

Tarpeenmukainen ilmanvaihto ja automaatio päiväkotihankkeessa

Esa Holopainen

Opinnäytetyö

Joulukuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

| | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Tekijä(t) Holopainen, Esa | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Päivämäärä Joulukuu 2016 |
| | Sivumäärä 41 | Julkaisun kieli Suomi |
| | | Verkojulkaisulupa myönnetty: x |
| Työn nimi Tarpeenmukainen ilmanvaihto ja automaatio päiväkotihankkeessa | | |
| Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma | | |
| Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Teppo Flyktman | | |
| Toimeksiantaja(t) Wise Group Finland Oy | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vaihtoehtoinen ratkaisu tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon ja rakennuksen energiatehokkaaseen käyttöön sekä käydä läpi automaation roolia suunnittelussa. Ratkaisun tuli olla käytön ja huollon kannalta mahdollisimman yksinkertainen, mutta kuitenkin mahdollisimman energiatehokas.</p> <p>Opinnäytetyön aineiston keruu tapahtui pääosin painetun kirjallisuuden, erilaisten määräysten ja standardien kautta. Määräykset ja ohjeet olivat pääasiallisesti ST- ja RT-kortistosta kerättyä materiaalia.</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin yleisesti rakennushankkeen projektisuunnittelun kulkuun ja sen eri vaiheisiin sekä pyrittiin tuomaan esille rakennusautomaation tärkeyttä jo tässä vaiheessa. Suunnitellun ilmanvaihtojärjestelmän toteutus keskittyi ryhmä- ja sosiaalitiilojen osalle. Energiatehokkuuteen perehdyttiin standardin SFS-EN 15232:2012 pohjalta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitettyä vaihtoehtoinen ratkaisu nykyiselle ilmastointijärjestelmälle ja näiden tulosten sekä suunnitelmien perusteella Helsingin kaupunki toteuttaa erään päiväkotihankkeen ilmanvaihdon työssä esitetyllä ratkaisulla ja se tulee toimimaan pilottihankkeena jatkoa ajatellen.</p> | | |
| Avainsanat (asiasanat) Rakennusautomaatio, energiatehokkuus, projektisuunnittelu, tarpeenmukainen ilmanvaihto | | |
| Muut tiedot | | |

| | | |
|---|--|--|
| Author(s) Holopainen, Esa | Type of publication Bachelor's thesis | Date December 2016 Language of publication: Finnish |
| | Number of pages 41 | Permission for web publication: x |
| Title of publication Demand-controlled air conditioning and automation in a daycare center project | | |
| Degree programme Degree Programme in Energy Technology | | |
| Supervisor(s) Nuutinen Marjukka, Flyktman Teppo | | |
| Assigned by Wise Group Finland Oy | | |
| Abstract <p>The goal was to give an alternative solution for demand-controlled ventilation and energy efficient usage and also to review the role of automation in the design process. The solution had to be simple to operate and easy to maintain.</p> <p>Data collection mainly took place through printed literature, a variety of control regulations and standards. Regulations and guidelines were mainly collected from the ST- and RT-card index material.</p> <p>The course of the project design was studied and the aim was to identify importance of building automation in its various stages early on in the project. The implementation of the proposed ventilation system focused on group and social facilities of the daycare center. Energy efficiency was familiarized based on standard SFS-EN 15232: 2012.</p> <p>Based on the achieved results and plans, the City of Helsinki will use the solution suggested in this thesis in a daycare center project and it will serve as a pilot project for future developments.</p> | | |
| Keywords/tags (subjects) Building automation, energy-efficiency, project planning, demand-controlled air condition | | |
| Miscellaneous | | |

Sisältö

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Johdanto | 3 |
| 1.1 | Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet | 3 |
| 1.2 | Wise Group Finland Oy | 4 |
| 2 | Energiatehokkuus ja rakentaminen | 5 |
| 2.1 | Energiatehokkuus rakentamisessa | 5 |
| 2.2 | Automaation vaikutus energiatehokkuuteen | 7 |
| 3 | Rakennusautomaatio..... | 8 |
| 3.1 | Rakennusautomaation historia | 8 |
| 3.2 | Rakennusautomaatiojärjestelmä | 9 |
| 4 | Automaation ohjauksilla energiatehokkuutta | 12 |
| 4.1 | Oikosulkumoottorit | 13 |
| 4.2 | EC-moottori | 13 |
| 4.3 | PM-moottori..... | 14 |
| 4.4 | Taajuusmuuttajakäytöt | 14 |
| 4.5 | Lämmitys | 15 |
| 4.6 | Valaistus ja kaihtimet | 16 |
| 5 | Rakennushankkeen suunnitteluprosessi | 17 |
| 6 | Rakennusten ilmanvaihto | 21 |
| 6.1 | Ilmanvaihdon perusteet | 21 |
| 6.2 | Pyörivä lämmönsiirrin | 23 |
| 6.3 | Levylämmönsiirrin | 24 |
| 6.4 | Nestekiertoinen järjestelmä | 25 |
| 6.5 | Päiväkodin ilmanvaihdon vaatimukset..... | 26 |
| 6.6 | Ilmanvaihdon suunnittelu | 27 |
| 7 | Vaihtoehtoiset ratkaisut tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle | 28 |
| 8 | Valittu ratkaisu ja johtopäätökset | 33 |
| 9 | Pohdinta..... | 34 |

| | |
|--|-----------|
| Lähteet | 36 |
| Liitteet | 38 |
| Liite 1. Positiotunnusten selitykset | 38 |

Kuviot

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Wise Group Finland Oy:n toimipaikat ja henkilöstömäärät..... | 4 |
| Kuvio 2. Kioto-pyramidi | 5 |
| Kuvio 3. Rakennuksen automaatiotason vaikutus energiatehokkuuteen | 7 |
| Kuvio 4. Rakennusautomaation vaikutuksia | 8 |
| Kuvio 5. Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne | 10 |
| Kuvio 6. Oikosulkumoottori | 13 |
| Kuvio 7. EC-moottori | 14 |
| Kuvio 8. Suunnitteluprosessin vaiheet..... | 18 |
| Kuvio 9. Vakioilmavirralla toimiva järjestelmä..... | 22 |
| Kuvio 10. Ilmanvaihtojärjestelmä vyöhykekohtaisella säädöllä | 22 |
| Kuvio 11 - Ilmanvaihtojärjestelmä tilakohtaisella säädöllä..... | 23 |
| Kuvio 12. Periaatekuva pyörivästä lämmönsiirtimestä..... | 24 |
| Kuvio 13. Periaatekuva ristivirtatyypisistä levylämmönsiirtimestä | 25 |
| Kuvio 14. Nestekiertoinen järjestelmä | 26 |
| Kuvio 15. IV-kone pyörivällä lämmöntalteenotolla..... | 29 |
| Kuvio 16. Vyöhykesäädön säätökaavio | 30 |
| Kuvio 17. Tilakohtainen säätö On/Off-säädöllä ja tehostuspelleillä..... | 31 |
| Kuvio 18. Tilakohtainen säätö aktiivisilla päätelaitteilla | 32 |

Taulukot

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Päiväkodin ilmanvaihdon tarve eri tiloissa | 27 |
|--|----|

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Energiatehokkuus ja tiukentuvat vaatimukset energiatehokkuuteen liittyen luovat haasteita rakentamisessa, johon uudet säännökset ja vaatimukset vaikuttavat erittäin paljon. Nämä muutokset ja energiatehokkuuden tärkeys lisäävät haasteita suunnittelussa ja tämän vuoksi uusia, energiatehokkaita ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja tulee kehittää. Wise Group Finland Oy:llä oli tarve kehittää vaihtoehtoinen ratkaisu ilmanvaihtoon Helsingin kaupungin päiväkotihankkeissa. Opinnäytetyössä käsiteltävä uusi päiväkotihanke on hankesuunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyössä kehitettiin jo suunnittelun alkuvaiheessa ratkaisuja, joilla päiväkotihankkeista saadaan energiatehokkaita. Käsiteltävä hanke on vasta hankesuunnitteluvaiheessa, joten työhön varattu aika ei riitä tämän kyseisen kohteen tarkkoihin laitevalintoihin ja teknisiin ratkaisun. Työssä käsitellään yleisesti päiväkotihankkeisiin soveltuvia energiatehokkaita ratkaisuja ja automaation roolia, sekä sen vaikutusta energiatehokkuuteen. Ilmanvaihtoratkaisussa keskitytään vain ryhmä- ja sosiaalituloihin.

Opinnäytetyön tärkein tavoite oli esittää vaihtoehto tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutukselle, sillä kohteissa, joissa on vaihteleva kuorma, kuten päiväkodit, on tarpeenmukainen ilmanvaihto tärkeä. Nykyiset tarpeenmukaiset ilmanvaihtojärjestelmät ovat olleet toiminnaltaan epävarmoja, muun muassa likaantuvien ja tukkeentuvien mittayhteiden vuoksi ja asennusaikaisten virheiden takia. Niiden huoltoa ei liioin ole pystytty toteuttamaan riittävän hyvällä tasolla. Opinnäytetyössä kehitettävän ratkaisun tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja helposti huollettava. Rakennuskohde on Helsingin kaupungin, joka tuo suunnitteluun omia haasteita, sillä kaupungeilla on aina omia määräyksiä ja ohjeita, joita tulee noudattaa. Yleisenä tavoitteena oli siis löytää tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle Helsingin kaupungin kohteissa vaihtoehto, jonka tuli olla mahdollisimman yksinkertainen, mutta kuitenkin toimiva ja energiatehokas.

Työn tietoperusta perustuu pääosin painettuun kirjallisuuteen ja erilaisiin standardeihin ja säännöksiin. Standardi SFS-EN 15232, joka käsittelee rakennusautomaation vaikutusta rakennusten energiatehokkuuteen ja ohjauksiin, sekä siihen liittyvät ohjeistukset olivat työssä merkittäviä lähteitä. Myös ST-kortiston aineisto oli merkittävä tietolähde. Lähteinä käytettiin myös asiantuntijoiden haastatteluja ja koulutusmateriaalia. Opinnäytetyö on siis suurilta osin tutkimuspohjainen.

1.2 Wise Group Finland Oy

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimi Wise Group Finland Oy. Wise Group on suomalainen yritys, joka on perustettu vuonna 2010. Yritys tarjoaa talonrakennusalan suunnittelu-, konsultointi- ja rakennuttamispalveluja. Se on muodostunut nykyiseen 16 eri toimialan yrityksestä, 15 eri paikkakunnalla, jotka on esitelty kuviossa 1. Toimintaa on neljällä eri toimialalla, jotka ovat rakennuttaminen, rakennesuunnittelu, talotekninen suunnittelu ja korjausrakentaminen. (Yritysesittely. 2016.)

Toimipaikat

| | |
|--------------|-----------------|
| Espoo | 115 hlöä |
| Helsinki | 76 hlöä |
| Jyväskylä | 44 hlöä |
| Kajaani | 2 hlöä |
| Kokkola | 2 hlöä |
| Kotka | 77 hlöä |
| Kouvola | 25 hlöä |
| Kuopio | 7 hlöä |
| Lahti | 20 hlöä |
| Lappeenranta | 5 hlöä |
| Mikkeli | 20 hlöä |
| Oulu | 22 hlöä |
| Savonlinna | 11 hlöä |
| Tampere | 21 hlöä |
| Turku | 23 hlöä |
| Yht. | 470 hlöä |



wise | GROUP

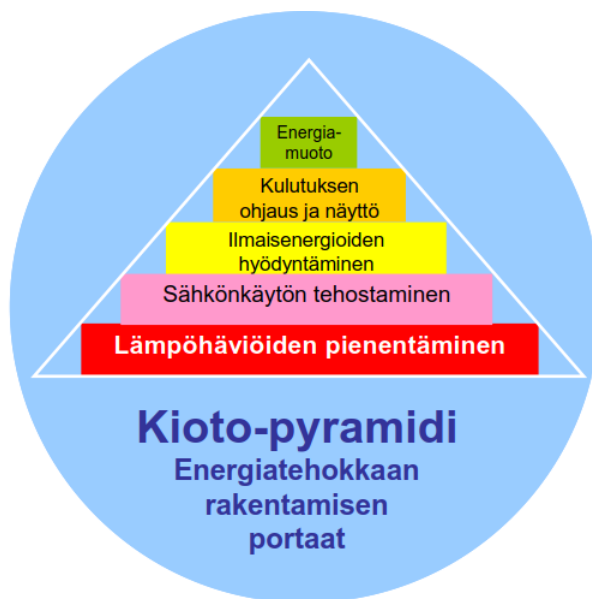
7.10.2016 6

Kuvio 1. Wise Group Finland Oy:n toimipaikat ja henkilöstömäärät (Yritysesittely 2016)

2 Energiatehokkuus ja rakentaminen

2.1 Energiatehokkuus rakentamisessa

Energiatehokkuus rakentamisessa on hyvin tärkeä osa ilmastonmuutoksen vaikutusten pienentämisessä. Siinä ei pyritä parantamaan vain yksittäisiä ratkaisuja vaan keskitytään kokonaisuuksiin ja näiden kautta pienennetään energiankulutusta. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen 2012, 6.)



