

Anssi Luoma

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönoton jälkeinen toiminnan tarkastelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
27.4.2011

Tekijä(t) Otsikko	Anssi Luoma Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmän käyttöönoton jälkeinen toiminnan tarkastelu
Sivumäärä Aika	30 sivua + 6 liitettä 27.4.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja(t)	Lehtori Erkki Sainio LVI-rakennuttajainsinööri Ville Isomäki
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia tavanomaisista poikkeavilla taloteknisillä järjestelmillä toteutetun kiinteistön toimintaa käyttöönoton jälkeen. Poikkeavilla ratkaisuilla on pyritty hyvien sisäilmaolosuhteiden tuottamiseen mahdollisimman pienellä sähkö- sekä lämpöenergian kulutuksella. Matalaan energiankulutukseen on pyritty muun muassa kaikki ope- tustilat kattavalla tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, aurinkopaneelilla sekä osaa koulun tiloista palvelevalla hybridi-ilmanvaihdolla. Työssä on perehdytty erityisesti hybridi- ilmanvaihtojärjestelmällä toteutetun osion toimintaan käytön aikana. Tarkastelussa tutkittiin järjestelmän toimivuutta, sisäilmaolosuhteita sekä koulurakennuksen energiatehokkuutta. Tarkoituksena oli selvittää, saavutetaanko kiinteistössä suunnitelmien mukainen ilmanvaihtu- vuus, täyttyvätkö sisäilman laatuvaatimukset, onko pyrkimyksissä energiatehokkaaseen rakentamiseen onnistuttu sekä toimivatko kiinteistön järjestelmät niille kuuluvilla tavoilla.</p> <p>Tarkasteltava kohde oli Helsingin Latokartanossa sijaitseva peruskoulu, joka on otettu käyt- töön syyslukukaudelle 2009. Koulun rakennuttaja Helsingin kaupungin rakennusvirasto tilasi tutkimuksen Metropolia ammattikorkeakoululta kiinteistön käyttäjien ilmaiseman tyytymät- tömyyden vuoksi.</p> <p>Tarkastelussa selvisi, että kiinteistön sisäilmaolosuhteet täyttävät vaatimusten mukaiset tasot ja ovat vielä vaatimustasoa paremmat kaikissa todetuissa olosuhteissa. Hybridi- ilmanvaihtojärjestelmän toimivuudessa kuitenkin havaittiin ongelmia. Ongelmien korjaami- seksi vaadittavien toimenpiteiden taso vaihteli viallisten mittalaitteiden uusimisesta järjes- telmän rakenteellisiin muutoksiin. Kiinteistön energiankulutuksen todettiin myös olevan ta- voitteita suurempi. Suuri energiankulutus selittyi kuitenkin rakennuksen käyttöönoton jälkei- sellä käyttöhistorialla.</p> <p>Tätä insinööriyötä voi hyödyntää miettiessä hybridi-ilmanvaihdon suunnittelussa huomioita- via asioita ja mahdollisia ongelmakohtia sekä apuna vastaavanlaisen tarkastelun suorittami- seen.</p>	
Avainsanat	hybridi-ilmanvaihto, sisäilmaolosuhteet, energiatehokkuus

Author(s) Title	Anssi Luoma Operation of hybrid ventilation system after commissioning
Number of Pages Date	30 pages + 6 appendices 27 April 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Desing Orientation
Instructor(s)	Erkki Sainio, Senior Lecturer Ville Isomäki, Developer Engineer, HVAC
<p>This Bachelor's thesis studies a ventilation system uncommon for Finnish construction. The studied facility is an elementary school in Helsinki, used since the autumn term of 2009. The school was designed to be energy efficient. Therefore, it is supplied with various HVAC systems aiming to save energy. The hybrid ventilation system serving most of the classrooms was designed to be to most energy efficient system.</p> <p>The goal of this final year project was to find out after commissioning of the school if a hybrid ventilation system can both provide good indoor air to classrooms and be an energy saving system with low running costs. Furthermore, the school operations were compared to the design, and incorrect operations, if found, were pointed out.</p> <p>This final year project shows that although there are some problems to solve, hybrid ventilation can provide good indoor air to a school building in all conditions. To improve the functioning of hybrid ventilation, the necessary actions vary from changing faulty measurement devices to redesigning small parts of the system. Until the system works like it should, it is not energy efficient like planned.</p> <p>The final year project provides one solution to the problems that were found in the school. Furthermore, it can be helpful in designing hybrid ventilation systems for other buildings to avoid mistakes in planning.</p>	
Keywords	hybrid ventilation system, indoor air, energy efficiency

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Hybridi-ilmanvaihto	2
2.1	Hybridi-ilmanvaihdon periaatteet	2
2.2	Erilaiset sovellukset	3
2.2.1	Julkisivuilmanvaihto	3
2.2.2	Läpivirtausilmanvaihto	4
2.3	Järjestelmän vahvuudet	4
2.4	Järjestelmän heikkoudet	5
2.5	Järjestelmän haasteet Suomessa	5
3	Koulun LVI-järjestelmien toimintakuvaus	6
3.1	Lämmitysverkostot	6
3.1.1	Vesiradiaattori verkosto	7
3.1.2	Ilmanvaihdon lämmitysverkosto	7
3.2	Hybridi-ilmanvaihto	7
3.3	Koneellinen ilmanvaihto	12
3.3.1	Yleisilmanvaihto	12
3.3.2	Erilliskoneet	12
3.3.3	Erillispoistot	12
4	Sisäilma olosuhteet	12
4.1	Lähtökohdat	12
4.1.1	Sisäilmaolosuhteet	12
4.1.2	Sisäilmaolojen kartoitus	13
4.1.3	Kartoituksen tulokset	13
4.2	Sisäilmamittaukset	14
4.2.1	Referenssitilan valinta	14
4.2.2	Mittausjärjestelyt	14
4.2.3	Vertailu koulun trendeihin	15
4.3	Sisäilmamittausten tulokset	16
4.3.1	Vertailukohteet	16
4.3.2	Ilmamäärät	17

4.3.3	Lämpötilat	17
4.3.4	Ilmankosteus	18
4.3.5	Ilman hiilidioksidipitoisuus	18
5	Energiatarkastelu	19
5.1	Energiankulutuksen kuvaus	19
5.2	Kulutusvertailu Helsingin kaupungin kouluihin	19
5.3	Kulutusvertailu motivan kulutustietoihin	20
5.4	Arvio energiatehokkuudesta	21
6	Talotekniikkajärjestelmien ongelmakuvaukset	21
6.1	Hybridi-ilmanvaihdon lämmityspatteri	21
6.2	Lämmityspatterin moottoriventtiin ohjaus	22
6.3	Kotiaulan ylipaine	25
6.4	Hiilidioksidi anturit	26
7	Ongelmien ratkaisuehdotukset	27
7.1	Hybridi-ilmanvaihdon lämmityspatteri	27
7.2	Lämmityspatterin moottoriventtiin ohjaus	27
7.3	Kotiaulan ylipaine	27
7.4	Hiilidioksidianturit	28
8	Päätelmät	29

Liitteet

- Liite 1. Sisäilmaolojen kartoituksen tuloksia
- Liite 2. Trendikäyrä hiilidioksidipitoisuudesta ja lämpötilasta opetustilassa 220b sekä TSI-mittarilla mitatut vastaavat suureet.
- Liite 3. Opetustilan 220b ilmanvaihtuvuus
- Liite 4. Hiilidioksidipitoisuudet ja lämpötilat opetustilassa 220b sekä puhaltimien ohjausviesti 18.1.–11.4.2011
- Liite 5. Motivan energiakatselmustietoa lämmön ja sähkön kulutuksista
- Liite 6. Liian suurta arvoa näyttävä luokkatilan 120b hiilidioksidianturin trendi

1 Johdanto

Insinööriyössä tarkastellaan Helsingin kaupungin peruskoulua, joka sijaitsee Helsingin Latokartanossa. Peruskoulu on otettu käyttöön syyslukukaudella 2009. Erityisen koulusta tekevät koulussa käytettävät talotekniset järjestelmät, joita ei ole Suomessa erityisen paljon käytetty. Koulun kaikkien opetustilojen talotekniikkaa ohjataan käyttöasteen mukaan, eli lämpötilaa ja hiilidioksidipitoisuutta mitataan huonekohtaisilla antureilla, jotka ohjaavat tilan lämmitystä sekä ilmanvaihtoa. Puolet koulun tiloista kuuluu pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtokoneen palvelualueeseen, ja toista puolta palvelee painovoimainen hybridi-ilmanvaihto, jota tarvittaessa tehostetaan avustavilla tuloilmapuhaltimilla. Koneellisen ilmanvaihdon kanavointi on suunniteltu matalapaineiseksi ja koulun katolle on asennettu aurinkopaneeleita, joiden tuottama sähkö käytetään suoraan koulun erilaisiin sähkötarpeisiin. Kuvatunlaisilla taloteknisillä ratkaisuilla on pyritty mahdollisimman energiatehokkaaseen julkiseen koulurakennukseen, unohtamatta sisäilmaston laatuvaatimuksia.

Koulun käyttöönotto ei kuitenkaan ole ollut täysin ongelmaton, vaan koulun käyttäjät ovat ilmoittaneet kokevansa uusien koulutilojen sisäilman olosuhteet puutteelliseksi ja epäilleet sen jopa aiheuttaneen henkilökunnalle erilaisia terveysongelmia, kuten päänsärkyä, väsyneisyyden tunnetta ja hengitystieongelmia.

Koulun rakennuttajana on toiminut Helsingin kaupungin rakennusvirasto, joka on myös tilannut tämän insinööriyön Metropolia ammattikorkeakoululta selvittääkseen Latokartanon peruskoulun toiminnan ja sen puutteet. Tavoitteena on selvittää, toteutuvatko tavoitteelliset sisäilmaolosuhteet hybridi-ilmanvaihdolla, pohtia, onko hybridi-ilmanvaihto ja koulu kokonaisuudessaan energiatehokas, sekä tutkia, onko koulun taloteknisissä järjestelmissä havaittavissa selkeitä ongelmakohtia. Mikäli ongelmia havaitaan, on tavoitteena vielä esittää mahdollisia ongelmanratkaisumalleja kohdattuihin ongelmiin.

2 Hybridi-ilmanvaihto

2.1 Hybridi-ilmanvaihdon periaatteet

Hybridi-ilmanvaihdon toteuttamisen lähtökohtana on pääsääntöisesti tavoite energiatehokkaasta ilmanvaihdosta. Tavallisesta koneellisesta ilmanvaihdosta poiketen hybridi-ilmanvaihtojärjestelmissä ei käytetä suuren nimellistehon omaavia keskipakopuhaltimia, vaan ilman vaihtuvuutta pyritään tehostamaan eritavoin, tarvittaessa pienitehoisten aksiaalipuhaltimien avulla. Ulkoilmaa ohjataan rakennuksessa rakenteisiin tehtyjä ilmanvaihtoreittejä pitkin pienillä nopeuksilla, eikä kuljeteta pienissä ilmanvaihtokanavissa, joissa nopeudet kasvavat. Ilman liikuttamiseen tarvittava energia yritetään mahdollisuuksien mukaan valjastaa käyttöön muualta, ilman sähkötehoa kuluttavaa puhallinta. Käytännössä hybridiratkaisuissa ilmaa liikutetaan kohteessa lämpötilaerojen sekä tuulienergian synnyttämien paine-erojen avustuksella. Mikäli ulkoiset toimintaolosuhteet hybridijärjestelmälle eivät ole otolliset tai rakennuksen käyttöaste on erityisen korkea, ilman vaihtuvuutta voidaan näissä tapauksissa tehostaa tilapäisesti ilmanvaihtoa avustavilla puhaltimilla. [1, s. 11.]

Järjestelmä poikkeaa olennaisesti perinteisen kaltaisesta painovoimaisesta ilmanvaihdosta. Hybridijärjestelmän ilmanvaihtuvuutta voidaan hallita haasteellisemmissäkin olosuhteissa. Järjestelmien toteuttamisen on mahdollistanut kehittynyt automaatiotekniikka, jonka avulla voidaan ohjata järjestelmän eri osioita hyvän sisäilman ylläpitämiseksi. [1, s. 31.]

Hybridi-ilmanvaihdolla voidaan myös tarkoittaa kiinteistön kokonaisvaltaista ilmanvaihtojärjestelmää, jossa osaa tiloista palvellaan täysin koneellisella ilmanvaihdolla jatkuvasti ja osa kiinteistön tilojen ilmanvaihdosta hoituu otolliseen aikaan täysin luonnollisesti tuuletusikkunoiden tai muiden perinteisten ratkaisujen avulla. Sään ollessa soveltuksen luonnolliseen ilmanvaihtoon voidaan myös näiden tilojen ilmanvaihto toteuttaa koneellisesti.

Hybridi-ilmanvaihtoa on toteutettu erilaisiin rakennustyyppeihin, ja erilaiset rakennustavat vaativat erilaisia toteutustapoja hybridi-ilmanvaihdon toimivuuden varmistamiseksi.

2.2 Erilaiset sovellukset

2.2.1 Julkisivuilmanvaihto

Julkisivuilmanvaihtoa käytetään yleisimmin toimistorakennuksissa, joihin on rakennettu lasinen kaksoisjulkisivu. Sovelluksissa yleensä julkisivun viereiset toimistot ovat luonnollisen ilmanvaihdon alueita, ja toimiston sisävyöhykkeellä sijaitsevia tiloja sekä käytäviä palvelee täysin koneellinen ilmanvaihto. Pelkistetyimmillään julkisivuilmanvaihdossa toimistohuoneen ikkunaseinällä on ala- ja yläreunassa avattavat ikkunaluukut, jotka huoneen käyttäjä avaa tarpeen mukaan. Kaksoisjulkisivun välissä ylöspäin kohoava ilma tehostaa ilman vaihtuvuutta huonetilassa. Erillistä jäähdytystä ei ole, mutta aurinгон aiheuttama yllämpö estetään välitilaan asennettavilla säleverhoilla, jolloin aurinгон lämpö jää kaksoisjulkisivun välitilaan. Aurinkoisina päivinä ilmanvaihtoluukut jou-
tuukin pitämään kiinni lasien välisen tilan lämmönousun takia. [1, s. 14–15.]

Perinteinen julkisivuilmanvaihto ilman minkäänlaista automatiikkaa vaatiikin käyttäjäl-
tään paljon huolellisuutta ja ymmärrystä, jotta tavoitellut sisäilmaolot ylipäätään voivat toteutua. Säleverhoa tulee muistaa käyttää oikein ja kaikkein aurinkoisimmilla hetkillä ilmanvaihtoluukkujen tulee olla kiinni, vaikka se käyttäjästä saattaakin tuntua erikoisel-
ta.

Julkisivuilmanvaihtoa voikin täydentää automatiikalla, jolloin tilan käyttäjän vastuu huoneolosuhteista pienenee merkittävästi. Säleverhoa voidaan esimerkiksi ohjata aika-
ohjauksella sulkeutumaan tiettyinä aikoina keskitetysti ja tuuletusluukkujen ohjaus voi-
daan automatisoida toimimaan huonelämpötilan mukaan. Tuuletusluukkujen varusta-
minen moottorihjauksella antaa myös hyvät edellytykset tehokkaaseen yöjäähdytyk-
seen, koska tuuletusikkunat ovat auki vain julkisivun välitilaan eivätkä ulos asti. [1, s. 16.]

