

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Matti Olin & Anssi Ulmanen

**Liikuntasalin ilmanvaihdon nykyaikaistaminen
perustuen sisäilmanlaadun mittauksiin**

Insinööritö 3.12.2009

Ohjaaja: tekninen isännöitsijä Erkki Pihkoluoma ja
automaatiopäällikkö Toivo Sahlstén

Ohjaava opettaja: lehtori Kai Virta

Tekijät	Matti Olin, Anssi Ulmanen
Otsikko	Liikuntasalin ilmanvaihdon nykyaikaistaminen perustuen sisäilmanlaadun mittauksiin
Sivumäärä	102
Aika	3.12.2009
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaajat	Tekninen isännöitsijä Erkki Pihkoluoma ja automaatiopäällikkö Toivo Salhstén
Ohjaava opettaja	Lehtori Kai Virta
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli perehtyä helsinkiläisen Pihkapuiston ala-asteen liikuntasalin ilmanvaihdon parantamiseen ja energian säästöön. Ilmanvaihdon uudistuksilla oli tavoitteena energian säästön lisäksi parantaa liikuntasalin sisäilmastoa. Liikuntasalissa tehtyjen mittausten perusteella Helsingin kaupunki päätti uusien ilmanvaihtokoneet kokonaan, kun vanha laitteisto todettiin alimitoitetuksi. Lisäksi opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin laboratorioolosuhteissa demolaitteisto, jolla voidaan testata ja kehittää nykyaikaista ilmanvaihdon ohjausta.</p> <p>Työ kuului osana Save Energy -nimiseen EU-hankkeeseen, jonka tavoitteena on saada aikaan energian säästöä vaikuttamalla ihmisten energiankulutustottumuksiin sekä hyödyntäen uutta tekniikkaa. Kolme vuotta kestävässä Save Energy -projektissä on valittu julkisia rakennuksia viidestä eri Euroopan maasta.</p> <p>Pihkapuiston ala-asteen liikuntasalin uudet ilmanvaihtokoneet ja uusi automaatiojärjestelmä ovat jo osoittautuneet toimivaksi kokonaisuudeksi, joka säästää energiaa. Opinnäytetyön aikataulun puitteissa ei ehditty saamaan käyttäjäperäistä palautetta uuden ilmanvaihdon toimivuudesta, eikä myöskään mittaustuloksia pidemmältä aikaväliltä. Projektin puitteissa luotiin kuitenkin hyvät edellytykset energian säästöön paremmin toimivalla ilmanvaihdolla.</p> <p>Projektin ohessa rakennetusta demolaitteesta on saatu positiivista palautetta sen havainnollisuuden ansiosta. Esittelytilaisuuksissa demolaitteisto on saanut paljon huomiota ja kiitosta osakseen. Demolaitteistossa tehdyt tekniset ratkaisut ovat toimivia ja turvallisia. Demolaitteisto jätetään mahdollisesti opetuskäyttöön Metropolia Ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorioon, jossa sitä voidaan soveltaa laboratoriotöissä.</p>	
Hakusanat	ilmanvaihto, ilman laatu, Save Energy, energian säästö, automaatio

Author Title	Matti Olin, Anssi Ulmanen The modernization of indoor-air-quality based ventilation systems in gyms
Number of Pages Date	102 3 December 2009
Degree Program	Automation technology
Degree	Bachelor of Engineering
Instructors Supervisor	Erkki Pihkoluoma, Technical Manager and Toivo Sahlstén HVAC Automation Manager Kai Virta, Lecturer MEng
<p>The purpose of this thesis project was to plan suggestions for the modifications to improve the ventilation of the gym at Pihkapuisto Elementary School in Helsinki. The aim was to improve the general performance and energy efficiency of the ventilation system. As a result of the measurements made in the gym, the city of Helsinki decided to renew the whole ventilation machine as the old machine was found inadequate for the space. In addition a demonstration device was designed and built in laboratory environment for testing and developing a modern way to control air ventilation.</p> <p>This project was part of the EU project “Save Energy”, which aims to conserve energy by affecting the way people are accustomed to use energy. There are municipal buildings from five cities around Europe that are taking part in this three-year long project.</p> <p>The renewed ventilation and automation systems of Pihkapuisto Elementary School gym have already proved to be an effective and energy-efficient. Although feedback from users and long-term measurements could not be acquired within the time frame of the thesis project, a good base was, however, laid for an energy-efficient and better working ventilation system.</p> <p>The demonstration device which was built during the project has gotten a lot of positive feedback for how it exemplifies ventilation as a process. The device has gathered very much attention when it has been exhibited. The technical solutions are functional and safe. The demonstration device may be left for automation laboratory of Metropolia University of Applied Sciences for educational purposes.</p>	
Keywords	ventilation, air quality, Save Energy, energy conservation, automation

Sisällys

Insinööriyön tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

1	Johdanto.....	8
2	Pilottikohteet.....	9
2.1	Save Energy -projekti	9
2.2	Suomen pilottikohteet	10
2.3	Muut pilottikohteet	11
2.3.1	Lissabon.....	11
2.3.2	Manchester	12
2.3.3	Leiden.....	13
2.3.4	Luulaja.....	15
3	Sisäilma	16
3.1	Sisäilman laatu	16
3.1.1	Rakennusten ilmanlaadun standardi	17
3.1.2	Rakennusten sisäilmaston standardi	18
3.1.3	Rakennusten lämpöolojen standardi	18
3.2	Huonon sisäilman terveydelliset vaikutukset.....	19
3.2.1	Ammoniakki	20
3.2.2	Asbesti.....	20
3.2.3	Formaldehydi.....	21
3.2.4	Hiilidioksidi	21
3.2.5	Hiilimonoksidi	21
3.2.6	Radon	21
3.2.7	Styreeni.....	22
3.2.8	Huoneilman suhteellinen kosteus	22
4	Ilmanvaihto yleisesti	23
4.1	Ilmanvaihdon tarkoitus	23
4.2	Erilaiset toimintatavat	24
4.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	25
4.2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto.....	25
4.2.3	Koneellinen vakioilmanvaihto.....	26
4.3	Ilmanvaihdon toiminta.....	26
4.4	Yleisimmät ilmanvaihdon ohjaustavat.....	27
4.4.1	Säätötekniikka.....	27
4.4.2	Säätöön vaikuttavat suureet.....	28
4.5	Ilmanvaihtokojeen olennaiset komponentit	29

5	Pihkupuiston liikuntasali	31
5.1	Lähtökohdat.....	31
5.2	Vanhan iv-koneen speksit	31
5.3	Uusi ilmanvaihtojärjestelmä.....	34
5.3.1	Uudet puhaltimet.....	35
5.3.2	Uusittu Trend-automaatiojärjestelmä.....	37
6	Helsingin pilottikohteiden iv-kojeiden vertailu	39
6.1	Pihkupuiston iv-koje	39
6.2	Ala-Malmin iv-koje	40
6.3	Energiankulutuskatselmuksset 2009	41
6.4	Pihkupuiston koulun ja Ala-Malmin koulun iv-kojeiden vertailu.....	42
7	Demolaitteisto.....	44
7.1	Laitteiston suunnittelu.....	44
7.1.1	Laitekotelon suhteuttaminen oikeaan liikuntasaliin.....	44
7.1.2	Ilmanvaihtokanavien suunnittelu.....	45
7.1.3	Laitteiden sijoittaminen.....	45
7.2	Laitehankinnat	46
7.2.1	Ohjelmitava logiikka.....	46
7.2.2	Laitekotelot.....	47
7.2.3	Hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpölähettimet	47
7.2.4	Puhaltimet ja ilmanvaihtokanavat.....	48
7.3	Demolaitteen rakentaminen	50
7.3.1	Ilmanvaihtokanavien rakentaminen.....	51
7.3.2	Demolaitteen kytkennät.....	52
7.3.3	Liikuntasalin olosuhteiden muutosten simulointi.....	54
8	Logiikan ohjelmointi.....	56
8.1	Ohjelmointi.....	56
8.1.1	Ohjelmoinnin harjoittelu	56
8.1.2	Demolaitteen logiikkaohjelma.....	59
8.2	InTouch-valvomosovellus.....	64
8.2.1	DA-serverin konfigurointi	65
8.2.2	Valvomon luominen.....	69
9	Demolaitteiston käyttöönotto ja testaus.....	77
9.1	Ilmamäärien mittaukset.....	77
9.2	Savutestit.....	78

10	Yhteenveto	80
10.1	Ilmanvaihtoprojektin analysointi.....	80
10.2	Lopputulokset.....	81
	Lähteet.....	82
	Liitteet	
	Liite 1: Pihkakuiston koulun liikuntasalin ilmanvaihdon periaatekuva	86
	Liite 2: Ilmanvaihtoa koskevat D2 määräykset	87
	Liite 3: Pihkakuiston liikuntasalin vanhojen ilmanvaihtokoneiden ilmamäärämittauspöytäkirja.....	90
	Liite 4: Konekortti Pihkakuiston ala-asteen vanha tuloilmakoje	91
	Liite 5: Konekortti Pihkakuiston ala-asteen vanha poistoilmakoje.....	92
	Liite 6: Pihkakuiston uuden iv-kojeen tiedot.....	93
	Liite 7: Pihkakuiston ala-asteen energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut.....	94
	Liite 8: Ala-Malmin peruskoulun energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut.....	97
	Liite 9: Demolaitteiston periaatekuva	99
	Liite 10: Laitetekotelon ja ilmanvaihtokanavien 3D-mallinnus.....	100
	Liite 11: Demolaitteiston piirikaavio 1	101
	Liite 12: Demolaitteiston piirikaavio 2	102

Lyhenteet, käsitteet ja määritelmät

AC	Alternate current. Vaihtosähkö.
AND-funktio	Funktion tulojen ollessa TOSI lähtö saa arvon TOSI, muissa tapauksissa EPÄTOSI.
CIP	Competitiveness and Innovation Programme. Kilpailukyvyyn ja innovoinnin puiteohjelma
DC	Direct current. Tasasähkö.
EC	Electrically commutated. Elektronisesti kommutoitu..
HVAC	Heating, Ventilating, Air Conditioning -sisäilmanlaadun säätelyyn liittyvät toiminnot.
ICT PSP	Information and Communication Technologies Policy Support Programme. Tieto- ja viestintätekniikkapolitiikan tukiohjelma.
I/O	Input/Output - viittaa tulo- ja lähtösignaaleihin.
IV-koje	Kokonainen ilmanvaihtokonekokonaisuus.
LTO	Lämmön talteenotto.
OR-funktio	Kun jonkin tuloista saa arvon TOSI, lähtö saa arvon TOSI, muissa tapauksissa EPÄTOSI.
Poistokone	Iv-koneen poistoilman puhallin/moottorikokonaisuus.
ppm	Parts per million - mittaa hiukkaspitoisuutta, yksikkö ”partikkelia miljoonassa”.
rH	Relative humidity - ilman suhteellinen kosteus.
RS-kiikku	Muistipiiri dominoiva nollaus. Muisti on arvossa 0, kun molemmat tulot saavat arvon TOSI, muissa tapauksissa muisti saa arvon 1.
Tulokone	Iv-koneen tuloilman puhallin-moottorikokonaisuus.
VAC	Jännite vaihtosähkölaitteissa.
VDC	Jännite tasasähkölaitteissa.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ kuuluu osana Save Energy -projektiin. Save Energy -projekti on EU-hanke, jonka tavoitteena on säästää energiaa julkisissa rakennuksissa ihmisten kulutustottumusten muokkaamisen sekä kehittyneen teknologian avulla.

Save Energy -projektin panos Suomessa kohdistui kahteen helsinkiläiseen peruskouluun, Ala-Malmin peruskouluun ja Pihkapuiston ala-asteeseen. Projektin tavoitteena on rakentaa kouluihin nykyaikaisia energiaa säästäviä järjestelmiä, joiden energiankulutusta verrataan vanhoihin järjestelmiin. Koululaisten ja henkilökunnan nähtävillä asennetaan näyttöpäätteitä, joista voidaan seurata reaaliaikaisesti teknisten järjestelmien ja käyttäjien energiankulutusta sekä sisäilmaston olosuhteita. Opetuspelien ja internetin käyttäjäyhteisöjen avulla pyritään jakamaan energiansäästöön liittyvää tietoa hausalla ja helposti ymmärrettävällä tavalla. [1], [2]

Tässä työssä keskitytään pääasiallisesti Pihkapuiston koulun liikuntasalin ilmanvaihdon tutkimiseen ja mittaamiseen ennen muutoksia ja muutosten jälkeen. Projektiin osallistui kaksi insinööriopiskelijaa Metropolia Ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan koulutusohjelmasta. Ennen teknisiä muutoksia Pihkapuiston koulun liikuntasalin ilmanvaihtokoneita ohjattiin lähes poikkeuksetta automaattisella aikaohjauksella aikavälillä 8.00–21.00, käsiohjauksen sijaan. Automaattinen aikaohjaus pyöritti ilmanvaihtokoneita täydellä nopeudella, ja käsiohjauksella koneita pystyttiin ohjaamaan nopeuksilla 1/1, 1/2 ja 0.

Metropolian automaatiolaboratorion tiloissa rakennettiin demolaitteisto, joka simuloi Pihkapuiston ala-asteen liikuntasalia ja sen ilmanvaihtojärjestelmää nykyaikaisella antureihin perustuvalla ohjauksella. Demolaitteiston mittaustulosten ja omien koulussa tehtyjen sekä teetettyjen mittausten ansiosta Helsingin kaupungin kiinteistövirasto päätyi ratkaisuun, jossa vaihdettiin liikuntasaliin uudet EC-ilmanvaihtokoneet ja päivitettiin vanha Trend-automaatiojärjestelmä uuteen Trend-järjestelmään. Raportin kirjoittaminen jaettiin siten, että Matti Olin kirjoitti luvut 2, 3, 7, 8 ja 9 ja Anssi Ulmanen luvut 4, 5 ja 6. Luvut 1 ja 10 kirjoitettiin yhdessä.

2 Pilottikohteet

Tässä luvussa perehdytään itse Save Energy -projektiin ja lyhyesti kaikkiin Save Energy -projektin kohteisiin. Kuitenkin Suomen pilottikohteet saavat suurimman huomion.

2.1 Save Energy -projekti

Save Energy -projekti on EU-hanke, joka saa osan rahoituksestaan CIP-puiteohjelman ICT PSP -ohjelmasta. Projekti aloitettiin 1.3.2009 ja sen on tarkoitus kestää 30 kuukautta vuoteen 2011 asti. [2], [3]

Projektiin kuuluu julkisia rakennuksia viidessä Euroopan kaupungissa, Lissabonissa, Manchesterissä, Leidenissä, Luulajassa ja Helsingissä. Projektin tavoite on nimensä mukaisesti säästää energiaa teknologisilla uudistuksilla ja muokkaamalla ihmisten energiankulutustottumuksia. Kulutustottumuksien muutokseen pyritään tuomalla käyttäjien saataville reaaliaikaista kulutustietoa sekä kulutustottumuksiin vaikuttavia sosiaaliseen mediaan perustuvia oppimispelisovelluksia ja ICT:n kehittämiä energiansäästökeinoja. Energiansäästötavoite on jokaisen pilottirakennuksen kohdalla 30 %. Tavoitteena on muokata käyttäjien kulutustottumuksia pitkällä aikavälillä ja levittää energiansäästöön tähtäviä kulutustottumuksia muihinkin rakennuksiin ja yhteisöihin. [2]

Save Energy -projektissa on mukana 16 yhteistyökumppanin yhteenliittymä. [2]

Suomalaiset hankepartnerit:

- Green Net Finland ry
- Helsingin kaupungin tilakeskus
- Metropolia AMK
- HSE / CKIR
- Nokia Oy

Kansainväliset partnerit:

- Alfamicro, Portugali (hankkeen koordinaattori)
- CeTIM, Hollanti
- ISA, Portugali
- Leidenin kaupunki, Hollanti
- Luulajan kunta, Ruotsi
- Luleå Tekniska Universitet, Ruotsi
- Lisboa E-Nova, Portugali
- Manchester City Council, Iso-Britannia
- RTS, Portugali
- SPI, Portugali
- University of Salford, Iso-Britannia

2.2 Suomen pilottikohteet

Suomessa pilottikohteiksi valittiin kaksi helsinkiläistä koulua, Ala-Malmin koulu (kuva 1), joka on rakennettu vuonna 1965, sekä Malminkartanossa sijaitseva Pihkahuiston koulu, joka on rakennettu vuonna 1989. Oppilaita Ala-Malmin koulussa on 360 ja koulu käsittää luokat 5-9. Pihkahuiston koulussa oppilaita on 220, ja koulu

käsittää luokat 1-6. Molemmissa kouluissa pyritään ennen muuta muokkaamaan käyttäjien energiankulutusta säästäväämpään suuntaan. [4], [5]



Kuva 1. Ala-Malmin peruskoulu (4)

Valaistukseen osalta teknisiä uudistuksia pyritään tekemään molempiin kouluihin. Pihkapiistossa uusitaan valaistusta kolmessa luokassa, joiden energiankulutusta verrataan vanhalla valaistuksella varustettuihin luokkiin. Ala-Malmilla on tehty noin vuosi sitten kattava remonti, joten valaistus on uudempaa tekniikkaa valaisimien osalta. Kuitenkin valaistuksen ohjauksessa on puutteita, siellä ei ole esimerkiksi läsnäolokytkimiä eikä päivänvalokytkimiä.

Pihkapiiston koulussa energiansäästökohteeksi valittiin valaistuksen lisäksi koulun liikuntasalin ilmanvaihtokone, jonne asennettiin uusinta tekniikkaa edustavat EC-moottorit. Myös tuloilman lämpötilaa laskettiin, jotta tuloilma laskeutuisi paremmin katosta alas käyttäjien korkeudelle. Pihkapiiston liikuntasalin ilmanvaihtokoneeseen ja siihen tuleviin uudistuksiin perehdytään tarkemmin luvussa viisi.

2.3 Muut pilottikohteet

2.3.1 Lissabon

Portugalin pääkaupungissa Lissabonissa oleva pilottikohde on kaupunginhallituksen virastotalo (kuva 2). Rakennus valmistui 1990-luvulla ja rakennuksen pinta-ala maan päällä on 28 000 neliometriä ja maan alla 17 000 neliometriä. Rakennuksessa on n.

1800 työntekijää ja lisäksi n. 200 päivittäistä vierailijaa. Lissabonin pilottikohteessa toimii kaupungin hallinnollisen palvelun elin. [6]



Kuva 2. Lissabonin kaupunginhallituksen virastotalo [6]

Projektin tavoitteena on vähentää Lissabonin toimistorakennuksissa energiankulutusta, parantaa sisäilmanlaatua sekä kehittää tiedonkulkua toimistojen työntekijöiden ja kaupungin virkamiesten välillä. Yksi projektin tavoite tulee olemaan rakennusten hiilidioksidipäästöjen merkittävä vähentäminen, tärkein tavoite on ihmisten energiankulutustottumusten muuttaminen energiaa säästävään suuntaan. [6]

2.3.2 Manchester

Englannissa sijaitsevan Manchesterin pilottikohde on vuonna 1887 rakennettu historiallinen kaupungintalo (kuva 3). Albert Squarella sijaitseva uusgoottilaista tyyliä edustava rakennus on suojelukohde. 87 metriä korkean rakennuksen kuusi kerrosta sisältävät muun muassa 2000 neliömetrin juhlasalin, veistos- ja patsassalin ja kellotornin. Lisäksi kaupungintalossa toimii itsenäinen keittiö. Kaupungintalossa järjestetään konferensseja, kokouksia, häitä ja julkisia tapahtumia, ja rakennuksessa sijaitsevilla toimistoilla työskentelee yli 2000 henkilöä. [6]



Kuva 3. Manchesterin historiallinen kaupungintalo [6]

Kaupungintalo on suunniteltu kaasukäyttöiseksi, ja kaikki sähköasennukset on tehty jälkeempään, mikä aiheuttaa erityisen haasteen energiatehokkuudelle ja hiilidioksidipäästöille. EU:n rakennusten energiatehokkuutta koskevan direktiivin mukaan suurilta julkisilta rakennuksilta vaaditaan julkinen energiatehokkuustodistus. Energiatehokkuustodistuksen arvoasteikko on A:sta G:hen, ja Manchesterin kaupungintalo on saanut arvosanaksi E:n. [6]

Manchesterin pilotin tavoitteena on osoittaa, että haastaviin rakennuksiin on mahdollista taloudellisissa puitteissa tehdä energiatehokkaita parannuksia. Pyrkimyksenä on osoittaa, miten hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää käyttäjien energiankulutottumuksia muokkaamalla ja samalla laajentaa tätä energiansäästöperiaatetta muihin Manchesterin julkisiin rakennuksiin. [6]

2.3.3 Leiden

Leidenin pilottikohde on 1600-luvulla rakennettu historiallinen rakennus (kuva 4), joka on palon takia rakennettu osittain uudestaan 1932. Tämäkin rakennus on kaupungintalo, joka tarjoaa kansalaisille erilaisia julkisia palveluita, muun muassa kokoustiloja. [6], [7]

Rakennuksessa vuonna 2007 teetetyt energiakatselmuksen ansiosta hyväksyttiin asennettavaksi monia teknisiä uudistuksia energiatehokkuuden parantamiseksi. Monumenttiasemasta johtuen rakennukseen kohdistuvat fyysiset muutokset ovat kiellettyjä, joten tieto- ja viestintäteknikka sekä käyttäjien energiaa säästävää käyttäytyminen ovat avainasemassa. [6]



Kuva 4. Leidenin kaupungintalo [6]

Leidenin pilotin tavoitteena on muuttaa rakennuksen käyttäjien energiankulutustottumuksia ja lisätä tietoisuutta energiansäästökeinoista. Ihmisten kulutustottumusten seuraamista varten asennetaan antureita viiteen toimistohuoneeseen, joissa yhtä huonetta verrataan neljään muuhun huoneeseen. Huoneisiin asennetaan lämmityksen lämpötilaa ja sisäilman lämpötilaa mittaavia antureita, huoneisiin asennetaan myös sähkönkulutusta mittaavia kilowattituntimittareita. Yhdessä toimistohuoneessa työskentelee kaksi työntekijää. Tarkoituksena on verrata sellaisten huoneiden sähkönkulutusta, joissa ollaan tietoisia mittauksista ja antureista, sellaisiin,

joissa ei mittauksista olla tietoisia. Niissä huoneissa, joissa mittauksista ollaan tietoisia, voidaan myös säätää lämmitystä ja valaistusta. Kaupungintalon pilotin parhaimmat tulokset pyritään siirtämään kaupungin muihin virastoihin ja kansalaisten keskuuteen. [6]

2.3.4 Luulaja

Pohjois-Ruotsissa Luulajassa pilottikohteena on kaupungin kulttuuritalo (kuva 5). Sen rakentaminen alkoi vuonna 2006 ja avajaisia pidettiin tammikuussa 2007.

Rakennuksessa on kaupungin kirjasto, konserttisali, ravintola, kahvila, taidegalleria, matkailutoimisto sekä konferenssi- ja toimistotiloja. Kulttuuritalon julkiset tilat ovat 13 900 neliometriä ja parkkihallin koko 6000 neliometriä. Vuonna 2008 kulttuuritalossa kävi 564 231 vierailijaa. [6]



Kuva 5. Luulajan kulttuuritalo [6]

Rakennus on liitetty kaukolämpöverkkoon, lisäksi siinä on kylmällä jokivedellä jäähdytettävä kaukojäähdytys. Kulttuuritalossa on korkeatasoinen energian hallintajärjestelmä, kuitenkin tavoitteena on lisätä energiansäästöä vaikuttamalla ja edistämällä kuluttajien tietoisuutta. Luulajan pilotin kulttuuritalo jaetaan mittauksilla varustettuihin alueisiin, joilla pyritään eri tavoilla säästää energiaa. [6]

3 Sisäilma

3.1 Sisäilman laatu

Sisäilman laatu voidaan jakaa kolmeen laatuluokkaan, jotka ovat Sisäilmastoluokitus 2000 mukaiset, yksilöllinen S1, hyvä S2 ja tyydyttävä sisäilmasto S3.

Sisäilmastoluokitus 2000 on sisäilmayhdistyksen ja rakennusalan asiantuntijoiden yhdessä laatima, ja siihen on kirjattu tavoitearvot mm. lämpötilalle, hiilidioksidille, radonille ja ammoniakille. [8]

Sisäilman laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat ilmanvaihtoratkaisut, rakennuksen sijainti, rakennustapa, rakennusmateriaalit, käyttö, ihmisistä peräisin olevat epäpuhtaudet ja sääolot. Sisäilmaston tekijät on jaettu kolmeen ryhmään taulukossa 1.

[8], [9, s. 8.]

Taulukko 1. Sisäilmaston tekijät [tiedot poimittu lähteestä 9]

Kaasut	Hiukkamaiset tekijät	Fyysiset tekijät
ammoniakki	huone- ja siitepöly	ilman suhteellinen kosteus
formaldehydi	homeet	melu
haihtuvat orgaaniset yhdisteet	liikenteen ja teollisuuden epäpuhtaudet	ilmanvaihdon aiheuttama liike
materiaalien kemialliset yhdisteet	hilseet	lämpötila ja pintojen lämpötilaerot
otsoni	asbesti	radon-säteily
savuketuotteet	mikrobit	valaistus

3.1.1 Rakennusten ilmanlaadun standardi

Standardin ”SFS-EN 12341:1998 Ilmanlaatu” mukaan määritellään hiukkasten PM10- osuus. Referenssimenetelmä ja kenttätesti tehdään mittausmenetelmien vastaavuuden osoittamiseksi. Sisäilmassa ei saa esiintyä sellaisia määriä kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja, jotka ovat haitallisia terveydelle, eivätkä myöskään epämiellyttävät hajut ole suotavia. [10, s. 6 ja 37.]

Hiilidioksidin määrä sisäilmassa normaaleissa olosuhteissa saa olla enintään 1200 ppm (2160 mg/m³). Taulukossa 2 on rakennusten suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien ohjearvoja. Ohjearvot mitataan kuusi kuukautta aiemmin valmistuneesta rakennuksesta, jonka ilmanvaihto on ollut jatkuvasti käynnissä. [10, s. 6.]

Taulukko 2. Epäpuhtauksien pitoisuuksia sisäilmassa [tiedot poimittu lähteestä 10]

Epäpuhtaus	Yksikkö	Max. pitoisuus
Ammoniakki ja amiinit	µg/m ³	20
Asbesti	kuitua/cm ³	0
Formaldehydi	µg/m ³	50
Hiilimonoksidi	mg/m ³	8
Hiukkaset PM ₁₀	µg/m ³	50
Radon	Bq/m ³	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	µg/m ³	1

3.1.2 Rakennusten sisäilmaston standardi

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma on ympäristöministeriön 30.10.2002 antama asetus, jossa on määräykset ja ohjeet rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdesta. D2:n mukaan rakennukset on suunniteltava siten, että kaikissa mahdollisissa käyttötilanteissa ja sääoloissa saadaan aikaan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto oleskeluvyöhykkeelle. Edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseksi on rakennusten rakentamisessa ja suunnittelussa otettava huomioon rakennukseen vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset kuormitustekijät sekä rakennuspaikan ominaisuudet ja rakennuksen sijainti. Sisäisiä ja ulkoisia kuormitustekijöitä esitellään taulukossa 3. [10, s. 4.]

Taulukko 3. Rakennuksen sisäiset ja ulkoiset kuormitustekijät [tiedot poimittu lähteestä 10]

Sisäiset kuormitustekijät	Ulkoiset kuormitustekijät
Lämpökuormitus	Sääolosuhteet
Kosteuskuormitus	Ääniolosuhteet
Henkilöiden kuormat ja päästöt	Ulkoilmanlaatu
Prosessit	Ympäristötekijät
Rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt	

3.1.3 Rakennusten lämpöolojen standardi

Lämpöolojen kenttämittaukset on määritelty standardissa SFS 5511:1989 Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto..

