenergian kulutus oli 8991,7 kWh/a. Näihin arvoihin lisättiin ilmanvaihdon jäähdyttävän vaikutuksen mukainen huoneiden lämmitysenergiaa lisäävä energiankulutus. Tällöin lämmitysenergian kulutukset ovat 20619,1 kWh/a (yhteinen simulointi) ja 20991,7 kWh/a (yksittäiset simuloinnit yhteenlaskettuna).

Näitä lämmitysenergian kulutuksia verrattiin tarpeenmukaista ilmanvaihtoa simuloiviin malleihin. Kaikkien huoneiden yhteisen simulointimallin mukaisesti lämmitysenergiassa säästettiin vuodessa 15735,6 kWh (76 %), ja yksittäisten huoneiden simulointien yhteenlaskettujen tuloksien mukaisesti säästettäisiin vuodessa 15929,3 kWh (76 %).

Lämmitysenergian kulutuksen säästö kasvaa huomattavasti, kun ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus otetaan huomioon. Voidaan todeta, kun vakioilmavirtajärjestelmää käytetään, huoneiden lämmitysenergian kulutus on huomatta-

vasti suurempaa. Vaikka tuloilmaa ei tarvitse lämmittää kuin 3 °C huoneen lämmitysjärjestelmällä, energiankulutukset ovat merkittäviä kokonaisuuden kannalta. Tämä asia on hyvä ottaa huomioon, koska rakennuskin suunnitellaan kokonaisuutena, ja erilaiset asiat vaikuttavat toisien järjestelmien energiankulutuksiin. Tässä se huomattiin selvästi, että pelkän ilmanvaihtokoneen energiankulutuksien tarkastelu ei välttämättä kerro paljoa siitä, miten se vaikuttaa lämmitysjärjestelmän energiankulutukseen. Ilmanvaihtojärjestelmän ja lämmitysjärjestelmän energiankulutuksia olisi hyvä tarkastella yhdessä. Toisaalta voidaan myös haluta vain tietää toisen osa-alueen mahdollisuudet, jolloin näitä ei ole pakko yhdistää. Kuitenkin yhteisvaikutuksesta nähdään vasta rakennuksen kokonaisenergian kulutuksen mahdollinen säästöpotentiaali.

## **7 JOHTOPÄÄTÖKSET**

Tuloksista nähdään selvästi, että tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä on mahdollisuus säästää huomattava määrä lämmitysenergiaa sekä sähköenergiaa. Yksittäisten huoneiden kohdalla lämmitysenergiassa voidaan säästää vuosittain maksimissaan 51 %, ja puhaltimien sähköenergiassa 82 %. Kaikkien huoneiden yhteisvaikutuksella ilmanvaihtokoneen lämmitysenergiassa voidaan säästää vuosittain 44 %, ja puhaltimien sähköenergiassa 77 %. Lämmitysenergian säästö kasvoi, kun ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus otettiin huomioon. Tällöin lämmitysenergian säästö on vuosittain 76 %.

Swegonin omien tutkimusten tuloksien perusteella myös tämän tutkimuksen tulokset ovat samassa linjassa. Heidän mukaan Swegonin tarpeenmukaisilla ilmanvaihtojärjestelmillä on mahdollista säästää 40 % ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa ja jopa 80 % puhaltimien sähköenergian kulutuksessa /14/. Tämän tutkimuksen tulokset ovat hyvin samanlaisia, joten tuloksia voidaan pitää luotettavina. Kuitenkin pitää muistaa, että menetelmä aiheutti tuloksiin virhettä, joten säästöt ovat todellisuudessa hieman pienempiä. Prosentuaalisesti säästön ei uskota laskevan todellisuudessa kovinkaan paljoa. Tulokset eivät kerro kuitenkaan todellista lämmitys- ja sähköenergian säästöä, mutta kuitenkin tuloksista nähdään se, kuinka paljon yksiselitteisesti tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä on säästöpotentiaalia. Se riittää jo pitkälle, että tuloksista saadaan esiin suuruusluokaltaan luotettava lopputulos. Jo-

kainen tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä on kuitenkin erilainen, ja tämän tutkimuksen perusteella voidaan havainnollistaa, että tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä on mahdollisuus suuriin säästöihin.

