

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Ville Könönen
Janne Pakanen

RAKENNUSAUTOMAATION SIMULOIDUN JÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö
Joulukuu 2016



OPINNÄYTETYÖ

Joulukuu 2016

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9

80220 JOENSUU

013 260 600

Tekijät

Ville Könönen, Janne Pakanen

Nimeke

Rakennusautomaation simuloidun järjestelmän kehittäminen

Toimeksiantaja

Karelia ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä Karelia-ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön tarkoitettu talosimulaatio, johon mallinsimme lämpökuormia rakennusmääräyskokoelmien mukaisesti. Simulaation tarkoitus on olla pohjana säätötekniikan oppimisympäristölle ja kehittämiselle. Järjestelmän on tarkoitus toimia yhdellä ohjelmoitavalla logiikalla, jota ohjataan toiselta logiikalta.

Simulaatio tehtiin Simulink-ohjelmistolla ja käännettiin PLC-Coder-lisäosalla automaatiojärjestelmälle sopivaan muotoon. Simulaatio on tarkoitettu suoritettavaksi Wagon automaatiojärjestelmällä. Ohjelmointi ja visualisaation luominen suoritettiin Codesys 2.3 -ohjelmistolla.

Kieli

suomi

Sivuja 39

Liitteet 8

Liitesivumäärä 22

Asiasanat

simulaatio, Codesys 2.3, Simulink, oppimisympäristö, PLC-Coder



THESIS

December 2016

Degree Programme in Electrical
Engineering

Tikkariinne 9

80220 JOENSUU

FINLAND

Authors

Ville Könönen, Janne Pakanen

Title

Developing a Simulated System for Building Automation

Commissioned by

Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The purpose of this study was to make a house simulation for educational use to Karelia University of Applied Sciences. A model was made of the thermal loads of the house according to the Finnish building regulation collection. The purpose of the simulation is to be the basis for control technologies learning environment and development. The system is meant to work on one programmable logic controller, which is controlled from another programmable logic controller.

The simulation was made using Simulink-software and it was translated to a suitable format for automation logic by using PLC-Coder add-on. The simulation is meant to be executed with Wago's automation system. The programming and making of the visualisation was carried out by using Codesys 2.3 software.

Language

Finnish

Pages 39

Appendices 8

Pages of Appendices 22

Keywords

simulation, Codesys 2.3, Simulink, learning environment, PLC-Coder

Sisältö

Lyhenteet	6
1 Johdanto	7
2 Opinnäytetyössä käytetyt ohjelmat	8
2.1 Codesys.....	8
2.2 Simulink	8
2.3 Simulink PLC Coder	9
2.4 MySQL.....	9
3 Talo.....	9
3.1 Perheet	11
3.2 Lämmitysjärjestelmä	11
3.3 Tulisijat	11
3.4 Seinät	12
4 Rakennuksen lämpöhäviöt ja lämmönlähteet	13
4.1 Lämmönläpäisykerroin.....	14
4.2 Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt.....	15
4.3 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö	15
4.4 Lattialämmityksen laskenta.....	15
4.5 Lattian lämmönsiirtokerroin.....	19
4.6 Henkilön aiheuttama lämpökuorma ja kuluttajalaitteet.....	19
4.7 Ikkunan kautta tuleva auringon säteilyenergia	21
4.8 Säätietokanta.....	23
4.9 Maan keskilämpötilan laskeminen	23
4.10 Ilmanvaihtokoneen laskenta	24
4.11 Ilmalämpöpumppu	25
5 PLC Coder-sovelluksen käyttö.....	26
6 Simulaation toiminta Codesysissä	28
6.1 Toiminnan periaate	28
6.2 Ohjelman rakenne	29
7 Ohjelmoinnin vaiheet	30
8 Simulaation testauksen tulokset	31
8.1 Simulaation testausmenetelmät.....	31

8.2 Tulokset	32
9 Pohdinta.....	36

Liitteet

Liite 1	Alkuperäinen pohjakuva
Liite 2	Talontiedot
Liite 3	Takantiedot
Liite 4	Puufon U-arvot
Liite 5	Tasauslaskimen tulokset
Liite 6	Käyttöohje
Liite 7	Simulink-malli
Liite 8	Testiajot

Lyhenteet

COP	(Coefficient of performance) Sähkätehon ja lämmitysenergian välinen muutoskerroin, joka riippuu ulkolämpötilasta
CSV	Comma Separated Values, Tekstiedoston tyyppi
FBD	Function Block Diagram, Codesysissä käytetty graafinen ohjelmointikieli
H-arvo	Lämmönjohtumiskerroin
LTO	Lämmöntalteenotto ilmastointikoneessa
MySQL	Tietokantaohjelmisto
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka
ST	Structured Text, Codesysissä käytetty komento ohjelmointikieli
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin

1 Johdanto

Opinnäytetyön idea syntyi siitä, kun Karelia-ammattikorkeakoulu oli hankkinut Simulink-ohjelmaan uuden lisäosan, jolla pystyi kääntämään simulaatiota automaatiologiikoille sopiviin muotoihin. Opinnäytetyössä suunniteltiin ja mallinnettiin ohjelmoitavalla logiikalla sijaitseva rivitalohuoneiston simulaatio, jonka lämmitysjärjestelmää ohjataan toiselta logiikalta. Mallinnus tehtiin Matlab Simulink-ohjelmalla ja käännettiin logiikalle sopivaan muotoon Simulink-ohjelman PLC Coder -lisäosalla. Simulaatio ohjelmoitiin toimimaan yhdessä tietokantasovelluksen kanssa, jolloin simulaatio voi lukea ja tallentaa dataa tietokantaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli pyrkiä yksinkertaiseen, mutta realistiseen talosimulaatioon, joka toimisi hyvänä oppimisympäristönä talotekniikan opiskelijoille. Harjoitteen tarkoituksena oli tehdä säätö-ohjelma, jolla ohjataan simulaation kolmen eri huoneiston lämmitysratkaisuja. Opiskelijan tavoitteena on saada säätö toimimaan mahdollisimman hyvin jokaiselle huoneistolle. Harjoitteen haasteena on jokaisen huoneiston erilaiset säätöympäristöt.

2 Opinnäytetyössä käytetyt ohjelmat

2.1 Codesys

Codesys on 3S-Smart Software Solutions GmbH -yhtiön kehittämä ohjelmointiympäristö automaatio- ja teollisuusalan tarpeisiin. Ohjelma noudattaa avointa kansainvälistä ohjelmoitavien logiikoiden standardia IEC 61131-3. Codesys tarjoaa kaikki viisi standardissa määriteltyä ohjelmointitapaa (FBD, LD, IL, ST ja SFC). [1.] Työssämme käytimme Codesys versiota 2.3, joka sisältää Wagon ohjelmakirjastot sekä logiikoiden konfigurointiasetukset.

2.2 Simulink

Simulink on MathWorks-yhtiön kehittämä ”mallinnuslohkoihin” perustuva simulointi- ja mallinrakennusympäristö. Se tukee simulaatiota, automaattista koodin luontia ja jatkuvaa testausta ja varmistusta sulautetuissa systeemeissä. Simulink tarjoaa graafisen muokkaustyökalun, muokattavan mallinnusblokkien kirjaston, ratkaisijan dynaamisten systeemien mallintamiseen ja simulointiin. Simulink on osa MATLAB-ohjelmaa ja mahdollistaa MATLABista kehitettyjen algoritmien tuomisen malliin sekä simuloinnin tuloksien viennin takaisin MATLABiin analysoitavaksi. [2.]

Simulink-malli koostuu muuttujista sekä niiden muodostamista kokonaisuuksista eli aliohjelmista. Tämä opinnäytetyössä rakennettu Simulink-malli sisältää useita eri silmukoita ja aliohjelmia muodostaen yhdessä talon mallin. Simulaatio etenee diskreetissä aikamuodossa, eli simulaatio suoritetaan yksi askel kerrallaan.

2.3 Simulink PLC Coder

Simulink PLC Coder kääntää laitteistosta riippumatonta IEC 61131-3 standardin mukaista ST-koodia Simulink-malleista, Stateflow-kaavioista sekä Matlab-funktioista. ST-koodi kääntyy PLCopen XML-formaattiin ja muut tiedostoformaattit ovat integroitujen kehitysympäristöjen tukemia, joita ovat muun muassa 3S-Smart Software Solutionsin Codesys, Rockwell Automation Studio 5000, Siemens TIA Portal ja Omron Sysmac Studio. Tämän ansiosta koodi on käännettävissä ja käytettävissä useissa PLC-laitteissa. [3.] Opinnäytetyössä käytimme PLC Coderia Simulinkissä tuotetun talomallin kääntämiseen.

2.4 MySQL

MySQL on nykyisin Oracle Corporationin kehittämä relaatiotietokantaohjelmisto. Ohjelmisto tarjoaa monisäikeisen, monikäyttäjäisen ja vankkarakenteisen SQL-tietokantapalvelimen. MySQL-palvelin on tarkoitettu tuotantosysteemeihin, jotka ovat raskaan kuormituksen alla ja vaativat korkeaa luotettavuutta ohjelmistolta. MySQL on kaksoislisensoitu ohjelmisto ja käyttäjä voi valita Open Source -tuotteen GNU-lisenssin alla tai ostaa jonkin kaupalliseen käyttöön tarkoitetuista lisensseistä. [4.] Työssämme hyödynsimme GNU-lisenssin alla toimivaa Open Source -versiota ohjelmistosta.

3 Talo

Simulaation talomalli on yksikerroksinen kolmen huoneiston rivitalo, jonka pohjakuva (kuva 1) on laadittu liitteen 1 alkuperäisen pohjakuvan perusteella. Pohjakuvan vasemmanpuoleinen asunto on huoneisto 1, keskimäinen asunto huoneisto 2, ja oikealla huoneisto 3. Pohjakuvan varasto on poistettu ja tilalle on lisätty ikkunoita huoneistoon 1. Rivitalon huoneistojen pinta-alat, ikkunoiden suuntaukset ja lämmitysjärjestelmät ovat erilaisia. Jokaisessa huoneistossa on myös erikokoiset perheet erilaisilla päivärytmeillä tuottamassa säätöön lisää

häiriötä. Jotta simulaatiosta saataisiin mahdollisimman todenmukainen, rivitalon ikkunoiden koot ja huoneistojen pinta-alat on otettu pohjakuvan perusteella. Talon tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 2.



Kuva 1. Mallinnuksen pohjakuva

3.1 Perheet

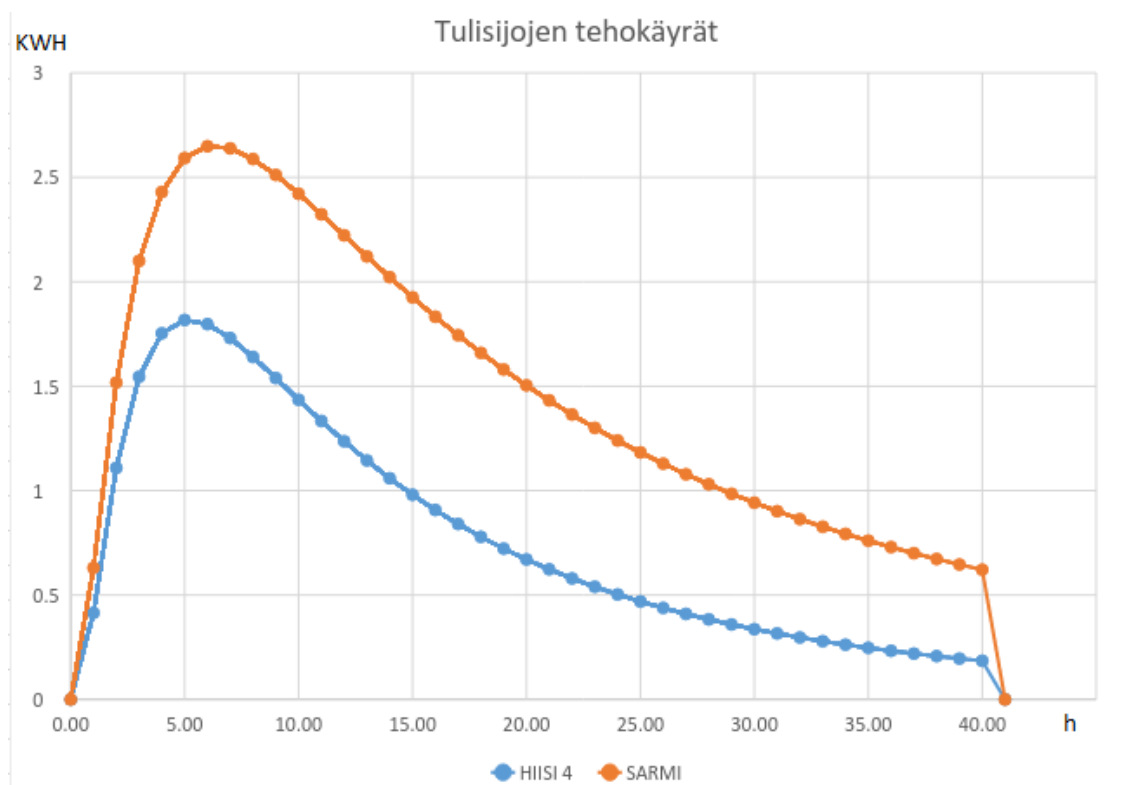
Huoneistossa 1 asuu kaksi työssäkäyvää aikuista, huoneistossa 2 on yksi työläinen ja huoneistossa 3 kaksi aikuista ja yksi lapsi. Laitteista ja ihmisistä syntyvä energia on mallinnettu rakennusmääräyskokoelman mukaan jokaisen huoneiston asukkaille erikseen heidän päivärytmejään mukailleen. Mallinnus on toteutettu viikon jaksoissa, jotka toistuvat koko simulaation ajan. Kodinkoneiden ja henkilöiden tuottaman lämpöenergian laskemiseen on käytetty rakennusmääräyskokoelmaan perustuvia arvoja.

3.2 Lämmitysjärjestelmä

Jokaisessa huoneistossa on lattialämmitys, ilmanvaihtokone sekä ilmalämpöpumppu. Lisäksi huoneistoissa 1 ja 3 on takka. Lattialämmitystä ja ilmalämpöpumppua ohjataan huoneistokohtaisilla termostaateilla. Ilmalämpöpumppu on varusteltu jäähdytys-ominaisuudella. Jokainen huoneisto on varusteltu koneellisella ilmanvaihdolla, jossa on lämmöntalteenotto.

3.3 Tulisijat

Tulisijat ovat varaustehoiltaan selvästi eritehoiset mallit, jotta simulaatioon syntyisi erilaisia lämmönsäätelykohteita. Huoneiston 1 tulisijan Hiisi 4:n varausteho vastaa noin puolta huoneiston 3 tulisijan Sarmi varaustehosta. Molemmat tulisijat ovat erittäin hitaasti lämpöä luovuttavia malleja eli ne tuottavat vielä 15 tunnin jälkeen yli 50 % maksimivaraustehosta. Tulisijojen ohjelmoinnin yksinkertaistamisen vuoksi lämmitysjakson pituus on 40 tuntia. Tulisijojen energianluovutuksen mallinnuksessa on käytetty Tulikiven tutkimustuloksia (liite 3). Tulisija lämmitetään, kun huonelämpötila alittaa sille asetetun raja-arvon. Tulisijalle voidaan asettaa aikaväli, jolloin sitä ei lämmitetä. Oletusasetuksena tulisijoja ei lämmitetä kesäkuukausina (toukokuu-elokuu).



Kuva 2. Tulisijojen tehokäyrät

3.4 Seinät

Huoneistojen väliseinät ovat peruseristäviä väliseiniä. Seinien U-arvon laskentaan käytimme Puu-Infon Puurakenteen U-arvon määrittämiseen tarkoitettua Excel-laskentaohjelmaa.

“U-arvon laskennassa käytetään standardin SFS-EN ISO6946 mukaista laskentamenetelmää. Ohjelma laskee rakenteelle kokonaislämmönvastuksen ala- ja ylälikiarvon, joiden perusteella lasketaan rakenteen U-arvo.

