



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Oskari Rytönen

Jäähdytys- ja lämmityspaneelien tehonlaskenta ja tehonlaskentamakro

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

12.4.2021

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Oskari Rytönen Jäähdytys- ja lämmityspaneelien tehonlaskenta ja tehonlaskentamakro 37 sivua 12.4.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Tiina Fischer tekninen johtaja Jarkko Turunen
<p>Työn tarkoitus oli selvittää, miten lämmitys- ja jäähdytyspaneelien teho ja energiankulutus saadaan laskettua. Näiden avulla oli tarkoitus luoda ohjelmamakro, jota voidaan käyttää rakennusautomaatio-ohjelmissa. Työssä käytettiin lämmönsiirron kirjallisuutta selittämään, mitä lämmönsiirtyminen on ja laskukaavojen luomiseen. Laittevalmistajien teknisiä esitteitä käytettiin selittämään paneelien teoriaa ja venttiilin virtaaman ratkaisemiseksi säätöprosentin mukaan. Standardeja ja logiikkaohjelmoinnin kirjallisuutta hyödynnettiin kertomaan, mitä logiikkaohjelmointi on.</p> <p>Työssä kerrottiin lämmönsiirtymistavoista eli johtumisesta, konvektiosta ja säteilystä. Työssä käytiin läpi myös, mitä paneelit ovat, miten ne toimivat ja mihin niitä käytetään. Logiikkaohjelmoinnista kerrottiin sen teoriaa ja avattiin peruskäsitteitä. Seuraavaksi selvitettiin, miten lasketaan venttiilin läpi menevä virtaama säätöprosentin mukaan. Paluuveden lämpötilan ratkaisemiseksi selvisi, että aluksi pitää laskea alkuarvio paluuveden lämpötilasta ja korjauskerroin mitoitusarvojen perusteella. Tämän jälkeen saatiin ratkaistua arvioitu paluuveden lämpötila käyttäen korjauskerrointa, alkuarviota paluuveden lämpötilasta ja virtaamaa. Paluuveden lämpötilan ja virtaaman avulla puolestaan saatiin ratkaistua teho ja energiankulutus. Ohjelmamakrolle toteutettiin ominaisuudet, jotka voivat lukea muualta ohjelmasta laskennan kannalta tarvittavia arvoja. Näiden ja selvitettyjen kaavojen avulla rakennettiin makroon ohjelma, joka laskee paluuveden lämpötilan, paneelin tehon ja energiankulutuksen. Näille rakennettiin käyttöliittymä, jossa voidaan asettaa tarvittavia parametreja ja pystyy lukemaan tietoa helposti.</p> <p>Venttiilin virtaamalle säätöprosentin mukaan selvisi, että luodaan Excelliin laskentakaava, jonka käyrä seuraa mahdollisimman tarkkaan valmistajan antamaa käyrää. Paluuveden lämpötila ratkesi, kun keksittiin käyttää mitoitusarvoja paluuveden laskemiseksi. Paluuveden lämpötilan ratkettua saatiin ratkaistua teho ja energiankulutus. Makro saatiin rakennettua, käyttäen hyödyksi selvitettyjä virtaaman ja paluuveden lämpötilan kaavoja. Näiden laskutulokset syötettiin ohjelmassa tehonlaskentakaavaan ja teho energian kulutuksen kaavaan.</p>	
Avainsanat	teho, energiankulutus, makro, säteilypaneeli

Author Title	Oskari Rytkönen Cooling and Heating Panel Power Calculation and Power Calculation Macro
Number of Pages Date	37 pages 12 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Tiina Fischer, Senior Lecturer Jarkko Turunen, Technical manager
<p>The purpose of this thesis work was to find out how to calculate power and energy consumption of heating and cooling panels. With found formulas, goal was also to create macro, which can be used in building automation software.</p> <p>In this thesis literature of heat transfer is used to clarify what heat transfer is and for creating calculation formulas. Manufacturers' data sheets are used to explain theory of radiant panels and to solve flow of valve. Standards and logic programming literature are used to explain what logic programming is.</p> <p>Thesis explains methods of heat transfer, what conduction, convection and radiation are. What radiant panels are, how they work and where they been used are also clarified. Theory and basic concepts of logic programming are also explained. After that, how to calculate the ratio of flow of valve to adjustment percentage is explained.</p> <p>It was found that first it is needed to find correction factor, water flow and initial estimated value for return water temperature to solve approximate temperature of return water. For ratio of flow of valve to adjustment percentage, formula was created in Excel with curve fitting method. Rated values of project plans and above mentioned information were used to create solution for calculating return water temperature. When temperature of return water was found and ratio of flow of valve was calculated, these parameters give input values of the power and energy consumption calculations. Features that can read information from elsewhere in the program were created for the macro. With these features and with found formulas, the macro that calculates power and energy consumption was created. Features where user can give required parameters and user can read information was built to user interface.</p>	
Keywords	Power, Energy consumption, Macro, Radiant panel

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Lämmönsiirtyminen	2
2.1	Johtuminen	2
2.2	Konvektio	3
2.3	Lämpösäteily	3
3	Jäähdytys- ja lämmityspaneelit	5
3.1	Paneelien rakenne	5
3.2	Paneelien toiminta	6
3.3	Paneelien käyttökohteet	8
4	Logiikkaohjelmointi ja makrot	9
4.1	Muuttujat ja tietotyypit	9
4.2	Ohjelmointikielet	10
4.3	Bittiooperaatiot	14
4.4	Kiikut	15
4.5	Liipaisut	16
4.6	Ajastimet	16
4.7	Laskurit	17
4.8	Matemaattiset toiminnot	18
4.9	Makrot	18
5	Paneelien teholaskelma	18
5.1	Lämmitys ja jäähdytyspaneelijärjestelmä	18
5.2	Virtaama	19
5.3	Paluuveden lämpötila	22
5.4	Teho ja energiankulutus	27
6	Ohjelmamakron toteutus	27

6.1	Makron ohjelma	29
6.2	Makron käyttöliittymä	31
6.3	Makron käyttö	33
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda laskukaava, jolla voidaan laskea jäähdytys- ja lämmityspaneelien teho ja energian kulutus. Näitä laskukaavoja hyödyntäen on tarkoitus luoda ohjelmamakro, joka laskee jatkuvasti paneelin tehon ja sen energiankulutuksen. Makroa on tarkoitus hyödyntää paneelien veden virtaaman säädössä, jotta rakennusten energiankulutusta voidaan pienentää huonelämpötilaa laskemalla. Työ toteutettiin Assemblin Oy:lle parantamaan yrityksen tuottamien keskusohjelmien energiatehokkuutta.

Assemblin Oy on talotekniikkayritys, jolla on 90 toimipistettä Pohjoismaissa. Suomessa Assemblin on perustettu alun perin nimellä EMC Group Oy vuonna 2007, josta vuonna 2016 muodostui Assemblin Oy. Assemblinin tuottaa palveluita rakennusautomaatioon, energiaratkaisuihin, talotekniikkaan ja teknisiin palveluihin. Automaation puolelta Assemblin tuottaa huoltoa ja urakointia. Huolto toimii rakennusten automaation ylläpitäjänä ja tarkkailee sen toimivuutta. Urakointi keskittyy tuottamaan uudis- sekä saneerauskohteiden automaatoratkaisut. Assemblin on esimerkiksi tuottanut Metropolia Ammattikorkeakoulun Myllypuron kampuksen automaation.

Opinnäytetyössä käsitellään lämmönsiirtymistä, jäähdytys- ja lämmityspaneelien teoriaa, logiikkaohjelmoinnin teoriaa, paneelien tehonlaskentaa ja ohjelmamakron luomista. Lämmönsiirtymisestä käsitellään lämmönsiirtymistapoja ja käsitteitä. Paneelien teorialuvussa käsitellään, mitä paneelit ovat, miten ne toimivat ja missä niitä käytetään. Logiikkaohjelmoinnin teoriasta käsitellään ohjelmointikielet sekä perustoimintoja ja käsitteitä. Paneelien tehonlaskentaokappaleessa selvitetään, miten saadaan laskettua säätöprosentin perusteella venttiilin läpi menevä virtaama, saatujen lähtötietojen avulla paneelin paluuveden lämpötila, paneelin teho ja energiankulutus. Ohjelmamakrokappaleessa tehdään makro, joka laskee paneelien kuluttaman energian ja käyttämän tehon. Lisäksi tehdään makrolle käyttöliittymä, joka on käyttäjäystävällinen ja helppokäyttöinen. Lisäksi tehdään kehitysehdotuksia, miten makroa voi käyttää ja kehittää tulevaisuudessa ja nopeuttaa projektien ohjelmointia.

2 Lämmönsiirtyminen

Lämmönsiirtyminen on lämpöenergian siirtymistä systeemistä toiseen systeemiin. Energian siirtymissuunta määräytyy systeemien lämpötilojen mukaan, mikä tapahtuu yleisesti kuumasta systeemistä kylmään systeemiin. Lämmönsiirtymistapoja ovat johtuminen, konvektio ja säteily. (1, s. 1, 3; 2, s. 84.)

2.1 Johtuminen

Lämpöenergia siirtyy johtumalla aineen sisällä ja aineesta toiseen aineeseen, kun aineet ovat keskenään kosketuksessa. Lämmönsiirtyminen tapahtuu, kun aineiden välillä on lämpötilaero. Lämmönjohtavuus ja ominaislämpökapasiteetti ovat aineiden ominaisuuksia. Lämmönjohtavuus kuvaa, kuinka hyvin aine pystyy johtamaan lämpöä ja ominaislämpökapasiteetti kykyä vastaanottaa ja luovuttaa energiaa. (1, s. 3–4, 9; 2, s. 85.)

Lämmön johtumiseen aineen sisällä vaikuttaa aineen lämmönjohtavuus, aineen paksuus, pinta-ala ja lämpötilaero. Näiden avulla voidaan laskea lämpöteho eli lämpöenergian siirtymistä aikayksikköä kohti. (1, s. 4, 19.)

$$P = \frac{\lambda}{s} A(T_1 - T_2) \quad (1)$$

λ on lämmönjohtavuus.

s on aineen paksuus.

A on pinta-ala, jolla lämmönsiirtyminen tapahtuu.

T_1 on aineen lämpötila energiaa luovuttavassa mittauspisteessä.

T_2 on aineen lämpötila energiaa vastaanottavassa mittauspisteessä.

Kahden aineen ollessa keskenään kosketuksessa on näiden kosketuspisteessä oma lämpötilansa. Kosketuspisteen lämpötilan voi laskea kaavalla 2 aineiden tiheyden, lämpötilan, lämmönjohtavuuden ja ominaislämpökapasiteetin avulla seuraavasti (1, s. 60.):

$$T_k = \left(T_{A1} + \sqrt{\frac{\lambda_2 \rho_2 c_{p2}}{\lambda_1 \rho_1 c_{p1}}} T_{A2} \right) \left(1 + \sqrt{\frac{\lambda_2 \rho_2 c_{p2}}{\lambda_1 \rho_1 c_{p1}}} \right)^{-1} \quad (2)$$

λ_1 on aineen 1 lämmönjohtavuus.

λ_2 on aineen 2 lämmönjohtavuus.

ρ_1 on aineen 1 tiheys.

ρ_2 on aineen 2 tiheys.

c_{p1} on aineen 1 ominaislämpökapasiteetti.

c_{p2} on aineen 2 ominaislämpökapasiteetti.

T_{A1} on aineen 1 lämpötila.

T_{A2} on aineen 2 lämpötila.

2.2 Konvektio

Konvektio on lämpöenergian siirtymistä väliaineen mukana, kun väliaine liikkuu. Väliaine voi olla joko nestettä tai kaasua esimerkiksi vesi tai ilma. Konvektiosta esiintyy vapaata konvektiota ja pakotettua konvektiota. Vapaassa konvektiossa virtaus syntyy lämpötilojen aiheuttamasta tiheyserosta. Väliaineen tiheys muuttuu, kun se osuu pintaan, jolla on eri lämpötila kuin väliaineella. Kuumempi väliaine nousee ylöspäin ja kylmempi väliaine laskee alaspäin. Pakotetussa konvektiossa virtaus aiheutuu ulkoisesti muodostetulla paine-erolla esimerkiksi pumpulla. (1, s. 4; 2. s. 43.)

2.3 Lämpösäteily

Lämpösäteily on sähkömagneettista säteilyä. Lämpösäteily ei tarvitse väliainetta, joten sitä ilmenee myös tyhjiössä. Säteily tapahtuu kiinteiden aineiden ja nesteiden pinnalta. Myös kaasuissa, joissa on enemmän kuin kaksi atomia tapahtuu säteilyä. Säteily voi heijastua pinnasta, läpäistä aineen tai absorboitua aineeseen. Aineet heijastavat, absorboivat ja läpäisevät säteilyä. Nämä ovat aineiden ominaisuuksia, ja niiden arvo voi olla korkeintaan yksi. Jos aine heijastaa täysin siihen kohdistuvan säteilyn, heijastuksen arvo on yksi ja muiden on oltava nolla eli näiden ominaisuuksien summan on oltava yksi. (1, s.189.)

