

Mikko Räisänen

# Tasapainoinen talotekniikka ja sisäilmasto

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Rakennusmestari (AMK) -tutkinto  
Rakennusalan työnjohto  
Opinnäytetyö  
6.6.2011

Tekijä(t) Otsikko	Mikko Räisänen Tasapainoinen talotekniikka ja sisäilmasto
Sivumäärä Aika	75 sivua + 2 liitettä 6.6.2011
Tutkinto	rakennusmestari (AMK)
Koulutusohjelma	rakennusalan työnjohto
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikan työnjohto
Ohjaaja(t)	lehtori Jyrki Viranko yrityksen ohjaaja Tapani Nousiainen
<p>Opinnäytetyön aiheeksi valittiin tasapainoinen talotekniikka ja sisäilmasto. Työ tehtiin SRV Rakennus Oy:lle.</p> <p>Opinnäytetyössä esiteltiin erilaisia sisäilmaston laadun mittausmenetelmiä ja vaikutuksia ihmisiin, rakenteisiin ja energiatalouteen sekä tyypillisimpiä taloteknisten järjestelmien säätö- ja tasapainotusmenetelmiä. Opinnäytetyössä tutustuttiin myös sisäilmaston kuntotutkimuksen rakenteeseen ja yleisimpiin säätämiseen liittyviin ongelmakohtiin sekä tehtiin pienimuotoinen katsaus tulevaisuuden taloteknisille säätöjärjestelmille asetettaviin vaatimuksiin.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin, että lukija saisi mahdollisimman selkeän kuvan sisäilmaston laadun mittauksista, merkityksestä ja ohjeistoista sekä tyypillisimmistä taloteknisten järjestelmien mittaus- ja säätömenetelmistä. Tekstissä painotettiin sisäilmaston laadun ja rakennuksen taloteknisten järjestelmien yhteyttä toisiinsa.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimuksessa selvitettiin pääkaupunkiseudulla sijaitsevan SRV:n vuonna 2009 rakennuttaman 63 huoneiston suuruisen asuinkerrostalon sisäilmaston laatua käyttäjäkyselyiden avulla. Käyttäjäkyselyn vastausprosentiksi saatiin 43 %. Vastausprosentin suuruudesta huomattiin, että käyttäjäkysely on hyvä ja helppo keino saada rakennuksen käyttäjien mielipiteet tehokkaasti esille. Käyttäjäkyselystä selvisi myös, että kyseisessä rakennuksessa on suhteellisen hyvä sisäilmasto, mutta joitakin puutteita ja ongelmakohtia kuitenkin löytyy. Nämä puutteet ja ongelmat ovat varmasti tyypillisiä myös muissakin vastaavissa uudisrakennuksissa. Vastausten perusteella saatiin myös sellainen käsitys, että huoneistokohtainen ilmanvaihtokone on todella riskialtis väärinkäytölle, mikäli koneen käyttöä ei täsmällisesti opasteta asukkaille.</p>	
Avainsanat	sisäilmasto, mittaus, säätö, talotekniikka, ilmanvaihto, lämmitys

Author(s) Title Number of Pages Date	Mikko Räisänen Balanced building services engineering and indoor air 75 pages + 2 appendices 6 Juni 2011
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructor(s)	Tapani Nousiainen, Project Manager Jyrki Viranko, Senior Lecturer
<p>The subject of this final year project was balanced building services engineering and indoor air. Various indoor air quality measurement methods, the effects of indoor air quality on people, on building structures, as well as on energy economy were introduced in the project. Furthermore, different adjustment and balancing methods for building services engineering systems were introduced. Also, typical problems with building services engineering adjustment were studied, condition survey of buildings looked into, and a little review of the future demands of building services engineering given.</p> <p>The first purpose of the final year project was to give a reader as clear a picture as possible of indoor air quality measurements, indoor air design values, and the effects of indoor air quality on various matters. Another purpose was to create a guide into measurement and adjustment methods of various building services engineering systems. The connection between indoor air quality and building services engineering systems was highlighted in the text.</p> <p>The final year project was carried out with a user inquiry about the indoor air quality of a building from the year 2009, with 63 apartments. 39, 7 % of the residents filled in the inquiry. The results of the user inquiry showed that the indoor air in the building was relatively good. However, some defects and problems were encountered. The results also showed that ventilation units placed in apartments in an apartment building can be very vulnerable for misuse if the end users are not properly instructed.</p>	
Keywords	HVAC, indoor air, ventilation, measurement, adjustment, heating

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sisäilmasto	2
2.1	Mitä sisäilmastolla tarkoitetaan?	2
2.2	Sisäilmaston laadun merkitys	3
2.2.1	Terveysvaikutukset	3
2.2.2	Vaikutus rakenteisiin	4
2.2.3	Vaikutus ihmisten työtehoon ja kansantalouteen	4
2.2.4	Sisäilmastolle asetettavat vaatimukset	5
2.3	Sisäilmastoluokitus	5
3	Ilmastointi	7
3.1	Mitä ilmanvaihdolla tarkoitetaan?	7
3.2	Ilmanvaihdon tarve	7
3.3	Ohjeavot	8
3.4	Ilmanvaihtojärjestelmät	9
3.4.1	Painovoimainen ilmanvaihto	9
3.4.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	10
3.4.3	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	10
3.4.4	Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät	11
3.5	Ilmanvaihdon tutkiminen	12
4	Sisäilmaston muuttujat	13
4.1	Lämpötila	13
4.1.1	Lämpötilaan liittyviä määritelmiä	14
4.1.2	Ohjeavot	14
4.2	Kosteus	16
4.3	Vetoisuus	18
4.4	Hiilidioksidi	19
4.5	Melu	19
5	Mittaukset	22
5.1	Mittausten suorittamiseen johtavia syitä	22
5.2	Mittausten suorittaminen	23

5.2.1	Mittausten suunnittelu	23
5.2.2	Mittausten edellytykset ja mittauslaitteisto	24
5.2.3	Mittaustulosten käsittely	24
5.2.4	Mittausvirheet	25
5.3	Lämpötilamittaukset	26
5.3.1	Lämpötilamittauksissa huomioitavia asioita	26
5.3.2	Lämpötilamittausten suorittaminen	26
5.4	Kosteusmittaukset	28
5.5	Paine-ero- ja ilmavirtamittaukset	29
5.5.1	Paine-ero- ja ilmavirtamittauksissa huomioitavia asioita	29
5.5.2	Paine-eron ja ilmavirran mittausmenetelmiä	30
5.6	Äänimittaukset	35
5.6.1	Äänimittalaitteet	36
5.6.2	Äänen mittausmenetelmät	36
5.7	Vesivirtamittaukset	38
5.8	Lämpöenergian mittaus	40
6	Sisäilmaston kuntotutkimus	42
6.1	Sisäilmaston kuntotutkimuksen periaate	42
6.2	Sisäilmaston kuntotutkimuksen lähtökohdat ja systematiikka	42
6.3	Sisäilmaston kuntotutkimukseen tarvittavat lähtötiedot	44
7	Taloteknisten järjestelmien säätötyö	46
7.1	Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö	46
7.1.1	Miten ilmanvaihdon toimivuus voidaan todeta?	48
7.1.2	Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus	49
7.1.3	Säätötyötä edeltävät työvaiheet	50
7.1.4	Säätömenetelmät	52
7.1.5	Ajankäyttö	53
7.1.6	Säädön kustannukset ja hyöty	54
7.1.7	Säädön ongelmakohdat ja ilmanvaihtosuunnitelmat	55
7.2	Lämmitysjärjestelmän tasapainotus ja säätö	56
7.2.1	Miten lämmitysjärjestelmän toimivuus voidaan todeta?	56
7.2.2	Perussäädön edellytykset ja säätötyötä edeltävät työvaiheet	57
7.2.3	Säätömenetelmät (perussäätöprosessi)	58
7.2.4	Säätöjärjestelmät	60
7.2.5	Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysverkoston perussäätö	62

7.2.6	Muita säätömenetelmiä	64
7.2.7	Säädön kustannukset ja hyöty	65
7.2.8	Säädön ongelmakohtat	65
7.3	Käyttöveden säätö	66
8	Tulevaisuus	67
8.1	Aatteita tulevaisuuden talotekniikasta	67
8.2	Helppokäyttöisen talotekniikan kehittäminen	67
9	Asukaskysely	71
9.1	Kyselyn tausta ja tarkoitus	71
9.2	Kyselyn tulosten analysointi	71
10	Yhteenveto	74
	Lähteet	76
	Liitteet	
	Liite 1. Asukaskysely asuinkerrostalon sisäilmaston laadusta	
	Liite 2. Asukaskyselyn tulokset	

## 1 Johdanto

Tänä päivänä talotekniset järjestelmät vaikuttavat yhä enemmän erilaisten kiinteistöjen toimivuuteen ja tätä kautta myös merkittävästi näissä kiinteistöissä oleskeleviin ihmisiin. Lisääntynyt ihmisten oleskelu rakennusten sisätiloissa taas kasvattaa sisäilmastolle ja talotekniikalle asetettavia vaatimuksia merkittävästi. Päivä päivältä talotekniikan osuus rakennuksissa tulee monipuolisemmaksi ja monista eri järjestelmistä riippuvaisemmiksi kokonaisuuksiksi. Tämän johdosta taloteknisten järjestelmien säätöön ja sisäilmaston merkitykseen olisi syytä kiinnittää yhä enemmän huomiota.

Nykyaikaiset talotekniset järjestelmät vaativat varsin paljon säätämistä ja huoltohenkilökunnan ohjeistusta, jotta ne toimisivat suunnitellulla tavalla. Vaikka järjestelmä koostuisi alan laadukkaimmista tuotteista, järjestelmän olisivat koonneet ja sen asennusta olisivat valvoneet alansa parhaimmat ammattilaiset eikä sen suunnitelmassakaan olisi mitään huomautettavaa, ei sen täydelliselle toimivuudelle voitaisi kuitenkaan antaa minkäänlaisia takeita ennen kuin tämä järjestelmä olisi asianmukaisesti ja ammattitaidolla säädetty sekä hienoviritetty.

Työssä on tarkoitus tutustuttaa lukija sisäilmaston ja taloteknisten järjestelmien mittaus- ja säätömenetelmiin. Työssä tutkitaan taloteknisten järjestelmien säädön ja sisäilmaston vaikutusta energiankulutukseen, rakenteisiin, ihmisiin ja terveyteen sekä pohditaan ratkaisuja tyypillisimpiin säätämiseen liittyviin ongelmakohtiin ja tehdään pieni-muotoinen katsaus tulevaisuuden säätöjärjestelmiin ja tulevaisuuden asettamiin tavoitteisiin. Työ tehdään SRV Rakennus Oy:n alaisuudessa ja työssä esiintyvä kysely suoritetaan SRV:n rakennuttamassa asuntokohteessa.

## 2 Sisäilmasto

### 2.1 Mitä sisäilmastolla tarkoitetaan?

Sisäilmasto on rakennuksen sisätiloissa hengitettävää sisäilmaa, joka koostuu fysikaalisista ja kemiallisista tekijöistä. Se voi pitää sisällään monia eri lähteistä peräisin olevia hiukkas- tai kaasumaisia epäpuhtauksia. Fysikaaliset tekijät eivät niinkään ole sisäilman epäpuhtauksia vaan vaikuttavat pääasiassa viihtyvyyteen. Näitä fysikaalisia tekijöitä ovat ilman lämpötila ja kosteus, melu, säteily, valaistus, sisäilman epäpuhtaudet ja kaasumaiset yhdisteet sekä ilman liike. Sisäilmaston kemiallisia tekijöitä ovat joko rakennuksesta, ihmisestä tai ihmisen toiminnasta peräisin olevat epäpuhtaudet. Näitä epäpuhtauksia ovat aldehydit, ammoniakki, formaldehydi, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC/TVOC), hiilidioksidi, hiilimonoksidi, homeet, otsoni, PAH-yhdisteet, radon, rikkioksidi, styreeni, typen oksidit ja tupakan savu. Rakennuksen sisäilmastoa ympäröivä ulkoilman laatu myös vaikuttaa suurelta osin sisäilman laatuun ja vaikutus on luonnollisesti sitä suurempi, mitä lähempänä rakennus sijaitsee esimerkiksi teollisuutta tai suuria liikenneväyliä. [1]

Hyvä sisäilmasto on tänä päivänä yksi tärkeimmistä tavoitteista rakentamisessa. Jokaisen urakoitsijan olisikin velvollisuus tiedostaa tämä. Hyvän sisäilmaston avulla voidaan antaa paremmat lähtökohdat rakennuksen energiatehokkuudelle, käyttömukavuudelle, kestävyydelle ja käyttäjien terveydelle pitkällä tähtäimellä. Ympäristöministeriön julkaisema Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 *Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto* antaa sisäilmastolle asetettavia ohjeita ja määräyksiä hyvin täsmällisesti.

Sisäilmaston laatuun vaikuttavat merkittävästi rakennustapa, rakennusmateriaalit, rakennuksen käyttöaste, ihmisten toiminta rakennuksessa, sääolot ja ennen kaikkea talotekniikka. Mikäli näitä taloteknisiä järjestelmiä ei ole säädetty oikein, voi koko rakennuksen sisäilmasto olla ihmisille hyvin huono ja epäsuotuisa. Pahimmassa tapauksessa huonon sisäilmaston laadun johdosta voi aiheutua esimerkiksi koko rakennuksen käyttökieltoon asettaminen tai mittavat rakennekorjaukset.



## 2.2 Sisäilmaston laadun merkitys

Sisäilmasto vaikuttaa rakennuskokonaisuuksissa merkittävästi ihmisiin ja rakennusosiin. Hyvän sisäilman tiedetään lisäävän viihtyisyyttä, vähentävän sairauksia, parantavan työtehoa ja pitävän rakennusosat tarkoituksenmukaisessa kunnossa. Sisäilmastolla on todella suuri merkitys myös kansantalouteen johtuen juuri sisäilmaston laadun vaikutuksesta työtehoon ja rakennetun ympäristön arvoon.

### 2.2.1 Terveysvaikutukset

Terveys on ihmisille, yhteiskunnalle ja kansantaloudelle todella merkittävä asia. Sisäilmaston laadun vaikutus kansanterveyteen onkin todella suuri. Huonolla sisäilmastolla voidaan helposti vaikuttaa negatiivisesti ihmisen koko loppuelämän hyvinvointiin tai pilata ihmisen terveys jopa pysyvästi. Lyhyt altistuminen huonolle sisäilmalle ei vaikuta merkittävästi ihmisen terveyteen, vaan haitat tulevat paljon pidemmällä aikavälillä. Tosin allergisten ihmisten ei tarvitse viettää paljoakaan aikaa huonossa sisäilmassa saadakseen oireita. Sisäilman vaikutus on aina hyvin ihmiskohtainen. [1]

Huonosta sisäilmastosta kärsiviä ja oireilevia ihmisiä on todella paljon. Nykyään tämän ongelman korjaamiseen on alettu kiinnittää enemmän huomiota ja vanhojen talojen sisäilmastoon vaikuttavia haittatekijöitä on pyritty korjaamaan esimerkiksi jälkepäin asennetuilla koneellisilla ilmanvaihtoilla. Tyypillisimpiä terveysvaikutuksia ovat toistuvat poskiontelon- ja keuhkoputkentulehdukset, sisäilman homeiden aiheuttamat allergiasairaudet, radonin aiheuttama keuhkosityöpä, erilaiset silmäoireet, tukkoisuus ja väsymys, allergiaoireet, nenän, kurkun tai nielun ärsytysoireet, nenän kuivuus, nuha, päänsärky ja pahoinvointi, astma, hengitystieinfektiot, homepölykeuhko ja muut keuhkosairaudet sekä erilaiset limakalvo- ja iho-oireet. [1]

Sisäilmastolla on myös todella suuri merkitys viihtyisyyteen ja tätä kautta esimerkiksi psykologisiin tekijöihin. Merkittävimmät haitat, jotka ihmiset yleensä havaitsevat, ovat melu-, haju-, lämpö-, veto- ja valaistushaitat. Pääsääntöisesti suurin osa huonosta sisäilmastosta peräisin olevista terveysvaikutuksista ei ole varsinaisia sairauksia vaan ihmisten kokemia haittoja. Näillä haitoilla on kuitenkin hyvin suuri merkitys ihmisten käyttäytymiselle.

### 2.2.2 Vaikutus rakenteisiin

Huonolla sisäilmastolla voidaan pilata uusienkin rakennusten pintamateriaalit, heikentää rakenneosia (puumateriaalit) tai aiheuttaa jopa vakavia homeongelmia. Sisäilman suhteellisella kosteudella ja lämpötilalla on todella suuri merkitys juuri homeongelmien syntyyn, sillä sisäilmassa ja rakennuksessa olevien materiaalien pinnoilla on tyypillisesti aina riittävä määrä ravinteita mikrobien synnylle. Hometta alkaa kehittyä heti, mikäli vain ilmankosteus ja lämpötila ovat suotuiset sen kasvuille. Homeen syntyyn tarvitaan tyypillisesti kosteuden tiivistyminen rakenteiden pinnalle tai pääsy rakenteisiin. Ilman kosteuden nousu materiaalin pinnalla yli 80 %:iin takaa jo minkä tahansa materiaalin homehtumisen. [14]

### 2.2.3 Vaikutus ihmisten työtehoon ja kansantalouteen

Nykyisin työtä tehdään pääsääntöisesti sisätiloissa ja sisäilmaongelmat tunnustetaan merkittäväksi vaikuttajaksi kansantalouteen. Ihminen oleskelee vuorokaudessa sisätiloissa keskimäärin yli 20 tuntia ja hengittää samalla noin 18 000 litraa ilmaa, joten ei ole ihme, että rakennuksen sisäilmastolla on todella suuri merkitys kansanterveyteen ja tätä kautta myös kansantalouteen. Suomessa aiheutuu yhtä (1) asukasta kohden huonon sisäilmaston johdosta vuodessa noin 600 euron kustannukset, eli yhteensä voidaan puhua noin 3 miljardin euron suuruisista kustannuksista yhdeltä vuodelta. [1; 2, s. 10.]

Huonosta sisäilmastosta pääsääntöisesti johtuva oireilu on tyypillisesti hallitsematonta, lievää ja ajoittain toistuvaa. Tämä oireilu vaikuttaa heikentävästi työntekijöiden elämänlaatuun. Oireilusta aiheutuu paljon poissaoloa töistä, terveyspalvelujen käyttöä ja lääkekulujen kasvua sekä työtehon heikentymistä. Työpaikan sisäilmaston parantamiseksi tehdyt investoinnit tulevat aina maksamaan itsensä takaisin tietyn ajan kuluessa, riippuen luonnollisesti lähtötilanteesta. Välittömiä vaikutuksia työyhteisössä on luultavammin näkyvissä saman tien; työntekijät viihtyvät paremmin, eivät oireile yhtä paljon kuin ennen ja täten työskentelevät tehokkaammin. Työnantajalle tämä tarkoittaa työn parempaa tuottavuutta ja pienempiä sairaskuluja. Tämä automaattisesti johtaa lisääntyneeseen liiketoimintaan. Kiinteistön omistajat taasen ovat tyytyväisiä kiinteistön parempaan tuottoon, kiinteistön arvon säilymiseen ja kiinteistössä piilevien riskien (esi-

merkiksi homeongelmat) vähenemiseen. Tämä taas vaikuttaa myönteisesti tavalla yhteiskuntaan ja kansanterveyden kohenemiseen.

#### 2.2.4 Sisäilmastolle asetettavat vaatimukset

Sisäilmastolle asetettavista vaatimuksista voidaan lähteä liikkeelle siitä, että sisäilman ei tulisi olla terveydelle ja ympäröivälle materiaalille haitallista missään olosuhteissa. Nämä vaatimukset eivät tänä päivänä täyty suurimmassa osassa rakennuskantaa täysipainoisesti vaan parannettavaa löytyy aina. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on esitetty sisäilmastolle asetettavat vaatimukset selkeästi yhdessä virkkeessä:

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava kokonaisuutena siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. [4, s. 5.]

Samassa teoksessa on annettu ohjearvoja sisäilmastolle asetettavista lämpötiloista, ilmakesteydestä, ilmanlaadusta sekä ääni- ja valaistusolosuhteista.

Lähes jokaisessa rakennuksessa on aina jokin tietty ominaisuus, mikä ei miellytä jokaista rakennuksen käyttäjää. Tämä johtuu täysin siitä, että ihmiset ovat erilaisia ja ihmisiä täytyy tarkastella eri lähtökohdista. Tästä johtuen sisäilmastolle asetettaviin vaatimuksiin ei voida lukea sitä, että jokaista rakennuksen käyttäjää miellytettäisiin täysin.

#### 2.3 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokituksen ovat tehneet yhteistyössä sisäilmayhdistys sekä eräät rakennusalan järjestöt. Se on tarkoitettu käytettäväksi suunniteltaessa tavoitearvoja rakennuksen sisäilmastolle niin uudis- kuin korjausrakentamisessakin. Sisäilmastoluokitus antaa ohjeistusta siitä, minkälainen sisäilmasto asetetaan tavoitteeksi suunniteltaessa ja rakennettaessa terveellistä ja viihtyisää rakennusta. Sisäilmastoluokitus antaa myös tavoitearvoja rakennusteollisuudelle. [3]

Ensimmäinen versio sisäilmastoluokituksesta ilmestyi vuonna 1995 nimellä *Sisäilmaston, rakennustöiden ja pintamateriaalien luokitus*. *Sisäilmastoluokitus 2000* korvasi tä-

män vuonna 2001 ja uusin versio luokitukselta on tällä hetkellä käytössä oleva *Sisäilmastoluokitus 2008*, joka ilmestyi joulukuussa 2008.

Sisäilmastoluokituksessa sisäilma on luokiteltu kolmeen eri laatuluokkaan S1, S2 ja S3. Tässä kolmitasoisessa luokituksessa S1 on paras ja S3 huonoin. Sisäilmastoluokitus 2008:ssa S2 on määritelty hyvän sisäilmaston perustasoksi. [3]

Sisäilmastoluokitus 2008 [3] määrittelee seuraavat sisäilmastotavoitteet:

- S1: Yksilöllinen sisäilmasto

”Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllälämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.”

- S2: Hyvä sisäilmasto

”Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllälämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.”

- S3: Tyydyttävä sisäilmasto

”Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset.”

Sisäilmastoluokitus 2008 määrittelee taulukon 1 mukaiset tavoitearvot sisäilman laadulle.

Taulukko 1. Sisäilmastoluokitus 2008, ilman laadun tavoitearvot [3, s. 6].

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1 200
Radonpitoisuus [Bq/m <sup>3</sup> ]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	
• asunnot	90 %	80 %	

### 3 Ilmastointi

#### 3.1 Mitä ilmanvaihdolla tarkoitetaan?

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla [4].

Ilmanvaihdon periaate syntyy ilmanpaine-eroista (ilmaa virtaa suuremmasta paineesta pienempään). Tämän tapahtuman avulla on tarkoitus poistaa rakennuksesta ulos sisäilman epäpuhtauksia, kosteutta ja liiallista lämpöä eri menetelmin.

#### 3.2 Ilmanvaihdon tarve

Lähtökohtana ilmanvaihdon tarpeelle voidaan pitää ihmisen aineenvaihdunnan tuottamaa hiilidioksidia ( $\text{CO}_2$ ) (ks. luku 4.4 hiilidioksidi) sekä muita epäpuhtauksia. Sisäilman epäpuhtauksien määrää lisäävät myös muut rakennuksen epäpuhtauslähteet (esimerkiksi rakennusmateriaalit). Yleensä ilmanvaihto mitoitetaan 8–10  $\text{dm}^3/\text{s}$  henkilöä kohden.

Mikäli huoneen hiilidioksidipitoisuuden tavoitearvo olisi terveydensuojalain asettama ylätaso; 1 500 ppm, kävisi huoneen ilmamäärän mitoituksena noin 4  $\text{dm}^3/\text{s}$  yhtä (1) henkilöä kohden, mutta rakennuksen muut epäpuhtauslähteet kasvattavat tätä ilmamäärän tarvetta henkilöä kohden vielä n. 4–6  $\text{dm}^3/\text{s}$ . [5, s. 7.]

Yleisesti voidaan pitää nyrkkisääntönä sitä, että rakennuksen ilmanvaihdon täytyy olla jatkuvasti käynnissä, sillä rakennuksesta itsestään syntyy epäpuhtauksia taukoamatta. Mikäli rakennuksen ilmanvaihto on poissa käytöstä, epäpuhtauspitoisuudet voivat nousta hyvinkin korkeiksi ja varastoitua eri pintamateriaaleihin. Kun ilmanvaihto laitetaan uudestaan käyntiin, leviävät nämä epäpuhtaudet rakennuksen sisäilmaan ilmanvaihdon aiheuttamien ilmavirtojen mukana ja tällöin sisäilman epäpuhtauspitoisuudet voivat nousta todella korkealle tasolle. Tyypillinen tilanne on joissakin toimistoissa, missä ilmanvaihto suljetaan yön ajaksi energian säästön vuoksi. Kun ilmanvaihto pannaan taas aamulla käyntiin, joudutaan se kytkemään käyntiin vähintään 2–3 tuntia ennen kuin

työntekijät saapuvat töihin. Tällä tavoin pyritään estämään työntekijöitä hengittämästä ilmanvaihdon sisäilmaan nostattamia epäpuhtauksia.

Ilmanvaihtojärjestelmät, joita pidetään jatkuvasti päällä, mitoitetaan epäpuhtauskuormien mukaan. Toimistorakennuksissa tämä tarkoittaa sitä, että rakennuksen ilmanvaihto mitoitetaan rakennusperäisten epäpuhtauksien mukaan ja päivisin tätä ilmanvaihtoa tehostetaan ihmisperäisten epäpuhtauksien poistamiseksi. Asuinrakennuksissa luonnollisesti ilmanvaihto on suunniteltava niin, että se on jatkuvasti käynnissä, koska näissä rakennuksissa oleskelee ihmisiä yötä päivää.

Rakennuksissa voi olla, ja yleensä onkin tiettyjä alueita, mihin tarvitaan erillinen kohdepoisto. Näillä alueilla on normaalisti kiinteitä epäpuhtauslähteitä. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi keittiön liesi (kohdepoistona liesituuletin), märkätilat ja toimistoiden lämpöä tuottavat laitteet (esimerkiksi kopiokone). [7]

Rakennuksen ilmanvaihdon suunnitteluohjeet ja -määräykset on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2.

### 3.3 Ohjearvot

Ilmanvaihdon määrä määräytyy rakennuksessa alkuperäisten suunnitelmien mukaan tai muutoksissa esitetyillä tavoilla. Mikäli rakennuksesta ei ole olemassa suunnitelmia, voidaan ilmanvaihdon toimivuuden arvioinnissa käyttää rakennusaikaisia rakentamismääräysten ohjearvoja. [5, s. 7.]