Kuvio 2. Kioto-pyramidi (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen 2012, 6.)

Energiatehokas rakentaminen voidaan perustaa kuvion 2 mukaiseen Kioto-pyramidiin. Keskeinen osa energiatehokasta rakentamista on sovittaa rakenne- ja talotekniikka yhteen. Rakennetekniikan ja arkkitehtuurin puolesta vaikuttavat sijainti, rakennuksen tilat, käytetyt materiaalit sekä tarvittavat tilat ja reitit taloteknisille ratkaisuille. Taloteknisessä suunnittelussa esiin nousevat lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät, valaistus sekä lämpimän käyttöveden valmistus. Lisäksi automaatiojärjestelmällä tulee toteuttaa ohjaukset, jotta esimerkiksi tyhjässä tilassa ei turhaan ole tuuletusta. Kaikkien edellä mainittujen osien tulee olla sovitettavissa yhteen. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen 2012, 6.)

Rakennusten energiatehokkuutta kuvaamaan on kehitetty erilaisia määritelmiä, jotka perustuvat esimerkiksi rakennuksen energiankulutuksen suhteesta uusiutuvaan energian määrään. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD, energy performance of buildings directive) mukaan kaikkien julkisten uudisrakennusten tulee olla 31.12.2018 jälkeen lähes nollaenergiataloja. Vuoden 2020 jälkeen myös muiden uudisrakennusten tulee olla lähes nollaenergiataloja. (Matalaenergiarakentamisen määritelmiä, n.d.)

Muita huomioon otettavia direktiivejä ovat uusiutuvan energian käytön edistämisdirektiivi (RES, renewable energy sources directive) sekä energiatehokkuusdirektiivi (EED, energy efficiency directive). RES edellyttää sen jäsenvaltioiden tarvittaessa käyttävän uusiutuvista lähteistä peräisin olevaa energiaa. EED edellyttää yleisesti pitkän aikavälin strategiaa, jolla parannetaan rakennusten energiatehokkuutta, erityisesti peruskorjauksissa. (Matalaenergiarakentamisen määritelmiä, n.d.)

Rakennukset voidaan jakaa kolmeen luokkaan energiatehokkuutensa mukaan seuraavasti:

Matalaenergiatalo

Matalaenergiataloksi voidaan yleisesti määrittää sellainen rakennus, jonka laskennalliset lämpöhäviöt ovat enintään 85% määritetystä vertailulämpöhäviöstä. (Matalaenergiarakentamisen määritelmiä, n.d.)

Passiivenergiatalo

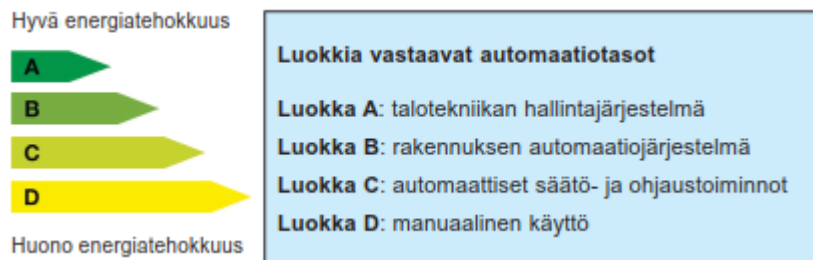
Passiivenergiataloksi voidaan määrittellä rakennus, joka ei tarvitse mitään lämmitys- tai jäähdytysenergiaa. Suomen olosuhteissa tämänkaltaisia rakennuksia ei kustannustehokkaasti voida toteuttaa. (Matalaenergiarakentamisen määritelmiä, n.d.)

Lähes nollaenergiarakennus (nZEB)

Energiatehokkuusdirektiivissä kuvataan lähes nollaenergiarakennusta melko tulkinanvaraisesti. Sen mukaan rakennuksella tulee olla erittäin korkea energiatehokkuus ja käytetty energia olisi tuotettu uusiutuvilla energialähteillä. (Matalaenergiarakentamisen määritelmiä, n.d.)

2.2 Automaation vaikutus energiatehokkuuteen

Kun pyritään rakentamaan energiatehokkaasti, on rakennusautomaatiolla siinä hyvin suuri merkitys, sillä rakennusautomaatio on keskeinen työkalu käyttöön ja huoltoon liittyen. Rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa ja valvoo kiinteistön toimintaa, jotta haluttuihin tavoitteisiin ja asetusarvoihin päästään. Järjestelmä kerää tietoa kiinteistön toiminnasta. Tietojen avulla energiankulutus saadaan pidettyä alhaisella tasolla. (Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje, 2010.) Kuviossa 3 esitetään automaation vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen.



Kuvio 3. Rakennuksen automaatiotason vaikutus energiatehokkuuteen (Liedes 2014, 9)

Luokan D rakennusten automaatio tarkoittaa manuaalista käyttöä, eikä siinä ole huomioitu kiinteistön energiatehokkuutta. Luokan D rakennuksille tulisi tehdä perusrannukset eikä uusia kohteita tule rakentaa tähän luokkaan. Luokan C rakennusten automaation taso tarkoittaa ohjausten sekä säätöjen automaattista toteutusta. Tämä luokka on tällä hetkellä tavanomaisin ratkaisu. Ratkaisu on usein toteutettu keskiteysti, mutta voidaan myös toteuttaa erillisillä laitteilla. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen 2012, 9-10.)

Luokassa B automaation taso vastaa rakennuksen automaatiojärjestelmää. Luokka B edellyttää, että se on toteutettu luokkaa C paremmin. Luokassa B voidaan rakennuksen eri järjestelmiä optimoida automaattisesti toteuttamaan tarpeellinen ohjaus. Tyypillisesti huonesäätimet on liitetty automaatiojärjestelmään tiedonsiirtoyhteyden avulla. Korkeimmassa luokassa A rakennuksen automaatio on toteutettu kokonaisvaltaisella taloteknisellä automaatiojärjestelmällä. Energiatehokkuus on tässä luokassa

otettu huomioon erittäin tarkasti. Automaatio tässä luokassa on yleisesti toteutettu useammalla järjestelmällä. Näitä järjestelmiä käytetään energiankulutuksen optimointiin, säätöön, ohjaamiseen jne. Käyttäjä voi myös seurata kulutuksia tuntia-, päivä- tai kuukausitasolla. (Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen 2012, 9-10.) Kuviossa 4 on esitetty rakennuksen automaation vaikutuskeinoja.

| Kioto-pyramidin taso | Esimerkkejä rakennuksen automaation vaikutuskeinosta pyramidin tasolla |
|-------------------------------------|--|
| Energiamuodon valinta | <ul style="list-style-type: none"> - raportointi energialajeittain - tehokkaimman energiamuodon valinta hetkittäin - E-luvun laskenta rakennukselle |
| Energiankulutuksen näyttö ja ohjaus | <ul style="list-style-type: none"> - huoneolosuhteiden ohjaus ja säätö - käyttölaitteet - laitteiden ja järjestelmien energiatehokas käyttö automaattisesti |
| Ilmaisenergioiden hyödyntäminen | <ul style="list-style-type: none"> - lämmöntalteenoton ohjaus - vapaajäähdytys - lämmityksen ja jäähdytyksen ohjaus dynaamisesti |
| Sähkönkulutuksen tehostaminen | <ul style="list-style-type: none"> - käytön optimointi - tarpeenmukaiset olosuhteet - painetasot ilman ja veden siirrossa |
| Lämpöhäviöiden vähentäminen | <ul style="list-style-type: none"> - tarpeenmukaiset lämpötilat käyttöveden ja lämmitysveden siirrossa - aurinkosuojaus jäähdyttämisen tehostamiseksi |

Kuvio 4. Rakennusautomaation vaikutuksia (Liedes 2014, 8.)

3 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan yleisesti kiinteistöjen lämmityksen, valaistuksen, hälytysten ja ilmanvaihdon ohjaamista. Nämä osiot pyritään sisällyttämään helposti hallittavaan järjestelmään. Tällä järjestelmällä ohjataan ja valvotaan kiinteistön taloteknisiä toimintoja ja pidetään huolta, että asetetut tavoitteet pysyvät yllä sekä energiankulutus olisi mahdollisimman vähäistä. (Takalo. 2016.)

3.1 Rakennusautomaation historia

Rakennusautomaation todellinen kehitys alkoi 1950- ja 1960-luvuilla, kun kerrostalojen koneellinen ilmanvaihto alkoi yleistyä ja tämä loi tarpeen ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereiden luotettavalle säädölle. Tämän seurauksena hyväksyttiin vuonna 1960 4...20 mA (milliampeeri) analogiasignaali, josta on muodostunut standardi.

Myös teollisuudessa käytetty pneumaattinen (paineilma) tekniikka kiihdytti kehitystä. Koska valvonta- ja ohjauspuolella ei kyseisiä pneumaattisia säätötekniikoita juurikaan voida käyttää, loi se tilaa erillisille valvonta- ja ohjausjärjestelmille. Nämä järjestelmät toimivat omilla antureillaan analogiasignaaleja käyttäen. (ST-käsikirja 17 2012, 23.)

1970-luvun lopussa rakennettiin ensimmäisiä talojärjestelmiä, joissa monta eri taloa liitettiin yhden valvomon alle. Tätä kutsuttiin keskitetyksi talovalvomoksi. Järjestelmän rakenne oli alkuaikana melko alkeellinen, sillä se toimi analogiatekniikalla, jossa jokainen tieto vaati oman kaapeliparin. Tästä johtuen tarvittiin useissa paikoissa jopa 100-parinen runkokaapeli, jonka kautta tieto kulki alakeskusten kautta valvomoon. Tästä alkoi kehitys nykymuotoiseen rakennusautomaatioon. (ST-käsikirja 17 2012, 24.)

Jo 1980-luvulla saatiin digitaalisia säätimiä integroitua valvontajärjestelmään, jossa niiden parametreja pystyttiin asettamaan valvomosta käsin. Valvomon ja alakeskusten välinen tiedonsiirto oli digitaalista, mikä vähensi järjestelmien vikamahdollisuuksia huomattavasti. 1990-luvulla alkoi keskustelu hajautetuista järjestelmistä. Tekniikan kehittyessä 90-luvulla, alkoi toteutustavaksi vakiintua kolmitasoinen hierarkia, joka koostui valvomosta, alakeskuksista ja tarvittaessa huonelaitteisto. Alakeskusten kustannukset olivat pudonneet ja tämä mahdollisti niiden sijoittamisen jopa kaikkiin teknisiin tiloihin. (ST-käsikirja 17 2012, 24-26.)

2000-luvulle siirryessä internetin yleistyminen mahdollisti kaukovalvonnan. Kaupungit ja kunnat, jotka omistivat paljon kiinteistöjä, kaipasivat keskitettyä valvomoa ja mahdollisuutta ohjata kiinteistöjä sijainnista riippumatta. Internetin yleistyminen mahdollisti pääsyn yleisesti markkinoilla oleviin järjestelmiin. Järjestelmät kehittyvät edelleen ja ovat entistä monimuotoisempia ja palvelevat käyttäjänsä aina vain paremmin. (ST-käsikirja 17 2012, 24-26.)

