



Motiva

Ilmavirtojen säädöt ja tarkastukset palvelukiinteistössä

Opas

03/2024

Ilmavirtojen säädöt ja tarkastukset palvelukiinteistössä -opas

Ilmavirtojen säädöt ja tarkastukset palvelukiinteistöissä -opas

Julkaisijat: Motiva Oy

Copyright Motiva Oy, Helsinki, 02/2024

Esipuhe

Tämä tilaajan opas antaa palvelukiinteistöjen omistajille ja hallinnoijille työkaluja ilmanvaihdon mittaus ja säätötöiden tilaamiseen sekä ilmavirtojen ja painesuhteiden tarkastamiseen sekä seurantaan. Oppaassa käsitellään asioita, joiden avulla ilmanvaihdon mittaus- ja säätötöitä tilaavat tahot voivat varmistaa hallinnoimisensa rakennusten energiatehokkuutta sekä sisäilman laadun olosuhteita.

Tilaajan edustajina oppaan laatimisessa olivat Harri Heinaro, Helena Arkkola ja Minna Tolvanen. Kirjoitustyöstä vastasivat AFRY Buildings Finland Oy:ssä Toni Lammi, Pasi Marttila, Timo Heikkilä, Samuli Järvinen ja Lari Silvonen. Oppaan laatimisen on rahoittanut Energiavirasto osana energiatehokkuussopimusten toimeenpanoa.

Helsinki, 03-2024

Motiva Oy

Sisällysluettelo

Esipuhe	3
Sisällysluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Ilmavirtoja ja painesuhteita koskevat lait, asetukset ja ohjeet	6
3 Ilmavirtojen ja painesuhteiden merkitys sisäolosuhteille	8
3.1 Ilmanvaihdon merkitys sisäolosuhteille	8
3.2 Painesuhteiden muodostuminen ja merkitys sisäolosuhteisiin	9
4 Ilmanvaihdon merkitys energiatehokkuuteen	11
4.1 Yleistä	11
4.2 Lämmöntalteenotto	12
4.3 Ilmanvaihdon käyntiaika	12
4.4 Ilmavirrat ja tuloilman lämpötila	13
4.5 Ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöt ja painetaso	14
4.6 Rakennusautomaatio	14
5 Ilmavirtojen ja painesuhteiden säätäminen	16
5.1 Kuinka usein ja missä tilanteissa ilmavirtoja ja painesuhteita tulee säätää	16
5.2 Hankkeen osapuolet	17
5.3 Säätytyössä tarvittavat dokumentit	17
5.4 Lähtötilanneselvitys	18
5.5 Säätyosuunnitelma	20
5.6 Mittaus- ja säätytyön hankinta	21
5.7 Säätytyön suorittaminen ja dokumentointi	21
5.8 Laadunvarmistus	25
6 Ilmavirtojen ja painesuhteiden seuranta	27
6.1 Yleistä	27
6.2 Jatkuva seuranta	27
6.3 Hetkellinen seuranta	29
6.4 Seurannan vastuuttaminen	30
7 Yhteenveto	31
8 Lähteet	32

Palvelurakennusten ilmanvaihdon käytöllä, ilmavirtojen oikealla tasolla sekä painesuhteiden hallinnalla on merkittävä vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen sekä sisäolosuhteisiin.

Ilmanvaihto kuluttaa palvelurakennuksissa tyypillisesti lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta 20–50 % ja sähköenergian kokonaiskulutuksesta 30–50 %. Motivan ylläpitämien tuettujen energiakatselmusten tilastojen perusteella noin kolmannes kaikista palvelurakennuksiin kohdistuvasta energiansäästöpotentialista kohdistuu ilmanvaihtojärjestelmään, kun esimerkiksi vain reilu 10 % säästöpotentialista kohdistuu lämmitysjärjestelmään. Näin ollen ilmanvaihdon oikeanlaisella toiminnalla on merkittävä vaikutus energiankulutukseen sekä siitä aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin.

Ilmanvaihto vaikuttaa rakennuksen sisäilman laatuun ja olosuhteisiin sekä suoraan että välillisesti. Ilmanvaihdon tehtävänä on tuoda tiloihin raitista ilmaa sekä poistaa ilmasta epäpuhtauksia ja kosteutta. Ilmanvaihdon määrän tiloissa tulee olla riittävää, jotta sisäilman laatu voidaan varmistaa. Ilmanvaihdon vaikutuksesta rakennukseen voi syntyä epätoivottuja paine-eroja, joiden seurauksena esimerkiksi rakenteiden sisältä tai ulkoilmasta voi kulkeutua epäpuhtauksia sisäilmaan.

Rakennusten ilmatiiveys on parantunut olennaisesti viime vuosikymmenten aikana uudisrakentamisessa ja nykyään rakennusten ilmatiiveyttä parannetaan myös johdonmukaisesti korjausrakentamisen yhteydessä. Rakennuksen hyvä ilmatiiveys antaa ilmanvaihdon ja painesuhteiden hallintaan hyvät lähtökohdat, mutta voi toisaalta myös tuoda haasteita paine-erojen hallintaan, kun pienetkin ilmavirtaerot aiheuttavat tiiviimmässä rakennuksessa suuremman paine-eron.

Ilmavirtojen ja painesuhteiden säätöjä ja tarkastuksia voidaan tehdä monista eri lähtökohdista, mutta yleisimmin ne ovat osa rakennuksen normaalia kunnossapitoa. Samassa yhteydessä on usein hyvä tarkastella ilmanvaihdon ja muiden taloteknisten järjestelmien toimivuutta ja tehdä tarpeelliset muutos-, korjaus- tai parannustyöt, joiden avulla rakennuksen energiatehokkuutta ja sisäolosuhteiden hallintaa voidaan parantaa. Ilmanvaihdon oikeanlainen ja suunniteltu toiminta antaa myös hyvän pohjan muille rakennuksen energiansäästötoimenpiteille.

Oppaan luvussa 2 on esitetty ilmavirtojen säätämiseen ja tarkastamiseen liittyviä määräyksiä, oppaita ja ohjeita. Luvuissa 3 ja 4 on käsitelty ilmanvaihdon vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen sekä sisäolosuhteiden muodostumiseen. Oppaan luvut 5 ja 6 kuvaavat konkreettisesti ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyön tilaamista sekä painesuhteiden ja ilmavirtojen pysyvyyden seuraamista tilaajan näkökulmasta. Luvussa 5 on kerrottu myös mittaus- ja säätötyön onnistumisen kannalta erityisen tärkeiden lähtötilanneselvityksen ja säätösuunnitelman sisällöstä sekä annettu ohjeita mittaus- ja säätötyön hankintaan.

