

Juuso Mäki-Torkko

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tarkastuslomakkeen kehittäminen

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 5.5.2014		
Tekijä(t) Juuso Mäki-Torkko	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka / LVI		
Nimeke Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tarkastuslomakkeen kehittäminen			
Tiivistelmä <p>Työn tavoitteena oli kehittää lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tarkastuslomake sekä säätöohjeet. Lomakkeen avulla selvitetään järjestelmien toiminta rakennuksissa. Tarkastuslomake tulee sisältämään visuaalisen tarkastelun lisäksi myös ilma- ja vesivirtamittauksia. Lomakkeen kehittämisen lähtökohtina olivat yksinkertaisuus ja helppo käytettävyys. Järjestelmien säätöohjeet haluttiin, jotta kokemattomampikin säätäjä pääsisi järjestelmien tasapainotuksessa kohtuulliseen lopputulokseen.</p> <p>Työhön liittyvää aineistoa kerättiin kirjallisuudesta ja Internet -julkaisuista. Teoreettinen aineisto koostuu suurimmaksi osaksi järjestelmien mittaus- ja säätötyöhön liittyvistä asioista. Myös sisäilmastoon ja järjestelmien toimintaan liittyviä seikkoja käsiteltiin yleisellä tasolla. Lomakkeen kehittämisen tukemiseksi suoritettiin myös mittauksia käytössä olevaan kohteeseen. Kohteena olleessa Vaasan kaupungin kirjastossa mitattiin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tilavuusvirtoja. Mittauksiin sovellettiin kehitettyä tarkastuspisteiden valintamenetelmää, jolloin saatiin jo alustavaa kuvaa menetelmän toimivuudesta. Tarkastusmittauksien tuloksia käytettiin hyödyksi lomakkeen kehittämisessä ja samalla rakennusta ylläpitävä taho sai tietoa järjestelmien toimivuudesta.</p> <p>Kehitetty lomake koostuu visuaalisesta tarkastusosasta, tarkastusmittausosasta sekä näihin liittyvistä ohjeista. Lomakkeen osioiden arviointiin kehitettiin pisteytysmenetelmä, jota voidaan käyttää uusien järjestelmien tarkastuksissa. Säätöohjeet laadittiin yleisesti käytössä olevien säätömenetelmien pohjalta ja niistä pyrittiin tekemään helposti ymmärrettävät. Työn tuloksena laaditun tarkastuslomakkeen avulla työn tilaaja voi selvittää järjestelmien toiminnan melko nopeasti ja pienehköillä resursseilla. Uusien järjestelmien tarkastuksessa käytettävällä pisteytyksellä voidaan tehdä tarkastuksen hyväksymis- tai hylkäyspäätös. Näin pystytään varmistamaan järjestelmien oikea toiminta jo vastaanottovaiheessa.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Ilmanvaihto, lämmitys, tarkastus, säätö, mittaus, tasapainotus			
Sivumäärä 41 + 14	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli Suomi</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> </table>	Kieli Suomi	URN
Kieli Suomi	URN		
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja Granlund Pohjanmaa Oy		

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis
Author(s) Juuso Mäki-Torkko		Degree programme and option Building services / HVAC
Name of the bachelor's thesis Developing a check form for heating and ventilation systems		
Abstract <p>The purpose of this degree work was to develop check form for heating and ventilation systems. The other purpose was to make balancing instructions for those systems. Main goal of this work was to make better indoor comfort for building users and also improve energy efficiency regarding balancing and adjusting.</p> <p>This thesis consists of theory from different sources and also flow measurements from heating and ventilation systems of building. The building which was under the inspection was city library of Vaasa. Results from inspection were useful for developing the check form and at the same time building owner got information from heating and ventilation systems operability.</p> <p>The result of this thesis are check form and balancing instructions. The form includes basic element, measuring element and those instructions. The check form is quite simple, easy to use and it's useful to ensure right working of systems. Balancing instructions are based on general methods and they are made for contractors who haven't got much experience in the system balancing and adjusting. the check form is helpful, because surprisingly big part of building systems work wrongly or weakly.</p>		
Subject headings, (keywords) Ventilation, hot water heating, inspection, adjusting, measuring, balancing		
Pages 41 + 14	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Martti Veuro		Bachelor's thesis assigned by Granlund Pohjanmaa Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	SISÄILMASTO	2
2.1	Vaikutus viihtyvyyteen	2
2.2	Sisäilmastoluokitus 2008	3
3	ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT	5
3.1	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	6
3.2	Ilmamääräsäätöinen ilmanvaihto	7
4	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	8
4.1	Säätöjärjestelmät	9
4.1.1	Vyöhykekohtainen paine-erosäätö	9
4.1.2	Keskitetty paine-erosäätö	9
4.1.3	Linjakohtainen paine-erosäätö	10
4.2	Säätöventtiilit	10
5	MITTAUS JA SÄÄTÖ	11
5.1	Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus	11
5.1.1	Mittaus ilmanvaihtojärjestelmästä	11
5.1.2	Tasapainotuksen edellytykset	15
5.1.3	Laskennallinen tasapainotus	16
5.1.4	Suhteellinen tasapainotus	17
5.2	Lämmitysjärjestelmän tasapainotus	18
5.2.1	Mittaus lämmitysjärjestelmästä	20
5.2.2	Tasapainotuksen edellytykset	20
5.2.3	Tasapainotus	21
6	MITTAUSLAITTEET JA MENETELMÄT	23
6.1	Monitoimimittari	23
6.2	Vesivirtamittari	24
6.3	Menetelmät	25
6.4	Menetelmien virhearviointi	28
7	TARKASTETTAVA KOHDE	30
7.1	Tarkastus	31
7.2	Tulokset	32

7.3	Johtopäätökset.....	34
8	TARKASTUSLOMAKE	35
8.1	Järjestelmien tarkastus	35
8.2	Vesivirtojen tarkastus	37
8.3	Ilmavirtojen tarkastus	38
8.4	Tarkastusten arviointi	38
9	POHDINTA	40
	LÄHTEET	41

LIITTEET

- 1 Tarkastuslomake
- 2 Säättöohjeet
- 3 Tarkastusmittauspöytäkirjat

1 JOHDANTO

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien oikea säätö ja tasapainotus ovat niiden suunnitelmien mukaisen toiminnan kannalta ehdoton edellytys. Oikein rakennetut järjestelmät vaativat oikein toimiakseen asianmukaisen ja riittävän tarkan tasapainotuksen. Valitettavan usein kuitenkin viimeisenä tehtävä säätö ja tasapainotus laiminlyödään aikataulullisista tai muista syistä. Järjestelmien epätasapaino ja väärä säätö aiheuttavat tilojen epätasaisten olosuhteiden välityksellä tyytymättömyyttä käyttäjissä. Ongelmaan halutaan muutos, jotta järjestelmät saadaan toimimaan halutulla tavalla ja samalla varmistetaan käyttäjille hyvät sisäilmaolosuhteet.

Tilanteen korjaamiseksi kehitetään tarkastuslomake, jonka avulla voidaan selvittää mahdollisimman yksinkertaisesti lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien toimivuus rakennuksissa. Lomaketta voidaan käyttää niin uudiskohteiden kuin käytössä olevien järjestelmien tarkastelussa. Lomakkeeseen kerätään tietoa kohteeseen tehtävien tarkastelujen ja mittausten avulla. Tarkastuslomakkeeseen kerättyjen tietojen pohjalta tehdään arvio järjestelmien tilasta. Uudiskohteissa lomakkeen avulla tehdään säätötyön hyväksymis- tai hylkäyspäätös. Käytössä olevien rakennusten järjestelmiä tarkastellaan tapauskohtaisesti. Tarkastusten avulla pyritään varmistamaan järjestelmien tarkoituksen mukainen toiminta ja samalla parantamaan rakennuksen sisäilmaolosuhteita ja energiatehokkuutta säädön osalta.

Lomake kehitetään teorian tietojen, omien kokemusten ja käytössä olevan kohteen tarkastuksen pohjalta. Aiheen ympäriltä koottu teorian tieto käsittää mm. sisäilmastoon sekä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvää asiaa. Olennaisena osana työtä ovat myös mittaus ja säätötyöhön liittyvät seikat. Lomakkeen kehittämisen tukemiseksi tehtiin myös fyysisiä tarkastusmittauksia käytössä olevaan kohteeseen. Kohde järjestyi työn tilaajan Granlund Pohjanmaa Oy:n sekä Vaasan talotoimen yhteistyönä. Tarkastettavana kohteena oli Vaasan kaupungin kirjasto. Kirjaston tarkastukseen kuului järjestelmien visuaalisen tarkastelun lisäksi tilavuusvirtamittauksia lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmistä.

2 SISÄILMASTO

Sisäilmastolla tarkoitetaan sisätilojen eri tekijöiden joukkoa. Tähän joukkoon kuuluvat mm. lämpöolosuhteet, ilman laatu, kosteus, säteilyolosuhteet, valaistus ja melu. Hyvä ilman laatu edellyttää ilman riittävän happipitoisuuden lisäksi epäpuhtauksien minimoimista ja ilman hajuttomuutta. Lämpö- ja säteilyolosuhteet ovat erityisesti keskeisessä asemassa viihtyvyyden kannalta. Epämiellyttävät äänet koetaan meluna, joten myös äänitekniikka on merkittävä osa esimerkiksi talotekniikkasuunnittelua. Rakennuksen talotekniikkaa suunniteltaessa ja toteutettaessa on siis otettava paljon asioita huomioon, jotta voidaan tuottaa tilan käyttäjälle viihtyisä sisäilmasto. /1, s. 3./

2.1 Vaikutus viihtyvyyteen

Sisäilmastolla on suuri merkitys viihtyvyyteen. Viihtyvyyttä voidaan määritellä tilojen käyttäjien tyytyväisyydellä ympäristöä kohtaan. Tyytyväisyyteen vaikuttavat useat eri tekijät. Talotekniikan kannalta merkityksellisimpiä tyytyväisyystekijöitä ovat fyysiset tekijät, joihin kuuluu mm. lämpötila, kosteus, valo, ääni, sekä ilman liike ja laatu. Edellä mainituista tekijöistä tärkeimmiksi nousevat lämpötila sekä ilman laatu ja liike.

Hyvä sisälämpötila on yksilöllinen, ja siihen vaikuttavat käyttäjien tottumukset. Sisäilmastoluokituksen mukaisissa ohjelämpötiloissa ihmisen viihtyvyys on tutkitusti parhaimmillaan ja samalla myös suurin osa käyttäjistä on tyytyväisiä. Lämpöviihtyvyyttä voidaan pitää hyvänä, kun henkilö ei osaa sanoa, muuttaisiko lämpötilaa johonkin suuntaan. Hyvä ilman laatu saavutetaan usein riittävällä ilmanvaihtuvuudella ja suodatuksella. Ilman laatuun voidaan vaikuttaa tarvittaessa myös ilmaa käsittelemällä esimerkiksi jäähdyttämällä. Ilman liike tulisi olla oleskeluvyöhykkeellä riittävän alhainen, jotta välttyttäisiin vedon tunteelta. /1, s.3./

Käyttäjien kokonaisviihtyvyyteen vaikuttaa fyysikaalisten tekijöiden lisäksi fysiologiset ja sosiologiset tekijät. Jälkimmäisiin tekijöihin ei talotekniikan ja rakennustekniikan ammattilainen voi vaikuttaa, mutta usein niiden merkitys kokonaisviihtyvyydestä on suuri. /1, s. 3./

2.2 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmayhdistys ry yhteistyökumppaneineen on laatinut jo käytössä olevan ohjeen Sisäilmaluokitus 2008. Sen tarkoitus on olla rakennusprojektin osapuolten apuna aina suunnittelusta rakennusten käyttöön asti. Luokituksen tavoitteena on ohjeistaa eri tahoja, jotta lopputuloksena saavutettaisiin entistä toimivampia ja terveellisempiä rakennuksia. Sisäilmaluokitukseen on koottu eri suureiden tavoitearvoja, joiden avulla päästään haluttuun sisäilmastoluokkaan. /2./

Sisäilmaluokitus on jaettu kolmeen luokkaan: S1, S2, ja S3. Eri luokkien ominaisuuksia on kuvailtu seuraavasti:

S1-luokka:Yksilöllinen sisäilmasto.

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

S2-Luokka:Hyvä sisäilmasto.

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

S3-Luokka: Tyydyttävä sisäilmasto.

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

Sisäilmastoluokitus 2008 sisältää tavoitearvot luokittain mm. lämpötiloille ja ilmavirroille. Luokituksessa on annettu lämpötilan mittauksiin myös huonelämpötilojen sallitut poikkeamat luokittain. Taulukossa 1 on esitetty huonelämpötilojen tavoitearvot sisäilmastoluokittain. /2./

TAULUKKO 1. Huonelämpötilan tavoitearvot /2/

	S1	S2	S3
$t_u \leq 10$ [°C]	21,5	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ [°C]	21,5 + 0,3*(t_u-10)	21,5 + 0,3*(t_u-10)	21 + 0,4*(t_u-10)
$t_u > 20$ [°C]	24,5	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	± 0,5	± 1,0	± 1,0
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
- Toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	-
- Asunnot	90 %	80 %	-

Taulukon 1 tavoitelämpötilat on annettu ulkolämpötilan t_u mukaan. Lämpötilojen arvoja vertailtaessa nähdään S1- luokan olevan melko vaativa esimerkiksi lämpötilan sallitussa poikkeamassa. Järjestelmien täytyy olla oikein suunniteltu, toteutettu ja säädetty, jotta huonelämpötila saadaan pysymään yhden asteen sisällä. Myös olosuhteiden vaadittu pysyvyys on korkea luokassa S1. S3- luokka taas on vaatimattomin, eikä sille ole esimerkiksi asetettu vaadittua olosuhteiden pysyvyyttä.

Taulukossa 2 on esitetty tavoitearvoja tilojen ilmavirroille. Ilmavirrat on annettu henkilöä tai lattianeliömetriä kohti. Taulukkoon on koottu tiloja työssä tutkittavaan rakennukseen liittyen. Eri luokkia vertailtaessa nähdään etenkin henkilöä kohti annetuissa vaatimuksissa eroavaisuutta. Rakennusmääräyskokoelman D2-osaa vastaavan sisäilmastoluokan S3 ilmavirrat jäävät huomattavasti alhaisemmiksi kuin vaativimman S1-luokan ilmavirrat. Taulukkojen perusteella voidaan todeta, että oikein toimiessaan S1-sisäilmastoluokan mukaisella järjestelmällä saavutetaan erinomainen sisäilmasto.

TAULUKKO 2. Ilmavirtojen tavoitearvot /2/

Tila	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
	l/s /hlö	l/s /m ²	l/s /hlö	l/s /m ²	l/s /hlö	l/s /m ²
Toimitila, norm. tilatehok.	16	1,5	13	1,5	-	1,5
Toimitila, suuri tilatehok.	14	2,0	11	1,5	-	1,5
Neuvotteluhuone	12	4,0	9	4,0	8	4,0
Taukotila	11	7,0	8	5,0	-	5,0
Luentosali	11	10,5	8	7,5	6	6,0
Aula	13	2,0	10	2,0	-	2,0
Ruokala ja kahvila	11	6...8	8	5...6	6	5,0
Näyttelytilat	-	4	-	4	-	4
Kirjasto	-	3	-	2	8	2
Varasto, arkisto (poisto)	-	0,5	-	0,5	-	0,5
Pukuhuone	-	5	-	5	-	5
Siivoustila	-	4	-	4	-	4

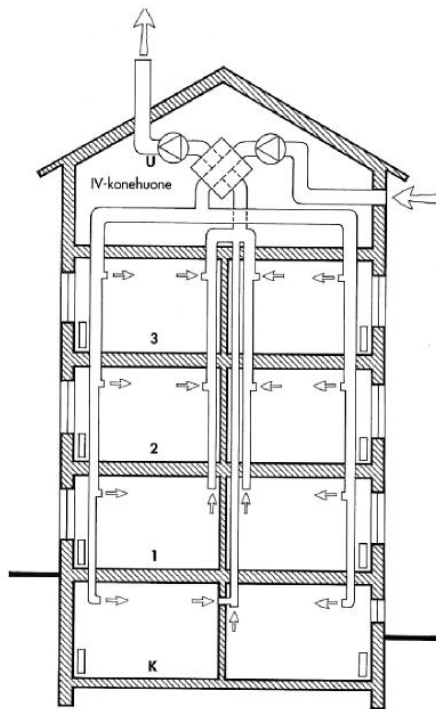
3 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT

Jokainen työskentelyyn, asumiseen tai oleskeluun tarkoitettu rakennus on varustettu ilmanvaihdolla. Ilmanvaihtojärjestelmällä poistetaan rakennuksesta likaista sisäilmaa ja tilalle tuodaan puhdasta ilmaa. Oikein käytettynä toimivan järjestelmän avulla sää-
vutetaan tasainen ja viihtyisä sisäilman laatu. Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelua ja käyttöä koskien ovat voimassa määräykset Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2. Työssä tarkasteltavan kohteen vuoksi järjestelmistä käsitellään ainoastaan koneellista ilmanvaihtoa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on myös yleisin käytössä oleva järjestelmä. Kiristyneiden energiavaatimusten ja vaativimpien sisäilmastoluokitusten vuoksi järjestelmästä on myös kehittyneempi versio, ilmamääräsäätöinen ilmanvaihtojärjestelmä. Järjestelmiä sekä niiden toiminta on kuvattu seuraavissa kappaleissa.