Sähkömagneettiset aallot syntyvät varattujen hiukkasten värähtelystä. Sähkömagneettisessa säteilyssä tapahtuu lämmönsiirtymistä, kun sen aallonpituus on 0,75–100 µm. Lämpösäteilyn aallonpituus on yli näkyvän valon suurimman aallonpituuden 0,75 µm, minkä takia se ei ole näkyvää (1, s. 189; 3; 4, s. 15.). Wienin siirtymälaista ilmenee, että lämpötila vaikuttaa aallonpituuden suuruuteen. Aallonpituus pienenee lämpötilan noustessa ja kasvaa lämpötilan laskiessa. Wienin siirtymälaki on kaavassa 3 (4, s. 14.):

$$T\lambda_{max} = b \quad (3)$$

λ_{max} on säteilyn intensiteettimaksimia vastaava aallonpituus.

T on säteilevän kappaleen lämpötila.

b on Wienin siirtymislain vakio.

Emissiivisyys on parametri, jonka suuruus määrää pinnan säteilemän ja vastaanottaman lämmön suuruuden. Emissiivisyys vaihtelee 0–1 välillä, missä mustalla kappaleella luku on yksi. Pinnat, joiden emissiivisyys on mahdollisimman lähellä yhtä, vastaanottavat ja säteilevät lämpöä parhaiten. Taulukossa 1 esitetyistä emissiivisyyksistä voidaan huomata, että metallien kyky vastaanottaa lämpöä on huono. Sen vuoksi esimerkiksi paneelien pinnat ovat maalattu vain siltä puolelta, josta säteilyä halutaan. Tällä tavoin säteilyenergia voidaan kohdistaa oikeaan paikkaan ja välttää säteilyn kohdistuvan esimerkiksi katossa oleviin elementteihin. (5, s. 17–18.)

Taulukko 1. Esimerkkejä erilaisten pintojen emissiivisyyksistä (5, s. 18).

Alumiini, kiiltäväksi valssattu	0,04
Kupari, kiillotettu	0,03
Lasi	0,94
Puu (pyökki)	0,94
Tiili rapattu	0,93
Betoni	0,88
Valkoinen maali	0,95
Mattapintainen musta maali	0,97

Pinnan säteilyn voimakkuus eli intensiteetti kuvaa säteilyn kuljettaman energian määrää pinta-alayksikön läpi aikayksikössä, mikä voidaan laskea seuraavasti kaavan 4 mukaan (4, s. 9; 6, s. 11.):

$$I = \varepsilon\sigma T^4 \quad (4)$$

ε on emissiivisyys.

σ on Stefan-Boltzmannin vakio

T on kappaleen pinnan lämpötila kelvineinä.

Kun pinnan lämpötila koko pinta-alaltaan ja emissiivisyys ovat vakioita, voidaan laskea säteilyteho seuraavasti kaavalla 5 (6, s. 15.):

$$P = \varepsilon\sigma T^4 A \quad (5)$$

ε on emissiivisyys.

σ on Stefan-Boltzmannin vakio

T on kappaleen pinnan lämpötila kelvineinä.

A on säteilevän pinnan pinta-ala.

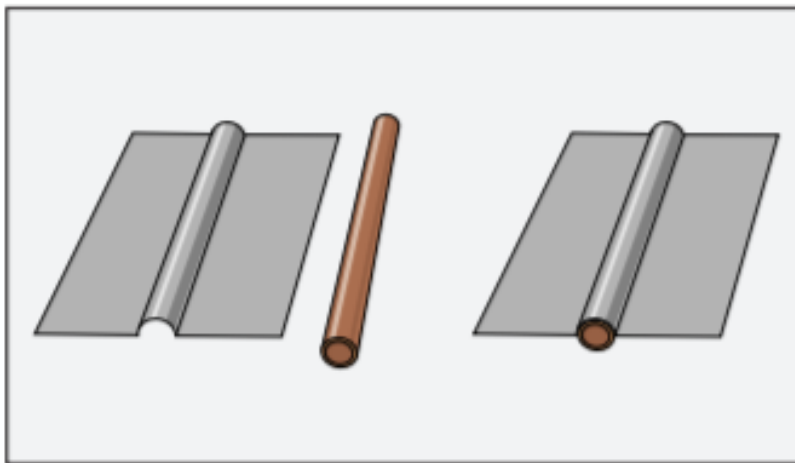
3 Jäähdytys- ja lämmityspaneelit

Virtaavan veden lämpötila lämmittää tai jäähdyttää paneelin pinnan. Niiden lämmönsiirto menetelmä perustuu lämpösäteilyyn eli lämmityksessä paneeli lähettää ja jäähdytyksessä vastaanottaa säteilyä. Paneelin lähettämä säteily lämmittää huoneessa olevia pintoja, joista puolestaan lämpöä siirtyy huoneilmaan, kun pintojen lämpötila nousee yli huoneen lämpötilan. Säteilyn ansiosta paneeleita voidaan käyttää myös korkeissa tiloissa. (7, s. 3–4; 8, s. 7; 9, s. 400.)

3.1 Paneelien rakenne

Jäähdytys- ja lämmityspaneelit ovat kattoon asennettavia elementtejä, joita käytetään rakennuksien lämmitysjärjestelmänä. Paneelien rakenne voi vaihdella eri valmistajien

kesken. Paneelien voidaan kuitenkin yleisesti sanoa koostuvan vesikiertoisista putkista ja säteilypinnasta, missä putket ovat kiinnitettynä säteilypintaan. Putken ja säteilypinnan liitoksissa on kolme mahdollista menetelmää. Putki voidaan kiinnittää valssamalla, luomalla profiili, johon putki laajennetaan tai se voidaan ruuvata, hitsata tai puristaa kuvan 1 mukaisesti. Eristämällä paneelin toinen puoli, voidaan sen tehoa parantaa, koska suurin osa säteilystä kohdistuu halutulle puolelle. Kattopaneelin tilanteessa säteily halutaan kohdistuvan alaspäin, jolloin paneelin yläpuoli eristetään ja estetään kattoon kohdistuva säteily. (5, s. 22–23; 7, s. 3.)



Kuva 1. Kattolämmittimen perusosat ja putken kiinnitys paneeliin (5, s. 22).

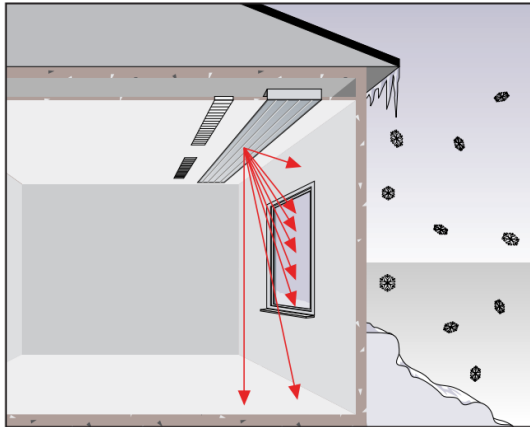
Paneeleita on yksi- ja kaksipiirisiä. Yksipiirisessä on vain yksi putkisto, joka kiertää paneelin eli siinä on meno- ja paluuedelle omat liitännät. Yksipiiristä paneelia voidaan käyttää vain lämmitys tai jäähdytystarkoitukseen. Kaksipiirisessä paneelissa on kaksi putkistoa, jossa on kaksi menoveden ja kaksi paluueden liitännää. Kaksipiiristä paneelia voidaan käyttää lämmitys ja jäähdytystarkoitukseen riippuen siitä, kumpaan on tarvetta. Paneelien kytkentätapoja ovat sarjaan- ja rinnankytkentä, joista molemmat voidaan toteuttaa sekä yksi- ja kaksipiirisessä paneelissa. (10)

3.2 Paneelien toiminta

Paneelin toiminta perustuu lämpösäteilyyn. Sen tarkoituksena on lämmittää tai jäähdyttää huonetta ja huoneessa olevia pintoja. Putkistossa virtaavan veden tarkoituksena on säätää paneelin lämpötilaa jäähdytys tai lämmitystarpeen mukaan. Paneelin lämpötilaa

voidaan alentaa säätöventtiilillä, joka rajoittaa virtaavan veden määrää putkistossa. (9, s. 400; 10.)

Lämmityspaneeleissa lämmin vesi kulkee putkistossa. Vedestä johtuu lämpöenergiaa putkiin ja putkista johtuu lämpöenergiaa paneeliin. Paneeli lähettää säteilyä huoneessa oleviin pintoihin, kuten kuvassa 2 on esitetty. Huoneessa olevat pinnat absorboivat osan säteilystä, mikä nostaa pintojen lämpötilaa. Kun huoneessa olevien pintojen lämpötila nousee suuremmaksi kuin huoneen lämpötila, alkavat ne luovuttamaan lämpöä huoneilmaan. Huoneessa olevat pinnat myös heijastavat säteilyä eteenpäin muihin huoneen pintoihin. Paneelien lämmönsiirrosta noin 60 % siirtyy säteilynä ja 40 % konvektiolla, jota esiintyy vain paneelin välittömässä läheisyydessä. (5, s. 6; 9, s. 400.)



Kuva 2. Paneelin lähettämä lämpösäteily kohdistuu pintoihin. (5, s. 7.)

Jäähdytystilanteessa lämmönsiirtymisestä noin 50 % tapahtuu konvektiona. Paneelin pinnan ja huoneilman välinen lämpötilaero aiheuttaa konvektiota, minkä takia huoneilma jäähtyy. Lämmönsiirtymisestä noin 50 % tapahtuu myös säteilynä, jossa huoneen pinnat lähettävät säteilyä paneelin pintaan, joka absorboi siihen kohdistunutta säteilyä. Paneelin pintaa pidetään viileänä putkistossa kiertävän kylmän veden avulla. Paneelin pinnan lämmitessä siitä johtuu lämpöenergiaa putkistoon, josta puolestaan siellä kiertävään veteen. (9, s. 400.)

Kylmälaskeuma on ilmavirtaus, joka syntyy, kun kylmä pinta jäähdyttää sitä vasten olevan ilman. Kylmä ilma virtaa pinnasta alaspäin ja sitä voidaan ehkäistä lämpimällä ilmavirtauksella ylöspäin esimerkiksi lämmönlähteellä pinnan alapuolella.

Säteilylämmityksen avulla ei voida poistaa, mutta voidaan ehkäistä kylmälaskeumaa. Kuten tässä luvussa on käynyt ilmi, paneelit lähettävät säteilyä pinnoille, joten se kohdistuu myös ikkunan pintaan. Säteilyä absorboituu ikkunaan, minkä takia ikkunan lämpötila kasvaa. Ikkunan pinnan lisäksi ikkunalaus ja ikkunasyvennys lämpenevät säteilyn ansiosta, mikä puolestaan ehkäisee kylmälaskeuman syntymistä. (5, s. 10–11, 18–19.)

Operatiivinen lämpötila tarkoittaa koettua lämpötilaa. Paneelien lähettämä säteily nostaa pintojen lämpötilaa, ja pinnat heijastava ja lähettävät säteilyä. Nämä voivat kohdistua suoraan huoneessa olevaan henkilöön, mikä nostaa operatiivista lämpötilaa. Säteilyn ansiosta huonelämpötilaa voidaan laskea alhaisemmaksi, mutta operatiivinen lämpötila pysyy vielä 1–2 °C huonelämpötilaa korkeampana. (5, s. 8, 18.)

3.3 Paneelien käyttökohteet

Paneeleita voidaan käyttää lähes millaisissa tahansa tiloissa. Paneelien toimivuuteen vaikuttaa asennettava paikka. Paneelit sopivat hyvin tiloihin, missä tarvitaan lämmitystä tai jäähdytystä siellä oleville henkilöille. Tällöin paneelien oikealla sijoittelulla voidaan kohdistaa lämmitys ja jäähdytys oikeaan paikkaan. Joissain tiloissa saattaa olla tarve pitää huoneilma viileänä. Tällöin paneeli voidaan sijoittaa paikkaan, jossa tilassa olevat henkilöt tarvitsevat lämmöntunnetta.

Kattoon asennettavat paneelit eivät vie tilaa lattialta tai seiniltä, joten tämä ei estä huoneen sisustuksen asettelua. Tilan korkeus voi kuitenkin vaikuttaa tehoon, jos paneelit asennetaan liian matalalle. Paneelin asennuskorkeus riippuu paneelin pinnan lämpötilasta ja koosta. Paneelin pinnan lämpötilan kasvaessa pitää asennuskorkeutta myös nostaa. Liian matalalle asennettu paneeli voi aiheuttaa tilassa olijalle epämieluisan tunteen. (5, s. 8.)

Paneeleita voidaan käyttää myös asuinrakennuksissa lämmitykseen ja jäähdytykseen. Paneelissa ei ole ilmavirtauksia aiheuttavia elementtejä, jonka takia epäpuhtaudet eivät pääse liikkumaan huoneistossa. Paneeleissa ei myöskään ole pintoja, jotka keräisivät epäpuhtauksia, joten niitä ei tarvitse puhdistaa. Lattialämmitysjärjestelmissä osa energiasta johtuu maahan, kun paneelit puolestaan säteilevät lämpöenergiaa ainoastaan

lattian pintaan. Paneeleiden etuna verrattuna muihin kattolämmitysjärjestelmiin on esimerkiksi, ettei energiaa kulu puhaltimien pyörittämiseen. (11.)