Pisimmälle vietyinä julkisivuilmanvaihto on silloin, kun tilaan rakennetaan myös koneel-
linen ilmanvaihto ja automatiikka valitsee lämpötilojen ja muiden ulkoilman muuttujien
perusteella, onko kyseisenä päivänä käytössä luonnollinen vai koneellinen ilmanvaihto.
[1, s. 17.]

2.2.2 Lämpivirtausilmanvaihto

Lämpivirtausilmanvaihto on luonnollisen ilmanvaihdon sovellus, jota käytetään erityisesti kouluissa ja muissa pienehköissä ja matalissa rakennuksissa. Lämpivirtausilmanvaihdon toteuttamista edellyttää yleensä hieman syrjäisempi sijainti esimerkiksi maaseudulla, jossa ulkoilma ei sisällä suuria määriä saasteita.

Lämpivirtausilmanvaihdossa ilma johdetaan keskitetysti rakennukseen maan sisään rakennettavan tuloilmakäytävän kautta. Maan sisällä sijaitseva käytävä on läpimitaltaan suuri, ja ilman virtausnopeus käytävässä jää täten pieneksi. Pienen virtausnopeuden takia ilman mukana kulkeutuvat hiukkaset laskeutuvat käytävän pohjalle, josta ne on helppo imuroida pois. Ilman hiljaisen liikkeen takia saadaan hyödyksi myös maan lämpö ilman lämmitykseen, ja kesällä vastaavasti maa jäähdyttää ilmaa. Ennen ilman jakamista tiloihin, se vielä esilämmitetään lämmityspatterilla. Ilma jaetaan haluttuihin tiloihin rakennuksen siirtoilmareittejä pitkin ja lopuksi johdetaan ulos keskitetysti poistoilma tornista. [1, s. 20–21.]

Lämpivirtausilmanvaihto ratkaisut varustetaan aina apupuhaltimilla, joilla varmistetaan ilmanvaihtuvuus kaikissa ulkoilmaolosuhteissa. Apupuhaltimet voidaan sijoittaa joko poistoilmatorniin tai raitisilma puolelle. Raitisilmapuolelle sijoitettuna apupuhaltimia voidaan käyttää myös paineen korotukseen, mikäli rakennus sijaitsee alueella, jossa täytyy järjestää perinteinen suodatus ilman epäpuhtauksien vuoksi.

Lämpivirtausilmanvaihto vaatii toimiakseen paljon mittauspisteitä, jotta taloautomaatio voi arvioida milloin avustavat puhaltimet on syytä käynnistää. Puhaltimien käytön minimoimiseksi tiloissa on syytä käyttää tarpeenmukaista ilmanvaihtoa. Tilat varustetaan hiilidioksidianturein, ja kun hiilidioksidipitoisuudet ovat matalia, tilaan ohjattavan ilman määrää vähennetään säätöpellein. Tällä tavoin minimoidaan ilmantarve ja puhaltimien käyntiaika. [1, s. 22.]

2.3 Järjestelmän vahvuudet

Selkein vahvuus ja lähtökohta hybridi-ilmanvaihdon toteuttamiselle on sähköenergian kulutuksen minimointi. Hybridi-ilmanvaihto ei vaadi suuria puhaltimia ilman liikuttamiseen, vaan ilman liike järjestetään muilla tavoin ja sitä tehostetaan tarvittaessa pienitehoisilla apupuhaltimilla; tällöin puhallinenergian kulutus on vähäistä. [2, s. 58–59.]

Käyttäjän näkökulmasta hybridi-ilmanvaihto on hiljainen verrattuna koneellisen järjestelmän tulo- ja poistoilmaventtiileiden aiheuttamaan äänentason. Ilma liikkuu hitaasti suurista säleiköistä, jolloin tilaan ei aiheudu ääniongelmia ilman liikkeestä. Ilman hidas liike luokkatilassa myös vähentää vedon tunnetta, ja ilman vaihtuvuus on huomaamattomampaa.

Hybridi-ilmanvaihto myös koetaan ekologiseksi ja ihmiset työskentelevät mielellään tiloissa, joissa kokevat aiheuttavansa ympäristölle vähemmän rasitusta kuin perinteisen kaltaisesta rakennetusta kohteesta. [1, s. 33.]

2.4 Järjestelmän heikkoudet

Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmät ovat vielä verrattain uutta tekniikkaa, vaikka toteutuksia on jo etenkin Keski-Euroopan alueella [1, s. 51–53]. Toteutukset ovat varsin riippuvaisia vallitsevasta ulkoilmasta ja ympäristöstä, koska monissa ratkaisuihin rakennuksen ilmanvaihtoon käytetään suoraan ulkoa otettua käsittelemätöntä ilmaa. Tällöin ulkoilman on oltava saasteetonta ja sisäilmaksi sopivaa.

Ääni- ja palotekniikka ovat suuria haasteita hybridi-ilmanvaihdon suunnittelemiselle ja toteuttamiselle. Painovoimainen ilman siirtäminen vaatii rakenteisiin suuria aukkoja, jotka kantavat ääntä tilasta toiseen ja tekevät myös palo-osastoinnin näissä kohdissa vähintäänkin haastavaksi, jopa mahdottomaksi.

Toteutukset vaativat myös paljon enemmän taloautomaation ohjausta, kuin perinteinen koneellinen ilmanvaihto. Tämä aiheuttaa enemmän riskitekijöitä ilmanvaihdon moitteetomaan toimintaan, koska mahdollisia ongelmakohtia on paljon useampia ja ongelman selvittäminen voi täten osoittautua vaikeaksi. Monimutkainen taloautomaatio ja runsas määrä mittauspisteitä aiheuttavat myös tilanteen, jolloin perustamiskustannukset koneelliseen ilmanvaihtoon verrattaessa ovat samaa luokkaa, tai joissain tapauksissa jopa suuremmat. [2, s. 31.]

2.5 Järjestelmän haasteet Suomessa

Erityisesti Suomea koskettavia haasteita hybridi-ilmanvaihdon kannattavuuteen on muutamia. Ensimmäinen ja suurin haaste on Suomessa vallitsevat olosuhteet, joihin ei voida vaikuttaa. Kylmät talvet ovat toisaalta hyvä edellytys luonnollisen ilmanvaihdon toimintaan johtuen suuresta ulko- ja sisälämpötilan eroista, mutta kylmä ulkoilma vaatii

suuren lämmitystehon. Hybridi-ilmanvaihtojärjestelmien lämmöntalteenotto on vaikea järjestää kannattavalla tavalla, ja täten rakennuksesta aiheutuu hukkalämpöä valtavat määrät.

Toinen rajoittava tekijä Suomessa hybridi-ilmanvaihdon toteuttamiselle on rakentamismääräykset, joihin ei ole kirjattu poikkeuksia erilaisia järjestelmiä koskien, vaan määräykset on käytännössä kirjoitettu koskemaan koneellista ilmanvaihtoa. Ilmanvaihdon energiamääräyksissä on muun muassa mainittu, että poistoilmasta on voitava ottaa talteen lämpöenergia, joka vastaa noin 45 % tuloilman lämmittämiseen vaadittavasta lämpöenergiamäärästä. Käytännössä tämä vaatii ilmanvaihtoon lämmöntalteenottojärjestelmän. Määräysten mukaan vastaava lämpöenergia voidaan tarvittaessa säästää muillakin tavoin, mutta se edellyttää säästön toteutumisen näyttämistä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaisin tasauslaskelmin. [3, s. 23.]

Sovelletun poistoilman lämmöntalteenoton lisäksi hybridi-ilmanvaihto edellyttää joustoa sisäilmaoloissa varsinkin lämpimien kesäkuukausien aikaan. Kesäkuukausina sisä- ja ulkoilmalla ei käytännössä ole lämpötilaeroa ja ilman vaihtuvuus on käytännössä tuulen aiheuttamien paine-erojen sekä avustavien puhaltimien varassa. Tämän takia järjestelmä sopii parhaiten koulurakennuksiin, jotka ovat kuumimmat kesäkuukaudet ilman käyttöä.

3 Koulun LVI-järjestelmien toiminnan kuvaus

3.1 Lämmitysverkostot

Latokartanon peruskoulu on liitetty kaukolämpöverkkoon ja kaikki rakennuksen lämmitysenergia ostetaan kaukolämpönä. Kaukolämpökeskuksessa on kolme lämmönvaihdinta, eli lämpimälle käyttövedelle, radiaattoriverkostolle sekä ilmanvaihdon lämmitysverkostolle on omat siirtimensä. Lämmönjakokeskus on varustettu etäluentaan liitetyllä kaukolämmön energia- sekä vesivirran mittaavalla mittarilla. Mittari tallentaa muistiinsa 13 edelliskuukauden lukemat, jotka voidaan lukea suoraan mittarista tarvittaessa. Mittarista on mittausviesti talo- ja aluevalvomoon, josta voidaan lukea mittarin kokonaiskulutus. Lämpimän käyttöveden siirtimeen tuleva kylmävesi on varustettu omalla mittarillaan, ja mittarin läpi kulkeneen veden kokonaismäärä voidaan lukea talo- ja aluevalvomosta.

3.1.1 Vesiradiaattoriverkosto

Koulussa on perinteisen kaltainen vesiradiaattorilämmitys, joka palvelee kiinteistön kaikkia tiloja. Yleisissä tiloissa radiaattorit on varustettu tavallisilla termostaattiventtiileillä. Luokkatiloissa radiaattoreissa on sähköisellä toimilaitteella ohjattavat patteriventtiilit. Patteriventtiileiden avautumaa säädetään huonekohtaisen lämpötila-anturin mittaustulosten perusteella.

3.1.2 Ilmanvaihdon lämmitysverkosto

Ilmanvaihdon lämmitysverkosto palvelee koulun ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereita sekä hybridi-ilmanvaihdon lämmityspattereita.

3.2 Hybridi-ilmanvaihto

Hybridi-ilmanvaihto palvelee noin puolta koulun tiloista ja neljää viidesosaa tavallisista perusopetukseen tarkoitetuista luokkahuoneista. Raitisilma johdetaan kahden raitisilmatornin kautta kahteen erilliseen maan alla sijaitsevaan raitisilmakäytävään, jotka palvelevat kokonaisuudessaan kahta rakennuksen neljästä osasta. Raitisilmatorneihin on rakennettu suodatinseinä ja suodattimina käytetään pussisuodattimia. Raitisilmatornien huiput sijaitsevat 2. kerroksen tasolla räystäskorkeudella. Toinen raitisilmatorni on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Raitisilmatorni koulun kulmassa.

Raitisilmatornin pohjalla sijaitsee sivulle lähtevä käytävä, jonka kautta raitisilma johdetaan luokkatiloihin. Käytävän suulla on koko aukon kattava pienen painehäviön aiheuttava vesikiertoinen lämmityspatteri. Patterin toisessa laidassa on päällekkäin kolme puhallinta, jotka tehostavat ilmanvaihtoa tarvittaessa. Lämmityspatterin edessä on kaksiosaisesti ohjattavat moottoripellit, toinen osio on puhaltimien kattavan alueen edessä ja toinen paljaan lämmityspatterin edustalla. Ilmanvaihdon toimiessa puhallinavusteisesti sulkupellit ohjataan kiinni muualta kuin puhaltimien edustalta. Sulkupeltien tarkoituksena on estää tilanne, jossa ilma virtaa takasin raitisilmatorniin tuloilmakäytävistä lämmityspatterin lävitse. Tällainen tilanne olisi todennäköinen, koska puhaltimet aiheuttavat paineenkorotuksen tuloilmakäytävään ja paine-ero lämmityspatterin yli on erittäin pieni. Lämmityspatteri ja sulkupellit on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Lämmityspatterin sulkupellit ja avustavat puhaltimet.

Tiloihin ilma jaetaan raitisilmakäytävistä ilmanvaihtokanavien avulla ja ilma siirtyy luokkatilaan ikkunaseinällä sijaitsevan ikkunapenkin kautta. Ikkunapenkkiin sijoitetut lämmityspatterit tehostavat ilman siirtymistä lämmityskaudella. Jokainen kanava on varustettu säätöpellillä, jonka avautumista ohjaa tilakohtainen hiilidioksidianturi. Raitisilmakäytävä ja luokkakohtaiset kanavat säätöpelteineen on esitetty kuvassa 3.



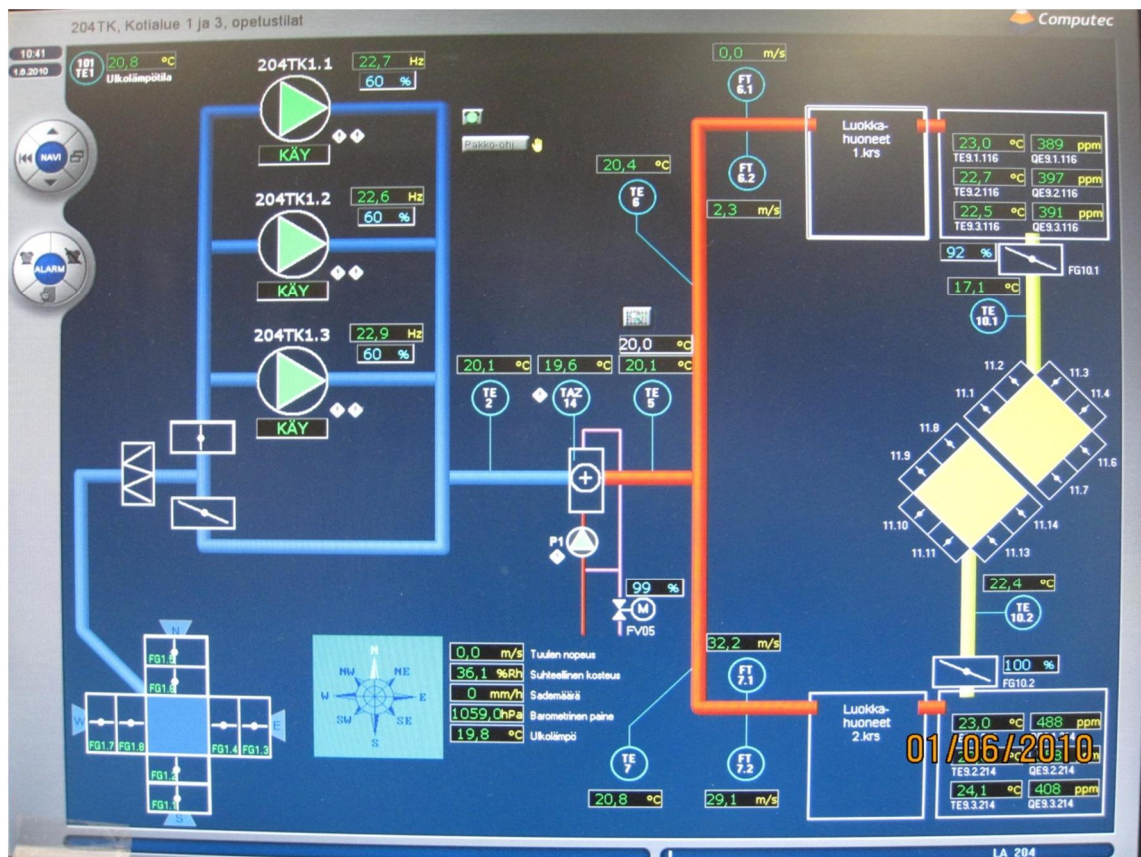
Kuva 3. Tuloilmakäytävä ja tilakohtaiset tuloilmakanavat. Kuvassa näkyvät myös virtausanturit.