Rakennusten suunnittelussa on otettava huomioon tarpeettoman energian kulutuksen minimointi, kuitenkin on samalla ylläpidettävä viihtyisää huonelämpötilaa oleskeluvyöhykkeellä. Lämmityskaudella huonelämpötilan suunnitteluarvona pidetään 21 °C:ta oleskeluvyöhykkeellä ja kesäkaudella suunnitteluarvo on 23 °C, edellä mainituista suunnitteluarvoista voidaan poiketa ± 1 °C huoneen keskeltä mitattuna huonekorkeudella 1,1 metriä. Jos ulkoilman lämpötilan keskiarvo on viiden tunnin ajan yli 20 °C, voi sisäilman lämpötila olla korkeintaan 5 °C korkeampi kuin ulkolämpötila.

Lisäksi huonelämpötilan suunnitteluarvosta voidaan poiketa hyvin perustelluista syistä lämmityskaudella tilakohtaisesti taulukon 4 mukaisesti. [10, s. 5.]

Taulukko 4. Tilakohtaisia huonelämpötiloja [tiedot poimittu lähteestä 10]

Huonetila	Huonelämpötila °C
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17
Kirkkosali	18
Kuivaushuone	24
Kylpy- tai pesuhuone	22
Liikuntahalli	18
Myymälä	18
Myymälän kiinteä työpiste	21
Porrashuone	17
Tehdashalli, keskiraskastyö	17

3.2 Huonon sisäilman terveydelliset vaikutukset

Huonon sisäilman lyhytaikaiset vaikutukset eivät terveille ihmisille aiheuta juuri oireita, pitkäaikainen altistuminen voi aiheuttaa oireita ja sairauksia, esimerkiksi allergioita, astmaa tai syöpää. Riskiryhmiin kuuluville, kuten allergikoille ja tupakoitsijoille, lyhytaikainenkin altistuminen huonolle sisäilmalle voi aiheuttaa allergiaoireita tai hengitysvaikeuksia. [9, s. 9.]

Hiukkasten kemiallisilla ja fyysisillä ominaisuuksilla sekä hiukkasten määrällä on suuri merkitys oireiden syntymiseen. Esimerkiksi alle 0,5 – 5 mikrometrin kokoiset hiukkaset pääsevät nenänielun läpi keuhkorakkuloihin ja hengitysteihin. Keuhkokudokseen asti tiensä raivaavat alle 0,02 mikrometrin kokoiset hiukkaset. [9, s. 9.]

Huonon sisäilman terveydellisten vaikutusten kustannuksiksi on laskettu vuositasolla noin 2,2 miljardia euroa, suurin osa tästä summasta menee sairauksien ja sairauspoissaolojen kuluihin. Suomalaisista asunnoista, kouluista ja päiväkodeista on löydetty lukuisia kosteusvaurioita, joista johtuvat homevauriot aiheuttavat suurimman osan huonon sisäilman ongelmista. [9, s. 11.]

3.2.1 Ammoniakki

Ammoniakki on pistävän mädäntyneen hajun omaava väritön kaasu, joka muodostaa rakennuksen pintamateriaaleihin tummia alueita. Sisäilmassa oleva ammoniakki voi olla peräisin rakennusmateriaaleista, tasoitteista, maaleista ja puhdistusaineista.

Ammoniakin yhteydessä sisäilmaan vapautuu aldehydejä, amiineja ja rikkiyhdisteitä, jotka aiheuttavat limakalvojen ärsytysoireita. Ammoniakkia mitataan sisäilmasta mikrogrammoina per kuutiometri, kohonneena arvona pidetään $40 \mu\text{m}/\text{m}^3$.

[9, s. 28.], [11], [12]

3.2.2 Asbesti

1960–1970-lukujen taitteessa rakennetuissa rakennuksissa käytettiin asbestia putkien lämmöneristyksissä ja katto-, seinä- tai lattiamateriaaleissa. Nykyisin asbestin käyttö on kielletty. Rikkoontuneista asbestilevyistä irtoava hienojakoinen pöly tekee siitä vaarallisen, läpimitaltaan $0,03\text{--}3 \mu\text{m}$ olevat kuidut tunkeutuvat keuhkoihin jäädessä sinne pysyvästi. Tutkimusten mukaan pitkäaikainen altistuminen asbestille aiheuttaa keuhkosityöpää, asbestoosia, keuhkopussin sairauksia ja mesoteliomaa, toisin sanoen keuhkopussin tai vatsakalvon syöpää. [9, s. 28.], [12]

3.2.3 Formaldehydi

Formaldehydi on pistävän hajuinen, mutta väritön orgaaninen yhdiste, joka kuuluu aldehydeihin. Suuresta haihtuvuudesta johtuen formaldehydiä pääsee sisäilmaan monista lähteistä, esimerkiksi lastulevyjen liimoista. Formaldehydi aiheuttaa oireilua ylemmissä hengitysteissä ja silmissä. [9, s. 28.], [12]

3.2.4 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on kaasu, jota syntyy aineenvaihdunnan ja uloshengitysilman tuotoksena. Se aiheuttaa päänsärkyä, väsymystä ja huomataan tunkkaisena ilmaa. Hiilidioksidia käytetään sisäilmanlaadun mittarina. [11, s. 20.]

3.2.5 Hiilimonoksidi

Häkänä paremmin tunnettu hiilimonoksidi on epätäydellisestä palamisesta muodostuva hengenvaarallinen kaasu, joka on hajuton ja väritön. Häkä aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia, hengenahdistusta ja lopulta kuoleman. Suositeltava ohjearvo kuutiometrissä ilmaa on 8 mikrogrammaa. [11, s. 21.]

3.2.6 Radon

Radioaktiivinen kaasu radon syntyy radiumin hajoamistuotteena, ja se on hajuton, mauton ja väritön. Radonin määrä vaihtelee alueellisesti. Suuren radonmäärän omaavalla alueella radonia muodostuu sisäilmaan soraperäisestä maastosta, ja jonkin verran sitä erittyy myös rakennusmateriaaleista. Porakaivojen vesistä on myös löydetty radonia. Radonin lähettämä alfasäteily ja sen hajoamistuotteet lisäävät riskiä sairastua keuhkosityöpään. [9, s. 29.], [12]

3.2.7 Styreeni

Aromaattinen hiilivety styreeni on pistävän hajuinen helposti haihtuva neste. Styreeniä sisäilmaan syntyy pakokaasuista, rakennusmateriaaleista, teollisuuden päästöistä, tupakasta ja joistakin muoveista. Styreenin enimmäisarvoksi kuutiometrissä sisäilmaa on annettu 40 mikrogrammaa. [9, s. 27.], [12]

Styreenin terveydellisiä haittavaikutuksia on tutkittu, ja sen on todettu aiheuttavan ärsytystä hengitysteissä sekä silmissä. Korkeina annoksina styreeni aiheuttaa häiriöitä hermostotoiminnassa. Lisäksi on huomattu, että erittäin korkeat styreeniannokset aiheuttavat kromosomimuutoksia ja syöpää. [9, s. 29.], [12]

3.2.8 Huoneilman suhteellinen kosteus

Huoneilman lämpötila vaikuttaa huoneen suhteelliseen kosteuteen, jonka sopivana pidetty arvo on 30–40 %. Korkea lämpötila sitoo ennen vedeksi tiivistymistä prosentuaalisesti enemmän kosteutta kuin alhaisempi lämpötila. Liian korkeassa kosteudessa lisääntyvät pölypunkit ja mikrobit, kun taas liian alhainen kosteusprosentti aiheuttaa limakalvojen vastustuskyvyn heikkenemistä. [13]

4 Ilmanvaihto yleisesti

Ilmanvaihdolla on tärkeä osa ihmisten ja rakennusten terveinä pysymisen kannalta. Huono sisäilmanlaatu alkaa näkyä käyttäjien huonona terveytenä, ja rakennuksen materiaalit alkavat kärsiä mm. kosteusvaurioista. Ihmisten lisäksi rakennuksissa on usein muitakin lähteitä epäpuhtauksille, joita ei voida poistaa, esim. tavallisissa kodeissa keittiölaitteet tai suihkutilat. Tällöin tarvitaan riittävää ilmanvaihtoa, jotta esim. hiilidioksidin ja vesihöyryn määrät sisäilmassa saadaan pidettyä sekä ihmisille että rakennukselle terveellisellä tasolla. Näiden lisäksi yksi jatkuva ilmanlaatua heikentävä lähde on maaperästä vapautuva radonkaasu. [14], [15, s. 155.], [16, s. 321.], [17, s. 68.]

Usein puhutaan sisäilmastosta. Tämä on olosuhdekokonaisuus, joka kattaa niin ilmanlaatuun yhdistettävät asiat (lämpötila, kosteus, tunkkaisuus, veto) kuin tilan pintojen lämpötilan sekä melun, eli sisäilman kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet. [14], [18, s. 11.]

4.1 Ilmanvaihdon tarkoitus

Ihminen hengittää vuorokauden aikana yli 15 000 litraa ilmaa saadakseen tarpeellisen hapen ja poistettua keuhkoissa syntyneen hiilidioksidin. Tulee kuitenkin muistaa, että ihmisen tarvitsema ilmamäärä on vain murto-osa siitä mitä kokonaisilmamäärän tulee olla. Jotta tämä ilma olisi mahdollisimman puhdasta ja terveellistä, tarvitaan useimpiin tiloihin jonkinlainen ilmanvaihto tuomaan puhdasta ilmaa tilan ulkopuolelta ja poistamaan vanha "likainen" ilma. Tämän lisäksi on tärkeää, etteivät ilmassa olevat epäpuhtaudet pääse leviämään oleskeluvyöhykkeelle. Näin ollen ilmanvaihdon tärkein tehtävä on taata sekä käyttäjille että rakennukselle turvallinen ja terveellinen sisäilmasto. [19]

Tässä kohtaa puhutaan usein ilmastoinnista. Ilmanvaihto eroaa ilmastoinnista siten, että ilmanvaihto tekee vain sen, mitä nimikin kertoo, eli vaihtaa tilassa olevaa ilmaa. Ilmastointi sisältää tämän lisäksi myös (ilman) lämmityksen, jäähdytyksen, kostutuksen,

kuivauksen ja suodatuksen. Ts. ilmastointi myös käsittelee ilmaa. Olkoonkin, että koneellisen ilmanvaihdon suurimpia etuja on tuloilman suodatus, ei se silti tee siitä ilmastointia. [16, s. 321.], [17, s. 68.]

Ilmanvaihto tulee mitoittaa kunkin tilan suurimman epäpuhtauslähteen mukaan. Näin sisäilmanlaatu pysyy koko ajan hyvänä. Lisäksi tuloilma pyritään tuomaan sisään oleskelutiloihin ja poistoilma ottamaan ns. likaisista tiloista. Tällä pyritään estämään epäpuhtauksien leviäminen tilojen sisällä oleskelutiloihin. Tämä oli liikuntasalia ajatellen kuitenkin epäolennaista. [18, s.160-161.]

4.2 Erilaiset toimintatavat

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin, jolloin ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Tämä paine-ero voidaan luoda joko puhaltimien avulla, kuten koneellisessa ilmanvaihdossa tehdään, tai lämpötilaerojen ja ulkoisten ilmavirtojen avulla, kuten painovoimainen ilmanvaihto toimii. [19]

Ilmanvaihtotavat jaetaan pääsääntöisesti kolmeen eri tyyppiin;

- painovoimaiseen ilmanvaihtoon
- koneelliseen poistoilmanvaihtoon
- koneelliseen vakioilmanvaihtoon

Ilmanvaihtotapa valitaan sen mukaan, mikä täyttää kyseiselle tilalle asetetut vaatimukset parhaiten. [17, s. 68.], [19]

4.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Myös luonnollisena ilmanvaihtona tunnetussa painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma liikkuu fysiikan lakien mukaisesti, eli lämmin ilma nousee tilassa ylöspäin. Tuloilma otetaan omien venttiilien kautta ja lämmitessään ilma nousee ylös ja lopulta kulkee poistoventtiilin kautta tilasta pois. [17, s. 68.]

Tämän tyyppinen ilmanvaihto on investointikustannuksiltaan edullisin rakentaa yksinkertaisuutensa ansiosta, mutta toimivuus vaihtuvissa olosuhteissa on melko kyseenalaista. Esim. kylmillä ilmoilla tai meluisilla paikoilla ei tuuletusikkunoita tai tuloilmaventtiileitä pidetä auki, jotta sisäilma tuulettuisi. [17, s. 68.]

Toimintansa yksinkertaisuudesta huolimatta painovoimaiseen ilmanvaihtoon liittyy muutama haaste. Jos lämpötilaeroja tai tuulta ei ole, ei ilmakaan liiku kanavassa. Kanavien on pääsääntöisesti oltava suorina putkia eikä niissä voi olla useita mutkia, jotta ilma ”jaksaisi” kulkea pienen paine-eronsa turvin kanavassa. Tätä voidaan auttaa poistoputken päähän asennettavalla nk. tuulihatulla tai tuuliroottorilla. Lisäksi painovoimainen ilmanvaihto on vaikeampi mitoittaa kuin koneellinen ilmanvaihto. [18, s. 167-168.]

4.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilma otetaan tilaan sisään tuloilmaventtiilien tai ikkunan rakojen kautta ja poistetaan koneellisesti puhaltimen (esim. huippuimurin) avustuksella. [17, s. 69.]

Järjestelmän etuja ovat sen edullisuus ja yksinkertaisuus. Haittoja taas sen toiminta etenkin kylmillä ilmoilla, jolloin vedon tuntua syntyy helposti. Tämän korjaamiseksi käyttäjät usein sulkevat tuloventtiilit. Tällöin poistopuhallin synnyttää tilaan alipaineen, ja tuloilma tuleekin muuta kautta tilaan sisälle, esim. kerrostaloissa yleensä rappukäytävästä. [17, s. 69.]

4.2.3 Koneellinen vakioilmanvaihto

Koneellisessa vakioilmanvaihdossa käytetään sekä tulo- että poistoilmalla omia puhaltimiaan. Nk. tulokone tuo puhdasta ilmaa tilaan sisään ja poistokone imee vanhaa ilmaa ulos. Järjestelmästä saa suurimman edun, kun tuloilma otetaan suodattimen läpi ja poistoilma kulkee lämmön talteenottolaitteen (LTO) kautta, jolloin poistoilman hukkalämmöllä saadaan lämmitettyä tuloilmaa. [17, s. 69.]

Tämän tyyppisen laitteiston etuja ovat sen helppo hallittavuus, jos laitteisto sisältää ohjautusautomaatiikkaa. Tuloilman puhallus on hallittua, joten vetoa ei synny hyvin toimivassa järjestelmässä. Myös lämpötila on säädettävissä. Huonoja puolia ovat mm. tuloilman suodatuksen taso, ilmanjakoon liittyvät ongelmat, mahdollinen äänekkyyys sekä kanaviston vaikea puhdistettavuus ja huollettavuus. Näiden lisäksi järjestelmän investointikustannukset ovat muilla periaatteilla toimivia ilmanvaihtojärjestelmiä korkeammat. [17, s. 69.]

4.3 Ilmanvaihdon toiminta

Jotta ilmanvaihto voisi toimia, vaatii se tehokkaan korvausilman oton jostain tilan ulkopuolelta. Jos korvaavaa ilmaa ei saada tuotua tilaan sisään, ei vanhakaan ilma poistu tilasta. Pahimmillaan tästä voi syntyä alipaine, joka imee korvausilman tilaan sisälle esim. postiluukun tai jopa viemärin kautta, jos seinät ja ikkunat ovat tiiviitä. Vastaavasti on yhtä tärkeää, että vanha ilma saadaan poistumaan tilasta. Muuten tilanne on kuin pulloon puhallettaessa, umpinaiseen tilaan ei saada puhallettua uutta ilmaa. [20]

Tiloissa tapahtuvien ilmanvirtausten lisäksi myös putkistojen mitoitus ja oikea säätö on tärkeää, jotta ilmanvaihto toimisi tasaisesti suurissa tiloissa. Ilma virtaa aina helpointa reittiä, joten on ehdottoman tärkeää, että kanavisto on toimiva. Huonosti toimiva ilmanvaihto aiheuttaa suurten tilojen sisällä painesuhteiden sekoamista, jolloin ilma voi jäädä seisomaan jonnekin ja muualla taas voi syntyä turhaa melua ja vetoa. Esim. kerrostaloissa voi alempien kerrosten asunnoissa olla ylipaine, jolloin ilma virtaa ulos tai rappukäytävään ja nousee yläkerrokseen joissa on alipaineisia tiloja. Tämän

ilmavirtauksen mukana leviävät myös hajut asunnosta toiseen, mikä aiheuttaa omat ikävyytensä käyttäjille. Ilmiö vastaa painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaatetta. [18, s. 167.], [19]

Omissa sovelluksissamme kanavistojen mitoitus näkyy esim. liikuntasalin katossa, kun lähimpänä iv-kojetta oleviin tuloilmalaitteisiin menee paksuin putki, sen jälkeen putki ohenee loppua kohden. Tämä on fysiikan lakeihin perustuva ilmiö, jolla turvataan tasaiset ilmamäärät jokaiselle tuloilmalaitteelle. Ilman virtaus häiriintyy jokaisessa putkistossa olevassa risteyksessä. Tämä ilmeni myös rakentamassamme demolaitteessa, jossa ei ollut mitään tuloilmalaitteita. Viimeisistä putkista virtasi ilma kovempaa kuin ensimmäisistä. Tätä käsitellään tarkemmin myöhemmin muun demolaitteen yhteydessä.

Ilmavirtausten toimivuuden lisäksi hyvin toimivalta ilmanvaihdolta voidaan myös vaatia, että se luo tilaan pienen, mielellään alle 20 pascalin alipaineen. Tämä syystä, ettei sisäilmassa oleva kosteus pääse kulkeutumaan rakenteisiin. Esim. home ei tarvitse kasvaakseen kuin vettä. Ravinteita löytyy kyllä ilmasta ja puhtaalta näyttäviltä pinnoiltakin. [18, s. 165.], [21]

4.4 Yleisimmät ilmanvaihdon ohjaustavat

Ilmanvaihdon ohjaus vaatii aina jonkinlaista säätöä, oli se sitten älykästä tai ei. Pekka Heikkinen on kirjoittanut ilmastointitekniikan opetusmonisteissaan säätötekniikan käytöstä seuraavasti: "Säätötekniikka on vasta toissijainen väline, jolla pyritään korjaamaan jo tapahtunutta "vahinkoa", eli säätämään ilmastointia muuttuneita kuormitusolosuhteita vastaten. Käytännössä sekä ulkoiset että sisäiset olosuhteet muuttuvat kuitenkin päivän ja vuoden mittaan niin radikaalisti eli häiriöt ovat niin suuria, että säätölaitteet ovat olennainen osa toimivaa laitosta". [22, s. 1.]

4.4.1 Säätötekniikka

Säätötekniikkaa tarvitaan, jotta ilmanvaihto voi toimia halutulla tavalla, koska olosuhteet muuttuvat niin rajusti. Rakennuksen ulkopuoliset häiriötekijät, kuten

ulkolämpötila ja sen muutokset, ilmankosteus, tuuli tai suora auringonpaiste, aiheuttavat omat häiriönsä sisäilmalle. Sisäiset kuormat, kuten laitteiden ja ihmisten aiheuttamat lämpö- tai kosteuskuormat tekevät oman osansa sisäilman säätötarpeille, jotta sisäilmanlaatu pysyisi käyttäjälle mieluksena koko ajan. Ilmanvaihdon säädöllä pyritään siis kompensoimaan erilaisten häiriötekijöiden vaikutuksia sisäilmanlaatuun. Esim. pelkästään tuulettamalla on usein mahdotonta ylläpitää tyydyttävää sisäilmastoa. [22, s. 1.]

4.4.2 Säättöön vaikuttavat suuret

Ilmanvaihtoa on perinteisesti ohjattu usein paineen perusteella ja sisäänpuhallusilman lämpötila on säädetty kiinteäksi. Tilaan on säätämällä saatu haluttu paine, jotta ilmanvaihto toimii halutulla tavalla. Muita ohjaavia suureita voivat olla sisäilman hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus tai jopa lämpötila, jos tilassa on ilmastointi. Pelkän ilmanvaihdon tapauksessa lämmitys hoidetaan yleensä pattereilla ja jäähdytys tuulettamalla.

Toistaiseksi hiilidioksidiantureita on tavattu sijoittaa poistokanavaan. Tätä harvoin käytetään tärkeimpänä säätösuureena, koska huonetilassa ilma on jo tunkkaista ennen kuin poistokanavassa sijaitseva anturi havaitsee riittävää muutosta. Hiilidioksidianturit tulisi sijoittaa huonetiloihin ja niitä tulisi olla riittävän monta, jotta säätö toimisi halutulla tavalla eikä ilmanlaatu pääsisi huomattavasti heikkenemään ennen kuin puhallusta säädetään. Poistokanavassa olevassa mittaukseen perustuvassa säädössä tulee CO₂:n ppm-arvo asettaa riittävän matalaksi, jottei ilmanlaatu ehdi huonontua tuntuvasti ennen kuin säätö alkaa vaikuttaa ilmanvaihdon ohjaukseen. Arvoa 1000 ppm pidetään yleisenä raja-arvona hyvälle sisäilmalle. 5000 ppm on jo terveydelle haitallista, mutta näin suuriin CO₂-pitoisuuksiin ei normaaleissa tiloissa päästä. Demolaitteessa käyttämiemme CO₂-antureiden mittausalue loppuu 2000 ppm:n kohdalle. [18, s. 163.]

4.5 Ilmanvaihtokojeen olennaiset komponentit

Ilmanvaihtokojeeseen kuuluu itse puhallinkoje, putkisto/kanavat sekä niiden päätelaitteet eli useimmissa tapauksissa hajottajat tai venttiilit. Itse ilmanvaihtokoje sijaitsee konehuoneessa ja ilma johdetaan putkistoa/kanavistoa pitkin haluttuun tilaan, jonne ilma "puhalletaan" päätelaitteiden kautta. Kanavistot kootaan nykyään sinkitystä peltiputkesta, joko pyöreästä tai suorakaiteen mallisista putken osista. [14]

Liikuntasalin tapauksessa toimivin päätelaite on nk. pyörrevirtahajottaja (kuva 6), joko säädettävä tai kiinteäasentoinen. Niiden suuttimet tuottavat ilmavirralle korkean lähtönopeuden ja pitkän heittopituuden. Pitkän ja nopean suihkun ansioista tällaiset hajottajat soveltuvat parhaiten korkeiden tilojen, kuten tehdashallien tai suurten salien tuloilmalaitteiksi. Joissain malleissa heittokuvion leveyttä voidaan säätää joko käsin tai jopa automatiikan avulla. [15, s. 321.]



Kuva 6. Pyörrevirtahajottaja [23]

Näiden lisäksi kanavistoihin on usein asennettu ”peltimoottorit”, eli sähkömoottoreilla kääntyvät ”pellit”. Pelleillä saadaan tarpeen mukaan säädettyä kanavissa kulkevaa virtausta, useimmiten kuitenkin suljettua koko kanava. Tämä tehdään yleensä, jos puhallin pysähtyy, ettei pakkanen aiheuta vaurioita kojeeseen talvisin tai ettei tulipalon tapauksessa savu leviäisi. Joskus nämä säätöpellit ja palopellit ovat erillisiä komponentteja. [14]

Muita tarpeellisia komponentteja ovat suodattimet, ääniloukut ja tarkistus- ja puhdistusluukut. Suodattimilla suodatetaan epäpuhtaudet pois ilmavirroista.

Ääniloukuilla ehkäistään iv-kojeesta syntyvien äänien kantautuminen kanavistoja pitkin huonetiloihin. Tarkistus- ja puhdistusluukuista päästään kanavistoihin sisälle tekemään tarvittavia huoltotoimenpiteitä. Kanavistoja tulee puhdistaa riittävän usein, ettei niihin kertyvä pöly ja rasva ala aiheuttamaan hajuhaittoja, jotka voivat levitä koko kanaviston vaikutusalueelle. Lisäksi kanaviston ehdoton tiiviys liitosten kohdalta on tärkeää, ettei ilmanvaihdon tehokkuus heikenny. [14]

5 Pihkapuiston liikuntasali

Pihkapuiston liikuntasalin ilmanvaihtokoje oli lopputyömme kannalta keskeisin pilottikohteiden osa-alue. Aluksi meidän oli tarkoitus kehittää parannusehdotuksia iv-kojeen toiminnan tehostamiseksi, mutta tämä muuttui projektin kuluessa. Pihkapuiston koulun liikuntasalin ilmanvaihdon periaatekuva löytyy liitteestä 1.

5.1 Lähtökohdat

Liikuntasalin ilmanvaihdosta oli valitettu, että salissa oli tunkkainen ilma ja joskus saattoi tuntua vetoakin. Vuonna 1998 tehdyn energiakatselmusraportin mukaan liikuntasalin ilmanvaihtokoneen kapasiteetti riitti liikuntasali käytössä 46 henkilölle, mutta juhlasalikäytössä vain 69 henkilölle. Tämä oli tavallisia koulun juhlatilaisuuksia ajatellen täysin ala-arvoista, olkoonkin että keskimääräisen neliökohtaisen ilmamäärän katsottiin olevan riittävä D2-rakennusmääräysten mukaan (liite 2). Näiden puutteiden lisäksi iv-koneita ajettiin täydellä teholla joka päivä klo 8-21 oli salilla käyttöä tai ei. Muuten koneet olivat pysähdyksissä, yötuuletusta ei käytetä ollenkaan. Tämä ei ollut kovinkaan energiatehokas käyttötapa koneille, eikä se ollut riittävä, jos salilla oli enemmänkin käyttöä. Näihin puutteisiin lähdettiin suunnittelemaan parannusehdotuksia. [24, s. 8.]

Ilmanvaihdosta oli kuitenkin ristiriitaista palautetta. Käyttäjien kokemusten mukaan ilmanvaihto ei toiminut ja salissa oli huono ilmanlaatu. Mittausten mukaan ilmamäärät olivat alamittaiset (liite 3). Kuitenkin energiakatselmusraporttien mukaan ilmamäärät olivat juhlasalikäyttöäkin ajatellen reilusti mitoitettut, joskaan niissä ei ollut varaa pudottaa.

5.2 Vanhan iv-koneen speksit

Pihkapuiston ala-asteen liikuntasalin tuloilmapuhaltimen nimeksi oli annettu "202 TF 1" ja poistopuhaltimen nimeksi "202 PF 1". Iv-koje on kuvan 7 mukainen Novenco

Climaster ZCN 18/8, jossa on myös LTO-kuutio. Puhallinten moottorit olivat ABB:n valikoimasta, ja ne pyörittivät koteloituja keskipakopuhaltimia hihnojen välityksellä.



Kuva 7. Novenco ZCN -iv-koje [25]

Tulokoneessa on ABB:n M2AA 132S -sarjan sähkömoottori, jonka teho on 4,0 kW kierrosluvulla 1465 r/min ja 8,2 ampeerin nimellisvirralla. Konekortin (liite 4) tietojen mukaan tulopuhallin tuottaa 2,8 m³/s tilavuusvirran 1098 r/min kierrosluvulla. Tehtyjen mittausten mukaan näistä jäätiin käytännössä. Kanavasta mitattu tilavuusvirta oli 2,44 m³/s. Mittauksen suoritti alan ammattilainen ISS:ltä kesällä 2009 (liite 3). Puhaltimen akselin hihnapyörästä mittasimme pyörimisnopeuden digitaalisella Ebro DT-2234 -takometrillä, ja tulokseksi saimme 993 r/min.

Poistokoneessa (kuva 8) on ABB:n hieman pienempi saman sarjan sähkömoottori, nimellisteholtaan 3,0 kW kierrosluvulla 1440 r/min ja 6,2 ampeerin nimellisvirralla. Konekortin (liite 5) tietojen mukaan poistopuhallin tuottaa 2,44 m³/s tilavuusvirran 920 r/min kierrosluvulla. Käytännössä kanavasta mitattu tilavuusvirta oli 2,41 m³/s. Mittaamamme pyörimisnopeus puhaltimen akselin hihnapyörälle oli 777 r/min.