2 Ilmavirtoja ja painesuhteita koskevat lait, asetukset ja ohjeet

Uusien rakennuksien rakentamista, nykyisten rakennusten laajentamista tai käyttötarkoituksen muutosta ohjaa ilmavaihdon osalta Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (2017). Tätä ennen uusien rakennuksien tai rakennusten ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelua ovat ohjanneet Rakennusmääräyskokoelman osat D2 (1976, 1978, 1987, 2003 ja 2010). Ilmanvaihdon tasapainon osalta keskeisimpänä muutoksena on se, että aiemmin rakennukset ohjeistettiin suunnittelemaan alipaineiseksi, kun vuoden 2017 asetuksessa painesuhteet ohjeistetaan suunnittelemaan niin, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi pitkäaikaista kosteusrasitusta, tai toisaalta alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Käytännössä rakennus tulisi siis lähtökohtaisesti suunnitella niin, että ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero rakennuksen vaipan yli olisi lähellä tasapainoa.

Kaikissa asumiseen ja muuhun oleskeluun käytettävissä rakennuksissa on velvoittavana asetuksena *STM545/2015 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista* (ns. asumisterveysasetus), joka on kuitenkin laadittu ensisijaisesti asuinkäytössä oleviin rakennuksiin. Sen mukaan ilmanvaihdon ulkoilmavirran tulee olla rakennuksen käytön mukaisesti riittävä ja sen laadun tulee olla riittävän puhdasta. Asetuksessa on myös annettu toimenpiderajoja, jotka velvoittavat rakennuksen omistajaa ryhtymään toimenpiteisiin terveyshaitan selvittämiseksi ja tarvittaessa sen poistamiseksi tai rajoittamiseksi. Asetuksen tueksi on olemassa Valviran julkaisemia Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeita, joissa ilmanvaihdon osalta määritetään, että ulkoilmavirran tulee olla kouluissa, päiväkodeissa ja muissa vastaavissa oleskelutiloissa käytön aikana vähintään 6 dm³/s henkilöä kohden. Tiettyjen edellytysten toteutuessa hyväksytään myös minimissään 4 dm³/s henkilöä kohden. Paine-eron osalta soveltamisohjeessa todetaan, että alipaineisuuden ollessa oli 15 Pa, tulee alipaineisuuden syy selvittää ja ilmanvaihtoa mahdollisuuksien mukaan tasapainottaa.

Rakennuksen ilmavirtojen säätäminen ja tarkastaminen sekä iv-järjestelmän puhdistaminen on olemassa olevissa rakennuksissa lähtökohtaisesti rakennuksen normaalia kunnossapitoa, jolloin uudisrakentamista koskevia ohjeistuksia ei voida soveltaa sellaisenaan. Ilmavirtojen mitoitusta, säätämistä, tarkastamista sekä ilmanvaihtojärjestelmän puhdistamista ohjaavat seuraavat lait, asetukset, määräykset sekä oppaat ja ohjeet (jos saatavilla verkosta,

Asetukset ja määräykset

- Energiategohkuusdirektiivi 2023/1791, EU, 2023 (huom. kansallinen toimeenpano 2 vuotta direktiivin julkaisusta ja oppaan kirjoittamisen hetkellä vielä kesken)
- Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennusten teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista, Ympäristöministeriö, 2020
- Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos (2018/44/EU)

- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, Ympäristöministeriö, 2017
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, Ympäristöministeriö, 2017
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2015
- Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010/31/EU)
- D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennustieto, 1976, 1978, 1987, 2003, 2010 ja 2012

Ilmavirtojen mitoitusta koskevat ohjeet ja oppaat

- Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa, FINVAC ry, 2020
- RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, Rakennustieto, 2018

Ilmanvaihtojärjestelmän kuntoa käsittelevät oppaat ja ohjeet

- Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien kuntotutkimus, SuLVI ry, 2016.

Ilmanvaihtojärjestelmän puhtautta koskevat määräykset ja ohjeet

- SFS-EN 15780 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtaus, Rakennustieto 2014
- LVI 39-10409 Ilmanvaihtojärjestelmän puhtauden tarkastus, Rakennustieto, 2007

Muut ilmanvaihdon käyttöön, energiatehokkuuteen, ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus- ja säätötyöhön liittyvät oppaat sekä ohjeet

- Ilmamäärien mittaus ja tasapainotus, Talotekninen teollisuus ja kauppa ry, 2023
- Ilmanvaihdon säädön yleisohje rakennusten painesuhteiden hallintaan, Tiiviit rakennukset, Talotekninen teollisuus ja kauppa ry, 2023
- Työsuojeluhallinnon suositus työskentelypaikan lämpöolosuhteista
- Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän ohje, Helsingin kaupunki, 2022
- SFS-EN 16211:2015 Ilmavirtausten mittaus paikan päällä, Rakennustieto, 2022
- Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuiotio, Kuntien sisäilmaverkosto, 2019
- Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti, A-insinöörit Oy, 2019
- LVI 014-10290 LVI-laitosten mittaukset, Rakennustieto, 1999
- SFS 5769 Ilmastointijärjestelmien säädön toiminnalle asetettavat vaatimukset, Rakennustieto, 1994

Yleiset sopimusehdot

- RT 13-11143 Konsulttitoiminnan yleiset sopimusehdot KSE 2013, Rakennustieto, 2013
- RT 16-10660 Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998, Rakennustieto, 1998

3 Ilmavirtojen ja painesuhteiden merkitys sisäolosuhteille

3.1 Ilmanvaihdon merkitys sisäolosuhteille

Ilmanvaihdon toimivuudella on erittäin suuri merkitys rakennuksen sisäympäristöolosuhteille. Riittävät ilmamäärät tuottava, puhdas ja tasapainossa oleva ilmanvaihto on perusedellytys hyvien sisäilmaolosuhteiden saavuttamiselle. Ilmanvaihdon tarpeetonta käyttämistä on kuitenkin turhan energiankulutuksen välttämiseksi, sekä myös järjestelmän likaantumisen ja kulumisen estämiseksi syytä välttää, eikä ilmanvaihdon käyttämiselle rakennuksen todellisen käytön ulkopuolella ole normaalitilanteessa perusteita. On kuitenkin olemassa poikkeustilanteita, kuten ilmanvaihdon sammuttamisen aiheuttamat epätoivotut painesuhteet, rakennuksen poikkeava kosteuslisä tai sisäilmaongelmatilanne, jotka voivat johtaa siihen, että ilmanvaihtoa on perusteltua käyttää myös rakennuksen varsinaisen käyttöajan ulkopuolella. Ilmanvaihdon käyttöajoissa tulee huomioida myös aamu- ja iltatuuletusjaksot, joilla rakennusperäiset epäpuhtaudet tuuletetaan pois aamulla ennen käytön alkua ja vastaavasti käytön tuottama kosteus poistetaan käyttöajan jälkeen. Ilmanvaihtoa on palvelurakennuksissa suositeltavaa käyttää Kuntien sisäilmaverkoston vuonna 2019 julkaiseman ohjeen *Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuiotio* mukaisesti.