Rakennuksen ilmanvaihtoa voidaan pitää silloin riittävänä, kun kaikissa asuinhuoneissa ilmanvaihtuvuus on vähintään 0,5 m<sup>3</sup>/h (ilmanvaihtokerroin 0,5 dm<sup>3</sup>/s) ja ilma vaihtuu kaikissa huoneissa, vaikka ne eivät olisi käytössäkään. Erityisesti ilman tulee vaihtua makuu- ja oleskeluhuoneissa sekä pesutiloissa silloin kun ne ovat käytössä tai ovat märkiä. Muiden tilojen ilmanvaihtosuositukset selviävät Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta D2.

Silloin kun asunnossa tehdään ruokaa, pestään pyykkiä, tupakoidaan, siivotaan tai tiiloissa oleskelee paljon ihmisiä, on asunnon ilmanvaihdon tehostaminen hetkellisesti tarpeen. Myös uudisrakennuksien, peruskorjausten ja huoneistoissa tehtävien remonttien kohdalla, kun asunnoissa on uudet huonekalut tai rakennus- ja sisustusmateriaalit, on ilmanvaihdon toimivuudesta huolehdittava erityisen huolellisesti materiaaleista lähtevien epäpuhtauksien vähentämiseksi. [5, s. 8.]

Ilmavirrat eivät myöskään saa olla niin suuria, että niistä aiheutuisi minkäänlaisia haittoja rakennuksessa oleskelijoille. Ilmanvaihdon vaikutuksesta ei saa syntyä vetoa, tulla häiritsevää melua eikä sisäilman lämpötila ja kosteus saa laskea selvästi. [5, s. 8.]

### 3.4 Ilmanvaihtojärjestelmät

Ilman minkäänlaista ilmanvaihtoa rakennus olisi kuin "huppu" eikä se hengittäisi. Rakennus ei saisi mistään korvausilmaa, eikä rakennuksen sisällä oleva ilma pääsisi vaihtumaan millään tavoin raikkaaseen raitisilmaan. Tällöin rakennukseen syntyisi sopimaton sisäilmasto ihmisen oleskelulle, lähes hengenvaarallinen. Tällainen tilanne ei oikeastaan ole ollut milloinkaan mahdollinen. Rakennusmateriaalit hengittävät jo itsestään, eivätkä rakennukset ole milloinkaan täysin tiiviitä. Tästä johtuva pieni vuotoilmanvaihto ei kuitenkaan millään yksin riittäisi toimivaan rakennuksen ilmanvaihtoon, vaan ilmanvaihtoa joudutaan aina jollain tietyllä menetelmällä "voimistamaan".

#### 3.4.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Ilmanvaihtomenetelmiä on Suomessa käytössä muutamia erilaisia. Yleisin käytössä oleva menetelmä on painovoimainen ilmanvaihto. Tämä oli 1960-luvulle asti Suomen ainoa ilmanvaihtotapa, mutta nykyään painovoimaista ilmanvaihtoa ei juuri enää suositeta sen epätasaisuuden johdosta. Sen avulla jokaiseen huonetilaan ei saada riittävää ilmanvaihtoa, ja sen toimivuus on täysin riippuvainen sääoloista, sillä se perustuu lämpötilan ja tuulen aiheuttamiin paine-eroihin sisä- ja ulkoilman välillä. Raitisilma virtaa painovoimaisessa ilmanvaihdossa rakennuksen sisätiloihin esimerkiksi ikkunaraoista, vaipan vuotokohdista tai ulkoseinissä olevista raitisilmaventtiileistä ja poistoilma johdetaan joissakin tapauksissa erillisiä hormeja pitkin ulos. Joissakin rakennuksissa paino-

voimaisen ilmanvaihtojärjestelmän apuna voi olla lisäksi erillinen liesituuletin. [6, s. 4-5]

### 3.4.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellinen poistoilmanvaihto tuli tunnetuksi Suomessa 1960-luvulla ja on todella yleinen kerrostaloasunnoissa. Tällaisessa järjestelmässä poistoilmanvaihto on tyypillisesti järjestetty yhteiskanavajärjestelmällä ja katolla olevalla huippuimurilla, joka imee huoneista ilmaa kanaviston haarojen päässä olevien poistoilmaventtiilien kautta. Korvausilman saanti on toteutettu korvausilmaventtiileillä, raitisilmapattereilla tai ikkunaraoilla. Omakoti- ja rivitaloissa poistoilman teho on yleensä säädettävissä liesituulettimesta. [6, s. 4–5.]

### 3.4.3 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Nykyisin yleisin uudisrakennuksissa oleva ilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Tämä järjestelmä on yleistynyt 1980-luvulta lähtien, ja nykypäivänä se asennetaan lähes jokaiseen uudisrakennukseen sen säädettävyyden, käyttöystävällisyyden ja tehokkuuden johdosta. Tässä järjestelmässä tuloilma lämmitetään tuloilmakoneessa suodattimen jälkeen olevan lämmitys- ja LTO-patterin avulla ennen kuin se johdetaan sisälle rakennukseen ilmanvaihtokanavia pitkin. Ilmanvaihtokoneen lämmön talteenottokone ottaa rakennuksen poistoilmasta lämmön talteen ja siirtää sen tuloilmaan. Tämän prosessin avulla ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä on lämmitettävä vähintään 45 %. Tällä tavoin järjestelmään saadaan energiatehokkuutta ja ekologisuutta. [6, s. 4–5.]

Kerrostaloissa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan toteuttaa joko keskitettyinä tai huoneistokohtaisena ilmanvaihtona. Keskitetyssä järjestelmässä on tyypillisesti ilmanvaihtokonehuoneessa tulo- ja poistoilmakone, jotka hoitavat koko rakennuksen ilmanvaihdon. Huoneistokohtaisessa ilmanvaihdossa ilmanvaihtokone on sijoitettu jokaiseen rakennuksen huoneistoon erikseen. Tällä tavoin jokaiseen huoneistoon saadaan järjestettyä oma, muista huoneistoista kokonaan eristetty järjestelmä. [6, s. 4–5; 4, s. 23.]



### 3.4.4 Muuttuvilmavirtaiset ilmastointijärjestelmät

Muuttuvilmavirtaisia ilmastointijärjestelmiä on muutamia erilaisia, ja niitä esitellään taulukossa 2.

Taulukko 2. Muuttuvilmavirtaiset ilmanvaihtojärjestelmät [26, s. 1–3].

	<b>Toiminta</b>	<b>Edut</b>	<b>Haitat</b>
<b>Ilmavirran käsisäätö ja huonetilassa oleva henkilötunnistin</b>	Huoneen ilmavirtaa ohjataan käsisäätimellä ja huonetilan ollessa tyhjänä ohjaa henkilötunnistin huoneen ilmavirran vähimmäisilmavirralle.	Tarpeeton ilmanvaihto estetään.	Huoneen ilmavirtaa on osattava säätää käsin eikä henkilötunnistin tunnista huonetilassa olevien ihmisten määrää.
<b>Ilmavirran ja tuloilman lämpötilan käsisäätö</b>	Huoneeseen tulevan ilmavirran lämpötilaa säädetään analogisäätimellä, mikä vaikuttaa jälkilämmityspatterin säätöventtiiliin. Ilmavirtaa säädetään portaattomasti käsikytkimellä. Säätimessä on läsnä/poissaolo-ohjaus.	Vetohaitat voidaan torjua tehokkaasti ja täten huonetilan viihtyisyys paranee.	Energiankulutus saattaa olla suurempi kuin automaattisesti säätävissä järjestelmissä.
<b>Ilmavirran säätö huoneen lämpötilan perusteella</b>	Huonelämpötila määrää huoneeseen tulevan ilmavirran. Käsikytkimessä on valittavissa tuuletusmahdollisuus ja analogiseen säätimeen on liitettävissä läsnä/poissaolo-ohjaus ajastimelta tai valvontajärjestelmältä.	Käyttäjistä johtuvat virhetoiminnot vältettävissä automatiikan johdosta ja energiataloudellinen.	Tunne ilmanvaihdon henkilökohtaisesta säädettävyydestä puuttuu. Huono valinta liikerakennukseen, jossa valaistus tuo suuren lämpökuorman ja ihmisten lukumäärä vaihtelee paljon.
<b>Ilmavirran säätö huoneen lämpötilan perusteella ja henkilötunnistin. Tuuletusmahdollisuus.</b>	Katso ylempi sarake. Henkilötunnistin ohjaa ilmanvaihdon vähimmäisilmavirralla huoneen ollessa tyhjänä.	Tarpeeton ilmanvaihto estetään.	Henkilötunnistin ei tunnista tiloissa oleskelevien ihmisten määrää vaan ilmavirta säädetään pelkästään huonetilan lämpötilan mukaan.
<b>Ilmavirran ja jälkilämmityksen säätö huoneen lämpötilan perusteella. Tuuletusmahdollisuus.</b>	Huoneeseen tulevan ilmavirran määrä ja lämpötila säädetään huonelämpötilan perusteella analogisäätimellä, johon voidaan liittää läsnä/poissaolo-ohjaus.	Käyttäjistä johtuvat virhetoiminnot vältettävissä automatiikan johdosta ja energiataloudellinen.	Tunne ilmanvaihdon henkilökohtaisesta säädettävyydestä puuttuu.

### 3.5 Ilmanvaihdon tutkiminen

Mikäli huoneistossa epäillään olevan ilmanvaihdosta johtuvia sisäilmaongelmia, on tällaisen tilan ilmanvaihtuvuus syytä tutkia. Tyypillisesti ilmanvaihdon tutkiminen suoritetaan vaiheittain; ennen kuin tarkempia ilmavirta- painesuhde- tai kulkeumamittauksia tehdään, havainnollistetaan ilmanvaihtojärjestelmä ja sisäilma yleensä aistinvaraisesti. [5, s. 8.]

## 4 Sisäilmaston muuttajat

### 4.1 Lämpötila

Ihmisen aistima sisäilman lämpötila on monimuotoinen suure, jonka laadun havaitsemiseen vaikuttaa moni eri tekijä. Huoneilman lämpötila, lämpösäteily, ilman virtausnopeus ja kosteus sekä ihmisen vaatetus ja toiminta vaikuttavat välittömästi henkilön kokemaan lämpöaistimukseen. Ihmisten omat mieltymykset ovat myös yksilöllisiä ja siten samassa tilassa olevat samalla tavalla pukeutuneet ihmiset voivat aistia saman lämpötilan hyvinkin erilaisena. [5, s. 4]

Lyhytaikainen sisäilman lämpötilan muutos ei vielä merkittävästi vaikuta oleskelijoiden terveyteen ja rakenteiden kestävyys, mutta pidemmällä aikavälillä lämpötilan eroavuus rakennuksen suunnitellusta ohjearvosta voi aiheuttaa suuriakin ongelmia rakennuksessa. Lämpötilan pitkäaikaisesta vaihtelusta voi aiheutua esimerkiksi laajojakin kosteusvaurioita, mikäli kosteus pääsee tiivistymään rakenteiden pinnoille. Tästä taas syntyy erilaisia homevaurioita, ja näistä vaurioista voi aiheutua vakaviakin terveyshaittoja rakennuksen käyttäjille. Tyypillisesti lämpötilan heitto havaitaan viihtyisyyden alentumisena; erilaisina vedon ja vilun tunteina. [1]

Ihmiset aistivat asuinhuoneistoissa parhaiten lattiapintojen ja huoneilman lämpötilan. Lattiapintojen viileys voi olla etenkin lapsille, mutta myös aikuisille haitallista. Haitan määrä riippuu yleensä altistuksen kestosta, kylmistä lattian suuntaisista ilmavirtauksista, lattiamateriaalin lämmönjohtavuudesta sekä ihmisen vaatuksesta. Seinä- ja kattopintojen alhaiset lämpötilat eivät normaalisti aiheuta terveyshaittaa, mutta mikäli lämpötilaerot ovat suuria laajoilla seinä- ja kattopinnoilla, ne voivat aiheuttaa lämpösäteilyn epäsymmetrisyyttä, ja tämä taas vaikuttaa viihtyisyyteen sekä pitkällä aikavälillä mahdollisesti terveyteenkin.

Ohjearvoja korkeammat sisäilman lämpötilat eivät ole suotuisia niin rakennukselle, rakennuksen käyttäjille kuin rakennuksen energiatehokkuudellekaan. Tyypillisesti liian lämmin sisäilma aiheuttaa keskittymiskyvyn alenemista, väsymystä, kuivuuden tunnetta, hengitystieoireilua sekä ennen kaikkea suuria energiakuluja. Sisäilman korkean

lämpötilan tiedetään myös kiihdyttävän kaasumaisten epäpuhtauksien vapautumista lähteistään. [5, s. 4.]

#### 4.1.1 Lämpötilaan liittyviä määritelmiä

Lämpötilasta puhuttaessa ja rakennuksen lämpötilaa koskevissa tutkimuksissa käytetään yleisesti määritelmiä; huoneilman lämpötila, operatiivinen lämpötila ja oleskeluvyöhyke. Kun puhutaan huoneilman lämpötilasta, tarkoitetaan sisäilman lämpötilaa mitattuna 1,1 metrin korkeudelta mistä tahansa oleskeluvyöhykkeeltä.

Oleskeluvyöhykkeellä taasen tarkoitetaan huoneen osaa, jonka

alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. [5, s. 4]

Mikäli ilmanvaihdon järjestely rakennuksessa perustuu muihin kuin huonetilan mittoihin, voidaan oleskeluvyöhyke määritellä työpaikkojen ja laitteiden sijoittelun mukaan, esim. teollisuustiloissa.

Operatiivisesta lämpötilasta puhuttaessa tarkoitetaan sitä, että otetaan huomioon huoneen lämpötila ja ihmistä ympäröivien pintojen säteilylämpö. Näistä mitatuista lämpötiloista lasketaan keskiarvo. Tämä lämpötilojen keskiarvo kuvastaa hyvin sitä lämpötilaa, minkä ihminen aistii oleskellessaan kyseisessä tilassa kyseisellä paikalla ilman vaatetusta sekä olettaen, että tilassa ei ole suuria ilmavirtoja. Operatiivinen lämpötila voi heittää paljonkin huoneilman lämpötilasta, mikäli kyseisessä tilassa on esimerkiksi suuria ikkunoita tai lämmittämättömän lattian alla kylmiä ilmatiloja. [5, s. 4]

#### 4.1.2 Ohjearvot

Rakennuksien sisäilman lämpötiloille on annettu erilaisia ohjearvoja. Näiden ohjearvojen sisällä pysyessä on rakennuksen sisäilma sille suunnitellussa lämpötilassa, eikä sen johdosta aiheudu terveys- tai rakennehaittoja kuin myöskään ylimääräisiä energiakuluja. Taulukon 3 ohjearvojen lähtökohtana on pidetty mittauksia, jotka on tehty ulkoilman ollessa  $-5\text{ °C}$  ja sisälämpötilan  $21\text{ °C}$ . [5, s. 4.]

Taulukko 3. Lämpötilojen, lämpötilaindeksin ja ilman virtausnopeuden ohjeellisia arvoja [5, s. 5].

Asunto ja muu oleskelutila	välttävä taso	TI	hyvä taso	TI
Huoneilman lämpötila (°C) <sup>1)</sup>	18 <sup>1) 2)</sup>		21	
Operatiivinen lämpötila (°C)	18 <sup>2)</sup>		20	
Seinän lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	16 <sup>6)</sup>	81	18 <sup>6)</sup>	87
Lattian lämpötila (°C) <sup>3)</sup>	18 <sup>2) 6)</sup>	87	20 <sup>6)</sup>	97
Pistemäinen pintalämpötila (°C)	11 <sup>4) 6)</sup>	61	12 <sup>6)</sup>	65
Ilman virtausnopeus <sup>5)</sup>	vetokäyrä 3		Vetokäyrä 2	

- 1) Huoneilman lämpötila ei saa kohota yli 26 °C, ellei lämpötilan kohoaminen johdu ulkoilman lämpimyydestä. Lämmityskaudella huoneilman lämpötilan ei tulisi ylittää 23–24 °C.
- 2) Palvelutiloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa huoneilman lämpötilan ja operatiivisen lämpötilan välttävä taso on 20 °C sekä lattian pintalämpötilan välttävä taso 19 °C.
- 3) Keskiarvo standardin SFS 5511 mukaan määriteltynä, kun ulkoilman lämpötila on – 5 °C ja sisäilman lämpötila + 21 °C. Jos mittausolosuhteet poikkeavat vertailuolosuhteista, käytetään lämpötilaindeksiä.
- 4) Lämpötilaindeksiä 61 % vastaava pistemäinen pintalämpötila. Lämpötilaindeksi on laskettu lämpötilaindeksin laskentakaavan mukaan vastaamaan 9 °C pintalämpötilaa (huoneilman lämpötilaa 21 °C ja suhteellista kosteutta 45 % vastaava kastepistelämpötila) kun ulkoilman lämpötila on – 10 °C ja sisäilman lämpötila 21 °C. Ikkunan, seinännurkkien ja putkien läpiviennin alin hyväksyttävä pistemäinen pintalämpötila.
- 5) Ilman virtausnopeuden enimmäisarvo, joka määräytyy standardin SFS 5511 kuvan 7 vetokäyrästä.
- 6) Jos huoneilman lämpötila on < 21 °C pintalämpötiloja mitattaessa, seinän ja lattian sekä pistemäisen pintalämpötilan arvioina käytetään mitaustuloksista laskettua lämpötilaindeksiä, jota verrataan taulukon 1 arvoihin.

Sisäilmastoluokitus 2008 on myös julkaissut sisäilmaston lämpötilaa koskevat tekniset suositukset (ks. taulukko 4), jotka ovat käytössä pääasiassa silloin, kun määritellään tavoitetasoa sisäilmastolle ja suunnitellaan rakennushanketta [3, s. 5].

Taulukko 4. Sisäilmastoluokitus 2008, lämpötilan tavoitearvot [3, s. 5].

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila $t_{op}$ [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	±0,5	±1,0	±1,0
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjistä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

\* 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 esitetyjä tavoitearvoja.

## 4.2 Kosteus

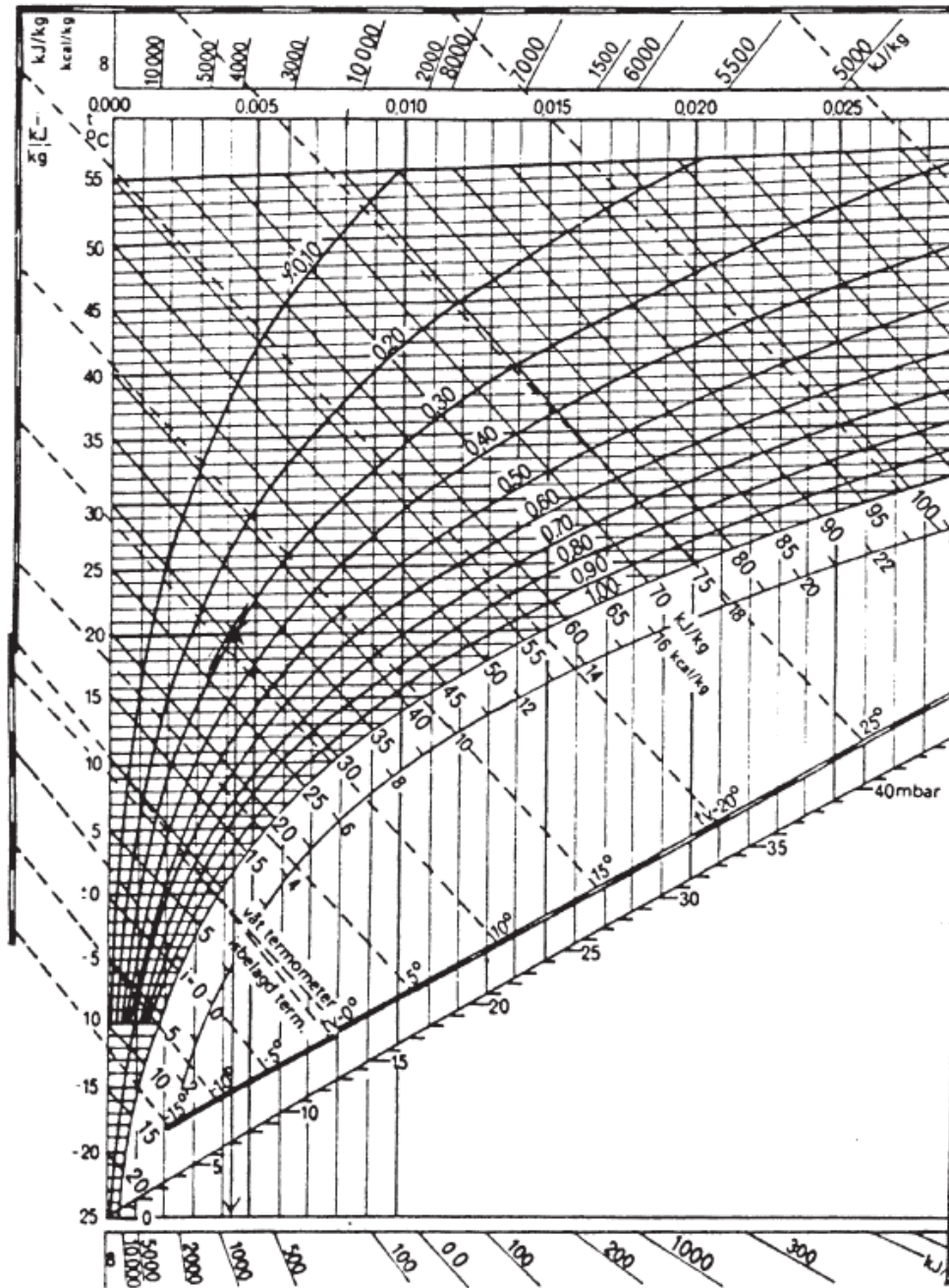
Mikäli sisäilman kosteus poikkeaa suunnitelluista arvoista, vaikuttaa se moniin eri tekijöihin. Normaalisti sisäilman kosteus ilmaistaan suhteellisena kosteutena, mikä ilmoittaa

kuinka monta prosenttia ilmassa on vesihöyryä siitä määrästä, joka tietyssä lämpötilassa voi olla ilmassa tiivistymättä [8].

Normaalin sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 20–60 %. Tämä ei aina kaikissa tilanteissa ole mahdollista. Suurin vaikuttaja sisäilman kosteuteen on ilmastolliset tekijät. Talvella sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvoksi on luokiteltu 25–45 % ja kesäaikana 30–60 %. Toiseksi merkittävin vaikuttaja sisäilman kosteuteen on rakennuksessa oleskelevat ihmiset. Ihmiset kostuttavat sisäilmaa hengittämällä ja haihduttamalla nestettä ihon kautta, joten sisäilman suhteellinen kosteus voi muuttua nopeastikin tiloissa olevien ihmisten määrän muuttuessa. Myös rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä vaikuttaa sisäilman kosteuteen, ja niissä rakennuksissa, joissa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, on yleensä todettu olevan kuivempi sisäilma. [5, s. 6.]

Kun sisäilman kosteus poikkeaa normaaleista arvoista, voi tämä aiheuttaa erilaisia reaktioita ihmisissä (hikoilu, hengitysvaikeudet, ihon ja silmän sidekalvon kuivuminen) ja rakenteissa (mikrobien kasvu) sekä edistää pölypunkkien esiintymistä. Liian vähäinen sisäilman kosteus vaikeuttaa muun muassa liman poistumista hengitysteistä ja hidastaa hengitysteiden värekarvojen liikettä sekä lisää staattisen sähkön muodostumista. [5, s. 6.]

Sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvot on esitetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 sekä korteissa LVI RakMK-00032 ja KH RakMK-10082. Mollier-diagrammin (kuva 1) perusteella voidaan arvioida absoluuttisen kosteuden arvo, kun tiedetään ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.



Kuva 1. Mollier-Diagrammi. Lämpötilan ollessa 20 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 30 % on absoluuttisen kosteuden arvo 4,2 g/kg [15, s. 5].

Sisäilmaa voidaan myös kostuttaa koneellisesti, mutta sitä tulisi aina välttää. Mikäli sisäilmaa kuitenkin kostutetaan, tulisi sisäilman suhteellista kosteutta tarkkailla luotettavalla kosteusmittarilla kostutuksen aikana. Toinen asia, josta tulisi huolehtia sisäilman kostutuksessa, on kostuttimen hygienia. Kostuttimen hygienian huolehtimatta jättämisestä voi kostutuskoneesta päästä hengitysilmaan hyvinkin vaarallisia mikrobeja. [5, s. 6.]

### 4.3 Vetoisuus

Ihminen aistii vedon tunteen silloin, kun lämpöä siirtyy pois iholta. Lämpösäteily, vähäinen vaatetus ja ilman nopeus vaikuttavat vedon tunteeseen ja ”vedon tunne” määreenä on aina yksilöllistä. Herkimmät ihmiskehon osat vedon tunteelle ovat niska, nilkat ja pää. Ihminen aistii vedon tunteen herkemmin lämpötilan laskiessa alle 20 °C:n. Vedon tunnetta aiheuttavat ilmanvaihdon lisäksi suurikokoiset ikkunat tai epätiivis ja puutteellisen eristyksen omaava rakennuksen vaippa.

Veto itsessään ei aiheuta sairauksia, vaan se pääasiassa voimistaa alhaisissa lämpötiloissa kylmän aistimista ja korkeissa lämpötiloissa viilentää ihoa parantaen lämmön-sietoa. Tavoitearvot vedolle ovat tästä syystä pienemmät kylmässä ja korkeammat lämpimämmässä sisäilmassa. Vedon tunnetta voi vähentää joko nostamalla sisäilman lämpötilaa tai poistamalla vedon lähde. Ulkoseinässä olevan korvausilmaventtiilin tuottamaa vetoa ei saa poistettua kokonaan, mutta venttiilin kautta tulevan ilmavirtauksen aiheuttamaa vedon tunnetta voidaan pienentää suuntaamalla virtausta ylöspäin tai avaamalla mahdollisesti muiden huoneiden venttiilejä niin kauan kun jokaiseen huoneeseen tulee tasaisesti jokaisesta venttiilistä ilmaa. Ulkoseinässä olevan korvausilmaventtiilin tuoma vedon tunne onkin yleisin vetoisuuden aiheuttaja. [8] Kuva 2 esittelee Sisäilmastoluokitus 2008:n asettamia liikenopeuden tavoitearvoja.

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

Lämpötilalla  $t_{\text{ilma}}$  tarkoitetaan liikkuvan ilman lämpötilaa tarkastelu-pisteessä. Ilman nopeudella tarkoitetaan kolmen minuutin keskiarvoa työpisteessä. Se mitataan suuntariippumattomalla anemomet-rillä standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti. Tulosten käsittelyssä mittaustulos ja asetettu tavoitearvo esitetään kahden desimaalin tarkkuudella siten, että viimeinen merkitsevä nu-mero on 0 tai 5.

Kuva 2. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset ilman liikenopeuden tavoitearvot [3, s. 6].



#### 4.4 Hiilidioksidi

Sisätilojen pääasiassa suurin hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) lähde on sisätiloissa oleskelevien ihmisten aineenvaihdunta, mutta suurin osa sisäilman hiilidioksidista (CO<sub>2</sub>) on kuitenkin pääosin peräisin ulkoilmasta, jossa hiilidioksidin pitoisuus on noin 350 ppm.

