



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

AUTOMAATTINEN ANALY- TIIKKA MUKANA TALOTEK- NIIKAN HALLINNASSA

TEKIJÄ/T: Aki Hartikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Aki Hartikainen			
Työn nimi Automaattinen analytiikka mukana talotekniikan hallinnassa			
Päiväys	26.10.2019	Sivumäärä/Liitteet	23/1
Ohjaaja(t) Yliopettaja Harri Heikura, Projekti insinööri Antti Achrenius			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Schneider Electric Finland Oy, Ville Markkanen			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyö tehtiin Schneider Electricille Finland Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää automaattisen analytiikan tarpeenmukaisuus ja sen kannattavuus yritykselle. Automaattinen analytiikka on tulossa osaksi kiinteistöautomaatiojärjestelmiä ja tulee yleistymään tulevaisuudessa enemmän. Aihe antaa kattavan käsityksen automaattisen analytiikan mahdollisuuksista ja tarpeista tulevaisuuteen nähden.</p> <p>Työtä varten tarkasteltiin kohteiden osalta tehtävät huoltotilaukset ja niiden vika- ja tyyppimuutokset. Nämä tiedot kerättiin Exceliin, jotta saataisiin rakennettua selvä kuva kiinteistön tilasta. Näitä muutoksia verrattiin siihen, kun automaattinen analytiikka on ollut käytössä kiinteistössä. Tavoitteena oli saada selville automaattisen analytiikan tuomat muutokset ja hyödyt kiinteistölle. Huoltotilausten muutoksista voidaan päätellä kiinteistön muutokset. Itse työssä tiedot kerättiin yrityksen järjestelmästä, joista koostettiin Excel-tilukko, jossa tietoja verrattiin. Tiedot kerättiin kahden vuoden ajalta. Näistä tiedoista koostettiin graafiset taulukot ja PowerPoint-esitys yritykselle. Opinnäytetyön yhteydessä tehtiin myös automaattisen analytiikan takaisinlaskenta (ROI) esimerkki. Tätä esimerkkiä voidaan käyttää hyödyksi myydessä automaattista analytiikkaa asiakkaalle.</p> <p>Tässä opinnäytetyöllä saatiin tarkasteltua automaattisen analytiikan havainnot kiinteistössä ja miten ne vaikuttavat kiinteistön tilaan. Automaattinen analytiikka tulee olemaan tulevaisuudessa suuremmassa osin mukana myös kiinteistöautomaatiojärjestelmissä. Työssä saatiin parempi käsitys automaattisen analytiikan vaikutuksista ja toiminnasta. Tulevaisuudessa se helpottaa analytiikan kehittämistä Suomessa ja minkälaisiin tarkoituksiin se soveltuu parhaiten.</p>			
Avainsanat Analytiikka, Kiinteistöautomaatio, kiinteistön energianhallintapalvelu			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author(s) Aki Hartikainen			
Title of Thesis Building Analytics in the Management of Building Services			
Date	26.10.2019	Pages/Appendices	23/1
Supervisor(s) Principal Teacher Harri Heikura, Project Engineer Antti Achrenius			
Client Organisation /Partners Schneider Electric Finland Oy, Ville Markkanen			
<p>Abstract</p> <p>The thesis was done for Schneider Electric Finland Oy. The purpose of this thesis was to find out the necessity of analytics and profitability for the company. Analytics is becoming part of buildings automation systems and will become more common in the future. The thesis gives a comprehensive insight into the potential and needs of analytics for the future. There are not too many analytical tools in the market yet. It was good to examine this subject more thoroughly.</p> <p>This data was collected from the company's system into Excel to provide a clear view of the property. These changes were compared with the analytics used in the property. The aim was to find out the changes brought by analytics and the benefits for the buildings. Changes in maintenance orders can be used to reduce changes in buildings. Data was collected over two years. This information was used to compile charts and PowerPoint presentation for the company. An analytical payback calculation (ROI) example was also done in the thesis. This example can be used to help sell analytics to a customer.</p> <p>The goals set for this study were achieved because this study gives a better understanding of the operation of analytics. In the future we will have a better understanding of analytical systems which will help the development of analytics in Finland and finding out what purposes they are best suited.</p>			
Keywords Analytics, Building Automation system, Building Energy Management,			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	4
2	RAKENNUSTEN ENERGIATARVE.....	5
2.1	Rakennuksen energiamuodot.....	5
2.2	Lämmitystavat ja rakennuskanta.....	6
2.3	Rakennusten laskennallinen energiankulutus.	6
2.4	Rakennusten energiankulutusten kehitys.	7
3	KIIINTEISTÖN ENERGIAHALLINTA.....	9
3.1	Ilmanvaihtokoneen toiminta	9
3.1.1	Sisäilmaluokitus	9
3.2	Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarve.	12
3.3	Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve.	14
3.4	Jäähdytysjärjestelmän energiakulutus.	14
4	AUTOMAATTINEN ANALYTIikka.....	17
4.1	Määrällisiin mallinnustekniikoihin pohjautuva analytiikka.....	17
4.2	Laadullisiin mallinnustekniikoihin pohjautuva analytiikka.....	18
4.3	Vian tunnistus ja diagnostiikka.....	19
4.4	Prosessihistoriamalliin pohjautuva analytiikka.	20
5	LÄHDELUETTELO.....	22
	LIITE 1: YLEISKATSAUS ILMANVAIHTOKONEEN-DIAGNOSTIIKKASÄÄNTÖJEN PUUSTA.....	24

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Schneider Electric Finland Oy:n kanssa. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Schneider Electric Finland Oy:n energiahallintapalvelun hyötyjä ja verrata niitä automaattinen analytiikka-malliseen palveluun. Opinnäytetyön tarkoituksena on löytää automaattisen analytiikan hyödyt kiinteistön energiahallintapalvelun tuottamisessa.

Vuonna 2016 kiinteistöjen lämmitysenergiakulutus oli 26 % kokonaisenergian kulutuksesta (Energiatilasto, 2017). Rakennusten energiankulutus on suuressa osassa työtä tehtäessä, mutta niin myös kiinteistön olosuhteet. Tässä työssä selvitetään kiinteistöön kohdistuvat kulutukset ja olosuhteiden tämän hetkiset vaatimukset. Automaattisen analytiikan toiminta ja sen vaikuttaminen mukana palvelun tuottamisessa on iso osa tätä työtä. Automaattinen analytiikka on työkalu, joka kerää kiinteistöautomaatiojärjestelmästä suuren määrän pistetietodataa, jonka perusteella se ilmoittaa tarpeellisista ennakoivista huoltotoimenpiteistä. (Schneider Electric Finland Oy, 2019)

Työtä tehdessä tarkastellaan palvelun tuottamista ennen kuin automaattinen analytiikka on toiminut kiinteistössä ja sen jälkeen, kun automaattinen analytiikka on otettu käyttöön. Tarkasteluajanjakso työlle oli kaksi vuotta. Yrityksen järjestelmästä saatiin tarvittavat tiedot, joiden perusteella voitiin kasata kuva kiinteistöön tehtävistä huoltokäynneistä ja kiinteistön kunnosta ja nykytilasta. Näiden tietojen pohjalta lähdettiin rakentamaan Excel-taulukko kokonaiskuva kahden vuoden ajalta, jotta saataisiin käsitys automaattisen analytiikan vaikutuksesta kiinteistöön. Kokonaiskuvan syntyessä voitiin pureutua tarkemmin havaintoihin, joita työtä tehdessä ilmeni. Valitsin tämän aiheen kiinnostuksen perusteella ja koska automaattinen analytiikka tulee olemaan myös osa kiinteistöautomaatiota tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä laskettiin myös mahdollinen takaisinmaksuaika automaattiselle analytiikalle ja tehtiin vertailu kiinteistöhuollon ja analytiikan välillä.