Ilmanvaihdon tehtävänä on huuhdella tiloja laimentamalla sisäilmassa olevien kaasumaisien ja hiukkasmaisten epäpuhtauksien määrää sekä poistaa tiloista ylimääräistä kosteutta. Sisäilmassa on aina materiaaleista, ihmisistä tai rakennuksen käytöstä johtuen epäpuhtauksia, ja ilmanvaihdon tehtävänä on laimentaa näiden epäpuhtauksien määrää sille tasolle, ettei niistä aiheudu tiloissa oleskeleville ihmisille terveys- tai viihtyvyyshaittaa. Likainen tai esim. mineraalikiuituja sisältävä ilmanvaihtojärjestelmä voi myös itsessään toimia sisäilman epäpuhtauslähteenä. Ilmanvaihdon huuhteluvaikutuksen kannalta ilmamäärien tulee olla tiloihin sekä niiden käyttöön nähden riittävät, mutta eivät ylimääräisen energiankulutuksen välttämiseksi kuitenkaan liian suuret. Ilmanvaihdon määrää suhteessa rakennuksen tai sen tilojen käyttöön, voidaan parhaiten säätää tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla.

Ilmanvaihto voi vaikuttaa sisäilman laatuun myös välillisesti, muodostamalla rakennukseen sellaisia paine-eroja, jotka voivat mahdollistaa epäpuhtauksien siirtymisen huonetiloihin esim. rakenteiden sisältä tai rakennuksen likaisemmista tiloista, kuten kellarikerroksesta tai ryömintätilasta. Toisaalta ilmanvaihtoa voidaan jossain tilanteissa, yleensä väliaikaisesti, käyttää epäpuhtauksien hallintaan (ylipaineistus) tilanteissa, joissa epäpuhtauslähde ei saada syystä tai toisesta poistettua. Pain-erojen muodostumista rakennukseen on käsitelty tarkemmin seuraavassa luvussa.

Sisäilman epäpuhtauksien laimentamisen lisäksi ilmanvaihdolla on vaikutusta koettuun lämpövihtyvyyteen. Jäähdytyksellä varustetuissa ja oikein säädetyissä järjestelmissä voidaan myös korkean ulkolämpötilan aikaan saada aikaan erittäin viihtyisät sisäolosuhteet. Väärin säädetty tai epätasapainossa oleva ilmanvaihtojärjestelmä voi taas aiheuttaa käyttäjille vedon tunnetta sekä poikkeamia sisälämpötiloihin. Tuloilman lämpötila suositellaan lämmityskaudella pidettäväksi n.

2 astetta alhaisempana tilojen sisälämpötilaan nähden (pois lukien ilmalämmitteiset kohteet). Jäähdytyskaudella lämpötilaero saa olla suurempi, ja siihen vaikuttaa myös ulkolämpötila. Rakennusautomaation avulla tuloilman lämpötilan asetusarvoa voidaan ohjata sisäilman lämpötilaa mittaamalla. Mahdollisia käyttäjien ilmoittamia vetohaittoja ei tule ehkäistä nostamalla tuloilman lämpötilaa, jolloin ilmanvaihdon huuhteluvaikutus heikkenee, vaan varmistamalla, että ilmanvirrat ja ilman nopeus ovat suunnitellulla tasolla, tuloilman lämpötilan on haluttu ja tilassa käytetyt päätelaitteet ovat soveltuvat ja oikein sijoitetut tilan käyttöön nähden.

3.2 Painesuhteiden muodostuminen ja merkitys sisäolosuhteisiin

Rakennuksen painesuhteisiin vaikuttavat ilmanvaihtojärjestelmän lisäksi hyvin olennaisesti ulkoilman olosuhteet (lämpötilaero sisäilmaan nähden sekä tuuli), rakennuksen geometria, rakennuksen ilmatiiveys sekä rakennuksen käyttö. Paine-eron seurauksena ilma virtaa korkeamman paineen suunnasta alemman paineen suuntaan. Paine-eron vaikutuksesta syntyvien ilmavirtausten mukana voi kulkeutua sisäilmaan epäpuhtauksia mm. rakenteiden sisältä, maaperästä, ryömintätiloista, putkikanaaleista, viemäreistä, mutta myös ulkoilmasta esim. ikkunatiivisteiden välistä. Sisäilman ollessa ylipaineinen ulkoilmaan nähden voi rakenteisiin puolestaan kulkeutua huoneilman kosteutta, mikä voi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä kylmille rakennepinnoille ja näin ollen kosteusvaurioriskin. Paine-ero vaikuttaa sisäolosuhteisiin siis välillisesti ja sen vaikutus sisäilman laatuun riippuu erityisesti rakenteiden ilmatiiveydestä sekä kunnosta (esim. rakenteiden kosteus- ja mikrobivauriot). Vetohaittojen osalta on myös merkitystä sillä, kuinka lämmin ulkoilmasta sisälle tuleva ilma on. Kesäaikaan koetut vetohaitat johtuvatkin yleensä tuloilman lämpötilasta ja/tai nopeudesta tai tilan käyttöön nähden vääranlaisista tai väärin sääde-tyistä päätelaitteista, eivät rakennuksen paine-eroista.

Ilmanvaihtojärjestelmän rakennukseen aiheuttamaan paine-eroon vaikuttaa tulo- ja poistoilmamäärien suhde. Tärkein tekijä on tulo- ja poistoilman kokonaisilmamäärien suhde, mutta on tärkeää huomioida myös tilakohtaisten ilmamäärien tasapaino, etenkin tilojen sisäisen tiiveyden ollessa hyvä. Mikäli palvelurakennuksessa ei ole poikkeuksellista kosteuslisää (RIL 107-2022 sisäilman kosteusluokka 3, mm. Opetusrakennukset ja päiväkodit, toimisto- ja liikerakennukset), on kokonaisilmamäärät suositeltavaa säätää sekä uusissa että vanhemmissa rakennuksissa mahdollisimman lähelle tasapainoa, jolloin paine-erojen tasapainottamiseen rakennuksessa saadaan hyvät edellytykset. Kokonaisilmamäärissä tulee huomioida myös rakennuksen erillispoistot.

