

Jussi-Pekka Huttunen

Asuinrakennusten energia- ja olosuhdemittarointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

2.4.2015

Tekijä Otsikko	Jussi-Pekka Huttunen Asuinrakennusten energia- ja olosuhdemittarointi
Sivumäärä Aika	39 sivua + 1 liitettä 2.4.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	diplomi-insinööri Harri Sipilä lehtori Jarmo Tapio
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä täytyy mitaroida, jotta asuinrakennuksen käyttöönottovaiheessa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan riittävästi tietoa rakennuksen toiminnan varmistamiseksi. Tietojen perusteella voidaan tarkastella, vastaavatko rakennuksen todellinen energiankulutus ja sisäilmaston olosuhteet energia- ja olosuhdesimulointeja. Tavoitteena oli myös määrittellä tavoite-, asetus- ja raja-arvoja sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeille mittauspisteille.</p> <p>Työn alussa perehdyttiin sisäilmaston olosuhteisiin sekä niihin liittyviin määräyksiin ja suosituksiin. Työssä tutustuttiin myös tyyppisiin talotekniikassa käytettäviin mittareihin ja antureihin sekä energiankäytön ja kulutuksen mittaukseen liittyviin määräyksiin. Työn lopussa pohdittiin tavoite-, asetus- ja raja-arvoja sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeille mittauspisteille. Työn pääasiallinen lähdeaineisto koostui määräyksistä ja ohjeista sekä muista kirjallisista lähteistä. Työssä käytettiin myös Optiplan Oy:n suunnittelijoilta saatuja suullisia tietoja.</p> <p>Työn tuloksena selvisi, kuinka tarkasti on mitaroitava rakennuksen ja sen eri järjestelmien kuluttamaa sähkö-, lämmitys- ja jäähdytysenergiaa sekä rakennuksessa tuotettua energiaa, jotta asuinkerrostalon ja sen eri järjestelmien energiankulutusta ja toimintaa voidaan seurata. Tuloksena selvisi myös, että asuinrakennuksen sisäilmaston olosuhteiden seuraamiseksi on mitaroitava muun muassa huoneistojen, tuloilman ja lämmitysverkoston lämpötiloja sekä mahdollisesti hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksia. Mittauksista saatavan tiedon perusteella voidaan esimerkiksi vertailla rakennuksen todellista energiankulutusta ja sisäilmaston olosuhteita energia- ja olosuhdesimulointeihin. Työn pohjalta tehdään mittarointisuunnitelma yrityksen käyttöön.</p>	
Avainsanat	mittarointi, energia, olosuhteet, asuinrakentaminen, LVIA-suunnittelu

Author Title Number of Pages Date	Jussi-Pekka Huttunen Measuring Indoor Climate and Energy Consumption in Residential Buildings 39 pages + 1 appendices 2 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Harri Sipilä, Master of Science in Technology Jarmo Tapio, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to ensure that the building automation system provides enough information about the indoor climate and energy consumption of residential buildings. The information can be used to examine the indoor climate and energy consumption of a building by comparing it to simulated results. The goal was to find out the required measurements and also to define set and limit values for the most important measurements of indoor climate.</p> <p>The thesis was based on the applicable parts of the National Building Code Of Finland, HVAC plans made for residential buildings, and literature on heating, plumbing, air conditioning and automation. Information from discussions with planners was used as well.</p> <p>In conclusion, the consumption of electric, heating and cooling energy of residential buildings needs to be measured thoroughly enough to examine the energy consumption. The most important measurements of indoor climate include the heating system, room and supply air temperatures and, in specific cases, carbon monoxide and carbon dioxide concentrations. A measurement plan will be created on the basis of this thesis.</p>	
Keywords	measurement, indoor climate, energy consumption, building services planning, residential buildings

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sisäilmasto	2
2.1	Sisäilmastoluokitus	2
2.2	Lämpöolosuhteet	3
2.2.1	Lämpöviihtyvyys ja lämpötasapaino	3
2.2.2	Operatiivinen lämpötila	3
2.2.3	Lämpötilan vaihtelu ja epätasainen lämpösäteily	4
2.3	Ilman epäpuhtaudet	5
2.4	Kosteus	6
2.5	Ilman liike ja veto	6
2.6	Ääniolosuhteet	7
3	Rakennuksen energiankulutus	8
3.1	E-luku	8
3.2	Energiatehokkuusluokat	9
4	Energia- ja olosuhdesimuloinnit	10
4.1	Kesäajan huonelämpötilan hallinta	10
4.2	Laskentatyökalut	11
5	Mittarit ja anturit	12
5.1	Lämpötilamittaus	12
5.1.1	Mekaaniset mittarit	12
5.1.2	Sähköiset mittarit	14
5.1.3	Puolijohdeanturit	16
5.2	Paineen mittaus	17
5.2.1	Nestemanometrit	17
5.2.2	Joustavat elimet	18
5.2.3	Sähköiset menetelmät	18
5.3	Virtausmittaus	19
5.3.1	Mekaaniset mittarit	19
5.3.2	Paine-eroon perustuva kuristusvirtausmittaus	20
5.3.3	Induktiivinen virtausmittaus	21

5.4	Lämpöenergian mittaus	22
5.5	Muita antureita	22
6	Mittarointi	23
6.1	Energiankäytön mittaus	23
6.1.1	Älykäs energianmittaus	23
6.1.2	Sähköenergia	23
6.1.3	Lämmitys- ja jäähdytysenergia	24
6.2	Energiatehokkuusluvut	24
6.2.1	Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho	24
6.2.2	Lämpö- ja kylmäkertoimet	25
6.3	Käyttöveden kulutus	25
7	Olosuhteiden seuranta ja hallinta	26
7.1	Asunnot	26
7.1.1	Lämmitysverkoston lämpötilat	26
7.1.2	Ulkolämpötilan mittaus	27
7.1.3	Tuloilman lämpötila	27
7.1.4	Kesäajan viilennys	29
7.1.5	Huonelämpötilan mittaukset	31
7.2	Kerhotilat	31
7.3	Autohallit	32
7.3.1	Hiilimonoksidi	32
7.3.2	Hiilidioksidi	32
8	Tulokset	33
9	Yhteenveto	36
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Sää tiedot kuukausittain säävyöhykkeillä I ja II	

1 Johdanto

Rakennuksen energia- ja olosuhdesimuloinnilla voidaan tarkastella rakennuksen eri järjestelmien lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergiankulutusta sekä sisäilmaston olosuhteita. Jotta simulointeja voidaan verrata rakennuksen todelliseen energiankulutukseen ja sisäilmaston olosuhteisiin, on rakennus varustettava riittävällä mittaroinnilla. LVIA-suunnittelussa käytettävien tavoite-, asetus- ja raja-arvojen, kuten tuloilman lämpötilan, on myös vastattava simuloinneissa käytettyjä arvoja, jotta simuloitut olosuhteet voisivat täyttyä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, mitä täytyy mittaroida, jotta rakennuksen käyttöönottovaiheessa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan riittävästi tietoa rakennuksen toiminnan varmistamiseksi. Tietojen perusteella voidaan tarkastella, vastaavatko rakennuksen todellinen energiankulutus ja sisäilmaston olosuhteet energia- ja olosuhdesimulointeja. Tavoitteena on myös määrittellä tavoite-, asetus- ja raja-arvoja sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeille mittauspisteille. Tavoitteiden saavuttamiseksi työssä perehdytään pääasiassa sisäilmaston olosuhteiden sekä energian käytön ja kulutuksen mittausta käsitteleviin määräyksiin ja ohjeisiin sekä muuhun kirjallisuuteen.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Optiplan Oy:n Helsingin Asumisen yksikkö. Optiplan Oy on rakennussuunnittelun kokonaissuunnittelutoimisto. Kokonaissuunnittelulla tarkoitetaan, että yritys pystyy tarjoamaan kaikki rakennussuunnittelupalvelut itse. Rakennussuunnittelupalveluihin kuuluu talotekniikka-, elementti-, rakenne- ja arkkitehtisuunnittelu sekä ympäristö- ja energiapalvelut. Optiplan Oy tarjoaa palveluja asunto-, toimitalo- ja korjausrakentamiseen. Optiplan Oy on osa kansainvälistä NCC-konsernia, joka on Pohjoismaiden suurimpia rakennus- ja kiinteistökehitysyrityksiä. Optiplan Oy työllistää yli 220 henkilöä neljässä toimipisteessä. Pääkonttori sijaitsee Helsingin toimipisteessä. Muut toimipisteet sijaitsevat Turussa, Tampereella ja Oulussa. Optiplan Oy:n Helsingin Asumisen yksikkö suunnittelee uudisasuinkerros- ja rivitaloja pääkaupunkiseudulla ja sen läheisyydessä. [1.]

Opinnäytetyön toimeksiantaja haluaa tämän työn pohjalta tehtäväksi mittarointisuunnitelman, johon on koottu rakennuksen energiakulutuksen ja sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimmät mittauspisteet vaikutusalueineen ja tavoitearvoineen. Opinnäyte-

työ on rajattu asuinrakennuksiin sekä niissä mahdollisesti oleviin pieniin liiketiloihin ja autohalleihin.

2 Sisäilmasto

Sisäilmasto on huoneessa vaikuttavien eri olosuhteiden kokonaisuus. Ihmiset oleskelevat sisätiloissa noin 90 % kokonaisajasta, joten sisäilmasto on merkittävä tekijä yleisen hyvinvoinnin kannalta. Sisäilmaston puutteet ja ongelmat vaikuttavat oleellisesti ihmisten viihtyvyyteen, terveyteen ja työtehoon. Tärkeimpiä sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat lämpöolosuhteet ja erilaiset ilman laatutekijät. Hyvä sisäilmasto vähentää sairauksia, lisää viihtyvyyttä ja parantaa työtehoa. [2, s. 11.]

2.1 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmayhdistys ry:n julkaisema Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennus- ja taloteknisen suunnittelun ja urakoinnin sekä rakennustarvikeolosuhteiden apuna. Sisäilmastoluokituksessa on määritelty sisäilmastolle tavoitetasot, jotka kuvaavat terveyden ja viihtyvyyden kannalta turvallisia, viranomaisvaatimuksia korkealaatuisempia sisäilmaston olosuhteita. Sisäilmastoluokituksessa sisäilmaston olosuhteet on jaettu kolmeen laatuluokkaan: S1, S2 ja S3. [3, s. 4.]

S1 vastaa yksilöllistä sisäilmastoa, jonka sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Tiloissa tai rakenteissa ei myöskään ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Tilan lämpöolot ovat viihtyisät ja vedottomat. Ylilämpenemistä ei esiinny, ja tilan käyttäjällä on mahdollisuus yksilöllisesti hallita lämpöolosuhteita. Tiloissa on myös erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja valaistus on yksilöllisesti säädettävissä. [3, s. 4.]

S2 vastaa hyvää sisäilmastoa, jossa sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Tiloissa tai rakenteissa ei myöskään ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät, eikä vetoa yleensä esiinny. Tilojen ylilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet. [3, s. 4.]

S3 vastaa tyydyttävää sisäilmastoa, jonka tavoitearvot täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain sekä terveydensuojelulain vaatimukset. S3-luokan tavoitearvojen toteutuessa ei terveille henkilöille aiheudu terveyshaittaa, jos rakennuksen ilmanvaihto toimii suunnitelmien mukaisesti eikä erityisiä epäpuhtauslähteitä ole. [3, s. 4.]

2.2 Lämpöolosuhteet

2.2.1 Lämpöviihtyvyys ja lämpötasapaino

Kehon ja ympäristön lämpötasapainolla on suuri vaikutus lämpöviihtyvyyteen. Viihtyvyytlämpötila riippuu kehon lämmön tuotosta. Ihmisen aineen vaihdunnan tuottaman lämmön on poistettava kehosta kohottamatta kehon lämpötilaa. Lämpö poistuu kehosta säteilemällä, kuljettumalla ja hikoilun vaikutuksesta. Hikoilu kuitenkin koetaan epämiellyttävänä, joten lämpöolojen tulisi olla sellaiset, ettei hikoilua tarvita lämpötasapainon ylläpitämiseksi. Kehosta ympäristöön siirtyvän lämpövirran ollessa liian suuri ihon pintalämpötila laskee. Alhaista ihon pintalämpötilaa pidetään myös epämiellyttävänä. Aineen vaihdunnan lämmöntuotto riippuu työn raskaudesta. Raskasta työtä tehdessä optimilämpötila on huomattavasti matalampi kuin istumatyössä. Yksilöllisistä eroista johtuen kaikki eivät kuitenkaan tunne oloaan viihtyisäksi optimilämpötilassa. Lämpötilaviihtyvyyteen vaikuttaa merkittävimmin pintojen lämpösäteily, ilman lämpötila, ilman liike ja kosteus sekä aineenvaihdunnan teho. [2, s. 16–17.]