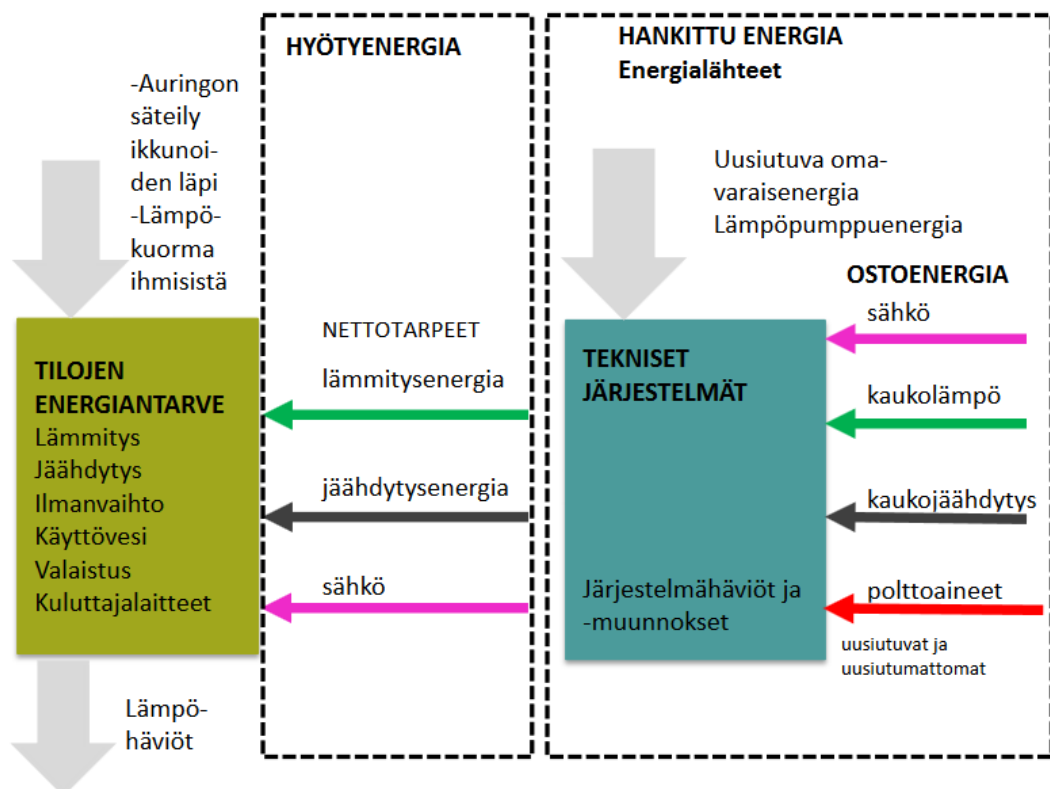
2 RAKENNUSTEN ENERGIATARVE

Ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 80 % on peräisin energiantuotannosta ja kulutuksesta (ml. liikenne), mikä tarkoittaa, että energia- ja ilmastopolitiikka ovat tiivis kokonaisuus. Suomessa rakennettujen rakennusten energiakulutuksen osuus primäärienergian kulutuksesta on noin 38 %. Rakennusten lämmityksen kasvihuonepäästöt ovat noin 30 % Suomen kokonaispäästöistä. Suomen ilmastolain tavoitteena on vähentää ihmisten toiminnasta ilmakehään aiheutuvien kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä vuoteen 2050 mennessä vähintään 80 % verrattuna vuoteen 1990 (Suomen Ympäristökeskus Raportti, 35/2016, s. 6). Pariisin ilmastopöytäkirjassa on asetettu uusia ilmastotavoitteita kuten maapallon keskilämpötilan nousemisen rajoittaminen korkeintaan kahteen asteeseen. (Suomen Ympäristökeskus Raportti, 35/2016, ss. 6,9).

Rakennuksissa käytetään myös sähköenergiaa enemmän kuin ennen. Suunta onkin ollut, että sähköenergian määrä kasvaa ja lämmitysenergian määrä pienenee. Rakennuksia myös jäähdytetään enemmän kuin ennen. (Vuolle, 2003)

2.1 Rakennuksen energiamuodot

Rakennuksen lämmittämiseen, jäähdyttämiseen ja toimimiseen tarvitaan energiaa. Näitä energioita ovat sähkö-, lämmitys- ja jäähdytysenergia. Näitä energioita voidaan kutsua myös hyötyenergiaksi. Suuret kiinteistöt tai rakennukset ostavat nämä energiat lähes poikkeuksetta joltainkin palveluntarjoajalta. Yleisimmät energiantarjoajat ovat voimalaitokset. (Lappalainen, 2010, s. 12). Vuonna 2019 uusiutuvien energiamuotojen osuus oli 37 % (Tilastokeskus, 2019).



KUVA 1. Rakennusten energiankäytön pääkäsitteet energiatilastoissa. (Suomen Ympäristökeskus Raportti, 35/2016, s. 12)

2.2 Lämmitystavat ja rakennuskanta.

Suomen rakennuskanta on vaihtelevaa ja se vaikuttaa paljon energiankulutukseen. Erilaisilla lämmitystavoilla ja niiden tehokkuudella on merkitystä lämmitysenergian kulutukseen. Suomi sijaitsee pohjoisella pallonpuoliskolla ja täällä on talvella kylmä, mistä johtuen rakennuksia täytyy lämmittää, jotta olosuhteet ihmisille säilyisivät hyvänä. Suurien asuin- ja liikekiinteistöjen tehokkain lämmitysmuoto on kaukolämpö. Muita lämmitysmuotoja kuin kaukolämpö ovat mm. öljy, kaasu, sähkö, puu ja maalämpö. Näitä lämmitysmuotoja käytetään yleensä omakoti- ja paritaloissa. Maalämmönosuus uusiutuviissa energiamuodoissa on kasvanut viimeisen 15 vuoden aikana paljon.

Suomen ilmasto vaikuttaa merkittävästi rakennusten lämmitykseen Suomessa. Teoreettisen laskelmien mukaan nykyisten rakennusten vuotuinen energiankulutus on n. 160 TWha. Lisäksi rakennusmateriaalien valmistus kuluttaa 20 TWha vuodessa. Tekniikan kehittyminen ja energiasäästötoimenpiteet ovat vähentäneet ominaiskulutusta 30 % 1970-luvun tasosta. Suomen rakennuskanta on Eurooppaan verrattuna nuorta. 80 % rakennuksista on valmistunut 1960-luvun jälkeen. Lähes puolet kaikista rakennuksista on kytketty kaukolämpöön. Sähkön osuus omakotitalojen lämmityksessä on 60 %. (Lappalainen, 2010)

Suomessa yleisin rakennusten lämmitysmuoto on kaukolämpö. Sen osuus markkinoista on noin puolet. Kaukolämmitys on alkanut Suomessa 1950-luvulla. Oikein mitoitettut ja säädetyt laitteet takaavat energiatehokkaan kaukolämmön kulutuksen ja tuotannon. Uudisrakennuksilla tehontarpeet lasketaan RakMK:n määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Muissa kuin uudisrakennuksissa lämmitystehontarve lasketaan käytettävissä olevista kulutus- ja mittatiedoista. (Energiateollisuus, 2013, ss. 1-7)

2.3 Rakennusten laskennallinen energiankulutus.

Rakennuksen lämmityksen energiankulutus muodostuu tilojen, ilmastoinnin ja käyttöveden lämmittämistä. Jos rakennuksessa on kaksi tai useampi lämmöntuottolähde, lasketaan lämmitysenergian kulutus järjestelmittäin jokaisen järjestelmän hyötysuhteen ja järjestelmään kohdistuvan lämmitystarpeen mukaan. Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan erikseen. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan lämmöntuottojärjestelmittäin kaavalla 1. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 48)

$$Q_{\text{Lämmitys}} = \frac{Q_{\text{Lämmitys,tilat}} + Q_{\text{Lämmitys,IV}} + Q_{\text{Lämmitys,lkv}} - Q_{\text{aurinko,lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad (1)$$

Jossa

$Q_{\text{lämmitys}}$	Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kWh/a)
$Q_{\text{Lämmitys, tilat}}$	Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve (kWh/a)
$Q_{\text{lämmitys, iv}}$	Ilmanvaihdon lämmityksen energiantarve (kWh/a)
$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$	Lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh/a)
$Q_{\text{muu tuotto}}$	Muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia (kWh/a)

