

Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus

Tekijät: Sami Mäkinen, Antti Alanko, Jan Lindholm, Janne Määttä, Jussi Luoma, Jouni Näppi, Janne Penttilä

5.12.2023



Esipuhe

Rakennusten vaipan yli vallitsevan paine-eron hallitseminen tiiviissä rakennuksissa on rakennusvaipan tiivistystason parantuessa tullut entistä tärkeämmäksi. Ilmanvirtojen tasapaino on keskeinen paine-eroon vaikuttava asia ja siihen tulee kiinnittää erityistä huomiota ilmanvaihdon toteutuksessa, kun ilmavirrat säädetään eli tasapainotetaan.

Opas katsottiin tarpeelliseksi, koska tällä hetkellä rakennusten ilmanvaihdon tasapainotuksen suunnittelussa ja tasapainotustyössä ei välttämättä osata ottaa riittävästi huomioon rakennuksen vaipparakenteen tiiveyttä. Tämän seurauksena tasapainotuksen yhteydessä esiin nousevia ongelmia joudutaan ratkomaan tasapainotuksen yhteydessä. Parempi olisi, mikäli mahdolliset toteutusvaiheen ongelmatilanteet pystyttäisiin ennakoimaan ja esittämään niihin toimivat ratkaisut jo suunnittelun aikana.

Aloite oppaan valmistamisesta tuli Taitotalon Sami Mäkiseltä, joka kokosi oppaan kirjoittamista varten käsikirjoittajaryhmän ja järjesti ryhmän sisäisen työskentelyn. Käsikirjoittajaryhmällä on vankka ja laaja kokemus käytännön tasapainotustyöstä ja sen mahdollisista sudenkuopista.

Oppaan kanssa samanaikaisesti kirjoitettiin myös opas tasapainotuksen suunnitteluun ja tilaamiseen. Sen kirjoittajana toiminut DI Lari Eskola A-Insinöörit Oy:stä koordinoi kahden oppaan sisältöä niin, että kirjoitetut kaksi opasta muodostavat yhdessä kokonaisuuden sekä tilaajalle että tasapainotustyön tekijälle. Oppaat valmistettiin kokonaan ohjausryhmätyöskentelyyn osallistuneiden yritysten ja tahojen rahoittamina.

Oppaan projektiryhmään kuuluivat Sami Mäkinen, Taitotalo; Antti Alanko, ARE Oy; Jan Lindholm, Caverion Suomi Oy; Janne Määttä, Talokuntoon.fi Oy; Jussi Luoma, Lohjan sisäilmamestarit Oy; Jouni Näppi, Taitotalo; Janne Penttilä, Pohjanmaan ilmastointihuolto Oy ja Lari Eskola, A-insinöörit Oy. Projektiryhmästä löytyy paljon käytännön kokemusta aiheesta, sillä kaikki ryhmän jäsenet ovat päivittäin tekemisissä mittaukseen ja tasapainotukseen liittyvien asioiden kanssa erilaisissa työtehtävissä.

Suuri kiitos kaikille ohjausryhmätyöhön osallistuneille ja oppaita rahoittaneille tahoille. Ohjausryhmään osallistuvat seuraavat tahot ja henkilöt:

ARE Oy, Antti Alanko ja Henri Määttä
Cervi Oy, Petri Valve
Climecon Oy, Esa Huuskonen
EBM Papst Oy, Jukka Blåfield
Enervent Zehnder Oy, Tom Palmgren
ETS Nord As, Kadi Alber ja Oskari Mattila
FläktGroup Finland Oy, Jari Hokkanen
Granlund Oy, Teemu Taipale

Koja Oy, Taneli Timlin
Lindab Oy, Pasi Sauvolainen
Pietiko Oy, Sami Pietilä
Sweco Talotekniikka Oy, Marko Björkroth
Swegon Oy, Lars Norrdal
SuLVI, Samuli Könkö
Vallox Oy, Petri Koivunen
Talteka, Juhani Hyvärinen

Oppaan luonnos oli kommentoitavana kirjoitustyön aikana laajalla ohjausryhmätyön ja sidosryhmien kautta tavoitetulla asiantuntijajoukolla, jolta saatiin hyviä kommentteja ja rakentavaa palautetta oppaan teksteihin. Heidän panoksensa on ollut merkittävä muiden kirjoitustyöhön osallistuneiden ohella. Kiitokset kaikille kommentoijille asiaa eteenpäin vieneistä kommentteista.

Helsingissä 5.12.2023

Talotekninen teollisuus ja kauppa ry
Juhani Hyvärinen

SISÄLLYS

1	Johdanto	6
2	Ilmanvaihtojärjestelmät	7
2.1	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä	7
2.1.1	Yleisiä haasteita	7
2.2	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	8
2.2.1	Julkisten ja kaupallisten rakennusten tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät	9
2.2.2	Asuinrakennusten tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät	10
2.3	Ilmanvaihto ja sisäilma	11
2.3.1	Ilmanjako	12
2.3.2	Rakennuksen paine-erot	14
2.3.3	Sisäilman fysikaaliset olosuhteet	16
2.3.4	Kemialliset epäpuhtaudet	16
2.4	Paine	18
2.4.1	Staattinen paine	18
2.4.2	Dynaaminen paine	18
2.4.3	Painehäviöt	19
2.4.4	K-kerroin	19
3	Ilmavirran hallintaan liittyvät laitteet	20
3.1	Kanavalaitteet	20
3.1.1	Säätöpellit	20
3.1.2	Palopellit	20
3.1.3	Äänenvaimentimet	22
3.1.4	Vakiovirtaussäätimet	23
3.1.5	Ilmamääräsäätimet (IMS)	23
3.1.6	Muita kanavalaitteita ja kanavistoon kuulumattomat kappaleet	24
3.2	Huonelaitteet	25
3.2.1	Tuloilmaventtiilit	25
3.2.2	Tuloilmalaitteet	26
3.2.3	Poistoilmaventtiilit	27
3.2.4	Poistoilmalaitteet	28
3.2.5	Savunrajoittimena toimivat päätelaitteet	28
3.2.6	Jäähdytyspalkit (ilmastointipalkit)	29
4	Tarvittavat mittalaitteet ja työkalut	30
4.1	Ilmanvaihdon mittauslaitteet	30
4.1.1	Paine-eromittarit	30
4.1.2	Monitoimimittarit	30
4.1.3	Huppumittarit	31
4.1.4	Siipipyöranemometri	31
4.1.5	Mittareiden lisätarvikkeet ja -laitteet	32
4.1.6	Tasapainotustyössä tarvittavat työkalut ja tarvikkeet	34
5	Ilmanvaihdon suunnittelu	36
5.1	Mittaus- ja tasapainotustyön huomiointi ilmanvaihdon suunnittelussa	36
5.2	Sisäilman huomiointi ilmanvaihdon suunnittelussa	36
5.2.1	Pinta-ala- ja henkilömääräperusteiset mitoitukset	36
5.2.2	Hiilidioksidipitoisuudet	37
5.3	Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho	37

5.4	Siirtoilma.....	37
6	Mittaustyössä tarvittavia laskentakaavoja.....	39
6.1	Yksikkömuunnoksia	39
6.2	Tiheyskorjaus	39
6.3	Ilmavirtamuutosten vaikutukset.....	39
6.4	Ilmavirtamittausten yleiset laskentakaavat.....	39
	6.4.1 Paine-eromittauksissa tarvittavia laskukaavoja	40
	6.4.2 Kanavamittauksissa tarvittavia laskukaavoja.....	41
6.5	Mittaustulosten epävarmuus	42
	6.5.1 Mittausepävarmuuden laskentaesimerkki.....	42
	6.5.2 Hyväksyttävät poikkeamat	44
6.6	Lineaarisuuden laskenta	44
6.7	Säätökaaviot	45
7	Tasapainotustyöhön valmistautuminen	47
7.1	Tarvittavat mittalaitteet	47
7.2	Tarvittavat asiakirjat ja kohteeseen perehtyminen.....	47
	7.2.1 Ilmanvaihtosuunnitelmista läpikäytävät asiat.....	48
7.3	Esisäätoarvot ja ilmavirrat	51
7.4	Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan varmistaminen	52
7.5	Mittausolosuhteet	54
7.6	Valmistajien ohjeiden läpikäynti	54
8	Mittaus- ja tasapainotustyö	55
8.1	Turvallisuus	55
8.2	Työjärjestys	55
8.3	Mittausmenetelmät.....	56
	8.3.1 Paine-eroon perustuvat ilmavirtamittaukset	56
	8.3.2 Kanavamittaukset	57
	8.3.3 Paine-eron mittaus rakenteiden yli	59
	8.3.4 Ilmamääräsäätimien tarkastukset.....	62
	8.3.5 Puhaltimen paine-eron mittaus	62
	8.3.6 Lämmöntalteenottokiekon paine-eron mittaus.....	63
8.4	Suhteellinen säätö.....	64
	8.4.1 Suhteelliseen säätöön liittyviä haasteita	64
	8.4.2 Suhteellinen säätö tilavuusvirralla l/s.....	65
	8.4.3 Suhteellinen säätö paine-erolla	65
	8.4.4 Referenssilaitteen etsiminen.....	65
	8.4.5 Tasapainotustyön eteneminen.....	66
8.5	Muita tasapainotusmenetelmiä	69
	8.5.1 Tietokoneohjelmien hyödyntäminen tasapainotuksessa	69
9	Raportointi	70
9.1	Mittauspöytäkirja	70
9.2	Kirjallinen raportointi.....	71
	9.2.1 Esimerkkejä tasapainotuksen yhteydessä raportoitavista asioista.....	72
10	Haasteita ja hyviä käytäntöjä	74
10.1	Ilmanvaihdon tasapaino	74

10.2	Puutteelliset ilmvirtamitoitukset.....	74
10.3	Yleisimpiä syitä epätasapainoiseen ilmanvaihtoon.....	74
10.4	Järjestelmäkohtaisia erityispiirteitä	74
10.4.1	Taajuusmuuttajaohjaus.....	75
10.4.2	Tarpeenmukainen ilmanvaihto ON-OFF-pelleillä	75
10.4.3	Tarpeenmukainen ilmanvaihto ilmamääräsäätimillä (IMS).....	75
10.4.4	Palautusilmajärjestelmät.....	76
10.4.5	Kulutusjousto (tai kysyntäjousto)	76
10.4.6	Kotona, poissa ja tehostus -asetukset asunnoissa.....	76
10.4.7	Alapohjien ilmanvaihto	78
10.5	Uudiskohteiden haasteita.....	78
10.5.1	Aikataulu ja mittausolosuhteet	78
10.5.2	Asennustyön vaikutukset mittaukseen ja tasapainotukseen	78
10.5.3	Automaatio ja kytkennät.....	79
10.5.4	Illmanvaihdon tasapainotustyön aloituskokous	79
10.6	Vanhojen rakennusten haasteita	79
10.6.1	Mittausolosuhteet.....	80
10.6.2	Suunnitelmat	80
10.6.3	IV-koneet.....	80
10.6.4	Kanavistot	81
10.6.5	Vanhat laitteet ja ratkaisut	81
10.7	Erilaisten kohdetyyppien haasteita	82
10.7.1	Pientalot	82
10.7.2	Asuinkerrostalot	83
10.7.3	Opetus-, ja toimistorakennukset	84
10.7.4	Teollisuusilmanvaihto.....	84

LIITE 1. Kuivan ilman tiheysarvoja eri lämpötiloissa, 101,3 kPa paineessa

LIITE 2. Ilmvirtamuutokset

LIITE 3. Ilmavirtojen mittauspöytäkirjojen esimerkkipohjia

LIITE 4. Ilmanvaihdon tasapainotustöiden aloituskokouspöytäkirjan malli

Keskeiset käsitteet

Alipaine	Alipaineisessa rakennuksessa/tilassa on ympäristöään pienempi ilmanpaine, jolloin ilma pyrkii virtaamaan alipaineiseen rakennukseen/tilaan sen ulkopuolelta
CO ₂	Hiilidioksidi. Hiilestä ja hapesta koostuva kemiallinen yhdiste, joka on sisäilmassa peräisin pääosin ulkoa ja ihmisten uloshengityksestä.
Coandă-ilmiö	Virtauksen pyrkimys kiinnittyä sitä lähellä olevaan pintaan.
Dynaaminen paine	Kanavassa virtauksen aiheuttama virtauksen suuntainen paine.
EC-moottori	<i>Electronically Commutated</i> . Elektronisesti kommutoitu puhallin, joka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi, jotta se pystyy ohjaamaan puhallinnopeutta portaattomasti säätämällä moottorin saamaa virran määrää.
Ilmanjako	Tuloilman johtaminen huonetilaan siihen tarkoitetulla tuloilmalaitteella.
Ilmanjakomenetelmä	Menetelmä, jolla tuloilma johdetaan huonetilaan; esim. sekoittava tai syrjäyttävä ilmanjako.
Ilmanvaihdon käyttötapa	Rakennuksen ilmanvaihdon tehotason erilaiset käyttötavat ja käyttöajat rakennuksen käyttöaikoina ja käyttöaikojen ulkopuolella.
Ilmanvaihto	Sisäilman laadun ylläpitämistä ja parantamista sisätilan ilmaa vaihtamalla.
Ilmastointi	Sisäilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden ja ilman liikkeen hallintaa tulo- tai kierrätysilmaa käsittelemällä.
Ilmatiiviyys	Rakenteen kyky estää hallitsematon ilmanvaihtuvuus rakenteen eri kerrosten läpi.
Ilmavirta	Ilman tilavuusvirta, kuten l/s, dm ³ /s, m ³ /h ja m ³ /s. Käytetään puhekielessä usein termiä ilmamäärä.
Ilmavuoto	Rako tai aukko rakennuksen rakenteissa, jonka kautta ilmaa pääsee virtaamaan sisätiloihin. Voi heikentää mm. energiatehokkuutta, viihtyisyyttä ja sisäilman laatua.
Induktioilma	Induktio on pakotettua konvektiota, joka syntyy nopeasti virtaavan ilmasuihkun ohittaessa paikallaan olevan ilman ja imaistessa tämän mukaansa. [Swegon järjestelmätekniikka]
IV	Ilmanvaihto
K-arvo	Mitattavalle laitteelle määritetty kerroin, jonka avulla saadaan laskettua laitteelta mitatusta paine-erosta ilmavirta.
Kokonaispaine	Staattisen ja dynaamisen paineen sekä painehäviöiden summa.
Korvausilma	Ulkoilmaa, joka johdetaan alipaineella hallitusti korvausilmaventtiiliin kautta sisätiloihin.
Käyttöaika	Aika, jolloin rakennuksessa oleskellaan tai sitä käytetään sen käyttötarkoituksen mukaisesti.
LTO	Lämmöntalteenotto. Rakennuksesta ulos johdettavasta ilmasta siirretään lämpöä talteen.
Oikosulkuvirtaus	Ilmavirtaus, joka virtaa suoraan tuloilmalaitteesta poistoilmalaitteeseen huuhtelematta huonetilaa.
Oleskeluvyöhyke	Huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä ulko- tai sisäseinästä tai vastavasta kiinteästä rakennuksen osasta. (Asumisterveysasetus 545/2015)

Paine-ero	Ero kahden paineen välillä, esim. kanaviston staattinen paine ennen säätöpeltiä ja säätöpellin jälkeen muodostaa paine-eron.
Paine-erot rakennuksessa	Mitattavan rakennuksen/tilan ilmanpaineen erotus rakennusta/tilaa ympäröivään ilmanpaineeseen. Toisin sanoen sisä- ja ulkoilman välinen tai tilojen välinen paine-ero. Ilmaistaan yleensä Pascaleina. Puhekielessä käytetään usein termiä painesuhde.
Painehäviö	Virtauksessa syntyvää kitkan (esim. kanavien sisäpinnat) tai kertavastuksien aiheuttama energiahäviötä.
Palautusilma	Ilmaa, joka palautetaan poistoilmasta tuloilmana takaisin huonetilaan.
Poistoilma	Ilmaa, joka johdetaan sisätiloista ulos koneellisesti tai painovoimaisesti.
Päätelaitte	Laite, joka muodostaa ilmareitin kanavistosta ulos (tuloilma) tai kanavistoon sisään (poistoilma). Aiemmin käytettiin nimitystä pääte-elin.
q50	Ilmanvuotoluku, joka kertoo kuinka monta kuutiota ilmaa vuotaa ulkovaipan läpi yhden neliömetrin tunnissa, silloin kun paine-ero on 50 Pascalia.
Savunrajoitin	Laite, laitteisto tai rakennusosa, jolla rajoitetaan palon alkuvaiheessa syntyvän savun leviämistä ilmanvaihdon kautta palo-osastossa tai palo-osastosta toiseen. Näitä ovat mm. kuristimet, mekaaniset takaisinvirtaussuojat ja savuilmainsiirtojat palopellit.
Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho	Tarkoittaa sähköverkosta otettua tehoa, jotta saadaan yksi ilmakuutio kuljetettua rakennuksen läpi sekunnissa kW/m ³ /s. Lasketaan teho jaettuna ilmavirralla. Ennen käytettiin nimitystä SFP (<i>Specific Fan Power</i>). (SFP-opas, Talteka 2023)
Siirtoilma	Ilmaa, joka johdetaan hallitusti tilasta toiseen, joko siirtoilmalaitteen tai oviraon kautta.
Sisäilma	Tarkasteltavan huonetilan ilmaa.
Sisäilman laatu	Kuvaa sisäilman epäpuhtauksien määrää.
Sisäilmasto	Ihmiseen vaikuttavien fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden kokonaisuus, johon sisältyy sisäilman laatu, lämpöolot, ilman liike, ilman kosteus, valaistus ja ääniympäristö.
Sisäympäristö	Sisäilmaston ja muiden rakennuksessa vaikuttavien ympäristötekijöiden kokonaisuus.
Staattinen paine	Kanavassa joka suuntaan samalla voimalla vaikuttavan paineen ja järjestelmän ulkoisen (ilmakehän) paineen ero.
Suunnitteluratkaisu	Kohteeseen toteutettavaksi aiottu suunnitelma. Suunnitteluratkaisu on kuin reitin valinta; millä tekniikalla, menetelmällä tai ominaisuudella saadaan täytettyä tavoitellut tekijät, kuten olosuhteet, energiatehokkuus tai tekniikan tilavaatimukset.
Terminen paine-ero	Ts. savupiippuilmio tai hormivaikutus. Sisä- ja ulkolämpötilaeron vaikutus. Sisäilma on talvella ulkoilmaa lämpimämpää ja sen tiheys on ulkoilmaa pienempi. Tämän takia sisäilma pyrkii virtaamaan ulos rakennuksen yläosasta ja ulkoilma sisään alaosasta.
Tuloilma	Käsiteltyä ulkoilmaa, joka johdetaan koneellisesti sisätiloihin.
Ulkoilma	Ilmaa, joka johdetaan ulkoa ilmanvaihtoa varten. Aiemmin käytettiin termiä raitisilma.
Ulospuhallusilma	Poistoilmaa, joka johdetaan rakennuksesta ulos Käytettiin ennen nimitystä jäteilma.
Vuotoilma	Ilmaa, joka virtaa hallitsemattomasti rakennuksesta/rakennukseen rakenteellisten epätiiviyyksien kautta tai järjestelmästä/järjestelmään kanavien ja koneiden seinämien epätiiviyyksien kautta.
Ylipaine	Ylipaineisessa rakennuksessa/tilassa on ympäristöään suurempi ilmanpaine, jolloin ilma pyrkii virtaamaan ylipaineisesta rakennuksesta/tilasta sen ulkopuolelle.

Keskeiset yksiköt

dm ³ /s	Kuutiodesimetriä sekunnissa. $1 \text{ dm}^3/\text{s} = 1 \text{ l/s}$.
Ilmanvaihtokerroin	Tunnin aikana huonetilaan tai tilasta virrannut ulkoilmavirta tilan ilmatilavuutta kohti $(\text{m}^3/\text{h}) / \text{m}^3 = 1/\text{h}$.
l/s	Littraa sekunnissa. Ilman virtauksen määrä.
m ³ /h	Kuutiometriä tunnissa = 1 000 litraa tunnissa.
m ³ /s	Kuutiometriä sekunnissa = 1 000 litraa sekunnissa
m/s	Metriä sekunnissa
Pa	<i>Pascal</i> . Paineen yksikkö.
ppm	<i>Parts Per Million</i> . Promillen ja prosentin kaltainen suhdeyksikkö, joka ilmaisee miten monta tilavuuden miljoonasosaa jokin asia on jostakin. $10\,000 \text{ ppm} = 1 \%$.

1 Johdanto

Tämä opas käsittelee ilmanvaihdon mittausta ja tasapainotusta. Opas on laadittu, koska on huomattu, että alan työskentelytavat ovat hyvin kirjavia ja mittauspöytäkirjoissa on usein puutteita. Opasta tarvitaan, koska kyseisiä töitä tehdään paljon yksityisten ihmisten kiinteistöissä ja ihmisten työpaikoilla, eivätkä kiinteistön käyttäjät tai omistajat yleensä osaa tai voi arvioida saamansa palvelun laatua. Ilmanvaihdon mittaukseen ja tasapainotukseen ei ole olemassa perusteellista koulutusta, eikä oppimateriaalia, joten kuka tahansa voi ostaa paine-eromittarin ja alkaa myymään ilmanvaihdon tasapainotustöitä. Oppaaseen on koottu tasapainotustyön teorian ja laskukaavojen lisäksi käytännön ratkaisuja ja toimintatapoja laadukkaan ilmanvaihdon mittauksen- ja tasapainotuksen mahdollistamiseksi ja suorittamiseksi.

Ihmiset viettävät yhä enemmän aikaa sisätiloissa, minkä takia sisäilman laadun on pysyttävä jatkuvasti hyvällä tasolla. Sisäilman laatua on alettu tarkkailemaan enemmän, mikä on johtanut siihen, että sisäilmaongelmat nousevat esiin yhä useammin mediassa ja keskusteluissa. Ilmanvaihto ja sen tarkoituksenmukainen tasapainotus ja ohjaus ovat tärkeimmät tekijät sisäilman laadun hallitsemisen kannalta.

Oppaan ensisijainen tarkoitus on toimia oppimateriaalina mittaus- ja tasapainotustyötä aloittelevalle (koko opas), mutta oppaan laajasta sisällöstä hyötyvät myös kokeneet alan ammattilaiset sekä mm. tilaajat, suunnittelijat ja valvojat (luvut 7-10). Opas on kaksiosainen; teoriaosuus luvuissa 2-6, sekä käytännön osuus luvuissa 7-9. Lisäksi lukuun 10 on koottu yleisiä haasteita ja hyviä käytäntöjä.

Oppaan tavoite on yhtenäistää työskentelytapoja ja saada ilmanvaihdon mittauksesta ja tasapainotamisesta tasalaatuisempaa ja tätä kautta parantaa säädön tarkkuutta ja lisätä ymmärrystä mittausepävarmuuksien ja epätarkkuuksien vaikutuksista sekä ohjata ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkaan toiminnan varmistamiseen ilmavirtojen tasapainotuksen osalta. Opas antaa lukijalle monipuolisesti tietoa mm. ilmanvaihdon mittauksesta ja tasapainotuksesta, eri mittalaitteista ja ilmanvaihtojärjestelmien komponenteista, sekä yleisimmistä tasapainotusmenetelmistä, niihin liittyvien ongelmien ratkaisusta ja laadukkaasta raportoinnista.

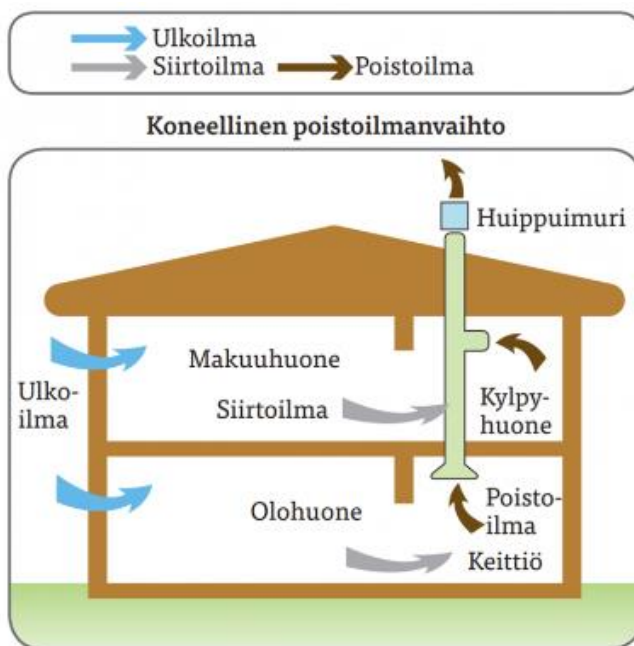
2 Ilmanvaihtojärjestelmät

2.1 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellinen poistoilmajärjestelmä on mm. pientaloissa, asuinkerrostaloissa sekä vanhemmissa peruskorjaamattomissa julkisissa ja kaupallisissa rakennuksissa yleinen ilmanvaihtojärjestelmä. Koneellinen poistoilmajärjestelmä on varustettu huippuimureilla tai muilla poistoilmapuhaltimilla, jotka poistavat rakennuksesta ilmaa poistoilmaventtiilien kautta. Puhaltimien ohjaus tapahtuu yleensä liesituulettimen, liesikuvun, tyristorisäätimen, kellokytkimen tai automaatiojärjestelmän kautta.

Asuinkerrostalossa koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan järjestää yhteiskanavajärjestelmällä. Tässä tapauksessa poistoilmakanavisto ja koko laitteisto ovat yhteiskäytössä. Näin ollen asukkaiden mahdollisuudet vaikuttaa asuntonsa ilmanvaihdon toimintaan ovat rajoitetut.

Ulkoilma johdetaan rakennukseen yleensä oleskelutilojen ulkoseinissä tai ikkunoissa sijaitsevien ulkoilmaventtiileiden kautta. Oleskelutiloista ilma vuorostaan johdetaan mm. keittiö ja hygienia-tiloihin siirtoilmana siirtoilmalaitteiden tai ovirakojen kautta. (Kuva 1)



Kuva 1. Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä asuinrakennuksessa. [Hengitysliitto ry]

2.1.1 Yleisiä haasteita

Korvausilman puutteet. Yleisin ongelma on puutteellinen ulkoilman hallittu saanti rakennukseen, jolloin korvausilma tulee ulkoilmaventtiilien sijaan hallitsemattomien rakenteellisten epätiiviyksien kautta vuotoilmana. Korvausilman puute esiintyy usein voimakkaana alipaineena, mutta erittäin epätiivissä rakennuksissa alipaine ei ole luotettavasti mitattavissa. Tällöin hallitsemattomia vuotoja voi havaita ilmavirtauksina mm. seinän läpivientien ja rakenneliittymien yhteydessä. (Kuva 2)



Kuva 2. Korvausilman puutteeseen tai liian suureen puhaltimien käyntiin viittaavia havaintoja.

Siirtoilman puutteet. Siirtoilman puute asettaa haasteita järjestelmän toimintaan, sillä liian ahtailla siirtoilmareiteillä väliovien avaaminen ja sulkeminen voivat muuttaa venttiilikohtaisia ilmavirtoja. Siirtoilman puutteita voi havainnoida tarkastamalla ovirakojen ja siirtoilmalaitteiden olemassaolo tiloista, joissa on pelkkä poistoilma.

Vedon tunne. Lämmittämätön korvausilma voi aiheuttaa vedon tunnetta, vaikka säädöissä tai korvausilman saannissa ei olisikaan puutteita. Vedon tunnetta voi havainnoida aistinvaraisesti, merkkisavuilla ja vetoisuusmittauksin. Korvausilman vedottomampaan ja tasaisempaan jakoon on saatavilla erilaisia vetoa ehkäiseviä venttiileitä, sekä venttiileitä, jotka sekoittavat sisäilmaa ja ulkoilmaa keskenään oman puhaltimen kautta. Näin ollen vedon tunnetta ei synny ja korvausilma leviää huoneilmaan pidemmälle. Hyvin toimiva järjestelmä on myös energiatehokas.

Vuotava kanavisto. Vanhoissa kanti- ja rakenneainekanaavaisissa järjestelmissä ongelmaksi voi muodostua vuotavat kanavat/hormit, jolloin todellista kokonaisilmavirtaa ei saada luotettavasti mitattua, eikä järjestelmää välttämättä voi tasapainottaa hyvin. Vuotavista hormoneista tai puuttuvista venttiileistä voi kertoa mm. paineen äkillinen romahtaminen läheisten mittauspisteiden välillä.

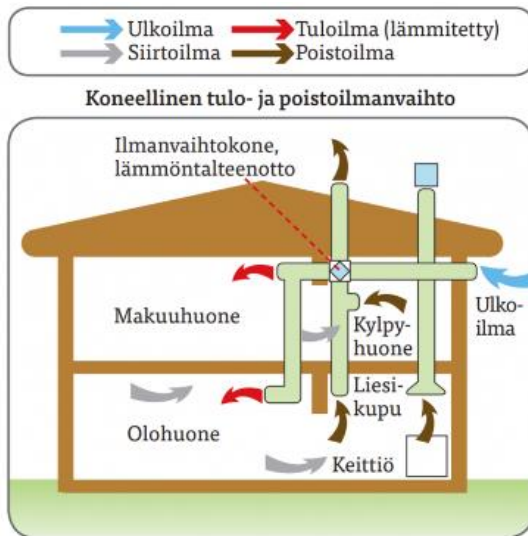
2.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Lähes kaikessa uudisrakentamisessa käytetään koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmää. Järjestelmä voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. Esimerkiksi kerrostaloissa voidaan koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto toteuttaa joko rakennuskohtaisia tai asuntokohtaisia laitteita käyttäen.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä (Kuva 3) ulkoilma johdetaan koneellisesti sisälle. Ilmanvaihtokoneella ulkoilma suodatetaan, lämmitetään ja tarvittaessa myös jäähdytetään, kuivatetaan tai kostutetaan. Käsittelyn jälkeen ilma johdetaan tuloilmana huonetiloihin tuloilmalaitteiden kautta. Tuloilman tulee jakautua huonetilaan tasaisesti ja vedottomasti siten, että tuloilma huuhtelee huonetilan kauttaaltaan. Tuloilma ei saa virrata oikosulkuvirtauksena suoraan tuloilmalaitteelta poistoilmalaitteeseen.

Poistoilma johdetaan ulospuhallusilmana ulos poistoilmapuhaltimien ja/tai huippuimurien kautta. Useimmiten poistoilmasta siirretään lämpöä talteen tuloilmaan lämmöntalteenotto-osan kautta. Tämä on edullinen tapa saada lämpöä palautettua rakennukseen ilmanvaihdon kautta ja säästää energiaa tehokkaasti. Tuloilman lisälämmittäminen hoidetaan jälkilämmityspatterin avulla.

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä tavoitteena on yleensä tasapainottaa tulo- ja poistoilmavirrat yhtä suuriksi, jolloin tilojen ja rakenteiden välille ei synny huomattavia paine-eroja, eikä rakenteiden kautta kulkeudu hallitsematonta vuotoilmaa. Myös siirtoilmareitit pitää olla myös tässä järjestelmässä riittävät.



Kuva 3. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. [Hengitysliitto ry]

2.2.1 Julkisten ja kaupallisten rakennusten tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät

Erilaisia järjestelmiä ja niiden säätötapoja on lukuisia. Ilmavirtoja voidaan ohjata mm. 1- tai 2-nopeuksisesti, vakiokierrosnopeuksisesti/portaattomalla säädöllä taajuusmuuttajilla tai EC-puhaltimilla, tai kanava- kammio- tai puhallinpaineen perusteella. Myös automaatiojärjestelmiä on monenlaisia, joissa on omat erityispiirteensä.

Julkisissa ja kaupallisissa rakennuksissa ilmavirrat ovat erilaisten mitoitusperusteiden takia huomattavasti suurempia kuin asuinrakennuksissa. Suuremmissa järjestelmissä myös mittaukseen ja tasapainotukseen liittyvät virheet kasautuvat usein suuremmiksi.

2.2.1.1 Yleisiä haasteita

Automaatiojärjestelmän puutteet. Automaation puutteet ovat laaja kokonaisuus, jonka selittäminen vaatii aina laajaa ja moniammatillista osaamista. Ilmanvaihto- ja automaatiourakoitsijoiden tulee yhdessä selvittää ilmanvaihdon tarpeet. Jos ilmavirtamittauksissa ei huomioida automaatiikan tarpeita ja käytäntöjä, se voi vaikuttaa epäsuotuisesti lopputulokseen. Sama pätee myös, jos automaation säädöissä ei huomioida ilmanvaihdon säädön tarpeita.

Ilmanjaon toiminta. Ilmanjaon toiminnan puutteet eivät juurikaan näy ilmavirtamittauksissa, mutta ne voivat heikentää koettua sisäilman laatua. Ilmanjaon toimintaan vaikuttaa mm. päätelaitteiden mitoitus, sijoittelu ja niiden suuntaukset, sekä tulo- ja huoneilman lämpötilaerot.

Ilmavirtamitoitusten puutteet. Vanhojen rakentamismääräysten takia poistoilman mitoituksissa pyrittiin noin 10 % tuloilmaa suurempiin kokonaisilmavirtoihin. Tämän takia erityisesti vanhoissa rakennuksissa ilmavirtojen mittausta ja tasapainotusta ei ole aina suositeltavaa tehdä alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti. Mittausten yhteydessä tulee varmistua tavoitetasoista ja tarvittaessa mitoittaa ilmavirrat paremmin tasapainoon. Samanlaisia mitoitusongelmia voi esiintyä myös uudemmissa rakennuksissa. Tasapainotustyön käytännöt tulee sopia yhteistyössä tilaajan, suunnittelijan ja/tai valvojan kanssa.

Kanaviston vuoto. Suomessa sallitaan tietty määrä vuotoa ilmanvaihtokanaville. Vanhoissa järjestelmissä vuotoja voi olla enemmän, koska vanhat rakentamismääräykset sallivat nykyisiä vaatimuksia suuremmat vuotomäärät. Kanavavuodot voivat vaikuttaa rakennuksen paine-eroihin, minkä takia tasapainottamisen yhteydessä on hyvä havainnoida mahdollisia poikkeavia kanavavuotoja aistinvaraisella tarkastelulla ja tarvittaessa mittauksin.

Osatehokäyttö. Ilmanvaihtojärjestelmän toiminta tulee varmistaa pistokoemittauksin myös ilmanvaihdon eri toimintapisteissä. Jos kanavamitoitukset ovat liian väljät, ei osatehon ilmavirrat välttämättä jakaudu tasaisesti. Myös päätelaitteiden ilmanjaon toiminta voi muuttua oleellisesti osatehokäytöllä. Osatehokäytön toimintaa on suositeltavaa tarkastella myös rakennuksen paine-eroseurannalla.



Kuva 4. Ilmanjaon toiminta eri tehotasoilla. Vasemmalla 100 %, oikealla 50 %. Osateho aiheutti enemmän vetoa oleskeluvyöhykkeellä. [Kemppe, J. 2018]

Riittävän mittaustarkkuuden saavuttaminen. Mittaustarkkuus vaikuttaa oleellisesti järjestelmän tasapainon saavuttamiseen. Mittaustarkkuuteen vaikuttavat mm. laitetyyppi, laitteiden mitoitus ja suojaetäisyydet, poikkeavat asennustavat asennusohjeeseen nähden. Jos mitattavan laitteen suunnitteluratkaisu on asennusohjeen vastainen, tulee toteutuksesta keskustella suunnittelijan kanssa ja pyrkiä ensisijaisesti noudattamaan laitteen asennusohjetta, jotta laitteiden oikea toiminta ja mittaustarkkuus voidaan taata. Mittausten oikeellisuutta tulee pyrkiä mahdollisuuksien mukaan varmistamaan eri mittaustavoilla (esim. vertailemalla päätelaitteiden, säätöpeltien, kanavien ja puhaltimien mittauksia). Tiiviissä rakennuksissa voidaan hyödyntää myös tilakohtaisia ja sisä- ja ulkoilman välisiä paine-eromittauksia.

Siirtoilman puutteet. Siirtoilman puute asettaa haasteita järjestelmän toimintaan, sillä liian ahtailla siirtoilmareiteillä väliovien avaaminen ja sulkeminen voivat muuttaa venttiilikohdaisia ilmavirtoja. Siirtoilman puutteita voi havainnoida tarkastamalla ovirakojen ja siirtoilmalaitteiden olemassaolo tiloista, joissa on pelkkä poistoilma.

Tasapainon saavuttaminen. Ilmavirtatasapainon saavuttamiseen vaikuttaa isolta osin edellä mainitut haasteet. Lisäksi korkeissa rakennuksissa haasteita tuo termisen paine-eron vaikutukset (ns. savupiippuilmio).

2.2.2 Asuinrakennusten tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät

Asuinrakennuksissa käytetään tyypillisesti pieniä tulo-poistoilmanvaihtokoneita, pl. keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän asuinrakennukset, joissa käytetään vastaavia ilmanvaihtokoneita kuin julkisissa ja kaupallisissa rakennuksissa.

2.2.2.1 Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Tässä järjestelmässä jokaisessa asunnossa/huoneistossa on oma ilmanvaihtojärjestelmä, josta löytyy yhtä asuntoa/huoneistoa palveleva ilmanvaihtokone sekä tulo-, poisto- ja ulkoilma- ja ulospuhallusilmakanavisto.

Ilmanvaihtokone on sijoitettu huoneistokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä yleensä kodinhoitohuoneeseen, pesuhuoneeseen tai tekniseen tilaan.

Huoneistokohtaisen järjestelmän haasteena on säännöllisen huollon järjestäminen, sillä jos taloyhtiö ei ole ottanut huoltojen järjestämistä vastuulle, se jää usein puutteelliseksi. Huoltamattomassa IV-koneessa ilmavirrat voivat muuttua käytön aikana monesta syystä ja tämä muuttaa rakennuksen paine-eroja. Suodattimien likaantumiset muuttavat sekä tulo- että poistoilmavirtoja, koska huoneistokohtaisessa koneessa ei useimmiten ole vakiopainesäätöä. Puhaltimien kunto tulee tarkastaa säännöllisesti, esim. puhaltimien kondensaattorien ikääntyminen voi vaikuttaa suoraan puhaltimen pyörimisnopeuteen. Jos todetaan puhaltimien tuottamien ilmavirtojen laskeneen alkuperäisestä, on suositeltavaa vaihtaa kondensaattorit. Lisäksi huollosta riippumatta monen koneen lämmöntalteenoton sulatustoiminto pienentää yleensä tuloilman määrää tai jopa pysäyttää tuloilmakoneen sulatuksen ajaksi. Liesikuvun tai liesituulettimen käyttö voi myös sekoittaa rakennuksen paine-eroja, jos tehostuksen toteutusta ei ole suunniteltu ja säädetty asianmukaisesti.

Huoneistokohtaisten IV-koneiden haasteita voidaan ehkäistä huolellisilla suunnitteluratkaisuilla, säännöllisellä huollolla sekä erilaisilla laitevalinnoilla ja asennusratkaisuilla.

2.2.2.2 Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä

Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä yksi tulo-poistoilmanvaihtokone palvelee useita asuinhuoneistoja. Keskitetyissä ilmanvaihtojärjestelmissä lämmöntalteenoton huurteenesto ja suodattimien likaantuminen ei vaikuta ilmavirtoihin, mikäli ilmanvaihtokoneita ohjataan vakiopainesäädöllä. Ilmanvaihtokone on vastaava kuin julkisissa ja kaupallisissa kiinteistöissä, mutta ohjaustarpeet ovat erilaiset.

Keskitetyssä järjestelmässä haasteena on liesikupujen tehostuksen säätö, joka voi olla kytketty joko yleisilmanvaihtokoneeseen tai erillispoistoon (huippumuri). Haasteena on mm. riittävän tehostuksen saavuttaminen kaikissa asunnoissa, tasapainon ja äänitasojen pysyminen, kun tehostuksia käytetään eri asunnoissa eri aikoihin, automaation säätöpiirin toiminnan hitaus tai nopeus, sekä tehostetun poiston kompensointi. Referenssiventtiilin määrittäminen tulee yleensä tehdä tehostustilanteessa.

Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän haasteita voidaan ehkäistä huolellisella suunnittelulla, laiteratkaisuilla, sekä hallituilla mittausolosuhteilla (ks. kappale 7.5 Mittausolosuhteet).

2.3 Ilmanvaihto ja sisäilma

Ilmanvaihto on merkittävin tekijä sisäilman laadun hallinnassa. Ilmanvaihdon tehtävä on tuoda puhdasta ilmaa hengitysvyöhykkeelle ja poistaa rakennuksessa syntyviä epäpuhtauksia. Ilmanvaihdon puutteet ja häiriöt voivat ilmetä lukuisina erilaisina ongelmina koetussa sisäympäristössä.

Rakennuksen sisäilmalla tarkoitetaan tarkasteltavan tilan ilmaa. Sisäilman laatu on sisäilman epäpuhtauksien määrää kuvaava termi. Sisäilmastolla tarkoitetaan rakennuksessa vaikuttavien kemiallisten, fysikaalisten ja mikrobiologisten olosuhteiden muodostamaa kokonaisuutta. Sisäilmasto on siis ihmiseen vaikuttavien fysikaalisten ja kemiallisten tekijöiden kokonaisuus, johon kuuluu mm. sisäilman laatu, lämpöolot, ilman liike, ilman kosteus, valaistus ja ääniympäristö. Sisäympäristö on sisäilmastoa laajempi käsite, joka käsittää sisäilmaston lisäksi myös muita kiinteistössä vaikuttavien ympäristötekijöitä, kuten käytettävyys, esteettömyys, turvallisuus, siivouksen taso, psykososiaaliset näkökulmat sekä monet viihtyvyystekijät, kuten värit ja materiaalit. (Sisäilmayhdistys.fi, tyosuojelu.fi)

Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä, eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Tietyille epäpuhtauksille on annettu raja- ja tavoitearvoja eri asetuksissa ja luokituksissa. Eri kohteissa voidaan käyttää erilaisia tavoitearvoja. Uusia asetuksia ja tavoitteita ei yleensä sovelleta vanhempiin rakennuksiin, vaan niitä arvioitaessa tulee tietää kohteen rakennusaikaiset tavoitteet tai kiinteistönomistajan erikseen määrittelemät tavoitteet.