2.2.2 Operatiivinen lämpötila

Operatiivisella lämpötilalla kuvataan ihmisen aistimaa kokonaislämpötilaa. Operatiivinen lämpötila ottaa huomioon ilman lämpötilan lisäksi pintojen lämpötilat. Pintojen yhteisvaikutusta kuvataan säteilylämpötilalla, joka on likimain ikkuna- ja seinä-pintojen pinta-aloilla painotettu keskilämpötila. Ilman nopeuden kasvaessa kasvaa konvektion vaikutus operatiiviseen lämpötilaan. Ilman nopeuden ollessa pieni operatiivinen lämpötila on likimain ilman lämpötilan ja säteilylämpötilan keskiarvo. [2, s. 17.] Taulukossa 1 on esitetty Sisäilmaluokitus 2008:n mukaiset tavoitearvot ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset suunnitteluvarot operatiiviselle lämpötilalle.

Taulukko 1. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset lämpöolosuhteiden tavoitearvot sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaiset lämpötilan suunnitteluarvot [3; 4].

	S1	S2	S3	D2
Operatiivinen lämpötila, t_{op} [°C] $t_u \leq 10$ °C $10 < t_u \leq 20$ °C $t_u > 20$ °C	21,5 ⁽¹⁾ $21,5+0,3x(t_u-10)$ ⁽¹⁾ 24,5 ⁽¹⁾	21,5 $21,5+0,3x(t_u-10)$ 24,5	21 $21+0,4x(t_u-10)$ ⁽¹⁾ 25	21 ⁽²⁾ - 23 ⁽²⁾
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	±0,5	±1,0	±1,0	±1,0
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C] $t_u \leq 10$ °C $10 < t_u \leq 15$ °C $15 < t_u \leq 20$ °C $t_u > 20$ °C	$t_{op}+1,5$ $t_{op}+1,5$ $t_{op}+1,5$ $t_{op}+1,5$	20 $23+0,4x(t_u-10)$ $23+0,4x(t_u-10)$ 27	25 25 $t_{max}+5$ $t_{max}+5$	25 25 $t_{max}+5$ $t_{max}+5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18	-
Operatiivisen lämpötilan pysyvyys [% käyttäajasta]	90 %	80 %	-	-

⁽¹⁾ S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

⁽²⁾ Huonelämpötilan tavoitearvo. Lämpötila ei tavallisesti saa ylittää käytön aikana 25 °C. t_u on ulkoilman lämpötilan 24 tunnin liukuva keskiarvo lähimmällä säähavaintopaikalla. t_{umax} tarkoittaa ulkolämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvoa.

2.2.3 Lämpötilan vaihtelu ja epätasainen lämpösäteily

Huoneen lämpötila vaihtelee muun muassa lämpökuormien ja ulkolämpötilan vaihtelun sekä säätölaitteiden toiminnan vuoksi. Suuret lämpötilan vaihtelut koetaan epämiellyttävänä. Lämpötilojen paikalliset erot aiheuttavat myös epäviihtyisyyttä. Lämpöolot voivat vaihdella huomattavasti lämpösäteilyn tai ilmanlämpötilan johdosta. Lämpösäteilyn aiheuttamaa epätasaisuutta lämpöoloissa saattaa ilmetä erityisesti suurten ikkunoiden tai lämmittimien läheisyydessä. Ilman pystysuuntainen lämpötilaero koetaan myös epämiellyttävänä. Lämpötilaero pään ja nilkkojen välillä ei saisi olla yli 3 °C. [2, s. 18.]

2.3 Ilman epäpuhtaudet

Ilmassa on satoja epäpuhtauksia, joiden vaikutus ihmiseen ei ole vielä täysin tiedossa. Eräille epäpuhtauksille on kuitenkin jo voitu antaa raja-arvoja. Erilaiset rakennus- ja sisustusmateriaalit ovat monien epäpuhtauksien lähteenä, joten niiden valinnalla voidaan vaikuttaa suuresti ilman epäpuhtauteen. Epäpuhtaudet ovat lähtöisin myös ulkoilmasta, ihmisestä ja muusta tilan käyttöön liittyvästä toiminnasta. Näiden epäpuhtauksien poistamiseen käytetään ilmanvaihtoa ja ilman suodatusta. [2, s. 25–27.] Taulukossa 2 on esitetty Sisäilmastoluokitus 2008:n tavoitearvoja sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 suunnittelun ohjearvoja ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksille.

Taulukko 2. Sisäilmastoluokitus 2008:n tavoitearvoja sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 suunnittelun ohjearvoja ilman epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksille [3; 4].

Epäpuhtaus	Yksikkö	S1	S2	S3	D2
Hiilidioksidi	ppm	750	900	1200	1200
Ammoniakki ja amiinit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	20 ⁽¹⁾
Asbesti	kuitua/ cm^3	-	-	-	0 ⁽¹⁾
Formaldehydi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	50 ⁽¹⁾
Hiilimonoksidi	mg/m^3	-	-	-	8 ⁽¹⁾
Hiukkaset PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	50 ⁽¹⁾
Radon	Bq/m^3	100	100	200	200 ⁽¹⁾
Styreeni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	1 ⁽¹⁾
Olosuhteiden pysyvyys	%	90	80	-	-

⁽¹⁾ ohjearvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jonka ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käynnissä käyttöajan ilmanvaihdon ilmavirralla.

Hiilidioksidin pääasiallinen lähde sisätiloissa on ihmisen uloshengitysilma. Ihmisen hiilidioksidin tuotto on lähes verrannollinen muihin ihmisen hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrään, joten ilman hiilidioksidipitoisuutta voidaan käyttää kuvaamaan sisäilman laatua. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 hiilidioksidipitoisuuden ohjearvo 1200 ppm vastaa tasapainotilanteessa ilmanvaihtoa 6,7 l/s henkeä kohden. Sisäilmastoluokituksen S1-luokan raja 750 ppm vastaa tasapainotilanteessa ilmanvaihtoa 15 l/s henkeä kohden. Raja-arvot perustuvat pääasiassa ilman hajun aiheuttamaan häiritsevyyteen. [2, s. 27.] Yli 5 000 ppm:n hiilidioksidipitoisuudet ovat vasta terveydelle haitallisia [5].

Epätäydellisessä palamisessa syntyy hiilimonoksidia eli häkää. Häkä sitoutuu veren hemoglobiiniin happea voimakkaammin aiheuttaen elimistön hapen puutteen. Korkea häkäpitoisuus saattaa johtaa häkämyrkytykseen. Lievä häkämyrkytys aiheuttaa muun muassa päänsärkyä, pahoinvointia ja oksennusta. Korkeassa lämpötilassa palamisessa syntyy typen oksideja, jotka vaikuttavat ihmiseen ja ympäristöön merkittävästi. Ihmissä typpioksidien vaikutukset näkyvät hengitystieinfektiotautien lisääntymisenä ja pitkittymisenä. [2, s. 33–34.] Hiilimonoksidin ja typpioksidien lähteitä ovat esimerkiksi polttomoottoriset ajoneuvot, joten autohalleissa tulisi kiinnittää huomiota siihen, että nämä epäpuhtaudet hoidetaan riittävällä ilmanvaihdolla.

2.4 Kosteus

Suomessa ulkoilman suhteellinen kosteus on suuri lähes aina. Kesällä myös sisäilman suhteellinen kosteus on korkea kun tuloilman lämmitystä ei tarvita. Talvella taas sisäilman kosteus saattaa olla hyvinkin vähäinen, sillä ilmaa lämmitettäessä suhteellinen kosteus pienenee. Sisäilman suhteellisen kosteuden ei tulisi olla liian vähäinen tai suuri. Liian alhainen suhteellinen kosteus aiheuttaa limakalvojen kuivumista ja siitä johtuvaa ärsytysoireilua. Alhainen kosteus myös edistää ilman pölyisyyttä. Sisäilman kosteutta voidaan tarvittaessa kasvattaa kostuttamalla sisään puhallettavaa tuloilmaa. Sisäilman liiallinen suhteellinen kosteus taas lisää pölypunkkien lisääntymistä ja mikrobikasvua. Jatkuva rakenteiden ja sisäilman korkea kosteus aiheuttaa rakennusvaurioita ja terveysriskejä. Sisäilman kosteutta lisäävät ruuanlaitto, peseytyminen, siivoaminen sekä ihmisen hengitys ja hikoilu. Tarpeeksi tehokkaalla ilmanvaihdolla saadaan liiallinen kosteus poistettua. [2, s. 22–25.]

2.5 Ilman liike ja veto

Keskimääräistä voimakkaampi lämmönsiirto iholta aiheuttaa vedon tunnetta. Niska on vedontunteen kannalta kehon herkin osa. Vedon tunteen syntyminen on myös yksilöllistä. Siihen vaikuttaa ilman liike ja lämpötila. Ilman nopeuden kasvaessa lämmönsiirto iholta tehostuu, ja vedon tunne syntyy herkemmin. [2, s. 20–22.] Taulukossa 3 on esitetty Sisäilmastoluokitus 2008:n tavoitearvot ja Suomen rakennusmääräyskokoelman suunnitteluarvot ilman nopeudelle asuinrakennuksissa.

Taulukko 3. Sisäilmastoluokitus 2008:n ja SRMK D2:n mukaiset ilman nopeuden enimmäisarvot [3; 4].

Suure	Ilman nopeus, m/s			
	S1	S2	S3	D2
$t_{\text{ilma}} = 21 \text{ °C}$	<0,14	<0,17	<0,2 (talvi)	<0,2 (talvi)
$t_{\text{ilma}} = 23 \text{ °C}$	<0,16	<0,20	-	-
$t_{\text{ilma}} = 25 \text{ °C}$	<0,2	<0,25	<0,3 (kesä)	-

t_{ilma} tarkoittaa liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelupisteessä.

Vetoa aiheuttava ilmavirtaus voi syntyä monesta syystä. Aiheuttajana voi olla esimerkiksi kylmä ja korkea ikkuna, jonka alle ei ole järjestetty lämmitystä. Ilman jako tulisi myös hoitaa niin, että ilmasuihku tuloilmalaitteesta ei aiheuta vedon tunnetta. Tähän vaikuttaa erityisesti ilmanvaihtolaitteiden ja muiden rakennusosien keskinäinen sijoittelu. Esimerkiksi valaisin tuloilmalaitteen edessä saattaa kääntää ilmasuihkun suoraan oleskeluvyöhykkeelle. [2, s. 20–22.]

2.6 Ääniolosuhteet

Rakennusta suunniteltaessa ja rakentaessa tulee ottaa huomioon viihtyisät ääniolosuhteet [6]. Huonot ääniolosuhteet vaikuttavat voimakkaasti ihmisten viihtyvyyteen. Taulukossa 4 on esitetty Sisäilmastoluokitus 2008:n ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaiset LVIS-laitteiden äänitason enimmäisarvot.

Taulukko 4. Asuinhuoneiden ja keittiön LVIS -laitteiden äänitason enimmäisarvot Sisäilmastoluokitus 2008:n ja Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaan [3; 6].

Tila	Yksikkö	S1	S2	S3	C1
Asuinhuoneet	dB ($L_{A,eq}$)	24 ⁽¹⁾	28 ⁽¹⁾	28 ⁽¹⁾	28 ⁽¹⁾ / 33 ⁽²⁾
Keittiö	dB ($L_{A,eq}$)	33 ⁽¹⁾	33 ⁽¹⁾	33 ⁽¹⁾	33 ⁽¹⁾ / 38 ⁽²⁾

⁽¹⁾ tarkoittaa jatkuvaa vakioäänitasoa, jonka tehollisarvo on sama kuin vaihtelevan äänitason keskimääräinen tehollisarvo määritetyllä ajanjaksolla ($L_{a,eq}$).

⁽²⁾ tarkoittaa tarkastelujaksona esiintyvää voimakkuudeltaan korkeinta äänitasoa määritetyllä aikapainotuksella ($L_{a,max}$).

Rakennuksessa kuultava haitallinen tai häiritsevä ääni voi olla peräisin rakennuksen teknisistä järjestelmistä, rakennuksen ulkopuolelta tai ihmisen toiminnasta rakennuksessa. [6.]

3 Rakennuksen energiankulutus

3.1 E-luku

Rakennusten kokonaisenergiankulutusta tarkastellaan E-luvulla. E-luku (kWh/m² vuodessa) kertoo energianmuotojen kertoimilla painotetun rakennuksen vuotuisen laskennallisen ostoenergiankulutuksen rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. [7, s. 8.] Taulukossa 5 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaiset uudisrakennusten E-luvun enimmäisarvot käyttötarkoitukseluokittain.

Taulukko 5. E-luvun suurimmat sallitut arvot käyttötarkoitukseluokittain [7].