3.1 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on uudis- ja saneerausrakentamisessa käytetyin järjestelmä. Asuinrakentamisessa tiukentuneiden energiavaatimusten vuoksi se on oikeastaan ainut vaihtoehto toteuttaa vaatimusten mukainen ilmanvaihto uudisrakennukseen. Järjestelmässä ilmavirrat tuodaan ja poistetaan tiloista hallitusti ja ilman laatua on mahdollista vaikuttaa esimerkiksi jäähdyttämällä ja kostuttamalla. Ilmanvaihtuvuutta voidaan tarvittaessa tehostaa. Järjestelmä on varustettu lämmön talteenotolla. Talteenoton avulla poistoilman lämpöenergiaa siirretään tuloilmaan, jolloin säästetään huomattavasti energiaa.

Ilmanjako ja päätelaitteet valitaan tilan käytön ja vaadittujen ilmamäärien mukaan. Yleisiä ilmanjakotapoja ovat sekoittava ja syrjäyttävä. Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma tuodaan kattoon tai seinän yläosaan sijoitettujen päätelaitteiden kautta oleskeluvyöhykkeelle, jossa se sekoittuu huoneilmaan. Syrjäyttävä ilmanjakotapa perustuu yleensä lattialle sijoitettaviin päätelaitteisiin, joiden kautta tilaan tuodaan alilämpöinen tuloilma. Sekoittava ilmanjakotapa sopii useimpiin tiloihin, kuten toimistoihin ja liikerakennuksiin. Syrjäyttävä ilmanjako taas vaatii oikein toimiakseen esimerkiksi suuren ihmisjoukon tai sähkölaitteiden tuomaa lämpökuormaa, jolloin ilma saadaan kerrostumaan tilaan. Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän hyvän hallittavuuden ansiosta oikein suunniteltu ja rakennettu kanavisto on helppo tasapainottaa. Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaistettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä sekoittavalla ilmanjakotavalla. /3; 4, s.139, 159./



KUVA 1. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto /3/

3.2 Ilmamääräsäätöinen ilmanvaihto

Ilmamääräsäätöinen ilmanvaihtojärjestelmä on yleistynyt etenkin uudis- ja saneeraus-rakentamisen vaativimmissa kohteissa. Esimerkiksi toimistotilojen viihtyvyyteen panostetaan parantamalla sisäilmaolosuhteita. Viihtyvyyden parantaminen näkyy todennäköisesti myös työtehokkuuden kasvuna. Järjestelmä sopii tiloihin, joissa tarvitaan suuria ilmamääriä ja tilojen henkilökuormituksen vaihtelu on suuri. Tällaisia tiloja ovat esimerkiksi luokkahuoneet sekä kokous- ja neuvottelutilat. Etuna on myös vyöhykekohtainen säätö, jolloin jokaiselle vyöhykkeelle voidaan säätää erilaiset olosuhteet. Vyöhykekohtainen säätö sopii hyvin mm. nykyaikaisiin toimistotiloihin.

Järjestelmän toiminta perustuu ilmanvaihdon tarpeenmukaisuuteen, jolloin vältetään turhaa ilmanvaihtoa ja kohdistetaan ilmanvaihto sitä tarvitseviin tiloihin. Samalla jokaisella vyöhykkeellä on mahdollisuus säätää erilaiset sisäilmaolosuhteet. Tarpeenmukaisen ohjauksen ansiosta järjestelmällä saavutetaan hyvät sisäilmasto-olosuhteet ja samalla saadaan käyttäjätyytyväisyys korkeammaksi.

Tilojen ollessa tyhjinä järjestelmä ohjaa niihin asetetun minimi-ilmamäärän. Tilojen ollessa käytössä ilmamäärät kasvavat tilan kuormituksen mukaisesti asetettuihin arvoihin. Ilmamääriä säädetään joko paineesta riippuvilla tai riippumattomilla mootto-

roiduilla virtaussäätimillä, jotka asennetaan järjestelmän vyöhykkeille. Kanavointi ei eroa merkittävästi koneellisesta tulo- ja poistoilmanvaihdosta.

Ilmamäärän ohjaukseen on useita käytössä olevia tapoja. Ohjauksessa yleisesti käytettävät anturit mittaavat tilan huonelämpötilaa tai hiilidioksidipitoisuutta. Myös läsnäoloperusteista ohjausta käytetään joko yksinään tai rinnan toisen ohjauksen yhteydessä. Valvontajärjestelmän kautta aikaohjattu ilmanvaihto soveltuu tiloihin, joiden henkilökuormitus on ennalta tiedossa. Järjestelmä on erittäin energiatehokas, koska ilmanvaihdon optimointi säästää energiaa puhaltimien lisäksi tuloilman jäähdytyksestä ja lämmityksestä. /4, s.59 -65./

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

Lähes jokainen asumis-, työskentely- tai oleskelukäyttöön tarkoitettu rakennus on varustettu lämmitysjärjestelmällä. Pohjoiset olosuhteet vaativat tilojen lämmittämistä talviaikaan. Erilaisia lämmitysmuotoja on tarjolla useita. Lämmitysmuodoista perinteisimpiä ovat kaukolämpö sekä erilaiset palamisprosessiin perustuvat lämmitysjärjestelmät. Perinteisten lämmitysmuotojen rinnalle ovat nousseet ilma- ja maalämpöpumput, joiden suosio on ollut pitkään kasvussa. Kiristyneet energiavaatimukset ovat vähentäneet suoran sähkölämmityksen käyttöä uudisrakennuksissa.

Yleisimpiä lämmönjakotapoja ovat nestekiertoiset järjestelmät. Niissä lämmitysenergian siirron väliaineena toimii vesi, jonka avulla lämpö siirretään lämmönlähteestä lämmönluovuttimille. Lämmönluovuttimina toimivat esimerkiksi radiaattorit, konvektorit tai lattialämmityspotket. Nestekiertoisissa ilmanvaihdon lämmityspiireissä lämmönluovuttimina toimivat IV-koneissa olevat lamellipatterit, joiden kautta lämpö siirretään tuloilmaan. Oikein suunniteltu ja toteutettu järjestelmä täytyy myös säätää oikein, jotta järjestelmästä saadaan kaikki hyöty irti ja järjestelmä sekä sen eri osat toimisivat suunnitellulla tavalla. Oikea säätö on myös välttämätön, mikäli halutaan saavuttaa tavoitteiden mukaiset olosuhteet rakennuksessa. Säätötyössä järjestelmän virtaamat asetetaan vastaamaan vaadittuja arvoja. Varsinainen säätötyö suoritetaan mitaamalla virtaamia ja säätämällä tarvittaessa linjasäätöventtiilien esisäätöarvoja. Säätö- ja tasapainotustyön kannalta on oleellista tietää erilaisten säätöjärjestelmien toimintaperiaate.

4.1 Säätöjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmän säätöön on käytössä useita menetelmiä. Etenkin virtaaman ja paineen säätö ovat merkittäviä tasapainotustyön kannalta. Järjestelmien päävirtaama säädetään kiertovesipumpulla. Kiertovesipumput toimivat yleisimmin vakiovirtaamalla tai muuttuvalla virtaamalla. Muuttuvavirtaisen pumpun kierrosnopeutta säädetään taajuusmuuttajalla. Järjestelmien paine-erosäätö riippuu järjestelmän koosta ja kiertopiirien välisistä paine-eroista. Pienemmät ja yksinkertaisemmat verkostot tasapainotetaan pelkästään linjasäätöventtiilien ja esisäädettävien patteriventtiilien avulla. Laajemmissa ja monimutkaisemmissa verkostoissa paine-erot voivat kasvaa suuriksi. Etenkin muuttuvissa olosuhteissa suositellaan käytettäväksi linjasäätöventtiilien ja patteriventtiilien yhteydessä vyöhykekohtaista, keskitettyä tai linjakohtaista paine-erosäätöä. /5./

4.1.1 Vyöhykekohtainen paine-erosäätö

Järjestelmä jaetaan vyöhykkeisiin. Vyöhykkeet jaetaan käyttötarkoituksen, ilmastollisen perusteen tai lämpötilojen mukaisesti. Vyöhykkeitä säädetään omina verkostoina. Vyöhykekohtainen säätö on tarkoitettu paine-erojen karkeaan tasaamiseen jakamalla lämmitysverkosto esimerkiksi eri lämpötiloilla toimiviin patteri- ja iv-lämmitysverkostoihin. Vyöhykekohtainen säätö poistaa ainoastaan verkostojen toisilleen mahdollisesti aiheuttamat ongelmat. /5./

4.1.2 Keskitetty paine-erosäätö

Verkoston meno- ja paluuputken välistä paine-eroa mitataan ja säädetään lämmönlähteen ja pumpun läheisyydessä. Säädön edellytyksenä on putkiston pieni painehäviö, jolloin verkoston vakaus varmistetaan yhdellä säädöllä, eikä linjakohtaista paine-erosäätöä tarvita. Keskitetty paine-erosäätö toteutetaan joko paine-erosäädetyllä pumpulla tai erillisellä paine-erosäätimellä. Paine-erosäädetyn pumpun toiminta perustuu pumpun kierrosluvun muutokseen niin, että paine-ero mittauspisteiden välillä pysyy vakiona. Kierroslukua ohjataan taajuusmuuttajan avulla.

Paine-erosäädin muuttaa omaa paine-eroaan niin, ettei verkoston paine-ero nouse yli asetetun arvon. Paine-erosäätimen yhteydessä voidaan käyttää vakionopeudella pyörivää kiertovesipumppua. /5./

4.1.3 Linjakohtainen paine-erosäätö

Linjojen meno- ja paluuputkiin asennettavien automaattisen linjasäätöventtiilin tai paine-erosäätimen avulla voidaan säätää linjakohtaista paine-eroa. Linjakohtainen paine-erosäätö soveltuu erityisesti verkostoihin, joissa putkiston painehäviö on suuri. Linjan paluuputkeen asennettavalla automaattisella linjasäätöventtiilillä voidaan rajoittaa virtaamaa ylittämästä asetettua ylärajaa. Mitoitustilanteen virtaama säädetään menoputkeen asennettavalla tavallisella linjasäätöventtiilillä.

Linjan paluuputkeen asennettavalla paine-erosäätimellä pidetään linjakohtainen paine-ero vakiona verkoston paine-eron vaihdellessa. Mitoitustilanteen virtaama säädetään tässäkin tapauksessa menoputkeen asennettavalla tavallisella linjasäätöventtiilillä. Menoputkeen asennettavassa venttiilissä on oltava yhde paine-erosäätimen kapillaari-putkelle, jotta säädin toimisi. /5./

4.2 Säätöventtiilit

Lämmitysjärjestelmän lämmitystehoa säädetään yleensä muuttamalla menoveden lämpötilaa. Menoveden lämpötila säädetään vallitsevan ulkolämpötilan mukaisesti. Säätö tapahtuu 2- tai 3-tiesäätöventtiilileillä. Venttiilien kytkennät vaihtelevat käytettävästä säätöventtiilistä ja valitusta lämmönlähteestä riippuen, mutta itse venttiilin toimintaperiaate on yksinkertainen. Venttiilin karaa liikutetaan moottorilla. Moottori-toimista säätöventtiiliä ohjataan automatiikan avulla.

Säätöpiirin oikean toiminnan edellytyksenä on oikein mitoitettu säätöventtiili. Venttiili on valittava niin, että sillä voidaan vaikuttaa riittävän tarkasti säädettävään suureen. Oikein mitoitettu venttiili säätää menoveden lämpötilan tarkasti, eikä säätö huoju ts. venttiili ei jää jatkuvaan liikkeeseen säädettävän pisteen ylä- ja alapuolelle. Säätöventtiilien yhteydessä puhutaan säätöventtiilin vaikutusasteesta eli auktoriteetista. Auktoriteetilla tarkoitetaan täysin avoimen säätöventtiilin painehäviön suhdetta siihen virtauspiiriin painehäviöön, jota kyseinen venttiili säätää. Virtauspiirin painehäviöön

lasketaan mukaan myös säätöventtiilin painehäviö. Hyvään lopputulokseen päästään, kun venttiilin painehäviö on vähintään yhtä suuri, kuin säädettävän virtauspiirin painehäviö. Tällöin auktoriteetti $a_v \geq 0,5$. /6, s. 190 -192./

Verkoston toiminnan kannalta väärin mitoitettu säätöventtiili aiheuttaa ongelmia. Tällöin järjestelmää on vaikea saada toimimaan suunnitellulla tavalla. Esimerkiksi iv-lämmityspiirin menoveden lämpötilan huojunta vaikuttaa tuloilman lämpötilaan. Tuloilman lämpötilan vaihtelu taas aiheuttaa todennäköisesti ongelmia iv-koneen palvelemissa tiloissa. Väärin mitoitettua säätöventtiiliä on vaikea saada vakaaksi ja se joudutaan usein vaihtamaan, jotta säätö saadaan toimimaan halutulla tavalla.

5 MITTAUS JA SÄÄTÖ

Osiossa käydään läpi ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien mittaamiseen ja säätöön liittyviä asioita. Tarkastusmittausten kannalta mittaamisesta käsitellään ainoastaan järjestelmien virtaamamittauksia. Sekä lämmitys että ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotustyön suoritus esitellään luvun päätteeksi.

5.1 Ilmanvaihtojärjestelmän tasapainotus

Ilmavirtojen tasapainotuksen tavoitteena on asettaa tulo- ja poistoilmavirrat suunnitelmien mukaisiksi ja samalla varmistaa tavoitteiden mukainen ilmanvaihto rakennuksen käyttöaikana. Oikein säädetty sekä toimiva ilmanvaihtojärjestelmä mahdollistaa oikein käytettynä terveelliset ja viihtyisät olosuhteet. Tilavuusvirrat tulee säätää ennen uuden järjestelmän käyttöönottoa. Kanaviston tasapainotus suoritetaan päävirtaamaa säätämällä sekä päätelaitteen ja virtaussäätimen asentoa muuttamalla. Ilmavirtojen mittaukseen on käytössä useita erilaisia menetelmiä, joista muutama yleisin käsitellään seuraavissa kappaleissa. /7, s.115 -116./

5.1.1 Mittaus ilmanvaihtojärjestelmästä

Ilman tilavuusvirtaa järjestelmässä voidaan mitata useilla eri menetelmillä ja laitteilla. Tilavuusvirran vaihdelleessa muutamasta litrasta aina useisiin kuutioihin sekunnissa, yhtä yleispätevää laitetta ja menetelmää ei ole. Menetelmän ja mittalaitteen valintaan

vaikuttaa lisäksi, mitataanko tilavuusvirtaa kanavasta vai päätelaitteesta ja onko kyseessä poisto- vai tuloilman päätelaite. Käytetyt menetelmät voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: paine-eromittaukseen perustuvaan menetelmään ja virtausnopeuden mittaukseen perustuvaan menetelmään.

Paine-ero kenttämittaukset suoritetaan pääsääntöisesti sähköisellä manometrillä, josta tulos saadaan luettua nopeasti ja melko tarkasti. Mittaus tapahtuu liittämällä manometrin mittausletkut mitattavan virtaussäätimen mittausyhteisiin. Kanavistossa käytetään yleisimmin ei-standardoituja kuristusmittareita, kuten mittarengasta ja Iris-säädintä.