Ohjelma ei huomioi seuraavia tekijöitä:

- rakenteissa olevine tuulettumattomien tai vähän tuulettuvien ilmakerrosten vaikutusta U-arvoon
- tuulettuvan alapohjan ryömintätilan vaikutusta U-arvoon
- vesikatteen ja yläpohjan välisen tuuletusraon vaikutusta U-arvoon
- rakenteen sisäpinnan ulkonemien vaikutusta sisäpuoliseen pintavastukseen” [5.]

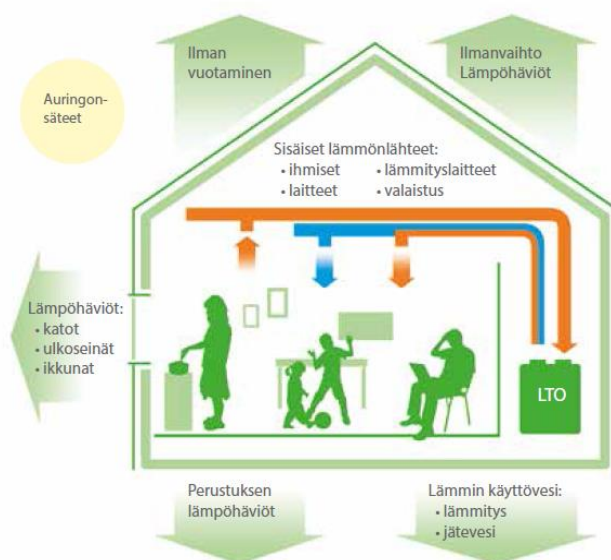
Tarkemmat tiedot väliseinän arvoista ja rakenteesta on esitelty liitteessä 4. Huoneistojen ulkoseinien U-arvot on otettu rakennusmääräyskokoelman D3 ulkoseinälle tarkoitetuista vertailuarvoista.

4 Rakennuksen lämpöhäviöt ja lämmönlähteet

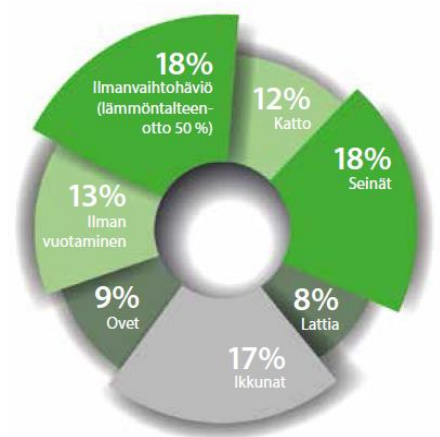
Rakennuksen lämpöhäviöt koostuvat rakennuksen seinien, katon ja lattian läpi johtuvasta lämpövirrasta. Rakennuksesta pääsee virtaamaan vuotoilmaa ja sen mukana häviää lämpöenergiaa. Lisäksi ilmanvaihto aiheuttaa lisähäviöitä, joita pyritään pienentämään käyttämällä lämmöntalteenottoa.

Rakennukseen tuotetaan lämpöä lämmitysjärjestelmillä, joita ovat muun muassa erilaiset sähkö- ja vesikiertoiset lämmitysratkaisut, sekä tulisijat. Sähkölaitteet, valaistus ja ihmiset tuottavat lämpöä rakennukseen. Auringonsäteillä on suuri vaikutus rakennuksen lämpötilaan, sillä ne lämmittävät ikkunoiden kautta rakennusta huomattavasti. [6, s. 11]

Rakennusten lämpöhäviöt ja lämmönlähteet



Lämpöhäviöiden jakaantuminen rakennuksessa



Kuva 3. Rakennusten lämpöhäviöt ja lämmönlähteet sekä lämpöhäviöiden jakaantuminen rakennuksessa [6, s. 11]

Sisäilman lämpötila on tärkeä asumismukavuuden kannalta, sillä siihen kohdistuu suurimmat lämpöhäviöt. Sisäilman lämpötila on hyvin altis vaihteluille, koska siihen kohdistuu monia lämmittäviä ja viilentäviä tekijöitä. Alla on listattu suurimmat sisäilman lämpötilaan vaikuttavat tekijät:

- ulkoseinien ja katon läpi virtaava lämpöenergia, virtauksen suuntaan vaikuttaa sisä- ja ulkolämpötilojen ero
- auringon säteilystä tuleva lämpöenergia
- huoneiston lämmitysjärjestelmistä tuleva lämpöenergia
- huoneistojen välisen seinän läpi virtaava lämpöenergia voi vaikuttaa huoneen lämpötilaan kohottavasti tai laskevasti riippuen huoneistojen välisen lämpötilan erosta.
- ilmanvaihdon aiheuttama lämpöhäviö. häviön määrään vaikuttaa ulko- ja sisäilman lämpötilojen välinen ero sekä onko ilmanvaihtokone varustettu lämmöntalteenotolla.
- ihmisistä vapautuva lämpöenergia
- sähkölaitteista vapautuva lämpöenergia

4.1 Lämmönläpäisykerroin

“Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen (osa D3). Lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytetään U-arvona rakennusosan korjattua lämmönläpäisykerrointa U_c , jossa on tarvittaessa otettu huomioon lämmönläpäisykerroimen korjaustermi (lämmöneristeen ilmarakojen korjaustekijä, mekaanisten kiinnikkeiden ja muiden säännöllisten pistemäisten kylmäsiltojen korjaustekijä sekä käännettyjen kattojen korjaustekijä).” [7, s. 8]

4.2 Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt

Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt käsittävät kaikki rakennuksen rungon kautta tapahtuvat häviöt. Jokaiselle rakennusosalle on määritetty oma U -arvo, jota kerrotaan rakennusosan alalla. H -arvo kertoo rakennusosassa syntyvän ominaislämpöhäviön, joka voidaan laskea kaavalla 1.

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{ulkoseinä}} A_{\text{ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{yläpohja}} A_{\text{yläpohja}}) + \sum (U_{\text{alapohja}} A_{\text{alapohja}}) + \sum (U_{\text{ikkuna}} A_{\text{ikkuna}}) + \sum (U_{\text{ovi}} A_{\text{ovi}}) \quad (1)$$

jossa	$\sum H_{\text{joht}}$	rakennusosien yhteenlasketut vaipan lämpöhäviöt, W/K
	U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
	A	rakennusosan pinta-ala, m ² . [8, s. 12]

4.3 Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö

Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö lasketaan kaavan 2 mukaan.

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i c_{pi} q_{v,\text{vuotoilma}} \quad (2)$$

jossa	$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotilman ominaislämpöhäviö, W/K
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)
	$q_{v,\text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta, m ³ /s

4.4 Lattialämmityksen laskenta

Lattialämmityksen mallintamisessa saimme apua ohjaajaltamme. Perusideana on jokaiseen huoneistoon laskettu lämmityskerroin (H), jolla huoneiston ilmassa saadaan lämmitettyä yhden asteen verran. Tästä on laskettu

mitoitusteho (P_m), joka tarvitaan ilman lämmittämiseen ulkomitoituslämpötilasta (T_e) normaaliin huonelämpötilaan (T_i).

$$H = Ah\rho_i c_{pi} \quad (3)$$

jossa	H	lämmityskerroin, W/K
	A	huoneiston pinta-ala, m ²
	h	huoneiston korkeus, m
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³

$$P_m = H(T_i - T_e) \quad (4)$$

jossa	P	mitoitusteho, W
	T_i	sisäilmanlämpötila, K
	T_e	ulkolämpötila, K
	H	johdettu kaavasta 3, W/K

Mallinnuksessa on oletettu, että edellä lasketulla mitoitusteholla saavutetaan menoveden lämpötilaksi 45 °C. Tällöin lattialaatan lämpötila olisi 30 °C ja lattian pintalämpötila 25 °C. 5 °C:n ero laatan ja lattian pinnan lämpötilasta toteutuu esimerkiksi, jos laatan päällä on noin 7 mm-paksuinen muovimatto tai kelluva parketti. Arvot on saatu taulukosta 1. Lisäksi oletetaan, että kiertoveden lämmitysteho lattialaataan on suoraan verrannollinen menoveden ja lattian lämpötilaeroon. Mitoitusteho jaetaan lattialaatan ja menoveden lämpötila erolla. Tästä saadaan lattialämmityksen tuottama lämmitysteho H_{vesi} .

$$H_{vesi} = P_m / (T_{vesi} - T_{laatta}) \quad (5)$$

jossa	P_m	mitoitusteho, W
	T_{vesi}	lämmitysveden lämpötila, 45°C
	T_{laatta}	lattialaatan lämpötila, 30°C

Taulukko 1. Lattialämmityksen ohjeelliset arvot [9.]

	Suositus- arvo	Vähimmäis- arvo	Enimmäis- arvo
Menoveden lämpötila, °C	35...50 ¹⁾	25...30 ¹⁾	50 ¹⁾
Meno/paluuveden lämpötilaero, °C	5...10 ¹⁾		
Lattian pintalämpötila, °C	25...27 ²⁾	23 ²⁾	30 ²⁾
Putkien asennusväli, mm	150...200	50	300
Yhden lattialämmityspiirin painehäviö, kPa	15...20		
Asennussyvyys, mm	40	30	70
Kiertoveden virtausnopeus			
• muoviputki, m/s	0,3	0,1	1,0
• kupariputki, m/s	0,3	0,1	0,8
Maanvaraisen betonilaatan eristyspaksuus (polystyreeni), mm	100 ³⁾		

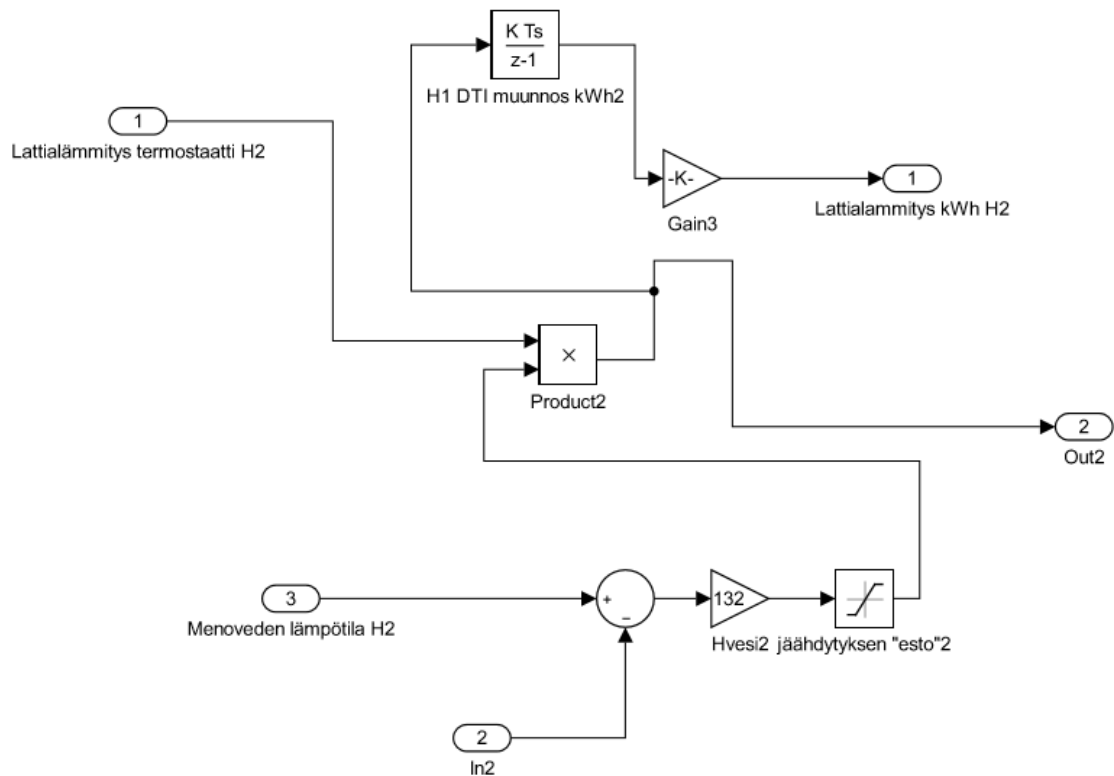
¹⁾ Riippuu lattiarakenteesta.

²⁾ Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huonetilan käyttötarkoituksesta ja keskimääräisistä lämpöhäviöistä.

- tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on $\leq +25$ °C
- asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on $\leq +26...+27$ °C
- kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on $\leq +30$ °C
- varastoissa, autotalleissa yms. tiloissa lattian pintalämpötilana voidaan käyttää vähimmäisarvoa $+23$ °C, jos lämpötehotarve sen sallii.

³⁾ Ulommalla reuna-alueella eristyspaksuus on 150 mm, muualla 100 mm.

Simulaatiossa huoneistojen toinen lämmitysmuoto on vesikiertoinen lattialämmitys. Lattiaan tuodaan lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmällä. Lattialämmityksen mallinnus ja siitä saatava lämpöteho on laskettu kaavoissa 3, 4 ja 5. Lämmitysenergian määrä kerääntyy aikaintegraaliin, josta se siirtyy energiamäärän lämpötilaksi muuttavaan kertoimeen.



Kuva 4. Lattialämmitys Simulinkissä

Lattian lämpötilaan vaikuttaa pääosin lämmitysjärjestelmästä tuleva lämpöenergia. Myös sisäilman lämpötila vaikuttaa lattian lämpötilaan. Lämpövirran suunta määräytyy lattian ja sisäilman lämpötilan välisestä erosta. Lattian läpi virtaa maahan lämpöenergiaa. Virtauksen suunta ja määrä ovat riippuvaisia maan ja lattian lämpötilaerosta sekä eristyksen tasosta.

Simulaatiossa lattialämmitys laskee menoveden lämpötilan ja lattian lämpötilan erotuksen ja kertoo tämän huoneistolle määritetyllä teholla. Tämän jälkeen on lohko, jolla estetään lattian jäähdyttäminen. Lattialämmityksen termostaatti antaa saadulle teholla kertoimen yksi tai nolla. Tämän jälkeen saatu teho viedään itse lattiaan. Samasta kohtaa saadaan myös selville lattialämmitykseen kulunut energia (kuva 4).

4.5 Lattian lämmönsiirtokerroin

“Tyypillinen vertailukohta kertoo lämmön virtaustiheyden ja pinnan lämpötilan (pinnan lämpötila miinus huoneen lämpötila) välisen suhteen. Lattiapinnan lämmönluovutusteho q riippuu huoneen ja pinnan lämpötilan erosta ja lämmön siirtyvyydestä. Jälkimmäinen riippuu huoneen ominaisuuksista, mukaan lukien huoneen tuuletustarve, ja se kuvataan lämmönsiirtokertoimena α_{ges} , joka on tässä 11,1 W/m²K.

$$q = \alpha_{ges}(\theta_F - \theta_i) \quad (6)$$

jossa θ_F lattian lämpötila, °C.
 θ_i huoneen lämpötila, °C.

Esimerkki: Kun huoneen lämpötila on 20 °C ja lattian lämpötila 27 °C, saavutetaan lämmönluovutusteho $q = 11,1 \text{ W/m}^2 \text{ K} * 7 \text{ °K} (27 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) = 77,7 \text{ W/m}^2$. “ [9, s. 2-3]

Simulaatiossa sisäilman ja lattianlämpötilan erotus kerrotaan lattian pinta-alalla ja Danfossin lattialämmityksen suunnitteluoppaasta saadulla lämmönsiirtokertoimella (kaava 6). Saatua energiamäärä johtuu lämmittäväksi energiaksi sisäilmalle ja sama määrä vähentyy lattian kokonaisenergiämäärästä.