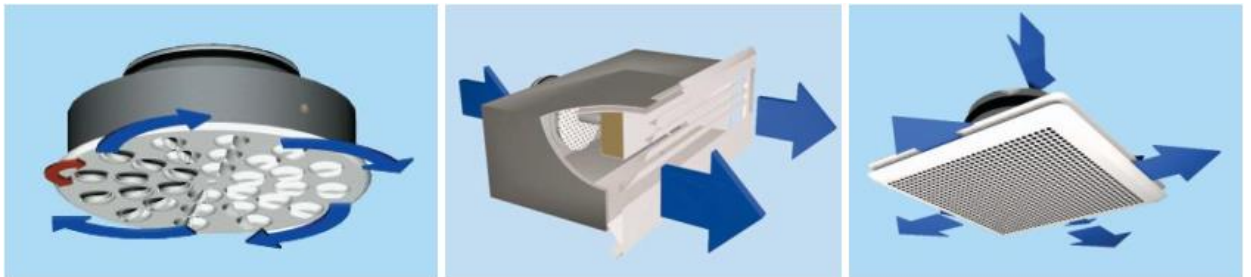
Sisäilman aiheuttaman tautikuorman viisi merkittäväntä altistetta ovat järjestyksessään pienhiukkaset, radon, bioaerosolit (esim. siitepölyt, itiöt ja eläinhilse), passiivitupakointi sekä kosteusvauriot (Hänninen, O. ym. 2013b)

2.3.1 Ilmanjako

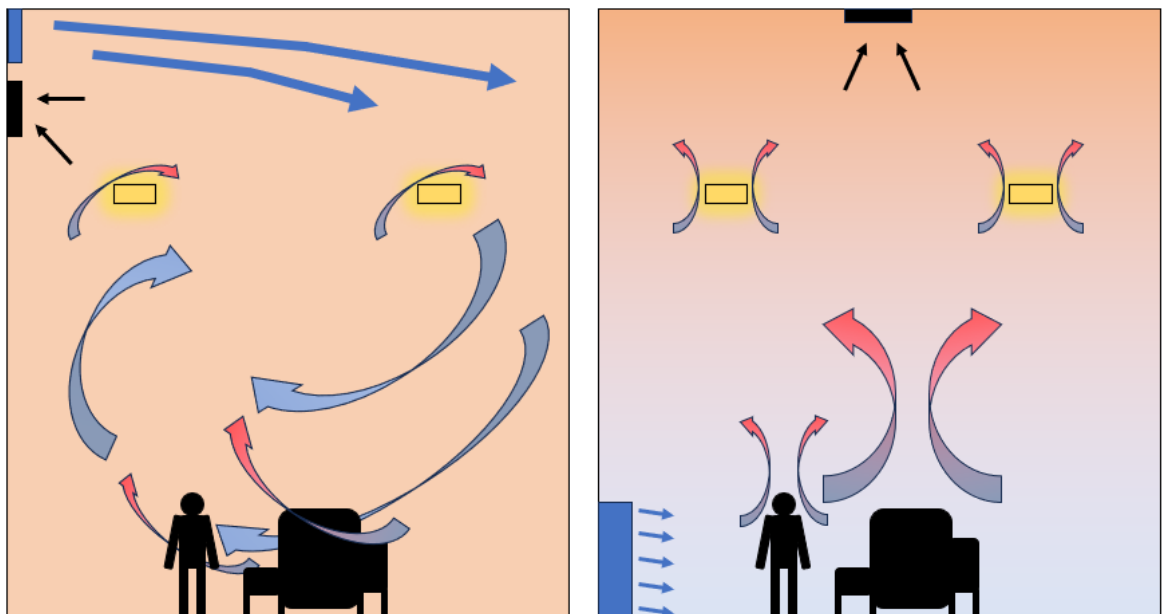
Ilmanjaon tarkoitus on tuoda huonetilaan puhdasta tuloilmaa hallitusti ja sillä on iso merkitys ihmisten lämpöiihtyvyyteen ja koettuun sisäilman laatuun. Ilmanjakoon vaikuttavat yleisesti tuloilmavirtaus ja sen lämpötila, tilan lämpökuormat ja niiden jakautuminen sekä tilassa tapahtuva toiminta. Yleisimmät ilmanjakotavat ovat sekoittava ja syrjäyttävä ilmanjakotapa, joista molemmissa on omat toiminnalliset haasteensa niin epäpuhtauksien leviämisen kuin vetoisuusongelmien suhteen.

2.3.1.1 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavan ilmanjaon periaatteena on laimentaa huoneilman epäpuhtauksia sekoittamalla ulkoilmavirta tehokkaasti huoneilmaan (kuva 6). Tällöin lämpö- ja epäpuhtauspitoisuudet ovat yleensä samat koko tilassa. Ilmavirtauksen nopeus sekoittavalla tuloilmalaitteella on usein yli 2,0 m/s, minkä vuoksi laitteiden sijoituksissa tulee huomioida, ettei oleskeluvyöhykkeelle muodostu vetoisuutta. Sekoittavan ilmanjaon tuloilmalaitteita ovat mm. lautas-, kartio-, monisuutin-, rako-, pyörrevirta- ja suutinhajottajat (Kuva 5). Kukin hajottajatyyppejä muodostaa erilaiset hajotuskuviot, mitkä soveltuvat eri käyttötarkoituksiin. (Cao, G. ym. 2013, Kosonen, R. ym. 2014)



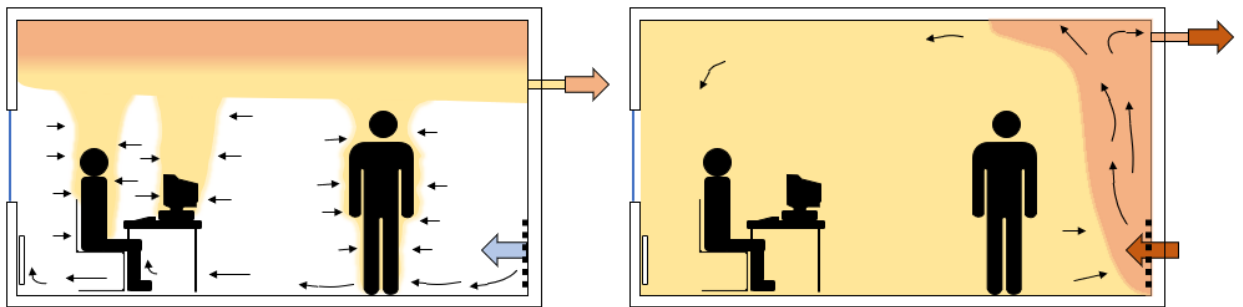
Kuva 5. Esimerkkejä sekoittavan ilmanjaon päätelaitteista. Kattoasenteinen monisuutinhajottaja, seinähajottaja, sivuraolla varustettu kattohajottaja [Halton Oy:n verkkosivut]



Kuva 6. Sekoittavan ja syrjäyttävän ilmanjaon periaatteet [Antti Alanko, mukailleen Kosonen, R. ym. 2014]

2.3.1.2 Syrjäyttävä ilmanjako

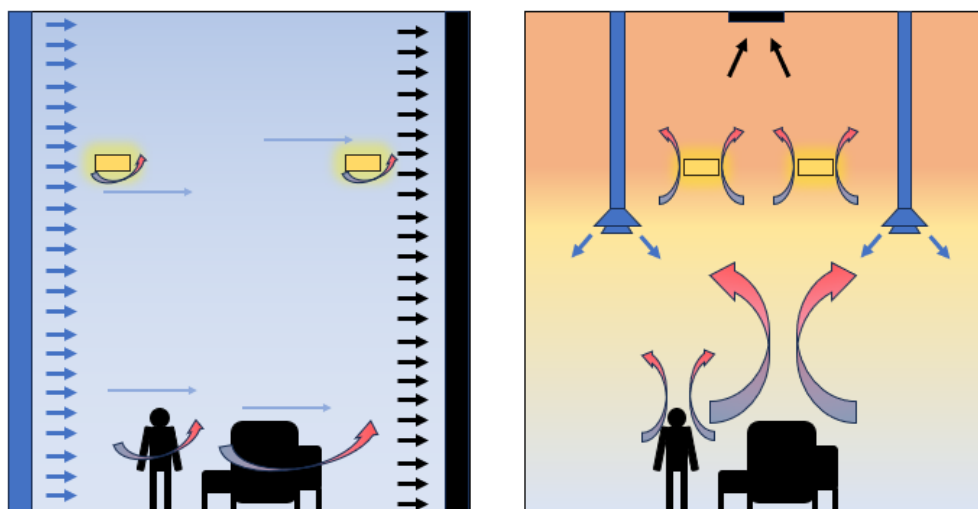
Syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilma tuodaan oleskeluvyöhykkeelle matalanopeuksisen (<0,5 m/s) päätelaitteen avulla lähellä lattiapintaa (kuva 6). Toimiakseen tehokkaasti tuloilman lämpötilan tulee olla huoneilmaa alhaisempi, jolloin tuloilma ohjautuu oleskelutilan alaosaan ja ilma kerrostuu lämpimämmän ilman noustessa ylös (kuva 7). Tämä tehostaa ihmisistä aiheutuvien epäpuhtauksien poistumista nostaten ilmanvaihtotehokkuuden arvoa. Tosin mikäli epäpuhtauslähde ei ole huonelämpötilaan nähden yllämpöinen, on syrjäyttävä ilmanjako tehoton epäpuhtauksien poistamisen suhteen ja oleskeluvyöhykkeelle voi muodostua korkeitakin paikallisia pitoisuuksia. Matalissa, noin 2,3...3 m korkeissa toimistotiloissa kerrostumista ei yleensä ole mahdollista hyödyntää. (Cao, G.y.m. 2013, Kosonen, R. y.m. 2014, Sandberg, E. y.m. 2014).



Kuva 7. Esimerkki hyvästä ja huonosta ilmanvaihdon hyötysuhteesta kahdella eri tuloilman lämpötilalla syrjäytysilmanjakoa käytettäessä. Vasemmalla alilämpöinen tuloilma, oikealla yllämpöinen tuloilma [Antti Alanko, mukaillen Kosonen, R. y.m. 2014]

2.3.1.1 Muita ilmanjakomenetelmiä

Muita ilmanjakomenetelmiä ovat laminaarinen ilmanjako (mäntäperiaate), jossa tuloilma jaetaan tilaan yhdeltä suunnalta laajalta pinta-alalta pienellä nopeudella ja poistetaan vastakkaiselta puolelta, sekä vyöhykeilmanjako, jossa tuloilma sekoitetaan tiettyyn korkeuteen, jonka yläpuolelle epäpuhtauksien ja lämpötilan annetaan kerrostua (kuva 8). (Kosonen, R. y.m. 2014)



Kuva 8. Laminaarisen ja vyöhykeilmanjaon periaatteet [Antti Alanko, mukaillen Kosonen, R. y.m. 2014]

Laminaarista ilmanjakoa käytetään mm. maalaamoissa, puhdistiloissa ja leikkaussaleissa ja käytettävät ilmavirrat ovat yleensä suuria.

Vyöhykeperiaatetta käytetään korkeissa tiloissa, kuten teollisuushalleissa, joissa koneet ja laitteet tuottavat riittävästi lämpöä, joka saa epäpuhtaudet kerrostumaan tilan yläosaan.

2.3.1.2 Ilmanjaon toiminta

Ilmanjaolla tarkoitetaan tuloilman johtamista huonetilaan siihen tarkoitetulla laitteella. Puutteellinen ilmanjako voi mm. heikentää epäpuhtauksien poistumista huonetilasta tai aiheuttaa vedon tunnetta oleskeluvyöhykkeelle.

Tuloilman lämpötila vaikuttaa ilmanvaihdon toimintaan, ja sen tulee useimmiten olla mahdollisuuksien mukaan 1...2 °C sisäilman tavoitelämpötilaa matalampi, jotta tuloilma sekoittuu tehokkaasti huoneilmaan. Poikkeuksia tähän ovat esim. ilmalämmitysjärjestelmät. (Kuntien sisäilmaverkosto)

Ilmanjaon toimintaa ja virtauskenttiä voidaan tarkastella ja optimoida esim. ilmanjaon savukokeiden avulla. (Taipale, T. 2020)



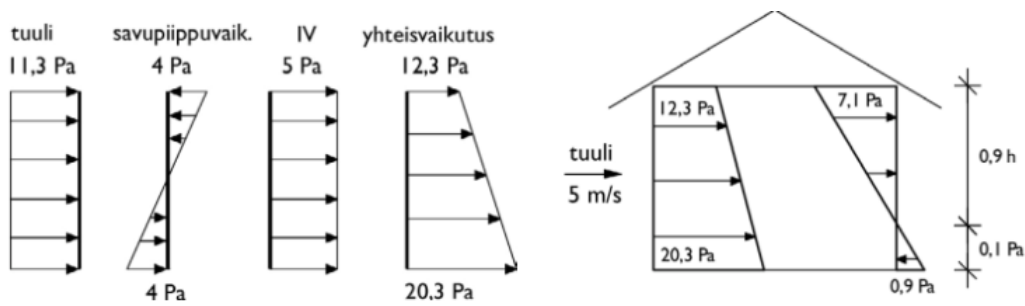
Kuva 9. Ilmanjaon savukoelaitteisto kanavistoon kytkettynä. [Antti Alanko]



Kuva 10. Ilmanjaon suuntaukset savukokeiden avulla. Kuvissa on savun leviäminen samassa ajassa ennen suuntauksia ja suuntausten jälkeen. Vasemmassa kuvassa ennen suuntauksia tuloilma aiheutti oikosulkuvirtauksia ja tilaan jäi tuulettumattomia katvealueita. Oikeassa kuvassa suunnattavien tuloilmalaitteiden uudelleensuuntauksilla puutteet saatiin korjattua. [Savukokeiden esittelyvideo](#) [Antti Alanko]

2.3.2 Rakennuksen paine-erot

Rakennuksen paine-eroilla tarkoitetaan sisä- ja ulkoilman tai rakennuksen eri osien välisiä ilmanpaine-eroja. Paine-erot määräytyvät mm. ilmanvaihdon ja tilojen käytön sekä tuulen ja termisen paine-eron (savupiippuvaikutuksen) yhteisvaikutuksesta. Nämä tekijät saavat rakennuksen paine-erot vaihtelemaan eri olosuhteissa rakennuksen ulkovaipan, sekä tilojen ja eri kerrosten yli. Tuulen vaikutus rakennuksen paine-eroihin, riippuu tuulen nopeudesta ja suunnasta sekä rakennuksen muodoista. Tuulen puoleiselle seinustalle muodostuu ylipaine, ja sivuseinille ja suojan puoleiselle seinälle alipainetta. Tuulen painevaikutus lasketaan eri kertoimilla rakennuksen eri pinnoille. Kuvassa 11 on esitetty esimerkki yhteisvaikutuksista rakennuksen paine-eroihin. (Pitkäranta, M. 2016 s. 86, 119, 122)



Kuva 11. Tuulen, savupiippuvaikutuksen ja ilmanvaihdon yhteisvaikutus rakennuksen painejakaumiin. [Pitkäranta, M. 2016]

Paine-erojen seurauksena syntyvät ilmavirtaukset siirtävät mukanaan mm. lämpöä, kosteutta ja epäpuhtauksia, kuten mineraalivillakuituja, rakennepölyjä, mikrobiperäisiä epäpuhtauksia, hajuja sekä radonia. Epäpuhtauksien kulkeutumiseen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen vaipan ilmatiiviyys. Esimerkiksi epäpuhtauksien kulkeutuminen sisätiloihin on todennäköistä, kun rakennuksen ulko- tai väliseinärakenteissa on mm. rakoja, halkeamia ja/tai avoimia läpivientejä ja rakennus/tila on alipaineinen ulkoilmaan tai ympäröiviin tiloihin nähden. Kosteus voi vuorostaan siirtyä rakenteisiin epätiivisiin ulkovaipan ja ylipaineen yhteisvaikutuksesta, jolloin rakenteisiin voi muodostua kosteusvaurioita kondensoitumisen myötä. Tavanomaisissa rakennuksissa, missä rakennuksen käytöstä aiheutuva kosteuskuorma on alhainen (esim. koulut, toimistot, ym.), ulko- ja jäteilmavirrat tulisi yleensä pyrkiä suunnittelemaan yhtä suuriksi, jolloin koko rakennuksessa säilyy ilmavirtatasapaino. (Sandberg, E. ym 2014a, Pitkäranta, M. 2016 s. 86-87, 120-123)

Mittauksen ja tasapainotuksen aikana tai sen jälkeen rakennuksessa voi ilmetä liian suuri ali- tai yli-paine. Liian suuriin paine-eroihin voi olla lukuisia syitä, mitkä voivat ilmanvaihdon lisäksi liittyä mm. ulkoilmaolosuhteisiin ja rakenteellisiin tekijöihin (taulukko 1). Mittaajan on tärkeä tuntea paine-erojen muodostuminen ja niihin vaikuttavat tekijät, sillä pienikin asia voi aiheuttaa isoja muutoksia rakennuksen paine-eroihin. Esimerkiksi kammiopaineohjatun ilmanvaihtokoneen referenssipaineen muutos voi vaikuttaa rakennuksen paine-eroihin kymmeniä pascalleita, ja vikaantunut ilmamääräsäädin voi vaikuttaa yksittäisen tilan paine-eroon pahimmillaan jopa yli sata pascalia.

Taulukko 1. Rakennuksen sisä- ja ulkoilman välisiin paine-eroihin vaikuttavia tekijöitä

Ilmanvaihdon toiminnan ja kunnan vaikutukset rakennuksen paine-eroihin	Muita vaikuttimia rakennuksen paine-eroihin
Ilmanvaihdon suunnitteluratkaisut tai -virheet	Sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero
Asennusvirheet	Tuulen nopeus
Ilmanvaihto säädetty epätasapainoon	Rakennuksen ulkovaipan tiiviyys
Tukkeutuneet suodattimet tai muita puutteita suodatuksessa	Rakennuksen ulkovaipan tiiviyttä parantavat korjaukset (esim. tiiviyskorjaukset tai ikkunaremontti)
Ilmanottosäleikkö tukossa	Rakennuksen sisäpuolisten rakenteiden tiiviyys
Vikaantuneet laitteet, esim. hihnat ja laakerit	Rakennuksen korkeus
Likaantuneet päätelaitteet ja säätöosat	Käyttäjien toiminta
Kammiopaineohjatun koneen referenssipaineen muutos	
Automaation antureiden tai ohjauksen toimintahäiriöt	
Automatisoitujen laitteiden (esim. IMS) vikaantuminen	

2.3.3 Sisäilman fysikaaliset olosuhteet

Sisäilman fysikaalisia tekijöitä ovat mm. lämpöolot, suhteellinen kosteus, ilmanvaihto, ilmavirtaukset, ilman ionit, säteily, valaistus ja melu. Ilmanvaihdon suunnittelussa ja tasapainotuksessa tuleekin kiinnittää huomiota erityisesti lämpöviihtyvyyteen, ilmavirtauksiin ja äänitasoihin.

Fysikaaliset tekijät eivät itsessään ole epäpuhtauksia, mutta useiden aineiden kemialliset päästöt riippuvat voimakkaasti sisäilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Myös ilmanvaihdon toiminta, tasapaino ja tehokkuus vaikuttavat epäpuhtauksien kulkeutumiseen ja pitoisuuksiin sisäilmassa. Fysikaaliset tekijät voivat aiheuttaa ihmisille oireilua tai terveyshaittaa sellaisenaan, mutta kaikkien tekijöiden terveysvaikutuksia ei toistaiseksi tunneta. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2003, Ympäristö ja Terveys-lehti 2009, Säteri, J. 2014).

2.3.4 Kemialliset epäpuhtaudet

2.3.4.1 Hiilidioksidi

Sisäilman hiilidioksidi (CO₂) on peräisin ulkoilmasta ja tilan käyttäjistä, ja pitoisuus vaihtelee voimakkaasti tilan käyttöasteen mukaan. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee alueittain ja ajoittain, mutta yleisesti kaupunkialueilla pitoisuus on noin 400 ppm. Hiilidioksidiarvoa mitataan ppm arvolla (=parts per million). Arvo on prosenttien ja promillien kaltainen suhdeyksikkö, joka ilmaisee tässä tapauksessa, kuinka monta tilavuuden miljoonasosaa hiilidioksidia yksi kuutiometri ilmaa sisältää. 10 000 ppm = 1 %.

Haitalliseksi tunnettu kahdeksan tunnin keskipitoisuus (HTP_{8h}-arvo) on 5000 ppm, mutta koska hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrä on likimain verrannollinen hiilidioksidin tuottoon, voidaan sitä käyttää kuvaamaan ilmanvaihdon riittävyttä, vaikka hiilidioksidipitoisuus ei sellaisenaan olisikaan haitallisen korkea. Tavoitearvot ylittävä hiilidioksidipitoisuus huonetilassa kuvaa siis riittämätöntä ilmanvaihtoa.

Hiilidioksidi itsessään on siis harvoin terveydelle haitallista tavanomaisissa sisäympäristöissä, mutta se toimii ilmanvaihdon toiminnan indikaattorina silloin, kun ihminen on suurin epäpuhtauslähde tiloissa. Mitauspisteen sijainti ja ilmanjaon toiminta voivat kuitenkin vaikuttaa hiilidioksidipitoisuusmittauksen luotettavuuteen oleellisesti.

2.3.4.2 Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) ovat yleensä osa normaalia elinympäristöä. Niitä haihtuu sisäilmaan mm. rakennusmateriaaleista, kalusteista, kemikaaleista sekä tilojen käyttäjistä ja toiminnasta (siivouskemikaalit, askartelu, hajusteet ym.). Myös ulkoilmasta voi kulkeutua sisäilmaan VOC-yhdisteitä erityisesti liikenteen päästöistä. Uusista materiaaleista saattaa haihtua VOC-yhdisteitä huomattavastikin, minkä takia uusissa rakennuksissa ja saneerausten jälkeen ilmanvaihtoa suositellaan pidettävän tehostettuna ½ - 1 vuotta. Joissain tapauksissa materiaalit saattavat myös hajota kemiallisesti mm. rakenteellisen vaurion tai kosteusvaurion myötä. VOC-päästöjä suurentavat erityisesti korkeat lämpötilat ja kosteus. Sisäilman VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin vaikuttavat mm. säteilylämpötila, ilmanvaihdon toiminta, rakennuksen paine-erot, ilman liikkeet tilassa, vuodenaika sekä tilan käyttö. Julkisissa rakennuksissa VOC-pitoisuudet ovat yleensä asuinrakennuksia pienempiä, johtuen mm. tehokkaammasta ilmanvaihdosta. (Pitkäranta, M. 2016 s. 67–71, Ympäristö ja Terveys-lehti 2009)

Ilmanvaihdolla on tärkeä tehtävä laimentaa myös sisäilman VOC-pitoisuuksia. Osa tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaavista mittalaitteista reagoivat myös VOC-yhdisteisiin.

2.3.4.3 Hiukkaset

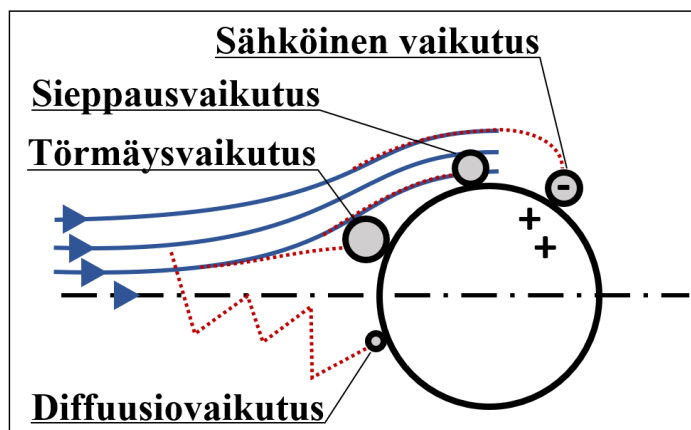
Aerosolihiukkaset ovat ilmakehässä leijuvia kiinteitä tai nestemäisiä hiukkasia, mitkä koostuvat luonnollisista (merisuola, maaperä, tulivuoret, kasvit, mikrobit, ym.) sekä ihmisten toiminnasta aiheutuvista (polttoprosessit, liikenne, ym.) lähteistä.

Hiukkaset voidaan luokitella kokonsa mukaan kokonaisleijumaan (TSP, total suspended particulates), hengitettäviin hiukkasiin (PM10), pienhiukkasiin (PM2.5) sekä ultrapieniin hiukkasiin (UFP). Hengitettävät hiukkaset ovat alle 10 mikrometriä (10 µm), pienhiukkaset alle 2,5 µm sekä ultrapienet (nano-) hiukkaset alle 0,1 µm. Terveysvaikutusten kannalta pienhiukkaset ja ultrapienet hiukkaset ovat merkittävimpiä. (Ympäristö ja Terveys-lehti 2009, Säteri, J. 2014, Chen, R. ym. 2016.)

Pienhiukkasille altistutaan pääosin hengitysteiden kautta. Ihmisen sisään hengittämät hiukkaset jakautuvat hengitysteiden eri osiin kokoluokkien mukaan. Kaiken kokoisista hiukkasista osa myös kulkeutuu pois hengitysteistä uloshengitysilman mukana. (Salonen, R.O. ym. 2006).

Sisäilman hiukkasista noin puolet on peräisin ulkoilmasta, josta ne kulkeutuvat sisäilmaan mm. rakenteellisten epätiiviyksien, ikkunoiden ja ovien sekä ilmanvaihdon kautta. Hiukkasten sisälähteinä toimivat mm. oleskelu (tekstiilit, iho), siivous, ruoanlaitto, lemmikkieläimet, tulisijat ja kynttilöiden poltto. Hiukkasten kulkeutumiseen ja olomuotoon sisäympäristössä vaikuttavat sarja fysikaalisia ja kemiallisia tapahtumia. (Fromme, H. 2012, Hänninen, O. 2015)

Tärkein sisäilman hiukkasrajoittava tekijä on tuloilman suodatus. Tällöin tuloilman laatu pysyy hyvänä ja parantaa asukkaiden/työntekijöiden terveyttä, viihtyvyyttä ja tuottavuutta. Hiukkasmaisten epäpuhtauksien suodattamiseen käytetään yleisimmin kuiduista valmistettua suodatusmateriaalia. Suodattimen kyky kerätä hiukkasia perustuu mekaanisiin ja sähköisiin ilmiöihin, joiden yhteisvaikutukset muodostavat suodattimen erotusasteen. Eri ilmiöt vaikuttavat eri tavoin eri kokoluokissa. Kuvassa 12 on esitetty erotusmekanismien pääasialliset toimintaperiaatteet. (Koskinen, E. ym. 2014).



Kuva 12. Hiukkassuodatuksen mekanismeja. Valkoinen ympyrä kuvaa suodattimen yksittäisen kuidun poikkileikkausta. [Antti Alanko, mukailen Koskinen, E. 2014]

Suodattimien luokittelun pääluokat ovat standardin SFS-EN ISO 16890 mukaan seuraavat:

Pääluokka	Mittausväli (µm ja luokitus)	Määritelmä PM _x -hiukkasille
ePM ₁	0,3...1 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 1 µm aukon 50-prosenttisesti
ePM _{2.5}	0,3...2.5 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 2,5 µm aukon 50-prosenttisesti
ePM ₁₀	0,3...10 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm aukon 50-prosenttisesti
Coarse	0,3...10 ja erotusaste < 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm aukon alle 50-prosenttisesti

2.4 Paine

Ilmanvaihtokanavissa vaikuttaa kaksi erilaista painemuotoa:

- dynaaminen paine, joka kuvaa ilman liikettä kanavassa.
- staattinen paine, joka kuvaa kanavan yli- tai alipaineisuutta.

Kokonaispaine on staattisen ja dynaamisen paineen sekä painehäviöiden summa, ja se pysyy kanavassa vakiona.

Poistoilmakanavassa staattinen ja kokonaispaine ovat negatiivisia, mutta dynaaminen paine on aina positiivinen. Tuloilmakanavassa myös staattinen ja kokonaispaine ovat positiivisia. (Sandberg, E. ym. 2014)

2.4.1 Staattinen paine

Staattinen paine on kanavassa joka suuntaan samalla voimalla vaikuttavan paineen ja järjestelmän ulkoisen paineen ero. Staattisen paineen voimalla kanavan sivussa olevasta reiästä virtaa ilmaan sisään (alipaine) tai ulos (ylipaine).

Korkea staattinen paine voi viitata liian ahtaasti mitoitettuun tai toteutettuun kanavistoon, kuristamalla tehtyyn ilmavirtasäätöön, palopellin laukeamiseen tai johonkin likaantuneeseen ilmanvaihtojärjestelmän komponenttiin. Korkea staattinen paine voi rasittaa puhallinta ja aiheuttaa häiritsevää ääntä.

Matala staattinen paine sen sijaan voi viitata liian väljään kanavamitoitukseen, isompiin kanavavuotoihin tai aukinaiisiin puhdistusluukkuihin. Staattisen paineen mittauksilla voidaan selvittää mm. epäiltyjä vuoto- paikkoja tai tukkeumia kanavistossa. Äkillinen huomattava muutos kanaviston staattisessa paineessa usein viittaa johonkin häiriötekijään.

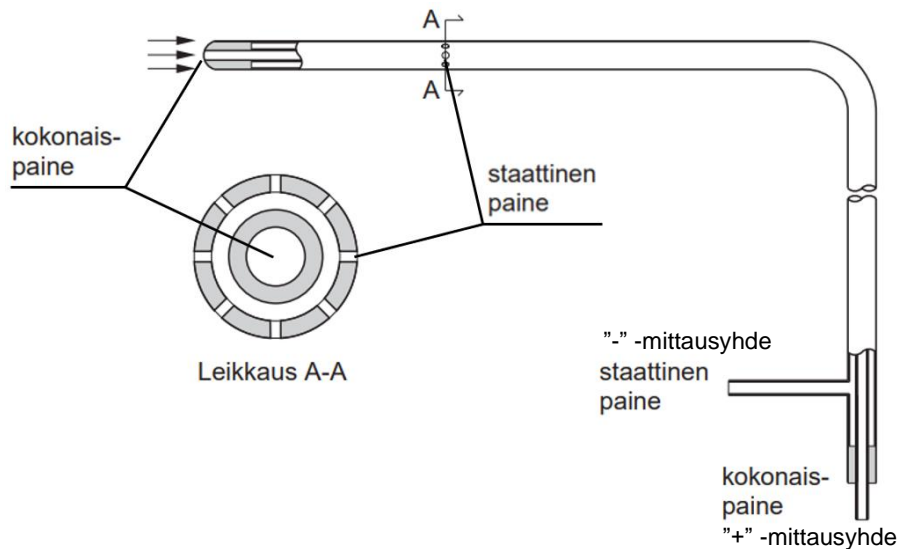
Staattinen paine voidaan mitata esim. staattisen paineen mittauskärjellä tai suuntaa antavasti pelkällä letkulla kanavaan poratusta reiästä. Staattinen paine mitataan aina yhdellä letkulla, koska kyseessä on kanavan ja sitä ympäröivän tilan paine-ero.

2.4.2 Dynaaminen paine

Dynaaminen paine on ilman virtauksesta johtuva, virtauksen suuntaisesti vaikuttava paine ja se kuvaa ilman liikettä kanavassa.

Dynaaminen paine käyttäytyy eri tavoin tulo- ja poistoilmakanavissa, sillä se on aina positiivinen. Tämän takia tuloilma voidaan mitoittaa siten, että ilma tulee tasaisesti samankokoisista rei'istä, esim. suutinkanavasta, kun taas poistoilmassa tämä ei ole mahdollista, koska dynaaminen paine ja painehäviöt vaikuttavat samaan suuntaan.

Dynaaminen paine voidaan mitata pitot-putkella, jolla mitataan kokonaispaineen ja staattisen paineen erotus, eli dynaaminen paine. Tästä saadaan laskettua virtausnopeus. Mittaustulokseen vaikuttaa ilman tiheys, mikä on tärkeää huomata kanavamittauksissa esim. asettamalla mittalaitteen asetuksiin kanavassa kulkevan ilman lämpötila. Useimpiin mittalaitteisiin on sisäänrakennettu kanavanopeuden laskenta pitot-mittauksesta. (ks. kuva 13 ja kohdat 4.1.5 ja 8.3.2)



Kuva 13. Pitot-putken toimintaperiaate [LVI 014-10290]

2.4.3 Painehäviöt

Painehäviöillä tarkoitetaan kokonaispaineen virtaushäviötä, jotka koostuvat:

- kitkapainehäviöistä, joka kuvaa kanavan seinämän jarruttavaa vaikutusta
- kertavastuspainehäviöistä, joka kuvaa kanaviston osien ja laitteiden aiheuttamaa vastusta.

Kitkapainehäviöihin vaikuttavat mm. ilman nopeus, kanavan koko ja muoto, kanavan sisäpinnan karheus, kanavan pituus sekä ilman tiheys. Kitkapainehäviön osuus on suurempi pienillä kanavilla.

Kertavastuspainehäviöihin vaikuttavat mm. ilman nopeus, kanavan muodonmuutoksen koko ja muoto, muodonmuutosten lukumäärä sekä ilman tiheys. Kertavastuspainehäviöt johtuvat käytännössä kanaviston muodonmuutoksista, esim. muutokappaleista, käyristä, haaroista, kanavavarusteista ym. Suurilla kanavilla kertavastusten osuus on kitkapainehäviötä merkittävämpi.

2.4.4 K-kerroin

Päätelaittevalmistaja on ilmoittanut laitteen teknisissä tiedoissa tai säätöoppaissa kunkin päätelaitteen mittaushjeet sekä ilmavirran riippuvuuden mittauspaine-erosta eri säätöasenoilla joko käyrästä ja/tai yhtälönä. Yhtälössä oleellinen suure on k-kerroin. K-kerroin kuvaa ilmavirran riippuvuutta mittauspaine-erosta yhtälönä. K on yleensä yksikköä $(l/s)/Pa^{0.5}$. (ks. kohdat 6 ja 8.3.1)

Poikkeavissa lämpötiloissa mitattaessa tulee aina tehdä tiheyskorjaus, koska mittauspaine-ero on suurempi suuremmalla ilman tiheydellä (ks. kohta 6.2 ja liite 1).

3 Ilmavirran hallintaan liittyvät laitteet

3.1 Kanavalaitteet

Kanavalaitteita ovat mm. säätö- ja sulkupellit, palopellit, äänenvaimentimet, vakiovirtaussäätimet ja ilmamääräsäätimet (IMS).

3.1.1 Säätöpellit

Säätöpeltejä käytetään useimmiten suuremmissa kanavistoissa, joissa päätelaitteiden säätövara ei riitä. Säätöpellit sijoitetaan runko- ja haarakanaviin. Suurin osa säätöpelteistä on varustettu mittausyhteillä, mutta vanhoissa säätöpelteissä ei välttämättä ole mittausmahdollisuutta.

Säätöpelteiden säätömekanismeja on erityyppisiä, joilla kullakin on omat ominaispiirteensä ja haasteensa, jotka vaikuttavat eri tavoin äänitasoihin, säädettävyyteen ja mittaustarkkuuteen. Erilaiset säätöpellit käyttäytyvät myös eri tavoin eri säätöasunnoissa. Erityisesti erilaisissa vianselvityksissä on tärkeä ymmärtää säätöpellin rakenne ja toiminta. Esim. lähelle säätöpellin kytkettyyn haarakanavaan voi olla vaikea saada ohjattua tuloilmaa, jos säätöasento on kuristeinen. Tällöin sulkurakenne ohjaa ilmavirtausta läheisen haarakanavan ohi.

Säätöpelteiden haasteina voi olla mm. ahdas asennuspaikka, jolloin säätöpellille on vaikea päästä, tai huonot suojaetäisyydet, jolloin mittaustarkkuus kärsii, eikä paine-eroon perustuvaan mittaukseen voi luottaa.



Kuva 14. Rakenteeltaan erilaisia säätöpeltejä [FläktGroup, IRIS, Halton PRA, Climecon SAM, Halton PTS]

3.1.2 Palopellit

Kun ilmakanava kulkee osastoivan rakennusosan läpi, kanava varustetaan yleensä palopellillä. Mittaus- ja tasapainotustöiden kannalta palopeltien toiminta ja sijainnit on syytä olla selvillä. Rakennusosien välisten läpivientien hyvä tiiviys on myös erittäin tärkeää paloturvallisuuden, epäpuhtauksien leviämisen, sekä ilmanvaihdon hallinnan kannalta.

Palopeltejä on sekä mekaanisesti, että sähköisesti toimivia. Sähköisen ohjauksen perässä olevia palopeltejä käytetään myös joissain tapauksissa ilmavirtojen tehostuspeleinä.

Ennen mittauksia ja tasapainotusta on tärkeää varmistua, ettei kohteessa ole sulkeutuneita palopeltejä. Mittaajan kannattaakin pitää mukana yleisimpiä palopeltien sulakemalleja.



Kuva 15. Erilaisia palopeltejä, yläpuolella FläktGroup ETPR-E-1 ja ETPR [FläktGroup], keskellä ETS NORD FDMS pyöreä palopelti ja FDMB suorakaidepalopelti [ETS NORD], alapuolella vanha sälepalopelti auki ja kiinni -asennossa kanavan sisäpuolelta kuvattuna [Antti Alanko]



Kuva 16. Yleisiä palosulakemalleja [FläktGroup ETFF, ETPR, Halton SSA]

3.1.3 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimet eivät varsinaisesti ole tasapainotukseen läheisesti liittyviä komponentteja, mutta niidenkin ominaispiirteitä pitää toisinaan osata huomioida. Erityisesti kantikkaiden äänenvaimentimien sijoitukset voivat vaikuttaa säätöpeltien, päätelaitteiden ja ilmamääräsäätimien mittaustarkkuuksiin, jos ne ovat liian lähellä ko. laitteita. Tasapainotuksen yhteydessä on hyvä raportoida myös avoimista mineraalivillapinnoista, jos niitä havaitaan tuloilmakanavistossa, sillä villakuidut voivat aiheuttaa ärsytysoireita.

Ilmanvaihtokoneiden yhteydessä olevien äänenvaimentimien virheellinen mitoitus tai asennus voi myös vaikuttaa tasapainotustyöhön. Vaimennin voi kuristaa ilmavirtausta niin paljon, että mitoitettuja ilmavirtoja ei voida saavuttaa.



Kuva 17. Ilmanvaihtokoneen kulmaäänenvaimentimen liitos tehty liian ahtaaksi, eikä puhallin pystynyt tuottamaan mitoitettua ilmavirtausta.

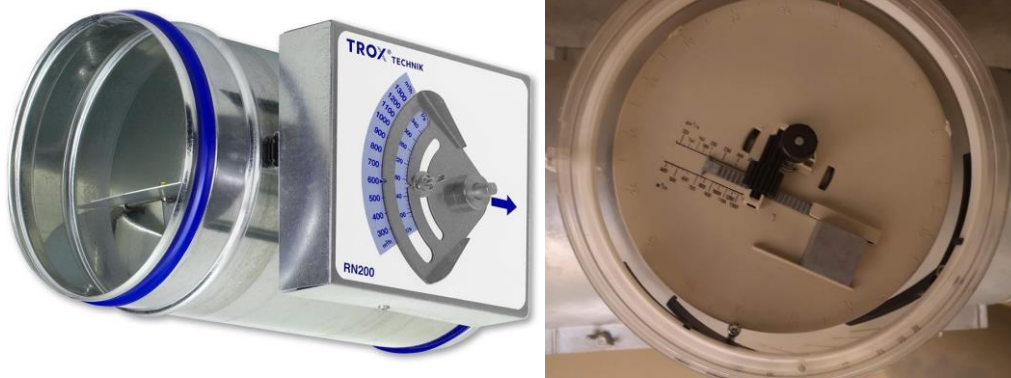
Kanaviston sisällä voi olla myös merkkeämattomia säätövaimentimia tai vastaavia, jotka voivat vaikuttaa oleellisesti tasapainotustyöhön.



Kuva 18. Kanavan sisälle asennettavia Inno- ja Sava-säätövaimentimia [Jeven]

3.1.4 Vakiovirtaussäätimet

Vakiovirtaussäätimet toimivat mekaanisesti ja ne pitävät ilmavirrat asetetussa arvossa ilman ulkoista virtalähdettä tai ohjausta. Saatavilla on myös erilaisia moottorikäyttöisiä vakiovirtaussäätimiä, joita voidaan ohjata eri käyttötilanteisiin. Vakiovirtaussäätimet vaativat riittävän kanavapaineen ja suojaetäisyydet oikean toiminnan takaamiseksi. Vakiovirtaussäätimien asettelusta vastaa tasapainotuksesta vastaava henkilö. Asetetun ilmavirran oikeellisuus on todennettava kanava- ja/tai päätelaitemittauksin.



Kuva 19. Vakiovirtaussäätimen säätömekanismeja. [Vas. Trox RN, oik. Halton ASA]

3.1.5 Ilmamääräsäätimet (IMS)

Ilmamääräsäätimet ovat ilmavirtoja aktiivisesti säätäviä laitteita, joissa on yleensä läppäpelti ja ilmavirran mittaussosa, sekä ohjain, joka ohjaa ilmavirtaa ja jolla laitteen asetuksia voi säätää. Ilmamääräsäätimet ovat erityisen herkkiä häiriövirtauksille ja on ehdottoman tärkeää, että valmistajan ilmoittamia vähimmäissuojaetäisyyksiä noudatetaan.

Ilmavirran mittaus tapahtuu useimmiten paine-eroon tai ultraäänianturiin perustuen. Paine-eromittaus voi tapahtua esim. mittauslaipan, mittaristikon tai pellin läpän yli. Paine-eroantureissa on myös eroa; usein anturi on ns. läpivirtausanturi, jolloin kanavassa virtaavaa ilmaa kulkee itse anturin läpi. Lisäksi on läpivirtaamattomia kalvopaineantureita. Anturityyppi vaikuttaa laitteen vikaantumisherkkyyteen ja sen huoltotarpeisiin.