Mittarenkaan rakenne muodostuu rungosta ja kapeasta renkaasta. Virtaus kulkee renkaan keskeltä sekä rungon ulkokehän ja renkaan välisestä kapeasta aukosta. Paine-ero mitataan renkaan kummallekin puolelle asennetuista rei'itetyistä mittausletkuista. Laitte on vähän tilaa vievä ja se voidaan asentaa helposti kanavistoon. Kuvassa 2 on esitetty mittarengas. /8, s.232 -233./



KUVA 2. Mittarengas /9/

Mittarenkaan valmistaja on ilmoittanut jokaista kanavakokoa vastaavan laitekertoimen k . Tilavuusvirta lasketaan kaavalla 1:

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

jossa

q_v = tilavuusvirta [l/s]

k = laitekerroin

Δp = mitattu paine-ero [Pa]

Mittarenkaan etuna voidaan pitää pientä painehäviötä ja hyvää vakautta häiriölähteiden läheisyydessä. Pieni painehäviö johtuu renkaan pienestä otsapinnasta kanavan poikkipinta-alaan nähden. Mittarenkaan mittausepäätarkkuus on noin $\pm 5\%$. /8, s.233./

Iris-säädin soveltuu ilmavirtojen mittaukseen ja tasapainotukseen. Säädin on varustettu kiinteillä mittausyhteillä, joista paine-ero on helppo ja nopea mitata. Säädin toimii portaattomasti. Portaaton säätö aiheuttaa kuitenkin mittaamiseen epätarkkuutta, koska säätimessä on aina pientä väljyyttä. Väljyys taas vaikuttaa aukon asetusarvoon. Laittekerroin k riippuu nyt säätimen koon lisäksi myös asetetusta säätöasennosta. Säätöasentoja vastaavat k -arvot ovat luettavissa valmistajan dokumenteista. Tilavuusvirta lasketaan kaavan 1 mukaisesti. Iris-säätimen mittausepäätarkkuus on noin 10 – 15 % riippuen ilmavirrasta ja aukon koosta. Iris -säädin on kuvattu kuvassa 3. /8, s.234./



KUVA 3. Iris-säädin /10/

Ilmavirran mittaustapa päätelaitteista perustuu myös paine-eromittauksiin. Mittausmenetelmä vaihtelee riippuen päätelaitteen mallista. Erilaiset hajottajat ja säleiköt on liitetty usein erilliseen tasauslaatikkoon. Tasauslaatikko on varustettu erillisellä säätöosalla, johon on liitetty myös mittausyhteet. Säätöosan asentoa vastaavan k -arvon ja mitatun paine-eron avulla lasketaan tilavuusvirta kaavan 1 mukaisesti.

Kun mitataan pienemmistä tulo- ja poistoilmaventtiileistä paine-eroa, käytetään mittauslaitteeseen liitettävää mittauskoukkuja. Koukku asetetaan venttiiliin sisälle valmistajan ohjeiden mukaisesti. Toinen mittalaitteen paineyhde jätetään vapaaksi, jolloin paine-eroa mitataan venttiilin yli. Venttiilin aukioloasento luetaan venttiilitulkin avulla.

Venttiilin k-arvo selvitetään valmistajan dokumenteista aukioloasennon ja venttiilin koon perusteella. Tilavuusvirta lasketaan kaavan 1 mukaisesti.

Ilmannonpeuden mittaamiseen on käytössä useita menetelmiä. Työn kannalta oleellista on ilman nopeuden mittaaminen suoraan kanavasta. Kanavamittaukseen soveltuu hyvin mittaus pitot -putkella tai termoanemometrillä.

Pitot-staattisella putkella mittaaminen perustuu kanavassa vallitsevan kokonaispaineen ja staattisen paineen erotukseen. Pitot -putki liitetään manometrin paineyhteisiin. Putken päässä vaikuttaa kokonaispaine ja putken vaipassa olevien reikien kohdalla staattinen paine. Kokonaispaine johdetaan sisäputkea pitkin manometrin toiseen yhteeseen ja staattinen paine vaipan reikien kautta toiseen yhteeseen. Kokonais- ja staattisen paineen erotuksesta saadaan dynaaminen paine. Dynaamisen paineen peruskaavasta on johdettu kaava 2, josta ilman virtausnopeus lasketaan. /8, s.175 -179./

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (2)$$

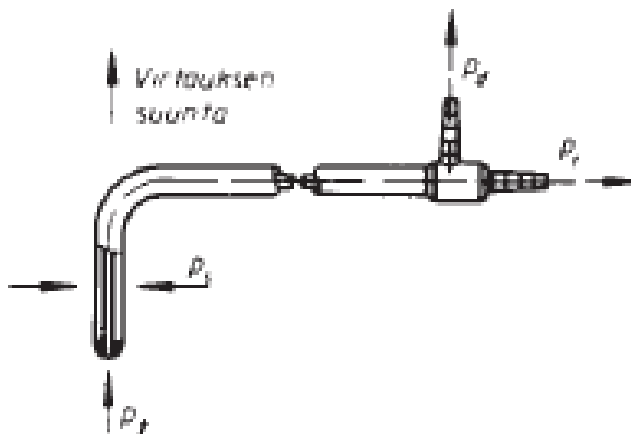
jossa

v = ilman nopeus [m/s]

Δp = mitattu dynaaminen paine [Pa]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

Pitot -putkella mitattaessa on ilman virtausnopeuden oltava vähintään 3 m/s, jotta riittävä mittaustarkkuus saavutetaan. Putken pää on osoitettava suoraan virtausta vastaan. Menetelmän etuna voidaan pitää tarkkuutta, koska laitetta ei tarvitse kalibroida. Pitot -staattinen putki on kuvattu kuvassa 4.



KUVA 4. Pitot -putki /11/

Pienemmille ilman kanavanopeuksille soveltuu mittauslaite kuumalanka-anturilla. Kuumalanka-anturin toiminta perustuu vastuslangan jäähtymiseen. Vastuksen läpi johdettu pieni sähkövirta lämmittää vastuslangan ympäristöään korkeampaan lämpötilaan. Pienehköillä lämpötiloilla vastuksen lämpöteho poistuu pääosin konvektion vaikutuksesta. Kun konvektiivinen lämmönsiirto riippuu väliaineen (ilman) virtausnopeudesta, soveltuu kyseinen menetelmä hyvin virtausnopeuden mittaamiseen. Anturin ohuen muodon ansiosta mittaaminen suoraan kanavasta on helppo ja nopea suorittaa. Menetelmää voidaan käyttää myös mitatessa ilmavirtaa poistoilmaventtiilistä. Tällöin menetelmää käytetään yhdessä anemometritorven kanssa. Kuumalankamenetelmää voidaan soveltaa myös muihin ilman virtausnopeuden mittauksiin. /8, s.186./

5.1.2 Tasapainotuksen edellytykset

Ennen tasapainotustyön aloittamista on varmistuttava, että kanavisto on oikein rakennettu ja se täyttää puhtauden sekä tiiviyn vaatimukset. Järjestelmän on oltava täysin toimintakuntoinen kaikilta osin. Mittausten aikana rakennuksen ulko- ja sisäovet sekä ikkunat on pidettävä kiinni, jotta säätö saadaan vastaamaan todellista käyttötilannetta. Mikäli rakennuksen eri osia palvelee useita ilmanvaihtokoneita, tasapainotetaan yksi kone kerrallaan. Tällöin säädettävän ilmanvaihtokoneen vaikutusalue on eristettävä muista vaikutusalueista esimerkiksi sulkemalla vyöhykkeitä erottavat ovet. Mittaukset tulisi suorittaa normaalien sääolojen vallitessa. Normaalista poikkeavia sääolosuhteita ovat paikkakunnan mitoitusulkolämpötilaa alhaisempi ulkolämpötila ja tuulen nopeus rakennuksen läheisyydessä yli 10 m/s. /7, s.124./

Erityisen tärkeää etenkin ilmavirtamittauksissa on mittauspisteiden suojaetäisyyksien huomioiminen. Suojaetäisyydet häiriölähteestä on oltava vaatimusten mukaiset, jotta varmistutaan mittauksen riittävästä tarkkuudesta. Jo ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon mittaus- ja säätölaitteiden sijoittelu. Tällöin myös kanaviston asennusvaiheessa on mahdollista sijoittaa mittaus- ja säätölaitteet vaatimusten mukaisesti. Valitettavan usein suojaetäisyydet jäävät kuitenkin liian pieniksi ja mittaamisesta tulee epätarkkaa.

Mittauspisteen suojaetäisyyksien yhteydessä puhutaan häiriölähteistä. Häiriölähteiksi luetaan kaikki ilman virtausta muuttavat tai häiritsevät poikkeamat kanavistossa, kuten käyrät, t-haarat sekä sisään- ja ulospuhallusaukot. Suojaetäisyydet lasketaan ennen ja

jälkeen mittauspisteen. Suojaetäisyys riippuu kanavan halkaisijasta ja suojaetäisyyskertoimesta. Pyöreälle kanavalle suojaetäisyydet lasketaan kaavalla 3. /11./

$$L = ND \quad (3)$$

jossa

L = Suojaetäisyys [m]

N = Suojaetäisyyskerroin

D = kanavan halkaisija [m]

Kaavalla 4 lasketaan suojaetäisyys suorakaidekanavalle:

$$L = N \frac{a+b}{2} \quad (4)$$

jossa

L = Suojaetäisyys [m]

N = Suojaetäisyyskerroin

a = kanavan korkeus [m]

b = kanavan leveys [m]

Suojaetäisyyskertoimet on määritelty erillisille mittauselimille valmistajan toimesta. Kertoimet on määritelty erilaisiin asennustilanteisiin, ja ne on annettu virtaussuunnassa ennen ja jälkeen mittauselimen. Kanavasta suoraan mitattaessa voidaan suojaetäisyyskertoimina pitää standardin SFS-5512 määrittelemiä kertoimia.

5.1.3 Laskennallinen tasapainotus

Laskennallinen säätötapa on helppo toteuttaa hyvin tehtyjen suunnitelmien pohjalta. Suunnitelmissa tulisi olla esitettynä kanaviston kokonaispaineet sekä päätelaitteiden ja virtaussäätimien paine-erot, tilavuusvirrat ja näitä vastaavat esisäätöarvot. Ilmanvaihdon laskennallinen tasapainotus suoritetaan seuraavasti:

1. Tasapainotus aloitetaan asettamalla kaikkiin päätelaitteisiin ja virtaussäätimiin lasketut esisäätöarvot.
2. Tämän jälkeen käynnistetään koneet ja asetetaan puhaltimilla mitoitusta vastaavat kokonaisilmavirrat suunnitelmien mukaisiksi.

3. Ilmavirrat mitataan kaikista päätelaitteista ja virtaussäätimistä. Mittaukset tehdään tarvittaessa suoraan kanavasta. Mittaus suoritetaan ensin runkokanavasta ja jatketaan kohti päätelaitteita.
4. Mahdollisten poikkeamien pohjalta tehdään tarvittavat korjaukset esisäätöihin ja mitataan järjestelmä uudelleen.
5. Säätötuloksista kootaan mittauspöytäkirja, johon merkitään vähintään säätö- tai päätelaitteen malli, koko, esisäätöarvo sekä mitattu paine-ero ja virtaama.
6. Säätöarvot merkitään myös säätö- ja päätelaitteisiin.

Mikäli poikkeamat ovat merkittäviä, saattaa tämä johtua suunnitelmista huomattavasti poikkeavista asennusreiteistä tai puhaltimien vääristä suoritusarvoista.

Laskennallinen tasapainotus ei ole jostain syystä yleistynyt ilmanvaihdon säädössä, vaikka kyseinen menetelmä on käytössä vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien tasapainotuksessa. Päätelaitteiden ja virtaussäätimien esisäätöarvojen määrittäminen suunnitelmiin olisi helppo toteuttaa, ja se nopeuttaisi varmasti myös säätötyötä. /7, s.118 -119./

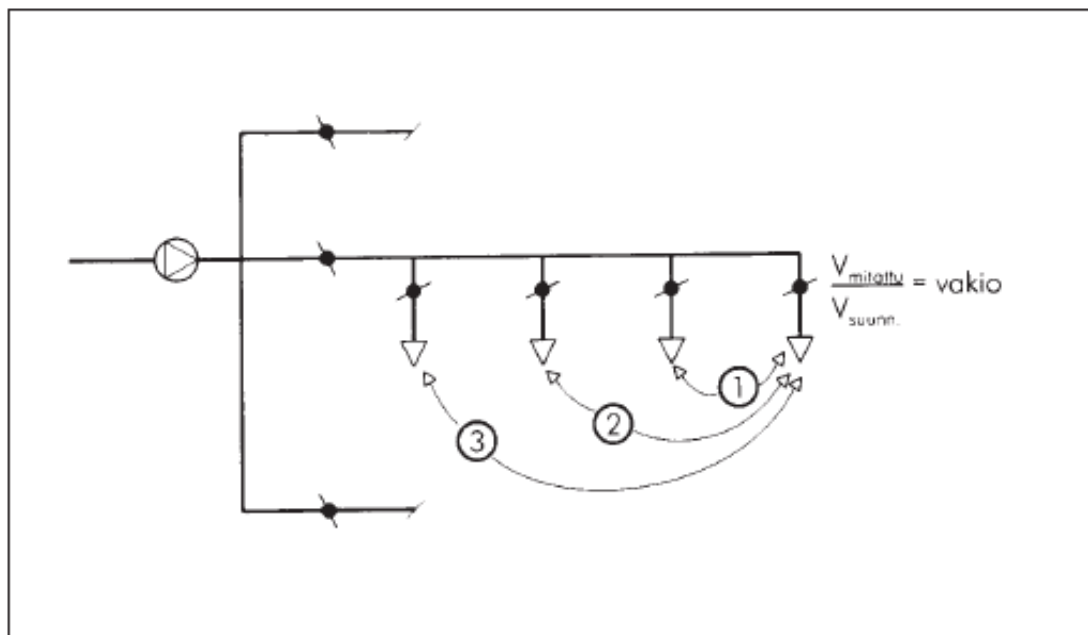
5.1.4 Suhteellinen tasapainotus

Suhteellinen säätötapa perustuu nimensä mukaisesti päte- ja säätölaitteiden suhteelliseen asetteluun. Kanavistosta valitaan virtausteknisesti vaikein päätelaite, jonka mitattua tilavuusvirtaa ja suunniteltua ilmavirtaa verrataan keskenään. Saatua suhdetta käytetään myös muiden päätelaitteiden asettelussa. Muita säädettäviä päätelaitteita verrataan ensimmäisenä säädettyyn ns. referenssipäätelaitteeseen. Haarojen virtaussäätimet asetetaan aloittaen referenssihaaran virtaussäätimestä. Muiden haarojen virtaussäätimet säädetään samaan suhteelliseen arvoon. Kun koko järjestelmän säätö- ja päätelaitteet on asetettu samoihin suhteellisiin arvoihinsa, säädetään kokonaisvirtaamat, niin että kanaviston referenssiventiileistä saadaan suunnitelmien mukaiset virtaamat.

Oikein suunnitellussa, rakennetussa sekä tasapainotetussa järjestelmässä referenssihaaran virtaussäädin jää auki -asentoon ja puhaltimet pyörivät pienimmällä mahdollisella nopeudella. Näin vältytään puhaltimen turhalta paineenkorotukselta ja samalla säästetään energiaa. Kuvassa 5 on esitetty haarakanavan säätöjärjestys suhteellisella menetelmällä. /7, s.120 -122./

Suhteellista säätötyötä suorittaessa on noudatettava seuraavia sääntöjä:

1. Tasapainotustyön alussa avataan kaikki säätö- ja päätelaitteet.
2. Suhteelliset tilavuusvirrat asetetaan ensin päätelaitteiden välillä ja sen jälkeen haarakanavien välillä.
3. Suhteelliset tilavuusvirrat asetetaan aloittaen referenssipäätelaitteesta/haarasta, edeten järjestyksessä kohti puhallinta.
4. Kerran asetettua päätelaitetta tai virtaussäätimen asentoa ei saa muuttaa työn edetessä.