Kuva 8. vanha AC-poistokone

Mittasimme puhallinten ohjauskaapista molempien puhallinten ottamat virrat ahtaisiin rakoihin sopivalla Kyoritsu 2300R -avopihtivirtamittarilla. Koneet pyörivät täydellä nopeudella, ja mittaukset tehtiin jokaisesta vaiheesta erikseen. Taulukossa 5 on myös molempien koneiden konekorteista otetut nimellisvirrat.

Taulukko 5. Iv-koneiden vaiheiden virrat

202 TF 1	Mitattu virta	Nimellis- virta	202 PF 1	Mitattu virta	Nimellis- virta
L1	5,2 A	8,2A	L1	4,2 A	6,2A
L2	5,2 A		L2	4,2 A	
L3	5,4 A		L3	4,4 A	

5.3 Uusi ilmanvaihtojärjestelmä

Pihkupuiston ala-asteen liikuntasalin uusi ilmanvaihtojärjestelmä käsitti uudet puhaltimet ja uuden automaatiojärjestelmän niiden ohjaamiseksi sekä toiminnan seuraamiseksi. Vanhat moottorit ja puhaltimet korvattiin uusilla EC-puhaltimilla, ja vanha Trend-automaatiojärjestelmä päivitettiin uudempaan versioon. Trend-automaatiojärjestelmän toimitti Arealtech ja puhaltimet Ziehl-Abegg.

Samassa yhteydessä saliin asennettiin kaksi hiilidioksidianturia, yksi kummallekin puolelle puolille salia. Puolella välissä salia on kokoonkelattava seinä, jolla sali saadaan jaettua kahdeksi yhtä suureksi tilaksi. Anturit oli sijoitettu niin, että seinän ollessa alhaalla kummassakin tilassa on yksi CO₂-anturi. Näiden lisäksi oli poistokanavassa CO₂-anturi.

Ennen kuin mitään muutoksia tehtiin, keskusteltiin ilmanvaihdon toimivuudesta tai sen toimimattomuudesta. Yksi keskusteluissa esille noussut asia oli ilman kierto salissa. Tuliko tilaan sisään puhallettu ilma alas oleskeluvyöhykkeelle, vai jäikö se tilan alhaalla vellovan ilmassan ”päälle” ja katosi poistopuhalluksen mukana tilasta pois? Yksi parannusidea tähän oli, että kokeiltaisiin pudottaa sisään puhalletun ilman lämpötilaa, jotta se tulisi varmasti alas asti. Uusien puhallinten kanssa saliin puhalletaan nyt 18 °C ilmaa. Käyttäjäperäisten kokemusten perusteella alle 18 °C ilmaa ei kannata puhaltaa tilaan, koska silloin kylmä ilma aiheuttaa vedon tuntua.

Lisäksi taajuusmuuttajan asennusta oli suunniteltu vanhan tuloilmakojeen yhteyteen, jotta pyörimisnopeutta saataisiin säädettyä tarpeen mukaisesti. Tämä suunnitelma kuitenkin muuttui uusien koneiden tilauspäätöksen myötä.

Opinnäytetyötä kirjoitettaessa salissa ei ollut vielä pidetty juhlia tai muita tilaisuuksia, missä salissa olisi useampi sata ihmistä kerralla. Näin ollen ilmanvaihdon toimivuutta ei ole ehditty testaamaan varsinaisissa käytännön olosuhteissa, eikä tuloksia saatu näiden kansien väliin tarkasteltaviksi. Pienillä käyttäjämäärillä CO₂-pitoisuus pysyi kuitenkin

alhaisena eikä aiemmin valitettua vedon tuntua syntynyt, joten ilmanvaihdolla on edellytykset toimia ainakin tuntuvasti paremmin kuin vanhoilla iv-kojeilla.

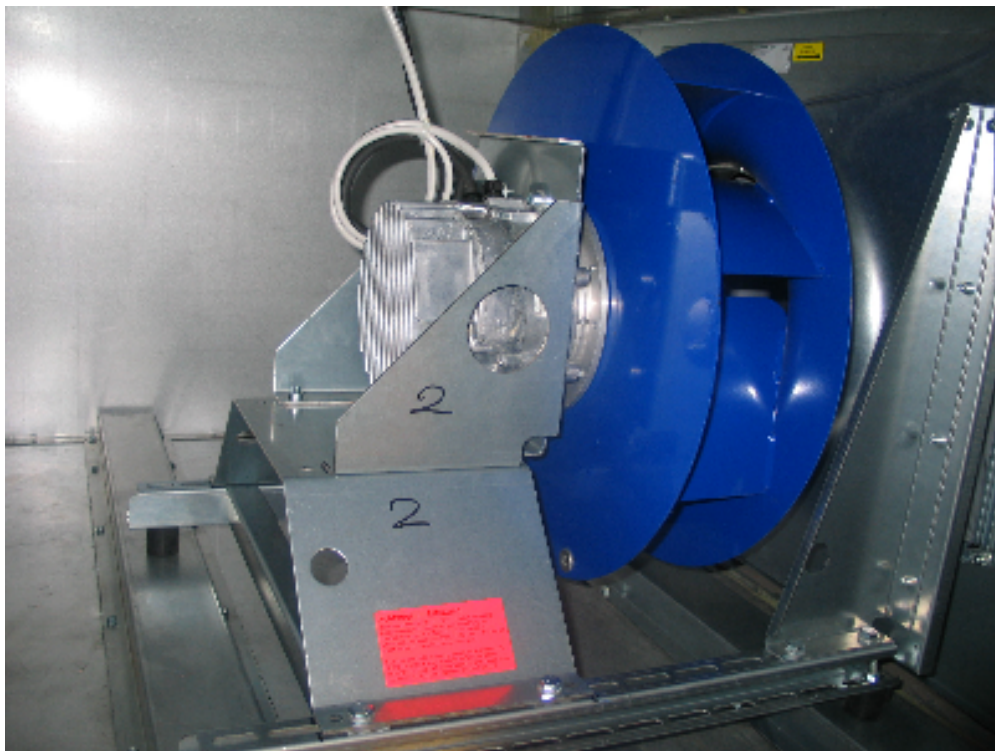
5.3.1 Uudet puhaltimet

Pihkapuiston liikuntasalin iv-kojeeseen asennettiin uudet EC-puhaltimet. Puhaltimet ovat kompakteja kokonaisuuksia, jossa puhaltimeen on integroitu sähkömoottori ja sen ohjauselektronikka, joka hoidetaan I/O-moduulilla. Itse moottorit ovat elektronisesti kommutoituja tasavirtamoottoreita. Moottoreiden kierroslukua ohjataan pulssinleveysmodulaatiolla 0-10 V jänniteviestillä, toisin kuin perinteisten iv-kojeiden vaihtosähkömoottoreita, jotka vaativat taajuusmuuttajan, jottei niiden tuottama momentti putoaisi kierroslukua laskettaessa. Itse keskipakopuhaltimet korvattiin uusien moottoreiden mukana toimitetuilla aksiaalipuhaltimilla. Ensivaikutelman mukaan uudet laitteet ovatkin paljon hiljaisempia kuin vanhat ja tuottavat jopa isommat ilmamäärät pienemmällä sähkön kulutuksella. (liite 6)

Kuvissa 9 ja 10 olevat uudet iv-koneet ovat Ziehl-Abeggin ER50C-6IK.6N.1R -malliset. Niiden moottorit ovat kolmivaiheisia tasasähkömoottoreita, joiden nimellisteho on 3,2 kW kierrosnopeudella 1830 rpm. Puhaltimissa on taaksepäin kaartuvat ja muotoillut siivet, jotka tuottavat suuret ilmamäärät ja alhaiset melutasot hyvällä hyötysuhteella. (liite 6)



Kuva 9. EC-puhallinkokonaisuus, uusi poistokone



Kuva 10. EC-puhallinkokonaisuus, uusi tulokone

Uudessa ohjausjärjestelmässä ilman hiilidioksidipitoisuutta pidetään tärkeimpänä ohjaussuureena. Uusien puhallinten asennuksen yhteydessä iv-kojeen ohjauskaappiin oli asennettu ABB:n elektroniset OD4165-kolmivaihekilowattituntimittarit seuraamaan moottoreiden sähkönkulutusta kilowattitunteina. Luokan ”2” laitteina niiden tulisi näyttää kulutukset 2 % tarkkuudella. Näiden mittareiden kautta myös Trend ottaa mittaustietonsa.

Kun laskimme vanhalle 4,0kW:n tulokoneen sähkömoottorille 3,56 kW:n ottotehon täydellä puhallusnopeudella, otti uusi EC-mallinen tulokone Trendin mittausten mukaan 0,51 kW koneen käydessä minimiteholla salin ollessa tyhjä. Tulos on sikäli vertailukelpoinen, kun vanhoja koneita ajettiin aina 1/1 teholla, uusia koneita saadaan ajettua tarpeen mukaan. Tulokone oli Trend-sovelluksen trendien mukaan ottanut 2 kilowattia yhdessä piikissä, kun CO₂-arvo oli käynyt 630 ppm:ssä, kun koneet olivat olleet käytössä pari ensimmäistä viikkoa.

Uusia koneita ajetaan nyt niin, että liikuntasalin ilman CO₂-pitoisuus pyritään pitämään välillä 600–900 ppm. Tulokonetta ajetaan sille asetetulla miniminopeudella CO₂-pitoisuuden ollessa alle 600 ppm ja täydellä nopeudella, kun arvot ylittävät 900 ppm:n rajan.

5.3.2 Uusittu Trend-automaatiojärjestelmä

Pihkapuiston koulun valvomotietokoneelle asennettiin EC-moottoreiden asennuksen yhteydessä uusi versio Trend-valvomo-ohjelmistosta. Uudessa ohjelmassa pystyttiin seuraamaan mm. EC-puhallinten sähkönkulutusta reaaliajassa, vanhasta ohjelmaversiosta tämä ominaisuus puuttui. Uudet mittaukset koskevat vain uusia puhaltimia, muiden koneiden osalta jatketaan edelleen vuoden 1998 mukaisen ohjelmaversioon mittauksilla.

Ohjelma tekee mittauksia sekunnin välein, mutta tallentaa niitä tietokantaan viiden minuutin välein. Näistä saadaan sitten piirrettyä kuvaajia halutuilla suureilla.

Lisäksi Trendistä saadaan mittausdataa internetin yli koululle perustetulla palvelimella ylläpidettävään tietokantaan, jonka kautta mittaustietoa saadaan laitettua käyttäjien nähtäville erilaisilla näyttötauluilla ja projektin puitteissa suunniteltavaan peliin. Tietokantaan ja näyttöihin liittyen tehtiin yksi amk-insinööritutkinnon opinnäytetyö projektin yhteydessä.

6 Helsingin pilottikohteiden iv-kojeiden vertailu

Save Energy -hankkeen Helsingin pilotissa on kaksi koulua pilottikohteina. Tässä vertaillaan näiden kahden koulun liikuntasalien erilaisia ilmanvaihtokojeita ja niiden toimintaa. Ala-Malmin koululla oli uudempi laitteisto kuin Pihkupuiston koululla. Ensin näitä verrataan keskenään, ja sitten Pihkupuiston uutta laitteistoa verrataan Ala-Malmin laitteistoon.

6.1 Pihkupuiston iv-koje

Pihkupuiston vanha Novenco-merkkinen ilmanvaihtokoje oli asennettu vuonna 1999. Selkeitä puutteita vanhassa ilmanvaihtolaitteistossa oli sen ilmamäärien riittämättömyys kun salissa oli paljon käyttäjiä. Lisäksi ilmanvaihdon ohjaus ei ollut toteutettu nykyaikaisella tavalla. Koneita ajettiin kello-ohjauksella ja täydellä teholla eikä tarpeen mukaan ja automaattisesti säätyvällä teholla. Koneet kävivät klo 8-21 täydellä nopeudella ja muuten olivat pysähdyksissä. Vuoden 2009 energiakatselmuksen mukaan yötuuletuksen käyttö saattaisi parantaa sisäilman laatua lämpiminä aikoina, mutta se lisäisi sähkönkulutusta, joten se oli poissa käytöstä. [26, s. 21.]

Ensimmäinen ajatus vanhan iv-kojeen parantamiseksi oli lisätä sille taajuusmuuttajaohjaus, kuten esim. Ala-Malmin koulullakin oli. Toisena ajatuksena oli selvittää, olisiko puhallinten kierroslukua varaa kasvattaa muuttamalla niiden ja moottorien hihnapyörien välityksiä. Selvitettäväksi jäi, kestäisivätkö puhaltimet tätä ja seuraisiko siitä jotain sivuvaikutuksia, kuten kasvanut melu tai jokin muu ei-toivottu ilmiö. Taulukon 5 perusteella koneet ottivat reilusti pienemmän virran verkosta kuin mikä niille ilmoitettu nimellisvirta oli. Tästä päätellen olisi moottoreissa ainakin ollut varaa nostaa pyörimisnopeutta paremman virtauksen toivossa.

Lisäksi teimme ABB:n Fan Save -ohjelmalla laskelmia, joissa vertailtiin taajuusmuuttajaohjattua ja suoralla ohjauksella olevien puhallinten sähkönkulutuksia. Ohjelma näytti sähkönkulutukset suoraan sekä laski takaisinmaksuajat syötettyjen

tietojen mukaan. Takaisinmaksuaikaa ei pidetty kaikkein tärkeimpänä kriteerinä, koska energiansäästö oli kuitenkin tärkeämpi asia.

Myös ohjaukselle oli valmiita parannusideoita. Liikuntasaliin lisättäisiin hiilidioksidi-, lämpötila- ja kosteusanturit joilla seurattaisiin tilan ilmanlaatua, ja näiden perusteella ohjattaisiin ilmanvaihtoa. Tärkeimmäksi ohjaussuureksi ajattelimme sisäilman hiilidioksidipitoisuutta. Tämän lisäksi taajuusmuuttajilla saataisiin koneita ajettua hiljempaa, kun salilla ei olisi käyttöä mutta ilman pitäisi silti vaihtua. Säädön portaattomuus helpottaisi ilmanlaadun ohjausta vaihtelevalla käyttöasteella. Salilla on kuitenkin paljon erilaisia käyttäjäryhmiä, niin koululaisten kuin iltakäyttäjienkin puolesta. On juhlatilaisuuksia, yksittäisten luokkien tai ryhmien liikuntatunteja sekä iltaisin varauksia vauhdikkaasta joukkueurheilusta rauhalliseen mammajumppaan. Kun puhallusta ajettiin tilanteesta riippumatta aina täydellä teholla, ei kaikilla käyttäjillä ollut hyvä olla salissa.

Sopivaa ohjausstrategiaa lähdimme mallintamaan rakentamallamme demolaitteella sekä selvitimme, millaisia ilmanvaihtokojeita ja niiden ohjauksia oli käytössä muissa vastaavissa tiloissa. Tämä kaikki muuttui kuitenkin, kun Helsingin kaupunki ilmoitti uusivansa Pihkapuiston koulun liikuntasalin iv-kojeet kokonaan vuoden 2009 syysloman aikana uusilla EC-puhaltimilla. Näin ohjauksen suunnittelu jäi enemmän teorian asteelle ja demolaitteen testaukseksi.

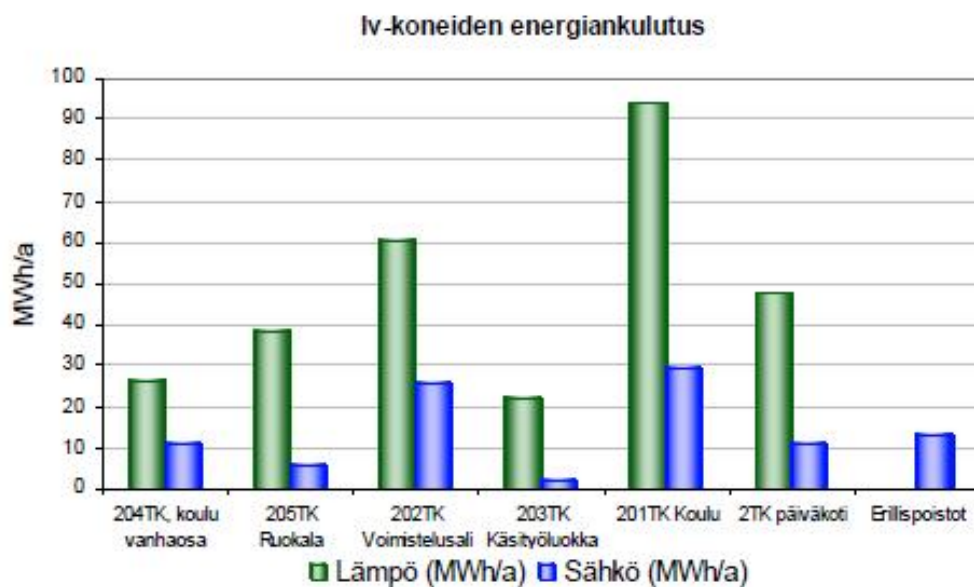
6.2 Ala-Malmin iv-koje

Save Energy -projektin toisen pilottikohteen, eli Ala-Malmin koulun liikuntasalin iv-kojeet on uusittu vuonna 2009 alkuvuodesta. Salin ilmanvaihdosta vastaavat Nykypelti Oy:n asentamat koneet, mitkä on merkitty ”207 TK” sekä ”207 PK 1” ja ”207 PK 2”. Kutakin kojetta ohjataan omalla HVAC-sovellukseen tarkoitettulla ABB ACH550 -taajuusmuuttajallaan. Vaikka salissa mitataan hiilidioksidipitoisuutta ja koneiden pyörimisnopeuksia voitaisiin säätää portaattomasti, ajetaan jokaista konetta sille asetetulla maksimiarvolla kello-ohjelman mukaan.

Syy tälle selvisi yhdessä Save Energy -hankkeen teknisen ryhmän palaverissa, kun kuulimme, että iv-kojeiden uusimisen yhteydessä oli tapahtunut suunnitteluvirhe, jonka johdosta kahden musiikkiluokan ilmanvaihdot oli liitetty liikuntasalin putkistoihin. Näiden luokkien IMS-ilmavirtasäätimet vaativat niin suuren paineen toimiakseen, ettei liikuntasalin iv-kojeita voitu ajaa yhtään pienemmillä nopeuksilla. Liikuntasalin ilmanvaihdon kannalta energiaa kuluu siis aivan turhaan inhimillisen suunnitteluvirheen vuoksi.

6.3 Energiankulutuskatselmukset 2009

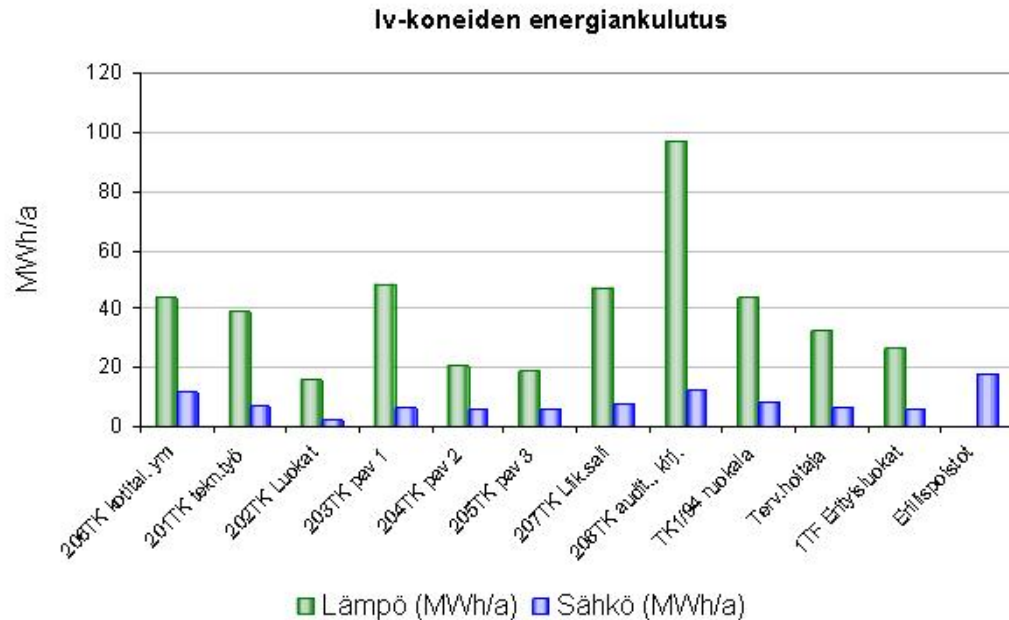
Pöyryltä tilatussa Pihkapuiston ala-asteen energiakatselmusraportissa (liite 7) ehdotettiin hiilidioksidiantureiden ja taajuusmuuttajien lisäämistä liikuntasalin iv-kojeiden ohjaukseen sekä ohjausta tarpeen mukaan nykyisen kello-ohjauksen sijaan. Muuten koko koulun kattavissa parannusehdotuksissa oli lähes jokaisen iv-kojeen kohdalla tuloilman lämpötilan laskeminen yli 20 °C:sta 19 °C:seen. Kuvissa 11 ja 12 nähdään Pihkapuiston koulun ja Ala-Malmin koulun iv-koneiden energian kulutukset. [26, s.19-21.]



Kuva 11. Pihkapuiston ala-asteen iv-koneiden energiankulutukset [26, s. 21.]

Vertailun vuoksi voi katsoa myös Ala-Malmin peruskoulun energiakatselmusraporttia (liite 8). Vaikka siinä ei ollut liikuntasalin koneiden mittauksia erikseen, voidaan kuitenkin oikeanpuoleisista palkeista nähdä, että voimistelusalin iv-koje kuluttaa sähköä alle 10 MWh vuodessa, kun Pihkapiiston iv-koje kuluttaa yli 25 MWh. Kuten Pihkapiiston koulunkin kohdalla, koko koulun kattavissa parannusehdotuksissa oli lähes jokaisen iv-kojeen kohdalla tuloilman lämpötilan laskeminen yli 20 °C:sta 19 °C:seen.

[27, s. 20-21.]



Kuva 12. Ala-Malmin peruskoulun iv-koneiden energiankulutukset [27, s. 21.]

6.4 Pihkapiiston koulun ja Ala-Malmin koulun iv-kojeiden vertailu

Ala-Malmin koulun iv-kojeet taajuusmuuttajaohjauksineen ovat edustaneet nykysuuntausta iv-kojeiden kehityksessä. Vaihtosähkömoottorit ja erilliset puhallinyksiköt ovat olleet moderni tapa rakentaa iv-koje. Nopeuden säätö on vaatinut aina myös erillisen taajuusmuuttajan.

Nyt Pihkupuiston ala-asteelle asennetut EC-puhaltimet ovat rakenteeltaan paljon yksinkertaisempia. Puhallinyksiköt ovat kompaktimpia, ja tasasähkömoottorit on asennettu suoraan puhallinyksikköihin kiinni. Lisäksi tasasähkömoottorit eivät vaadi taajuusmuuttajia pyörimisnopeuden säätöön, vaan nopeutta voidaan säätää ohjelmallisesti esim. ohjauspulssin leveyttä säätämällä.

Jää nähtäväksi tekevätkö uudet EC-puhaltimet läpimurron iv-kojeiden suunnittelussa vai jatketaanko perinteisellä linjalla uusien kojeiden asennuksissa. Projektin puitteissa saadun pienen otannan mukaan EC-koneiden sähkönkulutus ja niiden tuottama ääni on vähäisempää kuin vanhempien AC-konekokonaisuuksien.

7 Demolaitteisto

Demolaitteiston rakentamisen tarkoitus alkuperäisen ajatuksen mukaan oli testata logiikalla ohjattua ilmanvaihtoa hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittausten perusteella sekä perehtyä langattomien antureiden käyttöön ja toimivuuteen. Tarkoituksena oli liittää valmiiksi ohjelmoitu ja testattu logiikka liikuntasalin ilmanvaihtoon tuleviin taajuusmuuttajiin. Helsingin kaupungin rakennusviraston päätös uusista kokonaan ilmavaihtokoneista, joiden ohjaus perustuu hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittauksiin sekä päivittää Trend-automaatiojärjestelmä, ei vaikuttanut jo pitkällä olevan demolaitteiston rakentamiseen. Demolaitteistoa on päätetty kierrättää Suomen Save Energy -kohteissa, ja kenties sitä voidaan joskus käyttää hyväksi Metropolia Amk:n automaatiotekniikan laboratoriotöissä.

7.1 Laitteiston suunnittelu

Demolaitteen suunnittelun lähtökohdaksi oli toteuttaa pienemmässä mittakaavassa oleva liikuntasali ja sen ilmanvaihto. Anturitietojen perusteella ohjelmoitava logiikka ohjaa kahta 24 VDC:n puhallinta. Liitteessä 9 on demolaitteiston periaatekuva. Laitetekelo ja ilmanvaihtokanavien sijoittelu perustuvat oikean liikuntasalin piirustuksiin, ja niitä 3D-mallinnettiin Solidworks-ohjelmalla.

7.1.1 Laitetekelön suhteuttaminen oikeaan liikuntasaliin

Aluksi kävimme Pihkupuiston ala-asteen liikuntasalissa mittaamassa salin pituuden (n. 27 m), leveyden (n. 16 m) ja korkeuden (n. 8 m). Salin mittojen perusteella mietittiin, minkälaisessa laatikossa ja missä suhteessa liikuntasalia simuloitaisiin, markkinoilta löytyi useita erikokoisia laitekoteloita. Lopulta päädyimme suomalaisen laitekotelovalmistaja Ocotecin metalliseen laitekoteloon ikkunallisella kannella. Laitetekelo on kokoa 1000 mm x 600 mm x 320 mm, ja se on Pihkupuiston liikuntasaliin verrattuna suhteessa 1:26.

7.1.2 Ilmanvaihtokanavien suunnittelu

Pihkapaiston ala-asteelta saaduista piirustuksista teetettiin kopiot Painotalo Kopio Niinissä, piirustukset olivat mittakaavassa 1:50. Piirustuksista mitattiin ilmanvaihtokanavien pituudet, ja ne muutettiin mittakaavaan 1:26. Näiden mittausten perusteella ilmanvaihtokanavat ja laitekotelo 3D-mallinnettiin Solidworks-ohjelmalla (liite 10). 3D-mallin ja mittausten avulla ilmanvaihtokanavat sovitettiin laitekotelon ikkunalliseen kanteen ulkopuolelle siten, että keskellä kulkee kaksi tuloilmalinjaa ja reunoilla kulkevat poistoilmalinjat.

7.1.3 Laitteiden sijoittaminen

Saatuamme Ocotecin laitekotelon se osoittautui aika painavaksi ja päätimme hankkia laitekotelon alle helposti liikuteltavan pöydän. Pöydän hankimme Treston Oy:stä. Mietimme, että pöydässä pitäisi olla kaksi tasoa, jolloin päällimmäiselle tasolle sijoittaisimme laitekotelon ja ilmanvaihtokanavat tuulettimiseen. Ylemmän pöytälevyn alle pöydän jalkoihin kiinnitimme kulmarauhoilla ja poraruuveilla kaksi pöydän noin pituista alumiinikiskoa, ja alumiinikiskoihin kiinnitimme kaksi pienempää laitekotelo, joihin asensimme kaikki sähkölaitteet lukuun ottamatta antureita, puhaltimia ja magneettiventtiileitä. Magneettiventtiilit kiinnitettiin alumiinikiskoon, toinen Enston laitekoteloiden vasemmalle puolelle ja toinen koteloiden oikealle puolelle (kuva 13).

Alemmalle levyllä laitoimme Woikosken 5 kg:n hiilidioksidipullon, joka on tukevasti kiinnitetty pöydän jalkaan metallisilla reikänauhoilla (kuva 13). Pöydän alatasolle on myös kiinnitetty 12 VDC:n jännitteellä toimiva kompressori ja viiden litran vesiastia, jonka pohjalla on kylläistä suolaliuosta (kuva 13).