Kuva 20. Yleisiä ilmamääräsäätimiä [Halton HFB, FläktGroup EMSS, Lindab UltraLink FTCU]
Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus

Ilmamääräsäätimiin liittyy paljon käytännön haasteita, jotka voivat liittyä mm. laitteen ominaisuuksiin, suunnitteluun, asennukseen, automatiikkaan, säätöön ja huoltoon (Taulukko 2). Ilmamääräsäätimien toiminnan edellytykset on suositeltavaa selvittää ennen varsinaista tasapainotustyötä.

Taulukko 2. Ilmamääräsäätimien käytännön haasteita. [Päivitetty, Alanko, A. 2018]

Puute	Vaikutus	Toimilaji
Huonot suojaetäisyydet	Mittaustarkkuus ja mittauksen huojuminen	Suunnittelu, asennus
Huono sijainti / huollettavuus	Säännöllinen tarkastus ”unohtuu” ja vianselvitys ja huolto hankaloituvat	Suunnittelu, asennus
Liian pienet ilmavirrat osateholla	Mittaustarkkuus	Suunnittelu, säätö, automaatio
Puutteet ilmanjaon mitoituksissa	Vedon tunne eri tehotasoilla	Suunnittelu
Vierekkäisissä kytkennöissä / rungoissa erilaiset säädöt (IMS/kammiopaine)	Ilmavirtojen huojuminen, säädön tarkkuus ei riitä	Suunnittelu
Huoneanturin huono sijainti	Virheellinen ohjaus	Suunnittelu, asennus
Huoneanturin epätarkkuus	Virheellinen ohjaus	Huolto
Huoltohenkilöstön puutteellinen perehdytys	Järjestelmän toiminta pitkällä aikavälillä	Urakointi, huolto
Mittauslaippa vinossa / irronnut	Virheellinen mittaus	Asennus, huolto
Virheelliset letkukytkenät	Virheellinen mittaus	Asennus, huolto
Läpivirtausanturi / mittausyhteet likaantuneet	Mittaustarkkuus, mittauksen huojuminen	Suunnittelu, laitevalmistus, huolto
Läpivirtausanturin rikkoutuminen puhdistuksen yhteydessä	Virheellinen mittaus	Laitevalmistus, huolto
Mekaaninen vika	Pelti löysä tai ei toimi oikein	Laitevalmistus, huolto
Laitevika	Mittaustarkkuus, virheellinen mittaus, mittauksen huojuminen	Laitevalmistus, asennus, automaatio
Ohjelmointi- /suunnitteluvirhe automatiikassa	Virheellinen mittaustulos automatiikassa, virheellinen ilmavirtojen ohjaus, puutteelliset mittaus-/ohjaustiedot	Automaatio, suunnittelu
Kaapeloinnin häiriöt	Säätöviestin, mittauksen ja ohjauksen virheet	Automaatio, sähkö, asennus
Kalibrointiominaisuus (joissain ultraäänimalleissa)	Lämpötilan muutos kanavassa ajaa esim. poistopellin kiinni ja auki, eikä huomioi saman tilan tuloilmaa (tai päinvastoin)	Laitevalmistus, automaatio

3.1.6 Muita kanavalaitteita ja kanavistoon kuulumattomat kappaleet

Muita kanavalaitteita on mm. mittausosat ilman säätöominaisuuksia, savunrajoitinlaitteet, kanavasuodattimet ja erilaiset ristiinmenokappaleet, jotka voivat vaikuttaa mm. ilman jakautumiseen kanavistossa ja sen myötä järjestelmän säädettävyyteen.

Erityisesti vanhoista kanttikanavista on mahdollista löytää myös sinne kuulumattomia asioita, kuten reikätiiliä, pahviviritelmiä, tulppia tai muita kanavistoon kuulumattomia rakenteita, joilla ilmavirtauksia on esimerkiksi pyritty tasapainottamaan, ohjaamaan tai tulppaamaan. Nämä rakenteet voivat aiheuttaa kanavistossa ylimääräistä painehäviötä, joka voi olla havaittavissa mittauksen yhteydessä esimerkiksi poikkeuksellisen suurina verrattavien päätelaitteiden painetasojen eroina tai ongelmina suunnittelun mukaisen painetasojen saavuttamisessa. Vastaan voi tulla myös mm. kanavapuhdistusten yhteydessä jumittuneita puhdistusharjoja tai kuolleita jyrssiöitä.

3.2 Huonelaitteet

Huonelaitteilla tarkoitetaan yleisesti ilmanjakoon, poistoon ja siirtoilmaan tarkoitettuja venttiileitä tai laitteita. Huonelaitteilla hallitaan ilman vaihtuminen tiloissa. Tarkoitus on johtaa puhdas tuloilma vedottomasti oleskeluvyöhykkeelle tai työpisteille, siirtää ilmaa tilasta toiseen, sekä poistaa likaantunutta huoneilmaa.

Koneelliselle ilmanvaihdolle on olemassa hyvin erilaisia ja erikokoisia venttiileitä käyttötarkoituksen mukaan. Jotkut laitteet soveltuvat käytettäväksi sekä tulo- että poistoilmalaitteina, mutta yleisesti päätelaitteet on suunniteltu käytettäväksi vain tulo- tai poistoilmaan.

Päätelaitteita on olemassa olevassa kiinteistökannassa satoja erilaisia, jotka ovat peräisin eri vuosikymmeniltä. K-arvojen etsiminen on joskus työlästä ja aikaa vievää, jolloin tulee harkita joko vaihtoehtoisen mittaustavan käyttämistä tai esittää kiinteistönomistajalle päätelaitteiden vaihtoa uusiin mahdollisuuksien mukaan. Vanhoissa tuloilmalaitteissa on myös käytetty mineraalivillapohjaisia vaimennusmateriaaleja, jotka voivat aiheuttaa viihtyisyyshaittaa ja oireilua sisätiloissa. Monet vanhat laitteet onkin usein suositeltavaa uusia nykyaikaisiin tehokkaammilla virtauskuvioilla, paremmalla muuntojoustolla ja luotettavammilla säätösilla varustettuihin päätelaitteisiin.

3.2.1 Tuloilmaventtiilit

Yleisemmät kattoon asennettavat tuloilmaventtiilit ovat pyöreitä venttiileitä, jotka ovat varustettu erillisillä suuntauslevyillä, joiden avulla voidaan vaikuttaa venttiilin puhallussuuntauksiin. Suuntauslevy vaikuttaa usein laitteen k-arvoon ja sen voi tarvittaessa poistaa. Venttiin rungossa on solumuovi- tai kumitiiviste, jolla laite tiivistyy kattopintaan. Venttiilit asennetaan erilliselle kiinnityskehykselle, mistä se lähtee kiertämällä irti, tai vaihtoehtoisesti jousikiinnitteisenä suoraan kanavaan.

Venttiin säätö tapahtuu yleensä keskiötä (ns. säätölautanen) kiertämällä, joka muuttaa puhallusraon avausta. Keskiö lukitaan yleensä mutterilla. Säätöasennon lukitseminen on tärkeää tehdä säätöjen pysyvyyden takaamiseksi.

Seinään tarkoitetut venttiilit ovat usein rakenteeltaan hieman erilaisia, tosin moni kattoventtiili soveltuu myös seinäasennukseen. Seinään asennettavat tuloilmaventtiilit asennetaan yleensä lähelle katonrajaa, jolloin ilmavirtaus ”tarttuu” kattopintaan (coandä-ilmiö) ja heittopituus kasvaa. Seinäventtiilit ovat kiinteästi asennettu ja niiden etulevy on irrotettavissa. Seinäventtiin säätö tapahtuu yleensä irrottamalla venttiin etulevy ja sulkemalla sen reikiä teippaamalla, tulppaamalla tai magneettinauhalla.

Tuloilmaventtiilien mittaustarkkuus on yleisesti ottaen hyvä, mutta venttiilit vaativat valmistajien mukaiset suojaetäisyydet. Huonolla suojaetäisyydellä häiriövirtaukset vaikuttavat mittaukseen ja mittaustulos voi olla epätarkka. Huono suojaetäisyys voi myös aiheuttaa poikkeavaa ääntä venttiilillä. Venttiilien mitaus on suositeltavaa tarkastaa eri puolilta venttiiliä.



Kuva 21. Erilaisia tuloilmaventtiileitä. [FläktGroup KTS & STQA, Climecon OKA]

3.2.2 Tuloilmalaitteet

Tuloilmalaitteita on moneen eri tarkoitukseen ja ilmanjakojärjestelmään. Erityyppisiä tuloilmalaitteita ovat mm. kattohajottajat, seinähajottajat, lattiahajottajat, piennopeuslaitteet, pyörrehajottajat, rakohajottajat, suutinkanavat. Hajottajat voivat olla kiinteitä, tai niissä voi olla kiinteitä tai suunnattavia suuttimia.

Tuloilmalaitteet ovat venttiileitä monimutkaisempia ja ne voivat koostua yhdestä tai kahdesta osasta, kuten hajottajaosasta ja tasauslaatikosta (ts. liitäntälaatikko), jossa on mittaus- ja säätöosa. Hajottajaosa määrää puhallussuuntauksen, joka on usein säädettävä. Tasauslaatikko vaimentaa kanaviston kautta kantautuvia ääniä ja säätö suoritetaan mittaus- ja säätöosalla.



Kuva 22. Tuloilmahajottajia (vas. suuttimilla, oikealla raolla). [Climecon OLO, FläktGroup RHKH]



Kuva 23. Tasauslaatikko ja tasauslaatikon periaatekuva. Oikealla FläktGroupin mittaus- ja säätöosa ZAEF [Swegon ALS, FläktGroup ATTC & ZAEF]



Kuva 24. Eriaisia piennopeuslaitteita, eli syrjäyttävän ilmanjoon päätelaitteita [Lindab CHA, Swegon DVC, Climecon DINO-T, FläktGroup DVRA]



Kuva 25. Suutinkanavia [Lindab VSR, Swegon IBIS]

Tuloilmalaitteiden mittausta tapahtuu laitteesta riippuen yhdellä tai kahdella letkulla ja laitteen k-arvoon voi vaikuttaa mm. laitteen tyyppi ja koko, säätöasento, kanavakytkennät (sivulta, takaa tai päältä) sekä suojaetäisyys. Oikean k-arvon valintaan on ohjeet valmistajan säätöohjeessa.

Tasauslaatikolla varustettujen laitteiden säätö tapahtuu yleensä naruja liikuttamalla, vaijeria pyörittämällä tai muuta säätöosaa siirtämällä/kääntämällä. Laitteen mittaletkut ja säätönarut tai vaijerit tulee asettaa huolellisesti päätelaitteen sisälle, jotta esim. kiinteistön käyttäjät eivät pääse niihin käsiksi ja säädetyt arvot muuttumaan. Tuloilmalaitteiden huollon yhteydessä on tärkeää huolehtia siitä, ettei säätöasennot pääse muuttumaan ja varmistetaan osien oikea asennus laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti.

Tuloilmalaitteiden mittaustarkkuus on usein herkkä häiriövirtauksille, joten asennusohjeiden mukaisia suojaetäisyyksiä on tärkeä noudattaa. Myös kanavan kokomuutokset ennen kytkentää heikentävät mittaustarkkuutta. Kaikkia mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ei ole aina esitetty asennusohjeissa.

Osassa laitteita on monipuoliset suuntausmahdollisuudet, joten tasapainotustyön yhteydessä laitteen suuntauksia on hyvä arvioida tilakohtaisesti siten, että tuloilma pääsee leviämään laajasti huonetilaan aiheuttamatta vedon tunnetta oleskeluvyöhykkeellä. Puhallus ei lähtökohtaisesti saa olla suunnattuna suoraan poistoilmalaitteisiin.

3.2.3 Poistoilmaventtiilit

Yleisimmät poistoilmaventtiilit ovat pyöreitä ja moni eri venttiilimalli muistuttaa läheisesti toisiaan. Venttiilin rungossa on solumuovi- tai kumitiiviste, jolla laite tiivistyy kattopintaan. Venttiilit asennetaan erilliselle kiinnityskehykselle, mistä se lähtee kiertämällä irti, tai vaihtoehtoisesti jousikiinnitteisenä suoraan kanaavaan. Venttiilin keskellä on keskikartio (säätölautanen), jota kiertämällä venttiili on helposti säädettävissä ja lukittavissa valittuun säätöasentoon. Lukitseminen tapahtuu yleensä mutterilla. Säätöasennon lukitseminen on tärkeää tehdä säätöjen pysyvyyden takaamiseksi. Osa venttiileistä soveltuu sekä tulo- että poistoilmaan.

Poistoilmaventtiilien mittaustarkkuus on yleisesti ottaen hyvä ja niiden suojaetäisyydellä ei ole niin suuria vaatimuksia kuin tuloilmaventtiileille on asetettu. Poistoilmaventtiilien mittaustuloksen luotettavuus heikkenee, kun mittauspaine laskee n. 20 Pa alapuolelle. Usein yli 100 Pa paine-erot alkavat aiheuttaa venttiileillä ääniongelmia. Eri valmistajien, mallien ja ikäisten venttiilien ulkonäöstä ei aina voi päätellä varmasti oikeaa venttiiliä, eikä venttiilin sisäpuolella välttämättä lue tyyppiä. Tällöin valittujen k-arvojen käyttäminen kannattaa varmistaa esim. kanava- tai huppumittauksin.



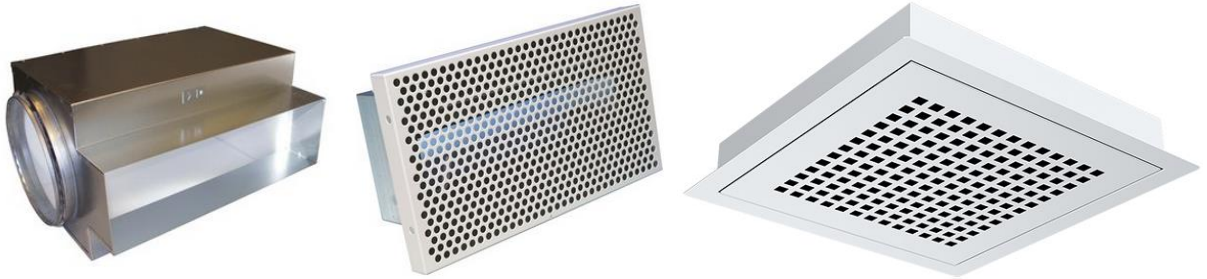
Kuva 26. Erilaisia poistoilmaventtiileitä [FläktGroup KSO, Climecon SET, Lindab Airy]

3.2.4 Poistoilmalaitteet

Poistoilmalaitteet ovat vastaavia kuin tuloilmalaitteet, eli ne koostuvat usein säleikkö- tai hajotinosasta ja taseauslaatikosta.

Poistoilmalaitteiden mittaus ja säätö tapahtuu vastaavasti kuin tuloilmalaitteissa. (ks. kohta 3.2.2)

Poistoilmalaitteiden asentaminen samoihin haarakanaviin poistoilmaventtiilien kanssa voi johtaa liian pieniin painetasoihin poistoilmaventtiileillä, koska venttiilit ja laitteet toimivat yleensä eri painealueilla.



Kuva 27. Vasemmalta alkaen EHC-poistoilmalaitteen kytkentälaatikko TG, poistoilmalaite EHC, sekä poistoilmalaite OLOi [FläktGroup, Climecon]

3.2.5 Savunrajoittimena toimivat päätelaitteet

Ilmanvaihtolaitteistoille ja päätelaitteille on erityisiä vaatimuksia paloturvallisuutta ohjaavissa asetuksissa, jotka vaikuttavat myös asetuksen alaisien kohteiden tasapainotustyöhön. Tyypillisesti tällaisia kohteita ovat esimerkiksi hotellit, joissa ilmanvaihtokanavistolle on huoneistokohtaisia palon ja/tai savun leviämisen rajoittamiseen ohjaavia vaatimuksia. Savunrajoittimilla (kuristimilla) toteutettu tilakohtainen ilmanvaihto asettaa vaatimuksia päätelaitteille tai kanavaosille. Savurajoittimina voidaan käyttää päätelaitetta tai säätöosaa, joka täyttää savunrajoitukselle asetetut ehdot. Ehdot ja tyyppihyväksyntä ohjeet on kuvattu seuraavissa asiakirjoissa:

- Tuotesertifiointiperusteet SERT R089 Rakennusten ilmanvaihdon päätelaitteet, Eurofins Expert Services Oy
- Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus –opas, Talotekniikkainfo.fi

Ohjeissa esitetään muun muassa määrääviä ehtoja kuristimena toimivan päätelaitteen kiinnityksestä, virtausrajoituksesta ja palokestävydestä. Virtausohjeena savunrajoittimena toimivan kuristimen tai kuristimien läpi saa virrata tilakohtaisesti (tulo- ja poistoilma erikseen) enintään 42 dm³/s, kun kokonaispaine on 100 Pa. Tämä ehto asettaa rajoitteet päätelaitteen tai kuristimena toimivan säätöpellin säätöasennolle, joka tulee huomioida suunnittelussa ja tasapainotusta tehdessä.

Kuristimena voidaan käyttää mm. ehdot suoraan vakiona täyttävää venttiiliä tai kanavaosaa. Vaihtoehtoisesti toteutus voidaan tehdä myös kuristinkäyttöön soveltuvalla säätöpellillä tai päätelaitteella, jonka säätöasennoksi määritellään savunrajoitinehdot täyttävä venttiilin maksimiavausasento, joka on tyypillisesti esitetty laitevalmistajan asennusohjeissa. Esimerkiksi KSO-venttiiliä voidaan käyttää rajoittimena kokoluokissa 100 mm ja 125 mm, kun venttiilin avausasennoksi asetetaan maksimissaan KSO-100 venttiilillä 10 mm ja KSO-125 venttiilillä 5 mm.

Savurajoittimina voidaan käyttää myös erityisiä savunrajoitinlaitteita, joilla estetään palotilanteessa takaisinvirtaus tuloilmakanavistossa. Näiden laitteiden käyttö edellyttää usein tilatyyppikohtaisen paloanalyysilaskennan tai muun määrittelyn, joka antaa ohjearvon savurajoitinlaitteen jälkeisen tuloilmahaaran ja päätelaitteen hyväksyttävälle kokonaispainehäviölle. Järjestelmän toimintaperiaatteeseen kuuluu ilmanvaihdon toiminnassa pysyminen palotilanteessa ja näiden laitteiden käyttö edellyttää niiden

käyttöön liittyvien suunnitteluohjeiden mukaista ilmanvaihdon toteutusta. Poistoilmalaitteille ei näiden laitteiden tapauksessa ole annettu erityisiä vaatimuksia, mutta suunnittelijalta tulee saada tasapainotusta varten tarkat ohjeet kokonaispaineen määrittelystä tuloilmakanavalle ja myös poistoilmalaitteiden säädön osalta.

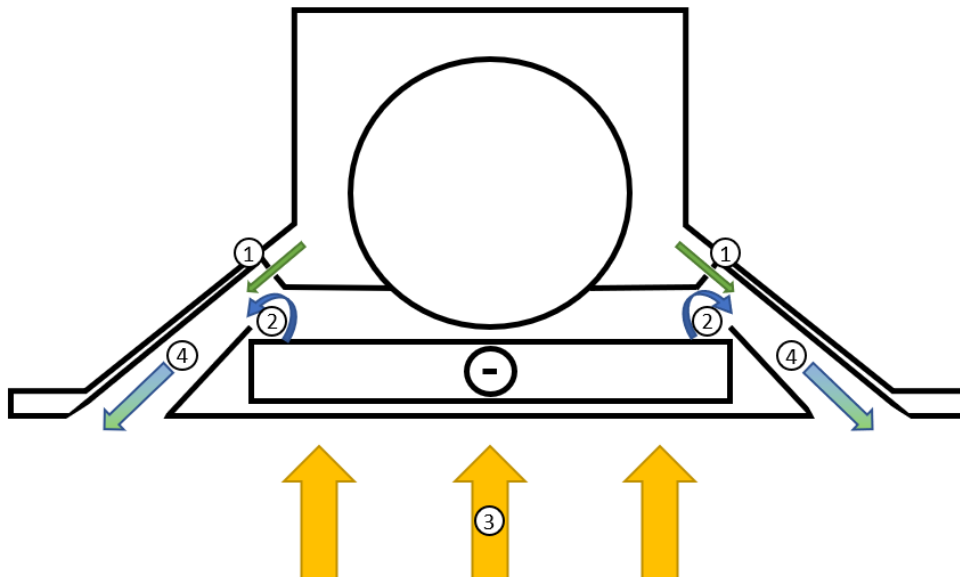
3.2.6 Jäähdytyspalkit (ilmastointipalkit)

Jäähdytyspalkit jaetaan toimintaperiaatteen mukaan kahteen ryhmään; aktiivi- ja passiivijäähdytyspalkkeihin. Passiivijäähdytyspalkin toiminta perustuu luonnolliseen konvektioon, jolloin niitä ei kytketä ilmanvaihtojärjestelmiin. Passiivijäähdytystä ei käsitellä tässä ohjeessa; tässä ohjeessa jäähdytyspalkkeilla tarkoitetaan siis jatkossa aktiivijäähdytyspalkkeja. Aktiivijäähdytyspalkkien toiminta perustuu pakotettuun konvektioon, eli ilmanvaihtojärjestelmän tuottamiin ilmavirtauksiin.

Jäähdytyspalkkeja on saatavilla alakattoasennukseen tai vapaaseen asennukseen. Pituudet vaihtelevat alakattolevyn kokoisesta jopa yli kolmeen metriin. Niitä on saatavana laajalle ilmavirta alueelle ja usein ne vaativat erillisen säätöpellin ilmavirtojen säätöön. Osassa malleista on suunnattavat virtauskuviot, mutta kaikki eivät ole suunnattavissa.

Jäähdytyspalkkeja on muuttuvilla ja kiinteillä k-arvoilla. Eri palkkeissa on myös erilaisia avaus- ja suuntausmekanismeja. Tämän takia on tärkeää tutustua huolella jäähdytyspalkin valmistajan ohjeeseen.

Tärkeä edellytys suunnitellun jäähdytystehon toteutumiseen on riittävä paine laitteen tuloilmasuuttimilla. Suuttimelta virtaava nopea ilmasuihku "imaisee", eli indusoi jäähdytyspatterin läpi huoneilmaa mukaansa, jolloin laitteelta puhallettava ilmavirta kasvaa ja jäähtyy. Valmistajan teknisissä esitteissä on yleensä esitetty vaadittava suutinpainetaso. Jäähdytyspalkin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Jäähdytyspalkin toimintaperiaate poikkileikkauksena: 1 = Ensiöilma, eli palkista puhallettava tuloilma, 2 = suuttimien puhallus saa aikaan alipaineen suuttimen viereen, 3 = alipaine indusoi ilmaa jäähdytyspatterin läpi (induktioilma / sekundääri-ilma), 4 = sekoittunut tuloilmavirta ja jäähdytetty huoneilma. [Antti Alanko]

4 Tarvittavat mittalaitteet ja työkalut

Ilmanvaihtolaitosten mittaus- ja tasapainotustyössä tarvitaan erilaisia työkaluja ja mittalaitteita luotettavan lopputuloksen aikaansaamiseksi ja varmistamiseksi. Ilmavirtojen mittausmenetelmiä on olemassa muitakin, kuin mitä tässä ohjeessa käsitellään, mutta ne eivät ole yleisesti käytössä.

4.1 Ilmanvaihdon mittauslaitteet

Ilmanvaihdon mittauksiin on erilaisia mittausmenetelmiä ja mittareita. Käytettäviä menetelmiä ja mittalaitteita valittaessa on tärkeää tuntea niiden toimintaperiaatteet ja niihin vaikuttavat epävarmuustekijät.

4.1.1 Paine-eromittarit

Paine-eromittarilla mitataan huonetilan ja päätelaitteen välistä paine-eroa, tai mittausosan yli vaikuttavaa paine-eroa. Tapahtuu kytkemällä mittarin letkuyhteistä letku/letkut mitattavaan laitteeseen valmistajan ohjeen mukaisesti. Jotkin paine-eromittarit saa näyttämään paine-eron lisäksi esimerkiksi päätelaitteen läpi virtaavan ilmavirran suoraan. Tällöin ilmavirtaa ei tarvitse itse laskea, vaan mittaja asettaa mittariin mitattavan päätelaitteen avauksen mukaisen k-arvon, jonka perusteella mittari laskee ilmavirran. Joillain paine-eromittareilla voidaan tehdä myös kanavamittauksia pitot-putkella (ks. 4.1.5).



Kuva 29. Paine-eromittareita; SwemaMan, Miran DP-200 [Pietiko], TSI TC5825 [Teknocalor], Pressovac PHM-V1

4.1.2 Monitoimimittarit

Monitoimimittarit ovat paine-eromittareita monipuolisempia, joissa on usein laajat mittausominaisuudet. Paine-eron lisäksi niihin saa kytkettyä erillisiä mittalaitteita, kuten erilaisia kuumalanka- ja olosuhdeantureita, ja niillä voi laajojen ilmavirtojen mittausominaisuuksien lisäksi tehdä usein myös erilaisia lämpöviihtyvyyksmittauksia.



Kuva 30. Monitoimimittareita; Swema 3000 [Pietiko], TSI VelociCalc TC9565 [Teknocalor], Testo 400 [Sensorcell]

4.1.3 Huppumittarit

Huppumittari asetetaan mitattavan venttiilin tai laitteen päälle, jolloin ilmavirta ohjautuu ”torven” läpi ja mittari näyttää suoraan ilmavirran. Ensisijaisesti mittaukset on suositeltavaa toteuttaa paine-eroon ja/tai kanavanopeuteen perustuvilla mittauksilla, mutta huppumittari on hyvä lisä, jos edellä mainittuihin liittyy poikkeuksellisia epävarmuustekijöitä. Tuloilmavirtojen mittauksissa on tarkkuus kuitenkin heikko virtauksen epätasaisuuden takia.

Huppumittarin käytössä on kiinnitettävä huomiota hupun tiivistymiseen mitattavan laitteen ympärille, ettei mittarin ohi kulje ilmaa. Huppumittarilla mitattaessa on toistettavuuden parantamiseksi suositeltavaa mitata ja kirjata lopuksi mittauspöytäkirjaan päätelaitteen paine-ero, vaikka paine-eroa ei käytäisiäkään ilmavirtojen tasapainotuksessa.



Kuva 31. Huppumittareita; TSI Alnor [Teknocolor], SwemaFlow [Pietiko]

4.1.4 Siipipyöriänemometri

Siipipyöriänemometreissa on herkästi laakeroitu siipipyörä, joka pyörii ilmavirran vaikutuksesta. Siipipyörän pyörimisnopeuden perusteella mittari laskee virtausnopeuden ja ilmavirran. Apuna käytetään usein huppua tai torvea, ja mittaus tapahtuu vastaavasti kuin huppumittareilla. Siipipyöriänemometrejä koskee samat huomiot, kuin huppumittareita, ja niitä tulisi käyttää vain, kun paine-eroon ja/tai kanavanopeuteen perustuvia mittauksia ei voida luotettavasti tehdä.



Kuva 32. Siipipyöriänemometrejä; Kimo LV110-s [Kimrok], TSI TC5725 & LCA301+Aircone [Tecnokolor]

4.1.5 Mittareiden lisätarvikkeet ja -laitteet

Mittakoukku (mittasondi). Mittakoukulla mitataan tiettyjen venttiilien paine-eroa valmistajien ohjeiden mukaisesti.



Kuva 33. Mittakoukkuja [Sami Mäkinen]

Mittatikku. Mittatikulla mitataan useimmiten tiettyjen tuloilmaventtiilien paine-eroa valmistajien ohjeiden mukaisesti.



Kuva 34. Mittatikkuja [Sami Mäkinen]

Muita mittayhteitä. Yleisten mittakoukkujen ja -tikkujen lisäksi on olemassa joitain valmistajakohtaisia päätelaitteiden mittaamiseen tarkoitettuja apuvälineitä.



Kuva 35. Climecon Oy:n mittausyhteet tiettyjä päätelaitteita varten [Mikki Backman]

Pitot-putki. Pitot-putkea käytetään kanavanopeuden mittaamiseen. Pitot-putki mittaa kanavan dynaamista painetta, eli kokonaispaineen ja staattisen paineen erotusta, josta saadaan laskettua nopeus. Pitot-laskentaohjelmalla varustetut paine-ero- ja monitoimimittarit laskevat nopeuden automaattisesti, kun kanavakoko on asetettu mittarin tietoihin. Kokonaispaine mitataan putken kärjestä ja staattinen paine putken kehältä.

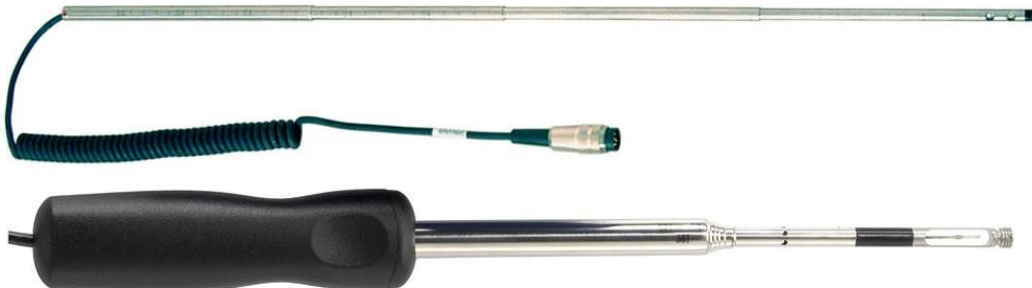


Kuva 36. Pitot-putki [Teknocalor]



Kuva 37. Pitot-putki mittariin kytkettynä

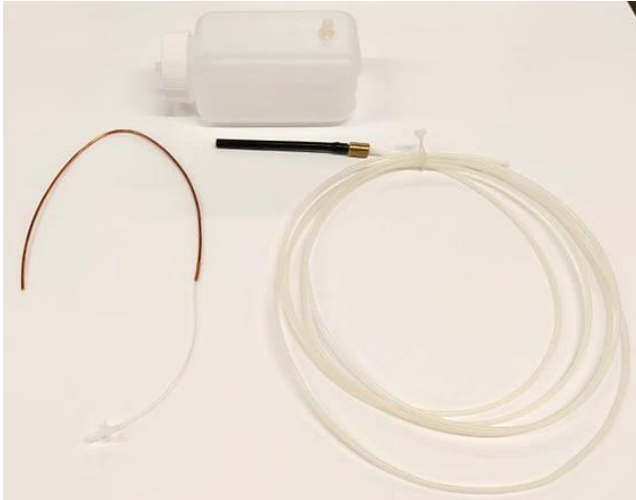
Kuumalanka-anturi. Kuumalanka-anturi on monitoimimittareissa yleisesti käytetty lisätarvike, jolla mitataan ilman nopeutta esim. kanavasta tai säleikön otsapinnasta. Monitoimimittareissa on monipuoliset laskenta-asetukset kuumalankamittauksiin. Kuumalanka-anturi on Pitot-putkea tarkempi, kun mitattava ilman nopeus on alle 2 m/s.



Kuva 38. Kuumalanka-antureita; Swema & TSI [Pietiko & Teknocalor]

Sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron mittaamiseen tarvikkeet. Rakennusvaipan yli paine-eroa mitattaessa voidaan käyttää esim. kuparikapillaariputkea tai pneumatiikkaletkua, joka viedään paine-eromittarilta ulko-oven tai ikkunan välistä ulos, niin että ovi tai ikkuna suljetaan ja letku jää väliin. Vaikka molemmat kestävät hyvin puristumista, niin hyvin tiukka ovi- tai ikkunaväli voi vaurioittaa putkea/letkua.

Tuulen vaikutusta voidaan hillitä erillisillä siihen tarkoitetuilla osilla, kuten kuvan 39 muovipurkki.

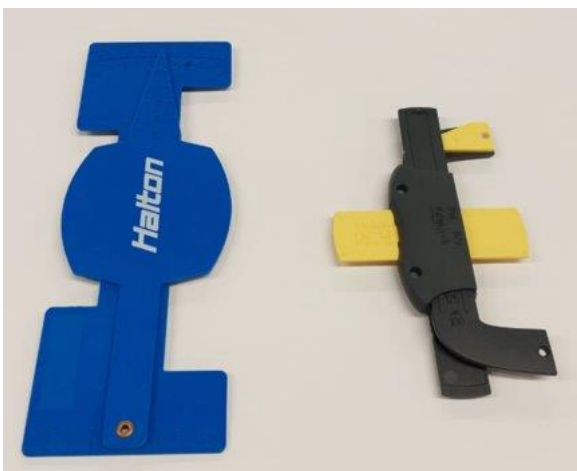


Kuva 39. Tarvikkeita sisä- ja ulkoilman välisen paine-eron mittaamiseen [Sami Mäkinen]

4.1.6 Tasapainotustyössä tarvittavat työkalut ja tarvikkeet

Perustyökalut. Moni päätelaite tai muu säädettävä laite tarvitsee avaamiseen, lukitsemiseen tai muuhun toimenpiteeseen perustyökaluja, kuten akkuporakone kärkineen ja askelporanterä, ruuvimeisseleitä, kiintoavaimia, siirtoleukapihdit ja tukevat, mutta kompaktit A-tikkaat.

Rakotulkki. Rakotulkeilla mitataan pyöreiden kattoon tai seinään asennettävien tulo- ja poistoventtiilien avausasentoja. Rakotulkeissa ja niiden käytettävyydessä on valmistajakohtaisia eroja. Tulo- ja poistoilmaventtiileitä varten rakotulkeissa on eri asennon luentakohdat, joilla avauksia mitataan. Myös joidenkin jäähdytyspalkkien säätöihin tarvitaan rakotulkkia.



Kuva 40. Rakotulkkeja [Sami Mäkinen]

Säätöoppaat. Säätöoppaista löytyy päätelaitevalmistajien päätelaitteiden ilmavirtojen laskemiseen tai avauksen määrittämiseen tarvittavat laite- ja asentokohtaiset k-arvot ja säätökaaviot.



Kuva 41. Muutaman valmistajan eri ikäisiä säätöoppaita [Sami Mäkinen]

Laskin. Laskinta tarvitaan erilaisten kaavojen laskemiseen, jotta saadaan selvitettyä ilmavirtoja, painetta ja venttiilien avauksia. Laskimesta tulee löytyä perusominaisuuksien lisäksi ainakin neliöjuuri.

Muita säätöihin tarkoitettuja työkaluja ja tarvikkeita. Säätöasentojen muuttamiseen ja suuttimien suuntaukseen on olemassa joitain laitekohtaisia työkaluja ja tulppia, joiden tarve on erikseen ilmoitettu laitekohtaisissa ohjeissa ja/tai säätöoppaissa. Usein uusien laitteiden mukana toimitetaan tarvittavat laitekohtaiset työkalut ja tarvikkeet.

Mukana voi olla perusteltua pitää myös perusventtiileiden varatarvikkeita, kuten tiivisteitä, suuntauslevyjä ja säätöön tarvittavia teippi- tai magneettinauhoja. Uudiskohteiden tasapainotusten jäljiltä yli jääviä tarvikkeita kannattaa kerätä talteen, jos mahdollista.

Kanavamittausreiät tulee tulpata suojatulpilla, joita on saatavissa erikokoisia.



Kuva 42. Vasemmalla Climecon Oy:n työkalu suunnattavien suuttimien kääntämiseen ja tiettyjen päätelaitteiden säätöasennon muuttamiseen [Antti Alanko], oikealla esimerkki suojatulpasta, joilla mittausreiä voidaan tulpata [Etra]

5 Ilmanvaihdon suunnittelu

5.1 Mittaus- ja tasapainotustyön huomiointi ilmanvaihdon suunnittelussa

Ilmanvaihdon suunnitteluratkaisut voivat oleellisesti vaikuttaa tasapainotuksen onnistumiseen. Pahimmillaan huonot ratkaisut voivat estää luotettavan ja vakaan tasapainottamisen. Toisinaan ahtaat tilat tai muut haasteet pakottavat suunnittelijan tekemään tasapainotustyön kannalta epäedullisia ratkaisuja.

Ilmanvaihdon oikean toiminnan ja sujuvan tasapainotuksen mahdollistaminen lähtee jo tilasuunnittelusta ja arkkitehtuurista. Ilmanvaihtolaitteille ja muulle talotekniikalle tulisi aina varmistaa riittävät tekniset tilat, kiulit ja muut tilavaraukset, että laitteet on mahdollista asentaa laitevalmistajien ohjeiden mukaisesti suojaetäisyydet ja huoltotilat huomioiden. Kaikille säädettäville ja huollettaville laitteille tulee myös olla mahdollisimman vaivaton ja turvallinen pääsy.

Ilman sisäänotto tulee suunnitella pohjoisseinustalle, jotta aurinko ei pääse lämmittämään ilmanottoa. Aurinkoisemmillä puolilla asennettuna ilmanotto voi aiheuttaa ongelmia lämmönhallintaan ja jopa lämpötilahäilytyksiä ilmanvaihtokoneeseen.

Ilmanvaihtokoneille, niiden oheislaitteille ja niistä lähteville runkokanaville tulee olla riittävät tilat. Runkokanaviin on suositeltavaa suunnitella runkojen kokonaisilmavirtojen mittaukseen sopivat laitteet ja niille riittävät suojaetäisyydet, vaikka puhaltimissa olisikin kokonaisilmavirtojen mittausmahdollisuus.

Erityisesti kammio- tai kanavapaineohjatuissa järjestelmissä ilmanvaihtokonehuoneen paine-ero ei saa vaihdella yli ± 5 Pa eri käyttötilanteissa. Tämä pitää huomioida erityisesti konehuoneen ilmanvaihdossa ja mahdollisessa ylijämmönpoistojärjestelmän korvausilman mitoituksessa. (ks. kuva 49)

Mitoituksissa ei tule pyrkiä liian väljään kanavistoon ja väliin päätelaitteisiin, sillä pieni säätöpaine heikentää mittausten luotettavuutta. Liian väljä kanavisto ei myöskään toimi tasapainoisesti osatehoilla.

Päätelaitteiden sijoituksissa tulee huomioida kunnollinen pääsy laitteille. Erityisesti portaiden yläpuolisia seinä- ja kattoasennuksia tulee välttää. Sellaisissa korkeissa tiloissa, joissa nostimien käyttö on haastavaa, on säädettäville laitteille hyvä järjestää pääsy muuta kautta (esim. säätöpelti eri tilaan tai helpompaan paikkaan). Säännöllisesti huollettavia laitteita ei tule sijoittaa vaikeasti tavoitettaviin paikkoihin.

Asennusten ja tasapainotuksen kannalta pienkohteen ilmanvaihtokoneen on hyvä sijaita erillisessä lämpimässä teknisessä tilassa, ulkoseinällä, mieluiten kattokiinnityksellä tai lattialle asennettuna.

5.2 Sisäilman huomiointi ilmanvaihdon suunnittelussa

Ilmanvaihto on merkittävin tekijä sisäilman laadun hallinnassa (ks. kappale 2.3). Vaikka ilmanvaihdon vaikutus sisäilmaan ja sen eri tekijöihin on erittäin laaja, käytetään mitoitusperusteina yleensä lähinnä tilojen kokoa ja henkilömääriä, mutta myös mm. lämpö-, kosteus- ja hiilidioksidikuormia. Mittaaja kohtaa useimmiten tilojen kokoon, henkilömääriin sekä lämpö- ja hiilidioksidikuormiin liittyviä haasteita.

5.2.1 Pinta-ala- ja henkilömääräperusteiset mitoitukset

Riittävän sisäilmanlaadun kannalta oleskelutilojen ulkoilmavirraksi on mitoitettava vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti suunniteltuna käyttöaikana, jos tilan käyttötarkoituksesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Koko rakennuksen ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s) /m}^2$ lattian pinta-alaa kohden suunniteltuna käyttöaikana, jos rakennuksen tilan käyttötarkoituksen erityisluonteesta ei aiheudu lisäilmavirran tarvetta. Asuinhuoneiston ulkoilmavirraksi on mitoitettava kuitenkin vähintään $18 \text{ dm}^3/\text{s}$. (Suomen säädöskokoelma 1009/2017)

Sisäilmastoluokituksen mukaan, ilmavirrat tulee mitoittaa vastaamaan tilojen todellista henkilökuormitusta mahdollisimman tarkasti, mutta jos se ei suunnitteluvaiheessa ole tiedossa, tulee järjestelmä mitoittaa suurimman todennäköisen ilmanvaihtotarpeen mukaisesti esim. sisäilmastoluokituksen esimerkkitaulukkoja hyödyntäen. (Sisäilmastoluokitus 2018)

5.2.2 Hiilidioksidipitoisuudet

Sisäilman hiilidioksidin hetkellisen pitoisuuden suunnitteluarvo huonetilan suunniteltuna käyttöaikana voi olla enintään 1450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus (Suomen säädöskokoelma 1009/2017). Asumisterveysasetuksessa asetettu sisäilman hiilidioksidipitoisuuden toimenpideraja ylittyy, jos pitoisuus on 2 100 mg/m³ (1 150 ppm) suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus. (Asumisterveysasetus 545/2015)

Sisäilmastoluokituksessa 2018 hiilidioksidipitoisuustavoitteet koskevat ihmisperäistä hiilidioksidia ja tavoitearvot on esitetty hiilidioksidipitoisuuslisänä ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen. Olosuhteiden pysyvyyttä tarkastellaan tunnin liukuvan keskiarvon avulla, jolloin tavoitearvojen hetkelliset ylitykset ovat sallittuja. Sisäilmastoluokituksen S1- ja S2-luokkien tavoitearvot ovat asetusten vähimmäisvaatimuksia tiukempia. S3-luokka vastaa asetuksen vaatimuksia (Suomen säädöskokoelma 1009/2017).