Luokkatiloista ilma ohjataan siirtoilmasäleiköiden kautta luokkien yhteiseen aulatalaan, niin kutsuttuun kotiaulaan. Kotiaulassa on suuri poistoilmasäleikkö, joka liittyy katon yläpuolelle nousevaan poistoilmatorniin. Poistoilmatorni on katettu, ja jokaisella tornin neljästä seinästä on seinustan levyiset sulkupellit. Sulkupeltejä ohjataan tuulen suunnan mukaan siten, että tuulen puolella oleva pelti suljetaan. Pellin sulkemisella ehkäistään tuulen painuminen leveään poistoilmatorniin ja sitä kautta takaisin kotiaulaan. Muut pellit ovat auki, jolloin tuuli auttaa painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaa vetämällä poistoilman mukaansa poistoilmatornin alipaineiselta puolelta. Avustavien puhaltimien käynnistymistä ohjaavat tilakohtaiset hiilidioksidi- ja lämpötila-anturit.

Ilmanvaihdon toimintaketjun kuvaus

Koulun ollessa tyhjä, ei tiloissa ole hiilidioksidi eikä lämpökuormaa. Tällöin huonetilojen tulokanavien säätöpellit ovat miltei kiinni. Luokkahuoneiden lämpötilan laskiessa asetusarvon alapuolelle lämpötila-anturi lähettää viestin patteriventtiin toimilaitteelle, joka avaa luokan patterin venttiiliä tarvittavan määrän. Ulkoilmakanavassa lämmityspatterin sulkupellit ovat auki ja avustavat puhaltimet eivät käy. Ilmanvaihto toimii painovoimaisena, jota tehostavat luokkatilojen ikkunapenkeissä sijaitsevat lämmityspatterit.

Tiloihin tullessa käyttäjiä, luokan lämpötila ja ilman hiilidioksidipitoisuus kasvavat. Toimilaitteet ohjaavat patteriventtiilejä kiinni lämpötilan asetusarvon ylittyessä ja hiilidioksidikuorman lisääntyessä tuloilmakanavien säätöpellit avautuvat tarvittavan määrän, jotta hiilidioksidi arvo pysyy asetusarvoissaan. Mikäli hiilidioksidipitoisuus ei laske asetusarvoonsa säätöpellin ollessa 100 % auki tai lämpötila ei laske asetusarvoonsa patteriventtiileiden ollessa kokonaan kiinni, lähtevät tuloilman avustavat puhaltimet käyntiin. Puhaltimien käynnistyessä patterin sulkupelti ohjataan kiinni. [4, s. 15–18] Kuvassa 4 on taloautomaation pelkistetty järjestelmäkaavio havainnollistamaan toimintaa.



Kuva 4. Järjestelmäkaavio hybridi-ilmanvaihdosta.

3.3 Koneellinen ilmanvaihto

3.3.1 Yleisilmanvaihto

Kahta koulun neljästä osiosta sekä osioita yhteen sitovaa aulatilaa palvelee koneellinen tulo-poisto ilmanvaihto. Koneellisen ilmanvaihdon alueella sijaitsee koulun hallintosiipi, yksi viidennes tavanomaiseen käyttöön suunnitelluista opetustiloista, erikoisluokkatilat kuten ATK-tila, fysiikan/kemian opetustila, maantiedon/biologian opetustila, koulun kirjasto ja musiikki- sekä kuvaamataidon opetustilat. Lisäksi koulun korkea aula on koneellisen ilmanvaihdon palvelualueella. Tilojen ilmavirtoja säädetään tilakohtaisten hiilidioksidiantureiden mittaaminen pitoisuuksien perusteella. Tilan ollessa tyhjä käytetään tilassa ainoastaan minimi-ilmanvaihtoa. Koulun käsityön opetustiloja palvelee oma ilmanvaihtokone, ja myös koulun keittiötiloilla sekä opetuskeittiöllä on oma yhteinen ilmanvaihtokoneensa.

3.3.2 Erilliskoneet

Valmistuskeittiötä sekä opetuskeittiötä palvelee oma tuloilmakone ja tilojen poistoilma hoidetaan kahdella erillisellä huippuimurilla. Teknisen työn tilaan on koteloitu oma tuloilmakone ja poistoilmaa varten on oma huippuimuri. Tilassa on myös kohdepoistoja jotka otetaan käyttöön tarvittaessa.

3.3.3 Erillispoistot

Kotiaulojen yhteydessä sijaitsevista WC-tiloista on koneelliset erillispoistot ja tiloihin tulee ilma siirtoilmana kotiaulasta. Erillisiä poistokoneita on myös keittiön poistossa ja käsityötilassa.

4 Sisäilmaolosuhteet

4.1 Lähtökohdat

4.1.1 Sisäilmaolosuhteet

Lähtökohdan sisäilmaolojen tarkastelun tarpeellisuudelle antavat käyttäjien kuvaamat sisäilmaongelmat. Koulun useat opettajat ovat kertoneet kokevansa koululla vallitsevan

sisäilman huonoksi ja vaikuttavan heidän työntekoonsa. Yleisimmin mainittuja opettajien tuntemuksia ovat olleet pääkivut, hengitysongelmat ja väsymyksen tunne.

Sisäilman hallinta tapahtuu taloteknisellä puolella ilmanvaihtojärjestelmien avulla. Ilmanvaihtojärjestelmillä hallittavat sisäilmaan vaikuttavat tekijät ovat käytännössä lämpötila, hiilidioksidipitoisuus sekä ilmankosteus. Mikäli näiden tekijöiden pitoisuudet poikkeavat suuresti tavoitearvoista, tämä saattaa aiheuttaa tuntemuksia huonosta sisäilmasta ja aiheuttaa huonovointisuutta.

4.1.2 Sisäilmaolojen kartoitus

Koulun henkilökunnan kuvaamat ongelmat eivät keskittyneet tietyn järjestelmän palvelualueelle (koneellinen–hybridi) vaan olivat enemmänkin kokonaisvaltaisia koko koulun alueella. Sisäilmaolojen karkean kartoituksen suoritimme yhden koulupäivän aikana sijoittamalla useaan eri luokkaan mittalaitteen eri järjestelmien palvelualueille. Mittarit sijoitettiin jokaisen kotiaulan yhteen luokkaan hybridi-ilmanvaihdon palvelualueilla sekä yhteen luokkatilaan perinteisen koneellisen ilmanvaihdon palvelualueella. Mittaamamme suureet olivat hiilidioksidipitoisuus, lämpötila sekä ilmankosteus. Lisäksi kiersimme koulua yhden mittarin kanssa, joka sisälsi ilmanvirtausmittauksen sekä lämpötilanturin. Koulua kiertäessämme tutkimme ilmanvaihdon toimivuutta mittaamalla satunnaisesti ilmanvaihtoelinten läheisyydestä, kulkeeko ilmaa tilaan. Lisäksi mittasimme jatkuvasti eri tilojen lämpötiloja ja havainnoimme ilmaa omien aistiemme varaisesti.

4.1.3 Kartoituksen tulokset

Sisäilman karkea kartoitus suoritettiin 1.6.2010. Tällöin koulutyö ennen kesäloman alkamista ei ollut vielä loppunut, ja oppilaat olivat normaaliin tapaan koulussa. Päivä oli aurinkoinen ja ulkolämpötila oli +21 °C. Koulua tarkasteltaessa ei löytynyt selkeitä sisäilman ongelmakohtia, eikä niitä ilmennyt mittaustuloksien perusteella referenssi-luokistakaan. Huomioitavaa kartoituskierroksessa on kuitenkin opettajien luokkatilojen tuuletus ikkunoiden kautta tauoilla ja jopa tuntien aikana. Tuuletuksen takia tulokset eivät anna selväpiirteisesti kuvaa ilmastointijärjestelmien toiminnasta. Kartoituksen aikana suoritettujen opetustilamittausten tuloksia on esitetty liitteessä 1.

4.2 Sisäilmamittaukset

4.2.1 Referenssitilan valinta

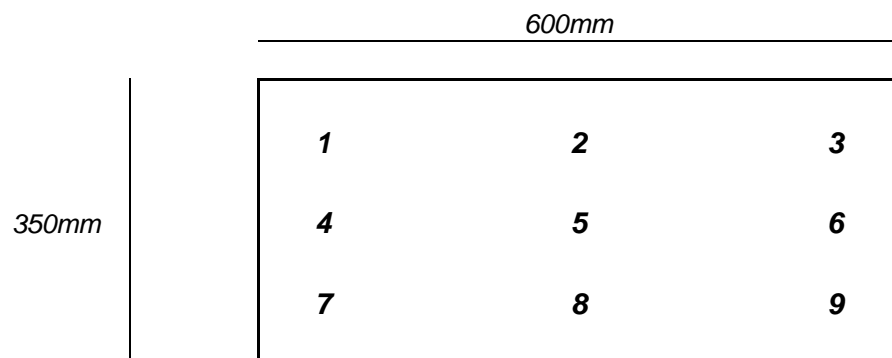
Pidempiaikaisiin sisäilmamittauksiin valittiin yksi referenssiluokka hybridi-ilmanvaihdon palvelualueelta. Luokaksi valittiin 2. kerroksessa sijaitseva Speltti-opetustila. Luokka sijaitsee kotiaula 3:n alueella, josta henkilökunta on kertonut havaintoja huonosta ilmanlaadusta. Lisäksi mittauskohteeksi valittavan luokkatilan vakituinen opettaja oli jäänyt sairauslomalle.

4.2.2 Mittausjärjestelyt

Referenssiluokasta mitattiin ilmanvaihtojärjestelmällä hallittavia suureita, muita mahdollisia pitoisuuksia mittauksissa ei otettu huomioon. Mitattavat suureet olivat ilman lämpötila, hiilidioksidipitoisuus sekä kosteus. Mittausjakson pituus oli yksi koulupäivä kerrallaan. Mittaukset suoritettiin TSI Velocicalk 980 -mittarilla mittausvälin oltua 2 min. Mittari sijoitettiin mitattavan tilan luonteen vuoksi oleskeluvyöhykettä korkeammalle. Sopivaksi sijoituspaikaksi valittiin noin 2 m korkean kaapin päällys, paikka on esitetty kuvassa 5. Kaapin yläpuolella sijaitsi siirtoilmasäleikkö, joten luokasta siirtyvä ilma kulki mittauspisteen ohitse. Jatkuvan mittauksen lisäksi luokkatilan ilmavirta selvitettiin mitaamalla kuumalanka-anturilla ilmannopeuksia siirtoilmasäleikön otsapinnalta, mittarina toimi TSI Velocicalk 960. Ilmavirtaa mitattiin useasta pisteestä ja näiden nopeuden keskiarvon avulla määriteltiin karkea ilmavirta luokkatilasta aulaan. Kuvassa 6 on esitetty säleikön otsapintanopeuden mittauspisteet.



Kuva 5. TSI Velocicalc -mittarin sijoitus. Kuvassa näkyy myös ovipielen lämpötila- ja hiilidioksidiantureiden sijainti sekä siirtoilmasäleikkö aulaan.



Kuva 6. Siirtoilmasäleikön ilmannopeuden mittauspisteet. Mittaustulokset esitetty liitteessä 3.

4.2.3 Vertailu koulun trendeihin

Verrattaessa tehtyjen kenttämittausten tuloksia luokkatilanhiilidioksidi anturista saata-vaan trendikäyrään voitiin todeta mittarin ja anturin mittaustulosten vastaavan toisi-

aan. Vertailun tuloksien perusteella voidaan käyttää koulun taloautomaatiosta saatavia trendikäyriä sisäilman analysoinnin apuvälineenä. Luokkatilan anturi mittaa TSI-mittaria korkeampia hiilidioksidilukemia. Tämä saattaa kuitenkin johtua mittalaitteiden erilaisesta sijainnista, luokkatilan anturi mittaa pitoisuuksia lähempää oleskeluvyöhykettä. Mikäli huoneanturi mittaa todellisuutta korkeampia hiilidioksidiarvoja, tämä ei vaikuta luokan sisäilmaoloihin negatiivisesti, vaan sillä on ainoastaan parantava vaikutus. Mikäli se mittaa liian korkeita arvoja, muodostuu ongelmaksi kuitenkin puhaltimien liian aikainen käynnistyminen ja täten lämpö- ja sähköenergian hukkaa. Liitteessä 2 on esitetty TSI-mittarilla mitatut hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila sekä talovalvomon trendikäyrä tilan hiilidioksidipitoisuudesta ja lämpötilasta samalla aikavälillä.

4.3 Sisäilmamittausten tulokset

4.3.1 Vertailukohteet

Sisäilmamittauksilla saavutettuja tuloksia verrataan kahteen suunnitteluun ohjeita antavan dokumenttiin. Kyseiset dokumentit ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liite 1 sekä LVI-kortti 05-10440: Sisäilmastoluokitus 2008.

Rakentamismääräyskokoelman osa D2 käsittelee rakennusten sisäilmastoa sekä ilmanvaihtoa antaen asiaan määräyksiä sekä ohjeistusta. Määräyksissä ei ole annettu tarkkoja arvoja lämpötiloille tai ilman pitoisuuksille, mutta ohjeissa niitä on ja liitteessä 1 on ohjearvoja ulkoilmamäärille eri tiloissa.

Sisäilmastoluokitus on huomattavasti yksityiskohtaisempi tarkkoine ohjearvoineen. Ohjearvoja löytyy hiilidioksidipitoisuudelle ja huonelämpötilalle. Sisäilmastoluokitus jakaa sisäilman kolmeen eri luokkaan tavoitearvojen perusteella. Vaatimattomin luokka on S3, jonka mainitaan olevan tyydyttävä sisäilma, täyttäen rakennusmääräysten vähimmäisvaatimukset. Keskimmäinen luokka on S2, joka on hyvän sisäilmaston mukainen luokka. Luokan S2 vaatimustason täyttävissä tiloissa sisäilma on hyvä, tilassa ei ole ilmanlaatua heikentäviä epäpuhtaus lähteitä, lämpöolot ovat hyvät ilman vetoisuutta, mutta tilan yllämpenemistä saattaa esiintyä lämpiminä vuorokausina. Korkeimmassa S1-luokassa vaaditaan yksilöllinen sisäilmasto, jossa tavoitearvot ovat vielä S2-luokkaa korkeampia ja lämpötilojen tulee olla yksilöllisesti tilan käyttäjän hallittavissa. Tarkastelussa luokkatilasta mitattuja arvoja verrataan nimenomaan sisäilmastoluokituksen S2-luokkaan, eli hyvään sisäilmastoon. [5, s. 4.]

4.3.2 Ilmamäärät

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 liite 1 ohjeistaa opetustilojen ilmavirroista seuraavaa: opetustilojen ulkoilmavirran määrän tulisi olla 6 (dm³/s)/henkilö tai 3 (dm³/s)/m² [3, s. 29]. Seurannassa olleen luokkatilan ala on 38 m², ja tilassa on 16 oppilaspaikkaa sekä opettajan työpiste. Rakentamismääräysten suosittelema ilmamäärä kyseiseen luokkatilaan olisi täten oppilaiden lukumäärän perusteella 102 dm³/s ja luokkatilan koon perusteella 114 dm³/s.