η_{tuotto} Lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä (kWh/a)

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 2. (Ympäristöministeriö, 2018)

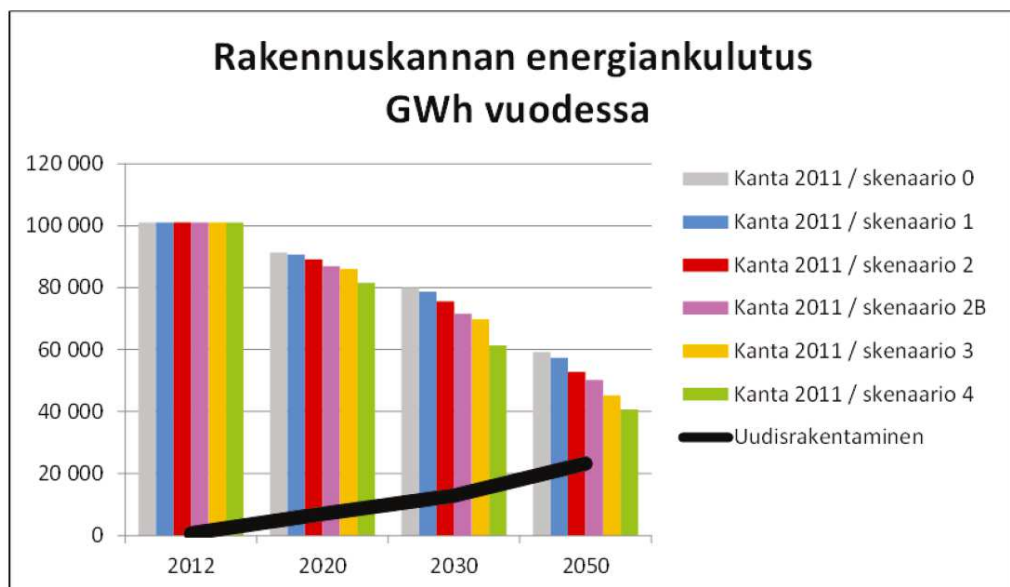
$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{kv,pumppu}} + W_{\text{aurinko,pumput}} + W_{\text{LP,lämmitys}} \quad (2)$$

Jossa

$W_{\text{lämmitys}}$	Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh/a)
W_{tilat}	Lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus (kWh/a)
$W_{\text{tuotto,apu}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus (kWh/a)
$W_{\text{kv,pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus (kWh/a)
$W_{\text{aurinko,pumput}}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergian kulutus (kWh/a)
$W_{\text{LP,lämmitys}}$	lämpöpumppujärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh/a)

2.4 Rakennusten energiankulutusten kehitys.

On arvioitu, että vuoteen 2050 mennessä rakennusten energiankulutus vähenee 25 %. Tähän vaikuttaa eniten vanhan rakennuskannan poistuminen. Rakennusten rakennusprosesseja on kehitetty ja Suomessa ollaan painotettu rakenteellista lämmöntuottavuuden parantamista. Rakenteellinen lämmöneristys uusissa rakennuksissa on Suomessa jo hyvällä tasolla. Kuvassa 2 on arvioitu rakennuskannan energiakulutuksen skenaariota. (Airaksinen, 2/2017, ss. 1,2)



KUVA 2. Rakennuskannan energiankulutuksen ennusteita eri skenaarioissa. (Airaksinen, 2/2017)

Kiinteistötekniikalla ja automaatiolla on iso rooli uudisrakentamisessa. Näiden ollessa uusinta teknologiaa saadaan parhaat mahdolliset energiasäästöt. Kiinteistöautomaatiolla saadaan optimoitua kiinteistön energian kulutus siten, että olosuhteet pysyvät hyvänä. Energiankulutus riippuu paljon myös kiinteistön käyttäjien toimista. Käyttäjien motivoinnilla ja tiedottamisella on saatu energiakulutusta

pudotettua jonkin verran. Kiinteistön tarpeen mukaisella säädöllä on saatu 10-30 % energiasäästöjä.
(Airaksinen, 2/2017, s. 3)

3 KIINTEISTÖN ENERGIAHALLINTA

Kiinteistön energiahallinta palvelulla tehostetaan kiinteistön energian käyttöä. Palveluntarjoajia on Suomessa monia eri yrityksiä. Palvelun aikana kiinteistöstä kartoitetaan kohdat ja alueet, joilla energiaa on mahdollista säästää. Yleensä palvelussa käytetään kiinteistöautomaatiota apuna energiansäästö toimenpiteiden saavuttamiseksi. Kiinteistöautomaatioon voidaan tehdä aikaohjelmien optimointeja. Myös kiinteistön lämpötiloja voidaan optimoida paremmin toimiviksi, kuitenkin niin että olosuhteet pysyvät hyvinä. Ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmät ovat keskeisessä osassa energiahallintapalvelua.

3.1 Ilmanvaihtokoneen toiminta

Ilmanvaihtokoneella on tarkoituksena pitää sisäilmanlaatu hyvänä. Sisäilman vaatimustaso perustuu tiloissa olevien ihmisten terveys- ja viihtymysvaatimuksiin. Hyvä sisäilma vähentää sairauksia ja parantaa ihmisten viihtyvyyttä ja työtehoa. Keskeinen sisäilman laatuun vaikuttava tekijä on tuloilman puhtaus. Ilmanvaihtokoneella käsitellään tuloilmaa, joka pyritään puhdistamaan yhtä puhtaaksi kuin ulkoilma tai jopa puhtaammaksi. Hyvälaatuisessa tuloilmassa ei saa olla terveydelle haitallisia aineita (esim. mikrobit, bakteerit, syöpävaaralliset kuidut) myöskään hiukkamaisia epäpuhtauksia tai viihtyvyyteen vaikuttavaa hajua. (Harri Ripatti, 2002, s. 7)

3.1.1 Sisäilmaluokitus

Viimeisin sisäilman luokitus on vuodelta 2018. Sisäilmaluokitus antaa hyvälle sisäilmalle suunnittelu- ja tavoitearvot. Sisäilmaluokitus on laajasti käytössä rakennus- ja taloteknisessä suunnittelussa. (Sisäilmayhdistys ry, 2018)

Vuoden 2018 sisäilmaluokituksessa on sisäilmanlaatu jaettu kolmeen luokkaan.

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

S1: yksilöllinen sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Lämpötilaolot ovat hyvät ja viihtyisät, eikä vedon tunnetta tiloissa synny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti säätämään tilan lämpötila ja ilmanvaihto asetusta. Tiloissa on käyttötarkoituksen mukainen hyvät ääni ja valaistus olosuhteet, joita käyttäjä voi yksilöllisesti säätää.

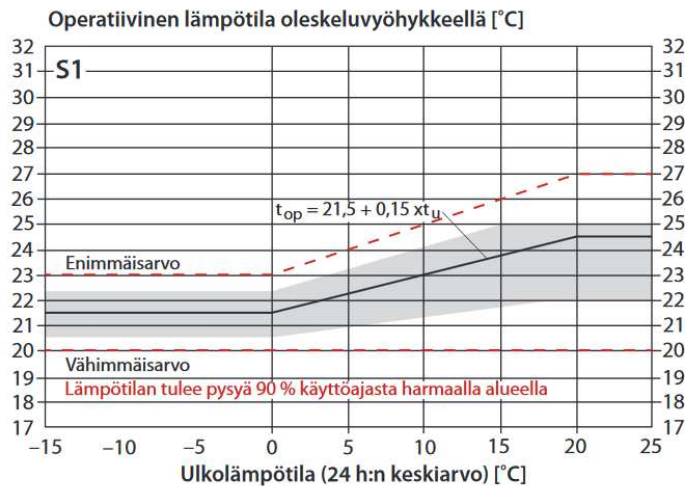
S2: Hyvä sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Lämpötilat ovat hyvät eikä vedon tunnetta yleensä esiinny, mutta tilan lämpeneminen on mahdollista kesän aikana. Tiloissa on tarkoituksenmukaiset hyvät valaistus ja ääni olosuhteet.