5.3 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholla (kW/(m³/s)) tarkoitetaan rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien ja niihin liittyvien taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden yhteenlaskettua sähköverkosta ottamaa sähkötehoa jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän suunnitellun käyttöajan ulospuhallusilmavirralla tai ulkoilmavirralla, sen mukaisesti kumpi näistä on suurempi. (SFP-opas, Talteka 2023, Suomen säädöskokoelma 1009/2017)

Ominaissähköteho tulee mitata vakioilmavirtaisen ilmanvaihtojärjestelmän ollessa käyttöajan tehostamattomilla ilmavirroilla. (Talotekniikkainfo.fi)

Rakennuksen sähkötöiden vastuuhenkilö mittaa ilmavaihtokoneen ottaman virta-arvon ja antaa tiedon ilmanvaihtotöiden vastuuhenkilölle. Ilmanvaihdon vastuuhenkilö laskee annetuilla tiedoilla ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon ja antaa tiedot ilmanvaihtotöiden valvojalle tai suunnittelijalle tarkastettavaksi. (Talotekniikkainfo.fi)

Jos rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä, voi koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho olla enintään 1,8 kW/(m³/s) ja koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho enintään 0,9 kW/(m³/s). Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi ylittää edellä mainitut arvot rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisen sisäilmaston niin edellyttäessä. (Mäkinen, S. 2021)

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehosta on aiemmin käytetty nimitystä SFP-luku.

5.4 Siirtoilma

Siirtoilma on ilmaa, joka johdetaan hallitusti tilasta toiseen tilaan, joko siirtoilmalaitteen tai oviraon kautta. Siirtoilmalla varmistetaan siis ilman hallittu liike erilaisten tilojen välillä. Tarkoituksena on siirtää ilmaa hallitusti puhtaista tiloista kosteisiin tai ”likaisempiin” tiloihin päin. Siirtoilmareittien oltava riittävän väljät, jotta tarvittava ilmavirta voi siirtyä hallitusti tilasta toiseen. Esimerkiksi asuinrakennusten ovirakojen tulee yleensä olla vähintään 20 mm, mikä riittää korkeintaan 20 l/s ilmavirralla.

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 15§ on säädetty seuraavaa:

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ilmanvaihto siten, että palautus- ja siirtoilmana voidaan käyttää vain ilmanpuhtaudeltaan samanarvoisten tai puhtaampien tilojen ilmaa, joka ei saa sisältää ilmanlaatua heikentäviä määriä epäpuhtauksia. Palautus-, siirto-, tai kierrätysilman käyttö ei saa aiheuttaa epäpuhtauksien, erityisesti hajujen, haitallista leviämistä. (Suomen säädöskokoelma 1009/2017)

Siirtoilmana saa yleensä käyttää vain poistoilmaluokkien 1 ja 2 ilmaa.

Taulukko 3. Poistoilmaluokat ja niiden käytön rajoitukset. [talotekniikkainfo.fi]

Poistoilma-luokka	Käytön rajoitus	Tilaesimerkkejä
Luokka 1	Ilma soveltuu palautus- ja siirtoilmaksi	Toimistotilat ja niiden yhteydessä olevat pienet varastotilat, yleisöpalvelutilat, opetustilat, eräät kokoontumistilat sekä liiketilat, joissa ei ole hajuvoimaa.
Luokka 2	Ilmaa ei käytetä muiden tilojen palautusilmana, mutta se voidaan johtaa esimerkiksi WC- ja pesutiloihin.	Asuinhuoneet, ruokailutilat, kahvikeittiöt, myymälät, toimistorakennusten varastot, pukuhuoneet sekä ravintolatilat. Myyvälöiden, kahviloiden ja pizzerioiden kierto-/pizzauunin huuvaan poistoilma voidaan liittää luokan 2 poistoilmakanavaan.
Luokka 3	Poistoilmaa tiloista, joissa kosteus, prosessit, kemikaalit ja hajut oleellisesti huonontavat poistoilman laatua. Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	WC- ja pesutilat, saunat, pyykin kuivatushuoneet, ulkoiluvälinevarastot, asuinhuoneistojen keittiöt, jakelu- ja opetuskeittiöt, kopiolaitokset
Luokka 4	Ilmaa ei käytetä palautus- tai siirtoilmana.	Ammattimaisessa käytössä olevat vetokaapit, grillit ja keittiöiden kohdepoistot sekä pesuloiden likapyykkutilat. Autosuojat, katsastusasemat, autokorjaamot ja -maalaamot, ja ajotunnelit, maalien ja liuottimien käsittelyhuoneet, elintarviketehtävahuoneet, kemialliset laboratoriot ja tupakointitilat. Elintarviketeollisuuden ja suurpesuloiden tilat.

Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä siirtoilmareittien tärkeys on suuri, jotta korvausilmaa saadaan oikeista paikoista. Jos siirtoilmareitit puuttuvat kokonaan, niin riskinä on korvausilman hallitsematon vuoto esim. rakenteiden, viemäreiden, sähköputkitusten tai takan hormin kautta. Vuotoilma voi tuoda mukanaan erilaisia terveydelle haitallisia epäpuhtauksia sekä aiheuttaa viihtyvyyshaittaa.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä siirtoilmareittien puuttuminen asettaa haasteita järjestelmän toimintaan, sillä liian ahtailla siirtoilmareiteillä väliovien avaaminen ja sulkeminen voivat muuttaa venttiiliakohtaisia ilmavirtoja ja sen seurauksena tilojen välisiä paine-eroja. Siirtoilman puutteita voi havainnoida tarkastamalla ovirakojen ja siirtoilmalaitteiden olemassaolo tiloista, joissa on pelkkä tulo- tai poistoilma.

Ilmanvaihdon tasapainotuksessa välivet tulisi pitää kiinni, jotta ilmavaihto saadaan tasapainotettua oikein. Siirtoilman puuttuminen vaikuttaa paljon tasapainotuksen lopputulokseen, eikä järjestelmää välttämättä saa toimimaan suunnitellulla tavalla. Siirtoilmareittien riittävyys on tarkastettava mittauksen yhteydessä. Jos siirtoilmareittejä ei ole riittävästi, tulee niitä lisätä ennen lopullista tasapainotusta.

6 Mittaustyössä tarvittavia laskentakaavoja

6.1 Yksikkömuunnoksia

Mittausten yhteydessä tarvitaan usein yksikkömuunnoksia, joista yleisimpiä ovat:

1 l/s (litraa sekunnissa) = 1 dm³/s (kuutiodesimetriä sekunnissa)

1 m³/s (kuutiota sekunnissa) = 1000 l/s

3,6 m³/h (kuutiota tunnissa) = 1 l/s (yksikkö voidaan muuntaa litroiin sekunnissa jakamalla luvulla 3,6)

6.2 Tiheyskorjaus

Ilman tiheys kg/m³ ilmaisee kuinka monta kiloa yksi kuutiometri ilmaa painaa. Lämmin ilma on kevyempää ja kylmä ilma on raskaampaa. Paineen, lämpötilan ja tiheyden välillä on yhteys: ilmanpaineen noustessa tiheys kasvaa ja lämpötilan noustessa tiheys vähenee. Kylmä ilma on siis tiheämpää kuin lämmin ilma. Myös ilman kosteus vaikuttaa tiheyteen, mutta sen vaikutus on melko vähäinen, eikä sitä mittauksissa ole tarve ottaa huomioon.

Ilmavirtojen mittaus- ja säätöoppaissa k-arvot on määritelty yleensä normaaliolosuhteissa, eli 20 °C ja 101,3 kPa. Jos mittausolosuhteet poikkeavat näistä oleellisesti, saadaan todellinen ilmavirta k-kertoimella lasketusta ilmavirrasta seuraavasti:

$$q_{vt} = q_v \times \sqrt{(1,205 \div p_t)}, \text{ jossa}$$

q_{vt} = todellinen ilmavirta

q_v = mitattu ilmavirta

p_t = ilman tiheys mittaushetkellä, kg/m³

Kuivan ilman tiheysarvoja eri lämpötiloissa ja 101,3 kPa paineessa on esitetty liitteessä 1. Käytännössä 10 °C muutos lämpötilassa vaikuttaa n. 1,5...2 % mitattuun ilmavirtaan. Mittausten kannalta vaikutus on tavanomaisissa sisäympäristöissä oleellinen esim. ilmavirtaohjatulla poistopuhaltimella, joka sijaitsee lämmöntalteenoton kylmällä puolella tai jos tuloilmapuhallin sijaitsee ennen lämmöntalteenottoa.

6.3 Ilmavirtamuutosten vaikutukset

Kun ilmavirtaa korotetaan, muuttuu paine toiseen potenssiin ja tehontarve kolmanteen potenssiin.

Esim. 10 % korotus ilmavirrassa on paineessa $1,1^2 = 1,21$, eli 21 % korotus, ja tehontarpeessa $1,1^3 \approx 1,33$, eli 33 % korotus. Liitteen 2 taulukossa on esitetty ilmavirtamuutosten vaatimat paineen, tehontarpeen ja hinnapyörien muutuskertoimet hinnavetoisilla puhaltimilla.

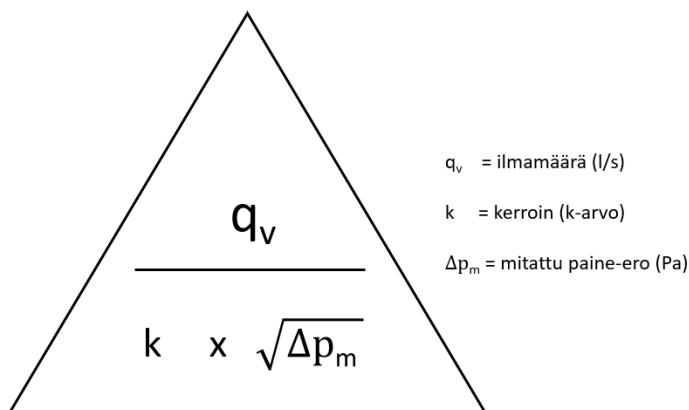
6.4 Ilmavirtamittausten yleiset laskentakaavat

Nykyään tarvittavat laskentakaavat on sisäänrakennettu moniin ilmavirtamittareihin, jolloin usein voi riittää vain tarvittavien tietojen syöttö mittariin. Kuitenkin mittajaan on tärkeä tietää ja ymmärtää tarvittavat peruslaskukaavat.

6.4.1 Paine-eromittauksissa tarvittavia laskukaavoja

Paine-eroon perustuvassa mittauksessa ja tasapainotuksessa käytetään pääsääntöisesti kolmea laskentakaavaa, joilla voidaan laskea ilmavirta, venttiilien k-arvoja (ja/tai avausasentoja) sekä haluttua paine-eroa. Laskukaavoissa q_v on ilman tilavuusvirta l/s (toisinaan ilmaistu dm^3/s), k on laitevalmistajan määrittelemä kerroin eli k-arvo, ja ΔP_m on päätelaitteesta valmistajan ohjeen mukaisesti mitattu paine-ero pascalleissa (Pa).

Lisäksi on huomioitava, käytetäänkö laskennassa funktio- vai peruslaskinta, sillä osa kaavoista syötetään laskimiin eri tavoin. Jos kaavojen syötöt poikkeavat kaavan kirjoitusmuodosta, on se ohjeistettu erikseen esimerkkilaskujen yhteydessä.



Kuva 43. Laskentakaavion muistikolmio [Sami Mäkinen]

Päätelaitteiden ilmavirta lasketaan laitteesta mitatun paine-eron ja säätöoppaan k-arvon perusteella kaavalla

$$q_v = k \times \sqrt{\Delta P_m} \text{ (kaava 1)}$$

Kerroin voidaan selvittää laskukaavalla

$$k = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta P_m}} \text{ (kaava 2)}$$

Tavoiteltu paine-ero voidaan laskea kaavalla

$$\Delta P_m = \left(\frac{q_v}{k}\right)^2 \text{ (kaava 3)}$$

6.4.1.1 Paine-eromittausten esimerkkilaskuja:

Määritellään ilmavirta KSO-125 poistoilmaventtiilistä, jonka suunniteltu ilmavirta on 17 l/s.

Venttiilistä mitataan säätöoppaan menetelmän mukaisesti paine-eroksi 36 Pa ja venttiili on avauksella +1, jonka K-arvo on 2.82.

Kaavalla 1 voidaan selvittää ilmavirta kertoimen ja mitatun paine-eron avulla:

$$q_v = 2,82 \times \sqrt{36\text{Pa}} = 16,9 \text{ l/s}$$

Kaava 1 syötetään funktiolaskimeen samassa järjestyksessä kuin edellä, mutta tavanomaiseen nelilaskimeen kaava syötetään muodossa $36\sqrt{\times 2,82}$.

Kerroin voidaan selvittää kaavalla 2 ilmavirran ja mitatun paine-eron avulla:

$$k = \frac{16,9l/s}{\sqrt{36Pa}} \approx 2,82$$

Kaava 2 syötetään funktiolaskimeen muodossa $17 \div \sqrt{36}$ ja nelilaskimeen muodossa $17 \div 36\sqrt{\cdot}$.

Paine-ero voidaan laskea kaavalla 3:

$$\Delta P_m = \left(\frac{16,9l/s}{2,82} \right)^2 = 36,3Pa$$

Kaava 3 syötetään funktiolaskimeen muodossa $(17 \div 2,82)^2$ ja nelilaskimeen muodossa $17 \div 2,82 \times$.

6.4.2 Kanavamittauksissa tarvittavia laskukaavoja

Kanavamittauksissa mitataan ilman nopeutta kanavasta, jonka perusteella ilmavirta voidaan laskea kaavalla

$$q_v = v \times A \text{ (kaava 4),}$$

jossa q_v on ilman tilavuusvirta m^3/s , v on ilman nopeus kanavassa m/s , A on kanavan poikkipinta-ala m^2 , joka vuorostaan saadaan laskettua kanavan halkaisijasta (m) kaavalla

$$A = \pi \times r^2 \text{ (kaava 5),}$$

jossa r on kanavan säde m (puolet kanavan halkaisijasta). Piin likiarvoksi riittää yleensä kahden desimaalin tarkkuus, eli 3,14.

Tilavuusvirta m^3/s voidaan muuntaa l/s yksikköön kertomalla tulos tuhannella (1000).

Ilman virtausnopeus m/s voidaan vuorostaan laskea kaavalla 6:

$$v = \frac{q_v [m^3/s]}{A} \text{ (kaava 6)}$$

6.4.2.1 Kanavamittausten esimerkkilaskuja

Määritellään ilmavirta halkaisijaltaan 200 mm olevasta kanavasta, jonka ilman nopeudeksi on mitattu 2,5 m/s .

Kanavan pinta-ala lasketaan kaavalla 5: $\pi \times (0,2m \times 0,5)^2 \approx 0,0314m^2$

Kaava 5 syötetään funktiolaskimeen samassa järjestyksessä kuin edellä, mutta nelilaskimella laskutoimitus pitää tehdä kahdessa vaiheessa; ensin lasketaan säde $0,2m \times 0,5 \times$, jolloin tulokseksi tulee 0,01 m , sitten lasketaan pinta-ala $3,14 \times 0,01m$, jolloin vastaukseksi saadaan 0,0314 m^2 .

Ilmavirta lasketaan kaavalla 4: $2,5m/s \times 0,0314m^2 = 0,0785m^3/s$

Yksikkö muunnetaan litroiin $0,0785m^3/s \times 1000 = 78,5l/s$

Joskus on tarve selvittää suunnitelmista mitoitettuja kanavanopeuksia. Määritellään kanavanopeus 200 mm halkaisijaltaan olevassa kanavassa, kun mitoitettu ilmavirta on 90 l/s. Muunnetaan ilmavirta ensin yksikköön m³/s jakamalla 90 l/s tuhannella, jolloin saadaan tulokseksi 0,09 m³/s.

200 mm kanavan pinta-alaksi saatiin edellä 0,0314 m², joten kanavanopeus voidaan laskea kaavalla 6: $0,09\text{m}^3/\text{s} \div 0,0314\text{m}^2 \approx 2,87\text{ m/s}$

6.5 Mittaustulosten epävarmuus

Mittausepävarmuutta arvioitaessa tulee ottaa huomioon mm. seuraavat tekijät (mukaillen SFS-EN 12599):

- epävarmuus mittauspisteen vaikutuksesta (esim. suojaetäisyydet, vuodot tms. häiriötekijät)
- mittausvälineen epätarkkuus (kalibrointivirhe)
- mittausmenetelmän epätarkkuus (laittevirhe)
- lukemaepävarmuus (havaitsemisvirhe)
- keskiarvon epävarmuus (jos mitattava suure vaihtelee mittauksen aikana)
- mittauksen kohteen ominaisuuksien epävarmuus (esim. mitattavan aineen tiheys)
- muuntamisesta aiheutuva epävarmuus (esim. lukemien pyöristykset)

Mittaustuloksen epävarmuutta voidaan arvioida virheen kasautumislain (Taylor, J.S. 1997) laskukaavalla, joka on esitetty myös FläktGroup Oy:n ilmavirtojen mittaus- ja säätöoppaassa.

$$m = \sqrt{c_1^2 m_1^2 + c_2^2 m_2^2 + c_3^2 m_3^2 + \dots + c_n^2 m_n^2} \text{ (kaava 7)}$$

missä m on mittaustuloksen suhteellinen epätarkkuus %, m_1 mittausvälineen epätarkkuus (kalibrointivirhe), m_2 mittausmenetelmän epätarkkuus (laittevirhe) %, m_3 mittarin lukemaepätarkkuus (havaitsemisvirhe) %, m_n Muut mahdolliset epätarkkuudet % ja $c_1 \dots n$ kertoimet, joilla otetaan huomioon erillisten epätarkkuuksien vaikutus lopputulokseen.

Mittausepävarmuus korostuu pienillä paineilla. Epätarkkuus siis riippuu mittauksen painealueesta. Mitatulle paine-erolle voi laskea mittarin epätarkkuuden kaavalla

$$m_1 = \frac{\Delta\chi}{\Delta P_m} \times 100 \text{ (kaava 8),}$$

jossa m_1 on mittausvälineen epätarkkuus, $\Delta\chi$ on mittarin ilmoitettu tarkkuus ja ΔP_m on mitattu paine-ero.

6.5.1 Mittausepävarmuuden laskentaesimerkki

Mittarin valmistajan ilmoittama tarkkuus on usein esim. $\pm 1\%$ lukemasta $\pm 1\text{ Pa}$, joka on kaavaan 8 sijoitettuna

$$m_1 = \frac{\Delta P_m \times 1\% + 1\text{Pa}}{\Delta P_m} \times 100$$

Esim. 10 Pa mittauspaineessa edellä mainitulla mittarin tarkkuudella mittausvälineen epätarkkuus paine-eron mittauksessa on

$$m_1 = \frac{10\text{Pa} \times 1\% + 1\text{Pa}}{10\text{Pa}} \times 100 = \frac{1,1\text{Pa}}{10\text{Pa}} \times 100 = 11\%$$

Mittauksen menetelmävirheen m_2 tieto on päätelaittevalmistajan ilmoittama, tässä esimerkissä käytetään 5 %.

Tuloksen havaitsemisvirheeksi m_3 arvioidaan tässä esimerkissä 5 % mitatun lukeman vaihteluvälin ollessa n. 9,5–10,5 Pa. Monen mittarin asetuksista voi aikavakiota pidentämällä rauhoittaa paine-eromittauksen vaihtelua, mikä helpottaa tuloksen tulkintaa.

Kokonaisvirhettä voidaan arvioida syöttämällä edelliset luvut virheen kasautumislain kaavaan 7 seuraavasti:

$m_1 = 11\%$ (mittausvälineen epätarkkuus, kun mittauspaine on 10 Pa ja mittarin tarkkuus $\pm 1\%$ lukemasta ± 1 Pa)

$m_2 = 5\%$ (menetelmävirhe, tieto mitattavan päätelaitteen valmistajalta)

$m_3 = 5\%$ (arvioitu havaitsemisvirhe, riippuu mittarista ja mitattavasta painealueesta)

$c_1 = \frac{1}{2}$ (paine-eron mittaus, $q_v = k \times \sqrt{\Delta P m}$ *)

$c_2 = 1$

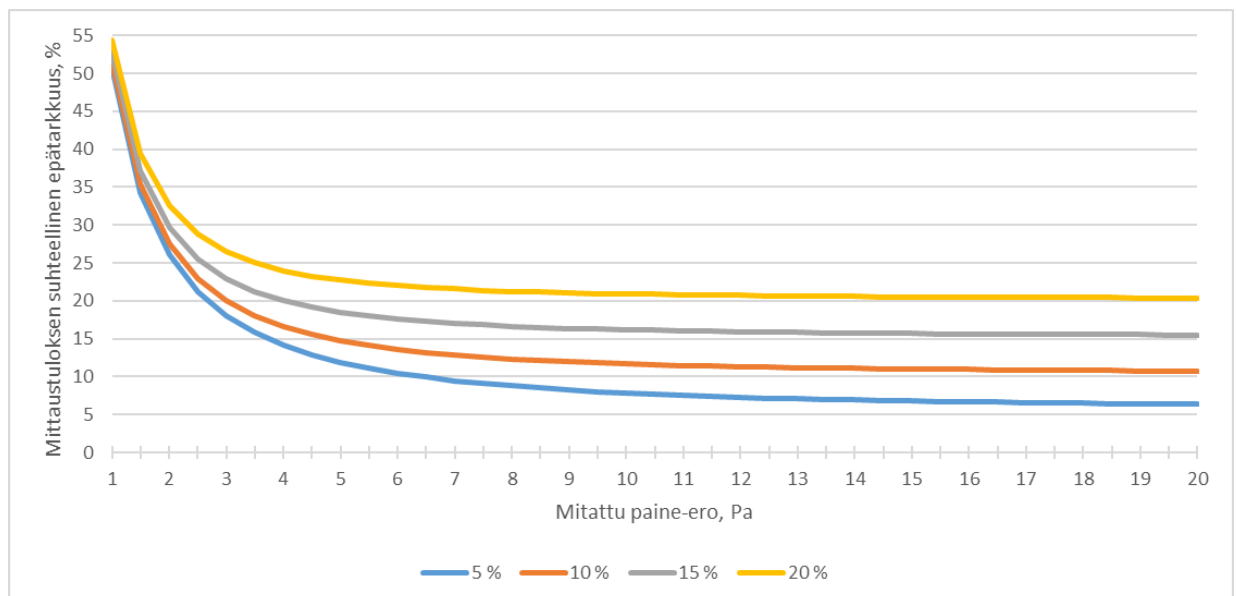
$c_3 = \frac{1}{2}$ (paine-eron mittaus) *)

*) kerroin on 0,5, koska esim. 10 %:n virhe mittauspaine-erossa vaikuttaa ilmavirtaan n. 5 %, eli puolet.

Kaavaan sijoitettuna esimerkin mittaustuloksen suhteellinen epätarkkuus on siis:

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2}^2 \times 11^2 + 1^2 \times 5^2 + \frac{1}{2}^2 \times 5^2} \approx 7,8\%$$

Alle 20 Pa mittauksissa mittaustuloksen suhteellinen epätarkkuus vastaavilla mittarin tarkkuusarvoilla on kuvan 44 mukainen, kun menetelmävirhe m_2 on 5...20 % ja havaitsemisvirhe m_3 on 5 %. Menetelmävirhe on usein n. 5–10 % laitteesta ja asennustavasta riippuen. Asennusohjeiden vastainen asennus johtaa suurempiin menetelmävirheisiin.



Kuva 44. Mittaustuloksen (l/s) suhteellinen epätarkkuus, kun mittarin tarkkuus on $\pm 1\%$ lukemasta ± 1 Pa, menetelmävirheen ollessa 5...20 % ja havaitsemisvirheen ollessa 5 %. [Antti Alanko]

6.5.2 Hyväksyttävät poikkeamat

Hyväksyttävät poikkeamat suunnitelluista ilmavirta-arvoista voivat olla seuraavia:

- 1) ilmavirta järjestelmä- ja huoneistokohtaisesti $\pm 10 \%$;
- 2) ilmavirta huonekohtaisesti $\pm 20 \%$, kuitenkin siten, että poikkeama voi aina olla vähintään $1 \text{ dm}^3/\text{s}$;

Sisäilmastoluokitus 2018 antaa lisäksi suurempia tavoitearvoja:

- S1-luokka, ulkoilmavirta = $0,5 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia- m^2 ja lisäksi $10 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö.
- S2-luokka, ulkoilmavirta = $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia- m^2 ja lisäksi $7 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö.
- S3-luokka, ulkoilmavirta = $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}$, lattia- m^2 tai vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$, henkilö.

Hyväksyttävien poikkeamien tulee sisältää mittausepävarmuus, eli mittaustuloksissa ei voida hyväksyä $\pm 20 \%$ poikkeamaa suoraan mittausarvona suunnitteluarvosta, vaan mittausepävarmuus tulee myös huomioida. Tämä laskee sallitun poikkeaman mittauspöytäkirjassa yleensä huomattavasti pienemmäksi.

Esimerkki:

1. Jos huoneen suunnitelluilmavirta on 10 l/s , on hyväksyttävä poikkeama $\pm 2 \text{ l/s}$.
2. Jos kalibrointitodistuksen perusteella mittalaite näyttää $0,4 \text{ l/s}$ liian vähän, lisätään mittausarvoon $0,4 \text{ l/s}$. (Mittausarvo 10 l/s + kalibrointi $0,4 \text{ l/s}$ = mittaustulos $10,4 \text{ l/s}$) Usein mittalaitteet säädetään kalibroinnin yhteydessä niin, että ne näyttävät mittaustuloksen, eikä mittausarvoa tarvitse erikseen korjata.
3. Jos käytetyn mittalaitteen ja mittausmenetelmän yhdistetty mittausepävarmuus on $\pm 0,9 \text{ l/s}$, on mittaustuloksen oltava välillä $8,9 \dots 11,1 \text{ l/s}$. Kalibroinnin mukaisesti korjattu mittaustulos $10,4 \text{ l/s}$ on siis hyväksyttävän poikkeaman sisällä.

6.6 Lineaarisuuden laskenta

Laittevalmistajat eivät ilmoita jokaiselle laitteelle kaikkien säätöasentojen k-arvotaulukkoa, vaan he julkaisevat taulukon, jossa k-arvot on annettu esimerkiksi kolmen tai viiden avauksen välein. Näissä tapauksissa, on avauksille laskettava k-arvot, jotta mittaus voidaan tehdä mahdollisimman tarkasti. K-arvot voidaan laskea lineaarisesti alla esitetyllä laskukaavalla. Laskettaessa k-arvoja lineaarisesti, jokainen valmistajan ilmoittaman avausten väli on laskettava erikseen.

$$\frac{K2 - K1}{A2 - A1} = \frac{3,3 - 2,7}{5 - 0} = \frac{0,6}{5} = 0,12$$

K2 = isompi k-arvo 3,3
 K1 = pienempi k-arvo 2,7
 A2 = isompi aukiolo asento 5
 A1 = Pienempi aukiolo asento 0

Asento 0 = 2,7

Asento 1 = 2,7 + 0,12 = 2,82

Asento 2 = 2,82 + 0,12 = 2,94

Asento 3 = 2,94 + 0,12 = 3,06

Asento 4 = 3,06 + 0,12 = 3,18

Asento 5 = 3,18 + 0,12 = 3,3

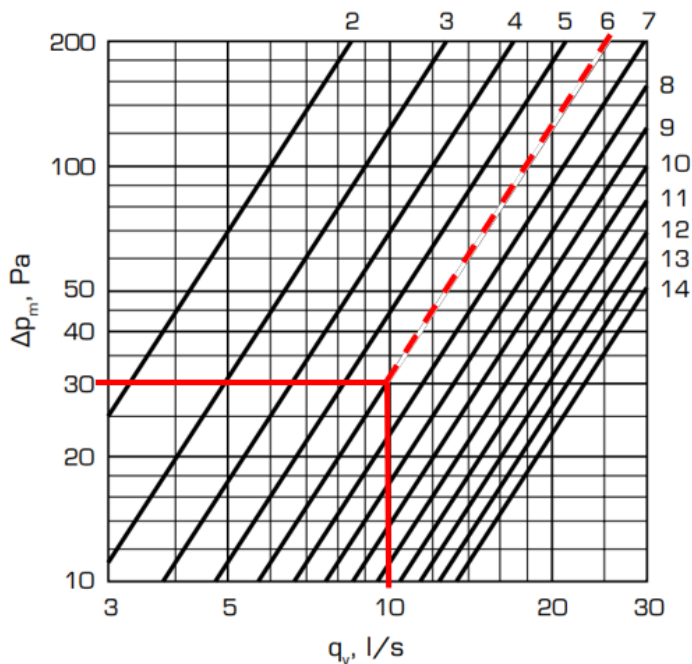
KSO-125-C					
a	-10	-5	0	5	10
k-kerroin	1.5	2.1	2.7	3.3	4.0

Kuva 45. Esimerkki KSO-125 venttiin k-arvojen lineaarisesta laskennasta [Sami Mäkinen]

6.7 Säätökaaviot

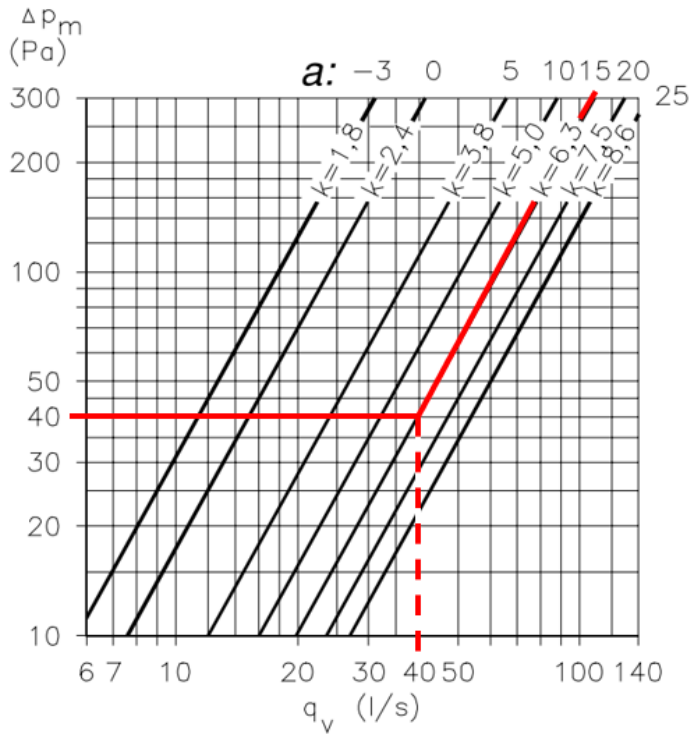
Päätelaitteiden säätökaavioista pystytään selvittämään kolme asiaa. Säätökaaviosta voidaan selvittää päätelaitteen avausasento, ilmavirta ja paine-ero. Kun edellä mainitusta kaksi tiedetään, kolmas voidaan tulkita säätökaaviosta.

STQA-100-C / STQA-125-C



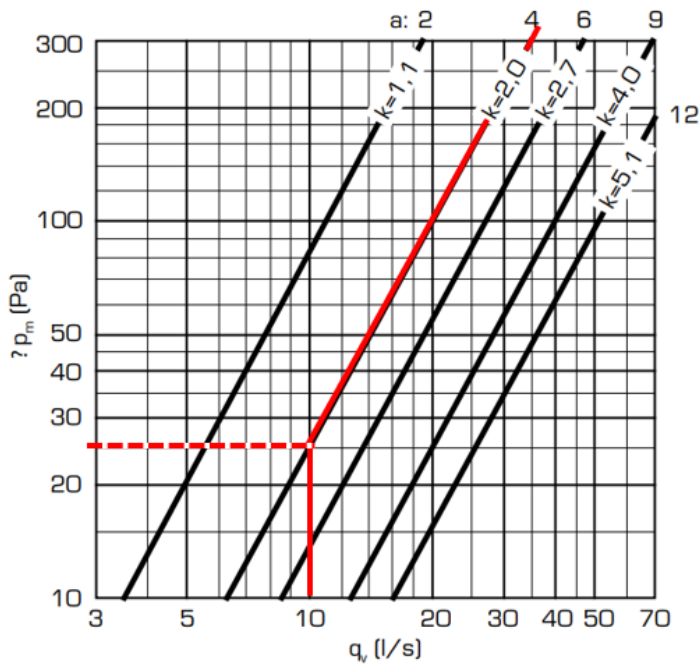
Kuva 46. Kun tiedämme paineen 30 Pa ja suunnitellun ilmavirran 10 l/s, säätökaavio kertoo, että venttiin avaus pitää olla +6, jotta ilmavirta toteutuu. [FläktGroup säätöopas].

KSO/KSOF/KSOV-200-C



Kuva 47. Kun tiedämme paineen 40 Pa ja venttiilin avauksen +15, säätökaavio kertoo, että venttiilin ilmavirta on 40 l/s. [FläktGroup säätöopas].

KTS-100-C



Kuva 48. Kun tiedämme venttiilin avauksen +4 ja venttiilin suunnitellun ilmavirran 10 l/s, säätökaavio kertoo, että venttiilin paineen pitää olla 25 Pa, jotta ilmavirta toteutuu. [FläktGroup säätöopas].

7 Tasapainotustyöhön valmistautuminen

Ilmavirtojen mittaus- ja tasapainotus on pitkälti järjestelmän laadun ja oikean toiminnan varmistamista ja rakennusten sisäilmaston kannalta keskeinen työvaihe. Tasapainotuksen yhteydessä varmistetaan mm. IV-järjestelmän suunnitelmien mukaisuus, suunnitelmien mahdolliset haasteet/puutteet, asennusten vaikutukset mittauksiin, laitteiden oikea toiminta, sekä automatiikan ja ohjausten toiminta.

7.1 Tarvittavat mittalaitteet

Mittaukset tulee toteuttaa kohteeseen sopivimmilla mittalaitteilla ja mittausmenetelmillä. Kaikkien käytettävien laitteiden kalibroinnin tulee olla voimassa.

7.2 Tarvittavat asiakirjat ja kohteeseen perehtyminen

Mitä aiemmin ilmanvaihdon suunnitteluasiakirjoja pääsee tarkastelemaan ennen tasapainotustyön aloittamista, sitä suurempi hyöty siitä on tasapainotuksen suorittamiselle ja ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta. Ilmanvaihtopiirustusten lisäksi tulisi saada tarkasteltavaksi työselostus, toimintaselostus ja laiteluettelo, jos ne ovat saatavilla. Jos kohde on tasapainotettu jo aiemmin, voi aiemmista mittauspöytäkirjoista olla hyötyä. Myös puhdistuspöytäkirjoista on joskus hyötyä.

Usein etenkin vanhemmissa kohteissa kaikkia asiakirjoja ei ole saatavilla tai niissä on puutteita. Suunnitteluasiakirjojen puuttuminen ei kuitenkaan yleensä ole este tasapainotustyölle, mutta etenkin ilmanvaihtopiirustusten puuttuessa tasapainotus on työlästä ja voi vaatia ilmavirtojen uudelleenmitoittamista. Tällöin on tärkeää varmistaa työn tilaajalta, miten mittaus ja tasapainotus halutaan toteuttaa ennen työn aloitusta. Koko järjestelmä pitää todennäköisesti kartoittaa ennen tasapainotukseen ryhtymistä. Kartoituksen voi tehdä kokenut ilmavirtojen tasapainottaja tai suunnittelija/konsultti.

Työselostuksesta selviää järjestelmän toiminnalle asetetut vaatimukset ja valittu sisäilmasto- ja puhtausluokka.

Ilmanvaihtopiirustuksista selviää mm. IV-koneiden ja kanaviston, sekä säätö- ja päätelaitteiden sijainnit, koot ja mitoitetut ilmavirrat, joiden mukaan järjestelmä on tarkoitettu tasapainottamaan. Vanhoissa kohteissa ilmanvaihtopiirustusten läpikäynnin yhteydessä on syytä selvittää työn tilaajalta mahdolliset ilmanvaihdon toimintaan tai käyttöön liittyvät muutokset. Esimerkiksi jos tilojen käyttötarkoitusta on muutettu, mutta ilmavirtoja ei ole suunniteltu tiloihin uudestaan. Huolellisella ennakoinnilla tasapainotuksen toteutus voidaan suunnitella kerralla oikeaksi yhdessä tilaajan kanssa.

Toimintakaaviosta ja toimintaselostuksesta selviää, miten eri ilmanvaihtokoneiden on suunniteltu toimivan.

Laiteluettelosta käy ilmi minkälaisia ilmanvaihtokoneita ja laitteita kohteeseen on suunniteltu.

Viimeisimmät ilmavirtojen mittauspöytäkirjat voivat kertoa kohteen erityispiirteistä tai toimivimmista tasapainotusmenetelmistä. Niistä voi paljastua myös mahdollisia puutteita aiemmasta tasapainotustyöstä. Aina kunnollisia pöytäkirjoja ei ole saatavilla. Aiempien pöytäkirjojen paikkansapitävyys tulee varmistaa ennen kuin niitä hyödynnetään tasapainotuksessa.

Ilmanvaihtokanavien puhdistuspöytäkirjoista voi selvittää ilmanvaihdon toimintaan ja säätöihin vaikuttavia puutteita.

Uudiskohteissa tai korjaushankkeissa on tärkeää, että mittajaalla on toimiva yhteys suunnittelijan kanssa, jotta eteen tulevat haasteet saadaan selvitettyä ajoissa. Suunnittelijalta saa tiedon, miten ilmanvaihdon toiminta ja tasapainotus on suunniteltu tehtäväksi, koska suunnitteluasiakirjoista voi puuttua

tietoja, jotka ovat tärkeitä tasapainotustyön toteutuksen kannalta. Esimerkiksi tuloilman suuntaukset voi olla puutteellisesti merkitty, tai niitä ei välttämättä ole kunnolla huomioitu laitesijoituksissa. Käytetyt laitteet ja ratkaisut voivat myös poiketa suunnitelmista, eikä kaikkia säätöihin liittyviä tekijöitä ole aina suunnittelussa osattu ottaa huomioon.

7.2.1 Ilmanvaihtosuunnitelmista läpikäytävät asiat

Oleellisinta tasapainotuksen kannalta on saada mahdollisimman ajantasaiset ilmanvaihtopiirustukset, joista selviää laitteiden sijainnit, mitoitettut ilmavirrat ja laitetypit. Joskus tarkemmat laitetypit on esitetty ilmanvaihtopiirustusten sijaan laiteluetteloissa.

Uudiskohteissa on eduksi saada suunnitteluasiakirjat tarkasteltavaksi jo asennusvaiheessa tai sitä ennen, jotta mahdollisiin puutteisiin voidaan vaikuttaa mahdollisimman varhain. Joskus asiakirjoissa on myös keskinäisiä ristiriitoja, esim. laitepositiot tai ratkaisut voivat olla erilaiset ilmanvaihtopiirustuksissa ja toimintakaavioissa. Jos mahdollista, niin suunnitteluasiakirjoista on hyvä selvittää ja huomioida etukäteen mm. seuraavia asioita:

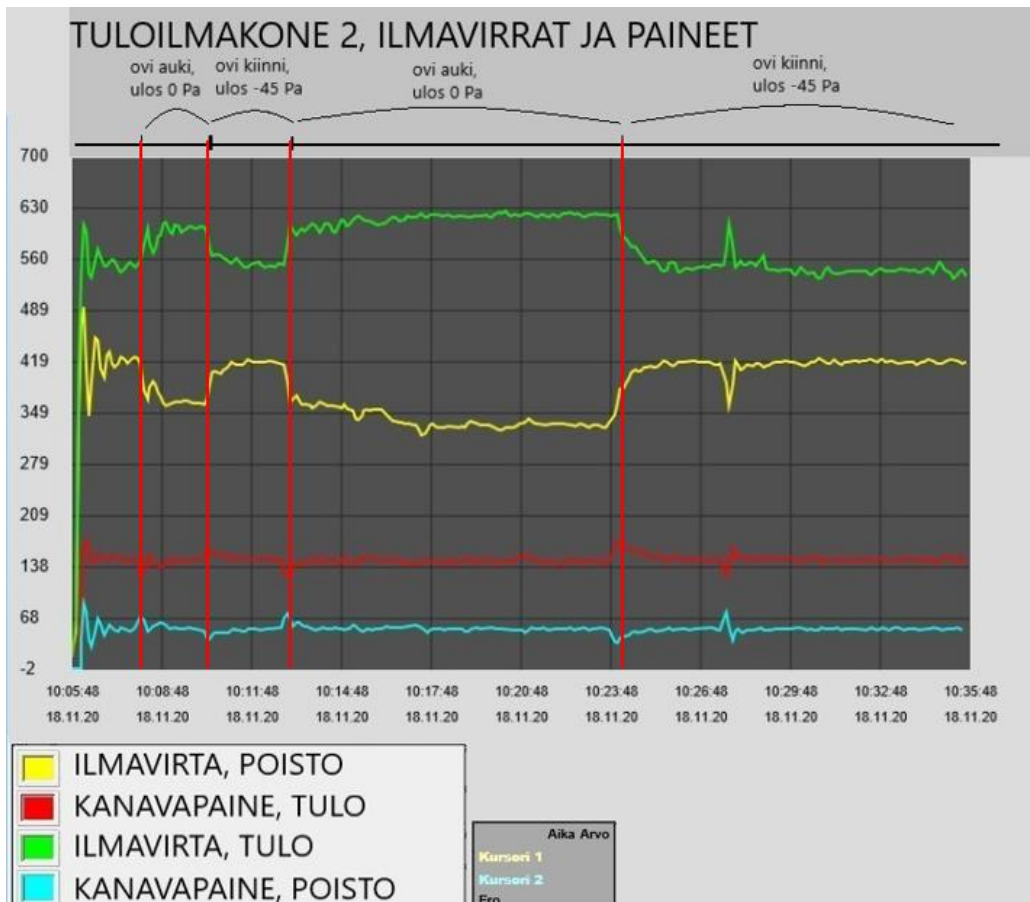
Ilmanvaihtokonehuoneiden ominaisuudet. Konehuoneiden sijainti ja kulkureitit voivat pahimmassa tapauksessa vaikuttaa tasapainotustyön keston. Mahdollinen yllämmönpoisto tai muu konehuoneen muuttuva ilmanvaihto voi vaikuttaa konehuoneen paine-eroon ja sen myötä kammiopaineohjatun ilmanvaihtojärjestelmän ohjaukseen haitallisesti.

