



PIENTALON SIMULOINTIYMPÄRISTÖ

Jaakko Sysimetsä

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Sähkötekniikka
Talotekniikan suuntautumi-
nen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Talotekniikan suuntautuminen

SYSIMETSÄ JAAKKO:
Pientalon simulointiympäristö

Opinnäytetyö 29 sivua, josta liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2012

Tämän työn tarkoituksena oli tuottaa reaaliaikainen pientalosimulaatio lämpöhäviöiden ja lämmöntuottamisen osalta näiden prosessien opetukseen ja havainnollistamiseen. Kohteeksi valittiin olemassa oleva omakotitalo, jonka pohjapiirustukseen ja IV-suunnitelmaan simulointi perustui. Tässä projektissa oikean kohteen lämmönjakototeutus, maalämpö, vaihdettiin kaukolämpöliittymäksi. Taloa lämmitettiin vesikiertoisella patteriverkostolla.

Simulointi toteutettiin tutustumalla termodynamiikan lakeihin ja rakennusteknillisiin määräyksiin eristämisen osalta. Lämpöhäviöt laskettiin reaaliaikaisen ulkolämpötilaseuraamisen avulla Internetistä. Lämpöhäviöiden laskemisessa käytettiin rakennusmääräyskokoelman C3 (2010) mukaisia U-arvoja. Lisäksi mitoituslämpötiloina käytettiin rakennusmääräyskokoelman D5 (2007) mukaisia säävyöhyke I:n arvoja.

Simulointi sisälsi kolme erillistä prosessia: lämmönjaon, ilmastoinnin ja huoneiston. Lämmönjako käsitti kaukolämmön lämmittämät käyttövesi- ja patteriverkoston. Ilmastointi toteutettiin tuloilmakoneella, jossa oli kuutiomallinen lämmöntalteenotto. Huoneiston termodynamiikassa otettiin huomioon seinien, ikkunoiden, ulko-ovien, ala- ja yläpohjien lämpöhäviöt, talon sisäiset lämpövirrat sekä ilmanvaihto.

Opinnäytetyöstä muodostui hyödyllinen työkalu suunniteltuun tarkoitukseen, koulutuksen pitämiseen. Simulointia on myös mahdollista päivittää tulevaisuudessa uusien määräyksien mukaiseksi muuttamalla U-arvoja ohjelmoinnissa. Lisäksi simulointia on mahdollista kehittää nykypäivänä jo käytössä olevan sääennusteeseen perustuvan lämmön-
tarve-ennusteen piiriin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Building Services

SYSIMETSÄ JAAKKO:
Simulation Environment of a Single Family House

Bachelor's thesis 29 pages, appendices 2 pages
April 2012

The main goal of this thesis was to produce a real-time simulation of a small house concerning the production of heat and heat losses for the purposes of teaching and demonstration. A single-family detached house was chosen provide the layout and the ventilation plan for these simulations. The heating method of the real house (geothermal heating) was switched to district heating. The house was heated using a water-circulated heating battery network.

The simulation was carried out by exploring the laws of thermodynamics and the construction engineering regulations concerning insulation. The heat losses were calculated based on the real-time monitoring of the outside temperature as provided in Internet. U-factors for the heat loss calculations were used according to the construction engineering regulation collection C3 (2010). Additionally, the design temperatures were chosen according to the weather zone I presented in the construction engineering regulations collection D5 (2007).

The simulation consisted of three separate processes: the heat distribution, the air conditioning and the set of rooms. The heat distribution comprised of the heating battery network and the water network. The air conditioning was provided using an air handling unit which had cubic heat recovery. The heat losses from walls, windows, outside doors, and lower and upper bases, the internal heat fluxes and ventilation were taken into account for the set of rooms.

The thesis formed a useful tool for the intended educational purposes. In the future the simulation can be upgraded to be consistent with new regulations by changing the U-factors. Additionally the simulation can be developed further to include the heat requirement projection based on the weather forecast.

Key words: building technique, simulation, heat loss, central heating, air conditioning

SISÄLLYS

LYHENTEET JA TERMIT	5
1 JOHDANTO.....	6
2 SIMULOINTIYMPÄRISTÖN KÄYTTÖTARKOITUS.....	7
3 LÄMPÖENERGIAN SIIRTYMISEN SÄÄNTÖJÄ.....	8
4 PROSESSIN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS.....	11
4.1 Lähtökohdat	11
4.2 Lämmönjako	12
4.3 Asuintilat.....	16
4.4 Ilmanvaihto	18
5 PROSESSIN JA JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS.....	22
5.1 Simulointityökalut	22
5.2 Ohjelmointityökalut.....	23
6 YHTEENVETO	25
LÄHTEET.....	26
LIITTEET	27
Liite 1. Omakotitalon pohjakuva (sähköisen version mk. 1:50, tulosteen 1:100).....	27
Liite 2. IV-suunnitelma (sähköisen version mk. 1:50, tulosteen 1:100) (Unkuri 2010).....	29

LYHENTEET JA TERMIT

A	pinta-ala, m ²
λ	lämmönjohtavuus, $\frac{W}{m \cdot K}$
c	ominaislämpökapasiteetti, $\frac{J}{K \cdot kg}$
d	paksuus, m
ε	emissiivisyys
Φ	lämpövirta, W
m	massa, kg
η	hyötysuhde
Q	lämpömäärä, J
q_m	massavirta, kg/s
R	lämmönvastus, $\frac{m^2 \cdot K}{W}$
σ	Stefan-Boltzmannin vakio, $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$
T	lämpötila, K
t	aika, s
θ	pintalämpötilojen erotus, K

1 JOHDANTO

Talotekniikka on jatkuvasti kehittyvä tekniikan ala. Energiataloudellisuus asettaa tiukkoja vaatimuksia ja tavoitteita koko ajan. Energiaa säästetään esimerkiksi kiristämällä rakennusmääräyskokoelman maksimilämmönläpäisykertoimia vuositasolla eristeiden parantuessa. Energian säästämiseksi on tärkeää tuntea talotekniikan prosesseja ilmanvaihdon ja lämmönjaon osalta, jotta osataan optimoida muun muassa lämmöntalteenoton käyttöä lämmitys- ja jäähdytyskäytössä sekä asettaa oikeanlainen säätökäyrä lämmityspiireille.

Työn tarkoituksena oli tuottaa Fidelix Oy:lle opetusympäristö pientalon termodynaamisesta käyttäytymisestä simuloimalla. Työssä perehdytään lämpöenergian siirtymisen periaatteisiin, rakennusteknisiin vaatimuksiin eristeiden osalta sekä esitellään työn keskeisimmät työkalut. Työn lopussa arvioidaan lopputulos ja pohditaan kehittämismahdollisuuksia.

Simulointiympäristö toteutettiin ohjelmoimalla Fidelix FX-2025A teollisuustietokoneyksikköä. Simuloinnista tekee reaaliaikaisen Internetin välityksellä seurattava sääennuste, josta luetaan sen hetkinen ulkolämpötila. Rakennuksen mitat on luettu oikeasta talon pohjakuvasta (liite 1) ja mitoitusilmavirrat vastaavasti IV-suunnitelmasta (liite 2). Poikkeuksena oikeaan kohteeseen, simulointiin valittiin maalämmön sijaan kaukolämpöliittymä.

2 SIMULOINTIYMPÄRISTÖN KÄYTTÖTARKOITUS

Työn tilaajan, Fidelix Oy:n, päätoimiala on rakennusautomaatiojärjestelmät sekä turvajärjestelmät. Yritys kehittää ja tuottaa omia valvontajärjestelmiä omakotitaloihin ja ostoskeskuksiin ja kaikkeen siltä väliltä. Fidelix Oy:n järjestelmä antaa työkalun talotekniikan ylläpitoon ja seurantaan. Sen avulla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä energiankulutuksessa ja parantaa sisäilman laatua. Näin voidaan saada aikaan ympäristö, jossa viihtyminen ja tehokas työskentely ovat mahdollisia. (Fidelix Oy n.d.)