Sisäilmastoluokituksen luokan S2 mukaiset vaatimukset ulkoilmavirran suhteen ovat vastaavasti 8 (dm³/s)/henkilö tai 4 (dm³/s)/m² [5, s. 14]. Luokituksen täyttämiseksi oppilaiden lukumäärän perusteella ilmavirran tulisi olla 136 dm³/s ja luokkatilan alan perusteella määritettäessä 152 dm³/s.

Suunnitteluarvona tarkasteltavassa opetustilassa on käytetty 40–136 dm³/s, muuttuen tilan käyttöasteen mukaisesti.

Mittausten perusteella luokkatilan ilmanvaihto on noin 150 dm³/s, kun avustavat puhaltimet on pakko-ohjattu käymään maksimiteholla. Puhaltimien käydessä taloautomaattikan ohjaamina, tilan ilmanvaihto muuttuu käyttöasteen mukaan. Luokkatilan ollessa käytössä normaalisti, automaattikalla ohjattuna suurin luokkatilan siirtoilmasäleiköstä mitattu ilmavirta oli 119 dm³/s. Ilmamäärämittausten tuloksia on esitetty liitteessä 3.

4.3.3 Lämpötilat

Määräystasolla opetusrakennusten sisäilman lämpötiloista ei ole määrätty muuta kuin että viihtyisä oleskelulämpötila tulee kyetä ylläpitämään ilman tarpeetonta energiankäyttöä. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on kuitenkin ilmoitettu yleisimmät suunnitteluarvot, jotka ovat +21 astetta celsiusta lämmityskaudella ja +23 kesäkaudella [3, s. 6].

Sisäilmastoluokituksen S2-luokan mukainen oleskelualueen operatiivisen lämpötilan maksimiarvo lämmityskaudella on +23 astetta. Kun ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvo on +20...+25 astetta sallitaan, sisälämpötilaksi +27 astetta [5, s. 6].

Tarkastelujakson aikana Speltti-opetustilan lämpötilat pysyvät lämmityskaudella S2-luokituksen mukaisessa +23 asteen maksimilämpötilassa käytön aikana. Tarkastelujakso oli 13.1.–7.4. jonka aikana ulkolämpötilan vaihteluja tapahtui paljon. Jakson ajalta mitattu suurin sisälämpötila oli +24 astetta, joka toistuu muutaman kerran hetkellisenä arvona. Mittausjakson keskilämpötila oli noin +21,4 astetta, joka kuvastaa opetustilan lämpötilan pysyvän erittäin hyvin asetusravossaan. Seurannan tulokset on esitetty liitteessä 4.

4.3.4 Ilmankosteus

Ilmankosteudelle ei ole määritelty rakentamismääräyksissä tavoitearvoja, mutta ilmankosteuden on oltava tilan käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Lisäksi ilmankosteutta täytyy kyetä hallitsemaan siten, ettei kosteus tiivisty pinnoille, ilmanvaihtojärjestelmään tai rakenteisiin siten, että se aiheuttaisi kosteusvaurioita tai terveydelle haitallista mikrobi- tai bakteerikasvustoa [4, s. 7].

Sisäilmastoluokitus antaa tavoitearvoja ilmankosteudelle vasta luokassa S1, eli sisäilmastoluokan S2 vaatimustasoon ilmankosteudella ei ole vaikutusta [5, s. 13].

Ilmankosteutta mitattiin luokkahuoneesta muutamilla yhden päivän mittaisilla mittausjaksoilla, eikä ilmankosteudessa havaittu tavallisuudesta poikkeavia arvoja mittauskerroilla tai muissakaan tilanteissa.

4.3.5 Ilman hiilidioksidipitoisuus

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 määräysten mukaisesti rakennuksen sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallista määrää kaasuja, hiukkasia, mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja. Ohjeistuksen mukainen hiilidioksidipitoisuuden raja-arvo tavannomaisissa sääoloissa käytönaikana on 1 200 ppm [3, s. 7].

Sisäilmaluokituksen luokassa S2 vaatimustaso on tiukempi ja luokituksen kriteerit täytetään sisäilman hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvo on 900 ppm. Sisäilman hiilidioksidipitoisuuteen sallitaan kuitenkin pieniä ylityksiä, mutta käytönaikana opetustiloissa hiilidioksidipitoisuuden tulisi alittaa 900 ppm 90 % käyttöajasta [5, s. 6].

Seurattavan opetustilan hiilidioksidipitoisuudet pysyvät varsin hyvin S2-luokituksen vaatimissa rajoissa. Mittausjaksolla hiilidioksidipitoisuuden maksimiarvoksi mitattiin noin 760 ppm, eli hiilidioksidipitoisuus ei ylitä sallittua arvoa missään tilanteessa mittausjak-

solla. Sisäilmastoluokituksen mukainen S2-luokka sallisi vielä 900 ppm:n ylityksen 10 % käyttöajasta.

5 Energiatarkastelu

5.1 Energiankulutuksen kuvaus

Tavoitellussa tilanteessa koulun energiankulutuksen jakauman pitäisi poiketa tavanomaisesti rakennetusta koulusta. Osassa koulua käytössä oleva hybridijärjestelmän tulisi kuluttaa sähköenergiaa huomattavasti vähemmän kuin koneellisen ilmanvaihdon. Hybridijärjestelmässä ei kuitenkaan ole minkäänlaista lämmöntalteenottoa, joten lämpöenergian kulutus on tavallista suurempaa.

Kiinteistön sähkönkulutusta pitäisi vähentää myös koulun katolle asennetut aurinkopaneelit, joiden tuottama sähkö saadaan myös suoraan käyttöön.

Lähtökohtaisesti verrattaessa koulun energiankulutusta tavanomaisesti rakennettuun vastaavaan kiinteistöön tulisi sähköenergian kulutuksen olla pienempi kuin tavallisessa rakennuksessa ja lämmitysenergian kulutuksen mahdollisesti jopa suurempi.

5.2 Kulutusvertailu Helsingin kaupungin kouluihin

Taulukossa 1 on esitetty Helsingin kaupungin rakennusvirastolta saatuja kulutustietoja Latokartanon peruskoulusta vuosilta 2009 ja 2010 sekä Helsingin kaupungin muiden koulujen energiankulutuksen keskiarvot vastaavilta vuosilta. [6]

Taulukko 1. Energiankulutusvertailu Helsingin muihin opetusrakennuksiin.

	Lämpöenergian kulutus (kWh/m ³)	Sähköenergian kulutus (kWh/m ³)
Latokartano (2009)	<u>44,6</u>	<u>11,0</u>
Muut koulut (2009)	37,4	13,5
Latokartano (2010)	<u>51,2</u>	<u>18,9</u>
Muut koulut (2010)	37,4	13,5

Kuten taulukosta 1 nähdään, on Latokartanon koulu kuluttanut sähkö- sekä lämmitysenergiaa käyttöaikanaan enemmän kuin Helsingin kaupungin muut opetusrakennukset.

Taulukon kulutusarvoja tarkastellessa täytyy kuitenkin muistaa, että koulun talotekniikka ei ole ollut suunnitelmien mukaisessa toiminnassa käytännössä kummankaan vuoden aikana. Suunnitelmista poikkeava käyttö selittyy käyttöönoton jälkeisillä rakennuksen tuuletuksilla sekä korjaus- ja muutostöillä, joita kouluun on tehty käyttöönoton jälkeen. Kiinteistön sähkönkulutuksesta osa koostuu myös rakennusajan sähkökäyttöä sekä sähkökuivaimista, joita koulun tiloissa on jouduttu käyttämään kiinteistössä tapahtuneen vesivahingon kuivatustöihin vuoden 2010 aikana.

Vuoden 2009 osalta kulutustietoihin vaikuttaa myös mainittu rakennusajan sähkökäyttö ja rakennuksen käyttöönoton tapahtuminen vasta elokuussa 2009.

5.3 Kulutusvertailu Motivan kulutustietoihin

Motiva on tilastoinut energian kulutustietoja rakennustyypeittäin 2000-luvulla tehdyistä energiakatselmuksista. Taulukossa 2 on vertailtu Latokartanon peruskoulun kulutusarvoja Motivan vuosilta 2000–2007 tehtyjen katselmusten keskiarvoon, alakvartaaliin sekä kulutusarvoon jossa on ollut ainoastaan 10 % katselmusten kouluista. Ottaen huomioon, että kohteessa on pyritty energiatehokkaaseen rakentamiseen ja katselmuksissa tarkastellut rakennukset ovat vanhempaa rakennuskantaa, tulisi latokartanon koulun kulutuksella tavoitella 10 %:n kulutusarvoja.

Taulukko 2. Energiankulutusvertailu Motivan energiakatselmus tuloksiin.

	Motiva 10 %	Motiva alakov	Motiva MED	Latokartano (2009)	Latokartano (2010)
Lämpöenergia (kWh/m ³)	27,0	32,9	41,8	<u>44,6</u>	<u>51,2</u>
Sähköenergia (kWh/m ³)	7,4	9,3	11,8	<u>11,0</u>	<u>18,9</u>

Taulukosta 2 voidaan todeta Latokartanon peruskoulun energiankulutuksen olevan Motivan tekemien energiakatselmuksien keskiarvojen yläpuolella. Varsinkin vuoden 2010 kulutukset ylittävät jopa keskiarvot selvästi. Motivan taulukot energiakatselmusten tuloksista on liitteenä 5.

5.4 Arvio energiatehokkuudesta

Vuosina 2009 ja 2010 Latokartanon peruskoulun ei voida millään mittarilla väittää olleen energiatehokas. Kulutuslukemia tarkastellessa tulee kuitenkin edelleen muistaa, että koulussa on ylläpidetty rakennuksen käyttöönoton jälkeisiä tuuletuksia sekä tehostettua ilmanvaihtoa vielä vaaditun tuuletusajan jälkeen. Tämän takia ilmanvaihtokoneet ja hybridi-ilmanvaihdon avustavat puhaltimet on pitkällä aikavälillä ohjattu käymään 24 tuntia vuorokaudessa. Tämä luonnollisesti kasvattaa energian kulutusta huomattavasti, kun normaalitilanteessa ilmanvaihtoa vähennetään merkittävästi käytönajan ulkopuolella.

Koulun järjestelmien todenmukainen energiantarve nähdään vasta kun rakennuksen ilmanvaihtoa ja muita järjestelmiä pystytään käyttämään automaatio suunnitelmien mukaisesti.

6 Talotekniikkajärjestelmien ongelmakuvaukset

6.1 Hybridi-ilmanvaihdon lämmityspatteri

Hybridi-ilmanvaihdossa käytetään lämmityspatterina suurta matalapainehäviöistä lamellipatteria, jonka mitat ovat 1500 x 1800 mm. Ilmanvaihdon avustavat puhaltimet (3 kpl) on sijoitettu patterin etupuolelle päällekkäin, toiseen reunaan lämmityspatteria, kuten on esitetty kuvassa 7. Puhaltimet peittävät patterin alasta noin yhden kolmanneksen. Ilmanvaihdon toimiessa täysin painovoimaisesti patterin koko pinta-alan läpi kulkee ilmaa ja patteri täten lämmittää ilmaa koko alallaan. Avustavien puhaltimien käynnistyessä sulkupellit sulkevat patterin vapaan virtauksen alasta noin kaksi kolmannesta, ja puhaltimet puhaltavat ilman läpi patterin vapaasta kolmanneksesta. Osa lämmityspatterille kulkevan ilman vapaan virtauksen aukosta suljetaan puhaltimien käydessä, jotta vältetään ilman takaisintulo patterin toisesta laidasta matalamman paineen alueelle raitisilmatorniin. Peltien sulkeminen aiheuttaa kuitenkin tilanteen, jolloin

ilma kulkee lämmityspatterin läpi vain patterin yhden kolmanneksen alueelta. Tällöin patterin koko lämmitystehoa ei saada käyttöön ja ilma kuormittaa patteria vain pieneltä osalta.

Patterin pinta-alan osittainen käyttö aiheuttaa useita erilaisia ongelmia, kuten patterin lämmitystehon riittämättömyyden pakkasilla. Ilman kulku ainoastaan osasta patteria aiheuttaa myös ongelmia patterin säätöön, mikä on kuvattu seuraavassa kohdassa.



Kuva 7. Lämmityspatterin avustavat puhaltimet ja sulkupellit. Kuvassa avustavat puhaltimet ovat käynnissä ja sulkupelti vapaalla virtausalueella on kiinni.

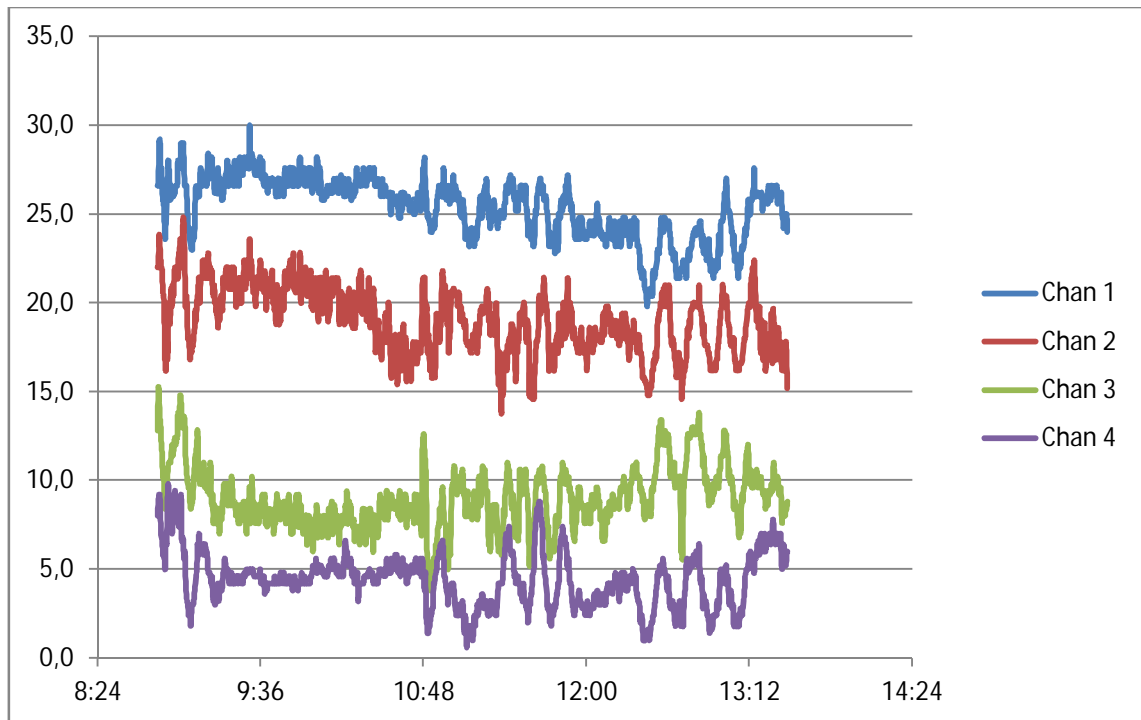
6.2 Lämmityspatterin moottoriventtiilin ohjaus

Lämmityspatterin moottoriventtiiliä ohjaa lämpötila-anturi, joka sijaitsee tuloilmakäytävän katossa noin kahden metrin päässä lämmityspatterista. Kuvassa 8 on esitetty lämpötila-anturin sijoitus. Ongelman moottoriventtiilin ohjaukseen aiheuttaa vain osan patteria lävistävä ilmavirta. Kuvassa 8 näkyy myös kokonaisuudessaan tuloilmakäytävän lämmityspatteri. Avustavat puhaltimet ovat patterin kuvasta katsottuna vasemman

kolmanneksen takana. Avustavien puhaltimien ollessa käynnissä ilma liikkuu patterin läpi käytännössä vain tältä alueelta. Kuvassa oikealle jäävät kaksi kolmannesta vain lämpenevät, eikä alueella ole ilmavirtaa siirtämässä patterin vierestä lämmennytta ilmaa pidemmälle käytävään. Ilmavirran puutteen seurauksena lämmennyt ilma nousee tuloilmakäytävän kattoon ja leviää katossa eteenpäin. Samanaikaisesti patterin kolmannes ei riitä lämmittämään tulevaa ilmaa asetusarvoon ja selvästi kylmempi ilma-massa vajoaa käytävän lattiapintaan. Kuvassa 9 on esitetty lämpötilan jakautuminen tuloilmakäytävässä moottoriventtiiliä ohjaavan lämpötila-anturin läheisyydessä, korkeudet: anturi 1, 1400 mm; anturi 2, 1000 mm; anturi 3, 500 mm; anturi 4, 100 mm.