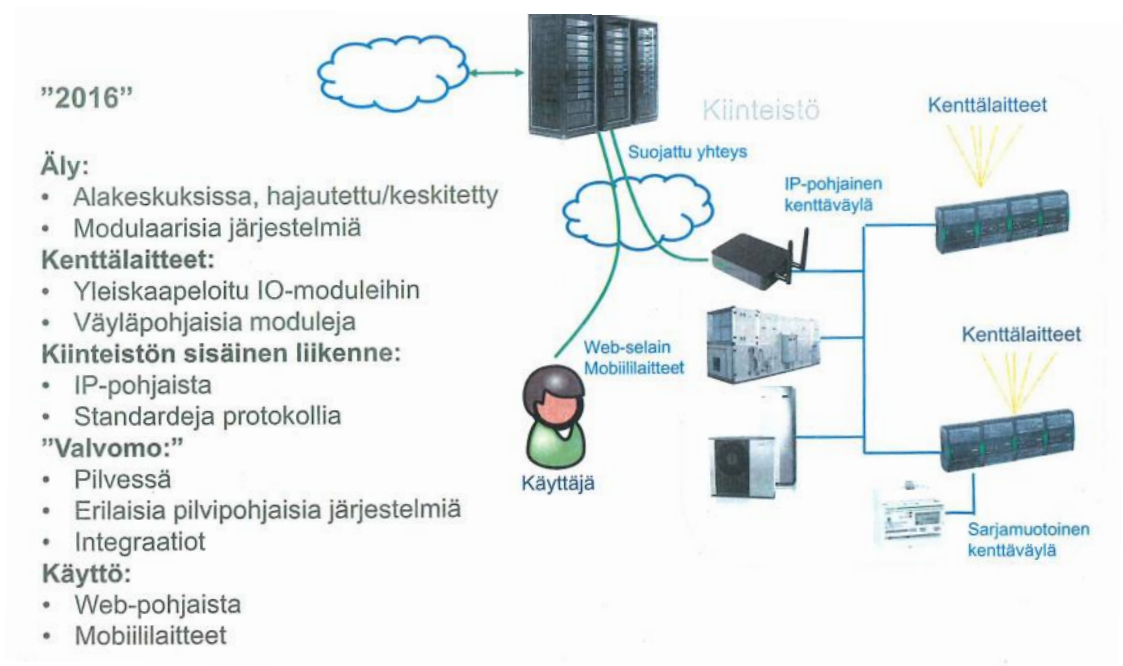
3.2 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Rakennusautomaatiojärjestelmät ovat kehittyneet erittäin paljon IT-tekniikan kehityksen myötä. Myös jatkuva kiinteistöhoitoon kehitys, energiatehokkuus ja yleinen

mukavuus ajavat kehitystä eteenpäin. Monet rakennusautomaation uudistukset pohjautuvat teollisuuden ratkaisuihin, jotka ovat tällä hetkellä suuntaa näyttäviä ja kehittyvät nopeaa vauhtia. Järjestelmien hinnat ovat laskeneet huomattavasti aiempiin ja vanhempiin verraten. Järjestelmät voidaan jakaa rakenteeltaan kolmeen pääosaan seuraavasti:

- Hallintotaso
- Automaatiotaso
- Kenttätaso. (ST-käsikirja 17 2012, 93.)

Kuvio 5 esittää nykyisen rakennusautomaatiojärjestelmän perusrakenteen.



Kuvio 5. Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne (Silver. 2016.)

Hallintotaso

Hallintotaso toimii käyttöliittymänä järjestelmän suuntaan. Tämä tarkoittaa käytännössä erilaisia valvomoita, kuten PC-valvomot, joita on vähintään yksi sekä kauko- ja etävalvomot, joilla tarkoitetaan keskusvalvomoa. Keskusvalvomoon on keskitetty monen kiinteistön valvonta. Valvomosta käyttäjä saa tiedot hälytyksistä, voi muuttaa haluttuja asetusarvoja ja aikaohjelmia ja näkee yleisen kuvan halutun prosessin tilasta, esimerkiksi ilmanvaihtokoneen toiminta. (ST-käsikirja 17 2012, 93-94.)

Hallintotason kommunikointi tapahtuu yleensä paikallisesti toimivan tietoliikenneverkon, LAN-verkon, avulla. Etävalvonnassa käytetään internetyhteyksiä. Molemmat kommunikointitavat pohjautuvat TCP-IP-protokollaan, mikä tekee yhteyksistä luotettavia ja turvallisia. TCP-IP protokollalla tarkoitetaan usean tietoverkkoprotokollan yhdistelmää. Mikäli katkoksia yhteyksissä tapahtuu, vaikuttavat ne vain valvomoon, sillä prosessi jatkaa toimintaansa itsenäisten ala-asemien ja säätimien avulla. (ST-käsikirja 17 2012, 93-94.)

Automaatiotaso

Automaatiotaso koostuu alakeskuksista ja niihin liittyvistä I/O-moduuleista. I/O-pisteet ovat järjestelmän tulo- ja lähtöliityntöjä. Ala-keskuksessa olevalla ohjelmalla ohjataan I/O-pisteiden kautta prosesseja. Tällainen on esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden ohjaus. Automaatiotasolla kommunikointi perustuu yleisesti lähiverkkokäyttöön, joka on toteutettu TCP-IP-protokollalla. Kenttäkaapelointi on standardin CAT6 mukainen, joka on toteutettu kierretyllä parikaapelilla. Myös langatonta WLAN-verkkoa käytetään, mutta se on yleisempi varsinkin saneerauskohteissa. (ST-käsikirja 17 2012, 94-95.)

Kenttätaso

Automaatiojärjestelmän kenttätaso tarkoittaa järjestelmän antureita ja muita toimilaitteita. Antureilta saadaan reaaliaikaista tietoa prosessista, sen tilasta sekä vallitsevista olosuhteista, kuten lämpötilasta. Alakeskuksella ohjelma vertaa antureilta saa-

tuja arvoja käyttäjän asettamiin arvoihin ja ohjaa toimilaitteita näiden tietojen perusteella, jotta haluttuihin tavoitteisiin päästään. Kenttätaso voi myös olla hajautettu. Tällä tarkoitetaan I/O:ta, joka kommunikoi alakeskuksen kanssa väylän avulla. Kenttätasolla voi myös olla yksittäisiä säätimiä, joilla tarkoitetaan esimerkiksi huonekohtaista säädintä sekä ns. pakettiratkaisuiden integroidut säätimet, joita käytetään esimerkiksi IV-koneissa. (ST-käsikirja 17 2012, 95.)

Puhaltimia ja pumppuja ohjataan usein taajuusmuuttajilla. Taajuusmuuttajat sisältävät usein oman ohjauskeskuksensa, joka on yhteydessä alakeskukseen. Kenttätason kommunikointi tapahtuu kenttäväylän avulla. Näistä yleisimpiä käytössä olevia ja tunnetuimpia standardeja ovat ModBus, Lon ja KNX. Kohteeseen valittava väylä riippuu siitä, mistä sovelluksesta on kyse, mitä asiakas haluaa sekä mitä vaihtoehtoja urakoitsijan tarjoamista vaihtoehtoista. (ST-käsikirja 17 2012, 95.)

Rakennusautomaation tulevaisuus

Rakennusautomaatiojärjestelmät kehittyvät jatkuvasti. Tiedonsiirto ja muu liikenne pystytään toteuttamaan yhä pienemmillä laitteilla. Väyläpohjaisten laitteiden käyttö sekä järjestelmien langattomuus tulevat lisääntymään ja energiankulutus pienenee. Lisäksi käyttöliittymät ja erilaiset lisäantymät. (Takalo, 2016.)

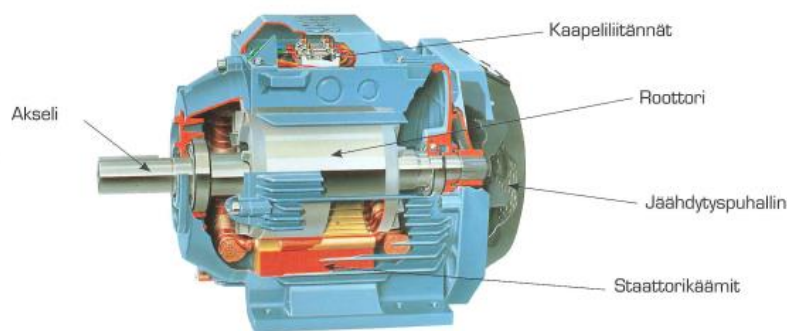
Pilvipalveluissa voi olla paljon erilaista dataa, joka voi sijaita palvelimella tai useammalla palvelimella, joiden sijainnilla ei ole merkitystä. Lisäksi samaa alustaa voi käyttää ja jakaa useampi eri organisaatio. Pilvipalveluita voivat olla esimerkiksi järjestelmän käyttöliittymä, seuranta ja raportointi, huoltokirjat jne. (Silver, T. 2016.)

4 Automaation ohjauksilla energiatehokkuutta

Automaatiolla on suuri vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen ja energiankulutukseen. Perustana käytetään standardia SFS-EN 15232:2012 ”Energy performance of buildings. Impact of building automation, controls and management” eli ”Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusautomaation, säätöjen ja huollon vaikutus energiatehokkuuteen”. Tämä versio on päivitetty vuoden 2008 samannimisestä standardista.

4.1 Oikosulkumoottorit

3-vaiheinen oikosulkumoottori on hyvin perinteinen sähkömoottori. Kuviossa 6 on oikosulkumoottorin periaatekuva. Se kytketään sähköverkkoon joko suoralla kytkennällä tai taajuusmuuttajan kautta. Moottori toimii siis 50 Hz:n verkossa ja pyörimisnopeuksina voi olla esimerkiksi 750, 1000 tai 1500 rpm (kierrosta minuutissa). Moottorin hyötysuhde on melko korkea, mutta pienenee huomattavasti pienillä kierrosnopeuksilla. Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin moottori saa tuotettua sähköenergiasta mekaanista työtä akselilleen. (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 97.)



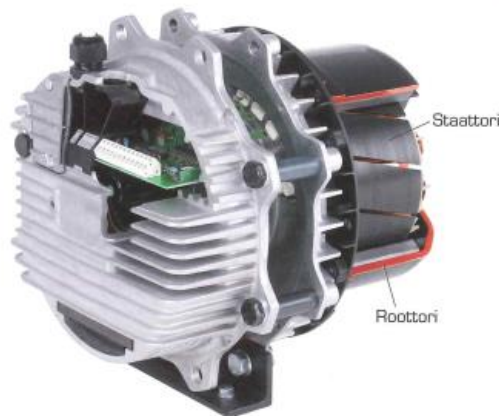
Kuvio 6. Oikosulkumoottori (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 97.)

4.2 EC-moottori

EC-moottorilla tarkoitetaan elektronisesti kommutoitua tasavirtamoottoria, jossa ei ole harjoja, sekä se on varustettu kestopagneetilla. Kommutoinnilla tarkoitetaan EC-moottorien tapauksessa sitä, että virran suuntaan ohjataan Hall-antureilla. Tämä eroaa perinteisestä DC-moottorista (tasavirtamoottori) sillä, että niissä ohjaus on toteutettu mekaanisesti hiiliharjojen avulla. Näissä haittapuolena on huoltoväli ja melko kallis ylläpito.

EC-moottoreissa on hyvä hyötysuhde, sillä niiden energiahäviöt ovat pienemmät kuin perinteisissä oikosulkumoottoreissa ja tämän myötä myös pienempi lämpötilan nousu. EC-moottorit ovat yleistyneet hyvin paljon sähkömoottoriteknologiassa sekä

niiden rooli puhallinmoottorikäyttönä. Kuviossa 7 esitetään EC-moottorin periaatekuva. (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 99.)



Kuvio 7. EC-moottori (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 99.)