Terminen paine-ero (nk. savupiippuvaikutus) vaikuttaa olennaisesti rakennukseen muodostuviin paine-eroihin. Terminen paine-ero johtuu eri lämpötilassa olevan ilman tiheyseroista ja sen vaikutus kasvaa, mitä suurempi on lämpötilaero sisäilman ja ulkoilman välillä. Suomen ilmasto-oloissa ulkoilman ollessa yleensä sisäilmaa kylmempää, aiheuttaa terminen paine-ero rakennuksen alaosiin alipainetta ja yläosiin ylipainetta. Termisen paine-eron vaikutus on sitä suurempi, mitä korkeampi rakennus on. Termisen paine-eron vaikutusta voidaan korkeissa rakennuksissa vähentää rakenneteknisillä ratkaisulla, joilla rakennus jaetaan pystysuuntaisesti ilmatiivisiin osiin. Termistä paine-eroa lisäävät pitkät pystysuuntaiset, yhtenäistä ilmatilaa olevat tilat/rakenteet, kuten porrashuoneet, hissikuilut ja tekniikkahormit.

Tuuli vaikuttaa paine-eroihin merkittävästi, eikä sen vaikutuksen kompensointiin ole vielä olemassa toimivia ja vakiintuneita ratkaisuja, joten paine-erojen tavoitetasoja määritettäessä on

syytä tarkastella vain ilmanvaihdon sekä termisen paine-eron vaikutusta paine-erojen muodostumiseen, mutta myös huomioida, että tuuliolosuhteet aiheuttavat usein sellaisia tilanteita, että paine-erot ovat vähintään hetkellisesti tavoitetasojen ulkopuolella.

Rakennuksen vaipan läpi hallitsemattomasti virtaavan vuotoilman määrä on paine-eron suuruuden lisäksi riippuvainen rakennuksen vaipan ilmatiiveydestä. Samassa paine-erossa tiiviimpään rakennukseen virtaa vähemmän vuotoilmaa kuin ilmatiiveydeltään heikompaan rakennukseen. Toisin sanoen, samalla vuotoilman määrällä tiiviimpään rakennukseen muodostuu selkeästi suurempi paine-ero kuin vähemmän tiiviimmässä rakennuksessa. Epätiiviimmässä rakennuksessa rakennuksen vaipan läpi siis virtaa vuotoilmaa huomattavasti tiivistä rakennusta enemmän, vaikka rakennukseen muodostuva paine-ero olisi melko alhainen. Asia on syytä huomioida yhtenä tekijänä, kun määritetään ilmavirtojen mittaus- ja säätötyön paine-erojen tavoitetasoja.

4 Ilmanvaihdon merkitys energiatehokkuuteen

4.1 Yleistä

Ilmanvaihto on yksi merkittävimmistä energiankulutuksen kohteista palvelukiinteistöissä; tyypillisesti sen osuus on lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta 20–50 % ja sähköenergian kokonaiskulutuksesta 30–50 %. Ilmanvaihdon energiatehokkuudella on täten selkeä vaikutus käytön aikaisiin energiakustannuksiin sekä energian käyttöön liittyviin energiantuotannon päästöihin.

Merkittäviä tekijöitä ilmanvaihdon energiatehokkuuteen ovat mm.:

- Lämmöntalteenotto
- Ilmanvaihdon käyntiaika
- Ilmavirrat ja tuloilman lämpötila
- Painehäviöt ja painetaso
- Rakennusautomaatio

Edellä mainitut asiat on normaalisti huomioitu jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa, huomioiden rakentamisajan määräykset ja ohjeistukset. Mikäli kiinteistön normaalin käytön aikana kuitenkin havaitaan, että suunnitteluratkaisu tai toteutus ei vastaa haluttua toimintaa tai ilmenee muita puutteita, tulee asiaan reagoida mahdollisimman nopealla aikataululla. Ilmanvaihdon suunnitteluratkaisuihin ja toiminnallisuuksiin tulee kiinnittää huomiota myös mahdollisten käyttötarkoitusten ja tilamuutosten, saneerausten sekä teknisten korjausten yhteydessä, jotta järjestelmän oikeanlainen ja energiatehokas toiminta voidaan varmistaa myös toimenpiteiden jälkeen.

Suunnitteluratkaisujen ja toteutuksen lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttaa olennaisesti myös käytön aikainen toiminta ja ylläpito, sillä hyvin suunniteltu ja toteutettu järjestelmäkin voi kuluttaa huomattavan paljon ylimääräistä energiaa, mikäli järjestelmän käytössä ja ylläpidossa on puutteita tai epätietoisuutta tai taloteknisten järjestelmien toimintaa ei ole optimoitu rakennuksen todellisen käytön mukaan.

Ilmanvaihdon energiatehokkuustoimenpiteet voivat olla helposti toteutettavia ja edullisia säätötoimenpiteitä, olemassa olevan järjestelmän toiminnan parantamista, suurempia investointeja vaativia järjestelmien muutoksia, tai jotain siltä väliltä. Ilmanvaihtoon liittyvät toimenpiteet ovat yleisimpiä keinoja, joilla saadaan aikaan energiansäästöä, oli sitten kyse energiakatselmuksen perusteella tehtävistä toimenpiteistä tai energiatehokkuussopimukseen perustuvasta toiminnasta. Tuettujen energiakatselmusten tilastojen perusteella noin kolmannes kaikista palvelurakennuksiin kohdistuvasta energiansäästöpotentiaalista kohdistuu ilmanvaihtojärjestelmään, kun esimerkiksi vain reilu 10 % säästöpotentiaalista kohdistuu lämmitysjärjestelmään. Samoin energiatehokkuussopimuksen raportoinnin perusteella noin 35 % kiinteistöalan toimitilojen toimenpideohjelman toteutetuista energiatehokkuustoimenpiteistä liittyy ilmanvaihtoon. Ilmanvaihtoon liittyvissä toteutetuissa toimissa on ollut mukana myös ilmavirtojen säätöihin liittyviä toimia, joille on myös raportoitu energiansäästövaikutuksia, mutta niiden osuus erillisinä toimenpiteinä

kokonaisuudesta on ollut vähäinen. Potentiaalisimmat energiansäästötoimenpiteet tulee kuitenkin aina selvittää tapauskohtaisesti.