Yrityksille, joilla on omia tuotteita, on tärkeää pitää laitteistaan käyttökoulutusta esimerkiksi asiakkaille, jälleenmyyjille ja omalle henkilöstölle. Fyysisen opetusympäristön rakentaminen tilavaatimuksineen ei ole varsinkaan resurssien kannalta mielekästä, joten virtuaalisen simulointiympäristön heijastaminen opetustilanteessa valkokankaalle on helppoa ja havainnollistavaa. Työn tuotos on myös mahdollista monistaa useammalle alakeskuslaitteelle, jolloin oppilas pääsee itse tutkimaan prosessia ja opettelemaan samalla Fidelix-alakeskuksen käyttöä. Lisäksi simulointi mahdollistaa prosessien nopeuttamisen esimerkiksi muuttamalla lämpötiloja käsin.

Rakennusautomaatiossa on ensisijaista ymmärtää fysiikan lakeja automaation prosessin kannalta. Jokaisella muutoksella on syy-seuraussuhde ja esimerkiksi lämmönjakoa sekä ilmastointia yhdistää termodynamiikan lait.

3 LÄMPÖENERGIAN SIIRTYMISEN SÄÄNTÖJÄ

Termodynamiikka sisältää kolme erilaista pääsääntöä. Ensimmäinen pääsääntö on energiaperiaate, jonka mukaan eristetyn systeemin energiasumma pysyy muuttumattomana. Toisen pääsäännön mukaan eristetty systeemi pyrkii aina termodynaamiseen tasapainotilaan, eli lämpöenergia siirtyy aina lämpimämmästä kylmempään. Kolmas pääsääntö on, ettei absoluuttista nolapistettä (n. $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) voida saavuttaa. (Tekniikan kaavasto 2008, 110.)

Lämmön siirtymistapoja on kolme: lämmön siirtyminen konvektiossa eli kuljetuksessa, johtuminen ainekerroksessa sekä lämmön säteily. Lämpövirta kuljetuksessa lasketaan kaavan 1 mukaan (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$q_m = \text{massavirta [kg/s]}$$

$$\Phi = q_m c \Delta T, \text{ jossa } c = \text{ominaislämpökapasiteetti} \left[\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \right] \quad (1)$$

$$\Delta T = \text{lämpötilaerotus [K]}$$

Toinen tapa lämmön siirtymiselle on johtuminen ainekerroksessa, johon vaikuttaa ainekerroksen paksuus, lämmönjohtavuusarvo ja pinta-ala. Lämpövirta johtumisessa saadaan kaavasta 2 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$\Phi = \text{lämpövirta [W]}$$

$$\lambda = \text{aineen lämmönjohtavuus} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

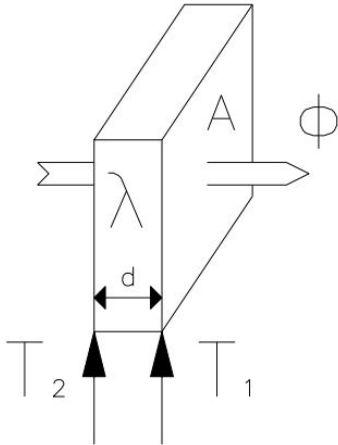
$$\Phi = \lambda A \frac{\theta}{d}, \text{ jossa } A = \text{pinta-ala [m}^2\text{]} \quad (2)$$

$$\theta = \text{pintalämpötilojen erotus [K]}$$

$$d = \text{ainekerroksen paksuus [m]}$$

Lämpöenergian siirtyminen seinämässä riippuu seinämän lämmönjohtavuuskyvystä, pintalämpötiloista sekä ainekerroksen paksuudesta (kuva 1). Lämpövirran siirtyminen seinämässä lasketaan kaavalla 3 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$\begin{aligned} \Phi &= \text{lämpövirta [W]} \\ A &= \text{seinän pinta - ala [m}^2\text{]} \\ \Phi &= \frac{A\theta}{R_T}, \text{ jossa } \theta = T_2 - T_1 = \text{sisä - ulkolämpötilaerotus [K]} \\ R_T &= \frac{1}{U} = \text{kokonaislämmönvastus} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \end{aligned} \quad (3)$$



KUVA 1. Johtuminen ainekerroksessa (Tekniikan kaavasto 2008, muokattu)

Fyysikko Stefan-Boltzmann totesi laissaan, että mustan kappaleen säteilemä teho pinta-alaa kohti on suoraan verrannollinen lämpötilan neljänteen potenssiin. Lämpövirran laskemiseen säteilyssä liittyy lisäksi kappaleen pinnan emissiivisyys, eli kyky lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyysarvo on aina nollan ja ykkösen väliltä, ja mitä suurempi arvo, sen parempi on kappaleen lämmönsäteilykyky. Lämpövirta säteilyssä saadaan kaavasta 4 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$\Phi = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4), \text{ jossa} \quad (4)$$

Φ = lämpövirta [W]

ε = pinnan keskimääräinen emissiivisyys

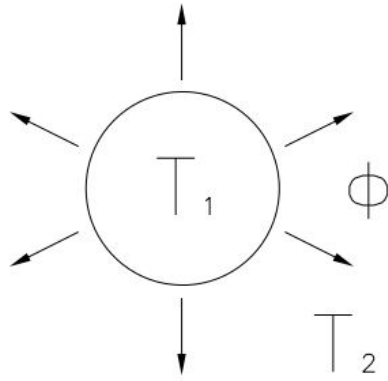
$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ = Stefan - Boltzmannin vakio

A = pinta - ala [m²]

T_1 = säteilevän pinnan lämpötila [K]

T_2 = ympäristön lämpötila [K]

Kuvassa 2 on esitetty lämmön siirtymistä säteilemällä pallomaisesta kappaleesta ympäristöön.



KUVA 2: Lämmön siirtyminen säteilyssä (Tekniikan kaavasto 2008, muokattu)

Lämmönvastus on aineen lämmönjohtavuuden käänteisarvo, johon vaikuttaa lisäksi ainekerroksen paksuus. Lämmönvastus lasketaan kaavalla 5 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$R = \text{lämmönvastus} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i}, \text{ jossa } d = \text{ainekerroksen paksuus [m]} \quad (5)$$

$$\lambda = \text{aineen lämmönjohtavuus} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

Seinämän koostuessa useista eri kerroksista, lasketaan lämmönvastus kerroskohtaisesti ja kokonaislämmönvastus muodostuu näiden summasta. Kokonaislämmönvastuksen kaava on esitelty kohdassa 6 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$R_{\text{kok}} = R_s + R_1 + R_2 + \dots + R_v, \text{ jossa} \quad (6)$$