Huonoja asennuspaikkoja ovat esimerkiksi paikat, joissa on avoimia portteja. Portin kautta virtaa ilmaa, jota paneeli ei pysty lämmittämään tai jäähdyttämään. Myöskään korkeat kapeat tilat eivät ole parhaita asennuspaikkoja. Näissä tiloissa säteilystä suurin osa kohdistuu seiniin, eikä lattiaan, koska lattian pinta-ala säteilyalueesta on niin pieni verrattuna seinien pinta-alaan. (5, s. 8.)

4 Logiikkaohjelmointi ja makrot

Ohjelmitava logiikka on tietokone, joka on tarkoitettu koneiden ja prosessien ohjaamiseen. Ohjelmitavan logiikan osat tyypillisesti ovat keskusyksikkö, sisään- ja ulostulot, virtalähde ja ohjelmointilaite. Logiikat ohjelmoidaan niiden ohjelmointikielille etukäteen määritellyn standardin IEC 61131-3 mukaisesti. Tämä standardi on vahvistettu myös suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi SFS-EN 61131-3. Kyseinen standardi sisältää kolme tekstimuotoista ja kolme graafista ohjelmointikieltä. (12, s. 95;13, s. 4–6; 14.)

4.1 Muuttujat ja tietotyypit

Tietotyypit sisältyvät logiikkaohjelmoinnin kieliin. Niiden avulla määritellään muuttujien ominaisuuksia, kuten alkuarvo, arvoalueen tai bittien lukumäärän eli kuinka paljon tilaa se varaa logiikan muistista. Yleisimmät logiikkaohjelmoinnissa käytetyt tietotyypit ovat yhtäläistetty, jotta eri järjestelmillä työskentely olisi käytännöllisempää. IEC 61131-3 standardissa on määritelty perustietotyyppejä. Taulukossa 2 on esitetty perustietotyyppejä, mistä näkee, että tietotyyppejä on esimerkiksi kokonaislukuja, liukulukuja ja totuusarvoja. Tietotyypeistä on myös yleistietotyypit, joiden tarkoituksena on, että funktioiden sisään ja ulostulojen muuttujat voivat olla useampaa erilaista tietotyyppiä. Taulukossa 2 esitettyjen kokonaislukutietotyyppien yleistietotyyppi on esimerkiksi "ANY_INT", jolloin funktio sallii etumerkilliset ja etumerkittömät kokonaisluvut muuttujalta. (12, s. 74–76, 84–85.)

Taulukko 2. IEC 61131-3 standardin perustietotyyppejä (12, s. 76).

Boolean/ bit string	Signed integer	Unsigned integer	Floating point (Real)	Time, duration, date and character string
BOOL BYTE WORD DWORD LWORD	INT SINT DINT LINT	UINT USINT UDINT ULINT	REAL LREAL	TIME DATE TIME_OF_DAY DATE_AND_TIME STRING

Muuttujat ovat käyttäjän määrittämiä tunnuksia, joissa voidaan säilöä tietoa. Muuttujan ominaisuudet määräytyvät siihen määritetyn tietotyypin mukaan. Muuttujaa määriteltäessä sille annetaan nimi, tietotyyppi ja hattaessa alkuarvo. Muuttuja voidaan määrittää myös taulukoksi ja sille voidaan määrittää sijoituspaikka, eli voiko muuttujaa esimerkiksi käyttää muista ohjelmanosista. Muuttujat voidaan määrittää myös suoraan logiikan ja moduulien osoitteisiin. Määrittely alkaa prosentti merkillä. Seuraavana annetaan kirjain I, Q tai M, jotka kuvastavat sisääntuloa, ulostuloa ja muistia. Seuraavana voidaan halutessa antaa kirjain, joka kuvastaa totuusarvoista tai bittijonon tietotyyppiä. Mikäli tämän määrittelyn jättää, pois tietotyyppiä tulee automaattisesti bitti. Viimeisenä määrittelyssä tulee osoite, joka muuttujalle varataan. Esimerkiksi "%QD3.1" määrittää tuplasanatietotyypin moduulin kolme ulostuloon yksi. (12, s. 72–74, 85–87.)

4.2 Ohjelmointikielien

Standardi IEC 61131-3 sisältää kuusi ohjelmointikieltä. Käskylista, strukturoitu teksti ja sekvenssivuokaavio ovat tekstimuotoisia kieliä, joista sekvenssivuokaaviokieli on myös graafisessa muodossa. Graafisia kieliä on relekaavio, toimilohko ja aiemmin mainittu sekvenssivuokaavio. Tekstimuotoisissa kielissä ohjelman suoritus tapahtuu lausekkeilla, jotka sisältävät operaattoreita tai funktioita ja operandeja. Graafisissa kielissä ohjelman suoritus koostuu graafisista elementeistä, joita yhdistellään viivoilla. Viivat kuvastavat tiedon kulkua toimilohkojen ja funktioiden välillä (12, s. 95.).

Käskylista on rivipainotteinen tekstimuotoinen kieli. Tässä yksi rivi on logiikan suorittama käsky. Yksi käskyrivi koostuu tunnuksesta, suoritettavasta operaattorista tai funktiosta, yhdestä tai useasta operandista ja kommentista. Rivin tunnus ja kommentti ovat kuitenkin vapaaehtoisia, eikä näitä ole pakko laittaa. Esimerkkikoodissa 1 näkyy käskylistan

rakenne, missä vähintään yksi välilyönti erottaa operaattorin ja operandin toisistaan. Aluksi annetaan halutessaan tunnus, jota voidaan käyttää hyväksi, jotta tiettyyn ohjelma-kohtaan voidaan siirtyä muualta ohjelmasta. Ilman tunnusta olevat rivit suoritetaan vain järjestyksessä, eikä näihin voida siirtyä. Seuraavana annetaan operaattori tai funktio, jonka jälkeen operandi. Halutessaan riville voidaan antaa kommentti kaarisulkujen ja asteriskien sisään. (12, s. 96–97.)

Tunnus : Operaattori/Funktio Operandi (*Kommentti*)

Esimerkkikoodi 1. Käskylistaohjelmointikielen rakenne. (12, s. 96)

Strukturoitu teksti on korkeatasoinen tekstimuotoinen kieli. Sen korkeatasoisuus johtuu suuresta määrästä lauseita, joilla voidaan tehdä monimutkaisia rakenteita tiivistetysti. Siinä voidaan tehdä usea lause yhdelle riville erottamalla lauseet toisistaan puolipisteellä. Kommentit luodaan samalla tavalla kuin käskylistassa eli asettamalla kaarisulkeiden ja kahden asteriskin väliin mutta kommentti voidaan laittaa mihin kohtaan lausetta tahansa. Lauseita muodostetaan avainsanojen avulla, joita ovat esimerkiksi FOR eli toistolause ja IF, joka on valintalause. IF-valintalauseelle annetaan totuusarvo tietotyyppiä oleva arvo, jonka perusteella valinta tehdään.

Operaattoreita strukturoidussa tekstissä käytetään vertailuun, laskujärjestyksen ylläpitämiseen ja laskemiseen esimerkiksi "+"-merkki on operaattori. Niillä on tietty prioriteetti, missä järjestyksessä niitä käsitellään. Esimerkkikoodissa 2 näkyy strukturoidun tekstin rakenne, jossa aluksi luodaan muuttujat ja annetaan niille tietotyypit. Tämän jälkeen muuttujille sijoitetaan arvot. Sen jälkeen esimerkkikoodissa 2 toteutetaan "REPEAT" avainsanalla silmukkarakenne, jota toistetaan, kunnes muuttuja on saanut totuusarvon "FALSE". Silmukan sisällä jokaisella kierroksella sijoitetaan muuttujaan arvo "FALSE", minkä takia muuttuja saa jo ensimmäisen kierroksen aikana arvon "FALSE". (12, s. 111–114.)


```

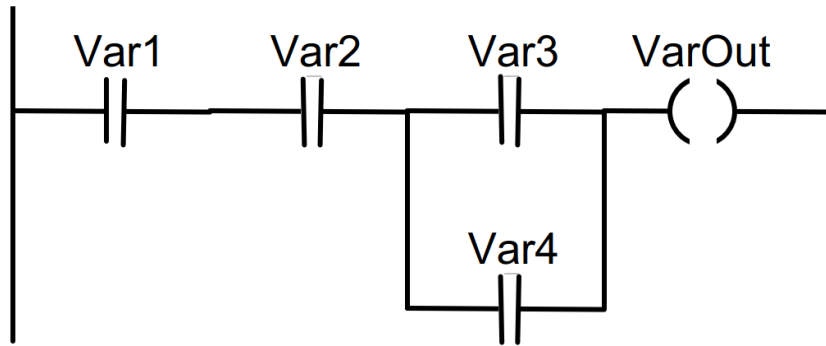
PROGRAM stexample
  VAR
    x : BOOL;
  END_VAR
  x := TRUE;
  REPEAT
    x:=FALSE;
  UNTIL x := FALSE;
  END_REPEAT;
END_PROGRAM;

```

Esimerkkikoodi 2. Strukturoidun tekstin rakenne. (15.)

Sekvenssivuokaavio on pääasiassa graafinen kieli, mutta se on myös tekstimuotoisena. Se koostuu verkostosta, minkä elementtejä kutsutaan askelmiksi ja siirtymisiksi. Askelman toimintoa toistetaan niin kauan, kun se pysyy aktiivisena. Siirtymä sisältää totuusarvo tietotyyppiä olevan arvon. Siirtymän saadessa arvo "TRUE", aiempi askelma muuttuu epäaktiiviseksi ja seuraava askel aktiiviseksi. Tämän avulla monimutkaiset ohjelmat voidaan pilkkoa pienempiin yksiköihin. Esimerkiksi astianpesukoneen pesuohjelma voi koostua esihuuhtelusta, pääpesusta ja huuhtelusta, mistä huomataan näiden olevan omia askelmiaan, jotka päättyvät esimerkiksi ajastimella. Verkostossa voi olla myös haaroja, jotka myöhemmässä vaiheessa yhdistyvät takaisin yhdeksi. Haara voi palata myös takaisin aiempaan askelmaan oman ehtonsa mukaisesti. Askelmia voidaan ohittaa asettamalla haaralle oma ehto ja kuljettamalla se haluttujen askelmien ohi. (12, s. 164–169.)

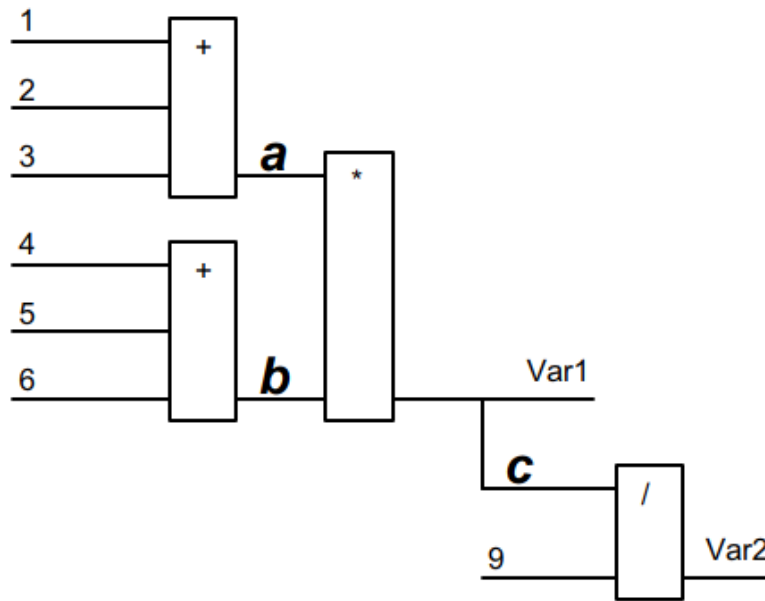
Relekaavio on graafinen ohjelmointikieli. Se perustuu sähkömekaanisiin relejärjestelmiin ja on suunniteltu käsittelemään totuusarvo tyyppisiä signaaleita, missä on tilat 1 ja 0, mitkä vastaavat "TRUE" ja "FALSE" arvoja. Se koostuu verkostosta, jossa on vasemmassa laidassa kisko, jolla on koko ajan arvo 1 ja oikeassa laidassa olevasta kiskosta. Oikeanpuoleisen kiskon tila riippuu siitä, läpäiseekö tila 1 kaikki elementit kiskojen välillä. Sen elementit voidaan yhdistää sarjaan kytkennällä, kuten kuvassa 3 on yhdistetty "Var1" ja "Var2" tai rinnankytkennällä, kuten kuvassa 3 on yhdistetty "Var3" ja "Var4". Sen graafisia objekteja ovat liitokset, siirtymäelementit, funktiokutsuelementit, koskettimet ja kelat. Liitokset yhdistävät elementtejä toisiinsa, kuten esimerkiksi kuvassa 3 "Var1" ja "Var2" ovat yhdistettyinä. Koskettimet joko päästävät tilan 1 läpi tai ei riippuen siitä, onko niiden muuttujan arvo tosi vai epätosi. Kelat sijoittavat oman tilansa perusteella muuttujan arvon tosi tai epätosi. Siirtymät ovat elementtejä, jolla voidaan antaa tieto johonkin toiseen ohjelmaosioon. Funktiokutsuilla voidaan kutsua jokin valmis funktio, joka suoritetaan, ja tämän ulostuloarvon perusteella jatketaan toimintaa. (12, s. 141–148.)