4.2 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenoton energiatehokkuutta kuvataan järjestelmän poistoilman vuosihyötysuhteella, josta käytetään jäljempänä termiä hyötysuhde. Tämä kuvastaa paljonko tuloilman tarvitsemasta lämpöenergiasta pystytään kattamaan poistoilmasta talteen otetulla lämpöenergialla vuodessa. Hyötysuhde voi parhaimmillaan olla 80 % luokkaa. Puhutaan siis hyvin merkittävästä tekijästä ilmanvaihdon energiatehokkuuden kannalta. Tätä ei pidä sekoittaa lämpötilahyötysuhteeseen, joka on standardin mukaisissa laboratorio-olosuhteissa testattu ja mitattu tulo- tai poistoilman lämpötilamuutos lämmöntalteenottoprosessissa. Lämpötilahyötysuhde voidaan myös ilmoittaa rakennusautomaatiojärjestelmässä, perustuen ilmanvaihtokoneen anturien mittaustietoihin.

Olemassa olevissa rakennuksissa lämmöntalteenottoa suositellaan aina koneellisen ilmanvaihdon yhteyteen, mikäli se on teknisesti mahdollista. Uudisrakentamisessa ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on käytännössä pakollinen (joitain poikkeuksia lukuun ottamatta), jotta täytetään nykyiset asetukset sekä energiaselvityksen tasauslaskennan vaatimukset.

Lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen vaikuttaa moni tekijä, lähtien erilaisista lämmöntalteenottolaitteistoista ja materiaaleista. Olemassa olevan rakennuksen käytön aikana on lämmöntalteenoton kannalta tärkeää huomioida, että laitteisto on säännöllisesti puhdistettu ja käyttökuntoinen, säädöt ja asetukset vastaavat haluttua toimintaa (mm. käyntilupa ja huurteenesto) ja laitteiston anturit sekä toimilaitteet ovat kunnossa sekä fyysisesti että ohjelmallisesti. Lämmöntalteenottojen toiminnan tarkistus onkin suositeltavaa ottaa osaksi säännöllistä kunnossapitoa esim. kaksi kertaa vuodessa lämmityskauden aikana.

4.3 Ilmanvaihdon käyntiaika

Ilmanvaihdon käyntiajalla on suora vaikutus energiankulutukseen koko ilmanvaihtojärjestelmässä. Käyntiaika tulee olla suhteutettuna rakennuksen tilojen käyttöön ja sisäilman olosuhteisiin. Rakennuksissa, jotka eivät ole jatkuvalla käytöllä, voidaan ilmanvaihto pysäyttää käyttöajan ulkopuolella energiatehokkuuden parantamiseksi, kunhan huolehditaan riittävästä tuuletusjaksoista ennen ja jälkeen rakennuksen käytön (ks. kohta 3.1). Mikäli käyttöajan ulkopuolella käytetään osatehoa, tulee myös osatehon ilmavirrat huomioida mittaus- ja säätötöiden yhteydessä niin, että ilmanvaihdon huuhteluvaikutus on mahdollisimman hyvä ja rakennuksen painesuhteet pysyvät tavoitetasolla.

Jatkuvaa ilmanvaihtoa vaativien tilojen mahdollisten erillispoistojen korvausilman saataavuus tulee kuitenkin muistaa huomioida, jotta korvausilmaa ei kulkeudu haitallisesti rakenteiden epätiivelyskohtien kautta sisäilmaan. Energiatehokkuuden kannalta tällaisten tilojen ilmanvaihto suositellaan toteutettavaksi erillisellä, ko. tiloja palvelevalla ilmanvaihtokoneella, joka on varustettu lämmöntalteenotolla. Tällaistenkin tilojen ilmanvaihtoa on mahdollista ohjata tarpeenmukaisesti mittaustietoon perustuen.

Ilmanvaihdon käyntiaikojen oikeellisuus kannattaa tarkistaa vähintään aina kun tilojen käytössä tapahtuu muutoksia.

4.4 Ilmavirrat ja tuloilman lämpötila

Ilmavirtojen tulee aina täyttää viranomaisten asetukset, vastata tilojen käyttötarkoitusta ja todellista käyttöä sekä luoda omalta osaltaan hyvät sisäilmaolosuhteet. Tuloilman lämpötila suositellaan lämmityskaudella pidettäväksi 2 astetta tilojen sisälämpötilaa matalampana (pois lukien ilmalämmitteiset kohteet). Jäähdytyskaudella tuloilman ja sisäilman lämpötilaero saa olla suurempi, kuitenkin niin että tuloilman lämpötilassa on huomioitu sekä energiatehokkuus että viihtyisät sisäilmaolosuhteet, eli ei jäähdytetä liikaa, mutta pidetään lämpöolosuhteet hallinnassa. Rakennusautomaation avulla tuloilman lämpötilan asetusarvoa voidaan ohjata sisäilman lämpötilaa mittaamalla, mutta erityisesti korkean ulkoilman lämpötilan aikaan tulee myös huomioida, että sisäilman tavoitelämpötilassa tulee myös huomioida ulkoilman lämpötila, jotta voidaan säästää jäähdytysenergiaa ja toisaalta ehkäistään vetohaitan syntymistä.

Ilmavirroilla ja tuloilman lämpötilalla on suora yhteys ilmanvaihdon energiankulutukseen; mitä enemmän ilmaa vaihdetaan ja käsitellään, sitä enemmän se kuluttaa energiaa:

- lämmityskaudella lämmitysenergiaa
- jäähdytyskaudella jäähdytysenergiaa (mikäli ilmanvaihdossa on jäähdytys)
- sähköenergiaa ilmanvaihdon käyttöaikana

Ilmavirtojen tasapainotuksella on selvä yhteys ilmanvaihdon energiatehokkuuteen. Epätasapainossa oleva järjestelmä aiheuttaa mm.:

- puhallinenergian tarpeetonta kasvua
- lämmöntalteenoton hyötysuhteen tarpeetonta huojuntaa ja heikkenemistä
- painesuhteiden vaihtelua sisä- ja ulkoilman välillä, mikä puolestaan vaikuttaa vuotoilman ja energiankulutuksen lisääntymiseen

Kanaviston ja suodattimien likaantumisen johtuva järjestelmän painehäviön nousu johtaa sähköenergian kulutuksen kasvamiseen. Toisaalta kanaviston likaantuminen saattaa tietyissä järjestelmissä pienentää ilmamääriä, mikä puolestaan pienentää lämmitysenergian kulutusta, mutta tällöin myös sisäilman olosuhteet heikentyvät. Ilmanvaihtojärjestelmän säädön yhteydessä ei ole myöskään poikkeavaa huomata sähköenergian kulutuksen kasvaneen säädön myötä, koska säätöä edeltäneet ilmamäärät eivät olleet riittävällä tasolla ja niitä on säädön yhteydessä kasvatettu. Ilmanvaihtojärjestelmän säätö ei yleensä ole ensisijaisesti energiatehokkuustoimenpide, mutta sen yhteydessä on kiinnitettävä huomiota ilmanvaihtojärjestelmän optimaaliseen toimintaan sekä huomioitava samassa myös muut energiatehokkuuteen liittyvät asiat. Mahdollinen energiansäästö riippuukin hyvin paljon lähtötilanteesta.