R_{kok} = Kokonaislämmönvastus

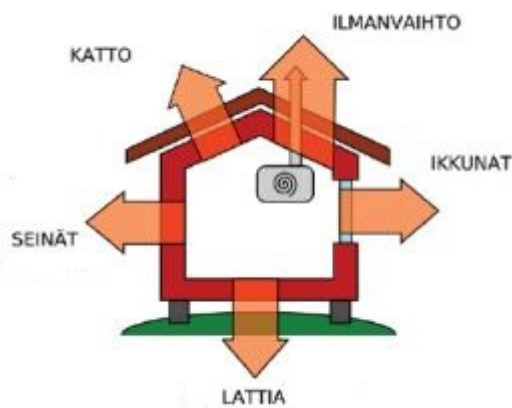
R_s = Sisäpuolinen pintavastus

R_v = Ulkopuolinen pintavastus

4 PROSESSIN JA JÄRJESTELMÄN KUVAUS

4.1 Lähtökohdat

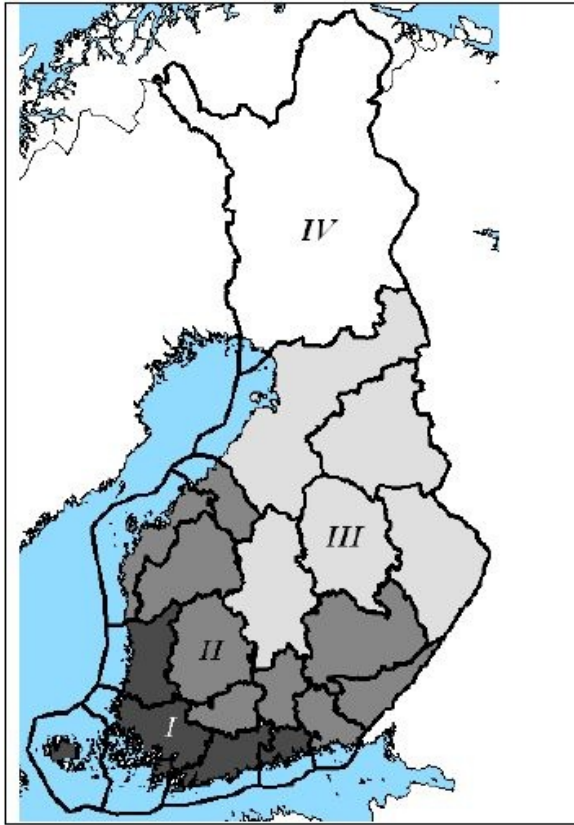
Simuloinnin kohteeksi valittiin yksikerroksinen omakotitalo. Talomalli on 4-5 hengen asuttava pohjaratkaisu, jonka kokonaispinta-ala on 163,5 m² ja huonekorkeus 2,8 metriä. Rakennusta lämmitetään vesikiertoisella patteriverkostolla ja lämpölähteenä on kaukolämpöliittymä. Ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti kuutiomallisen lämmöntalteenottolaisteiston kanssa. Tällaisessa kohteessa lämpötilaerojen aiheuttamia lämpöhäviöitä muodostuu seinistä, ylä- ja alapohjasta, ilmanvaihdosta sekä ikkunoista ja ovista (kuva 3).



KUVA 3: Rakennuksen lämpöhäviöt (Alitalo 2010, 11)

Lämpöhäviöitä laskettaessa lämmönvastusarvolla on suuri merkitys häviöiden suuruuden kannalta. Kaikille häviöreiteille on määritetty Suomen Rakentamismääräyskokoelma C3 2010 (RakMK C3 2010) minimilämmönvastusarvot, esimerkiksi seinille 0,17 W/m²K ja ikkunoille 1,0 W/m²K. Tässä työssä käytetään C3:n arvoja ja lasketaan määräysten puitteissa maksimilämpöhäviöitä.

Rakennuksen maantieteellisen sijainnin merkitystä on täsmennetty Rakentamismääräyskokoelma C5:ssä. Suomen alue on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen (kuva 4), joille on määritetty omat mitoitusarvot. Taulukosta löytyvät mitoittava ulkoilman lämpötila, vuoden keskimääräinen ulkolämpötila ja lämmityskauden keskimääräinen ulkolämpötila (taulukko 1).



KUVA 4: Säavyöhykkeet (Rakentamismääräyskokoelma D5 2007, 56)

Simuloitava rakennus sijaitsee pääkaupunkiseudulla, säavyöhyke I:llä, jolloin taulukosta saadaan arvot mitoittavaksi ja vuoden keskimääräiseksi ulkoilman lämpötilaksi. Keskimääräistä ulkolämpötilaa käytetään laskettaessa yläpohjan häviöitä.

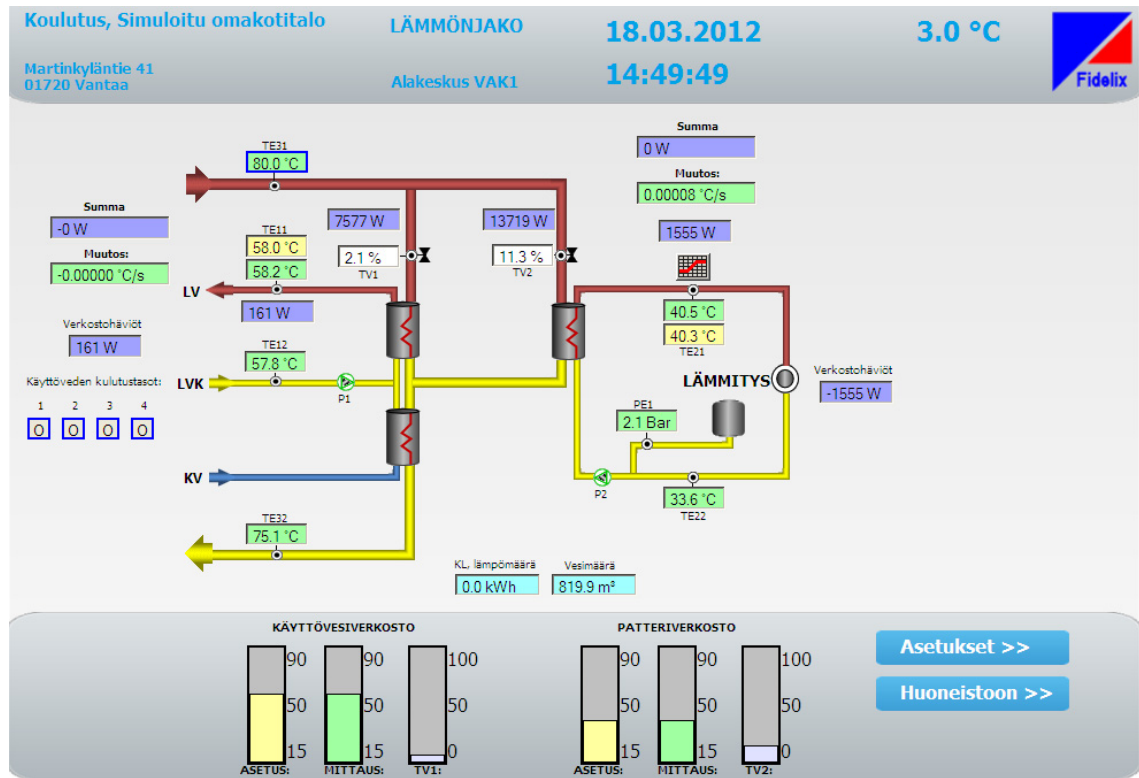
TAULUKKO 1: Säavyöhykkeiden mitoitusarvot (RakMK D5 2007, 56)

Säavyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila [°C]	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila [°C]	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila [°C]
I	-26	5	1
II	-29	4	0
III	-32	2	-1
IV	-38	0	-5

4.2 Lämmönjako

Kohteen lämmönjako koostuu kahdesta piiristä, käyttövesi- ja patteriverkostosta (kuva 5). Molemmille piireille on omat kaukolämpöventtiilit, joita ohjataan piirien menovesilämpötilojen säätöpisteiden perusteella. Kaukolämmön tulolämpötila pysyy vakiona

käyttäjän asettamassa arvossa, noin 70 – 80 asteessa. Sääto pitää käyttövesiverkoston menolämpötilan vakioarvossaan (noin 58 °C). Patteriverkoston menolämpötilaa säädetään kompensointisäädöllä. Menolämpötilan säätöpiste seuraa ulkolämpötilaa ja muuttaa säätökiäyrän perusteella asetusarvoksi vastaavan arvon.



KUVA 5: Lämmönjako

Menolämpötiloille lasketaan hetkellinen muutosarvo lämpöhäviöiden ja -lähteiden summan avulla. Lähteenä on kaukolämpö ja häviöt koostuvat koko verkoston häviöistä. Lämpövirta Φ on lämpömäärä jaettuna ajalla, eli se voidaan laskea myös massan, ominaislämpökapasiteetin ja lämpötilaeron avulla. Muutosarvo saadaan näin laskettua kaavasta 7 (Inkinen & Tuohi 2008, 408):

$$\Phi = \frac{Q}{t} = \frac{mc\Delta T}{t} \Leftrightarrow \Delta T = \frac{\Phi t}{mc}, \text{ jossa} \quad (7)$$

Q = lämpömäärä [J]

m = massa [kg]

c = ominaislämpökapasiteetti $\left[\frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{kg}} \right]$

t = tarkasteltava aika [s]

Piirien menolämpötilojen lisäksi prosessi laskee piirien lämpöhäviöiden perusteella pa-luulämpötiloja. Esimerkiksi patteriverkoston häviöt muodostuvat huoneiston pattereiden luovuttaman energian ja IV-koneen patterin summasta.