S3: Tyydyttävä sisäilman laatu täyttää rakennusmääräyksen vähimmäisvaatimukset. Ilma voi ajoittain olla tunkkaista ja ylikuumenemista tapahtuu kesällä. Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista tai tarvittaessa määritellä jonkin suureen arvo. (Esko Kukkonen, 2017, s. 3)

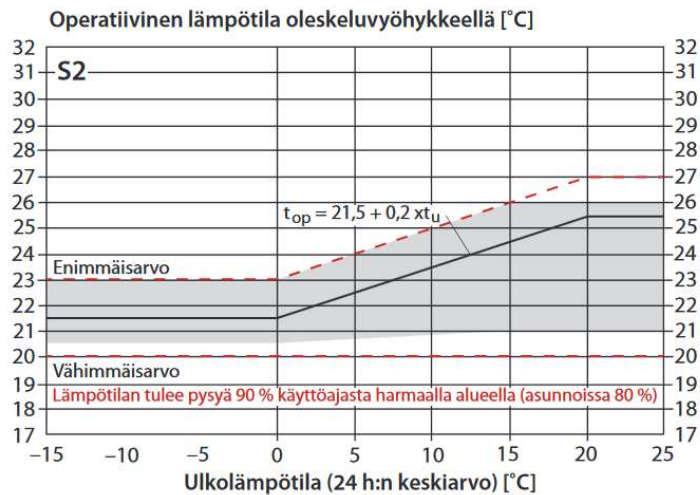
Rakentamisen ja kiinteistöhoiton sopimuksiin soveltuvat suureet:

- huonelämpötila
- ilman liikenopeus
- mitoitusilmavirta
- lämmitys- ja ilmastointilaitteen äänitaso
- ilma- ja askelääneneristys
- rakennuksen ulkopuolisen äänilähteen aiheuttama melutaso
- valaistusvoimakkuus
- raadonpitoisuus
- hiilidioksidipitoisuus

Sisäilmanluokitus 2018 määrittää sisäilman lämpötilalle tavoitetasot. Tavoitetasot ovat eri talvelle ja kesälle.



KUVA 3. S1 luokan lämpötilan tavoitearvot (Sisäilmäyhdistys ry, 2018, s. 6)



KUVA 4. S2 luokan lämpötilan tavoitearvot (Sisäilmayhdistys ry, 2018, s. 6)

Sisäilmaluokassa on myös määritetty kuinka paljon ilman pitää vaihtua tilassa. Tilojen ulkoilmavirrat suunnitellaan standardin SFS-EN 16798-3:2017 mukaisesti (Sisäilmayhdistys ry, 2018, s. 15). Ilmavirtoja on pystyttävä säätämään käyttötarpeen mukaisesti. Ympäristöministeriön asetuksessa on ilmanvaihtuvuudeksi säädetty $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohden, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilman tarvetta. Normaalin käyttöajan ulkopuolella rakennuksen kesimääräinen ilmanvaihto on oltava $0,15..0,2 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{ m}^2$ siten että ilman tulee vaihtua kaikissa huonetiloissa ja ettei sisäilman ja ulkoilman painesuhde muutu. Ilmanvaihto pyritään mitoittamaan mahdollisimman tarkasti henkilökuormituksen mukaisesti. Mikäli henkilömäärää ei suunnittelu vaiheessa tunneta, tulee ilmanvaihto mitoittaa suurimman todennäköisen ilmanvaihto tarpeen mukaisesti. Taulukossa 1 on annettu viitearvoja ilmanvaihdon mitoittukseen, mikäli tilan henkilömäärä ei ole tiedossa. (Sisäilmayhdistys ry, 2018, ss. 15-16)

TAULUKKO 1. Tuloilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot tiloissa, jotka täyttävät erittäin vähäpäästöisen rakennuksen kriteerit. (Sisäilmayhdistys ry, 2018, s. 16)

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²	dm ³ /s, hlö	dm ³ /s, m ²
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10–12	16	1,5	11	1,0	6	1,0
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6–8	14	2,0	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	8	3,5	6	3,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	5,0	8	4,0	6	2,0
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4,0	8	3,0	6	3,0
Käytävä ja porrashuone			1,0		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1,0		1,0
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Kuumennus- ja jakeluaitio ¹⁾			10		10		5–10
Valmistusaitio ¹⁾			15–40		15–40		15–25
Astianpesuhuone ¹⁾			12–20		10–15		10
Liiketila, myymälä ¹⁾		10	1–3	8	1–3	6	1–3
Näyttelytila			3		3		2
Kirjasto			3		2		2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali)		10		8		6	
Lämpö			5		5		5
Kuntosali			6		6		6
Liikuntahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikuntahalli, katsojat		10		8		6	
Potilashuone ²⁾		15	3,5	12	3	10	2,5
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,35

¹⁾ Prosessin aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti.

²⁾ Sairaalatilojen sisäilmaston suunnittelusta ja ilmavirroista on tietoja raportissa Sairaalailmanvaihdon suunnitteluohjeita (Ryynänen 2007).

Toimistotiloille ja asuintiloille on määritelty eri mitoitusilmavirrat. Asuintilojen ilmanvaihto mitoitetaan taulukon 2 mukaisesti. Ilmanvaihto ja kanavisto mitoitetaan niin, että jokaiseen makuuhuoneeseen soveltuvaan huoneeseen on mahdollista tuoda kahden hengen vaatima ilmamäärä. (Sisäilmayhdistys ry, 2018, s. 16)

TAULUKKO 2. Ulkoilmavirtojen mitoitusarvot asuintiloissa (oleskelu ja makuuhuoneet). (Sisäilmayhdistys ry, 2018, s. 17)

Käyttötilanne	Yksikkö	S1	S2	S3
Normaali käyttö	dm ³ /s, hlö	10	8	6
Tehostustilanne, asuntokohtainen suurennusmahdollisuus	%	30	30	30
Käyttöajan ulkopuolinen perusilmanvaihto	dm ³ /s, m ²	0,2	0,2	0,15

3.2 Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarve.

Ilmanvaihtokoneelle voidaan laskea lämmitysenergian nettotarve vain silloin, kun prosessi koostuu vain ilmanlämmityksestä ja vakiotuloilman virrasta. Jos prosessiin sisältyy jäähdytystä, kostutusta tai ilmanvaihtojärjestelmä on ilmamääräsäätöinen, on energiantarve laskettava muulla tavalla. Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarve lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle erikseen, koska

ilmanvaihtokoneilla voi olla eri lämmitysmuotoja. Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 3. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 23)

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

Jossa

Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v, tulo}$	tuloilmavirta, m ³ /s
T_{sp}	sisään puhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmä on rakennuksen energiankulutuksen kannalta tärkeä osa. Lämmöntalteenottojärjestelmät voidaan jakaa viiteen ryhmään.

- Pyörivä lämmönsiirrin
- Vastavirtakanavalämmönsiirrin
- Vastavirtalevyllämmönsiirrin
- Ristivirtalämmönsiirrin
- Nestekiertoinen lämmönsiirrin.

Lämmöntalteenoton hyötysuhde vaihtelee lämmöntalteenottimen mukaan. Lämmöntalteenottimen vuosittainen hyötysuhde vaihtelee 50-85 % välillä, riippuen lämmöntalteenottojärjestelmästä. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2009, s. 113). Lämmöntalteenotolla otettu teho voidaan laskea kaavalla 4 (Ympäristöministeriö, 2018, s. 24).

$$\emptyset_{lto} = \eta_{a,ivkone} t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} (T_s - T_u) \quad (4)$$

jossa

\emptyset_{lto}	lämmöntalteenotolla talteen otettu kuukauden keskimääräinen teho, W
$\eta_{a, ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde,
t_d	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

Q_v , poisto	poistoilmavirta, m ³ /s
T_s	sisälämpötila, °C
T_u	ulkolämpötila, °C

3.3 Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve.