Kuva 13. Demolaite

7.2 Laitehankinnat

7.2.1 Ohjelmoitava logiikka

Aikaisempien logiikan ohjelmointikokemusten perusteella päädyimme valitsemaan Siemensin S7:n ja Mitsubishi Melsec FX-sarjan väliltä. Huomattavasti edullisemman hintatason ja löytämämme selkeän suomenkielisen ohjelmointioppaan vuoksi valitsimme demolaitteen logiikaksi Mitsubishi Melsec FX3U 16M -logiikan, jossa on 8 digitaalituloa ja 8 transistorilähtöä. Valitsimme logiikkamme transistorilähdöillä siitä syystä, että transistorilähdöillä voimme ohjata puhaltimien nopeutta lineaarisesti pulssinleveysmodulaatiolla. Mitsubishi Melsec FX3U-16MT-perusyksikön lisäksi hankimme lisämoduuleita, kaksi kappaletta Mitsubishi Melsec FX2N-4AD-analogiatulomoduulia jännite- ja virtaviestillä, yhden Mitsubishi Melsec FX2N-4DA-analogialähtömoduulin jännite- ja virtaviestillä, yhden Pt-100-antureille soveltuvan Mitsubishi Melsec FX2N-4AD-PT -analogiatulomoduulin jännite- ja virtaviestillä, ja

tiedonsiirtoon logiikan ja PC:n välille hankimme SC-09-ohjelmointikaapelin RS232/RS422-muuntimella.

7.2.2 Laitekotelot

Pihkapuiston liikuntasalia simuloivan Ocotecin laitekotelon lisäksi hankimme kolme pienempää Enston laitekoteloa PJ Controlista. Kaksi Enston laitekoteloa (kotelointiluokka IP 66/67) on kokoa 400 mm x 600 mm x 185 mm ja yhden Enston laitekotelon (kotelointiluokka IP 66/67) kokoa 200 mm x 300 mm x 187 mm.

Suojataksemme sähkölaitteita kolhuilta ja roiskeilta ja vähentääksemme sähköiskun riskiä sekä asennuksen yleisen siisteyden vuoksi sijoitimme kaikki sähkölaitteet Enston suurempiin laitekoteloihin, lukuun ottamatta puhaltimia ja antureita. Enston laitekoteloihin muokkasimme sopivat asennuslevyt Ocotecin yhdestä isosta asennuslevystä Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen yksikön materiaali- ja pintakäsittelytekniikan laboratoriossa. Kosteuden tuotossa käytettävän kompressorin äänenvaimentamiseksi asensimme sen Enston pienempään laitekoteloon, jonka äänieristimme äänieristysmatolla.

7.2.3 Hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpölähttimet

Mietittyämme, mitä mittauksia demolaitteistossa tarvitsisimme, tulimme siihen tulokseen, että demolaitteessa pitäisi olla hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittauksia. Antureiden hankinnassa kriteereinä olivat niiden koko, lähetysnopeus ja langattomuus. Lisäksi langattomien antureiden vastaanottimessa tuli olla analogisia lähtöjä, jotta mittauksia voitaisiin lukea Mitsubishi Melsec FX2N-4AD -tulomoduulilla. Järkeviä langattomia hiilidioksidiantureita ei markkinoilta löytynyt lainkaan, joten jouduimme tyytymään langalliseen hiilidioksidilähttimeen.

Demolaitteessa olevat Thermokon Sensortechnik GmbH:n valmistamat SR04 rH - langattomat anturit tilasimme HK Instrumentsilta. Suhteellista kosteutta ja lämpötilaa mittaavat huoneanturit ovat EnOcean-tekniikalla toteutettuja, paristovapaita ja

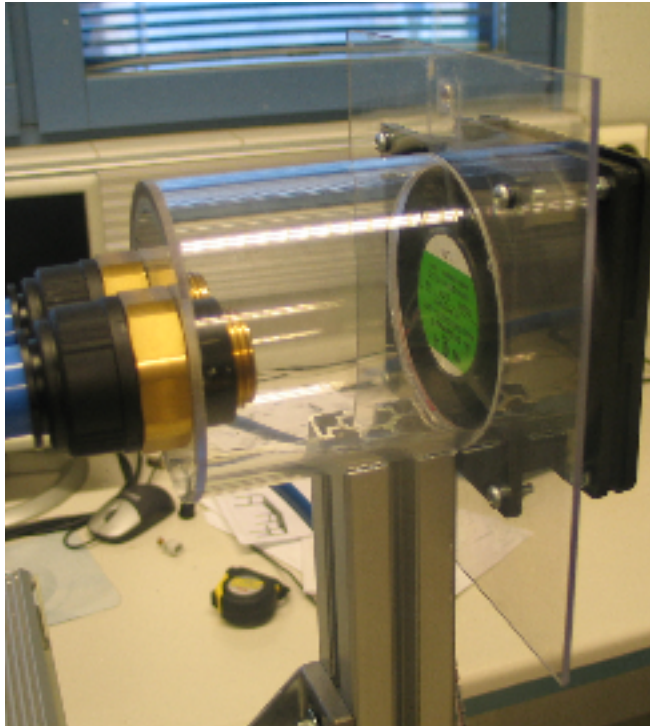
tehokkaalla aurinkopaneelilla varustettuja. 868,3 MHz:n radiotaajuudella lähetäviien antureiden kantama voi maksimissaan olla 300 metriä, sisätiloissa materiaaleista riippuen päästään vain n. 30 metrin kantamiin. Kosteuden mitta-alue on 0-100 % ja lämpötilan 0-40 °C. Langattomien antureiden vastaanottimeksi valitsimme Thermokonin SRC-ADO-BCS-vastaanottimen, jossa on neljä analogista 0-10 V:n ja neljä digitaalista lähtökanavaa. [28]

Hiilidioksidia mittaavat lähetimet ovat myös Thermokon Sensortechnik GmbH:n valmistamia. WRF04 CO2 VV -lähetin on valmistettu hiilidioksidin ja lämpötilan mittauksiin huonetiloissa, ja anturi on itsekalibroituva (ABCLogic™). Hiilidioksidilla mitta-alue on 0- 2000 ppm ja lämpötilalla 0-50 °C, mittaustieto lähetetään 0-10 V:n jänniteviestillä ja käyttöjännite on 15-24 VDC. [29]

7.2.4 Puhaltimet ja ilmanvaihtokanavat

Aluksi käytimme automaatiolaboratoriosta löytyneitä halkaisijaltaan 120 mm:n 24 VDC:n puhaltimia, mutta myöhemmin ilmantuoton lisäämiseksi hankimme Partco Oy:stä tehokkaammat puhaltimet. Partco Oy:stä ostetut puhaltimet toimivat myös 24 VDC:n jännitteellä. Puhaltimien ulkomitat ovat 120 mm x 120 mm x 38 mm ja ilmansiirtokapasiteetti on 178,4 m³/h kierrosnopeudella 3700 rpm.

Ennen ilmanvaihtokanaviston hankkimista mietimme, miten liittäisimme tulo- ja poistokanavat puhaltimiin. Päädyimme ratkaisuun, jossa puhallin kiinnitettiin kulmistaan 4 mm:n pulteilla 3 mm:n akryylilevyyn ja levyn toiselle puolelle liimattiin 100 mm pitkä ja halkaisijaltaan 100 mm oleva akryyliputki. Akryyliputken toiseen päähän liimattiin akryylilevystä kansi, johon oli kiinnitetty kaksi halkaisijaltaan 28 mm messinkistä lähtöliitintä paineilmaputkille. Tällaisia kuvan 14 mukaisia puhaltimien ja ilmanvaihtokanavien liitoskappaleita tehtiin molemmille puhaltimille. Akryylilevyt ja –putket hankimme Etolasta.



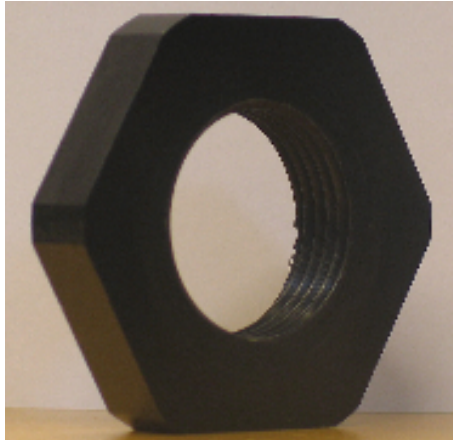
Kuva 14. Tulopuhaltimen ja tuloilmakanavien liitoskappale

Sopivan paineilmaputkiston löysimme Projecta Oy:n valikoimasta. John Guest valmistaa teollisuuteen alumiinisia ja muovisia paineilmaputkistoja. Hankimme demolaitteen ilmanvaihtokanaviksi muoviset halkaisijaltaan 28 mm:n putkistot. Putkistoon kuuluvat näkyvät alla olevasta taulukosta 6.

Taulukko 6. Paineilmaputkiston osat

Osa	T-liitin	Kulmaliitin	Lähtöliitin	Paineilmaputki
Materiaali	Muovi	Muovi	Messinki	Muovi
Halkaisija	28 mm	28 mm	28 mm	28 mm
Kiinnitys	Pikalukitus	Pikalukitus	Pikalukitus/putkikierte	
Määrä	16 kpl	8 kpl	24 kpl	3 x 3 metriä

Messinkisten lähtöliittimien putkikierteisiin sopivat kuvan 15 mukaiset mutterit sorvasi muovista Metropolian Myyrmäen yksikön materiaali- ja pintakäsittelytekniikan laboratoriossa laboratoriomestari Leo Kunttu, jotta lähtöliittimet saatiin kiinnitettyä Ocotecin laitekotelon ikkunalliseen kanteen ja akryylisiin liitoskappaleisiin.



Kuva 15. Muovinen mutteri

7.3 Demolaitteen rakentaminen

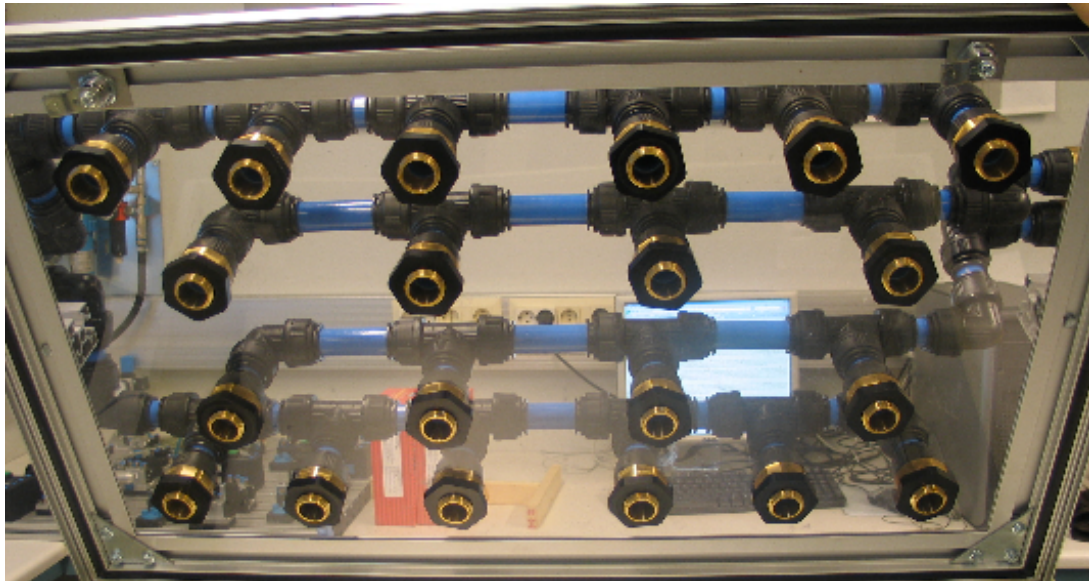
Demolaitteen rakentaminen aloitettiin logiikan kytkemisellä ja ohjelmointiharjoituksilla, sillä antureiden ja liikuntasalia simuloivan laitekotelon toimitukset kestivät huomattavasti pidempään kuin logiikan saapuminen.

Aluksi kiinnitimme logiikan ja Mascotin 24 VDC:n virtalähteen DIN-kiskoilla vanerilevyyn, sitten kytkimme logiikkaan Mascotilta virrat ja maadoitimme sen. Seuraavaksi lähdimme kokeilemaan logiikkaa kytkemällä kaksi katkaisijaa digitaalituloihin, ja kahteen transistorilähtöön kytkimme 24 VDC:n puhaltimen ja toiseen hehkulampun. Transistorilähdöissä testattiin pulssinleveysmodulaation (PWM) toimivuutta. Logiikan perusmoduulin kytkentöjen jälkeen kytkimme Mitsubishi Melsec FX2N-4AD-PT -moduuliin automaatiolaboratoriosta löytyneeseen Pt 100 -anturin ja Mitsubishi Melsec FX2N-4AD -analogiatulomoduuliin erittäin nopeasti lämpötilan muutoksiin reagoivan LM-35 -lämpötila-anturin.

Ocotecin laitekoteloä kannattelevan pöydän sivut sekä takaosa suojattiin metallisilla reikälevyillä, jotka ruostesuojattiin harmaalla Ferrex-peltikattomaalilla. Pöydän etuosa suojattiin Etolalta hankitulla 3 mm:n polykarbonaattilevyllä.

7.3.1 Ilmanvaihtokanavien rakentaminen

Saatuamme Ocotecin laitekotelon ja John Guest -paineilmaputkistot aloimme suunnitella putkiston sijoittamista laitekotelon kanteen. Kannen polykarbonaatti-ikkunan reunoihin tulevien poistokanavien ja kannen keskelle tulevien tulokanavien läpivientien sijoittelu toteutettiin kuvan 16 mukaisesti.



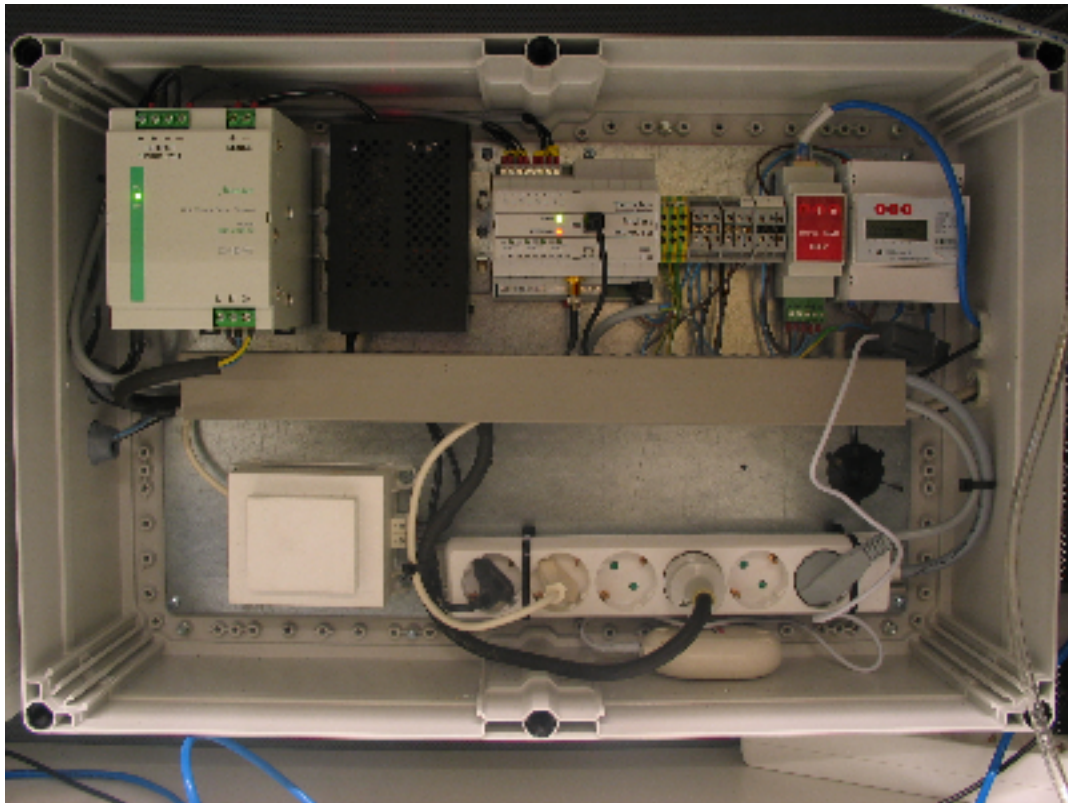
Kuva 16. Ilmanvaihtokanavien sijoittelu

Mittasimme ja merkitsimme läpivientienpaikat polykarbonaattilevyyn, jonka jälkeen materiaali- ja pintakäsittelylaboratorion laboratoriomestari Leo Kunttu teki läpiviennit levyyn sekä puhaltimien liitoskappaleisiin. Kun läpiviennit oli tehty, sahasimme sopivan mittaisia pätkiä 28 mm paineilmaputkesta ja yhdistimme kulmaliittimet, T-liittimet ja lähtöliittimet toisiinsa sekä lopuksi kiristimme lähtöliittimet polykarbonaatti levyyn muovisilla muttereilla (kuva 15). Puhaltimet liitoskappaleineen (kuva 14) sijoitettiin laitekotelon vastakkaisiin päihin, ja laitekotelon kanteen kiinnitimme puhaltimille alumiiniprofilista valmistetut säädettävät tuet.

7.3.2 Demolaitteen kytkennät

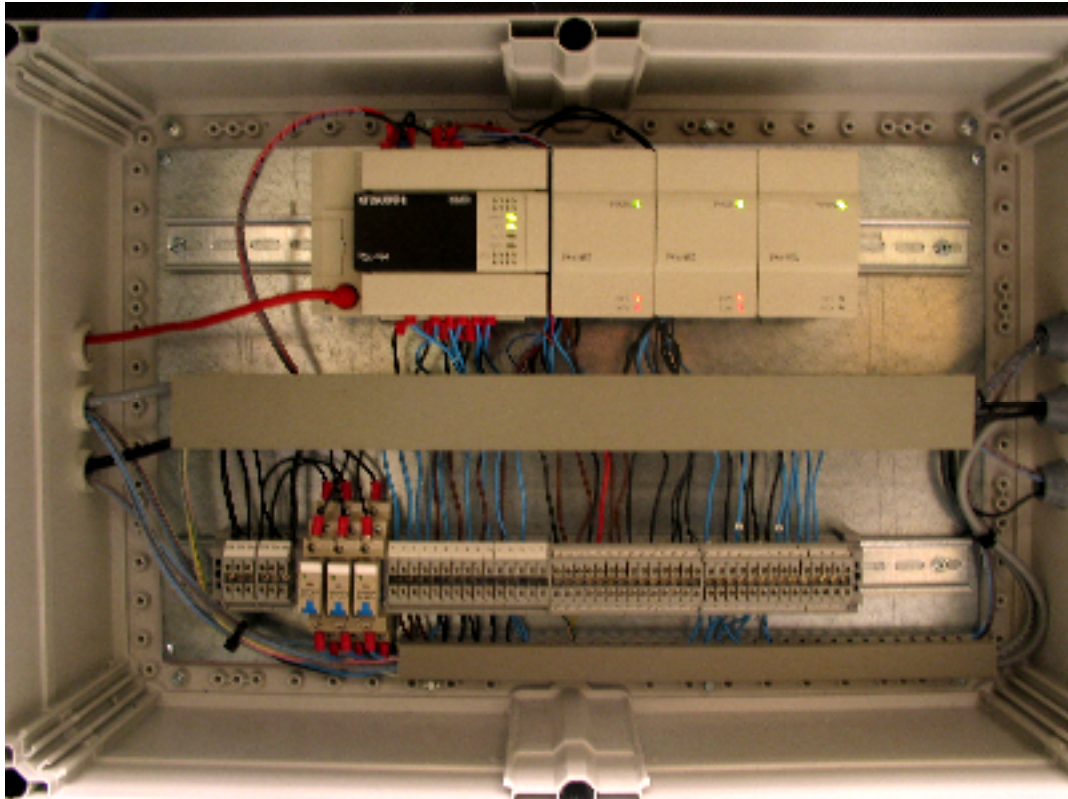
Demolaitteessa käytettävät sähkölaitteet, esimerkiksi logiikka, releet ja virtalähteet jaettiin kahteen ryhmään, matalajännitteisiin laitteisiin ja verkkovirtalaitteisiin.

Oikean puoleiseen laitekoteloon sijoitimme kaikki verkkovirtajännitteellä toimivat laitteet, kuten virtalähteet. Lisäksi suojamaadoitimme oikeanpuoleisen laitekotelon pohjalevyn sekä pöydän. Laitekoteloon johtokourun yläpuolelle kiinnitimme DIN-kiskoon Mansonin 12 VDC 20 A 240 W:n virtalähteen, Mascotin 24 VDC 3 A:n virtalähteen, Thermokonin langattomien antureiden SRC-ADO-BCS -vastaanottimen ja ISAn virtamittarin, jonka yhdessä vaiheessa on kiinni ISAn langattoman virtamittarin pihtivirtalähetin (kuva 17). ISAn virtamittariin on myös kytketty ISAn Ethernet-RS485 Bridge, josta lähtee Ethernet-kaapeli PC:lle. Johtokourun alapuolelle laitoimme Horst ST300 -muuntajan 42 V ja kuuden pistokkeen jatkopistorasian (kuva 17). Laitekotelon oikeassa reunassa on kaksi läpivientä, joista lähtee ulos Ethernet-kaapeli, Thermokonin SRC-ADO-BCS -vastaanottimen USB-kaapeli ja lämmityskaapelin miinusjohto. Laitekotelon oikean reunan läpivienneistä on vedetty Thermokonin SRC-ADO-BCS -vastaanottimen neljästä analogialähdöstä johdot FX2N-4AD -analogiatulomoduuliin 1 ja Horst ST300 -muuntajan 42 V:n plusjohto menee lämmityksen ohjausreleelle. Mansonin virtalähteen 12 V:n plusjohto menee rinnankytketyille ohjausreleille, jotka ohjaavat kompressoria. Logiikka saa myös virtansa oikean puoleisesta laitekotelosta Mascotin 24 VDC:n virtalähteestä. Tarkempi kuvaus oikean puoleisen laitekotelon kytkennöistä löytyy liitteen 11 piirikaaviosta.



Kuva 17. Oikean puoleisen laitekotelon kytkennät

Vasemman puoleiseen koteloon johtokourun yläpuolelle asensimme DIN-kiskoon logiikan, johtokourun alapuolelle laitoimme DIN-kiskoon kolme 24 VDC 10 A:n relettä ja riviliittimiä (kuva 18). Vasemman puoleisen laitekotelon oikeassa reunassa olevista läpivienneistä tulee, oikean puoleisesta laitekotelosta tulevien johtojen lisäksi, kaksi neljänapaista kaapelia hiilidioksidilähettiläiltä ja tulopuhaltimen virtajohto sekä hiilidioksidin syötössä käytettävän magneettiventtiilin virtajohto. Vasemman puoleisen laitekotelon vasemmassa laidassa sijaitsevista läpivienneistä kulkee SC-09 - ohjelmointikaapeli, poistoilmapuhaltimien virtajohto sekä painikekotelon katkaisimilta tulevat signaalijohtimet, jotka menevät logiikan digitaalituloihin. Kompressorin johto sekä kosteuden syötön ohjaukseen käytettävän magneettiventtiilin virtajohto tulevat myös vasemmassa laidassa olevista läpivienneistä. Tarkempi kuvaus vasemman puoleisen laitekotelon kytkennöistä löytyy liitteen 12 piirikaaviosta.



Kuva 18. Vasemman puoleisen laitekotelon kytkennät

7.3.3 Liikuntasalin olosuhteiden muutosten simulointi

Liikuntasalin olosuhteiden muutosta voidaan simuloida kolmella eri tavalla, hiilidioksidin lisäyksellä, kosteuden lisäyksellä ja lämpötilaa kasvattamalla. Hiilidioksidin lisäys toimii siten, että pöydän alatasolla olevan korkeapainehiilidioksidipullon paineenalennusventtiilistä lähtee letku releellä ohjattavaan magneettiventtiiliin, josta vastaavasti lähtee 6 mm:n paineilmaletku Ocotecin laitekoteloon. Kun pöydän ylätasolla olevasta kytkinkotelosta painetaan CO₂-kytkintä, logiikka kytkee magneettiventtiilin auki 3 sekunniksi ja hiilidioksidikaasu pääsee virtaamaan laitekoteloon.

Kosteuden lisäys olikin vaikeampi toteuttaa. Bio- ja elintarviketekniikan opettajien ehdotuksesta valmistimme viiden litran kannellisen vesiastian pohjalle kylläisen suolaliuoksen, joka muodostaa 75 % suhteellisen kosteuden liuoksen yläpuoliseen osaan

astiassa. Kosteuden syöttöön tarvittiin myös kompressori aiheuttamaan paine-ero suolaliuosastian ja Ocotecin laitekotelon välille. Kompressoriksi hankittiin autonrenkaiden täyttöön soveltuva 12 VDC kompressori Motonetistä. Kompressori tarvitsee 15 A:n virran toimiakseen, joten sitä varten hankittiin 12 VDC 20 A virtalähde Partcosta. Kun kytkinkotelosta painetaan kosteus-kytkintä, logiikka kytkee rinnankytketyt Omronin releet päälle 10 sekunniksi, ja kompressori puhaltaa ilmaa vesiaastian suolaliuokseen, samanaikaisesti logiikka aukaisee magneettiventtiilin 20 sekunniksi, ja kosteaa ilmaa virtaa laitekoteloon paine-eron tasoittuessa.

Ocotecin laitekotelon lämpötilan kasvattaminen toimii siten, että lämpö-painiketta painaessa logiikka kytkee Omronin releeseen virran 15 minuutiksi ja laitekotelon pohjalla olevan alumiinilevyn alle kiinnitettyyn 90 W lämmityskaapeliin johdetaan Horst ST300 -muuntajan tuottama 42 voltin jännite.

8 Logiikan ohjelmointi

8.1 Ohjelmointi

Logiikkaohjelmoinnin alkuun saattamisessa oli suureksi avuksi Anu Heinosen opinnäytetyö GX IEC DEVELOPER FX -ohjekirja Tampereen ammattikorkeakoulusta. [30]

Ennen varsinaisen ohjelmoinnin alkua huomasimme, että koulumme GX IEC DEVELOPER FX -ohjelmointiohjelma versio 6.10 oli niin vanha, ettei se tunnistanut Mitsubishi Melsec FX3U 16M -logiikkaa, joka on FX-sarjan uusin malli. Ongelman ratkaisimme väliaikaisesti lataamalla demoversion 7.01 GX IEC DEVELOPER FX -ohjelmointiohjelmasta Beijer Electronicsin internetsivuilta. Tällä ohjelmalla pärjäsimme melko pitkään, kunnes demoversion rajat tulivat vastaan logiikkaohjelman ylittäessä 500 operaation rajan. Sitten otimme yhteyttä logiikan toimittajaan ja tilasimme GX IEC DEVELOPER FX -ohjelmointiohjelmasta version 7.03.