Käyttötarkoitukseluokka		E-luku, kWh/m ² vuodessa	
Luokka 1. Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}		
	Pientalo	$A_{netto} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{netto} < 150 \text{ m}^2$	$327 - 1,4 * A_{netto}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{netto} < 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 * A_{netto}$
		$A_{netto} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{netto} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{netto} < 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 * A_{netto}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{netto} < 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 * A_{netto}$
		$A_{netto} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150
	Luokka 2. Asuinkerrostalo		130
Luokka 3. Toimistorakennus		170	
Luokka 4. Liikerakennus		240	
Luokka 5. Majoitusliikerakennus		240	
Luokka 6. Opetusrakennus		170	
Luokka 7. Liikuntahalli pois lukien uima- ja jäähalli		170	
Luokka 8. Sairaala		450	
Luokka 9. Muut rakennukset ja määräaikaiset rakennukset		E-luku laskettava, mutta ei vaatimusta	

Laskennassa käytettävät energiamuotojen kertoimet on määritelty valtioneuvoston asetuksessa rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (9/2013). Asetuksen mukaiset energiamuotojen kertoimet ovat

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

Energiamuotojen kertoimet perustuvat primäärienergiakertoimiin, jotka kuvaavat jalostamattoman luonnonenergian kulutusta. Näin ollen ne eivät ole päästökertoimia. Sähkön energiamuodon kertoimen suuruus johtuu siitä, että sähköntuotannossa käytetään muihin energiamuotoihin verrattuna enemmän luonnonvaroja. Kertoimilla on pyritty edistämään uusiutuvan energian käyttöä sekä parantamaan energiantuotannon yleistä tehokkuutta. [8, s. 10.]

3.2 Energiatehokkuusluokat

E-luvun perusteella rakennukset luokitellaan energiatehokkuudeltaan eri luokkiin. Energiatehokkuusluokka ilmaistaan kirjaintunnuksella luokitteluasteikolla A–G. Luokitteluasteikon raja-arvot määräytyvät rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella. [8, s. 10.] Taulukossa 6 on esitetty asuinkerrostalojen energiatehokkuusluokat raja-arvoineen.

Taulukko 6. Asuinkerrostalon energiatehokkuusluokat [8].

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergian kulutus E-luku (kWh/m ² vuodessa)
A	E-luku \geq 75
B	$76 \leq$ E-luku \leq 100
C	$101 \leq$ E-luku \leq 130
D	$131 \leq$ E-luku \leq 160
E	$161 \leq$ E-luku \leq 190
F	$191 \leq$ E-luku \leq 240
G	$241 \leq$ E-luku

Pientalojen energiatehokkuusluokkien raja-arvot riippuvat rakennuksen pinta-alasta. Uudisrakennusten energiatehokkuusluokka täytyy olla vähintään C hirsitaloja lukuun ottamatta. [8, s. 11.]

4 Energia- ja olosuhdesimuloinnit

Rakennuksen energia- ja olosuhdesimuloinnilla voidaan tarkastella rakennuksen eri järjestelmien lämmitys-, jäähdytys- ja sähköenergian kulutusta sekä olosuhteita. Simulointien avulla nähdään myös, miten eri suunnitteluratkaisut vaikuttavat rakennuksen energiankulutukseen ja minkälaisilla suunnitteluratkaisulla saadaan täytettyä vaaditut sisäilmaston olosuhteet esimerkiksi kesäajan huonelämpötilan osalta.

4.1 Kesäajan huonelämpötilan hallinta

Korkea lämpötila kuormittaa elimistöä kuten ruumiillinen työ. Se myös heikentää henkistä ja fyysistä suorituskykyä. Rakennusta suunniteltaessa ja rakentaessa tilojen haitallinen ylikuumeneminen tulee ottaa huomioon. Ylikuumenemiseen vaikuttavat merkittävimmin auringon säteilyenergia ja rakennuksen sisäiset lämpökuormat. Rakennuksen muodolla ja varjostuksella, ikkunoiden suuntauksella, koolla ja lasilaadulla sekä muilla auringonsuojauskeinoilla, kuten sälekaihtimilla, voidaan vähentää auringon säteilyn aiheuttamaa haitallista lämpökuormaa. [2, s. 15; 9, s. 8.] Ensisijaisesti ylikuumenemisen estämiseksi käytetään rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa [7, s. 9]. Taulukossa 7 on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaiset jäähdytysrajat käyttötarkoituksittain.

Taulukko 7. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaiset jäähdytysrajat käyttötarkoituksittain [7].

Käyttötarkoitukseluokka	Jäähdytysraja °C
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	27
Asuinkerrostalo	27
Toimistorakennus	27
Liikerakennus	25
Majoitusliikerakennus	25
Opetusrakennus ja päiväkot	25
Liikuntahalli	25
Sairaala	25

1. kesäkuuta ja 31. elokuuta välisenä aikana huonelämpötila ei saa ylittää taulukon 7 jäähdytysrajan arvoa yli 150:tä astetuntia taulukon 8 sisäisillä lämpökuormilla ja suunnitelluilla ilmamäärillä. Laskennassa käytetään liitteen 1 säävyöhykkeen 1 säätietoja. [7, s. 9–10.] Asetunti kuvaa jäähdytysrajan ylittävän lämpötilan ja ajan tuloa. Esimerkiksi, jos lämpötila ylittää jäähdytysrajan 2 °C:lla kahden tunnin ajan, vastaa tämä 4:ää astetuntia (°Ch). Kesäajan huonelämpötilan hallinnassa on huomioitava myös luvun 2.2.2 taulukossa 1 esitetyt Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 vaatimukset huonelämpötilalle.

Taulukko 8. Rakennuksen sisäiset lämpökuormat käyttötarkoituksittain [7].

Käyttötarkoituksiluokka	Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset ^a
	-	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	0,6	9 ^c	9	8

^a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla ker-toimella 0,6

^b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

^c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys

Kesäajan huonelämpötilan lämpötilalaskennat tehdään asuinkerrostaloissa vähintään yhdelle lämpökuormiltaan suurimmalle makuuhuoneelle ja olohuoneelle. On myös huomioitava, että nämä eivät välttämättä ole samassa asunnossa. Kesäajan huone-lämpötilan laskemaa ei tarvitse tehdä rakennuksille, jotka kuuluvat luokkaan 1 ja 9. Muiden käyttötarkoituksiluokkien rakennuksissa lämpötilalaskelmat tehdään tyyppitiloille. [7, s. 9–10.]

4.2 Laskentatyökalut

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on esitetty vaatimuksia laskenta-työkaluille. Laskentatyökalulla tulee pystyä laskemaan vähintään lämmitysenergian nettotarve, ja jos rakennuksessa on jäähdytysjärjestelmä, myös jäähdytysenergian net-totarve. Kuukausitason laskentamenetelmiin perustuvaa laskentatyökalua voidaan

käyttää rakennuksissa, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa. Kaikkien muiden rakennusten energialaskenta sekä kesäajan huonelämpötilan laskenta tulee suorittaa dynaamisella laskentaohjelmalla. Dynaaminen laskentaohjelma pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena. Kuukausitason laskentamenetelmänä voidaan käyttää esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 esitettyä laskentamenetelmää. [7, s. 26–27.] Dynaamisen laskennan voi suorittaa esimerkiksi IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)- tai RIUSKA-laskentaohjelmalla.

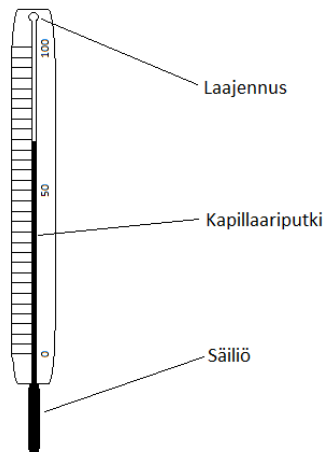
5 Mittarit ja anturit

5.1 Lämpötilamittaus

Lämpötilan mittaus on yksi tärkeimmistä mitattavista suureista. Lämpötilan mittaus on taloteknisten järjestelmien toiminnan kannalta välttämätöntä. Lämpötilamittausten avulla ohjataan muun muassa rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Lämpötilaa voidaan mitata useilla eri menetelmillä, mutta käytettävä menetelmä tulee aina valita huolellisesti tapauskohtaisesti, sillä eri mittausmenetelmillä päästää eri mittaustarkkuuksiin ja vasteaikoihin. [10, s. 3.]

5.1.1 Mekaaniset mittarit

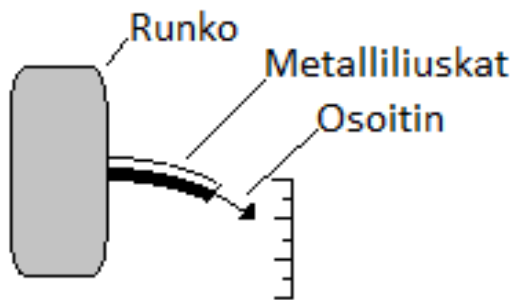
Taloteknisissä järjestelmissä mekaanisia lämpötilamittareita käytetään usein paikalliseen lämpötilan mittaukseen. Mekaaniset mittarit voidaan jakaa nestepatsas-, bimetallija kapillaarilämpömittareihin. Mekaanisten mittareiden etuina ovat halpuus, yksinkertaisuus ja pitkä käyttöikä. Nestepatsaslämpömittari on vanhin, mutta silti edelleen yksi käytetyimmistä lämpömittarityypeistä. Nestepatsaslämpömittarin toiminta perustuu mittarin sisällä olevan nesteen lämpölaajenemiseen. Mittareita on saatavilla kokonaan upotettavina ja osittain upotettavina. Mittari koostuu kuvan 1 mukaisesti lasisäiliöstä ja kapillaariputkesta sekä usein myös kapillaariputken yläpäässä olevasta laajennuksesta. [10, s. 4–8.]



Kuva 1. Nestepatsaslämpömittari.

Lasisäiliö on täytetty jollakin ominaisuuksiltaan sopivalla aineella, esimerkiksi elohopealla, alkoholilla tai tolueenilla. Nesteen lämmitessä tai jäähtyessä neste laajenee tai supistuu, jolloin nesteen pinta kapillaariputkessa nousee tai laskee. Nestepatsasmittarin lämpötila-alue riippuu käytettävästä nesteestä. Esimerkiksi elohopea soveltuu käytettäväksi lämpötila-alueella $-39\text{ °C} \dots +357\text{ °C}$, kun taas alkoholimittarit ovat normaalisti lämpötila-alueella $-14\text{ °C} \dots +78\text{ °C}$. Nestelämpötilamittareiden tarkkuus ja vasteaika riippuu mittarin rakenteesta ja mittaolosuhteista. Parhaimmillaan kokonaan upotettavilla mittareilla päästään $\pm 0,02\text{ °C}$:n mittauserätarkkuuteen lämpötila-alueella $0\text{ °C} \dots 100\text{ °C}$. [10, s. 4–6.]

Bimetallilämpömittarin toiminta perustuu kahden lämpölaajenemisominaisuksiltaan erilaisen metallin lämpölaajenemiseen. Mittarissa kaksi metalliliuskaa on yhdistetty toisiinsa kiinni, ja kun lämpötila muuttuu, toinen metalliliuska laajenee tai supistuu toista enemmän, aiheuttaen liuskaparin kiertymistä. Liuskaparin toinen pää on kiinnitetty mittarin runkoon, ja toisessa päässä on osoitin, jolloin lämpötila aiheuttaa lämpötilaan verrannollisen mittarin osoittimen liikkeen kuvan 2 mukaisesti. [10, s. 6.]



Kuva 2. Bimetallilämpömittarin toimintaperiaate.

Bimetallilämpömittareiden lämpötila-alue voi olla välillä $-50\text{ °C} \dots +500\text{ °C}$ riippuen mittarin materiaaleista ja tuntoelimen muodosta. Mittarin vasteaika on pitkä ja mittausepä-tarkkuus noin $\pm 2\text{ °C} \dots 5\text{ °C}$. [11, s. 65.]

Kapillaarilämpötilamittarin toiminta perustuu anturisäiliössä olevan kaasun, nesteen tai höyryn lämpölaajenemiseen. Anturisäiliö on yhdistetty palkeeseen tai painekierukkaan kapillaariputkella. Säiliössä olevan nesteen lämpölaajeneminen aiheuttaa kapillaariputken välityksen avulla paineen siihen yhdistettyyn palkeeseen tai painekierukkaan. Paineen vaikutuksesta palje tai painekierukka muuttaa muotoaan liikuttaen osoitinta. Kapillaariputken avulla mittausetäisyys voi olla useita metrejä. Kapillaarilämpötilamittareiden lämpötila-alue on $-260\text{ °C} \dots +750\text{ °C}$ ja vasteaika samaa luokkaa nestepatsaslämpömittareiden kanssa. [12, s. 4.]

5.1.2 Sähköiset mittarit

Sähköisten lämpötilamittareiden toiminta perustuu sähköisen suureen muuttumiseen lämpötilan vaikutuksesta. Sähköisiä mittareita ovat vastusanturit, termistorit ja termoelementit eli termoparit. Vastusantureiden toiminta perustuu metallivastuksen resistanssin lämpötilariippuvuuteen. Resistanssi lämpötilariippuvuus voidaan esittää yhtälöllä

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t), \quad (1)$$

jossa $R(t)$ on resistanssi lämpötilassa t , R_0 on metallin resistanssi referenssilämpötilassa 0 °C ja α on resistanssin lämpötilakerroin. Materiaalin resistanssin lämpötilakerto-

men tulisi olla mahdollisimman suuri sekä laajalla lämpötila-alueella lineaarinen. Kontaktien ja johdinten vaikutus pienenee anturin resistanssin ollessa suuri. Vastusanturin materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi platinaa, kuparia tai nikkeliä. [10, s. 8–9.]