Kuva 3. Kuvassa on esimerkki relekaavio-ohjelmasta. Var1 – Var4 elementit ovat koskettimia ja VarOut elementti on kela. (12, s. 142).

Toimilohko on graafinen kieli, jossa ohjelma koostuu verkostoista. Verkostot koostuvat nimiöistä, kommenteista ja grafiikasta. Nimiö on tunniste, jonka avulla tiettyä verkostoa voidaan hakea. Kommentin aika ja muotoilu riippuu ohjelmointiympäristön tarjoamasta mahdollisuudesta, koska tämä ei kuulu IEC 61131-3-standardin määrittämiin. Verkoston grafiikka koostuu elementeistä, jotka ovat tiettyjä toiminnallisuuksia. Elementit yhdistetään liitosviivoilla, joita pitkin tieto kulkee ja sitä pystyy seuraamaan. Liitosviivat kulkevat elementistä toiseen, ja yksi tieto voidaan jakaa myös useaan elementtiin samanaikaisesti, kuten kuvassa 4 tieto kulkee "Var1"-muuttujaan sekä toiseen toimintolohkoon.

Elementit ovat suorakulmion muotoisia ja niitä kutsutaan toimintolohkoiksi. Toimintolohkoilla on sisään- ja ulostuloja. Sisääntuloihin voidaan kytkeä vakioarvo, toisen toimintolohkon ulostulo tai muuttuja, mikä antaa arvonsa sisääntulolle. Ulostuloon voidaan puolestaan kytkeä toisen toimintolohkon sisääntulo, jolle ulostulo antaa arvonsa tai muuttuja, johon ulostulon arvo sijoitetaan. Yksi elementti on myös siirtymä, jolla voidaan siirtyä toiseen ohjelmaosaan, mistä puolestaan voidaan palata takaisin aiempaan. Toimilohko-ohjelmoinnilla voidaan tehdä myös takaisinkytkentä, jossa jokin ulostulo viedään aiempaan sisääntuloon samassa verkostossa. Kuvassa 4 on toimilohko-ohjelmoinnin rakenne. Vasemmalla olevat vakioarvot toimivat sisääntuloina summatoimintolohkoille. Nämä lohkot antavat ulostulot a ja b, joista lasketaan tulo toimintolohkolla. Tämän ulostulo sijoitetaan muuttujaan "Var1" ja lisäksi viedään sisääntulona jakolaskun suorittavalle toimintolohkolle. Jakajana toimii vakioarvo yhdeksän ja tämä toimintolohkon ulostulon arvo, joka on kymmenen, sijoitetaan muuttujaan "Var2". (12, s. 128–137.)



Kuva 4. Kuvassa on esimerkki toimilohko-ohjelman rakenteesta. (12, s. 136.)

4.3 Bittiooperaatiot

Binääriperiaate perustuu ajatukseen kahdesta tilasta, jotka voivat olla esimerkiksi yksi ja nolla tai päällä ja pois päältä. Operaatiot toteutetaan logiikkafunktioilla, jotka tekevät päätöksen kumpi tila ulostuloon annetaan. Funktioilla on aina yksi tai useampi sisääntulo ja yksi ulostulo. Funktioissa tilan arvo yksi esittää signaalia tai jonkin tapahtuman esiintymistä ja arvo nolla esittää signaalin puutumattomuutta tai tapahtuman esiintymättömyyttä.

Peruslogiikkafunktioita ovat "AND", "OR" ja "NOT". Operaatioita on myös muita, jotka perustuvat kolmeen peruslogiikkafunktioon. Jokaisella näistä on tietyt säännöt, joiden mukaan ne päättävät ulostulon tilan. Ulostulojen tilat selviävät totuustauluista, joissa näkyy jokainen mahdollinen tila.

Logiikkafunktioiden säännöt ja sisääntulojen tilat määräävät ulostulon tilan eli totuusarvon. Tiloja on kaksi, joten totuusarvoja voi muodostua eri määrä riippuen sisääntulojen määrästä. Näistä voidaan luoda taulukko eli totuustaulu, joka esittää sisääntulojen tilat

ja niitä vastaavan ulostulon tilan. Totuustaulun koko kasvaa eksponentiaalisesti sisääntulojen määrän suhteen. (16, s. 21–23.)

Funktiolla "AND" on vähintään kaksi sisääntuloa. Sen ulostulon tila on yksi ainoastaan, kun kaikkien sisääntulojen tila on yksi. Jos yksikin sisääntulo on nolla, ulostulon tila on myös nolla. Taulukossa 3 on esitetty "AND"-funktion totuustaulu, missä A ja B ovat sisääntuloja ja Y on ulostulo. Siitä ilmenee aiemmin todettu, että "AND"-funktiolla voi olla ainoastaan yksi mahdollinen lause, milloin ulostulon tila on yksi.

Taulukko 3. Logiikkafunktion "AND" totuustaulu. (13, s. 73.)

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Logiikkafunktion "OR" sisääntulojen määrää ei ole rajattu, mutta ulostuloja on vain yksi. Se antaa tilan yksi, kun millä tahansa sisääntuloista on tila yksi. Ulostulon tila on nolla ainoastaan, kun kaikkien sisääntulojen tila on nolla.

Käänteisen tilan suorittaa "NOT"-funktio. Siinä on vain yksi sisääntulo ja yksi ulostulo. Sisääntulon tilan ollessa yksi, ulostulon tilaksi tulee nolla ja päinvastoin. Tätä funktiota voidaan hyödyntää esimerkiksi "OR"-funktiossa, jolloin tulee "NOR"-funktio. "NOR"-funktiossa ulostuloon on liitetty "NOT"-funktio, jolloin vain tilanteessa, kun kaikki sisääntulot ovat arvoa nolla, on ulostulon arvo yksi. (13, s. 72–76.)

4.4 Kiikut

Kiikkujen sisään ja ulostulojen tietotyyppin ovat totuusarvo tietotyyppiä. Sisääntuloja on kaksi, joista toinen on asettava ja toinen nollaaja. Asettava sisääntulo laittaa ulostulon päälle ja nollaava sammuttaa sen. Ne ovat toimintolohkoja, ja niiden toiminta perustuu pitopiireihin, jotka pitävät ulostulon tilan päällä, vaikka asettava sisääntulo olisi

sammuksissa. Kiikussa joko asettava tai nollaava sisääntulo voi olla dominoiva. Asettavan ollessa dominoiva ulostulo ei sammuu, mikäli molemmat sisääntulot ovat päällä. Nollaavan ollessa dominoiva ulostulo sammuu tai pysyy kiinni aina, kun nollaava sisääntulo on päällä. Ulostulo menee uudestaan päälle, kun nollaava sisääntulo on pois päältä ja asettava käväisee tai pysyy päällä. (12, s. 217–220.)

4.5 Liipaisut

Liipaisut ovat toimintolohkoja, joita on kahta tyyppiä. Nouseva reuna tunnistaa reunan, kun sisääntulon tilassa havaitaan muutos tilasta nolla tilaan yksi. Ulostulon tilan ollessa nolla ja nousevan reunan havaittuaan muuttuu ulostulon tila yhdeksi. Ulostulon tilan ollessa yksi ja nousevan reunan havaittuaan tila vaihtuu nollaksi. Laskeva reuna on toinen liipaisu tyyppi. Tässä toiminta on sama, mutta se havaitsee laskevat reunat, eli, kun sisääntulon tila muuttuu yhdestä nollaksi. (12, s. 221–222, 360.)

4.6 Ajastimet

Ajastimet ovat toimintolohkoja, joissa ulostulo käynnistyy tai sammuu viiveellä. Yleiset ajastimet ovat päälle-viive, sammutusviive ja pulssintuottaja. Ajastimissa on totuusarvo ja time-tietotyyppisiä olevat sisääntulot ja ulostulot. Totuusarvotyyppiä olevaan sisääntuloon annetaan muuttuja tai toisen toimintolohkon ulostulo, joka käynnistää ajastimen. Time tietotyyppiä olevaan sisääntuloon annetaan aika, jonka ajastin laskee ja tätä tietotyyppiä oleva ulostulo näyttää lasketun ajan. Totuusarvotietotyyppin ulostulo antaa tilan nolla tai yksi riippuen, ajastimen tilasta ja siitä, mikä ajastin on käytössä.

Ulostulon tila riippuu sisääntulon tilasta ja ajastimen lasketusta ajasta ja tyyppistä. Jos halutaan viivyttää ulostulon tilan muutosta yhdeksi, pitää käyttää ajastinta, joka hidastaa päälle-viivettä. Kun ajastin saa totuusarvotyyppiä olevaan sisääntuloon tilan yksi, aloittaa ajastin laskemaan aikaa time sisääntuloon asetetun ajan verran. Jos sisääntulon tila muuttuu kesken laskun tilaan nolla, ajastin keskeyttää laskemisen. Kun asetettu aika on kulunut, totuusarvo tietotyyppin ulostulo asetetaan tilaan yksi.

Ajastin, joka käyttää sammutusviivettä, asettaa ulostulon heti tilaan yksi, kun totuusarvo tyyppiä oleva sisääntulo muuttuu tilaan yksi. Kun tämä sisääntulo muuttuu tilaan nolla aloittaa ajastin laskemisen, jonka loputtua se vaihtaa totuusarvo tietotyyppiä olevan ulostulon tilan nolnaan. Ajan laskeminen keskeytyy, jos sisääntulon tila muuttuu ajanlaskun aikana takaisin tilaan yksi.

Pulssin tuottaja vaihtaa ulostulon tilan yhdeksi ja käynnistää ajastimen, kun totuusarvo-tietotyyppiä oleva sisääntulo muuttuu yhdeksi. Ulostulon tila pysyy yhtenä, kunnes ajastin on laskenut sille annetun sisääntulon ajan. Pulssin pituus ei muutu, jos ajastimen käynnissä olon aikana totuusarvo tietotyyppiä oleva sisääntulon tila vaihtuu nolaksi ja takaisin yhdeksi. Ajastin ei myöskään tuota pulssia heti edellisen pulssin perään, jos edellä mainitun sisääntulon tila on muuttunut nolnan ja yhden välillä kesken ajastimen laskemisen. (12, s.320–321.)

4.7 Laskurit

Laskuritoimintolohkoja on ylöspäin laskevia, alaspäin laskevia ja ylös sekä alaspäin laskevia. Laskurit voivat olla erilaisia riippuen ohjelmointiympäristöstä. Laskureissa kuitenkin on vähintään oltava totuusarvo tietotyyppiä oleva sisääntulo, joka antaa laskurille luvan laskea ylös tai alaspäin. Laskurilla on oltava myös nollaava sisääntulo, joka on totuusarvotietotyyppiä. Sisääntulon tilan muuttuessa nolasta yhdeksi, nollaantuu laskurin ulostulon arvo. Alaspäin laskevalla laskurilla on oltava lisäksi kokonaislukutietotyyppiä oleva sisääntulo, mille annetaan arvo, josta laskeminen aloitetaan. Ylöspäin laskevalla laskurilla voi olla myös tämä sama sisääntulo, joka toimii silloin yläraja-arvona laskurille. Laskurin arvo näkyy kokonaislukutietotyyppiä olevassa ulostulossa. Laskureissa voi olla myös totuusarvotietotyyppiä oleva ulostulo, joka saa tilan yksi, kun laskuri saavuttaa tavoitearvonsa. (13, s. 204–206.)

Ylöspäin laskeva laskuri lisää laskurin arvoon aina yhden, kun laskurin aktivoiva sisääntulo saa tilan yksi. Laskuri ei kasvata arvoaan, jos aktivoiva tila pysyy yhdessä, arvo on jo tavoitearvossaan tai aktivoiva tulo siirtyy yhdestä nolaksi. Jos laskuri on jo tavoitearvossaan, se täytyy nolata, jotta sitä voidaan vielä käyttää. Alaspäin laskevan laskurin toiminta on sama, mutta laskuri aloittaa sille asetetusta arvosta ja tavoittelee nolaa. Kun laskurin sisääntulossa havaitaan nouseva reuna, vähenee laskurin arvo yhdellä. Ylös- ja

alaspäin laskevan laskurin toiminta on vain yhdistetty kahdesta laskurista. Laskurilla on vähentävä sisääntulo ja lisäävä sisääntulo, jotka vähentävät ja lisäävät laskurin arvoa. (12, s. 318; 13, s. 206, 214–216.)