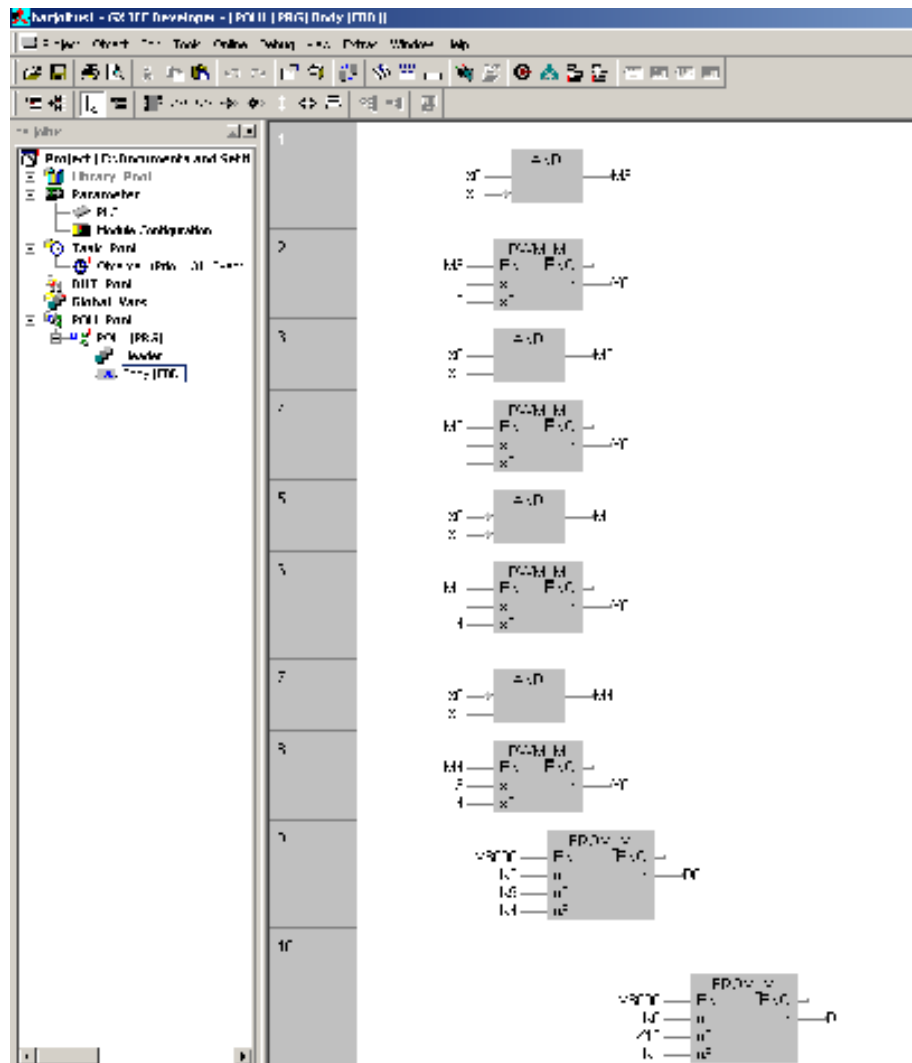
8.1.1 Ohjelmoinnin harjoittelu

Ennen laitekotelon ja paineilmaputkistojen rakentamista harjoittelimme logiikan ohjelmointia. Kuvassa 19 näkyvä ohjelma sisältää yhden POU:n ja 10 TASKia. POU1 on ohjelman rakenneyksikkö, joka koostuu muuttujalistasta (header) ja ohjelman rakenteesta (body). TASK on ohjelmassa oleva tehtävä, joihin ohjelman käskyt ja funktiot kirjoitetaan. Logiikka suorittaa TASKit järjestyksessä aloittaen ensimmäisestä. [30, s. 18-19.]

TASK 1:ssä olevan AND-funktion tuloissa on logiikan digitaalituloihin X0 ja X1 kytketty kaksi katkaisinta. Jos tulo X0 on päällä ja tulo X1 on pois päältä, muistipaikka M3 saa arvon yksi, muissa tapauksissa M3 pysyy nollana. TASK 2:ssa muistipaikka M3:n saadessa arvon yksi logiikan transistorilähtöön Y0 kytketty puhallin pyörii puolinopeudella eli PWM_M-funktio leikkaa lähdön maksimijännitteestä puolet. TASK

3:ssa tulojen X0 ja X1 molempien ollessa päällä saa muistipaikka M2 arvon yksi ja TASK 4:ssa saa PWM_M-funtiossa oleva lähtö Y0 täyden tehon. Kun tulot X0 ja X1 ovat molemmat pois kytkettyinä, saa TASK 5:ssa oleva muistipaikka M1 arvon yksi, ja tällöin puhallin pyörii TASK 6:n mukaisesti neljännestehollla. TASK 7:ssä muistipaikka M4 on arvossa yksi, kun tulo X0 on pois päältä ja tulo X1 on päällä, ja tällöin PWM_M-funktio TASK 8:ssa pyörittää puhallinta $\frac{3}{4}$:n nopeudella.

TASK 9 ja 10 sisältävät FROM_M-funktiot hakevat analogiatulomoduuleihin tulevat tiedot ja siirtävät ne logiikan datarekisteripaikkoihin. TASK 9:ssä on kyseessä Pt 100 -anturi, ja sen lähettämät tiedot haetaan Mitsubishi Melsec FX2N-4AD-PT -moduulista ja tiedot laitetaan datarekisteripaikkaan D0. TASK 10:ssä on kyseessä LM-35 -anturi ja sen lähettämät tiedot haetaan Mitsubishi Melsec FX2N-4AD -moduulista, ja tiedot laitetaan datarekisteripaikkaan D1.

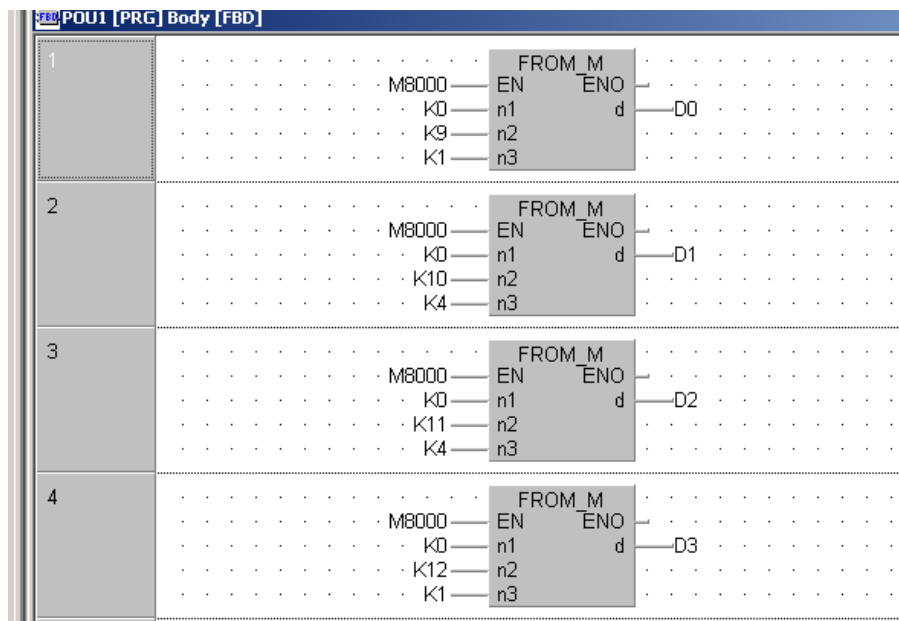


Kuva 19. Logiikan ohjelmoinnin harjoittelua

8.1.2 Demolaitteen logiikkaohjelma

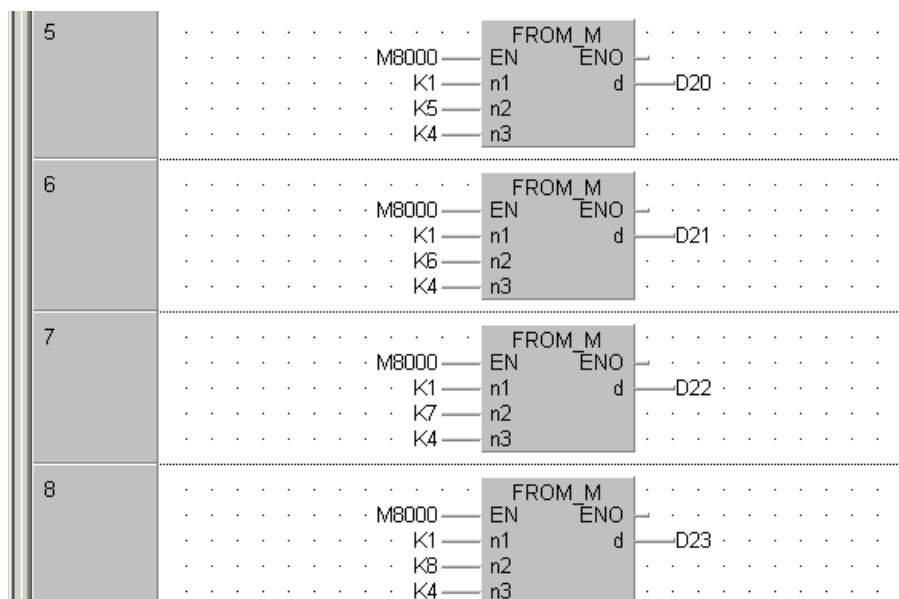
Ohjelma sisältää yhden POU:n ja 24 TASKia. POU1 on ohjelman rakenneyksikkö, joka koostuu muuttujalistasta (header) ja ohjelman rakenteesta (body). POU1:ssä on 24 TASKia. TASK on ohjelmassa oleva tehtävä, joihin ohjelman käskyt laitetaan. Logiikka ohjaa tulo- ja poistoilmapuhaltimien pyörimisnopeutta hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötila-antureiden mittauksien perusteella. Lämpötila- ja hiilidioksiditiedot ovat eniten merkitseviä prosessissa, ja puhaltimien nopeutta säädetään PWM:n (pulssinleveysmodulaatio) avulla. Logiikka vertailee hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötila-arvoja ja sen perusteella joko lisää tai vähentää puhaltimien kierrosnopeuksia.

Kuvassa 20 olevat TASKit 1-4 sisältävät FROM-funktiot, jotka kirjoittavat antureiden analogiatulomoduuliin lähettämän tiedon datarekisteripaikkoihin D0, D1, D2, D3.



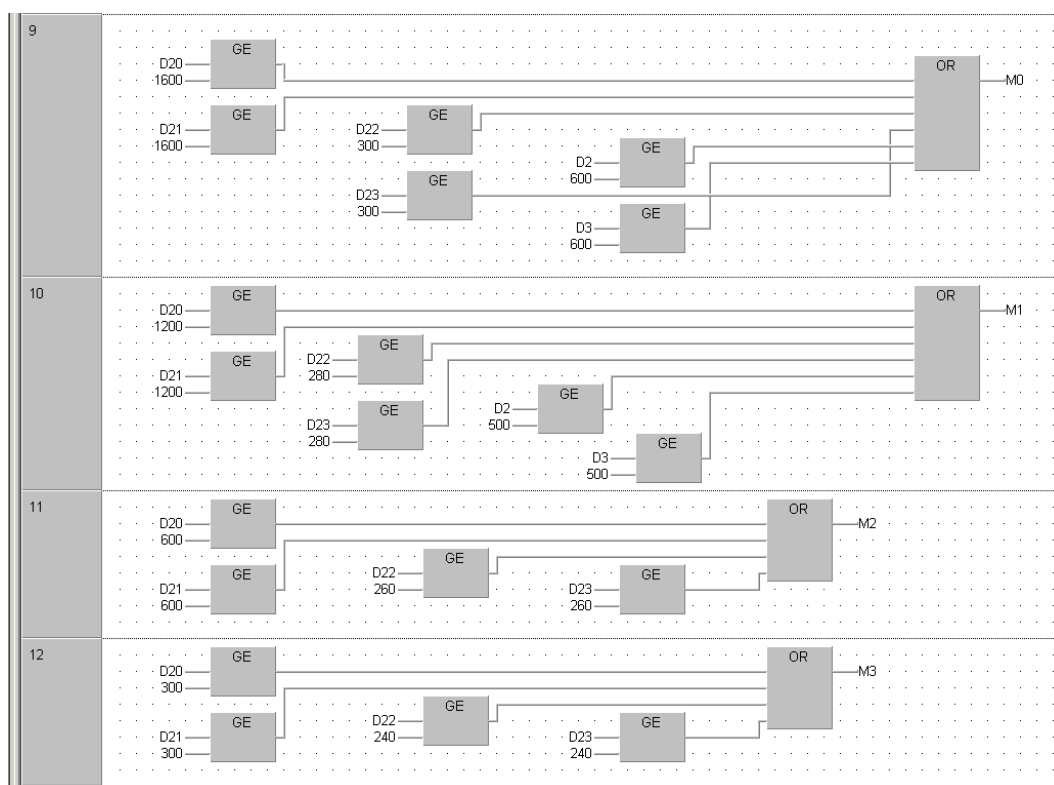
Kuva 20. TASKien 1-4 From-funktiot

Kuvassa 21 olevat TASKit 5-8 sisältävät myös FROM-funktioita, mutta ne kirjoittavat antureiden analogiatulomoduuliin lähettämät tiedot datarekisteripaikkoihin D20, D21, D22 ja D23, koska datarekisteripaikasta D4 alkaen on kahdeksan kaksi datarekisteripaikkaa vievää ajastinta.



Kuva 21. TASKien 5-8 From- funktiot

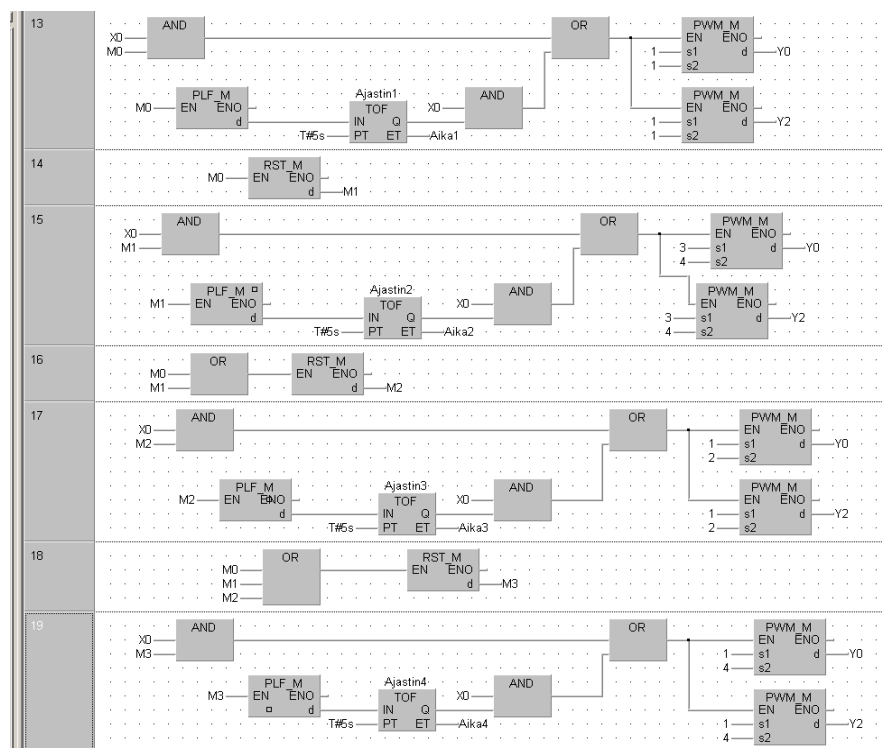
Kuvassa 22 olevat TASKit 9-12 sisältävät GE-vertailuoperaattorit, jotka vertailevat datarekisteripaikkoihin D20 ja D21 tulevia hiilidioksidiarvoja (ppm) ja datarekisteripaikkoihin D22 ja D23 tulevia lämpötila-arvoja (°C) niihin kirjoitettuun arvoon. Lisäksi TASK 9:ssä ja 10:ssä on kosteuden arvojen (%) GE-vertailuoperaattorit, jotka vertailevat datarekisteripaikkoihin D2 ja D3 tulevia arvoja vertailuoperaattoreihin kirjoitettuun arvoon. Jos D20:n, D21:n, D22:n tai D23:n GE-vertailuoperaattorin tulon arvo ylittää vertailuoperaattorin vasemmalle puolelle kirjoitetun arvon, niin lähdössä oleva muistipaikka kytkeytyy päälle.



Kuva 22. GE-vertailuoperaattorit

Kuvan 23 TASKissa 13 on tulo- ja poistopuhaltimen suurimpaan nopeuteen vaikuttavat käskyt. Puhaltimet pyörivät yhtä nopeasti, jotta laitekotelon ilmanvaihto olisi tasapainotilassa kuten oikeassa Pihkapuiston liikuntasalissa. AND-piirin tulot X0 ja M0 (vertailuoperaattorin päälle kytkemä muistipaikka M0) menevät OR-piiriin. Muistipaikan M0 laskevan reunan signaali ohjaa 10 sekunnin ajastinta 1, jonka tarkoitus on pitää puhaltimien kierrokset maksimilla 10 sekunnin ajan. OR-piirin jälkeen olevat pulssinleveysmodulaatiofunktiot (PWM_M) asettavat lähdöt Y0 ja Y2 päälle, jolloin tulo- ja poistopuhaltimien kierrokset ovat nopeuksilla 9/10 ja 1/1. TASK 14:ssä on RESET- piiri, jossa muistipaikka M0 resetoit muistipaikkaa M1.

Kuvan 23 TASK 15:ssä, TASK 17:ssä ja TASK 19:ssä on samanlaiset puhaltimien nopeuteen vaikuttavat käskyt kuin TASK 13:ssa, sillä erotuksella, että pulssinleveysmodulaatiofunktioissa olevat arvot pyörivät puhaltimia hitaammin ja näissä piireissä käytetään vertailuoperaattoreiden päälle kytkemiä muistipaikkoja M1, M2 tai M3. TASK 16:ssa ja TASK 18:ssä ovat RESET- piirit, joissa muistipaikka M0 ja M1 resetoivat muistipaikkaa M2 ja M0, M1 ja M2 resetoivat muistipaikkaa M3.

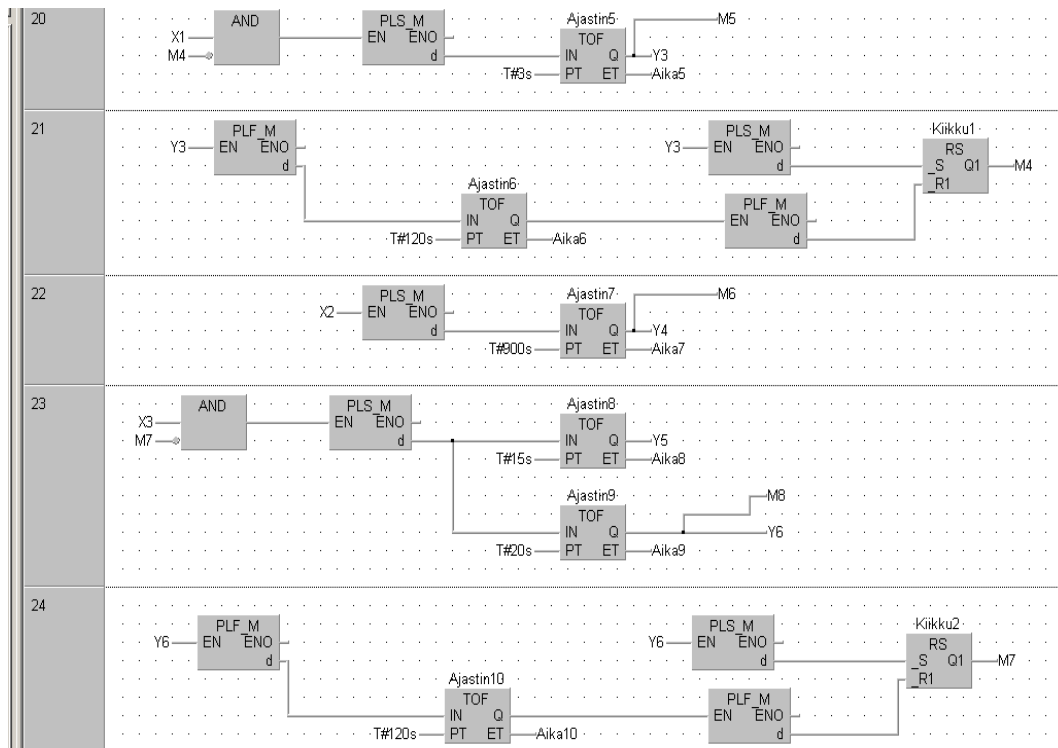


Kuva 23. Tuulettimien pyörimisnopeuden ohjausta

TASK 20:ssä on hiilidioksidisyötön ohjaus (kuva 24). Prosessissa on viiden litran pullo 100-prosenttista hiilidioksidia ja paineenalennusventtiili. Paineenalennusventtiilistä lähtee letku magneettiventtiilille, jota ohjataan sähköisesti logiikan avulla. TASK 20:ssä AND-piirissä oleva tulo X1 on painokytkin, joka nousevan reunan signaalin perusteella käynnistää ajastimen 5. Ajastin pitää magneettiventtiilin lähtöä Y3 kolme sekuntia auki, jolloin kaasua pääsee virtaamaan Ocotecin laitekoteloon. TASK 21:ssä estetään hiilidioksidisyöttöä käynnistymästä uudelleen 120 sekunnin ajan. Lähtö Y3 asettaa nousevalla reunalla RS-kiikun lähdössä olevan muistipaikan M4 päälle ja lähtö Y3:n laskeva reuna käynnistää 120 sekunniksi ajastimen 6, jonka laskeva reuna nolaa RS-kiikun lähdön. TASK 20:ssä olevan AND-piirin ehto toteutuu vain, jos tulo X1 on päällä ja muistipaikka M4 ei ole päällä.

TASK 22:ssa (kuva 24) tulo X2:n nouseva reuna käynnistää ajastimen 7, joka pitää lähdössä Y4 olevaa lämmityksen relettä päällä 15 minuutin ajan. Ajastimen 7 lähdössä olevaa muistipaikkaa M6 käytetään Intouch-valvomo-ohjelman muuttujana, kuten myös ajastimissa 5 ja 9 olevia muistipaikkoja M5 ja M8.

TASK 23:ssa (kuva 24) AND -piirin ehdon toteutuessa nousevan reunan liipaisu käynnistää ajastimet 8 ja 9. Ajastimen 8 lähdössä oleva lähtö Y5 käynnistää kosteuden syötön kompressorin 15 sekunniksi ja ajastimen 9 lähtö Y6 avaa kosteuden syötön magneettiventtiilin 20 sekunniksi. TASK 24:ssä on samanlainen käynnistyskeskeisyys kosteuden syötölle kuin TASK 21:ssä.



Kuva 24. Hiilidioksidin ja kosteuden syötön sekä lämmityksen ohjaus

8.2 InTouch-valvomosovellus

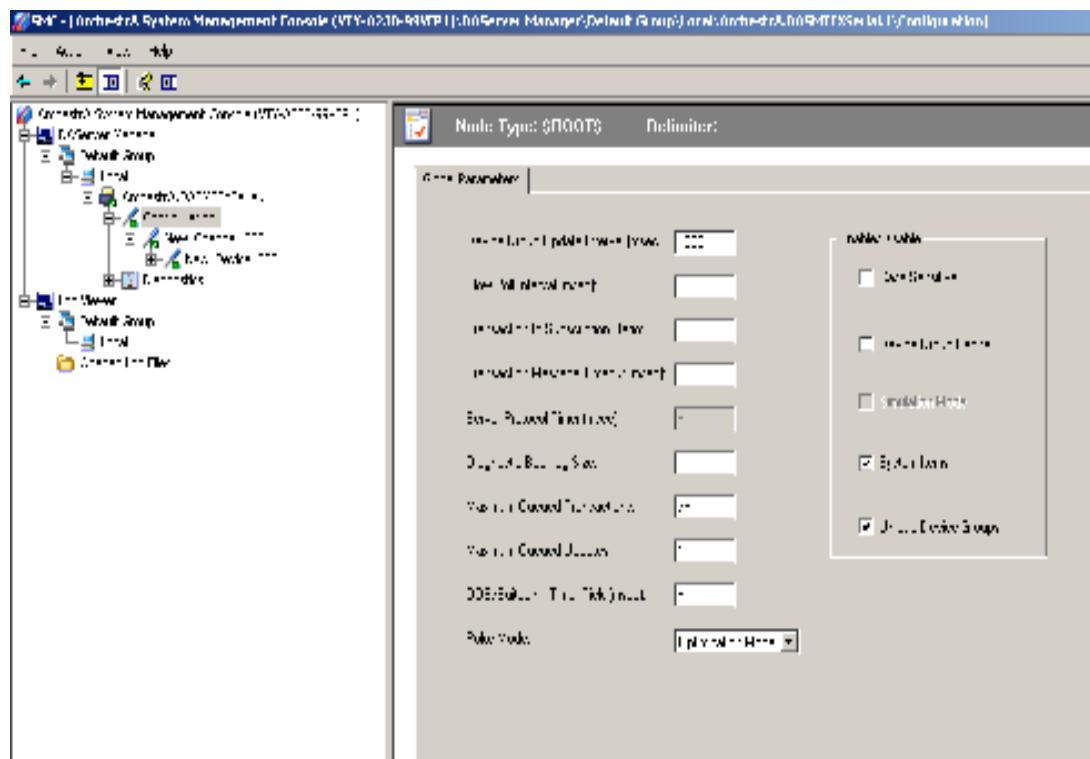
Demolaitteen mittauksista saatavat lukemat päätettiin tuoda näkyville havainnollisemmassa muodossa kuin GX IEC DEVELOPER FX -ohjelmointiohjelmassa. Tähän tarkoitukseen valittiin valvomosovellusohjelma Wonderware InTouch, koska koulu omistaa lisenssit ohjelmaan ja InTouchin käyttöä harjoiteltiin jo automaation käyttöliittymät -kurssilla.

Otimme yhteyttä Wonderwaren Suomen maahantuojan Klinkmannin edustajaan ja pyysimme lähettämään Wonderwaren Development Studio -ohjelmapaketin, joka sisälsi kaipaamamme Mitsubishi FX -sarjan DA-Serverin logiikan ja PC:n väliseen kommunikointiin.

8.2.1 DA-serverin konfigurointi

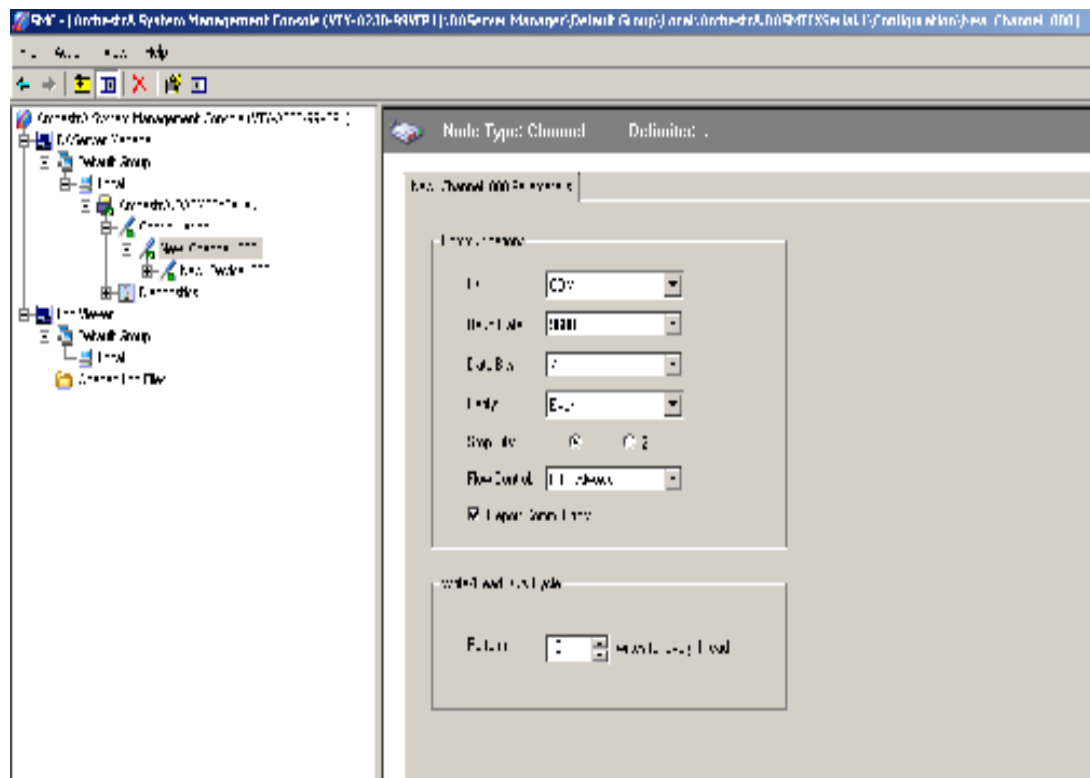
Ensin asennettiin Mitsubishi FX -sarjan DA-serveri Device Integration DVD-ROM:lta. Seuraavaksi käynnistettiin Wonderware-kansiosta löytyvä System Management Console (SMC). Jokainen DA-serveri on yksilöllisesti nimetty, Mitsubishi FX -sarjan DA-serveri on nimeltään Archestra.DASMTFXSerial.1, joka löytyy Default Group- ja Local-välilehtien alta. [31, s. 14.]

Archestra.DASMTFXSerial.1:n päällä hiiren oikean näppäimen klikkauksella aukeaa valikko, josta valitaan Configure As Service -valikko ja sieltä klikataan hiiren vasemmalla näppäimellä Auto Serviceä. Auto Service määrittää automaattisesti kuvan 25 mukaiset Global Parameters -välilehden parametrit. [31, s. 36.]