Platinaa käytetään yleisimmin vastusantureiden materiaalina. Platinan etuja ovat resistanssin lämpötilariippuvuuden lineaarisuus ja kestävyys kemiallista räsitystä vastaan sekä sillä saavutettava laaja mittausalue. Nikkelistä valmistettujen antureiden etuja ovat edullisuus sekä suuri resistanssin lämpötilakerroin. Haittana on taas muun muassa resistanssin lämpötilariippuvuuden epälinearisuus. Platinasta valmistettu Pt100-anturi on yleisimmin käytetty metallivastusanturi. Pt100-anturin nimellsvastus on 100Ω . Nimellsvastus kertoo anturin resistanssin lämpötilan ollessa $0 \text{ }^\circ\text{C}$. [10, s. 8–9.]

Termistorit ovat puolijohteista valmistettuja lämpötila-antureita ja niiden toiminta perustuu myös resistanssin lämpötilariippuvuuteen. Yleisimmin käytettyjen termistoreiden resistanssin lämpötilakerroin on negatiivinen, joka tarkoittaa, että lämpötilan noustessa resistanssi pienenee. Negatiivisen resistanssin lämpötilakertoimen omaavat termistorit ovat NTC-termistoreita (negative thermal coefficient), kun taas positiivisen resistanssin lämpötilakertoimen omaavat ovat PTC-termistoreita (positive thermal coefficient). [10, s. 12–13.]

Termistorin resistanssin lämpötilakerroin on suurempi kuin metallivastusantureilla, mistä johtuu termistorin suuri herkkyys. Termistorin etu metallivastusanturiin verrattuna on suuri nimellsvastus, joka vähentää merkittävästi mittausjohtimista aiheutuvaa mittausvirhettä. Haittoja ovat epälineaarinen resistanssin lämpötilariippuvuus, epästabiilisuus sekä pieni mittausalue. Termistoreiden mittausalue on tyypillisesti noin $-80 \text{ }^\circ\text{C}$... $+250 \text{ }^\circ\text{C}$, joka on taloteknisissä järjestelmissä yleensä riittävä. Epätarkkuus vaihtelee suuresti. Parhaillaan päästään $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$:n mittausepä-tarkkuuteen. [10, s. 12–13.]

Kuvassa 3 on Ouman TMD -kanava-anturi, jolla voidaan mitata ilman lämpötilaa kanavistossa. Kanava-anturin mittausalue on $-50 \text{ }^\circ\text{C}$... $+60 \text{ }^\circ\text{C}$. Anturi voidaan varustaa anturielementillä NTC 10, Pt 1000 tai Ni 1000 LG. Mittaustarkkuus lämpötila-alueella $0 \text{ }^\circ\text{C}$... $70 \text{ }^\circ\text{C}$ on NTC 10 -anturielementillä $\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ja Pt 1000 -sekä Ni 1000 -anturielementillä $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.



Kuva 3. Ouman TMD -kanava-anturi [28].

Termoelementti eli termopari koostuu kahdesta eri metallista valmistetuista langoista (termolangat), jotka on liitetty yhteen muodostaen suljetun virtapiirin. Toista liitoskohtaa pidetään vertailulämpötilassa ja toista mitattavassa lämpötilassa, jolloin lämpötilaero aiheuttaa lämpötilasta riippuvaisen jännitteen. Ilmiössä syntyvää jännitettä kutsutaan termojännitteeksi. Termojännitettä mitataan usein elektronisella lämpötilalähtimellä, joka muuttaa jännitteen virtaviestiksi. [6, s. 47–53.]

Ei ole olemassa yhtä termoparia, joka soveltuisi kaikkiin mittaolosuhteisiin. Eri materiaaleista valmistetut termoparit on standardisoitu eri tyyppeihin. Termoparien eri ominaisuudet kuten lämpötila-alue, stabiilisuus ja herkkyys riippuu termoparin tyypistä. Yleisimmät ovat B-, E-, J-, K-, N-, R-, S-, ja T-tyypin termoparit. Kaikkein yleisin on K-tyypin termopari, jonka lämpötila-alue on $-270\text{ °C} \dots +1370\text{ °C}$. [6, s. 47–53.] Termoelementin standardien mukainen epätarkkuus vaihtelee tyypin ja lämpötila-alueen mukaan, ja se on $\pm 3\text{ °C}$ matalammilla lämpötiloilla noin $+500\text{ °C}$:seen asti tyypistä riippuen.

5.1.3 Puolijohdeanturit

Puolijohdeantureiden toiminta perustuu puolijohdeliitoksiin, jotka ovat yksinkertaisimmillaan diodi ja transistori. Puolijohdeantureiden mitta-alue vaihtelee, mutta se kattaa tavallisesti $-50\text{ °C} \dots +150\text{ °C}$. Puolijohdeantureiden etuna on helppo yhdistettävyyys muuhun mittauselektroniikkaan, tavallisesti hyvä lineaarisuus ja suhteellisen edullinen hinta. Haittapuolena on anturin mittausepä-tarkkuus, joka vaihtelee alueella $\pm 0,5\text{ °C} \dots 5\text{ °C}$ tuotteesta ja kalibroinnista riippuen. [13, s. 85.]

5.2 Paineen mittaus

Teknisissä järjestelmissä mitataan usein paine-eroa absoluuttisen paineen sijaan. Vertailupaineena käytetään yleensä ilman painetta. Paine-eron avulla voidaan valvoa muun muassa ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien tai LTO-kiekon puhtautta. Paine-eroa käytetään myös usein virtausmittauksissa. Lisäksi painetta on tarkkailtava järjestelmissä, joissa käytetään suuria paineita, jotta rakenteita ei kuormiteta liikaa. Painetta voidaan mitata nestetäytteisillä antureilla eli nestemanometreillä, erilaisilla joustavilla elimillä ja sähköisillä paineantureilla. [11, s. 49; 12, s. 7.]

5.2.1 Nestemanometrit

Nestemanometrien toiminta perustuu hydrostaattisen paine-eron toteamiseen nestepatsaiden korkeuksia vertaamalla. Nesteenä voidaan käyttää esimerkiksi tislattua vettä, värjättyä alkoholia tai elohopeaa. Elohopeaa käytetään suurten paine-erojen mittauksissa sen suuren tiheyden takia. Nestettä valittaessa on otettava huomioon sen näkyminen, kapillaariominaisuudet, kiehumispiste, reaktioherkkyys ja myrkyllisyys. Nestemanometrejä ovat U-putkimanometri, kallistettava manometri ja mikromanometri. [12, s. 7.]

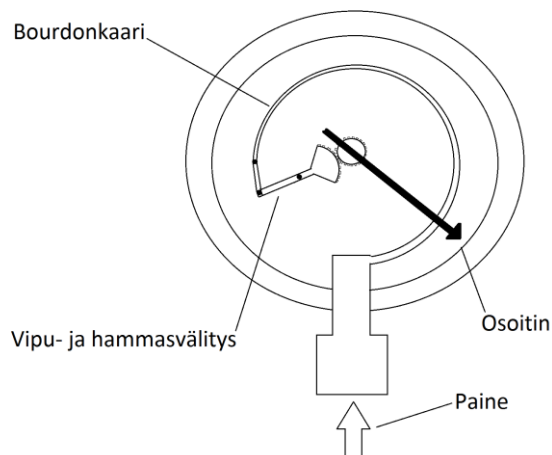
U-putkimanometri on ehkä tunnetuin nestemanometri. Se muodostuu nimensä mukaisesti U-kirjaimen muotoisesta putkesta, joka on täytetty nesteellä. Kun putken päihin vaikuttavat erisuuruiset paineet, asettuu putkessa olevan nesteen pinnat eri korkeudelle. Korkeuserosta voidaan laskea putken päiden välillä oleva paine-ero yhtälöllä

$$\Delta p = \rho g \Delta h, \quad (2)$$

jossa ρ on käytettävän nesteen tiheys, g on vetovoiman kiihtyvyys, Δh nesteen pinnan korkeusero ja Δp paine-ero. Kallistettavassa manometrissä toinen haara on korvattu nestesäiliöllä. Toista manometriputkea kallistamalla voidaan säädellä mittausaluetta ja herkkyyttä. Mikromanometrejä ovat kaikkein herkimmät nestemanometrit. Mikromanometrien nestesäiliön korkeusasema on säädettävissä ja nousuputki on lähes vaakasuorassa. Nestemanometrien mittausalue riippuu käytettävästä mittarista ja nesteestä. Parhailla mikromanometreillä päästään $\pm 0,05$ Pa:n mittaustarkkuuteen. [12, s. 7.]

5.2.2 Joustavat elimet

Paineen mittaus joustavilla elimillä perustuu paineen aiheuttamaan mekaaniseen liikkeeseen tai muodonmuutokseen, jota voidaan mitata. Yleisimmin painemittareissa käytetty elin on ns. paineputki eli bourdonkaari. Paineputki on toisesta päästä suljettu, kaareva tai kierretty litteä putki. Paineen kasvaessa putken sisällä, putki alkaa oieta. Oikeenemisesta aiheutuva liike muutetaan kuvan 4 mukaisesti vipu- ja hammasvälityksen avulla osoittimen liikkeeksi. [14, s. 23–24.]



Kuva 4. Bourdonkaarimanometrin toimintaperiaate.

Bourdonkaarimittareita käytetään yleensä paikalliseen paineen mittaamiseen. Koskettimilla varustettuja painemittareita voidaan käyttää myös säätö- ja hälytystehtäviin. Bourdonkaaren lisäksi joustaviin elimiin perustuvia painemittareita ovat muun muassa paljeputket ja kalvorasiat. [14, s. 24–28.]

5.2.3 Sähköiset menetelmät

Paineen mittaus sähköisillä menetelmillä perustuu edellä mainittuihin joustaviin elimiin, jossa paine aiheuttaa muodonmuutoksen tai jännityksen mittauskalvossa. Tämä muodonmuutos tai jännitys muutetaan sähköiseen muotoon kapasitiivisten, induktiivisten tai pietsosähköisten elementtien avulla. [14, s. 28–30.] Kuvassa 5 on sähköisiin paineen mittausmenetelmiin perustuva paine-erolähetin.



Kuva 5. Vesiverkoston painelähetin Pro dual VPL 16 [29].

Kuvan painelähetintä voidaan käyttää esimerkiksi lämmitysverkoston tai käyttövesiverkoston paineen seurantaan. Painelähetin voidaan liittää rakennusautomaatiojärjestelmään, josta saadaan hälytys paineen muuttuessa yli aseteltujen raja-arvojen.

5.3 Virtausmittaus

Virtausmittausta käytetään putkessa tai kanavassa virtaavan aineen virtausnopeuden, tilavuusvirran tai massavirran määrittämiseen. Talotekniikassa virtausmittausta tarvitaan muun muassa mitattaessa käyttöveden kulutusta. Virtausmittauksella päästään myös käsiksi esimerkiksi lämmitys- tai jäähdytystehoon. Virtausmittauksia varten on olemassa monia eri mittausperiaatteita. Mittausperiaate ja mittari valitaan mitattavan aineen ominaisuuksien ja virtauksen luonteen mukaan. Mitattavan aineen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat aineen viskositeetti, lämpötila, paine, syövyttävyyys sekä mahdolliset epäpuhtaudet. [10, s. 28.]

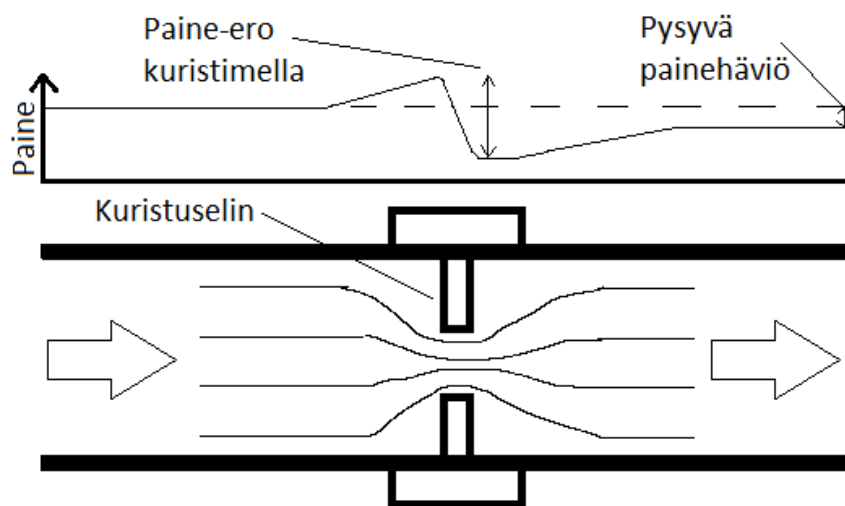
5.3.1 Mekaaniset mittarit

Mekaanisia virtausmittareita ovat erilaiset tilavuuslaskurit, pyöriväsiipiset virtausmittarit sekä muuttuva-aukkoiset virtausmittarit eli rotametrit. Mekaaniset virtausmittarit soveltuvat tasalaatuisten nesteiden virtausmittaukseen, sillä nesteen joukossa olevat ylimääräiset partikkelit aiheuttavat toimintahäiriöitä mittarin mekaanisissa osissa. Talotekni-

kassa käytettävät mekaaniset virtausmittarit ovat yleensä pyöriväsiipisiä virtausmittareita. Pyöriväsiipisissä virtausmittareissa vesivirta pyörittää siipipyörää. Siipipyörän kierrokset välittyvät laskurille ja osoittimelle hammasrattaiston välityksellä. Mittari voidaan varustaa impulssilaitteella, joka muuttaa siipipyörän pyörähdykset impulsseiksi, joiden taajuus on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen. Mittarit voidaan jakaa yksi- ja monisuihkuisiin sekä turbiinityyppisiin mittareihin. Pyöriväsiipisiä virtausmittareita käytetään yleensä rakennuksen käyttöveden kulutuksen mittauksissa. [11, s. 85.]