4.6 Henkilön aiheuttama lämpökuorma ja kuluttajalaitteet

MET-arvo kuvaa henkilön arkiaskareiden ja liikuntamuotojen fyysistä rasittavuutta. MET on lyhenne sanoista metabolinen ekvivalentti (eng. Metabolic Equivalent). MET-arvo kuvaa fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa lisääntyneitä energiankulutusta verrattuna lepotasoon [11.] Henkilön kokonaislämmönluovutus 125 W vastaa aineenvaihdunnan tehoa 1,2 met. Lasten lämmönluovutustehona käytetään 1,0 met kouluissa, liikuntasaleissa ja päiväkodeissa.[8, s.19-20] Henkilön kokonaislämmönluovutuksen arvo on 125 W, joka sisältää kosteuteen sitoutuneen lämmön 40 W. Yhden henkilön luovuttaman

keskimääräisen kuivan lämpötehon arvona voidaan käyttää arvoa 85 W. [12, s. 29]

Rakennuksen valaistuksesta ja muista sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma lasketaan kaavalla 7.

$$Q_{säh} = W_{valaistus} + W_{kuluttajalaitteet} \quad (7)$$

jossa	$Q_{säh}$	valaistuksen ja sähkölaitteiden lämpökuorma, kWh
	$W_{valaistus}$	valaistusjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
	$W_{kuluttajalaitteet}$	kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus, kWh. [12, s. 30]

Vuosikulutuksen sijasta lasketaan tuntikohtainen kulutus soveltamalla kaavaa 8. Lämpökuorma sisältää valaistuksen, laitteiden ja ihmisten aktiivisuudesta syntyvän energian, jotka on saatu taulukosta 2. Laitteiden lepotilan energiankulutus on arvioitu olevan n. 30% käyttötehosta. Yöllä tapahtuvan pienen kulutuksen määrä on arvioitu hieman suuremmaksi.

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \frac{8760}{1000} \quad (8)$$

jossa	P	lämpökuorma W / m ²
	k	käyttöaste
	τ_d	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa h
	τ_w	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa

Taulukko 2. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohden [8, s. 19]

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Simulaatiossa mallinsimme jokaiselle huoneistolle erilliset taulukot asukkaiden päivärytmeistä, sekä kuluttajalaitteiden lämpökuormista. Taulukot määrittävät, kuinka paljon lämpötehoa asukkaat ja laitteet tuottavat huoneistoihin.

4.7 Ikkunan kautta tuleva auringon säteilyenergia

Auringon säteily ikkunan kautta vaikuttaa merkittävästi asunnon sisälämpötilaan. Säteilyn määrään vaikuttavat ikkunan ominaisuudet, säteilyn suunta vaaka- ja pystysuunnassa, säteilyn määrä sekä verhokerroin.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,vaakapinta} F_{suunta} F_{läpäisy} A_{ikk} g = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g \quad (9)$$

jossa Q_{aur} ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, kWh/kk

$G_{säteily,vaakapinta}$ vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh / (m² kk)

$G_{\text{säteily,pystypinta}}$	pystypinnalle	tuleva	auringon
	kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti, kWh / (m ² kk)		
F_{suunta}	muuntokerroin, jolla	vaakatasolle	tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan ilmansuunnittain pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi
$F_{\text{läpäisy}}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin		
A_{ikk}	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), m ²		
g	ikkunan	valoaukon	auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Ohjaajalta saimme valmiin Simulink-mallin aurinkoenergian laskemiseen. Simulaatiossa huoneiston seinät on jaettu neljän pääilmansuunnan mukaan. Seinällä olevien ikkunoiden pinta-alat on eritelty. Säätiotokannasta saadaan tiedot auringon korkeudesta ja suunnasta verrattuna horisontin tasoon. Simulaatio laskee jokaiselle seinälle tulevan suoran säteilyn määrän auringon suunta- ja korkeustietojen mukaan. Tämä lisätään auringon hajasäteilyn määrään ja tästä saatu tulos kerrotaan ikkunan pinta-alalla, läpäisyosuhteella ja valoaukkosuhteella. Tästä saatu kokonaistulos vielä kerrotaan verhoimella (taulukko 3), joka ottaa huomioon sälekaihtimien ja verhojen vaikutuksen säteilyn määrään. Tämä tulos lisätään huoneiston sisälämpö määrään (kaava 9).

Taulukko 3. Verhoimien [12, s. 30-31]

Ratkaisu	Verhoimien
Ei verhoja	1,00
Verhot	0,75
Valkoiset sälekaihtimet lasien välissä	0,30
Valkoiset sälekaihtimet sisäpuolella	0,60
Ikkunaluukut (säleikkö) ulkopuolella	0,30

4.8 Säätietokanta

Simulaatiossa on hyödynnetty rakennusmääräyskokoelmassa käytettyä ilmastomallia. Ilmastomalliin on kerätty säätietoja, joilla mallinnetaan Suomen nykyistä ilmastoa. Mallissa Suomi on jaettu neljään eri lämpötilavyöhykkeeseen, joiden säähavainnot perustuvat Ilmatieteenlaitoksen paikallisten säähavaintoasemien mittauksiin. Simulaatiossa on käytetty lämpötilavyöhyke III-mallia ja mallin säätiedot on mitattu Jyväskylän lentoasemalla.

“Energialaskennan testivuoden valinta on tehty mukaillen standardia SFS EN ISO 15927-4:2005. Menetelmän perusteella energialaskennan testivuosi koostuu kutakin kuukautta edustavista todellisuudessa esiintyneistä ns. tyyppikuukausista, jotka valitaan paikkakunnan pitkäaikaisesta säähavaintoaineistosta tilastollisten valintakriteerin mukaisesti. Jotta testivuoteen valittujen kuukausien vaihteissa ei esiintyisi jyrkkiä sääsuureiden muutoksia, on sääsuureiden (lämpötila ja suhteellinen kosteus) arvoja muokattu kuukauden viimeisten ja ensimmäisten tuntien osalta.” [13.]

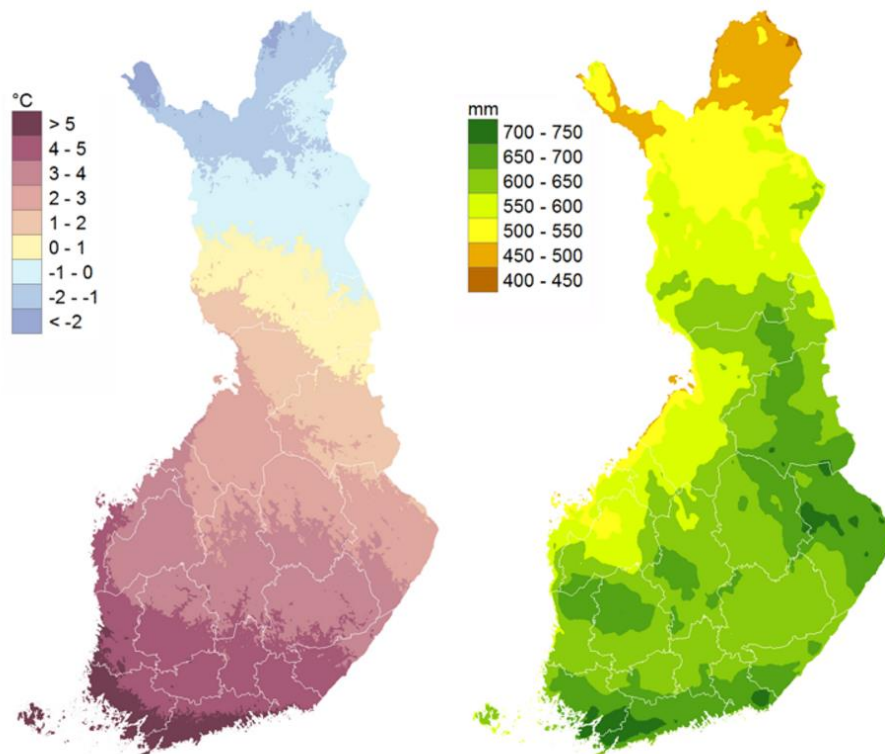
4.9 Maan keskilämpötilan laskeminen

Lattian alapuolisen maan lämpötila vaikuttaa lattian lämpöhäviöihin. Alapohjan alapuolisen maan lämpötila on laskettu kaavalla 10. Vuoden keskilämpötila saadaan kuvasta 5.

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad (10)$$

jossa T_{maa} vuosi alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C
 T_u , vuosi ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C
 $\Delta T_{maa,vuosi}$ alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C. Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään arvoa 5 °C. [12, s. 18]

Vuoden keskilämpötila ja vuosisade 1981-2010



Vuoden keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$) vasemmalla ja keskimääräinen vuosisade (mm) oikealla vertailukaudella 1981-2010.

Kuva 5. Vuoden keskilämpötila [14.]

Maahan johtuneen lämpötehon laskenta simulaatiossa on toteutettu vertaamalla alapohjan alapuolisen maan ja lattian lämpötilaeroa. Lämpötilaero kerrotaan lattian pinta-alalla ja lattian lämmönjohtavuudelle lasketuilla kaavan 1 arvoilla. Maahan johtunut energia vähennetään lattian lämmitykseen vaadittavasta tehosta

4.10 Ilmanvaihtokoneen laskenta

Ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan korvausilman tarpeen ja ilman tiheyden ja ilman lämpökapasiteetin tulona. Ulkoilman ja sisäilman erotus vaikuttaa merkittävästi tarvittavan lämpöenergian määrään. Lämmöntalteenoton poistoilmalla saadaan osa korvausilmasta lämmitettyä. Laskennassa ei ole otettu huomioon ilman tiivistymistä eikä talviaikana tarvittavia lämmitysjaksoja jäätymisen takia. Lämmitysjakso on otettu

huomioon LTO:n hyötysuhteessa. Opinnäytetyössämme käytetty kaava on johdettu rakennusmääräyskokoelman kaavasta. Simulaatio kulkee tunnin jaksoissa, joten aika huomioidaan siinä ja voidaan jättää pois laskuista. Simulaatiossa laskenta suoritetaan watteina, joten laatumuunnosta kWh ei tarvita.

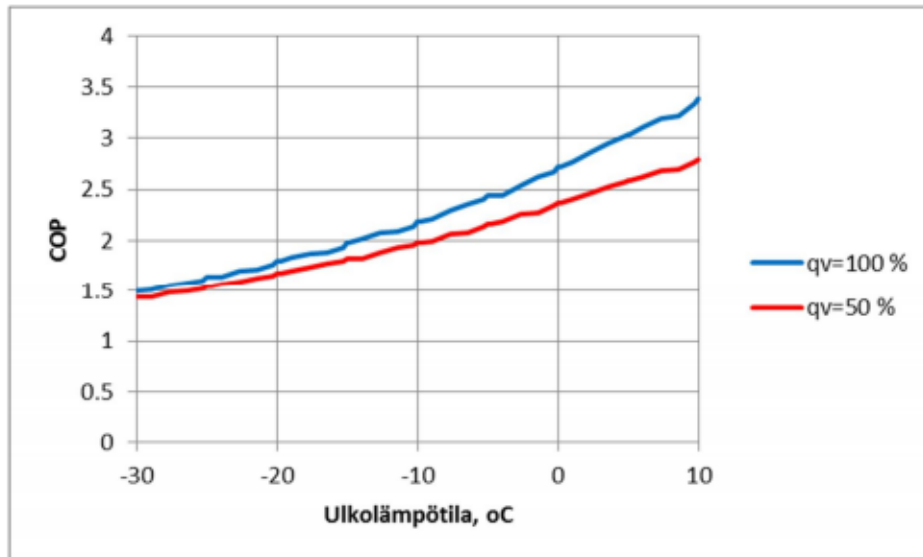
$$Q_{IV} = c_{pi}\rho_i q_v (T_i - T_e) \quad (11)$$

jossa	Q_{iv}	tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, W
	c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg*K)
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	q_v	korvausilmavirta, m ³ /s
	T_i	sisäilman lämpötila, °C
	T_e	ulkoilman lämpötila, °C [12, s. 23]

Simulaation ilmanvaihtokoneen mallinnuksessa saimme apua ohjaajalta. Huoneiston korvausilmavirran määrä on saatu tasauslaskimen tuloksista (liite 5). Mallinnuksessa on käytetty yksinkertaista koko vuoden päällä olevaa ilmanvaihtokoneen mallia. Malli ei ota huomioon kosteuden tiivistymisestä tai jäätymisestä aiheutuvia häviöitä. Ilmanvaihtokoneen häviöt syntyvät ulko- ja sisälämpötilojen erosta. Lämmöntalteenotossa määritetyllä vuosihyötysuhteella talteen saatu lämpöenergia vähennetään ilmanvaihtokoneen kokonaishäviöistä ja vähennetään sisäilman lämmitykseen vaadittavasta lämpömäärästä.

4.11 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppujen hyötysuhteina on käytetty VTT:n realistisia arvoja. COP-käyrän arvo riippuu ulkolämpötilan arvosta. Jäähdytykselle on opinnäytetyössä käytetty yhden yksikön alemmaa COP-arvoa. Ilmalämpöpumpun lämmitys- ja jäähdytysteho saadaan laskettua kertomalla sähköteho COP-arvolla. [15, s. 21]

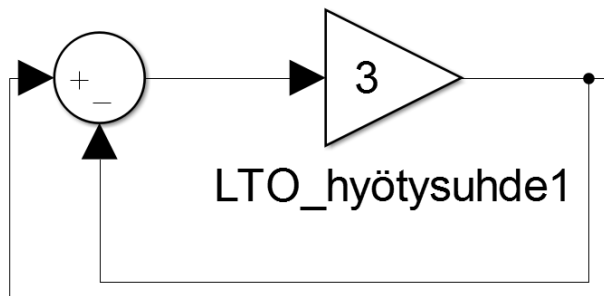


Kuva 6. Ilmalämpöpumpun hyötysuhde verrattuna ulkolämpötilaan

Simulaatioon on mallinnettu kuvan 6 mukainen COP-käyrä. Ilmalämpöpumpulle määritetty sähköteho kerrotaan jäähdytyksen ja lämmityksen COP-käyrillä. Tästä saadaan laskettua ilmalämpöpumpun tuottama jäähdytys- ja lämmitysteho.

5 PLC Coder-sovelluksen käyttö

PLC Coder kääntää Simulinkissä rakennetun mallin ST-koodiksi. Mallin tulee olla rakennettu diskreetissä aikamuodossa, sillä kääntäjä ei osaa kääntää jatkuvassa muodossa olevaa mallia. Mallissa ei saa myöskään olla algebrallisia silmukoita, eli arvo ei saa palata saman silmukan alkupisteeseen. Kuvassa 7 on esimerkki algebrallisesta silmukasta. Simulaation kääntämisen mahdollistamiseksi pitää Treat as atomic unit -valinta olla valittuna. Valinta vaikuttaa siihen, miten Simulink kohtelee lohkoja ratkaistessaan lohkojen ratkaisujärjestystä.



Kuva 7. Algebrainen silmukka

Simulaation aika-askel pitää olla sama kaikilla mallin systeemeillä ja lohkoilla, jotta se ei aiheuta käänösvaiheessa virhetilaa. Simulaation aika-askeleen voi säätää käsin halutuksi tai säätää sen edelliseltä lohkolta periytyväksi. Mallin voi myös määrittää käyttämään ensimmäisessä lohossa määritettyä aika-askelta.

PLC Coder pyrkii kääntämään rakennetun mallin yksinkertaisiksi yhtälöiksi. Mikäli lohkoa ei pysty kääntämään yhtälöksi, tai lohko on ehdollinen, pyrkii kääntäjä muuttamaan sen lyhyeksi IF-lauseeksi. Kytkemättömät tai merkityksettömät portit ja alisysteemit kääntäjä jättää huomioimatta kääntäessä. Mallin lohkot kääntyvät koodissa apumuuttujiksi. Mallin hahmottamiseksi koodista on suositeltavaa laittaa päälle kääntäjän automaattinen kommentointi ja koodin luomisen raportti. Automaattinen kommentointi kertoo, mistä yhtälö on käännetty ja mitä muuttujia tai lohkotyyppisiä mallista siinä on. Koodin luomisen raportti erittelee tarkasti kaikki lohkot ja alisysteemit ja mihin nämä ovat koodissa sijoittuneet (kuva 8). Raportti kertoo myös, mitä käyttämättömiä sisääntuloja on jätetty käänösvaiheessa huomioimatta, sekä mitä alisysteemejä on hävitetty käänöksestä.