KUVA 5. Suhteellinen tasapainotus /12/

5.2 Lämmitysjärjestelmän tasapainotus

Lämmitysjärjestelmän perussäädöllä on suuri vaikutus asumisviihtyvyyteen. Oikein säädetty verkosto pitää huonetilojen lämpöolosuhteet tasaisina ulkolämpötilasta riippumatta. Lämmönluovutustehoa säädetään yleisimmissä järjestelmissä muuttamalla menoveden lämpötilaa ulkolämpötilan mukaan. Tällöin virtaama pysyy jokaiselle lämmönluovuttimelle lähes vakiona. Virtaama muuttuu ainoastaan patteritermostaatin pienentäessä tai sulkiessa virtauksen. Lähtökohtana on, että termostaatti sulkee patteriventtiilin vain silloin, kun tilaan tulee lisälämpökuormaa esimerkiksi ihmisistä.

Tasapainotuksen tavoitteena on saada kaikille virtauspiireille sama kokonaispainehäviö, jolloin jokainen piiri on virtausteknisesti samanlainen. Samalla säädetään jokai-

selle virtauspiirille mitoitusta vastaava virtaama. Virtauksen säätö tapahtuu linjasäätöventtiilien ja patteriventtiilien esisäätöarvoja muuttamalla. Hyvin tehdyissä suunnitelmissa on annettu linjasäätö- ja patteriventtiilien esisäätöarvot valmiiksi. Usein kyseisillä esisäätöarvoilla päästään pienen hienosäädön jälkeen hyvään lopputulokseen.

Oikein säädetyllä järjestelmällä on luonnollisesti vaikutusta energiankulutukseen. Jo yhden asteen yllämpötila nostaa lämmityskustannuksia noin 5 %. Tavanomaisissa säätämättömissä rakennuksissa lämmitysenergiaa säästyy perussäädön jälkeen noin 10-15 % vuodessa. Etenkin suuremmissa rakennuksissa tämä tarkoittaa rahallisesti merkittävää summaa. /13./

Valitettavan usein lämmitysverkoston perussäätö jää kuitenkin tekemättä tai se tehdään puutteellisesti. Osasyynä tähän on varmasti nykyrakentamisen erittäin kireät aikataulut, jotka heikentävät muutenkin rakentamisen laatua.



KUVA 6. Säätämätön ja säädetty lämmitysverkosto /13/

Tutkimusten mukaan jopa 75 % Suomen rakennuskannasta on perussäätämättömiä rakennuksia. On arvioitu, että kyseisissä säätämättömissä järjestelmissä huonelämpötiloissa on keskimäärin 3 °C eroja. Lämpötilaerot ovat merkittäviä, ja ne aiheuttavat varmasti tyytymättömyyttä käyttäjissä. Kuvassa 6 on esitetty säätämätön ja säädetty lämmitysverkosto. Kuvasta nähdään, miten säätämättömässä rakennuksessa lämmönlähdettä lähinnä olevissa tiloissa on huomattavasti yllämpöä ja samalla kaukaisimman tilan lämpötila jää alle tavoitellun. /6, s.172 -175; 13./

5.2.1 Mittaus lämmitysjärjestelmästä

Lämmitysjärjestelmän virtaamat mitataan yleensä linjasäätöventtiileistä. Virtaamat tarkastetaan mittaamalla vesimäärämittarilla painehäviö linjasäätöventtiileistä. Painehäviön ja venttiilin säätöasennon avulla virtaama voidaan lukea venttiilivalmistajan käyrästä. Tilavuusvirta voidaan myös laskea. Tilavuusvirta lasketaan venttiilin k_v -arvon ja mitatun painehäviön avulla. K_v -arvo riippuu venttiilin koosta ja säätöasennosta. Kun k_v -arvo ja painehäviö on tiedossa, voidaan virtaama laskea kaavalla 5:

$$q_v = k_v \sqrt{\Delta p} \quad (5)$$

jossa

q_v = tilavuusvirta [m^3/h]

k_v = venttiilin k_v -arvo

Δp = mitattu paine-ero [bar]

Nykyisiin vesivirtamittareihin on mahdollista tallentaa tunnetuimpien venttiilivalmistajien käyrästä. Tällöin mittarista valitaan venttiilin malli, koko sekä säätöasento, ja mittari laskee tilavuusvirtaaman. Toiminto on nopeuttanut mittaustyötä huomattavasti.

5.2.2 Tasapainotuksen edellytykset

Tasapainotuksen ensimmäisenä edellytyksenä on luonnollisesti oikein rakennettu ja toimiva järjestelmä. Toimivassa järjestelmässä kaikki putkisto-osat on oikein asennettu ja linjoissa on käytetty suunnitelmien mukaisia putkikokoja. Mittaus- ja säätötyön suorittamisen kannalta yksi ehdoton edellytys on kunnolla ilmattu järjestelmä. Kun valmis verkosto täytetään vedellä, se on ilmattava huolellisesti. Verkoston vesivirtoja on lähes mahdoton mitata ja säätää, jos virtaavan nesteen mukana kulkee ilmaa. Verkoston ollessa toimintakunnossa voidaan aloittaa perussäätö. Lämmitysverkoston perussäätö voidaan jakaa vesivirtojen säätöön ja lämpötilojen hienosäätöön. Vesivirtojen säätö voidaan tehdä mihin vuodenaikaan tahansa, mutta tarkempi hienosäätö tehdään talvikuukausien aikana. Tällöin lämpötilan on oltava alle -5 °C , jotta säätötyö voidaan suorittaa tarpeeksi luotettavasti. Ihanteellinen säätötila lämpötilojen hienosäädölle olisi pilvinen, jolloin aurinko ei pääse tuomaan tiloihin lisälämpöä. Pakkaskaudella suoritettavassa hienosäädön yhteydessä mitataan tilojen lämpötilat. Mitattujen lämpötilojen

perusteella patteriventtiilien esisäätöjä muutetaan lämpötilojen mukaan pienemmäksi tai suuremmaksi. /6, s.172 -178./

Myös linjasäätöventtiilien sijoittelussa on huomioitava suojaetäisyydet riittävän mittaustarkkuuden varmistamiseksi. Venttiilin ollessa liian lähellä häiriölähdettä virtaus on turbulenttista ja mitattu paine-ero ei ole todellinen. Venttiilikohtaiset suojaetäisyydet on annettu valmistajan dokumenteissa, ja ne vaihtelevat riippuen venttiilimallista ja valmistajasta. Suojaetäisyydet lasketaan kaavan 3 mukaisesti. Koska suojaetäisyys riippuu putken halkaisijasta, täyttyvät linjasäätöventtiilien suojaetäisyydet helpommin kuin ilmanvaihdon virtaussäätimien.

5.2.3 Tasapainotus

Vesivirtojen säätö suoritetaan seuraavasti:

1. Pattereista irrotetaan termostaatit, mikäli ne on kiinnitetty (Peruskunnostuskohteet).
2. Täytetään ja ilmataan verkosto. Aluksi ilmataan runko, josta siirrytään kohti pattereita. Ilmaamisen aikana pumppu on oltava pysäytettynä. Ilmaamisen jälkeen pumpun olisi hyvä pyöriä muutama päivä, jotta hankalimpiinkin paikkoihin jäänyt ilma ja putkiston epäpuhtaudet saadaan liikkeelle. Ennen varsinaista säätötyötä tarkastetaan ja tarvittaessa puhdistetaan verkoston lianerotin.
3. Säädetään verkoston paine vastaamaan suunniteltua käyttöpainetta.
4. Asetetaan linjasäätö- ja patteriventtiileihin esisäätöarvot suunnitelmien mukaisesti. Verkoston mahdolliset paine-erosäätimet, paineentasausventtiilit tms. asetetaan suunnitelmien mukaisiin arvoihin.
5. Moottoroidut säätö- ja magneettiventtiilit ajetaan auki -asentoon vastaamaan mitoitustilannetta.
6. Säädetään päävirtaama vastaamaan suunniteltua virtaamaa. Säätö tehdään päälinja-säätöventtiiliä kuristamalla, mikäli käytössä on vakionopeudella toimiva pumppu. Taajuusmuuttajaohjattu pumppu säädetään pumpun kierroksia muuttamalla.

7. Mitataan linjasäätöventtiilien virtaamat ja säädetään esisäätöarvoja tarvittaessa. Mittauksia jatketaan kunnes kaikki venttiilit vastaavat suunniteltuja arvoja. Virherajana venttiilikohtaisesti voidaan pitää $\pm 10 \%$. Myöskään verkoston päävirtaama ei saa poiketa suunnitellusta arvosta yli $\pm 10 \%$. /5./

Lämpötilojen hienosäätö suoritetaan seuraavasti:

8. Säädetään verkoston menoveden lämpötilaa tarvittaessa. Lämpötilojen on annettava tasaantua säädön jälkeen kaksi vuorokautta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää $2-3 \text{ }^\circ\text{C}$ muutos menoveden lämpötilassa muuttaa $1 \text{ }^\circ\text{C}$ huonelämpötilaa. Menoveden säätökäyrää voidaan muuttaa joko suuntaissiirrolla tai käyrän jyrkkyyttä muuttamalla. Säättökäyrät voivat olla myös kaarevia.

9. Mitataan huonelämpötilat, kun oikeanlainen säätökäyrä on löydetty.

10. Mikäli huonelämpötiloissa esiintyy poikkeamaa toisiinsa nähden enemmän kuin $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, muutetaan patterien esisäätöarvoja vähän kerrallaan. Vuorokauden kuluttua muutoksesta suoritetaan huonelämpötilojen tarkastusmittaukset. Mikäli poikkeamaa esiintyy edelleen, on linjasäätöventtiilien virtaamat tarkastettava ja tarvittaessa säädettävä uudelleen.

11. Asennetaan patteritermostaatit ja käsisäätöpyörät paikoilleen ja tarvittaessa lukitaan.

12. Mittaus- ja säätötuloksista laaditaan lopulliset mittauspöytäkirjat, jotka liitetään luovutusasiakirjoihin. Pöytäkirjoihin on merkittävä säädön suorittaja, ajankohta, säätötilatunnukset, venttiilien malli ja koko, suunniteltu ja mitattu virtaama sekä esisäätöarvot.

13. Säädetyt ja mitatut linjasäätöventtiilit varustetaan venttiilikilvellä, johon merkitään venttiilin koko, mitattu virtaama, paine-ero ja esisäätöarvo. /5./

6 MITTAUSLAITTEET JA MENETELMÄT

6.1 Monitoimimittari

Monitoimimittari soveltuu ilmastointilaitosten mittauksiin. Mittareissa on monipuoliset liitännämahdollisuudet erilaisille sisäilman laadun, ilmastoinnin ja lämpötilan mitausantureille. Monipuolisuutensa vuoksi mittari soveltuu erityisen hyvin säätö- ja tarkastusmittauksiin.

Tarkastusmittauksia varten mittalaitteesta tulisi löytyä mahdollisuus vähintään paine-ero-, ilman nopeus- ja lämpötilamittauksiin. Käytännössä mittalaitteesta tulisi siis olla paineyhteet sekä kuumalanka-anemometri. Paineyhteiden avulla mitataan paine-eroa virtaussäätimistä. Ilman virtausnopeutta mitataan paineyhteisiin liitettävällä pitot -putkella. Kuumalanka -anemometrillä mitataan ilman lämpötilaa tai virtausnopeutta esimerkiksi päätelaitteelta. Monitoimimittarin etuna on monipuolisuus, nopeus ja pieni koko. Mittalaite on kalibroitava säännöllisesti, jotta anturien mittaustarkkuus pysyy riittävänä. Kuvassa 8 on esitetty monitoimimittari kuumalanka -anemometrillä varustettuna.



KUVA 8. Monitoimimittari /14/

Oikein käytettynä kalibroidulla monitoimimittarilla voidaan suorittaa mittaukset tarkasti. Taulukoon 3 on koottu monitoimimittarille tyypillisiä ominaisuuksia. Ominaisuudet vaihtelevat mallista ja valmistajasta riippuen. Anturin tarkkuus on varmistettava aina valmistajalta.

TAULUKKO 3. Monitoimimittarin ominaisuudet /14; 15/

Menetelmä	mittausalue	Tarkkuus (parhailla)
Paine-ero	-3735...3735 Pa	± 1 %, lukemasta ± 1 Pa
Kuumalanka-anemometri	0,2...200 m/s	± 2 %
Pitot -putki	3... m/s	± 1 %
Kuumalanka-anemometri	-18...+93 °C	± 0,3 °C

6.2 Vesivirtamittari

Vesivirtamittari soveltuu yleisimpiin lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien mittauksiin. Mitattavia suureita ovat mm paine-ero, tilavuusvirta, lämpötila ja teho. Nykyiset mittalaitteet ovat digitaalisia sekä monipuolisesti ohjelmoituja. Edistyneimpien mallien ohjelmilla verkostot voidaan tasapainottaa nopeasti. Mittalaitteeseen luodaan verkosto ja mitattujen virtaaminen pohjalta laite laskee venttiileille uudet esisäätoarvot. Ohjelmistoista löytyy myös vianetsintää helpottava toiminto. Kaikki mittaukset voidaan tallentaa ja koota yhteen tulostettavalle mittauspöytäkirjalle. Laitteessa on erillinen näyttö-yksikkö ja paine-ero yksikkö, jotka kommunikoivat langattomasti. Kuvassa 9 on mittauksissa käytetty vesivirtamittari. /16./



KUVA 9. Vesivirtamittari /16/

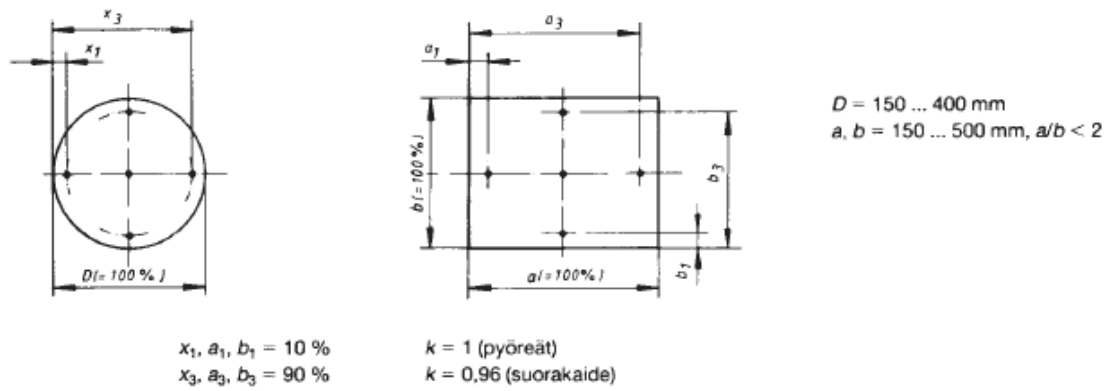
Taulukossa 4 on esitetty vesivirtamittarin virhearviointiin liittyvät oleelliset ominaisuudet. Ominaisuudet riippuvat mallista sekä valmistajasta.