5.3.2 Paine-eroon perustuva kuristusvirtausmittaus

Kuristusvirtausmittausta voidaan käyttää nesteiden, kaasujen ja höyryjen virtausmittauksiin. Kuristusvirtausmittaus perustuu kuristuselimien aiheuttamaan painehäviöön, joka on verrannollinen virtausnopeuteen. Aineen virratessa paine nousee hieman ennen kuristuselintä, mutta heti kuristuselimen jälkeen paine laskee voimakkaasti. Kuristuselimeltä poispäin virratessa paine taas nousee. Paine jää kuitenkin kuristimen jälkeen pysyvästi tulopuolta alemmalle tasolle, sillä kuristin aiheuttaa pysyvän kokonaispaineen laskun. [14, s. 67–68.] Kuvasta 6 nähdään, miten kuristuselin vaikuttaa paineeseen.



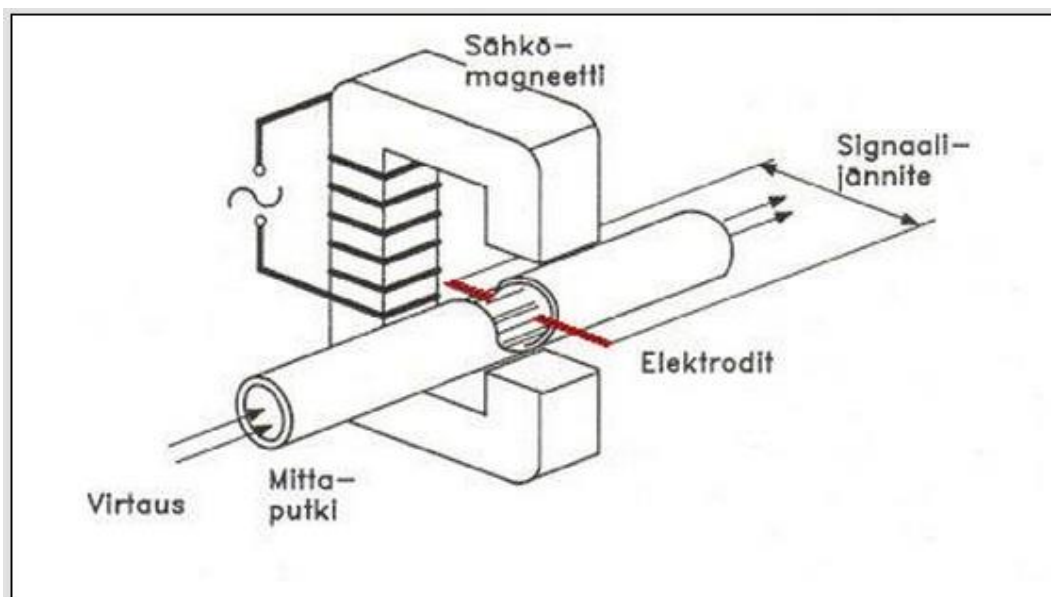
Kuva 6. Kuristuselimen vaikutus paineeseen.

Kuristimella syntyvä paine-ero riippuu virtauksen lisäksi kuristuselimen muotoilusta, paineen mittauskohdasta ja virtaavan aineen ominaisuuksista. Kuristuselimet ovat luotettavia ja kestäviä virtausmittauksessa, sillä mittalaitteessa itsessään ei ole mitään

liikkuvia osia kuten mekaanisissa virtausmittareissa. [14, s. 67–68.] Talotekniikassa kuristusvirtausmittausta hyödynnetään muun muassa erilaisissa säätöventtiileissä ja -pelleissä.

5.3.3 Induktiivinen virtausmittaus

Induktiivinen virtausmittaus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Putken ylä- ja alapuolelle asennetut sähkömagneetit synnyttävät magneettikentän. Virratessaan putken läpi, sähköä johtava aine synnyttää magneettikentässä jännitteen, jonka suuruus on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen. Virtauksesta syntyvä jännite mitataan elektrodien avulla ja muunnetaan vahvistinyksikössä standardiviestiksi osoitinkojeelle tai tietokoneelle. Kuvasta 7 nähdään sähkömagneettiseen induktioon perustuvan virtausmittauksen toimintaperiaate. [10, s. 39–41.]



Kuva 7. Sähkömagneettisen virtausmittauksen toimintaperiaate [14].

Sähkömagneettiseen induktioon perustuvan virtausmittarin etuja ovat riippumattomuus mitattavan nesteen tiheydestä, viskositeetistä ja lämpötilasta. Mittari ei sisällä liikkuvia osia, joten se on kestävä ja tarvitsee vain vähän huoltoa. Mittari ei myöskään häiritse virtausta, sillä siinä ei ole mekaanisia esteitä kuten paine-eroon perustuvissa mittareissa. Haittapuolia ovat korkea hinta sekä mitattavien aineiden täytyy olla sähköä johtavia nesteitä. Sähkömagneettisten virtausmittareiden mittaustarkkuus on noin $\pm 0,5\%$. [10, s. 39–41.]

5.4 Lämpöenergian mittaus

Lämpöenergianmittausta käytetään muun muassa kiinteistön kaukolämmön energian mittaukseen. Lämpöenergianmittaus perustuu meno- ja paluulämpötilojen sekä tilavuusvirran mittaamiseen. Mittari koostuu lämpömäärälaskimesta, virtausmittarista ja lämpötila-antureista. Virtausmittarit voivat olla siipipyörämittareita, induktiivisia mittareita, ultraäänimittareita tai paine-eroon ja värähtelyyn perustuvia mittareita. Lämpömäärälaskin laskee käytetyn lämpöenergian meno- ja paluueden lämpötilojen ja virtausmittarilta saadun tilavuusvirran perusteella. [12, s. 11.]

5.5 Muita antureita

Muita talotekniikassa käytettäviä antureita ovat muun muassa

- kosteusanturit
- hiilidioksidianturit
- hiilimonoksidianturit
- VOC-anturit (VOC = Volatile Organic Compound = haihtuvat orgaaniset yhdisteet, ilmanlaatuanturi)
- läsnäoloanturit. [15, s. 117–119.]

6 Mittarointi

6.1 Energiankäytön mittaus

6.1.1 Älykäs energianmittaus

Älykkäät energiamittarit ovat etäluettavia mittareita, jotka mahdollistavat yksityiskohtaisen energian- ja vedenkulutustietojen keräämisen, varastoinnin ja raportoinnin. Etäluennan ansiosta mittareita ei tarvitse lukea manuaalisesti. Ne mahdollistavat myös tuntikohtaisen tai jopa reaaliaikaisen kulutuksen mittauksen ja seurannan. Älykkäitä mittareita voidaan myös käyttää talotekniikan ohjauksessa. Energiamittausten perusteella voidaan seurata rakennuksen eri järjestelmien toimivuutta. Energiamittaus on tehokkaan käytön ja ylläpidon kannalta välttämätöntä. Energian kulutusta seuraamalla voidaan tehdä tarvittavia toimenpiteitä energiankulutuksen säästämiseksi. [31.] Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 määräys edellyttää varustamaan rakennukset energiankäytön mittauksella tai mittausvalmiudella siten, että rakennuksen eri energiamuotojen käyttö voidaan helposti selvittää. Mittauksesta ja mittausvalmiudesta voidaan kuteinkin luopua, jos niiden järjestäminen voidaan osoittaa epätarkoituksenmukaiseksi [7, s. 16.]

6.1.2 Sähköenergia

Rakennuksen sähköenergiankäyttö on suuruudeltaan merkittävä, joten tehokkaan käytön ja ylläpidon kannalta, se on olennainen seurattava kulutuskohde [16, s. 15]. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 on esitetty vaatimuksia rakennuksen sähköenergian mittauksille. Lisäksi sähkömarkkinalain nojalla annettu valtioneuvoston asetus sähköntoimituksen selvityksestä ja mittaamisesta käsittelee sähkön mittausta.

Rakennus varustetaan sähkönmittauksella, josta saadaan tieto koko rakennuksen sähköenergian kulutuksesta. Rakennuksen erilliset liike- ja asuinhuoneistot varustetaan sähkönmittauslaitteistolla, jos sähkö myydään sähkönkäyttäjille kiinteistön sisäisen sähköverkon kautta [17, s. 8]. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä varustetaan sähkönkulutuksen mittauksella. Vähäisten erillispoistojen sähkönkulutuksen mittausta ei kuitenkaan kustannussyistä tarvitse järjestää. Jäähdytyksen tuottoon käytetty sähköenergia on rakennuksessa kasvava kulutuskohde viihtyvyysvaatimusten kasvaessa, joten käytön ja ylläpidon kannalta on tärkeää sen käyttämän sähköenergian seurannan

mahdollisuus, jotta järjestelmän jäähdytyksen tuoton hyötysuhteet ja energiankulutus voidaan selvittää. [7, s. 16; 16, s. 15–16.]

6.1.3 Lämmitys- ja jäähdytysenergia

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän ostoenergiankulutus on oltava mitattavissa. Kaukolämpöverkoston liitettyjen kiinteistöjen käyttämää lämpöenergiaa mitataan lämpöenergiamittarilla. Kaukokylmään liitettyjen kiinteistön kylmäenergiaa täytyy myös mitata. Lämpöpumppujen ja kylmäkojeiden tuottamaa lämpö- ja kylmäenergiaa mitataan, jos halutaan tarkastella järjestelmien hyötysuhdetta. Rakennus varustetaan myös lämpimän käyttöveden kulutuksen mittauksella. Tarvittaessa lämpimän käyttöveden kiertopiiriin varustetaan paluueden lämpötilan ja vesivirran mittauksella. Lämpimän käyttöveden energiankulutuksen seuranta on perusteltua, koska muun energiatehokkuuden parantua sen merkitys on kasvanut. [7, s. 16; 16, s. 15–16.]

6.2 Energiatehokkuusluvut

6.2.1 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (SFP-luku) kuvaa rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla. Ilmavirtana käytetään näistä suurempaa ilmavirtaa, joka on yleensä poistoilmavirta. Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähköenergiankulutuksen lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä lämmöntalteenoton mahdollisten pumppujen ja moottorien sähköenergiankulutuksen. [4, s. 3.] Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 mukaan koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,0 \text{ kw}/(\text{m}^3/\text{s})$. Pelkän koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähkö saa olla enintään $1,0 \text{ kw}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ilmanvaihtojärjestelmän ottama sähköteho ja kokonaisilmavirrat on oltava mitattavissa, jotta ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa voidaan tarkastella. [7, s. 15–16.]

6.2.2 Lämpö- ja kylmäkertoimet

Lämpö- ja kylmäkertoimia käytetään lämpöpumppujen energiatehokkuuden arvioimiseen. Lämpökertoimella kuvataan, kuinka paljon lämpöpumppu tuottaa lämpöenergiaa järjestelmän kulutukseen nähden. Kylmäkertoimella kuvataan taas kuinka paljon jäähdytysenergiaa tuotetaan järjestelmän kulutukseen nähden. Lämpö- ja kylmäkertoimia on useita. Taulukossa 9 on esitetty muutamia käytössä olevia kertoimia EN 14511 -standardin mukaan. [26.]

Taulukko 9. Lämpö- ja kylmäkertoimia standardin EN 14511 mukaan [26].

Kerroin	Kuvaus
EER (Energy Efficiency Ratio)	Kylmäkerroin. Kylmälaitteen kokonaisjäähdytystehon ja tehollisen sähkönottotehon suhde, yksikkönä watti/watti.
EER_{rated} (Rated Energy Efficiency Of Ratio)	Nimelliskylmäkerroin. Jäähdytyksen ilmoitettu teho (kW) jaettuna jäähdytyksen nimellisottoteholla (kW), kun kylmälaite jäähdyttää nimellisolosuhteissa.
COP (Coefficient Of Performance)	Lämpökerroin. Kylmälaitteen lämmitystehon ja tehollisen sähkönottotehon suhde, yksikkönä watti/watti.
COP_{rated} (Rated Coefficient Of Performance)	Nimellislämpökerroin. Lämmityksen ilmoitettu teho (kW) jaettuna lämmityksen nimellisottoteholla (kW), kun kylmälaite lämmittää nimellisolosuhteissa.