Parhaiten ihmisten vaikutuksen sisäilman hiilidioksidin määrään huomaa esimerkiksi koulun pienessä luokkahuoneessa, jossa oppitunnin aikana on suuri määrä oppilaita ja liian pieni ilmanvaihto poistamassa oppilaista syntyvää hiilidioksidia. Tietyssä vaiheessa luokkahuoneen hiilidioksidimäärä nousee yli terveydensuojelain edellyttämän tason ((2700 mg/m<sup>3</sup> (1500 ppm)) ja oppilaita alkaa väsyttää, joitakin alkaa särkeä päätä ja joidenkin työskentelyteho huononee. Tämä jo yksinään on merkki riittämättömästä ilmanvaihdosta. Tyydyttävänä sisäilman hiilidioksidipitoisuutena voidaan pitää 2160 mg/m<sup>3</sup> (1200 ppm) ja mikäli pitoisuus nousee sen yli, voidaan huoneen sisäilma jo aistia tunkkaisena. [5, s. 18–19; 9.]

#### 4.5 Melu

Rakennuksessa on monia eri äänilähteitä, jotka voivat olla rakennuksessa oleskelijoille pahoja häiriötekijöitä, pahimmassa tapauksessa kuulovaurion aiheuttajia. Tyypillisimmissä rakennuksissa äänilähteinä ovat rakennuksen ulkopuolelta tulevat, taloteknisten järjestelmien aiheuttamat tai rakennuksen käyttäjistä itsestään peräisin olevat äänet. Nämä kaikki äänilähteet yhdessä tai jopa yksinään voivat aiheuttaa melua ja olla rakennuksessa todellinen häiriötekijä sen käyttäjille. Melu voi aiheuttaa kuulon heikentymistä. Siihen tarvitaan yli 80 dB(A):n meluallistuminen. [8]

Melulla on monia terveydellisiä vaikutuksia kuulon heikentymisen lisäksi. Melutason ylittäessä 35 dB(A) yleistyvät unen häiriöt. Tyypilliset oireet liittyvät unen rakentamiseen. Näistä oireista aiheutuu taasen omia ongelmia: väsyneisyttä, mielialan laskua, erilaisia psykososiaalisia oireita sekä vireystilan ja suorituskyvyn heikentymistä. Melun voidaan sanoa olevan biologinen stressitekijä, joka vaikuttaa esimerkiksi verenpaineeseen ja sydämen sykkeeseen ja sen on todettu aiheuttavan myös muun muassa kouluvaikeuksia ja sepelvaltimotautia. Suomen rakentamismääräyskokoelman osat C1 ja D2 antavat ohjeita rakennuksien äänitasoista. [8]

Melun havaitseminen on yksilöllistä ja sen kokeminen häiritsevänä riippuu täysin ihmisestä itsestään. Matalataajuisen melun on todettu olevan vähemmän häiritsevää kuin korkeataajuisen, ja impulssimelun tasaista melua psyykkisesti kuormittavampaa. [8]

Pienikin taustamelu esimerkiksi työpaikalla voi pidemmän päälle haitata hyvin paljon eri ihmisiä. Toiset ihmiset kokevat vähäisenkin taustamelun häiritsevänä ja tämä taas huonontaa heidän keskittymiskykyä ja siten myös työsuoritusta. Myös puheen ymmärrettävyys voi heikentyä taustamelun kasvaessa. Tällöin joudutaan käyttämään enemmän ääntä puhumiseen, mikä taas johtaa äänihuulien rasittumiseen. Taulukko 5 esittelee Sisäilmastoluokitus 2008:n asettamia LVIS-laitteiden äänitasojen tavoitearvoja. [8]

Taulukko 5. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaiset LVIS-laitteiden äänitasojen enimmäisarvot [3, s. 7].

	<b>Merkintä</b>	<b>Yksikkö</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>Asuinhuone</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso asuinhuoneissa	LA,eq	dB	≤24	≤28	≤28
LVIS-laitteiden äänitaso keittiössä	LA,eq	dB	≤33	≤33	≤33
<b>1–2 hengen toimistohuone</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso	LA,eq	dB	≤35	≤35	≤40
<b>Neuvotteluhuone</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso	LA,eq	dB	≤35	≤35	≤35
<b>Avotilatoimisto</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso 4)	LA,eq	dB	40-42	40...42	40...42
<b>Opetustila</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso	LA,eq	dB	≤33	≤33	≤33
<b>Terveystieteiden vastaanottohuone, tutkimushuone, hoituhuone</b>					
LVIS-laitteiden äänitaso	LA,eq	dB	≤33	≤33	≤33

1) Luokassa S1 mittalukuna sovelletaan pelkän  $L'_{n,w}$  sijaan mittalukua  $L'_{n,w} + C_i$ , 50-2500

2) Jälkikaiunta-aika määritetään kalustetussa huoneessa oktaavikaistojen 250...4000 Hz keskiarvona.

3) Puheen leviämismuunnosaste DL2 ja häiritsevyyssäde rD korvaavat jälkikaiunta-ajan käytön avotilatoimistoissa. DL2 kertoo tilan ja kalusteiden vaimennustehokkuudesta siten, miten monta dB puheääni vaimenee etäisyyden kaksinkertaistuessa. rD kertoo, minkä etäisyyden jälkeen puheensiirtoindeksi STI arvo laskee alle arvon 0,50.

Ohjearvot on esitetty ohjeessa RIL 243-3-2008 ja siirtyvät standardiin SFS5907, kun sitä päivitetään.

4) Avotilatoimistoissa taustaäänitasoa ei tule mitoittaa alhaiseksi, jotta puheäänit eivät erottuisi pitkien matkojen päähän. Tämän vuoksi keskiäänitaso mitoitetaan vähintään tasolle 40 dB. Se ei kuitenkaan saa ylittää arvoa 42 dB.

Taustaääni voidaan myös luoda keinotekoisesti ns. peiteäänijärjestelmällä.

## 5 Mittaukset

### 5.1 Mittausten suorittamiseen johtavia syitä

Mittauksia suoritetaan selvittäessä sisäilmaston laatua tai taloteknisten järjestelmien säätötyössä. Perusparannuskohteissa ennen taloteknisten järjestelmien säätötoita on suoritettava tarvittavia mittauksia, jotta tiedetään, mihin suuntaan säädettävää järjestelmää tulisi säätää. Uudisrakennuskohteissa tarkastusmittauksia suoritetaan vasta sen jälkeen kun järjestelmän osat on säädetty suunniteltuihin arvoihin. Hienosäädön aikana suoritetaan lisäksi tarvittavia lisämittauksia. Erilaisia mittaustapoja ja -laitteita sekä rakennuksessa mitattavia kohteita on valtava määrä. Tyypillisimpiä mittauksia ovat sisäilman lämpötilojen mittaukset, äänitasomittaukset, hiilidioksidipitoisuusmittaukset, suhteellisen kosteuden mittaukset, pintalämpötilojen mittaukset sekä putkistojen ja kanavien vesivirran ja ilmavirran mittaukset. Jokaisen mittauksen suorittamiselle on oma toimintamallinsa.

Syynä mittausten suorittamiselle ovat yleisesti joko sisäilman laadusta kärsivien sisätiloissa oleskelevien ihmisten valitukset, erilaiset taloteknisten järjestelmien ongelmakohdat, rakennuksen kasvanut energiankulutus, rakennusten ja laitosten vastaanotto- ja takuutarkastukset, käyttö ja kunnossapitohuollot sekä kuntotutkimukset. Tyypillisiä sisäilmaston ongelmia, joiden kartoittamisen vuoksi tehdään sisäilmaston laadun mittauksia, ovat vetoisuus, ohjearvoista poikkeavat lämpötilat, kylmät lattiat, sisäilman kuivuus tai kosteus (kosteuden tiivistyminen pinnoille), tunkkaisuus, epämiellyttävät hajut, melu, rakennuksen kasvanut energiankulutus ja huonon sisäilmaston ihmisille aiheuttamat oireet. Nämä ongelmat voivat johtaa laajaankin rakennuksen sisäilmaston kuntotutkimukseen (ks. luku 6, Sisäilmaston kuntotutkimus). [15, s. 1.]

## 5.2 Mittausten suorittaminen

Mittausten suorittaminen vaatii yksittäisten tutkimusten tekemisen lisäksi kokonaisuuk-  
sien hahmottamista, ongelmien ymmärrystä ja vankkaa kokemusta. Tarvittava mittaus-  
ympäristö ja kalibroitu mittauslaitteisto ovat aivan ehdottomat edellytykset kokeneen  
mittaajan lisäksi mittausten tuloksien totuudenmukaisuudelle. [15, s. 2.]

Mittauksia suoritetaan kertaluontoisesti sekä ohjaukseen että käytönvalvontaan liittyen  
jatkuvin mittauksina. Jatkuvat mittaukset ovat yleisiä muun muassa lämmitys- ja il-  
mastointijärjestelmien automatiikan säätö- ja ohjaustoimenpiteissä. Näissä mittauksissa  
tyypillisimpiä mitattavia suureita ovat lämpötilat ja paineet. Vastaanottotarkastuksissa  
(mitoitussuureiden normivaatimusten, viranomaismääräysten sekä suunnitelmissa ase-  
tettujen tavoitetasojen täyttymisen tarkastus), kuntotutkimuksissa sekä erilaisissa huol-  
to- ja korjaustöissä suoritetaan taasen niin sanottuja kertaluonteisia mittauksia. [15]

### 5.2.1 Mittausten suunnittelu

Ennen varsinaisia mittaustoimenpiteitä on aina suunniteltava tarkasti mittausten kulku  
ja ajoitettava mittaukset niin, että laitos on riittävän pölytön ja valmis mittauksille sekä  
ovet ja ikkunat ovat kiinni jne., jotta mittaustulokset kuvaisivat mahdollisimman hyvin  
laitoksen normaalia käyttötilannetta. Mittaustulosten kirjaamisen suunnittelu on aivan  
ehdotonta, jotta nämä mittaustulokset olisivat helposti luettavissa mittausten päätyt-  
tyä. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä laajempi mittaus on, sitä paremmin ja tarkem-  
min sen suunnittelu on aina hoidettava. [15]

LVI-kortissa *LVI-laitosten mittaukset* on esitetty tarkasti suunnittelun jakaminen nel-  
jään eri osa-alueeseen:

- 1) tavoitteiden asettelu pääpiirteissään:  
määritellään, miksi mitataan ja mitä halutaan  
tietää ja millä tarkkuudella
- 2) esiselvitys: selvitetään mittauksia käsittelevät  
standardit ja selvitetään, onko  
muualla aikaisemmin tehty vastaavia  
mittauksia ja hankitaan tietoa niistä
- 3) hankesuunnittelu: selvitetään karkealla  
tasolla aikataulu, ajankäyttö ja resurssitarpeet  
mm. laitteiden ja työvoiman

osalta, arvioidaan mittaustyön kustannukset. Päätetään, mitataanko itse vai käytetäänkö ulkopuolisia palveluita. Jos käytetään, tehdään tarjouspyyntö ja otetaan tarjoukset.

4) detaljisuunnittelu: valitaan mitattavat suureet, mittaustapa ja antureiden sijainti, asetetaan vaatimukset mittausten luotettavuudelle, määritetään mittausajankohta ja mittausten kesto, suunnitellaan kirjaaminen, tiedonsiirto ja tulosten käsittely. [15, s. 2.]

### 5.2.2 Mittausten edellytykset ja mittauslaitteisto

Käyttötarkoitukseen soveltuva ja kalibroitu mittari on mittausten onnistumisen kannalta mittausohjeiden mukaan tehtyjen mittausten ohella erityisen tärkeä komponentti. Mittaria valittaessa on otettava huomioon sen mitta-alue, erottelukyky, vasteaika, kenttäkelpoisuus, tiedonsiirto-ominaisuudet, automatisointimahdollisuus ja se, että pystyykö mittarilla suorittamaan esimerkiksi rekisteröivää mittausta. Mittareille on olemassa varsin tarkat laitetiedot mittarien valmistajilta. [15, s. 2.]

Tarpeettomilta uusintamittauksilta vältytään yleisesti, kun varmistetaan ennen mittauksia, että kaikki mittausedellytykset ovat voimassa. Esimerkiksi lämmitykseen liittyvissä mittauksissa on otettava huomioon, että ulkona on tarpeeksi alhainen lämpötila ja ilmanvaihtoon liittyvissä mittauksissa se, että ilmanvaihtolaitteisto on päällä normaaliasetuksilla. [15, s. 2.]

### 5.2.3 Mittaustulosten käsittely

Mittaustulosten analysoinnilla pyritään pääasiassa virheellisten mittaustulosten karsintaan. Tyypillisesti analysointivaihe on hyvä tehdä mittausten suorittamisen ohella, jotta tiedetään, ovatko tulokset paikkaansa pitäviä. Näin myöhemmät mittaukset ja toimenpiteet pystytään paremmin suunnittelemaan.

Analysointivaiheessa tietyille tilastollisille menetelmille on vakiintuneet menettelytavat ja niiden noudattaminen onkin suotavaa, mutta osa arvioinnista joudutaan aina tekemään kokemukseräisen tiedon pohjalta. Sen takia mittausten analysoinnin onnistumi-

selle onkin ehdotonta, että mittaaja tuntee tutkittavien ilmiöiden perusteet ja osaa nähdä tutkinnoissa kokonaiskuvan. [15, s. 2.]

#### 5.2.4 Mittausvirheet

Mittauksissa on monta muuttujaa, ja näiden muuttujien aiheuttamista virheistä muodostuu mittauksen kokonaisvirhe. Tämä virhe koostuu mittarin ja mittaustavan virheistä sekä lukemavirheestä. Mittauksien kokonaisvirheet muodostavat niin sanottuja kokonaisvirherajoja eli mittaustarkkuuksia tietyille mitattaville suureille. LVI-kortti *LVI-laitosten mittaukset* esittää kokonaisvirheen laskentakaavan 1 mukaisesti ja mittausten kokonaisvirherajat seuraavasti [15, s. 2.]:

- Ilman lämpötila  $\pm 0,7$  °C
- Operatiivinen lämpötila  $\pm 1$  °C
- Pintalämpötila  $\pm 1$  °C
- Ilman kosteus  $\pm 0,05$  m/s, kun nopeus  $\leq 0,5$  m/s

(1)

---

jossa

m1 on mittalaitteen virhe (%)

m2 on mittaustavan virhe eli menetelmävirhe (%)

m3 on lukemavirhe (%)

Mittaustulokset voidaan jakaa kahteen eri virheryhmään: systemaattisiin ja satunnaisvirheisiin. Systemaattinen virhe tarkoittaa sitä, että samaa arvoa mitataan muuttumattomissa olosuhteissa ja lasketaan mittaussuureen tosiarvon ja keskiarvon erotus. Systemaattisen virheen aiheuttaa tyypillisesti mittalaite, käytetty menetelmä tai mittaaja. Satunnaisvirhe tarkoittaa mittaustuloksen ja sellaisen keskiarvon erotusta, joka saataisiin mittaamalla sama mittaussuure äärettömän monta kertaa toistuvuuden mahdollisissa olosuhteissa. [15, s. 2.]

## 5.3 Lämpötilamittaukset

### 5.3.1 Lämpötilamittauksissa huomioitavia asioita

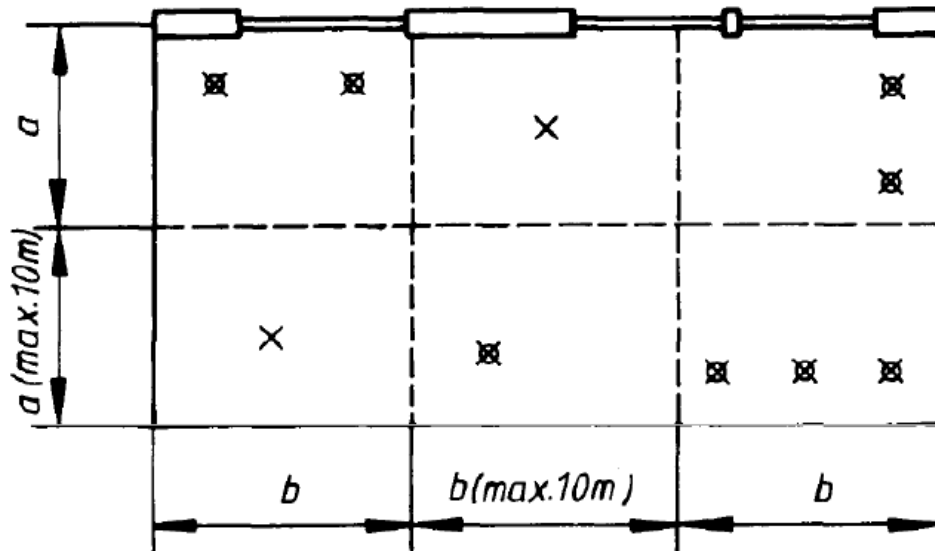
Lämpötilojen mittauksissa keskeisimmässä roolissa ovat pintojen, nesteiden, ilman ja operatiivisen lämpötilan mittaukset. Lämpötilojen mittaukset tulisi suorittaa mieluiten kylminä vuodenaikoina ulkolämpötilan ollessa alle  $-5\text{ °C}$ , mutta mittauksia ei kuitenkaan tule tehdä silloin, kun ulkoilma on poikkeuksellisen kylmää (esimerkiksi Etelä-Suomessa alle  $-26\text{ °C}$ ). Mittauksia aloittaessa on aina varmistettava esimerkiksi, että sisälämpötila on ollut riittävän tasainen pidemmän aikaa ja pintalämpötiloja mitattaessa on otettu huomioon mahdolliset ulkolämpötilan vaihtelut. Ikkunoiden on syytä olla suljettuna mitattavissa tiloissa 4–6 tuntia ennen mittauksia ja mittauksien aikana. Mikäli tiloissa oleskelee mittausten aikana ihmisiä, on henkilöiden lukumäärä kirjattava mittausraporttiin. [5, s. 5; 15, s. 4.]

### 5.3.2 Lämpötilamittausten suorittaminen

Kun halutaan käsitys koko rakennuksen toimivuudesta ja suunnitelmanmukaisuudesta, tehdään rakennuksen lämpötilamittaukset tyypillisesti pistokokein eri huoneistoista tai huonetiloista. Ennen lämpötilamittauksia patteritermostaatit on syytä irrottaa pattereista, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman totuudenmukainen. Rivi- ja kerrostalojen lämpöolojen kokonaiskuvaa tutkittaessa on näiden rakennusten päätyhuoneistot ja ylimmät kerrokset aina mitattava. Sisäilman lämpötilamittauksissa suuret huonetilat jaetaan osiin ja lämpöolosuhteet pääasiallisesta työ- ja oleskelupisteestä mitataan 1,1 metrin korkeudelta lattiasta. Mikäli mittaajalla ei ole tiedossa tarkkaa työ- tai oleskelupistettä, mitataan sisäilman lämpötila huoneen keskeltä. Sisäilman lämpötilan mittauksen lisäksi on huoneesta mitattava myös lämpötilan kerrostuminen (lämpötilan mittaus samalta pystyviivalta 0,1, 1,1 ja 1,7 metrin korkeudelta lattiasta). Huonelämpötilan mittaukset suoritetaan standardin *SFS 5511 Lämpöolojen kenttämittaukset* kohdan 4 mukaisesti, operatiivisen lämpötilan mittaukset kohdan 5 mukaan ja pintalämpötilan mittaukset kohdan 6 mukaisesti. Myös lämpökameralla voidaan suorittaa pintalämpötilojen mittauksia. Tällöin mittauksissa tulee noudattaa standardin *SFS 5132* vaatimuksia. [16, s. 6; 16, s. 10; 5, s. 5.]



Monikäyttörakennuksissa mittauskohteet valitaan kaikista eri tilatyypeistä. Näiden mittauskohteiden valintaan vaikuttavat niin huonetilojen koko, muoto kuin luonnekin. Myös rakennuksen säätövyöhykkeet ja kerrokset vaikuttavat mittauskohteisiin siten, että jokaisesta kerroksesta ja säätövyöhykkeestä on valittava aina vähintään yksi mittauskohde. Kuva 3 havainnollistaa mittauspisteiden valintaa. [16, s. 7.]



- o työpiste (kiinteä)
- x mittauspiste (valittavissa oleva)

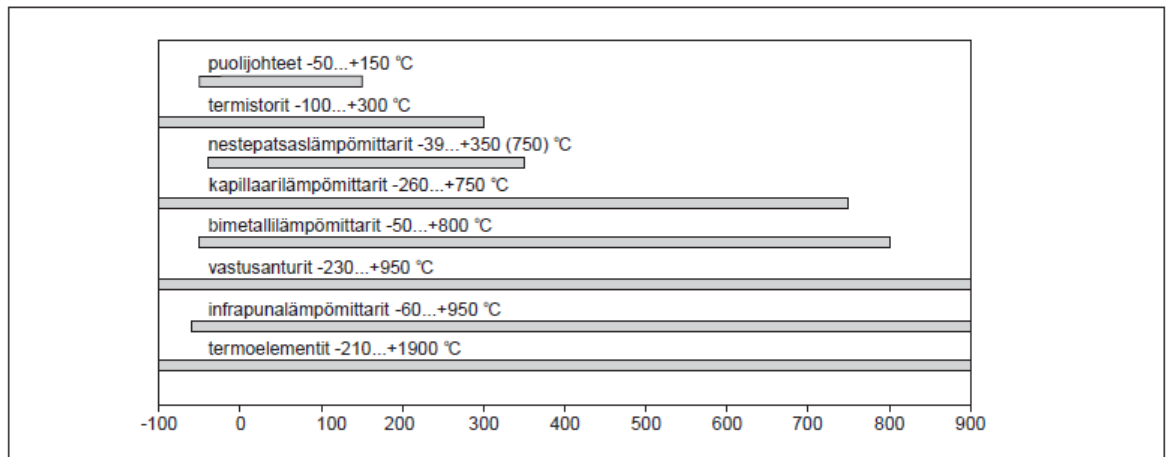
Kuva 3. Sisäilman lämpötilan mittauspiste-esimerkkejä [16, s. 8].

Asuntojen lämpötilat mitataan tyypillisesti kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mitataan huoneen lämpötila, ja jos huoneen lämpötila on vähintään 20 °C, ei mittauksia tarvitse tyypillisesti jatkaa. Lämpötilan ollessa alle 18 °C on mittauksia jatkettava toiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa huoneen lämpötilan ollessa 18...20 °C mitataan operatiivinen lämpötila. Operatiivisen lämpötilan ollessa alle 18 °C tai yli 3 °C huoneen lämpötilaa viileämpi, on huoneen seinän ja lattian pintalämpötilat mitattava. Toisen vaiheen mittauksia voidaan suorittaa myös silloin, kun huoneen muoto ja sijainti ovat erikoisia tai huoneessa on suuria kylmiä pintoja. Myös silloin kun käyttäjien valitukset huoneen lämpötilasta jatkuvat ensimmäisen vaiheen onnistuneiden mittausten jälkeen, on kohteessa syytä suorittaa toisen vaiheen mittaukset. Taulukko 6 esittelee erilaisia lämpötilan mittausmenetelmiä ja näiden mittausmenetelmien lämpötila-alueita. [5, s. 5.]

Taulukko 6. Lämpötilan mittausten menetelmiä ja näiden lämpötila-alueita [15, s. 4].

Menetelmä	Alue °C	Tarkkuus (parhailla)	Aikavaste *)	+	-	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Vastusanturi	-230...+950	± 0,01 °C	Vaihtelee	Tarkka, standardoitu, stabiili, lähes lineaarinen	Loiva ominaiskäyrä	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Neste/lasiputki	-70...+350 (-750)	± 0,02 °C	Hidas	Tarkka, melko stabiili, halpa	Ei viestiä, helposti rikkoutuva	Löytyy mittari lähes joka lähtöön	Sopii kalibrointi-referenssiksi
Termoelementti	-260...+1900	± 0,1 °C	Nopeahko	Tarkka, standardoitu, stabiili, lähes lineaarinen	Loiva ominaiskäyrä	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Termistori	-100...+350	± 0,1 °C	Nopeahko	Jyrkkä ominaiskäyrä, halpa	Epälineaarinen, saattaa ajautua	Laboratoriot, yleismittarit, säätö- ja valvonta	Antureita useimpiin tarkoituksiin
Puolijohdeanturi	-50...150	± 0,5 °C	Nopeahko	Halpa, halpa elektroniikka	Usein epätarkka	Säätö ja valvonta, yleismittarit	Antureita useim-tarkoituksiin
Bimetalli	-50...+800	± 1 °C	Hidas	Halpa, omavoimainen. Helpolla viesti/kytkentä	Saattaa ajautua suht. epätarkka	Säätö ja valvonta, omavoimaiset piirturit	Käytetty paljon termostaateissa
Kapillaarianturi	-260...+750	± 1 °C	Hidas	Halpa, omavoimainen. Helpolla viesti/kytkentä	Saattaa ajautua suht. epätarkka isohko anturi	Säätö ja valvonta, Anturi voi olla erillään.	Käytetty paljon termostaateissa
Infrapuna-anturi	-60...+950	± 1 °C	1 s	Nopea. Ei tarvitse kosketusta	Kallis. Pinnan ominaisuudet vaikuttavat	Missä kosketus on vaikeaa tai mahdotonta	Saatavissa myös lämpökamera

\*) Aikavasteeseen vaikuttaa huomattavasti: 1 Mitattavan aineen liike (virtaava nopea, seisova hidas) 2 aineen laatu (kaasu hidas, neste nopea) 3 Anturin asennus (paljas nopea, suojaputkellinen hidas) 4 anturin koko (pieni nopea)



#### 5.4 Kosteusmittaukset

Huoneilman kosteuden mittaukset suoritetaan standardin SFS 5511 kohdan 8 mukaisesti ja samasta kohtaa kuin huoneilman lämpötilamittaukset on tehty. Tyypillisesti sisäilman kosteuden mittaukset suoritetaan samaan aikaan kuin lämpötilamittaukset ja yleensä sähköiset kosteusmittarit mittaavatkin kosteuden ohella myös sisäilman lämpötilaa. Kosteus- ja lämpötilamittauksissa käytetään myös tarvittaessa dataloggereita, jotka mittaavat ja rekisteröivät huoneilman laatua asetettuina mittausväleinä. Näiden mittausten tulokset ovat luettavissa tietokoneelta mittausten päätyttyä. Näin voidaan suorittaa pitkäaikaisia mittauksia hyvin kätevästi. [5, s. 6.] Taulukko 7 esittelee erilaisia kosteuden mittausten menetelmiä.

Taulukko 7. Kosteuden mittaamenetelmiä [15, s. 5].