Lämpimän käyttöveden nettotarve sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämisen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa. Asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden osuuden lähtötietona voi olla 40 % rakennuksen kokonaiskulutuksesta. (Ympäristöministeriö, 2018, ss. 26,27)

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 5

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (5)$$

jossa

$Q_{lkv, netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh
ρ_v	veden tiheys 1000 kg/m ³
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti 4,2 kJ/(kg K)
V_{lkv}	lämpimän käyttöveden kulutus m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila °C
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi s/h

3.4 Jäähdytysjärjestelmän energiakulutus.

Rakennusta voidaan jäähdyttää ilmanvaihtokoneessa olevalla jäähdytyspatterilla tai huonekohtaisilla jäähdytyslaitteilla. Jäähdytysjärjestelmä voi olla kompressorilaitos, kaukokylmä tai vapaajäähdytystorni. Kaukokylmä on ostettua jäähdytystä suoraan voimalaitokselta. Vuotuiset jäähdytysenergiat lasketaan tilojen jäähdytysenergian tarpeen mukaisesti simulaatio-ohjelmalla, enintään tunnin aika-askelta käyttäen. Vuotuinen jäähdytysjärjestelmällä tuotettu energia lasketaan kaavalla 6. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 60)

$$Q_{jk} = (1 + \beta_{hju}) Q_{ji} + (1 + \beta_{hju}) Q_{jv} \quad (6)$$

jossa

Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
β_{hji}	järjestelmän ilmapuolen (termiset, kondenssi ym.) häviöt huomioon ottava kerroin
Q_{ji}	ilmastointikoneen jäähdytyspatterin käyttämä jäähdytysenergia, kWh/a
β_{hju}	järjestelmän vesipuolen (termiset) häviöt huomioon ottava kerroin
Q_{jv}	huonelaitteiden käyttämä jäähdytysenergia, kWh/a

Järjestelmä, joka käyttää sähköä, jäähdytysenergian tuottamiseen lasketaan vuotuinen sähköenergian kulutus kaavalla 7.

$$W_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_E} + W_{\text{jäähd,apu}} \quad (7)$$

jossa

$W_{\text{jäähdytys}}$	Jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
ε_E	jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin
$W_{\text{jäähd,apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus, kWh/a

Lämpö- tai kylmäenergiaa käyttävän järjestelmän vuotuinen energiantarve lasketaan kaavalla 8. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 61)

$$Q_{\text{jäähdytys}} = \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_Q} \quad (8)$$

jossa

$Q_{\text{jäähdytys}}$	lämpö- tai kylmäenergiaa käyttävän järjestelmän energiantarve, kWh/a
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
ε_Q	jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuinen kylmäkerroin

Jos rakennuksessa käytetään jäähdytysenergiana kahdesta eri prosessista valmistettua kylmäenergiaa, esim. vapaajäähdytyksellä ja kompressorijäähdytyksellä, voidaan järjestelmän vuotuinen energiankulutus laskea kaavalla 9. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 62)

$$W_{\text{jäähdytys}} = \alpha_1 \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E1}} + \alpha_2 \frac{Q_{jk}}{\varepsilon_{E2}} + W_{\text{jäähd,apu}} \quad (9)$$

jossa

$W_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh/a
α_1	tuottoprosessilla 1 tuotetun vuosittaisen jäähdytysenergian osuus, -
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a
α_2	tuottoprosessilla 2 tuotetun vuosittaisen jäähdytysenergian osuus ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1,0$)
$W_{\text{jäähd,apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
ε_{E1}	tuottoprosessin 1 vuotuinen kylmäkerroin
ε_{E2}	tuottoprosessin 2 vuotuinen kylmäkerroin

Jäähdytysjärjestelmän toiminnan kannalta on oleellista myös siirtää jäähdytysenergiaa itse käyttökohteeseen. Tähän tarvitaan pumppuja, jotka pumppaavat kylmää vettä tai puhallinkonvektoreja,

jotka kierrättävät ilman jäähdytyspatterin lävitse. Nämä ovat jäähdytysjärjestelmän apulaitteita. Apulaitteiden sähkönkulutus riippuu järjestelmän tyypistä ja voidaan laskea kaavalla 10. (Ympäristöministeriö, 2018, s. 63)

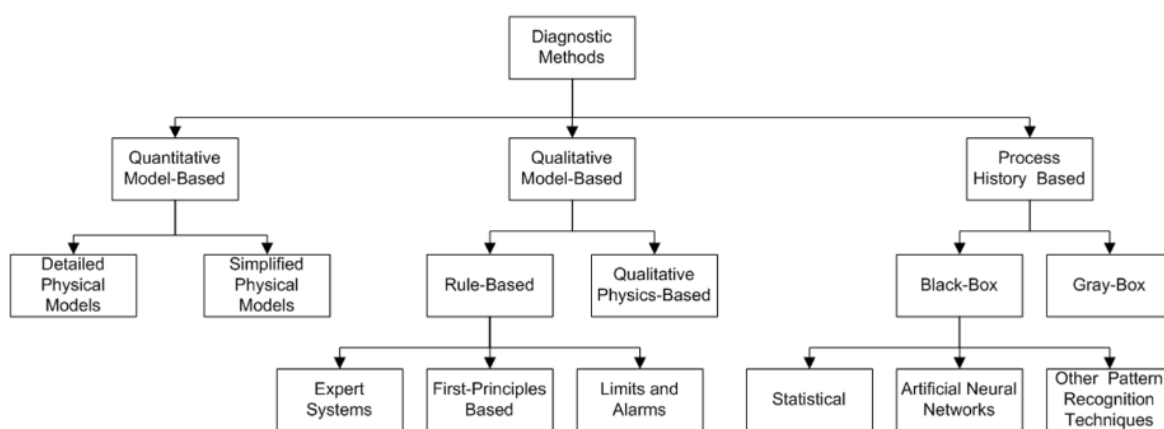
$$W_{\text{jäähd,apu}} = \beta_{\text{apu}} Q_{\text{jk}} \quad (10)$$

jossa

$W_{\text{jäähd,apu}}$	jäähdytysjärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus, kWh/a
β_{apu}	järjestelmän vuotuinen apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin
Q_{jk}	jäähdytysjärjestelmällä tuotettu jäähdytysenergia, kWh/a

4 AUTOMAATTINEN ANALYTIikka

Automaattisen diagnostiikan tärkein toimintatarkoitus on erottaa oikea tai ainakin normaali toiminta virheellisestä tai epänormaalista toiminnasta (Srinivas Katipamula, 2005, s. 7). Automaatiojärjestelmän tilan ja tilan diagnosointiin on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Suurin ero eri menetelmien välillä on diagnoosin muotoilussa käytetty tieto. Diagnostiset menetelmät jakautuvat eri tavoin kirjallisuudessa, lähinnä siksi, että erilaiset menetelmät ovat päällekkäisiä useissa tapauksissa. Yksinkertaisin ja selkein luokittelu on jakaminen tietoon perustuviin menetelmiin ja prosessihistoriaan perustuviin menetelmiin, jotka jakautuvat useisiin alaryhmiin kuva 5 mukaisesti. Jakso perustuu lähestymistapaan, jossa menetelmiä käytetään diagnostiikan muotoiluun. (Srinivas Katipamula, 2005, ss. 4-20).



KUVA 5. Diagnostiikan toimintatavat. (Srinivas Katipamula, 2005, s. 9)

Automaattisen analytiikan toiminta voidaan jakaa kolmeen eri pääryhmään, jotka ovat: määrälliseen pohjautuva analyysi, laatuun pohjautuva analyysi ja prosessin historiaan pohjautuva analyysi.