Patteriverkoston virtaama on mitoitettu lämpöhäviöiden perusteella säävyöhyke I:n mi-toittavalla ulkolämpötilalla -26 °C ja sisäilman lämpötilalla 22 °C (kaava 3). Häviöt tau-lukoitiin (taulukko 2) ja niiden perusteella voidaan laskea tarvittava virtaama patterille huonekohtaisesti. Seinien häviöissä on laskettu mukaan ikkunoiden ja ovien häviöt.

TAULUKKO 2. Mitoittavat lämpöhäviöt

	MH1	MH2	MH3	MH4	OH	KHH	PH	S	WC
seinät [W]	268	268	159	185	1132	363	54	129	46
alapohja [W]	35	35	34	36	225	54	14	14	9
yläpohja [W]	19	19	18	19	119	29	8	8	5
Yht. [W]	322	322	211	240	1476	446	76	151	60

Lämpöhäviöiden yhteen laskettu summa on 3,3 kW. Huonekohtainen mitoitusvirtaama on laskettu taulukko 3:ssa kaavan 1 avulla. Lämpötilaerona ΔT käytettiin 30 °C , sillä erotus vaikuttaa virtaamaan. Lämpötilaerotuksen ollessa suurempi, vesivirta ja putket pienenevät, mutta samalla lämmönluovuttajan keskilämpötila alenee. Tämä tarkoittaa kuitenkin sitä, että lämpöpinta suurenee. Prosessi on päinvastainen lämpötilaerotuksen pienentyessä. (Seppänen O. & Seppänen M. 2004, 116)

TAULUKKO 3. Virtaamat ja toteutetun virtaaman mukainen teho

	MH1	MH2	MH3	MH4	OH	KHH	PH	S	WC
mitoitus [kg/s]	0,0026	0,0026	0,0017	0,0019	0,0118	0,0036	0,0006	0,0012	0,0005
toteutus [kg/s]	0,004	0,004	0,0025	0,0025	0,014	0,0045	0,001	0,002	0,001
teho [W]	502	502	314	314	1758	565	126	251	126

Patteriverkoston kokonaisvirtaama on määritelty huoneiston lämmityspattereiden vir-taamien sekä IV-koneen lämmityspatterin virtaaman summasta. Taulukon 3 lämmitys-tehot on laskettu toteutetun virtaaman mukaan kaavalla 1.

Lämmönjakohuoneen lämpötila-antureille on tarpeellista asettaa hälytysrajoja, jotta mahdolliset vikatilanteet havaitaan mahdollisimman nopeasti. Esimerkiksi käyttöveden lämpötilaa kontrolloidaan ala- ja ylärajahälytyksillä. Liian kuuma käyttövesi saattaa

aiheuttaa jopa palovammoja, jos se pääsee lämpenemään hallitsemattomasti, sillä kaukolämmön tulolämpötila voi olla paineistettuna jopa yli sadan asteen.



KUVA 6: Lämmönjaon asetukset

Kun käyttövedelle riittää ala- ja ylärajahälytykset vakioasetusarvon takia, kannattaa patteriverkoston menolämpötilalle ohjelmoida myös säätövikahälytys. Hälytys toteutetaan liukuman avulla asetusarvoon nähden. Hälytys tapahtuu, jos menolämpötila poikkeaa asetetun liukuman verran asetusarvosta. Patteriverkoston painetta seurataan normaalisti anturilla, mutta tässä tapauksessa piirin paine on ainoastaan käsin aseteltava arvo. Simuloinnissa syntyy hälytys myös käyttövesi- ja patteriverkoston pumppujen pysähtymisestä.

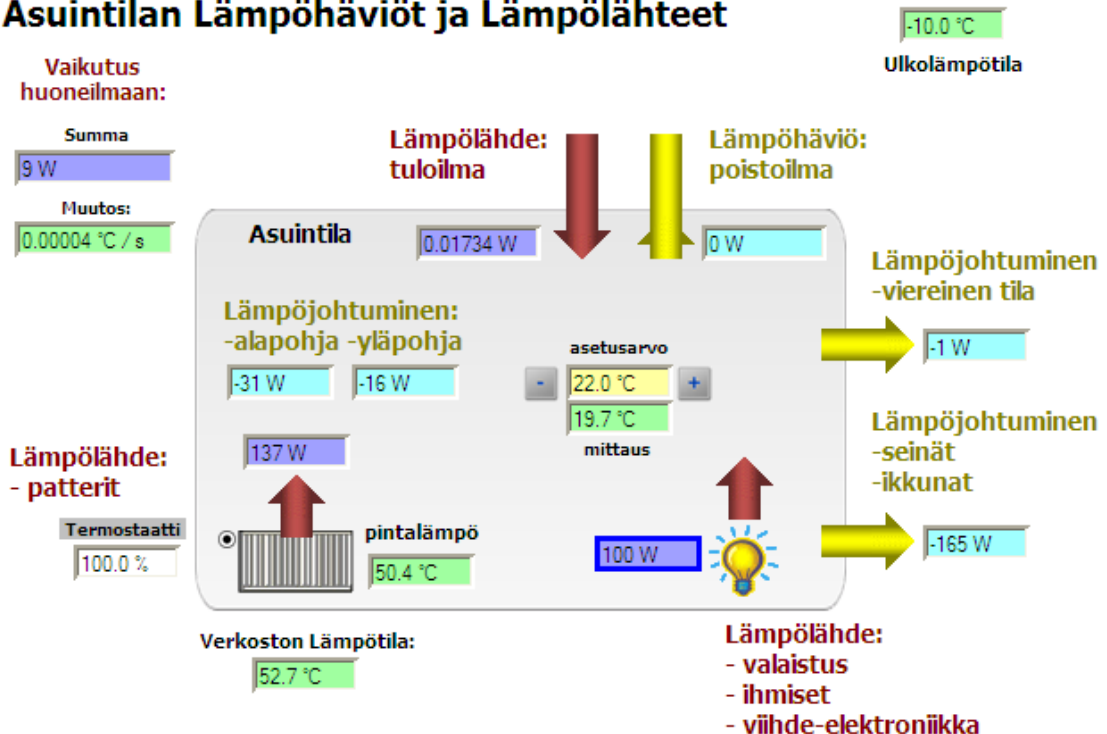
Käyttövesiverkostolle on ohjelmoitu viisiportainen kulutustaso. Käyttäjä voi valita kulutuksen grafiikalta ohjauspisteistä 1-4. Simulointi tunnistaa aina suurimman tason aktiivisuuden ja arvioi litramäärän ja häviöt sen mukaan. Aktiivinen taso näkyy grafiikalla vihreänä painikkeena ja inaktiivinen harmaana. Mikäli kaikki painikkeet ovat harmaana, yksikään hana ei ole auki ja energiahäviötä syntyy ainoastaan veden kierrosta.

4.3 Asuintilat

Kuvassa 7 on esitetty prosessin periaatekuva asuintilojen puolella. Tietokone laskee lämpöhäviöt sekä -lähteet ja summaa nämä yhteen. Summan avulla saadaan hetkellinen muutosarvo huonelämpötilalle, joka on joko positiivinen lämpöenergiatilan jäädessä plussan puolelle tai negatiivinen päinvastaisessa tilanteessa. Huonelämpötila pyritään pitämään asetusarvossaan, jolloin säätöpiste ohjaa lämmityspatterin venttiiliä välillä 0...100 %. Kone seuraa Internetin kautta reaaliaikaisesti ulkolämpötilaa ja muodostaa sen mukaan lämpövirrat ulkoseinissä.