4.3 PM-moottori

PM-moottorilla tarkoitetaan kestmagneettimoottoria. Mekaanisesti rakenteeltaan moottori on samanlainen kuin 3-vaihemoottori ja sopii hyvin puhallinkäyttöihin. Kestomagneettimoottorin hyötysuhde on huomattavasti oikosulkumoottoria parempi. Kestomagneettimoottoria ei voida käyttää suoralla käytöllä, vaan se vaatii aina toimiaukseen pyörimisnopeudensäädön. Pyörimisnopeudensäätö hoidetaan taajuusmuuttajalla, jonka tulee olla PM-moottoreille tarkoitettu. (Sandberg 2014b, 175.)

4.4 Taajuusmuuttajakäytöt

Taajuusmuuttajien käyttö ohjauksessa on energiatehokas vaihtoehto moottorien suoralle käytölle. Puhaltimien taajuusmuuttajakäytöllä ilmanvaihtoa voidaan säätää tarpeenmukaisesti. Tällä saadaan aikaiseksi ilmanvaihdon vedottomampi sekä meluttomampi käyttö. Pumppujen taajuusmuuttajaohjauksella verkostossa voidaan ylläpitää vakiopainetta säätämällä pumpun kierrosnopeutta. Kun virtaama pienenee ja paine kasvaa, pumppu pienentää kierroksiaan. (ST 715.10. Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa 2010, 4.)

Pumppujen ja puhaltimien ohjaukset

Puhaltimet ja pumput jaetaan standardin SFS-EN 15232 mukaan neljään luokkaan energiatehokkuutensa mukaan seuraavasti: (SFS-EN 15232:2012, 23-25.)

Pumput

0. Ei automaattista ohjausta (Luokka D)
1. On/Off-säätö (Luokka C)
2. Monivaihe-säätö (Luokka B)
3. Pyörimisnopeuden säätö (Luokka A)

Puhaltimet

0. Ei automaattista säätöä (Luokka D)
1. Aikaohjaus (Luokka C)
2. Läsnäolo-ohjaus (Luokka B)
3. Tarpeenmukainen ohjaus (Luokka A).

4.5 Lämmitys

Helsingin kaupungin päiväkotikohteissa yleisesti lämmitysmuotona on käytetty kaukolämpöä ja tilakohtainen lämmitys on toteutettu lattialämmityksenä.

Lämmönluovutukselle energiatehokkuus voidaan jakaa seuraavien luokkien mukaisesti (SFS-EN 15232:2012, 23.):

0. Ei automaattista ohjausta (Luokka D)
1. Automaattinen keskusohjaus (Luokka C)
2. Huonekohtainen säätö (Luokka B)
3. Huonekohtainen säätö kommunikoivalla ja tarpeenmukaisella säädöllä (Luokka A).

Jotta rakennus täyttäisi luokan D vaatimukset, ei huoneiden lämpötilansäädöllä ole automaattista ohjausta. Luokkaan C päästään, kun huoneiden lämpötilaa ohjataan keskusohjauksella, esimerkiksi ulkolämpötilan mukaisesti. Luokassa B vaatimuksena on huonekohtainen säätö, joko termostaateilla tai elektronisella säätimellä. Luokkaan A vaaditaan luokan B mukaisten vaatimusten lisäksi vielä huonekohtainen säätö, joka perustuu läsnäoloon. (SFS-EN 15232:2012, 13.)

4.6 Valaistus ja kaihtimet

Valaistuksen ohjaus on monesti nykyaikaisissa rakennuksissa toteutettu yksinkertaisimmillaan rakennusautomaatiojärjestelmältä tulevalla impulssilla, joka ohjaa valot päälle tai pois. Suuremmissa kokonaisuuksissa valaistuksenohjaus on kuitenkin toteutettu jollakin valaistuksen ohjausjärjestelmällä, kuten DALI.

Standardin mukaan valaistuksen ohjauksen energiatehokkuus luokitellaan läsnäolon mukaan seuraavien luokkien mukaan. (SFS-EN 15232:2012, 27.)

0. Manuaalinen on/off-kytkin (Luokka D)
1. Manuaalinen on/off-kytkin sekä automaattinen sammutus viiveen kuluttua (Luokka B)
2. Automaattinen tunnistus (Luokka A).

Lisäksi standardi määrittelee valaistuksen ohjaukselle seuraavat ehdot energiatehokkuusluokka A:ssa:

Sammutus automaattisesti: Mikäli valoja ei ole ohjattu pois käsin ja kun havaitaan liikettä, kytkeytyvät valot päälle ja kytkeytyvät ne pois, kun liikettä ei ole havaittu 5 minuuttiin.

Pois himmennuksen kautta: Mikäli valoja ei ole ohjattu pois käsin, himmentää järjestelmä valaistuksen viiden minuutin kuluttua maksimissa 20 prosenttiin normaalista. Jos viiden minuutin jälkeen himmennyksestä liikettä ei havaita, tulee järjestelmän automaattisesti sammuttaa valot. (SFS-EN 15232:2012, 19.)

Ohjaus voidaan toteuttaa myös päivänvalon mukaan. (SFS-EN 15232:2012, 27.)

0. Manuaalinen ohjaus (Luokka C)
1. Automaattinen ohjaus (Luokka A).

Tässä tapauksessa jako on yksinkertainen. Luokka C, jossa ei ole automaattista ohjausta. Tai vaihtoehtoisesti luokka A, joka on toteutettu automaattisella ohjauksella päivänvalon mukaan. Ohjauksen tavoitteena on vähentää valaisimien kuluttamaa energiamäärää ja samalla myös mahdollisesti pidentää valaisimien elinikää. (SFS-EN 15232:2012, 19.)

Myös kaihtimien ohjauksella voidaan ohjata. Ne jakautuvat standardin mukaan energiatehokkuusluokkiin seuraavasti. (SFS-EN 15232:2012, 27.)

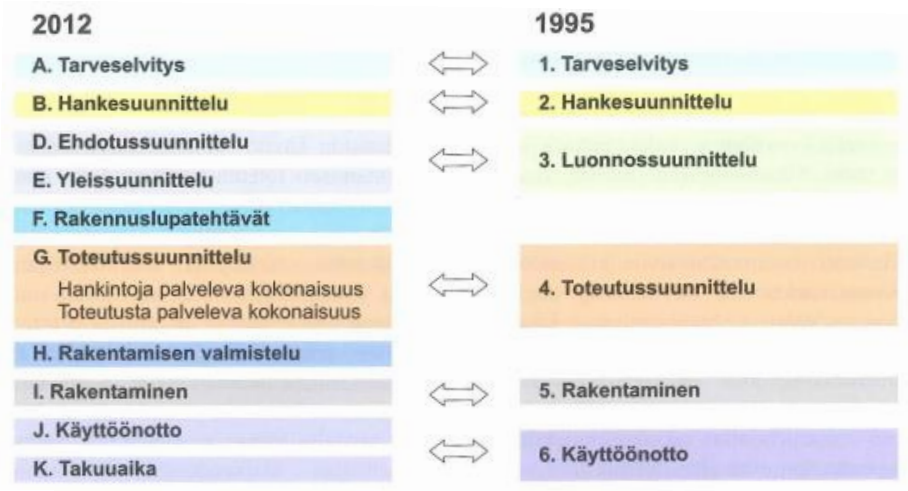
0. Manuaalinen käyttö (Luokka D)
1. Motorisoitu käyttö manuaalisella säädöllä (Luokka D)
2. Motorisoitu käyttö automaattisella säädöllä (Luokka C)
3. Yhdistetty valo-/kaihdin-/LVI-säätö (Luokka A)

Suomessa ei kovin yleisesti käytetä kaihdinten motorisoitua ohjausta vaan manuaalinen säätö on yleinen. Tässäkin kohteessa luokka olisi todennäköisesti D.

5 Rakennushankkeen suunnitteluprosessi

Rakennushankkeen alussa rakennuttaja valitsee hankkeelle suunnitteluryhmän joko kilpailuttamalla eri suunnittelutoimistoja tai neuvottelemalla. Jos kyseessä on valtion, kunnan tai muu julkinen rakennuttaja, tulee kilpailutuksessa ottaa huomioon julkisia hankintoja koskevat säännöt ja määräykset. Taloteknisen suunnittelun (mm. LVI, sähkö, rakennusautomaatio) osalta tehtävien määrittelyyn käytetään ”taloteknisen suunnittelun tehtäväluetteloa. (Sandberg 2014b, 17-18.)

Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo (TATE) sisältää talonrakennuksen suunnittelutehtäviä koskevan laajuuden ja sisällön eri urakoitsijoille. Ohjeistusta käytetään uudis- ja korjaushankkeissa sekä rakennuksen ja järjestelmien suunnittelussa. Kuviossa 8 on esitetty suunnittelun eri vaiheita vuodelta 1995 TATE ohjeistuksesta sekä 2012 uudistetusta TATE ohjeistuksesta. Kuten kuviossa 8 huomataan, on vaiheita tullut hieman lisää ja prosessi on tarkentunut. (Sandberg 2014b, 17-18.)



Kuvio 8. Suunnitteluprosessin vaiheet (Sandberg. 2014b, 18)

Suunnittelun aloitus

Suunnittelu aloitetaan tarveselvityksellä, jossa hankkeen tarpeellisuus perustellaan ja käydään läpi alustavat tilantarpeet sekä niiden vaatimukset. Lisäksi kartoitetaan vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet ja arvioidaan hintataso. Tarveselvitysvaiheen päätteeksi tarveselvitys hyväksytään ja näin saadaan hankkeelle hankepäätös. (TATE12. 2013, 3.)

Hankesuunnittelu

Kun hankkeen tarveselvitys on tehty, aloitetaan hankesuunnittelu. Hankesuunnittelussa tarkastellaan koko rakennushankkeen laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajankohtaa ja muita yleisiä vaatimuksia. Tässä vaiheessa myös määritetään talotekniset (LVI, sähkö, automaatio, tele) vaatimukset ja kustannukset. Hankesuunnittelu on suunnitteluprosessin keskeisiä vaiheita, sillä vielä tässä vaiheessa voidaan vaihtaa suunnittelijoita tai jättää hanke kokonaan toteuttamatta. Hankesuunnittelussa asetettujen tavoitteiden ja ratkaisuiden tulee olla toteutuskelpoisia. (ST-käsikirja 21, 2006 142-144.)

Ehdotussuunnittelu

Ehdotussuunnitteluvaiheessa selvitetään teknisistä vaihtoehdoista ne, jotka voidaan tavoitteiden mukaan toteuttaa sekä vertaillaan riittävän useaa erilaista ratkaisua.

Vaihtoehdot tulee dokumentoida, mutta tälle ei ole määritelty mitään erityisiä vaatimuksia, kuitenkin ratkaisu tulee ilmetä riittävän tarkasti. (Sandberg 2014b, 19.)

Ehdotussuunnitteluun kuuluvat seuraavat vaiheet:

1. Määritellään mahdolliset ulkopuoliset kunnallistekniset asiat, kuten kaukolämpö, viemärit, sähkö jne.
2. Selvitetään tiloihin sopivat talotekniset sekä palo- ja turvatekniset ratkaisut yhteistyössä koko suunnitteluryhmän kanssa.
3. Selvitetään talotekniset vaihtoehdot. Vaihtoehdoista laaditaan kuvaukset sekä luonnokset.
4. Dokumentoidaan ne ratkaisut (järjestelmäkuvaukset ja toimintaselosteet), jotka ovat toteutuskelpoisia ja arkkitehdin suunnitelmiin soveltuvia. LVI-suunnitelmat sisältävät piirustukset ja leikkaukset sekä tilojen ratkaisut päätelaitteineen.
5. Laskelmat esitetyille ratkaisuille suunnittelutavoitteiden saavuttamiseksi. Vaihtoehtojen tuloksia verrataan tavoitteisiin ja raportoidaan mahdolliset poikkeamat ja niiden syyt. Laskelmia ovat seuraavat:
 1. Energiankulutus
 2. Sisäilma
 3. Valaistus
 4. Virtausten simulointi
 5. Investointikustannukset
 6. Elinkaarilaskenta (Sandberg 2014b, 19-20.)

Lopuksi suoritetaan esitettyjen suunnitelmien ja ratkaisujen tarkistus, yhteensovitus ja vertailu pääsuunnittelijan kanssa. Eri suunnittelualueet sovitetaan yhteen siten, että niistä syntyy toimiva kokonaisuus. Ehdotussuunnitelman hyväksyy tilaaja ja tämän jälkeen sovitaan toteutettavat ratkaisut. (Sandberg 2014b, 19-20.)

Yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa tehdään luonnokset niistä ratkaisuista, joihin ehdotussuunnittelun lopussa päädyttiin. Tarkastetaan, että päätöksissä on tarvittavat lähtötiedot ja päätökset, jotka tämä suunnitteluvaihe vaatii. Mahdolliset puutteet kirjataan ja

toimitetaan rakennuttajalle. Niitä suunnittelutehtäviä, jotka vaativat muiden suunnittelijoiden lähtötietoja, koskee tiedonvaihtoaikataulu. Samalla tarkistetaan myös projektin suunnittelu-aikataulu. Jos aikataulua ei ole aiemmin laadittu, se tehdään tässä vaiheessa suunnittelua. (Sandberg 2014b, 20-22.)

Yleissuunnitteluvaiheen lopuksi suunnitelmia vertaillaan ja varmistetaan yhteensopi- vuus. Suunnittelussa mukana olevat osapuolet ovat velvoitettuja tutustumaan mui- den suunnittelijoiden tekemiin suunnitelmiin ja vertaamaan niitä omiinsa. Valmista yleissuunnitelmaa verrataan projektin tavoitteisiin ja mahdollisista poikkeamista tu- lee raportoida ja niihin etsitään syyt. Kun yleissuunnittelu on saatu päätökseen, hy- väksytetään se tilaajalla ja varmistetaan, että seuraava vaihe voidaan aloittaa. (Sand- berg 2014b, 20-22.)

Toteutussuunnittelu

Rakennuslupatehtäviin kuuluu arkkitehdin avustaminen rakennusluvan määrittelyi- den tekemisessä. Seuraavat tehtävät voidaan myös tehdä jo ennen yleissuunnittelua, jos aikataulut antavat myötä. (Sandberg 2014b, 22-24.)

1. Hankitaan talotekniset lausunnot viranomaisilta sekä osallistutaan viranomais- ja suunnittelukokouksiin.
2. Laaditaan energiankäyttölaskelmat ja energiankäyttöselvitykset. Tästä vastaa pää- suunnittelija, jolle muiden alojen suunnittelijat toimittavat oman alueensa osat.
3. Toimitetaan pääsuunnittelijalle laskelmat, joilla voidaan laatia energiatodistus.
4. Rakennuslupapiirustuksiin täytetään palotekniset ratkaisut ja poistumisvalosuunni- telmat. (Sandberg 2014b, 22-24.)

Toteutussuunnitelma voidaan jakaa kahteen vaiheeseen:

- hankintoja palvelevat suunnitelmat
- toteutusta palvelevat suunnitelmat.

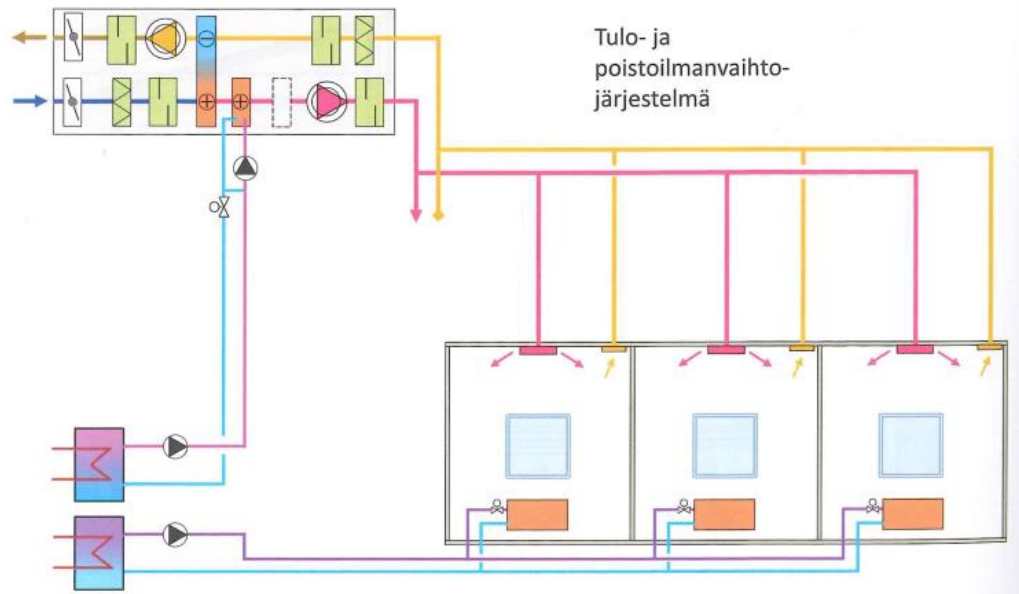
Hankintoja palvelevat suunnitelmat vastaavat sitä tasoa ja tarkkuutta mitä kohteen sekä sen rakennusosien laajuus edellyttävät. Lisäksi työmäärät, -tavat ja työn laatu- taso tulee voida määrittää toteutuskustannusten edellyttämällä tasolla. Avoimen ra-

kentämisen mallissa suunnitelmat aloitetaan rakennuksen kiinteistä osista ja muuntuvan osan suunnitelmat vasta tämän jälkeen. Mikäli yleissuunnitteluvaiheessa päätöksiä jäi avoimeksi, tulee ne tehdä ennen osakokonaisuuden suunnittelua. Tämän vaiheen tuloksena syntyy valmis ja hyväksytty toteutussuunnitelma. Kun toteutussuunnitelma on valmis, voidaan aloittaa rakennusvaihe. (Sandberg 2014b, 22-24.)

6 Rakennusten ilmanvaihto

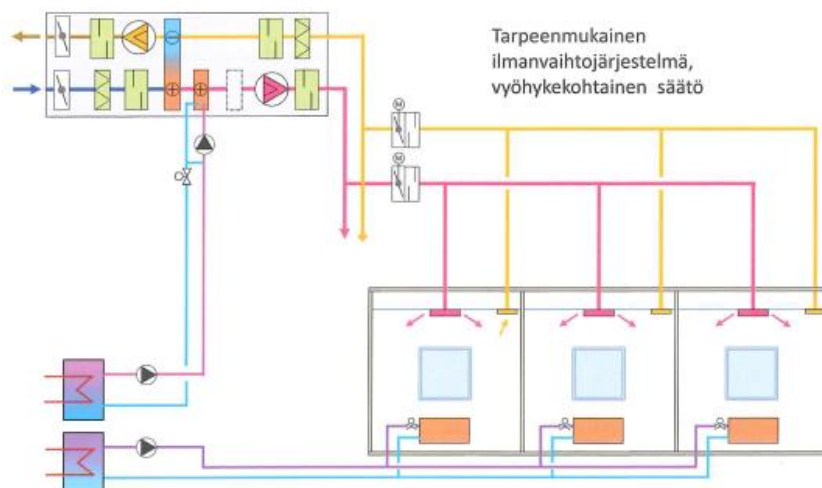
6.1 Ilmanvaihdon perusteet

Rakennuksen ilmanvaihdon tarkoituksena on tuoda sisätiloihin puhdasta hengitysilmaa ja poistaa epäpuhtaudet, joita rakennuksessa syntyy sekä pitää sisäilmasto hyvälaatuisena. Sisäilmastolla taas tarkoitetaan rakennuksen ympäristötekijöitä, jotka vaikuttavat terveyteen ja yleiseen mukavuuteen sekä viihtyvyyteen. Rakennuksessa syntyy monia erilaisia epäpuhtauksia, joita ei täysin saada poistettua. Siksi tarvitaan toimiva ja riittävä yleisilmanvaihto. Yleisilmanvaihdon avulla esimerkiksi hiilidioksidipitoisuudet saadaan pidettyä ihmisille sekä rakennukselle optimaalisella tasolla. Toiminta ilmanvaihdossa perustuu paine-eroihin, jotka saadaan aikaan puhaltimien avulla koneellisessa ilmanvaihdossa tai perinteisemmin painovoimaisella ilmanvaihdolla. Ilma virtaa aina suuremmasta paineesta pienempään paineeseen. (Ilmanvaihdon perusteet, n.d.)



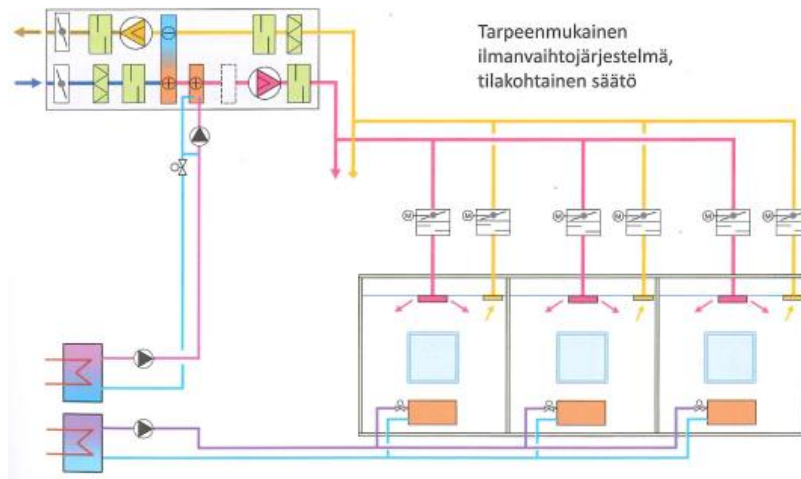
Kuvio 9. Vakioilmavirralla toimiva järjestelmä (Sandberg 2014a, 126.)

Kuviossa 9 on esitetty vakioilmavirralla toimiva ilmanvaihtojärjestelmä, joka on tavomainen ratkaisu esimerkiksi toimistotiloissa. Usein kuitenkin on tarvetta ohjata ilmavirtaa vyöhyke- tai tilakohtaisesti. Kuvioissa 10 ja 11 on esitetty vyöhykekohtainen sekä tilakohtainen säätö.



Kuvio 10. Ilmanvaihtojärjestelmä vyöhykekohtaisella säädöllä (Sandberg 2014a, 127.)

Kuviossa 10 on esitetty tarpeenmukainen ilmanvaihto vyöhykekohtaisesti. Kuvion tapauksessa säätö on huoneryhmäkohtainen. Puhaltimen ilmavirtaa ohjataan koko järjestelmän ilmavirran tarpeiden mukaisesti.



Kuvio 11 - Ilmanvaihtojärjestelmä tilakohtaisella säädöllä (Sandberg 2014a, 127.)

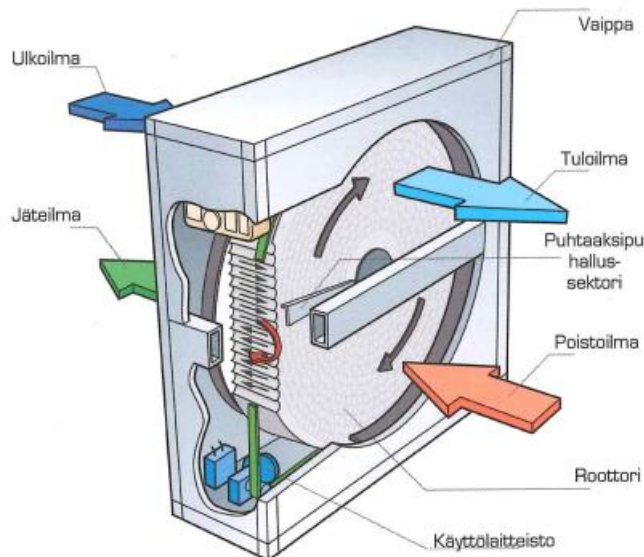
Kuviossa 11 on esitetty tarpeenmukainen ilmanvaihto tilakohtaisesti. Siinä jokaisella huoneella on omat säätöpellit, joita ohjataan tilan ilmavirran tarpeen mukaisesti. Puhaltimen ilmavirtaa ohjataan tässäkin tapauksessa koko järjestelmän tarpeiden mukaisesti.