Se pitää kuitenkin muistaa, että ilmavaihto vaikuttaa aina myös lämmitysjärjestelmän energiankulutukseen. Näitä olisikin hyvä pohtia aina yhdessä. Tuloksista huomattiin, että tarpeenmukaisella ilmanvaihdon käytöllä säästettiin myös huoneiden lämmitysenergian kulutuksessa. Tässä juuri se idea, että tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän säästöt eivät pelkästään koostu konkreettisen ilmanvaihtokoneen energiankulutuksista. Tässä nähdään se, että yhdellä suurella muutoksella voidaan vaikuttaa useisiin asioihin, jotka johtavat huomattaviin säästöihin ja energiatehokkaaseen rakentamiseen säilyttäen halutut sisäilmasto-olosuhteet.

Suuremmissa rakennuksissa säästöt voivat olla rahallisesti hyvin tuntuvia summia, kun taas pienemmissä se ei välttämättä vaikuta suurelta. Suunnittelussa täytyykin pohtia jokaisen rakennuksen kohdalla, onko tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä kannattava. Etenkin tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä kannattaa valita sellaisiin rakennuksiin, jossa huoneiden käyttö vaihtelee paljon. Ei siinä ole mitään järkeä, jos tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä valitaan rakennukseen, jossa huoneiden käyttö on esimerkiksi 80 %. Tällöin energiankulutuksen säästöt olisivat varmasti marginaaliset, koska säästötavasta riippuen ilmavirta laskee jonkun mittausarvon perusteella, ja minimiilmavirtaan päädyttyään huoneessa olisi taas käyttöä.

Tässä päiväkodissa on jouduttu panostamaan sisäilmasto-olosuhteisiin ja ilmavirrat on suunniteltu S2-luokan mukaisesti. Sisäilmasto-olosuhteet pysyvät tässä rakennuksessa hyvin hallinnassa, ja kuitenkin ilmanvaihto on pystytty toteuttamaan energiatehokkaasti. Voidaan todeta, että tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä voi olla useimmiten hyvä valinta päiväkotirakennukselle. Kuitenkin huoneiden käyttö on päiväkodissa vaihtelevaa, koska välillä ollaan ulkoilemassa tai sitten toisessa huoneessa lepäämässä. Ison osan päivästä huoneet ovat tyhjillään tai pienellä käytöllä, jolloin tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän valinta on perusteltua. Toisaalta tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän investointikustannukset ovat suuremmat, mutta kuitenkin käyttöajalla saatavat energiankulutuksen säästöt kattavat varmasti järjestelmien in-

vestointikustannusten erotuksen nopeassa ajassa. Tämäkin olisi aivan mahdollista selvittää, kuinka suuria säästöt ovat rahallisesti, mutta kuitenkin jokaisella kiinteistön omistajalla on omat sopimukset ostettavien energioiden suhteen, jolloin energioiden hinnat vaihtelevat.

Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä tulee suunnitella ja toteuttaa hyvin, jotta järjestelmällä pystytään saavuttamaan huomattavia säästöjä. Järjestelmän toimintaan vaikuttaa myös paljon huollettavuus, jolloin oikein huollettuna ja hyvin toimivana hyödyt ovat suuremmat. Tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä toteutetaan normaalisti ilmavirtasäätimillä, joten niiden toimintakunto tulee varmistaa, jotta ilmavirtoja voidaan säätää tarkasti. Toisaalta tällaiset ilmanvaihtojärjestelmät vaativat useita antureita, jolloin mittaus- ja säätötapa tulee olla valittu huolella, jotta järjestelmää voidaan ohjata oikein. Automaatiojärjestelmä on tietenkin koko tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän ydin, jolloin huonosti tehdyllä automaatiolla ei pysty kontrolloimaan järjestelmän toimintaa oikein.

Kun tarpeenmukainen ilmanvaihtojärjestelmä on rakennuksen valmistumisesta lähtien todettu toimivan oikein, huoltotoimenpitein järjestelmän toimintakyky ylläpidetään. Suunnittelu, rakentaminen ja ylläpito ovat järjestelmän oikein toimivuuden kannalta jokainen yhtä tärkeitä osa-alueita. Väärällä tai tietämättömällä ylläpidolla voidaan aivan hyvin laskea järjestelmän toimivuuden tasoa. Tällaisten järjestelmien kohdalla elinkaarisopimukset voisivat ylläpidon suhteen olla erittäin hyvän vaihtoehto. Silloin järjestelmää huoltaisi juuri oikea osaava henkilöstö. Tällä tavalla voitaisiin eliminoida ongelmatilanteessa väärät johtopäätökset, joista voisi koitua vääriä toimenpiteitä.