Menetelmä	Alue	Tarkkuus	Aikavaste	+	-	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Kastepiste-hygrometri	Lähes 0–100% RH	Parhailla ± 0,5 % RH	Hidas, useita minuutteja	Hyvä ja tarkka perustandardi	Hankala pakkasessa ja pienillä RH %-lla	Ulko- ja huoneilma, tutkimus, kalibrointi	Ammattilaisen väline
Psykrometri	10...90% RH (5...95 % RH)	± 1% RH tai huonompi	Hidas, useita minuutteja	Hyvä ja tarkka perusmittari	Hankala pakkasessa ja pienillä RH %-lla	Huoneilma, tutkimus, kalibrointi	Ammattilaisen väline
Sähköiset (Kapasitiivinen, LiCl)	0..100 % RH (15..90 % RH)	Parhaimmillaan ± 1% RH	Muutama sek. – 1...2 min	Sähköinen viesti, nopeus	Ajautuminen	Automaatiikka ja valovonta, yleismittarit	Käyttövarma, helppo
Mekaaninen (Hius, muovinauha)	0–100% RH	± 2% RH	Hidas, useita minuutteja	Halpa. Tarvittaessa omavoimainen, myös piirturi	Ajautuminen	Huoneilma	Hiusanturi regeneroitava 1x/a
Infrapuna	5...100%RH	Vaihtelee	Jopa alle 1 s	Nopea, toimintavarma	Ei kovi tarkka	Säätöla, erikois-sovellutukset	Kestää ja mittaa myös sumua
Punnitusmenetelmä	0–100% RH	Vaihtelee	Tunteja, vuorokausia	Luotettava perusmenetelmä	Työläs, raskas laitteisto	Vertailumenet. Tarvittaessa suuria otoksia	Erytisen tottuneelle käyttäjälle

## 5.5 Paine-ero- ja ilmavirtamittaukset

### 5.5.1 Paine-ero- ja ilmavirtamittauksissa huomioitavia asioita

Paine-eromittauksia tehdään huoneiden painesuhteita mitattaessa, ilmastointijärjestelmän kanavien ilmavirtojen tasapainotuksessa, suodattimien likaantumisasteen seuramisessa, ilmanvaihtokanavien tiiviysmittauksissa, nesteiden virtausmittauksissa sekä päätte-elinten ilmavirtojen ja huoneilmanvaihdon määrittämisessä. Ilmanvaihtojärjestelmän virtaamat mitataan vähintään järjestelmän tehostamattomalla mitoitusvirtaamalla ja asuntokohteissa myös tehostetulla mitoitusvirtaamalla. Huoneiden painesuhteita ja ilmavirtoja mitattaessa on huomioitava, että sään on oltava vähätuulinen (alle 10 m/s) ja oikean lämpöinen (–20 °C...+22 °C) sekä huonetilan käyttö tavanomaista vastaavaa. Ilmavirtamittaukset suoritetaan standardien SFS 5511, 5512 ja 5769 vaatimusten mukaisesti. Mikäli erityisen suurta tarkkuutta vaativia ilmavirran, paine-eron tai paineen mittauksia tehdään, suoritetaan ne standardin SFS 5331 asettamien vaatimusten mukaisesti. [17, s. 4; 15, s. 7; 5, s. 8.] Taulukko 8 esittelee erilaisia paine-eron mittaamenetelmiä.

Taulukko 8. Paine-eron mittausmenetelmiä [15, s. 7].

Menetelmä	Alue	Tarkkuus (parhailla)	Aikavaste	+	-	Pääasiallinen käyttö	Huomautuksia
Nestemanometri	Nesteestä ja mittarista riippuen	± 0,05 Pa parhailla mikrom.	1...5 s	Perustuu luonnon vakioihin, ei tarvitse kalibrointia*)	Särkyvä, ei sähköistä viestiä Lukema taulukosta.	Yleiskäyttö referenssi suodatinnmittaus	Neste tarkastettava kerran vuodessa
Sähköinen manometri	Laajoissa rajoissa	± 1 Pa tai 1 %	1 s, parhaissa säädettävä	Kenttäkelpoinen, sähköinen viesti	Kalibroitava	Yleiskäyttö	Parhaat ohjelmoitu (keskinopeus)
Mekaaninen manometri	Laajoissa rajoissa	± 5 Pa	1 s	Halpa omavoimainen helppo lukea	Ei viestiä (joskus raja-arvokytin)	Laitosten kiinteät valvontamittarit	

\*) edellyttäen, että neste säilyttää ominaisuutensa (Esim. alkoholit yleensä hygroskooppisia)

Ilmavirtojen tarkkuuksien raja-arvot luokitellaan seuraavasti:

- Huonekohtaiset ilmavirrat ± 20 %
- Järjestelmäkohtaiset ilmavirrat ± 10 %

Mikäli ilmanvaihtolaitos niin edellyttää, voidaan pienempiä sallittuja poikkeamia erikseen määritellä. Nämä poikkeamat sisältävät mittaustulosten poikkeaman ja menetelmän epätarkkuuden. [18, s. 4.]

Ilmantiheyden poiketessa ilman standarditiheydestä (1,2 kg/m<sup>3</sup>) enemmän kuin 2 %, korjataan mittauksesta saatua ilmavirran arvoa kaavan 2 mukaisesti:

(2)

$$q_V = q_{V0} \frac{\rho_m}{\rho_0}$$

jossa  $q_V$  on todellinen ilmavirta  
 $q_{V0}$  on mitattu ilmavirta  
 $\rho_m$  on ilman tiheys mittausajankohtana.

### 5.5.2 Paine-eron ja ilmavirran mittausmenetelmiä

Ilman virtausta mitataan tyypillisesti ilmanvaihtokanavista, ilmanvaihtolaitoksista tai päätte-elimistä pitot-putkella (kuva 4) ja kiinteillä mittauselimillä (esimerkiksi ilmanvaihtokanavien säätöpelleissä olevat mittayhteet). Yleisimpiä mittaustapoja ovat viiden pisteen menetelmä, log-linear-menetelmä (mittaus kahdelta, kolmelta tai neljältä hal-

kaisijalta), suorakaidemenetelmä ja log-Tschebyschew-menetelmä. Mittausmenetelmän valintaan vaikuttavat kanavan koko ja muoto, mittauksen tarkkuusvaatimukset sekä suojaetäisyys. Pitot-putkella ilmanvaihtokanavan ilmavirtaa voidaan mitata esimerkiksi tekemällä kanavaan pieni pitot-putken halkaisijan kokoinen reikä ja työntämällä reiästä kanavaan mittauslaitteen pitot-putki. Reikä on tukittava mittauksen jälkeen. [18, s. 6.]

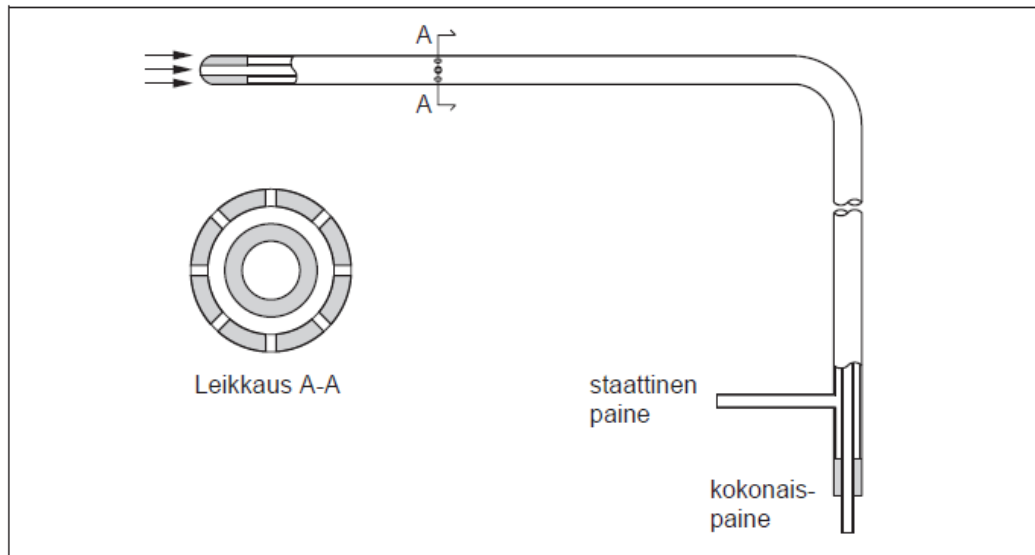
Pitot-putki (kuva 4) ja keskinopeusanturit perustuvat virtauspaineeseen noudattaen Bernoullin yhtälöä kaavan 3 mukaisesti [15, s. 8]:

$$P_{\text{kok}} = p_{\text{st}} + p_{\text{d}} = p_{\text{st}} + \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (3)$$

jossa

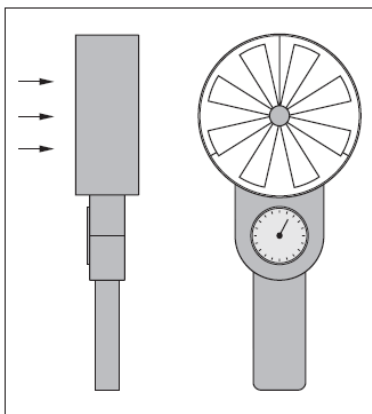
- $P_{\text{kok}}$  on kokonaispaine (Pa)
- $P_{\text{st}}$  on staattinen paine (Pa)
- $P_{\text{d}}$  on dynaaminen paine (Pa)
- $v$  on virtausnopeus (m/s)
- $\rho$  on virtaavan aineen tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

Pitot-putki on selkeästi yleisin työkalu mitattaessa ilmanvaihtokanavien virtauksia. Sen käytölle on olemassa standardit SFS 5512 ja ISO 3966, ja sen menetelmä perustuu staattisen paineen ja kokonaispaineen erotuksen mittaamiseen. Mittauksissa kokonaispaine johdetaan manometrin toiseen haaraan ilmanvaihtokanavassa ilmavirtaa vastaan olevan pitot-putken kautta ja toiseen haaraan johdetaan staattinen paine putken toisesta yhteestä tai kanavan kyljessä olevasta nipasta. Jotta mittauksen toivotaan onnistuvan halutulla tavalla, on mittauksen aikana ilmanvaihtokanavan ilmavirtauksen oltava laminaarinen ja nopeusjakauman tasoittunut. Ilmavirran nopeus saadaan selville laskemalla se joko Bernoullin yhtälöllä tai suoraan joidenkin sähköisten mittareiden näytöltä. [15, s. 8.]



Kuva 4. Pitot-putki [15, s. 8].

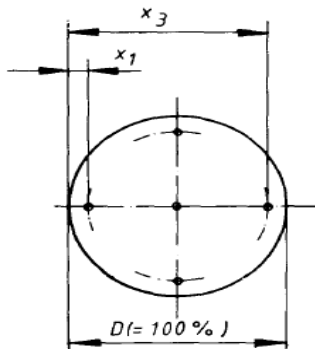
Siipipyöräänemometri (kuva 5) on myös hyvin yleisesti käytetty mittalaite ilmastointiteknisissä mittauksissa. Siinä mittalaitteen rungossa oleva herkästi laakeroitu siipipyörä pyörii ilmavirran vaikutuksesta pyörimisnopeuden ollessa lähes suoraan verrannollinen ilman virtausnopeuteen siipipyörän peittämällä alueella. [15, s. 8.]



Kuva 5. Siipipyöräänemometri [15, s.8].

Muita käytössä olevia ilmavirran mittausmenetelmiä ovat keskinopeusanturit, kuplianemometrit, anturin jäähtymiseen perustuvat mittarit (termistorit, suuntariippumattomat anturit), ultraäänimittarit, kuristusmittarit ja merkinantomenetelmät. [15, s. 8–9.]

Yleisessä viiden pisteen mittausmenetelmässä ilmanvaihtokanavan ilmavirta mitataan nimensä mukaisesti kanavan viidestä eri pisteestä kuvan 6 mukaisesti.

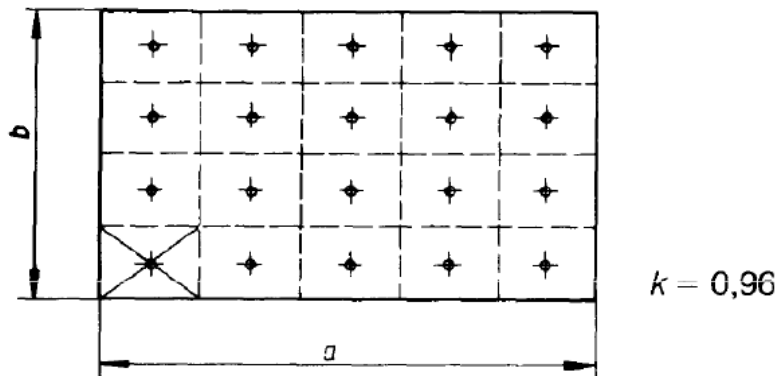


$$x_1, a_1, b_1 = 10\%$$

$$x_3, a_3, b_3 = 90\%$$

Kuva 6. Viiden pisteen mittausmenetelmä [18, s. 7].

Suorakaidekanavissa monipistemittaukset suoritetaan siihen erikseen tehtyjen ohjeiden mukaisesti. Kuvassa 7 on esitetty suorakaidekanavien mittausmenetelmä.



$a, \text{mm}$ \diagdown $b, \text{mm}$	< 200	250 ... 400	500 ... 800	> 1000
< 200	2 x 2	2 x 3	2 x 4	2 x 5
250 ... 400	3 x 2	3 x 3	3 x 4	3 x 5
500 ... 800	4 x 2	4 x 3	4 x 4	4 x 5
> 1000	5 x 2	5 x 3	5 x 4	5 x 5

Kuva 7. Suorakaidemenetelmä [18, s. 7].

Pääte-elimien ilmavirtoja mitattaessa käytetään paine-eromenetelmää tai läpivirtausmittaria. Läpivirtausmittarina toimii tavallisesti kuumalanka-anemometri, termistorianemometri tai pieni siipipyöranemometri perinteisen lasikuidusta valmistetun anemometritorven kanssa. Anemometritorvi asetetaan tiiviisti ilmanvaihtoventtiilin ympärille ja ilmavirta pääsee täten virtaamaan anemometritorven läpi mittariin. Ilmavirran tulos on heti luettavissa mittarista. Torvityyppejä on lyhyt- ja pitkäkaulaisia. Lyhyt torvi sopii parhaiten poistoilman mittaamiseen, kun taas pitkäkaulainen on hyvä tuloilmavirtaa mitattaessa tasausosansa johdosta. Standardin *SFS 5512 Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmanvaihtolaitoksissa* mukaan anemometritorvi ei sovellu kuin poistoilmaelinten mittaamiseen, koska tuloilmaelimestä anemometritorvella mitattu ilmavirta ei yleensä täytä yleisiä tarkkuusvaatimuksia (anemometritorven painehäviön aiheuttaman virheen korjaava yhtälö; ks. kaava 4) [15, s. 9; 18, s. 9.]

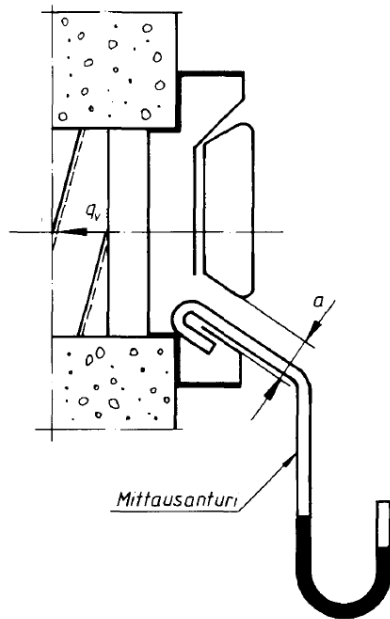
(4)

$$q_v = q_n \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta p_n}}$$

jossa  $q_v$  on ilmavirta ilman anemometritorvea  
 $q_n$  on anemometritorvella mitattu ilmavirta  
 $\Delta p_n$  on mitattavan pääte-elimien ja anemometritorven yhteenlaskettu paine-ero mittauksen aikana  
 $\Delta p$  on mitattavan pääte-elimien paine-ero ilman anemometritorvea

Kun ilmanvaihtoelimistä mitataan ilmavirtaa paine-eroon perustuvalla mittausmenetelmällä, käytetään mittavälineenä mittasondia (kuva 8) tai pääte-elimien mittayhteitä. Mittasondistista tai mittayhteistä saatu venttiilin paine-ero on luettavissa siihen liitetystä manometristä. Paine-eron ja venttiilistä tarkistettavan venttiilin säätöarvon avulla voidaan venttiilin ilmavirta määrittää venttiilin valmistajan julkaisemasta käyrästä. Paine-eromenetelmän epätarkkuus on noin 5 %, mikäli kaikki mittauksen olosuhteet ovat olleet ihanteelliset. Muussa tapauksessa mittausvirhe on noin 10–15 %. [15, s. 10; 18, s. 9.]





Kuva 8. Pääte-elimien paine-eron mittaus mittasondilla [18, s. 9].

Muita ilmanvaihdon pääte-elimien ilmavirran mittausmenetelmiä ovat keskinopeusmenetelmä, keräysmenetelmä, pussimenetelmä, kompensatiomenetelmä ja balometri. [15, s. 9–10; 18, s. 10.]

## 5.6 Äänimittaukset

Sisäilmaston äänimittauksia suoritetaan yleensä melun aiheuttaman häiriön havainnollistamisessa tai mitattaessa LVI-laitteiston äänitasoja. Mittauksia suorittaessa on hyvä havainnollistaa, että melutaso vaihtelee tyypillisesti alueellisesti ja ajallisesti. Äänimittauksille ei voida antaa yksiselitteisiä mittausohjeita johtuen juuri äänikenttien alueen ja ajan vaikutuksesta sekä meluhaittojen ja melutason välisistä riippuvuuksista.

Äänentasomittauksille on hyvin tyypillistä, että muista äänilähteistä tuleva taustamelu on joko yhtä voimakasta tai voimakkaampaa kuin itse mitattavan kohteen aiheuttama melu ja yleisesti mittausten häiriötekijöiltä onkin hyvin hankalaa välttyä. Usein näitä häiriötekijöitä (esimerkiksi jääkaappi ja ilmanvaihto) joudutaan eliminoimaan mittausten ajaksi. Äänimittauksia voidaan tehdä lyhyellä tai pitkällä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä mitattaessa käytetään tyypillisesti dataloggereita. LVI-laitteiden ja ilmanvaihtojär-

jestelmän aiheuttaman äänitason mittaukset suoritetaan standardin *SFS 5571* mukaisesti. [5, s. 12.]

### 5.6.1 Äänimittalaitteet

Äänimittauksia tehdessä on käytettävä pääasiassa standardin IEC 804 integroivia tarkkuusluokan 1 tai standardin *SFS 2877:1980 Äänitasomittarit* mainitsevia tarkkuusluokan 1 mittareita. Mittalaitteet tulee tarvittaessa kalibroida ennen mittauksia ja pitkien mittausten aikana käyttämällä normaaliäänilähdettä (kalibraattoria), jonka on täytettävä standardin IEC 942:1988 luokan 2 vaatimukset. Tyypillisesti äänitaso on luettavissa suoraan mittarin näytöltä. [5, s. 12.]

### 5.6.2 Äänen mittausmenetelmät

Mitattaessa huoneiston äänitasoa on kaikkien ulkoikkunoiden oltava kiinni eikä valoaukoissa saa olla minkäänlaisia äänenvaimennuskykyä parantavia rakenteita (esimerkiksi paksut verhot). Parvekelasit voivat toimia mittauksia tehtäessä yöaikana ikkunoina. Kesäpäivinä päiväajan äänitason ohjearvot eivät saa ylittyä osan parvekelaseista ollessa auki. Mittauksien aikana häiriöäänien syntyyn on kiinnitettävä erityistä huomiota. Varsinkin mittauksia seuraavien ihmisten ja mittauksen suorittajan on vältettävä minkäänlaista liikehdintää. [5, s. 12.]

Mittauspaikkana huoneistossa toimii tyypillisesti sellainen paikka, jossa huoneiston käyttäjiin normaalisti kohdistuu mitattava meluhaitta. Tämä paikka ei kuitenkaan normaalisti saa olla yhtä (1) metriä lähempänä huoneen pintoja tai melulähteitä, ellei varta vasten pintojen tai melulähteiden välittömässä läheisyydessä oleskelevien ihmisten kokema melua mitata. Mikäli hyvin hiljaista melua tai pienitaajuisia ääniä mitataan, on mittauksia suoritettava yleensä useampia kertoja eri kohdissa huonetta. Mittaustulosten vaihdellessa suuresti eri mittauspisteiden välillä, käytetään terveyshaitan arviointiin mittauspisteistä saatuja suurimpia arvoja. Tyhjässä huoneessa äänitaso on tyypillisesti noin 3 dB suurempi kuin kalustetussa huoneessa. [5, s. 12.]

LVI-laitteiden ja ilmanvaihdon äänitasoja mitattaessa mittauspaikkana toimii kolme eri mittauspistettä pääasiallisen oleskelu tai työpisteen alueelta. Mikäli tätä aluetta ei ole tiedossa, mitataan äänitaso keskeltä oleskeluvyöhykettä 1,1–1,5 metrin korkeudelta

lattiasta. Mittausten aikana ovien ja ikkunoiden on oltava kiinni. Mittauspisteiden on oltava vähintään 0,5 metrin etäisyydellä toisistaan ja mittaajasta itsestään. [19]

Ilmanvaihdon aiheuttaman äänitason mittaukset suoritetaan tavanomaisesti niin, että ensimmäiseksi mitataan huoneen kokonaisäänitaso ilmanvaihdon toimiessa mitoitussilmavirroilla. Tästä saatua lukemaa seurataan minuutin ajan ja jos siinä esiintyy huojuntaa, jatketaan mittauksia. Mittauksen jälkeen äänimittarista luetaan äänen keskimääräinen arvo.

Eri mittauspisteistä saatujen arvojen perusteella lasketaan niiden aritmeettinen keskiarvo ja tätä pidetään kyseisen huoneen kokonaisäänitasona. Mikäli tämä kokonaisäänitaso ei ylitä ohjearvoja, ei mittauksia tarvitse jatkaa. Kokonaisäänitason ollessa taasen ohjearvoja suurempi, on huoneen taustaäänitasomittaus suoritettava. Taustaäänitasoa mitattaessa suljetaan ilmanvaihto pois päältä ja mitataan huoneen äänitaso uudestaan. [19]

Ilmanvaihtolaitteiden aiheuttama ääni voidaan laskea kaavalla 5, kun tiedossa on huoneen kokonaisäänitaso ja taustamelun äänitaso. [31, s. 5.]

(5)

$$L_{IV} = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_M}{10}} - 10^{\frac{L_T}{10}} \right), \text{ jossa}$$

$L_{IV}$  on ilmanvaihtolaitteiden äänitaso  $L_{pA}$

$L_M$  on mitattu äänitaso  $L_{pA}$

$L_T$  on taustamelun äänitaso  $L_{pA}$

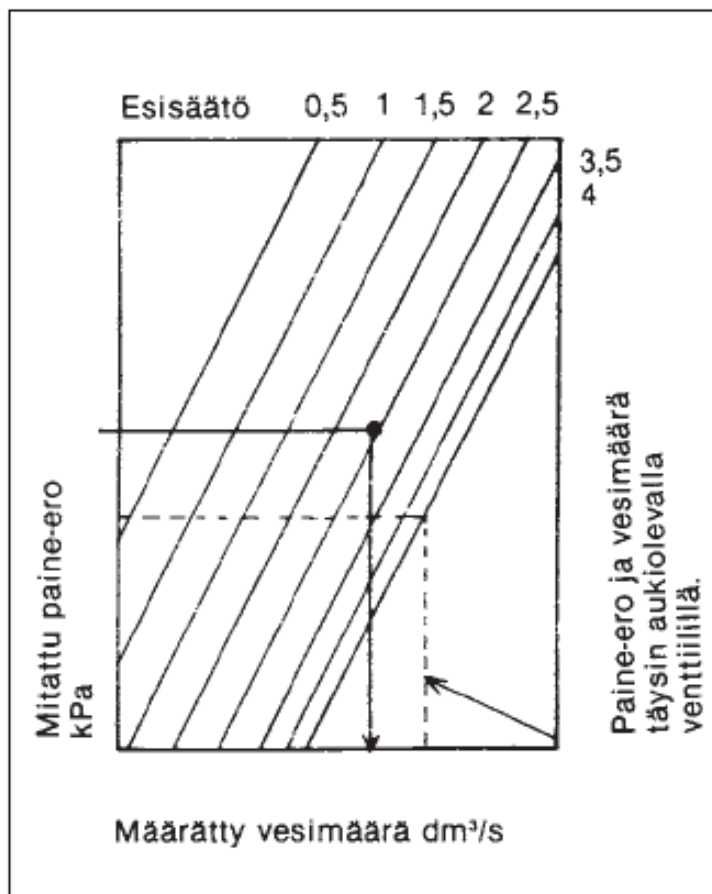
Useiden eri äänilähteiden yhdessä aiheuttama kokonaisäänitaso voidaan laskea kaavalla 6 [4].

(6)

$$L_{Atot} = 10 \lg(10^{LA1/10} + 10^{LA2/10} + \dots + 10^{LAn/10})$$

## 5.7 Vesivirtamittaukset

Vesivirtamittauksia tehdään tyypillisesti rakennuksen käyttöveden sekä lämpö- ja jäähdytysverkoston virtaamien suunnitelmien mukaisuuksien tarkastamisessa sekä ennen säätötöiden aloittamista ja niiden aikana. Vesivirtamittaukset suoritetaan useimmiten paine-eroon perustuvalla mittaumenetelmällä, jossa linjasäätöventtiilin aiheuttama paine-ero mitataan liittämällä mittalaitteen (manometri tai elektronisesti toimiva paine-eromittari) letkut linjasäätöventtiilissä oleviin mittaussyhteisiin (tyhjennyshanoihin). Tämän paine-eron, linjasäätöventtiilin säätöasennon ja linjasäätöventtiilin valmistajan julkaiseman venttiilin ominaiskäyrästä (kuva 9) avulla saadaan selville venttiilin virtaama. Paine-eroon perustuvan mittaumenetelmän virhe on noin 10–15 %. Virheen aiheuttavat venttiilin kunto, mittarin ja käyrästä tarkkuus sekä sen lukemisesta aiheutuva mahdollinen virhe. [20, s. 1.]

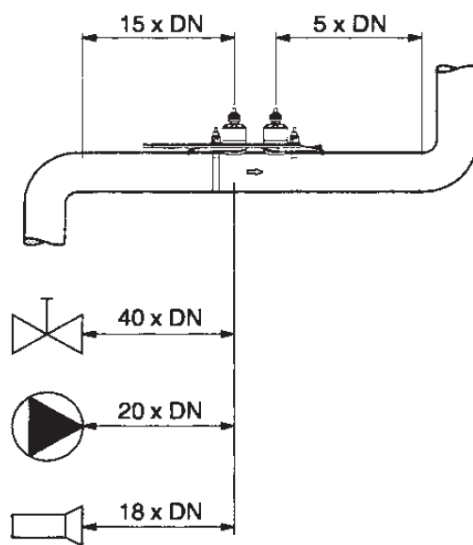


Kuva 9. Tyypillinen linjasäätöventtiilin ominaiskäyrä [20, s. 2].