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden osalta tärkein tekijä on rakennuksen käyttöä, niin käyttöajoiltaan kuin ilmavirroiltaankin, vastaava ilmanvaihto. Käyttöä huomioiva ilmanvaihto voidaan parhaiten toteuttaa tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla, joka perustuu esimerkiksi olosuhde- (mm. lämpötila, hiilidioksidipitoisuus) ja läsnäoloanturien mittaustuloksien perusteella tila- tai aluekohtaisesti säädettäviin ilmavirtoihin. Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu ja

toteutus poikkeavat selkeästi vakiovirtajärjestelmästä, joten niiden toiminnan varmistamiseen suositellaan panostettavan tavanomaista enemmän. Myös käyttöönotto ja käyttöhenkilökunnan opastus tulee toteuttaa kattavasti ja huolellisesti.

4.5 Ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöt ja painetaso

Ilmanvaihtojärjestelmän painehäviöt ja sitä kautta vaadittava painetaso vaikuttaa puhaltimien sähköenergiankulutukseen. Tässä yhteydessä painetasolla tarkoitetaan nimenomaan järjestelmän painetasoa, ei siis rakennukseen syntyviä paine-eroja. Painehäviöt muodostuvat kanaviston, kanavistolaitteiden, päätelaitteiden sekä ilmanvaihtokoneen komponenttien aiheuttamista virtausvastuksista. Liiallinen painetason nousu ja tarpeeton huojunta aiheuttaa ylimääräistä sähköenergiankulutusta. Painetason nousuun ja huojuntaan vaikuttavat mm.

- ilmanvaihtokoneen komponenttien likaantuminen
- kanaviston sekä kanavisto- ja päätelaitteiden likaantuminen
- ilmavirtojen virheellinen säätö kanavisto- ja päätelaitteilla
- muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä virheelliset asetusarvot ja/tai mittaustulokset ilmavirtasäätimillä
- puhaltimia ohjaavien paineanturien epäedullinen sijainti tai laitevika
- Ikkunoiden toistuva avaaminen tiloissa

Energiatehokkuuden kannalta ilmanvaihtojärjestelmän painetaso suositellaan suunniteltavaksi ja säädettäväksi mahdollisimman pieneksi, kuitenkin huomioiden vaaditut ilmavirtatasot, päätelaitteiden edellyttämät säätöpaineet sekä sisäilmaolosuhteet tiloissa.

4.6 Rakennusautomaatio

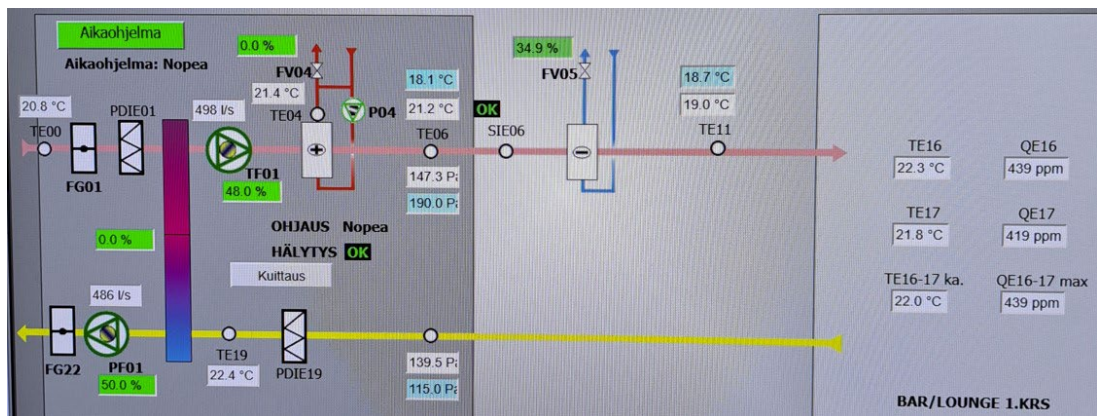
Rakennusautomaation merkitys ilmanvaihdon energiatehokkuudessa on kasvanut merkittävästi viimeisen 10 vuoden aikana, kun järjestelmät ovat kehittyneet ja ilmanvaihdon vaatimukset muuttuneet. Nykyaikaisella rakennusautomaatiojärjestelmällä on mahdollista optimoida ilmanvaihtojärjestelmän toiminta ja samalla energiankulutus erittäin tarkasti kohteen todellisen tarpeen ja käytön mukaan esimerkiksi ilmanvaihdon käyntiaikaa, ilmamääriä ja lämpötiloja kontrolloimalla.

Rakennusautomaatiojärjestelmän tehokkaan ja asianmukaisen toiminnan takaamiseksi järjestelmän suunnitteluratkaisujen tulee vastata rakennuksen käyttötarkoitusta. Järjestelmän toteutuksen on seurattava suunnitelmia ja suunnitteluratkaisuista poikkeamisen yhteydessä tulee varmistua poikkeavan toteutustavan toimivuudesta ja soveltuvuudesta. Lisäksi sekä suunnitteluratkaisut että toteutustavat suositellaan tarkistettavaksi kolmannen osapuolen toimesta laadun varmistamiseksi. Järjestelmän loppukäyttäjän (huoltohenkilöstö ja käyttäjät, joilla oikeus ohjata ilmanvaihdon toimintaa) asianmukainen perehdyttäminen ja opastaminen järjestelmän seurantaan ja käyttöön on järjestelmän käytönaikaisen toiminnan kannalta erittäin tärkeää.