Kyseisessä päiväkodissa on käytössä Swegonin WISE-järjestelmä, jolloin kaikki komponentit ovat sopivia keskenään. Tällä tavalla voidaan varmistaa, että laitteet sopivat keskenään yhteen, ja jälkeinpäin ei tulisi esiin suurempia ongelmia. Esimerkiksi ilmavirtasäätimet on jo asetettu halutuille minimi- ja maksimi-ilmavirta-alueille tehtaalla, jolloin työmaalla toteutus on helpompaa sekä välttään siltä, että ilmavirtasäätimet eivät toimisi oikein. Swegonin WISE-järjestelmässä on myös erittäin käytännöllinen automaatiojärjestelmä, jolloin ilmavirtoja voidaan muuttaa jälkikäteen huonekohtaisesti erittäin pienin toimenpitein. Tässä kohtaa hyödytään sillä tavalla, että jos rakennukseen täy-



tyy joskus tehdä sisäilmastomittauksia, tuloksien perusteella ilmanvaihtojärjestelmän toimintaan on helppo tehdä muutoksia jo pelkän automaation avulla.

Tutkimusta olisi vielä mahdollisuus laajentaa, jolloin tuloksista saataisiin vielä tarkempia. Tällöin simuloinneissa voitaisiin käyttää konkreettisesti toteutuneita päivittäisiä ilmavirtojen vaihteluita, eli käyttöprofiili tehtäisiin jokaiselle arkipäivälle päivälle erikseen. Toisaalta keskimääräinen ilmavirta voitaisiin laskea huonekohtaisesti vuoden jokaisen käytössä olleen päivän perusteella. Keskimääräinen ilmavirta voisi muuttua hieman tässä tutkimuksessa käytetyistä. Tässä nähtäisiin myös samalla ne lomapäivät, jolloin päiväkodissa ei ole käyttöä. Ilmanvaihtokoneen puhaltimien sähköenergian kulutuksesta voitaisiin myös tehdä mittauksia. Tällöin kannattaisi asettaa joku mittausajanjakso, jolloin saataisiin todellinen sähköenergiakulutus halutulta ajanjaksolta. Tätä voisi sitten pohtia vielä tarkemmin. Toisaalta simulointeihin voitaisiin ottaa huoneiden lämmitystehontarpeen ja jäähdytystehontarpeen tarkastelu mukaan, jolloin ilmanvaihdon jäähdyttävä vaikutus voitaisiin ottaa huomioon entistä tarkemmin. Tällä tavalla tuloksista ilmenisi vielä luotettavammin energiansäästö, jolloin tulokset olisivat jo todella lähellä todellisia.