Valmistajien ilmoittamat lämpö- ja kylmäkertoimet vastaavat kerrointa tietyissä olosuhteissa, joten on syytä selvittää, millaisissa olosuhteissa ja minkä standardin mukaan lämpö- ja kylmäkertoimet on laskettu. Standardeja, joilla COP-arvoja ilmaistaan, ovat EN 255 ja EN 14511. Suomen standardisoimisliiton SFS ry:n mukaan EN 255 on poistunut jo käytöstä ja korvattu EN 14511 -standardilla. Valmistajat ilmoittavat kuitenkin vielä myös EN 255 -standardin mukaan laskettua COP-arvoa. Standardissa EN 255 ei esimerkiksi lasketa lämpöpumpun sähkönkulutukseen mukaan kiertopumpun kulutusta kuten EN 14511 -standardissa. [25.] Lämpöpumpun todellisen hyötysuhteen seuraamiseksi on mitattava järjestelmän sähkönkulutusta sekä tuotetun lämmitys- tai jäähdytysenergian määrää.

6.3 Käyttöveden kulutus

Käyttöveden kulutuksen mittauksesta on esitetty vaatimuksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1. Määräysten mukaan rakennus tulee varustaa päävesimittarilla. Jos kiinteistössä on useampi kuin yksi huoneisto, asennetaan päävesimittarin li-

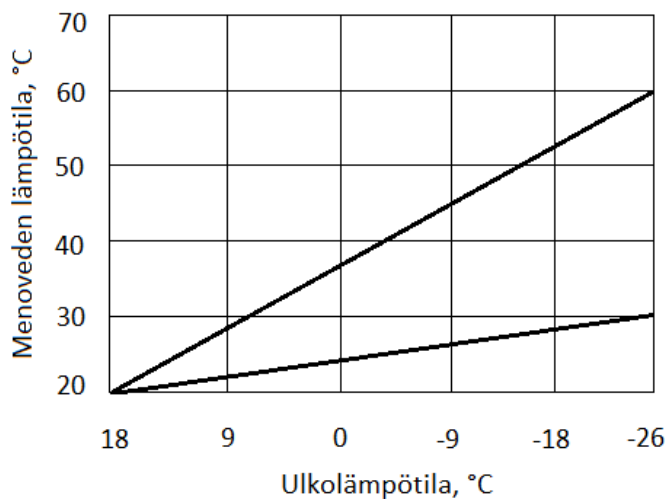
säksi huoneistokohtaiset vesimittarit huoneistoon tulevan kylmän ja lämpimän käyttöveden mittaamiseen. Mittareiden osoittamaa vedenkulutusta on voitava käyttää laskutuksen perusteena. [18.] Pelkän huoneistokohtaisen vedenmittauksen ja laskutuksen on arvioitu pienentävän keskimääräistä vedenkulutusta noin 10 % [19, s. 15].

7 Olosuhteiden seuranta ja hallinta

7.1 Asunnot

7.1.1 Lämmitysverkostojen lämpötilat

Vesikiertoisten lämmitysverkostojen menoveden lämpötilaa säädetään säätökäyrällä ulkolämpötilan mukaan [2, s. 124]. Lämmitysverkostojen meno- ja paluulämpötilojen maksimi arvot on määritelty Energiateollisuuden kaukolämmityksen määräykset ja ohjeet K1:ssä. Kuvassa 8 on esitetty tyypillisen patterilämmitysverkoston toimintalämpötilat.



Kuva 8. Tyypillisen patterilämmitysverkoston toimintalämpötilat.

Säätölaitteiden ja lämmitysjärjestelmän toiminnan kannalta on seurattava, että verkoston menolämpötila vastaavaa säätökäyrää. Menoveden lämpötilan poiketessa säätökäyrältä liikaa seuraa hälytys. Lämmitysverkostojen lämpötilojen lisäksi on mitattava lämpimän käyttöveden ja lämpimän käyttöveden kiertopiirin lämpötilaa. Lämpimän

käyttöveden lämpötilan asetusarvo on +58 °C. [30.] Suomen rakentamismääräyskoelman osan D1 mukaan lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla vähintään 55 °C, joten on seurattava, että lämpimän käyttöveden lämpötila kiertojohdossa ei laske sen alle [19, s. 8]. Lämpimän käyttöveden lämpötila ei myöskään saa kohota yli +65 °C:n [19, s. 9]. Lämpimän käyttöveden lämpötilojen poiketessa sallituista rajoista seuraa hälytys [30].

7.1.2 Ulkolämpötilan mittaus

Ulkolämpötilan mittauksessa tulee huomioida ulkolämpötila-anturin sijainti. Anturi sijoitetaan rakennuksen pohjoisovulle varjoisaan paikkaan noin 2,5 metrin korkeudelle. Anturia ei tulisi asentaa suoraan ikkunan, oven tai tuuletusaukon yläpuolelle, sillä ylöspäin virtaava lämmin ilma vääristää mittaustulosta. Anturia ei tulisi asentaa myöskään poistoilmasäleikön tai muun lämmönlähteen läheisyyteen. [20.]

7.1.3 Tuloilman lämpötila

Tuloilman lämpötilan tulisi olla sopiva jotta rakennuksen sisäilmaston olosuhteet pysyisivät hyvinä. Tuloilman lämpötilaa voidaan pitää vakiona tai säätää esimerkiksi huone- tai poistoilman lämpötilan mukaan. Tuloilman lämpötilan vakiosäädössä tuloilman lämpötila pidetään halutussa asetusarvossa tuloilmakanavaan sijoitetun lämpötila-anturin avulla. Tuloilman lämpötila-anturi tulisi sijoittaa riittävän kauaksi lämmityspatterista ja puhaltimesta, jotta ilmavirtaukset ehtisivät sekoittua ja lämpötila tasaantua. [21, s. 142–143.]

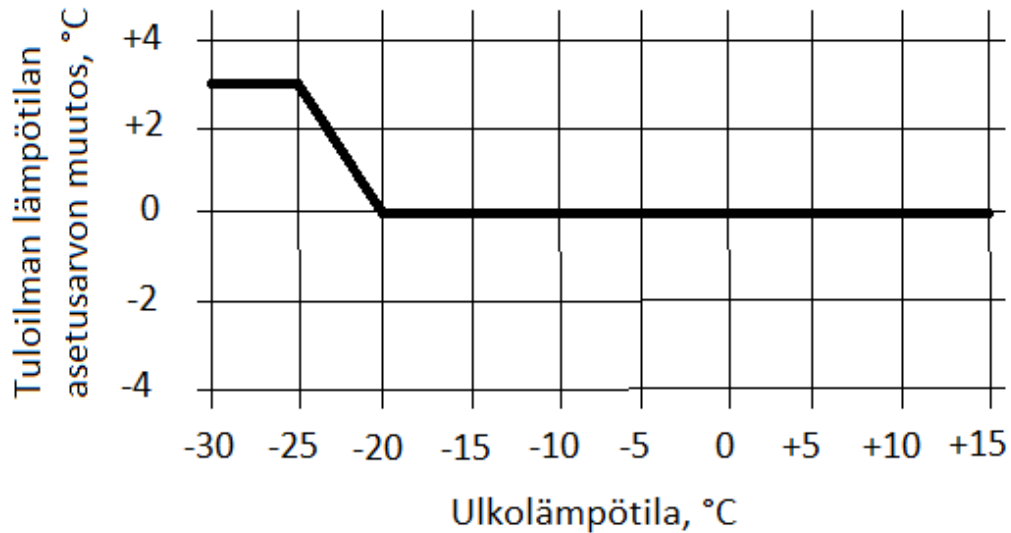
Vakiosäätö sopii hyvin tuloilman lämpötilan säätöön, kun ilmanvaihtokone palvelee useita erilaisia tiloja [21, s. 142]. Vakiosäätöä tulisi käyttää silloin, kun tilojen lämpötilan säätö hoidetaan tilakohtaisilla lämmityspattereilla ja ilmanvaihtokone on vain ilmanvaihtoa varten [15, s. 229]. Näistä syistä tuloilman vakiosäätö olisi sopivin valinta asuinrakennuksissa, joissa käytetään keskitettyä tai hajautettua ilmanvaihtoa. Ilmanjakotapana asunnoissa käytetään sekoitettavaa ilmanvaihtoa, joten sen toiminnan ja viihtyvyyden kannalta sisänpuhallusilman lämpötilan tulisi olla joitakin asteita huoneen lämpötilaa alhaisempi. Liian korkea tuloilman lämpötila jättää ilmasuihkun katonrajaan, jolloin ilmasuihku ei laskeudu oleskeluvyöhykkeelle. Lämmityskaudella suositeltava tuloilman sisänpuhalluslämpötila on 15–17 °C. [22.]

Poistoilmasäädössä tuloilman lämpötilaa säädetään siten, että poistoilman lämpötila pyritään pitämään halutussa lämpötilassa. Poistoilmalle annetaan asetusarvo ja tuloilman lämpötilalle ala- ja yläraja-arvot, joiden välillä tuloilman lämpötilan tulee pysyä. Poistoilman lämpötila antaa hyvän keskiarvon huoneiden keskilämpötilalle. Poistoilmasäätö sopii ilmanvaihtojärjestelmään, joka palvelee useita samanlaisia tiloja, joiden lämpötilaan halutaan ilmanvaihdolla vaikuttaa. [21, s. 142.] Asuinrakennusten keskiteytyssä ilmanvaihdossa poistoilmasäätö ei välttämättä ole sopivin tapa, sillä asunnot ovat usein erilaisia ja keskitettyyn ilmanvaihtoon on saatettu liittää yleistiloja, joissa lämpöolosuhteet ovat erilaiset [30].

Esimerkiksi, oletetaan, että lämmityskaudella rakennuksessa olevien asuntojen sisälämpötila on +21 °C ja yleistilojen lämpötila +17 °C. Asuntoja ja yhteistiloja palvelee yksi keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihtokone. Tuloilman ylä- ja alaraja-arvoiksi on asetettu +17 °C ja +20 °C. Tässä tapauksessa tuloilman lämpötila voi olla mitä vain välillä +17 °C...+20 °C säädöstä riippuen, sillä poistoilman lämpötilaa on vaikea etukäteen arvioida tilojen erilaisten lämpöolosuhteiden johdosta. Sisäänpuhalluslämpötilan ollessa hyvin lähellä huonelämpötilaa sekoittava ilmanvaihto ei toimi optimaalisesti [22]. Lisäksi energian käytön tehokkuuden kannalta tilojen lämmitys kannattaa jättää mahdollisimman paljon varsinaiselle lämmitysjärjestelmälle, joka on tarkkasäätöisempi ja hyödyntää ilmaislämmöt ja lämpökuormat ilmanvaihtokonetta paremmin [22].

Huonesäädössä tuloilman lämpötilaa säädetään siten, että huoneen lämpötilaa pyritään pitämään halutussa lämpötilassa sijoittamalla lämpötila-anturi huoneeseen, jonka avulla tuloilman lämpötilaa säädetään. Tuloilman lämpötilalle annetaan ala- ja yläraja-arvot kuten poistoilmasäädössä. Huonesäätö sopii parhaiten yksittäisiin suuriin tiloihin, joten asuntojen tuloilman lämpötilan säädössä sen käyttö ei ole yleensä kannattavaa ellei käytössä ole esimerkiksi ilmalämmitys. [21, s. 143; 27.]

Tuloilman lämpötilan säädössä voidaan käyttää myös ulkolämpötilakompensointia, jolloin tuloilman lämpötilan asetusarvoa siirretään ulkolämpötilan mukaan. Tuloilman lämpötilan asetusarvon nosto lisää viihtyvyyttä ulkoilman lämpötilan ollessa hyvin matala. [21, s. 149.] Ulkolämpötilakompensointi voitaisiin toteuttaa lämmityskaudella esimerkiksi kuvassa 9 esitetyllä tavalla.



Kuva 9. Ulkolämpötilakompensoitu tuloilman lämpötilan säätö.

Kuvan mukaan tuloilman lämpötilaa pidetään lämmityskaudella vakiona, kunnes lämpötila laskee -20 °C :n alapuolelle, jolloin tuloilman lämpötilan asetusarvo kasvaa. Ulkolämpötilan ollessa -25 °C tai alle tuloilman asetusarvo on 3 °C normaalia korkeampi.

7.1.4 Kesäajan viilennys

Kesäajan viilennystä käytetään keskitetyn ilmanvaihdon yhteydessä rakennuksen haitallisen ylikuumenemisen hallintaan. Kesäajan viilennyksessä rakennuksen ilmanvaihto tehostuu viilentäen rakennusta. Kesäajan viilennys on hyvä keino kesäajan lämpötilanhallintaan kun halutaan välttää jäähdytysjärjestelmän käyttöä. Perusedellytys kesäajan viilennykselle on, että tehostustilanteessa poistoilman lämpötila on ulkoilman lämpötilaa korkeampi. Poistoilman lämpötilalle asetetaan raja-arvo, jolloin tehostus käynnistyy, mikäli ulkolämpötila on asetettujen raja-arvojen välillä. [27.]