Joillakin ohjelmoituilla digitaalisilla mittalaitteilla, joihin on integroitu eri venttiilien valmistajien ominaiskäyrästöjä, saadaan mittarin ruudulle välittömästi näkyviin venttiilin läpi kulkeva virtaama ja täten helpotettua mittaustyötä. Mittalaitte mittaa tyypillisesti myös veden lämpötilaa. Mittalaitteen avulla mittauksia voidaan tehdä paine-eroille välillä 0,5–200 kPa lämpötilojen ollessa  $-20\dots+120$  °C. Linjasäätöventtiilin mittaustulokset saadaan mittalaitteen ruudulle halutussa mittayksikössä. Laite tallentaa muistiinsa paine-eron, virtaaman ja lämpötilan. Tulokset ovat tulostettavissa heti mittausten jälkeen tietokoneelta. Mittausmenetelmän epätarkkuus on noin 10 %. [20, s. 2–3.]

Pumpun vesivirta selvitetään tyypillisesti mittaamalla paineenkorotus pumpun yli. Tästä saadun paine-eron avulla luetaan pumpun valmistajan julkaisemasta, kyseisen pumpun ominaiskäyrästä paineenkorotusta vastaava vesimäärä. Menetelmän käyttö on vähentynyt sen epätarkkuuden johdosta ja muiden menetelmien kehityttyä.

[20, s. 2.]



Kuva 10. Mittaustilanteen suositeltavat suojaetäisyydet [20, s. 3].

Vesivirtamittauksia voidaan suorittaa myös ultraäänimittareilla. Tätä mittausten menetelmää käytetään pääasiassa niissä tilanteissa, joissa putkessa ei ole luontaista mittauskohdetta (linjasäätöventtiiliä) mutta putken vesivirtaa on kuitenkin tarkoitus mitata. Näissä tilanteissa ultraäänimittari kytketään putkeen kiinnitettyihin ns. clamp on-tyyppisiin lähetinyhteisiin. Nesteiden nopeuden selvittämiseen on olemassa kaava (ks. s. 40). Mittauksia voidaan suorittaa putkissa, joiden halkaisija on joko 10 mm tai suurem-

pi ja putkessa kulkevan nesteen lämpötila on  $-100\dots+200$  °C. Ultraäänimittauksia suoritetaan pääasiassa määrittäessä putkiston sisäpuolista kuntoa tai energiataseita. Mittauksen epätarkkuus on noin 5 %. Ultraäänimittauksissa on huomioitava mittaustilanteen suositeltavat suojaetäisyydet (kuva 10). [20, s. 3–4.]

LVI-kortti *Lämmitysverkostojen vesivirran mittaus* esittää täsmällisesti ultraäänimittarin toiminnan:

Ultraäänisignaali suunnataan lähetinelementillä virtaavaan nesteeseen (veteen). Laite rekisteröi ääniviestin taajuuden muutoksen ja siitä riippuvan matka-ajan. Mittatiedot takaisin heijastuvasta äänisignaalista siirretään vahvistimen kautta laskentayksikköön, joka käsittelee tulokset. Virtausmittarissa, jossa toinen äänisignaali lähetetään vesivirran suuntaisesti ja toinen vesivirtaa vastaan, saadaan veden nopeus ja vesivirran suuruus määritettyä viestien välisestä aikaerosta kaavioilla 2 ja 1 [20, s. 4]:

$$v = K(t_{ab} - t_{ba}) / t_{ab} * t_{ba} \text{ (kaava 1)}$$

$$V = A v \text{ (Kaava 2)}$$

K on mittausjärjestelystä riippuva vakio

$t_{ab}$  on lähettimestä a lähetetyn viestin matkaan käyttämä aika (s)

$t_{ba}$  on lähettimestä b lähetetyn viestin matkaan käyttämä aika (s)

v on virtausnopeus (m/s)

A on putken poikkipinta-ala (m<sup>2</sup>)

V on Vesivirta (m<sup>3</sup>/s)

## 5.8 Lämpöenergian mittaus

Rakennuksen tarvitsema lämpöenergian määrä voidaan laskea lämpöverkoston menojen ja paluulämpötilojen ja tilavuusvirtojen avulla. Lämpöenergian mittaamiseen käytetään joissain tapauksissa ns. yhdistelmämittareita, jotka koostuvat lämpömäärälaskimesta, virtausmittarista, lämpötila-anturiparista sekä tarvittaessa erillisestä impulssilaitteesta. Nämä osat voivat olla myös erikseen. Tyypillisesti virtausmittarit ovat joko magneettisia mittareita, siipipyörämittareita, ultraäänimittareita tai paine-eroon ja värähtelyyn perustuvia mittareita. [15, s. 11.]

Lämpöteho saadaan käyttämällä kaavaa 7.

(7)

$$\dot{Q} = V \times \Delta t \times c_p \times \rho$$

$V$  on mittarin läpi kulkevan lämmönsiirtoaineen tilavuusvirta (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta t$  on lämmönsiirtoaineen meno- ja paluulämpötilojen erotus (°C)

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg\*°C)

$\rho$  on veden tiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$\dot{Q}$  on lämpöteho (kW)

Tehosta saadaan lasketuksi käytetty lämpöenergia tiettyä ajanjaksona  $t_0$ – $t_1$  kaavalla 8. [15, s.11]

(8)

$$E = \int_{t_0}^{t_1} P dt$$

missä

$E$  = lämpöenergia (kWh)

$T$  = aika (h)

$P$  = lämpöteho (kW)

## 6 Sisäilmaston kuntotutkimus

### 6.1 Sisäilmaston kuntotutkimuksen periaate

Sisäilmaston kuntotutkimus on lähinnä rakennuksen kuntoarviota täydentävä ja tarkentava menetelmä. Sen rakenteen lähtökohtana pidetään sitä, että turhilta mittauksilta vältyttäisiin vaiheistamalla tutkinnat niin, että mahdollisesti vasta yksinkertaisten perustutkimusten jälkeen tehdään vaikeita pitoisuusmittauksia tai muita tarkempia tutkimuksia. Sisäilmaston kuntotutkimukselle onkin oma toimintamallinsa, jonka mukaan tutkimukset tyypillisesti suoritetaan (kuva 11). [13; 15, s. 1.]

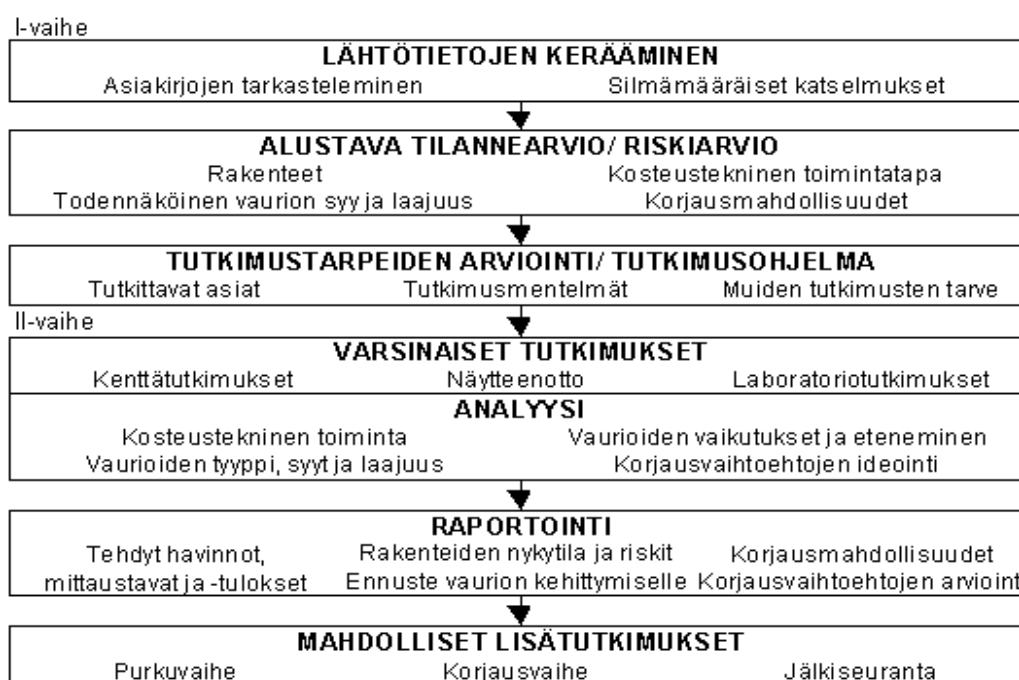
### 6.2 Sisäilmaston kuntotutkimuksen lähtökohdat ja systematiikka

Ennen kuntotutkimuksen tilausta on rakennuksen isännöitsijän syytä huolehtia, että rakennuksen kaikki perusasiat (esimerkiksi ilmanvaihto ja lämmitys) ovat toiminnassa ja kaikki tarvittavat lähtötiedot saatavilla. Kun nämä asiat ovat hoidossa, lähetetään kuntotutkimuksen tekeväälle yritykselle tarjouspyyntö, jossa on riittävän tarkasti kerrottu ja yksilöity kuntotutkimuksessa selvitettävät asiat. Samalla voidaan esittää erilaisia vaatimuksia muun muassa raportoinnin ja dokumentoinnin osalta. [13]

Tyypillisesti tutkimuksissa lähdetään liikkeelle lähtötietojen hankinnan ja analysoinnin jälkeen ongelman analysoinnista yksinkertaisten tutkimusmenetelmien (perustutkimusten) avulla. Näihin tutkimuksiin kuuluvat muun muassa aistihavainnot, rakennekoosteusmittaukset, mikrobien materiaalinäytteet, paine-ero- ja ilmamäärämittaukset sekä yksinkertaiset lämpötila- ja hiilidioksidimittaukset. Sisäilmaston perustutkimukset on syytä suorittaa lämmityskaudella ulkoilman ollessa alle +5 °C. Kesäaikana tehdään lähinnä vain ylitämpöön liittyviä mittauksia. Vasta perustutkimusten jälkeen, mikäli on tarpeellista, tehdään erilaisia jatkotutkimuksia, joita ovat muun muassa rakennuksen ulkovaipan lämpöteknisen kunnan kartoitus, lämmitysjärjestelmän toiminnan tutkiminen, rakennuksen tiiveystutkimukset, ilmanvaihtokanavien kunnan kartoitus, ilmanvaihdon tehokkuuden mittaaminen, erilaiset savukokein tehdyt tutkimukset, epäpuhtauslähteiden tarkempi kartoittaminen sekä sisäilmaston epäpuhtauksien ja melun mittaaminen. [13]



Sisäilmaston kuntotutkimukseen kuuluu aina lähtötietojen kerääminen, alustava tilannearvio, piirustusten analysointi, tutkimustarpeiden arviointi, kenttätutkimukset sekä analyysi ja raportointi. Mahdolliset laboratoriotutkimukset teetetään sisäilmaston kuntotutkimuksen aikana tai sen jälkeen. [13] Kuva 11 esittelee sisäilmaston kuntotutkimuksen eri vaiheet.



Kuva 11. Sisäilmaston kuntotutkimuksen vaiheet [11].

Sisäilmayhdistyksen internetsivuilla on esitetty sisäilmaston kuntotutkimuksen raportoinnille seuraavat vaatimukset:

- Tutkimustulokset on esitetty niin, että niitä voi arvioida muutkin kuin tutkimuksen tekijä itse.
- Kohteesta ja ongelmasta on kerrottu riittävät taustatiedot
- Tutkijan omat havainnot, saadut tiedot, johtopäätökset sekä toimenpidesuositukset on erotettu toisistaan.
- Tutkimus ja mittauspisteet on esitetty rakennuksen pohjakuvassa.
- Mittaustuloksissa on selkeästi esitetty mitä on mitattu, mittauspaikan sijainti, mitattava rakenne ja rakennekerroksen paksuus, mittaussyvyys, materiaali, ajankohta, mittauksen kesto, olosuhteet sekä käytetty mittarityyppi. [13]

Tyypillisimpiä mittauskohteita on esitetty teoksen *Sisäilmasto- ja kosteustekninen kuntotutkimus kouluille ja päiväkodeille* liitteessä 1 *Sisäilmasto- ja rakennusfysikaalisten mittaus- ja tutkimusmenetelmien kuvaukset*:

- Sisäilmastomittaukset
- Lämpöolosuhdemittaukset
  - Ilman lämpötila ja kosteus
  - Pintalämpötila
  - Veto
- Ilmanvaihtomittaukset
  - Tulo- ja poistoilmavirrat
  - Hiilidioksidi
  - Merkkiainemittaukset
  - Painesuhteet
- Äänimittaukset
- Ilman epäpuhtaudet
  - Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC)
  - Formaldehydi
  - Radon
  - Pöly ja kuidut
- Rakennusfysikaaliset mittaukset
  - Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus
  - Materiaalin kosteuspitoisuus
  - Pintalämpötila ja -lämpötilajakauma
  - Ilmanvuotokohdat
  - Paine-ero
  - Veden kapillaarinen nousukorkeus. [13]

### 6.3 Sisäilmaston kuntotutkimukseen tarvittavat lähtötiedot

Kattaviin ja hyvin sujuneisiin sisäilmaston kuntotutkimuksiin tarvitaan aina tutkimuskohteen yksityiskohtaisia tietoja. Olennaisimpia tietoja ovat rakennuksen ja sen kunnan tiedot, tiedossa olevat ongelmat, piirustukset ja työselostukset sekä tiedot taloteknisistä järjestelmistä. [13]

Sisäilmayhdistyksen internetsivuilla on esitetty sisäilmaston kuntotutkimuksen lähtötiedoissa käsiteltävät asiakohdat [13]:

- Onko rakennus tai tila siinä käyttötarkoituksessa, johon se on suunniteltu?
- Käytetäänkö talotekniikkaa (ilmanvaihto ja lämmitys) ja tilaa suunnitellusti?

Ennen paikan päällä tehtäviä tutkimuksia on seuraavat rakennuksesta tarvittavat taustatiedot ja asiakirjat selvitettävä/hankittava:

- Rakennuksen taustatiedot
  - koko
  - rakentamis- ja peruskorjausvuodet
  - rakenteet
  - ilmanvaihtotapa, vyöhykejako ja käyttöajat
  - ilmanvaihdon säätöpeltien ja muiden toimilaitteiden tekniset tiedot
  - lämmönjakotapa
  - käyttäjätiedot (työntekijämäärät, oppilasmäärät, lapsiryhmien koot, jne.)
- Rakennuksen kuntoon liittyvät tiedot
  - tehdyt selvitykset
  - tehdyt ja suunnitellut korjaukset
  - ilmanvaihtoja lämmitysjärjestelmän perussäädöt
  - kanavistojen ja ilmanvaihtolaitteiston puhdistukset
  - ilmanvaihtosuodattimien vaihdot
- Tiedossa olevat ongelmat
  - laiteviat
  - rakenneviat
  - kosteusvauriot
  - sisäilmasto-ongelmat
  - vaurioiden ilmeneminen
  - huonemuutokset (käyttötarkoituksen muutokset)
  - aiemmat tarkastukset mm. työsuojelun, terveydensuojelun tai työterveyden
- Välttämättömät asiakirjat
  - rakennusasiakirjat
  - rakennepiirustukset
  - ilmavaihtopiirustukset
  - työselostukset
  - suoritettujen kyselyjen tulokset
  - suoritettujen ja suunnitellujen korjaukset
  - suoritettujen kuntoarviot ja -tutkimukset
  - pohjatutkimus
- Hyödylliset asiakirjat
  - käyttö- ja huolto-ohjeet
  - kiinteistön perustietokortti (KH 90014)
  - suoritettujen energiakatselmukset
  - lämmön, sähkön ja veden kulutustiedot
  - merkittävimmät rakennuksen takuu- ja vastuuajankaan liittyneet reklamaatiot. [13]

## 7 Taloteknisten järjestelmien säätötyö

### 7.1 Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö

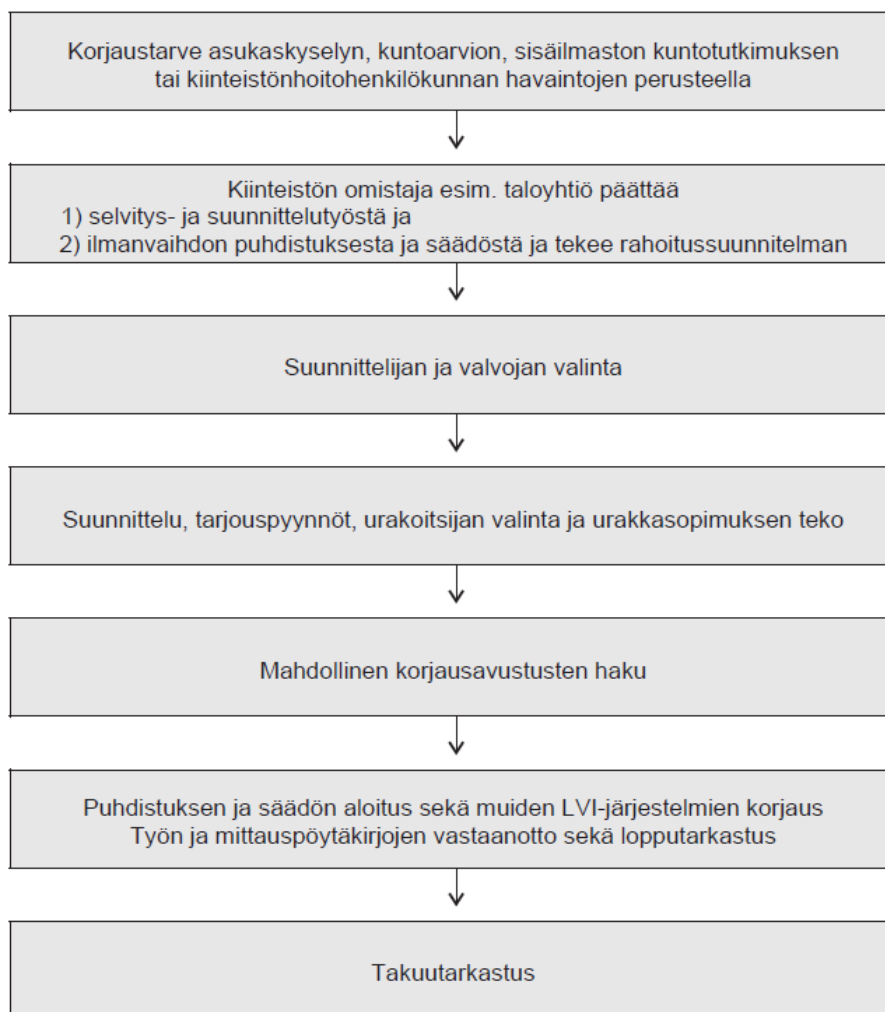
Jotta ilmanvaihtojärjestelmä toimisi suunnitellulla tavalla koko rakennuksen käyttöajan, se on puhdistettava ja säädettävä tietyin väliajoin. Myös järjestelmän asennuksen jälkeen se luonnollisesti säädetään suunnitelluille ilmavirroille ja tarkastetaan painesuhteet ulkoilmaan nähden. Rakennuksen kiinteistönhuoltosuunnitelmassa ilmanvaihtojärjestelmän säännöllinen tarkastus ja huolto on aina ehdottomasti syytä ottaa huomioon. Rakennuksen huonosta sisäilmastosta johtuvat valitukset voidaan pääosin välttää huolehtimalla ilmanvaihdon tarkoituksenmukaisesta toiminnasta.

Ilmansuodattimet, ilmanvaihtokanavat ja venttiilit likaantuvat vähitellen. Ilmanvaihtolaitoksen ja -kanavien ollessa likaiset, ei ilmanvaihto käy täydellä teholla, eikä ilmanvaihtojärjestelmä ole paloturvallinen, unohtamatta sisäilmaston laatua ja energiataloutta alentavaa vaikutusta. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus onkin aina ehdotonta tehdä säännöllisesti ja aina ennen säätötöiden suorittamista. Yleisesti puhdistus- ja säätötyö tehdään yhtenä kokonaisuutena; aluksi ilmanvaihtojärjestelmä tarkastetaan, tämän jälkeen se puhdistetaan, puhdistuksen jälkeen se säädetään suunniteltuihin arvoihin ja lopuksi tehdään loppuraportit. Pistokokein tehdyissä ilmavirtamittauksissa huonekohmainen poikkeama mitoituservoista saa olla korkeintaan  $\pm 20$  % ja järjestelmäkohtainen ilmavirran poikkeama korkeintaan  $\pm 10$  %. Mikäli mittauksissa ei näihin tuloksiin päästä, on ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja säätötyö syytä suorittaa. [21, s. 1; 22, s. 2.]

Vastuu ilmanvaihtojärjestelmän tarkastuksista ja huolloista kuuluu ensisijaisesti kiinteistön omistajalle; esimerkiksi taloyhtiölle. Tarkastukset ja huollot suoritetaan tyypillisesti kiinteistön huolto-ohjelman tarkastus- ja huoltovälien mukaan. Huolto-ohjelmassa on esimerkiksi kerrottu ilmansuodattimien vaihtovälit, mitkä on asuinrakennuksessa suositellusti vaihdettava kaksi (2) kertaa vuodessa. Suodattimien on myös oltava puhtaat kun säätötyöt aloitetaan. [21, s. 1–2.]

Ilmanvaihtolaitoksen paloteknisen kunnan tarkastamisesta ja puhdistuksen pakollisuudesta on voimassa sisäasiainministeriön määräys 1/95.

Määräyksessä majoitustilojen, sairaanhoito-, huolto- ja rangaistuslaitosten sekä ravintolasalien ilmanvaihtolaitosten tarkastus ja puhdistus on suoritettava vähintään viiden vuoden välein. Pesuloiden, ammattimaisten ruoanvalmistuspaikkojen, ruiskumaalaimoiden, leipomoiden yms. tilojen ilmanvaihtolaitokset tulee puhdistaa vähintään kerran vuodessa. Asuinkiinteistöille määräys ei anna tarkastus- ja puhdistusaikavälejä. Sisäasiainministeriö kuitenkin suosittelee asuinkiinteistön ilmanvaihtolaitoksen puhdistamista vähintään kymmenen vuoden välein. Joissakin yksittäisissä tapauksissa paloviranomainen voi määrätä palo- ja pelastustoimilain perusteella joihinkin muihin kohteisiin kohdekohtaisen puhdistusvälin. Pientalorakentamisessa ilmanvaihtojärjestelmän säädöstä vaaditaan useissa kunnissa ammattitaitoisen palveluntarjoajan laatima mittaus- ja säätöpöytäkirja, josta tulee käydä ilmi, että taloon tulee ja sieltä poistuu suunnitelmien mukaiset ilmamäärät. [22, s. 1] Kuva 12 esittelee ilmanvaihdon puhdistus- ja säätötyön eri vaiheet korjaustarpeen kartoittamisesta takuutarkastukseen.



Kuva 12. Ilmanvaihdon puhdistus- ja säätötyön vaiheet [21, s. 2].

### 7.1.1 Miten ilmanvaihdon toimivuus voidaan todeta?

Ilmanvaihdon toimivuuden tarkistamiseksi ei aina välttämättä tarvita minkäänlaisia mittalaitteita, vaan rakennuksen sisäilman erilaiset hajut, tunkkaisuus, vetoisuus, kosteuden tiivistyminen ikkunalaseihin, rakennuksessa oleskelevien ihmisten oireet ja huonon ilmavirtauksen toteaminen ovat tyypillisimpiä huonon ilmanvaihdon aiheuttamia ongelmia. [21, s. 3.]

Sisäilman hajut ja tunkkaisuus ovat hyvin yleinen sisäilmaongelma. Rakennuksen sisätiloissa oleskelevien ihmisten hajuaistit tottuvat todella helposti erilaisiin hajuihin. Tämän takia sisäilman laatua tarkastelevan tutkijan onkin syytä tulla tilaan suoraan ulkoa. Hajut ja tunkkaisuus eivät kaikissa tilanteissa kuitenkaan ole ilmanvaihdon toimimatto-

muuden aiheuttamia, vaan hajut voivat aiheutua myös esimerkiksi sisustusmateriaalien päästöistä, viemäristä, vesilukosta tai asukkaan/oleskelijan epäsiisteystestä. [21, s. 3.]

Kosteaa sisäilmaa on yksi huonon ilmanvaihdon aiheuttama ongelma. Tyypillisesti tämän huomaa kosteuden tiivistymisenä ikkunalaseihin. Kosteutta on käsitelty tarkemmin luvussa 4.2 *Kosteus*.

Huonon poistoilmavirtauksen toteaminen poistoilmaventtiilistä on hyvin helppoa. Tarvitaan vain paperiarkki, joka asetetaan poistoilmaventtiiliin pintaan ja katsotaan riittääkö poistoilmaventtiiliin ilmavirta pitämään paperin kiinni siinä. Ilmavirran tulisi myös tuntua kädessä selvästi venttiiliin (myös tuloventtiili) välittömässä läheisyydessä. Mikäli näin ei kuitenkaan ole, on ilmavirta venttiilissä liian pieni. Yksi syy tähän on venttiiliin likaantuminen. Myös liesikuvun rasvasuodatin on pestävä 1–2 kuukauden välein, jotta sen imemä ilmavirta olisi suunnitelmien mukainen ja suodatin paloturvallinen. [21, s. 3.]

Vetoisuus (ks. luku 4.3 *Vetoisuus*) aiheutuu tyypillisesti liian suurista poistoilmavirroista. Mikäli huoneiston poistoilmavirta on liian suuri, voi ovi tai postiluukku vinkua. Tämä on merkki ilman virtauksesta sisätiloihin porraskäytävästä. Toinen ongelma on, jos kylmä ulkoilmavirta aiheuttaa vetoa. Tämä tyypillisesti johtuu liian suurista ilmavirroista, väärin suunnatuista ilmavirroista (rakennevuodot), huonosta ikkunan lämmöneristyksestä, korvausilmasäleiköistä tai lämmitysjärjestelmän toiminnan puutteellisuudesta. [21, s. 4.]