Rakennusautomaation tuomat hyödyt järjestelmän toiminnassa ja energiatehokkuudessa saadaan parhaalla mahdollisella tavalla hyödynnetyksi keskitetyn automaatiojärjestelmän avulla. Energiatehokkuuden seurannan kannalta on oleellista, että energian kulutukseen, tuotantoon ja

jakeluun liittyvä laitteisto on liitetty osaksi rakennusautomaatiota. Mikäli rakennuksessa on omalla automatiikallaan toimivia laitteita, tulee näiden olla liitettynä keskitettyyn järjestelmään siten, että niiden tiedot ja asetukset ovat nähtävissä ja muokattavissa saman yhteisen järjestelmän kautta. Keskitetyn järjestelmän on pystyttävä keräämään mitattua dataa kattavasti eri verkostoista (mm. lämmitykset ja sähköjärjestelmät) ja tietoa on oltava mahdollista seurata ja analysoida (mm. trendit). Järjestelmän tehokkaan toiminnan kannalta on tärkeää, että laitteet ja niiden tiedonsiirto ovat toimintakuntoisia sekä säätöohjelmat, säätökäyrät ja asetusarvot tarkoituksemukaisia laitteiden toiminnan ja rakennuksen käytön kannalta. Näin ollen pystytään reagoimaan poikkeavuuksiin ja puutteisiin järjestelmässä sekä tunnistamaan mahdolliset parannus- ja kehittämiskohteet. Myös järjestelmän toiminnan etäseuranta on suositeltavaa.

Edellä mainitut keskitettyyn rakennusautomaatioon liittyvät asiat tulevat lakisääteiseksi 01.01.2025 alkaen muissa kuin asuinrakennuksissa, joiden lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän nimellisteho yhdessä tai erikseen on yli 290 kW. (Laki 733/2020).



Kuva 1. Ilmanvaihtoa ohjaavan rakennusautomaation rooli on ilmanvaihdon toimivuuden kannalta merkittävä.

5.1 Kuinka usein ja missä tilanteissa ilmavirtoja ja painesuhteita tulee säätää

Ilmanvaihtojärjestelmän mittaus- ja säätötyö sekä painesuhteiden säätötyö ovat merkittäviä toimenpiteitä, jotka vaikuttavat suoraan rakennuksen sisäilman laatuun ja energiatehokkuuteen. Näille toimenpiteille ei kuitenkaan ole olemassa suoraan velvoittavia yleisiä asetuksia tai määräyksiä, jotka määrittäisivät niiden suorittamisen esimerkiksi tietyin määrävälein. Kiinteistön omistajan on joka tapauksessa tärkeää seurata säännöllisesti ilmanvaihtojärjestelmän kuntoa ja toimintaa sekä suorittaa mittaus- ja säätötyöt tarvittaessa.

Rakennuksen ilmavirrat ja painesuhteet voivat muuttua monista eri syistä. Esimerkiksi ilmanvaihtokanavien likaantuminen, tilojen tai käyttötarkoitusten muutokset, yksittäiset huolto- tai säätötyöt tai käyttäjien tarpeiden muutokset voivat vaikuttaa niihin. Ilmavirtojen ja painesuhteiden pitämiseksi tavoitellulla tasolla, olisi niille hyvä tehdä säännöllisiä tarkastusmittauksia. Sopiva tarkastusväli riippuu rakennuksen ja ilmanvaihtojärjestelmän iästä ja ominaisuuksista.

Laajempi otanta olisi suositeltavaa tehdä vähintään noin viiden vuoden välein, mutta ilmanvaihdon säädön tarpeen arviointi on suositeltavaa huomioida myös, kun kiinteistössä tehdään erilaisia muita selvitystyitä, kuten esimerkiksi kuntoarvio, energiatodistus tai energiakatselmus.

Ilmavirtojen ja painesuhteiden säätäminen on sisäolosuhteiden ja energiatehokkuuden varmistamisen takia suositeltavaa seuraavasti:

- **Vähintään 5 vuoden välein tehtävä ilmavirtojen ja järjestelmän puhtauden tarkastus**, jonka perusteella arvioidaan säätö- ja puhdistustarve ja suositellaan ajankohta niille. Tarkastuksen tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös lähtötilanneselvityksessä (ks. kohta 5.4 Lähtötilanneselvitys).
- **Vähintään 10 vuoden välein ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja säätötyö**, riippumatta järjestelmän tyypistä tai käytöstä.
- **Tilamuutosten tai käyttötarkoitusten muutosten yhteydessä**: Säätötyö on tehtävä ja painesuhteet varmistettava riittävässä laajuudessa, koko ilmanvaihtokoneen palvelualue huomioon ottaen.
- **Rakennuksen ilmatiiveyden muuttuessa**: Mikäli rakennuksessa tehdään esim. rakenteiden ilmatiiveyttä parantavia korjauksia, on sillä vaikutusta myös ilmavirtoihin ja painesuhteisiin.
- **Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistustyön yhteydessä**: Kanavistojen ja ilmanvaihtokoneiden puhdistusten seurauksena yleensä myös päätelaitteiden asennot ja virtaussäätimien asetukset muuttuvat, minkä vuoksi mittaus- ja säätötyö sekä painesuhteiden varmistaminen on tarpeellista.
- **Sisäilmaongelmatilanteissa**: Sisäilman laatuun liittyvien haasteiden selvittäminen ja ratkaiseminen on yleensä tehokkainta aloittaa varmentamalla ilmanvaihdon toiminta, ilmamäärien riittävyys sekä tilojen painesuhteiden tasapaino.

5.2 Hankkeen osapuolet

Yleisimmät osapuolet ilmavirtojen säätöhankeessa ovat tilaaja (yleensä kiinteistön omistaja tai hallinnoija) sekä urakoitsija. Tapauskohtaisesti mukana voi myös olla erillinen iv-asiantuntija, valvoja tai suunnittelija.