**LÄHTEET**

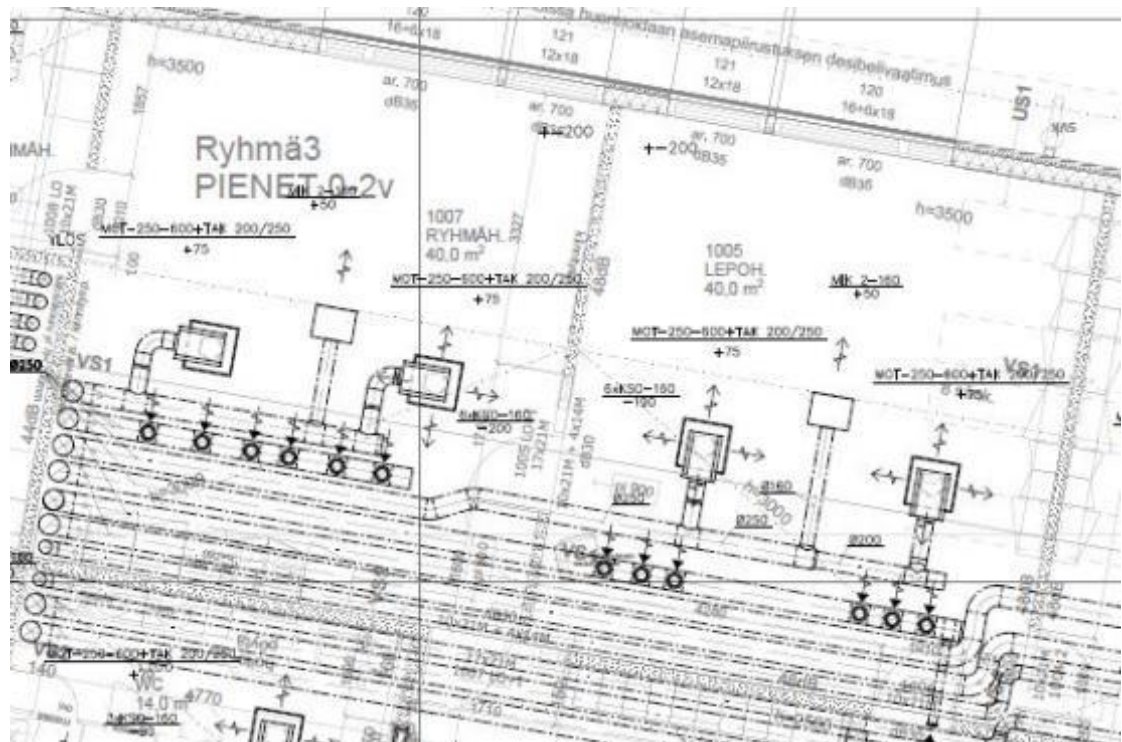
1. Säteri, J. 2008. Sisäilmaluokitus 2008 – tarpeenmukainen sisäilmasto. Sisäilmayhdistys Ry. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.swegonairacademy.com> [Viitattu: 6.2.2017]
2. Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2011. Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
3. Sandberg, E. (toim.). 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. Toinen painos. Forssa: Talotekniikka-julkaisut Oy.
4. Ansaldi, R. (Ym.). 2011. Indoor Climate Quality Assessment, Guidebook NO 14. Brussel: REHVA, Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations.
5. Sisäilmayhdistys Ry. Terveysvaikutukset. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Terveysvaikutukset> [Viitattu 3.2.2017]
6. LVI-05-10440. Sisäilmastoluokitus 2008, Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2008. Rakennustieto Oy.
7. Seppänen, O. (Ym.). 2012. Design of energy efficient ventilation and air-conditioning systems, Guidebook NO 17. Brussel: REHVA, Federation of European Heating, Ventilation and Air-conditioning Associations.
8. Asumisterveys asetuksen soveltamisohje, Osa 1. 2016. Valvira, Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus ja valvontavirasto. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 25.4.2016. Saatavissa: <https://www.valvira.fi> [Viitattu: 10.2.2017]
9. Suomen rakentamismääräyskokoelma D2. 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
10. Maripuu, M. 2009. Demand Controlled Ventilation (DCV) Systems in Commercial Buildings, Functional Requirements on Systems and Components. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Göteborg: Building Services Engineering Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology.
11. Fahlèn, P. 2010. Demand Controlled Ventilation dcv – Limitations and definitions. Conference in Antalya 9.-12.5.2010 (10<sup>th</sup> REHVA World congress Clima, Sustainable Energy Use in Buildings).
12. European Standard EN 13779. 2007. Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. Brussels: European Committee for Standardization.