6.2 Pyörivä lämmönsiirrin

Pyörivän lämmönsiirtimen rakenne koostuu pyöreästä roottorista ja sen käyttölaitteistosta. Roottorin pyöriessä siirtyy poistoilmasta saatava lämpö tuloilmaan. Pyörivä lämmönsiirrin on rakenteeltaan hyvä ilmanvaihtokoneisiin, sillä sen tilantarve on pieni. Myös ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta pyörivä lämmönsiirrin on hyvä. Kuviossa 12 on esitetty pyörivän lämmönsiirtimen periaatekuva ja toiminta. (Tekninen käsikirja, ilmentäytelykoneet 2010, 118.)

Tyypillisesti pyörivät lämmönsiirtimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään, kosteutta siirtämättömiin ja kosteutta siirtäviin (hygroskooppisiin). Kosteutta siirtämätön siir-

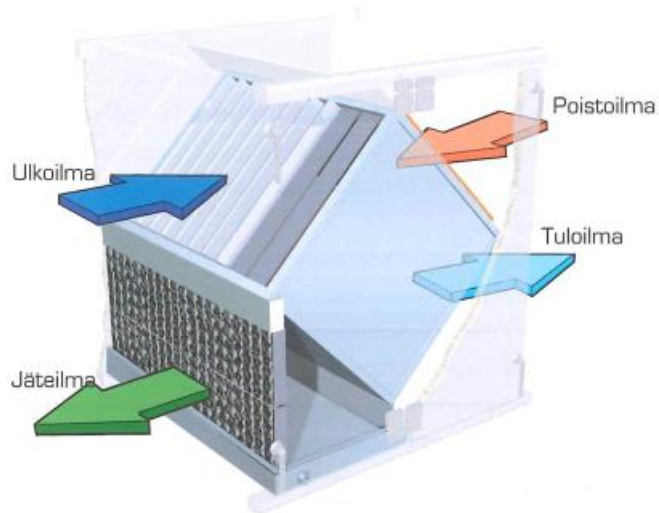
tää pääasiallisesti vain tuntuva lämpöä, kun taas kosteutta siirtävä tuntuva lämmön lisäksi myös latenttia lämpöä. Pyörivä lämmönsiirrin on hyvin yleisesti käytetty ja sitä pyritäänkin käyttämään, jos se täyttää tilan sekä ilman puhtauden vaatimukset. (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 118.)



Kuvio 12. Periaatekuva pyörivästä lämmönsiirtimestä (Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet 2010, 118.)

6.3 Levylämmönsiirrin

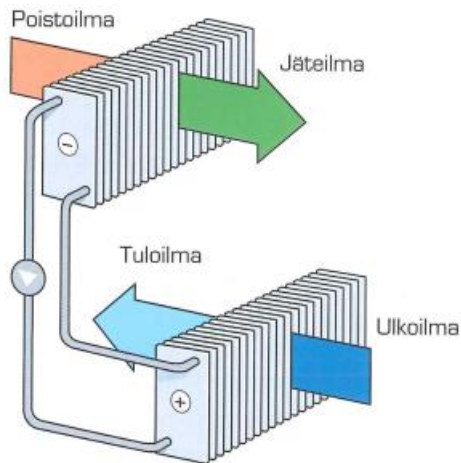
Levylämmönsiirrin on määrällisesti yleisin ja käytetyin lämmöntalteenotto tavoista. Se on kustannustehokas, hygieeninen ja sillä on hyvä lämmöntalteenoton lämpötilasuhte. Levylämmönsiirrin koostuu muodoltaan neliömäisistä levyistä. Näiden levyjen välissä ilma kulkee ristikkäin. Joka toisessa kanavassa kulkee lämmin ja joka toisessa kylmä ilma ja näin lämpö siirtyy levyjen läpi. Tämän tyyppinen siirrin on ristivirtasiirrin, joka on esitetty kuviossa 13. Toinen levylämmönsiirrintyyppi on vastavirtasiirrin. Vastavirtasiirrin eroaa rakenteeltaan siten, että siinä virrat kulkevat enemmän toisistaan vastakkain ja onkin sekoitus molempia tyyppisiä. Vastavirtaisella siirtimellä saavutetaan parempi lämmöntalteenoton hyötysuhde kuin ristivirtaisella. (Sandberg 2014a, 180-183.)



Kuvio 13. Periaatekuva ristivirtatyypisestä levylämmönsiirtimestä (Tekninen käsikirja, ilmapuhdistuslaitteet 2010, 124.)

6.4 Nestekiertoinen järjestelmä

Nestekiertoinen lämmönsiirtojärjestelmä koostuu kahdesta lämmönsiirtimestä, jotka ovat tulo- ja poistoilmapuolella. Lämmönsiirtoväliaineena toimii vesi-jäätymisenestoaineseos, jota pumppu kierrättää ja lämpö siirtyy lämpimämmästä patterista kylmempään. Poistupuolella sijaitsee kondenssivesiallas, johon lauhdevesi voi valua. Tällaisia järjestelmiä on niin pienille kuin suurille ilmanmäärille. Nestekiertoisen järjestelmän toimintaperiaate on esitelty kuviossa 14. (Tekninen käsikirja, ilmapuhdistuslaitteet 2010, 125.)



Kuvio 14. Nestekiertoinen järjestelmä (Tekninen käsikirja, ilmapuhdistuslaitteet 2010, 125.)

Nestekiertoisella järjestelmällä saavutetaan monia hyötyjä muihin järjestelmiin verrattuna:

- Tulo- ja poistoilmavirrat ovat toisistaan erillään, joten niiden välisiä vuotoja ei tapahdu.
- Voidaan käyttää järjestelmissä, jossa tulo- ja poistoilmakanavia ei voida tuoda yhteen.
- Asennus voidaan toteuttaa yksinkertaisesti olemassa oleviin kiinteistöihin ja laitoihin.

Nestekiertoisen lämmöntalteenoton tehoa säädetään, kun halutaan viileämpää tuloilmaa tai halutaan estää poistoilmapatterin huurtuminen.

6.5 Päiväkodin ilmanvaihdon vaatimukset

Rakennuksen sisäilmasto on jaettu kolmeen luokkaan, jotka ovat:

- S1: Yksilöllinen sisäilmasto
- S2: Hyvä sisäilmasto
- S3: Tyydyttävä sisäilmasto.

Luokka S1 tarkoittaa erittäin hyvää sisäilman laatua, eikä tiloissa ole havaittavissa ylimääräisiä hajuja. Lämpötila on viihtyisällä tasolla, eikä vetoa tai ylläampemistä

esiinny. Lisäksi tilan rakenteet eivät sisällä ilmanlaatua heikentäviä epäpuhtauksia. Käyttäjät voi hallita tilan lämpötilaa yksilöllisesti. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

Luokka S2 kuvastaa hyvää sisäilmastoa, eikä tiloissa ole havaittavissa ylimääräisiä häiritseviä hajuja. Rakenteen eivät sisällä ilmanlaatua heikentäviä epäpuhtauksia. Lämpötilataso on hyvä ja vetoa ei pääosin esiinny, mutta kesäisin yllämpöä voi mahdollisesti esiintyä. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4.)

Luokka S3 kuvaa tyydyttävää sisäilmastoa. Tilan sisäilmasto ja lämpötilataso sekä muut vaatimukset täyttävät rakentamismääräysten mukaiset vähimmäisvaatimukset. Päiväkodin sisäilmastoluokituksiksi suositellaan vähintään luokkaa S2. (Sisäilmastoluokitus 2008, 4). Taulukko 1 esittelee päiväkotien suunnittelussa vaadittavat ilmanvaihdon minimitarpeet.

Taulukko 1. Päiväkodin ilmanvaihdon tarve eri tiloissa (Päiväkotien suunnitteluohje 2010, 23.)

| Tila | Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö | Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ² | Poistoilmavirta (dm ³ /s)/m ² | Äänitaso LA, eq,T/LA,max dB | Ilman nopeus talvi/kesä m/s |
|-----------------|---|--|--|--------------------------------|--------------------------------|
| Ryhmähuone 2 | 6 | 2,5 | | 28/33* | 0,20/0,30 |
| Ryhmähuone 1 | 6 | 2,5 | | 33/38 | 0,20/0,30 |
| Vesileikkihuone | | 2 | | 33/38 | 0,20/0,30 |
| Eteinen | | 2 | | 33/38 | 0,2 |
| Märkäeteinen * | | | 5 | | |

6.6 Ilmanvaihdon suunnittelu

Ilmanvaihtoa suunniteltaessa on otettava monia asioita huomioon kohteen ja rakentajan kannalta. Monesti suurissa kohteissa, kuten koulut ja päiväkodit, tarvitaan tarpeenmukaista ilmanvaihtoa, sillä niissä lämpökuormat sekä henkilökuormat vaihtelevat hyvin paljon. (Takalo, 2016.)

Tämänkaltaisia kohteita on toteutettu hiilidioksidiohjatulla IMS-säädöllä (IMS = ilmamääräsäädin). Tämä on todettu kuitenkin huonoksi ratkaisuksi erilaisten syiden takia:

- Ilman laatu heikkenee.
- Happi tuntuu loppuvan.

- Tila tuntuu tunkkaiselta.
- Tuntuu vetoa.
- Säädöstä kuuluva ääni. (Takalo, 2016.)

Näiden syiden lisäksi myös urakoinnissa esiintyvät ongelmat, kuten varoetäisyyksien noudattamatta jättäminen, johtavat siihen, että säätö ei toimi kuten sen pitäisi sekä järjestelmän huolto tuottaa ongelmia. Suurin huollon ongelma ilmamääräsäätimissä on vähäinen puhdistus, anturin mittayhteet likaantuvat ja pinnalle kasaantuu pölyä, joka aiheuttaa tuloksen vääristymää. Myös rakennuksen aikainen valvonta ja järjestelmän testaaminen voi tuottaa ongelmia ja saattaa jäädä liian vähälle huomiolle. (Takalo, 2016.)

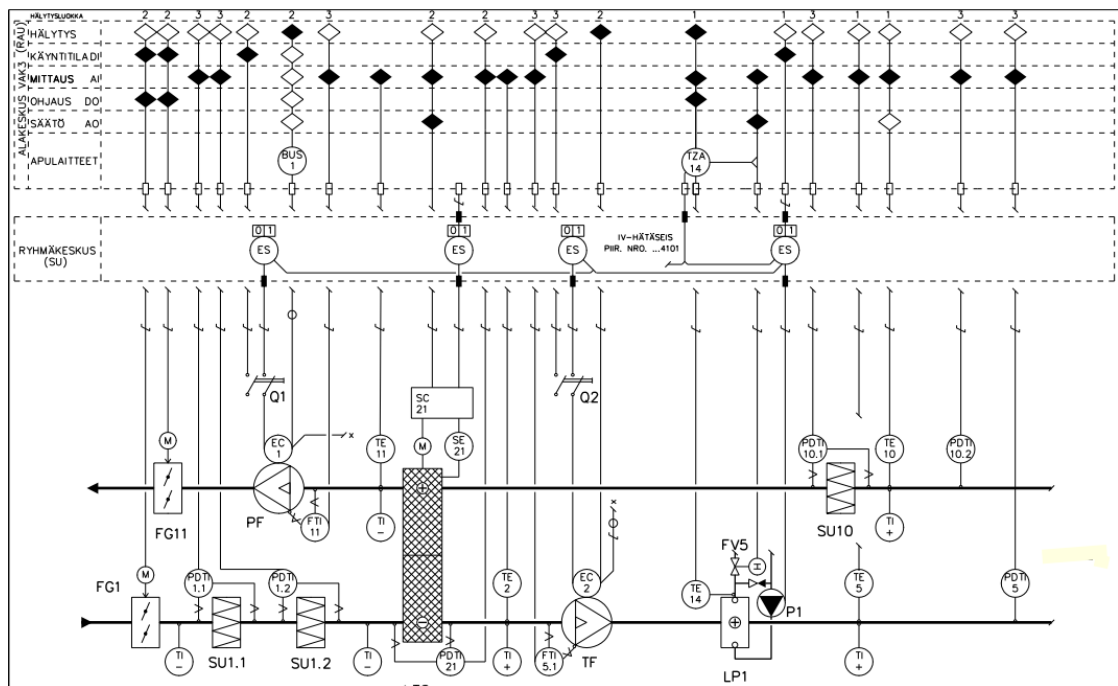
Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon periaate on, että ilmanvaihtoa ja sen käsittelyä tapahtuu juuri niin paljon kuin tarvitaan ja on asetettu. Tarpeenmukaisesti toteutettu ilmanvaihto optimoi ilmanvaihtokoneen puhaltimen kuluttamaan sähköä vähemmän ja samalla minimoi kiinteistön ylimääräiset lämmityskustannukset. Tarpeenmukainen ilmanvaihto on hyvä ratkaisu tiloissa, joissa käyttöaste sekä kuormat vaihtelevat. (Tarpeenmukainen ilmanvaihto, WISE n.d.)