Subsystem: [Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot/Talon malli/Huoneisto 3 ikkunat](#)

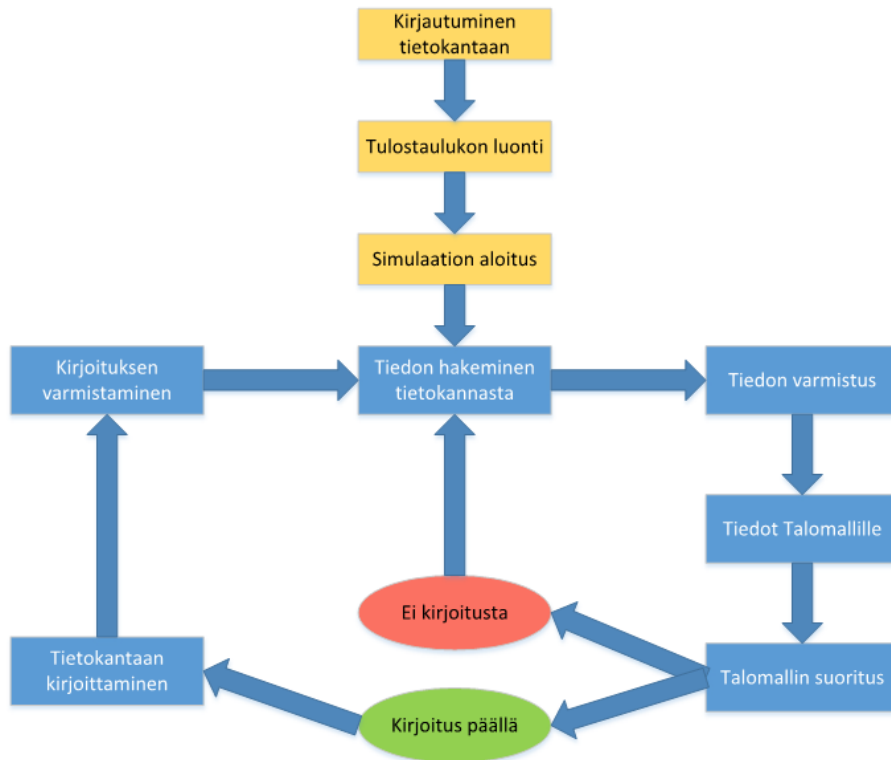
Object Name	Code Location
<S2>/Lämpösisuhda	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:593
<S2>/Lämpösisuhda2	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:594
<S2>/Lämpösisuhda3	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:595
<S2>/Sum	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:621
<S2>/etelä	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:433
<S2>/länsi	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:453
<S2>/pinta-ala	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:596
<S2>/pinta-ala2	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:597
<S2>/pinta-ala3	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:598
<S2>/valoaukko-osuus	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:599
<S2>/valoaukko-osuus2	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:600
<S2>/valoaukko-osuus3	Opparimalli_lammitys_V7_simulink_arvot.exp:601

Kuva 8. Kääntäjän raportti

6 Simulaation toiminta Codesysissä

6.1 Toiminnan periaate

Säätietoja haetaan MySQL-tietokannassa sijaitsevasta taulukosta, johon kirjaudutaan Codesys-ohjelman välityksellä. Taulukosta luetaan tuntikohtaiset arvot ulkolämpötilalle, auringon suoralle- ja hajasäteilylle sekä auringon korkeudelle. Lisäksi taulukosta luetaan aika-arvo, jota verrataan simulaatiossa käytettävään muuttujaan. Näin pystytään varmistamaan että ohjelma kulkee oikeassa järjestyksessä. Varmistuksen jälkeen tiedot siirtyvät Simulinkissä käännetyn talomallin käsittelyyn. Jos tulosten kirjoitus on aktivoitu käyttöliittymästä, talomallista saadut tulokset kirjoitetaan saman tietokannan erilliseen taulukkoon. Tulosten kirjoituksen jälkeen tietokannasta haetaan seuraavan tunnin arvo ja näin jatketaan, kunnes saavutaan simulaatiolle määritettyyn lopetusajankohtaan.



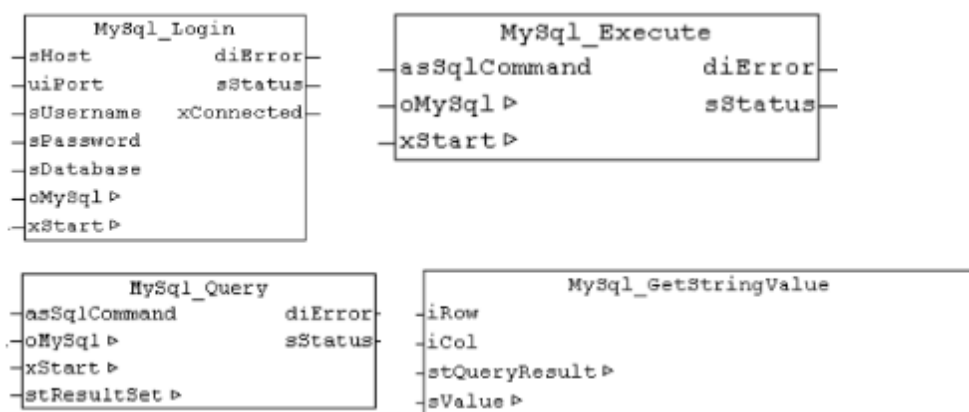
Kuva 9. Ohjelman periaate

6.2 Ohjelman rakenne

Simulaatio aloitetaan kirjautumalla tietokantaan. Kirjautuminen suoritetaan loholla `MySQL_Login`, johon syötetään palvelimelle kirjautumiseen vaadittavat tiedot. Lohko muodostaa kirjautumistiedoista MySQL-sanoman ja lähettää sen palvelimelle. Palvelimelta tulee vastaussanoma, joka kertoo kirjautumisen tilan. Käyttöliittymässä voidaan valita tuloksille luotavan taulukon nimi. Taulukkoon luodaan automaattisesti sarakkeet indekseille, sisäilman ja lattian lämpötiloille sekä lämmitykseen käytetyn energian määrälle. Taulukko luodaan lähettämällä MySQL-tietokantaan useasta String-lauseesta `Concat`-funktiolla yhdistetty MySQL-komento. Tietokanta lähettää vastaussanoman taulukon luomisen onnistumisesta.

Kun simulaatio laitetaan päälle, lähettää ohjelma tietokantaan `MySQL_Query` loholla komennon, jossa se kyselee ohjelmaan ennalta määritettyjä säätietoja. Tietokanta lähettää kysytyt arvot vastausviestinä, jotka käännetään

MySQL_GetStringValue-lohkokolla ohjelmalle luettavaan muotoon. Tämän jälkeen ohjelma varmistaa, että tiedot ovat oikeasta kohdasta ja välittää tiedot Talolohkon laskentaa varten. Talolohko suorittaa yhden askeleen laskennan näillä tiedoilla. Jos kirjoitus on valittu päälle, ohjelma lähettää talolohkossa lasketut arvot MySQL_Execute-lohkokolla tietokantaan tallennettavaksi. Tietokanta lähettää paluuviestin kirjoituksen onnistumisesta ja se varmistetaan myös ohjelmassa. Mikäli kirjoitus on onnistunut, siirtyy ohjelma aloituspisteeseen ja suorittaa uuden askeleen seuraavilla arvoilla. Ohjelma tekee asetetun määrän suorituksia ja pysähtyy sen jälkeen. Simulaation suorituksen jälkeen tulokset ovat tarkistettavissa tietokannasta.



Kuva 10. MySQL-lohkot [16.]

7 Ohjelmoinnin vaiheet

Aloitimme työn rakentamalla yksinkertaisen Simulink-mallin, jotta pääsisimme testaamaan miten kääntäjä toimii. Perehdyimme asetuksiin ja valintoihin, joita kääntäjä tarvitsee voidakseen kääntää koodin. Saatuamme mallin käännettyä onnistuneesti, aloimme perehtyä itse koodiin ja miettimään, miten koodin saisi muokattua järkevästi toimivaksi ohjelmaksi.

Yritimme ensiksi lukea tietoja Codesysillä käyttäen CSV-tiedostoa. Tiedoston sijaitessa ohjelmoitavan logiikan fyysisessä muistissa, sen koossa ja muokattavuudessa ilmeni rajoitteita. Ohjaajan ohjeistuksella siirryimme käyttämään MySql-tietokantaa. MySql-tietokannan etuina ovat helpompi muokattavuus valmiilla ohjelmointilohkoilla sekä sen suurempi tallennustila.

Saatuamme säätiedot tallennettua tietokantaan, keskityimme tietokannan sisällyttämiseen ohjelman mukaan. Kun saimme dataa luettua tietokannasta, syötimme tiedot talolohkolle ja pyrimme suorittamaan itse ohjelmaa. Talolohkolta saadut tulokset olivat virheellisiä, joten siirryimme korjaamaan ohjelman rakennetta. Päätimme siirtyä helpommin luettavaan ST-koodiin. Olimme tutustuneet ST-muotoiseen koodaukseen ja tässä muodossa tuotettu koodi vaikutti paremmin hahmotettavalta ja selkeämmältä.

Huomasimme ohjelman suoritusnopeuden olevan liian hidas ja aloimme optimoimaan koodia. Ohjelman suoritus aika nopeutui, kun karsimme tietokannasta luettavien tietojen määrää siirtämällä osan tiedoista ohjelman sisäisesti luettaviksi. Ohjelman nopeuttamiseksi päätimme siirtyä käyttämään ohjaajan ohjeen mukaisesti For-loopia sekä muokkasimme muuttujat säilyttämään arvonsa.

Saatuamme ohjelman toimimaan sopivassa ajassa, teimme sille käyttöliittymän helpottaaksemme parametointia ja sen suorittamista. Paransimme ohjelman kommentointia, jotta ohjelman muokkaus ja toiminnan ymmärtäminen olisi jatkossa helpompaa.

8 Simulaation testauksen tulokset

8.1 Simulaation testausmenetelmät

Olemme suorittaneet simulaation eri osien testausta koko ohjelmointi-vaiheen ajan vertaamalla lämpötilojen ja energian kulutuksen eroja simulaatioiden välillä.

Lisäksi Codesys-mallissa kiinnitimme huomiota peräkkäisten tulosten yhtenäisyyteen, koska näiden kanssa oli välillä ongelmia.

Aloitimme simulaation testaamisen vertaamalla Simulink- ja Codesys-mallien ajojen lämpötilaeroja. Halusimme selvittää aiheutuuko alkuperäisen simulaation ja käännetyn simulaation välille lämpötilaeroja. Tästä saisimme selville, että kaikki osat ovat kääntyneet oikein ja aiheuttaako erilainen ohjelmointirajapinta eroa tuloksien välillä.

Ensiksi testasimme simulaatioiden toimintaa ääritilanteissa ajamalla simulaatioita täydellä lämmitysteholla ja sen jälkeen ilman lämmitystä. Tästä saimme selville lämmitysjärjestelmän toiminnan. Testaamalla talon toimintaa ilman lämmitystä saimme selvitettyä, että talon malli toimii samalla tavalla kummallakin alustalla.

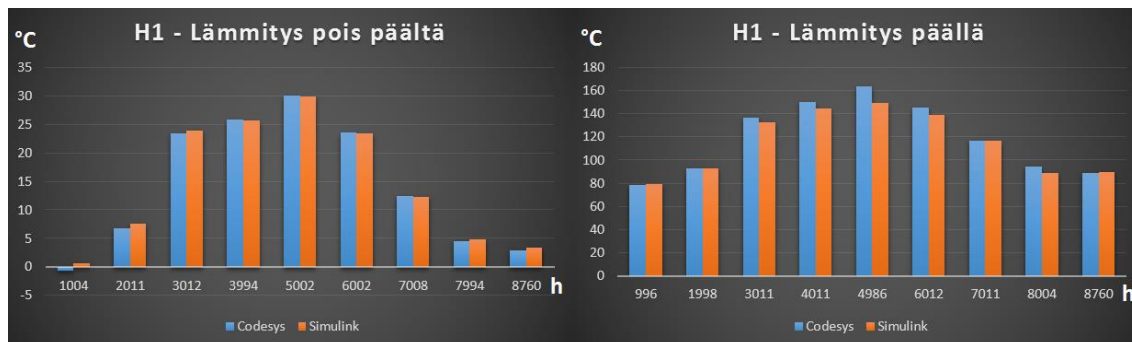
Rakensimme kumpaankin simulaatioon yksinkertaiset säätöohjelmat. Ensimmäisessä simulaatiossa valitsimme päälle lämmöntalteenoton, lattialämmityksen sekä ilmalämpöpumpun. Lämmityksen raja-arvona käytimme 22 °C ja jäähtykselle 27 °C. Teimme myös toisen testiajon, jossa päällä oli pelkästään lattialämmitys. Molemmilla alustoilla kummankin simulaation huoneistojen lämpötilat seurasivat lähes samoja arvoja.

Lopuksi teimme askelvastekokeen molemmille simulaatiolle. Laitoimme pelkän lattialämmityksen päälle simulaatiosta 48 tunniksi ja sen jälkeen pidimme lattialämmitystä pois päältä 48 tuntia. Tämän jälkeen toistimme saman uudestaan. Näin saimme selvitettyä talon käyttäytymisen yhdenmukaisuuden molemmissa simulaatioissa.

8.2 Tulokset

Huoneiston lattian ja ilman lämpötilojen keskiarvoa on verrattu Simulinkin ja Codesysin välillä (kuva 11). Lämpötiloissa suurin heitto sijoittuu kesäkaudelle. Suurin ero lämpötiloissa saavutettiin täydellä teholla suoritettussa simulaatiossa huoneistossa 2 ja eron suuruus oli noin 12 %. Muissa testeissä virhemarginaali

oli huomattavasti pienempi. Lämpötilojen erot johtuvat ohjelmistojen välisistä eroista ja PLC-coder käännöksestä. Myös ohjelmistojen alkuperäinen käyttötarkoitus eroaa; Simulink on tarkoitettu nimenomaan simulaatioiden valmisteluun, missä Codesys on tarkoitettu kiinteistöautomaation ohjaukseen. On myös mahdollista, että Codesysille käännettyssä versiossa on jonkinlainen ohjelmointivirhe, jota emme ole saaneet paikallistettua.



Kuva 11 Ääritilanteiden tulokset

Simulaation käyttötarkoituksen kannalta energiankulutuksen tarkkuus on sopivalla tasolla (taulukko 4). Huoneistojen lämmitysenergian käytössä suurin ero tulee lattialämmityksen energialle. Vaikka jäähdytykselle tulee suurin prosentuaalinen ero, sen osuus kokonaisenergiankulutuksesta on erittäin pieni. Simulinkissä eroon vaikuttaa laskentajärjestys ja ohjausmenetelmä. Se ohjaus, jonka Simulink tulkitsee ensin vaikuttaa enemmän lämmitykseen. Codesys taas suorittaa ohjelman rivi kerrallaan samassa järjestyksessä. Simulinkissä on laskentamenetelmiä, jotka ratkaisevat optimaalisimman laskentajärjestyksen simulaatiolle. Vertasimme koko huoneiston energiankulutusta pelkällä lattialämmityksellä energialaskurin suoralla sähkölämmityksellä toimivaan samankokoiseen huoneistoon ja tulokset ovat todenmukaisella tasolla (kuva 12).