13. Vandoren, V. 2014. Open- vs. closed loop control. Artikkel. Päivitetty: 28.8.2014. Saatavissa: <http://www.controleng.com/single-article/open-vs-closed-loop-control/f8d8023a15738d0fcfe78d6a2d71dd60.html> [Viitattu: 15.2.2017]
14. Tarpeenmukainen ilmanvaihto. 2016. Swegon Ab Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 1.3.2016. Saatavissa: <http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/Demand%20controlled%20ventilation/fi/DCV-overview.pdf> [Viitattu: 7.3.2017]
15. WISE-projektikäsikirja. 2015. Swegon Ab Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 23.9.2015. Saatavissa: <http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/> [Viitattu: 1.2.2017]
16. Super WISE. 2012. Swegon Ab Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 15.11.2012 Saatavissa: <http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/> [Viitattu: 1.2.2017]
17. Adapt Damper. 2015. Swegon Ab Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 20.10.2015 Saatavissa: <http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/> [Viitattu: 2.2.2017]
18. Clean Air Control. 2010. Swegon Ab Oy. Pdf-dokumentti. Päivitetty: 28.5.2010 Saatavissa: <http://www.swegon.com/fi/Tukimateriaali/> [Viitattu: 2.2.2017]
19. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta.
20. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
21. Reinikainen, E. 2002. Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöikäsuunnittelu ja elinkaarikustannukset. Insinööritoimisto Olof Granlund Oy. Pdf-dokumentti. Saatavissa: <http://www.recair.fi/pdf/Elinkaariesitelma.pdf>. [Viitattu: 30.3.2017]
22. Errico, F. 2014. Demand controlled ventilation case study on comfort and energy. Master Thesis. Italy: University of Padua, Industrial engineering department & Swegon Ab.
23. Maripuu, M. 2011. Demand Controlled ventilation (DCV) for better IAQ and Energy efficiency. Rehva Journal 02/2011. Artikkel. Saatavissa: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2011/022011.html> [Viitattu: 23.2.2017]
24. Fisk, W. (Ym.). 2006. Accuracy of CO<sub>2</sub> sensors in commercial buildings: A Pilot Study. California: Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, Indoor Environment Department.

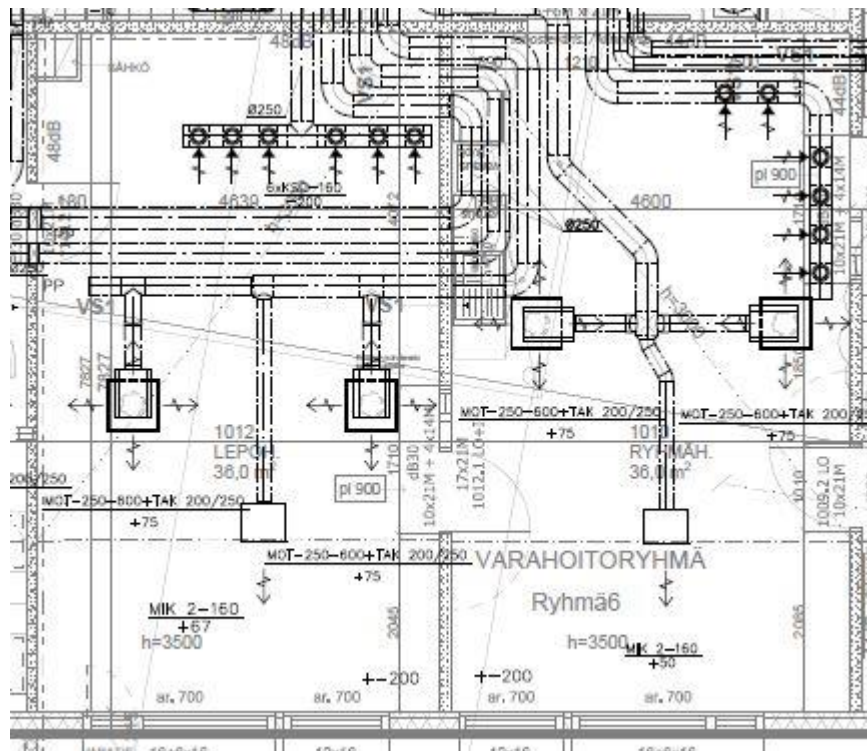
25. Clark, L. 2009. Multiparameter Demand-Controlled Ventilation, Overcoming limitations holding back conventional CO<sub>2</sub>-driven DCV. Artikkele. Saatavissa: <https://d1qkyo3pi1c9bx.cloudfront.net/D7021408-671F-42FA-837E-DEB20A6B3D76/e71951ae-0b77-4adb-a8c7-8973afe19789.pdf> [Viitattu: 21.2.2017]
26. Asetus lasten päivähoidosta 16.3.1973/239. Sosiaali- ja terveysministeriö.