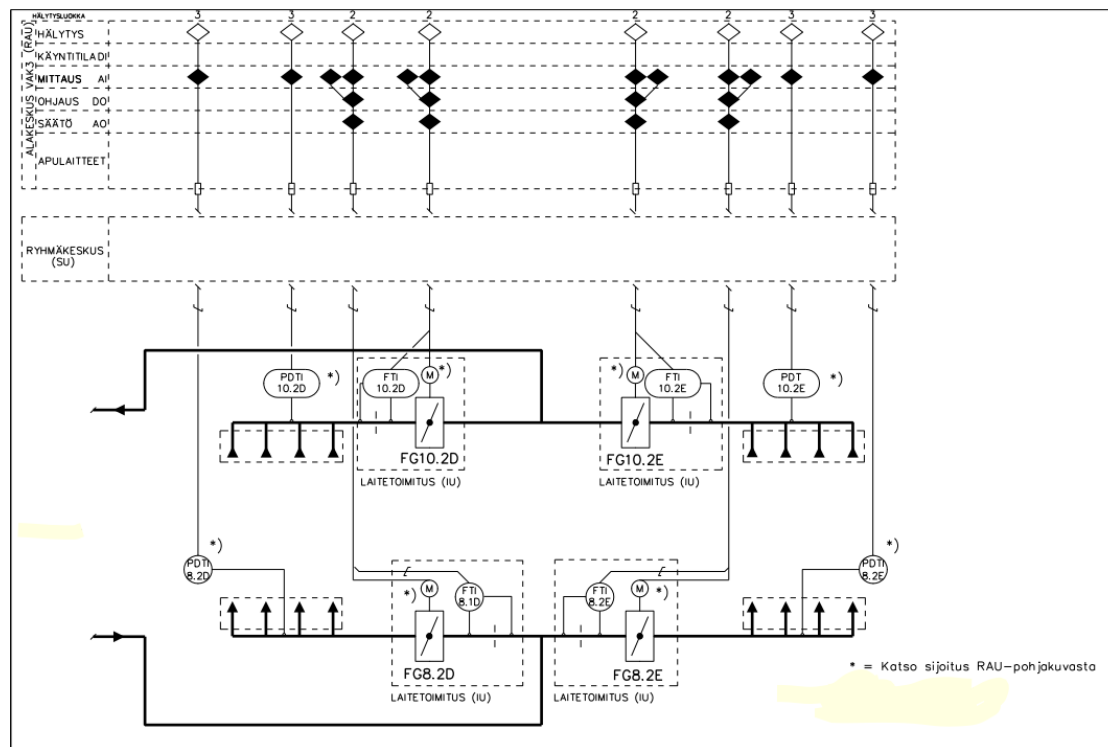
7 Vaihtoehtoiset ratkaisut tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle

Helsingin kaupungin rakennuttamissa päiväkodeissa ei käytetä lainkaan IMS-säätöä. Tähän on lueteltu muutamia syitä luvussa 6.6. Seuraavassa on esitetty vaihtoehtoinen ratkaisu tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle, joka tässä tapauksessa toteutetaan vyöhykesäädöllä sekä tilakohtaisilla säädöillä. Toteutustavaksi valittiin vyöhykesäätö, sillä siinä ilmavirtaa saadaan juuri halutun mukaisesti eikä kanavapainetta turhaan rajoiteta. Tilakohtaiselle säädölle esitetään kaksi eri vaihtoehtoa, aktiivisilla päätelaitteilla toteutettu ratkaisu tai On/Off-säädöllä ja tehostuspelleillä toteutettu ratkaisu. Ratkaisut kehitettiin yhdessä työn ohjaajan ja vanhojen järjestelmien pohjalta muokaten. (Takalo, 2016.)

Ilmanvaihtokoneena toimii kuviossa 15 esitetty pyörivällä lämmöntalteenotolla, (LTO), varustettu kone. Koneeseen sisältyvät tulo- ja poistoilmapuhaltimet, tulo- ja poistoilman suodattimet, raitis- ja poistoilmapelit, jälkilämmityspatteri sekä tarvittavat toimilaitteet ja anturit. Koneella toteutetaan sosiaali- ja ryhmätilojen ilmanvaihto. Positioiden tunnuksat tulevat Helsingin kaupungin ohjeistuksesta. Positiotunnusten merkitykset on esitetty liitteessä 1. (Takalo, 2016.)



Kuvio 15. IV-kone pyörivällä lämmöntalteenotolla (Ilmanvaihtoratkaisu päiväkotii, 2016.)

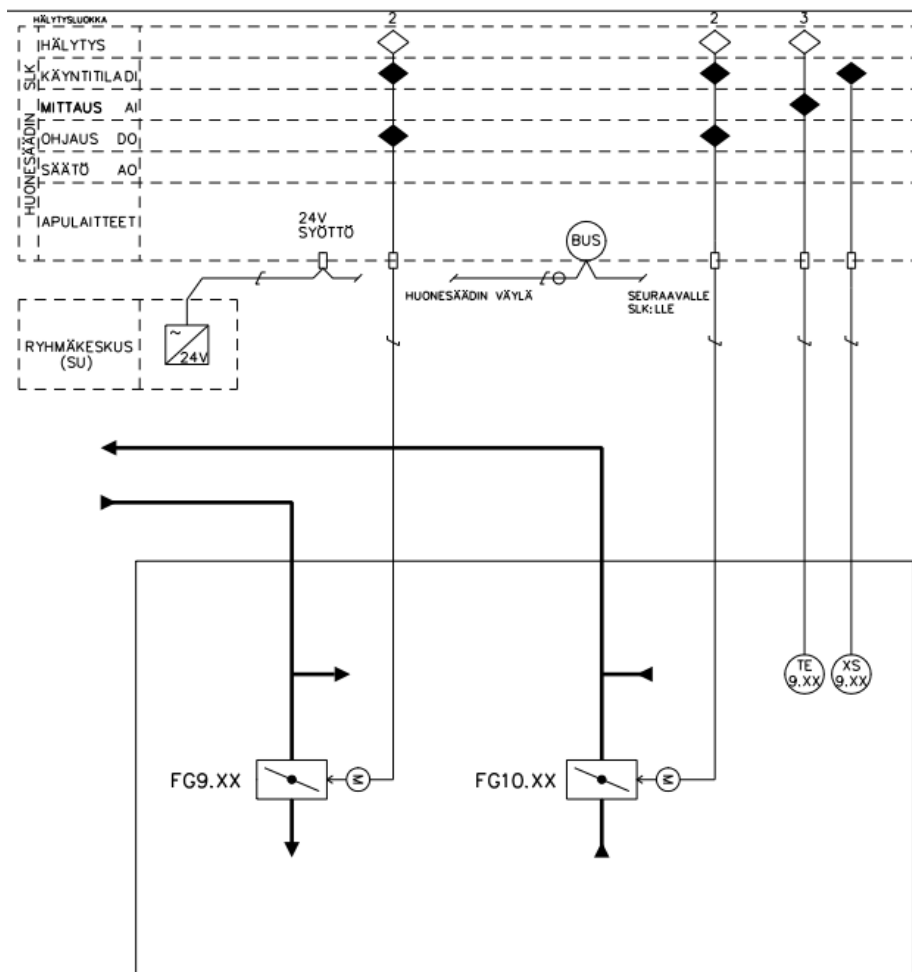


Kuvio 16. Vyöhykesäädön säätökaavio (Ilmanvaihtoratkaisu päiväkotiin, 2016.)

Kuviossa 16 on esitetty vyöhykesäädön säätökaavio. Kanavassa olevan paineen säätö toteutetaan säätöohjelmalla, joka on toteutettu vyöhykkeen paine-eromittauksella. Mitattu paine-ero säätää kyseisen vyöhykkeen vyöhykepeltiä ja pitää vyöhykkeen vakioaineessa. Vyöhykkeet jakautuvat seuraavasti:

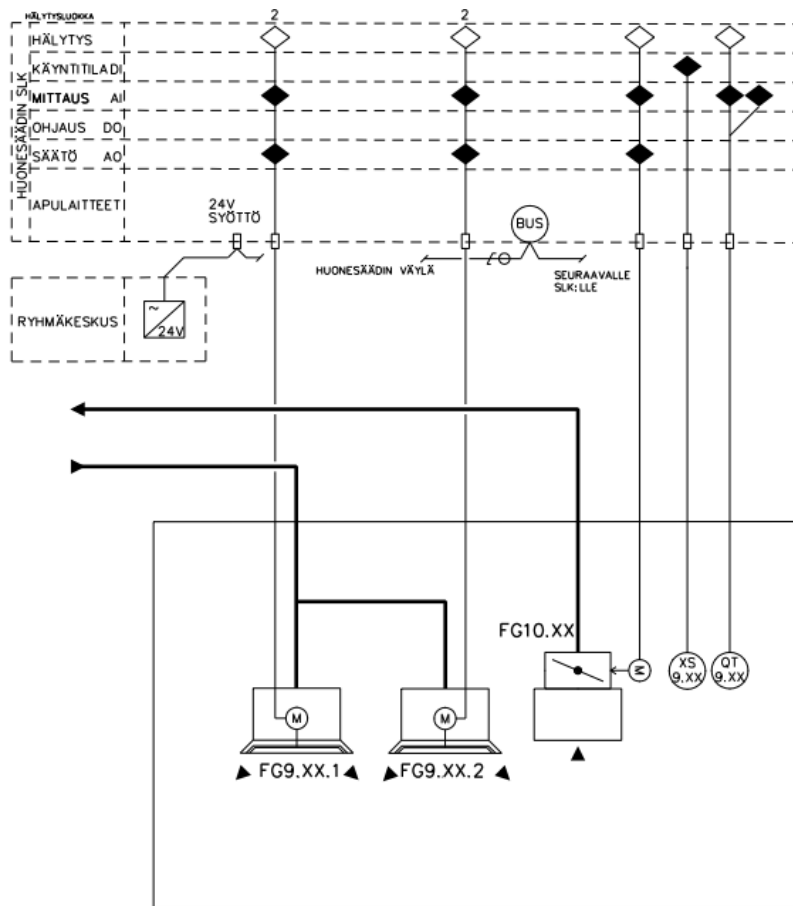
- Tuloilmavyöhykkeet
 - FG 5.1, PDTI 5.1, FTI 5.1
 - FG 5.2, PDTI 5.2, FTI 5.2
- Poistoilmavyöhykkeet
 - FG 10.1, PDTI 10.1, FTI 10.1
 - FG 10.2, PDTI 10.2, FTI 10.2

Vyöhykkeissä olevaa ilmamäärää sekä järjestelmän toimintaa seurataan ilmamäärämittausten avulla. Järjestelmän toimivuuden kannalta on erittäin tärkeää, että suunnitelmien mukaisia asennuspaikkoja sekä varoetäisyyksiä noudatetaan, millä välteään järjestelmän epäoptimaalinen toiminta. Kyseisiä ratkaisuja löytyy eri laitetoymitajilta, esimerkiksi Swegon WISE-järjestelmä. (Takalo, 2016.)



Kuvio 17. Tilakohtainen säätö On/Off-säädöllä ja tehostuspelleillä (Ilmanvaihtoratkaisu päiväkotiin, 2016.)