Kuva 8. Moottoriventtiiliä ohjaava lämpötila-anturi ja lämmityspatteri.

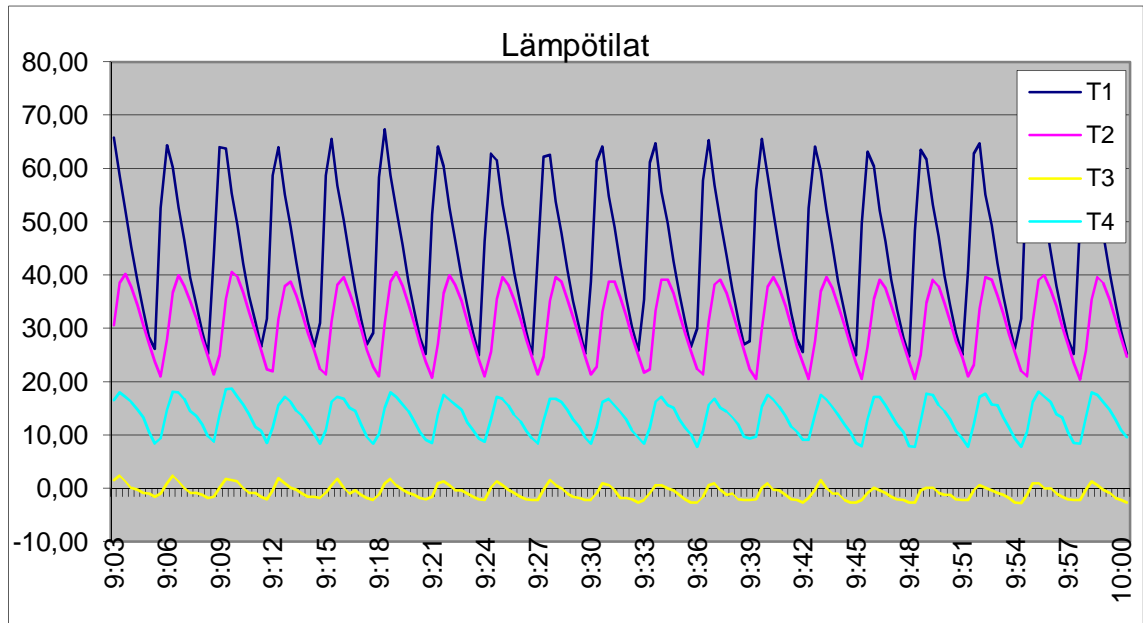


Kuva 9. Lämpötilan jakautuminen tuloilmakäytävässä eri korkeuksilla. Mittauspisteiden korkeudet: Chan 1, 1400 mm; Chan 2, 1000 mm; Chan 3, 500 mm; Chan 4, 100 mm.

Ongelma on pahimmillaan tilanteessa, jossa avustavat puhaltimet pyörivät pienellä teholla, eikä puhaltimien ilmavirta näin ollen pääse sekoittamaan voimakkaasti kerrostunutta ilmaa. Ilman voimakas kerrostuminen aiheuttaa välillä tilanteita, joissa lämpötila-anturi mittaa tuloilmakäytävästä niin korkeita arvoja, että se sulkee patterin moottoriventtiiliä. Tietyissä olosuhteissa kerrostuminen on niin voimakasta, että toimilaitte ohjaa moottoriventtiilin kokonaan kiinni, vaikka lämmityspatterin läpi puhalletaan selkeästi pakkasen puolella olevaa ilmaa. Tällaisissa tilanteissa lämmityspatterin paluueden lämpötila laskee voimakkaasti ja jäätymissuoja avaa moottoriventtiilin säännöllisin väliajoin 100 % auki ja hetken päästä kiinni. Tilanne vain vahvistaa kerrostumista, koska lämmityspatterin lämmittää täydellä teholla. Alueella jossa ilmavirtaa patterin läpi ei ole, patterin vierestä lämmin ilma nousee tuloilmakanavan kattoon. Tällaisissa tilanteissa lämmityspatteria ohjaa ainoastaan jäätymissuoja, lämpötila-anturin mitatessa kokoajan vähintään asetusarvon lämpötilaa tuloilmakäytävän katosta.

Tilanne on huono, koska se kuormittaa patterin toimilaitetta jatkuvasti, venttiilin jatkuva 100 %:n aukeaminen aiheuttaa energiahukkaa eikä taloautomaatio enää käytännössä ohjaa lämmityspatterin toimintaa. Kuvassa 10 havainnollistetaan lämpötilojen

avulla kuvatuunlainen tilanne, jossa T1 on patterin menoveden lämpötilä, T2 on patterin paluuv veden lämpötilä, T3 on lämpötilä ennen lämmityspatteria, T4 on lämpötilä raitisilmakanavassa noin 300 mm:n korkeudella.



Kuva 10. Lämpötilat patterin vesi- ja ilmavirroissa. T1 on lämmityspatterin menoveden lämpötilä, T2 on lämmityspatterin paluuv veden lämpötilä, T3 on ilman lämpötilä ennen lämmityspatteria, T4 on lämpötilä tuloilmakanavassa noin 300 mm korkeudella.

6.3 Kotiaulan ylipaine

Kotiaulat ovat luokkatiloja yhdistäviä alueita, joihin tulee tuloilma siirtoilmana luokkatiloista. Kotiauloista osa ilmasta poistetaan erillispuhaltimien kautta WC-tiloista ja suurin osa painovoimaisesti poistoilmatornin kautta. Kotiaulan säleikkö poistoilmatorniin on esitetty kuvassa 11. Poistoilmatornissa on poistoilmasäleiköt neljään suuntaan, ja kaikki suunnat on varustettu sulkupellein. Mikäli kaikki sulkupellit ovat auki, pääsee kovissa tuulenpuuskissa tuuli myös painamaan ilmaa sisään kotiaulaan, johtuen poistoilmatornin leveästä aukosta. Tuulen painaessa ilmaa sisään poistoilmatornista ja avustavien puhaltimien paineistaessa raitisilmakäytävän sekä luokkatilat aiheutuu kotiaulan alueelle merkittävä ylipaine. Aulassa vallitseva ylipaine saattaa vaikuttaa sisäilman laatuun, kun ilma ei pääse vaihtumaan riittävästi. Myös kosteuden siirtyminen rakenteisiin on mahdollista, mikäli tilanne jatkuu pitkään.



Kuva 11. Kotiaulan poistoilmasäleikkö poistoilmatorniin.

6.4 Hiilidioksidianturit

Toimimattomat tai väärin mittaavat hiilidioksidianturit vaikuttavat merkittävästi ilman vaihtuvuuteen hybridi-ilmanvaihdon alueella. Mikäli anturi ei toimi, ei tilan ilmanvaihto tehostu kuorman kasvaessa. Liian korkeita lukemia näyttävät anturit käynnistävät avustavat puhaltimet liian aikaisin, vaikkei todellista tarvetta niiden käymiselle olisikaan. Kuvatonlainen tilanne toteutuu esimerkiksi tilassa 120b, jossa hiilidioksidianturi mittaa liian korkeaa arvoa ja on täten määräävä anturi puhaltimien ohjauksessa. Anturi mittaa jo käytönajan ulkopuolella yli 800 ppm hiilidioksidipitoisuutta, ja avustavat puhaltimet käynnistyvät heti kun aikaohjelma sen sallii. Anturin mitatessa liian suuria arvoja käyvät

avustavat puhaltimet käytännössä kyseisen tilan vaatimusten mukaisesti. Trendikäyrä tilanteesta on esitetty liitteessä 6.

7 Ongelmien ratkaisuehdotukset

7.1 Hybridi-ilmanvaihdon lämmityspatteri

Ilman virtaamista patterin läpi kokoalueelta tulisi parantaa avustavien puhaltimien ollessa käynnissä. Ilman virratessa tehokkaammin koko patterin otsapinnan läpi patteri lämmittää ilmaa paremmin koko tehollaan. Patterin lämmittäessä ilman tasaisesti ilman kerrostuminen raitisilmakäytävässä vähenee.

Patterin koko pinta-alan tehokkaampi käyttäminen vaatii rakenteellisia muutoksia lämmityspatterin luona. Käytännössä tulisi varmistaa ilman kulkeminen joka tilanteessa patterin läpi, ja tämä onnistuisi parhaiten muuttamalla avustavien puhaltimien sijaintia. Puhaltimien sijoittelua tulisi jakaa, jolloin ne kattaisivat mahdollisimman suuren alan patterista, nykyisen kolmanneksen sijaan. Ilman liikkuminen laajemmalla alueella myös todennäköisesti parantaisi ilman sekoittumista raitisilmakäytävässä, ja tämän seurauksena lämpötilakerrostuma käytävässä ei olisi niin suuri.

7.2 Lämmityspatterin moottoriventtiin ohjaus

Moottoriventtiin ohjaus paransi lämpötila-anturin nykyisellä sijainnilla huomattavasti, mikäli lämpötilan kerrostuminen tuloilmakäytävässä saataisiin hallintaan.

7.3 Kotiaulan ylipaine

Tilanteet jolloin kotiaulojen alueella on ylipainetta, johtuvat tuulen aiheuttamasta paineesta poistoilmatorniin. Suuren aukonleveyden takia tuuli pääsee joissain tilanteissa painamaan ilmaa väärään suuntaan poistoilmatornissa. Poistoilmatorneissa neljään suuntaan sijaitsevien sulkupeltien toiminta tulee sitoa tuulen suuntaan. Tuulen puolella olevan sulkupellin tai sulkupeltien tulee sulkeutua, jolloin tuuli ei pääse painamaan poistoilmavirtaa väärään suuntaan. Tuulen puolelta kiinni olevat pellit aiheuttavat alipaineen tornin toiselle puolelle, jolla pellit ovat auki. Alipaine tehostaa ilman poistumista poistoilmatornin kautta.

Peltien ohjauksen toimiessa aulan ilmanliikettä tulisi myös jatkossa tarkkailla varsinkin tuulisella säällä. Selkeitä merkkejä aulatilan ylipaineisuudesta saattavat olla aulan oven sulkeutuminen heikosti ovipumpun voimalla ja aulan sisäänpäin avattavien ikkunoiden sulkeutuminen itsestään tuuletustilanteissa. Mikäli ylipaineen merkkejä havaitaan, olisi hyödyllistä varustaa ainakin 2. kerroksen kotiaulat paine-eroanturein, jotka mittaavat aulatilan paine-eroa verrattuna ulkoilmaan. Seuranta paljastaa, onko mahdollinen ylipainetilanne jatkuvaa tai usein toistuvaa ja vaatiiko se toimenpiteitä ilman poiston tehostamiseksi.

7.4 Hiilidioksidianturit

Hiilidioksidiantureiden näyttämiä lukemia käytönajan ulkopuolella tulee seurata ja tarvittaessa voimakkaasti muiden antureiden lukemista poikkeavat anturit tulee uudelleen kalibroida tai vaihtaa toimiviin.

8 Päätelmät

Latokartanon peruskoulu vaatii vielä hienosäätöä ennen kuin todellisia arvioita rakennuksen energiatehokkuudesta ja hankkeen kannattavuudesta voidaan luotettavasti esittää. Rakennuksen taloteknisillä järjestelmillä on voitu puutteista huolimattakin toteuttaa kiinteistön käyttäjille sisäilmaolosuhteet, jotka täyttävät helposti rakennusmääräysten vaativan minimitason ja ylittää sen käytännössä kaikilla kriteereillä, joihin ilmanvaihtojärjestelmillä voidaan vaikuttaa. Havaitut sisäilmaongelmat eivät ole johtuneet ilmanvaihtojärjestelmistä, vaan muista ulkoisista tekijöistä, joihin on jo puututtu ja ongelmat on saatu poistettua.

Sisäilmaolosuhteet on saatu hyviksi toistaiseksi energiatehokkuuden kustannuksella. Todettu huono sisäilma ei kuitenkaan johtunut ilmanvaihtojärjestelmän puutteista, vaan virheellisistä materiaaleista ja asennustavoista, jotka aiheuttivat päästöjä sisäilmaan. Ilmanvaihdon poikkeusjärjestelyt, kuten ilmanvaihdon jatkuva pakko-ohjaus hyvän ilmanlaadun takaamiseksi ovat, kuluttaneet paljon energiaa. Nykytilanteessa kiinteistöä ohjataan taloautomaatiolla suunnitellun mukaisesti, ja vuoden 2011 energiankulutustietojen tulisikin olla jo lähellä todellista kulutusta.

Kiinteistössä on vielä kuitenkin muutamia ongelmakohtia, joihin tulisi puuttua energiatehokkuuden ja taloteknisten järjestelmien toiminnan parantamiseksi.

Lähteet

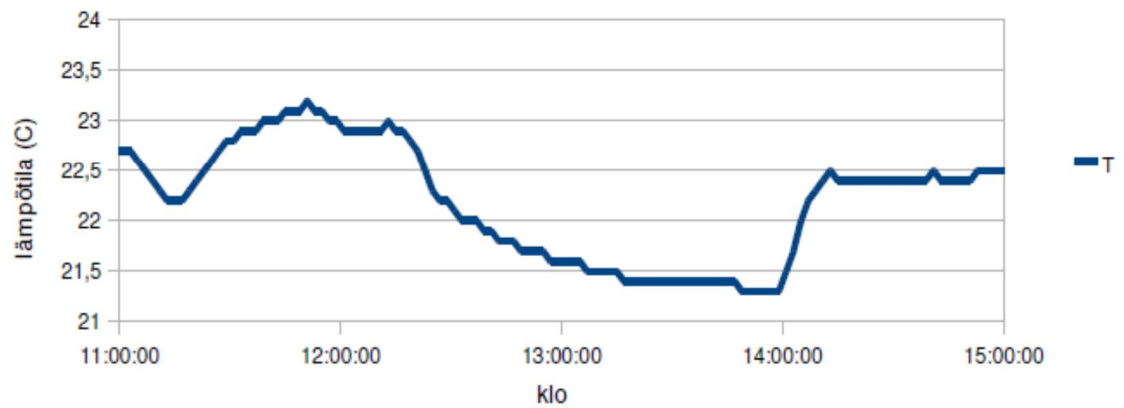
- 1 Ripatti Harri. Luonnollinen hybridi-ilmanvaihto. Rakennustieto Oy, 2005.
- 2 Heikkinen, Jorma; Heinonen, Jarkko; Vuolle, Mika; Laine, Tuomas; Liljeström, Kimmo. VTT:n tiedotteita 2179. Toimistorakennusten hybridi-ilmanvaihto. Espoo: Otamedia, 2002.
- 3 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2010.
- 4 Nurmi, Petteri. Hybridi-ilmanvaihto ilmanvaihtoratkaisuna. Insinööriyö. Metropolia ammattikorkeakoulu, 2009.
- 5 LVI 05-10440: Sisäilmastoluokitus 2008. Helsinki: Rakennustieto, 2008.
- 6 Isomäki, Ville; Zaitsev, Alexandre. Helsingin kaupungin rakennusvirasto. Helsinki. Sähköpostiviestintä 1.2. – 15.2.2011.