TAULUKKO 4. Vesivirtamittarin ominaisuudet /16/

Mitattava suure	Mittausalue	Tarkkuus
Paine-ero	3-200 kPa (Suositus)	$\pm 0,1$ kPa tai 1 %
Lämpötila	- 20 – 120 °C	$\pm 0,2$ °C

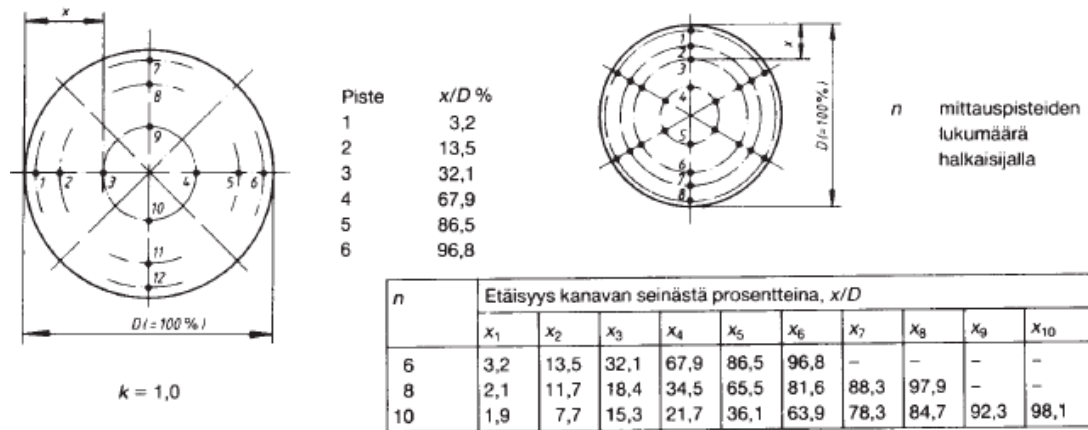
6.3 Menetelmät

Standardissa SFS-5512 on esitetty erilaisia ilmanvaihdon mittausmenetelmiä. Mittausmenetelmät yhdenmukaistavat mittauksia, jolloin ne ovat helpommin toistettavissa ja mittaustarkkuus kasvaa. Standardissa käsitellään mm. kanavamittauksia varten kehitetty monipistemenetelmä sekä erilaisia päätelaitemittauksiin kehitettyjä menetelmiä. Kuvissa 10, 11 ja 12 on esitetty monipistemenetelmä pyöreille ja suorakaidekanaville. Monipistemittaukset tehdään Pitot -putkea käyttäen. Menetelmän valintaan vaikuttaa haluttu mittaustarkkuus, suojaetäisyydet sekä kanavan koko ja muoto. /11./



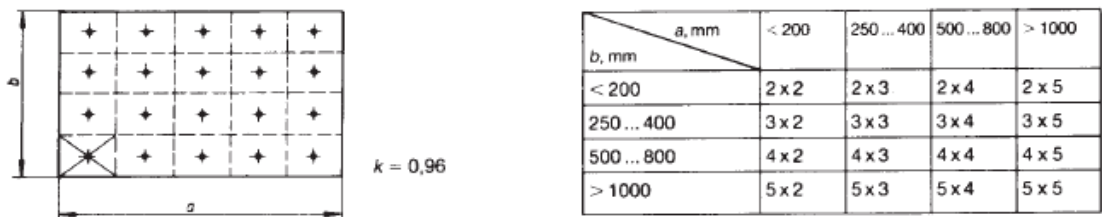
KUVA 10. Viiden pisteen menetelmä /10/

Mittauspisteet valitaan kuvan 10 mukaisesti laskemalla kanavan halkaisijasta prosenttien mukaiset osuudet. Kuvassa on annettu kanavien suurimmat sallitut koot kyseiselle menetelmälle.



KUVA 11. Log-linear-menetelmä /11/

Mittauspisteiden osuudet halkaisijasta on annettu kuvan 11 taulukossa. Log-linear-menetelmää voidaan käyttää 12, 18 tai 24 pisteen mittauksena riippuen vaaditusta mitaustarkkuudesta.

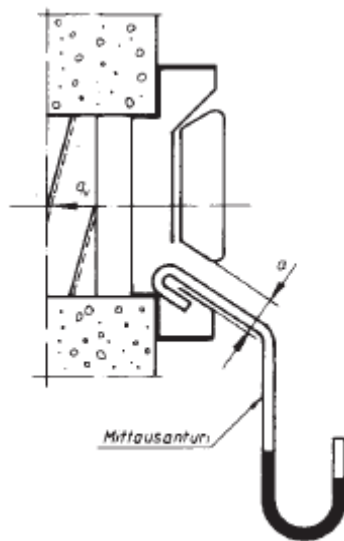


KUVA 12. Suorakaidemenetelmä /11/

Suorakaidemenetelmän mittauspisteiden lukumäärä valitaan kanavan leveyden ja korkeuden mukaan. Mittauspisteet jaetaan kanavan muodon mukaisesti symmetriseen muotoon.

Monipistemenetelmällä mitattujen pisteiden dynaamisista paineista lasketaan virtausnopeus aiemmin käsitellyllä kaavalla 2. Saaduista nopeuksista lasketaan keskiarvo, joka on kanavan keskimääräinen virtausnopeus. Laskettua keskimääräistä virtausnopeutta korjataan tarvittaessa kuvissa esiintyvällä korjauskertoimella k .

Standardissa on käsitelty myös ilmavirran mittaamista tulo- ja poistoilmaventtiileistä. Ilmavirran mittaaminen kalibroidulla mittausanturilla on nopea ja oikein käytettynä tarkka menetelmä. Kuvassa 13 on kuvattu ilmavirran mittaaminen venttiilistä ”mittauskourulla”.

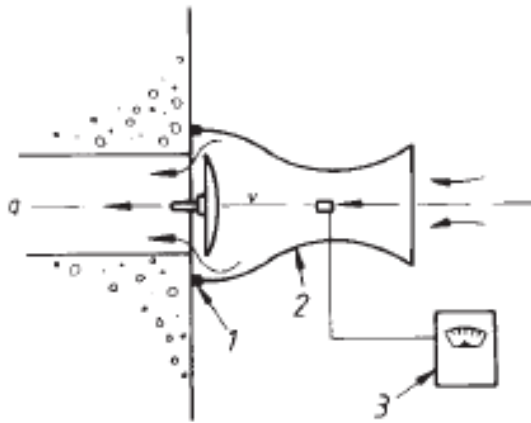


KUVA 13. Mittaus kalibroidulla anturilla /11/

Menetelmän epätarkkuus on noin 5 %, hyvissä mittausolosuhteissa ja tarkoin määritellyllä anturin paikalla. Epätarkkuus on yleensä noin 10 – 15 %.

Toinen päätelaitemittauksiin käytetty menetelmä on mittaaminen anemometritorvella. Torvi liitetään kuumalanka-anturiin. Menetelmä soveltuu ainoastaan poistoilmaventtiilien mittaamiseen. Yleiset tarkkuusvaatimukset täyttyvät harvoin mitattaessa tuloilmaventtiilejä, joten menetelmää ei suositella siihen. Mittausepä-tarkkuuden vuoksi

menetelmää ei suositella tilanteisiin, joissa anemometrin painehäviö on yli 20 % päätelaitteen painehäviöstä. Anemometritorvesta aiheutuva painehäviö korjataan standardissa annetulla kaavalla. Kuvassa 14 on esitetty ilmavirran mittaaminen anemometritorvella.



KUVA 14. Mittaus anemometritorvella /11/

6.4 Menetelmien virhearviointi

Mittaustuloksen virhe koostuu useasta osasta. Luotettavan virhearvioinnin tekemiseksi, suuremmat systemaattiset virheet tulisi minimoida mittalaitteiden ja -menetelmien oikealla käytöllä sekä kalibroinnilla. Jäljelle jäävien satunnaisvirheiden ja pienempien suhteellisten virheiden vaikutusta voidaan kuitenkin arvioida kaavalla 6. /11./

$$m = \pm \sqrt{a_1 m_1^2 + a_2 m_2^2 + a_3 m_3^2 + \dots + a_n m_n^2} \quad (6)$$

jossa

m = mittaustuloksen suhteellinen epätarkkuus [%]

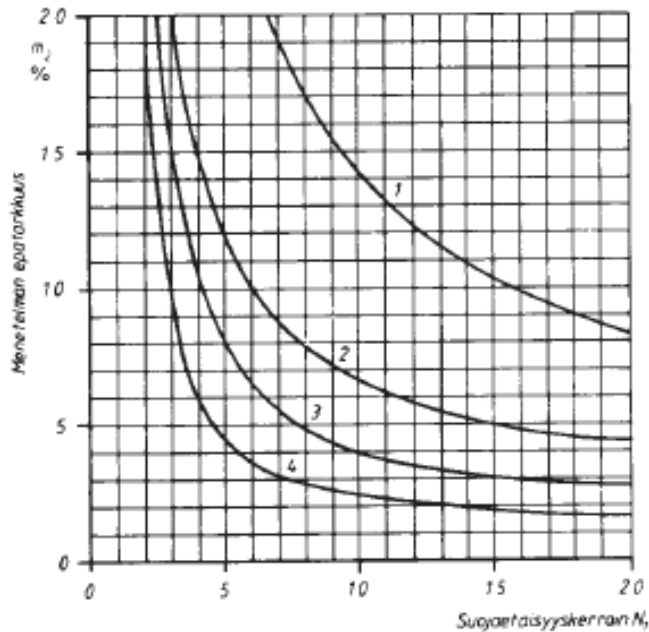
m_1 = laitevirhe [%]

m_2 = menetelmävirhe [%]

m_3 = lukemaepätarkkuus [%]

m_n = muut mahdolliset epätarkkuudet [%]

$a_{1\dots n}$ = kertoimet, joilla otetaan huomioon kunkin virheen vaikutus kokonaisvirheeseen



- 1 = keskipistemenetelmä
- 2 = viiden pisteen menetelmä
suorakaidemenetelmä, kun $n = 4$
- 3 = log-linear-menetelmä, 12 pisteen
suorakaidemenetelmä, kun $n = 6 \dots 10$
- 4 = log-linear-menetelmä, 24 pisteen
suorakaidemenetelmä, kun $n \geq 12$

Kaikissa tapauksissa on vaatimuksena $N_2 \geq 2,0$

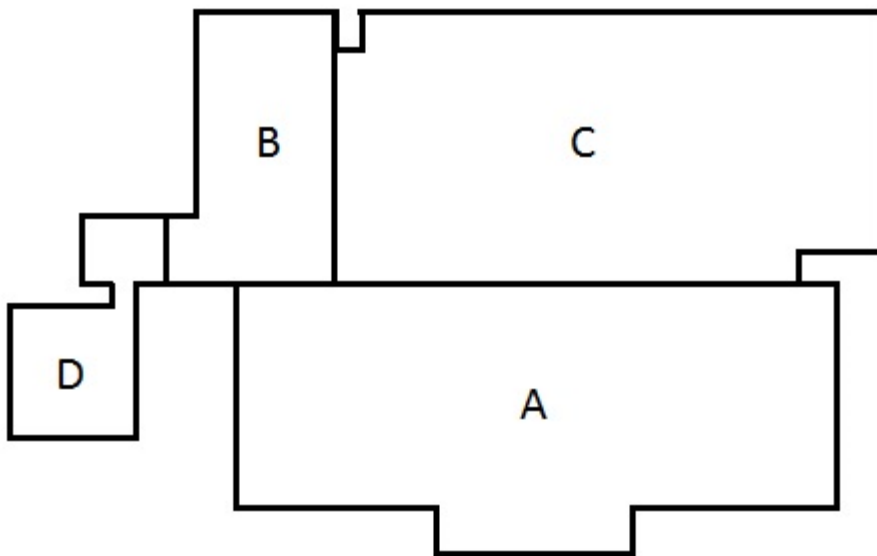
KUVA 15. Monipistemenetelmien virhearviointi /11/

Laitevirhe on varmistettava mittalaitteen dokumenteista. Menetelmävirhe on annettu standardissa SFS-5512. Monipistemenetelmän virhettä voidaan arvioida kuvan 15 avulla. Menetelmävirhe riippuu valitusta monipistemenetelmästä ja mittauspisteen suojaetäisyysherrasta. Lukemaepätarkkuus on varmistettava mittalaitteen dokumenteista tai arvioitava mittaushetkellä lukeman huojunnasta. Kertoimet ovat yleisimmin $a_{1\dots n} = 1$. Kertoimissa saattaa kuitenkin esiintyä poikkeamia riippuen menetelmästä ja laitteesta. Paine-eroon perustuvissa mittauksissa kertoimet $a_1, a_3 = 0,5$, koska 10 % virhe paine-eromittauksessa aiheuttaa noin 5 % virheen tilavuusvirtaan.

/17./

7 TARKASTETTAVA KOHDE

Tarkastuslomakkeen kehittämisen tukemiseksi tehtiin myös fyysisiä mittauksia. Kohdeena oli Vaasan kaupungin kirjasto. Kirjaston vanhat osat peruskorjattiin vuonna 2001, jolloin rakennusta myös laajennettiin. Samalla uusittiin lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät. Rakennus on jaettu eri osiin. Kuvassa 15 on esitetty kirjaston lohkojako. A- ja B-osa on peruskorjattua vanhaa osaa. C ja D-osa ovat laajennuksia. Rakennuksessa on kerroksia 3-4, riippuen osasta. Bruttopinta-ala on 8014 m².



KUVA 16. Kirjaston lohkojako

Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö. Lämmönjakohuone sijaitsee rakennuksen kellaritilassa, josta lämmityksen runkolinjat kulkevat rakennuksen eri osiin. Lämmitysjärjestelmä on jaettu patteriverkostoon ja iv-lämmitysverkostoon. Patteriverkosto kattaa kaikki lämmitystehoa vaativat tilat. Ilmanvaihdon lämmitysverkostolla lämmitetään ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereita ja sisäänkäyntien kiertoilmakojaita.

Patteri- ja iv-lämmitysverkoston pumput toimivat vakionopeudella. Menoveden lämpötilaa ohjataan ulkolämpötilan mukaan. Iv-lämmityspiirissä kaikilla iv-koneilla on sekoituspumppuryhmät, joissa menoveden lämpötila sekoitetaan pattereiden mitoitus- vastaavaksi.

Rakennusta palvelee 5 kpl ilmanvaihtokoneita. Koneet sijaitsevat rakennuksen osien ylimmissä kerroksissa. Kone TK-01 palvelee rakennuksen A-osaa. Kone TK-02 palvelee B-osaa. Koneet TK-03 ja TK-04 on jaettu rakennuksen C-osaan. Kone TK-05 palvelee D-osaa. Kaikki koneet on varustettu pyörivillä lämmönsiirtimillä. IV- koneiden puhaltimia ohjataan taajuusmuuttajilla. Puhaltimien kierrosnopeutta säädetään kellon, CO₂-pitoisuuden ja ulkolämpötilan mukaan. Puhaltimet käyvät aikaohjelman aikana perusnopeudella, aikaohjelman ulkopuolella ½ nopeudella. Poistoilman hiilidioksidipitoisuuden ylittäessä asetetun raja-arvon, taajuusmuuttajat nostavat puhaltimien pyörimisnopeutta, kunnes alempi asetusarvo on saavutettu. Kun ulkolämpötila alittaa -10 °C, ilmavirrat ohjataan 60 % perusilmavirroista. Kun lämpötila alittaa -20 °C, ilmavirrat ohjataan 40 % perusilmavirroista.

7.1 Tarkastus

Tarkastusmittaukset suoritettiin kohteessa 15.1- 28.1.2014 välisenä aikana. Mittauksissa keskityttiin lähinnä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tilavuusvirtamittauksiin sekä järjestelmien visuaaliseen tarkasteluun. Lämmitysjärjestelmän toiminnan selvittämiseksi tehtäviä lämpötilamittauksia ei tehty, koska rakennuksen vaihteleva henkilökuorma, valaistus ym. olisivat aiheuttaneet liikaa epätarkkuutta tuloksiin. Rakennuksen lvi-piirustuksia selatessa huomattiin niistä puuttuvan työn kannalta oleellisia asioita. Lämmityspiirustuksista puuttuivat kokonaan linjasäätöventtiilien suunnitellut virtaamat, joten ne jouduttiin paikantamaan vanhojen mittauspöytäkirjojen ja venttiilikylttien avulla. Ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän mittaukset suoritettiin säätölaitevalmistajien ohjeiden ja standardien SFS-5512 mukaisesti. Kaikki tarkastusmittauspöytäkirjat on esitetty liitteessä 2.

Lämmitysjärjestelmän mittaukset jaettiin patteriverkoston ja IV-lämmitysverkoston mittauksiin. Patteriverkoston tarkastus aloitettiin irrottamalla termostaatit pattereista. Termostaattien irrotuksen yhteydessä havaittiin muutamien patteriventtiilien olevan jumissa. Venttiilit saatiin kuitenkin aukeamaan pienen koputtelun jälkeen. Osa pattereista oli sijoitettu vaikeakulkuisiin paikkoihin, joten niiden termostaatit päätettiin jättää irrottamatta. Tilanteen korjaamiseksi menoveden lämpötilaa pudotettiin muutamia asteita, jotta patteriventtiilit pysyisivät auki mittauksen aikana. Lämpötilan pudotus tehtiin työpäivän päätteeksi ja verkoston annettiin tasaantua yön yli. Mittausajan-

kohtana oli pitkäkö pakkasjakso, joten seuraava päivänä aloitetuissa mittauksissa voitiin varmistua, että paikalleen jätetyt termostaatit eivät vaikuttaneet mittauksiin.

Virtaamat mitattiin lämmönjakuhuoneessa sekä kellaritiloissa sijaitsevista linjasäätöventtiileistä. Tarkastusmittauspisteinä olivat päävirtaama sekä virtausteknisesti vaikein ja helpoin venttiili. Tämän jälkeen mitattiin loput verkoston venttiilit. Mittauspisteiden tuloksia vertailtiin muiden venttiilien mittaustuloksiin, jotta saataisiin kuvaa tarkastusmenetelmän luotettavuudesta. Mitattuja virtaamia verrattiin luonnollisesti myös suunniteltuihin virtaamiin. Mittauksen sallittuna poikkeamana pidettiin $\pm 10\%$. Mittalaitteena oli käytössä kalibroitu TA-Scope vesivirtamittari.