#### 7.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus

Rakennuksen käyttäjien toiminnat (esimerkiksi ruoan laitto ja tupakan savu), sisustusmateriaalit, kotieläimet ja likainen ulkoilma aiheuttavat sisäilmaan epäpuhtauksia, mitkä ajan kanssa kerääntyvät poistoilmakanaviin, -venttiileihin, ilmanvaihtokoneisiin ja suodattimiin. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus tehdään säännöllisesti kiinteistön huolto-ohjeen mukaan asumisen terveellisyyden, viihtyisyyden, energiatalouden ja paloturvallisuuden parantamiseksi. Tyypillisesti ilmanvaihtolaitoksen puhtaus tarkastetaan silmämääräisesti tai pyyhkäisykokein puhdistus- ja tarkastusluukkujen kautta käyttäen mahdollisesti apuna erilaisia teknisiä apuvälineitä (kamera, taskulamppu, peilit yms.). Joissakin tapauksissa puhdistamisen syynä ei ole pelkästään pöly, vaan ilmanvaihtolait-

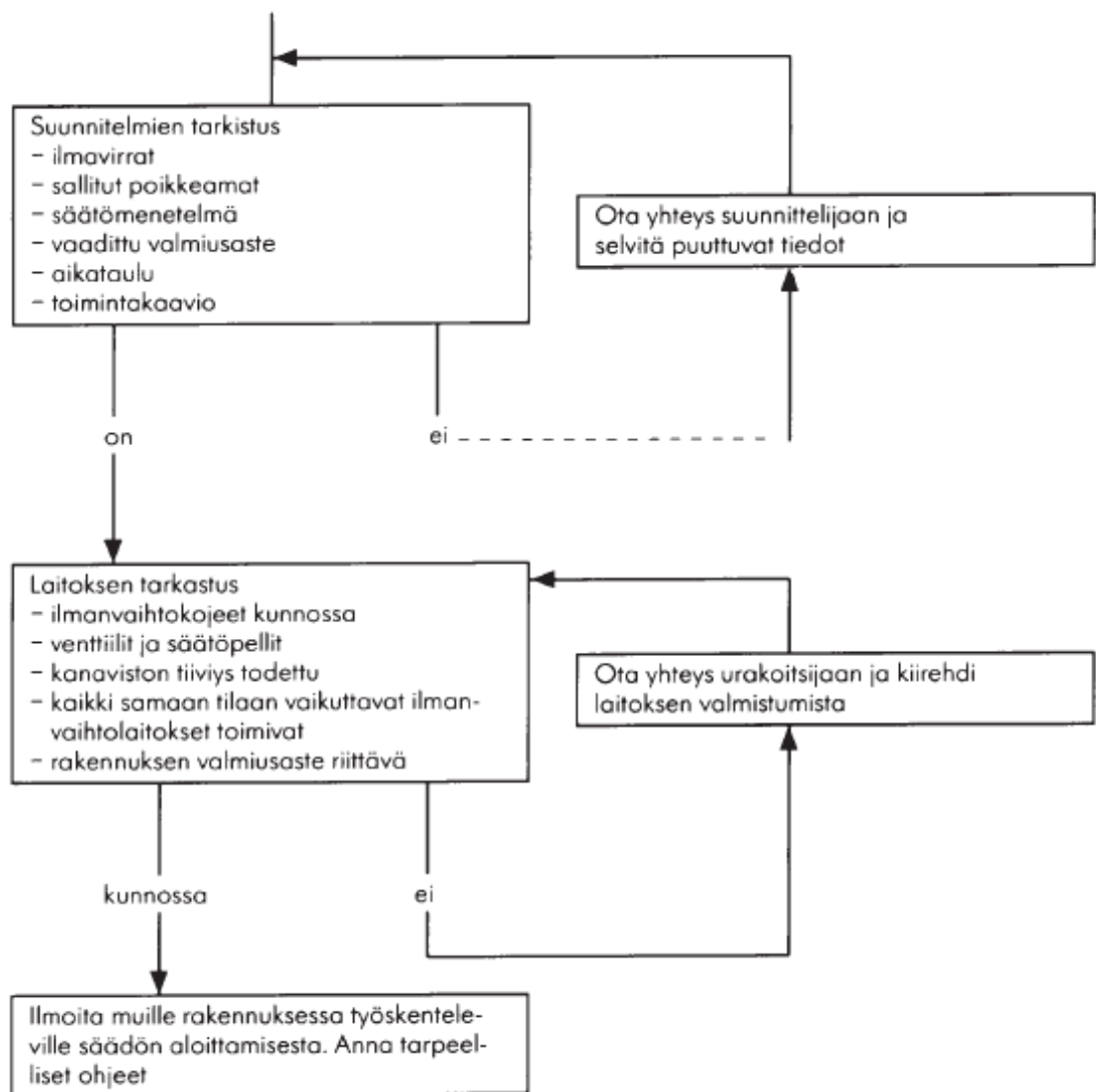
teistossa on voitu havaita esimerkiksi mikrobikasvustoa. Tyypillisesti puhdistus tehdään poistoilmakanaviin, mutta joissakin tapauksissa tuloilmakanaviin on voinut kertyä epäpuhtauksia esimerkiksi jo rakennusvaiheessa tai tuloilmasuodattimien huonon kunnon johdosta. Tyypillisimpiä tarkastuskohteita ovat tulo- ja poistoilmakanavat laitteineen, puhaltimien käyntiajat, ilmanvaihdon konehuoneet ja/tai huippuimurit, huolto- ja tarkastusluukut, venttiilit, pohjaluukut, kattoluukut ja ilmavirrat. [21, s. 5; 22, s. 2.]

Puhdistuslaitteet ja -menetelmät valitaan aina kohteen mukaan. Nykyään paras puhdistustulos saadaan pyörivällä harjalla, joka on todella monipuolinen puhdistuslaite erikoisiin ja erimuotoisiin ilmanvaihtojärjestelmiin. Tässä menetelmässä harjan irrottamalla imetään alipainepuhaltimella suoraan suodatinyksikköön. Rakennuksen oman huippuimurin tuottama alipaine riittää poistoilmavaihtolaitoksen kanavien alipaineistukseen pitämällä se täydellä teholla koko puhdistuksen ajan. Tässä tapauksessa osa pystynousukanavista joudutaan sulkemaan, jotta puhdistettavaan pystynousuun saadaan aikaiseksi riittävä alipaine. Pystynousukanavien puhdistuksessa on syytä myös huolehtia siitä, että pystynousujen alapääät tulevat puhdistetuiksi, sillä alipaine ei välttämättä pysty poistamaan kaikkea puhdistuksessa irronnutta likaa. Keittiön liesikuvut ja liitoskanavat vaativat yleensä tehokkaampaa mekaanista harjausta kaiken kertyneen rasvan poistamiseksi. Tyypillisesti ilmanvaihtolaitoksen puhdistuksessa joudutaan käyttämään montaa eri työmenetelmää ja joissakin tapauksissa esimerkiksi jonkin todella likaisen kanavan osan tai venttiilien uusiminen on parempi vaihtoehto kuin niiden puhdistus. Tavanomaiset puhdistusmenetelmät ovat koneellinen ja käsikäyttöinen harjaus, imurointi, alipaineistusmenetelmä, paineilmapuhdistus, pesu, höyrypuhdistus, kemiallinen pesu ja desinfiointi. Puhdistustulos tarkastetaan yleensä pistokokein silmämääräisesti ja/tai pyyhkäisymenetelmällä (mikäli pöly kasaantuu, on puhdistustulos riittämätön). Tarkastuksessa tarkastetaan venttiilit sekä puhdistusluukuista pystynousujen alapäiden ja kokoojakanavien puhtaus. Joissakin tapauksissa, mikäli halutaan tarkempaa selvitystä puhdistuksen laadusta, käytetään kanavien sisäpuolista videokuvausta apuna.

### 7.1.3 Säätyötä edeltävät työvaiheet

Ilmanvaihtojärjestelmän säätyötä edeltävät työvaiheet on esitelty LVI-Kortissa *Ilmanvaihtolaitoksen perussäätö* kuvan 13 mukaisesti.



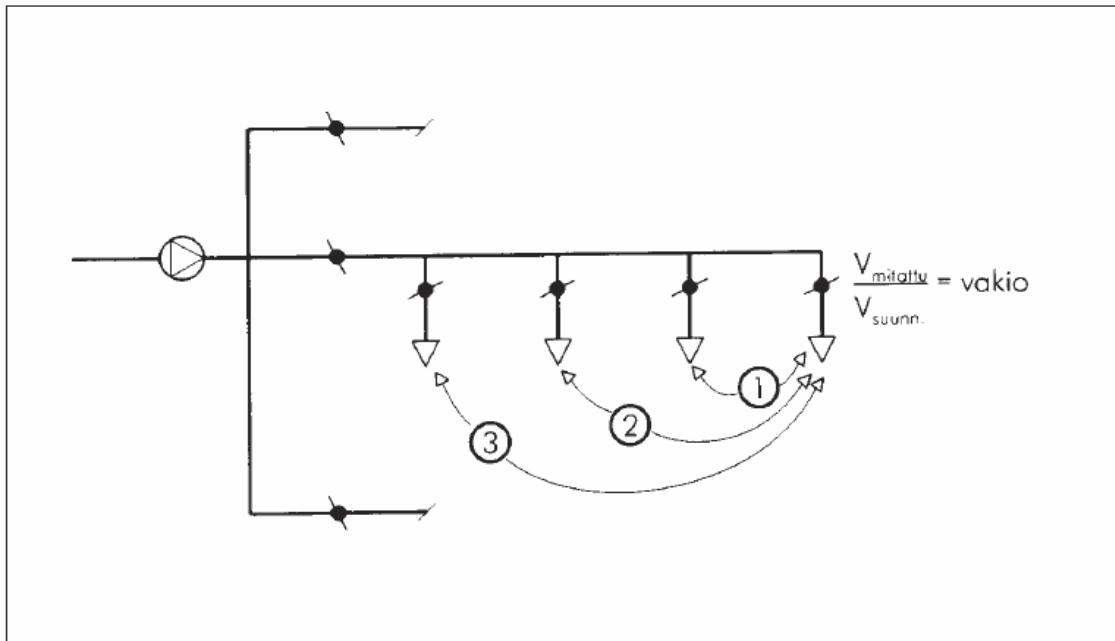


Kuva 13. Ilmanvaihtojärjestelmän säätötyötä edeltävät työvaiheet [23, s. 3].

#### 7.1.4 Säätoimenetelmät

Kun ilmanvaihtojärjestelmä on puhdistettu ja suodattimien kunto tarkistettu, se voidaan säätää suunnitelmien ja määräysten mukaisiin arvoihin. Ilmanvaihtojärjestelmän säätö alkaa järjestelmän tarkastuksesta, jossa huomioidaan, että ilmanvaihtokoneet toimivat, ohjausautomaatiikka on kunnossa, kanavisto on kunnossa ja puhdistettu, venttiilit ja säätöpellit ovat paikoillaan, palopellit ovat auki, ulkoilmareitit ovat kunnossa sekä rakennuksen ikkunoiden, ulkoseinien, ovien ja välipohjan tiiviyydessä ei ole merkittäviä puutteita. Tämän jälkeen kanaviston kaikki päätelaitteet ja säätimet asetetaan auki asentoon ja venttiilien ilmavirrat mitataan.

Tyypillisesti järjestelmän säätö tehdään ns. suhteellisella säätömenetelmällä, missä järjestelmän säätö aloitetaan puhaltimesta kauimmaisen pisteen (koko kanaviston referenssiventtiili) vieressä olevan venttiilin ilmavirran mittauksella, minkä jälkeen laskeaan tästä saadun mittaustuloksen ja suunnitelmissa olevan ilmavirran suhde (ks. kuva 14). Kanaviston referenssiventtiiliin ja toiseksi puhaltimelta kauimpana olevan venttiiliin suhteelliset tilavuusvirrat säädetään yhtä suuriksi. Tämän jälkeen edetään puhaltimelta kolmanneksi kauimpaan venttiiliin ja säädetään siihen sama suhteellinen tilavuusvirta kuin kahteen aikaisempaan venttiiliin ja jatketaan kanaviston haara loppuun samalla tapaa. Jokaisella haaralla referenssiventtiilinä toimii haaran kauimmainen venttiili. Haaran jokaisen venttiilin säädön jälkeen tulisi tarkastaa, että kyseisen haaran referenssiventtiiliin suhteellinen tilavuusvirta pysyy samana. Kun taas seuraavaksi puhallinta lähempänä olevan haaran referenssiventtiiliä säädetään, on tarkistettava, että **koko kanaviston referenssiventtiiliin** suhteellinen tilavuusvirta pysyy samana. Puhallin olisi hyvä asettaa käymään säätöjen aikana täydellä teholla, jotta mittaustarkkuus olisi tarkempi ja mahdollisten ulkoisten häiriötekijöiden vaikutus olisi pienempi. Kun kaikkiin venttiileihin on säädetty sama suhteellinen tilavuusvirta, säädetään koko kanaviston referenssiventtiiliin ilmavirta oikean suuruiseksi säätämällä puhaltimen kokonaisilmavirtaa taajuusmuuttajalla, hihnapyöriä vaihtamalla tai niiden välityksiä muuttamalla. Mikäli puhaltimen säädön jälkeen sen mitoitusilmavirta alittuu yli 10 % tai ylittyy yli 20 %, vaihdetaan uusi sopivampi puhallin. Jos taas puhaltimen mitoitusilmavirta ylittyy 10–20 %, asennetaan puhaltimeen kuristuslaippa tai kuristetaan ilmavirtaa olemassa olevilla säätöpelleillä (mahdollisia ääniongelmia). Säädön jälkeen suhteellisen tilavuusvirran tulisi olla koko kanaviston referenssiventtiilissä yksi (1). [21, s. 6; 24, s. 120]



Kuva 14. Ilmanvaihtojärjestelmän suhteellinen tasapainotuksen säätöjärjestys ja suhteellisen tilavuusvirran kaava [25, s. 2].

#### 7.1.5 Ajankäyttö

LVI-kortissa *Ilmanvaihtolaitoksen* perussäätö on esitetty taulukoiden 9 ja 10 ilmanvaihtolaitoksen perussäätöön arvioitu tarvittava aika, kun säätötyön tekee kokenut säätäjä, jolla on yksi (1) avustaja. Arvioituun aikaan kuuluvat säätötyön esivalmistelut, mittaukset ja itse järjestelmän säätö.

Taulukko 9. Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä säädettävien korkeapaineventtiilein, mittaus venttiileistä [23, s. 2].

Kokonaisilmavirta	3000 – 7000 m <sup>3</sup> /h
Venttiilien lukumäärä	40 – 70 kpl
Ajankäyttö venttiiliä kohti	0,25 – 0,5 h
Ajankäyttö 1000 m <sup>3</sup> /h kohti	1,75 – 4,5 h

Taulukko 10. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (matalapainelaitos), mittaus ilmanvaihtokanavista [23, s. 2].

Kokonaisilmavirta	8000 – 25 000 m <sup>3</sup> /h
Venttiilien lukumäärä	60 – 420 kpl
Ajankäyttö venttiiliä kohti	0,5 – 0,75 h
Ajankäyttö 1000 m <sup>3</sup> /h kohti	1,8 – 9,2 h

Tyypillisesti ilmanvaihtojärjestelmän säätöön käytetystä kokonaisajasta noin 15–35 % kuluu erinäisiin säätöä hidastuttaviin viivästyksiin, joita aiheuttavat esimerkiksi seuraavat seikat:

- laitos ei ole valmis säätötyölle
- koordinointi on puutteellista (lattia-, sisäkatto- tai sähkötyöt ajoitettu säätötyön ohelle).

Tästä johtuen säätötyölle arvioitavaan aikaan olisi hyvä lisätä noin 15–50 % ylimääräistä sen suunnitteluvaiheessa.

#### 7.1.6 Säädön kustannukset ja hyöty

Kun ilmanvaihtojärjestelmä on säädetty sen suunnitelluille arvoille, ovat ilmanvaihdon äänitaso, vaikutukset rakennuksen energiatalouteen, viihtyisyyteen, rakenteisiin sekä tiloissa oleskelijoiden terveyteen ja työtehokkuuteen parantuneet kertaheitolla. Luonnollisesti vaikutus on suurempi, mikäli lähtökohtana on ollut huonosti toimiva ilmanvaihtojärjestelmä. VVO:n tekemän selvityksen mukaan asuinrakennuksen ilmanvaihtolaitteiston puhdistus ja säätötyö tulee maksamaan noin 1–2 €/asm<sup>2</sup>.

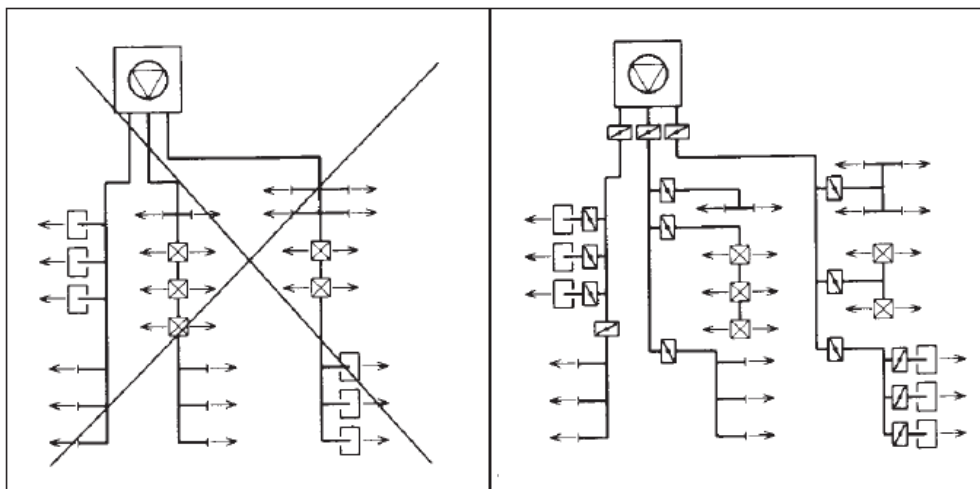
[10, s. 12.]

### 7.1.7 Säädön ongelmakohtat ja ilmanvaihtosuunnitelmat

Ilmanvaihtojärjestelmän säädön ongelmat pohjautuvat tyypillisesti ilmanvaihtosuunnitelmien ongelmakohtiin. Kun suunnitelmissa ei ole otettu huomioon ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotusta tai äänitasoja, tulee järjestelmän säätöä hankaloittavia ongelmia välittömästi. Myös jo mainittujen säätötyön aloittamista hidastavien esteiden aiheuttamat ongelmat ovat todella yleisiä. Ilmanvaihtokanavien tiiviys ja huonot säätötyön esivalmistelut (järjestelmän puhdistus) aiheuttavat myös erinäisiä ongelmia ilmanvaihtojärjestelmän säätötyölle. [25]

Ilmanvaihtosuunnitelmissa tulisi ottaa huomioon seuraavat seikat:

- Säätöpeltejä tulee olla riittävästi (kuva 15).
- Samassa haarakanavassa on oltava mahdollisimman samanlaisia venttiilejä mahdollisimman symmetrisesti sijoitettuna.
- Venttiilejä ei tule asentaa suoraan kanavan kylkeen (venttiilin ja kanavan välissä oltava vähintään 2 x venttiilin pituuden mittainen haara).
- Peräkkäisten haarojen etäisyys toisistaan on oltava vähintään 2 x kanavan halkaisija.
- Ilmavirrat tulee olla mitattavissa jokaisesta venttiilistä ja pääkanavasta (ennen ja jälkeen mittauskohtaa on oltava häiriötön kanavaosuus) huonekohtaisesti.
- Mittauspaikkojen ja -menetelmien tulee olla merkitty piirustuksiin.



Kuva 15. Venttiilien sijoitus ja säätöpelit ovat tasapainotuksen kivijalka [25, s. 1].

## 7.2 Lämmitysjärjestelmän tasapainotus ja säätö

Lämmitysjärjestelmän tasapainotus ja säätö vaikuttaa todella merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen ja siten myös yhteiskunnan kokonaisenergiankulutukseen ja tätä kautta ilmaston lämpenemiseen ja kasvihuoneilmiöön. Rakennusten lämmitykseen meneekin noin viidennes Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Kun lämmitysjärjestelmä on perussäädetty suunnitelmien mukaisiin arvoihin, on kiinteistössä paremmat edellytykset miellyttävälle ja terveelliselle sisäilmastolle, eikä energiaakaan kulu hukkaan. Rakennuksen lämmitysjärjestelmän vesivirtojen säätö, eli alustava perussäätö tehdään uudisrakennuksissa aina ennen rakennuksen vastaanottamista ja varsinainen perussäätö eli lämpötilojen hienosäätö vasta lämmityskaudella ennen vuositakuutarkastusta. Aina kun järjestelmään tehdään muutoksia (esimerkiksi lisätään tai poistetaan pattereita) on järjestelmä säädettävä uudelleen. Jokainen aste yli 20 °C:n rakennuksen keskilämpötilassa lisää rakennuksen energiankulutusta vähintään 5 %. [27, s. 2; 28, s. 4; 29, s. 1.]

### 7.2.1 Miten lämmitysjärjestelmän toimivuus voidaan todeta?

Lämmitysjärjestelmän perussäädön tarpeellisuus huomataan tyypillisesti vasta siinä vaiheessa, kun kiinteistön energiakustannukset ovat nousseet hälyttävän suuriksi ja rakennuksen joissakin osissa lämpötila lähentelee 24 °C:ta, kun taas toisissa rakennuksen osissa lämpötila on liian viileä, mikä luo käyttäjille epämukavuuden tunnetta ja tästä johtuen kiinteistöhoitajille kertyy lisää käyttäjien valituksia. Tällaisessa tilanteessa lämpö ei jakaudu tasaisesti lämmitysjärjestelmän eri osiin, vaan järjestelmä on epätasapainossa. Varsinkin aamulämmitysvaiheessa lämmitysjärjestelmälle asetetaan kovat edellytykset, kun lämpimän vesivirran virtaus järjestelmässä kasvaa nopeasti ja sen tulisi levitä samalla tasaisesti järjestelmän eri osiin. Tällainen tilanne on hyvin tyypillinen. Ihannetilanteena rakennuksen sisälämpötilan arvot olisivat ohjearvojen ja määräysten mukaiset ja lämpö olisi jakaantunut tasaisesti rakennuksen eri osiin lämmitysjärjestelmän ollessa tasapainossa. [28, s. 4; 27, s. 4.]

### 7.2.2 Perussäädön edellytykset ja säätötyötä edeltävät työvaiheet

Jotta lämmitysjärjestelmän perussäätö onnistuisi kerralla, on säätötyölle asetettava erinäisiä edellytyksiä: mittaus- ja säätötyöt on suoritettava asiaan perehtyneen urakoitsijan toimesta, perussäätöprojektissa on oltava mukana asiantuntija (tyypillisesti kiinteistön ylläpitoon erikoistunut lvi-suunnittelija), kaikkien osapuolten on toimittava saumattomasti yhteistyössä, sisälämpötilojen ja energiankulutuksen selvitykset on oltava tehty. Lisäksi on laadittava täydelliset dokumentit säätötyöstä, ja suunnittelutyön on oltava erityisen tarkka. Ennen säätötyön aloittamista on varmistettava, että rakennuksen olosuhteet ovat normaalit (ilmanvaihto toiminnassa ja oikein säädetty, ikkunat ja ulko-ovet kiinni, lämpökuormat normaalit, rakennustekniset työt kunnossa jne.). Säätötyön onnistumista myös helpottaa, jos ulkolämpötila on ollut vähintään yhden vuorokauden tasainen ennen säätötöiden aloittamista. Kaikilla lämmönjako- ja putkitustavoilla perussäätöprosessi on hyvinkin samankaltainen. [27, s. 5; 29, s. 6.]

Tyypillisesti perussäätö alkaa, kun kiinteistöhoitaja valitsee suunnittelijan. Kun suunnittelija on valittu, tehdään suunnittelijan kanssa suunnittelusopimus, jossa varmistetaan, että kaikki sovitut työvaiheet ja dokumentit ovat mukana projektisuunnitelmassa. Seuraavana työvaiheena on säätötyön esivalmistelu, jossa selvitetään lämpöjohtojärjestelmiin liittyvien laitteiden kunto, energian- ja vedenkulutus muutaman vuoden ajalta sekä lämpöjohtojärjestelmän kunnossapidon edellyttämien kunnostustoimien (putkiston huuhtelu ja ilmaus sekä ikääntyneiden osien vaihto) tarve. Myös isännöitsijän ja huollosta vastaavan henkilön kanssa käydyt keskustelut mahdollisista ongelmakohtista ovat ensisijaisen tärkeitä. Mikäli sisäilman lämpötiloja ei ole vielä mitattu, ne voidaan mitata esivalmisteluvaiheessa. [27, s. 5.]

Seuraavana vaiheena selvitetään patteriventtiilien ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot. Mikäli näitä ei ole tiedossa, suunnittelija aloittaa varsinaisen suunnittelutyön. Suunnittelu tehdään tietokoneavusteisesti ajan tasalla olevien lämpöjohtopiirustuksien perusteella mallintamalla tietokoneelle lämpöjohtoverkosto ja syöttämällä tarvittavat patteri- ja putkitiedot laskentaohjelmaan. Näitä alkuarvoja suunnittelija työstää niin kauan laskentaohjelmassa, kunnes verkosto tasapainottuu kaikilta osiltaan asetettujen reunaehtojen (esimerkiksi venttiilien äänet ja säätöalueet, säätökeskukselle asetettava käyrä ja pumppun painetaso) mukaisesti.

Suunnittelutyön tuloksena tulee syntyä seuraavat dokumentit:

- työselitys
- piirustukset, joihin on merkitty uudet patterien ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot sekä tunnuksat
- linjasäätöventtiilien mittauspöytäkirjat
- tarkastus- ja vastaanottopöytäkirjat.

[27, s. 6.]

### 7.2.3 Säätömenetelmät (perussäätöprosessi)

Kun kaikki tarvittavat esivalmistelut on tehty ja suunnittelija on laatinut tarvittavat dokumentit, kiinteistöhoitaja yhdessä suunnittelijan kanssa valitsee asennusliikkeen suorittamaan säätötyön. Seuraavana suoritetaan varsinaisen säätötyön valmistelut, joihin kuuluu muun muassa:

- vastuuhenkilön suorittama työtapatarkastus
- jaksotetaan työvaiheet
- **asukastiedottaminen.**

Säätötyön valmisteluiden jälkeen päästään itse säätövaiheeseen. Lämmitysverkoston säätöön kuuluu kolme eri työvaihetta: vesivirtojen säätö eli alustava perussäätö, lämpötilojen säätö eli varsinainen perussäätö ja takuuaikainen säätö. Perusparannuskoh-teissa säätötyöt aloitetaan poistamalla patteriventtiilien termostaattiosat ja tyhjentämällä mutapussit. Tämän jälkeen verkostoon tehdään perusteellinen ilmaus ja uudisrakennuksissa verkosto myös luonnollisesti huuhdellaan ja täytetään ennen ilmausta. Verkoston täyttö ja ilmaus aloitetaan verkoston rungosta, jonka jälkeen edetään erikseen jokaiseen pystylinjaan. Tämän jälkeen kaikki patterit ilmataan. Suurin keskeinen syy lämmitysjärjestelmien perussäädön epäonnistumiseen on ollut puutteellinen ilmaus. [27, s. 7; 29, s. 6.]

Huolellisen ilmauksen ja mahdollisen täytön jälkeen verkoston paine tarkistetaan ja säädetään, minkä jälkeen patteri- ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvot sekä mahdolliset paine-erosäätimet asetetaan suunnitelmien mukaisesti. Tämän jälkeen kaikki moottori-



toimiset säätöventtiilit, magneettiventtiilit ja vastaavat venttiilit asetetaan auki-asentoon. Kun nämä kaikki säätötyöt on tehty, hienosäädetään kokonaisvesivirta pumpun säätöventtiilillä tarvittaessa. Tämän jälkeen mitataan linjasäätöventtiilien virtaamat ja tarvittaessa hienosäädetään. Linjasäätöventtiilien ja pumpun virtaaman suurin sallittu poikkeama suunnitellusta arvosta on  $\pm 10\%$ . [29, s. 6.]