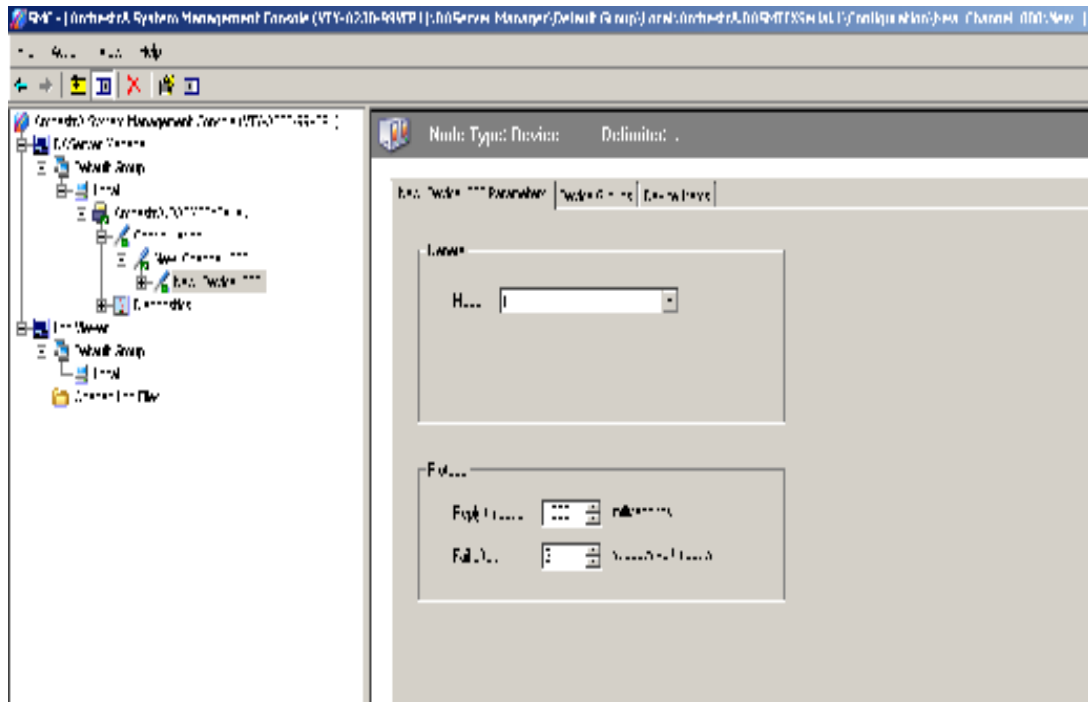
Kuva 25. Global Parameters -välilehden parametrien määrittäminen

Global Parameters -määrityksen jälkeen lisättiin DA-serverin ja laitteen (logiikka) välille kanava. Se tapahtui klikkaamalla hiiren oikean puoleista näppäintä Configuration-välilehden päällä ja valitsemalla Add Channel Object. Jos käytössä on useampi laite, pitää ennen kanavan lisäystä määrittää laitteiden topologia ja yhteydenottojärjestys. Kanavan nimen määrityksen jälkeen määritettiin kanavan kommunikointiparametrit (kuva 26). [31, s. 15.]



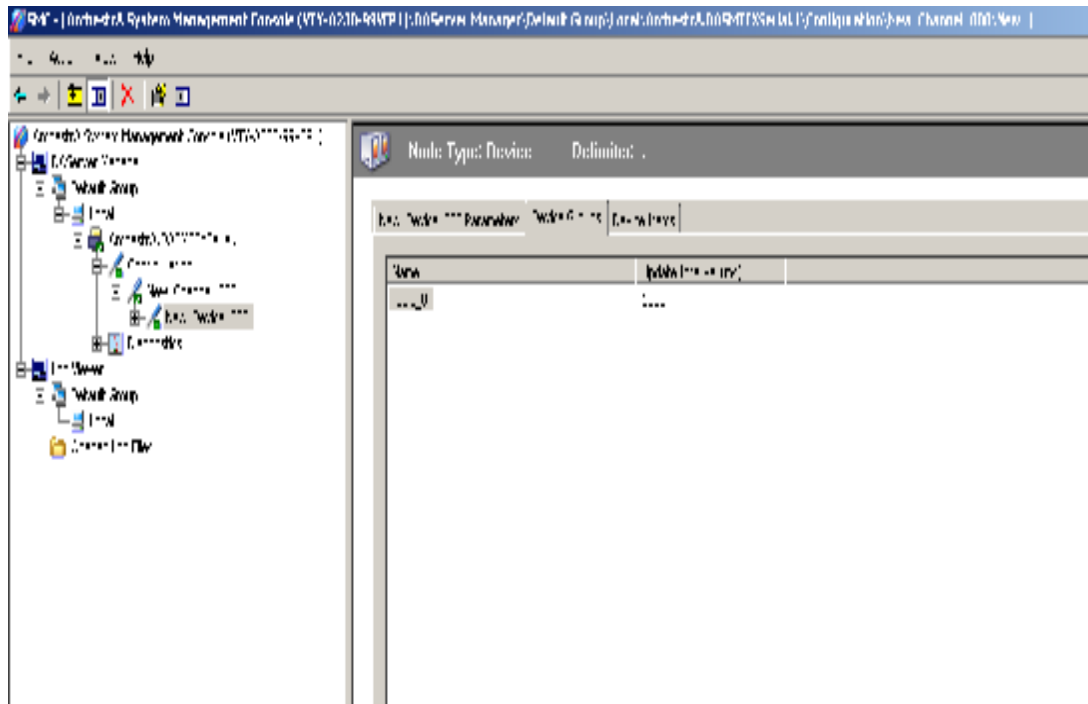
Kuva 26. Kanavan kommunikointiparametrit

Seuraavaksi kanavaan lisättiin laite kommunikoimaan DA-serverin kanssa klikkaamalla New_Channel_000:n päällä hiiren oikean puoleista näppäintä, jonka jälkeen avautuvasta valikosta klikattiin Add Device Objectia. Sitten asetettiin New_Device_000-välilehdellä laitteen malliksi FX ja protokollaparametrit kuvan 27 mukaisiksi. [31, s. 21.]



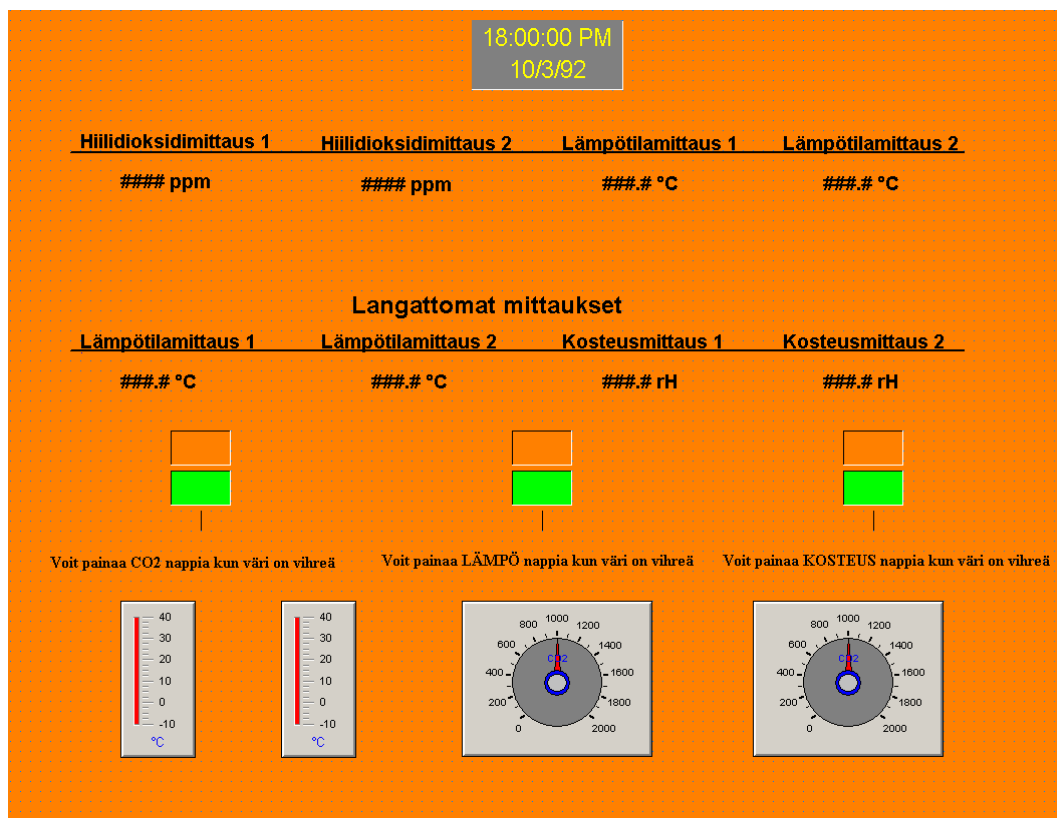
Kuva 27. Kanavaan lisätyn New_Device_000-laitteen parametrit

Device Groups -merkinnät ovat InTouch-sovelluksen käyttämiä portteja jotta päästään käsiksi DA-serverin tietoihin. Device Group -merkinnän päivityssykli määrittää kuinka usein DA-serveri pollaa laitetta ja lähettää tietoa InTouch-sovellukselle. Device Groups -merkintöjä voi olla useampia DA-serverissä, ja itse asiassa meidän käyttämämme DDE/SuiteLink client vaatii jokaiselle laitteelle vähintään yhden Device Group -merkinnän. Demolaitteistossa ei ole kuin yksi laite, jota DA-serveri pollaa, joten lisäsimme hiiren oikean puoleisella näppäimellä Device Groups -välilehdelle vain yhden merkinnän Topic_0 ja asetimme sykliajaksi 1000 millisekuntia kuvan 28 mukaisesti. [31, s. 25.]



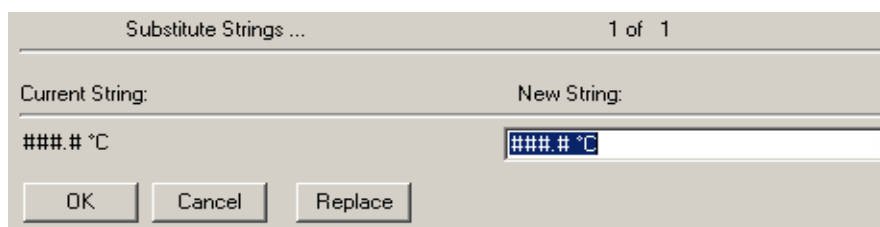
Kuva 28. Device Groups -merkinnän lisäys ja sykliajan asetukset

Device Items on käyttäjäystävällinen tapa määrittellä kohteet, joihin laitteen lähettämällä tiedoilla viitataan. Kuvassa 29 on 13 kohdetta (Item 0-12). Kahdeksassa ensimmäisessä kohteessa (Item 0-7) viitataan logiikan datarekisteripaikkoihin, joihin siirretään antureilta saadut tiedot. Lopuissa kohteissa (Item 8-12) viitataan muistipaikkoihin, jotka indikoivat InTouchissa CO₂-, kosteus- ja lämpötilapainokytkimien tiloja ja sallintatietoja. Item-kohteita voi lisätä ruudukkoon hiiren oikean puoleisella näppäimellä. [31, s. 29.]



Kuva 30. InTouch-valvomosovelluksen näyttö WindowMaker

Substitute String -valikkoon voidaan määrittää mittauksista saatavien lukemien esitysmuoto, esimerkkinä kuva 31. Logiikka jättää esityksestään desimaalipisteen pois lämpötilamittauksesta, Substitute String -valikossa voi lisätä desimaalipisteen sekä mitattavan suuren tunnuksen. Kuvassa 31. C-kirjaimen edessä olevan astemerkin saa syötettyä ACSII-koodilla eli painamalla samanaikaisesti Alt ja 248. InTouch WindowViewer kirjoittaa #-merkkien paikoille lämpötilamittaus 1:n arvon. Substitute String -valikko löytyy klikkaamalla hiiren oikean puoleista näppäintä mittauksen päällä (kuva 33).

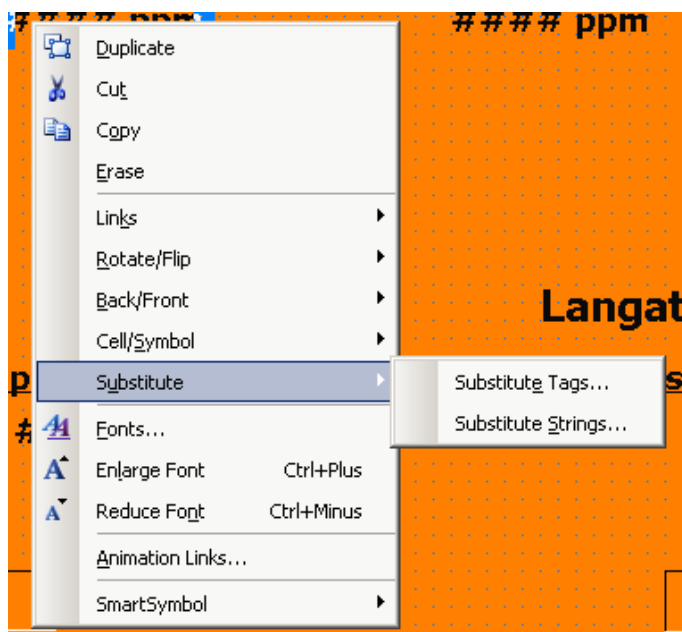


Kuva 31. Lämpötilamittaus 1:n arvon esitysmuodon määrittäminen

Jotta kuvassa 31 olevan desimaalipisteen oikealle puolelle tulisi ensimmäinen desimaali, täytyy kosteus- ja lämpötilamittaukset jakaa kymmenellä kuvan 32 mukaisesti. Kuvan 32 ylempään valikkoon pääsee kaksoisklikkaamalla #-merkkien päällä ja kuvan 32 alempaan valikkoon pääsee klikkaamalla hiiren vasemman puoleista näppäintä Analog-painikkeen päällä.

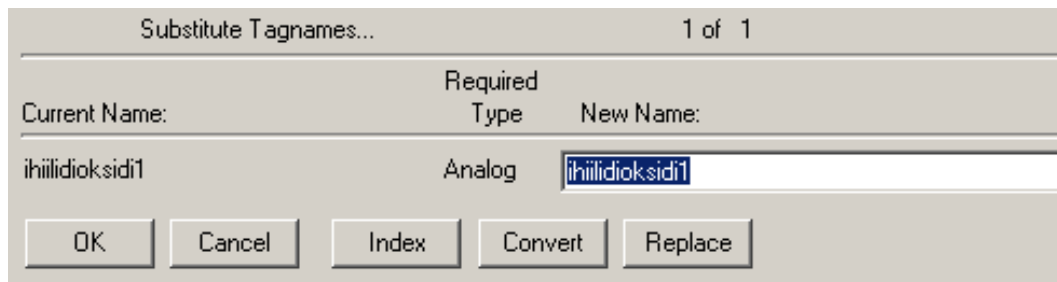
The image displays two screenshots of a software configuration interface. The top screenshot shows a configuration window for a 'Text' object. It features a header with 'Object type: Text', 'Prev Link', 'Next Link', 'OK', and 'Cancel' buttons. The main area is divided into several sections: 'Touch Links' (User Inputs: Discrete, Analog, String), 'Line Color' (Discrete, Analog, Discrete Alarm, Analog Alarm), 'Fill Color' (Discrete, Analog, Discrete Alarm, Analog Alarm), 'Text Color' (Discrete, Analog, Discrete Alarm, Analog Alarm), 'Sliders' (Vertical, Horizontal), 'Object Size' (Height, Width), 'Location' (Vertical, Horizontal), 'Percent Fill' (Vertical, Horizontal), 'Touch Pushbuttons' (Discrete Value, Action, Show Window, Hide Window), 'Miscellaneous' (Visibility, Blink, Orientation, Disable, Tooltip), and 'Value Display' (Discrete, Analog, String). The bottom screenshot shows the 'Output -> Analog Expression' window. It has a header with 'Output -> Analog Expression', 'OK', 'Cancel', and 'Clear' buttons. The 'Expression' field contains the text 'iLampotila1/10'.

Kuva 32. Lämpötilan mittauksen lukeman desimaaliasetus



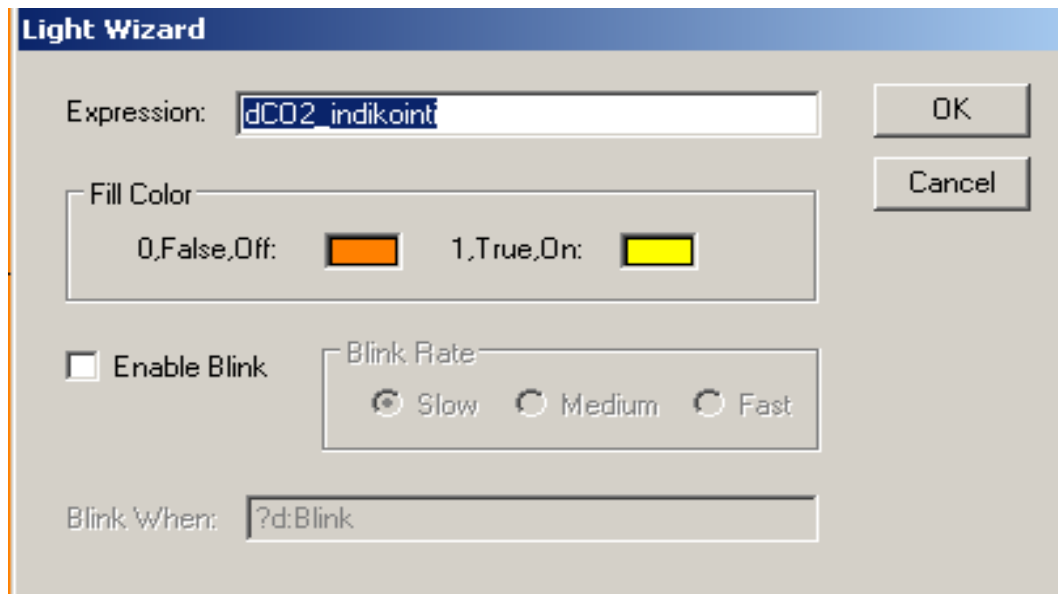
Kuva 33. Substitute Tags ja -Strings -valikot

Jokaiselle mittaukselle ja indikoinnille pitää antaa Tagname, jota voidaan muokata Tagname Dictionaryssä. Substitute Tagname -valikko saadaan avattua klikkaamalla hiiren oikean puoleista näppäintä mittauksen päällä ja valitsemalla hiiren vasemman puoleisella näppäimellä Substitute Tags, kuten kuvassa 33. Kuvassa 34 on Analog -sarakeeseen kirjoitettu hiilidioksidimittaus 1:n Tagname. Hiilidioksidin edessä oleva i-kirjain merkitsee mittauksen tyyppiä, joka on I/O Integer.



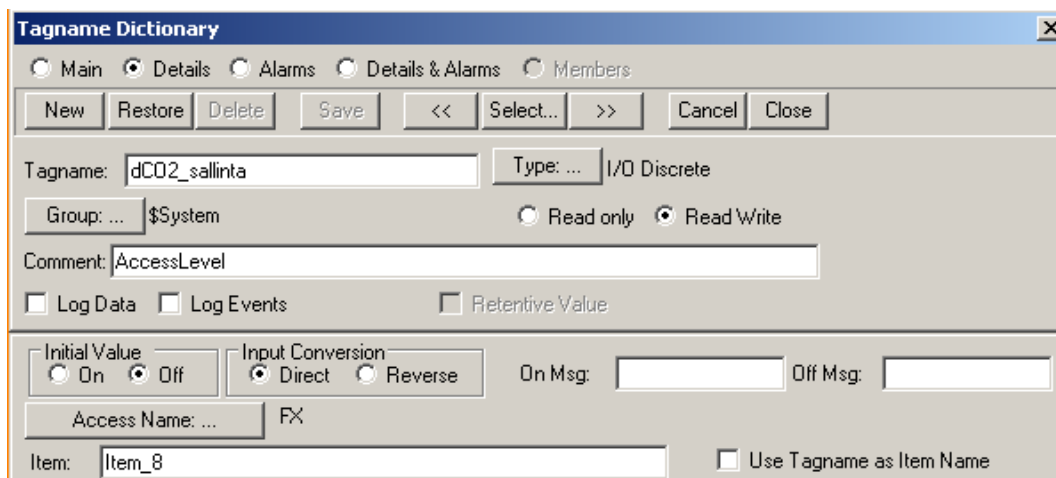
Kuva 34. Hiilidioksidi mittaus 1:n lisääminen Tagname-listaan

Kuvassa 35 on hiilidioksidin syöttöä indikoivan valopaneelin ominaisuuksien muokkausikkuna, jossa voidaan valita valopaneelin värit päällä/pois-asennoissa, ja ikkunaan voidaan myös lisätä indikoinnin Tagname. Haluttaessa voidaan valopaneeli laittaa vilkkumaan, ja vilkkumisen nopeudeksi on kolme vaihtoehtoa kuvan 35 mukaisesti.



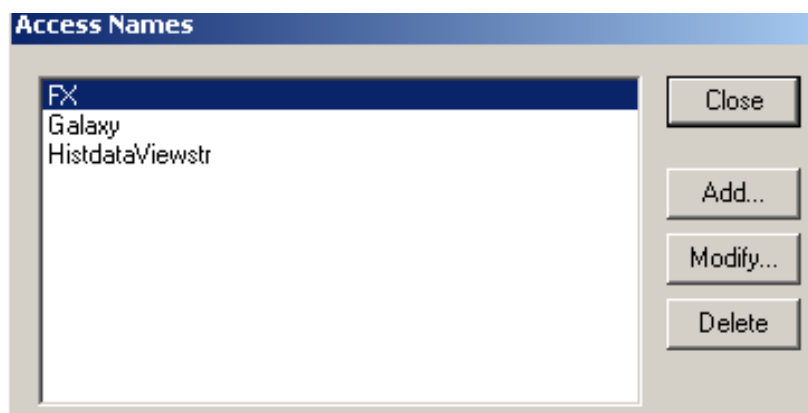
Kuva 35. Hiilidioksidin syötön indikointilaatikon värien muokkaus

Kuvassa 36 olevassa Tagname Dictionary -valikossa voidaan määrittellä mittauksien ja indikointien tyypit ja kommunikointi DA-serverin kanssa. Valikosta löytyvästä Select -näppäimestä avautuu Tagname-lista, josta valitaan halutun mittauksen tai indikoinnin Tagname. Kuvassa 36 on valittu hiilidioksidin syötönestoa indikoiva Tagname dCO2_sallinta, Tagnamen tyypiksi on valittu I/O diskreetti. Tagname Dictionary -valikon alareunassa olevaan Item-sarakkeeseen kirjoitetaan DA-serveriin määritelty Item_8, joka viittaa logiikan muistipaikkaan M4.



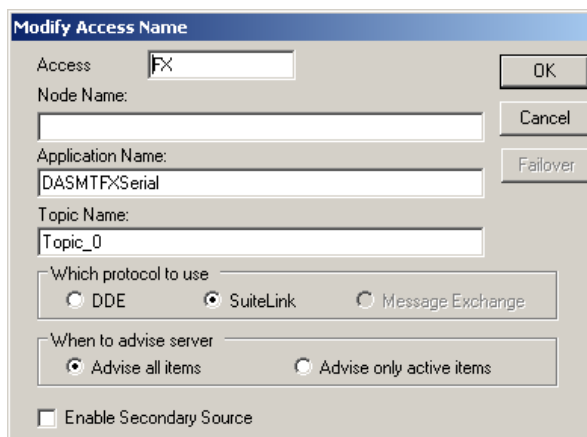
Kuva 36. Tagname Dictionary

Tagname Dictionary -valikon alareunassa olevasta Access Name -näppäimestä avautuu kuvan 37 mukainen valikko, jossa tuplakklikaamalla FX:ää avautuu kuvan 38 mukainen valikko.



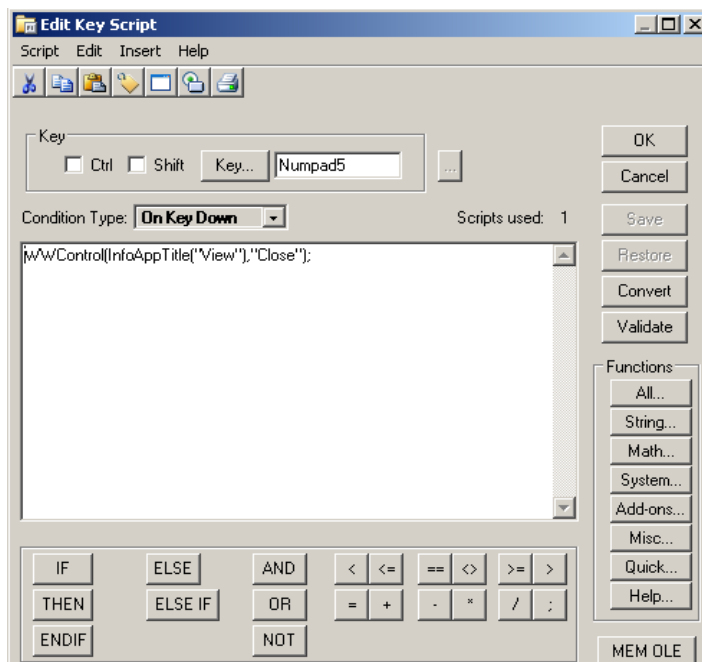
Kuva 37. Access Namen lisäys

Kuvan 38 mukaiseen valikkoon määritellään DA-serverin tiedot, Application Name -sarakkeeseen on kirjoitettu DA-serverin nimen tunnistettava osa DASMTFXSerial ja Topic Name -sarakkeeseen Device Groups -merkinnän nimi Topic_0.



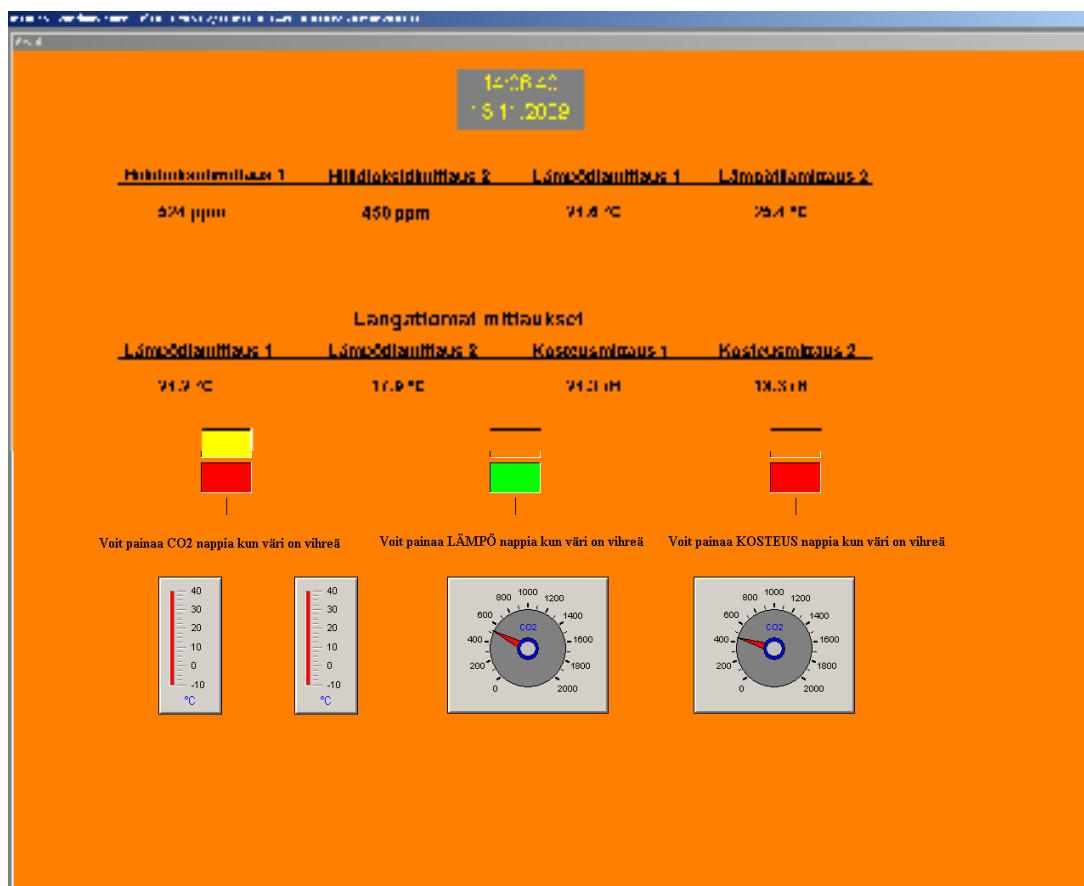
Kuva 38. DA-serverin tietojen määrittäminen

Lisäksi valvomosovelluksen sulkemiseksi ohjelmointiin Numpad 5:een kuvan 39 mukainen komentosarja Edit Key Script -valikossa.