4.8 Matemaattiset toiminnot

Matemaattiset toiminnot ovat funktioita, joilla voidaan toteuttaa matemaattisia laskuja. Yleiset funktiot ovat yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolasku. Myös muita funktioita voi olla riippuen ohjelmointiympäristöstä, kuten esimerkiksi neliöjuuren laskeminen. Edellä mainituissa funktioissa on oltava kaksi sisääntuloa, joilla on jokin numeerinen arvo, eli tietotyyppin on oltava numeerinen. Ulostuloja on yksi, joka on tietotyyppiltään numeerinen ja antaa ulostuloon lasketun arvon tuloksen. (13, s.304–305.)

4.9 Makrot

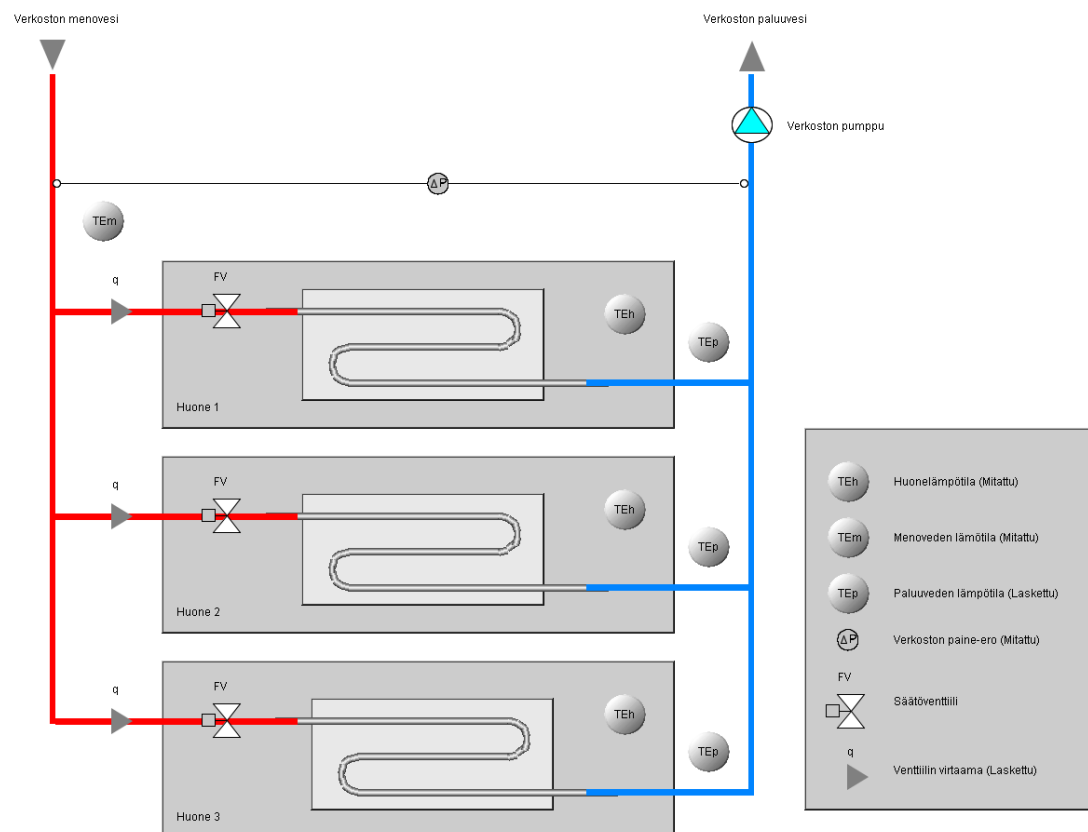
Makrot ovat valmiiksi ohjelmoituja ohjelman osia, joiden avulla voidaan nopeuttaa ohjelmointia. Se sisältää tietyn ohjelman, joka voidaan esittää vain yhtenä lohkona. Niiden avulla on helppo toistaa yhtäläisyyksiä, jotta ohjelmaan ei tule toistoja ja ohjelmaa on helpompi ymmärtää. Makrot ovat toisin sanoen johdettuja toimintolohkoja. Makron toiminta riippuu siitä, minkälainen ohjelman siihen on tehty. Myös sisääntulojen ja ulostulojen määrä ja tietotyypit riippuvat makron sisällöstä. Kun makroa halutaan käyttää ohjelmassa, sille annetaan vaaditut sisääntulot ja linkitetään muuttuja tai jokin toinen toimintolohko sen ulostuloon tai ulostuloihin. (12, s. 275–276; 17, s. 173.)

5 Paneelien teholaskelma

5.1 Lämmitys ja jäähdytyspaneelijärjestelmä

Säteilypaneelit saavat niissä virtaavan veden rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmistä. Näissä järjestelmissä on säteilypaneeleille oma vesiverkosto, joka säätää menoveden lämpötilan paneeleille oikeaksi. Säteilypaneeliverkostosta vesi jakautuu rakennuksessa oleville paneeleille. Jokaisen paneelin virtaamaa hallitaan säätöventtiilillä, jota

puolestaan hallitaan venttiilimoottorilla. Huonesäädin mittaa huoneen lämpötilaa, jonka perusteella säätää venttiilimoottoria. Kuvassa 5 on esitetty säteilypaneeliverkoston tulo- ja paluuvesi, joka jakautuu kolmen huoneen paneeleille. Jokaisella huoneella on omat huonesäätimet ja säätöventtiilit. Työssä selvitettiin, miten saa laskettua jokaisen huoneen paneelin paluuveden lämpötilan, jolloin saatiin laskettua huoneen paneelin kuluttama teho.



Kuva 5. Säteilypaneeliverkoston jakautuminen huoneisiin.

5.2 Virtaama

Työssä käytettiin Belimon C215Q-F-, C215Q-J- ja C220Q-K-säätöventtiileitä. Venttiilimoottoreissa on maksimivirtaaman rajoitusmahdollisuus, joka kääntää venttiilin karaa vain tiettyyn kulmaan. Tätä varten saatiin venttiilivalmistajalta tiedot, mikä on venttiilin kulma rajoitusta kohden ja maksimivirtaaman suuruus rajoitusta kohden.

Venttiili säätyy 0°–90° välillä, missä nolla astetta on täysin kiinni ja 90 astetta täysin auki. Säättöprosentti on lineaarinen venttiilin avautumiskulmaan nähden. Taulukossa 4 näkyy järjestyksessä ylhäältä alas venttiilin C215Q-F rajoitusasento, rajoitusta vastaava avautumiskulma, avautumiskulmaa vastaava säättöprosentti pyöristettynä ja näitä vastaava maksimivirtaama kuutiona tuntia kohden. Taulukossa 4 rajoitukset kuvaavat numeroa, joka löytyy venttiilimoottorista, missä X tarkoittaa, ettei rajoitusta ole käytössä.

Taulukko 4. Virtaaman suuruus avautumiskulmaan nähden.

Rajoitus		1	2	3	4	5	6	N	X
Avautumiskulma	0°	37,5°	45°	52,5°	60°	67,5°	75°	82,5°	90°
Säättö %	0	42	50	58	67	75	83	92	100
Virtaama m ³ /h	0	0,09	0,14	0,2	0,3	0,48	0,72	1,0	1,2

Excelissä voitiin luoda kuvaaja taulukon 4 säättöprosentin ja virtaaman avulla. Kuvassa 6 on esitetty sinisellä käyrällä venttiilin C215Q-F virtaama säättöprosentin mukaan, missä virtaama on esitetty säättöprosentin suhteen. Excelin avulla olisi voitu luoda suoraan kaava virtaaman laskemiselle säättöprosentin mukaan, mutta tämä antoi negatiivisia lukuja tietyllä säättöprosentilla, joten kaava jouduttiin hylätä. Rajoitus 2:ssa esimerkiksi maksimisäättöprosentti on 50 %. Tällöin säättöprosentti pitää suhteuttaa 0–100 % välille eli luodaan sille 0,5 kerroin. Virtaamalle kuutiona tunnissa säättöprosentin mukaan saatiin luotua kaava, kun arvioitiin, että käyränsovitusta saadaan toteutettua kolmannen asteen funktiolla.

$$q_{h100} = k_v(0,01Sk_s)^3 \quad (6)$$

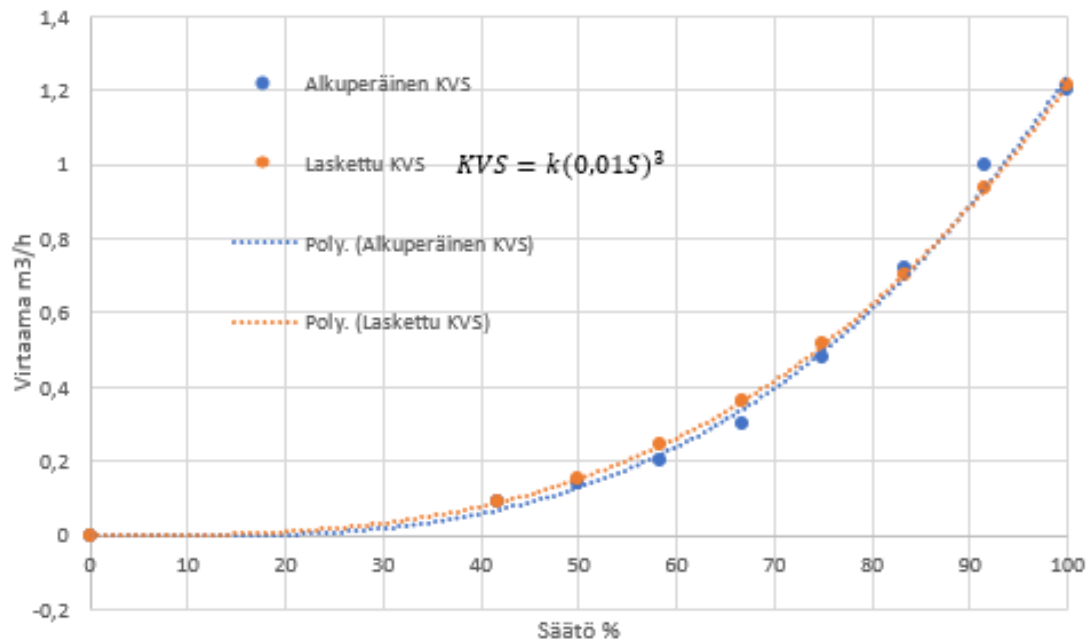
k_v on vakiokerroin venttiilille.

k_s on vakiokerroin säättöprosentille rajoituksen mukaan.

S on säättöprosentti.

Kaavassa 6 esiintyvän venttiilin kertoimen selvittämiseen käytettiin Excel Solveria jokaiselle venttiilille, jolla saatiin esimerkiksi venttiilille C215Q-F kerroin 1,21639. Samaa kaavaa ja menetelmää käytettiin kaikkiin kolmeen venttiiliin, joissa virheen neliöiden summat

jäivät riittävän pieneksi ja päästiin riittävän tarkkaan arvoon, joka ilmenee kuvasta 6 oranssista käyrästä.



Kuva 6. Alkuperäinen ja laskettu virtaama säätöprosentin mukaan venttiilille C215Q-F.

Säteilypaneelleille on oma vesiverkostonsa rakennuksen jäähdytys- tai lämmitysjärjestelmissä tai molemmissa riippuen käytetäänkö paneeleita lämmitykseen, jäähdytykseen tai molempiin. Venttiin valmistajan ilmoittama virtaama on annettu yli 100 kPa:n paine-erolla meno- ja paluueden välillä. Säteilypaneeliverkoston paine-eromittauksen avulla voidaan virtaama muokata halutulle paine-erolle kaavalla 7 (18, s. 7.):

$$q_{hv} = \sqrt{\frac{\Delta p_v}{\Delta p_{100}}} * q_{h100} \quad (7)$$

Δp_v on paneeliverkoston mitattu paine-ero.

Δp_{100} on paine-ero, jossa valmistajan virtaama on annettu

q_{h100} on virtaama 100 kPa:n paine-erolla

Kaava 7 kuvaa mitatulla säteilijäpaneeliverkoston paine-erolla, montako kuutiota vettä virtaa venttiin läpi tunnissa. Laskennan kannalta tämä on helpompaa muokata muotoon, kuinka monta litraa vettä virtaa venttiin läpi sekunnissa:

$$q_s = \frac{1000q_{hv}}{3600} \quad (8)$$

q_{hv} on virtaama mitatussa paine-erossa.

5.3 Paluuv veden lämpötila

Paluuv vedenlämpötilaa ei työssä mitattu. Se on kuitenkin yksi muuttuja paneelin tehon laskennassa. Paluuv veden lämpötilan ratkaisemiseksi tarvitaan paneelin pinnan ja huoneen välinen lämpötilaero. Paneelin pinnan lämpötilaa ei mitata mutta se voidaan olettaa meno- ja paluuv veden lämpötilojen keskiarvoksi. Tämän avulla paneelin ja huoneen välinen lämpötilaero voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta T_{hp} = \left| \frac{T_m + T_p}{2} - T_h \right| \quad (9)$$

T_m on menoveden lämpötila.

T_p on paluuv veden lämpötila.

T_h on huoneen lämpötila.