Taulukko 4. Huoneistojen energiankulutus

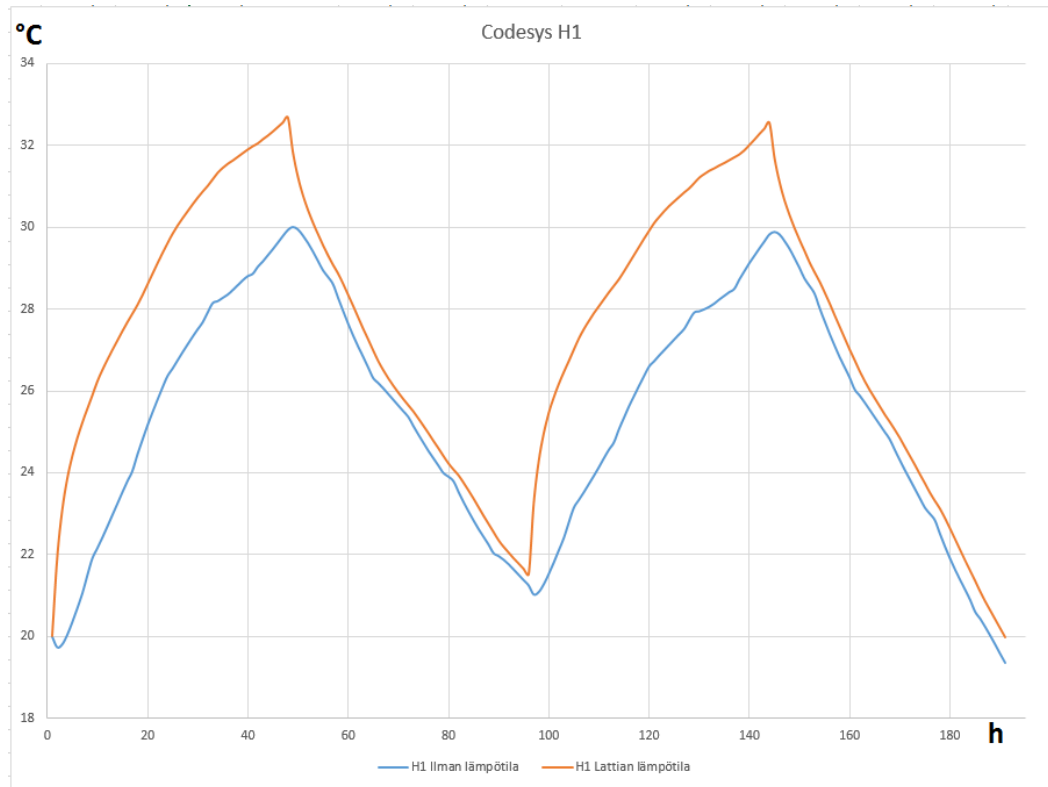
	Simulink, yksinkertaisella säädöllä, kWh	Codesys, yksinkertaisella säädöllä, kWh	Erotus, kWh	Simulink, lattialämmitys päällä, kWh	Codesys, lattialämmitys päällä, kWh	Erotus, kWh
Lattialämmitys H1	2838,3	3003,7	5,5 %	5249,0	5537,2	5,2 %
Ilmalämpöpumppu H1	985,5	1060,5	7,1 %	0,0	0,0	0,0 %
Jäähdytys H1	207,0	159,0	30,2 %	0,0	0,0	0,0 %
Yhteensä H1	4030,8	4223,2	4,6 %	5249,0	5537,2	5,2 %
Lattialämmitys H2	1730,1	1949,1	11,2 %	3838,7	4261,7	9,9 %
Ilmalämpöpumppu H2	868,5	996,0	12,8 %	0,0	0,0	0,0 %
Jäähdytys H2	19,5	9,0	116,7 %	0,0	0,0	0,0 %
Yhteensä H2	2618,1	2954,1	11,4 %	3838,7	4261,7	9,9 %
Lattialämmitys H3	3770,0	4175,0	9,7 %	6514,3	7186,2	9,3 %
Ilmalämpöpumppu H3	1099,5	1239,0	11,3 %	0,0	0,0	0,0 %
Jäähdytys H3	97,5	54,0	80,6 %	0,0	0,0	0,0 %
Yhteensä H3	4974,8	5768,0	13,8 %	6514,3	7186,2	9,3 %

Kiinteistön tiedot

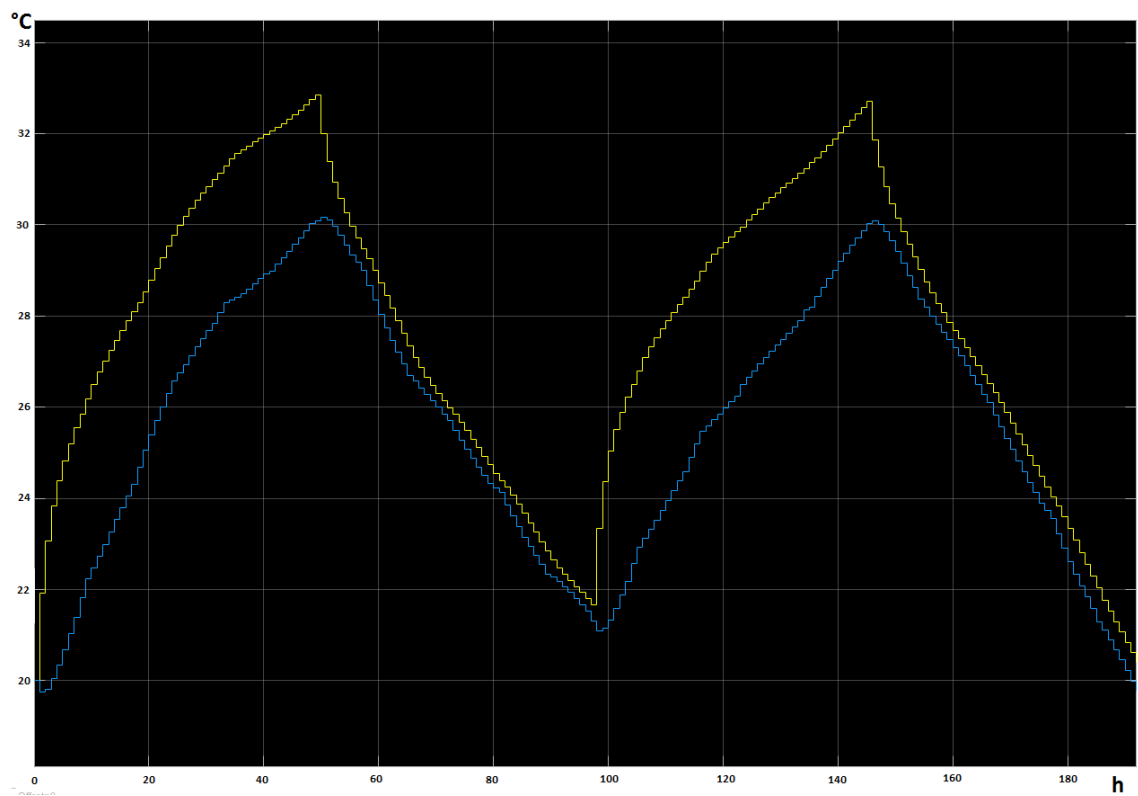
	H1	H2	H3
Laskenta-aika	<input type="text" value="1"/> vuotta	<input type="text" value="1"/> vuotta	<input type="text" value="1"/> vuotta
Kiinteistön lämmin pinta-ala	<input type="text" value="61"/> m ²	<input type="text" value="42"/> m ²	<input type="text" value="72,8"/> m ²
Huonekorkeus	<input type="text" value="2,5"/> m	<input type="text" value="2,5"/> m	<input type="text" value="2,5"/> m
Ominaiskulutus	<input type="text" value="35"/> kWh/m ³	<input type="text" value="35"/> kWh/m ³	<input type="text" value="35"/> kWh/m ³
Asukasmäärä	<input type="text" value="2"/> kpl	<input type="text" value="1"/> kpl	<input type="text" value="3"/> kpl
Investoinnin laskentakorkokanta	<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/> %	<input type="text" value="0"/> %
Lämmitettävä tilavuus	153 m ³	105 m ³	182 m ³
Tilojen lämpöenergian tarve	5 338 kWh/vuosi	3 675 kWh/vuosi	6 370 kWh/vuosi

Kuva 12. Energialaskuri [17.]

Askelvastekokeen perusteella nähdään, että simulaatiot toimivat samankaltaisesti molemmilla alustoilla (kuvat 13, 14). Kuvaajien muodot ja arvot ovat lähestulkoon samat ja ne noudattavat ajallisesti toisiaan. Tarkat arvot heittävät toisistaan noin 3 % huippu- ja pohja-arvoissa. Ohjelman käyttötarkoitukseen kannalta tulokset näyttävät, että simulaatio toimii molemmilla alustoilla samankaltaisesti.



Kuva 13. Codesys-ohjelman askelvastekoe



Kuva 14. Simulink-ohjelman askelvastekoe

9 Pohdinta

Emme olleet tottuneet monimutkaisten ohjelmien tekemiseen, joten aikaa kului esimerkiksi uuden Codesys-kielen ja komentojen opetteluun. Lisäksi opettelimme MySQL-tietokannan toimintaa sekä komentoja. Codesys sisälsi valmiin kirjaston MySQL:n hyödyntämiseen, mutta valitettavasti kirjaston dokumentointi ei ollut riittävää ja jouduimme testaamaan monia asioita kokeilemalla. Ohjelmoinnissa olisi kannattanut pyytää enemmän neuvoja ohjaajalta miten ohjelmaa kannattaisi lähteä rakentamaan. Omien muistiinpanojen ja dokumentoinnin olisi kannattanut olla tarkempaa, mutta paransimme tätä osa-aluetta työn edetessä.

Ohjelmoinnin alussa olisi ollut järkevää suunnitella työn eri vaiheita tarkemmin ja määrittellä niille suoritusjärjestys. Ohjelman kasvaessa osien hahmottaminen kävi hankalaksi ja vaikeasti luettavaksi. Toisaalta meillä ei ollut kokemusta monimutkaisen ohjelman rakentamisesta ja suunnittelusta, joten etenimme välillä liian nopeasti. Nopeasta etenemisestä johtuen, jouduimme palaamaan vanhoihin ongelmiin myöhemmin uudestaan.

Opinnäytetyön vaiheiden aikana olemme molemmat oppineet paljon MySQL-tietokannasta, Simulinkin käytöstä sekä Codesysillä ohjelmoinnista. Monimutkaisen ohjelman rakentaminen opetti meille ohjelman ja sen rakenteen suunnittelun hyödyistä. Lisäksi saimme paljon kokemusta ohjelmoinnin virheiden ratkaisusta ja niiden paikantamisesta.

Olemme tyytyväisiä opinnäytetyön tuloksiin. Saimme rakennettua toimivan simulaation ja käännettyä sen toimimaan automaatiolaitteelle. Saimme sisällytettyä ohjelman toimintaan tietokantapalvelimen hyödyntämisen ja rakennettua ohjelmalle käyttöliittymän. Simulaatiot toimivat kummallakin alustalla samankaltaisesti, vaikkeivat kaikki tulosarvot vastaa toisiaan molemmissa ohjelmissa. Tavoitteenamme oli luoda simuloitu järjestelmä, jota voi esimerkiksi

käyttää säätötekniikan harjoituksena ja siihen nähden saamamme tulokset ovat hyviä.

Simuloidun järjestelmän osia voisi monipuolistaa ja tarkentaa. Yksinkertaiset mallit voisi korvata yksityiskohtaisemmilla ja enemmän muuttujia huomioon ottavilla malleilla. Esimerkiksi ilmanvaihdon ja ilmalämpöpumpun kosteuden tiivistyminen. Seuraava jatkotutkimusaihe voisi olla simuloidun järjestelmän testaamisesta oppimisympäristössä. Tässä opinnäytetyössä voisi tutkia järjestelmän soveltuvuutta opiskelijakäytössä sekä erilaisten säätöharjoitteiden laatiminen.

Lähteet

1. 3S-Smart Software Solutions GmbH, Codesys-ohjelman esittely, <https://www.codesys.com/products/codesys-engineering/development-system.html> [Luettu 10.4.2016]
2. MathWorks, Simulation and Model-Based Design, http://se.mathworks.com/products/simulink/?s_tid=hp_fp_sl [Luettu 10.4.2016]
3. MathWorks, Simulink PLC Coder, http://se.mathworks.com/products/sl-plc-coder/?s_tid=srchtitle [Luettu 10.4.2016]
4. MySQL, General Information, <http://dev.mysql.com/doc/refman/5.7/en/introduction.html> [Luettu 19.4.2016]
5. Puu-info, U-arvo laskuri
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/puurakenteenu-arvoversio1-03.xlsm>
[Luettu 19.4.2016]
6. Ensto Finland Oy, Sähkölämmitysratkaisut uudisrakentamiseen ja saneeraukseen http://www.ensto.com/download/67660_sahkolammitys-2016.pdf
[Luettu 23.4.2016]
7. Ympäristöministeriö, Tasauslaskentaopas 2012 Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B4A826B40-9B82-4749-B6BA-7A3537EA9DAE%7D/40514> [Luettu 15.8.2016]
8. Ympäristöministeriö, D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf [Luettu 7.9.2016]
9. LVI-kortisto, vesikiertoinen lattialämmitys, LVI 13-10261
<https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSL5w%3A%2447%24L10261%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-LVI2860/L10261.pdf> [Luettu 19.4.2016]
10. Danfoss, Lattialämmityksen suunnittelun käsikirja 03/11
http://lampo.danfoss.com/PCMPDF/Handbook_Planning_X003675_VGCTC320.pdf [Luettu 19.4.2016]
11. Eija Kutinlahti, MET – energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari
http://www.terveyskirjasto.fi/terveysportti/tk.koti?p_artikkeli=dlk01039 [Luettu 19.4.2016]
12. Ympäristöministeriö, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeet 2012
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468> [Luettu 18.8.2016]
13. Ympäristöministeriö, Testivuosienkuvaus.pdf 2012
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B8D997677-9ECB-49DC-9D73-9DD93C1C875E%7D/31275> [Luettu 18.8.2016]
14. Ilmatieteenlaitos, Vuositilastot <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositilastot> [Luettu 6.9.2016]
15. Valtion teknillinen tutkimuslaitos, Ari Laitinen, Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/t262.pdf> [Luettu 15.9.2016]

16. Wago, WagoMySQL-kirjaston ohje
http://www.wago.ch/appnoteadmin/libraries23/WagoLibMySQL_03/public/WagoLibMySQL_03_en.pdf [Luettu 31.8.2016]
17. Pistoke Oy, Energialaskuri <http://www.pistoke.fi/energialaskuri> [Luettu 31.8.2016]

Liitteet

Alkuperäinen pohjakuva



Talon tiedot

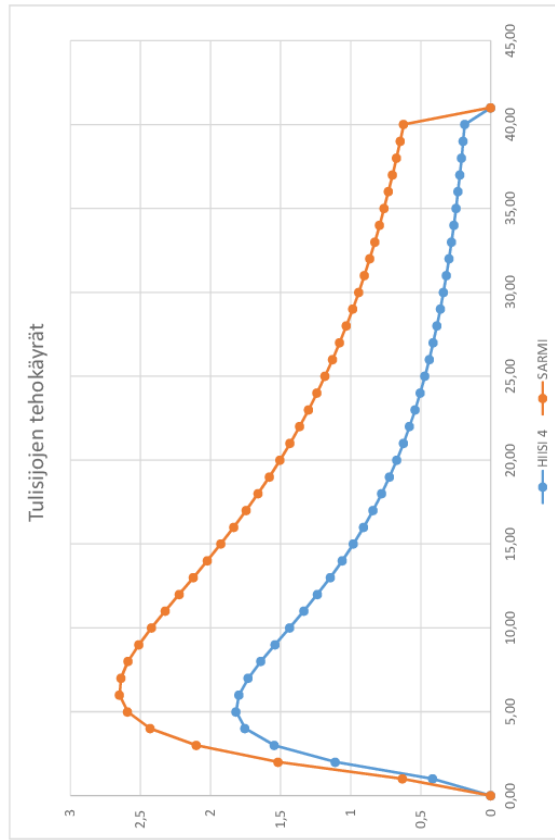
	Huoneisto1	Huoneisto2	Huoneisto3
Pinta-alat	61	42	72,8
Tilavuus	152,5	105	182
Leveys	6,7	4,6	8
Pituus	9,1	9,1	9,1
Korkeus	2,5	2,5	2,5
Takka	Pieni	-	Iso
Lämpimätseinät	1	2	1
Neliöt/Pohjoinen	2,4192	2,0711	1,7731
Neliöt/Itä	4,1422	0	0
Neliöt/Etelä	4,1422	2,0022	5,4983
Neliöt/Länsi	0	0	0,6962
yht	10,7036	4,0733	7,9676
Henkilö lkm	2	1	3

Takantiedot

aika (h)	ilman luukun	
	TEHO (kW)	SARMI
0,00	0	0
1,00	0,414784	0,630289
2,00	1,108828	1,517405
3,00	1,545087	2,099891
4,00	1,753322	2,429692
5,00	1,81719	2,592285
6,00	1,797017	2,648757
7,00	1,730389	2,638732
8,00	1,639886	2,587547
9,00	1,538898	2,511473
10,00	1,435285	2,421042
11,00	1,333567	2,323111
12,00	1,23625	2,222158
13,00	1,144616	2,121098
14,00	1,059211	2,021807
15,00	0,980136	1,925466
16,00	0,907236	1,83279
17,00	0,840213	1,744175
18,00	0,778693	1,659806
19,00	0,722274	1,579721
20,00	0,670549	1,503867
21,00	0,623126	1,432126
22,00	0,579629	1,364342
23,00	0,539713	1,300339
24,00	0,503055	1,239925
25,00	0,469361	1,182906
26,00	0,438364	1,12909
27,00	0,40982	1,078288
28,00	0,383509	1,030319
29,00	0,359232	0,985008
30,00	0,336807	0,942191
31,00	0,316072	0,901712
32,00	0,296881	0,863425
33,00	0,279099	0,827193
34,00	0,262606	0,792887
35,00	0,247295	0,760387
36,00	0,233065	0,729581
37,00	0,219828	0,700363
38,00	0,207503	0,672638
39,00	0,196016	0,646313
40,00	0,185301	0,621303
41,00	0	0