Kuva 39. WindowViewerin sammutusnapin komentosarja

Kuvassa 40 on valmis käynnissä oleva InTouch-sovellus, joka toimii InTouch WindowViewerissä. Demolaitteisto on käynnissä, ja mittauksien lukemat ja indikointien tilatiedot näkyvät näytöllä. Kuvasta 40 voi nähdä, että hiilidioksidin syöttö on päällä keltaisen värisestä valopaneelista ja em. valopaneelin alapuolella oleva valopaneeli on punainen, mikä kertoo hiilidioksidin syötön olevan myös päällä. Kuvassa 40 kosteuden syötön oranssin värisestä valopaneelista ja sen alapuolella olevasta punaisesta valopaneelista voidaan päätellä, että kosteuden syöttö on juuri käynyt ja kosteuden syötönesto on päällä. Demolaitteiston lämmitys ei ole päällä kuten oranssista valopaneelista ja sen alapuolella olevasta vihreästä valopaneelista voidaan päätellä (kuva 40).



Kuva 40. Valmis InTouch-sovellus

9 Demolaitteiston käyttöönotto ja testaus

Demolaitteistoa on testattu koko sen kehitysvaiheen ajan. Aina kun jokin demolaitteiston uusi ominaisuus on saatu valmiiksi, sen toimivuutta on testattu ja mahdollisia virheitä on testauksien perusteella korjailtu. Esimerkkinä mainittakoon kosteuden syötön testaukset, joiden johdosta hankittiin isompi kompressori muodostamaan painetta suolaliuosastiaan ja muutettiin langattomien antureiden mittaus- ja lähetyssykliä nopeammaksi, kun kosteus- % ei kasvanut. Demolaitteistoa on myös testattu ilman häiriöitä yli 24 tunnin ajanjaksoissa. Logiikka ja muut laitteet ovat osoittautuneet toimintavarmiksi.

Virallisempi demolaitteiston käyttöönotto voidaan käytännössä sanoa tapahtuneen demolaitteiston esittelyssä Metropolian T&K-työelämäfoorumissa Leppävaaran yksikön aulaassa 2.10.2009. T&K-työelämäfoorumin tarkoituksena oli Metropolian eri yksiköiden verkostoituminen, sekä opiskelijoiden ja henkilökunnan tutustuminen Metropoliaa valmisteilla oleviin hankkeisiin. Joulukuussa aiomme esitellä demolaitteistoa Ala-Malmin ja Pihkapuiston kouluissa. Siinä haastavinta on esittää lapsille ymmärrettävästi ilmanvaihtoa, sisäilman laatua ja demolaitteiston teknisiä ratkaisuja. Lisäksi demolaitteisto tullaan asettamaan näytille Metropolian Myyrmäen yksikön aulaan.

9.1 Ilmamäärien mittaukset

Ilmamääriä mitattiin Metropolian Myyrmäen yksikön fysiikan laboratoriosta lainatulla TSI VelociCalc -merkkisellä mittarilla, jolla voidaan mitata mm. ilmamääriä, virtausnopeutta, painetta, lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja lämpövirtaa.

Ilmamäärämittausten johdosta huomasimme, että tuloilmakanavien viimeisistä ulostuloista ilmaa virtasi huomattavasti enemmän kuin alkupään ulostuloista. Myös poistokanavien ensimmäisten ulostulojen imu oli huomattavasti tehokkaampaa kuin muissa poistokanavien ulostuloissa. Tulo- ja poistoilmakanavien ulostulojen ilmamääriä tasoitettiin laittamalla kanavien keskelle supistuskappaleet kirkkaista paineletkukappaleista. Supistuskappaleiden asennusten jälkeen ilmamäärät eivät

kuitenkaan täysin tasoittuneet, mutta se ei ole oleellista demolaitteiston toiminnan kannalta.

9.2 Savutestit

Savutestin tarkoituksena oli selvittää, miten savu kiertää laitekotelossa ja kuinka tasaisesti savu tulee tuloilmakanavista sekä kuinka tehokkaasti poistoilmakanavat poistavat savun. Savutestit toteutettiin Liitin Oy:stä hankituilla MINIAX KS -savupatruunoilla, jotka soveltuvat erityisesti ilmastointijärjestelmien tiiviiden tarkistukseen.

Ensimmäinen savutesti kokonaisella savupatruunalla epäonnistui, koska savu täytti laitekotelon hyvin nopeasti, niin ettei laitekotelon ikkunaovesta näkynyt muuta kuin harmaata savua. Totesimme, että kokonaisesta savupatruunasta tulee liikaa savua, ja ensimmäisestä kerrasta viisastuneena kokeilimme savua pienempinä annoksina.

Seuraava savutesti oli jo parempi (kuva 41) ja saatoimme nähdä, että savu tuli tasaisina patsaina tuloilmakanavista sekä poistui tehokkaasti poistoilmakanavista. Savun kiertoa laitekotelossa ei pystytty havaitsemaan, koska ikkunaovi peilaa ikävästi päivänvalossa. Kokonaisuudessa olimme kuitenkin tyytyväisiä ilmakanavien toimintaan.



Kuva 41. Savutesti

10 Yhteenveto

10.1 Ilmanvaihtoprojektin analysointi

Ilmanvaihdon projektiryhmän tekemien mittausten ja tutkimusten sekä Pöyryn tekemän energiakatselmusraportin perusteella Helsingin kaupunki uusi Pihkupuiston koulun liikuntasalin ilmanvaihtokoneet ja automaatiojärjestelmän. Uusi automaatiojärjestelmä ohjaa ilmanvaihtokoneiden ilmamääriä hiilidioksidi-, kosteus- ja lämpötilamittausten sekä läsnäoloanturin perusteella. Ilmanvaihto käy miniminopeudella aikaohjelman mukaisesti, jos salissa ei ole ketään. [32, s. 1.]

Uudet EC-puhaltimet säästävät energiaa ja vaihtavat tehokkaasti Pihkupuiston ala-asteen liikuntasalin ilman. Uudet ilmanvaihtokoneet joutuvat todelliseen toimivuustestiin, kun liikuntasalissa on ensimmäinen juhlatilaisuus ja ihmisten hiilidioksidin ja lämmön tuotto on maksimissaan. Tällöin käyttäjiltä saatu palaute on ensiarvoisen tärkeää.

Projektissa mukana olevien partnereiden panos ei ole ollut aina kovin kiitettävää, minkä osaksi selittää se, että projekti ei ole ollut kaikkien partnereiden pääprioriteetti. Esimerkiksi laitteiden toimitukset ja johdonmukaisten päätösten teko ovat tökkineet.

Toinen mielenkiintoinen asia on langattomien mittausten läpimurto. Toistaiseksi langattomia mittauksia on käytetty ilmeisen harvakseltaan, osaksi niiden kalliiden hankintahintojen vuoksi, osaksi niiden toimivuuden vuoksi. Oman demolaitteemme suunnittelussa ilmeni langattomien CO₂-antureiden heikko, ellei peräti olematon saatavuus. Langattomilla lämpötila- ja kosteuslähettimillä on omat käyttöä hankaloittavat ominaisuutensa. Ne näyttävät hieman eri lämpötila-arvoja kuin vieressä olevat langalliset lämpöanturit. Lisäksi ne saattavat vaatia ”boottauksen”, kun virrat kytketään uudestaan päälle tai jos paristo on tyhjentynyt. Jatkuvassa käytössä nämä tosin vaivaavat hieman vähemmän kuin demolaitteen satunnaisella käytöllä.

Projektin alkuvaiheessa toivottiin langattomien antureiden käyttöä. Olkoonkin, ettei projektin puitteissa saatu kovinkaan kokonaisvaltaista kuvaa langattomien antureiden toiminnasta ja käyttökelpoisuudesta, tulokset ovat silti mielenkiintoisia.

10.2 Lopputulokset

Suomen Save Energy -projekti jatkuu muiden energiansäästötoimenpiteiden osalta. Näitä ovat mm. Helsingin pilotin keittiöiden sähkönkulutusselvitykset, näyttöpäätteiden asennukset kouluihin ja valaistuksien säästötoimenpiteet. Kaikkein tärkein säästötavoite käyttäjien kulutustottumuksien muuttaminen, jatkuu kaikissa piloteissa seuraamalla tilannetta ja valistamalla käyttäjiä. Ilmanvaihdon tekniset muutokset ovat toteutuneet, ja jäljellä on tuloksien seuranta ja niiden perusteella tehtävät ilmanvaihtojärjestelmän säädöt ja mahdolliset muutokset.

Demolaitteisto suunniteltiin ja rakennettiin tarkkaa harkintaa käyttäen, siksi se on turvallinen ja soveltuu erinomaisesti opetuskäyttöön sekä nykyaikaisen ilmanvaihdon havainnollistamiseen. Demolaitteisto on kohtuullisen helposti siirrettävä liikuteltavan alustansa ansiosta. Demolaitteiston sähköturvallisuuteen ja asennusten yleiseen siisteyteen on kiinnitetty erityistä huomiota, esimerkkinä turvallisuudesta ja siisteydestä ovat laitteiden kotelointi ja johtojen kulkeminen kaapelikouruissa. Demolaitteisto on herättänyt kiinnostusta alan ammattilaisten keskuudessa ja palaute on ollut positiivista sekä rakentavaa.

Lähteet

- 1 Koululaiset säästävät energiaa uusin keinoin. (WWW-dokumentti.) Helsingin kaupunki kiinteistövirasto.
<http://www.hel.fi/wps/portal/Kiinteistovirasto/Artikkeli?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/Kv/fi/palvelu-+ja+toimitilat/koululaiset+saastavat+energiaa+uusin+keinoin>.
Luettu 15.6.2009.
- 2 Save Energy. Yleiskuvaus hankkeesta. (WWW-dokumentti.) Green net Finland.
<http://www.greennetfinland.fi/fi/index.php/SaveEnergy#Yleiskuvaus_hankkeesta>.
. Luettu 11.8.2009.
- 3 About ICT PSP (WWW-dokumentti.) ICT PSP Europe's Information Society.
<http://ec.europa.eu/information_society/activities/ict_psp/about/index_en.htm>.
Päivitetty 3.7. 2009. Luettu 14.8.2009.
- 4 Ala-Malmin peruskoulu. (WWW-dokumentti.) Ala-Malmin koulun sivusto.
< <http://www.alampo.edu.hel.fi/>>. Päivitetty 2.3.2009. Luettu 28.8.2009.
- 5 Pihkupuiston koulu. (WWW-dokumentti.) Pihkupuiston koulun sivusto.
<<http://www.pihkaa.edu.hel.fi/>>. Päivitetty 6.10.2009. Luettu 6.10.2009
- 6 Save Energy. (WWW-dokumentti.) Save energy Website.
<<http://www.ict4saveenergy.eu>>. Päivitetty 2.3.2009. Luettu 4.8.2009.
- 7 Save Energy Leiden pilot. (WWW-dokumentti.)
<<http://www.slideshare.net/dhickel/save-energy-leiden-pilot>>.
Päivitetty 30.6.2009. Luettu 2.9.2009.
- 8 Sisäilman tekijät. (WWW-dokumentti.) Sisäilmayhdistys ry.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/sisailman_tekijat/>. Päivitetty 31.3.2004. Luettu 4.9.2009.

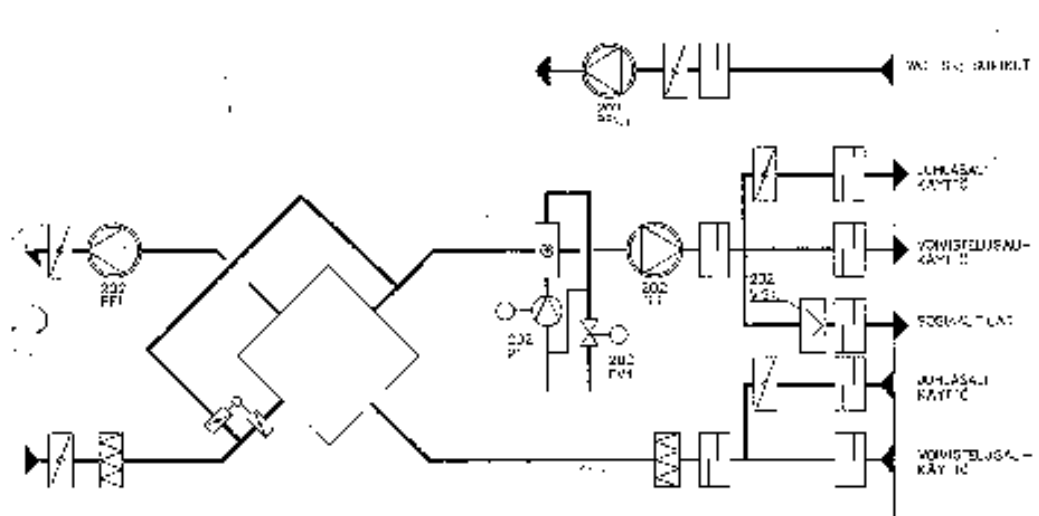
- 9 Koliseva, Irene. Sisäilman laatuun vaikuttavat tekijät sekä hiilivetyjen määrittämisestä sisäilmasta. Insinööriyö. Espoon-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu, 2002.
- 10 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2003.
- 11 Sisäilmaohje. (pdf-dokumentti.) Sosiaali- ja terveysministeriönoppaita. Helsinki: Oy Edita Ab, 1997. Luettu 23.9.2009.
- 12 Ammoniakki, asbesti. (WWW-dokumentti.) Hengityслиitto Heli ry. <<http://www.hengityслиitto.fi/Home/Muut sisailmaongelmat/>>. Päivitetty 13.10.2009. Luettu 13.10.2009.
- 13 Sisäilma. (WWW-dokumentti.) Kuopion seudun hengitysyhdistys ry. <<http://www.helikuopio.fi/tiedotteet.php?active=n5>>. Päivitetty 13.10.2009. Luettu 13.10.2009.
- 14 Sisäilmasto. (WWW-dokumentti.) <<http://ilmastointimega.fi/sisailmasto2.shtml>>. Päivitetty 2.11.2009. Luettu 2.11.2009.
- 15 Kosonen, Risto, Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy. 2004.
- 16 Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski: Solver Palvelut Oy. 2008.
- 17 Kärkkäinen, Jukka & Puhakka, Eija. Rakentamisen tavoitteena puhdas sisäilmasto. Jyväskylä: Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelu Oy. 1994.

- 18 Seppänen, Matti & Seppänen, Olli. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: SIY Sisäilmätieto Oy. 2007.
- 19 Ilmanvaihdon perusteet. (WWW-dokumentti.) Sisäilmayhdistys ry.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/>.
Päivitetty 27.10.1995. Luettu 2.11.2009
- 20 Korvausilma. (WWW-dokumentti.) Ilmastointimega.
<<http://ilmastointimega.fi/terveysilma2.shtml>>. Luettu 2.11.2009.
- 21 Homevaurioiden ehkäisy ja tunnistaminen. (WWW-dokumentti.) Sisäilmayhdistys ry.
<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden_ekaisy_ja_tunnistaminen/>.
Päivitetty 27.10.1995. Luettu 2.11.2009
- 22 Heikkinen, Pekka. Ene-58.122 Ilmastointitekniikka Opetusmonisteet Erä 4 Ilmastoinnin säätö. 2006.
- 23 Teknocalor Oy. (pdf-dokumentti.) Trox Technik Pyörrevirtahajottimet - Malli VDL kansilehti. Luettu 30.11.2009
- 24 Energiakatselmusraportti Pihkapiiston ala-aste. Kiinteistötoimisto Nurmi Oy. 23.6.1998.
- 25 Novenco Climaster ZCN 18/8. (WWW-dokumentti.) Novenco.
<<http://www.novencogroup.com/~media/Images/Products/ZCN.ashx?w=330&bc=white&h=330>>. Luettu 30.11.2009.
- 26 Energiakatselmusraportti. Kiinteistön energiakatselmus. Pihkapiiston ala-aste. Pöyry Building Services Oy. 29.5.2009 (kohdekatselmuspäivä 26.3.2009).

- 27 Energiakatselmusraportti. Kiinteistön energiakatselmus. Ala-Malmin peruskoulu. Pöyry Building Services Oy. 22.6.2009 (kohdekatselmuspäivä 27.3.2009).
- 28 HK Instruments - Langattomat anturit. (WWW-dokumentti.) HK Instruments. < <http://www.hkinstruments.fi/page.php?hid=22>>. Päivitetty 8.10.2009. Luettu 4.11.2009.
- 29 HK Instruments - Ilmanlaatu. (WWW-dokumentti.) HK Instruments. < <http://www.hkinstruments.fi/page.php?hid=20>>. Päivitetty 8.10.2009. Luettu 4.11.2009.
- 30 Heinonen Anu. GX IEC DEVELOPER FX -ohjekirja ohjelmointiin ja ohjelman testaamiseen. Insinööriyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, 2006. (pdf-dokumentti.) <<https://oa.doria.fi/handle/10024/4500>>. Luettu 15.9.2009.
- 31 2007 Invensys Systems, Inc. (pdf-dokumentti.) Wonderware DA-serverin käyttöopas Mitsubishiin FX -sarjaan. Päivitetty 23.10.2007. Luettu 12.11.2009.
- 32 Kari Kumpulainen. Pihkapuiston IV -kojeen toimintaselostus. Arealtec Oy:n tarjous 17.9.2009.

Liite 1: Pihkapiiston koulun liikuntasalin ilmanvaihdon periaatekuva

PIHKAPIISTON ALA-ASEIT



Liite 2: Ilmanvaihtoa koskevat D2 määräykset

3.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

3.1.1

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle sisäilmastolle.

3.1.3

Ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa on voitava ohjata ja valvoa.

Ilmanvaihtojärjestelmään on suunniteltava ja asennettava mittauslaitteet tai mittausmahdollisuus tärkeimpien toiminta-arvojen mittaamista ja toimintojen valvontaa varten.

3.1.3.1

Ilmanvaihtojärjestelmä varustetaan ohjaus-, säätö- ja valvontalaitteilla, joiden avulla järjestelmän toimintaa voidaan ohjata ja seurata.

3.2 Ilmavirrat

3.2.1

Huonetiloissa tulee olla ilmanvaihto, jolla käyttöaikana taataan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu.

3.2.1.1

Ilmavirtojen tilakohtaisia ohjearvoja ilmanvaihdon mitoittamiseen esitetään liitteissä 1 ja 2. (10)

Liite 2: Ilmanvaihtoa koskevat D2 määräykset

3.2.2

Oleskelutiloihin on käyttöaikana johdettava terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun takaava ulkoilmavirta.

3.2.2.1

Ulkoilmavirtojen mitoittamiseen käytetään ensisijaisesti tilakohtaisia ohjearvoja, joita esitetään liitteessä 1. Ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Jos henkilökuormituksen mukaiselle ilmavirtojen mitoitukselle ei ole riittäviä perusteita, käytetään pinta-alaan perustuvaa mitoitusta.

Muihin kuin liitteessä 1 esitettyihin oleskelutiloihin johdetaan ulkoilmavirta, joka on vähintään $6\text{dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti, jos henkilömäärän mukaiselle mitoitukselle on riittävät perusteet.

Yleensä ulkoilmavirta tulee kuitenkin olla vähintään $0,35\text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5\text{ l/h}$ huoneessa, jonka vapaa korkeus on $2,5\text{m}$.

3.2.3

Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen ja ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti.

3.2.3.3

Muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että käyttöajan ulkopuolella rakennuksen ulkoilmavirta on vähintään $0,15\text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,2\text{ l/h}$ huoneessa, jonka vapaa korkeus on $2,5\text{ m}$.

Käyttöajan ulkopuolella voidaan ilmanvaihto toteuttaa pitämällä hygienia-tilojen ilmanvaihtoa jatkuvasti käynnissä tai ilmanvaihdon jaksottaisella käytöllä.

3.4 Ulko- ja jäteilmalaitteiden sijoittaminen (10)

Liite 2: Ilmanvaihtoa koskevat D2 määräykset

3.4.1

Ulkoilmalaitteet on sijoitettava siten, että rakennukseen tuleva ulkoilma on mahdollisimman puhdasta.

Ulkoilmaa ei saa ottaa ilmanlaatua heikentävän rakenteen tai rakennusosan kautta.

3.4.2

Jäteilma on johdettava ulos siten, ettei rakennukselle, sen käyttäjille tai ympäristölle aiheudu terveydellistä tai muuta haittaa.

3.6 Ilman jako ja poisto

3.6.1

Tuloilma on johdettava huonetiloihin siten, että ilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle vedottomasti ja poistaa tehokkaasti huonetilassa syntyvät epäpuhtaudet käyttöaikana. Likaantunut ilma ei saa palautua haitallisessa määrin takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

3.6.1.1

Ilmanvaihto suunnitellaan mahdollisimman tehokkaaksi siten, että tuloilma virtaa koko oleskeluvyöhykkeelle ja epäpuhtaudet kulkeutuvat suoraan poistoilman päätelaitteisiin leviämättä huonetilaan. Tuloilma ei saa virrata suoraan oleskeluvyöhykkeen ohi poistoilman päätelaitteisiin.

3.8 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus ja huollettavuus

3.8.3

Ilman kostutus ja kostutuslaitteiden vedenkäsittely on suunniteltava ja toteutettava siten, että kostutus ei huononna huoneilman laatua. (10)

Liite 3: Pihkupuiston liikuntasalin vanhojen ilmanvaihtokoneiden ilmamäärämittauspöytäkirja

MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Asiakastilaus nro:				Mittari: TSI Velocigalc				
Laitos: Pihkupuiston ala-aste		Mittauksen suoritti:				Pilviö		
Kohde: Tuohipolku 10		Päivämäärä:				17.6.2009		
saunatilat+varastot				säätö nopeus 2				
	SISÄÄNPUHALLUS			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
				m3/s	X	l/s		
Huone/Tila	puhalluselin	koko	kpl	Vaadittu	Mitattu	pa	as.	huom
Liikuntasali	pra	500	1		1100	270	3,5	
"	pra	500	1		850	80	4	
		yht.		2440	1950			
					-25 %			
Virrat	leimattu	8,5A.						
	ottama	5,1A						
	varaa	nostaa		15 %				
	POISTO			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			
				m3/s	X	l/s		
Huone/Tila	poistoelin	koko	kpl	Vaadittu	Mitattu	pa	as.	
Liikuntasali	pra	500	1		1100	107	5	
"	pra	500	1		1100	105	5	
		yht.		2410	2200			
					-11 %			
Virrat	leimattu	6,4A						
	ottama	3,8A						
	varaa	nostaa		15 %				

Allekirjoitus:

Liite 4: Konekortti Pihkapaiston ala-asteen vanha tuloilmakoje

KONEKORTTI

Kiinteistö:	Pihkapaiston ala-aste	Osoite:	Tuohitiepinen 10
-------------	-----------------------	---------	------------------

Kojuristo:	Tuloilmakoje	Planim:	202772
Vakuumilohu:	voimavälilohu	Sijainti:	IV-konehuone

Pääkone	Tyyppi		Valmistaja	
	Climatec ZCN 18/8-1.1.06		Kävenen Oy	
Myyjäyhteisön nimi			Hankinta-aika	
Kävenen Oy 09/5023720			1999	
Puolppi	Ilmavirtaus	Paine	Isokor.	Isokor. merkitys
	dm^3/s	kPa		ϕ mm
Kierrosaku	Tehontarve	Resistanssi	Puhallin	
	rpm	kW		
Puhallin	Ilmavirtaus	Paine	Isokor.	Isokor. merkitys
	m^3/s	Pa		8% 224 2 20-2
Kierrosaku	Tehontarve	Resistanssi	Urappäätönoikeus	
	rpm	kW	8% 170-2 20-2	

Voimakoneet	Tyyppi		Valmistaja	
	M200 1325		ABB Oy	
Merkintänumero			Hankinta-aika	
ABB Oy 01022000			1999	
Moottori-tiedot	Teho	Nimellisarvo	Jännite	Kierrosaku
	4,0/0,8 kW	3,2/0,2	A	165/740 rpm
Lämpöteletiedot	Rajateho	Asennusarvo	Laskentatila	Ilman lämpötila
	A	A	g	A

Lisälaitteet:						
Suodattimen malli	Suod. lk	Suod. tyyppi	Taso	Svovys	Kiduskerros	Malli
	mm	veikki	pussi	600	mm	M200
Suodattimen malli	Suod. lk	Suod. tyyppi	Taso	Svovys	Kiduskerros	Malli
	mm	veikki	pussi	1000	mm	M200
Suodattimen malli	Suod. lk	Suod. tyyppi	Taso	Svovys	Kiduskerros	Malli
	mm	veikki	pussi	1000	mm	M200
Suodattimen malli	Suod. lk	Suod. tyyppi	Taso	Svovys	Kiduskerros	Malli
	mm	veikki	pussi	1000	mm	M200

Lisätietoja: suodattimen alipainekehäviö 70pa

suodattimen lämpökehäviö 241pa

puhallin malli 2012/00

moottori malli 2012/00

Liite 5: Konekortti Pihkapauston ala-asteen vanha poistoilmakoje

KONEKORTTI

Käyttökohteet: Pihkapauston ala-aste	Osoite: Puolapöytäkatu 10
--------------------------------------	---------------------------

Kojeisto: Poistoilmakoje	Tuotes: 2011-2
Valmistaja: Wärtsilä Finland Oy	Säiliö: IV-kokkehuone

Pääkone	Tyyppi: QLineater ZEN 18/8-1.1.50		Valmistaja: Noverca Oy	
	Myyntipohjainumero: Noverca Oy 05/5025220		Hankintavuosi: 1000	
Pumppu	Tilavuusvirta: dm^3/s	Paine: kPa	Leveys: mm	Järjestysmerkintä: ϕ mm
	Käyttövirta: rpm	Tehontarve: kW	Asiakas:	Puhkistot:
Puhallin	Tilavuusvirta: m^3/s	Paine: Pa	Leveys: mm	Järjestysmerkintä: SPE 150-2 2012
	Käyttövirta: rpm	Tehontarve: kW	Hinnat: $\text{€}/\text{h}$ 1200	Hajautusmerkintä: SPE 150-2 2012

Voimakoneet	Tyyppi: M2AA 112V		Valmistaja: ABB Oy	
	Myyntipohjainumero: ABB Oy 010222000		Hankintavuosi: 1999	
Moottoritiedot	Teho: 3,0/5,40 kW	Nimellisaika: 6,2/2,6 A	Jännite: 400 V	Käyttövirta: 1410/730 rpm
Lämpöteho-	Asiakas:	Asiakas:	Leveys:	Asiakas:
teho-	A	A	A	A

Lisälaitteet:						
Suodattimen merkki	Suod. tyyppi	Suod. tyyppi	Taso	Sävyys	(Kehys)koko	Määrä
		veikki	pussi	600 mm	600x600 mm	3
Suodattimen merkki	Suod. tyyppi	Suod. tyyppi	Taso	Sävyys	(Kehys)koko	Määrä
		veikki	pussi	mm	mm	
Suodattimen merkki	Suod. tyyppi	Suod. tyyppi	Taso	Sävyys	(Kehys)koko	Määrä
		veikki	pussi	mm	mm	
Suodattimen merkki	Suod. tyyppi	Suod. tyyppi	Taso	Sävyys	(Kehys)koko	Määrä
		veikki	pussi	mm	mm	

Lisätietoja: suodattin alkuarvoinen: 20pa
suodattin loppuarvoinen: 120pa
puhallin sukki 2012/70
moottori sukki 2012/78

Liite 6: Pihkapuiston uuden iv-kojeen tiedot

Ziehl Finland Specifications Parts (Order Confirmation) 585 09.10.2009
lindstro

Part-no. Description

112581/A01 ER50C-6IK.6N.1R

Built-in fan with impeller with backward curved blades.
ETAvent
Type: ER50C-6IK.6N.1R
3- 380...480V 50/60Hz 3,2KW 5, 3-4,2A
1830rpm 40°C IP54 Thermal class 155
(previous: insulation class F)
integrated Controller
Controlled by 0-10V signal.
Connection diagram: EMCU01F0. Special impregnation HV.
Rating plate: 1x fixed.
Direction arrow: 1x fixed.
Fitting position H.
Motor protection by thermal contact.
Balancing quality G 2,5
Condensation water holes in stator and rotor open
Motor unpainted.
Impeller made of bright sheet metal powder-coated
RAL 5002 (ultramarine blue).
Support plate on suction side 630x630mm.
Inlet cone galvanized with measuring device for volume flow
measurement.
Without isolation of structure-borne sound. Mounting
ball bearing with long-time lubrication.
Ballbearing in special design

Liite 7: Pihkupuiston ala-asteen energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut

6TK/MJA, MJK	ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI	6110902.TK12-401
Pihkupuiston ala-aste		
Tuohipolku 10, 00410 Helsinki	29.5.2009	19 (35)

3.2.2 Lämpimän käyttöveden energiatalous

Lämpimän käyttöveden lämpötila oli asetettu arvoon 55 °C. Menoveden lämpötila oli katselmushetkellä 56 °C. Kiertojohdon paluulämpötila oli katselmushetkellä 48 °C, mikä ei ole riittävällä tasolla. Bakteerikasvun välttämiseksi lämpimän veden verkoston lämpötila täytyisi kaikissa verkoston osissa olla yli 50 °C.