Pääasiallisina lämpölähteinä ovat lämpöpatterit. Toinen laskennallinen lämpölähte on IV-koneen tuloilma, jonka vaikutus on kuitenkin aika pieni virtaamien ollessa pieniä. Kolmantena lämpölähteenä on käyttäjän määrittämä muut lähteet -kenttä, johon arvioidaan ihmisten, valaistuksen, elektroniikan ja esimerkiksi saunan kiukaan vaikutus wattina. Häviöitä lasketaan ala- ja yläpohjasta, seinistä ja ikkunoista, mahdollisesta poistoilmasta sekä johtumisesta viereisiin tiloihin.

Asuintilan Lämpöhäviöt ja Lämpölähteet



KUVA 7: Asuinhuoneiston periaatekuva

Prosessissa on otettu huomioon myös ympäröivien huoneiden lämpötilaerot. Systemi pyrkii aina tasapainoon ja lämpimämmästä tilasta siirtyä energiaa kylmempään tilaan.

Sisäseinien lämmönvastusarvot on laskettu olettaen seinän koostuvan kahdesta Gyproc-kipsilevystä ja eristevillasta. Gyproc-levyn lämmönjohtavuusarvoksi on laskettu $0,21 \frac{W}{m \cdot K}$ (Gyproc 2003, 5). Lämmönvastusarvo on laskettu yhtälöissä 8-10 (Tekniikan kaavasto 2008, 111).

$$R_{villaa} = \frac{d_{villaa}}{\lambda_{villaa}} = \frac{0,070 \text{ m}}{0,055 \frac{W}{m \cdot K}} = 1,272 \frac{m^2 \cdot K}{W}, \text{ jossa} \quad (8)$$

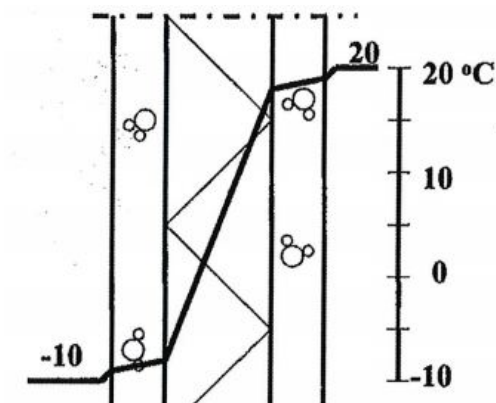
d_{villaa} = villakerroksen paksuus [m]

λ_{villaa} = villan lämmönjohtavuus $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$

$$R_{gyproc} = \frac{d_{gyproc}}{\lambda_{gyproc}} = \frac{0,013 \text{ m}}{0,21 \frac{W}{m \cdot K}} = 0,062 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} R_{kok} &= R_{gyproc} + R_{villaa} + R_{gyproc} \\ &= (0,062 + 1,272 + 0,062) \frac{m^2 \cdot K}{W} \\ &= 1,40 \frac{m^2 \cdot K}{W} \end{aligned} \quad (10)$$

Seinissä vaikuttaa aina materiaalien lämmönvastuksen lisäksi myös sisäpuolinen ja ulkopuolinen pintalämmönvastus R_s ja R_v , mutta näitä ei ole otettu huomioon simuloinnissa pienen merkityksen vuoksi.



KUVA 8: Lämpötilan muutos seinämässä (Saarenpää 2012)

Seinän lämpötila on aina hieman matalampi kuin huonelämpötila, mutta nykyisillä eristyksillä se ei eroa huomattavasti huonelämpötilasta. Seinän U-arvon ollessa $0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ saadaan lämmönvastukseksi (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$R = \frac{1}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 5,88 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \quad (11)$$

Jos arvioidaan sisäpinnan vastusarvon olevan $0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$, niin kokonaislämmönvastukseksi saadaan $6,01 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$. Sisäpinnan vastusarvo on siis 2,2 % seinän lämmönvastuksesta. Mitoituslämpötilojen erotukseksi saadaan 48 astetta ja 2,2 prosenttia tästä on 1,06 astetta. Äärimmäisessä tilanteessa huonelämpötilan ja sisäseinän pinnan erotus on siis vain hieman yli asteen, ja se pienenee mitä lähemmäksi sisälämpötilaa ulkolämpötila pääsee.

4.4 Ilmanvaihto

Terveeseen asuinympäristöön kuuluu olennaisena osana ilmastointi, joka nykyään on toteutettu lähes poikkeuksetta koneellisesti. Energiatehokkuus on tärkeässä roolissa myös tällä talotekniikan saralla ja tätä silmällä pitäen ehkä tärkeimpänä osana ilmanvaihtoa voidaan pitää lämmöntalteenottoa, eli LTO:ta. Lämmöntalteenoton tarkoitus on siirtää energiaa poistoilmasta tuloilmaan. Prosessi toimii sekä tuloilman lämmittämiseen että myös jäähdyttämiseen. LTO:n toteuttamiseen on olemassa kolme eri tapaa, kuutio-, neste- ja kiekko-LTO.

Simulointiympäristöön valittiin kuutio-LTO, jonka hyötysuhteeksi arvioitiin noin 43 %. Ilmastointikoneen lämmitysportaana toimii lämmityspatteri, joka käyttää energialähteenä kaukolämpöä. Kokonaisilmavirrat on saatu IV-suunnittelijan pohjakuvista (liite 2). Tuloilmamäärä on 67 l/s ja poistoilmamäärä 71 l/s. Tuloilmalämpötilan asetusarvona käytettiin käsin muutettavaa vakioasetusarvoa.

Tulo- ja poistoilman lämpötiloista on laskettu lämpövirrat IV-suunnitelmista luettujen huonekohtaisien ilmamäärien mukaan. Lämpöenergia siirtyy kuljetuksessa eli laskemiseen käytettiin kaavaa 1. Poistolämpötila lasketaan painotetusti poistoilmamäärien perusteella. Tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen voidaan laskea, kun hyötysuhteen arvioidaan olevan 43 prosenttia. Lämpötila saadaan johtamalla tuloilman lämpötilahyötysuhteen kaavasta (Ympäristöministeriön moniste 122 2003, 14):

$$\eta = \frac{T_{\text{tulo}} - T_{\text{ulko}}}{T_{\text{poisto}} - T_{\text{ulko}}} \Leftrightarrow T_{\text{tulo}} = \eta \cdot (T_{\text{poisto}} - T_{\text{ulko}}) + T_{\text{ulko}}, \text{ jossa} \quad (12)$$

η = hyötysuhde

T_{tulo} = lämpötila LTO : n jälkeen [° C]

T_{ulko} = ulkolämpötila [° C]

T_{poisto} = poistolämpötila [° C]

Huoneistoon menevän tuloilman lämpötilaan vaikuttaa LTO:n jälkeinen lämpötila (TE02) ja lämmityspatteri. Patterissa kiertää yhtä lämmin vesi kuin huoneiston pattereissa. TE02:n vaikutus voidaan laskea konvektiokaavan avulla, kun tiedetään talon kokonaistuloilmamäärä (Tekniikan kaavasto 2008, 111).

$$\begin{aligned} \Phi &= q_m c \Delta T \\ &= (0,067 \text{ m}^3 \cdot 1,293 \text{ kg/m}^3) \cdot 1001 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot (\text{TE02} - \text{TE10}) \end{aligned} \quad (13)$$

Patterin vaikutus tuloilmaan on kupariputkien lämpösäteilemistä. Lämpövirta voidaan laskea siis säteilykaavalla, kun tiedetään kuparin pinnan lämpötila, lämmitettävän ilman lämpötila (TE02) ja kuparin pinta-ala. Käsittelemättömän kuparin emissiivisyyden voidaan arvioida olevan noin 0,44 (Miettinen 2010, 18). Patterin rihmaston pinta-alaksi on arvioitu 20 m². Patterin säteilemä lämpövirta on laskettu yhtälössä 14 (Tekniikan kaavasto 2008, 111):

$$\begin{aligned} \Phi &= \varepsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \\ &= 0,44 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot 20 \text{ m}^2 \cdot (T_{\text{patteri}}^4 - T_{\text{TE02}}^4), \text{ jossa} \end{aligned} \quad (14)$$