Liite 1: Sisäilmaolojen kartoituksen tuloksia

Esikko, 1.krs koneellinen IV (biologia/maantieto)

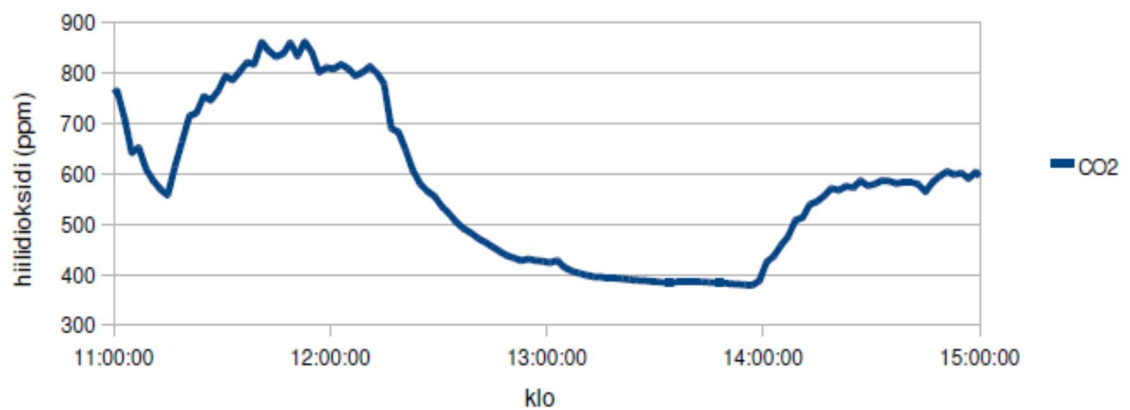
Lämpötilan muutokset, Esikko

(1.6.2010)



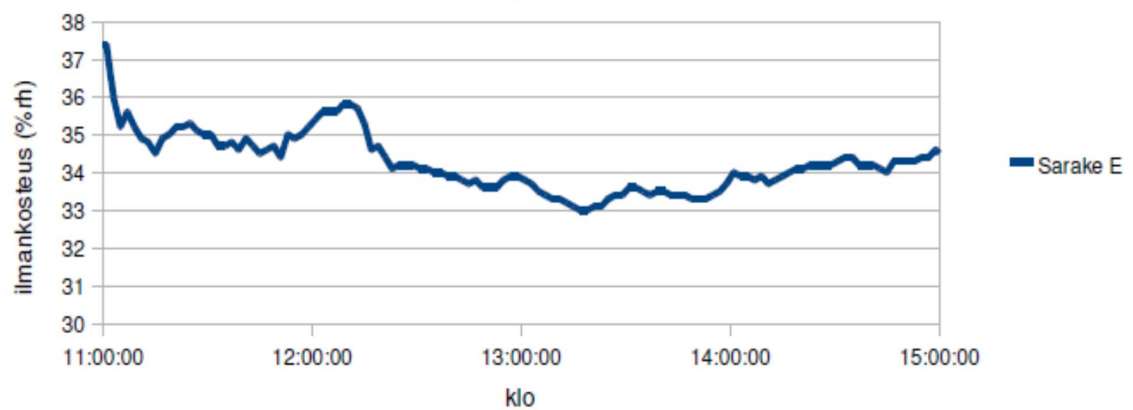
Hiilidioksidin muutokset, Esikko

(1.6.2010)



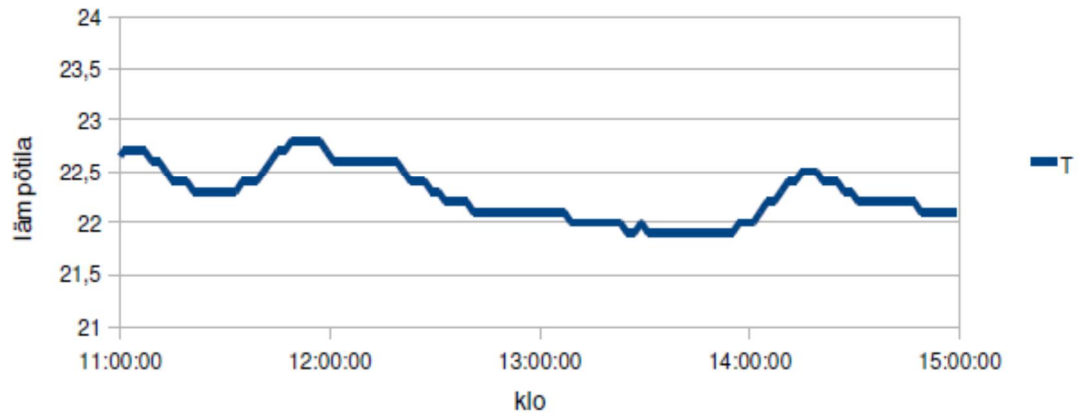
Ilmankosteuden muutokset, Esikko

(1.6.2010)

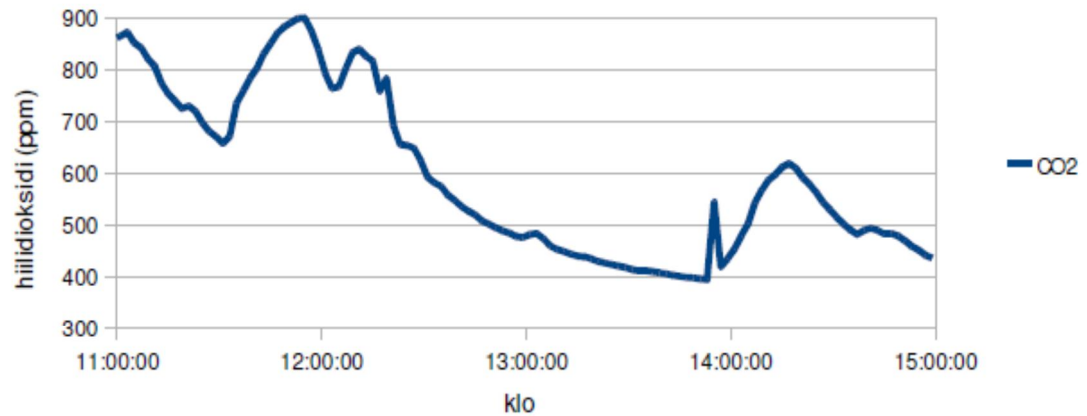


Oregano, 2.krs koneellinen IV, (h.262)

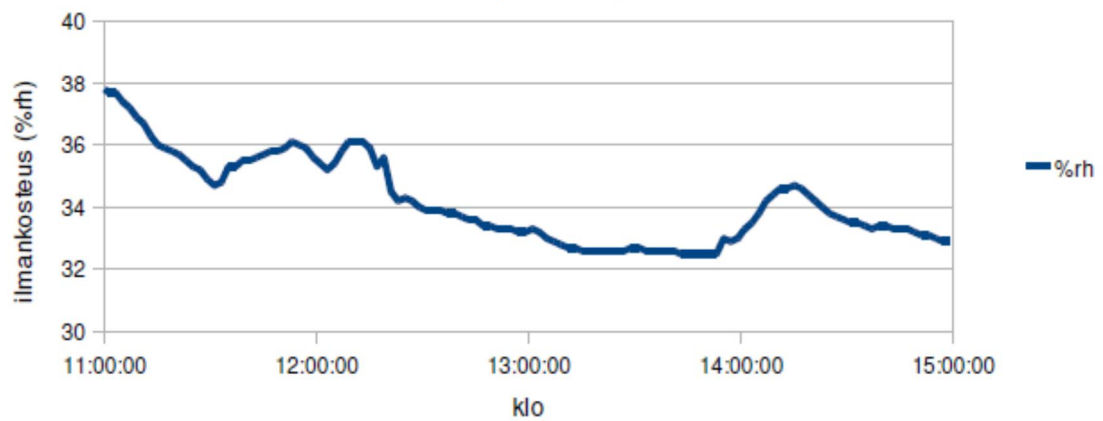
Lämpötilan muutokset, Oregano (1.6.2010)



Hiilidioksidin muutokset, Oregano (1.6.2010)



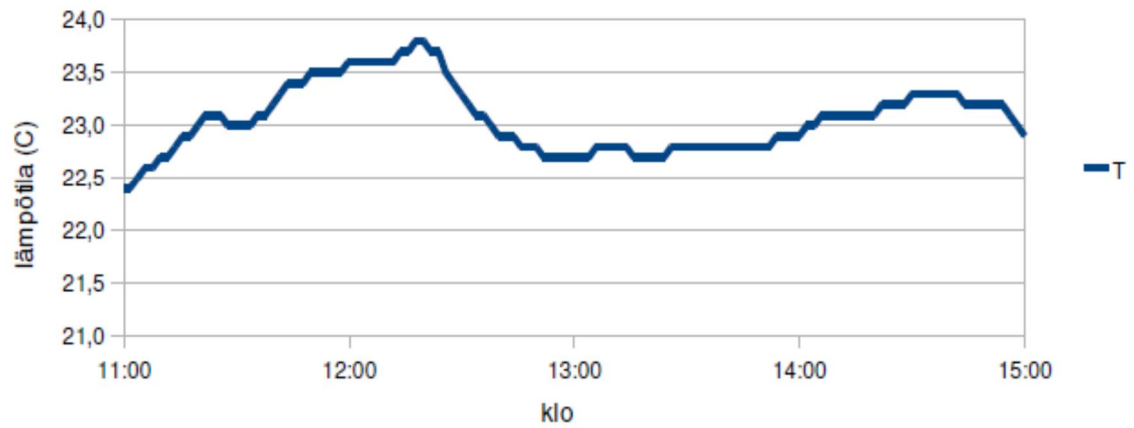
Ilmankosteuden muutokset, Oregano (1.6.2010)



Ruis, 2.krs hybridi IV (h.218)

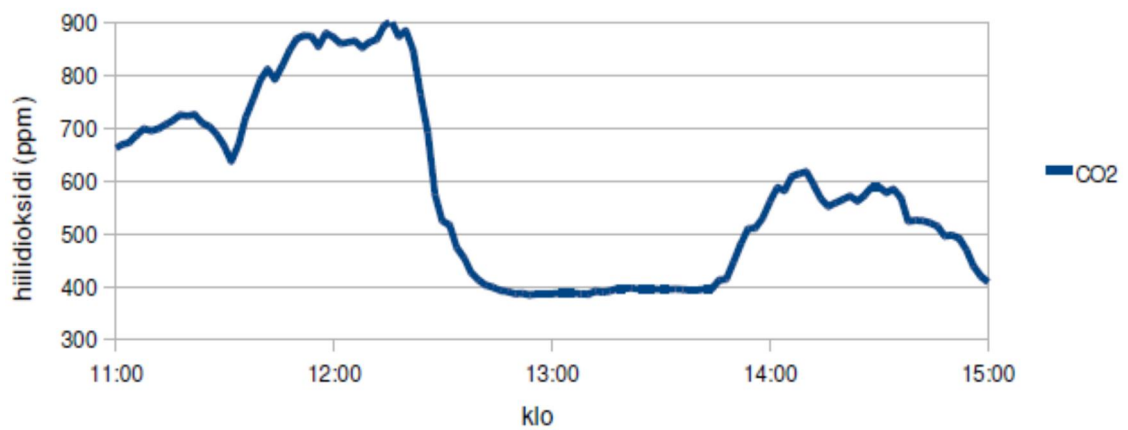
Lämpötilan muutokset, Ruis

(1.6.2010)



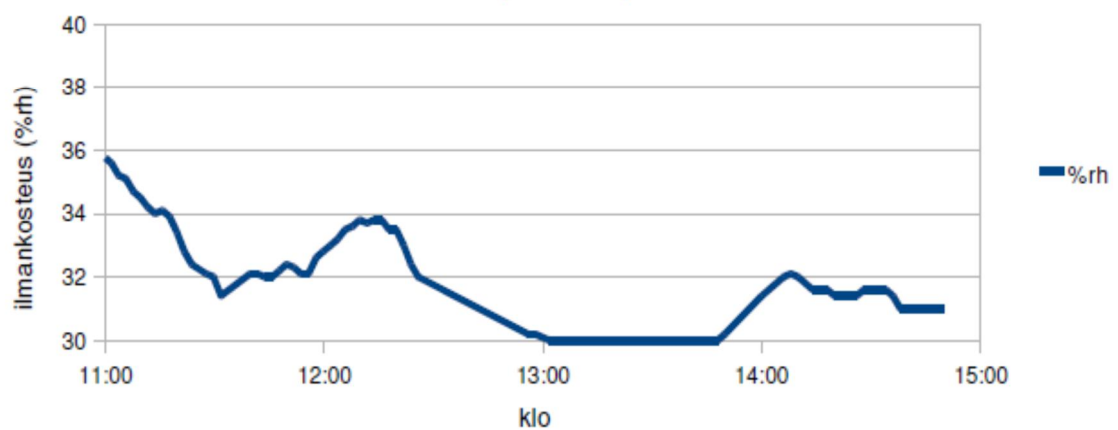
Hiilidioksidin muutokset, Ruis

(1.6.2010)



Ilmankosteuden muutokset, Ruis

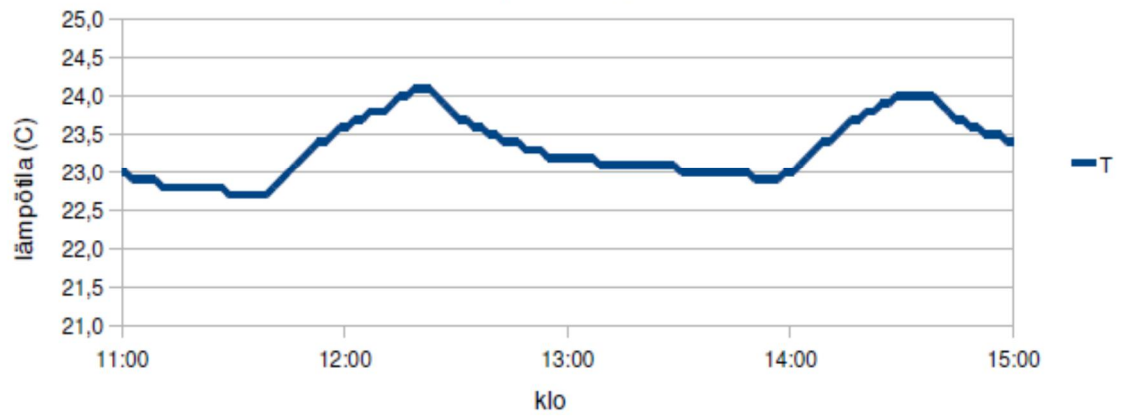
(1.6.2010)