Palvelualueet. Ilmanvaihtokoneiden palvelualueisiin tulee kiinnittää huomiota. Erityisesti jos samalle palvelualueelle vaikuttaa yhtä useampi ilmanvaihtokone, tulee arvioida näiden säätöjärjestystä tai yhtäaikaista säätöä.

Ilmanotto. Usealla koneella voi olla yhteinen ilmanotto, jolloin pitää varmistaa, että koneiden eriaikainen tai erilainen käyttö ei vaikuta koneiden toimintaan ja vakauteen. Lisäksi erityisesti talviaikana tasapainotustyössä tulee kiinnittää huomiota lumen kulkeutumisen riskeihin.

Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustapa. Ilmanvaihtojärjestelmän ohjaustapa voi vaikuttaa säätömenetelmiin ja ohjauksen luotettavuuteen tai vakauteen. Ohjaustapa selviää toimintakaavioista ja toimintaselostuksista. Esimerkiksi:

- Vakiokierrosnopeuksinen ohjaus ei kompensoi esim. suodattimien likaantumista, jolloin suodattimien paineet pitää huomioida mittauksessa ja tasapainotuksessa.
- Kammiopaine- tai kanavapaineohjatussa järjestelmässä mitataan tulo- ja poistoilmakammioiden staattista painetta yleensä ympäröivän tilan paineeseen, jolloin tilan painetta kutsutaan referenssipaineeksi (tai vertailupaineeksi). Muutokset referenssinä toimivan tilan paine-erossa vaikuttaa kammiopaineohjaukseen siten, että kammiopaineen mittaus vääristyy. Tällöin konehuoneen paine-eron muutostilanteessa automaatio korjaa kammiopaineen asetusarvoonsa, jolloin ilmavirta muuttuu tulo- ja poistoilmassa eri suuntiin (kuva 49).
- Puhallinpaineohjatussa järjestelmässä mitataan painetta puhaltimen yli, jolloin konehuoneen paine ei vaikuta mittaukseen. Puhallinpaineen mittauksen luotettavuuteen voi vaikuttaa mm. ilman lämpötila puhaltimella ja letkujen kunto. Puhallinpaineohjattua järjestelmää kutsutaan myös ilmavirtaohjaukseksi, jos ohjaus tapahtuu mitatusta puhallinpaineesta johdetun ilmavirran perusteella.



Kuva 49. Konehuoneen paine-eron vaikutus kammiopaineohjatun koneen ilmavirtoihin [Eskelinen, S. 2021]

Palautusilma. Palautusilmaa käytetään pääasiassa lähinnä erilaisissa halleissa, saleissa ja kauppakennuksissa. Palautusilman toiminta voi vaikuttaa oleellisesti rakennuksen ilmavirtatasapainoon ja vaatii tarkkaa perehtymistä järjestelmän yksityiskohtiin ja ohjauksiin. Tasapainotus on suositeltavaa toteuttaa ensin palautusilma suljettuna ja sen jälkeen säätää palautusilman toiminta eri käyttötilanteissa.

Tarpeenmukaisuus. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ratkaisut ja laitetypit on hyvä kartoittaa etukäteen, sillä tarpeenmukaisuus vaatii laitteiden (pääasiassa ilmamääräsäätimien) mittaustarkkuuden, vakauden, eri säätötilanteiden ja päätelaitteiden toiminnan tarkastelua, jotta voidaan taata järjestelmän oikea toiminta järjestelmän eri käyttötilanteissa. Erityisesti riittämättömät suojaetäisyydet heikentävät oleellisesti laitteiden toimintaa. (Ks. kohta 3.1.5)

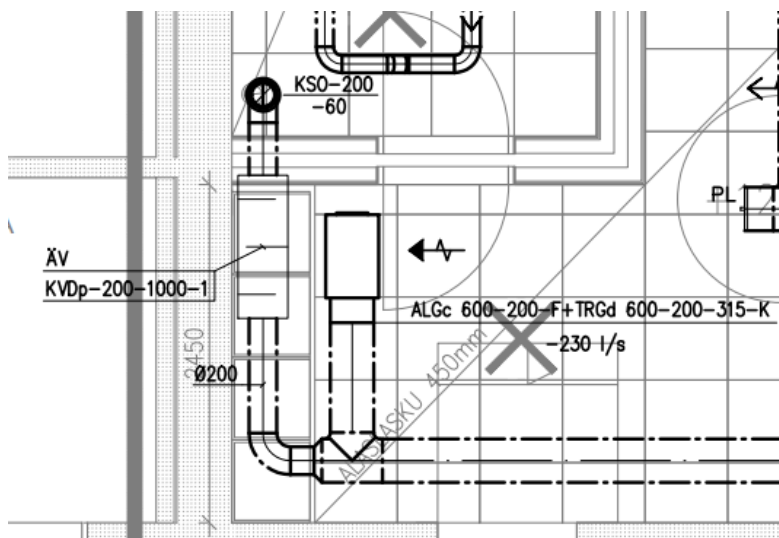
Kanavisto. Kanavistoa on hyvä tarkastella tasapainoituksen näkökulmasta siten, että minkälaisissa osissa järjestelmä voidaan tasapainottaa. Myös kanavamitoituksia (pääosin kanavanopeuksien osalta) voi olla hyvä tarkastella tasapainoituksen kannalta; kovin väljästi mitoitettu kanavisto ja laitteet voi mm. heikentää mittaustarkkuutta matalien säätöpaineiden takia ja osatehokäytöllä ilma ei välttämättä vaihdu kanaviston heikoimmista päissä. Tiukasti mitoitettu kanavisto kuluttaa enemmän energiaa, voi olla mahdollon tasapainottaa ja voi aiheuttaa kohtuuttomasti ääntä. Kanavanopeuksien tulisi pienentyä runkkanavista haarakanaviin ja kytkentäkanaviin päin.

Savunrajoittimet. Ennen tasapainotusta tulee varmistaa, miten savunrajoitukset on suunniteltu toteutettavaksi; onko savunrajoittimena suunniteltu toimivan säätöpelti, päätelaite vai erillinen kuristinlaite.

Laitetyypit. Laitetyypit on hyvä varmistaa ennen mittauksia, jotta voi etukäteen varmistaa tarvittavat säätöohjeet, jos kohteessa on käytetty harvinaisempia laitteita. On kuitenkin hyvä muistaa, että todelliset laitetypit eivät välttämättä vastaa suunnitteluasiakirjoihin merkittyjä. Uudiskohteissa laitetypit voi tarkastaa IV-urakoitsijalta. Esimerkiksi liesikuvuissa on paljon eroja ja niiden säätö voi vaatia kalusteiden

purkua, mikä on hyvä ottaa huomioon aikatauluissa. Myös jäädytyspalkkien toimintaan ja säätöön tulee kiinnittää erityistä huomiota. Palopeltien tyyppi on hyvä selvittää, onko kohteessa mekaaniset vai sähköiset palopellit.

Laitesijoitukset. Laitteiden sijoituksissa kiinnitetään huomiota mm. suojaetäisyyksiin ja oikosulkuvirtauksiin. Suojaetäisyyksien puutteet heikentävät usein oleellisesti laitteiden mittaustarkkuutta ja voi tehdä suhteellisesta säädöstä mahdollottoman toteuttaa. Vierekkäin sijoitettujen tulo- ja poistoilmalaitteiden oikosulkuvirtauksen riski pitää huomioida tuloilman suuntauksissa (tuloilma ei saa virrata suoraan poistoilmaan). Tulopuolen säätöpeltien jälkeen ei heti tulisi olla haarakanavia tai päätelaitteita, sillä säätöpellin kuristaminen voi saada ilmavirran kulkemaan lähimpien haarojen tai laitteiden ohi. Samoissa haarakanavissa sijaitsevat erityyppiset laitteet voi olla mahdotonta tasapainottaa suunnitelmien mukaisesti; esim. säleikkötyyppisen poistoilmalaitteen (EHC, EVA, GRS...) kanssa samaan haaraan kytkettyyn lautasventiiliin (KSO, URH, KSU...) voi olla vaikea saada riittävästi painetta, sillä laitteet toimivat eri painealueilla (esim. kuva 50). Suunnitelmista ei yleensä selviä, miten säädettäville laitteille päästään kärsiksi.



Kuva 50. Eri painealueilla toimiva poistoventtiili ja poistoilmalaitte suunniteltu samaan haarakanavaan.

Ilmavirrat. Päätelaite-, runko- ja konekohtaiset ilmavirrat on suositeltavaa laskea tarkasti, sillä suunnitelmiin merkityissä ilmavirroissa voi olla virheitä, tai kaikille laitteille ei ole huomattu määrillä ilmavirtaa. Myös rakennus- ja rakennusosakohtaiset kokonaisilmavirrat tulee laskea ilmavirtatasapainon arvioimiseksi. Jos osastokohtaiset tulo- ja poistoilmavirrat poikkeavat toisistaan oleellisesti, tulee sille olla selkeä syy (esim. erityistiloihin suunniteltu yli-/alipaine). Yleensä rakennusosien ja rakennusten kokonaisilmavirrat suunnitellaan nykyään tasapainoon tai lievästi alipaineiseksi (esim. asuinrakennukset ja uimahallit). On myös olemassa järjestelmiä, jotka on suunniteltu siten, että kaikkien tilojen mitoitusilmavirta ei toteudu samanaikaisesti. Tällöin ilmanvaihdonkoneet voi olla mitoitettu pienemmälle kokonaisilmavirralle.

Siirto- ja korvausilma. Usein mm. WC-tilat, muut hygienia-tilat ja keittiöt suunnitellaan alipaineisiksi asuin-, oleskelu- ja työtiloihin nähden. Suunnitelmista pitää käydä ilmi hallitut siirto- tai korvausilmareitit. Siirtoilma voidaan toteuttaa tilojen välisillä siirtoilmalaitteilla tai oviraioilla. Korvausilma voidaan ottaa ulkoa siihen tarkoitetulla korvausilmalaitteella, joka usein sisältää suodattimen. Siirto- ja korvausilman puuttuminen tai liian ahdas mitoitus voi tiiviissä tilassa ilmetä esim. siten, että tilan oven avaaminen vaikuttaa päätelaitteen säätöpaineeseen. Tällöin järjestelmän toiminta ei ole vakaata.

Esisäätöarvot. Jos suunnitelmissa on esitetty päätelaitteiden ja/tai säätöpeltien esisäätöarvot, on tärkeää varmistaa, että asennetut laitteet vastaavat suunniteltuja laitteita ja sijoituksia. Poikkeamat suunniteltuihin ratkaisuihin ja laitteisiin nähden heikentävät esisäätöarvojen luotettavuutta. Kaikille laitteille ei ole mahdollista asettaa tarkkoja esisäätöarvoja (esim. naru- ja väijerisäätöiset päätelaitteet). Jos

esisäättöarvojen yhteyteen on merkitty paine-erot, tulee selvittää, tarkoitetaanko paine-erolla esim. säätöpainetta tai kanavapainetta.

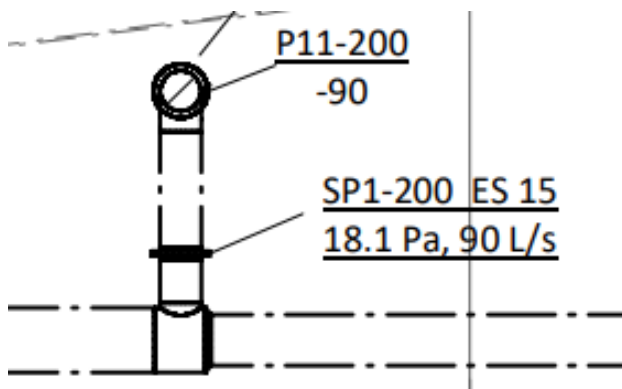
Ilmanjako. Ilmanjaon suuntauksia on toisinaan huomioitu jo ilmanvaihtopiirustuksissa, mutta usein suuntauksista on maininta ainakin toimintaselostuksissa. Tärkeää on varmistaa, että tuloilma jakautuu tasaisesti ja vedottomasti oleskeluvyöhykkeelle, eikä virtaa oikosulkuvirtauksena suoraan tai osittain tuloilmasta poistoilmaan.

Heittopituus. Korkeissa ja pitkissä tiloissa päätelaitteiden asetuksilla voidaan vaikuttaa heittopituuteen. Suunnitteluasiakirjoista tulee varmistaa, onko heittopituuksille määritelty asetuksia. Usein esim. korkeiden tilojen päätelaitteiden heittopituuksien asettelu on tärkeää huomioida tasapainotustyön yhteydessä.

7.3 Esisäättöarvot ja ilmavirrat

Ilmavirtojen esisäädöllä pyritään helpottamaan ja nopeuttamaan tasapainotusta. Esisäättöä voidaan toteuttaa laskennallisesti, kun tiedetään ilmanvaihtojärjestelmästä muutamia lähtötietoja esim. käyttämällä apuna suhteellisen säädön periaatetta.

Esisäättöarvot on mahdollista simuloida myös nykyisillä suunnitteluohjelmilla, joista saadaan suoraan esisäättöarvot päätelaitteille ja säätöpelleille. (esim. kuva 51)



Kuva 51. Säätöpelleille on määritelty esisäättöarvot [Jari Penttilä]

Arvoista selviää simuloinnissa saadut tiedot kyseiselle säätöpelleille, jonka halkaisijan koko on 200 mm. Esisäättöarvo on 15, kun paine-ero on 18,1 Pa, jolla tulisi saavuttaa ilmavirta 90 l/s. Vastaavasti myös päätelaitteille voidaan antaa esisäättöarvo, jolla simulaation mukaan saavutetaan haluttu ilmavirta.

Suunnitteluohjelman määrittelemät paineet suunnittelukuivissa tarkoittavat laitteelle mitoitettua kokonaispainehäviötä, joka ei vastaa yleensä laitteen säädön painetta. Jos laitteelle on ilmoitettu vain paine ja ilmavirta, niin suunnittelun laskennan mukainen esisäättöarvo täytyy tarkastaa mitoituskaaviosta. Suoraan laskemalla annettujen ilmavirtojen ja paine-erojen mukaan saadaan usein virheellinen k-arvo.

Esisäättöarvoista on huomattava hyöty, kun simulaatiossa ja järjestelmän rakentamisessa on käytetty samanlaisia osia. Jos järjestelmässä on käytetty suunnitelmista poikkeavaa säätöosaa, niin esisäättöarvot eroavat simuloituista arvoista. Esisäättöarvoista saadaan kuitenkin silloinkin arvokasta tietoa mittajalle, vaikka järjestelmä poikkeaisi simuloitusta. Siitä saadaan silloinkin viitteitä minkä suuntainen säätölaitteen asento tulisi olla ja millä painealueella saavutetaan haluttu ilmavirta.

Onkin syytä verrata esisäättöarvoja tasapainotettavaan järjestelmään ja jos ne poikkeavat suunnitelmista, on suunnittelijalta usein mahdollista saada päivitettyt kuvat järjestelmästä.

Jos suunniteltuja esisäättöarvoja ei ole käytettävissä, voidaan esisäättöarvoja määritellä itse tarkastusmittausten pohjalta. Esimerkiksi uudiskerrostalossa, jossa on keskitetty tulo- ja

poistoilmanvaihtojärjestelmä, voidaan suorittaa yhden kerroksen osalta koemittaukset, jonka jälkeen muiden vastaavanlaisten kerrosten päätelaitteet voidaan asettaa koemittauksia vastaaviin säätöarvoihin.

Karkeasti voidaan myös ajatella, että tasapainotusta aloitettaessa avataan säätölaitteet siten, että mitä lähempänä ne ovat puhallinta sitä pienemmällä säätöasento on. Puhaltimesta tai säätöpelistä kauemmas mentäessä ja paineen pienentyessä, säätöosa tulee olla isommalla. Tavoite on kuitenkin, että mikään päätelaite ei olisi minimiasennolla. Jos kohteessa on tarve muuntojoustavuuteen, myös maksimiavauksia tulee välttää, jolloin muutostilanteissa järjestelmään jää helpommin säätövara.

Kokemukseen perustuvassa esisäädössä mittaaja voi nähdä jo suunnitelluista ilmavirroista ja järjestelmän toteutustavasta venttiileille sopivat esisäätöavaukset, joilla päästään jo melko lähelle lopullisia venttiilien avauksia. Tämä nopeuttaa mittaajan työtä merkittävästi.

7.4 Ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan varmistaminen

Ilmanvaihdon toiminnan varmistaminen kuuluu osaksi ilmanvaihdon mittausta ja tasapainotusta. Tasapainotustyön yhteydessä tehtävät ilmanvaihdon toiminnan tarkastukset vaihtelevat jonkin verran, riippuen tasapainotettavista kohteista. Uudiskohteiden ja vanhempien kohteiden ilmanvaihdon toiminnan tarkastukset eroavat toisistaan.

Uudiskohteissa ilmanvaihdon toiminnan tarkastuksessa pitää huomioida se, ettei rakennus ole ollut käytössä ennen tasapainotuksen aloitusta, eikä ilmanvaihdon oikeaa toimintaa ole välttämättä laajasti vielä testattu.

Vanhoissa kohteissa ilmanvaihdon toiminnan tarkastuksessa voidaan hyödyntää kohteesta mahdollisesti saatavilla olevia aikaisempia tietoja, jolloin ilmanvaihdon toiminnan tarkastusta voidaan tehdä suurimmalta osin tasapainotuksen yhteydessä. Toisinaan kohteista saatava tieto voi olla vähäistä tai kokonaan puutteellista, jolloin ennen tasapainotusta pitää suorittaa erillinen kartoitus ja ilmanvaihdon toiminnan varmistus. Jos vanhan kohteen käyttöönotto ja tasapainotus on ollut puutteellinen, voi ilmanvaihdon toiminnan varmistaminen ja tasapainotus olla tavanomaista uudiskohdetta työläämpää.

Ilmanvaihdon toiminnan varmistaminen ei kuulu yksin tasapainottajalle. Uudiskohteissa ennen tasapainotusta pitää olla suoritettuna viranomaismääräysten mukaiset tarkastukset ja toiminta tulee varmistaa yhteistyössä mm. suunnittelijan, IV-urakoitsijan ja automaatiourakoitsijan kanssa. Vanhoissa kohteissa ilmanvaihdon toiminnan varmistuksessa on hyvä olla mukana ainakin automaatiourakoitsija. Kokonaisuudessa ilmanvaihdon mittaus ja tasapainotus toimii kohteen lopullisena ilmanvaihdon toiminnan varmistuksena. Tasapainotukseen voidaankin suhtautua siten, että se on ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun, asennusten ja automaation toiminnan laadun varmistamista.

Ilmanvaihtokoneet on tarkastettava myös puhtauden osalta. Varsinkin saneerauskohteet ja käytössä jo olleet kohteet voivat olla erityisen likaisia, mutta myös uudiskohteissa koneet ja kanavistot ovat voineet olla auki työn aikana.

Tasapainotuksen yhteydessä mittaajan on hyvä tarkastaa pistokokein IV-kanaviston puhtaus, kun ilmanvaihto on ollut päällä jonkin aikaa, usein varsinkin tulokanavistossa mahdollisesti oleva pöly kerääntyneenä kanaviston tiettyihin osiin, esim. runkolinjojen päähän tai seinähajottajien eteen.

Uudiskohteissa tehtävät ilmanvaihdon toiminnan tarkastukset:

- Ilmanvaihtokoneiden toimintakunnon ja puhtauden tarkastus; ilmanotto, sulkupellit, suodattimet, LTO, patterit, puhaltimet, kammiot...
- Kohteen tarkastus suunnitelmien ja asennusten paikkansa pitävyyden suhteen
- Moottoroitujen laitteiden toimintakunnon ja sijoitusten tarkastus
- Sääto- ja palopeltien tarkastukset
- Päätelaitteiden tarkastus ja suojien poistot
- Kohteen kokonaistoiminnan tarkastus aistinvaraisesti, tasapainotukseen vaikuttavat tekijät, esim. ovia puuttuu, ikkunoita auki, keskeneräiset rakennusosat...
- Sähkämiehen asentamien, ilmanvaihdon toimintaan vaikuttavien laitteiden toiminnan tarkastus, esim. ilmanvaihtokoneiden ohjaukset ovat sähkämiehen kytkemiä, meneekö koneet päälle, toimiiko taajuusmuuttajat, muuntajasäätimet, tyristorit ym.
- Automaation toiminnan tarkastus yleisellä tasolla, esim. että ilmanvaihtokoneet lähtevät päälle ja ohjaukset toimivat ja ovat lukittavissa tasapainotusta varten, automaatiosta ohjattavien säätölaitteiden ja kompensointien toiminta
- Tasapainotuksen aikana tehtävät havainnot ilmanvaihtoon liittyvistä poikkeavuuksista, esim. poikkeukselliset vaipan yli paine-erot, kanavavuodot, virheelliset laitekytkennät, asennuspuutteet ym.
- Ilmanvaihdon kokonaistoiminnan tarkastus tasapainotuksen jälkeen yhdessä automaatiourakoitsijan kanssa; suunnitelmien mukainen toiminta, ohjausten toiminta, järjestelmän vakaus eri käyttötilanteissa, kompensoinnit, ilmanvaihdon käyttö rakennusten käyttöaikojen ulkopuolella
- Tarkastaa mahdolliset muutokset mitoitettuihin ilmavirtoihin

Vanhassa kohteessa tehtävät ilmanvaihdon toiminnan tarkastukset (jos puhdistus tehdään ennen tasapainotusta, tarkastukset voidaan saada tehtyä suurimmaksi osin sen yhteydessä):

- Aiempien pöytäkirjojen, raporttien ja poikkeamailmoitusten tarkastus; mittaus- ja puhdistuspöytäkirjojen havaintojen läpikäynti, ilmanvaihdon katsastusasiakirjojen tarkastus, tutkimusraporttien huomiot ja mahdolliset tehdyt korjaukset.
- Ilmanvaihtokoneiden toimintakunnon ja puhtauden tarkastus tarvittaessa; ilmanotto, sulkupellit, suodattimet, LTO, patterit, puhaltimet, kammiot, antureiden kalibrointitaso...
- Automaation toiminnan tarkastus ja ohjausten testaus yleisellä tasolla
- Kohteen läpikäynti aistinvaraisesti mahdollisten poikkeavuuksien havainnollistamiseksi. Esim. puuttuvat tai puutteelliset päätelaitteet, tukitut päätelaitteet, rikkiäiset kanavaosat, poikkeavat äänet ja hajut, tilojen muutokset ilmanvaihtokuvaan verrattuna tai käyttäjien toiminnan vaikutukset ilmanvaihdon toimintaan
- Jos puutteita on havaittavissa paljon, on kohteessa syytä tehdä kokonaisvaltainen laajempi järjestelmäselvitys tai ilmanvaihdon katsastus.
- Jos merkittäviä puutteita ei havaita, voidaan aloittaa tasapainotustyö kokonaisilmavirtojen mittauksella ja muilla tarpeen mukaisilla tarkastusmittauksilla. Jos kohteen sisä rakenteet ovat aistinvaraisesti tarkasteltuna tiiviit, voidaan ilmanvaihdon tasapainoa arvioida myös tilojen välisten paine-erojen mittauksilla
- Jos ensimmäisissä mittauksissa ilmenee merkittäviä poikkeamia mittaustuloksissa, on syytä tehdä laajempaa selvitystyötä uudiskohteiden tapaan siltä osin, kun on tarve.
- Jos mittauksen ja tasapainotuksen aikana ei ilmene ongelmia ilmanvaihdon toiminnassa, jää tarkastettavaksi lähinnä eri käyttötilanteiden ja toimilaitteiden toiminta
- Ilmanvaihdon kokonaistoiminnan tarkastus tasapainotuksen jälkeen yhdessä automaatiourakoitsijan kanssa; suunnitelmien mukainen toiminta, ohjausten toiminta, järjestelmän vakaus eri käyttötilanteissa, kompensoinnit, ilmanvaihdon käyttö rakennusten käyttöaikojen ulkopuolella

7.5 Mittausolosuhteet

Ennen tasapainotuksen aloitusta laitoksen valmius on tarkastettava. Tasapainotuksen kannalta paras tilanne on, jos kaikki rakennus- ja talotekniset työt ovat valmiit ja rakennuksessa ei ole juuri lainkaan muuta toimintaa. Etenkin ulko-ovien ja ikkunoiden auki pitäminen tai jatkuva aukominen vaikeuttaa tasapainotusta ja voi pahimmassa tapauksessa heikentää mittausten luotettavuutta.

Tasapainotuksen onnistumisen kannalta mittausolosuhteiden perusedellytyksiä ovat:

- Rakennuksen ulkovaippa on valmis
- Ulko-ovien, ikkunoiden ja muiden luukkujen osalta varmistetaan, että ne voidaan pitää suljettuina koko tasapainotustyön ajan.
- Ilmanvaihtoon liittyvät koneet ja laitteet ovat asennettuna ja suojaukset poistettuna
- Pölyävät työvaiheet tehty
- Loppusiivouksen ensimmäinen vaihe tehtynä ja tarkastettuna
- Ilmanvaihdon automaation toimintakokeet suoritettuna ja hyväksyttynä
- Mittausyhteet, säätöpellit ja päätelaitteet ovat oikein asennettuna
- Ilmanvaihdon suunnitelmat ja ilmapirrat läpikäytyinä ja mahdolliset korjaukset/muutokset huomioituna

Kylmään vuodenaikaan ilmanvaihdon tulee olla päällä ennen mittausta, jotta kylmässä tilassa olevat kanavat ja kanavalaitteet ehtivät lämmetä ja mahdollinen kosteus poistua.

Alas lasketut katot ja muut koteloinnit on hyvä tarkastaa, sillä niihin jää usein pölyä ja muuta roskaa, joka lähtee pikkuhiljaa liikkeelle, kun ilmanvaihto käynnistetään ja rakennus otetaan käyttöön.

7.6 Valmistajien ohjeiden läpikäynti

Päätelaitevalmistajien säätö- ja asennusohjeet tulee lukea tarkasti, ettei tule väärinkäsityksiä ja tasapainotus tulee suoritettua kerralla suunnitelman mukaisesti. Ohjeista löytyy monia tärkeitä asioita, jotka helpottavat esisäätöä ja varsinaista tasapainotusta. Samalla oppii ymmärtämään miten erilaiset päätelaitteet toimivat.

Valmistajien ohjeista löytyy mm. seuraavanlaisia asioita:

- Venttiilien puhalluskuviot, heittopituudet ja painetasot
- Suojaetäisyydet ja asennusvaihtoehdot
- K-arvojen laskentatavat tai tulkita
- Äänitasokäyrät
- Muita tärkeitä tietoja päätelaitteiden käsittelystä

8 Mittaus- ja tasapainotustyö

Mittaus- ja tasapainotustyö voidaan aloittaa, kun kaikki tarvittavat valmistelut on tehty ja on varmistettu, että kohteen ilmanvaihtojärjestelmällä on edellytykset tasapainotukseen.

8.1 Turvallisuus

Kuten kaikessa työnteossa, myös tasapainotustyössä tulee huomioida työturvallisuus. Mittauksia tehdään monenlaisissa ympäristöissä ja muuttuvissa olosuhteissa, joten turvallisuustekijät pitää huomioida kohdekohtaisesti. Yleisimpiä työhön liittyviä riskejä ovat mm:

- kaatuminen ja liukastuminen, koska työssä liikutaan paljon rakennuksen joka puolella
- putoaminen, koska korkealla työskentely on yleistä
- viiltotapaturmat, jos kanava- tai päätelaitesennuksissa on jätetty teräviä reunoja
- silmätapaturmat, esim. roskien putoaminen alakattolevyjen avaamisen yhteydessä

Jokaisella on oikeus kieltäytyä vaarallisesta työstä ja velvollisuus puuttua havaitsemiinsa turvallisuuspuutteisiin.

Myös työergonomiaan ja tauottamiseen on tärkeää kiinnittää huomiota, sillä mittauksia tehdessä työasennot suuntautuvat usein ylöspäin ja työskentely tapahtuu kädet koholla.

8.2 Työjärjestys

Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus voidaan toteuttaa usealla eri tavalla kohteesta riippuen. Työvaiheita ei voida aina tehdä samassa järjestyksessä kohteissa vallitsevien erilaisten olosuhteiden ja kohteiden monimuotoisuuden takia. Ilmanvaihdon tasapainotuksessa on kuitenkin suoritettava tietyt työvaiheet ennen kuin työtä voidaan jatkaa eteenpäin. Seuraavassa esimerkissä on esitetty yleinen karkea työjärjestys vaiheittain. Työvaiheiden järjestys ja tarpeellisuus on kohdekohtaista. Esitettyä työjärjestystä hyödyntämällä voi tehdä kohdekohtaisen tasapainotussuunnitelman kohteen vaatimusten ja ominaispiirteiden mukaisesti. Pienemmissä kohteissa työvaiheiden määrä on pienempi.

Vaihe 1 Tasapainotustyön valmistelu ja toiminnan varmistaminen osion 7 mukaisesti

Vaihe 2 Esisäättö ja kokonaisilmavirta

1. Sääätöpellit ja päätelaitteet asetellaan esisäättöarvoihin, jos sellaiset on käytettävissä. Jos kohteesta on vanhat mittauspöytäkirjat, tulee järjestelmä tarkastusmitata ja tarvittaessa korjata säätöasennot pöytäkirjojen mukaisiksi. Jos aiempi tasapainotus on tarkoituksenmukainen, voidaan siirtyä suoraan kohtaan 9. Jos pöytäkirjoja ei ole käytettävissä tai niiden mukainen tasapainotus ei ole mahdollinen, on kaikki päätelaitteet ja säätöpellit aseteltava n. 80...90 % avaukseen ja edetä kohtaan 2.
2. Tasapainoon suunniteltujen palvelualueiden väliovet jätetään tasapainotuksen alussa auki, jotta tulo- ja poistoilmalaitteiden epätasapaino ei vaikuta mittaustuloksiin.
3. Ilmanvaihtokoneet asetetaan lähelle suunniteltua kokonaisilmavirtaa tai mieluiten esim. 10 % sen yli, kuitenkin siten, että rakennus ei ali- tai ylipaineistu liikaa rakennuksen normaaliin paine-erojakaumaan nähden. Tasapainotuksen yhteydessä pitää lukita ilmanvaihdon toiminta, ettei automaatio ohjaa puhaltimia tai muita säätölaitteita mittausten aikana. Joidenkin ilmanvaihtokoneiden asetuksissa on tasapainotustila, jolloin koneen automaatiikka pitää puhaltimien pyörimisnopeudet ja muut koneen toiminnot vakiona tasapainotuksen aikana.

Vaihe 3 Aluekohtaiset kokonaisilmavirrat

4. Varmistetaan luotettavin mittausmenetelmä, esim. säätöpellit, kanavamittaus, paine-erot...
5. Mitataan ja tasapainotetaan aluekohtaiset kokonaisilmavirrat suhteelliseen tasapainoon.
6. Aluekohtaisten kokonaisilmavirtojen suhteellisen tasapainon saavuttamisen jälkeen kokonaisilmavirtoja voidaan tarvittaessa säätää ilmanvaihtokoneen tehoja muuttamalla

Vaihe 4 Tilakohtainen tasapainotus ja raportointi

7. Varmistetaan luotettavin mittausmenetelmä; päätelaitteet, säätöpellit, kanavamittaus, paine-erot...
8. Tasapainotetaan päätelaitteet suhteelliseen tasapainoon tila/huonekohtaisesti varmistaen tasapainon mitoitettujen tilojen tilakohtainen tasapaino paine-eromittauksilla oven yli. Samalla väliovet suljetaan ja varmistetaan mittaukselle ovet suljettuina. Tarvittaessa hienosäädetään aluekohtaisia tai kokonaisilmavirtoja.
9. Lopuksi mittauspöytäkirjaan merkitään kaikki tarpeellinen tieto ilmanvaihtokoneiden käytitiedoista sekä tehdään tarvittaessa kirjallinen raportointi tasapainotuksesta.

8.3 Mittausmenetelmät

Usein on tarve käyttää erilaisia mittausmenetelmiä, jotta voidaan varmistaa luotettava tasapainotus ja mittausten onnistuminen. Jokaisessa kohteessa on suositeltavaa tarkastella mittausten luotettavuutta pistokokein vähintään kahdella tai kolmella eri mittausmenetelmällä, kuten paine-eroon perustuva päätelaitemittaus, kanavamittaus (pitot tai kuumalanka) ja tilakohtaisten paine-erojen mittaus.

Muita mittausmenetelmiä on esim. huppumittari tai siipipyöräänometri, mutta niiden tarkkuus etenkin tuloilmamittauksissa on usein todettu huonoksi virtauksen epätasaisuuden takia, ja niitä tulisi käyttää lähinnä silloin, kuin muiden menetelmien käyttö ei ole mahdollista. Nämä menetelmät ovat yleensä riittävän tarkkoja poistoilmaa mitattaessa, mutta näitäkin käytettäessä kaikista laitteista tulisi mitata paine-ero, joka kirjataan päätelaittekohtaisesti pöytäkirjaan.

Mittaajan tulee tuntee useita erilaisia mittausmenetelmiä luotettavan mittaustuloksen saamiseksi ja vertailla erilaisten mittausmenetelmien heikkouksia ja vahvuuksia. Käytettävät mittausmenetelmät on syytä miettiä aina mitattavan kohteen ja tavoitellun mittaustarkkuuden mukaan.

8.3.1 Paine-eroon perustuvat ilmavirtamittaukset

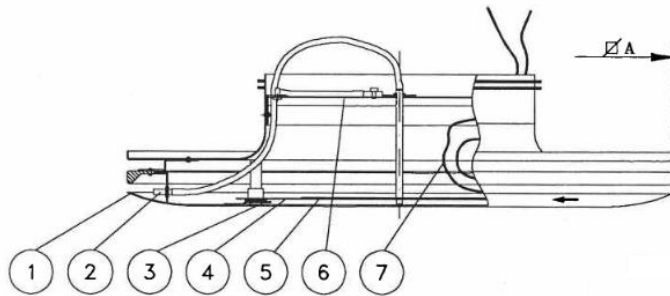
Paine-eroon perustuvia mittauksia tarvitaan käytännössä kaikissa ilmanvaihtojärjestelmissä, joten niihin liittyviä epävarmuustekijöitä on tärkeää osata arvioida. Paine-eromittauksiin tulee käyttää kalibroituja mittalaitteita, joiden resoluutio on vähintään yhden desimaalin (eli näyttää mittaustuloksen esim. 11,4 Pa). Yleisimpien mittalaitteiden mittausalue on kaikissa tavanomaisissa kohteissa riittävä, mutta mittajan on hyvä tuntee käyttämänsä mittarin mittausalue.

Paine-eromittauksissa mittaletkuja ei saa puristaa, venyttää tai heiluttaa mittauksen aikana, sillä se voi vaikuttaa paine-eroon. Osa paine-eromittareista on myös asentoriippuvaisia, jolloin paine-ero voi muuttua, jos mittaria kääntää mittauksen aikana. Monissa mittareissa on mittausta helpottavia ominaisuuksia, kuten valmiita k-kertoimia yleisimmille venttiileille. Myös omien K-kertoimien lisäys on mahdollista.

Eri valmistajilla on osaan päätelaitteista ja venttiileistä erillisiä mittakoukkuja, -tikkuja ja -yhteitä, joita tulee käyttää valmistajien ohjeiden mukaisesti. (ks. 4.1.5)

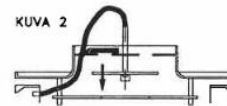
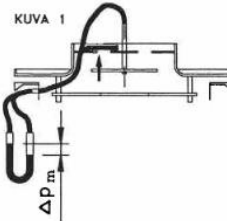
Joissain päätelaitteissa on annettu eri K-arvoja eri suojaetäisyyksille ja etulevyn asennoille, joten oikean K-arvon valitsemisessa tulee olla huolellinen. Osa valmistajista on myös määritellyt päätelaitteiden mittaukselle minimipaineen. Pienillä painetasoilla mitattaessa mittaustarkkuus kuitenkin heikkenee oleellisesti päätelaitteesta riippumatta, eikä yleensä ole suositeltavaa käyttää alle 10 Pa paine-eroon johtavia säätöasentoja ja mitoituksia. Aina se ei kuitenkaan ole suunnittelu- ja asennusratkaisujen takia mahdollista. Silloin mittauksen luotettavuus tulee pyrkiä varmistamaan toisella menetelmällä.

Joissain vanhoissa päätelaitteissa laite pitää asettaa tiettyyn tilaan ennen mittausta, esim. 80–90-luvulla yleisesti käytetty RHU-tuloilmalaite, joka on usein mitattu väärin (kuva 52).



ILMAVIRRRAN MITTAUS JA SÄÄTÖ

- a.) Avaa etulevyn (1) lukitusruuvi (3)
- b.) Irroita etulevy (1) siirtämällä sitä sivuttaen
- c.) Säädä heilopituus säätölevyllä (4)
- d.) Työnnä mittalaite (5) ylös reikälevyyn (6) asti , ks. kuva 1
- e.) Mittaa paine-ero mittausyhteistä (2)
- f.) Säädä tilavuusvirta oikeaksi säätönaruilla (7)
- g.) Vedä mittalaite (5) alas säätölevyyn (4) asti , ks. kuva 2
- h.) Laita etulevy (1) paikalleen
- i.) Kiristä etulevyn (1) lukitusruuvi (3)



RHU	A (mm)	k
100	300	5,9
125,160	500	15,0
200,250	600	24,4

Kuva 52. Lapinleimun säätöohje RHU tuloilmalaitteelle. Samaa päätelaitetta valmistettiin myöhemmin myös FläktGroupin nimellä. [Lapinleimu säätöopas 1991]

8.3.2 Kanavamittaukset

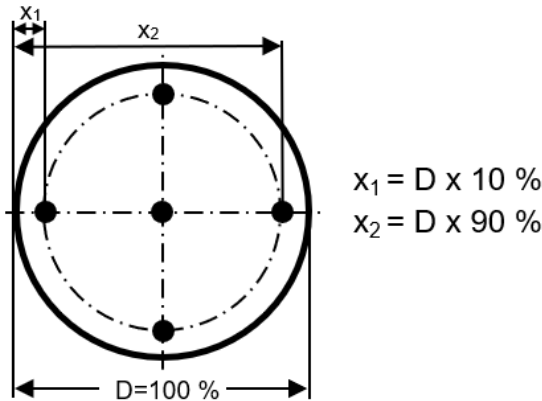
Kanavamittaukset toteutetaan yleensä kuumalanka-anemometrillä tai pitot-putkella (ks. 4.1.5). Ilman virtausnopeus ei yleensä jakaudu kanavassa tasaisesti, joten nopeus mitataan monipistemittauksena 4...x pisteestä kanavan koon mukaan. Jokaisesta mittauspisteestä mitataan esim. 5 s keskinopeus. Tulokseksi määritellään näiden mittauspisteiden keskinopeuksien keskiarvo.

Monipistemittauksissa on oleellista mittauksen suojaetäisyys virtauksen häiriölähteeseen, mittauslaitteen tarkkuus ja mittauspisteiden lukumäärä. Mittaus tulee pyrkiä tekemään mahdollisimman suoralta kanavaosalta, jolloin häiriövirtausten määrä on mahdollisimman pieni. Anturi on tärkeä pitää tarkasti oikeassa suunnassa ja pisteiden tulee jakautua symmetrisesti kanavan poikkipintaan nähden. Pitot-putkella mitattaessa tulee huomioida mittausletkujen oikea kytkentä (ks. kuvat 13, 36 ja 37).

8.3.2.1 Mittaus pyöreissä kanavissa

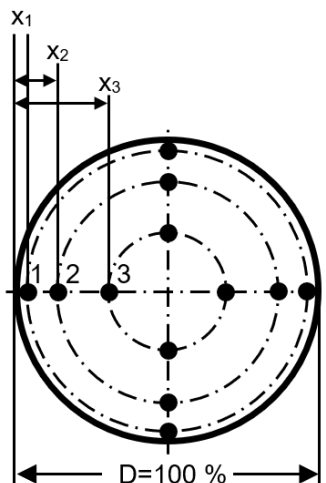
Kanavamittausta varten pyöreään kanavaan porataan yleensä 1 tai 2 reikää, joista kanavamittaus suoritetaan. Mittaus voidaan tehdä joko 5-pistemenetelmällä, tai log-linear -menetelmällä. 5-pistemenetelmä soveltuu käytettäväksi 400 mm kanavakokoihin asti, mutta yli 250 mm kanavissa on suositeltavaa käyttää log-linear -menetelmää.

5-pistemenetelmässä ilman nopeus mitataan neljästä pisteestä kahdelta kohtisuoralta halkaisijalta sekä kanavan keskeltä kuvan 53 mukaisesti.



Kuva 53. Kanavamittauksen mittauspisteiden määrittäminen 5-pistemenetelmässä.

Log-linear -menetelmässä kanava jaetaan useampaan kehiin, joista jokaiselta tehdään neljä mittausta kahdelta kohtisuoralta halkaisijalta kuvan 54 mukaisesti.

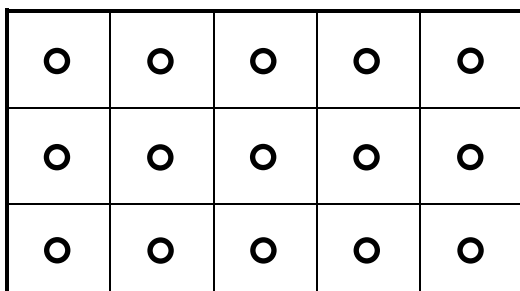


Piste	1 x_1	2 x_2	3 x_3
Kehien lukumäärä			
1	14,6 %		
2	6,7 %	25 %	
3 (kuvassa)	4,4 %	14,6 %	29,6 %

Kuva 54. Kanavamittauksen mittauspisteiden määrittäminen log-linear menetelmässä. Mittauspisteitä voi pienessä kanavassa olla 4, ja isommissa kanavissa mitattavia kehiä lisätään tarpeen mukaisesti. Taulukossa on esitetty mittauspisteen suhteellinen etäisyys kanavan sisäpinnasta, kun kehiä on 1...3 kpl (soveltaen SFS-EN 12599).