Φ = lämpövirta[W]

ε = kuparin emissiivisyys

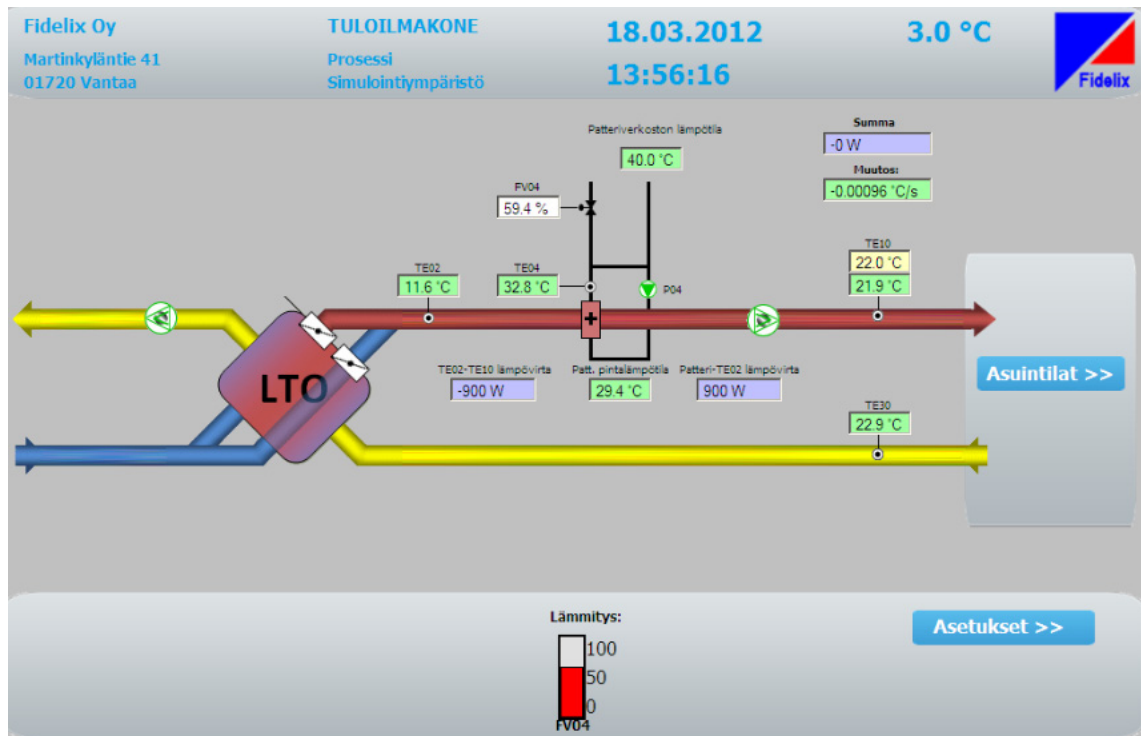
σ = Stefan - Boltzmannin vakio = $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

A = kuparin pinta – ala [m²]

T_{patteri} = patterin pinnan lämpötila [K]

T_{TE02} = TE02 - anturin lämpötila [K]

Patterin läpi kulkevaa vesimassavirtaa säädetään paluuvesiventtiilillä välillä 0 ... 100 %. Hetkellinen tuloilman muutosarvo voidaan laskea, kun summataan LTO:n jälkeisen lämpötilan ja tuloilman lämpötilan lämpövirta sekä patterin luovuttama lämpövirta.



KUVA 9: Ilmastointikone

Ilmastointikoneen grafiikkakuvaan on merkitty LTO:n jälkeinen lämpötila TE02, lämmityspatterin paluuveden lämpötila TE04 sekä huoneistoon menevä ja palaava lämpötila TE10 ja TE30. Näiden lisäksi yläreunassa näkyy patteriverkoston lämpötila ja patterin pintalämpötila. Lämpövirtojen osalta häviöt näytetään vasemmanpuoleisella lilapohjaisella kentällä ja patterin luovuttama lämpövirta oikeanpuoleisella. Paluuvesiventtiilin FV04 asento ilmoitetaan valkoisella pohjalla (0 % täysin kiinni, 100 % täysin auki).

IV-koneeseen ohjelmoitiin hälytykset lämmönjaon tapaan. Lämpötiloille on asetettu alaja ylärajat sekä tulo- ja poistoilmalle myös palovaarahälytykset. Puhaltimet ja lämmityspatterin pumppu hälyttävät, mikäli ne pysähtyvät. Hälytysrajat ovat aseteltavissa erillisellä asetussivulla.

5 PROSESSIN JA JÄRJESTELMÄN TOTEUTUS

5.1 Simulointityökalut

Simuloinnin suorittajana käytetään Fidelix FX-2025A teollisuus-PC:tä (kuva 10). FX-2025A on Fidelix Oy:n ala-asemina käyttämä tuote Windows CE-käyttöjärjestelmällä. Tietokoneen prosessorilla on laskentatehoa 333 MHz. Käyttöliittymä on graafinen sekä selainpohjainen ja helppokäyttöisyyttä lisää 10,4” kosketusnäyttö. Ala-asemalta käytettäessä käyttöliittymänä on Windowsin oma selain. Muualta verkosta ala-asemaa käytettäessä selaimeksi suositellaan Internet Exploreria yhteensopivuuden varmistamiseksi.



KUVA 10: Fidelix FX-2025A

Keskuksessa on Ethernet-liityntä, jonka kautta on mahdollista muodostaa yhteys Internetiin ja sääennusteeseen. Lisäksi laitteen yläreunassa on liiketunnistin, joka aktivoi näytön havaitessaan henkilön edessään. Näyttö sammuu automaattisesti inaktiivisuudesta viiveen kuluttua energian säästämiseksi.

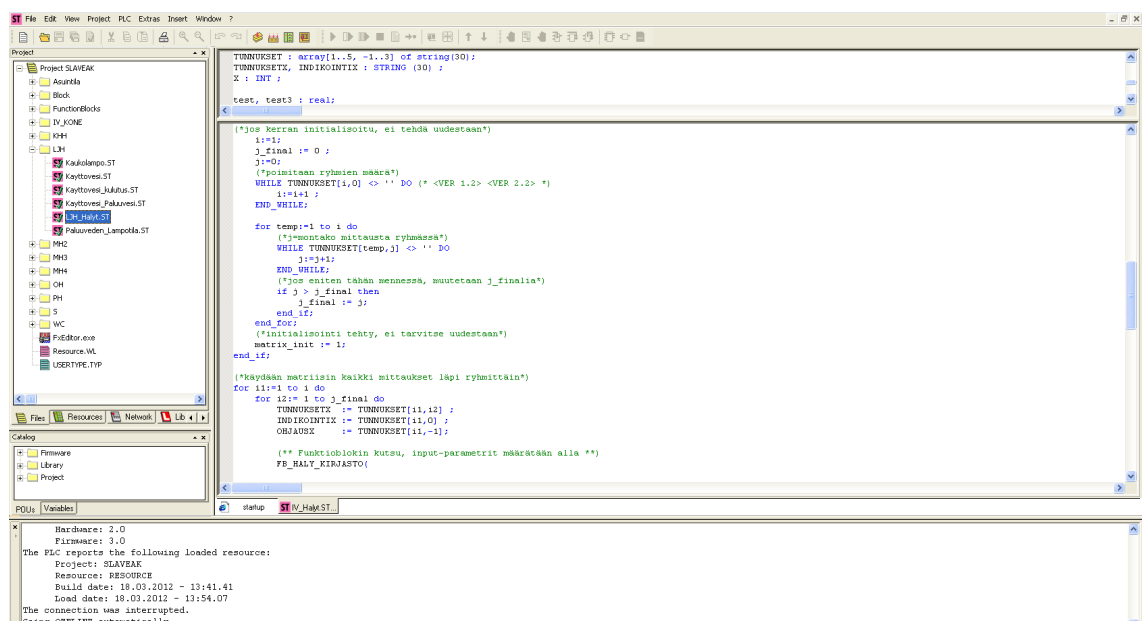
5.2 Ohjelmointityökalut

Työn tärkeimpänä ohjelmointivälineenä käytettiin Infoteamin julkaisemaa OpenPCS 2008 -ohjelmaa. Ohjelman käyttö perustuu IEC-standardisoiuihin (IEC 61131-3) ohjelmointikieliin. Logiikat on mahdollista toteuttaa seuraavilla kielillä:

- Instruction List (IL, käskylista, tekstipohjainen)
- Structured Text (ST, rakenneteksti, tekstipohjainen)
- Ladder Diagram (LD, relekaavio, graafinen)
- Function Block Diagram (FBD, graafinen)
- Sequential Function Chart (SFC, vuokaavio, graafinen)

(Sys Tec Electronic 2012.)