3.2.3 Vesi- ja viemärikalusteet sekä vesijohtoverkoston painetaso

Pesualtaissa on 1-otesekoittajat. Wc-istuimien huuhtelusuuttimien vesitilavuus on noin 6 dm³. Kalusteet ovat pääosin peruskorjaus- ja laajennusvuodelta. Vuoden 1999 peruskorjaus ei koskenut päiväkodin osuutta.

Katselmuksen yhteydessä mitattiin pistokokein vesikalusteiden virtaamia (liite 3). Virtaamat ylittivät normivirtaamat lähes kaikissa mitatuissa vesikalusteissa. Muutamassa hanassa virtaama oli selvästi alle normin.

Vesikalusteiden virtaamia voidaan rajoittaa normivirtaamien tasolle verkoston painetasoa alentamalla, yksiotehanojen vipujen liikettä rajoittamalla tai asentamalla hanoihin ns. säästösuuttimia.

3.3 Ilmanvaihtoiäriestelmät

3.3.1 Yleistä

Kiinteistössä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Ilmanvaihtokoneissa on lämmön talteenotto lukuun ottamatta ruokalan ja käsityöluokan koneita. Lämmön talteenotto on toteutettu poistoilman lämmön talteenottona koneesta riippuen joko pyörivälillä tai levylämmönsiirtimellä. Puhaltimet ovat 1- ja 2-nopeuksisia tai taajuusmuuttajaohjattuja.

3.3.2 Ilmanvaihtokoneet

Tiloja palvelee 6 tuloilmakoneita ja niitä vastaavat poistoilmakoneet sekä erilliset poistoilmahuuhtimet (liite 2). Ilmanvaihtokoneet ovat alkuperäisiä tilojen rakennusvuosilta.

Ohjaustavat ja käyntiajat

Ilmanvaihtokoneita ohjataan pääosin keskitetyllä rakennusautomaatiojärjestelmällä. Pääilmanvaihtokoneet ovat 1- tai 2-nopeuksisia. Puhaltimien käyntiä säädetään automaatioon asetettujen aikaohjelmien mukaan, puhaltimien pitäessä yllä tarvittavaa kanavapainetta. Osassa kanavia on vakioilmamääräjäjestelmään tarkoitettuja ilmamääräsäätimiä (esim. Trox).

Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat katselmuksen ajankohtana esitetään liitteessä 2. Myös ehdotetut käyntiaikamuutokset esitetään liitteessä 2. Ehdotettuja ilmanvaihdon käyntiaika- ja asetusmuutoksien vaikutuksia energiankulutukseen on tarkasteltu kohdassa 4.3.1.

Liite 7: Pihkupuiston ala-asteen energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut

6TK/MJA, MJK Pihkupuiston ala-aste Tuohipolku 10, 00410 Helsinki	ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI 29.5.2009	6110902.TK12-401 20 (35)
--	---------------------------------------	-----------------------------

Ilmavirrat ja palvelualueet

Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut ilmavirrat ja palvelualueet on esitetty liitteessä 2. Palvelualueet vastaavat hyvin käyttötarkoituksalueita. Päiväkodin osan ilmanvaihtokanavat on puhdistettu ja ilmamäärät säädetty käyttäjiltä saadun tiedon mukaan syksyllä 2008.

Säätötavat, asetusarvot ja säädön toiminta

Tuloilman lämpötilaa säädetään vakioperustaisesti tai poistoilman lämpötilan mukaan. Tuloilman lämpötilan asetusarvot olivat pääosin korkeahkot. Säädön toiminnassa ei havaittu epäkohtia.

Lämmöntalteenottolaitteet

Rakennuksen ilmanvaihtokoneet ovat ruokalan konetta (205TK) ja käsityötilan konetta (203TK) lukuun ottamatta varustettu poistoilman lämmön talteenotolla.

Lämmön talteenottojärjestelmien hyötysuhteet olivat katselmushetkellä 42-67 % ulkoilman ollessa noin -3 °C (liite 2). Hyötysuhteet olivat hyvällä tasolla lukuun ottamatta päiväkodin ilmanvaihtokoneen (2TK1) lämmön talteenottoa, jonka hyötysuhde oli katselmushetkellä muihin verrattuna alempi. Mahdollisesti lämmön talteenoton ohituspellistö ei sulkeudu tiiviisti.

Kostutuslaitteet

Kohteen tuloilmakoneissa ei ole kostutusta.

Yötuuletus

Ilmanvaihdossa ei käytetä yötuuletusta. Yötuuletuksen käyttö saattaa lämpimänä ajan-kohtana parantaa sisäilmaolosuhteita, mutta lisää sähkönkulutusta.

Ilmanvaihdon energiankulutus

Iv-koneiden laskennallinen energiankulutus esitetään koneittain alla olevassa kuvaajas-
sa. Vaikka sähköenergian kulutus on lämpöenergian kulutusta selvästi pienempi, on
sähkön kustannusvaikutus myös merkittävä korkeamman energian hinnan vuoksi. Säh-
kön kulutusarvioon sisältyy myös vastaavan poistoilmakoneen sähkön kulutus.

Koulun laajennusosan tiloja palveleva ilmanvaihtokone 201TK kuluttaa eniten lämpö-
energiaa. 201TK on ilmamäärältään kiinteistön suurin ilmanvaihtokone ja sen tuloilman
sisäänpuhalluslämpötila on korkea. 205TK:n ja 203TK:n osalta lämpöenergiankulutusta
kasvattaa lämmön talteenoton puuttuminen.

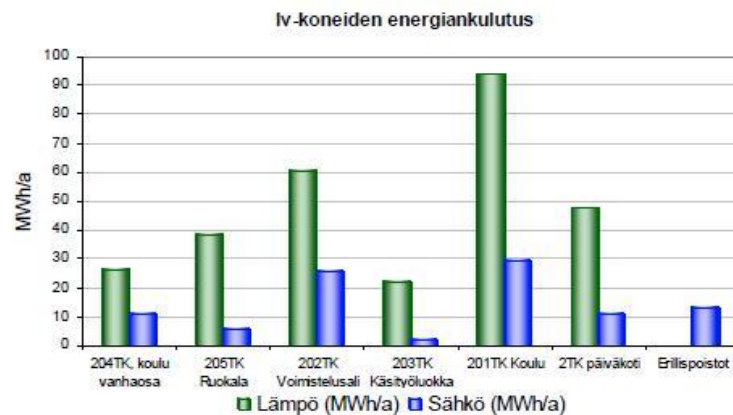


Liite 7: Pihkapaiston ala-asteen energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut

6TK/MJA, MJK
Pihkapaiston ala-aste
Tuohipolku 10, 00410 Helsinki

ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI
29.5.2009

6110902.TK12-401
21 (35)



3.4 Jäähdytysjärjestelmät

3.4.1 Ilmanvaihdon ja huonetilojen jäähdytys

Ilmanvaihdon jäähdytys

Kohteessa ei ole koneellista ilmanvaihdon jäähdytystä.

Huonetilojen jäähdytys

Kohteessa ei jäähdytetä huonetiloja koneellisesti.

Jäähdytyskoneistojen lauhdutus

Ilmanvaihdossa ja huonetiloissa ei ole jäähdytystä.

3.4.2 Muu jäähdytys mm. kylmäsäilytys

Keittiössä on lihakylmiö, maitokylmiö ja pakkaskylmiö. Keittiön kylmälaitteisiin kuuluvat lauhduttimet sijaitsevat iv-konehuoneessa.

3.5 Sähköjärjestelmät

3.5.1 Yleistä

Kiinteistö on liitetty Helsingin Energian pienjänniteverkkoon. Kiinteistön sähköpääkeskus on vuodelta 1988 ja sen nimellisvirta on 630 A, lisäksi uudelle osalle on tuotu sitä palveleva nousukeskus. Kiinteistössä on myös kuusitoista ryhmäkeskusta, ja sähkönjakelujär-

Liite 8: Ala-Malmin peruskoulun energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut

6TK/MJA, RJP Ala-Malmin peruskoulu Latokartanontie 16, 00700 Helsinki	ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI 22.6.2009	6110902.TK11-401 20 (37)
---	---------------------------------------	-----------------------------

Katselmuksen yhteydessä mitattiin pistokokein vesikalusteiden virtaamia (liite 3). Virtaamat ylittivät normivirtaamat lähes kaikissa mitatuissa vesikalusteissa.

Vesikalusteiden virtaamia voidaan rajoittaa normivirtaamien tasolle verkoston painetta alentamalla, yksiotehanojen vipujen liikettä rajoittamalla tai asentamalla hanoihin ns. säästösuuttimia.

3.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

3.3.1 Yleistä

Kiinteistössä on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Neljässä ilmanvaihtokoneessa on lämmön talteenotto. Lämmön talteenotto on toteutettu poistoilman lämmön talteenottona vesi-glykoli kiertoisella järjestelmällä. Puhaltimet ovat 1- ja 2-nopeuksisia tai taajuudenmuuttajaohjattuja.

3.3.2 Ilmanvaihtokoneet

Tiloja palvelee 11 tuloilmakonetta ja niitä vastaavat poistoilmakoneet sekä erilliset poistoilmapuhaltimet (liite 2). Ilmanvaihtokoneet ovat osin peruskorjauksen ajalta osin vanhempia.

Ohjaustavat ja käyntiajat

Ilmanvaihtokoneita ohjataan pääosin keskitetyllä rakennusautomaatiojärjestelmällä. Pääilmanvaihtokoneet ovat 1- tai 2-nopeuksisia tai taajuudenmuuttajaohjattuja. Puhaltimien käyntiä säädetään automaatioon asetettujen aikaohjelmien mukaan, puhaltimien pitäessä yllä tarvittavaa kanavapainetta. Osa ilmanvaihtokoneista käy tarpeen mukaista pidemmän aikaa.

Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat katselmuksen ajankohtana esitetään liitteessä 2. Myös ehdotetut käyntiaikamuutokset esitetään liitteessä 2. Ehdotettuja ilmanvaihdon käyntiaika- ja asetusmuutoksien vaikutuksia energiankulutukseen on tarkasteltu kohdassa 4.2.1.

Ilmavirrat ja palvelualueet

Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut ilmavirrat ja palvelualueet on esitetty liitteessä 2. Palvelualueet vastaavat hyvin käyttötarkoituksia.

Säätötavat, asetusarvot ja säädön toiminta

Tuloilman lämpötilaa säädetään vakioperustaisesti tai poistoilman lämpötilan mukaan. Tuloilman lämpötilojen asetusarvot olivat osin tarpeettoman korkeat. Katselmuksajankohdassa usean ilmanvaihtokoneen sisäänpuhalluslämpötila ei saavuttanut asetusarvoa ilmeisesti ilmanvaihtoverkoston kytkentävirheiden vuoksi.

Lämmöntalteenottolaitteet

Rakennuksen ilmanvaihtokoneet 204TK, 205TK, 206TK ja 207TK on varustettu poistoilman lämmön talteenotolla.



Liite 8: Ala-Malmin peruskoulun energiakatselmusraportin ilmanvaihtoa käsittelevät sivut

6TK/MJA, RJP ENERGIAKATSELMUSRAPORTTI 6110902.TK11-401
Ala-Malmin peruskoulu
Latokartanontie 16, 00700 Helsinki 22.6.2009 21 (37)

Lämmön talteenottojärjestelmien hyötysuhteet olivat katselmushetkellä 52-56 % ulkoilman ollessa noin -0 °C (liite 2). Hyötysuhteet olivat hyvällä tasolla lukuun ottamatta liikuntasalin ilmanvaihtokoneen (207TK) lämmön talteenottoa, jonka hyötysuhde oli katselmushetkellä 11 %. Katselmushetkellä liikuntasalin perusparannustoimenpiteet olivat vielä kesken.

Kostutuslaitteet

Kohteen tuloilmakoneissa ei ole kostutusta.

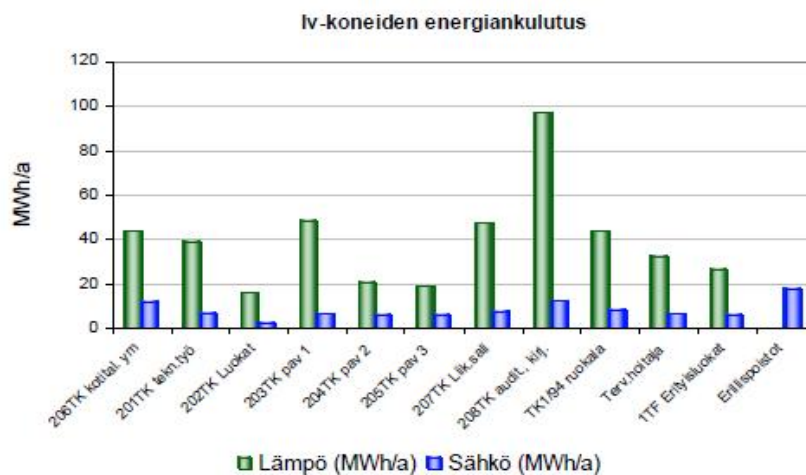
Yötuuletus

Ilmanvaihdossa ei käytetä yötuuletusta. Yötuuletuksen käyttö saattaa lämpimänä ajan kohtana parantaa sisäilmaolosuhteita, mutta lisää sähkönkulutusta.

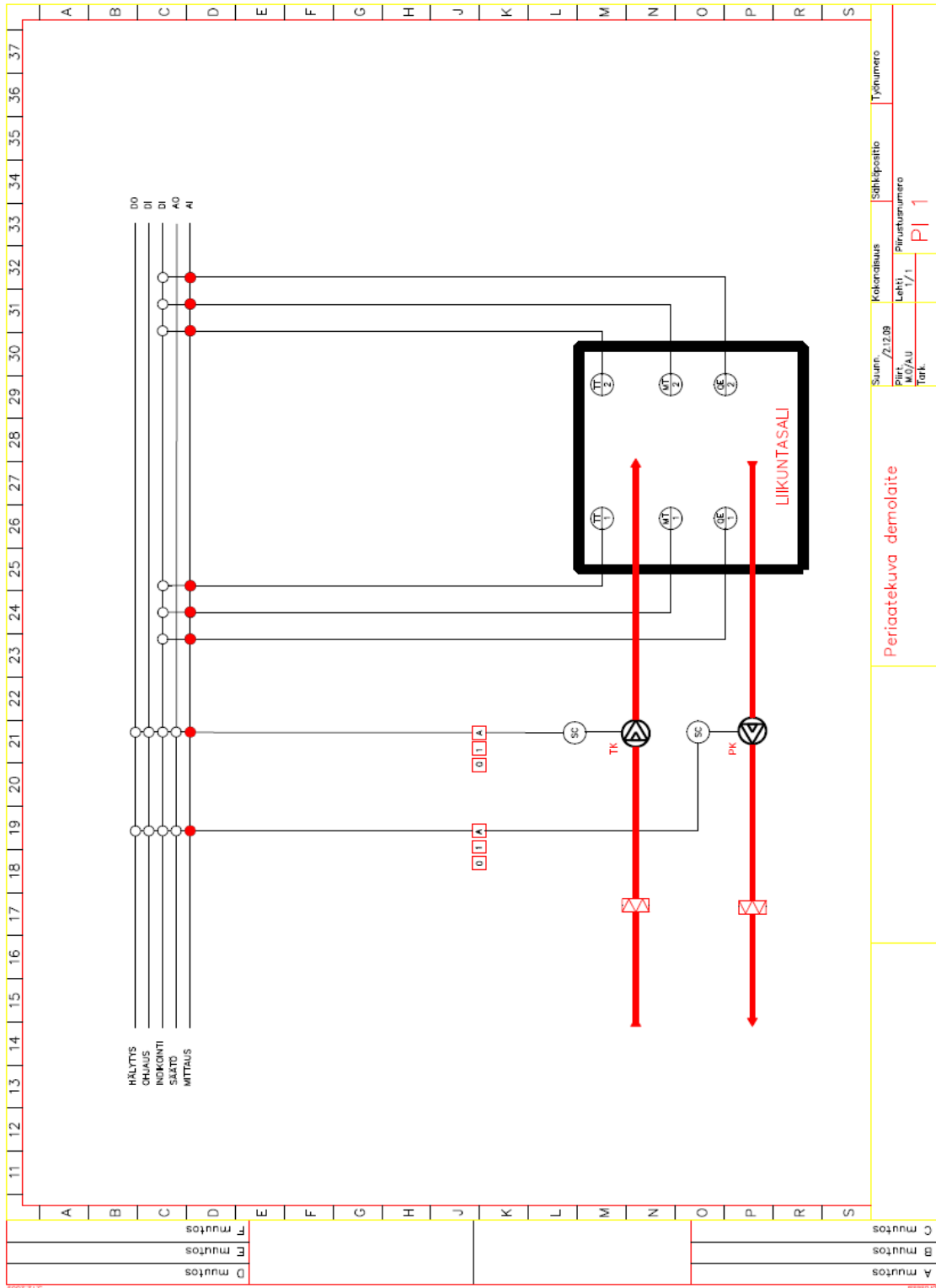
Ilmanvaihdon energiankulutus

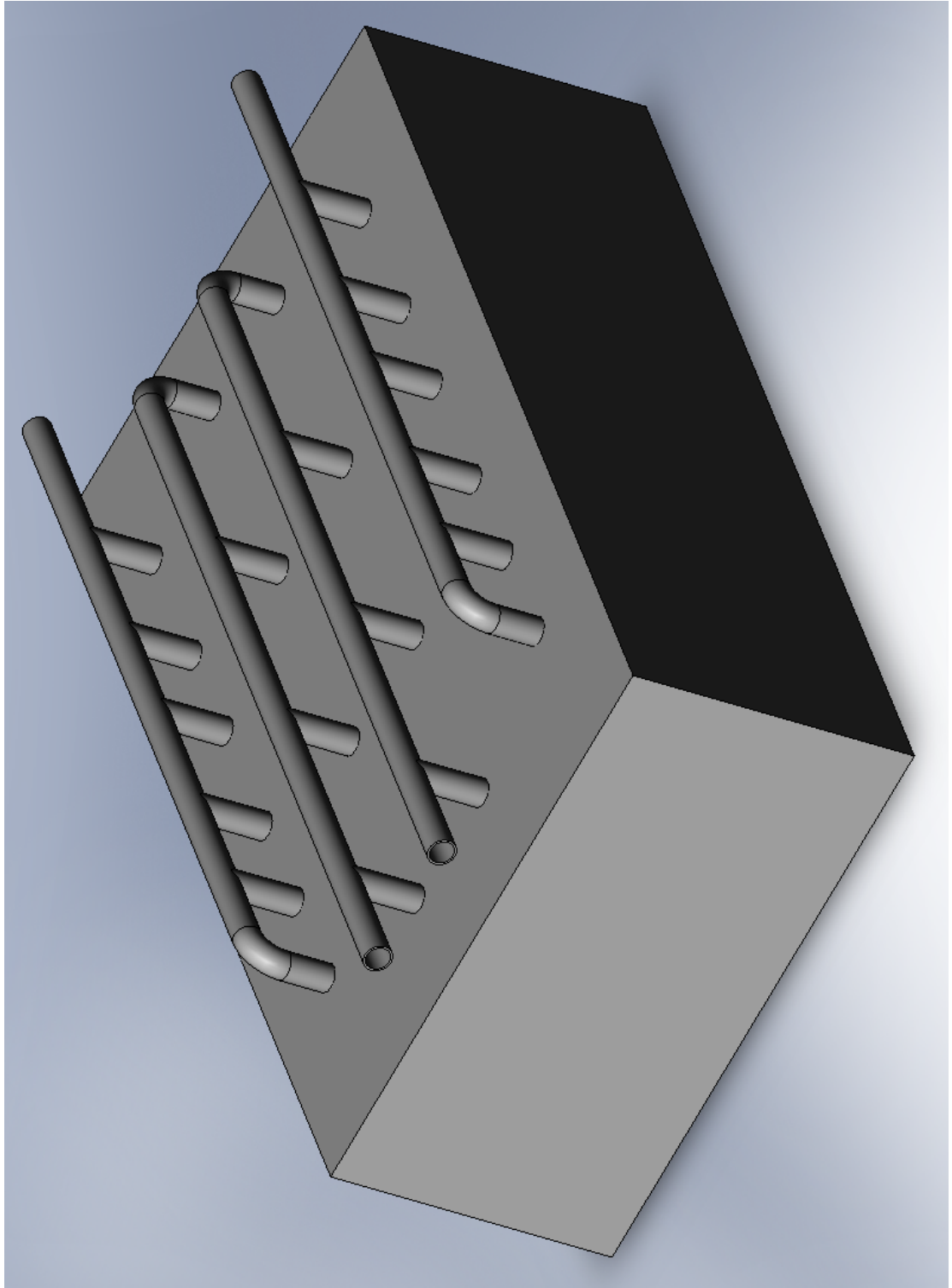
Iv-koneiden laskennallinen energiankulutus esitetään koneittain alla olevassa kuvaajassa. Vaikka sähköenergian kulutus on lämpöenergian kulutusta selvästi pienempi, on sähkön kustannusvaikutus myös merkittävä korkeamman energian hinnan vuoksi. Sähkön kulutusarvioon sisältyy myös vastaavan poistoilmakoneen sähkön kulutus.

Koulun auditorion ja kirjaston tiloja palveleva ilmanvaihtokone 208TK kuluttaa eniten lämpöenergiaa. Koneessa ei ole lämmön talteenottoa ja sisänpuhalluslämpötila on erittäin korkea (24...27 °C). Myös esimerkiksi 203TK:n osalta lämpöenergiankulutusta kasvattaa lämmön talteenoton puuttuminen. Lämmön talteenoton lisääminen kyseisiin koneisiin ei ole energiataloudellisesti perusteltavissa ottaen huomioon kohtuullisen takaisinmaksuajan.

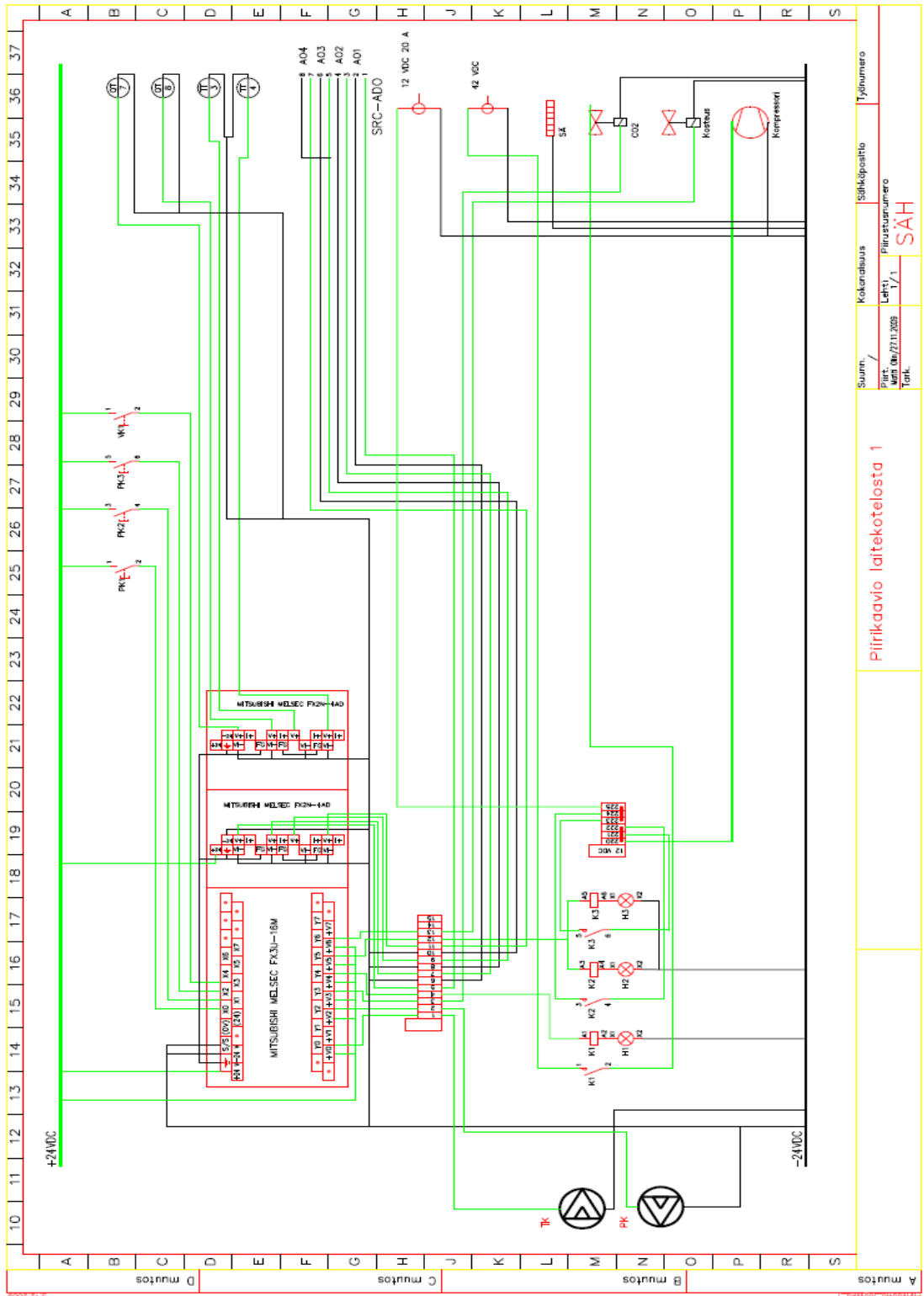


Liite 9: Demolaitteiston periaatekuva



Liite 10: Laittekotelon ja ilmanvaihtokanavien 3D-mallinnus

Liite 11: Demolaitteiston piirikaavio 1



Suunn. / Pirt. / muut 06/27.11.2005		Kokonaissivu Lehti 1/1	Sähköpiiriteho	Työnumero
Pii...		Piirustusnumero	SÄH	
Piirikaavio laitekotelosta 1				

A muutoks
B muutoks
C muutoks
D muutoks

Liite 12: Demolaitteiston piirikaavio 2