Timotei, 2.krs hybridi IV (h.212b)

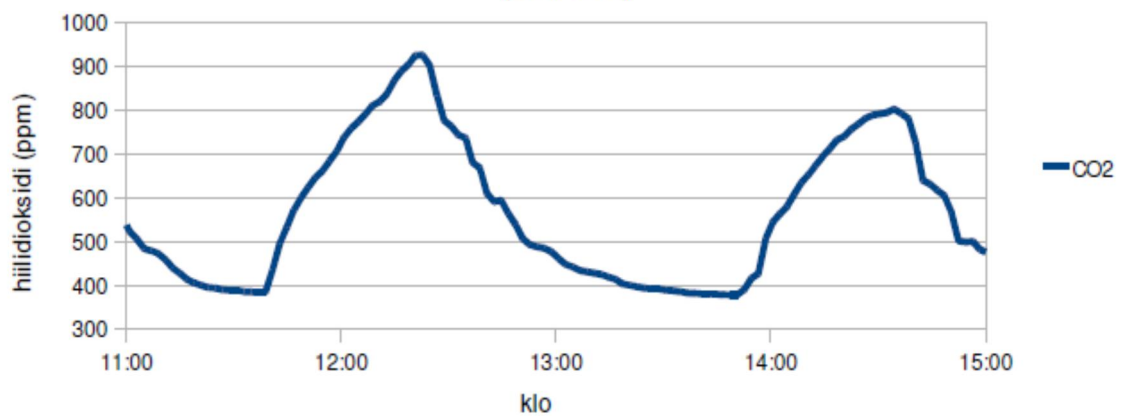
Lämpötilan muutokset, Timotei

(1.6.2010)



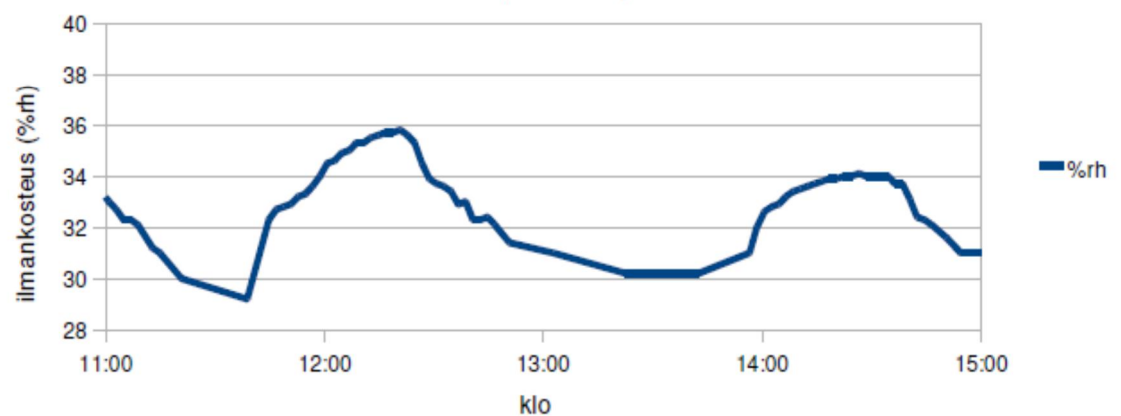
Hiilidioksidin muutokset, Timotei

(1.6.2010)



Ilmankosteuden muutokset, Timotei

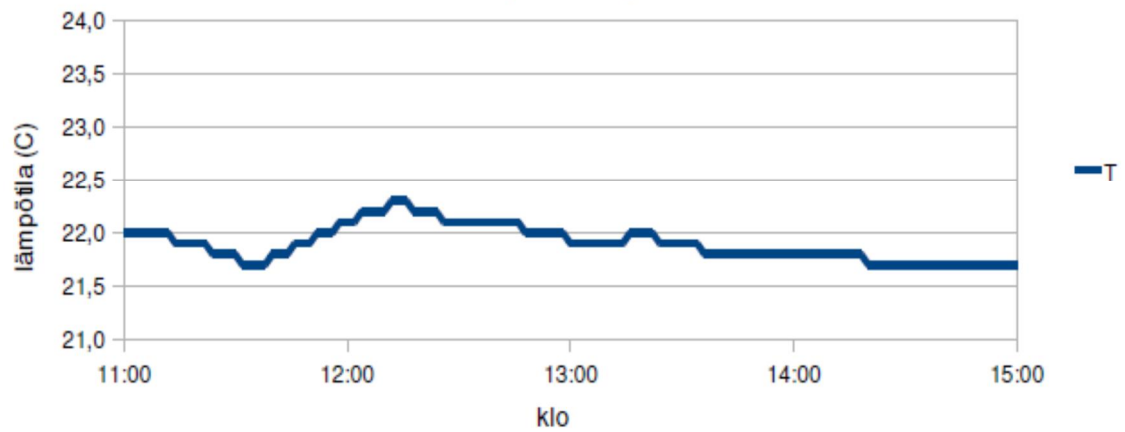
(1.6.2010)



Voikukka, 1.krs hybridi IV

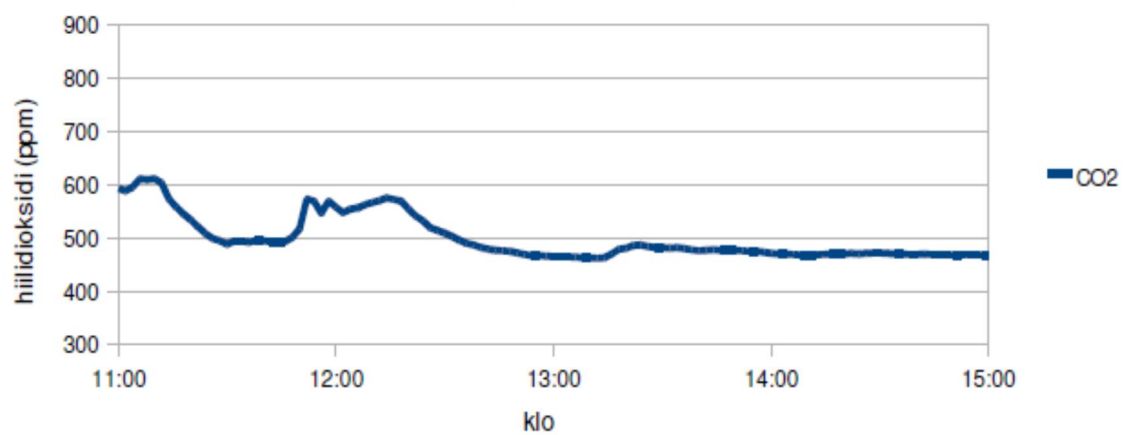
Lämpötilan muutokset, Voikukka

(1.6.2010)



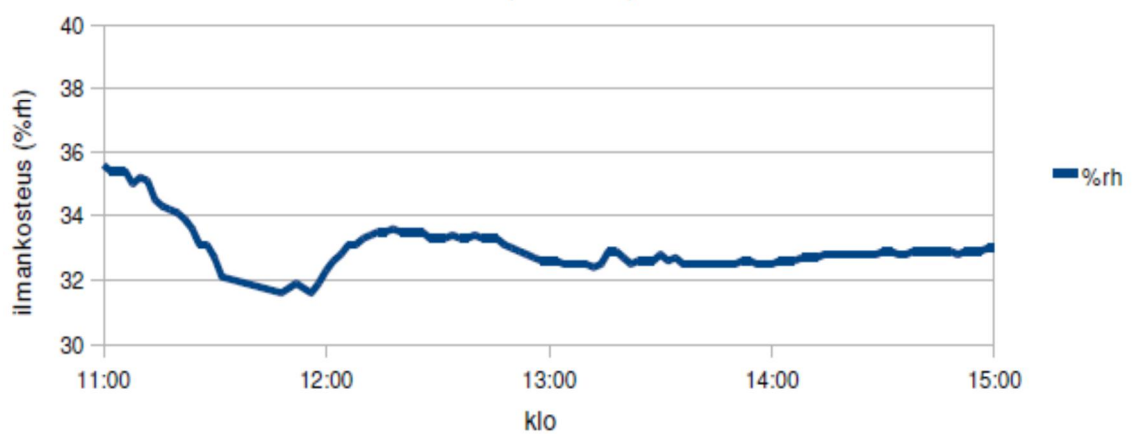
Hiilidioksidin muutokset, Voikukka

(1.6.2010)

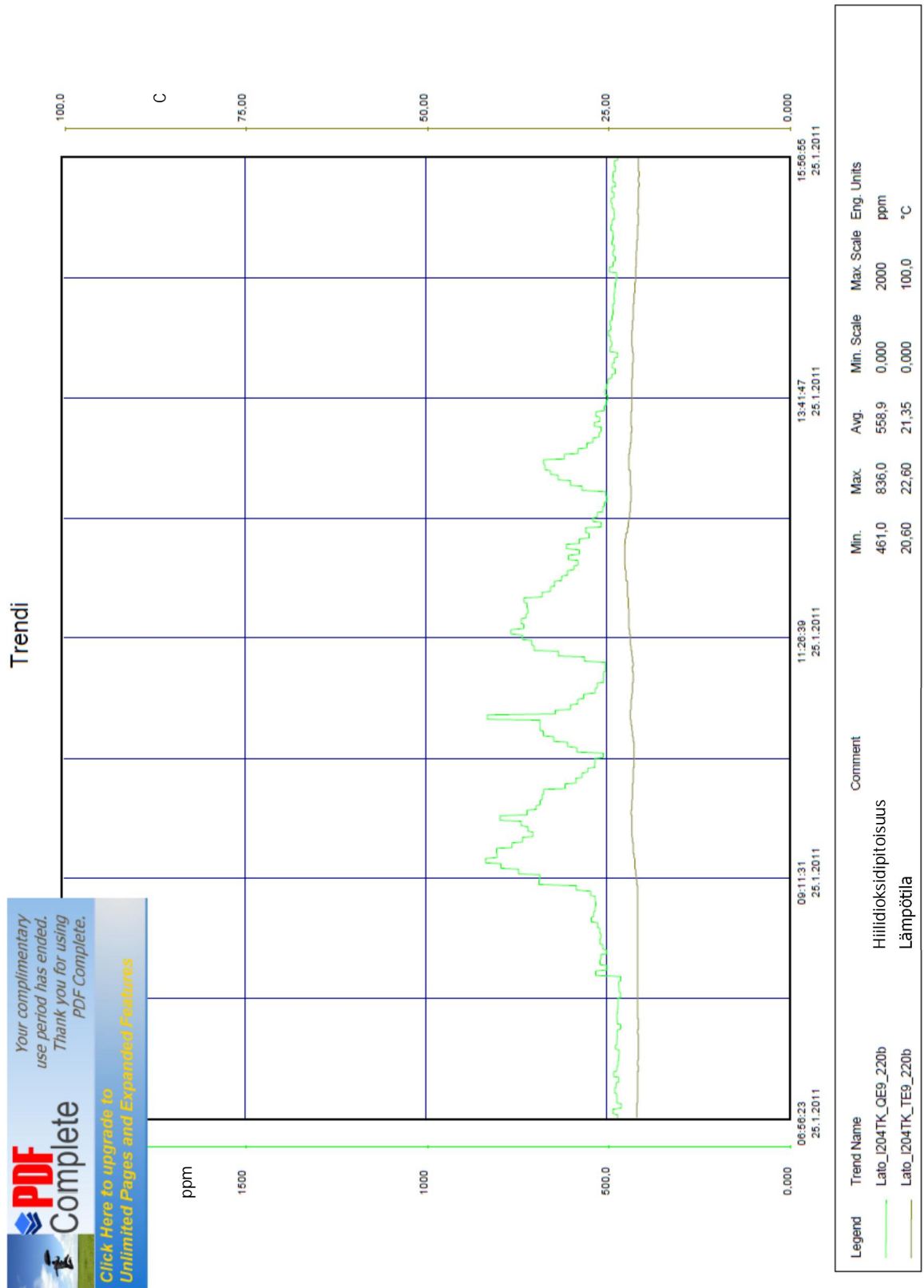


Ilmankosteuden muutokset, Voikukka

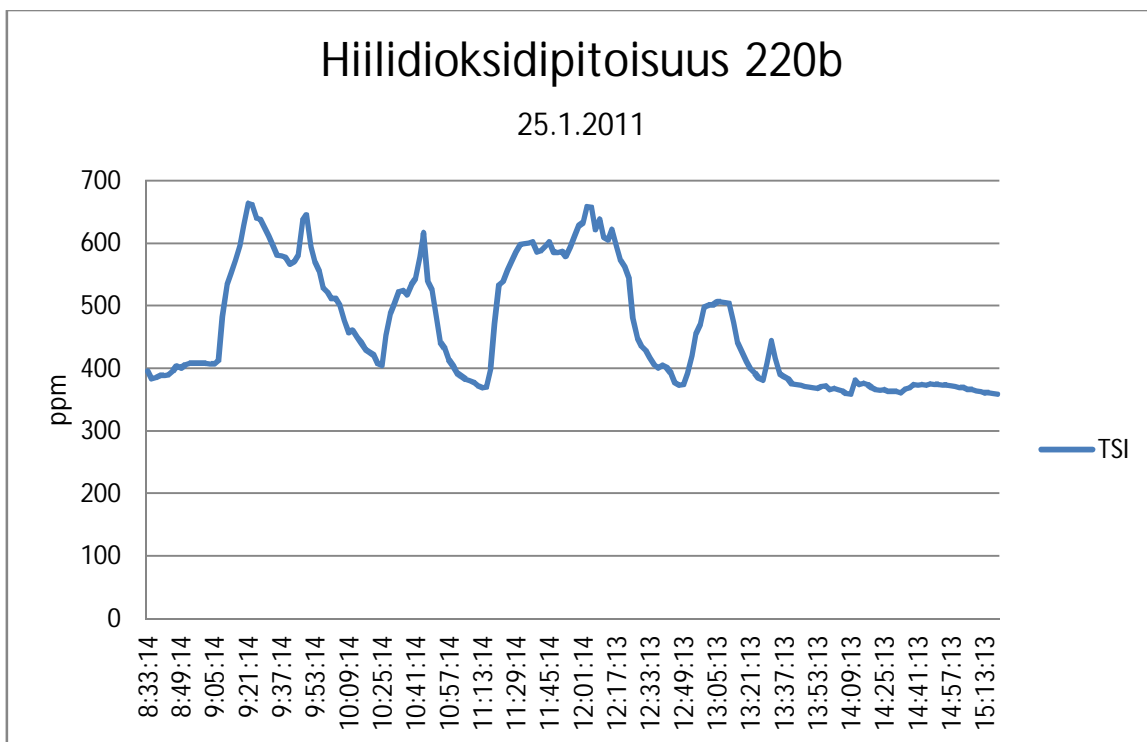
(1.6.2010)