Simulointiympäristö rakennettiin tekstipohjaisella ST-kielillä. ST-kieli on PLC-ohjelmointiin sopiva ja mahdollisten virheiden etsiminen koodista on helppoa ”debugausta” käyttämällä eli seuraamalla koodia ja arvoja askel askeleelta yhteyden ollessa säätimeen auki.



KUVA 11: OpenPCS -ohjelmointityökalu

ST-ohjelmointi on hyvin lähellä Pascal- ja Basic-ohjelmointikieliä ja näiden kielten tunteminen helpottaa ST:n lukemista. Etuna on myös mahdollisuus kommentoida mihin tahansa väliin koodin hahmottamista helpottavia huomautuksia (vihreät rivit, kuva 11). Näiden avulla ulkopuolisen on helpompi päästä koodiin sisälle tai jos itse haluaa palata

pidemmän ajan kuluttua projektin pariin. Tämä ei ole muissa kielissä kovin helposti mahdollista. (Lahden ammattikorkeakoulu 2010.)

6 YHTEENVETO

Työn lopputulos muotoutui hyvin pitkälle sellaiseksi mitä haettiin, eikä merkittäviä takaiskuja tullut missään vaiheessa, ainoastaan haasteita. Tavoitteena oli tuottaa työkalu koulutustilaisuuksien tueksi ja siihen päästiin.

Haasteena työssä oli saada prosessi reagoimaan muutoksiin mahdollisimman luonnollisesti. Esimerkiksi lämmönjaon puolella käyttövesi- ja patteriverkoston lämpötilan muutosherkkyys on paljon suurempi kuin huonelämpötilalla veden suuremman ominaislämpökapasiteetin takia. Toisena suurimpana haasteena oli pohtia, mitkä tekijät vaikuttavat ja millä tavalla ne vaikuttavat ilmastointikoneen tuloilmaan.

Epäkohtana työhön jäi termodynamiikan toisen pääsäännön toteutumattomuus. Prosesin pitäisi pyrkiä aina tasapainoon, eli lämpötilan pitäisi vierekkäisissä huoneissa pyrkiä samaan potentiaaliin. Lämpövirrat löytävät tasapainon huoneiden välillä lämpöhäviöiden ja -lähteiden kanssa, mutta tämä ei johda huonelämpötilojen tasaantumiseen.

Mahdollinen parannus simulointiin voisi olla sääennusteeseen perustuvan ennakoivan säädön ohjelmointi. Tämän tarpeellisuutta tosin pitäisi tutkia hieman tarkemmin, sillä pientalo ei varaa energiaa rakenteisiinsa samalla tavalla kuin esimerkiksi massiivinen kivikirkko, jonka aikavakio muutokselle on huomattavasti suurempi. Esimerkiksi hellekeleihin varautumiseen kivikirkossa kannattaa aloittaa aikaisemmin, sillä kiviseiniin on varastoitunut lämpöä enemmän ja viilentäminen vie aikansa.

LÄHTEET

Alitalo, E. 2010. Energiätehokas päiväkotikoulu Kankaanpäässä. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Fidelix Oy. n.d. Rakennusautomaatio- ja turvajärjestelmät. [html]. Luettu 30.1.2012.
<http://www.fidelix.fi/Default.aspx?Page=company&Lang=Fin>

Gyproc. 2003. Pienrakentajan käsikirja. [pdf]. Luettu 30.1.2012
[http://klubb.gyproc.se/Gyproc/Filesfi.nsf/0/05426B6EF3224708C1256DF0002F4353/\\$FILE/Pienrakentajan_kasikirja.pdf](http://klubb.gyproc.se/Gyproc/Filesfi.nsf/0/05426B6EF3224708C1256DF0002F4353/$FILE/Pienrakentajan_kasikirja.pdf)

Inkinen P. & Tuohi J. 2008. Momentti 1. Insinöörifysiikka. Keuruu: Otava

Lahden ammattikorkeakoulu. 2010. Automaation laboratoriomateriaali. [html]. Luettu 18.3.2012.
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/tiedotteet/labrat/ETHERCAT_laboraatio_18.htm

Miettinen, T. 2010. Ruiskuvalumuotin lämpökuvaus ja pinnoittaminen. Muovitekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Saarenpää H. 2012. Rakennustekniikan kurssimateriaali.

Seppänen O. & Seppänen M. 2004. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2003. Lämmöneristys. [pdf]. Luettu 30.1.2012
<http://www.finlex.fi/pdf/normit/1931-C4s.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2007. Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. [pdf]. Luettu 30.1.2012
<http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2010. Rakennusten lämmöneristys. [pdf]. Luettu 30.1.2012
http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf

Sys Tec Electronic. 2012. OpenPCS Automation Suite. [html]. Luettu 3.2.2012.
http://www.systec-electronic.com/html/index.pl/en_product_openpcs_programming_system

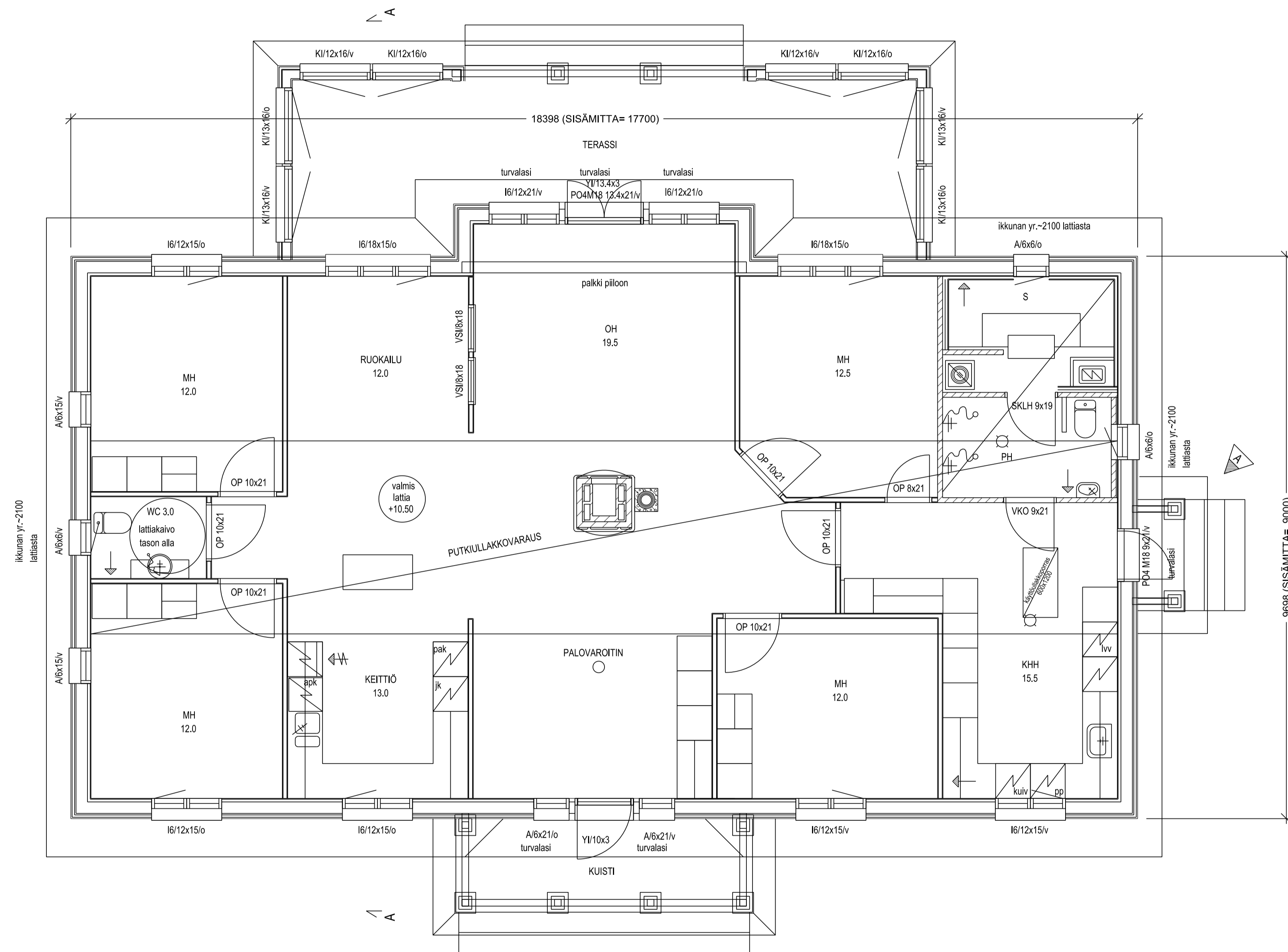
Tekniikan kaavasto. 2008. Matematiikan, fysiikan, kemian ja lujuusopin peruskaavoja sekä SI-järjestelmä. Tampere: Tammertekniikka