OE merkin tuotetiedot	
HIISI 4	SARMI
83	86
35	75,9
9,6	20
5,2	3,4
15,9	16,7
25,5	30

hyötysuhde (%)
 Sitoutunut energia kWh
 Puumäärä (kg)
 T100%
 T50%
 T25%



Takkojen tuntikohtaiset tehot

U-arvo puuinfo

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
X	X
	Päiväys
	X
	Tekijä
	X
Rakennuskohde	Sisäito
X	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

Info	
TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼	
RAKENNEKERROKSET	
<i>Sisäpinta</i>	
1	Kipsilevy ▼
	Kerroksen paksuus [d] 13,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,250 W/mK
2	Kipsilevy ▼
	Kerroksen paksuus [d] 13,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,250 W/mK
3	Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼
	Kerroksen paksuus [d] 70,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,033 W/mK
	Koolaussuunta (p / v) p
4	Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼
	Kerroksen paksuus [d] 70,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,033 W/mK
	Koolaussuunta (p / v) p
5	Kipsilevy ▼
	Kerroksen paksuus [d] 13,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,250 W/mK
6	Kipsilevy ▼
	Kerroksen paksuus [d] 13,0 mm
	Lämmönjohtavuus [λ] 0,250 W/mK
7	Ei rakennekerrosta ▼
8	Ei rakennekerrosta ▼
<i>Ulkopinta</i>	

ILMARAKOJEN TIEDOT	
Ulkopuolen tuuletusrako	Ei tuuletusrakoa ▼
Ilmarakojen korjaustekijä	Korjaustaso 1 ▼
METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT	
Muuraussiteiden tyyppi	Ei muuraussiteitä ▼
KOOLAUKSEN TIEDOT	
Koolauspuun leveys [b]	48 mm ▼
Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ]	0,120 W/mK
Pystykoolauksen k-jako [s]	600 mm

RAKENNE / LÄMPÖVIRTA

The diagram illustrates the heat flow (Lämpövirta) through a curved wall structure. The wall is divided into three sections: the top section (Yläpohja), the middle section (Ulkoseinä), and the bottom section (Alapohja). Heat flow is shown as arrows: upwards from the top section, horizontally through the middle section, and downwards from the bottom section. The angle between the top and middle sections is labeled 'max 60°'.

Puuinfon U-arvon laskentaohjelma ja tulokset

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
X	X
	Sivu
	2 / 2
Rakennuskohde	Sisältö
X	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
2 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
3 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	70	0,033	1,7518	48	600
4 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	70	0,033	1,7518	48	600
5 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
6 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
Ulkopinta			0,0400		

Rakenteen kokonaispaksuus	192 mm
Ulkopuoli	
Sisäpuoli	

MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI		
Ei muuraussiteitä		
OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUJEDET		
f_a	0,920	<i>Eriste</i>
f_b	0,080	<i>Pystykoolaus</i>
f_c	0,000	<i>Vaakakoolaus</i>
f_d	0,000	<i>Koolausristeys</i>
OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET		
R_a	4,620	m ² K/W
R_b	1,545	m ² K/W
R_c	0,000	m ² K/W
R_d	0,000	m ² K/W
U-ARVO		
R'_T	3,986	m ² K/W
R''_T	3,882	m ² K/W
U	0,254	W/m ² K
$\Delta U''$	0,010	W/m ² K
ΔU_g	0,008	W/m ² K
ΔU_f	0,000	W/m ² K

ULKOSEINÄN U-ARVO
$U_c = 0,2627$ W/m²K

VIRHEILMOITUKSET
<ul style="list-style-type: none"> • • • • •

Puuinfon U-arvon laskentaohjelma ja tulokset

Tasauslaskimen tulokset

Huoneiston 1 tasauslaskimen tulokset

Rakennuskohde	RET-pientalo
Rakennuslupatunnus	12-34-56-78
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	Jukka Talonen
Tasauslaskelman tekijä	Teemu Tasa
Päiväys	1.7.2012
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	138 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	61 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	61 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 71 m²
 Ikkunapinta-ala on 18 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 15 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 97 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Enimmäisarvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	58	56	0,17	0,60	0,17	9,8	9,6
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	61	61	0,09	0,60	0,09	5,5	5,5
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾		61	0,16	0,60	0,16	9,8	9,8
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	9,2	10,7	1,00	1,80	0,80	9,2	8,6
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾		3,8	1,00	1,80	1,00	3,8	3,8
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattoalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	193	193				38,0	37,2
Puoliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾			1,40	2,80		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattoalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0031	0,0061	3,7	7,3	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _d]		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,024	45	60	16,1	11,7	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K		
					[H = H _{ohj} + H _{vuotoilma} + H _v]		
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					58	56	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

Huoneiston 2 tasauslaskimen tulokset

Rakennuskohde	RET-pientalo
Rakennuslupatunnus	12-34-56-78
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	Jukka Talonen
Tasauslaskelman tekijä	Teemu Tasa
Päiväys	1.7.2012
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	93 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	42 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	42 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 31 m²
 Ikkunapinta-ala on 10 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 13 % julkisivun pinta-alasta
 Lämpöhäviö on 91 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	21	23	0,17	0,60	0,17	3,5	3,9
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	42	42	0,09	0,60	0,09	3,8	3,8
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾		42	0,16	0,60	0,16	6,7	6,7
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	6,3	4,1	1,00	1,80	0,80	6,3	3,3
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾		3,8	1,00	1,80	1,00	3,8	3,8
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattovalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	115	115				24,1	21,4
Puoliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾			1,40	2,80		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattovalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-				-	-
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0018	0,0036	2,2	4,4	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [h _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat		0,017	45	60	11,1	8,1	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K		
					[H = H _{poiv} + H _{vuotoilma} + H _{iv}]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					37	34	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

Huoneiston 3 tasauslaskimen tulokset

Rakennuskohde	RET-pientalo
Rakennuslupatunnus	12-34-56-78
Rakennustyyppi	1-kerroksinen pientalo, ikkunapinta-ala 15 % kerrostasosalasta.
Pääsuunnittelija	Jukka Talonen
Tasauslaskelman tekijä	Teemu Tasa
Päiväys	1.7.2012
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennustilavuus	163 rak-m ³
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	73 m ²
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	73 m ²
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 77 m²
Ikkunapinta-ala on 11 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
Ikkunapinta-ala on 10 % julkisivun pinta-alasta
Lämpöhäviö on 92 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)			Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Enimmäis- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT							
Lämpimät tilat							
Ulkoseinä	62	65	0,17	0,60	0,17	10,5	11,1
Hirsiseinä			0,40	0,60		-	-
Yläpohja	73	73	0,09	0,60	0,09	6,6	6,6
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,17	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾		73	0,16	0,60	0,16	11,6	11,6
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,16	0,60		-	-
Ikkunat	11,0	8,0	1,00	1,80	0,80	11,0	6,4
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾		3,8	1,00	1,80	1,00	3,8	3,8
Kattoikkunat			1,00	1,80		-	-
Kattovalokuvut			1,00	2,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	223	223				43,5	39,4
Puoliämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset							
Ulkoseinä			0,26	0,60		-	-
Hirsiseinä			0,60	0,60		-	-
Yläpohja			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14	0,60		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva) ¹⁾			0,26	0,60		-	-
Alapohja (maanvastainen) ²⁾			0,24	0,60		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa ²⁾			0,24	0,60		-	-
Ikkunat			1,40	2,80		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ³⁾			1,40	2,80		-	-
Kattoikkunat			1,40	2,80		-	-
Kattovalokuvut			1,40	2,80		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä							
VAIPAN ILMAVUODOT							
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Vuotoilma							
Lämpimät tilat	2,0	4,0	0,0035	0,0071	4,2	8,5	
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-	
ILMANVAIHTO							
	Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosiyötysuhde, % [h _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K		
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Hallittu ilmanvaihto							
Lämpimät tilat	0,029		45	60	19,3	14,0	
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Puoliämpimät tilat			45		-	-	
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-	
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus							
					Ominaislämpöhäviö, W/K		
					[H = H _{ohje} + H _{vuotoilma} + H _v]		
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu			Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					67	62	
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö yhteensä					-	-	

Käyttöohje

Työssä tarvittavat laitteet:

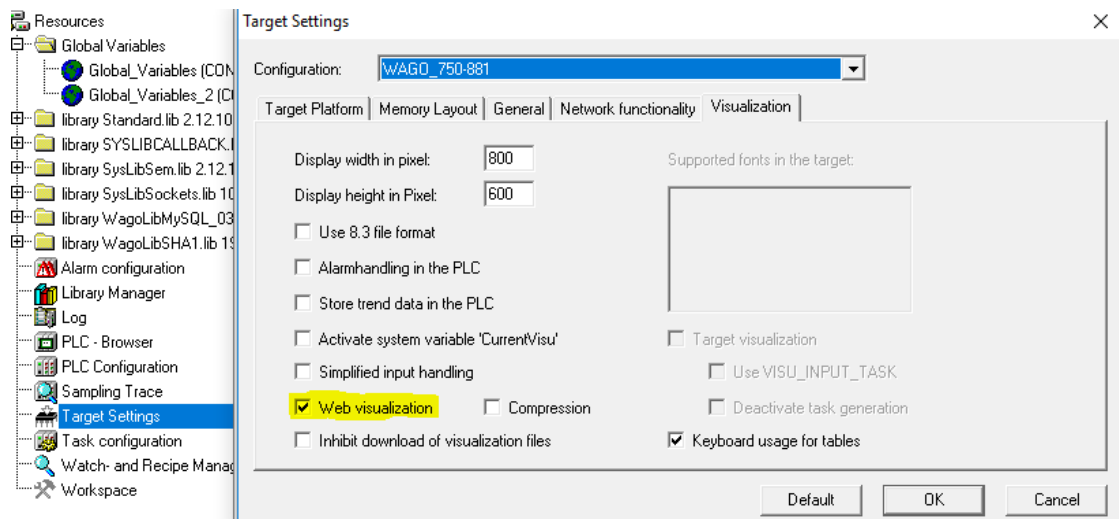
- PLC-881 PLC tai vastaava
- 5x750-400 Digital Input Module tai vastaava, yhteensä yhdeksän kanavaa käytössä, termostaattien ohjaamista varten
- 2x750-559 Analog Output Module tai vastaava, yhteensä 6 kanavaa käytössä, lämpötilojen lähetystä varten
- Oppilaan tarvitsemat laitteet:
- PLC
- Yhteensopivat Digital Output moduulit, yhteensä 9 kanavaa, termostaattien ohjaamista varten
- Yhteensopivat Analog Input moduulit, yhteensä 6 kanavaa lämpötilojen vastaanottamista varten

Opiskelijan tehtävä on luoda simulaation huoneistoihin sopivat lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien säädöt. Opiskelija ohjaa simulaatiolaitteen digitaalisia sisääntuloja, jotka toimivat huoneistojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien termostaatteina. Oppilas saa huoneistojen lattian ja sisäilman lämpötilat simulaation analogisista ulostuloista. Kirjoitusvalinnan ollessa päällä, simulaatio kirjoittaa tietokantaan jokaisen huoneiston lattian lämpötilan, sisäilman lämpötilan ja kokonaisenergiankulutuksen. Simulaation visualisaatiosta voi myös seurata huoneistojen lämpötilaa ja energiankulutusta.



WebVisu

Simulaatio tukee Webvisun käyttöä. Webvisun avulla voit muokata simulaation parametreja ja suorittaa simulaatiota yhdellä tietokoneella. Webvisun saa laitettua päälle Target settings-valikosta alla olevan kuvan mukaisesti.



Asetusten muuttaminen

Talon parametrien vaihtaminen onnistuu valikosta.

H1	
H1 Ilmamäärä	0.024
H1 Ikkunan Lämpäsuhde Etelä	0.750
H1 Ikkunan Lämpäsuhde Itä	0.750
H1 Ikkunan Lämpäsuhde Pohjoinen	0.750
H1 Ikkunan Pinta-ala Etelä	4.142
H1 Ikkunan Pinta-ala Itä	4.142
H1 Ikkunan Pinta-ala Pohjoinen	2.419
H1 Ikkunan Valoaukkosuhde Etelä	0.750
H1 Ikkunan Valoaukkosuhde Itä	0.750
H1 Ikkunan Valoaukkosuhde Pohjoinen	0.750
H1 Verhokerroin	0.750

H2	
H2 Ilmamäärä	0.017
H2 Ikkunan Lämpäsuhde Etelä	0.750
H2 Ikkunan Lämpäsuhde Pohjoinen	0.750
H2 Ikkunan Pinta-ala Etelä	2.002
H2 Ikkunan Pinta-ala Pohjoinen	2.071
H2 Ikkunan Valoaukkosuhde Etelä	0.750
H2 Ikkunan Valoaukkosuhde Pohjoinen	0.750
H2 Verhokerroin	0.750

H3	
H3 Ilmamäärä	0.032
H3 Ikkunan Lämpäsuhde Etelä	0.750
H3 Ikkunan Lämpäsuhde Länsi	0.750
H3 Ikkunan Lämpäsuhde Pohjoinen	0.750
H3 Ikkunan Pinta-ala Etelä	5.498
H3 Ikkunan Pinta-ala Länsi	0.696
H3 Ikkunan Pinta-ala Pohjoinen	1.773
H3 Ikkunan Valoaukkosuhde Etelä	0.750
H3 Ikkunan Valoaukkosuhde Länsi	0.750
H3 Ikkunan Valoaukkosuhde Pohjoinen	0.750
H3 Verhokerroin	0.750

Maan lämpötila 7.000

Päävalikko

Lämmityksen asetukset

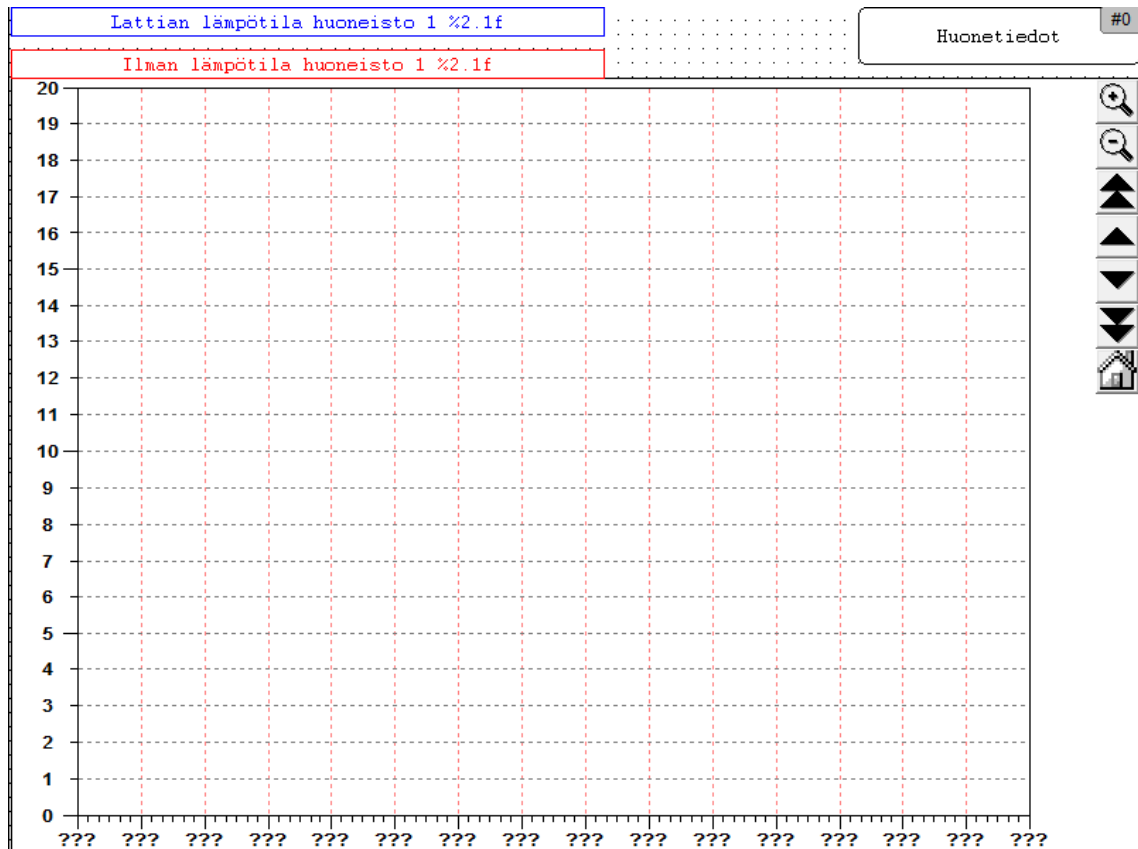
Lämmitysasetuksista voidaan muuttaa huoneiden lattialämmityksen menoveden lämpötilaa, sekä säätää takkojen asetuksia. Oletuksena takkoja ei lämmitetä kesäkuukausina touko-syyskuu (2881-5833). Ilmalämpöpumpun jäähdytys- ja lämmitysteho on säädettävissä jokaiselle huoneelle erikseen.