Lämmitysverkoston vesivirtojen säätötyöhön kuuluvat pelkistetysti seuraavat työvaiheet:

- patteriventtiilien suojahattujen ja termostaattiosien poistaminen
- mutapussien tyhjentäminen
- verkoston ilmaus ja mahdollinen täyttö uudisrakennuksissa
- verkoston paineen säätö
- patteriventtiilien ja linjasäätöventtiilien esisäätöarvojen asetus
- moottoritoimisten säätöventtiilien, magneettiventtiilien ja vastaavien venttiilien asettaminen auki asentoon
- kokonaisvesivirran säätäminen pumpun säätöventtiilillä.

Lämpötilojen säätö eli varsinainen perussäätö alkaa, kun säätökeskuksesta muutetaan verkoston menoveden lämpötilaa. Menoveden lämpötilaa on syytä muuttaa vain vähän kerrallaan. Säätökeskuksen lämpötilan säätökäyrän hienovaraisen muutoksen jälkeen lämpötilojen on annettava tasaantua vähintään kaksi (2) vuorokautta. Kun menoveden lämpötilaa muutetaan 2–3 °C, tiedetään huonelämpötilan muuttuvan noin 1 °C. Lämpöverkoston säätökeskuksen säätökäyrää voidaan muuttaa joko käsin tai säätökeskus voi tehdä säätökäyrän muutokset itsenäisesti olosuhteiden muuttuessa. [29, s. 6.]

Kun oikea säätökäyrä on löytynyt, suoritetaan sisäilman lämpötilamittaukset. Mikäli sisäilman lämpötilat poikkeavat enemmän kuin  $\pm 5\text{ °C}$  ohjearvoista, muutetaan linjasäätöventtiilin virtaamaa patterikohtaisten virtaamien tasapainottamiseksi. Kun patteriventtiilejä joudutaan säätämään, muutetaan niiden esisäätöarvoa korkeintaan yksi asteikkoväli kerrallaan. Muutoksien jälkeen odotetaan yksi vuorokausi, jonka jälkeen suoritetaan huonelämpötilojen tarkistusmittaus. Mikäli patteriventtiilien esisäätöarvojen tarkistussäädöillä ei saada sopivaa sisäilman lämpötilaa, muutetaan linjasäätöventtiilin

virtaamaa, minkä jälkeen koko verkoston linjasäätöventtiileiden virtaamat on tarkastettava ja mahdollisesti hienosäädettävä.

Kun rakennuksen sisäilman lämpötila on ohjearvon mukainen, asennetaan kaikkien patteriventtiilien termostaattiosat paikoilleen säädettynä haluttuun huonelämpötilaan ja kiinnitetään käsipyörät sekä lukitaan yleisten tilojen venttiilit.

Näiden kaikkien säätötoimenpiteiden jälkeen, kun kaikkiin rakennuksen osiin on saatu haluttu ohjearvossa oleva sisälämpötila, on mittaustuloksista ja säätöarvoista tehtävä pöytäkirja, joka liitetään luovutusasiapapereihin.

Mittauspöytäkirjaan tulee merkitä seuraavat asiat:

- säädön suorittaja allekirjoituksineen
- säätämisaikakohta
- mittaustilanteen ulkolämpötila
- verkoston meno- ja paluuvien lämpötilat
- huonelämpötilat
- huoneiden numerot tai muut tunnukset
- linjasäätö- sekä patteriventtiilien esisäätöarvot
- havainnot
- huoneiden ilmansuunnat
- kommentit lämpökuormituksesta.

#### 7.2.4 Säätöjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmän säätömenetelmiä on muutamia erilaisia. Tyypillisin vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän säätömenetelmä on menoveden lämpötilan säätö ulkoilman lämpötilan mukaan, jossa järjestelmän säätökeskus ohjaa järjestelmän säätöventtiiliä ulkolämpötilan mukaan pitäen menoveden lämpötilan valitun säätökäyrän mukaisena. Tämä säätömenetelmä ei ota huomioon ollenkaan rakennuksen sisälämpötilaa ennen kuin säätöjärjestelmä on varustettu huonelämpötila-anturilla (tyypillisesti yksi anturi sijoitettuna huoneistoon keskeisesti), joka lähettää tiettyinä ajanjaksoina rekisteröidyt lämpö-

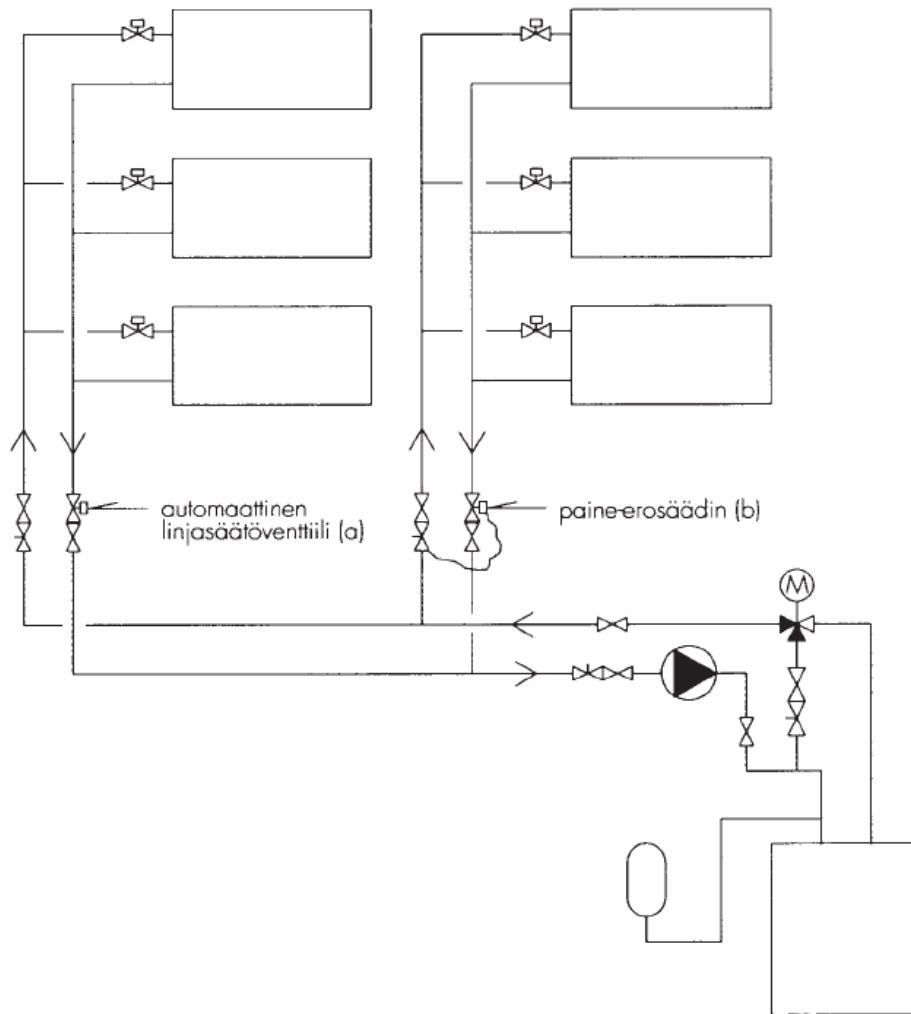
tilatiedot säätökeskukselle ja säätökeskus muuttaa tietojen perusteella automaattisesti säätökäyrää. [29, s. 2–3.]

Yksinkertaisessa ja pienessä lämmitysjärjestelmän verkostossa käytetään tyypillisesti linjasäätöventtiileitä ja esisäädettäviä termostaattisia patteriventtiileitä verkoston vesivirtojen säätöön ja paine-erojen tasaamiseen. Suuremmissa järjestelmissä virtaustekni- sen vakauden saavuttamiseksi ja ääniongelmien estämiseksi, käytetään paine-erojen tasaamiseen lisäksi joko vyöhykekohtaista painesäätöä, keskitettyä painesäätöä tai linjakohtaista painesäätöä. [29, s. 3.]

Vyöhykekohtaista säätöä käytetään tyypillisesti silloin, kun rakennus on jaettu eri käytötarkoituksiin tai rakennuksen eri osissa on erilaiset vaatimukset sisäilmastolle ja läm- pötiloille. Vyöhykkeet ovat säädettävissä tyypillisesti omina verkostoinaan. Keskitetyssä paineensäädössä verkoston meno- ja paluupuolen putkien välistä paine-eroa säädetään välittömässä etäisyydessä lämmönlähteestä. Suurin ehto keskitetylle paineensäädölle on, että verkostolla on oltava pieni painehäviö; tällöin linjakohtaista paineensäätöä ei tarvita. [29, s. 3.]

Keskitetty paineensäätö voidaan toteuttaa joko paine-erosäätimellä, joka mittaa ver- koston meno- ja paluuputken paine-eroa säätäen samalla verkoston painetta, tai pai- nesäädetyllä pumpulla (suojattava sähköisesti sähköverkon häiriöiden estämiseksi), joka pitää meno- ja paluuputkien paine-eron tasaisena meno- ja paluuputkessa olevien mittauspisteiden tietojen avulla. [29, s. 4.]

Kolmas paineensäätömenetelmä on linjakohtainen paineensäätö (kuva 16), missä lin- jasäätöventtiili tai paine-erosäädin on asennettu linjojen meno- ja paluuputkiin. Tällä tavoin säädetään linjakohtaisia meno- ja paluuputkien paine-eroja. Verkoston painehä- viön ollessa suuri voidaan verkoston stabiilius varmistaa vain linjakohtaisella paineen- säädöllä joko linjakohtaisilla automaattisilla linjasäätöventtiileillä tai paine-erosäätimillä. Tällä säätömenetelmällä päästään säätö- ja ääniteknisesti parhaaseen lopputulokseen. [29, s. 5.]



Kuva 16. Linjakohtainen paineensäätömenetelmä [29, s. 5].

### 7.2.5 Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysverkoston perussäätö

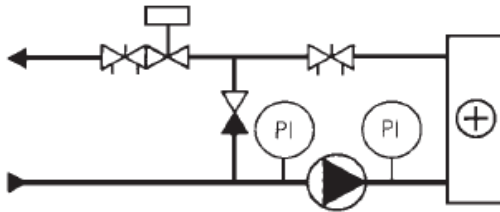
Ilmastointikoneiden pattereiden lämminvesiverkoston perussäätö suoritetaan seuraavan työjärjestyksen mukaisesti:

- 1 Pumpun ja lämmönsiirtimen ylitse mitataan paine-ero, josta saadaan selville, onko perussäädön suorittaminen ylipäätään mahdollista.
- 2 Patteripiirien kertosäätöventtiilit säädetään patteri kerrallaan ja kukin patteri suljetaan pois verkostosta sulkemalla moottoriventtiili tai verkostohaaran sulkuventtiili (varottava patterin jäätymistä kylmillä ilmoilla).
- 3 Patterin virtausarvo säädetään samanaikaisesti virtaamaa mittaamalla ja venttiiliä säätämällä.

- 4 Kun patterin virtausarvo on säädetty oikean suuruiseksi, voidaan suljettu venttiili palauttaa alkuperäiseen tilaansa. Myös moottoriventtiili voidaan tässä vaiheessa ajaa auki, mikäli jäätymisvaaraa ei ole.
- 5 Kaikki verkoston moottori- ja magneettiventtiilit on ajettava auki (asetetaan säätimen asetusarvo niin korkeaksi, että venttiilit aukeavat) ja verkostohaarojen säätöventtiilit säädetään. Säättöyön aikana syntyy luonnollisesti ylimääräistä lämpökuormaa, joten säättöyö on syytä tehdä rakennuksen käyttöajan ulkopuolella. Normaalin verkoston menoveden säätökäyrää on myös syytä laskea säättöyön ajaksi.
- 6 Säättöyö aloitetaan suurimman virtaaman tarvitsemasta venttiilistä ja sama toimenpide tehdään kaikilla koneilla. On huomioitava, että yhden venttiilin säätäminen vaikuttaa kaikkiin muihin verkostohaaroihin, koska venttiilit sijaitsevat rinnan.
- 7 Verkostohaarat on syytä käydä mittaamassa ja säätämässä useita kertoja; noin 3–4 mittauskierrosta riittää. Venttiileille on säädettävä aina oikea virtaus, mikäli mahdollista.
- 8 Kun kaikki säättöyöt on tehty, tarkastetaan vielä patteripiirien virtaamat, palautetaan moottori- ja magneettiventtiilit sekä kaikki muut mahdolliset tilapäisjärjestelyt ennalleen.
- 9 Ilmanvaihtokoneen patterin lämminvesiverkoston perussäädöstä tehdään pöytäkirja, jossa tulee olla mainittuna säädön suorittajan nimi, päivämäärä, venttiilityypit ja -koot, venttiilien sijainnit yksikäsitteisesti, halutut virtaamat, säädetyt virtaamat ja venttiilien säätöarvot. [30, s. 2.]

Mikäli patteripiirissä ei saavuteta haluttuja arvoja, on syynä yleensä liian pieni pumppu, liian suuret kertavastukset pattereissa, lämmönsiirtimessä tai yksisuuntaventtiilissä [30, s. 2].

Kuva 17 esittää etulämmityspatterin kytkennän 2-tiemoottoriventtiilillä.

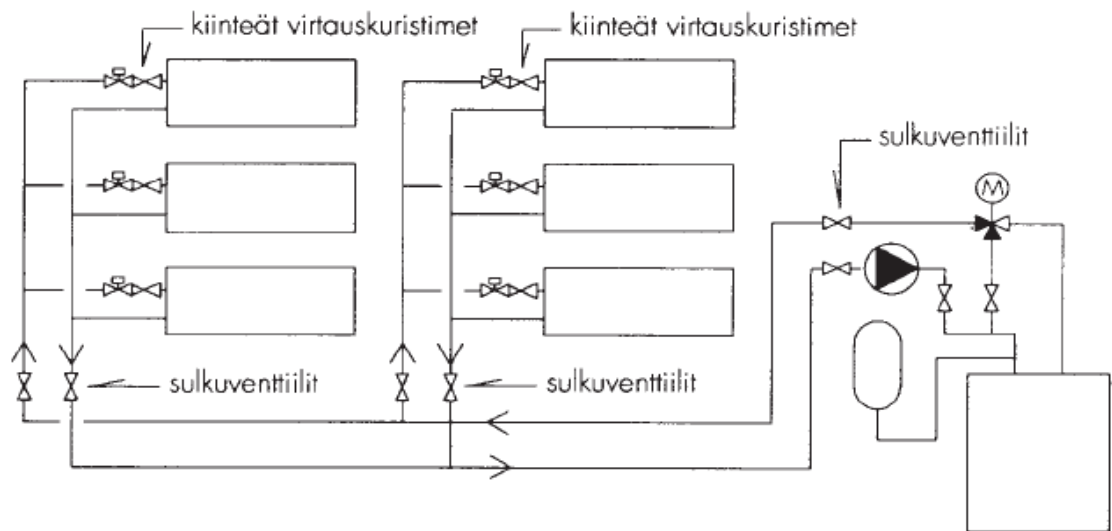


Kuva 17. Etulämmityspatterin kytkentä 2-tiemoottoriventtiilillä [30, s. 1].

### 7.2.6 Muita säätömenetelmiä

Verkoston tyypillisestä tasapainotuksesta poikkeavia säätömenetelmiä on muutamia erilaisia; perussäätö vakiopainemenetelmällä ja perussäätö kiinteillä virtauskuristimilla (kuva 18). Vakiopainemenetelmällä säädettäessä linjojen paine-erot mitataan ja kokonaisvesivirta saadaan halutun suuruiseksi oikein mitoitetulla pumpulla. Tässä menetelmässä mitataan vesivirran sijasta paine-eroa. Tällä menetelmällä voidaan päästä edulliseen ja tarkkaan perussäätöön. [29, s. 8.]

Säädettäessä kiinteillä patterikohtaisilla virtauskuristimilla ei linjasäätöventtiileitä tarvita, vaan jokaiselle patterille lasketaan yksilöllisesti tietokoneohjelman avulla kiinteiden virtauskuristimien kv-arvot. Virtauskuristimet voidaan asentaa heti, kun lämmitysverkosto on asennettu lopulliseen käyttökuntoon, minkä jälkeen verkosto täytetään ja ilmataan ja säätökeskuksen säätökäyrä asetetaan haluttuun arvoon. Seuraavaksi tarkistetaan huonelämpötilat sopivan ulkolämpötilan (0...–5 °C) vallitessa, minkä jälkeen tehdään pöytäkirja, josta tulee käydä ilmi kaikki lasketut, säädetyt ja mitatut arvot. Loppudokumenteissa tulee olla myös piirustukset, joihin on merkitty kaikki asennetut virtauskuristimet. [29, s. 8.]



Kuva 18. Kiinteät patterikohtaiset virtauskuristimet [29, s. 8].

### 7.2.7 Säädön kustannukset ja hyöty

Lämmitysverkoston perussäädön hyötynä on noin 10–15 % vähentynyt rakennuksen energiankulutus, kaikkien huoneiden suunnitelmien mukaisen sisälämpötilan varmistaminen, mahdollisesti epäterveen sisäilmaston muuttaminen parempaan suuntaan ja täten rakennuksen käyttäjien kohentunut viihtyisyys ja terveys. [27, s. 12.]

Uudisrakennuskohteissa täsmällisesti tehty säätötyö ei juuri tuo lisähintaa urakalle, ja perusparannuskohteissa lämmitysjärjestelmän tasapainotus maksaa itsensä takaisin varsin nopeasti pienentyneinä energialaskuina ja rakennuksen käyttäjien tyytyväisyytenä. VVO:n tekemän selvityksen mukaan asuinrakennuksissa lämmönsäätö tulee kustantamaan noin 4 €/asm<sup>2</sup>. [27, s. 11; 10, s. 12.]

### 7.2.8 Säädön ongelmakohdat

Säätötyön ongelmat pohjautuvat tyypillisesti joko huonoihin suunnitelmiin tai uudisrakennuksissa huonoon asennustyöhön, muun muassa verkoston täytön ja ilmauksen huolimattomaan toteutukseen. Mikäli lämmitys-/jäähdytys suunnittelussa ei ole otettu huomioon verkoston säätöä (linjasäätöventtiilit, putkireitit, mittausyhteet, mittarit, anturit jne.) kunnolla, voi verkoston säätö olla mahdotonta toteuttaa onnistuneesti. On-

gelmana voidaan myös pitää perusparannuskohteissa riittämätöntä asukkaiden informointia, minkä johdosta säätötyölle tulee viivästyksiä.

### 7.3 Käyttöveden säätö

Käyttöveden säätö on suhteellisen yksinkertainen työvaihe, mikäli suunnitelmissa ei ole suurempia ongelmakohtia ja lämpimän käyttöveden pumppu sekä venttiilit on valittu oikein. Riittävästä lämpimän käyttöveden määrästä huolehtii lämminvesiverkon ensiöpuolella ennen käyttöveden lämmönsiirintä oleva käyttöveden säätöventtiili. Säätokeus ohjaa tätä venttiiliä siten, että lämpimän käyttöveden lämpötila pysyy sen asetusarvossa (vähintään 55 °C). Lämmönsiirtimien teho mitoitetaan kuitenkin niin, että siitä saatava lämpimän käyttöveden lämpötila olisi mitoitusvirtaamalla 58 °C. On hyvin tärkeää, että tämä venttiili on oikein mitoitettu ja tarkoituksenmukaisessa kunnossa, sillä väärin toimiessaan lämpimän käyttöveden säätöventtiili aiheuttaa tyypillisesti käyttöveden lämpötilan huojuntaa.

Käyttöveden suunnitteluvaihe on erityisen tärkeä, jotta jokaiselle vesipisteelle saadaan haluttu virtaama. Joissakin tapauksissa kunnan vesijohtoverkoston paine ei riitä tuottamaan tarvittavaa virtaamaa kaikille vesipisteille, vaan rakennukseen joudutaan asentamaan käyttöveden paineenkorotusasema yhdellä tai useammalla käyttövesipumpulla. On hyvin tärkeää, että nämä pumput on mitoitettu oikein. Käyttövesipiirin paineet säädetään halutuiksi käyttövesiverkoston linjasäätöventtiilien ja pumppujen taajuusmuuttajien avulla. Lämpimän käyttöveden puolella on tyypillisesti lämminvesikierto. Lämminvesikierrrossa lämpimän käyttöveden pumppu kierrättää lämmintä käyttövettä, jotta lämmintä käyttövettä tarvitsevat lämmönlähteestä kaukaisimmat pisteet saisivat ohjearvon mukaisessa ajassa ohjearvon mukaisen lämpöistä vettä.



## 8 Tulevaisuus

### 8.1 Aatteita tulevaisuuden talotekniikasta

Tulevaisuudessa rakennuksien käyttäjät vaativat yhä enemmän talotekniikalta ja sisäilmastolta lisääntyneen tiedonsaannin (esimerkiksi sisäilman vaikutus terveyteen) ja sisätiloissa oleskelun vuoksi. yhtenä seikkana, johon tulevaisuudessa olisi syytä kiinnittää huomiota, on taloteknisten järjestelmien käytön kehittäminen käyttäjäystävällisempään ja helppokäyttöisempään suuntaan. Tulevaisuudessa muuttuvailmavirtaiset ja huoneistokohtaiset ilmastointijärjestelmät tulevat yleistymään, ja täten myös käyttäjien vaikutus sisäilmastoon tulee suurenemaan. Toimistorakennuksissa työpisteillä ja asuinrakennuksissa huoneistoissa tulee olemaan omat sisäilman lämpötilan ja ilmapirran säätöpaneelit. Myös liikerakennusten, koulujen, päiväkotien, sairaaloiden ja muiden yleisten tilojen ilmanvaihto tullaan toteuttamaan muuttuvailmavirtaisina ja muuttuvälämpöisinä järjestelminä, joita ohjaavat hiilidioksidi- ja lämpötila-anturit.

### 8.2 Helppokäyttöisen talotekniikan kehittäminen

Käyttäjäsäädöllä varustettujen taloteknisten laitteiden todellinen käyttötapa on tyypillisesti aivan erilainen kuin niiden suunniteltu käyttötapa. Muun muassa kerrostalon lämmön talteenotolla varustettujen huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden kohdalla on suuria puutteita käyttöpastuksessa ja käyttömukavuudessa. Usein näitä koneita ei käytetäkään suunnitelmien mukaisesti. Huonosti käytettyinä tällaiset järjestelmät, joita käyttäjä voi itse säätää, lisäävät sisäilmasto-ongelmia ja kasvaneita energiakuluja. [8, s. 1.]

Vuonna 1998 julkaistu sertifikaatti *SFS-EN ISO 9241-11* määrittelee tuotteen käytettävyyden seuraavan virkkeen mukaisesti:

Käytettävyydeltään hyvää tuotetta pystytään käyttämään tuottavasti, tehokkaasti ja tyytyväisenä.

Tuottavuudella tarkoitetaan tuotteen käyttäjän pääsemistä tuotteen avulla tavoitteeseensa, tehokkuudella sitä, että haluttu tulos saavutetaan kohtuullisilla resursseilla ja tyytyväisyydellä käyttäjän kokemusta tuotteesta. [8, s. 1.]

Taloteknisten järjestelmien käyttäjäystävällisyyteen on nykypäivänä ryhdytty yhä enenevässä määrin kiinnittämään huomiota. Tuotteiden loppukäyttäjät (varsinaiset käyttäjät) otetaan taloteknisten laitteiden ja järjestelmien kehityksessä yhä enemmän huomioon. Tyypillisin ongelmakohta lämmönsäätölaitteissa on, että käyttäjät eivät ymmärrä niiden symbolikieltä ja joissakin tapauksissa huonetermostaattia ei edes tunnisteta lämmönsäätimeksi ja jos tunnistetaan, ajatellaan sen säätämisen kuuluvan vain huoltohenkilökunnalle. Tulevaisuudessa tulisi kehittää selkeämpiä ja yksinkertaisempia säätömenetelmiä, ja on muistettava, että käyttömukavuudeltaan parempi tuote on tyypillisesti halutumpi tuote ja näin laitevalmistajan etu. Ihmisiä voitaisiin myös kouluttaa näiden taloteknisten säätömenetelmien käyttöön, mutta on kuitenkin epätodennäköistä, että ihmisillä riittäisi mielenkiinto käymään erilaisissa koulutustilaisuuksissa, joten ensimmäisenä vaihtoehtona tulee aina olemaan helppokäyttöisempien säätömenetelmien kehittäminen ja jälkimmäisenä vaihtoehtona tulee vasta käyttäjien koulutus. Helppokäyttöisen talotekniikan hyötyjä eri osapuolille on esitelty taulukossa 11. [8, s. 1.]

Taulukko 11. Helppokäyttöisen talotekniikan hyötyjä eri osapuolille Karjalaisen mukaan [8, s. 1].

Osapuoli	Potentiaalinen hyöty
Työntekijä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viihtyisämmät sisäolosuhteet</li> <li>• terveellisemmät sisäolosuhteet*</li> <li>• parantunut työn tehokkuus</li> <li>• miellyttävämmät laitteiden käyttökokeemukset</li> </ul>
Työnantaja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• parantunut työn tehokkuus</li> <li>• vähemmän sairauspoissaoloja*</li> <li>• terveellisemmät sisäolosuhteet*</li> </ul>
Kiinteistönomistaja (työtilojen omistaja)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tyytyväisemmät vuokralaiset</li> <li>• alentunut energiankulutus (mahdollisesti työnantajan hyöty riippuen siitä, kuka maksaa)</li> </ul>
Kiinteistöhoitajat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vähemmän kiinteistön käyttäjien valituksia sisäolosuhteista</li> <li>• vähemmän käyttötuen antamisen tarvetta</li> <li>• miellyttävämmät laitteiden käyttökokeemukset</li> </ul>
Asukas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viihtyisämmät sisäolosuhteet</li> <li>• miellyttävämmät laitteiden käyttökokeemukset</li> <li>• alentunut energiankulutus</li> </ul>
Talotekniikan laitevalmistaja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• halutumpi tuote</li> <li>• tyytyväisemmät käyttäjät</li> <li>• vähemmän käyttötuen antamisen tarvetta</li> </ul>

Taulukosta 11 päätellen helppokäyttöisen talotekniikan suosimisella ja kehittämisellä voidaan saada suuriakin hyötyjä kiinteistön omistajille, käyttäjille ja rakenteille sekä tuotteen valmistajalle. Tyypillisimpiä käytettävyysoongelmia voidaan estää suunniteltaessa talotekniset järjestelmät käyttäjäystävällisempään suuntaan käyttäen talotekniikan käyttäjäkeskeisiä suunnitteluperiaatteita, jotka on esitelty kuvassa 19. [8, s. 5.]