Ympäristöministeriön moniste 122. 2003. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. [pdf]. Luettu 2.4.2012
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=9298&lan=fi>

LIITTEET

Liite 1: Omakotitalon pohjakuva

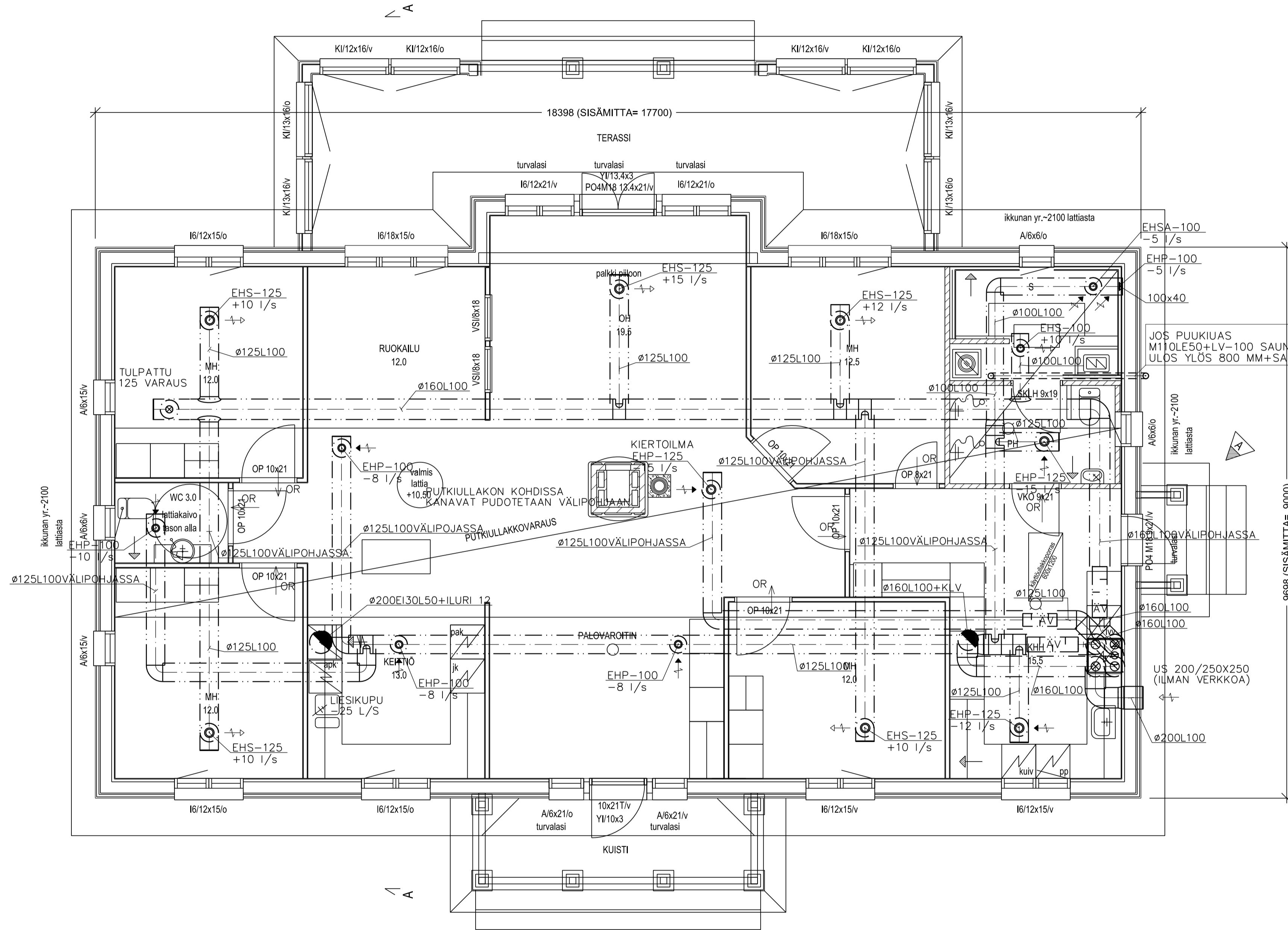
Liite 2: IV-suunnitelma (sähköisen version mk.1:50, tulosteen 1:100) (Unkuri 2010)



Liite 1. Omakotitalon pohjakuva

Tunn.	Lukum.	Muutos	Nimim. Pvm	
K.osa/Kylä	Kortti./Tila	Tontti	Rno	Viranomaisten merkintä
UUDISRAKENNUS				MK: 1:50
	Pvm	Työnumero	Tilaajan numero	
	Pirt.			
	Suunn.			
	Tark.			
	Yht.hiö		Piirustusnumero	Muutos
	Lehti 1		ARK	

ILMAMÄÄRÄT
 POISTOILMA -71 L/S
 TULOILMA +67 L/S
 LTO KONE ESIM ILTO R120 TAKKAKYTKIMELLÄ JA KIERTOILMALLA
 OHJAUSPANELI KONEESSA
 ULLAKOLLA KANAVIEN ERISTYS 100MM ,MINIMI
 KEITTIÖN KANAVA EI30, ULLAKOLLA EI30+LE50
 KLV KATTOLÄPVIENTI KATTEEN MUKAAN
 OR OVIRAKO
 ILURI HUIPPUMURI VESIKATOLLA, OHJAUS LIESIKUVUUSTA



Liite 2. IV-suunnitelma

Tunn.	Lukum.	Muutos	Nimim. Pvm	
K.osa/Kylä	Kartt./Tila	Tontti	Rno	Viranomaisten merkintä
UUDISRAKENNUS				ILMANVAIHTO
				MK: 1:50
LVI-SUUNNITTELU UNKURI		Pvm 23.6.2010	Työnumero	Tilaaajan numero
KATAJAITE 3 BIS, KOKKOLA PUH. 040 5408072 pauli.unkuri@onvianet.fi		Piirt. PU Suunn. PU Tark. PU Yht.riis. PU Lehti 1	Piirustusnumero	Muutos
LVI			301	