IV- lämmitysverkoston tarkastus aloitettiin säätämällä iv-koneiden sekoitusryhmien säätöventtiilit auki -asentoon. Myös sisäänkäynneillä sijainneiden kiertoilmakojeiden magneettiventtiilit avattiin. Koska verkoston pumppu pyöri vakionopeudella, oletettiin sen olevan kohdallaan. Virtaamat mitattiin lämmönjakuhuoneessa, kellaritiloissa, sisäänkäynneillä ja iv-konehuoneissa. Mitattuja virtaamia verrattiin suunniteltuihin virtaamiin. Sallittuna poikkeamana pidettiin $\pm 10\%$. Mittalaitteena käytettiin samaa laitetta kuin patteriverkoston mittauksissa.

Ilmanvaihtojärjestelmän tarkastusmittaukset tehtiin tulo- ja poistoilmakanaviin jokaisessa viidessä ilmanvaihtokoneessa. Ennen mittauksia koneiden puhaltimet säädettiin kiinteistövalvomon kautta pyörimään mitoitustilannetta vastaaville nopeuksille. Tarkastusmittauksissa mitattiin päävirtaama sekä virtausteknisesti helpoin ja vaikein päätelaite. Ilmavirrat mitattiin säätöpelleistä, päätelaitteista sekä suoraan kanavasta pitotputkimenetelmällä. Mitattuja ilmavirtoja verrattiin suunniteltuihin ilmavirtoihin. Suurimpina sallittuina poikkeamina pidettiin tilakohtaisesti $\pm 20\%$ ja järjestelmäkohtaisesti $\pm 10\%$. Mittauslaitteena käytettiin kalibroitua TSI 8388-M-GM – monitoimimittaria.

7.2 Tulokset

Patteriverkoston tarkastuspisteiksi valittiin venttiilit 1, 2 ja 7. Venttiileissä 1 ja 2 pysyttiin sallituissa rajoissa. Venttiilillä 7 virtaama alitti suunnitellun virtaaman 21 %. Venttiilin 7 poikkeama suunnitellusta virtaamasta on merkittävä, joten kyseisten kolmen mitatun venttiilin perusteella verkosto ei ole kaikilta osin oikein säädetty. Muut

verkoston linjasäätöventtiilit saatiin mitattua kellarin venttiiliä 5 lukuun ottamatta. Linjasäätöventtiilin 3 virtaama pysyi virherajan sisällä, mutta venttiilit 4 ja 6 ylittivät sallitun poikkeaman. Tarkastusmittaus kolmesta pisteestä antoi melko luotettavan kuvan verkostosta.

Termostaattien irrotuksen yhteydessä havaittiin patteriventtiilejä, joita ei ollut esisäädetty ollenkaan. Lisäksi verkostoon oli lisätty jälkeempään 9 kpl uusia pattereita. Henkilökunnalta saadun palautteen ja omien havaintojen perusteella tilojen välillä oli suuria lämpötilaeroja.

Iv-lämmitysverkostosta mitattiin kaikki linjasäätöventtiilit kahta venttiiliä lukuun ottamatta. Mittaamatta jääneiden venttiilien mittaussyhteet olivat tukkeutuneet. Virtaamat mitattiin runkolinjoista lämmönjakohuoneessa ja ryömintätilassa sekä kytkentälinjoista kiertoilmakojeilta ja ilmanvaihtokoneilta. Ilmanvaihtokoneilta mitattiin lämmityspiirin virtaama ennen sekoituskytkentää (LP 40) ja iv-patterin kautta kulkevan sekoituspiirin virtaama (PU 40).

Verkoston päävirtaama pysyi virherajan sisällä. Ryömintätilasta mitattujen venttiilien virtaamissa esiintyi huomattavaa poikkeamaa. Lisäksi neljästä mitatusta kiertoilmakojeen virtaamasta ainoastaan yksi pysyi sallitun poikkeaman sisällä. Muiden kolmen kojeen venttiilin virtaama ylitti suunnitellun virtaaman reippaasti. Kaikkien neljän iv-koneen lämmityspiirin (LP-40) virtaamat ylittivät suunnitellun virtaaman huomattavasti. Mitatut sekoituspiirien virtaamat pysyivät suurimmaksi osaksi sallituissa rajoissa.

Laiteluettelossa olleiden laitetietojen mukaan iv-patterit on mitoitettu lämpötiloille 60/40 °C ja iv-lämmitysverkosto lämpötiloille 70/40 °C. Linjasäätöventtiilien venttiilikylteistä ja vanhoista mittauspöytäkirjoista päätellen lämmityspiirin virtaamat on kuitenkin yritetty säätää samoille virtaamille kuin sekoituspiirin virtaamat. Tämä selittäisi osaltaan lämmityspiirien virtaamien ylittymisen.

Ilmavirtojen tarkastusmittaukset saatiin suoritettua kaikista koneista. Muutamien mittauspisteisiin aiheuttivat epätarkkuutta virtaussäätimien puutteelliset suojaetäisyydet. Puutteelliset suojaetäisyydet on merkitty tarkastuspöytäkirjoihin. Myös puhaltimien suoritusarvot on merkitty pöytäkirjoihin siltä osin, kun ne olivat luettavissa. Osassa

taajuusmuuttajissa näyttö oli rakeinen ja epäselvä, joten taajuudet eivät olleet luettavissa.

TK-01. Tuloilmavirrat pysyivät virherajojen sisällä lukuun ottamatta yhden runkokanavan pientä poikkeamaa. Poistoilmavirrat sen sijaan ylittivät virherajan tasaisesti. Virhe johtuu todennäköisesti puhaltimen väärästä pyörimisnopeudesta. Poistopuhaltimen mitoituspyörimisnopeutta pudottamalla noin 25 %, virtaamat saataisiin jäämään virherajojen sisälle. Tuloilmapuhaltimen pyörintänopeutta hieman pudottamalla saataisiin myös tuloilmavirrat pysymään sallituissa rajoissa.

TK-02. Sekä tulo- että poistoilmavirrat pysyivät virherajojen sisällä. Muutamissa mittauspisteissä epätarkkuutta aiheuttivat säätöpeltien virheelliset suojaetäisyydet. Myös mitattujen päätelaitteiden virtaamat vastasivat hyvin suunniteltuja arvoja.

TK-03. Tuloilmavirroissa ilmeni poikkeamia, jotka ylittivät virherajat. Poistoilmavirrat ylittivät tasaisesti virherajan. Poistoilmapuhaltimen mitoituspyörimisnopeutta pudottamalla 25 % päästäisiin jo suurimmassa osassa runkokanavista lähelle oikeaa ilmapvirtaa.

TK-04. Tuloilman runkokanavissa ilmeni poikkeamaa sekä yli että ali sallitun virherajan. Iv-konehuoneessa sijaitseva päätelaite SVQ-200 sijaitsee runkokanavassa kiinni, joten suojaetäisyydet ovat riittämättömiä tarkkaan mittaukseen. Tuloilman päätelaitteet pysyivät juuri virherajan sisällä. Poistoilmavirrat ylittyivät runkokanavissa yhtä kanavaa lukuun ottamatta. Poistoilman päätelaitteet pysyivät virherajojen sisällä.

TK-05. Tuloilmavirrat pysyivät virherajojen sisällä yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Kyseinen poikkeama saattaa johtua säätöpellin puutteellisten suojaetäisyyksien aiheuttamasta mittausepätarkkuudesta. Poistoilmavirroissa ilmeni poikkeamaa virherajan yli kolmessa runkokanavassa ja yhdessä päätelaitteessa.

7.3 Johtopäätökset

Tarkastusmittaukset antoivat selkeän kuvan lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tasapainotuksesta. Lämmitysjärjestelmän patteri- ja iv-piirin linjasäätöventtiileissä esiintyi huomattavia virtaamapoikkeamia. Poikkeamat ylittivät sekä alittivat suunnitel-

lut arvot. Koska poikkeamia esiintyi sekä yli että alle suunnitellun virtaaman, tulisi kumpikin lämmitysverkosto tasapainottaa uudelleen. Lisäksi patteriverkoston patteriventtiilit tulisi esisäätää uudelleen. Säätyön yhteydessä voisi harkita myös patteriventtiilien ja termostaattien vaihtoa, koska ne alkavat lähestyä niiden tavoitteellista käyttöikänsä.

Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtapoikkeamissa esiintyi eroavaisuutta mitattujen viiden iv-koneen välillä. Osa virtaamista vastasi todella hyvin suunniteltuja arvoja, kun osa taas ylitti tai alitti halutun virtaaman huomattavasti. Ainoastaan yhden tarkastetun iv-koneen virtaamat pysyivät kokonaan virherajojen sisällä. Osa tulo- tai poistopuhaltimista vaikutti pyörivän väärällä pyörintänopeudella, koska virtaamat ylittyivät tasaisesti. Kaikkien koneiden ilmavirrat, konetta TK-02 lukuun ottamatta, tulisi säätää uudelleen. Kanavistojen sisäpuolinen tarkastelu osoitti kanavien olevan myös puhdistuksen tarpeessa.

8 TARKASTUSLOMAKE

Tarkastuslomake soveltuu käytettäväksi sekä uudiskohteelle että käytössä olevalle rakennukselle. Lomakkeesta on pyritty tekemään yksinkertainen sekä helposti käytettävä, ja se soveltuu tavanomaisimmille rakennuksille. Lomakkeen avulla pyritään siis selvittämään rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus mahdollisimman yksinkertaisesti. Tarkastusasiakirjoihin kuuluvat lomake, tarkastusmittauspöytäkirjat sekä näihin liittyvät ohjeet. Tarkastukset etenevät lomakkeen mukaisessa järjestyksessä. Lomakkeen eri sarakkeisiin tehdään merkinnät kysytyn osion mukaisesti. Tarkastusmittauspöytäkirjoihin merkitään järjestelmien virtaamatarkasteluun tarvittavat asiat. Virtaamatarkastuksella selvitetään verkostojen virtaamien paikkansapitävyyttä ja verkoston tasapainotuksen tilaa.

8.1 Järjestelmien tarkastus

Lomakkeeseen kerätään tietoa järjestelmien eri osien toiminnasta, säätöä edeltävistä ja säätöön liittyvistä toimenpiteistä sekä saatavilla olevien dokumenttien kattavuudesta. Lomakkeen mukaiset tarkastettavat osiot pohjautuvat järjestelmän ja dokumenttien visuaaliseen tarkasteluun ja vastuuhenkilön haastatteluun.

Lämmitysjärjestelmän toiminnan kannalta on oleellista tietää, onko verkosto huuhdeltu ja ilmattu kunnolla ennen säätötyötä. Huuhtelussa suurin osa järjestelmän epäpuhtauksista saadaan pois putkistoista. Huuhtelun jälkeen verkoston lianerotin on puhdistettava ennen säätötyön aloittamista. Verkoston huolellinen ilmaaminen on edellytys virtaamien tarkalle mittaamiselle. Verkostojen tulee olla luonnollisesti myös tiiviitä. Tiiviiden hyväksymiseen edellytetään suoritettut painekokeet ja niistä dokumentoidut verkostojen koepainepöytäkirjat.

Patteriventtiilien esisäädöt tarkastetaan muutaman eri tilan patteriventtiilistä ja verrataan lämmityssuunnitelmien arvoihin. Pumpun toimintatarkastelun yhteydessä arvioidaan myös runkolinjasäätöventtiilin kuristusta. Oikein mitoitettuna pumpun kierrokset tulisivat olla mahdollisimman pienet, mutta kuitenkin sellaiset, että haluttu virtaama saavutetaan. Samalla päälinjasäätöventtiilin kuristus tulisi olla minimaalinen, jolloin vältetään pumpun turhaa paineenkorotusta. Säätöventtiilien toiminta arvioidaan aistinvaraisesti. Tarkastuksella varmistetaan säädön vakaus, eli säätö ei saa huojua. Samalla varmistetaan, että venttiilien k_v -arvot vastaavat suunnitelmien mukaisia arvoja. Lämmitysjärjestelmän dokumentteja tarkastellaan lämmityssuunnitelmien, kytkentäkaavioiden ja laiteluettelon osalta. Tarkastelun tarkoituksena on varmistua, että suunnitelmista löytyvät kaikki säädön kannalta oleelliset asiat. Suunnitelmista tulisi selvittää vähintään linjasäätöventtiilien koot, virtaamat, painehäviöt ja esisäätöarvot. Patterien tyyppin yhteydestä tulisi löytyä patteriventtiilin tyyppi ja esisäätöarvo. Kytkentäkaavioista ja laiteluettelosta tarkastetaan säätöventtiilien virtaamat, painehäviöt ja k_v -arvot. Samalla tarkastetaan pumppujen suunnitellut mitoitusvirtaamat ja -nostokorkeudet. Lämmitysjärjestelmä -osion loppuun liitetään vesivirtojen tarkastusmittausten tulokset.

Ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla puhdas. Puhtaus tarkastetaan silmämääräisesti kanavasta. Myös ilmanvaihtojärjestelmän tulee olla tiivis. Tiiviys tarkastetaan kohteesta riippuen joko aistinvaraisesti tai painekokeella. Kanaviston painekoe tulee kysymykseen, mikäli järjestelmältä edellytetään erityistä tiiveyttä. Nykyisten määräysten mukaan uuden ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (SFP) tulisi mitata, ja sille on annettu myös raja-arvo. Mitattua lukua verrataan suunnitelmien mukaiseen tavoitearvoon. SFP -luku kertoo myös kanaviston tasapainotuksesta. SFP -luku täyttää harvoin vaatimuksia, mikäli kanavisto on säätämätön tai säädetty väärin.

Puhaltimien toimintaa arvioidaan yhdessä runkosäätöpeltien kanssa. Puhaltimet tulisivat pyöriä miniminopeudella, kuitenkin niin, että suunnitellut ilmavirrat täyttyvät. Runkosäätöpeltien kuristukset tulisivat olla mahdollisimman vähäiset, jotta välttyttäisiin puhaltimien turhalta paineenkorotukselta. Palo-osastokohtaisten palopeltien aukiolo tulee tarkastaa, jotta ilmanvaihto toimii jokaisessa osastossa. Tuloilman lämpötila tarkastetaan mittaamalla se runkokanavasta. Mittaustulosta verrataan suunniteltuun lämpötilaan.

Ilmanvaihtojärjestelmästä tarkastetaan vastaavat dokumentit kuin lämmitysjärjestelmästä. Iv-pohjakuvasta tulisi selvittää vähintään säätöpeltien ja päätelaitteiden mallit ja ilmavirrat. Laiteluettelosta tai kytkentäkaaviosta tulisi selvittää puhaltimien suunnitellut virtaamat ja paineenkorotukset. Ilmanvaihtojärjestelmä -osion loppuun liitetään ilmavirtojen tarkastusmittausten tulokset.

8.2 Vesivirtojen tarkastus

Lämmitysjärjestelmän vesivirrat mitataan verkostojen vesivirtojen paikkansapitävyyden ja tasapainotilan selvittämiseksi. Järjestelmän tulisi toimia mittausten aikana normaaleissa käyttöolosuhteissa. Tarkastusmittaukset tehdään patteri- ja iv-lämmityspiiriin. Virtaamat tulisi vastata mitoitustilannetta, joten mahdollisten säätö- ja magneettiventtiilien on oltava auki -asennossa. Patteriverkostossa olevat termostaatit tulisi irrottaa mittausten ajaksi. Suuremmissa rakennuksissa tämä on kuitenkin mittausten kestoon suhteutettuna liian työläs toimenpide. Termostaattien irrotuksen sijaan lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa voidaan laskea. Tällöin patterien lämpöteho heikkenee, ja kun huonelämpötila laskee, avautuvat termostaatit. Näin kaikki patteriventtiilit ovat auki ja virtaamat ovat todenmukaisia. Menoveden lämpötilaa laskettaessa, verkoston tulisi tasaantua vähintään muutamia tunteja, jotta varmistutaan toimenpiteen onnistumisesta. Virtaamien mittaaminen termostaatit paikallaan voidaan suorittaa ulkolämpötilan ollessa alle -5 °C .