8.3.2.2 Mittaus suorakaidekanavissa

Suorakaidekanavia mitattaessa kanavan poikkipinta jaetaan yhtä suuriin osiin kuvan 55 mukaisesti. Mittauspisteiden lukumäärä riippuu kanavan koosta (SFS-EN 12599).



Kuva 55. Suorakaidekanavan poikkipinnan jakaminen yhtä suuriin osiin ja mittauspisteiden ohjeelliset sijainnit.

8.3.3 Paine-eron mittaus rakenteiden yli

Ilmanvaihdon mittauksen ja tasapainotuksen aikana rakennuksen ulkovaipan yli tehtävät paine-eromittaukset toimivat merkittävänä apuna ilmanvaihdon tasapainotuksen laadunvarmistuksessa. Vaipan yli paine-eromittauksista saadaan varmuutta sille, että tavoiteltavat rakennuksen sisä- ja ulkoilman väliset paine-erot pysyvät tarkoituksenmukaisena. Tilojen välisillä paine-eromittauksilla voidaan arvioida pääte-laitekohtaisten mittausten luotettavuutta, jos tilojen väliset rakenteet ovat tiiviit.

Yhtenä tasapainotuksen edellytyksenä tulee olla se, että ilmanvaihdon toiminta ei aiheuta liian suuria paine-eroja rakennuksen sisä- ja ulkorakenteiden yli. Tasapainotuksen aikana tuleekin tarkkailla tilojen välisiä sekä sisä- ja ulkoilman välisiä paine-eroja, ja reagoida liian suurin paine-eroihin tasapainotuksen yhteydessä. Tasapainotustyön aikana pystytään vaikuttamaan paine-erojen muutoksiin tekemällä erilaisia korjauksia, joilla rakennuksen paine-erot saadaan hallintaan siten, että ilmavirtojen tasapainotus voidaan suorittaa hyväksytysti. Mahdollisissa muutoksissa tulee huomioida, että niiden toteuttaminen voi vaatia suunniteltujen ilmavirtojen päivytystä tai laitemuutosten suunnittelua yhdessä suunnittelijan tai valvojan kanssa.

8.3.3.1 Paine-eron mittaus rakennuksen ulkovaipan yli

Rakennusvaipan yli tehtävät paine-eromittaukset toteutetaan pääsääntöisesti hetkellisinä mittauksina ilmavirtojen tasapainotuksen yhteydessä. Mahdollisuuksien mukaan suositeltavampaa on kuitenkin toteuttaa paine-eroseuranta pidempiaikaisella seurantamittauksella, jolloin saadaan rakennuksen paine-erojen käyttäytymisestä tietoa kaikissa ilmanvaihdon käyttötilanteissa sekä erilaisissa ulkoilmaolosuhteissa. Pidempiaikainen seuranta on suositeltavaa erityisesti kohteissa, joissa on havaittu ongelmia ilmanvaihdon kanssa. Nykyaikaisissa rakennuksissa voi olla valmiiksi rakennusautomaatioon liitetty jatkuva paine-eroseuranta, jota voidaan hyödyntää myös tasapainotuksen yhteydessä.

Mittauksen johtaminen ulkoilmaan voidaan tehdä eri tavoin, mutta mittauksia tehdessä tulee tuntee mittalaitteen vaatimukset. Kaikissa ilmavirtamittauksiin tarkoitetuissa paine-eromittareissa mittaus voidaan suorittaa mm. kapillaariputkella, puristumattomalla letkulla tai pneumatiikkaputkella. Sen sijaan suurimassa osassa langattomia seurantajärjestelmiä mittausletkun tai -putken sisähalkaisijan tulee olla vähintään 2 mm, sillä niissä käytetään usein läpivirtausantureita, joiden mittaus vikaantuu, jos sitä kuristaa liikaa. Läpivirtausanturilla varustetun mittalähettimen mittausulos voi myös vikaantua, jos mittausletku on liian pitkä.

Mittauksen ja tasapainotuksen yhteydessä ulkovaipan paine-erojen hetkelliset mittaukset voidaan toteuttaa normaalisti kapillaarikoukulla tai muulla puristumattomalla letkulla esim. tuuletusikkunan uloimasta välistä ikkuna suljettuna (kuva 56). Mittausta ei tarvitse johtaa ulos asti, jos uloin ikkunaväli on tuulettuva. Samalla uloin ikkuna vaimentaa vähän suoran tuulen vaikutusta. Mittaus on suositeltavaa suorittaa 1–1.5 m korkeudesta lattiasta. Yksittäisen mittauksen voi tarvittaessa kuitenkin suorittaa lähes mistä paikasta tahansa, kunhan mittausletku saadaan asetettua tiiviisti ulkoilman ja sisäilman välille.



Kuva 56. Paine-eron mittaus kapillaarikoukulla tuuletusikkunan yli [Antti Alanko]

Seurantamittaus asennetaan muuten samalla tavalla, mutta mittausletkun riittävästä sisäpinta-alasta tulee varmistua. Suositeltavaa on käyttää esim. 4 mm paksua pneumatiikkaletkua, jonka sisähalkaisija on vähintään 2 mm (kuva 57). Pneumatiikkaletkua ei saa suoraan kiinni mittarin mittausyhteeseen, joten väliin tarvitaan paremmin joustavaa letkua, esim. silikoniletkua. Pneumatiikkaletku kestää hyvin puristusta, mutta jos ikkunanväli on kovin tiukka, tulee varmistaa, että letku ei puristu liikaa kasaan. Mittaus-tulos on hyvä varmistaa käsimittarilla, joka ei ole niin herkkä mittauksen vikaantumiselle kuin moni seur-antamittari. Jos mittaus viedään ulos asti, tulee mittapää kääntää alaspäin ja suojata suoralta tuulelta ja sateelta (kuva 58, ks. kohta 4.1.5). Pitemmissä, yli 6...12 kk kestävässä seurantamittauksissa on suosi-teltavaa tehdä mittausletkulle reikä ikkunan karmin läpi.

Paine-erojen seurantamittausten suorittamiseen ja tulosten tulkintaan on annettu laajat ohjeet A-Insinööri Oy:n Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportissa (Eskola, L. & Björkroth, M. 2019). Ohjeistus on vapaasti ladattavissa talotekniikkainfo.fi -sivustolta.



Kuva 57. Seurantajärjestelmän paine-erolähettimen mittaus johdettu ulos 4/2 mm pneumatiikkaletkulla [Antti Alanko]



Kuva 58. Esimerkki kiinteän paine-eromittauksen sääsuojauksesta [Antti Alanko]

8.3.3.2 Paine-eron mittaus rakennuksen sisätilojen välillä

Rakennuksen sisätilojen väliset mittaukset ovat hyödyllisiä päätelaitekohtaisten mittaustulosten luotettavuuden arvioinnissa, jos tilojen väliset rakenteet ovat tiiviitä. Silloin hetkellisellä mittauksella voidaan paikantaa rakennuksen tilat, joissa on liian suuri epätasapaino tulo- ja poistoilmavirtojen välillä. Sisätilojen väliset mittaukset tehdään usein väliovien kautta kapillaarikoukulla tai mittatikulla (kuva 59). Rakennuksen sisällä paine-erotasot ovat yleensä vakaampia, jolloin seurantamittauksille ei usein ole tarvetta. Mittaus voidaan suorittaa vastaavasti kuin ulkovaipan yli mittaukset, mutta korkeusasemalla ei ole niin suurta merkitystä, jos tilojen väliset lämpötilat ovat samat.



Kuva 59. Paine-eron mittaus kapillaarikoukulla välioven yli [Antti Alanko]

8.3.3.3 Mittaustulosten tulkinta

Yksittäisessä mittauksessa on tärkeää huomioida kaikki mahdolliset mittaukseen vaikuttavat tekijät, jotta mittaus on mahdollisimman tarkka ja tulkinta tehdään oikein. Yksittäisten mittaustulosten vertailussa täytyy muistaa huomioida eri aikaan suoritettujen mittausten välillä tapahtuvien mittaolosuhteiden muutokset ja muut mittaustulokseen mahdollisesti vaikuttavat muuttujat, sillä mittaolosuhteilla voi olla suuri merkitys mittaustulokseen (ks. kohta 2.3.2).

Rakennuksen tiivydellä on myös merkittävä vaikutus rakennuksen paine-eroihin ja se tulee huomioida mittaustuloksia tulkittaessa. Tiiviissä rakennuksessa koneellisen ilmanvaihdon mahdollinen virtausepätasapaino vaikuttaa huomattavasti enemmän rakennuksen paine-eroihin kuin vastaavasti epätiivissä rakennuksessa. (Taulukko 4). (Kuurola, P. 2016).

Taulukko 4. Rakennuksen tiivyyden vaikutus paine-eroihin (Kuurola, P. 2016)

Ilmavirtatasapaino	Paine-ero (Pa)		
	$n_{50} = 0,15 \text{ 1/h}$	$n_{50} = 4,0 \text{ 1/h}$	$n_{50} = 10,0 \text{ 1/h}$
Tasapainotettu ilmanvaihto	-7...+4	-6...+4	-6...+4
15 % vähemmän tuloilmaa	-33...-22	-7...+4	-6...+4
15 % enemmän tuloilmaa	+15...+26	-6...+5	-5...+4

Rakennuksen tiivyyteen voi vaikuttaa mm. rakennuksen ikä, rakenneratkaisut ja rakennustöiden laatu. Jos rakennuksen tai tilan tiivys ei ole tiedossa, voidaan sitä mittausten yhteydessä arvioida karkeasti siten, että mitä pienempi muutos tilakohtaisessa tai kokonaisilmavirrassa vaikuttaa paine-eroihin, sitä tiiviimpi rakennus tai tila on. Jos sen sijaan isokaan muutos ilmavirrassa ei vaikuta oleellisesti paine-

eroihin, niin rakennus tai tila on hyvin epätiivis, eikä paine-eromittauksia voida luotettavasti hyödyntää mittausten laadun varmistamisessa.

Jos ilmanvaihto on ilmavirtamittausten perusteella tasapainossa ja rakennusvaipan yli mitatut paine-erot ovat silti normaalista poikkeavat, pitää selvittää mistä ongelma johtuu ja varmistaa ilmavirtamittausten luotettavuus laajemmin. Matalissa rakennuksissa suuri ali- tai ylipaine viittaa usein siihen, että ilmanvaihdon mittausten tarkkuus on heikko tai kanavistossa on vuotoa.

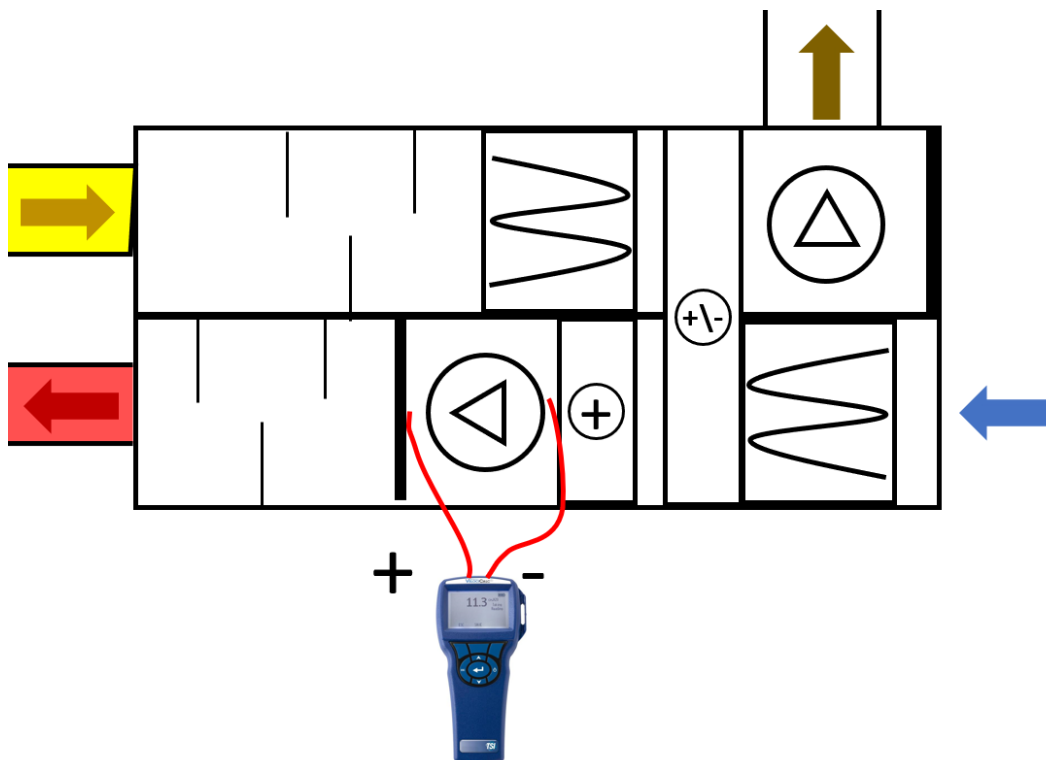
8.3.4 Ilmamääräsäätimien tarkastukset

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnan edellytyksenä on ilmamääräsäätimien luotettava mittaustulos. Ilmamääräsäätimien mittaustarkkuutta voi heikentää lukuisat eri tekijät (ks. kohta 3.1.5 taulukko 2).

Ilmamääräsäätimien ohjaustapa tulee selvittää ja uudiskohteissa tulee varmistaa, kuuluuko asetusarvojen asettelu ilmavirtojen tasapainotustyöhön vai tekeekö sen joku toinen taho. Mittaustarkkuuden tarkistamiseksi ilmamääräsäätimet tulee mitata luotettavasti esimerkiksi pitot- tai kuumalankamittauksella ja verrata mittaustulosta ilmamääräsäätimen omaan mittaukseen. Jos tulokset poikkeavat toisistaan, tulee selvittää poikkeaman syy ja tehdä tarvittavat korjaukset ja/tai kalibroinnit.

8.3.5 Puhaltimen paine-eron mittaus

Puhaltimen paineenkorotuksen mittaus suoritetaan useimmiten ilmanvaihtokoneen omista mittaussyhteistä, joskaan erityisesti vanhoissa ilmanvaihtokoneissa ei välttämättä ole mittaussyhteitä. Mittausten yhteydessä on tärkeää varmistaa, että koneen sisäpuoliset letkutukset ovat kunnossa. ”+”-yhteen tulisi olla johdettu puhaltimen puhalluspuolelle ja ”-”-yhteen imupuolelle (kuva 60).

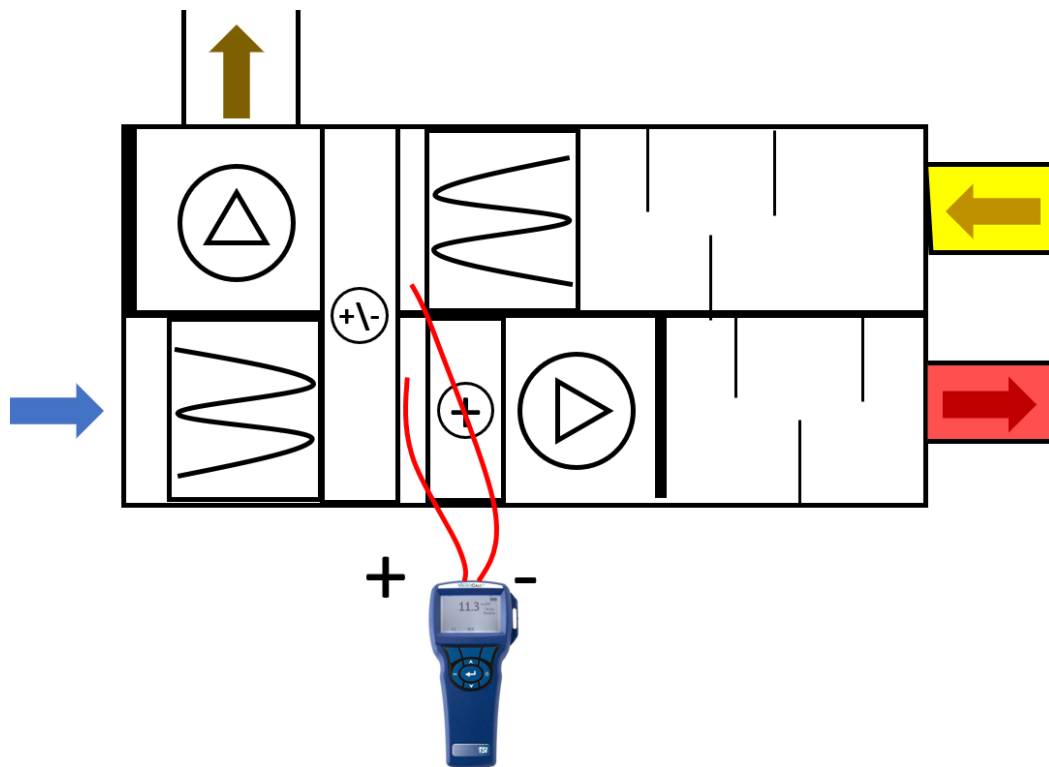


Kuva 60. Puhaltimen paine-eron mittaus [Antti Alanko]

8.3.6 Lämmöntalteenottokiekkon paine-eron mittaus

Yleinen tavoite on saada lämmöntalteenottokiekkon tulo puolelle positiivista painetta n. 20 – 50 Pa, jolloin ehkäistään poistoilman kulkeutumista tuloilman sekaan. Tavoiteltuihin paine-eroihin vaikuttavat mm. kokonaisilmavirtamitoitukset, sekä tulo- ja poistoilmapuhaltimien asemointi kiekkoon nähden. Kiekkon paine-eroja säädetään useimmiten kuristamalla poistoilmakammion säätöosaa (laitevalmistajasta riippuen), lisäämällä poistokammioon kuristusosia tai kuristamalla poistoilmarunkoja säätöpelleillä.

Kiekkon paine-eroa mitattaessa paine-eromittarin "+"-yhde kytetään tuloilmaan kiekkon ylävirran, korkeamman paineen, puolelle (puhaltimen puoli). "-"-yhde kytetään poistoilmaan samalle puolelle, kuin tuloilmassa (kuva 61). Näin mitattaessa mittarin painelukeman tulee olla positiivinen, jotta ilman virtaus-suunta on oikein. Jos tulos näyttää negatiivista painetta, tuloilmapuoli on alipaineinen ja ilman virtaus-suunta on poistoilmasta tuloilmaan päin.



Kuva 61. Lämmöntalteenottokiekkon paine-erojen mittaus [Antti Alanko]

8.4 Suhteellinen säätö

Suhteellisen säädön tavoitteena on saada ilmanvaihtojärjestelmä toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti. Tärkeää on, että ilmavaihtokoneet toimivat mahdollisimman pienillä puhallintehoilla, sekä päätelaitteet ja kanavisto on tasapainotettu käyttötarkoitukseen nähden mahdollisimman väljästi. On kuitenkin varmistettava, että laitevalmistajien antama minimi säätöpaine toteutuu suhteellisessa säädössä. Yleisin minimipaine päätelaitteille on 10 Pa, mutta joillakin tuloilmalaitteilla määritelty minimipaine voi olla esim. 5 Pa. Kuitenkin usein alle 10 Pa paine-erot heikentävät mittauksen tarkkuutta (ks. kohta 6.5). Oy Lindab Ab suosittelee mittauspaineeksi vähintään 10 Pa (LindabComfort, Mittaus ja Säätöopas 2009).

Suhteellisessa säädössä ilmanvaihdon päätelaitteet ja säätöpellit on tarkoitus saada tasapainotettua samaan suhteeseen keskenään, joka helpottaa ilmanvaihtojärjestelmän tasapainottamista suunniteltuihin ilmavirtoihin. Suhteellisen säädön toteuttamiseen löytyy toisistaan hieman poikkeavia ohjeistuksia, joissa on erilaisia yksityiskohtia referenssilaitteen ja säätöjärjestysten osalta. Tässä oppaassa on esitetty yksi käytetty suhteellisen säädön toteutustapa.

8.4.1 Suhteelliseen säätöön liittyviä haasteita

Suhteellinen säätö on mahdollista toteuttaa, kun järjestelmästä löytyy riittävästi säätöpeltejä ja puhallimet ovat EC-moottoreilla tai taajuusmuuntajilla varustettuja, jolloin niitä voi säätää portaattomasti. Menetelmä edellyttää myös riittävää painetasoa, hyvin mitoitettua kanavistoa ja keskenään samalla painealueella toimivia päätelaitteita. Menetelmän toteuttaminen on haastavaa, jos päätelaitteiden mittaus tulokset eivät ole luotettavia, joten mittaus tulosten luotettavuus on tärkeää varmistaa ennen tasapainotusta ja sen aikana.

Suhteellinen säätö vaatii soveltamista, kun mittaukseen vaikuttaa tavanomaisten epätarkkuustekijöiden lisäksi mm:

- Matala painetaso – nykyään usein suositaan väljiä kanava- ja laitemitoituksia, jolloin päätelaitteiden mittauspaine voi hyvinkin olla alle 10 Pa. Jos mitoitustehon lisäksi tarkastellaan myös osatehoa, voi järjestelmä olla mahdotonta saada toimimaan tasapainoisesti kaikissa käyttötilanteissa.
- Kanavamitoituspuutteet – esim. kanavarakenteet tai säätöpeltien sijainnit voivat aiheuttaa ongelmia, jolloin ilmaa on vaikea saada jakautumaan tiettyyn haaraan
- Päätelaitteen mittaustarkkuus ja muut mahdolliset laitteen häiriötekijät – esim. laitteen ominaisuudet itsessään (etenkin vanhoissa, mutta myös joissain edelleen markkinoilla olevissa laitteissa on omia tarkkuuteen vaikuttavia puutteitaan)
- Laittevalinnat, eli esim. KSO- ja EHC-laitteita, tai jäähdytyspalkit ja tuloilmalaatikot samassa haarakanavassa – laitteissa on erilaiset painetasot, mikä aiheuttaa helposti ongelmia tasapainotuksessa
- Laitteiden suojaetäisyydet ja muut asennuspuutteet – samojen puutteiden toistuminen vaikuttaa koko järjestelmän tasapainottamiseen ja se pitää huomioida aina jo ensimmäisellä säätökierroksella
- Kanavakoon muutos ennen päätelaitetta – valmistajat eivät yleensä huomioi tätä suojaetäisyysohjeissa, mutta tämä saa mittauksen valehtelemaan huomattavasti

Muita suhteellisen säädön aiheuttamia ongelmia voivat olla:

- Muuntojouston puute, jos tasapainotuksessa säädetään yksi venttiili ja yksi haara mahdollisimman auki – esim. monissa toimistorakennuksissa tapahtuu paljon tilamuutoksia tiheäänkin. Silloin ei tulisi säätää mitään runkoa, haaraa tai venttiiliä kokonaan maksimiavaukselle, vaan jättää pieni joustovara. Silloin myöhempi tasapainotus on vaivattomampi tehdä tilamuutosten yhteydessä.
- LTO-kiekon paine-erot säätyvät lähes aina väärin, jos sitä ei huomioida heti lähtötilanteessa, sillä menetelmä ohjaa välttämään säätöön. Kuitenkin poistokammioon pitää saada riittävästi painetta, että poistopuoli säätyy LTO-kiekkolla tulopuolta alipaineisemmaksi. Tähän vaikuttaa myös puhaltimien sijoittelu kiekoon nähden, mutta useimmiten kiekko on molempien puhaltimien imupuolella.
- Riittämätön tarkkuus rakenteiden välisten paine-erojen hallinnan kannalta, jos tasapainotustyö toteutetaan vain suhteellisella säädöllä – ei riitä, että tilojen väliset paine-erot huomioidaan tasapainotuksen jälkeen, vaan ne pitää ottaa jo tasapainotuksen alkuvaiheessa huomioon, jotta varmistetaan päätelaitemittausten luotettavuudesta.

8.4.2 Suhteellinen säätö tilavuusvirralla l/s

Suhteellinen säätö litramäärillä lasketaan kertomalla säädettävän päätelaitteen suunniteltu ilmavirta referenssilaitteen suhdeluvulla:

$$q_v \text{ tavoite} = \frac{R_{\text{mitattu l/s}}}{R_{\text{suunniteltu l/s}}} \times \text{säädettävän laitteen suunniteltu ilmavirta, jossa}$$

$$q_v \text{ tavoite} = \text{säädettävän päätelaitteen tavoiteltava ilmavirta}$$

R = referenssilaitte

8.4.3 Suhteellinen säätö paine-erolla

Suhteellinen säätö paine-erolla lasketaan seuraavasti:

$$K_{\text{tavoite}} = \frac{R_{\text{mitattu l/s}}}{R_{\text{suunniteltu l/s}}} \times \frac{\text{säädettävän laitteen suunniteltu ilmavirta}}{\sqrt{\Delta P_m}}, \text{ jossa}$$

K_{tavoite} = säädettävän venttiilin tavoiteltava k-arvo, jonka perusteella määritellään päätelaittevalmistajan säätöoppaasta lähin avausasento päätelaitteelle

R = referenssilaitte

ΔP_m = päätelaitteesta mitattu paine-ero

8.4.4 Referenssilaitteen etsiminen

Referenssilaitte tarkoittaa tasapainotettavan linjan tai järjestelmän suhteellisesti heikointa päätelaitetta, jolla on pienin suhdeluku suunnitelluilmavirtaan nähden, muihin päätelaitteisiin verrattuna. Suhdeluku saadaan esim. seuraavasti:

Referenssilaitteen mitattu ilmavirta -15 l/s jaetaan suunnitellulla ilmavirralla -20 l/s. Näin saadaan suhdeluvuksi 0,75 ja tätä lukua käytetään suhteellisessa säädössä.

Referenssilaitte asetetaan maksimi avausasentoon useimmissa tapauksissa. Jos säädettävien päätelaitteiden minimipaine ei toteudu tasapainotuksessa, on referenssilaitteen avausta suljettava, jotta minimipaine toteutuu. Tätä ongelmaa voi esiintyä useimmiten tuloilmajärjestelmissä. Päätelaitteen avauksen voi laskea kaavalla, kun tiedetään haluttu litramäärä ja riittävä minimipaine (ks. kohta 6.4.1). Tulokseksi saadaan venttiilin k-arvo ja päätelaitteen avausasento.

Referenssilaitte voi jäädä maksimiasentoa pienemmälle myös silloin, kun ilmanvaihtojärjestelmässä on savunrajoittimena toimivia laitteita. Esimerkiksi säätöpeltien toimiessa savunrajoittimena, referenssiventtiili voidaan joutua laittamaan pienempään asentoon, jotta venttiilin mittauspaine saadaan pidettyä tarpeeksi suurena. Oikean referenssilaitteen löytäminen voi olla välillä haastavaa.

Referenssilaitteen selvittäminen ilmanvaihdon suunnittelukuvista nopeuttaa tasapainottamista. Laitetta voi etsiä myös mittaamalla, mutta se vie paljon aikaa, sillä vasta kun referenssilaitte on löydetty, voidaan varsinainen tasapainotustyö aloittaa. Jos on epävarma referenssilaitteesta, voidaan ottaa vertailuun 2...3 heikointa päätelaitetta. Ilmanvaihtojärjestelmässä, jossa on säätöpellillisiä kanavistoja, tulee jokaiseen haarakanavaan oma referenssilaitte, jotka tasapainotustyön loppuvaiheessa tasataan keskenään säätöpelleillä. Voi olla myös ilmanvaihtojärjestelmiä, jossa ei ole yhtään säätöpeltejä, esim. hygieniapoistojen kanavisto. Tällaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on yksi referenssilaitte ja se on kaukaisin päätelaitte puhaltimelta.

Poistokanaviston referenssilaitte on usein kanaviston viimeinen päätelaitte, koska poistokoneen tuottama staattinen paine pienenee kanaviston loppupäähän. Poikkeuksia tulee mm. silloin, jos muualle kanavistoon on suunniteltu liian pienellä K-arvolla olevia päätelaitteita. Tämän takia on hyvä laskea kuinka suuria paineita päätelaitteet vaativat suunnitelluilla ilmavirroilla. Myös kanavamitoitukset voivat vaikuttaa referenssilaitteen sijaintiin, esim. kun kytkentäkanavan kanavanopeus on suurempi kuin itse haarakanavan nopeus. Tällaisissa asennuksissa referenssilaitte voi sijaita näissä pienemmissä haaroissa, joissa on suurempi kanavanopeus. Löytääkseen tällaiset asennukset ilmanvaihtosuunnitelmista tulee laskea säätöpelleille suunnitellut ilmavirrat ja kanavanopeudet, sekä pienempien haarakanavien nopeudet.

Tuloilmakanaviston referenssilaitte on myös usein kanaviston loppupäässä ja tuloilman referenssilaitteen poikkeuksia koskee samat tekijät kuin poistoilmassa kanavien nopeuksien ja päätelaitteiden paineiden osalta. Tuloilmakanavistoon liittyy kuitenkin enemmän häiriötekijöitä, kuten ohivirtaukset säätöpeltejä kuristettaessa, tai lähtökaulusten liian läheinen sijainti käyriin tai kantikkaisiin äänenvaimentimiin nähdessä.

Jos linjasta tai järjestelmästä valitaan vahingossa väärä referenssilaitte, tulee se vastaan tasapainotuksen edetessä. Kun olet laskenut prosentit seuraavalle laitteelle ja jos säätövara ei riitä, niin olet löytänyt oikean referenssilaitteen. Tämä laite tulee asettaa maksimiavaukseen ja aloittaa tasapainotus uudelleen käyttäen tätä uutta referenssilaitetta. Tasapainottaminen suoritetaan aina kauimmaisesta päätelaitteesta ilmanvaihtokoneelle päin, on sitten kyseessä tulo- tai poistoilma. Referenssilaitetta käytetään ainoastaan vertailulaitteena muille päätelaitteille.

8.4.5 Tasapainotustyön eteneminen

8.4.5.1 Esimerkki 1, pientalon poistoilmalinjan suhteellinen säätö

Kun referenssiventtiili (A) on löytynyt, voidaan varsinainen tasapainotustyö aloittaa (kuva 62):

Ensimmäiseksi mitataan referenssiventtiilin (A) ilmavirta ja jaetaan referenssiventtiilin suunnitellulla ilmavirralla. Tulokseksi saadaan desimaaliluku, joka kerrotaan seuraavan venttiilin (B) suunnitellulla

ilmavirralla. Tulokseksi saadaan venttiilin (B) haettava ilmavirta. Tämän jälkeen vaiheessa (1) säädetään venttiiliin (B) edellisen lasketun tuloksen ilmavirtaa vastaavaksi.

Seuraavaksi vaiheessa (2) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiiliin (A) muutos. Muuttunut ilmavirta tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiiliin (C) suunnitellulla ilmavirralla. Tulokseksi saadaan venttiiliin (C) haettava ilmavirta.

Tämän jälkeen vaiheessa (3) säädetään venttiiliin (C) edellisen lasketun tuloksen ilmavirtaa vastaavaksi.

Seuraavaksi vaiheessa (4) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiili (A) muutos. Muuttunut ilmavirta tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi saadaan uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiiliin (D) suunnitellulla ilmavirralla. Tulokseksi saadaan venttiiliin (D) haettava ilmavirta.

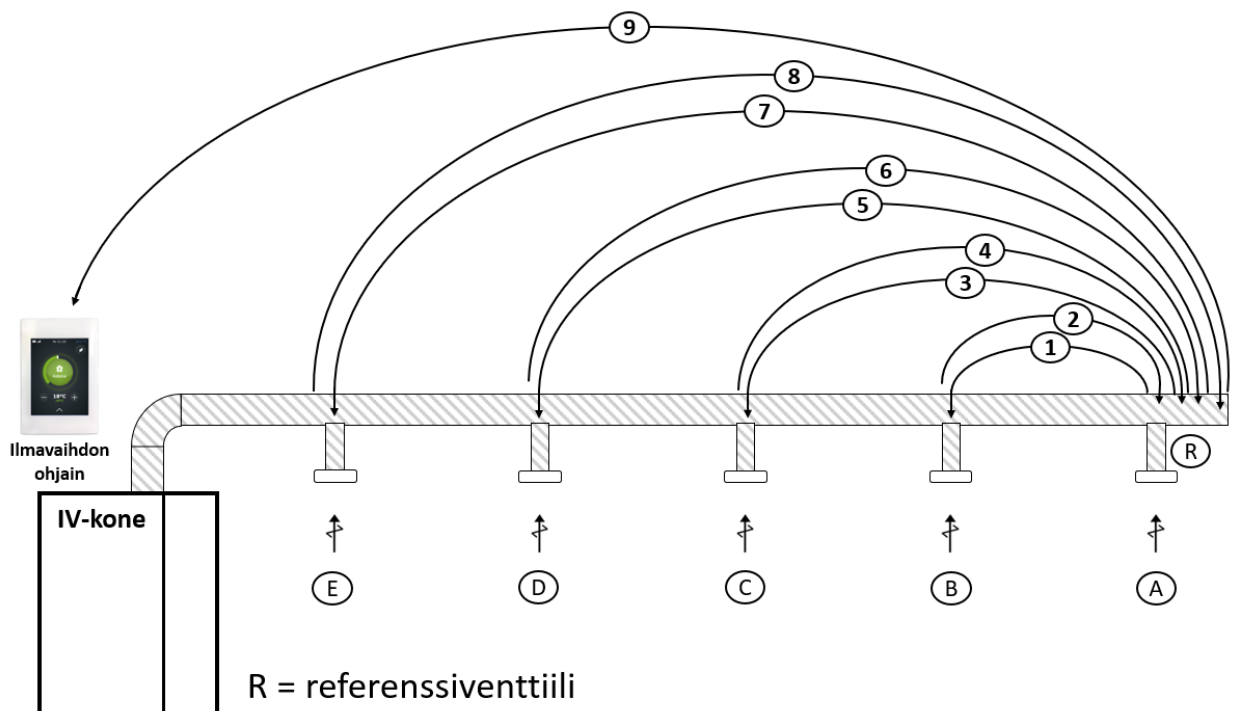
Tämän jälkeen vaiheessa (5) säädetään venttiiliin (D) edellisen lasketun tuloksen ilmavirtaa vastaavaksi.

Seuraavaksi vaiheessa (6) palataan takaisin tarkastamaan referenssiventtiili (A) muutos. Muuttunut ilmavirta tarkastetaan ja lasketaan uusi arvo referenssiventtiilille (A). Tulokseksi uusi desimaaliluku, joka kerrotaan venttiiliin (E) suunnitellulla ilmavirralla. Tulokseksi saadaan venttiiliin (E) haettava ilmavirta.

Tämän jälkeen vaiheessa (7) säädetään venttiiliin (E) edellisen lasketun tuloksen ilmavirtaa vastaavaksi. Tämän jälkeen kaikki venttiilit on tasapainotettu samaan suhteeseen.

Vielä palataan vaiheessa (8) takaisin referenssiventtiilille (A) ja tarkastetaan, minkälainen ilmavirta venttiilillä on tällä hetkellä.

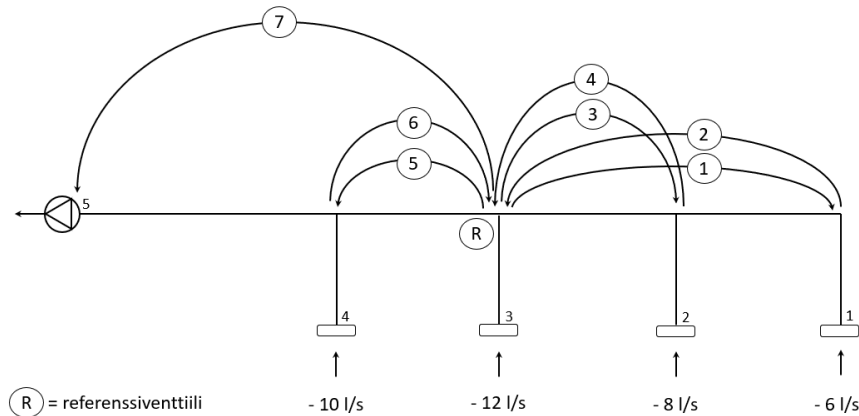
Paine-eromittari jätetään referenssiventtiiliin (A) paikoilleen ja seuraavaksi vaiheessa (9) ilmanvaihdon ohjaimelta säädetään moottorin nopeus niin, että referenssiventtiiliin (A) ilmavirta säätyy suunniteltuun ilmavirtaan. Muut venttiilit myös muuttuvat suhteessa suunniteltuihin ilmavirtoihin. Lopuksi tarkastetaan ilmavirrat vielä kaikista venttiileistä ja tehdään mittauspöytäkirja ja lukitaan venttiili oikeaan säätöasentoon.



Kuva 62. Pientalon ilmanvaihdon poistoilmalinjan suhteellinen säätö, esimerkki suorituksesta. [Sami Mäkinen]

8.4.5.2 Esimerkki 2, referenssilaite ei ole linjan viimeinen päätelaite

Suhteellisen säädön toteutus esimerkki, kun referenssilaite ei ole linjan viimeinen päätelaite. Ensimmäinen säädettävä laite on kauimmainen päätelaite ja sieltä edetään järjestyksessä ilmanvaihtokoneelle tai säätöpölylle päin. Referenssilaite toimii vertailulaitteena muille päätelaitteille, jotta kaikki laitteet saadaan säädettyä samaan suhteeseen.

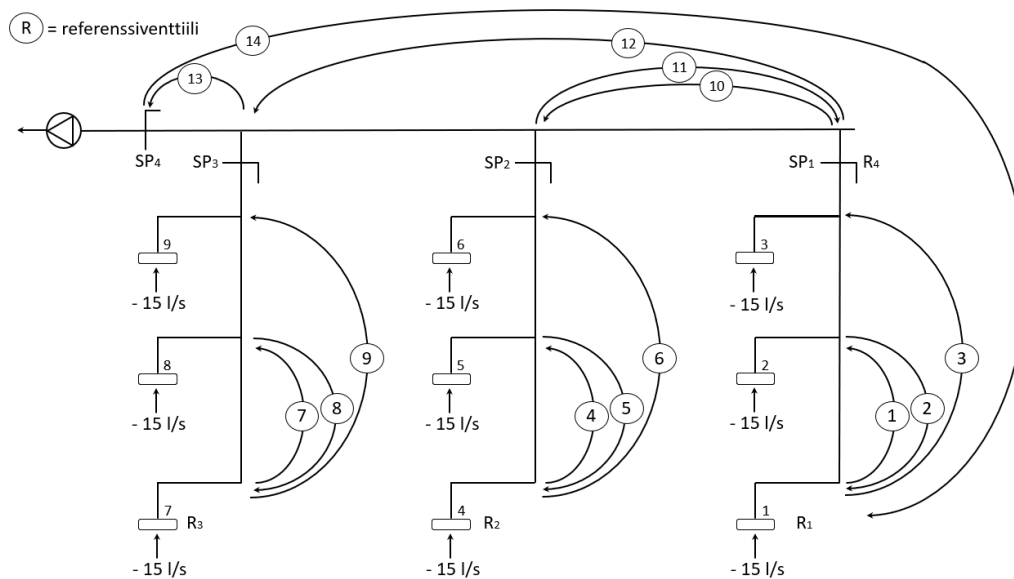


Kuva 63. Suhteellinen säätö, kun referenssilaite ei ole linjan viimeinen päätelaite. [Sami Mäkinen]

8.4.5.3 Esimerkki 3, monihaaraisen ilmanvaihtojärjestelmän suhteellinen säätö

Monihaaraisen ilmanvaihtojärjestelmän suhteellinen säätö. Päätelaitteet säädetään ensin samaan suhteeseen linjoittain. Tämän jälkeen säädetään säätöpölyt keskenään samaan suhteeseen. Tämän jälkeen säädetään koko järjestelmä samaan suhteeseen.

Mittaaminen suoritetaan järjestyksessä kanavahaara tai osasto kerrallaan. Pienet kohteet voidaan mitata kerralla. Lopuksi tasapainotetaan linjat keskenään. Mittaamisen aikana tulee tehdä toisinaan pistokokeita valmiiksi tasapainoitettuihin osiin, jos reaaliaikaista seuranta ei ole käytössä.



Kuva 64. Monihaaraisen ilmanvaihtojärjestelmän suhteellinen säätö. [Sami Mäkinen]

8.5 Muita tasapainotusmenetelmiä

Suhteellisen menetelmän lisäksi muita tasapainotusmenetelmiä ovat mm.

- suunniteltujen esisäättöarvojen käyttömenetelmä
- suhteellisen säädön ja esisäättöarvojen käytön yhdistelmä
- kokemukseen perustuva tasapainotus ja suhteellisen menetelmän yhdistelmä
- tietokoneohjelmien hyödyntäminen

8.5.1 Tietokoneohjelmien hyödyntäminen tasapainotuksessa

Jos käytössä on ilmavirtojen mittaamiseen ja tasapainottamiseen erikseen suunniteltu ohjelma, voidaan sitä käyttämällä helpottaa työtä ja vähentää virheitä.

Esimerkki.

Pientalo, 2 kerrosta, 150 m², koneellinen tulo/poisto, venttiileitä 10+10 kpl.

Tarkastusmitataan kaikki venttiilit oletetulla koneen käyntinopeudella. Tämän jälkeen tehdään tasapainotus virtuaalisena ohjelmalla käyttäen esim. prosentuaalisia arvoja, ja siirretään ohjelman laskemat säätöasetukset venttiileihin, jonka jälkeen tarkastusmitataan järjestelmä uudelleen ja tehdään tarvittavat korjaukset.

Laskentaohjelmien hyödyntäminen voi pienentää mittaukseen käytettyä aikaa oleellisesti. Myös referenssiventtiili voidaan etsiä helposti tarkastusmittauspohjalta, käyttäen prosenttilukua.

Mittaukseen ja tasapainotukseen suunniteltuja kaupallisia laskentaohjelmia on toistaiseksi rajallisesti saatavilla.