H1 Menovedenlämpötila %1.1f	H1 Lämmöntalteenotto On/off	Päävalikko
H2 Menovedenlämpötila %1.1f	H2 Lämmöntalteenotto On/off	Talon parametrit
H3 Menovedenlämpötila %1.1f	H3 Lämmöntalteenotto On/off	Huonetiedot
H1 ILP teho lämmitys %1.1f	H2 ILP teho lämmitys %1.1f	H3 ILP teho lämmitys %1.1f
H1 ILP teho jäähdytys %1.1f	H2 ILP teho jäähdytys %1.1f	H3 ILP teho jäähdytys %1.1f
H1 Takka On/off	H1 Takan lämmitysraja %i	
H3 Takka On/off	H3 Takan lämmitysraja %i	
H1 takan päälläoloajan yläraja %i	Tammikuu 0 Helmikuu 745 Maaliskuu 1417 Huhtikuu 2161 Toukokuu 2881 Kesäkuu 3625 Heinäkuu 4345 Elokuu 5089 Syyskuu 5833 Lokakuu 6553 Marraskuu 7297 Joulukuu 8017	
H1 takan päälläoloajan alaraja %i		
H3 takan päälläoloajan yläraja %i		
H3 takan päälläoloajan alaraja %i		

Talon tiedot-valikosta löydät huoneistojen lämmitysenergian kulutukset, sekä takkojen lämmitykseen käytetyn puumäärän.

		Päävalikko
		Lämmityksen asetukset
		Talon parametrit
		Käyttöohjeet
Huoneisto 1 lämpötilat	Huoneisto 2 lämpötilat	Huoneisto 3 lämpötilat
H1 Lattialämmitys kWh %1.1f	H2 Lattialämmitys kWh %1.1f	H3 Lattialämmitys kWh %1.1f
H1 ILP lämmitys kWh %1.1f	H2 ILP lämmitys kWh %1.1f	H1 ILP lämmitys kWh %1.1f
H1 Jäähdytys kWh %1.1f	H2 Jäähdytys kWh %1.1f	H3 Jäähdytys kWh %1.1f
H1 Yhteensä kWh %1.1f	H2 Yhteensä kWh %1.1f	H3 Yhteensä kWh %1.1f
H1 Takan Pesälliset %i		H3 Takan Pesälliset %i
H1 Takan Puumäärä %1.1f kg		H3 Takan Puumäärä %1.1f kg

Huonetiedoissa voi tarkastella huonekohtaisia lattian ja huoneilman lämpötilaa. Huoneiden lämpötilakäyrät ovat viitteellisiä, joten on suotavaa verrata niitä tietokantaan tallennettaviin tuloksiin.



Simulaation käyttäminen

Aseta tietokannan kirjautumistiedot ja kirjaudu sisään.

IP-osoite 172.16.40.170	Portti 3306
Tietokanta saahistoria	
Käyttäjä weatherman	
Salasana *****	

Kirjautumistila
CONNECTED WITH DATABASE - "saahistoria"

Kirjautumistilaan tulee tilaviesti, joka kertoo onko yhdistäminen onnistunut. Testiajot kannattaa suorittaa ilman tiedon kirjoittamista tietokantaan, koska kirjoitus hidastaa simulaation suoritusta n. 40 %. Voit vaikuttaa simulaation keston säätämällä simulaation aloitus- ja lopetustunteja.

Aloitustunti 1
Resetointitunti 8760

Tietokantaan yhdistämisen jälkeen simulaatio on valmis ajettavaksi. Päävalikosta voit pysäyttää ja alustaa simulaation alkutilaan. Simulaatio pysähtyy automaattisesti saavutettuaan lopetustunnin arvon.

Mikäli haluat kirjoittaa datan tietokantaan valitse Kirjoita tietokantaan- valinta päälle sekä nimeä ja luo uusi taulu tietokantaan. Taulukon nimi ei tue välilyöntejä, pelkkiä numeroita eikä erikoismerkkejä. Tietokanta palauttaa tilaviestin, joka kertoo onko taulun luominen onnistunut.

	Luo taulu	Kirjoita tietokantaan	Aloitustunti 1
Kirjaudu sisään	Taulun nimi Esimerkki		Resetointitunti 8760
Kirjaudu ulos	Kirjautumistila CONNECTED WITH DATABASE - "saahistoria"		
Aloita simulaatio	Taulun luominen tila Successful executed - affected rows: 0		

Datan hakeminen tietokannasta

Kirjautuminen MySQL-tietokantaan.

phpMyAdmin

172.16.40.170/phpmyadmin/index.php?token=5fd3e677f3ad13523d99d3ee4b179164&old_usr=weatherman

phpMyAdmin

Welcome to phpMyAdmin

Language

English

Log in

Username: weatherman

Password:

Go

Valitse tietokanta, johon olet tallentanut tietosi.

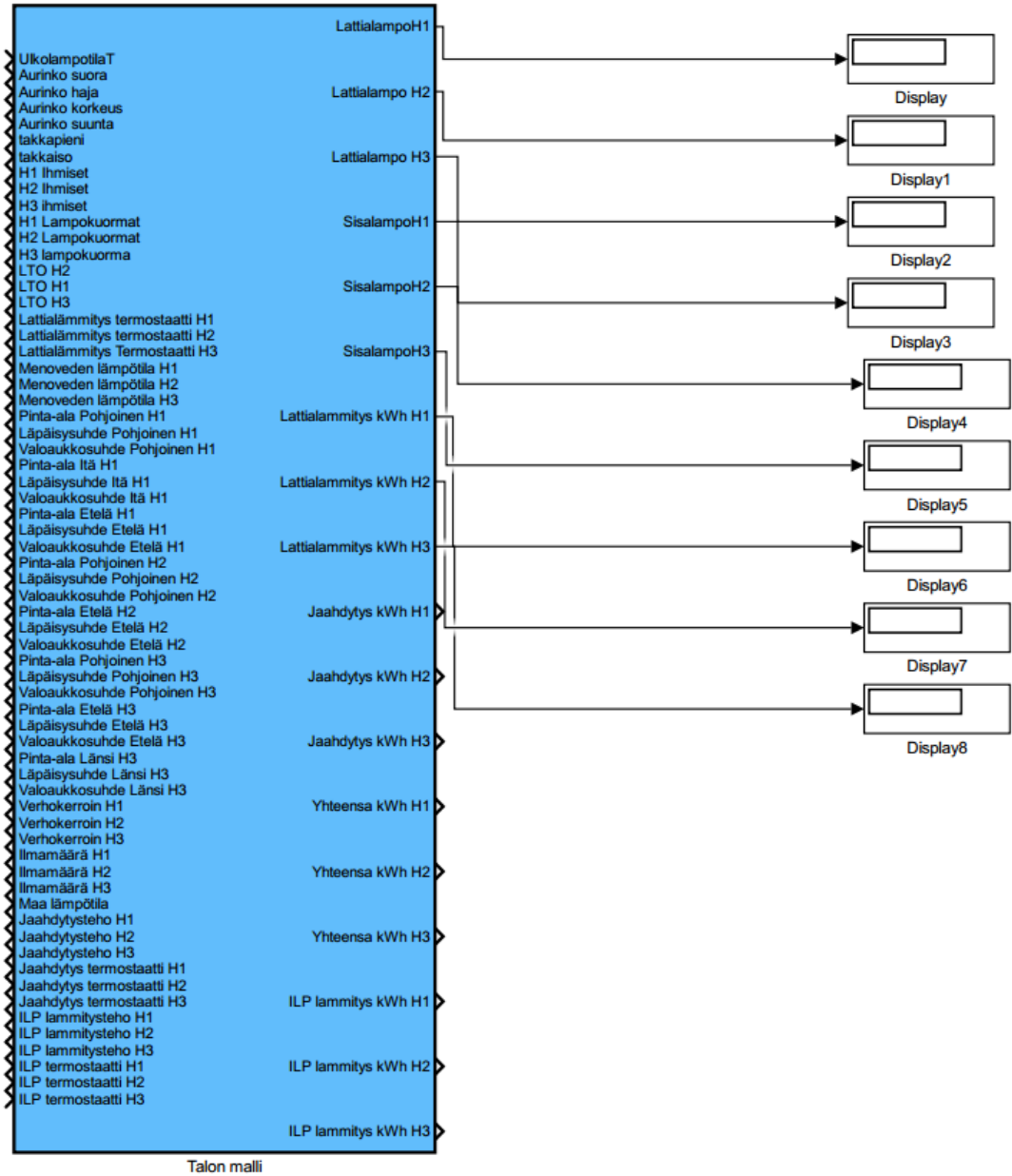
The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a database named 'saahistoria'. The left sidebar displays a tree view of the database structure, including tables like 'Esimerkki', 'jyvaskyla', 'jyvaskyla_copy', 'Taulukko', and 'Taulukko2'. The main panel shows a table structure view with columns: Table, Action, Rows, Type, Collation, Size, and Overhead. The 'Taulukko' table is selected, showing it has approximately 8,950 rows and a size of 1.9 MiB. Below the table structure, there is a 'Create table' button and input fields for 'Name' and 'Number of columns'.

Valitse luomasi taulukko ja lataa se export-välilehdeltä.

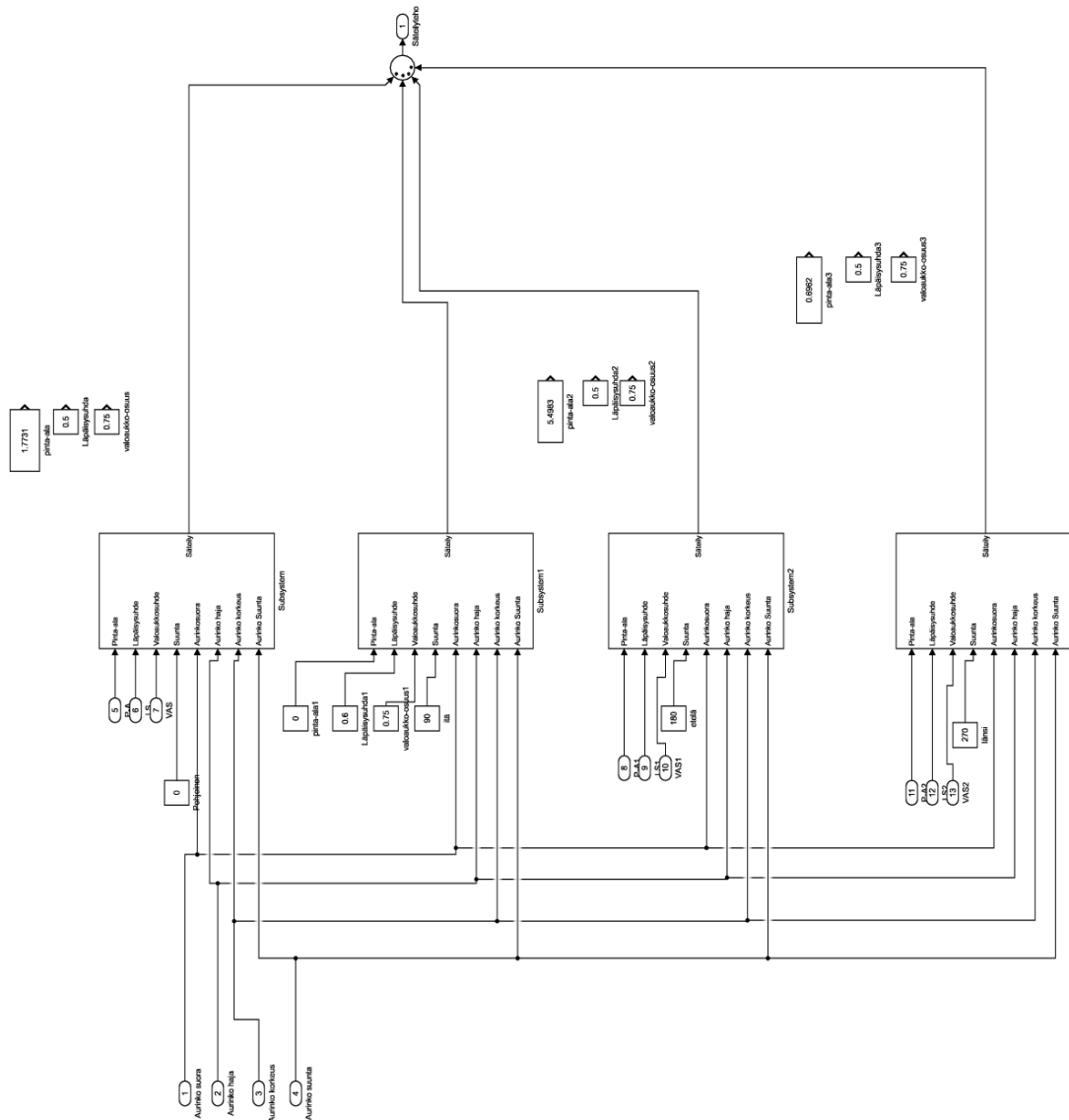
The screenshot shows the phpMyAdmin interface for the 'Esimerkki' table. The main panel displays the 'Export' options. The 'Export Method' section has two radio buttons: 'Quick - display only the minimal options' (selected) and 'Custom - display all possible options'. The 'Format' section has a dropdown menu set to 'CSV for MS Excel'. A 'Go' button is located at the bottom of the export options.

Voit valita ladattavan tiedostotyyppin. Suosittelemme Excelille tarkoitettua CSV-tiedostomuotoa.