Patteriverkoston virtaamatarkastuksessa kiinnitetään huomiota kolmeen pääkohtaan: kokonaisvirtaamaan sekä virtausteknisesti vaikeimpaan ja helpoimpaan linjasäätöventtiiliin runkolinjakohtaisesti. Virtaama päälinjassa tulee olla suunnitelmia vastaava, jotta tasapainotus voi ylipäättään onnistua. Kokonaisvirtaama voidaan mitata vaihtoehtoisesti myös runkolinjoista. Mikäli runkolinjoja on useampia kuin kolme, valitaan ne

käyttäen ohjeessa olevaa runkolinjojen valintakriteeriä. Myös vaikeimpien ja helpoimpien linjasäätöventtiilien valintaan sovelletaan ohjeessa olevaa runkolinjojen valintakriteeriä.

Iv-lämmitysverkostosta mitataan kokonaisvirtaama ja lämmityspiirien virtaamat ennen sekoitusryhmiä. Lämmityspiirit valitaan ohjeessa olevalla valintamenetelmällä. Kaikkien vesivirtamittausten yhteydessä tulisi kiinnittää huomiota linjasäätöventtiilin suojaetäisyyksiin, jotta mittauksista tulisi luotettavia.

8.3 Ilmavirtojen tarkastus

Ilmavirrat mitataan osana järjestelmän toiminnan kartoittamiseksi. Mittaukset tehdään järjestelmän toimiessa normaaleissa käyttöolosuhteissa ja normaalien sääolojen vallitessa. Tarkastusmittaukset tehdään tulo- ja poistoilmakanavistoon. Mitattavina pisteinä järjestelmässä ovat kokonaisilmavirta, virtausteknisesti helpoin päätelaite sekä virtausteknisesti vaikein päätelaite. Tarkastuspisteiksi valittiin helpoin ja vaikein päätelaite, koska niiden ollessa säädöissä on todennäköisesti muutkin päätelaitteet poikkeamien sallimissa rajoissa. Kokonaisilmavirta mitataan yhdestä pääkanavasta tai useammasta runkokanavasta. Mikäli runkokanavia on useita, valitaan ne ohjeessa olevan runkokanavien valintamenetelmällä.

Päätelaitteet valitaan valittujen runkokanavien mukaisesti. Runkokanavien valintamenetelmä on vastaava kuin lämmitysjärjestelmän runkolinjojen valintamenetelmä. Mittaukset suoritetaan virtaussäätimen tai päätelaitteen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Suoraan kanavasta mitattaessa, mittaus suoritetaan pitot-putkella standardin SFS-5512 mukaisesti. Myös ilmavirtojen tarkastusmittauksissa tulee huomioida mittauspisteiden vaatimat suojaetäisyydet, jotta mittaustulos olisi luotettava.

8.4 Tarkastusten arviointi

Lomakkeeseen täytettävien osioiden ja tarkastusmittausten tulosten arviointiin käytetään pisteytysmenetelmää. Lomakkeen osiot on pisteytetty sen mukaan, vastaavatko verkostot tai kanavistot tarkastuksen mukaisia vaatimuksia. Mikäli molemmat verkostot/kanavistot vastaavat vaatimuksia, merkitään tästä kaksi pistettä. Jos vain toinen

verkosto/kanavisto täyttää vaatimukset, merkitään 1 piste. Kummankin verkoston/kanaviston jäädessä vaatimuksesta, jää kyseinen osio ilman pisteitä.

Tarkastusmittauspöytäkirjan tulokset pisteytetään mitatun ja suunnitellun virtaaman poikkeaman mukaan. Virtaamamittausten pisteytyksellä pyritään parempaan ja tarkempaan säätöön. Vähimmäisvaatimus virtaamille on pysyminen yleisesti käytössä olevien sallittujen poikkeamien sisällä. Vaikka virtaamat pysyvät virherajojen sisällä, ne eivät saa kuitenkaan poiketa kaikilta osin samaan suuntaan ts. kaikki ylittävät tai alittavat suunnitellut virtaamat. Virtaamatarkastuksessa käytettävät pisterajat on koottu taulukkoon 5.

TAULUKKO 5. Virtaamatarkastuksen pisteytys

Ilmavirrat				Vesivirrat	
Runkolinjat		Päätelaitteet		Linjasäätöventtiilit	
Poikkeama	Pistemäärä	Poikkeama	Pistemäärä	Poikkeama	Pistemäärä
± 5 %	3	± 5 %	3	± 5 %	3
± 8 %	2	± 10 %	2	± 8 %	2
± 10 %	1	± 20 %	1	± 10 %	1
yli ± 10 %	0	yli ± 20 %	0	yli ± 10 %	0

Tarkastusmittauspöytäkirjojen tulokset merkitään myös lomakkeeseen. Lopuksi lasketaan yhteen lomakkeeseen saadut pisteet ja verrataan näitä saatavilla olleeseen maksimipistemäärään. Uudiskohteissa tarkastuksen läpäisemiseksi vähimmäispistemäärä on 50 % maksimipistemäärästä, ellei tilaaja toisin määrittele. Kyseinen pistemäärä saavutetaan, kun järjestelmät sekä niiden osat vastaavat lomakkeen vaatimuksia ja järjestelmien virtaamat pysyvät suurimpien sallittujen poikkeamien sisällä.

Käytössä oleviin kohteisiin ei käytetä pisteytystä. Tarkastus tehdään muuten kuitenkin lomakkeen mukaisesti. Käytössä olevia kohteita arvioidaan tapauskohtaisesti ja tarvittaessa annetaan suosituksia jatkotoimenpiteistä.

9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli tuottaa tilaajalle yksinkertainen ja helposti käytettävä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien tarkastuslomake, jonka avulla järjestelmien toimivuus saataisiin selville. Tarkastuslomakkeen yhteyteen haluttiin myös järjestelmien säätöohjeet. Lomaketta lähdettiin kehittämään teorian tiedon, omien kokemusten ja tarkastettavan kohteen mittauksen avulla. Teoreettinen aineisto kerättiin pääosin kirjallisuudesta ja erilaisista Internet-lähteistä, joita oli hyvin tarjolla. Teoriaosion sisältö painottui suurimmaksi osaksi järjestelmien mittaus- sekä säätötyöhön liittyviin aiheisiin.

Tarkastuslomakkeen laatimisen tueksi tehtiin tarkastusmittauksia Vaasan kaupungin kirjastoon. Mittaukset osuivat talven lähes ainoalle pakkasjaksolle, mikä helpotti etenkin lämmitysjärjestelmän toiminnan arvioimista. Mittaukset suoritettiin lomakkeen tarkastusmittausohjeen suuntaisesti. Mittaustulokset antoivat selkeän kuvan järjestelmien toiminnasta ja menetelmän luotettavuudesta. Tarkastuksen tulokset osoittivat järjestelmien olevan tasapainotuksen tarpeessa. Tarkastusmittausten hyötynä olivat myös laitteiden sekä menetelmien käytön oppiminen ja soveltaminen kohteeseen.

Lomakkeen lähtökohdina olivat helppo sekä selkeä käytettävyys ja nopeahko suoritettavuus. Nopeasta suoritettavuudesta huolimatta tarkastuksen lopputulos piti olla kuitenkin luotettava. Lähtökohdat toivat haastetta lomakkeen kehittämiseksi ja etenkin rajaamiselle. Valmiiseen tarkastuslomakkeeseen päästiin soveltamalla aiheen teoriaa ja tarkastusmittaustuloksia. Mittausten suoritus antoi lomaketta ajatellen hyvän kuvan mittauksen kestosta ajallisesti. Lomakkeen käytöstä ja luotettavuudesta olisi kaivattu kokemuksia, mutta käyttökokemusten kerääminen olisi ollut kuitenkin hankala sovittaa työn aikatauluun.

Työ tuloksena saatiin tarkastuslomake, joka sisältää visuaalisia tarkastuksia sekä tilavuusvirtamittauksia. Tarkastuslomakkeella pystytään selvittämään järjestelmien toiminta pienehköillä resursseilla. Lomakkeen yhteyteen laadittiin myös yksinkertaiset ohjeet järjestelmien säätö- ja tasapainotustyön suorittamiseen. Lomakkeen mukaisille tarkastuksille on varmasti käyttöä, koska Suomen rakennuskannan huolestuttavan suuressa osassa on huonosti tai väärin toimivia järjestelmiä.

LÄHTEET

1. Seppänen, Olli. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-liitto ry. 2001
2. Rakennustieto Oy. Sisäilmastoluokitus 2008. Espoo. 2008
3. Rakennustieto Oy. Ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät. 1995
4. Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Talotekniikka-julkaisut Oy. 2004
5. Rakennustieto Oy. Lämmitysverkoston säätö. 1994
6. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy. 2001
7. Holopainen, Rauno, Pasanen, Pertti, Railio, Jorma, Säteri, Jorma & Virranta, Petteri. Ilmanvaihtojärjestelmien puhdistus ja tasapainotus. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy. 2008
8. Sirén, Kai. Ilmastointitekniikan mittaukset. Espoo: Tietonova. 1995
9. Fläktwoods Oy. Mittarengas MR. WWW -dokumentti. <http://www.flaktwoods.fi/01b69935-3ad5-4510-a039-5a82feedae31>. Luettu 8.3.2014.
10. Fläktwoods Oy. Mittaus- ja säätölaite IRIS. WWW -dokumentti. [/http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872](http://www.flaktwoods.fi/f0d83e62-93fd-4b6a-b348-d2bc193f9872). Luettu 8.3.2014.
11. Suomen standardisoimisliitto SFS. Standardi SFS 5512. Helsinki. 1992
12. Rakennustieto Oy. Ilmanvaihtokanaviston tasapainotussuunnittelu. 1988
13. Perussäätö-esite. Motiva. PDF -dokumentti. <http://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>. Päivitetty 10.2.2009. Luettu 15.2.2014. 2002
14. Kimrok Oy. WWW -dokumentti. <http://www.kimrok.fi/sivut/ilmavirtaus-ilmamaeeraemittarit/airflow-ta460-monitoimimittari>. Luettu 15.3.2014
15. Rakennustieto Oy . LVI -laitosten mittaukset. 1999
16. TA Hydronics Oy. WWW-dokumentti. <http://www.tahydronics.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/mittausvalineet/mittalaitteet/TA-SCOPE1/#tab5>. Luettu 15.3.2014
17. Fläktwoods Oy. PDF -dokumentti. <http://flaktwoods.fi/aaf939c0-af71-4df4-9f84-b5513b9ed6f3>. Päivitetty 9.11.2011. Luettu 16.3.2014

Tarkastuslomake

Yleisiä tietoja

Kohde:	Urakoitsija:
Osoite:	Vastuuhenkilö:
Päivämäärä:	Tarkastaja:

Lämmitysjärjestelmä

	Kyllä	Ei	huomioitavaa	Pisteet
1. Lämmitysverkosto(t) huuhdeltu? *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
2. Lämmitysverkosto(t) ilmattu? *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
3. Lämmitysverkostot(t) koepainettu? *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
4. Patteriventtiilit esisäädetty?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 1
5. Pumput toimivat oikein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
6. Pumppujen lsv:ssä minimi kuristus?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
7. Säätoventtiilit toimivat oikein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
8. Asiakirjat järjestelmästä?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
9. Tarkastusmittausten pisteet				/

Ilmanvaihtojärjestelmä

	Kyllä	Ei	huomioitavaa	Pisteet
1. Kanavisto puhdas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
2. Kanavisto tiivis? *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
3. SFP-luku suunnitelmien mukainen? *	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
4. Puhaltimet toimivat oikein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
5. Runkosp:ssä minimi kuristus?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
6. Osastokohtaiset palopellit auki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
7. Tuloilman lämpötila oikea?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 1
8. Asiakirjat järjestelmästä?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	/ 2
9. Tarkastusmittausten pisteet				/
Pisteet yhteensä				/

(* merkityt kohdat koskevat vain uudis- ja saneerausrakennuksia)
(Tarkastusten tarkemmat selitykset löytyvät kääntöpuolelta)

Selitteet ja arviointi

Lämmitysjärjestelmä

1. Lämmityspiirit (patteri + iv) tulee olla huuhdeltu ja lianerottimet puhdistettu
2. Lämmityspiirit tulee olla ilmattu täydellisesti, ennen kuin mittaus- ja säätötyötä voidaan suorittaa
3. Lämmityspiirien tiiveys tulee olla varmistettu koepaineella (pöytäkirjat)
4. Patteriventtiilin esisäädöt tarkastetaan muutamista venttiileistä eri tiloissa
5. Pumppujen toiminnasta tarkastetaan taajuus/kierrosnopeus ja paineenkorotus. Pumpun ei tulisi pyöriä taajuusalueen yläpäässä ja paineenkorotus tulisi olla suunnitelmia vastaava
6. Pumppujen linjasäätöventtiileissä tulisi olla minimi kuristus, jotta vältetään turhaa paineenkorotusta
7. Säätöventtiilien vakaa säätö varmistetaan silmämääräisesti. k_{vs} -arvoja verrataan suunniteltuihin arvoihin
8. Järjestelmistä tulisi olla nähtävillä tarpeelliset asiakirjat, kuten pohjapiirustukset, kytkentäkaaviot, laiteluettelot, mittauspöytäkirjat ym.
9. Tarkastusmittauksista saadut pisteet sekä maksimipistemäärä merkitään lomakkeeseen. Tarkastusmittausten pisteytys on esitetty tarkastusmittauspöytäkirjan yhteydessä

Ilmanvaihtojärjestelmä

1. Järjestelmän puhtaus varmistetaan visuaalisella tarkastelulla kanavistosta (tulo ja poisto)
2. Uudiskohteen kanaviston tiiviys varmistetaan tapauskohtaisesti joko mittaamalla tai visuaalisella tarkastelulla. Menetelmä riippuu kohteen käyttötarkoituksesta ja tiiviysvaatimuksesta
3. SFP -luku tulisi mitata kaikkien uudiskohteiden ilmanvaihtojärjestelmistä. Tulosta verrataan suunniteltuihin arvoihin
4. Puhaltimien toiminnasta tarkastetaan taajuus/kierrosnopeus. Puhaltimien ei tulisi pyöriä taajuusalueen yläpäässä, mikäli puhallin on oikein mitoitettu ja tasapainotus on suoritettu oikein
5. Runkokanavien säätöpeltien kuristus tulisi olla minimaalinen, jotta vältetään puhaltimen turhalta paineenkorotukselta
6. Osastokohtaisten palopeltien aukiolo tulee varmistaa
7. Tuloilman lämpötila mitataan ja verrataan suunniteltuun arvoon. Vertailussa tulee huomioida mittaushetkellä vallitsevat sääolosuhteet
8. Järjestelmästä tulisi olla nähtävillä tarpeelliset asiakirjat, kuten pohjapiirustukset, kytkentäkaaviot, laiteluettelot, mittauspöytäkirjat ym.
9. Tarkastusmittauksista saadut pisteet sekä maksimipistemäärä merkitään lomakkeeseen. Tarkastusmittausten pisteytys on esitetty tarkastusmittauspöytäkirjan yhteydessä

Kokonaisarviointi

Pisteytys lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien kohtiin 1-8:

Molemmat piirit tai kanavistot KYLLÄ => 2p.

Toinen piiri tai kanavisto KYLLÄ => 1p.

Molemmat piirit tai kanavistot EI => 0p.

Lomakkeen kaikki saadut pisteet lasketaan yhteen ja verrataan yhteenlaskettuun maksimipistemäärään

Uudiskohteissa vähimmäispistemäärä tarkastuksen läpäisemiseksi on 50 % maksimipistemäärästä.

Mikäli järjestelmä(t) eivät läpäise tarkastusta, suoritetaan tarvittavat toimenpiteet asian korjaamiseksi.

Käytössä oleviin kohteisiin ei käytetä pisteytystä. Järjestelmien tilaa arvioidaan tapauskohtaisesti. Arvioinnin yhteyteen lisätään tarvittaessa suunnitelma mahdollisista jatkotoimenpiteistä.