9 Raportointi

Ilmanvaihdon mittaus ja tasapainotus pitää aina raportoida. Raportointi pitää sisällään ilmavirtojen mittauspöytäkirjan ja tarvittaessa kirjallisen raportin tasapainotuksesta, jos raportoitavaa on enemmän kuin pöytäkirjan koosteeseen mahtuu. Kirjalliseen raporttiin merkitään kaikki ilmanvaihdon mittauksessa ja tasapainotuksessa havaitut puutteet ja poikkeamat sekä tavanomaisesta poikkeavat laskentakaavat ja poikkeukselliset säätöratkaisut. Kirjallisen raportin tarkoituksena on selvittää mittauspöytäkirjan lukemista, sekä mittaus- ja tasapainotustyön aikana ilmenneitä puutteita ja poikkeavuuksia.

Tasapainotuksen huolellinen raportointi tukee kiinteistön ylläpitoa ja huoltoa, ja auttaa mahdollisten korjausten suunnittelussa.

9.1 Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirja on dokumentti, josta voidaan varmistaa, että ilmanvaihtojärjestelmä on mitattu ja tasapainotettu asianmukaisesti. Mittauspöytäkirjan tulee sisältää tiedot, joiden perusteella on mahdollista tarkistaa laskennallisesti, onko päätelaitteille saavutettu suunnitellut ilmavirrat. Pöytäkirjan tulee sisältää riittävästi tietoa mittaus tulosten tarkasteluun ja siihen, että mittaus on myöhemmin toistettavissa. Laadukkaana tasapainotuksen ja kattavien mittauspöytäkirjojen perusteella oikeat säädöt on mahdollista palauttaa, jos järjestelmän säätöjä on muutettu huonompaan. Pöytäkirjasta voidaan myös tarkastella toteutuvatko tilojen paine-erot suunnitellulla tavalla, jos tilakohtaiset paine-erot on kirjattu.

Mittauspöytäkirjoihin merkittävien tietojen määrä ja merkintätapa on tärkeä tehdä kohteen vaatimalla tasolla. Omakotitalossa käytettävä mittauspöytäkirja ei välttämättä sovellu suuressa toimistorakennuksessa käytettävään mittauspöytäkirjaan. Mittauspöytäkirjoissa olevat eroavaisuudet vaikuttavat erityisesti mittauspöytäkirjojen lukemiseen.

Mittauspöytäkirjapohja on suositeltavaa hyväksyttävä työn tilaajalla ennen tasapainotustyön aloitusta, jotta kaikilla osapuolilla on tiedossa, mitkä kaikki tulokset mittauspöytäkirjaan merkitään. Mittauspöytäkirjoihin merkittävien tietojen määrään vaikuttaa millainen kohteen ilmanvaihtojärjestelmä on.

Mittauspöytäkirjoista pitää yleisesti ottaen selvittää ainakin seuraavat tiedot:

- Kohteen tunnistetiedot
- Mittaajien nimet ja yritykset
- Käytettyjen mittalaitteiden merkit ja mallit
- Mittausten ajankohta
- Pöytäkirjan päiväys
- Ulkoilman olosuhteet mittauksen aikana; tuulen nopeus ja ilman lämpötila
- Käytetyt mittaustavat (jos muu kuin paine-ero)
- Kuvaus säätöihin vaikuttaneista havainnoista, esim. tasapainotusta häiritsevä toiminta työmaalla tai puutteet IV-järjestelmissä
- Ilmanvaihtokonekohtaiset tiedot:
 - o Koneiden ja puhaltimien positiot
 - o Taajuusmuuttajien taajuusarvot tai puhaltimien ohjausprosentti tai -asetus
 - o Puhallinpaine (jos mitattavissa)
 - o Kammio- tai kanavapaine
 - o Suodatinpaine-ero (1- ja 2-nopeuskytkimillä ohjatuissa koneissa)
 - o Tulo- ja poistoilman lämpötilat
 - o Mitatut kokonaisilmavirrat
 - o Suunnitellut kokonaisilmavirrat
 - o Poikkeama suunnitelluista kokonaisilmavirroista prosentteina
- Tila-/huonekohtaiset tiedot:

- Tilatunnisteet
- Päätelaitemalli ja koko
- Minkä ilmanvaihtokoneen vaikutusalueelle laite kuuluu
- Mitattu paine tai ilman nopeus
- Päätelaitteen avausasento ja/tai k-arvo
- Mitattu ilmavirta
- Suunniteltu ilmavirta
- Mitatun ja suunnitellun ilmavirran ero prosentteina ja/tai l/s
- Ilmamääräsäätimien ja vakiovirtaussäätimien mittausten ja asetusten koosteet

Mittauspöytäkirjoihin suositeltavia lisätietoja tarvittaessa:

- Tasapainoon suunniteltujen tilojen paine-erot ympäröiviin tiloihin nähden
- Rakennusvaipan yli mitatut paine-erot eri kerroksista ja ilmansuunnilta
- Savurajoittimina toimivien laitteiden merkintä
- Runkokanavien mittaustulokset
- Mittalaitteiden kalibrointitodistukset
- Arvioidut mittauserpätkätkuudet

Esimerkkejä erilaisista mittauspöytäkirjoista on esitetty liitteessä 3.

Pöytäkirja, jossa ei ole tarvittavia tietoja, ei mahdollista mittausten laskennallista tarkistusta tai mittausten tarkastamista. Tällainen pöytäkirja ei anna varmuutta siitä, onko järjestelmä mitattu ja tasapainotettu oikein, eikä siitä voi päätellä mitään järjestelmän tilasta, jos esim. paine-erotiedot puuttuvat mittaustuloksista. Tällaisia pöytäkirjoja ei tule tehdä, eikä niitä tulisi hyväksyä valvonnassa.

		Sisäänpuhallus			Poisto		
Huone n:o							
tai tila		Vaadittu	Mitattu		Vaadittu	Mitattu	
11-06	rskp	60	59	KSO	30	60,3	

Kuva 65. Liian vähän tietoa mittauspöytäkirjan riveillä [Janne Penttilä]

9.2 Kirjallinen raportointi

Tasapainotuksen yhteydessä tulee usein esille erilaisia puutteita ilmanvaihtojärjestelmän toiminnassa, asennuksissa, suunnitelmissa tai huollossa.

Kirjallisen raportin tarkoitus on täydentää mittauspöytäkirjaa ja selvittää tarkemmin järjestelmän toimintaan epäsuotuisasti vaikuttavia tekijöitä. Raportti on yhteenveto tasapainotuksen yhteydessä tehdyistä havainnoista ja siihen kirjataan kaikki IV-järjestelmän toimintaan vaikuttavat oleelliset tekijät, kuten:

- Turvallisuuteen liittyvät puutteet
- Suunnitelmista havaitut puutteet
- Ilmanvaihtokoneisiin liittyvät puutteet, mm:
 - Ilmanoton puutteet
 - Suodatuksen puutteet
 - Koneiden komponenttien puutteet
 - Mitoitukselliset puutteet
- Huoltoon tai huollettavuuteen liittyvät puutteet
- Puutteet ja/tai epäselvyydet automaation toiminnassa
- Ilmanjakoon liittyvät puutteet
- Siirto- ja korvausilmaan liittyvät puutteet
- Laitteasennuksiin liittyvät puutteet

9.2.1 Esimerkkejä tasapainotuksen yhteydessä raportoitavista asioista

Kuvassa 66 on esimerkki tasapainotuksen yhteydessä raportoiduista havainnoista.

9.2.1.1 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

Kerrostalossa, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto, voi olla useampi asunto, joissa on korvausilman puutetta. Tämä asia voidaan mainita pöytäkirjassa erillisellä merkinnällä. Syitä korvausilman puutteelle voi kuitenkin olla hankala merkitä mittauspöytäkirjaan yksityiskohtaisesti. Korvausilman puutteelle voi olla useampi syy, esimerkiksi rikkiäinen korvausilmaventtiili, kokonaan puuttuva korvausilmaventtiili tai puutteellisesti mitoitettu korvausilma, joita ei voida selventää tarkasti pelkän mittauspöytäkirjan merkintöjen pohjalta.

9.2.1.2 Omakotitalo

Esimerkiksi omakotitalon tasapainotuksen yhteydessä on tehty ilmvirtamitoitukseen tai järjestelmään välttämättömiä muutoksia, joilla saadaan rakennuksen paine-eroihin liittyneet ongelmat poistettua (esim. mitoitusvirheiden korjaaminen todellista käyttötarvetta vastaavaksi ja liesikuvun tai keskuspölynimurin kompensointien rakentaminen). Pienen kohteen asiat voidaan raportoida kirjallisesti myös mittauspöytäkirjassa, jos se saadaan sinne järkevästi mahtumaan.

9.2.1.3 Isompi julkinen kohde

Esimerkiksi suuren toimisto- tai koulurakennuksen tasapainotuksen yhteydessä havaintoja ja korjaustarpeita voi tulla niin laajasti, että niitä ei ole järkevä perusteellisesti kirjata mittauspöytäkirjaan. Tasapainotuksen toteutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm. ilmanvaihtojärjestelmien rakenteelliset tai toiminnalliset puutteet, automaation puutteet, päätelaitteiden puutteet ja tilojen käyttäjien tarpeet.

Huomiot ilmanvaihdon säätötyöstä:

- Ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyötä varten kerroksien runkokanaviin asennettiin säätöpellit. Säätöpeltien asennuksella mahdollistettiin kerroksien suhteellinen säätötyö, jotta ylemmissä kerroksissa olevat suuret venttiilien paine-erot saatiin pienemmäksi ääniongelmien minimoimiseksi.
- Säätötyön yhteydessä selvisi, että jäähdytyspalkit ovat olleet jonkinlaisia prototyyppisiä. Asiaa selvitetty yhdessä kohteessa aiemmin olleiden säätötyöntekijöiden kanssa. Laitevalmistajalla ei ollut antaa mitään ohjeita laitteen toiminnan parantamiseksi.
- Selvityksessä ilmeni, että laitevalmistajien antamat k-kertoimet jäähdytyspalkeille eivät olleet paikkansa pitäviä. K-kertoimille on laskettu säätötyön yhteydessä uudet k-kertoimet, jotka ovat merkitty mittauspöytäkirjoihin.
- Lisäksi jäähdytyspalkkien heittokuvioita on muutettu ajan saatossa ohjauslevyillä, jottei ilma suuntaudu suoraan käyttäjien päälle. Nyt säädetyt ilmamäärät ovat voineet vaikuttaa heittokuvioihin. Mikäli heittokuvioiden muutokset aiheuttavat ongelmia käyttäjille, voidaan ohjauslevyillä korjata ongelmaa.
- Mittaustuloksia tarkastellessa on syytä huomioda se, että osassa tiloista yksittäiset ilmamäärät ovat jääneet suunnitteluarvoista. Tähän syynä on tilojen jäähdytyspalkkien toiminta yhdistettynä suunniteltuihin ilmamääriin, joihin ei ole kaikilta osin mahdollista päästä jäähdytyspalkin toiminnan takia. Ilmanvaihdon tasapainoa kyseisissä tiloissa on kuitenkin tarkastettu ja tilat ovat olleet tasapainossa. Osa tiloista yhdistyy isompaan ilmanvaihdolliseen kokonaisuutteen, jolloin yksittäiset suunnitelmista poikkeavat ilmamäärät on pystytty korvaamaan muista venttiileistä. Esimerkkinä kerroksessa olevat avotoimistot, jotka voivat olla mittauspöytäkirjassa useamman erillisen tilan kokonaisuus. Näissä tiloissa suunnitteluarvoista jääneitä ilmamääriä on pystytty tasapainottamaan tarpeen mukaan muiden tilojen ilmamäärillä, niin että ilmamäärät ovat saatu tasapainoon kokonaisuudessa.
- Säätötyön aikana oli joitakin venttiilejä, joille ei ollut pääsyä ja niitä ei voitu mitata kiinteiden esteiden takia.
- 5.krs huippumuri ATK02PF10.5 ei pyörinyt, joten sitä ei päästy mittaamaan.

Kuva 66. Esimerkki tasapainotuksen yhteydessä tehdyistä havainnoista [Jussi Luoma]

10 Haasteita ja hyviä käytäntöjä

Ilmanvaihdon mittaus- ja tasapainotustöiden yhteydessä esiintyy monenlaisia haasteita riippuen mm. IV-järjestelmän ominaisuuksista ja tekniikasta, kohteen käyttötarkoituksesta, rakennusajankohdasta, rakennuksen tiiveydestä, rakennuksen korkeudesta ja sijainnista. Isoja haasteita voi aiheuttaa myös mm. tuulen vaikutus referenssipaineelle, kiire kohteen luovutusaikataulun takia ja säätyötyö keskeneräisissä kohteissa. Myös työn aikana tehtävät suunnitelmien muutokset voivat aiheuttaa haasteita.

10.1 Ilmanvaihdon tasapaino

Rakennus saavuttaa tasapainon silloin, kun tuloilmapuhaltimet puhaltavat rakennukseen saman verran ilmaa, kuin poistoilmapuhaltimet poistavat. Tasapainon varmistaminen paine-eromittauksilla edellyttää, että rakennus on riittävän tiivis ja siirtoilma-aukot riittävän väljät.

Rakennuksen ilmavirtatasapainoa arvioidaan yleensä kokonaisilmavirtamittausten lisäksi rakennusvai-pan yli tehtävillä paine-eromittauksilla tai seurantamittauksilla (ks. kohta 8.3.3.1).

Monikerroksiset kohteet ovat haasteellisia tasapainottaa, sillä tuuli ja termisen paine-eron vaikutus vai-keuttaa tasapainotusta ja ilmanvaihdon vaikutusten arviointia. Paine-ero rakennuksen sisällä pääsee muuttumaan niiden vaikutuksesta. Termisen paine-eron vaikutus pienenee, jos eri kerrosten tilat eivät ole avoimessa yhteydessä toisiinsa. Korkean rakennuksen paine-ero-ongelma voi ilmanvaihdon toimin-nan ja säätöjen sijaan liittyä arkkitehtuuriin ja sen vaatimiin rakenneratkaisuihin.

Kaikkiin kohteisiin ei aina tavoitella tasapainoista ilmanvaihtoa. Esimerkiksi epäpuhtauksien tai kosteu-den hallinta voi vaatia normaalia alipaineisemman järjestelmän, ja erityiset ilmanlaatu- tai olosuhdevaa-timukset voivat puolestaan vaatia ylipaineisen järjestelmän. Asuinrakennuksiin suunnitellaan yleensä lievä alipaine, koska asuinrakennuksissa muodostuu tavanomaisia julkisia kiinteistöjä enemmän kos-teutta.

10.2 Puutteelliset ilmavirtamitoitukset

Eryteisesti vanhoissa kohteissa suunniteltujen ilmavirtojen mukaisesti tasapainotettaessa ilmanvaihto voi muodostaa rakennukseen ali- tai ylipaineen. Aina ennen tasapainotusta on suositeltavaa tarkastaa ilma-virtamitoitukset ja varmistaa, että järjestelmä on mahdollista säätää tasapainoon.

Vanhon pientaloilmanvaihtokoneiden ilmavirtoja ei aina ole mahdollista säätää tasapainoon, sillä ko-neiden lämmöntalteenotto ja jälkilämmityspatteri on mitoitettu vanhojen käytäntöjen mukaisesti alipainei-selle ilmanvaihdolle. Vaikka koneessa ei itsessään olisi vikaa, niin ilmanvaihtoa ei välttämättä ole mah-dollista säätää tasapainoon vaihtamatta ilmanvaihtokonetta.

10.3 Yleisimpiä syitä epätasapainoiseen ilmanvaihtoon

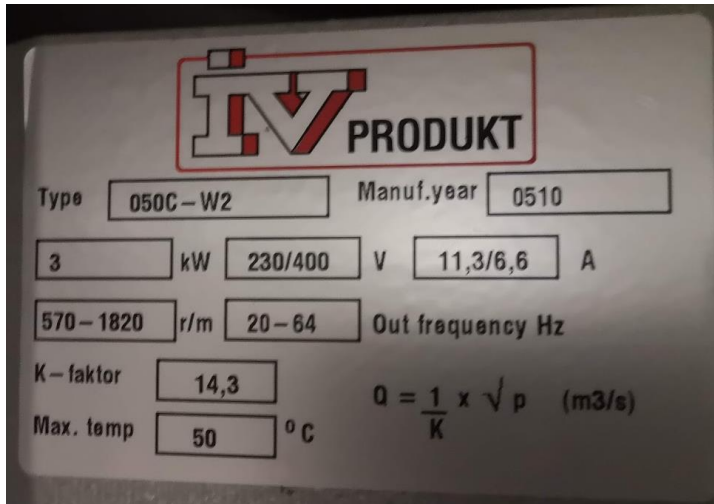
Yleisempiä syitä epätasapainoiseen ilmanvaihtoon ovat suunnitteluratkaisut- tai virheet, väärät mittaus-tavat (esim. pelkän huppumittarin tai siipipyöranemometrin käyttö), päätelaitteiden huonot suojaetäi-syydet, väärin K-arvojen käyttö, liian pienet siirtoilmalaitteet tai korvausilmareitit, kalibroimattomat mit-talaitteet, rakennusautomaation virheellinen toiminta yms.

10.4 Järjestelmäkohtaisia erityispiirteitä

Tasapainotuksen yhteydessä ja suunnitelmien läpikäynnissä tulee kiinnittää huomiota erilaisten järjes-telmien erityispiirteisiin, jotka vaikuttavat tasapainottamiseen.

10.4.1 Taajuusmuuttajaohjaus

Joskus mittajalle voi tulla toimeksianto taajuusmuuttajaohjatun ilmanvaihdon ilmavirtojen korottaminen. Maksimitaajuus ei aina ole 50 Hz ja taajuusmuuttajalle asetettu maksimitaajuus ei välttämättä vastaa puhaltimelle ilmoitettua maksimitaajuutta. Automaatioon asetettu 100 % ei siis välttämättä ole puhaltimen 100 %. Taajuusmuuttajan taajuusrajoja voi muuttaa taajuusmuuttajan asetuksista, joita saa muuttaa vain osaava henkilö. Eri taajuusmuuttajissa rajoja muutetaan eri tavoin. Muutoksista pitää tiedottaa automaatiourakoitsijaa, huoltoa ja kiinteistönomistajan edustajaa. Taajuusmuuttajarajojen tulisi vastata puhallinmoottorille asetettuja rajoja, jotka on kirjattu puhaltimen tyyppitietoihin (kuva 67).



Kuva 67. Yksilölliset taajuusrajat (20–64 Hz) on esitetty tyyppitiedoista. Kuvan tyyppitiedot löytyivät IV-koneen puhaltimen kehykseen kiinnitetystä tarrasta. [Antti Alanko]

10.4.2 Tarpeenmukainen ilmanvaihto ON-OFF-pelleillä

Suunnitteluasiakirjoista tulee selvittää tehostuspeltien toimintaperiaatteet ja säädöissä huomioitavat tekijät etukäteen. Tulo- ja poistoilmakanavistoon voi olla suunniteltu erillisiä ON-OFF-tehostuspeltejä tehostamassa jonkin tilan ilmavirtaa esim. hiilidioksidipitoisuuden tai lämpötilan ylittäessä automaatioon asetetun asetusarvon.

Normaalitilanteessa tehostuspellit ovat kiinni ja niiden vaikutusalueella olevat päätelaitteet eivät vaihda ilmaa. Tehostustilanteessa pellit avautuvat ja ilmanvaihtokoneen kammio- tai kanavapaineohjauksen tulisi reagoida muuttuneeseen paineeseen ja lisätä puhaltimien tehoa.

Järjestelmissä on erilaisia toimintatapoja, mutta useimmiten kaikki tehostuspellit tulee ohjata tasapainotuksen ajaksi auki, jotta niihin riittää tehostustilanteessa suunnitellut ilmavirrat. Oikea säätöjärjestys tulee kuitenkin määrittellä kohdekohtaisesti. Tasapainotuksen lopuksi varmistetaan tehostuspeltien toiminta, että muiden tilojen ilmanvaihto pysyy vakaana tehostustilanteen muutoksissa.

Jos tehostuspeltien kanavat on kytketty muun ilmanvaihdon runko- ja haarakanaviin, voi tehostuksen toiminta olla epävakaata ja peltien avautuminen ja sulkeutuminen voi muuttaa läheisten haarakanavien ilmavirtoja. Tehostuspeltien kanavat tulisivatkin olla suunniteltu omilla runkokanavilla, tai muissa kanavissa tulisi olla vakiovirtaussäätimet. Tällöin muiden tilojen ilmanvaihto pysyy vakaammin tasapainossa.

10.4.3 Tarpeenmukainen ilmanvaihto ilmamääräsäätimillä (IMS)

Suunnitteluasiakirjoista tulee selvittää ilmamääräsäätimien tyypit ja ohjaustavat. Tasapainotustyön valmisteluissa on hyvä varmistaa, kuuluuko ilmamääräsäätimien asetusarvojen asettelu ilmavirtojen

mittaus- ja tasapainotustyöhön vai esim. automaatiourakkaan. Mahdolliset riskitekijät ilmamääräsäätimien toimintaan tulee pyrkiä tunnistamaan jo suunnitteluasiakirjoista. (ks. kohta 3.1.5)

Puutteelliset suojaetäisyydet ja ahtaisiin alakattoihin asennetut ilmamääräsäätimet hidastavat tasapainottamista oleellisesti.

Ilmamääräsäätimien mitoituksissa tulee kiinnittää huomiota suunniteltuun ilmavirta-alueeseen; pysyvä valitun laitteen mittaus luotettavana minimitasossa ja toimiiko valittujen päätelaitteiden ilmanjako tarkoituksenmukaisesti. Mitoitustehoa pienemmillä ilmavirroilla tuloilma ei välttämättä tartu kattopintaan, vaan lähtee valumaan, jolloin vedon tunne voi esiintyä mitoitustehoa pienemmillä ilmavirroilla.

Tasapainotuksen yhteydessä on tärkeää varmistaa ilmamääräsäätimien vakaus ja toimivuus eri toimintatapasteissa.

10.4.4 Palautusilmajärjestelmät

Palautusilmalla tarkoitetaan ilmaa, joka palautetaan poistoilmasta takaisin tuloilmaan. Palautusilman toiminta voi oleellisesti vaikuttaa ilmanvaihdon vakaaseen toimintaan ja tasapainoon. Palautusilman suunniteltuun toimintaan tulee tutustua toimintakaavioista ja toimintaselostuksesta.

Palautusilman käyttäytymiseen vaikuttaa ulko- ja palautusilmapelien toiminta, tulo- ja poistoilmapuhaltimien sijainnit konepaketissa ja niiden ohjaukset. Tasapainotustilanteessa palautusilma tulee ohjata kiinni ja sen toiminta säätää ja varmistaa päätelaitekohtaisen tasapainotuksen jälkeen. Kaikissa järjestelmissä palautusilman toimintaa ei ole mahdollista saada vakaaksi ilman muutostöitä.

10.4.5 Kulutusjousto (tai kysyntäjousto)

Kulutusjoustolla tarkoitetaan joustoa kiinteistön sähkönkäytössä, jolloin sähkönkulutusta vähennetään tai lisätään sähkön tuotantotilanteen mukaisesti. Esimerkiksi kulutushuippujen aikana kulutusjoustolla vähennetään tehontarvetta energijärjestelmässä. Kulutusjoustolla voidaan esim. pienentää kiinteistön hetkellistä sähkönkäyttöä ohjaamalla ilmanvaihtoa, lämmitystä tai jäähdytystä pienemmälle. (Motiva verkkosivut)

Energian kulutusjousto-ohjaukset kiinteistöautomaatiossa voivat muuttaa ilmanvaihdon käyntiasetuksia joko koko kiinteistön tasolla, tai tilakohtaisesti. Kulutusjouston ohjaukset ilmanvaihdon tasossa tulisi varmistaa yhdessä automaatiourakoitsijan kanssa ilmavirta- ja paine-eromittauksin, jotta rakennuksen paine-eroihin ei aiheuteta epäsuotuisia poikkeamia.

10.4.6 Kotona, poissa ja tehostus -asetukset asunnoissa

Asunnot, joissa Ilmanvaihtojärjestelmää voidaan tehostaa tai pienentää, säädöt voidaan toteuttaa omalla ilmanvaihtokoneella, ilmamääräsäätimillä tai tehostuspelleillä. Asunnon ilmanvaihto on oltava tehostettavissa 30 % kotona-asetusta suuremmaksi. Ilmanvaihtoa tulee voida myös pienentää enintään 60 % kotona-asetuksen suunnitteluarvoja pienemmälle tasolle.

Kun asunnon ilmavirrat on tasapainotettu kotona-asetuksella suunniteltuihin arvoihin, säädetään poissa- ja tehostus ilmavirrat. Seurantaventtiiliksi valitaan mieluiten se venttiili, missä on suurin paine-ero. Mittaamalla suuremmalla paine-erolla olevasta venttiilistä, muut mittaustulokset vääristyvät vähiten suuremman painetason takia. Näin voidaan tasapainottaa poissa- ja tehostusasetusten ilmavirrat tarkemmin.

Esimerkkien 1 ja 2 kaavoilla voidaan laskea kaikkien eri tehotasojen ilmavirrat.

Tärkeää on että, suunnitellut ilmavirrat todetaan sekä tulo- että poistoilmalla kotona, poissa ja tehostus-tilanteissa, jotta rakennuksen paine-erot säilyvät oikeina kaikilla tehoilla. Rakennuksen paine-erot varmistetaan rakennusvaipan yli tehtävillä paine-eromittauksilla kaikissa käyttötilanteissa.

10.4.6.1 Esimerkki 1, tehostuksen laskenta paine-erolla

Asunnon poistoilman mitoitettu kokonaisilmavirta on 60 l/s. Poistoilman tehostusilmavirta +30 % on 60 l/s x 1,3 = 78 l/s.

Lasketaan kaikkien poistoilmaventtiilien mitatut ilmavirrat yhteen. Asunnon yhteenlaskettu mitattu ilmavirta on 59 l/s. Suurin venttiililtä mitattu paine-ero on KSO-125, 36 Pa ja 17 l/s. Suurimman paineen poistoilmaventtiilille lasketaan uusi paine-ero, joka vastaa laskennallisesti koko asunnon tehostusilmavirtaa 78 l/s.

Venttiilin tehostusilmavirran paine-eron kerroin voidaan laskea seuraavasti:

$$\Delta P_{kerroin} = \left(\frac{q_v \text{ tehostus}}{q_v \text{ mitattu}} \right)^2 = \left(\frac{80 \text{ l/s}}{59 \text{ l/s}} \right)^2 \approx 1,748$$

Suurimman paineen poistoilmaventtiilin paine-ero kerrotaan kertoimella, jolloin saadaan tulokseksi tehostusilmavirralla tavoiteltava tehostuksen paine-ero:

$$\Delta P_{tehostus} = \Delta P_{kerroin} \times \Delta P_{mitattu} = 1,748 \times 36 \text{ Pa} \approx 63 \text{ Pa}$$

Saatu tulos 63 Pa on suurimman paineen venttiilin tavoitepaine-ero, joka vastaa kaikkien poistoilmaventtiilien ilmavirtaa 78 l/s.

Laskutoimituksen voi tarkistaa seuraavasti:

$$q_v \text{ tehostus} = \sqrt{\frac{\Delta P_{tehostus}}{\Delta P_{mitattu}}} \times q_v \text{ mitattu} = \sqrt{\frac{63 \text{ Pa}}{36 \text{ Pa}}} \times 59 \text{ l/s} = 1,323 \times 59 \text{ l/s} \approx 78 \text{ l/s}$$

Aina tehostusta ei voi asettaa tarkasti laskettuun painetasoon, joten tehostusasetus asetetaan sellaiseen tilaan, millä seurantaventtiilin paine-ero on lähimpänä tavoiteltua 63 Pa paine-eroa.

10.4.6.2 Esimerkki 2, tehostuksen laskenta ilmavirroilla

Asunnon poistoilman mitoitettu kokonaisilmavirta on 60 l/s. Poistoilman tehostusilmavirta +30 % on 60 l/s x 1,3 = 78 l/s.

Lasketaan kaikkien poistoilmaventtiilien mitatut ilmavirrat yhteen. Asunnon yhteenlaskettu mitattu ilmavirta on 59 l/s. Suurin venttiililtä mitattu paine-ero on KSO-125, 36 Pa ja 17 l/s. Suurimman paineen poistoilmaventtiilille lasketaan uusi ilmavirta, joka vastaa laskennallisesti koko asunnon tehostusilmavirtaa 78 l/s, kertomalla mitattu ilmavirta 17 l/s tehostusprosentilla 30 %:

$$q_v \text{ KSO tehostus} = q_v \text{ KSO mitattu} \times 1,3 = 17 \text{ l/s} \times 1,3 = 22,1 \text{ l/s}$$

Jos tehostusilmavirta on määritelty erikseen, kerroin voidaan laskea kaavalla:

$$q_v \text{ kerroin} = \frac{q_v \text{ tehostus}}{q_v \text{ mitattu}}$$

Aina tehostusta ei voi asettaa tarkasti laskettuun ilmavirtatasoon, joten tehostusasetus asetetaan sellaiseen tilaan, millä seurantaventtiilin ilmavirta on lähimpänä tavoiteltua 22,1 l/s.

10.4.7 Alapohjien ilmanvaihto

Rakennusten tuulettuvissa alapohjissa voi olla laajat ilmanvaihtokanavistot, joiden tasapainottaminen voi viedä aikaa. Alapohja voi olla hyvinkin laaja ja vaikeakulkuinen.

Alapohjissa tulee työskennellä pareittain turvallisuuden takia, sillä usein alapohjissa ei ole valaistusta eikä niissä yleensä mahdu kulkemaan kävelen.

10.5 Uudiskohteiden haasteita

Uudiskohteiden haasteet juontavat juurensa usein eri työvaiheiden kiireeseen ja huolimattomuuteen, joiden seurauksena tasapainotustyön yhteydessä joudutaan tekemään paljon vianhakua ja ongelmanratkaisua ja itse tasapainottamiselle jää entistä vähemmän aikaa. Myös suunnitelmissa voi olla puutteita tai virheellisiä ilmavirtamitoituksia, joten niiden läpikäynti hyvissä ajoin on kannattavaa (ks. kohta 7.2).

10.5.1 Aikataulu ja mittausolosuhteet

Uudiskohteissa mahdollinen kiire vaikuttaa joka osa-alueeseen. Suurimpia haasteita tasapainotustyön kannalta onkin usein luovutusaikataulu, joka on useimmiten lyöty lukkoon, kun kohteen suunnittelu ja rakentaminen alkaa. Jos rakennustyöt viivästyvät syystä tai toisesta, pienenee viimeisille työvaiheille varattu aikataulu, sillä rakennuksen luovutusajankohtaa harvoin siirretään. Tämän takia tasapainotustyö voidaan vaatia tehtäväksi vaiheittain tai jopa keskeneräisille järjestelmille, mikä heikentää tasapainotuksen onnistumisen edellytyksiä. Tällaisissa tilanteissa tavoite on usein saada mittauspöytäkirjat rakennuksen luovutusta varten, ja viimeisiä säätöjä saatetaan jatkaa vielä luovutuksen ja käyttöönoton jälkeen.

Vaiheittain tasapainottaessa referenssilaitteet selviävät vasta konealueen tasapainotuksen loppuvaiheessa. Huoneiden väliset läpiviennit voivat olla vielä tiivistämättä, eikä tilojen välisiä paine-eroja pääse tarkastelemaan tasapainotuksen yhteydessä. Tasapainotuksen aikana muut työntekijät avaavat ovia ja ikkunoita mikä aiheuttaa rakennuksen paine-eroihin vaihtelua ja epävakautta. Maalarit voivat suojata tai poistaa päätelaitteita tasapainotuksen aikana. Kynnykset ja siirtoilmasäleiköt voivat olla asentamatta, mikä vaikuttaa ilmavirtojen hallintaan. Jopa suunnitelmiin voi tulla muutoksia tasapainotustyön aikana.

10.5.2 Asennustyön vaikutukset mittaukseen ja tasapainotukseen

Kiire ja epäselvät työkuvat voivat vaikuttaa asennustyön laatuun, mikä heijastuu myös tasapainotustyöhön; mittaaaja joutuu varmistelemaan, että asennukset ja kytkennät on tehty oikein.

Ilmanvaihtokuvia on saatettu tulkita väärin ja kanavia on sen takia voitu asentaa ristiin. Kaikkia säätöpeltejä ei ole avattu asennusvaiheessa ja niitä on asennettu niin, että säätöosa ja mittaletkut ovat kanavan yläpuolella tai asennuspaikat ovat niin haastavia, että rakenteita joudutaan purkamaan, että säätöosiin päästään käsiksi. Kanavien muovisia pölynsuojatulppia tai kanaviston tiiveyskoetulppauksia jää toisinaan ilmanvaihtokanavistoon ja niiden paikallistaminen tasapainotustyön aikana on aikaa vievää ja poistaminen voi olla työlästä.

Korkealle tai vaikeisiin paikkoihin asennetut päätelaitteet hidastavat myös tasapainottamista. Esimerkiksi portaikkoihin, hissikuiluihin, toimivien muuntajien päälle tai muihin hankaliin paikkoihin ei tavanomaisilla tikkailla voi nousta. Lisäksi päätelaitteiden suojamuoveja on voinut jäädä alakaton listojen väliin, näin ollen niiden poistaminen voi olla toisinaan yllättävän hidasta. Suojamuovien poistaminen kuuluu usein ilmavirtojen mittaus- ja tasapainotustyöhön. Myös säätöosia on saattanut irrota tasaustalukoiden sisällä.

Ennen tasapainotuksen aloitusta on suositeltavaa tarkastella asennusratkaisuihin liittyviä tekijöitä etukäteen, jotta niiden vaikutuksia tasapainottamiseen voidaan ennakoida ja tarvittaessa korjata puutteita ennen mittaukseen ja tasapainottamiseen ryhtymistä.

10.5.3 Automaatio ja kytkennät

Automaatiikan toimintakokeita voidaan tehdä muiden palvelualueen IV-koneille tasapainotustyön aikana, jolloin rakennuksen paine-erot muuttuvat ja voivat vaikuttaa tasapainotettavalle alueelle. Puhaltimet ja huippumurit saattavat pyöriä väärään suuntaan ja turvakytkimiä voi olla nolla-asennolla, kun toimintakokeet ovat kesken tai tekemättä.

Sähköisiä palopeltejä ei välttämättä ole vielä kytketty, minkä takia palopellit pitää avata käsin. Kytkenän yhteydessä ne puolestaan sulkeutuvat, joten tasapainotuksen aikana täytyy jatkuvasti tietää, mitä mitattavalla alueella tapahtuu. Automaatio-ohjelmia tehdessä palopeltejä saatetaan ohjailta mittausten aikana, mikä haittaa työtä.

Ilmanvaihtokoneiden taajuusmuuttajilla saattaa olla väärät parametrit tai ne ovat asettelematta. Talvikausi jätymispuolella voi pysäyttää ilmanvaihtokoneen esim. patteriverkoston alhaisen veden lämpötilan tai vesivirtasäätötöiden keskeneräisyyden takia. Automaatiourakoitsija lataa ohjelmia alakeskukseen minkä takia ilmanvaihtokoneet pysähtyvät. Uusien ohjelmien lataaminen alakeskuksiin saattaa muuttaa kammiopaineiden asetusarvoja toisen arvoiseksi.

Automaation valmiusaste ja toiminta tulee käydä läpi automaatiourakoitsijan kanssa ennen tasapainotusten aloitusta.

10.5.4 Ilmanvaihdon tasapainotustyön aloituskokous

Ennen mittaus- ja tasapainotustöiden aloitusta on suositeltavaa pitää työmaalla ilmanvaihdon tasapainotustyön aloituskokous, johon osallistuu mittaus- ja tasapainotustyön tekijän lisäksi mm. LVIA-suunnittelija, LVI-valvoja, vastaava työnjohtaja, IV-työnjohtaja sekä RAU-urakoitsija. Kokouksessa käsitellään rakennus- ja talotekniikkatöiden valmiusaste, riittävä puhtaustaso, mittausaikataulu ja mittausjärjestys, IV-järjestelmän erityispiirteet, mittaus- ja tasapainotussuunnitelma, raportointikäytännöt sekä muita mahdollisia tasapainotustyössä huomioitavia tekijöitä.

Ilmanvaihdon tasapainotustyön aloituskokouspöytäkirjasta on laadittu malli, joka on liitteenä 4.

10.6 Vanhojen rakennusten haasteita

Vanhojen rakennusten mittauksessa ja tasapainotuksessa kiire ei yleensä ole ongelmana samalla tavalla kuin uudiskohteissa, mutta vanhoissakin kohteissa riittää haasteita mm. suunnitteluratkaisuihin, vanhoihin laitteisiin, asennuksiin ja huoltoihin liittyen. Tämän osion haasteet liittyvät isolta osin ennen 90-lukua rakennettuihin kohteisiin, mutta pätevät osin myös 90-luvun ja sitä uudempiinkin kohteisiin.

Vanhojen rakennusten tasapainotustyön yhtenä tavoitteena voi olla parantaa sisäilman laatua tai jopa korjata koettuja sisäilmaongelmia. Tällöin pelkkä tasapainotus suunnitelmien mukaan ei ole riittävä toimenpide, vaan tasapainotuksen yhteydessä pitää havainnoida suunnitelmien laatua, järjestelmän toimintaa ja sen edellytyksiä palvella hyvää sisäilmastoa.

Myös rakennuksien ulkovaipan tiiviys ja vuotoilmavirran suuruus on usein eri luokkaa kuin uudiskohteissa, mikä vaikuttaa tulosten tulkintaan ja mittausten luotettavuuden arviointiin. Nämä asiat on hyvä huomioida tehdessä ilmavirtojen tasapainotusta vanhoissa rakennuksissa.

10.6.1 Mittausolosuhteet

Vanhojen rakennusten tasapainotus joudutaan usein tekemään rakennuksen käytön aikana, jolloin rakennuksessa tapahtuvat toiminnot on syytä ottaa huomioon. Kiinteistön käyttäjiä tulee ohjeistaa mm. ikkunatuuletusten ja ovien käytön suhteen tasapainotuksen aikana.

10.6.2 Suunnitelmat

Vanhoista rakennuskohteista ei aina löydy ajantasaisia ilmanvaihtopiirustuksia, sillä rakennuksiin on saatettu vuosien varrella tehdä paljon muutostöitä. Ilmavirrat on saatettu merkitä vanhoihin kuviin eri tavalla kuin nykyään. Luovutusasiakirjat ja ilmavirtojen mittauspöytäkirjat voivat olla kadonneet kokonaan, jolloin ennen tasapainotusta voidaan joutua tekemään laaja kartoitus ja luonnoskuvat, joiden pohjalta ilmavirtamitoitukset suunnitellaan uudestaan.

On hyvä huomioida, että vanhat kohteet on rakennettu eri rakennusmääräysten aikaan, jolloin vaatimukset ja suositukset ovat poikenneet nykyisistä. Usein vanhoihin rakennuksiin on suunniteltu ainakin 10 % enemmän poistoilmaa tuloilmaan nähden, mikä johtaa helposti sisäilman laadun kannalta liian alipaineiseen rakennukseen. Rakenteiden ja ilmanvaihtokanaviston tiiviyksiin ei myöskään kiinnitetty tarpeeksi huomiota.

Vanhojen rakennusten ilmanvaihtopiirustukset on suositeltavaa arvioida ajantasaisuuden, säädettävyyden ja ilmavirtamitoitusten osalta ennen ilmavirtojen tasapainottamisen aloittamista.

10.6.3 IV-koneet

Vanhoissa ilmanvaihtokoneissa on usein puutteita mm. ilmanoton kosteudenhallinnan, suodatuksen, toimilaitteiden ja puhaltimien suhteen. Tasapainotustyössäkin joudutaan arvioimaan tekniikan soveltuvuutta sisäilman laadun ylläpitämiseen.

Aina vanhojen IV-koneiden uusiminen ei ole kannattavin vaihtoehto, sillä hyvään konerunkoon voidaan rakentaa tekniikka tarvittavilta osin uudestaan, mikä on joissain tapauksissa jopa ainoa järkevä vaihtoehto esim. tilan ahtauden takia.

10.6.3.1 Ilmanotto

Vanhat rakentamismääräykset sallivat melko kovia ilmanottonopeuksia, mikä voi johtaa suodattimien tukkeutumiseen ja kastumiseen erityisesti lämmityskaudella, ja pahimmissa tapauksissa jopa kosteusvaurioihin, jos viemäröinti tai rakenneliittymien tiivistyksiset ovat puutteellisia. Puutteellinen ilmanottojärjestelmä kannattaa uusida, jos se kohteen elinkaaren kannalta on järkevää.

Ilmanottokanavissa tai kammioissa voi olla myös rakenneaineisia osia, jolloin sisään otettavan ilman laatu voi olla jo valmiiksi heikko. Pahimmissa tapauksissa kammiossa ei ole lattiaa vaan hiekkapohja.

10.6.3.2 Suodatus

Vanhojen IV-koneiden suodattimien kiinnityskehykset ovat usein epätiivitä, jolloin kanavisto ja laitteet voivat likaantua nopeasti. Suodatuksen puutteet voivat heikentää sisäilman laatua oleellisesti ja puutteista tulee raportoida mittaus- ja tasapainotustyön tilaajalle.

Yleinen käytäntö on myös ollut, että tuloilmasuodattimet ovat pitkillä pusseilla varustettuja pussisuodattimia, ja poistoilmasuodattimet ovat lyhyitä pussisuodattimia tai karkeasuodatusmattoa. Usein suodattimien huoltoväli on 6...12 kk. Erityisesti jos puhaltimet ovat 2-nopeuksisia kiinteillä pyörimisnopeuksilla, niin tässä ajassa poistosuodatin ehtii tukkeutua ja tulosuodatin ei, jolloin rakennus ylipaineistuu ja

rakennuksen sisällekin muodostuu isoja paine-eroja. Eräessä tällaisessa tapauksessa poistosuodatin saavutti muutamassa kuukaudessa noin 1600 Pa paine-eron ja oli täysin tukossa.

Vanhojenkin ilmanvaihtokoneiden suodatusosia ja kiinnityskehyskiä voidaan uusia ja sillä voi olla huomattavia vaikutuksia ilmanvaihdon toiminnan vakauteen, sisäilman laatuun ja rakennuksen paine-eroihin, kun suodatin ei enää pääse tukkeutumaan vaihtovälin aikana.