Kuviossa 17 on esitetty tilakohtainen säätö ”yksinkertaisemmalla” tavalla, eli käytetään On/Off-tehostuspeltejä. Tämä ratkaisu on teknisesti yksinkertaisempi ja edullisempi toteuttaa. Tilan tehostusta ohjataan lämpötilan perusteella sekä läsnäoloanturin avulla. Tilan vaatimaa tehostusta ohjataan lämpötilan mukaan siten, että kun lämpötilan asetusarvo ylitetään, tehostuspellit aukeavat. Kun lämpötila jälleen laskee alle asetusarvon, tehostuspellit sulkeutuvat. Kun tilan läsnäoloanturi havaitsee liikettä, avautuvat tehostuspellit. Mikäli liikettä ei havaita asetetun viiveen jälkeen, esim. 30 minuuttia, tehostuspellit ohjautuvat kiinni. Käyttöajan ulkopuolella tilassa on aamu- ja yö-tuuletus, jonka aikana myös tehostuspellit ovat auki. Hälytykset saadaan ristiriitaisesta peltien asentotiedosta sekä lämpötilan ylä- ja alarajoista. (Takalo, 2016.)



Kuvio 18. Tilakohtainen säätö aktiivisilla päätelaitteilla (Ilmanvaihtoratkaisu päiväkotiin, 2016.)

Kuvion 18 tilakohtainen säätö on toteutettu aktiivisilla päätelaitteilla. Tilan vaatimaa ilmamäärän tehostusta säädetään ilmanlaadun ja läsnäolon mukaan. Päätelaitteella on kolme asentoa: minimiteho, puoliteho sekä täysiteho. Päätelaitteille tehdään oma säätökäyrä, joka muodostetaan päätelaitteen ilmamääriä vastaavien säätöviestien avulla. Tässä ratkaisussa tilan ilmavirtaa säädetään läsnäoloanturin avulla. Kun se havaitsee tilassa liikettä, säätävät päätelaitteet vastaamaan 1/1-tehon ilmamäärää. Tilan ollessa tyhjä eikä läsnäoloanturi havaitse enää liikettä, säätävät päätelaitteet vastaamaan ½-tehon ilmamäärää tietyn viiveen jälkeen, esimerkiksi 30 minuuttia. (Takalo, 2016.)

Tilan tuloilmamäärää sekä poistoilmamäärää säädetään tarpeenmukaisesti aktiivisten päätelaitteiden avulla, muuttamalla niiden asentoa ilmanlaatumittauksen perus-

teella. Tässä tapauksessa ilmanlaatumittaus sisältää hiilidioksidi- ja lämpötilamittauksen, joille molemmille tehdään oma säätöohjelmansa. Kaikkien edellä mainittujen säätötapojen säätöohjelmat ovat käytössä ja suurin haluttu asetusarvo on määräävä. Käyttöajan ulkopuolella tilassa on yö- ja aamutuuletus, jonka aikana kaikki päätelaitteet ovat täysin auki. (Takalo, 2016.)

Kun mitä tahansa järjestelmää otetaan käyttöön ja säädetään toimintakuntoon, tulisi se tehdä yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa. Esimerkiksi ilmastointijärjestelmien käyttöönotossa tulisi olla mukana ilmanvaihtourakoitsija ja rakennusautomaatiouraakoitsija. Näin vältettäisiin suurimmat virheet ja saadaan haluttu toiminta sekä pienennetään reklamaatioiden määrää. (Takalo, 2016.)

Ilmavirran ultraäänimittaus

Uutena IMS-ratkaisuna markkinoille on kehitelty eri valmistajien toimesta ultraäänellä toteutettavia ilmavirran mittauksia. Ultraäänimittauksella saavutetaan monia etuja. Mittauksen toimintaan ja varmuuteen ei vaikuta kanaviston likaantuminen, eikä mittayhteistä aiheutuvaa painehäviötä synny. Mittaus on myös hyvin tarkka myös pienillä ilmavirroilla. Ultraäänimittaus on merkittävä ja oleellinen osa ilmanvaihtojärjestelmän mittauksissa tulevaisuudessa, sillä energiatehokkuusvaatimukset sekä kulutukset tiukkenevat jatkuvasti. (Lindab Ultralink esittelymateriaali, 2016.)

8 Valittu ratkaisu ja johtopäätökset

Helsingin kaupunki on tähän mennessä suhtautunut kielteisesti IMS-järjestelmän käyttöön eikä niitä ole saanut toteuttaa, sillä käyttökokemukset ovat olleet huonoja. Tämän vuoksi yksi opinnäytetyön tärkeimpiä tavoitteita olikin esittää vaihtoehtoinen ratkaisu, jolla vanhat, huonosti toimivat järjestelmät voitaisiin korvata. Työssä esitettyjen ratkaisujen pohjalta kaupungille saatiin esiteltyä vaihtoehtoinen ratkaisu tarpeelliseksi ilmanvaihdolle päiväkodissa.

Toteutettavaksi valittu tarpeenmukainen ilmanvaihto on toteutettu pelleillä, jotka jakavat järjestelmän eri vyöhykkeisiin ja tämän avulla saadaan vakaampi ja nopeammin muutoksiin reagoiva järjestelmä.

Huonekohtainen säätö toteutetaan yksinkertaisella on/off-säädöllä, jossa tehostuspellit ovat joko auki tai kiinni, toisin kuin aktiivisilla päätelaitteilla toteuttavassa ratkaisussa, jossa säätö tapahtuu portaittain tilan käyttöasteen mukaisesti. On/off-säädöllä toteutettu huonekohtainen säätö on yksinkertaisempi ja edullisempi tapa, kuin aktiivisilla päätelaitteilla toteutettava.

Järjestelmä ei myöskään tarpeettomasti rajoita kanavapainetta ja tämä parantaa järjestelmän käyttötaloutta. Kyseisellä ratkaisulla saadaan siis toteutettua ilmanvaihto luotettavasti ja tehokkaasti, sekä helposti huollettavaksi.

9 Pohdinta

Opinnäytetyöni tavoite oli tuoda esiin rakennusautomaation tärkeyttä jo hankkeiden suunnittelun alkuvaiheissa, esitellä projektin vaiheita ja kehittää energiatehokas vaihtoehto tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle ryhmä- ja sosiaalituloissa. Lisäksi työssä oli tarkoitus tutkia energiatehokkuutta standardin SFS-EN 15232 mukaan ja esittää standardin mukaisesti energiatehokkuusluokat muun muassa pumppujen ja puhaltimien ohjaukselle.

Työssä esitettiin rakennushankkeen suunnitteluprosessi ja sen pääpiirteet. Rakennusautomaation vaikutusta suunnitteluun ja rakennusten energiatehokkuuteen käsiteltiin standardien ja eri ohjeistuksien avulla. Työssä käytiin läpi myös ilmanvaihdon perusteet ja yleisimmät toteutustavat.

Vaihtoehtoiseksi ratkaisuksi tarpeenmukaiselle ilmanvaihdolle esitettiin vyöhykesäädöllä toteutettu ratkaisu, jossa lämmöntalteenottojärjestelmänä toimi pyörivä lämmöntalteenotto. Huonekohtaisille säädöille esitettiin kaksi erilaista toteutusta. Ensimmäinen ratkaisusta oli toteutettu on/off-säädöllä ja toisessa vaihtoehdossa säätö oli toteutettu aktiivisilla päätelaitteilla.

Kaupungille esitettiin ratkaisu vaihtoehtoiselle ilmanvaihdolle työssä esitettyjen ratkaisujen pohjalta. Ratkaisussa tarpeenmukainen ilmanvaihto on toteutettu vyöhykesäädöllä. Tilakohtaiselle ratkaisulle työssä esiteltiin kaksi eri mahdollisuutta, joista toteutetaan yksinkertaisempi on/off-säädöllä toteutettu ratkaisu. Se on toiminnaltaan yksinkertaisempi ja helpompi huoltaa, mutta on silti toiminnaltaan tehokas. Mikäli kohteen valmistuttua ratkaisusta saadut hyödyt ja käyttökokemukset ovat halutun mukaisia, tulee mallista mahdollisesti Helsingin kaupungin ratkaisu samankaltaisiin päiväkotihankkeisiin myös tulevaisuudessa.

Opinnäytetyö toteutettiin varsinaisen päivätyön ohella, joka asetti haasteita aikataulun ja sisällön kanssa, mutta aihe saatiin rajattua hyvin. Tavoitteet saavutettiin kaikilta osin halutun mukaisesti. Pää tavoitteena oli kehittää vaihtoehtoinen ratkaisu tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toteutukselle päiväkotihankkeessa Helsingin kaupungille. Tässä tavoitteessa onnistuttiin ja eräs päiväkotihanke toteutetaankin työssä esitetyllä tavalla. Valitun ratkaisun tarkempi perustelu työn alkuperäisen suunnitelman mukaisesti energialaskelmilla ja -simuloinneilla jouduttiin aikataulun takia rajaamaan työn ulkopuolelle. Jatkotutkimuksena voisikin toteuttaa työssä esitettyjen ja muiden samankaltaisten kohteiden ilmanvaihtoratkaisujen tarkempaa tutkimista analysointien ja laskemien avulla.

Myös energiatehokkuuden ja automaation esille tuominen rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa sekä automaation vaikutuksesta energiatehokkuuteen saatiin käytyä läpi siinä laajuudessa kuin oli suunniteltu.

Lähteet

Helsingin kaupungin palvelurakennusten matalaenergiarakentamisohje, rakennusautomaation suunnitteluohje. 2010. Helsinki: Helsingin kaupunki.

Ilmanvaihdon perusteet. N.d. Sisäilmayhdistys ry. Viitattu 6.11.2016.

<http://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>

Ilmanvaihtoratkaisu päiväkotiin. 2016. Wise Group Oy:n sisäinen tietokanta. Viitattu 16.11.2016.

Liedes, R. 2014. ST-ohjeisto 20, Automaation vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen, opas standardin SFS-EN 15232 käyttöön. Espoo: Sähkötieto ry.

Lindab Ultralink esittelymateriaali. 2016. Powerpoint-materiaali, Lindab. Viitattu 6.12.2016.

Matalaenergiarakentamisen määritelmiä. N.d. Rakennusteollisuus. Viitattu 6.11.2016.

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Ilmasto--ja-energiapolitiikka/Rakennettu-ymparisto-ja-energian-kulutus/>

Rakennusten automaation vaikutus energiatehokkuuteen, perusteet ja opas. 2012. Espoo: Ympäristöministeriö.

RT 96-11003:2010. Päiväkotien suunnitteluohje. 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sandberg, E. 2014a. Sisäilmasto ja ilmastoitijärjestelmät, ilmastointitekniikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg, E. 2014b. Ilmastointilaitoksen mitoitus, ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

SFS-EN 15232:2012. Energy performance of buildings. Impact of building automation, controls and building management. Vahvistettu 26.3.2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

Silver, T. 2016. Rakennusautomaation tietotekniikka, RAU-pätevyyspäivän kurssimateriaali. Integrio Oy.

ST-käsikirja 17. 2012, Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-käsikirja 21. 2006, Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähkötieto ry.

ST-käsikirja 22. 2008, Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Espoo: Sähkötieto ry.

ST 41.10. 2013, Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo, TATE12. Rakennustieto Oy.

ST 715.10. 2010, Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa. Espoo: Sähkötieto ry.

Takalo, T. 2016. Rakennusautomaatiosuunnittelun projektipäällikkö. Wise Group Finland Oy. Haastattelu 16.11.2016.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto, WISE. N.d. Swegon. Viitattu 6.12.2016

<http://www.swegon.com/fi/Tuotteet/Ilmavirran-saato/Tarpeenmukainen-ilmanvaihto-WISE/>

Tekninen käsikirja, ilmankäsittelykoneet. 2010. Turku: Fläkt Woods Oy. Viitattu 6.11.2016

Liitteet

Liite 1. Positiotunnusten selitykset

FV = moottoriventtiili

FG = peltimoottori

EC = EC-moottori

FTI = ilmamäärälähetin

LP = lämpöpatteri

LTO = lämmöntalteenotto

PDTI = paine-erolähetin

PF = poistoilmapuhallin

SC = taajuusmuuttaja

SE = kierrosnopeusvahti

SU = suodatin

TE = lämpötila-anturi

TF = tuloilmapuhallin

TZA = jäätymissuoja

Q = turvakytkin

QT = pitoisuuslähetin

XS = liiketunnistin