## Huoneiden 1005 ja 1007 pohjakuvat

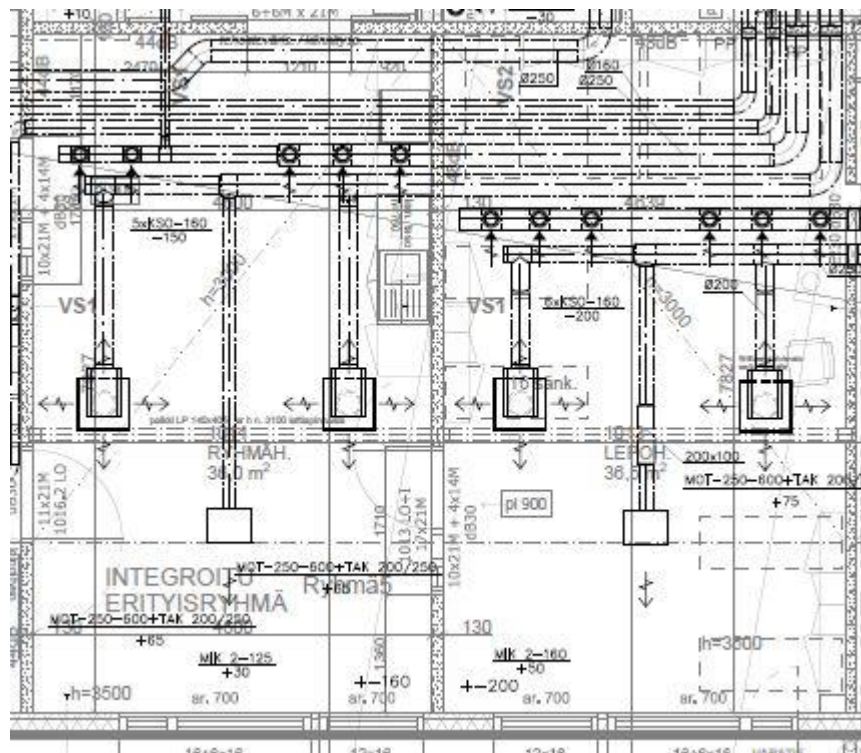


## Huoneiden 1010 ja 1012 pohjakuvat

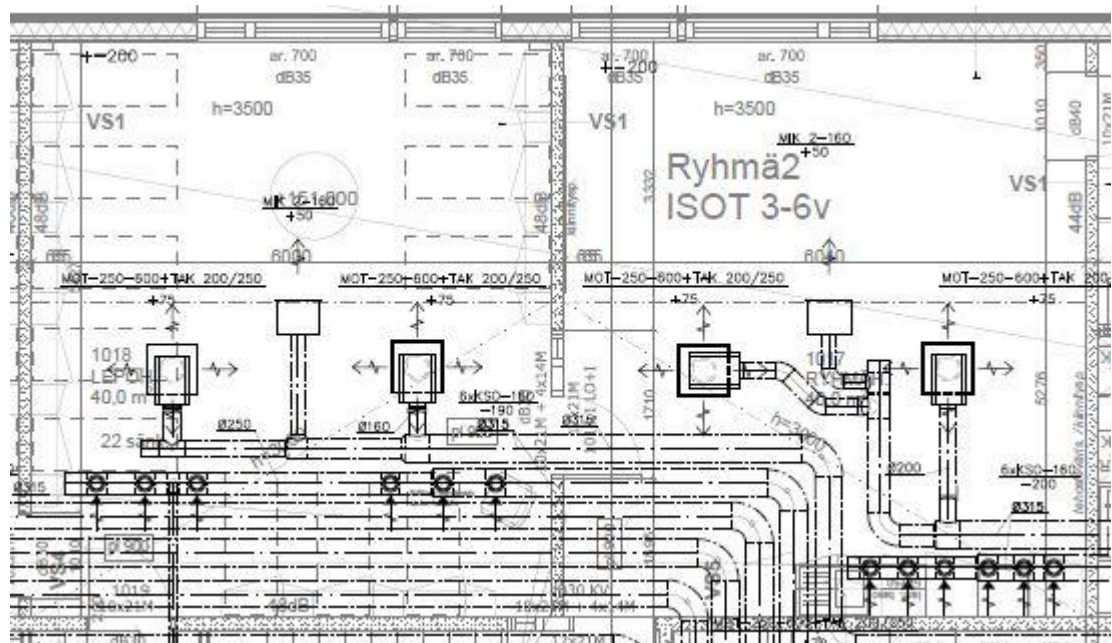




## Huoneiden 1013 ja 1014 pohjakuvat



## Huoneiden 1017 ja 1018 pohjakuvat







## Puhallinkäyrä