Lämpötilaeroa ei voitu laskea, koska paluuv veden lämpötilaa ei ollut mitattu ja tämä oli tarkoitus selvittää työssä. Kaavassa 9 on käytetty itseisarvoa, koska jäähdytystilanteessa lämpötilaerosta tulisi negatiivinen. Rakennuksen paneeleita suunniteltaessa niille annetaan mitoitusarvot. Mitoitusarvoja ovat, teho, virtaama, paneelin mitat sekä meno- ja paluuv veden lämpötilat. Mitoitusvirtaaman ja kaavalla 8 lasketun virtaaman avulla saadaan laskettua niiden suhde:

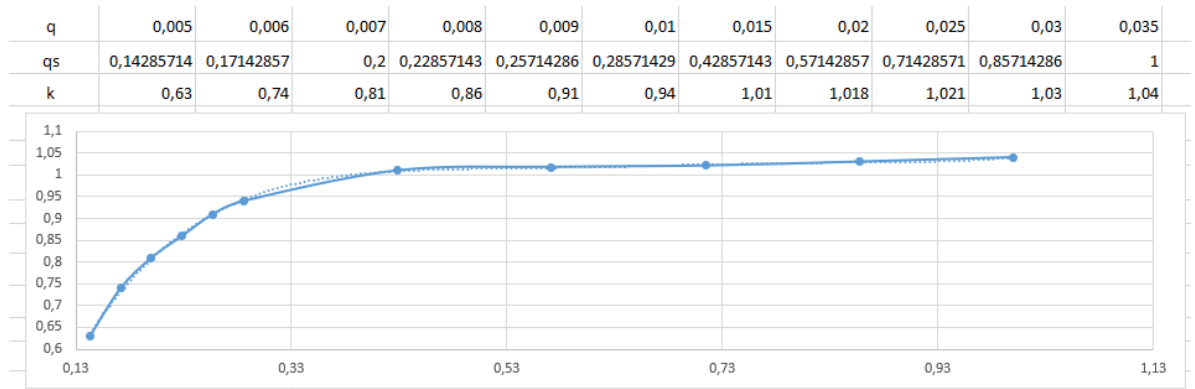
$$q_{suh} = \frac{q_s}{q_{mit}} \quad (10)$$

q_s on venttiiliin laskettu virtaama.

q_{mit} on venttiiliin mitoitusvirtaama.

Paneelivalmistajilta saadaan korjauskerroin tehon laskennalle. Korjauskerroin on esitetty kuvaajana, jossa esitetään korjauskerroin virtaaman funktiona. Lindabin Atrium Plana-paneelin korjauskerroinkuvaajan ja mitoitusvirtaamalla saatiin taulukoitua tiedot, jotka on

esitetty kuvassa 7. Ylimpänä kuvan 7 taulukossa on esitetty virtaama, seuraavana kaavalla 10 laskettu suhde, jossa mitoitusvirtaama on ollut 0,035 litraa sekuntia kohden ja alimpana korjauskertoimen. Lisäksi kuvassa 7 on esitetty kuvaaja korjauskertoimesta kaavalla 10 lasketun suhteen mukaan. (9, s. 407)



Kuva 7. Atrium Plana-paneelin virtaama, virtaaman ja mitoitusvirtaaman suhde ja korjauskertoimen.

Kuvassa 7 esitettyjen tietojen avulla voidaan tehdä käyränsovituksen avulla kaava 11. Kaavalla 11 voidaan laskea Lindabin Atrium Plana- paneelin korjauskertoimen kaavalla 10 lasketun suhteen avulla.

$$k_t = 9,51q_{suh}^5 - 33,02q_{suh}^4 + 45,04q_{suh}^3 - 30,17q_{suh}^2 + 9,97q_{suh} - 0,29 \quad (11)$$

q_{suh} on lasketun virtaaman ja mitoitusvirtaama suhde.

Kaavalla 14 saadaan laskettua paneelien teho. Mittausarvoilla ja suunnitelmien mitoitusarvoilla laskettujen tehojen suhde voidaan laskea kaavalla 12 hyödyntäen tehon kaavaa 14 ja virtaaman suhteen kaavaa 10.

$$\frac{P_t}{P_{mit}} = q_{suh} \frac{(T_m - T_p)}{T_{m,mit} - T_{p,mit}} \quad (12)$$

P_t on mittausarvoilla laskettu teho.

P_{mit} on mitoitusarvoilla laskettu teho.

T_m on menoveden lämpötila.

$T_{m,mit}$ on mitoitusarvo menoveden lämpötilasta.

T_p on paluueden lämpötila.

$T_{p,mit}$ on mitoitusarvo paluueden lämpötilasta.

q_{suh} on lasketun virtaaman ja mitoitusvirtaaman suhde.

Paneelin verkoston keskimääräinen lämpötila voidaan olettaa meno- ja paluueden lämpötilojen keskiarvoksi. Sen voi myös laskea kaavalla 13, joka on laskettu verkoston osakuormitusta hyödyntäen. (19, s. 50.)

$$\frac{T_m + T_p}{2} = \Delta T_{hp,mit} b^{\frac{1}{n}} + T_h \quad (13)$$

T_m on menoveden lämpötila.

T_p on paluueden lämpötila.

T_h on huoneen lämpötila.

$\Delta T_{hp,mit}$ on mitoitusarvo paneelin ja huoneen välisestä lämpötilaerosta.

b on osakuormitus.

n on paneelin lämmönluovutusekspONENTTI.

Osakuormitus on mittaus- ja mitoitusarvoilla laskettujen tehojen suhde. Kun ratkaistaan kaavasta 13 osakuormitus saadaan mittaus- ja mitoitusarvoilla laskettujen tehojen suhde laskettua kaavalla 14.

$$\frac{P_t}{P_{mit}} = \left(\frac{\Delta T_{hp}}{\Delta T_{hp,mit}} \right)^n \quad (14)$$

P_t on mittausarvoilla laskettu teho.

P_{mit} on mitoitusarvoilla laskettu teho.

ΔT_{hp} on paneelin ja huoneen välinen lämpötilaero.

$\Delta T_{hp,mit}$ on mitoitusarvo paneelin ja huoneen välisestä lämpötilaerosta.

n on paneelin lämmönluovutusekspONENTTI

Osakuormituksen kaavaan 14 on kuitenkin lisättävä kertoimeksi paneelin korjauskerroin, joka on laskettu kaavalla 11. Kaavalla 12 ja 14 voidaan laskea mittaus- ja mitoitusarvoilla laskettujen suhde, joten kaavat voidaan yhdistää ja kaavaan 14 lisätään kertoimeksi korjauskerroin. Yhdistetyistä kaavoista saadaan ratkaistua paluueden lämpötilalle kaava 15, joka on iterointikaava eli kaavaa toistetaan, kunnes päästään riittävän tarkkaan arvoon. (20)

$$T_p = T_m - k_t \left(\frac{(T_{m,mit} - T_{p,mit})}{q_{suh}} \right) \left(\frac{\frac{T_m + T_{parvio}}{2} - T_h}{\Delta T_{hp,mit}} \right)^n \quad (15)$$

T_m on mitattu menoveden lämpötila.

T_h on mitattu huonelämpötila.

T_{parvio} on alkuarvio paluueden lämpötilalle.

$T_{m,mit}$ on mitoitusarvo menoveden lämpötilasta.

$T_{p,mit}$ on mitoitusarvo paluueden lämpötilasta.

$\Delta T_{hp,mit}$ on mitoitusarvo paneelin ja huoneen välisestä lämpötilaerosta.

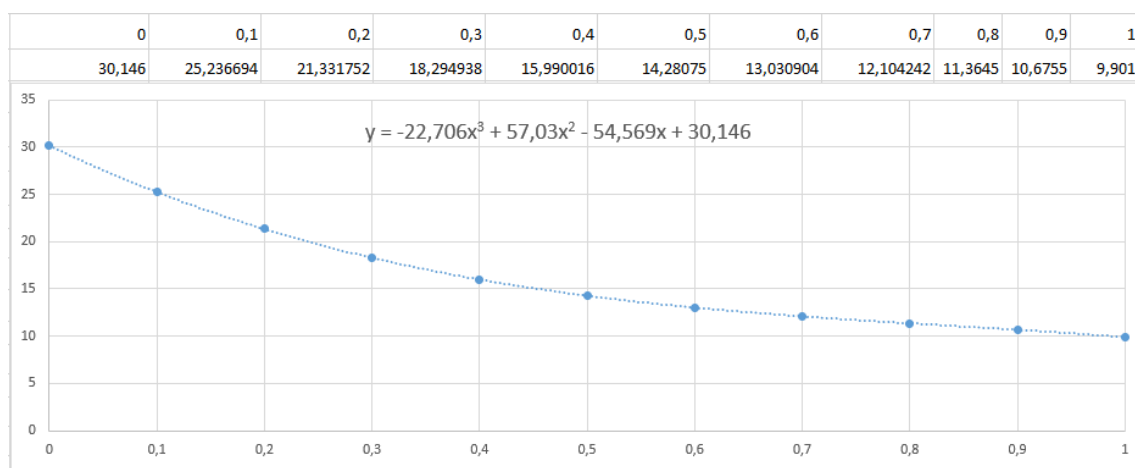
k_t on korjauskerroin.

q_{suh} on mitatun virtaaman ja mitoitusvirtaaman suhde.

n on paneelin lämmönluovutusekspONENTTI.

Jos korjauskerroin on alle 0,002, voidaan paluueden lämpötila olettaa olevan sama kuin huoneen lämpötila, koska tällöin myös virtaama on niin pieni, että paneeli ei kerkeä lämmentä huoneilmaa korkeammaksi. Kaavalla 15 laskettaessa täytyi ottaa huomioon, että paluueden lämpötila ei voi lämmitystilanteessa laskea alle huoneen lämpötilan. Työssä selvisi myös, että kaava toimii vain lämmitystilanteen laskemiseen ja jäähdytykselle tämä kaava pitäisi muokata omaan muotoonsa.

Paluueden lämpötilan laskemiseksi tarvitaan alkuarvio paluueden lämpötilasta. Paluueden alkuarvio saadaan laskettua menoveden lämpötilan ja meno- ja paluueden lämpötilaeron erotuksella. Kaavaa 15 on tarkoitus käyttää iteroimalla, mutta opinnäytetyössä ei logiikkaohjelmoinnissa iterointia saatu toteutettua. Excelissä iterointi onnistui, minkä avulla tehtiin esimerkkilaskuja eri virtaamilla. Kuvassa 8 on esitetty ylemmällä rivillä kaavalla 10 laskettu virtaamien suhde ja alemmalla esimerkkilaskuilla saatu tulos, joka kuvastaa meno- ja paluueden lämpötilaeroa. Kuvassa 8 on lisäksi kuvaaja meno- ja paluueden lämpötilaerosta.



Kuva 8. Esimerkkilaskuilla saadut tulokset ja kuvaaja meno- ja paluueden lämpötilaerolle.

Kuvassa 8 esitetyssä kaavassa "y"-muuttuja kuvastaa meno- ja paluueden lämpötilaeroa ja "x"-muuttuja kaavalla 10 laskettua virtaaman suhdetta. Kuvassa 8 esiintyvän kaavan avulla saatiin paluueden lämpötilalle arvio menoveden lämpötilan ja meno- ja paluueden lämpötilaeron erotuksesta. Kuvassa 8 esitetty kaava sijoitettiin lämpötilaeron paikalle, jolloin saatiin paluueden arvio esitettyä kaavalla 12.

$$T_{parvio} = T_m - (-22,706q_{suh}^3 + 57,03q_{suh}^2 - 54,569q_{suh} + 30,146) \quad (16)$$

T_m on mitattu menoveden lämpötila.

q_{suh} on lasketun virtaaman ja mitoitusvirtaaman suhde.

5.4 Teho ja energiankulutus

Paneelin putkissa virtaavan veden lämmönsiirto tapahtuu konvektion avulla. Paneelin hetkellinen teho saadaan meno- ja paluueden lämpötilaeron, ominaislämpökapasiteetin ja virtaaman avulla (14, s.8.):

$$P = cq_s |T_m - T_p| \quad (17)$$

c on veden ominaislämpökapasiteetti.

q_s on virtaama mitatussa paine-erossa.

T_m on menoveden lämpötila.

T_p on paluueden lämpötila.