Tehostus voisi toimia esimerkiksi silloin, kun poistoilman lämpötila on suurempi kuin 24 °C ja ulkolämpötila on välillä 12 °C ... 24 °C . Tulo- ja poistoilman lämpötilantureiden tulisi olla tarkkuudeltaan riittäviä, jotta tehostus ei mene päälle mittavirheestä johtuen, jolloin ulkolämpötila saattaa olla todellisuudessa poistoilman lämpötilaa korkeampi. Tehostustilanteessa ulkolämpötilan olisi hyvä olla esimerkiksi vähintään 1 °C alhaisempi kuin poistoilman lämpötila. Tulisi huomioida myös, että tehostustilanteessa sisäänpuhallusilma ei saisi olla liian kylmää. Liian kylmä ilma saattaa aiheuttaa vedon

tunnetta sekä kondensoitumista kanavistojen ulkopintaan, jos kanavistoja ei ole eristetty. Jos tehostustilanteessa ulkolämpötila on liian alhainen, tulisi se lämmöntalteenotolla lämmittää sopivaksi. Riittävä lämpötila olisi noin +14 °C lämmöntalteenoton jälkeen, sillä ilma lämpenee vielä muun muassa puhaltimella ja kanavistossa ennen sisäänpuhallusta. Tehostustilanteessa lämmityspatterin toiminta tulisi olla lukittu pois päältä. Poistoilman lämpötilalle täytyisi myös asettaa raja-arvo, jolloin tehostus pysähtyy, jotta asuntoja ei viilennetä liikaa. Pysäytysrajaksi voidaan poistoilman lämpötilalle asettaa esimerkiksi 22,5 °C. Tehostuksen tulisi pysähtyä myös, jos ulkolämpötila ei pysy 1 °C poistoilman lämpötilaa alhaisempana esimerkiksi 15 minuutin ajan. [27; 32.]

Keskitetty ilmanvaihto palvelee usein kesäajan lämpöolosuhteiltaan hyvin erilaisia asuntoja ja yleistiloja. Tästä syystä pelkkä poistoilman lämpötilan pysäytysraja ei välttämättä takaa, ettei yksittäisten asuntojen lämpötila laske liikaa. Lämpötilaa kannattaisikin mitata lisäksi yksittäisistä huoneistoista, joiden oletetaan viilenevän muita nopeammin. Näitä voisivat olla esimerkiksi pienet yksiöt, joiden ilmanvaihto on huoneiston kokoon nähden suuri ja auringon säteilyn vaikutus muihin huoneistoihin verrattuna pieni. Mikäli päädytään mittaamaan huoneiston lämpötilaa tehostuksen ohjaamiseksi, tulisi se suorittaa useammasta huoneistosta, sillä yhden huoneiston lämpötilan laskeminen liian alas saattaa johtua myös käyttäjän toiminnasta. Tehostus pysähtyisi esimerkiksi silloin, kun mitattavien huoneistojen keskilämpötila laskee alle 21 °C. Vastaavasti huonelämpötila saattaa olla liian korkea yksittäisissä huoneistoissa, joihin auringon säteilyn vaikutus muihin verrattuna on suuri, vaikka poistoilman lämpötila on vielä tehostuksen käynnistysrajan alapuolella. Tästä syystä tehostus voisi mennä päälle, mikäli yksittäisten huoneiden keskilämpötila nousee esimerkiksi yli 28 °C:n. [27; 32.]

Varsinkin tehostuksen pysäytys huonelämpötilamittausten perusteella on tärkeää, sillä käyttäjä ei itse pysty millään tavalla vaikuttamaan liian alhaiseen huonelämpötilaan, jos se on aiheutettu ilmanvaihdon tehostuksella. Tehostuksen käynnistys ei kuitenkaan ole kannattavaa yksittäisten huonelämpötilojen noustessa liian korkeaksi, sillä käyttäjän toiminta vaikuttaa oleellisesti lämpötilan nousuun. Esimerkiksi sälekaihtimien käytöllä on useiden asteiden merkitys huonelämpötilaan aurinkoisina päivinä. Lisäksi käyttäjällä on mahdollisuus viilentää huoneistoa esimerkiksi tuulettamalla. [27; 32.]

7.1.5 Huonelämpötilan mittaukset

Asuntojen huonelämpötilaa mitataan, jotta sisäilmaston lämpöolosuhteita voidaan seurata. Asuinkerrostaloissa on yleensä paljon samanlaisia huoneistoja, joten lämpötilaa mitataan pääasiassa huoneistoista, joiden oletetaan olevan lämpöolosuhteiltaan erilaisia. Huonelämpötilaa tulisi mitata lämmönjakohuoneelta etäisimmästä ja lähimmästä huoneistoista. Tällä voidaan varmistua, että lämmityskaudella lämmitysverkostosta saadaan riittävästi lämpöä myös etäisimpään asuntoon. Huonelämpötilaa mitataan myös olosuhdesimulointien perusteella kriittisimmästä huoneistosta sekä huoneistosta, jonka oletetaan edustavan lämpöolosuhteiltaan suurinta osaa rakennuksen huoneistosta. Asuntojen huonelämpötilan tavoite-arvo on 21 °C. Huonelämpötilan mittauksille annetaan ala- ja yläraja-arvot, joiden ylittäessä saadaan hälytys. Kesällä ylärajahälytystä ei kuitenkaan käytetä, kun ulkoilman lämpötila nousee yli asetetun arvon. [27; 28; 30.]

7.2 Kerhotilat

Kerhuhuoneiden henkilökuormat vaihtelevat voimakkaasti, joten hiilidioksidipitoisuuden mittaus sopii hyvin kerhotilojen ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen ohjaukseen. Ilmanvaihtoa voidaan ohjata esimerkiksi siten, että ilmavirrat ovat 70 % normaaliilmavirroista hiilidioksidipitoisuuden ollessa alle 750 ppm ja ilmanvaihto tehostuu hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä arvon 750 ppm. Ilmanvaihdon ohjaus hiilidioksidipitoisuuden perusteella edellyttää omaa ilmanvaihtokonetta tai keskitettyyn ilmanvaihtoon yhdistettynä moottoripeltejä. [27.]

Hiilidioksidipitoisuutta voidaan mitata poistoilmakanavasta tai suoraan huonetilasta. Mittaus suoraan huonetilasta antaa kuitenkin tarkempaa tietoa sisäilmasta oleskeluyöhykkeellä kuin kanavaan asennetut anturit. Seinälle asennettava anturi tulisi asentaa 0,3–1,8 m lattiapinnan yläpuolelle. Sijoittelussa tulisi välttää paikkoja, joissa anturiin hengitetään suoraan sekä ikkunoiden, ovien ja tulo- ja poistoilmalaitteiden läheisyyttä. Ilmanvaihtoa voidaan ohjata myös aikaohjelman, läsnäoloanturin ja huonelämpötila-anturin avulla. [23.]

7.3 Autohallit

7.3.1 Hiilimonoksidi

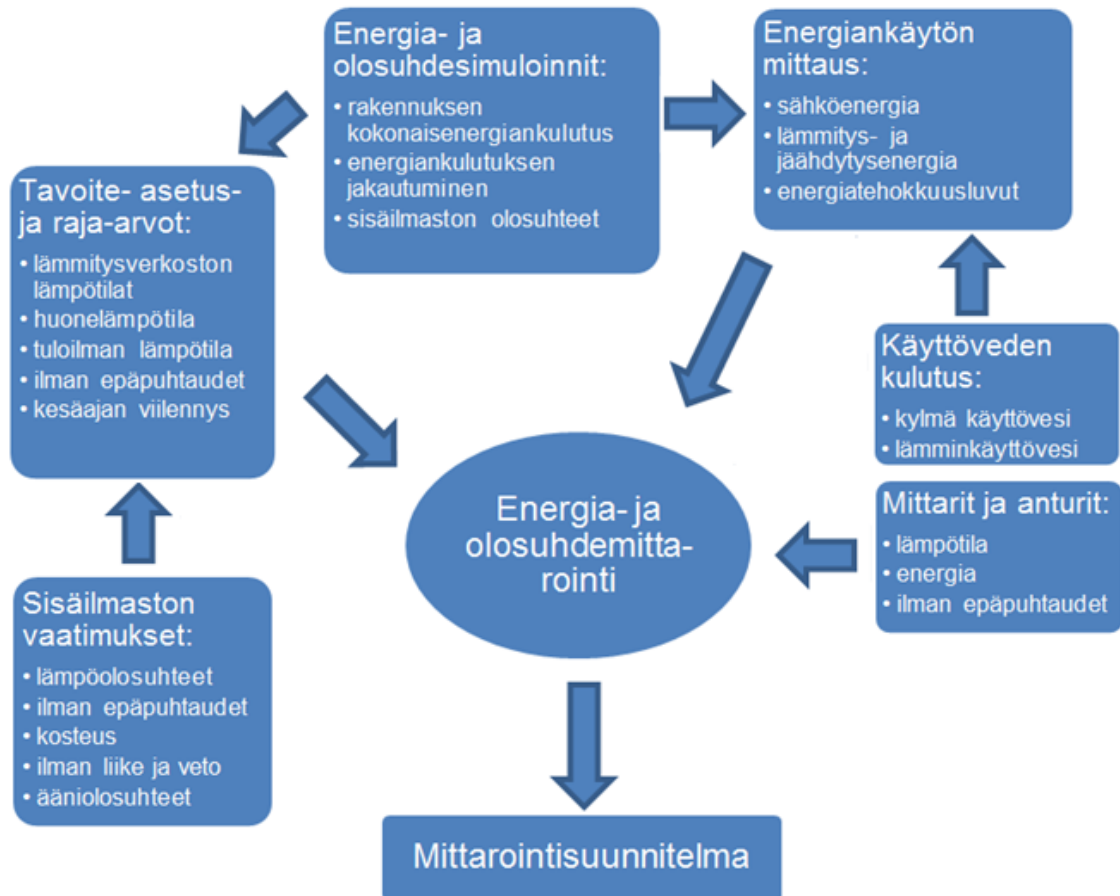
Hiilimonoksidi on terveystarve autohalleissa, kun häikä ei pääse reagoimaan ilmakehän hapen kanssa eikä näin ollen muutu nopeasti hiilidioksidiksi. Vanhat bensiinikäyttöiset henkilöautot aiheuttavat erityisesti hiilimonoksidi päästöjä. Ajoneuvojen hiilimonoksidi-päästöt ovat suurimmillaan käynnistäessä ja koneen ollessa kylmä sekä pienillä ajoneuvoilla. [24] Hiilimonoksidipitoisuuksia onkin mitattava autohalleista, jotta varmistetaan riittävästä ilmanvaihdosta. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaan moottoriajoneuvosuojan ilmanvaihtoa voidaan vähentää normaalin käyttöajan ulkopuolella, kun ilmanvaihtoa ohjataan epäpuhtauspitoisuuden mukaan ja suojaan asennetaan erillinen hälytysjärjestelmä. Hiilimonoksidiantureita täytyy tällöin asentaa vähintään kolme jokaista autohallin tasoa kohden. Anturit sijoitetaan yleensä ajoluiskien ja ajoreittien läheisyyteen. Hiilimonoksidipitoisuuden raja-arvot asetetaan esimerkiksi siten, että ilmanvaihto tehostuu, kun yhden anturin mittaama hiilimonoksidipitoisuus ylittää asetusarvon 50 ppm, ja pitoisuuden ylittäessä 70 ppm aiheutuu hälytys. [4, s. 32.]

7.3.2 Hiilidioksidi

Bensiini- ja dieselmoottorisista ajoneuvoista aiheutuu myös hiilidioksidipäästöjä. Uudet, katalysaattorilla varustetut ajoneuvot kuitenkin tuottavat hiilimonoksidiin verrattuna suhteessa enemmän hiilidioksidia, jolloin hiilimonoksidi ei välttämättä ole enää määräävä tekijä ilmanvaihdon ohjaukseen. Tästä syystä myös hiilidioksidipitoisuuden mittaus autohalleissa olisi perusteltua. [17, s. 118.]

8 Tulokset

Työn tuloksena selvisi energia- ja olosuhdemittaroinnin vaatimukset, jotta rakennuksen energiankulutusta ja sisäilmaston olosuhteita voidaan tarkastella riittävän tarkasti. Tuloksena selvisivät myös sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimmät mittauspisteet tavoite-, asetus- ja raja-arvoineen. Kuvassa 10 on esitetty tärkeimmät energia- ja olosuhdemittarointiin vaikuttavat tekijät sekä niiden keskinäiset vaikutukset.



Kuva 10. Energia- ja olosuhdemittarointiin vaikuttavat tekijät sekä niiden keskinäiset vaikutukset.