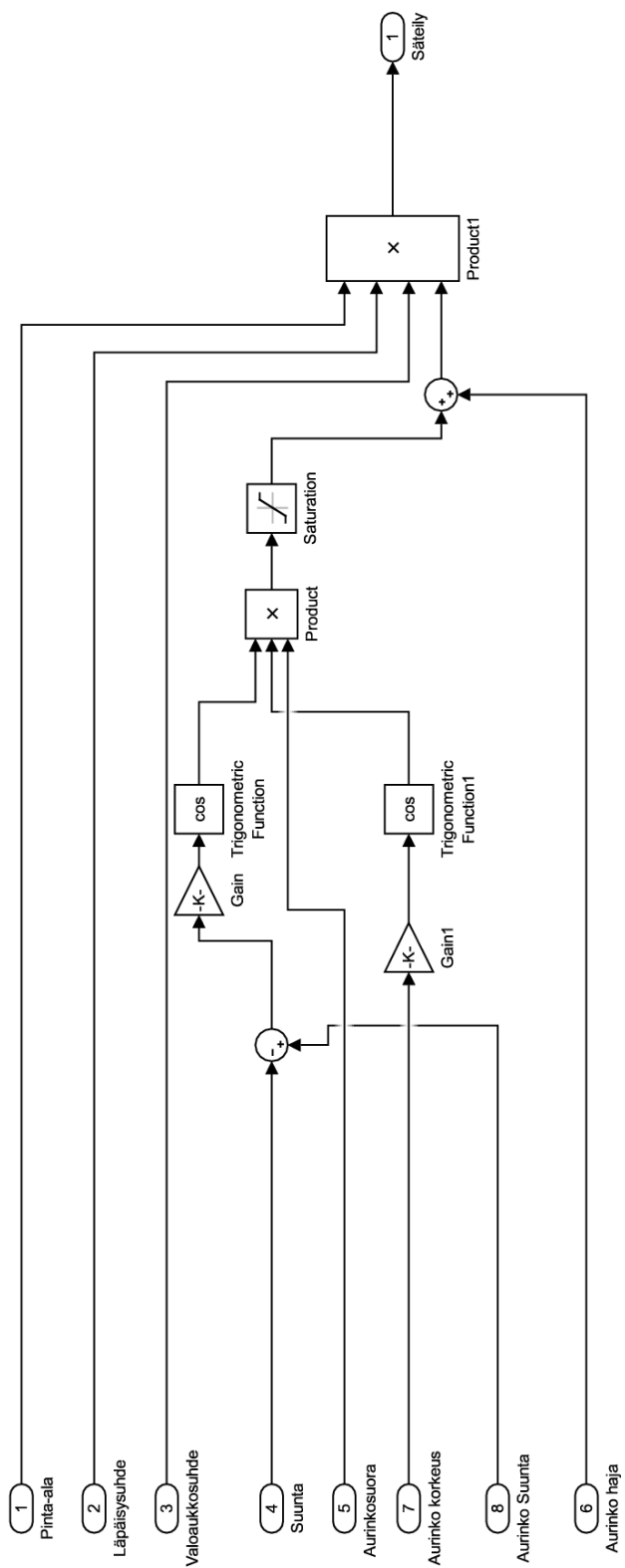
Simulink-malli



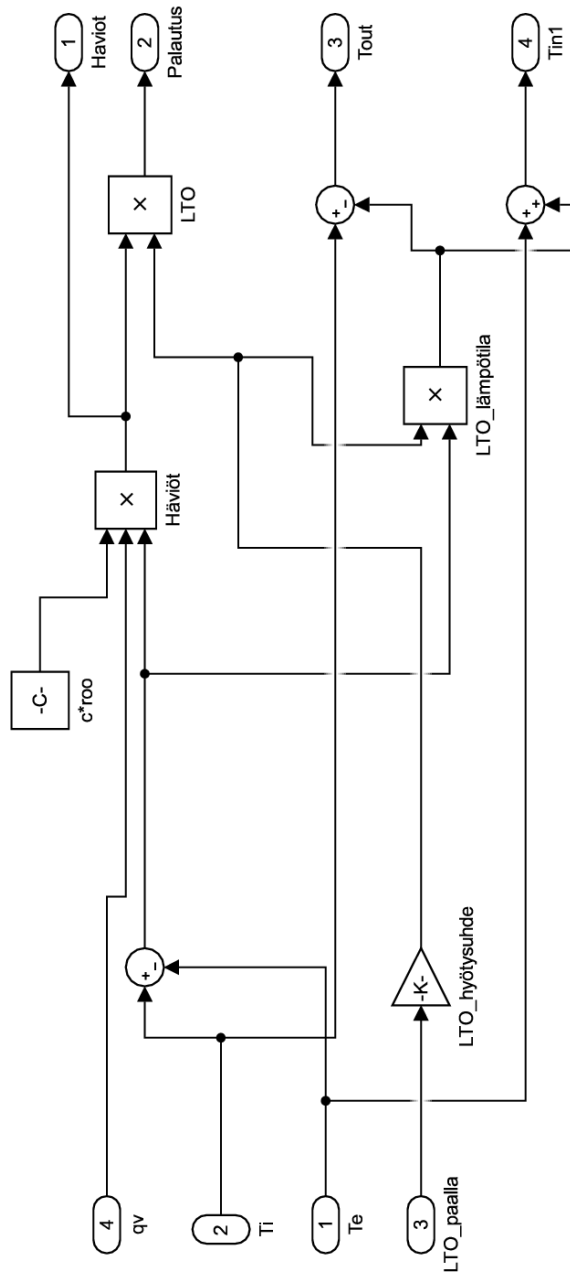
Simulink-mallin kaikki inputit ja outputit



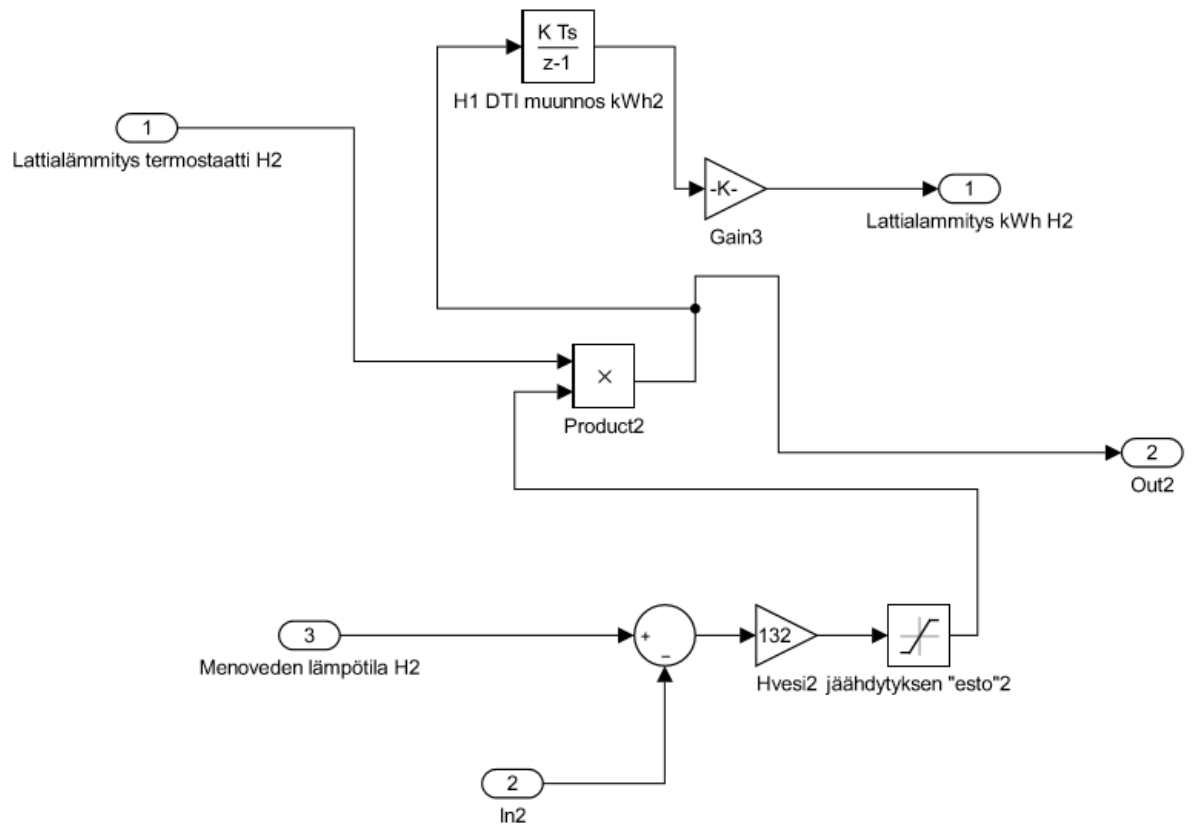
Ohjelma laskee ikkunoiden kautta tulevan auringon säteilyn vaikutuksen lämmitysenergiaan jokaiselle ilmansuunnalle



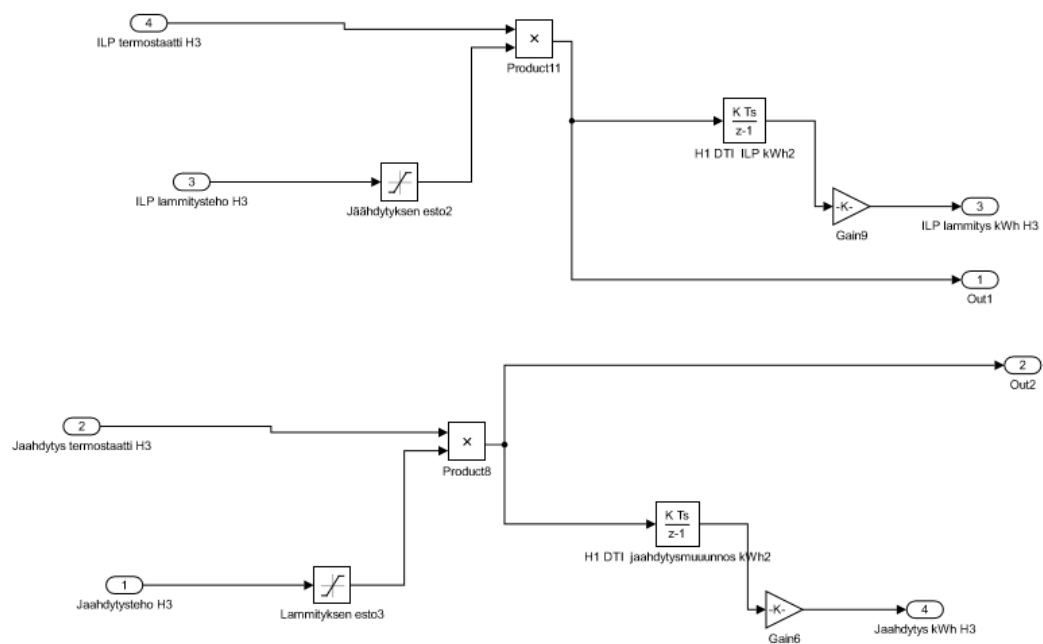
Auringon säteilyn määrän laskenta yhdelle ilmansuunnalle



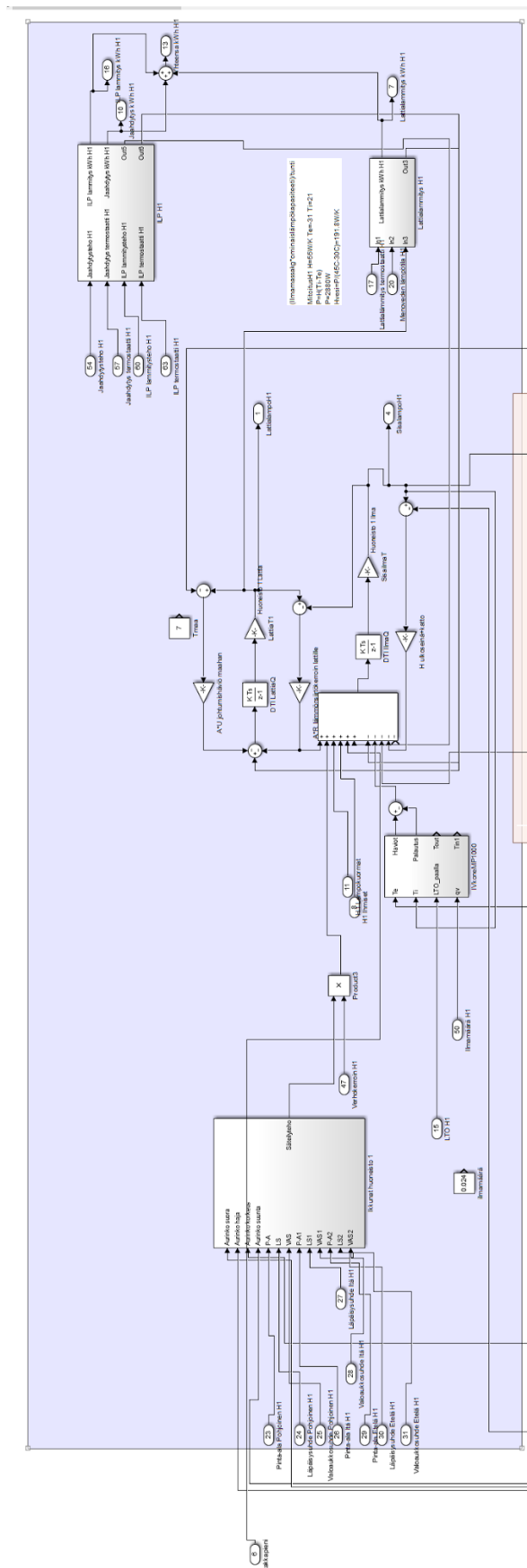
Yksinkertaistettu ilmanvaihtokone LTO:lla



Lattialämmitys

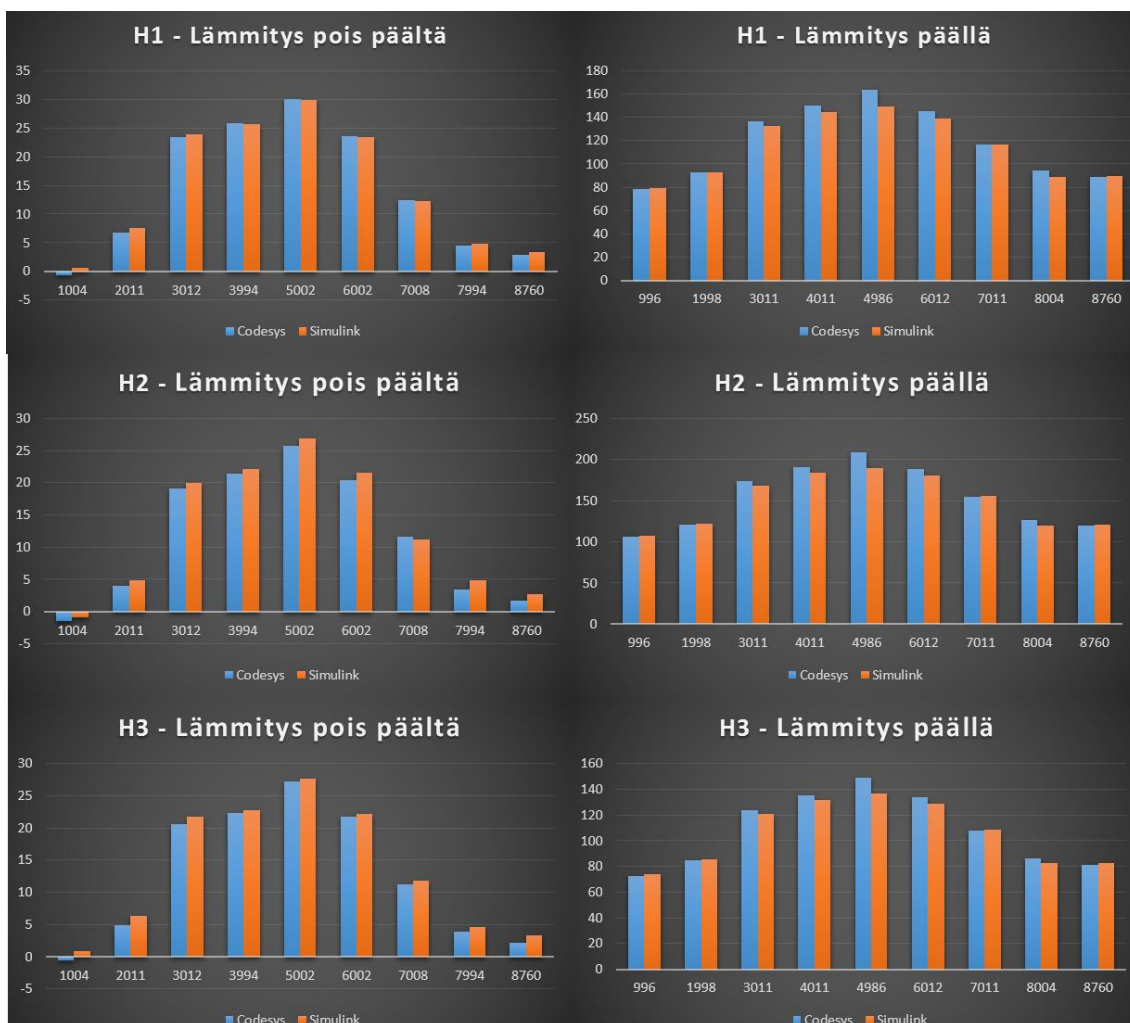


Ilmalämpöpumpun jäähdytys- ja lämmitystekot



Kuva yhden huoneiston Simulink-mallista

Testiajot



Huoneistojen lämpötilat ääritilanteissa