4.1 Määrällisiin mallinnustekniikoihin pohjautuva analytiikka.

Määrälliseen pohjautuva analyysi tutkii järjestelmää ja laitosta matemaattisten mallien mukaan virheiden ja havaintojen tulkitsemiseksi. Esimerkiksi useiden antureiden mittausarvoa verrataan keskenään ja matemaattisten mallien raameihin. Määrälliseen pohjautuva analyysia voidaan jakaa yksinkertaisiin ja yksityiskohtaisiin malleihin. Fyysiset mallit perustuvat järjestelmän tarkkailuun ja fyysisten laitteiden toimintaan. Laitteiden tulon arvoja verrataan ennalta arvioituihin tai annettuihin arvoihin ja niiden muutoksiin (esim. lämpötila, paine, virtausnopeus) ja mallin parametreille (esim. lämpösiirtokerroin, evien lukumäärä, kylmäaineen tyyppi) ja verrattuna mitattuun suorituskyykyyn tai tuotokseen. Yksityiskohtaiset fyysiset mallit perustuvat tietoihin järjestelmän kaikista komponenttien fyysisistä suhteista ja ominaisuuksista. Käyttämällä tätä yksityiskohtaista tietoa mekaanisten järjestelmien osalta kehitetään ja ratkaistaan joukko yksityiskohtaisia matemaattisia yhtälöitä, jotka perustuvat massaan, vauhtiin ja energiatasapainoihin, sekä lämpö- ja massasiirtosuhteisiin. Yksityiskohtaiset mallit voivat simuloida sekä normaaleja että "viallisia" järjestelmän toimintatiloja (vaikkei kaikkien menetelmien mukaan tarvita mallinnusta virhetiloista). Määrällisen malliin pohjautuvalla

analytiikalla on myös etu, järjestelmien ohimenevän käyttäytymisen mallinnuksessa, se on tarkempi kuin mikään muu mallintamistekniikka. (Srinivas Katipamula, 2005, ss. 9,10)

4.2 Laadullisiin mallinnustekniikoihin pohjautuva analytiikka.

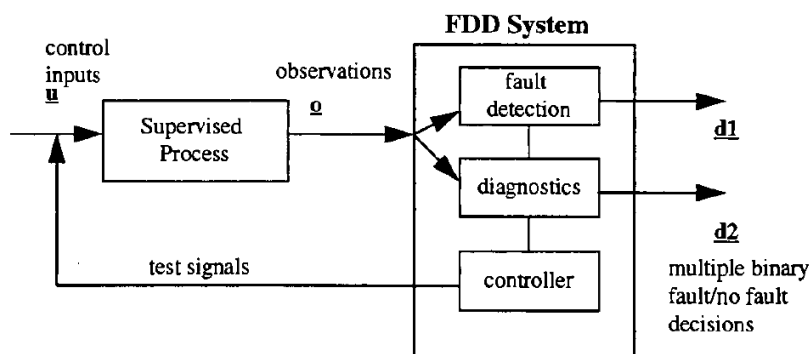
Laadullisiin mallintamistekniikoihin perustuvat vianhavaitseminen ja diagnostiikka edustavat toista rataohjelmaa, joka perustuu prioriteettitietoon. Toisin kuin määrälliset mallintamistekniikat, joissa järjestelmän tuntemus ilmaistaan määreellisinä matemaattisina suhteina, laadulliset mallit käyttävät laadullisia suhteita tai tietopohjaajärjestelmän ja sen osien tilannetta koskevien päätelmien tekemiseen (esim. Onko toiminta "viallinen" tai "normaali"). Jotkin laadulliset mallit saadaan saatujen tietojen perusteella prosessihistoriasta (kuten asiantuntijajärjestelmistä, joissa ihmisen kokemus prosessista on tarkoitettu sääntöihin, jotka koskevat oikeaa ja viallista toimintaa). Laadullisia mallipohjaisia menetelmiä voidaan edelleen jakaa sääntöihin perustuviin ja laadullisiin fysiikkaan perustuviin malleihin (kuva 3). Kun nämä laadulliset mallintamistekniikat käyttävät syytietoa prosessista tai järjestelmästä vian diagnosoimiseksi. Laadulliset mallit voivat perustua myös hajoamiseen perustuviin abstraktiohierarkioihin, joka on kyky tehdä päätelmiä päällekkäisen järjestelmän käyttäytymisestä yksinomaan sen osajärjestelmien koskevista laeista.

Sääntöihin perustuvat mallintamistekniikat käyttävät prioriteettitietoa saadakseen joukon if-then-else-sääntöjä ja päättymismekanismien, joka etsii sääntötilasta johtopäätöksiä. Sääntöihin perustuvat järjestelmät voivat perustua yksinomaan asiantuntemukseen (joka on saatu kokemuksesta) tai ne voivat perustua ensimmäisiin periaatteisiin. Tähän luokkaan kuuluvat myös FDD-menetelmät, jotka käyttävät yksinkertaisia (hälytysten laukaisemiseen) menetelmiä, koska niitä voidaan tarkastella rajoittavien tapausten yhteydessä.

Työkalu diagnosoi ilmankäsittelylaitteiden käyttöolosuhteet käyttämällä sääntöjä, jotka on johdettu asianmukaisesta ja epäasianmukaisesta ilmanvaihtimen suorituskyvystä. Nämä säännöt pannaan täytäntöön ohjelmistopäätöksessä. Diagnostiikka käyttää säännöllisesti kerättyjä tietoja (esim. korjausautomaatiojärjestelmästä) päätöksentekopuun navigoimiseksi ja johtopäätöksen tekemiseksi ilmastointiyksikön toimintatilasta. Jokaisen puun pisteessä sääntö arvioidaan tietojen perusteella, ja tulos määrittää, mikä haaradiagnoosi seuraa. Päätelmänä on, että ilmanvaihtoyksikön nykytilanne saavutetaan, kun haaran loppu on saavutettu. Liitteessä 1 on esitetty yleiskuva logiikkapuusta, jota käytetään toimintatilojen tunnistamiseen ja mahdollisten vikojen luetteloiden rakentamiseen. Laatikot edustavat tärkeimpiä osaprosesseja, jotka ovat välttämättömiä niiden käsittelijän toimintatilan määrittämiseksi, timantit edustavat testejä (päätöksiä), ja soikeat edustavat lopputiloja ja sisältävät lyhyitä kuvauksia "OK" - ja "ei OK" -tiloista. Tässä valitussa näkymässä näkyvät vain valitut lopputilat. (Srinivas Katipamula, 2005, s. 12)

4.3 Vian tunnistus ja diagnostiikka.

Kuva 6 kuvaa viantunnistus- ja diagnostiikkajärjestelmää. Se muuntaa valvotun prosessin (esim. RAU-järjestelmä) havainnot binaariviat, vikapäätöksiksi, jotka osoittavat, toimiiko prosessi normaalisti (havaitseminen) ja jos ei, niin milloin ja missä vika tapahtui (diagnoosi). Päätökset ovat vektoreita. Vian havaitsemispäätösvektori saattaa ilmoittaa havaitun vian vaikutuksen ja diagnostiikkapäätöksen vektori osoittaa, missä komponentissa vika on tapahtunut. Vian havaitsemis- ja diagnoosijärjestelmät on mallinnettu erillisiksi laitteiksi, joilla on sama perusrakenne. Yleensä molemmat alijärjestelmät voivat kyetä kommunikoimaan keskenään ja keskusohjaimen kanssa, joka voi myös pystyä lähettämään ohjaus (testi) signaaleja valvotulle prosessille sen konfiguroimiseksi mahdollisia viantunnistustestejä varten. Ohjainta tai mahdollisesti jopa diagnoosijärjestelmää ei ehkä sisällytetä vähemmän kehittyneisiin viantunnistusjärjestelmiin. (Kärki, 1996, s. 34)



KUVA 6. Viantunnistus- ja diagnostiikkajärjestelmä. (Kärki, 1996, s. 34)

Havaintoprosessori muuntaa havainnot suorituskysymyksiä, jotka on helpompi luokitella. Valvotun prosessin analyttiset mallit, mikäli niitä käytetään, sisältyvät esiprosessoriin. Sisään syöttöarvoja käyttämällä mallit voivat tuottaa tila-avaruusinnovaatioita, parametriarvioita tai ominaisuuksia, joita käytetään suorituskysymyksiä luokituksen aikana. Suorituskysymyksiä tulisi erottaa havaintoihin sisältyvä diagnoositieto siten, että luokittelualueet ovat yksinkertaisempia määrittellä. (Kärki, 1996, s. 35)