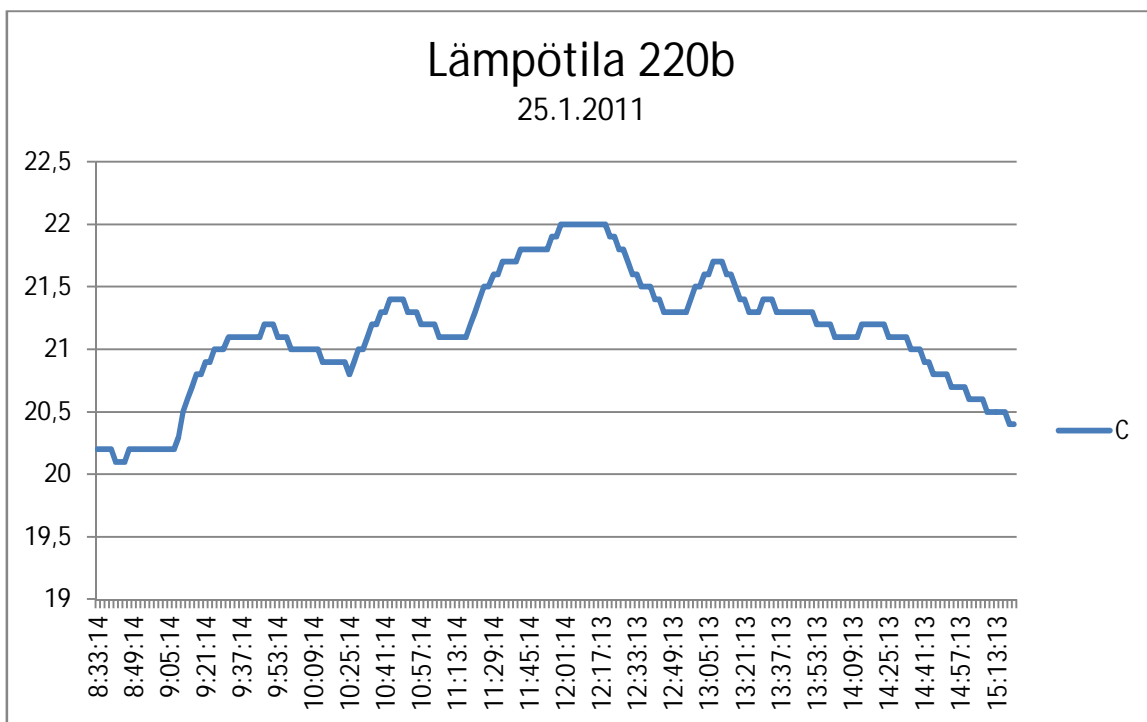
Liite 2: Trendikäyrä hiilidioksidipitoisuudesta ja lämpötilasta opetustilassa 220b sekä TSI-mittarilla mitatut vastaavat suureet.



Taloautomaation trendikäyrä hiilidioksidipitoisuudesta ja lämpötilasta opetustilassa 220b.



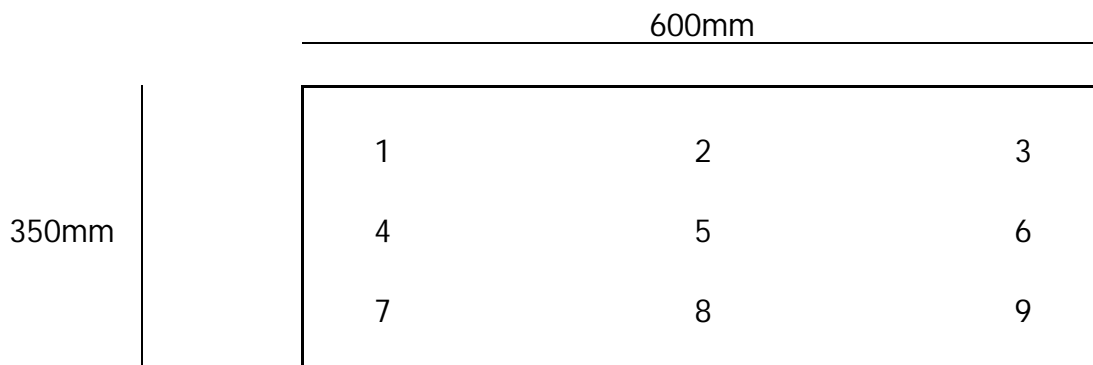
TSI-mittarilla mitattu hiilidioksidipitoisuus opetustilassa 220b.



TSI-mittarilla mitattu lämpötila opetustilassa 220b.

Liite 3: Opetustilan 220b ilmanvaihtuvuus.

ILMANVAIHTUVUUS 3.11.2010 OPETUSTILASSA 220b

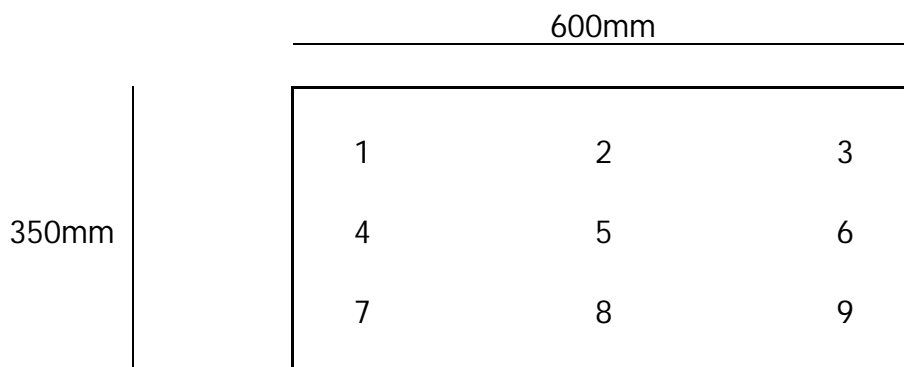


Säleikön osuus pinta-alasta noin 15 %

Ilmavirrat 3.11.2010, avustavat puhaltimet pakko-ohjattu käymään

Ulkoilman lämpötila noin +7 astetta, pilvistä ja puuskittaista tuulta

	klo 9.45			klo 12.15		
1	0,9	m/s		0,8	m/s	
2	1,0	m/s		0,9	m/s	
3	1,2	m/s		1,0	m/s	
4	0,9	m/s		0,8	m/s	
5	0,8	m/s		0,9	m/s	
6	1,0	m/s		1,1	m/s	
7	0,6	m/s		0,8	m/s	
8	0,6	m/s		0,7	m/s	
9	0,6	m/s		0,8	m/s	
KA	0,84	m/s		0,87	m/s	
qv	<u>151</u>	l/s		<u>155</u>	l/s	

ILMANVAIHTUVUUS 14.12.2010 OPETUSTILASSA 220b

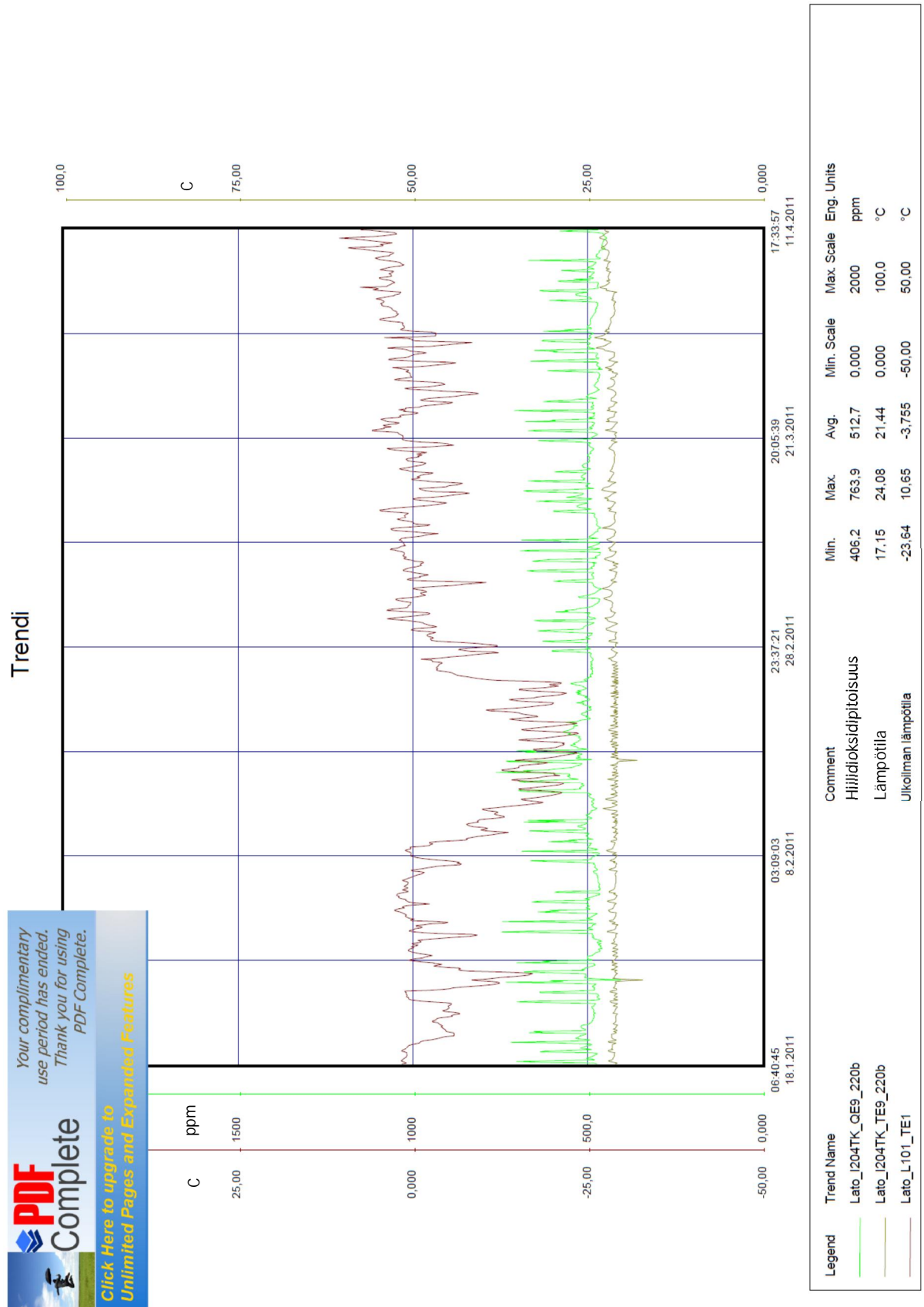
Säleikön osuus pinta-alasta noin 15 %

Ilmavirrat 14.12.2010, avustavat puhaltimet automaation ohjauksessa

Ulkoilman lämpötila noin -10 astetta, selkeää

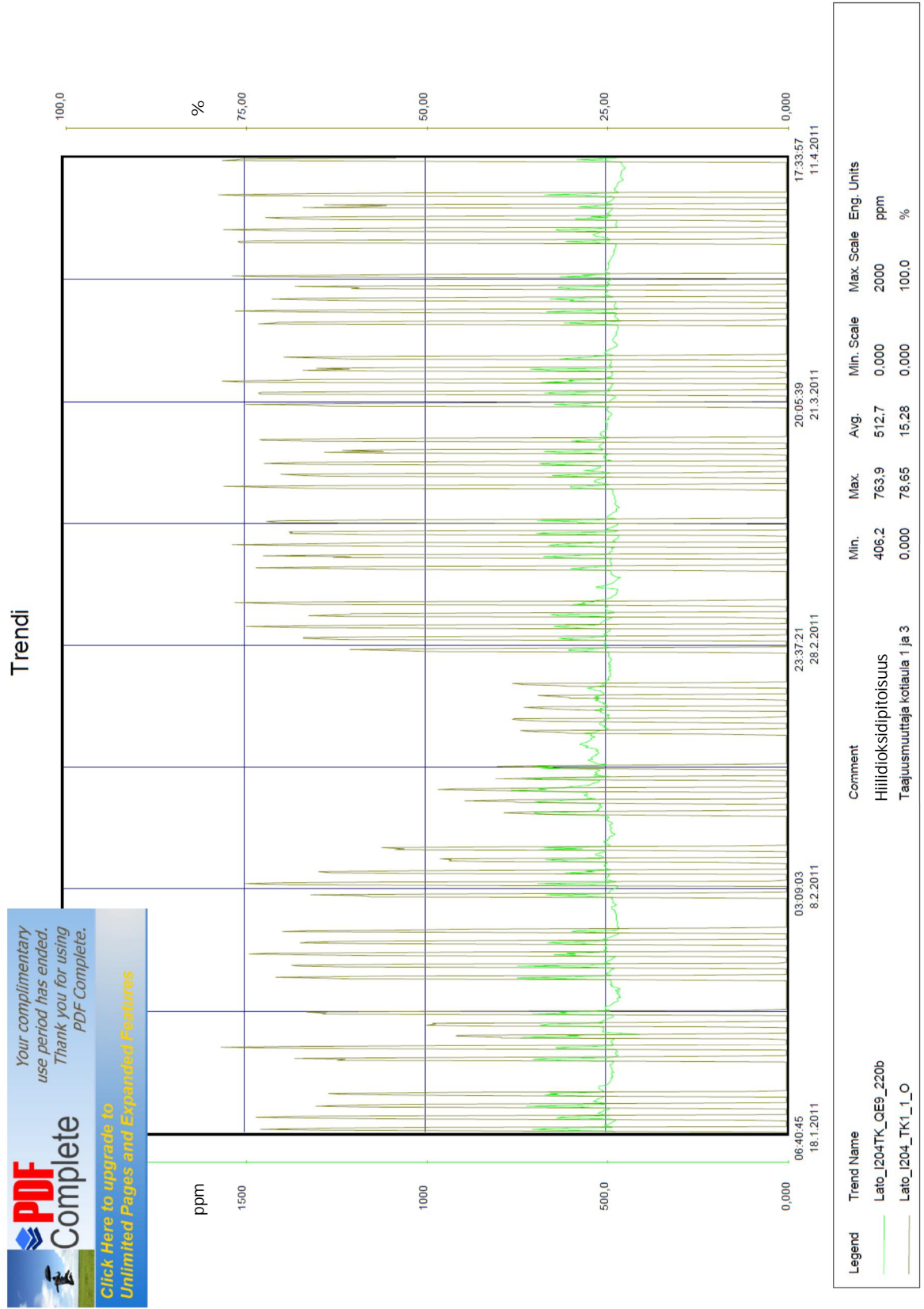
	klo 8.30		klo 9.45		klo 11:00		klo 12.30	
1	0,12	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s	0,4	m/s
2	0,12	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s	0,4	m/s
3	0,14	m/s	0,7	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s
4	0,14	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s	0,6	m/s
5	0,12	m/s	0,9	m/s	0,5	m/s	0,6	m/s
6	0,15	m/s	0,8	m/s	0,5	m/s	0,6	m/s
7	0,13	m/s	0,6	m/s	0,6	m/s	0,6	m/s
8	0,14	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s	0,5	m/s
9	0,12	m/s	0,6	m/s	0,5	m/s	0,6	m/s
KA	0,13	m/s	0,67	m/s	0,52	m/s	0,53	m/s
qv	<u>23</u>	l/s	<u>119</u>	l/s	<u>93</u>	l/s	<u>95</u>	l/s

Liite 4: Hiilidioksidipitoisuudet ja lämpötilat opetustilassa 220b 18.1.–11.4.2011.



PDF Complete
 Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
 Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Puhaltimien ohjausviesti sekä hiilidioksidipitoisuus 18.1.-11.4.2011



PDF Complete
 Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
 Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Liite 6: Liian suurta arvoa näyttävä luokkatilan 120b hiilidioksidianturin trendi