Meno- ja paluueden lämpötilaerosta otetaan itseisarvo, koska jäähdytystilanteessa paluueden lämpötila on korkeampi ja näin vältytään negatiiviselta tehon arvolla. Kaava 14 kertoo paneelin hetkellisen tehon. Hetkellinen energia saadaan laskettua tehon ja ajan tulona. Kulutettu energia saadaan tällöin laskettua hetkellisen energian summana. Tehoa lasketaan ohjelmassa sekunnin välein, jolloin kulutetun energian kaavaksi saadaan:

$$E = \sum \frac{P}{3600} t \quad (18)$$

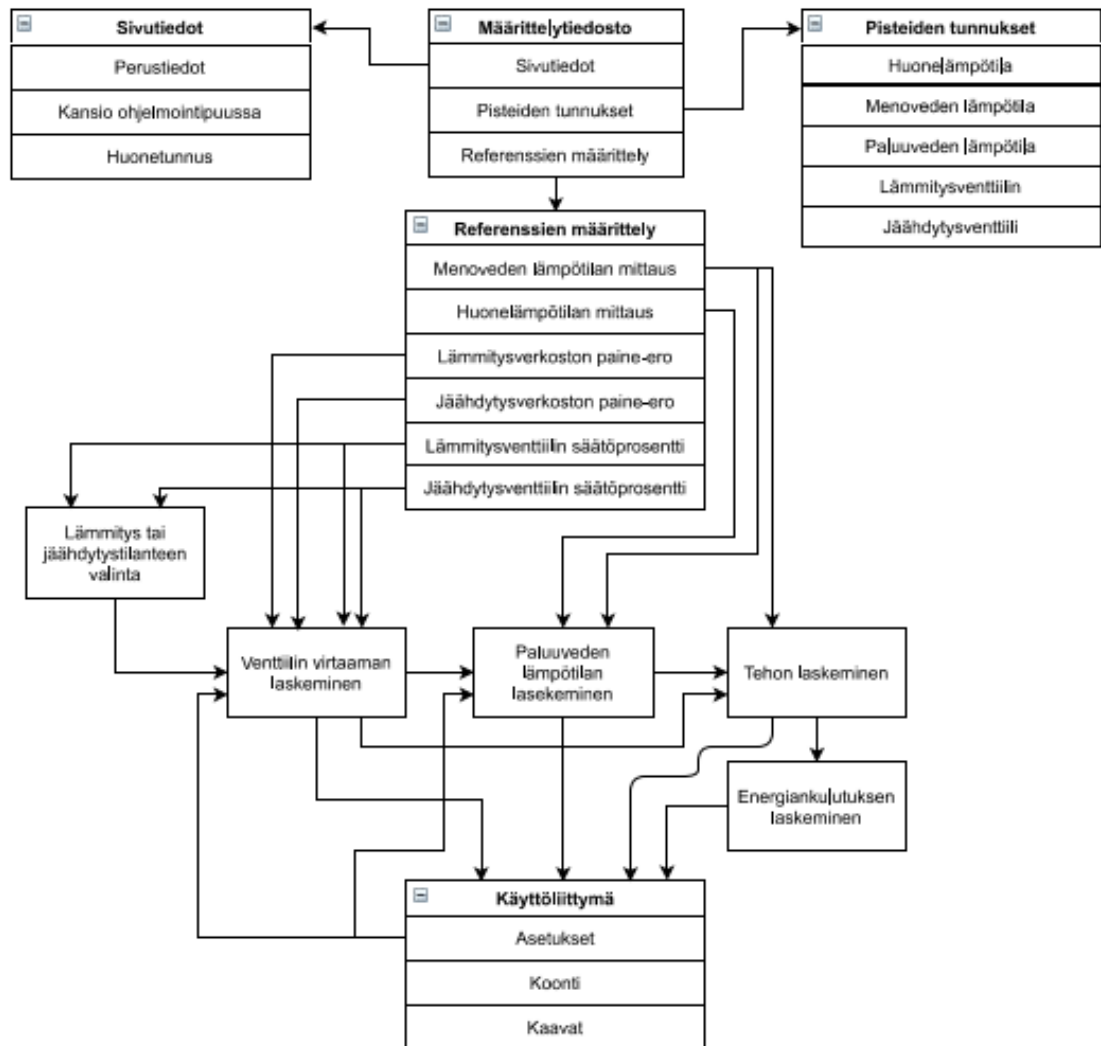
P on hetkellinen teho.

t on kulunut aika, joka on yksi sekunti.

6 Ohjelmamakron toteutus

Työssä luotiin ohjelmamakro Deos AG:n FUP XL 2-ohjelmointiympäristön avulla. Makron ohjelma tehtiin toimilohko-ohjelmointikielellä ja käyttöliittymä ohjelmointiympäristön tarjoamien työkalujen avulla. Makrolle tehtiin suunnitelma, jonka mukaan makron piti toimia. Kuvassa 9 on esitetty suunnitelma, joka alkaa määrittelytiedostosta ja päättyy käyttöliittymään.

Suunnitelma näyttää, mitä muuttujia ja tietoja jokainen vaihe pitää sisällään ja, mihin muualle tietoja käytetään. Suunnitelma kertoo, että makrolle luodaan määrittelytiedosto, jolle syötetään eri tietoja. Referenssien määrittelyssä saatuja ja käyttöliittymästä käyttäjän syöttämiä tietoja hyödynnetään laskemiseen. Makron on tarkoitus laskea hetkellinen virtaama säätöprosentin mukaan, paluuveden lämpötila, teho ja energiankulutus. Nämä laskujen tulokset ovat tarkoitus näkyä käyttöliittymässä.



Kuva 9. Makron rakenne.

6.1 Makron ohjelma

Makron luonti aloitettiin luomalla määrittelytiedosto. Määrittelytiedostoon luotiin mahdollisuus antaa huoneen, menoveden ja paluuveden lämpötilojen, lämmitysventtiilin sekä jäähdytysventtiilin tunnukset. Tunnusten lisäksi luotiin referenssit, joihin voidaan tuoda tietoa muualta ohjelmasta. Makroon itsessään ei liitetty huonesäädinohjelman ominaisuuksia, mistä johtuen sinne tarvitsee tuoda tiedot menoveden ja huoneen lämpötilasta ja lämmitys- ja jäähdytysventtiilin säätöprosentista tai vain toisesta, mikäli paneelissa ei ole molempia ominaisuuksia. Nämä referenssit näkyvät kuvassa 10, jonka vasemmassa alalaidassa olevat tekstit kuvaavat referenssin tunnusta ohjelmassa. Seuraavana annetaan vakioarvona nolla referenssille, jonka tilalle vaihdetaan toisen ohjelmaosan referenssi, joka syöttää makrolle esimerkiksi huonelämpötilan arvon. Viimeisenä puolipisteen jälkeen tulee kuvaus, mille mittaukselle tietoa syötetään.

```

; ^
; %% Sivutiedot ^
; ^
def_k      Arealtec Oy                ; Tilaaja
def_o      Laskenta\Muut             ; Kansion nimi ohjelmointipuussa
def_f      Paneelin tehonlaskenta     ; Makron kuvaus
def_p      ORY                       ; Suunnittelija
def_i      ; Lisätiedot
def_s      ; Järjestelmä
def_tit01  {def_f} ({def_h})         ; Sivun nimi
def_h      ; Huonetunnus

; ^
; %% Pisteiden positiot
; ^

def_ai01_t1 TE.{def_h}                ; Huonelämpötila
def_ai02_t1 TE.M.{def_h}              ; Menoveden lämpötila
def_ai03_t1 TE.P                      ; Paluuveden lämpötila
def_ao01_t1 LV.{def_h}                ; Lämmitysventtiilin säätö %
def_ao02_t1 JV.{def_h}                ; Jäähdytysventtiilin säätö %

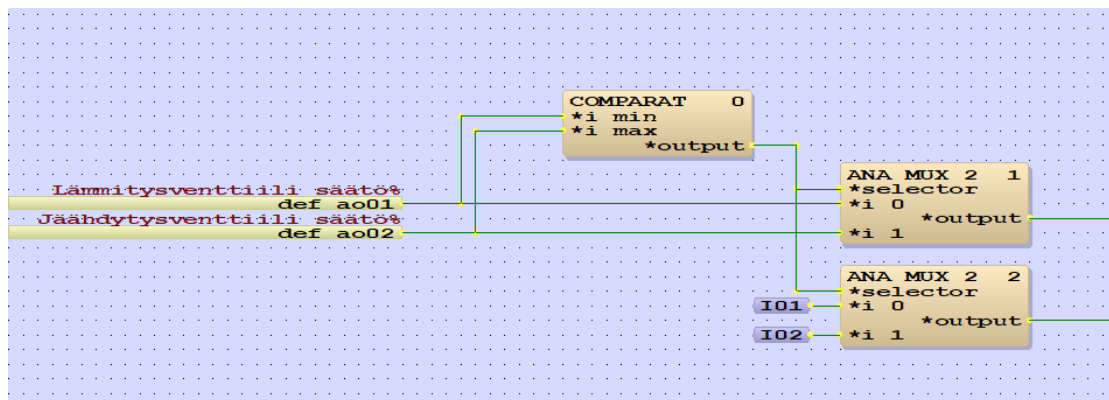
; ^
; %% Ristireferenssien määrittely (tietoa toisilta FUP-sivuilta) ^
; ^

def_ai01   const.f:fl_0                ; Huonelämpötilan mittaus [°C]
def_ai02   const.f:fl_0                ; Menoveden mittaus [°C]
def_ai03   const.f:fl_0                ; Lämmitysverkoston paine-ero [kPa]
def_ai04   const.f:fl_0                ; Jäähdytysverkoston paine-ero [kPa]
def_ao01   const.f:fl_0                ; Lämmitysventtiilin säätö [%]
def_ao02   const.f:fl_0                ; Jäähdytysventtiilin säätö [%]

```

Kuva 10. Makron määrittelytiedosto.

Määrittelytiedoston jälkeen makroon luotiin ohjelma. Ohjelma eriteltiin virtauksen laskentaan, paluuveden lämpötilan laskentaan, tehon laskentaan ja energiankulutuksen laskentaan. Venttiilin virtaaman laskemiseksi täytyi tehdä vertailu, jotta selviää, onko jäähdytys vai lämmitystilanne käytössä. Kuvassa 11 näkyy, että jäähdytys ja lämmitysventtiilien säätöarvoja verrataan, onko lämmitysventtiin säätö pienempi kuin jäähdytysventtiin. Tämän ollessa tosi käytetään jäähdytysventtiin säätöarvoa, oikeaa venttiin laskettua kerrointa ja oikean verkoston paine-eroa virtaaman laskemiseen. Paine-erolle tehtiin ominaisuus, jolla käyttäjä voi syöttää käsiarvot verkostojen paine-erolle. Ohjelmaan rakennettiin kaavat 6, 7 ja 8, joista saatiin venttiin virtaama litroina sekuntia kohti.

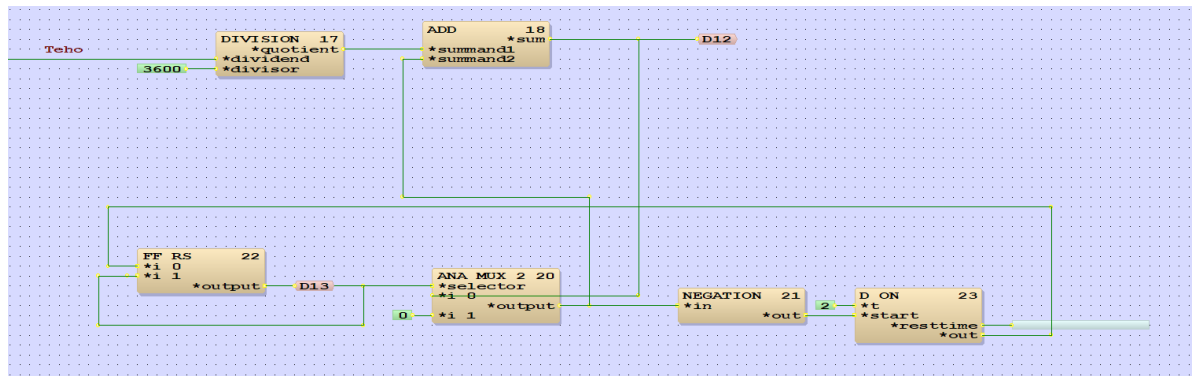


Kuva 11. Ohjelmaosa valitsemaan oikeat arvot virtaaman laskemiseen.

Ohjelmaan rakennettiin korjauskertoimelle ohjelma, jota muokataan projektikohtaisesti Excelistä saadun kaavan mukaiseksi. Ohjelmalle syötetään aluksi mitoitusvirtaama, jolla se laskee kaavan 10 mukaisesti lasketun virtaaman ja mitoitusvirtaaman suhteen. Hetkellinen suhteeksi saatu arvo syötettiin korjauskertoimen kaavaan 11. Lisäksi rakennettiin kaava 16 ohjelmaan, johon hetkellinen suhteeksi saatu arvo syötettiin.

Paluuveden lämpötilan laskemiseksi ohjelmaan tehtiin kaava 15 ja sille annettiin ominaisuudet, joissa käyttäjä voi syöttää mitoitusarvoja käyttöliittymästä. Ohjelmaan rakennettiin kaava 17, johon hyödynnettiin ohjelman laskemaa paluuveden lämpötilan arvoa. Energia saatiin laskettua kaavalla 18, ja ohjelmallisesti se täytyi toteuttaa takaisinkytkennällä. Kuten kuvassa 12 näkyy, laskettu energia tuodaan takaisinkytkennällä summaan, jolloin ohjelma lisää sekunnin välein lasketun energian edelliseen energian summaan. Energian laskemiseen tehtiin ominaisuus, jonka avulla voidaan nollata energianlaskenta. Kuvassa 12 näkyy "D13"-tunnuksella oleva elementti, joka lukee tiedon käyttöliittymästä,

onko nappi painettuna vai ei. Tämän jälkeen se asettaa ajastimen päälle ja pitää kahden sekunnin ajan itseään päällä, kunnes se sammuu itsestään.