Tarkastuslomake

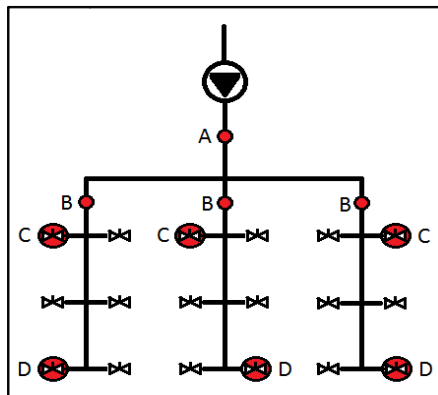
Kohde: _____	Pvm: _____	Mittari: _____
Osoite: _____	Mittaaja: _____	Kalibroitu: _____
_____	Yritys: _____	Ulkolämpötila: _____

LÄMMITYS

Mittauspiste	Tila	Venttiili	Mitattu (Δp)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Pisteet	
A	Päälinja								
B	Runkolinja								
B	Runkolinja								
B	Runkolinja								
C	Haaralinja								
C	Haaralinja								
C	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
Pumpun suoritusarvo: _____								Yhteensä	/

LÄMMITYS, IV

Mittauspiste	Tila	Venttiili	Mitattu (Δp)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Pisteet	
A	Päälinja								
B	Runkolinja								
B	Runkolinja								
B	Runkolinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
D	Haaralinja								
Pumpun suoritusarvo: _____								Yhteensä	/



Mittausmenetelmät

Linjat: Virtaama mitataan paine-eromittauksena linjasäätöventtiilistä valmistajan ohjeiden mukaisesti

Mittalaite: Kalibroitu vesivirtamittari

Huomioitavaa: Mittauspisteiden suojaetäisyydet häiriölähteistä

Mittausohje

- A** Vesivirta päälinjasta: Pumpun kokonaisvirtaama mitataan päälinjasäätöventtiilistä (A), jos mahdollista
- B** Vesivirta runkolinjoista: Kokonaisvesivirta mitataan useammasta runkolinjasta (B), mikäli se ei ole mitattavissa yhdestä päälinjasta
- Kun runkolinjoja: 1-3 kpl mitataan 100 % linjoista
 4-5 kpl mitataan 75 % linjoista
 6 kpl tai yli mitataan 50 % linjoista
- C** Vesivirta haaralinjoista: Mitataan virtausteknisesti helpoin linjasäätöventtiili runkolinjakohtaisesti
- D** Vesivirta haaralinjoista: Mitataan virtausteknisesti vaikein linjasäätöventtiili runkolinjakohtaisesti

Venttiilit valitaan soveltamalla runkolinjojen valintakriteeriä (Esim. runkolinjoja 6 kpl, mitataan kolmen runkolinjan venttiilit)

IV-lämmitysverkoston lämmityspiirien venttiilien valintaan sovelletaan myös runkolinjojen valintakriteeriä

Tarkastuslomake

Kohde: _____	Pvm: _____	Mittari: _____
Osoite: _____	Mittaaja: _____	Kalibroitu: _____
_____	Yritys: _____	Ulkolämpötila: _____

IV/TULOILMA

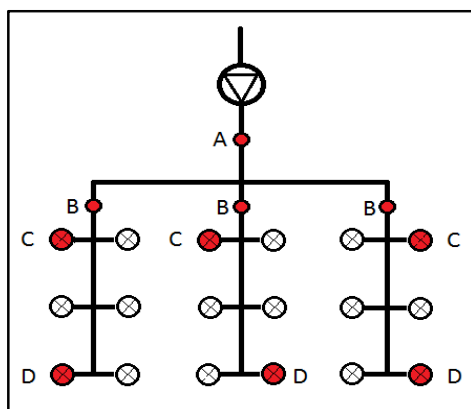
Mittauspiste	Tila	Tuloilmalaitte	Mitattu (Δp)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Pisteet
A/B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
C	Päätelaite							
C	Päätelaite							
C	Päätelaite							
D	Päätelaite							
D	Päätelaite							
D	Päätelaite							

Puhaltimen suoritusarvo: _____ Tuloilman lämpötila: _____ Yhteensä /

IV/POISTOILMA

Mittauspiste	Tila	Poistoilmalaitte	Mitattu (Δp)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Pisteet
A/B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
B	Runkokanava							
C	Päätelaite							
C	Päätelaite							
C	Päätelaite							
D	Päätelaite							
D	Päätelaite							
D	Päätelaite							

Puhaltimen suoritusarvo: _____ Yhteensä /



Mittausmenetelmät

Kanavat: Virtaama mitataan säätöpelistä tai suoraan kanavasta pitot-putkimenetelmällä

Päätelaitteet: Virtaama mitataan päätelaitteista valmistajan ohjeiden mukaisesti

Mittauslaite: Kalibroitu paine-ero ja lämpötilamittari

Huomioitavaa Mittauspisteiden suojaetäisyydet häiriolähteistä

Mittausohje

A Ilmavirta pääkanavasta: Kokonaisilmavirta mitataan yhdestä pääkanavasta (A), jos mahdollista

B Ilmavirta runkokanavista: Kokonaisilmavirta mitataan useammasta runkokanavasta (B), mikäli se ei ole mitattavissa yhdestä pääkanavasta

Kun runkokanavia: 1-3 kpl mitataan 100 % kanavista
4-5 kpl mitataan 75 % kanavista
6 kpl tai yli mitataan 50 % kanavista

C Ilmavirta päätelaitteista: Mitataan virtausteknisesti helpoin päätelaite runkolinjakohtaisesti

D Ilmavirta päätelaitteista: Mitataan virtausteknisesti vaikein päätelaite runkolinjakohtaisesti

Päätelaitteet valitaan mitattujen runkokanavien (B) mukaan
Mikäli kok.ilmavirta on mitattu pisteestä (A), sovelletaan päätelaitteiden valintaan runkokanavien valintakriteeriä
(Esim. runkolinjoja 6 kpl, mitataan kolmen runkokanavan päätelaitteet)

Tarkastusmittausohje ja pisteytys

Kaikki tarkastusmittaukset tehdään järjestelmien toimiessa normaaleissa käyttöolosuhteissa ja normaalien sääolojen vallitessa

Lämmitysjärjestelmä

- Patteri- ja iv-lämmitysverkoston vesivirtoja mitattaessa kaikki säätö- ja magneettiventtiilit on säädettävä auki -asentoon
- Patteritermostaatit irrotetaan tai vaihtoehtoisesti menoveden lämpötilaa lasketaan mitausten ajaksi, jolloin patteriventtiilit saadaan avautumaan
- Menoveden lämpötilaa laskettaessa on järjestelmän annettava tasaantua muutaman tunnin ajan
- Vesivirtoja mitattaessa termostaatit paikallaan, on ulkolämpötilan oltava alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta tiloissa on riittävästi lämmöntarvetta
- Pöytäkirjoihin merkitään kaikki vaaditut tiedot
- Mitattuja vesivirtoja verrataan suunniteltuihin arvoihin ja vertailtavista arvoista lasketaan poikkeama [%]

Pisteytys tehdään laskettujen poikkeamien mukaan:

- venttiilit:
 - $\pm 5\%$ => 3p
 - $\pm 8\%$ => 2p
 - $\pm 10\%$ => 1p
 - yli $\pm 10\%$ => 0p
- Pisteet lasketaan yhteen ja merkitään pöytäkirjaan sekä lomakkeeseen

Ilmanvaihtojärjestelmä

- Pöytäkirjoihin merkitään kaikki vaaditut tiedot
- Mittaukset tulee suorittaa kanaviston kohdista, joissa täytyvät riittävät suojaetäisyydet häiriölähteistä
- Mitattuja ilmavirtoja verrataan suunniteltuihin arvoihin ja vertailtavista arvoista lasketaan poikkeama [%]

Pisteytys tehdään laskettujen poikkeamien mukaan:

- Runkokanavat:
 - $\pm 5\%$ => 3p
 - $\pm 8\%$ => 2p
 - $\pm 10\%$ => 2p
 - yli $\pm 10\%$ => 0p
- Päätelaitteet:
 - $\pm 5\%$ => 3p
 - $\pm 10\%$ => 2p
 - $\pm 20\%$ => 1p
 - yli $\pm 20\%$ => 0p
- Pisteet lasketaan yhteen ja merkitään pöytäkirjaan sekä lomakkeeseen

Lämmitysjärjestelmän säätöohje

1. Pattereista irrotetaan termostaatit, mikäli ne on kiinnitetty (Peruskunnostuskohteet)
2. Verkosto ilmataan huolellisesti ennen säätötyön aloittamista. Ennen varsinaista säätötyötä tarkastetaan ja tarvittaessa puhdistetaan verkoston lianerotin
3. Säädetään verkoston paine vastaamaan suunniteltua käyttöpainetta
4. Asetetaan linjasäätö- ja patteriventtiileihin esisäätöarvot suunnitelmien mukaisesti. Verkoston mahdolliset paine-erosäätimet, paineentasausventtiilit tms. asetetaan suunnitelmien mukaisiin arvoihin
5. Säätö- ja magneettiventtiilit säädetään auki -asentoon vastaamaan mitoitustilannetta
6. Säädetään kokonaisvirtaama vastaamaan suunniteltua virtaamaa. Säätö tehdään päälinjasäätöventtiiliä kuristamalla, mikäli käytössä on vakionopeudella toimiva pumppu. Taajuusmuuttajaohjattu pumppu säädetään pumpun kierroksia muuttamalla
7. Mitataan linjasäätöventtiilien virtaamat ja säädetään esisäätöarvoja tarvittaessa. Mittauksia jatketaan kunnes kaikki venttiilit vastaavat suunniteltuja arvoja. Suurimpana sallittuna virherajana voidaan pitää $\pm 10 \%$, ellei toisin määrätä
8. Mittaus- ja säätötuloksista laaditaan lopulliset mittauspöytäkirjat, jotka liitetään luovutusasiakirjoihin
9. Säädetyt ja mitatut venttiilit varustetaan venttiilikilvellä, johon merkitään venttiilin koko, mitattu virtaama sekä paine-ero ja esisäätöarvo

Lämpötilojen hienosäätö suoritetaan seuraavasti:

10. Lämpötilojen hienosäätö suoritetaan pakkasjaksolla, alle $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa
11. Säädetään verkoston menoveden lämpötilaa tarvittaessa. Lämpötilojen on annettava tasaantua säädön jälkeen kaksi vuorokautta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää $2\text{-}3 \text{ }^\circ\text{C}$ muutos menoveden lämpötilassa muuttaa $1 \text{ }^\circ\text{C}$ huonelämpötilaa. Menoveden säätökäyrää voidaan muuttaa joko suuntaisierolla tai käyrän jyrkkyyttä muuttamalla.
12. Mitataan huonelämpötilat, kun oikeanlainen säätökäyrä on löydetty.
13. Mikäli huonelämpötiloissa esiintyy poikkeamaa toisiinsa nähden enemmän kuin $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, muutetaan pattereiden esisäätöarvoja vähän kerrallaan. Vuorokauden kuluttua muutoksesta suoritetaan huonelämpötilojen tarkastusmittaukset
14. Mikäli tarkastusmittaukset eivät aiheuta toimenpiteitä, asennetaan patteritermostaatit ja käsisäätöpyörät paikoilleen ja tarvittaessa lukitaan

Ilmanvaihtojärjestelmän säätöohje

- Alussa kanaviston kaikki päätelaitteet ja virtaussäätimet asetetaan auki -asentoon
- Tilavuusvirtojen suhteet asetellaan ensin päätelaitteiden välille ja vasta sen jälkeen haarakanavien välille
- Tilavuusvirrat asetetaan vertailupäätelaitteesta tai -haarasta puhallinta kohti
- Kerran asetettua päätelaitteen tai virtaussäätimen asentoa ei muuteta kesken säätötyön

Säätötyön suoritus:

1. Mitataan puhaltimesta kauimmaisena olevan ns. kanaviston vertailupäätelaitteen ilmavirta. Mitatusta ja vaaditusta ilmavirrasta lasketaan suhde ξ (q_m / q_v)
2. Seuraavaksi säädetään jo mitatun päätelaitteen viereinen päätelaite samaan ilmavirtojen suhteeseen ξ kuin vertailupäätelaitteen ilmavirta
3. Säädetään haaran muut päätelaitteet samaan suhteelliseen arvoon kuin vertailupäätelaite.
4. Haaran päätelaitteita säädettyä tulee vertailupäätelaitteen tilavuusvirta tarkastaa jokaisen haaran muun päätelaitteen asetuksen jälkeen
5. Säädetään muut haarat edellä mainitulla tavalla
6. Jokaisen päätelaitteen asetus vaikuttaa koko kanaviston vertailupäätelaitteen tilavuusvirtaan. Tämän vuoksi kanaviston vertailupäätelaitteen tilavuusvirta on tarkastettava jokaisen haaran vertailupäätelaitteiden asettelun yhteydessä
7. Virtaussäätimien asettelu aloitetaan vertailuhaaran viereisestä haarasta. Kyseisen haaran ilmavirta säädetään samaan suhteelliseen arvoon kuin vertailuhaaran ilmavirta
8. Säädetään muiden haarojen ilmavirrat samaan suhteelliseen arvoon, kuin vertailuhaaraan ilmavirta
9. Kanaviston ”vaikeimman” eli vertailuhaaran säätöpelti pitäisi jäädä säädön jälkeen auki -asentoon, mikäli järjestelmä on oikein suunniteltu, toteutettu ja säädetty
10. Lopuksi säädetään kokonaisilmavirta kohdalleen niin, että kanaviston vertailuhaaran ilmavirran suhde $\xi = 1$. Säätö tehdään puhaltimien pyörimisnopeutta muuttamalla joko taajuusmuuttajalla tai hihnapyöriä vaihtamalla
11. Kummatkin kanavistot tulee olla asetettu suhteellisiin arvoihin ennen kokonaisilmavirtojen säätöä
12. Mittaustulokset kootaan asianmukaisesti mittauspöytäkirjoihin

Tarkastusmittauspöytäkirjat

TARKASTUSMITTAUSPÖYTÄKIRJA								
Kohde: Vaasan kaupunginkirjasto Kirjastonkatu 13 65100 Vaasa			Pvm 23.1.2014 Mittaaja JM-T Mittari TSI Kalibroitu 2013 Ulkolämpötila °c -14					
IV/TULOILMA								
Tila	koje	Tuloilmalaite	Mitattu (Pa)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Huom!
C4.03	TK-04	Iris 400	9	393	433	1	-9	Suojaetäisyydet
C4.03	TK-04	Iris 200	15	104	106	2,5	-2	
C4.03	TK-04	Iris 200	5	144	150	1	-4	
C4.03	TK-04	SVQ-200	15	147	80		84	Suojaetäisyydet
C4.03	TK-04	Iris 200	33	91	90	4,5	1	
C4.03	TK-04	Iris 160	44	45	42	6	7	
C4.03	TK-04	Iris 160	58	37	41	7	-10	
C4.03	TK-04	Iris 160	42	48	41	5,5	17	
C4.03	TK-04	SVQ-125	3	44	55		-20	
C4.03	TK-04	Kanava 500		801	745		8	Pitot-putkimittaus
C4.03	TK-04	Kanava 400		427	433		-1	Pitot-putkimittaus
C4.03	TK-04	Kanava 400		470	471		0	Pitot-putkimittaus
C4.03	TK-04	Kanava 315		270	316		-15	Pitot-putkimittaus
C3.04	TK-04	RSKO-160	2	36	30		20	
0.14	TK-04	SVQ-200	5	85	88		-3	
Puhaltimen suoritussarvot: 37,18 Hz								

TARKASTUSMITTAUSPÖYTÄKIRJA								
Kohde: Vaasan kaupunginkirjasto Kirjastonkatu 13 65100 Vaasa			Pvm 24.1.2014 Mittaaja JM-T Mittari TSI Kalibroitu 2013 Ulkolämpötila °c -6					
IV/POISTOILMA								
Tila	koje	Poistoilmalaite	Mitattu (Pa)	Mitattu (l/s)	Vaadittu (l/s)	Säätöas.	Virhe %	Huom!
C4.03	PK-04	Iris 400	20	585	490	1	19	
C4.03	PK-04	Iris 400	106	396	355	6	12	
C4.03	PK-04	Iris 400	26	668	556	1	20	
C4.03	PK-04	Kanava 500		520	448		16	Pitot-putkimittaus
C4.03	PK-04	Kanava 315		327	324		1	Pitot-putkimittaus
C4.03	PK-04	Kanava 315		185	235		-21	Pitot-putkimittaus
C3.04	PK-04	KSO-125	75	35	30	10 mm	17	
0.14	PK-04	KSO-160	100	38	36	1 mm	6	
Puhaltimen suoritussarvot: 38,05 Hz								