<p><b>Talotekniikan kymmenen käyttäjakeskeistä suunnitteluperiaatetta</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Normaalina käyttöaikana sisäolosuhteiden tulee olla turvalliset, terveelliset, viihtyisät (keskimäärin miellyttävät) ja tasaiset.</li> <li>2. Yksilöllisten mieltymysten ja vaihtelevien tarpeiden vuoksi käyttäjien tulee voida vaikuttaa sisäolosuhteisiin (lämpötilaan, valaistukseen ym.).</li> <li>3. Käyttäjän pitää saada toimenpiteistään välitön ja selvästi havaittava palaute. Käyttöliittymässä esitettävä tieto on yksi tapa esittää palautetta. Palaute voi olla myös "luonnollinen", esimerkiksi huminan lisääntyminen tehostettaessa ilmanvaihtoa. Jos käyttäjällä ei ole suoria vaikutusmahdollisuuksia, vaan hän informoi kiinteistöhoitohenkilökuntaa tarpeistaan, on yhtä lailla tärkeää, että asiaan reagoidaan nopeasti ja käyttäjälle annetaan tieto tehdyistä toimenpiteistä.</li> <li>4. Manuaalisesti tehtävistä käyntiajan pidennyksistä ja tehostuksista tulisi olla mahdollista palata normaalitilaan sekä automaattisesti että manuaalisesti. Käyntiajan pidennyksen ja tehostuksen keston tulisi mieluummin olla valittavissa (järkevissä rajoissa). Jos kestolla on oletusarvo, se tulisi valita huolellisesti, jotta energiaa ei kuluteta suotta eikä käyttäjiä vaivata turhaan uusintatehostuksilla.</li> <li>5. Käyttöliittymien tulee viestiä käyttötarkoituksensa ja tilansa sekä olla järkevästi sijoitettuja. Lämmönsäätölaitteen tunnistettavuutta edistävät lämpötilaan viittaavat symbolit, kuten lämpömittari tai punainen ja sininen väri osoittamassa lämmintä ja kylmää. Käyttöliittymän tulee viestiä selkeästi, jos järjestelmä ei ole kyseisellä hetkellä käytössä (esim. jäähdytys talvella). Laitteet tulisi sijoittaa helposti ulottuville, ei esimerkiksi korkealle ylös tai maanrajaan.</li> <li>6. Käyttöliittymien tulee olla yksinkertaisia. Vähemmän tärkeät ja harvemmin käytetyt toiminnot eivät saa tuoda tarpeetonta monimutkaisuutta.</li> <li>7. Käyttöliittymän termien ja symbolien tulee olla helposti ja mahdollisimman yksiselitteisesti ymmärrettäviä. Väärinymmärryksen vaara on suuri, koska ihmiset tuntevat taloteknisten järjestelmien toimintaperiaatteita huonosti.</li> <li>8. Käyttäjän toimenpiteillä tulisi olla nopea vaikutus. Ihmisillä on taipumusta viivyttää säätötoimenpidettään, mutta kun toimenpide on tehty, halutaan nopea vaikutus; esimerkiksi huonelämpötilan halutaan muuttuvan nopeasti asetuksen muuttamisen jälkeen. Jos huonelämpötila muuttuu nopeasti, käyttäjillä on vähemmän tarvetta muihin toimenpiteisiin, esimerkiksi ikkunan avaamiseen.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. Tavoitteena tulisi olla, että laitetta tai järjestelmää voi käyttää ilman käyttöohjeita, mutta lyhyt ohje on usein tarpeen.</li> <li>10. Käyttöliittymien tulisi olla ulkoasultaan esteettisiä. Esteettinen ulkoasu lisää positiivista asennetta laitetta ja järjestelmää kohtaan. "Insinöörimäistä" ulkoasua tulee välttää, koska käyttöliittymien tulee olla kaikkia varten.</li> </ol> <p><b>Energiankulutukseen liittyviä näkökohtia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleisesti ottaen laitteiden käytettävyyden parantaminen edistää energiatehokkuutta, sillä se vähentää laitteiden epätarkoituksenmukaista käyttöä.</li> <li>• Koska vain osa käyttäjistä on motivoitunut hyödyntämään erityisiä energiansäästötoimintoja, tavoitteena tulisi olla, että laitteiden "normaali" käyttö on energiataloudellista.</li> <li>• Energiatehokkuuteen tulee pyrkiä, mutta tämä ei saa olla ainoa tavoite säätöjärjestelmien kehityksessä. Kukaan ei ehdota ikkunoiden poistamista taloista, vaikka se johtaisi merkittävään lämmitysenergian säästöön. Toisena esimerkkinä täysin automaattiset verhot tai kaihtimet – joihin käyttäjät eivät voi vaikuttaa mitenkään – eivät myöskään ole järkevä ratkaisu, vaikka niiden avulla voitaisiin vähentää sekä lämmityksen että jäähdityksen tarvetta.</li> <li>• Palautetieto kulutuksesta on hyvä motivaattori varsinkin, jos se auttaa kohdistamaan energiansäästötoimet järkevästi, olennaisimpiin tekijöihin. Lisäksi jos laite tai järjestelmä säästää energiaa, olisi hyödyllistä, jos säästö pystyttäisiin esittämään käyttäjälle mahdollisimman selkeästi ja havainnollisesti.</li> <li>• Laitteiden pitäisi pystyä tunnistamaan turhaan energiaa kulluttavat epätarkoituksenmukaiset asetukset ja viestittää niistä. Esimerkiksi jos lämmöntalteenoton ohituspeltili on unohtunut talveksi asentoon, jossa poistoilman lämpöä ei oteta talteen, käyttäjän tulisi saada tästä viesti.</li> <li>• Yksittäisten laitteiden toiminnan optimoinnin sijasta tulisi pyrkiä eri järjestelmien yhteisen käytön optimointiin käyttäjät huomioiden. Kokonaistoimivuus käyttäjät huomioiden on avain energiatehokkuuteen. Epärealistiset käsitykset käyttäjistä voivat johtaa siihen, että ennakoituja hyötyjä ei saavuteta.</li> </ul>
---	---

Kuva 19. Talotekniikan käyttäjakeskeisiä suunnitteluperiaatteita Karjalaisen mukaan [8, s. 4].

## 9 Asukaskysely

### 9.1 Kyselyn tausta ja tarkoitus

Asuinrakennuksen sisäilmaston laadun kartoittaminen suoritettiin kvantitatiivisen tutkimusmenetelmän (käyttäjäkyselyn) avulla. Asukaskyselylomakkeet lähetettiin pääkaupunkiseudulla sijaitsevan SRV:n vuonna 2009 rakennuttaman asuinkerrostalon 63 huoneistoon, joissa on huoneistokohtainen ilmanvaihto. Rakennuksen vieressä on käynnissä suuret tietyöt ja valmistumassa toinen asuinkerrostalo.

Käyttäjäkyselyn järjestäminen on hyvä keino saada alustava kuva rakennuksen sisäilmastosta. Tutkimustulosten analysoinnissa on kuitenkin otettava huomioon, että käyttäjien henkilökohtaiset mielipiteet ja mieltymykset voivat vaihdella keskenään hyvinkin paljon. Sisäilmastokyselyn tulosten perusteella tulevia korjaus- ja kunnostustarpeita voidaan havainnoida, välttyä suuremmilta mahdollisilta remonteilta sekä kehittää tulevien rakennushankkeiden rakennuksen sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä. Sisäilmastokyselyn seuraavana mahdollisena vaiheena ovat tyypillisesti erilaiset kuntotutkimukset, joissa sisäilmaston laatua tutkitaan aistihavainnoin ja tarvittaessa mittalaittein (ks. luku 6 *Sisäilmaston kuntotutkimus*). Kyselylomakkeet jaettiin huoneistoihin 21.4.2011. Asukaskysely on mestarityön liitteenä (liite 1).

### 9.2 Kyselyn tulosten analysointi

Asukaskyselyn vastausprosentiksi saatiin 43 % (27 vastausta 63 kyselylomakkeesta). Vastausprosentin suuruuteen vaikutti varmasti se, että kysely koski asukkaille hyvin tärkeää asiaa: heidän asuintalonsa sisäilman laatua. Asukkaat olivat yllättävän paljon kommentoineet vapaamuotoisesti huoneistonsa sisäilmaston laatua kyselylomakkeessa sille varattuun kenttään, mikä oli erityisen hyvä asia. Kommenttien ansiosta yksittäisten huoneistojen ongelmat saadaan selkeämmin esille kuin pelkän taulukkomaisen kyselylomakkeen avulla. Kyselytaulukon avulla sen sijaan vastustausten jakautuminen prosentuaalisesti saadaan erityisen hyvin esitettyä. Näiden kaikkien kommenttien ja kyselytaulukkojen pohjalta saatiin varsin hyvä kuva kartoitettavan asuinrakennuksen sisäilmastosta.

Asuinrakennuksessa oli tehty patteriverkoston tasapainotus 12.3.2009, mikä on liian myöhäinen ajankohta sisäilman lämpötilamittauksille ja lämmitysverkoston tasapainotukselle, kun ulkoilman lämpötila on tuona aikana tyypillisesti jo lähellä  $\pm 0$  °C:ta. Kyselylomakkeen vapaamuotoisista vastauksista saatiinkin selville, että monessa huoneistossa sisäilman lämpötila on talvisin liian viileä: noin 19 °C. Kesäisin huoneistoissa oli keskimääräisesti hiukan liian lämmin ja käyttäjät olisivat toivoneet, että ilmanvaihtokoneesta olisi löytynyt jäähdystoiminto.

Toinen suuri ongelma on huoneistoissa havaittava pöly ja lika pinnoilla, mikä pääasiassa varmasti johtuu viereisistä työmaista (tietyömaa ja asuinrakennuskohteet).

Huoneistokohtainen ilmanvaihtokone jakaa mielipiteet selvästi kahtia. Toisen puoliskon mielestä on todella hyvä, kun itse voi säätää konetta eivätkä tupakanhajut ja muut mahdolliset epäpuhtaudet kulkeudu muista huoneistoista ilmanvaihdon seurauksesta sisälle. Toisen puoliskon mielestä taasen koneen huolto ja käyttö on liian epäselvää ja huonosti informoitua ja ilmanvaihtolaitteen aiheuttama melu liian voimakasta. Vastauksissa oli muutama huoneisto, jotka olivat pienentäneet ilmanvaihtokoneen tehoa tai sulkeneet sen kokonaan pois päältä ilmanvaihdon aiheuttaman melun takia. Ilmanvaihtokone myös suljettiin yhdessä huoneistossa talvisin, koska asukkaan mielestä ilma on silloin liian kuivaa ja ilmanvaihtokone kuivattaisi huoneilmaa turhan paljon lisää. Tämä jos mikä huonontaa sisäilman laatua merkittävästi. Huoneistoihin olisikin syytä suorittaa äänitasomittaukset ja mahdolliset säätö-/korjaustoimenpiteet, jotta nämä ongelmat saataisiin poistettua. Joissakin tapauksissa tällaisissa tilanteissa joudutaan lisäämään ylimääräiset äänenvaimentimet, jotta ilmanvaihdon aiheuttama äänitaso laskisi. Muutama huoneisto oli pienentänyt koneen tehoa siinä toivossa, että huoneiston sisälämpötila ei laskisi talvella. Tässä tapauksessa ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin toimivuus olisi syytä tarkistaa lämpötilamittauksilla, jotta varmistettaisiin, tuleeko huoneeseen suunnitellun lämpöistä ilmaa. Tällaiset tapaukset ovat tyypillisimpiä ongelmia huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden kohdalla. Käyttäjät eivät välttämättä ymmärrä ilmanvaihdon merkitystä ja voivat näin jopa huonontaa tilannetta entisestään pienentämällä koneen tehoa tai kääntämällä ilmanvaihdon jopa kokonaan pois päältä.

Kyselylomakkeen taulukoiden tuloksista selviää, että merkittävä asukkaiden kokema haitta on huoneistojen liian kylmät lämpötilat talvisin ja liian korkeat lämpötilat kesä-

sin, mikä pääosin johtuu luultavammin huonosti toteutetusta lämmitysverkoston ilmapuhtautuksesta ja tasapainotuksesta sekä mahdollisesti ilmanvaihdon lämmityspatterin huonosta säädöistä. Myös ilman kuivuus sekä pinnoilla havaittava pöly tai lika on huoneistoissa merkittävimpiä ongelmia.

Taulukoiden tulosten perusteella voidaan kartoitetussa asuinrakennuksessa loppujen lopuksi todeta olevan suhteellisen hyvä sisäilmaston laatu, jossa kuitenkin on hieman parantamisen varaa. Kohteesta huomataan hyvin, että vaikka rakennus on suhteellisen uusi, eivät kaikki sen osa-alueet toimi niin kuin pitäisi, vaan lämmitysverkoston säätö ja ilmanvaihtolaitteiden toiminnan tarkastaminen olisi pitänyt suorittaa täsmällisemmin rakennuksen käyttöönoton jälkeisellä lämmityskaudella.

## 10 Yhteenveto

Mestarityön tavoitteena oli antaa lukijalle selkeä kuva tyypillisimmistä sisäilmasto-ongelmista, sisäilmaston laadun mittausmenetelmistä ja vaikutuksesta yhteiskuntaan sekä tietoa taloteknisten järjestelmien erilaisista säätö- ja tasapainotusmenetelmistä. Sisäilmaston laatu ja taloteknisten järjestelmien toimivuus ovat tyypillisesti aina yhteydessä toisiinsa, ja sisäilmaston parantamiseksi tehdyt toimenpiteet tulevat aina mak samaan itsensä takaisin, niin käyttäjien tyytyväisyytenä, kohentuneena terveytenä, rakennuksen arvon nousemisena kuin mahdollisesti pienentyneinä energiakuluinakin.

Rakennuttajalle ja rakennuksen käyttäjille on ensisijaisen tärkeää, että pääurakoitsija on valvonut asianmukaisesti taloteknisten järjestelmien säätötoimenpiteitä ja huolehtinut, että rakennuksen sisäilmasto on ennen rakennusten luovutusta ohjearvojen ja määräysten mukainen. Rakennuksen varsinaisen käytön jo alettua, ei säätötoimenpiteitä voida enää suorittaa ilman tarvittavia järjestelyjä (mm. käyttäjätiedotteet ja rajoitettu säätötyön aikaväli). Kun järjestelmän säätötyö sekä ilmaus on kerralla suoritettu huolellisesti, pysyvät järjestelmän käyttöikä ja huoltovälit suunnitellun mukaisina. Suurin ongelma onkin, että vaikka asennustyö tehtäisiin erityisen huolellisesti ja hyvin, ei järjestelmää välttämättä säädetä ja ilmata lähes ollenkaan työn valmistuttua; tyypillisesti kiireen ja välinpitämättömyyden johdosta. Toisena merkittävänä ongelmana on, että suunnitelmissa ei aina oteta tarpeeksi huomioon järjestelmien säätöä hankaloittavia tekijöitä ja suunnitelmat jätetään ikään kuin puolitiehen.

Taloteknisten järjestelmien säädön ja sisäilmaston laadun merkitykseen ei kiinnitetä vielä kukaan riittävästi huomiota, mutta kuitenkin päivä päivältä enemmän, lähinnä ihmisten lisääntyneen sisäilmatietouden johdosta. Taloteknisten järjestelmien säätömenetelmät ja toiminnot kehittyvät jatkuvasti, ja tästä johtuen rakennuksen ylläpitoa varten olevan huoltoyhtiön on aina oltava ajan tasalla uusimmista taloteknisten järjestelmien säätömenetelmistä. Rakennuksen käyttöä varten luotu käyttö- ja huoltosuunnitelma on erityisen tärkeä dokumentti rakennuksen arvon ja asianmukaisen toiminnan kannalta. Huoltohenkilökunta tulee myös aina kouluttaa ja ohjeistaa rakennuksen taloteknisten järjestelmien käyttöön ja huoltoon täsmällisesti.



Opinnäytetyöprosessi eteni erityisen hyvin ja suunnitellun mukaisesti, jopa hieman nopeammin kuin olin alun perin ajatellut. Opinnäytetyön aihepiiristä on olemassa hyvin paljon kattavaa tietoa, ja tämän kaiken tiedon läpikäymiseen ja sisäistämiseen meni todella paljon aikaa. Opinnäytetyöprosessin aikana opin paljon erilaisista säätö- ja mitausmenetelmistä sekä sisäilmaston ohjearvoista ja vaikutuksesta moniin eri seikkoihin.

Vaikka opinnäytetyön aihepiiri hieman kasvoi opinnäytetyöprosessin aikana, käsitellään opinnäytetyössä pääosin niitä asioita, joita olin alun perin sen ajatellutkin sisältävän. Tiettyjen asioiden tiivistäminen ja selkeyttäminen oli opinnäytetyön yksi vaikeimmista työvaiheista. Opinnäytetyön tekemisessä ainoana ongelmana oli aiheen laajuus: tietoa olisi löytynyt vaikka kuinka paljon.

Käyttäjäkysely onnistui paremmin kuin olin ajatellut, ja vastausprosentiksi saatiin paljon suurempi kuin olin alun perin asettanut sille tavoitteeksi. Tästä johtuen asuinrakennuksen sisäilmaston laadusta saatiin pääosin varsin totuudenmukainen tulos ja asukaskyselyn monien vapaamuotoisten kommenttien perusteella saatiin hyvin paljon arvokasta lisätietoa asukkaiden mielipiteestä huoneistoidensa sisäilmaston laatuun.

Pääasiassa opinnäytetyöprosessi tarjosi ne asiat ja haasteet, jotka olin alun perin ajatellutkin sen tarjoavan. Uskon tämän opinnäytetyön olevan hyvä aineisto luettavaksi jokaiselle, joka tarvitsee yksissä kansissa tietoa sisäilmastosta ja sen laadun mittauksista sekä yleisimmistä taloteknisten järjestelmien säätö- ja tasapainotusmenetelmistä.

## Lähteet

- 1 Sisäilmaston tekijät. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/)>. Luettu 21.3.2011.
- 2 Virta, Jani. 2003. Terveellinen sisäilmasto; sisäilmastotietoa rakentajille, sisäilmastonselvitysten tekijöille ja kiinteistöjen omistajille. Työsuojelurahasto.
- 3 Sisäilmastoluokitus 2008; Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset, LVI 05-10440. Rakennustietosäätiö RTS.
- 4 Rakentamismääräyskokoelman osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Ympäristöministeriö.
- 5 Asumisterveysohje: Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Rakennustietosäätiö RTS. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 6 Ruotsalainen, Risto; Forss, Pertti; Puhakka, Eija; Seppänen, Olli; Säteri, Jorma. Hengityслиitto Heli Ry. 2006. Terveellisen rakennuksen ilmanvaihto. Hengityслиitto Heli Ry:n opas. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 7 Ilmanvaihdon perusteet. 1995. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon\\_perusteet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/)>. Päivitetty 27.10.1995. Luettu 22.3.2011.
- 8 Karjalainen, Sami. 2010. Helppokäyttöisen talotekniikan kehittäminen, LVI 00-40083. Rakennustietosäätiö RTS.
- 9 Sisäilmaston kemialliset epäpuhtaudet. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/kemialliset\\_epapuhtaudet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/kemialliset_epapuhtaudet/)>. Luettu 22.3.2011.
- 10 Laakso, Marita 2009. Kokemuksia ilmanvaihtojärjestelmien uusimisesta. Esite. VVO.
- 11 Sisäilmasto-ongelmien tutkiminen; peruseriaatteet. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/ongelmien\\_tutkiminen/peruseriaatteet/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/peruseriaatteet/)>. Luettu 23.3.2011.
- 12 Sisäilmaston fysikaaliset tekijät. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/sisailmasto/fysikaaliset\\_tekijat/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/fysikaaliset_tekijat/)>. Luettu 24.3.2011.
- 13 Ongelmien tutkiminen. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry. <[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset\\_tilat/ongelmien\\_tutkiminen/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/)>. Luettu 24.3.2011.

- 14 Home. 2008. Verkkodokumentti. Sisäilmastoyhdistys ry.  
<[http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden\\_ehkaisy\\_ja\\_tunnistaminen/](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/homevaurioiden_ehkaisy_ja_tunnistaminen/)>. Luettu 25.3.2011.
- 15 LVI-Laitosten mittaukset, LVI 014-10290. 1999. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 16 Sainio, Erkki. 2011. Lämpötilamittaukset. Valvonta, vastaanotto ja luovutus. Kurssin opetusmateriaali. Metropolia AMK.
- 17 Sainio, Erkki. 2011. Ilmavirtamittaukset. Valvonta, vastaanotto ja luovutus. Kurssin opetusmateriaali. Metropolia AMK.
- 18 SFS 5512 Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmanvaihtolaitoksissa. 1989. Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 19 SFS 5517 Ilmastointijärjestelmän vastaanottomittaukset. 1989. Standardisoimisliitto SFS Ry.
- 20 Lämmitysverkostojen vesivirran mittaus, LVI 014-10291. 1999. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 21 Asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö, LVI 39-10283. Syyskuu 1998. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 22 Asuinkerrostalon ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja säätötöiden sopimuksen laadinta, 39-10307. 2000. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 23 Ilmanvaihtolaitoksen perussäätö, LVI 39-10095. 1988. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö.
- 24 Holopainen, Rauno; Pasanen, Pertti; Säteri, Jorma; Railio, Jorma; Virranta, Petteri. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus ja puhdistus, tavoitteena hyvä ja energiataloudellinen sisäilmasto.
- 25 Ilmanvaihtokanaviston tasapainotussuunnittelu, LVI 32-10118. 1988. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö.
- 26 Rakennustieto Oy. 1991. Muuttuvailmavirtaiset ilmastointijärjestelmät LVI 30-40008. Rakennustietosäätiö.
- 27 Lämmitysjärjestelmän perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. Motiva 1-laaturjärjestelmän esite.
- 28 Petitjean, Robert; Huuhtanen Reijo. 1999. Säätopiirien säätäminen. Tour & Andersson AB.
- 29 Lämmitysverkoston säätö, LVI 41-10230. 1994. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 30 Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysverkoston perussäätö, LVI 31-10164. 1990. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö.

- 31 Sainio, Erkki. 2011. Ilmanvaihdon äänitekniikka. Valvonta, vastaanotto ja luovutus. Kurssin kurssimateriaali. Metropolia AMK.



## **Käyttäjäkysely huoneistonne sisäilmaston laadusta**

Kartoitamme rakennuttamiemme kohteiden sisäilmaston laatua. Käyttäjäkyselyiden avulla pyrimme saamaan tarkan kuvan käyttäjien tyytyväisyydestä rakennuttamiemme kohteiden sisäilmaston laatuun.

Käyttäjien antamilla tiedoilla on todella suuri merkitys suunniteltaessa tuleviemme kohteiden sisäilmaston laadun parantamiseksi tehtäviä järjestelmävalintoja ja laadunvalvontamenetelmiä. Sisäilmaston laadulla on suuri merkitys käyttäjien viihtyvyyteen, terveyteen, rakennuksen arvoon ja energiatehokkuuteen. Vastausten perusteella tulemme kartoittamaan yleisimpiä sisäilmaongelmia ja täten kehittämään tulevia rakennushankkeitamme entistä parempaan suuntaan.

Kyselylomakkeen pyydämme täyttämään nimettömänä. Palautteet käsitellään luottamuksellisesti.

Pyydämme teitä kohteliaimmin täyttämään ja lähettämään oheisen kyselylomakkeen 28.4.2011 mennessä. Voitte halutessanne kirjoittaa lomakkeeseen vapaamuotoisen kommentin huoneistonne sisäilmaston laadusta. Aikaa lomakkeen täyttämiseen menee arviolta 2 minuuttia.

Lomakkeen voitte palauttaa oheisella kirjekuorella, postimaksu on maksettu puolestanne.

Mikäli asioissa ilmenee epäselvyyksiä, pyydän ottamaan yhteyttä allekirjoittaneeseen.

Ystävällisin terveisin

Mikko Räisänen  
SRV Rakennus Oy  
Niittytaival 13, 02201 Espoo  
puh. 050 577 3375  
mikko.raisanen@srv.fi

## Asukaskysely sisäilmaston laadusta



**Onko joitain seuraavista haitoista esiintynyt huoneistossanne viimeisimmän vuoden aikana?** (rastittakaa sopiva vaihtoehto)

<b>Haitta</b>	<b>Usein</b>	<b>Välillä</b>	<b>Harvoin</b>	<b>En tiedä</b>
Liian korkea lämpötila				
Liian matala lämpötila				
Veto				
Lattioiden/pintojen kylmyys				
Kuiva ilma				
Kosteaa ilma				
Tunkkainen ilma				
Pölyinen ilma				
Havaittava pöly tai lika pinnoilla				
Epämiellyttävä haju				
Riittämätön ilmanvaihto				
Ilmanvaihtolaitteiden aiheuttama melu				
Ikkunoiden huurtuminen				
Muita häiritsevyyksiä, mitä?				

<b>Kysymys</b>	<b>Usein</b>	<b>Välillä</b>	<b>Harvoin</b>	<b>En tiedä</b>
Kuinka usein tuuletatte ikkunoiden kautta				
Onko teillä mielestänne sisäilmaan liittyvää oireilua, joka häviää kun ette oleskele rakennuksessa				

**Vapaa kommentointi huoneistonne sisäilmastosta:**



A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for providing free comments on the indoor air quality of the apartment.

**Kitämme käyttämästäne ajasta!**

## Asukaskysely sisäilmaston laadusta



**Onko joitain seuraavista haitoista esiintynyt huoneistossanne viimeisimmän vuoden aikana?** (rastittakaa sopiva vaihtoehto)

Haitta	Usein	Välillä	Harvoin	En tiedä
Liian korkea lämpötila	11,5 %	42 %	38,5 %	8 %
Liian matala lämpötila	15,5 %	34,5 %	31 %	19 %
Veto	8,5 %	21 %	37,5 %	33 %
Lattioiden/pintojen kylmyys	12,5 %	12,5 %	41,5 %	33,5 %
Kuiva ilma	22 %	35 %	13 %	30,5 %
Kostea ilma		4,5 %	69,5 %	26 %
Tunkkainen ilma		30,5 %	48 %	21,5 %
Pölyinen ilma	10 %	32 %	32 %	27 %
Havaittava pöly tai lika pinnoilla	29 %	37,5 %	21 %	12,5 %
Epämiellyttävä haju		17,5 %	52 %	30,5 %
Riittämätön ilmanvaihto	4,5 %	30,5 %	39 %	26 %
Ilmanvaihtolaitteiden aiheuttama melu	28 %	28 %	36 %	8 %
Ikkunoiden huurtuminen		9 %	50 %	41 %
Muita häiritsevyyksiä, mitä?				

Kysymys	Usein	Välillä	Harvoin	En tiedä
Kuinka usein tuuletatte ikkunoiden kautta	11 %	37 %	44,5 %	7,5 %
Onko teillä mielestänne sisäilmaan liittyvää oireilua, joka häviää kun ette oleskele rakennuksessa	4 %	21 %	29 %	46 %