Kuva 12. Energiankulutuksen laskentaohjelma.

6.2 Makron käyttöliittymä

Käyttöliittymäksi tehtiin kolme grafiikkasivua. Ensimmäiseksi luotiin asetussivu. Asetussivulle annettiin yleisiä asioita, jotka vaikuttavat laskentaan. Kuvassa 13 näkyy asetussivun käyttöliittymä. Yleiset asetukset kohdassa voi asettaa säätöprosentin suhteutuksen, mitoitusarvot ja nollata energiankulutus laskurin. Virtaaman asetuksissa annetaan jäähdytys ja lämmitysventtiileille kertoimet, jotka on laskettu käyttämällä luvussa 5.2 mainittua tapaa Excel Solverin avulla. Virtaamien asetuksissa on myös nappi, joka laittaa paineroasetukset näkyviin sen ollessa päällä. Tällöin painero-erot voidaan asettaa käsiarvoilla, jos mittauspistettä ei ole tuotu muualle ohjelmiin. Kaavat-painikkeesta pääsee siirtymään toiselle grafiikkasivulle.

Yleiset asetukset

Säätöprosentin suhteutus:

Mitoitus menovesi: °C

Mitoitus paluuvesi: °C

Mitoitus huonelämpötila: °C

Mitoitusvirtaama: l/s

Energian nollaus

Virtaama asetukset

Lämmitysventtiilin kerroin:

Jäähdytysventtiilin kerroin:

Verkostojen paine-ero käsin

Lämmitysverkoston paine-ero: kPa

Jäähdytysverkoston paine-ero: kPa

[Kaavat](#)

Kuva 13. Makron asetukset-sivu.

Toinen grafiikkasivu on koontikuva. Koonnin tarkoitus on, että se voidaan lisätä muualle ohjelmiin grafiikan koontisivulle, jossa näkyy kaikkien säteilijäpaneeleiden koonnit samalla sivulla. Kuvassa 14 on esitetty makron koontisivun grafiikka. Grafiikalla vasemmassa laidassa olevasta punaisesta laatikosta pääsee siirtymään makron asetussivulle. Seuraavana tuleva "def_h" lukee käyttäjän antaman huonenumeron, joka selkeyttää, mitä enemmän paneeleita rakennuksessa on. Lämmitys-teksti vaihtuu jäähdytystekstiksi, jos paneeli käyttää jäähdytystä. Seuraavina tietoina ovat venttiilin säätöprosentti, menoveden lämpötila, paluuveden laskettu lämpötila, huonelämpötila, venttiilin laskettu virtaama, teho ja energian kulutus.

 def_h · Lämmitys -### % -###.# °C -###.# °C -###.# °C -#.### l/s -###.# W -##### kWh

Kuva 14. Makron koontisivu.

järkevä lajitella esimerkiksi kerroksittain tai palvelualueittain. Kuvassa 16 on esitetty erään projektin esimerkki koontisivu, jossa makron toimivuutta testattiin. Projektissa oli yli 200 paneelia, joten koonnit olivat järkevintä lajitella palvelualueiden perusteella kerosjärjestykseen.

Y104	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,2 °C	21,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y101	Lämmitys	0 %	36,8 °C	22,2 °C	22,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y107	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,3 °C	21,3 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y105	Lämmitys	13 %	36,8 °C	36,2 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,1 W	0,6 kWh
Y107	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,3 °C	21,3 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y105	Lämmitys	13 %	36,8 °C	36,2 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,1 W	0,6 kWh
Y210	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,9 °C	21,9 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y208	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,0 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y207	Lämmitys	100 %	36,8 °C	33,0 °C	20,3 °C	0,013 l/s	214,5 W	200,5 kWh
Y206	Lämmitys	0 %	36,8 °C	22,4 °C	22,4 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y205	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,2 °C	21,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y204	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,1 °C	21,1 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y203	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,0 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y202	Lämmitys	99 %	36,8 °C	33,6 °C	22,1 °C	0,013 l/s	171,8 W	292,2 kWh
Y201	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,3 °C	21,3 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y310	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,0 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
Y309	Lämmitys	0 %	36,8 °C	22,2 °C	22,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X291	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,7 °C	20,7 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X311	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,4 °C	20,4 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X310	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,9 °C	21,9 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X308	Lämmitys	33 %	36,8 °C	34,6 °C	21,2 °C	0,000 l/s	4,6 W	0,9 kWh
X306	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,2 °C	21,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,5 kWh
X304	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,5 °C	20,5 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X303	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,2 °C	20,2 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X302	Lämmitys	0 %	36,8 °C	21,0 °C	21,0 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
X301	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,8 °C	20,8 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
V101	Lämmitys	100 %	36,8 °C	33,0 °C	20,3 °C	0,013 l/s	212,7 W	291,0 kWh
V105	Lämmitys	14 %	36,8 °C	36,8 °C	21,8 °C	0,000 l/s	0,0 W	41,6 kWh
V100	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,7 °C	20,7 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,0 kWh
V109	Lämmitys	55 %	36,8 °C	33,4 °C	21,8 °C	0,009 l/s	129,4 W	378,1 kWh
V110	Lämmitys	0 %	36,8 °C	20,6 °C	20,6 °C	0,000 l/s	0,0 W	0,5 kWh

Kuva 16. Projektin tehonlaskentamakrojen koontisivu.

Paneelien tehonlaskentamakro on tulevaisuudessa järkevintä linkittää suoraan huonesäädinohjelmamakroon. Tässä tapauksessa, kun luodaan huonesäädin ohjelma sen makrosta, luo se myös paneelien tehonlaskentamakron samalla kertaa. Tällöin oikean makron oikeat mittaustiedot ovat suoraan linkitettyinä tehonlaskentamakroon ja tehonlaskentamakron koonnin osia voi olla suoraan huonesäädinkoonnin sivulla. Tällöin ei tarvita kahta erillistä koontisivua. Myös ohjelmien tekemisessä säästyy runsaasti aikaa, kun ei tarvitse luoda aluksi huonesäädin- ja tehonlaskentaohjelmaa ja tämän jälkeen linkittää tietoja toisiinsa. Testausprojektissa tätä ei tehty, koska huonesäädinohjelmat olivat valmiiksi jo luotuja, joten referenssien linkitys kesti kauan. Makrolle tehtiin varaukset jäähdytystilannetta varten. Kun jäähdytystilanteesta on saatu ratkaistua oikea kaava paluuveden lämpötilalle, voi ohjelmoija lisätä kaavan suoraan makroon. Tämä helpottaa ohjelmoijan työtä, ettei tarvitse aloittaa kaikkea työtä alusta.

7 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli ratkaista laskukaava jäähdytys- ja lämmityspaneelien tehon ja energiankulutuksen laskemiseksi. Tavoitteena oli myös luoda ohjelmamakro, joka laskee tehon ja energian kulutuksen. Makrossa oli tarkoitus käyttää kaavoja, jotka saatiin työssä ratkaistua.

Työssä kerrottiin aluksi teoriaa lämmönsiirtymisestä, paneeleista ja logiikkaohjelmoinnista. Seuraavana työssä selvitettiin ratkaisua, miten saadaan laskettua tarvittavat lähtötiedot tehon ja energiankulutuksen laskemiseksi. Laskentakaavojen selvittyä rakennettiin ohjelmamakro, hyödyntäen ratkaistuja kaavoja.

Työssä täytyi aluksi saada selville virtaama säätöprosentin mukaan. Seuraavaksi ratkaistiin paluuveden arvioitu lämpötila. Virtaamaa ja paluuveden lämpötilaa käytettiin tehon laskemiseen, jota puolestaan energiankulutuksen laskemiseen. Työssä selvisi, että kaava ei toimi kuin lämmitystilanteessa, joten tavoitteisiin ei päästy jäähdytystilanteen osalta. Ohjelmamakrolle tehtiin suunnitelma, jonka mukaan ohjelma tehtiin. Ohjelman rakentamisessa käytettiin hyödyksi kaavoja, jotka oli työssä saatu ratkaistua. Makron ohjelmaan tehtiin varaus jäähdytystilannetta varten, jottei makroon tarvitse kuin lisätä kaava, kun jäähdytystilanteessa toimiva kaava löytyy. Makrolle saatiin lisäksi luotua käyttöliittymä. Kaikki vaadittavat asiat saatiin makroon toteutettua, sen osalta kaikki tavoitteet saavutettiin.

Työssä ei saatu ratkaistua kaavaa jäähdytystilanteelle, jolla saataisiin laskettua arvioitu paluuveden lämpötila ja tätä kautta teho ja energiankulutus. Makroon tehtiin varaukset jäähdytystä varten, joten kaavan ratkaiseminen ja sen lisääminen makroon jäi kehitysehdotukseksi työstä. Lisäksi makrosta jäi kehitysehdotuksena linkittää se suoraan huonesäädinmakroon, jolloin makroa luodessa ei mene aikaa oikeiden referenssien yhdistämiseen, vaan ne on tuotu automaattisesti.

Lähteet

- 1 Von Böckh, Peter & Wetzel, Thomas. 2012. Heat Transfer. Springer.
- 2 Hatakka, Jukka; Saari, Heikki; Sirviö, Jarmo & Viiri, Jouni. 2012. Physica 2. Sanoma Pro Oy.
- 3 Kuusela, Tom. 2015. Mihin käytetään infrapunavaloa? Verkkoaineisto. <<https://www.aka.fi/tietysti/kysy-tieteesta/mihin-kaytetaan-infrapunavaloa/#9d94b418>> Luettu 24.03.2021.
- 4 Hatakka, Jukka; Saari, Heikki; Sirviö, Jarmo; Viiri, Jouni & Yrjänäinen, Sari. 2014. Physica 8. Sanoma Pro Oy.
- 5 Kattolämmityksen opas. Verkkoaineisto. Oy Lindab Ab. <<http://www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Kattol%C3%A4mmitys.pdf>>. Luettu 30.12.2020.
- 6 Ikonen, Kari. 2013. Säteilylämmönsiirron laskennasta. Espoo: VTT. <<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T116.pdf>>. Luettu 30.12.2020.
- 7 Technical Information Radiant Ceiling Panels. Verkkoaineisto. Sunline. <<https://www.termovent.fi/wp-content/uploads/2018/10/Termovent-Kattosateilija-SL-luettelo-englanti.pdf>>. Luettu 30.12.2020.
- 8 Radiant heating. Verkkoaineisto Oy Lindab Ab. <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/lindab/brochure/lindab-radiant-heating-en.pdf?t=1067014577&__hstc=236047006.2f3f33a24b44870ec4a577029c49e44b.1600387200061.1600387200062.1600387200063.1&__hssc=236047006.1.1600387200064&__hsfp=2497512456>. Luettu 30.12.2020.
- 9 Heating and cooling panels. Verkkoaineisto. Oy Lindab Ab. <https://itsolution.lindab.com/LindabWebProductsDoc/pdf/Comfort/UK/Water/15_Heating%20_cooling%20panels_UK_WEB.pdf>. Luettu 31.12.20
- 10 Komulainen, Mika. 2015. Kattosäteilypaneelien oikeanlainen suunnittelu. Verkkoaineisto. Itula. <<https://www.itula.fi/ajankohtaista/asiantuntija-artikkelit/kattosateilypaneelien-oikeanlainen-suunnittelu>>. Luettu 29.01.2021.
- 11 Kattosäteilylämmitys ja -jäähdytys asuinrakentamisessa. 2017. Verkkoaineisto. Itula Oy. <<https://www.itula.fi/ajankohtaista/asiantuntija-artikkelit/kattosateilylammitys-ja-jaahdytys-asuinrakentamisessa>>. Luettu 31.12.2020.

- 12 John, Karl-Heinz & Tiegelkamp Michael. 2001. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Springer.
- 13 Petruzella, Frank D. 2005. Programmable Logic Controllers. McGraw-Hill Higher Education.
- 14 SFS-EN 61131-3. Programmable controllers – part 3: Programming languages. 2013. Suomen Standardisoimisliitto.
- 15 Peter. 2015. Structured Text Tutorial to Expand Your PLC Programming Skills. Verkkoaineisto. PLC Academy. <<https://www.plcademy.com/structured-text-tutorial/>>. Luettu 13.01.2021.
- 16 Salminen, Hannele & Väänänen Jouko. 1992. Johdatus logiikkaan. Gaudeamus Oy.
- 17 Vesämäki, Hannu. 2014. Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. Teknologiainfo Teknova Oy.
- 18 General notes for project planning. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/europe/technical-documentation/project_planning_notes/belimo_general-notes-for-project-planning_en-gb.pdf> Luettu 03.03.2021.
- 19 Lämmitysjärjestelmät ja lämminkäyttövesi – laskentaopas. 2011. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lammitysjarjestelmat-_Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf/a2f589d0-47ac-5d04-b739-759b514e2245/Lammitysjarjestelmat-_Laskentaopas-2012-150911-CA99FFCB_627B_48C8_8EB0_607F36B178A5-30751.pdf?t=1603260210304>. Luettu 11.04.2021.
- 20 Turunen, Jarkko. 2021. Assemblin Oy. Sähköpostikeskustelun Excel liitetiedosto. 24.02.2021.