Esimerkki havainnointiprosessorista on kompressorin tilavuustehokkuuden laskeminen, joka on ominainen määrä, joka ilmaisee virtausnopeuden suorituskysymyksen mitatulle painehäviölle. Se määrittellään todellisena virtausnopeutena jaettuna suurimmalla virtausnopeudella ja se on enimmäkseen tulo- ja poistopaineiden funktio: $h_v = f(P_h, P_s)$, missä P_h ja P_s ovat pää (poisto) ja imu (tulo) paineet vastaavasti. Muut toiminnon määrittelyyn käytettävät parametrit voidaan määrittellä tai oppia. Tässä tekniikassa oletetaan, että tilavuustehokkuus ilmaisee suoremmin kompressorin vikoja, jotka johtavat virtausnopeuden heikkenemiseen (esim. Vuotavat männän tiivisteet tai venttiilit) kuin havainnot, joiden perusteella se lasketaan. Tässä tapauksessa esimerkiksi tilavuuden hyötysuhteessa voidaan käyttää yksinkertaista rajatarkastusluokitusta monimutkaisemman luokituksen sijasta, jota vaaditaan saman diagnostisen päätöksen saavuttamiseksi suoraan havainnoista. (Kärki, 1996, s. 35)

Viantunnistus- ja diagnostiikkajärjestelmän toinen tärkeä komponentti on luokittelija. Se tekee havaitsemis- ja diagnostiikkapäätökset havaintoprosessorin tuloindeksien perusteella. Tieto- ja riippuvuus pohjaisia luokittelijoita on kahta tyyppiä. Tietopohjaiset luokittelijat erottavat tietopohjan päätelmämekanismista. Sääntö- ja tilastopohjallisen mallin tunnistusmenetelmät ovat kahteen tyyppitietoon perustuvia luokittelijoita. Ne edustavat kypsempiä tekniikoita, joita on helpointa soveltaa eri sovelluksiin. Sääntöpohjaisissa järjestelmissä käytetään enimmäkseen rakenteellista tietoa muodossa "JOS", "NIIN", "MUUTEN". Päätelmämekanismi arvioi tuloindeksien säännöt ja tekee asianmukaiset päätökset. Tilastollisissa malliselvitysmenetelmissä käytetään vain todennäköisyystietoa edeltävien ja ehdollisten todennäköisyyksien muodossa. Molemmilla näillä tietopohjaisilla menetelmillä on vakavia ongelmia, kun diagnoosi ongelmasta tulee monimutkainen. Näitä tapauksia varten assosiatiiviset mallit yhdessä niukemman diagnoosin kanssa luovat luonnollisemman ympäristön vikojen havaitsemis- ja diagnosointiongelmien luokitteluun. (Kärki, 1996, s. 37)

Valvontasilmukka ei erota automaattisen ja "manuaalisen tai ihmisen" tekemää toimintaa. Prosessivalvonnan automatisoinnissa on painotettu vikojen havaitsemista, diagnosointia ja arviointia. Manuaalisen tai ihmisen tekemää toimintaa ja siitä johtuvaa prosessin pysäyttämistä tai muuttamista on vaikeampaa automatisoida ja se on jätetty pääasiassa operaattorin tehtäväksi. (Kärki, 1996, s. 38)

Päätöksenteon tehtävänä on ratkaista, minkä valvotun prosessin toimintatilan tulisi olla, kun vika on havaittu, sen sijainti ja syy on ratkaistu ja vakavuus arvioitu. Päätös tehdään olemassa olevien vikojen vaaraluokkien tietojen perusteella ja mahdollisesti prosessitilan tietojen perusteella. Esimerkiksi öljypolttimen vakava sytytysvika voi vaatia välittömiä korjaustoimenpiteitä, mutta jos lämpöä tarvitaan, niin poltin toimii jatkuvasti kylmällä talvikaudella, toimintaa ei voida lopettaa, ellei turvallisuusriski ole liian suuri. (Kärki, 1996, s. 38)

4.4 Prosessihistoriamalliin pohjautuva analytiikka.

Prosessihistoriaan perustuvassa (tietopohjaisessa) mallissa sekä tulot että lähdöt ovat tunnettuja ja mitattuja. Tietopohjaisen mallin päätavoitteena on mitata matemaattisesti mitattuja tuloja vahvistetuista lähdöistä. On olemassa useita tapoja, joilla tulo- ja lähtötiedot voidaan muuntaa ja käyttää prioriteettitietona diagnostisessa järjestelmässä. Tämä muunnosprosessi tunnetaan myös ominaisuuden poiminnasta tai parametrien uuttamisesta. Kun mallin ominaisuuksilla tai parametreilla ei ole fyysikaalista merkitystä, näitä malleja kutsutaan mustiksi laatikoiksi. Joitakin esimerkkejä mustan laatikon mallintamistekniikoista ovat: lineaarinen tai moninkertainen lineaarinen regressio, keinotekoinen hermoverkosto ja sumea logiikka. (Srinivas Katipamula, 2005)

Empiirisen moduulin mallin parametrit, jotka on laadittu huolellisesti ensimmäisten periaatteiden perusteella, ovat usein fyysisesti merkityksellisiä; näitä malleja kutsutaan harmaiksi tai mekaanisiksi malleiksi. Harmaat laatikkomallit käyttävät usein lineaarisia tai monikerroksisia regressioita mallin parametrien (esim. kertoimien) arvioimiseksi mitatuista tuloista ja lähdöistä samalla kun säilytetään malleissa esiintyvien termien fyysinen merkitys. (Srinivas Katipamula, 2005, s. 15)

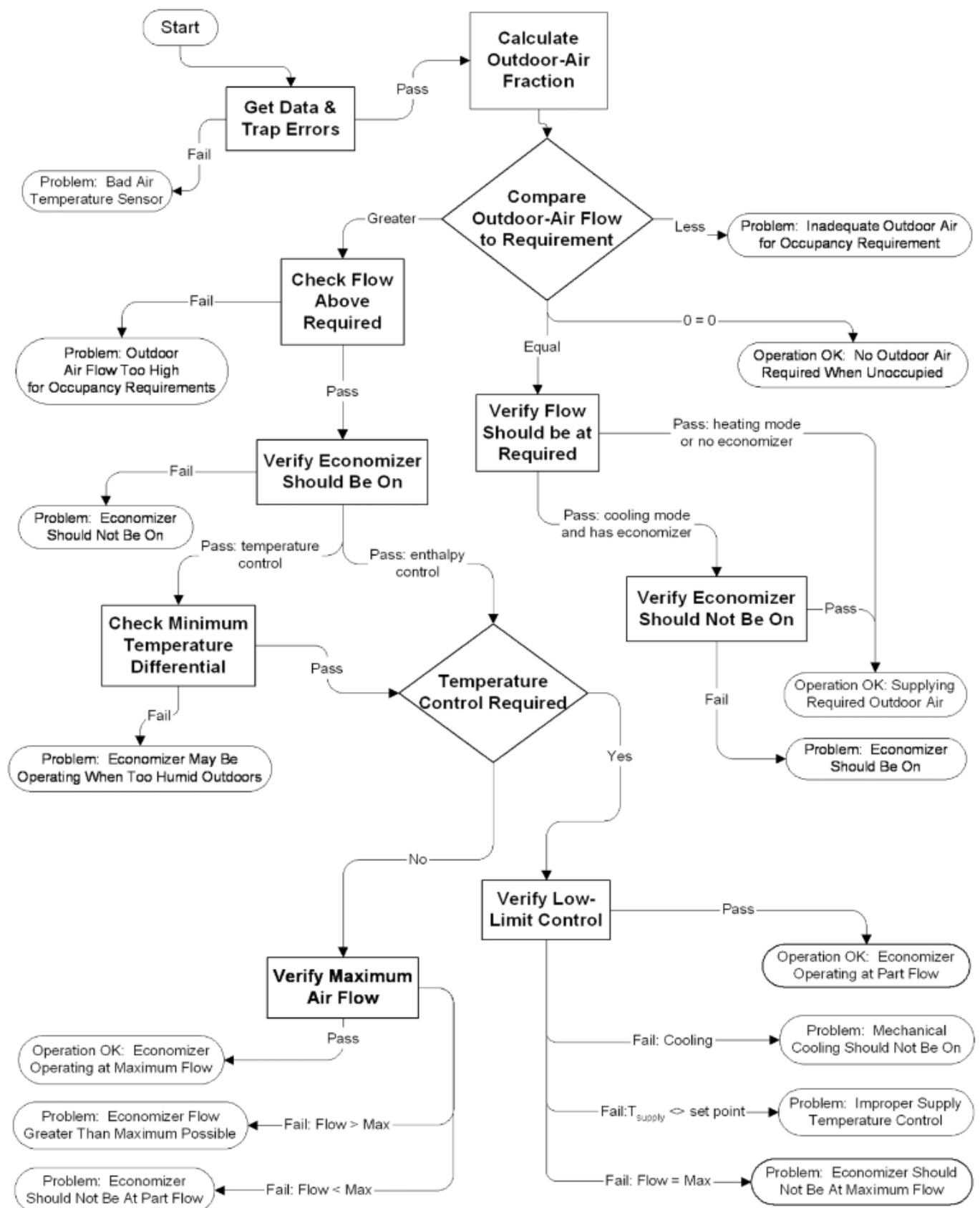
Suurin osa datapohjaisten menetelmien heikkouksista liittyy riittävän hyvän tiedon keräämiseen, jotta malli toimisi tehokkaasti useimmissa olosuhteissa. Jos jostakin syystä tietoa on helposti saatavilla, tietopohjaisia malleja on melko helppo kehittää. Tietopohjaiset menetelmät sopivat hyvin kuvion tunnistukseen, jota varten niitä kehitetään ja järjestelmässä yleensä havaitaan mahdollisuudet. Esimerkiksi operaatio havaita viallinen toiminta rakennuksessa toimivasta lämmöntalteenotosta voitaisiin suorittaa helposti datapohjaisten menetelmien kuvioden tunnistusominaisuuksien avulla. Kuvion tunnistusdiagnostiikkatyökalu tallentaisi viallisen lämmöntalteenoton aiheuttamat lämpötilavaihtelut ja kun vastaava malli syntyisi, työkalu tunnistaisi sen helposti. (Srinivas Katipamula, 2005, s. 15)