Tulosten perusteella riittävän energiankäytön ja kulutuksen selvittämiseksi on mitattava

- rakennuksen kokonaissähkönkulutus
- huoneistokohtainen sähkönkulutus
- ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus
- ilmanvaihtojärjestelmän ottama sähköteho ja ilmavirta
- lämmitys- ja/tai jäähdytysjärjestelmän ostoenergia
- kiinteistössä tuotettu ja tuottoon käytetty energia (esim. maalämpö)
- kylmän ja lämpimän käyttöveden kokonaiskulutukset
- kylmän ja lämpimän käyttöveden huoneistokohtaiset kulutukset.

Taulukossa 10 on esitetty tulokset sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimmistä mittauspisteistä sekä tavoite-, asetus- ja raja-arvoista.

Taulukko 10. Sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimmät mittaukset.

Mittaus	Lisätietoa
Lämmitysjärjestelmän meno- ja paluuveden lämpötila	- asetus- ja raja-arvot säätökäyrän mukaan
Ulkolämpötilan mittaus	- lämmityksen menoveden lämpötilan säätöön - kesäajan viilennyksen ilmanvaihdon tehostuksen ohjaukseen
Tuloilman lämpötila	- asetusarvo vakiosäädöllä +17 °C
Poistoilman lämpötila	- kesäajan viilennyksen ilmanvaihdon tehostuksen ohjaukseen
Asuntojen huonelämpötilat	- mitataan valituista huoneistoista - tavoitearvo 21 °C - lämmitysjärjestelmän toiminnan seuraamiseen - kesäajan viilennyksen ilmanvaihdon tehostuksen ohjaukseen
Hiilidioksidipitoisuus	- kerhotilojen ilmanvaihdon ohjaukseen (tehostusraja 750 ppm) - autohallin ilmanvaihdon ohjaukseen
Hiilimonoksidipitoisuus	- autohallin ilmanvaihdon ohjaukseen (tehostusraja 50 ppm, hälytysraja 70 ppm)

Lisäksi työn tuloksena saatiin kesäajan viilennyksen ilmanvaihdon tehostuksen toimintaan liittyviä asetus- ja raja-arvoja. Kesäajan viilennykselle määriteltiin käyntiehdot siten, että ilmanvaihto tehostuu, kun seuraavat ehdot toteutuvat:

- Poistoilman lämpötila ylittää asetusarvon +24 °C.
- Ulkolämpötila on alarajan asetusarvon +12 °C ja ylärajan asetusarvon +24 °C välillä.
- Ulkolämpötila on 1 °C alhaisempi kuin poistoilman lämpötila.
- Asuntojen lämpötilamittaukset ovat yli alarajan asetusarvon +21 °C.
- Ilmanvaihdon lämmitystoiminto on lukittu pois päältä.

Tehostus pysähtyy, jos joku edellä olevista ehdoista ei täyty poistoilman lämpötilaa lukuun ottamatta. Poistoilman lämpötila voi tehostuksen käynnistymisen jälkeen laskea pysäytyksen alarajan asetusarvoon +22,5 °C asti, minkä jälkeen tehostus pysähtyy. Ulkoilma lämmitetään tarvittaessa lämmöntalteenotolla +14 °C:seen.

9 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, mitä täytyy mittaroida, jotta rakennuksen käyttöönottovaiheessa rakennusautomaatiojärjestelmästä saadaan riittävästi tietoa rakennuksen toiminnan varmistamiseksi. Tavoitteena oli myös määritellä tavoite-, asetus- ja raja-arvoja sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeille mittauspisteille.

Työn tuloksena selvisi energia- ja olosuhdemittaroinnin vaatimukset, jotta rakennuksen energiankulutusta ja sisäilmaston olosuhteita voidaan tarkastella riittävän tarkasti. Mittauksista saatavan tiedon perusteella voidaan rakennuksen todellista energiankulutusta ja sisäilmaston olosuhteita vertailla energia- ja olosuhdesimulointeihin.

Tuloksena selvisivät myös sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimmät mittauspisteet tavoite-, asetus- ja raja-arvoineen. Tulosten perusteella on syytä pohtia, tulisiko asutosuunnittelukohteissa tuloilman lämpötilaa pitää vakiona keskitetyissä ilmanvaihtojärjestelmissä nykyisen poistoilmasäädön sijaan. Tulosten perusteella myös nykyistä kesäajan viilennyksen toimintaa olisi syytä tarkentaa, jotta hyvistä sisäilmaston olosuhteista voidaan varmistua. Viilennyksen ohjaukseen olisi hyvä ottaa myös yksittäisten huoneistojen lämpötilojen mittauksia. Mitattavien huoneiden valinnassa voitaisiin yrittää hyödyntää olosuhdesimulointeja.

Työn pohjalta tullaan tekemään mittarointisuunnitelma. Mittarointisuunnitelmaan kerätään energia- ja olosuhdemittaroinnin kannalta tärkeimmät mittaukset. Lisäksi mittarointisuunnitelmaan kootaan sisäilmaston olosuhteiden kannalta tärkeimpien mittausten tavoite-, asetus- ja raja-arvoja vaikutusalueineen.

Lähteet

- 1 Tietoa Optiplanista. 2015. Verkkodokumentti. Optiplan Oy. <http://www.optiplan.fi/tietoa_optiplanista/fi_FI/tietoa_optiplanista/>. Luettu 9.2.2015.
- 2 Seppänen, Matti & Seppänen, Olli. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. 4. painos. Espoo: Sisäilmayhdistys Oy.
- 3 LVI-ohjetiedosto. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008, LVI 05-10440. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 4 Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 5 Epäpuhtaudet ja niiden torjunta. 2015. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/epapuhtaudet-ja-niiden-torjunta/>>. Luettu 9.2.2015.
- 6 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 7 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 8 Energiatodistusopas. 2013. Rakennuksen energiatodistus ja kokonaisenergiankulutuksen määrittäminen. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 D3 laskentaopas. 2012. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Ikonen, Erkki; Lehto, Ari; Wallin, Pekka & Äijälä, Anu. 1996. Anturitekniikan perusteita. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- 11 Harju, Pentti. 2014. Talotekniikan mittauksia, säätöjä ja automatiikkaa. Kouvola: Penan Tieto-Opus ky.
- 12 LVI-ohjetiedosto. 1999. LVI-laitosten mittaukset, LVI 014-10290. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 13 Sirén, Kai. 1995. Ilmastointitekniikan mittaukset. Helsinki: Tietonova Oy.
- 14 Pihkala, Juhani. 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

- 15 ST-käsikirja 17. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2012. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 16 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. 2011. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE394582A-37E0-4E21-A2C4-F22EFE93C696%7D/31281>>. Luettu 9.2.2015.
- 17 Valtioneuvoston asetus 66/2009 sähköntoimituksen selvityksestä ja mittauksesta. 2009. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö.
<http://energia.fi/sites/default/files/vn_sahkontoimitusten_selvitykset_ja_mittaukset.pdf>. Luettu 9.2.2015.
- 18 Kiinteistön vesi- ja viemärilaitteistot, muutos. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 19 Kiinteistön vesi- ja viemärilaitteistot. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 20 Ulkoanturi TMO. 2015. Verkkodokumentti. Ouman Oy.
<http://ouman.fi/documentbank/TMO__data_brochure__fi.pdf>. Luettu 9.2.2015.
- 21 Tekninen käsikirja - Ilmankäsittelykoneet . 2010. Turku: Fläkt Woods Oy.
- 22 Energiatehokas ilmanvaihto. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<http://www.motiva.fi/files/2711/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf>. Luettu 9.2.2015.
- 23 Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon optimointi alkaa mittausteknologiasta. 2010. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.
<<http://www.vaisala.fi/Vaisala%20Documents/Application%20notes/DCV-Technology-selection-application-note-B210864FI-A-LoRes.pdf>>. Luettu 9.2.2015.
- 24 Liikenteen päästöt. 2015. Verkkodokumentti. Autoalan tilastokeskus.
<http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/liikenteen_paastot>. Luettu 9.2.2015.
- 25 COP COP – tosi on?. 2012. Verkkodokumentti. Sulpu ry.
<http://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1>. Luettu 12.2.2015.
- 26 SFS-EN 14511-1. Lämmitykseen ja jäähdytykseen tarkoitettut, sähkökäyttöisellä kompressorilla toimivat huoneilmastointikoneet, nestejäähdyttimet ja lämpöpumput. 2013. Osa 1: Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto.

- 27 Sipilä, Harri & Nikolski, Evgeny. 2015. Optiplan Oy, Helsinki. Keskustelu 28.1.2015.
- 28 Ouman TMD -kanava-anturi. 2015. Verkkodokumentti. Ouman Oy. <http://ouman.fi/documentbank/TMD__data_brochure__fi.pdf>. Luettu 7.2.2015.
- 29 Vesiverkoston painelähetimet. 2015. Verkkodokumentti. Produal Oy. <<http://www.produal.fi/FI/Tuotteet/Mittal%C3%A4hettimet/Vesiverkoston%20painel%C3%A4hettimet/VPL%2016%20dash-%20VPL%2016-N>>. Luettu 7.2.2015.
- 30 LVIA-suunnitelmat. Optiplan Oy. Luettu 3.2.2015.
- 31 Älykäs energianmittaus. 2015. Verkkodokumentti. Smart Regions. <www.smartregions.net/GetItem.asp?item=digistorefile;361706;1522C>. Luettu 7.2.2015.
- 32 Törnblom, Tomas. 2015. Optiplan Oy, Helsinki. Keskustelu 17.2.2015.

Säätiedot kuukausittain säävyöhykkeillä I ja II

Taulukoissa on esitetty säävyöhykkeiden I ja II säätiedot kuukausittain [7, s. 30].

<i>Taulukko L2.2. Säätiedot kuukausittain säävyöhykkeellä I ja II. Helsinki-Vantaa.</i>			
Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, T_u , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$, kWh/m ²	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-3,97	6,2	650
Helmikuu	-4,50	22,4	602
Maaliskuu	-2,58	64,3	607
Huhtikuu	4,50	119,9	354
Toukokuu	10,76	165,5	117
Kesäkuu	14,23	168,6	9
Heinäkuu	17,30	180,9	0
Elokuu	16,05	126,7	31
Syyskuu	10,53	82,0	161
Lokakuu	6,20	26,2	331
Marraskuu	0,50	8,1	495
Joulukuu	-2,19	4,4	595
Koko vuosi	5,57	975	3952

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, $G_{\text{säteily, pystypinta}}$, kWh/m ²								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	6,2	4,7	3,8	9,5	12,9	9,5	3,8	4,7
Helmikuu	17,3	13,8	15,6	31,0	41,4	30,9	15,6	14,0
Maaliskuu	40,3	38,1	48,5	75,1	89,5	69,4	43,7	36,9
Huhtikuu	43,9	56,3	79,9	101,1	107,3	101,6	80,6	56,8
Toukokuu	57,8	82,1	112,8	123,3	116,0	117,5	104,5	76,3
Kesäkuu	70,6	87,9	109,6	109,9	101,6	110,9	111,2	89,1
Heinäkuu	66,3	91,1	118,8	123,1	115,5	128,6	122,7	91,2
Elokuu	50,0	66,4	91,8	106,0	100,4	92,8	78,8	61,1
Syyskuu	32,9	37,5	56,5	83,9	100,5	87,3	59,3	38,1
Lokakuu	17,9	15,6	17,5	28,3	37,0	30,0	18,8	15,7
Marraskuu	7,2	5,5	5,1	12,3	16,8	12,3	5,1	5,6
Joulukuu	4,2	3,2	2,6	8,4	11,8	8,8	2,9	3,2
Koko vuosi	414,6	502,2	662,5	811,9	850,7	799,6	647,0	492,7

Muunnoskerroin F_{suunta} , jolla vaakatasolle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia muunnetaan pystypinnalle tulevaksi kokonaissäteilyenergiaksi eri ilmansuunnissa								
Kuukausi	P	Ko	I	Ka	E	Lo	L	Lu
Tammikuu	0,995	0,757	0,609	1,531	2,080	1,519	0,605	0,759
Helmikuu	0,774	0,618	0,700	1,387	1,854	1,381	0,700	0,624
Maaliskuu	0,627	0,592	0,754	1,169	1,392	1,079	0,679	0,574
Huhtikuu	0,366	0,470	0,666	0,843	0,895	0,847	0,672	0,474
Toukokuu	0,349	0,496	0,681	0,745	0,701	0,710	0,632	0,461
Kesäkuu	0,419	0,521	0,650	0,652	0,602	0,658	0,659	0,528
Heinäkuu	0,367	0,503	0,657	0,681	0,639	0,711	0,679	0,504
Elokuu	0,395	0,524	0,725	0,837	0,793	0,732	0,622	0,482
Syyskuu	0,401	0,457	0,689	1,023	1,225	1,064	0,723	0,465
Lokakuu	0,683	0,595	0,670	1,081	1,412	1,144	0,718	0,598
Marraskuu	0,888	0,683	0,632	1,519	2,068	1,519	0,633	0,686
Joulukuu	0,920	0,697	0,571	1,850	2,615	1,942	0,637	0,697
Koko vuosi	0,425	0,515	0,679	0,833	0,872	0,820	0,663	0,505