10.6.3.3 Lämmöntalteenotto

Vanhoissa lämmöntalteenotto-osissa voi tyypillisesti olla pyörivien kiekkojen osalta mm. ohivuotoja, lamellivikoja, laakerivikoja, moottorin kulmavaihteen öljyvuotoja ja pyörimisvahtivikoja. Paine-erot tulo- ja poistoilmapuolien välillä ovat usein väärin, eli poistoilmapuoli on ylipaineinen tuloilmapuolelle. Poistoilman suodatustaso on yleensä tuloa heikompi, jolloin poistopuolelta pääsee siirtymään epäpuhtauksia tuloilmaan.

Ristivirtakennojen ohituskanavistoissa voi olla erilaiset painehäviöt kennoon nähden, jolloin tulo- tai poistoilmavirta voi muuttua kesä- ja talviasetusten välillä. Tämä vaikuttaa huomattavasti tasapainotustyön toteutukseen ja järjestelmän toimintaan. Ohitus voi olla tehty joko tulo- tai poistoilmaan.

10.6.3.4 Puhaltimet

Vanhat puhaltimet ovat usein kiilahihnakäyttöisiä ja kaksinopeuksisia. Joissain tapauksissa osateholla-kin saattoi olla oma puhallin. Hihnakäyttöön liittyviä puutteita voi olla mm. hihnojen luistaminen ja hihnojen ja hihnapyörien kuluminen. Puutteet pienentävät ilmavirtoja. Pienemmät puhaltimet saattavat myös pyöriä heikosti viallisten kondensaattoreiden takia.

Puhaltimien kunto ja toiminta tulee tarkastaa ennen tasapainotukseen ryhtymistä.

10.6.4 Kanavistot

Vanhemmissa kohteissa on hyvä huomioida kanavakoot, sillä pyöreiden kanavien koot voivat poiketa nykyisistä. Ennen käytössä oli myös soikiokanavia. Ontelolaattojen onteloita on käytetty ilmanvaihtokanavina ja muitakin erilaisia rakenneainekanavia on olemassa. Rakenneainekanaavissa on usein vuotoa ja niitä ei yleensä saa kunnolla puhdistettua. Jos ontelolaattojen onteloiden päätyjä ei ole tukittu, voi vuoto olla merkittävää ja kanaviin voi kertyä vettä kondenssiiongelmiensa takia.

Myös kaksikanavajärjestelmiä voi tulla vastaan, jossa tuloilmaa tuodaan huoneeseen kahta eri tuloilma-kanavaa käyttäen niin, että toisessa kanavassa puhalletaan lämmintä ja toisessa puhalletaan kylmää ilmaa. Ilmat sekoitettiin tarpeen mukaan omassa sekoitusosassa. Järjestelmän poistoilma toteutettiin tarpeen mukaan valaisimien kautta poistaen lämpöä. Lämmittäessä poistoilma imettiin ikkunan välistä.

Rakennusten alakatot on saatettu rakentaa niin, että kanavistoihin ja kanavalaitteisiin ei pääse kunnolla käsiksi, joten tasapainotuksen kunnollinen toteuttaminen voi vaatia luukkujen lisäämistä tekniikkakoteloihin.

10.6.5 Vanhat laitteet ja ratkaisut

Vanhoissa kohteissa voi tulla vastaan erilaisia päätelaitteita ja ratkaisuja, joita ei nykyään ole käytössä ja jotka voivat aiheuttaa järjestelmän toimintaan, huollettavuuteen tai säädettävyyteen haasteita.

Vanhojen päätelaitteiden mittaustarkkuus ei kaikissa tapauksissa ole luotettava, ja narusäätöisten laitteiden asento voi väsyä tai muuttua ajan kuluessa esim. paineiskujen ja tärinän vaikutuksesta.

Laitteiden säätöosat ovat voineet jumiutua tai venttiilien ilmavirtoja on saatettu säätää itsetehdyllä kuristimilla. Kehysten tiivisteet ovat usein kuluneet ja ne vuotavat. Vanhojen laitteiden tunnistaminen ja K-arvojen etsiminen voi olla työlästä. Päätelaitteina voi olla pelkkiä säleköitä, joille ei ole määritelty lainkaan K-arvoja ja niiden säätöosat voivat olla tukkeutuneet liasta. Vanhoissa päätelaitteissa ja äänenvaimentimissa on usein käytetty vaimennusmateriaalina mineraalivillaa, joka voi aiheuttaa ärsytysoireita rakennuksen käyttäjille, erityisesti jos pinnoite on kärsinyt. Ilmavirtoja on myös joskus ollut tapana kuristaa palopelleillä tai kanavan listojen väliin asennetuilla pellillä tai muilla ratkaisuilla, esim. pahvilla tai reikätiilillä.

Tuloilmaventtiilien eteen kanavan sisälle on voitu asentaa laminaaritasaaajia tasaamaan ilmanvirtausta. Niitä ei ole aina merkitty kuviin ja niitä on käytetty myös, kun on haluttu pienentää tuloilmanmäärää. Laminaaritasaaajat tukkeutuvat liasta helposti (kuva 68).



Kuva 68. Likaantunut laminaaritasaaaja tuloilmahajottajan takana [Hannes Hannula]

Huippumurien piippujen sisältä voi löytyä erilaisia kuristimia tai toinen alipainepelti voi olla jopa lukittu kiinni, kun on ollut tarve kuristaa ilmavirtaa.

Vanhoja ilmamääräsäätimiä on erilaisia ja usein niiden toiminnassa ja ohjauksissa on puutteita.

Vanhat päätelaitteet on usein suositeltavaa uusia nykyaikaisiin, jos se kiinteistön kunnon ja elinkaaren kannalta on kannattavaa. Ilmanjaon uusimisella saadaan usein huomattavaa parannusta aikaan koetussa sisäympäristön laadussa, jos ilmavirtamitoitukset ja IV-koneet ovat muuten kunnossa. Laitteiden uusiminen parantaa myös ilmavirtojen säädettävyyttä, mittaustarkkuuutta ja ilmanjaon tehokkuutta.

10.7 Erilaisten kohdetyyppien haasteita

10.7.1 Pientalot

Ilmavirtojen tasapainotus tulisi aloittaa vasta, kun rakennuksen ulkovaippa on kauttaaltaan valmis, rakennus on tiiveysmitattu, kaikki väliovet ja kynnykset on asennettu. Myös kaikkien rakennuksen paineroihin vaikuttavien järjestelmien ilmanvaihdon lisäksi tulee olla käyttövalmiita, kuten liesituulettimet ja keskuspolynimurijärjestelmät.

Pientalojen suunnitelmissa ja toteutuksissa voi olla monenlaisia rakenteellisia ja teknisiä ratkaisuja, mitkä voivat vaikuttaa ilmanvaihdon säädettävyyteen. Esimerkiksi väliovet on saatettu toteuttaa tiivisteillä ja kynnyksillä, eikä siirtoilmareittejä ole huomioitu. Haasteita aiheuttaa erillisen liesikuvun tai liesituulettimen korvausilman tarve, jota ei aina huomioida ilmanvaihtosuunnitelmassa. Erilaisilla takkakyt-kintoiminoilla voidaan jälkikäteen kompensoida liesikuvun aiheuttamaa alipainetta, mutta liesituulettimelle se ei yleensä riitä.

Ilmanvaihtoasennukset eivät ole luvanvaraisia, joten ne on voinut toteuttaa epäpätevä henkilö, jonka asennusratkaisut voivat aiheuttaa haasteita tasapainotustyöhön. Päätelaitteet voi olla hankittu halpata-varakaupoista, ja niille ei välttämättä löydy K-arvoja. Usein ulkosäleikön hyttysverkko on jäänyt poistamatta, mikä kannattaa aina tarkastaa pientalojen tasapainotustyön yhteydessä.

Ilmanvaihtokoneita on monenlaisia ja niihin on saatavilla erilaisia ohjauksia, joihin tulee tasapainotustyön yhteydessä perehtyä ja tarvittaessa ottaa ne käyttöön. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton sulatustoiminnan jaksot on hyvä huomioida, sillä sen toiminta saattaa aiheuttaa huomattavan alipaineen tiiviiseen rakennukseen. Ilmanvaihtokoneen valmistajat ovat toteuttaneet sulatustoiminnot eri tavoilla, ja osa koneista voi jopa pysäyttää tuloilmapuhaltimen kokonaan sulatustoiminnassa.

Myös erilaiset kierrätysilmatoiminnot esimerkiksi ylälämmönkierrätys, jolloin poistoilmaventtiili on sijoitettu takan yläpuolelle, on hyvä huomioida. Rakennuksen paine-erot tulee tarkistaa kaikilla käytössä olevilla tehoilla. Takoilla varustetut rakennukset saattavat tuoda omat haasteensa rakennuksen paine-eromittauksiin takkoja käytettäessä, riippuen takan korvausilman toteutuksesta. Koneellisella poistoilmalla varustetuissa pientaloissa on hyvä huomioida, miten korvausilman saanti on huomioitu suunnitelmissa. Tällaisissa kohteissa takan käyttö voi olla ongelmallista, sillä korvausilman puutteet voivat saada savu- piipun toimimaan korvausilmareittinä.

Ks. myös kohta 2.2.2.1

10.7.2 Asuinkerrostalot

Asuinkerrostalojen tasapainottamiseen vaikuttaa oleellisesti se, onko kohde toteutettu keskitetyllä vai asuntokohtaisella ilmanvaihdolla.

Keskitetyssä ilmanvaihdossa on tärkeää varmistaa savunrajoitusten toteutuminen laitevalmistajien ohjeiden mukaisesti (esim. KSO avaus maks. +5). Järjestelmässä voi olla useita savunrajoittimiksi kelpavia laitteita. Tasapainotustyön kannalta on tärkeää varmistaa, mikä niistä valitaan varsinaiseksi savunrajoittimeksi. Myös keskitetty liesikupujen tehostus vaatii paljon tarkastelua, että sen toiminta on riittävä ja vakaa eri käyttötilanteissa.

Uusissa rakennuksissa liesikuvun tai keittiötilan ilmavirta on tehostustilanteessa vähintään -25 l/s. Suunnitelmista on tarkastettava, onko liesikupujen tehostusilmavirran korvausilman kompensointi huomioitu. Jos ei ole, niin on tarkasteltava suunnittelijan kanssa, miten se voidaan toteuttaa. Vanhemmissa kohteissa tehostustilanteen korvausilmaa on harvemmin huomioitu. Keskitetyn ilmanvaihdon kohteissa referenssiventtiilin määrittäminen tulee yleensä tehdä tehostustilanteessa.

Tehostussäätöinen liesikupu riittää tuottamaan liiallisen alipaineen tiiviiseen asuntoon. Liesikuvun tuottama poistoilman tehostus on voitu suunnitella kompensoitavaksi monella tapaa; ilmamääräsäätimien kompensointiasetuksilla, tuloilmakanavaan kytketyllä tehostuspellillä tai asuntokohtaisella ilmanvaihtokoneella.

Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa tulee selvittää mm. ulko- ja jäteilmakanavien toteutukset. Mahdolliset yhteiset ulko- tai jäteilmakanavat pitää huomioida, ettei ilmanvaihto heikkene millään koneella ja ettei tapahdu takaisinvirtauksia kanavissa. Myös lämmöntalteenoton toiminta on hyvä huomioida, erityisesti lämmityskaudella, sillä usein vanhemmissa ilmanvaihtokoneissa lämmöntalteenoton sulatustoiminto voi pienentää tuloilmaa tai pysäyttää sen kokonaan.

Kerrostaloissa haasteita voi aiheuttaa myös säätöpeltien sijainnit. Säätöpellit ovat usein jouduttu sijoittamaan ahtaisiin ullakkotiloihin tai umpinaisten alakattojen yläpuolelle luukkujen taakse. Tekniikalle varatut tilat ovat usein ahtaita ja säätöpeltejä ei välttämättä pääse kunnolla näkemään ja säätämään. Joidenkin valmistajien säätöpellit tulevat työmaalle kiinniasennossa ja eikä niitä välttämättä ole asennusvaiheessa avattu. Asennustöiden yhteydessä käytettäviä kanavan suojatulppia on saattanut jäädä kanavistoon,

joiden paikallistaminen on hankalaa varsinkin, jos ne ovat suljettujen rakenteiden sisällä. Elpo-hormeja on saatettu asentaa väärin siten, että hormoneja on tulpattu vääristä kohdista. Myös hissikuilujen venttiilien ilmavirtojen säädöt ovat haasteellisia, sillä ne pitää usein säätää hissikorin katolta hissimiehen kanssa.

10.7.2.1 Terminen paine-ero kerrostaloissa

Asuinkerrostalojen tasapainotuksessa pitää huomioida termisen paine-eron vaikutus etenkin, jos porrashuoneet ovat avonaisia alhaalta ylös asti. Paine-eroihin vaikuttaa sisäpuolisten rakenteiden ja ulkovaipan tiiviys. On tärkeää varmistaa, että kaikki ikkunoiden lukitusosalvat ovat kiinni, lattiakaivoissa on vettä, asunnon läpiviennit on tiivistetty, ovet ja postiluukut kunnolla suljettuna. Nämä varmistukset tehdään, että asunnon ilmatiiveys ei muuttuisi tasapainotuksen jälkeen ja muuttaisi asunnon alipaineisuutta huomattavan suureksi, kun korvausilman saanti pienenee.

10.7.2.2 Esimerkki säätöjärjestyksestä asuntokohtaisen ilmanvaihdon kohteissa

Asunnon tasapainottamisen oikea järjestys on tärkeää. Aluksi tulisi mitata asunnon kokonaisilmavirrat neutraaliin paine-eroon siten, että tulo- ja poistoilmavirtojen säädöt eivät vaikuta toistensa ilmavirtoihin. Tämä onnistuu niin, että asunnon väliovet ovat auki ja porrashuoneen tai terassin ulko-ovi on auki tai ikkuna raollaan lasitettuun parvekkeeseen. Muiden asuntojen ulko-ovien tulee olla suljettuina, sillä jos portaikossa avataan ovia, lisää se termisen paine-eron vaikutusta ja vääristää vertailupainetta. Parvekkeen oven tai ikkunan avaaminen voi myös vaikuttaa vertailupaineeseen, jos ulkona tuulee tai asunnon ja ulkoilman lämpötilaero on suuri (lämmityskaudella).

Kun asunnon ilmavirrat on saatu tasapainotettua suunniteltuihin arvoihin, suljetaan asunnon ovet ja ikkunat. Tämän jälkeen mitataan päätelaitteiden ilmavirrat uudelleen ja varmistetaan, etteivät ne muuttuneet. Mikäli asunnon ilmatiiveys on poikkeuksellisen hyvä, ilmavirrat muuttuvat jonkin verran. Tämän jälkeen mitataan asunnon alipaineisuus. Liesikuvun tehostuksen säätö tehdään lopuksi.

10.7.3 Opetus-, ja toimistorakennukset

Opetus- ja toimistorakennuksissa tavanomaisten tilojen ilmanvaihto koskevat kaikki yleiset haasteet, mitä uudiskohteiden ja vanhojen rakennusten ilmanvaihdon haasteista esitettiin kohdissa 10.5 ja 10.6.

Näissä rakennustyypeissä on usein suurtalouskeittiön ilmanvaihtojärjestelmät ja opetusrakennuksissa lisäksi erilaisia teknisen työn, sekä kemian ja fysiikan luokkien ilmanvaihtojärjestelmiä. Näissä järjestelmissä on usein monia erilaisia käyttötiloja ja ohjauksia, joihin tulee tutustua huolellisesti jo suunnitelmista ja toimintakaavioista. Minkään käyttötilan ei tulisi aiheuttaa suuria muutoksia rakennuksen paine-eroihin, mutta usein kaikkien kohdepoistojen tai ohjaustilanteiden ilmavirtatasapainoa ei ole huomioitu riittävästi. Tasapainotustyön yhteydessä tulisi tarkistaa kaikkien käyttötilojen toiminta ja vaikutus rakennuksen paine-eroihin ja kirjata mahdolliset puutteet tai huomiot mittauspöytäkirjaan tai kirjalliseen raporttiin.

10.7.4 Teollisuusilmanvaihto

Teollisuusilmanvaihto on toteutettu yksinkertaisimmillaan yleisilmanvaihdolla ja muutamilla erillisillä kohdepoistoilla, mutta teollisuusilmanvaihdon monimutkaisuudessa ei käytännössä ole ylärajaa. Prosessi-ilmanvaihto ja erilaiset olosuhdevaatimukset tai tilakohtaiset paine-ero-ohjaukset voivat tehdä tasapainotamisesta erittäin monimutkaista ja työlästä, ja vaatia eri alojen ammattilaisten osallistumista. Näissä tilanteissa tasapainotustyö vaatii laajaa ymmärrystä järjestelmien toiminnasta ja perehtymistä itse prosessiin.

Lähteet

- Alanko, A. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon käytännön haasteita kenttätöiden näkökulmasta. Teoksessa Ahola, M. ja Merikari, A. (toim.) 2020. Sisäilmastoseminaari 2020, s. 207-212. SIY Raportti 38/2020. SIY Sisäilmatieto Oy., Vaasa.
- Cao, G., Awbi, H., Yao, R., Fan, Y., Sirén, K., Kosonen, R. ja Zhang, J. 2013. A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings. Teoksessa Chen, Q. (toim.). 2014. Building and Environment 73, s. 171-186. Elsevier.
- Chen, R., Hu, B., Liu, Y., Xu, J., Yang, G., Xu, D. ja Chen C. 2016. Beyond PM2.5: The role of ultrafine particles on adverse health effects of air pollution. Teoksessa Litchfield, D., Nilsson, L., Richardson, D. ja Suzuki, T. 2016. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 1860(12), s. 2844–2855. Elsevier.
- Eskelinen, S. 2021. Ilmanvaihtokonehuoneen painesuhteiden hallinta. Opinnäytetyö. Metropolian ammattikorkeakoulu.
- Eskola, L. 2023. Ilmanvaihdon säädön yleisohje rakennusten painesuhteiden hallintaan. Tiiviit rakennukset. A-Insinöörit. Ladattavissa verkko-osoitteesta <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/ilmanvaihdon-saadon-yleisohje-rakennusten-paine-erojen-hallintaan-tiiviit-rakennukset>.
- Eskola, L ja Björkroth, M. 2019. Rakennusten paine-erojen mittausohje -projektin loppuraportti. A-Insinöörit Civil Oy. Ladattavissa verkko-osoitteesta <https://talotekniikkainfo.fi/esimerkit/rakennusten-paine-erojen-mittausohje-loppuraportti>
- Fromme, H., 2012. Particles in the Indoor Environment. Teoksessa Kumar, S. ja Kumar, R. (toim.) 2012. Air Quality - Monitoring and Modeling, s. 117-144. InTech.
- Hengitysliitto ry:n verkkosivut <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/ilmanvaihto/>. Luettu 15.12.2023
- Hänninen, O. ja Asikainen, A. 2013a. Ilmanvaihto ja terveys, Suuria mahdollisuuksia vai kinkkisiä kompromisseja. Ympäristö- ja Terveys-lehti 5:2013, 44
- Hänninen, O. ja Asikainen A. 2013b. Efficient reduction of indoor exposures: Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. Terveystieteiden tutkimuskeskus (THL). Report 2/2013. Helsinki 2013.
- Koskinen, E. ja Holmberg, R. 2014. Ilman Suodatus. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2, s. 195-249. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Kosonen, R. ja Sandberg, E. 2014. Tilailmastointi ja ilmanjaon mitoitus. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2, s. 251-288. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Kuntien sisäilmaverkosto. 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto
- Kuurola, P. 2016. Ilmanvaihtolaitteiston aiheuttama paine-ero rakennuksen ulkovaipan yli. Tampereen teknillinen yliopisto, Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.
- Motiva verkkosivut. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto. Luettu 16.6.2023.
- Mäkinen, S. 2021. Tiiviin pientalon ilmanvaihdon toiminta. Helsinki. Opinnäytetyö. Metropolian ammattikorkeakoulu. Theseus.

- Pitkäranta, M. (toim.) 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Ympäristöopas 2016. Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2016
- Rakennustietosäätiö ja LVI-Keskusliitto. 1999. LVI-laitosten mittaukset. LVI 014-10290. Rakennustieto Oy.
- Rakennustietosäätiö 2015. RT STM-21645. Suomen säädöskokoelma 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.
- Rakennustietosäätiö 2018. RT 07-11297. Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.
- Salonen, R.O. ja Pennanen, A. 2006. Pienhiukkasten vaikutus terveyteen. Tekes.
- Sandberg, E. ja Koskela, H. 2014. Ilmavirran mitoitusperiaatteet. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1, s. 97-111. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Sandberg, E., Koskela, H. ja Mustakallio, P. 201b. Huonetilan sisäilmaston mallintaminen. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2, s. 383-418. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Sandberg, E., Ripatti, H. 2014. Kanaviston mitoitus, säätö ja mittaus. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2, s. 87-122. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Sisäilmasto ja ilmanvaihto-opas. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Päivitetty 10.6.2020. Luettu 10.12.2022.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2020. HTP-arvot 2020, Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2020:24, Helsinki.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaia 2003:1, Helsinki.
- Suomen säädöskokoelma 1009/2017. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>. Päivitetty 27.12.2017. Luettu 7.12.2022.
- Swegon Oy. 2007 Järjestelmätekniikka, vesikiertoiset ilmastointijärjestelmät.
- Säteri, J. ja Koskela, H. 2014. Sisäilmasto. Teoksessa Sandberg, E. (toim.) 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1, s. 37-79. Talotekniikka-julkaisut Oy.
- Taltega, 2023. SFP-opas – Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. Talotekninen teollisuus ja kauppa ry.
- Taipale, T. 2020. Savukokeet – keino havaita ilmanjaon ongelmia. Opinnäytetyö. Jatkuvan oppimisen keskus, Itä-Suomen yliopisto, Kuopio. 2020
- Ympäristö ja Terveys-lehti 2009. Asumisterveysopas, 3. painos. Ympäristö ja Terveyslehti 2009.

Kuivan ilman tiheysarvoja eri lämpötiloissa, 101,3 kPa paineessa.

Ilman lämpötila, °C	Ilman tiheys, kg/m ³
-20	1,396
-18	1,385
-16	1,374
-14	1,363
-12	1,353
-10	1,342
-8	1,332
-6	1,322
-4	1,312
-2	1,303
0	1,293
2	1,284
4	1,274
6	1,265
8	1,256
10	1,247
12	1,238
14	1,23
16	1,221
18	1,213
20	1,205
22	1,196
24	1,188
26	1,18
28	1,172
30	1,165
32	1,157
34	1,149
36	1,142
38	1,135
40	1,127

ILMAVIRTAMUUTOKSET

Kun tavoiteltu ilmavirta poikkeaa perusilmavirrasta poikkeama-% verran, muuttuvat puhaltimen paine, tehontarve ja moottorin tai puhaltimen urapyörän halkaisijat seuraavan taulukon mukaisesti:

Ilmavirran poikkeama tavoitteesta	Paineen muutoskerroin	Tehontarpeen muutoskerroin	Moottorin urapyörän kerroin	Puhaltimen urapyörän kerroin
100 %	4,00	8,00	2,00	0,50
95 %	3,80	7,41	1,95	0,51
90 %	3,61	6,86	1,90	0,53
85 %	3,42	6,33	1,85	0,54
80 %	3,24	5,83	1,80	0,56
75 %	3,06	5,36	1,75	0,57
70 %	2,89	4,91	1,70	0,59
65 %	2,72	4,49	1,65	0,61
60 %	2,56	4,10	1,60	0,62
55 %	2,40	3,72	1,55	0,65
50 %	2,25	3,38	1,50	0,67
45 %	2,10	3,05	1,45	0,69
40 %	1,96	2,74	1,40	0,71
35 %	1,82	2,46	1,35	0,74
30 %	1,69	2,20	1,30	0,77
25 %	1,56	1,95	1,25	0,80
20 %	1,44	1,73	1,20	0,83
15 %	1,32	1,52	1,15	0,87
10 %	1,21	1,33	1,10	0,91
5 %	1,10	1,16	1,05	0,95
0 %	1,00	1,00	1,00	1,00
-5 %	0,90	0,86	0,95	1,05
-10 %	0,81	0,73	0,90	1,11
-15 %	0,72	0,61	0,85	1,18
-20 %	0,64	0,51	0,80	1,25
-25 %	0,56	0,42	0,75	1,33
-30 %	0,49	0,34	0,70	1,43
-35 %	0,42	0,27	0,65	1,54
-40 %	0,36	0,22	0,60	1,67
-45 %	0,30	0,17	0,55	1,82
-50 %	0,25	0,13	0,50	2,00
-55 %	0,20	0,09	0,45	2,22
-60 %	0,16	0,06	0,40	2,50
-65 %	0,12	0,04	0,35	2,86
-70 %	0,09	0,03	0,30	3,33
-75 %	0,06	0,02	0,25	4,00
-80 %	0,04	0,01	0,20	5,00
-85 %	0,02	0,00	0,15	6,67
-90 %	0,01	0,00	0,10	10,00

ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Rakennus: Koy-toimistotalo
 Osoite: Toimistote 1
 Laitekilven tiedot: TK/PK1
 Vaikutusalue: Koko talo

Pvm: 12.6.2022-13.6.2022
 Urakoitsija: Tmi Sami Saataja
 Mittaaja: Sami Saataja
 Mittari: SvenskaIR 3000, PHM-V1
 Kalib. pvm: 1.4.2022

Työmenetelmät:
 Suhteellinen paine-eromittaus
 Kokonaisilmavirtojen mittaus pilot-
 mittaussella kanavasta
 21 °C

Koje nro	Hz	%	kanava Pa	suod. Pa	mitattu ohjearvo
TK1	42	71	105	186,0	195
PK1	44	75	127	-191,1	-198

Havaitut puutteet ja tehdyt korjaukset:

Tila 2 ja tila 5 ilmavirtoja ei pysyvä mittaamaan suunniteltuihin aivoihin, koska kanavistosta puuttii säätöpeili. Suunniteltujen ilmavirtojen saavuttamiseksi tarvitsen asentaa 2kpl säätöpeilejä kanavistoon.

Vaipan yli paine-ero:

Rakennuksen vaipan yli paine-ero mitattu kahdesta kohdasta. Pääovi -2 Pa ja takaovi -1,2 Pa

Savunrajoliimit:

Ei savunrajoliimusta havaittu.

Ei savunrajoliimusta havaittu.

(lisää tähän soluja jos tila loppuu kesken)

TULOILMA										POISTOILMA								
HUONE / TILA	Koje nro.	k- arvo	rako (mm)	paine/ nopeus (Pa / rms)	mitattu /ls (dm³/s)	suunniteltu /ls (dm³/s)	koko (mm)	ventiili - malli	- ero %	Koje nro.	k- arvo	rako (mm)	paine/ nopeus (Pa / rms)	mitattu /ls (dm³/s)	suunniteltu /ls (dm³/s)	koko (mm)	ventiili - malli	- ero %
Tila 1	TK1	2,20	4	34,2	12,9	13	125	KTS	-1,0	PK1	2,22	4	38	-13,7	-13	100	KSO	5,3
Tila 2	TK1	4,20	14	20	18,8	25	100	STQA	-24,9	PK1	2,70	0	51	-19,3	-25	125	KSO	-22,9
Tila 3	TK1	6,60	s5	46	44,8	45	160	OKE	-0,5	PK1	5,52	12	70	-46,2	-45	200	KSO	2,6
Tila 4	TK1	3,60	12	32	20,4	20	125	STQA	1,8	PK1	2,50	7	34	-14,6	-15	100	KSO	-2,8
	TK1	3,30	11	14	12,3	12	125	STQA	2,9	PK1	1,16	-8	80	-10,4	-10	100	KSO	3,8
										PK1	1,08	-9	-9,8	-10	100	KSO	-2,2	
Tila 5	TK1	2,70	6	19	11,8	15	100	KTS	-21,5	PK1	1,90	0	43	-12,5	-15	100	KSO	-16,9
Tila 6	TK1	3,57	8	50	25,2	25	100	KTS	0,9	PK1	3,06	3	67	-25,0	-25	125	KSO	0,2
	TK1	4,00	9	38	24,7	25	100	KTS	-1,4	PK1	3,18	4	60	-24,6	-25	125	KSO	-1,5
Tila 7	TK1	4,00	9	14,5	15,2	15	100	KTS	1,5	PK1	2,80	10	29	-15,1	-15	100	KSO	0,5
Yhteensä					186,0	180			3,3					-176,0	-183			-3,8

Esimerkkipohja 2

Mittauspöytäkirjapohja sopii hyvin erilaisiin kohteisiin. Mittauspöytäkirjassa olevat tiedot ja merkintätavat mahdollistavat tila-, huone- ja konekohtaisen ilmavirtojen tasapainon tarkastelun. Isoissa kohteissa, joissa sivuja tulee useampia, mittauspöytäkirjan tulkitseminen on vaikeaa, mikäli tulo- ja poistoilmanvaihdon tilakohtaiset luvut eivät ole samalla sivulla.

Lisäksi yksittäisellä sivulla olevaan huomio kohtaan saa merkittävää kyseisen mittausalueen säädössä ilmenneitä poikkeamia tai huomioita. Yksittäisten sivujen huomioista pystytään tekemään lopullinen yhteenveto kirjallisen raportin muodossa.

Esimerkkipohja 3

ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA YHTEENVETO													
Kohde	Rakennus						Mittaja				Päiväys		
	Sokojan sairaala						Seppo Säätäjä				22.4.2022 -	31.5.2022	
	Koneet						Mittari				Ulkolämpötila		
	K-Lohko						Pressovac pvh-v1 kalibroitu 2.2.2022					10	
TULO					POISTO					Erillispoistot			
Kone	Suunniteltu	Mitattu	Kanavapaine	Säätöviesti	Taajuus	Suunniteltu	Mitattu	Kanavapaine	Säätöviesti	Taajuus	Suunniteltu	Mitattu	
	m ³ /s	m ³ /s	Pa	%	Hz	m ³ /s	m ³ /s	Pa	%	Hz	m ³ /s	m ³ /s	
KO-TK01	4734	4408	235	56	40,4	4271	3849,7	330	61	32,5	590	585	
KOO-TK02	1805	1815,5	150	55	60	1810	1819,8	180	53	59,3			
Muuta huomioitavaa:													
KO-TK01 ALUEELLA USEITA ERILLISPOISTOJA PF01, PF02, PF03 JA PF07													

ILMASTOINTIKONEITTEN PUOLI TEHO:						
Kone	TULO			POISTO		
	Puhallin	Kanavapaine	Säätöviesti	Puhallin	Kanavapaine	Säätöviesti
	Hz	Pa	%	Hz	Pa	%
KO-TK01	23	61	24	16	77	31
KOO-TK02	35	35	28	33	55	29

Esimerkkipohjan 4 kansilehti. Kansilehteen kirjataan perustiedot, yhteenveto ja huomautukset



ILMAVIRTOJEN MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Kohde:	<u>Kohde X</u>
Osoite:	<u>Kohdekatu 7, 40100 Jyväskylä</u>
Päiväys:	<u>30.11.2023</u>
Mittaja(t):	<u>Mikko Mittaaja & Sami Säätäjä</u>
Laitteisto:	<u>TSI VelociCalc 9565</u>

Rakennuksen mitattu kokonaisilmavirta:	<u>3678</u>	<u>3526</u>
Rakennuksen suunniteltu kokonaisilmavirta:	<u>3565</u>	<u>3570</u>
Poikkeama %:	<u>3,2</u>	<u>-1,2</u>

Yhteenveto ja huomautukset

Tähän tietoa mittausolosuhteista esim. rakennuksessa olivat käyttäjät paikan päällä, rakennukseen tehtiin muuttoa tai loppusiivousta ym. minkä vuoksi ulko- ja väliovien kiinnioloa ei voitu mitatausten aikana taata tms.

Tietoa myös kohteesta yleisesti jos tarve tai yhteenvetoa konekohtaisilta välilehdiltä...

Esimerkkipohjan 4 konekohtaiset tiedot. Kirjataan koneen perustiedot ja koneelta tehdyt mittaukset, sekä yhteenveto ja huomautukset


KONEKOHTAISET TIEDOT

Kohde:	Kohde X
Mittaaja:	Mikko Mittaaja
Vaikutusalue:	TIK1 / 1.krs luokat
Mittausten ajankohta:	2. -6.1.2017
Ulkoilman lämpötila, °C:	- 7 - (-)22
Tuulen nopeus, m/s:	1 - 4,5
Puhallin:	TF01
Taajuus:	45,9
Puhallinpaine:	680
Kammiopaine:	175
Suodatinpaine-ero:	65
Ilman lämpötila:	18
Mitattu kokonaisilmavirta l/s:	+3678
Suunniteltu kokonaisilmavirta l/s:	+3565
Poikkeama %:	3,2
	PFO1+PF:t
	48,3
	760
	350
	60
	20
	-3526
	-3570
	-1,2

Yhteenveto ja huomautukset

TÄHÄN KIRJATAAN SÄÄTÖIHIN VAIKUTTAVIA HAVAINTOJA. JOS ON POIKKEAVIA LASKUKAAVOJA KONEISIIN TAI ERITYISIIN PÄÄTELAITTEISIIN, NIIN NIISTÄ TIETOA MYÖS. ESIM:
 Luokkaosaa on säädetty tasapainottamalla tilojen välisiä paine-eroja. Luokat on säädetty hieman ylipainaiseksi (0,5-1 pa) käytävään nähden. Rakennus on kokonaisuutena hieman alipaineinen (noin 7pa) ulkoilmaan nähden. Koneen kokonaisilmavirrat säädettiin rakennuksen paine-eroja ja alueiden välisiä paine-eroja seuraten siten että rakennuksen paine-eroihin ei säädettyvällä koneella tapahtuisi muutoksia. Paineet LTO-kiekon yli tulopuoli 101pa, poistoilma 112pa
 Luokan 171 kolmeen poistoilaventtiiniliin vaikuttava haarakanava tulisi siirtää hieman kauemmaksi rungon pystyosalta ja säätöpeltilä vaihtaa esimerkiksi IRIS malliseen. Nykyinen sijainti ja säätöpeltilä eivät ylläpidä luokan paine-eroa luotettavasti. Pöytäkirjassa ilmoitetut "laskettu arvo" tulokset on laskettu kanavamittauksen tai säätölaitteelta mitatuista ilmamääristä vähentämällä kyseisen haarakanavan muut luotettavammin mitatut päätelaitteiden tai muiden sivuhaarojen ilmavirrat.

Esimerkkipohjan 4 päätelaitekohtaiset mittaukset.

Tila	Tuloilma							Poistoilma						Painesuhde/ lisätieto	
	Päätelaite	Koko	Pa / m/s	Asento/ K-arvo	Mitattu l/s	Suunniteltu l/s	Ero l/s	Päätelaite	Koko	Pa / m/s	Asento/ K-arvo	Mitattu l/s	Suunniteltu l/s		Ero l/s
kem.kaappi								kanava	100	3,1		-24	-20	4	PF3
								URH	125	70	5	-23			PF4
163 Siiv. Sos-tila	TCV	160	9	17,1	+51	+50	1								
								KSO	125	110	-5	-22	-20	2	1PF3
								URH	160	49	4	-36	-30	6	1PF3
167 Kotitalous	KANAVA	200	4,37		+137	+155	-18	KANAVA	200	3,56		-112	-120	-8	1PF02
	KANAVA	200	6,08		+191	+160	31	KANAVA	200	3,61		-113	-120	-7	1PF02
	TRI/S	160	15	21,9	+85	+60	25	URH	160	171	2	-41	-35	6	
								URH	160	167	-1	-34	-35	-1	
181 Huolto								URH	125	147	6	-34	-30	4	
165 Siivous								URH	200	116	9	-35	-30	5	
								URH	125	70	5	-23	-25	-2	1PF03
169 Luokka	KANAVA	200	4,93		+155	+140	15	URH	200	67	25	-57	-52	5	+2Pa
	KANAVA	200	3,83		+120	+140	-20	URH	200	67	23	-53	-52	1	
								URH	200	71	19	-47	-52	-5	
								URH	200	54	25	-51	-52	-1	
								URH	200	62	23	-51	-52	-1	
166 Aula	KANAVA	315	2,92		+159	+150	9								laskettu
192 Opetusväl.var	KANAVA	160	1,47		+46	+40	6	URH	200	77	15	-41	-40	1	

ILMANVAIHDON TASAPAINOTUSTÖIDEN ALOITUSKOKOUS

Hanke xxx
Aika X.X. XXXX
Paikka: XX

Osallistujat:

hlö	vastaava työnjohtaja
hlö	IV-työnjohtaja
hlö	LVI-suunnittelija
hlö	IV-mittaaja, tasapainotuksen suorittava
hlö	LVI-valvoja
hlö	RAU urakoitsija
hlö	puhtauden toteamisen vastuuhenkilö?
hlö	x
hlö	x

1. Töiden valmius ja tarvittavat toimenpiteet

Rakennustyöt;

Mittausolosuhteet, ulkovaipan lopullinen valmius, tiiviys tulee olla saavutettu, sisävalmistelutyöt, alakatot (luukut, pääsy säätölaitteille) seinät, väliovet, palokatkot, oviraot.

Ei saa olla IV-mittausta häiritsevää toimintaa.

IV-asennukset;

itselleluovutus, ulospuhallus ja ulkoilmalaitteet, konehuoneet, kanavisto säätölaitteineen, anturit, päätelaitteet

Rakennusautomaatio;

itselle luovutus, ohjausjärjestelmä, anturit.

2. Puhtauden toteaminen

Tarkastustapa (visuaalinen, geeliteippi, yms.)

Kirjaaminen, muistio/pöytäkirja

Tilat (2018 alkaen P1)

Kone ja kanavistot (2018 alkaen P1)

Tasapainotuksen jälkeen, tilat ja kanavisto, tilojen puhtaana säilymisen varmistaminen, koneiden sammutus, venttiileiden pussittaminen tarvittaessa

3. Mittausaikataulu, mittausjärjestys ja tilojen käyttöönotto

Vaiheittain vai koko rakennus kerralla.

4. Ilmanvaihdon järjestelmäkuvaus (järjestelmän läpikäynti)

Ilmanvaihtojärjestelmien toimintatavat koneet palvelualueittain
 Vakiopainejärjestelmät (vakiopaineen mittaus kanavasta)
 Vakioilmavirtajärjestelmät
 Osa/täysteho koneet (2-nopeus koneet)
 Muuttuvilmavirtajärjestelmät (IMS)
 Kohdepoistojen kompensointi (suunnittelija ottaa kantaa toimintaan)
 Ilmanvaihdon toimintalämpötilat

5. Mittaus- ja tasapainotussuunnitelma

Mittaajan tutustuminen mittauskohteeseen paikan päällä ennen tasapainotusta.
 (Mittaajan huomiot järjestelmän säädettävyyteen ennen kanavistojen asennustöitä).

Laadittujen suunnitelmien hyödyntäminen tasapainotuksessa. (esisäättö-, staattisen paineen arvot, IV-koneiden tehojen huomiointi. esim. magicadista saatavat arvot)
 Ilmanvaihtokoneen tehon määrittäminen mittauksen aloitusta varten. (normaali käyttötilanne)
 Käydään läpi millä teholla IV-kone toimii eri käyttötilanteissa
 Eri käyttötilanteiden ja toimintapisteiden läpikäynti
 Käyttäjän kytkimet tehostus/lisäaika- (keittiöt, neuvotteluhuoneet) toiminnan varmistaminen
 Vetokaapit ja kohdepoistot (kohdepoistojen kompensointi)
 Suunnitellut yli/ali/tasapaineet
 Päätelaitteiden minimipaine

Mittausmenetelmät (päätelaitteet, säätöpelti, kanavapaine)
 Mistä mitataan, mittauspisteiden riittävyys
 Ongelmatilanteet, keneen yhteys häiriötilanteessa.
 Yhteyshenkilöt, sähkö, aut, iv, rak.
 Paine-eron mittaus; vaipan yli, eri tilojen välillä, mittauspisteiden määrä, kirjaustapa mittauspöytäkirjaan

LTO-kiekkon paine-erojen huomioiminen
 LTO-kennon ohituksen paineen muutokset
 IV-konehuoneen paine-eron huomioiminen painesääteisessä järjestelmässä
 IV-suodattimien likaisuuden huomioiminen
 IV-päätelaitteiden suuntaus ja heittopituuden todentaminen muuttuvilla ilmavirroilla

6. Mittaus ja tasapainotustyössä huomioitavaa

xx

7. Mittaus- ja tasapainotustyön dokumentointi

Pöytäkirjamallin läpikäynti, pk. liitteeksi
ulkoilmaolosuhteet; lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen suunta
säätolaitteiden arvot, kokonaisilmavirrat, tehostus/poissa-ilmavirrat
palon- ja savunrajoittamisen esittäminen (kuristimet)
paine-ero vaipan yli

Pöytäkirjaraportti, (mittaaja/valvoja)
Huomioiden kirjaaminen ja toimittaminen tiedoksi
selventää olosuhteita ja tehtyjä toimenpiteitä
Yhteenveto

Äänitasomittaukset;
Osapuolet, laajuus, kuka mittaa ja dokumentoi, huonevaimennuksen arviointi lvi-suunnittelija/akustikko

SFP-luku;
Osapuolet, kuka mittaa, laskee ja dokumentointi, laskelman toimittaminen ja hyväksyntä, sähköasentaja, suunnittelija, valvoja laskenta, mittaus ja dokumentointi (sfp-opas viittaus)

Mittalaitteet;
kalibrointitodistukset (ilmavirta/ääni)

8. Tilaajan mittaustarkastukset

Milloin valvoja tulee mukaan
Tarkastuksen laajuus ilmavirrat/ äänet
Mittauspöytäkirjan läpikäynti; toimittaminen valvojalle ennen tarkistusmittausta.
Tarkastusmittauksen dokumentointi

9. Muut asiat

Pöytäkirjan jakelu

Purkupalaveri
Asiakirjojen toimittaminen viranomaiselle, TATE01, tarkastusasiakirjan yhteenveto, ryhtyvän tarvittavat huomautukset
Käyttö- ja huolto-ohjeeseen toimitettavat asiakirjat