5 LÄHDELUETTELO

- (SVT), S. v. (2018). *Rakennukset ja kesämökit [verkojulkaisu]*. (Suomen virallinen tilasto (SVT)) Haettu 15. 6 2018 osoitteesta http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke_2018_2019-05-21_tie_001_fi.html
- Airaksinen, M. M. (2/2017). *Energiamurroksen ennakoidut vaikutukset 2030: Rakennusten energiatehokkuus*. Espoo: Aalto-yliopisto.
- BA. (2019). *Building Analytics*. Haettu 02. 09 2019 osoitteesta <https://buildinganalytics.schneider-electric.com/Home.aspx>
- Calculator.net. (2019). Return on Investment (ROI) Calculator. Haettu 07. 10 2019 osoitteesta <https://www.calculator.net/roi-calculator.html>
- Energiateollisuus. (2013). Rakennusten kaukolämmitys. *Määräykset ja ohjeet julkaisu K1/2013(K1/2013)*. Energiateollisuus ry.
- Energiatilasto. (2017). *Energia-tilasto 2017*. Tilastokeskus. Haettu 20. 10 2019 osoitteesta https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/data/kalvo1_s.pdf
- Erkkilä, J. (29. 07 2012). Sijoitetun pääoman tuotto – näin tulkitset tärkeää kannattavuustunnuslukua. *SalkunRakentaja*. Haettu 07. 10 2019 osoitteesta <https://www.salkunrakentaja.fi/2012/07/sijoitetun-paaoman-tuotto/>
- Esko Kukkonen, S. r. (2017). *Sisäilmaluokitusta uudistettiin*. Haettu 20. 10 2019 osoitteesta Sisäilmayhdistys ry: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK020303.pdf>
- Harri Ripatti, J. P. (2002). *Puhtaan ilmanvaihdon suunnitteluohje*. Sisäilmayhdistys ry.
- JLL. (25. 09 2016). *A surprising way to cut real estate costs*. Haettu 07. 10 2019 osoitteesta <https://www.us.jll.com/en/trends-and-insights/workplace/a-surprising-way-to-cut-real-estate-costs>
- Kröger, H. (10. 10 2019). Yläpidön työnjohtaja.
- Kuusela, R. (24. 09 2019). Isännöitsijä.
- Kärki, J. H. (1996). *Building Optimization and Fault Diagnosis Source Book (IEA ANNEX 25)*. Espoo: VTT . Haettu 05. 10 2019 osoitteesta http://www.ecbcs.org/Data/publications/EBC_Annex_25_source_book.pdf
- Lappalainen, M. (2010). *Energia ja Ekologia käsikirja*. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Salmi, I. (2010). *Mitä tilinpäätös kertoo*. Edita Publishing Oy.
- Schneider Electric Finland Oy. (2019). Schneider Electric Finland Oy. *Sisäinen opetusmateriaali*.
- Schneider Electric Finland Oy. (2019). *Schneider Electric Finland Oy*. (Schneider Electric) Haettu 02. 09 2019 osoitteesta <https://www.se.com/fi/fi/>
- Sisäilmayhdistys ry. (2018). *Sisäilmastoluokitus*. Haettu 20. 06 2019 osoitteesta <https://www.sisailmayhdistys.fi/Julkaisut/Sisailmastoluokitus>
- Sisäilmayhdistys ry. (Toukokuu 2018). *SISÄILMASTOLUOKITUS 2018*. Haettu 20. 06 2019 osoitteesta Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset: https://moodle.xamk.fi/pluginfile.php/1509487/mod_resource/content/1/Classification%20of%20Indoor%20Climate%202018%20%28in%20Finnish%29.pdf
- Srinivas Katipamula, M. R. (Tammikuu 2005). *Methods for Fault Detection, Diagnostics, and Prognostics for Building Systems*. (ASHRAE) Haettu 24. 6 2019 osoitteesta VOLUME 11, NUMBER 1, HVAC&R RESEARCH: <https://pdfs.semanticscholar.org/a992/de71d68db9c1d5160d957eefdfdb0b816190.pdf>
- Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. (2009). *RIL 249-2009 Matalaenergiarakentaminen*. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

- Suomen Ympäristökeskus Raportti. (35/2016). *Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050*. Helsinki: Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- TE-Palvelut. (ei pvm). *AmmattiNetti, Kiinteistöhoito*. Haettu 20. 10 2019 osoitteesta <http://www.ammattinetti.fi/ammattialat/detail/20/416ac542c0315a8d01a0b907e7389c15;jsessionid=A645DE30CD2F2100A958ABD6A16C90DD>
- Tilastokeskus. (2017). *Suomen virallinen tilasto (SVT): (Rakennuskanta)* Haettu 30. 05 2019 osoitteesta Rakennukset ja kesämökit [verkojulkaisu]: http://www.stat.fi/til/rakke/2017/rakke_2017_2018-05-25_kat_002_fi.html
- Tilastokeskus. (2019). *Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus*. Verkojulkaisu. Tilastokeskus. Haettu 10. 07 2019 osoitteesta http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_kuv_013_fi.html
- Vuolle, M. (2003). *Laskelmat rakennusten energiataloudessa jäsäilmaston hallinnassa*. (SIY Sisäilmätieto Oy) Noudettu osoitteesta <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050305.pdf>
- Ympäristöministeriö. (2018). *Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, ohjeet, 2018*. Haettu 16. 6 2019 osoitteesta https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus

LIITE 1: YLEISKATSAUS ILMANVAIHTOKONEEN-DIAGNOSTIIKKASÄÄNTÖJEN PUUSTA



LIITE 1. Yleiskatsaus ilmanvaihtokoneen-diagnostiikkasääntöjen puu, jossa esitetään diagnostiikan päätoimiset kohdat. (Srinivas Katipamula, 2005, s. 13)