Alla on esitetty hankkeen eri osapuolten vastuut ja tärkeimmät tehtävät hankkeessa:

- **Tilaaja:** (kiinteistön omistaja tai omistajan valtuuttama taho esimerkiksi manageri, isännöitsijä tai kiinteistöpäällikkö tai muu vastaava taho) Vastaa kiinteistön ylläpidosta ja huolehtii, että ilmanvaihtojärjestelmä toimii oikein sekä toimii ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyön tilaajana. Tilaaja tarpeen mukaan käyttää myös ulkopuolista rakennuttajakonsulttia säätötyön hankintaan liittyvissä tehtävissä.
- **Ilmanvaihtourakoitsija:** Vastaa hankkeen toteuttamisesta, suorittaa tarvittavat mitaukset, säädöt ja korjaukset sekä laatii työstä loppudokumentit. Vastaa yleensä myös käyttäjän tiedottamisesta.
- **Ilmanvaihtosuunnittelija/iv-asiantuntija:** Varmistaa, ovatko lähtötiedot säätötyölle riittävät ja tarpeen mukaan päivittää ilmanvaihtosuunnitelmat ja suunnittelee mahdolliset muutokset sekä laatii säätösuunnitelman.
- **Valvoja:** Kun kyseessä on laajempi säätö- ja mittausurakka voi tilaajan olla tarkoituksenmukaista kiinnittää LVI-valvoja valvomaan tilaajan etua ja työn sopimuksenmukaisuutta esimerkiksi työn suorituksen, aikataulun ja kustannusten osalta.
- **Sisäilma-asiantuntija:** Laajemmissa korjaushankkeissa tai sisäilmaongelmien ratkaisemiseksi tehtävien toimenpiteiden yhteydessä tilaaja voi hyödyntää hankkeessa erillistä sisäilma-asiantuntijaa tai rakennusterveysasiantuntijaa. Asiantuntijan tehtävänä on tukea suunnittelijaa ja varmistaa, että suunnitelluilla säätötöillä pystytään vaikuttamaan tutkimuksissa havaittuihin sisäilmaolosuhteita heikentäviin tekijöihin.
- **Kiinteistön käyttäjä:** Tiloissa toimiva käyttäjä, jonka kanssa yhteistyössä suunnitellaan säätötyön toteutus niin, että se haittaa tiloissa toimimista mahdollisimman vähän.

5.3 Säätötyössä tarvittavat dokumentit

Ilmavirtojen ja painesuhteiden säätöön onnistumisen edellytyksenä on, että tuon suorittajalla on riittävän hyvät lähtötiedot työn suorittamista varten. Mikäli kaikkia lähtötietoja ei ole enää saatavilla, tulee riittävät tiedot hankkia lähtötilanneselvityksessä (ks. kohta 5.4 Lähtötilanneselvitys).

Säätötyön suorittamiseen tarvittavia suunnitelmia ja piirustuksia ovat:

- **Ilmanvaihtosuunnitelmat:** Ilmanvaihtojärjestelmän piirustukset ovat tärkeitä, jotta säätötyö voidaan suorittaa oikein. Piirustuksista saadaan tietoa mitoitetuista ilmavirroista, ilmanvaihtojärjestelmän tyypistä ja osista sekä myös sijainneista.
- **Rakennusautomaatioon toimintakaaviot /-selosteet:** Mikäli ilmanvaihtojärjestelmä on varustettu tarpeenmukaisilla- ja/tai tarveohjauksilla, tarvitaan säätötyössä myös aina lisäksi RAU-suunnitelmat. Toimintakaavioissa kerrotaan ilmanvaihdon ohjauksista ja toiminnasta eri tiloissa ja eri tilanteissa.

- **LVI-työselostus:** Työselostukseen on yleensä määritetty mittaus- ja säätötyötä sekä sen dokumentointia koskevia vaatimuksia.
- **Ilmavirtojen mittauspöytäkirjat:** Viimeisimmistä säätöpöytäkirjoista voi käydä ilmi järjestelmän erityispiirteitä tai mahdollisia puutteita. On myös hyvä tiedostaa, että pöytäkirjat voivat olla puutteellisia, ja siksi aikaisempien pöytäkirjojen käyttöä tulee arvioida tapauskohtaisesti ennen niiden hyödyntämistä.
- **Laiteluettelo:** Laiteluettelossa kerrotaan millaisia laitteita ja ilmanvaihtokoneita rakennukseen on suunniteltu.
- **Tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden ja/tai ilmavirtasäätimien tekniset asiakirjat:** Varsinkin vanhemmissa rakennuksissa voi olla jo käytöstä poistuneita laitteita, joiden tekniset asiakirjat ja säätöohjeet ovat hankalasti saatavilla, ja jotka ovat säätötyön onnistumisen kannalta tärkeitä. Laitteiden tekniset asiakirjat on toimitettu rakennuksen luovutusmateriaaleissa ja mikäli ne ovat saatavilla, on ne hyvä toimittaa säätötyötä suorittavalle urakoitsijalle ja varmistaa, että paperimuotoiset asiakirjat tulevat myös palautetuksi ja/tai digitoiduksi. On myös hyvä muistaa, että kohteessa käytetyt laitteet eivät välttämättä aina vastaa ilmanvaihtosuunnitelmissa esitettyjä laitteita.
- **Lähtötilanneselvitys:** Selvitys järjestelmän nykytilanteesta ja mahdollista korjaus-, muutos- tai parannustarpeista (ks. kohta 5.4 Lähtötilanneselvitys).
- **Säätösuunnitelma:** Suunnitelma, jonka mukaan mittaus- ja säätötyö toteutetaan. Suunnitelmassa määritetään ilmavirtojen ja painesuhteiden säätötyön tavoitteet, toteutustapa ja säätötyössä huomioitavat asiat (ks. kohta 5.5 Säätösuunnitelma). Säätösuunnitelma voi myös olla tilaajan yleisempi ohje, johon tarkennetaan kohdekohtaisia asioita.

5.4 Lähtötilanneselvitys

Ilmavirtojen ja painesuhteiden säätötyön lähtötilanneselvitys on hankkeen onnistumisen kannalta erittäin tärkeä vaihe. Sen avulla voidaan määrittää säätötyölle tavoitteet sisäolosuhteiden, energiatehokkuuden ja kestävyuden kannalta. Lähtötilanneselvityksessä kuvataan ilmanvaihtojärjestelmän nykytilanne ja toimivuus sekä määritetään tarvittavat korjaus-, muutos- ja parannustoimenpiteet säätötyön onnistumiseksi. Hyvin tehty lähtötilanneselvitys varmistaa, että säätötyö toteutetaan kustannustehokkaasti ja aikataulussaan, ja että säätötyön aikana syntyvät lisä- ja muutostyöt sekä muut muutokset ovat mahdollisimman vähäisiä. Lähtötilanneselvityksessä hankitut tiedot hyödyttävät myös rakennuksen muuta ylläpitoa ja energiatehokkuuden varmistamista.



Kuva 2. Tärkeä osa lähtötilanneselvitystä on nykyjärjestelmän toimivuuden selvittäminen.

Lähtötilanneselvityksen sisältö riippuu rakennuksen iästä, ilmanvaihtojärjestelmän tyypistä, kunnosta ja asiakkaan tarpeista. Esimerkiksi vakioilmanvaihtojärjestelmät edellyttävät huomattavasti vähemmän lähtötilanneselvityksiä kuin muuttuvilmavirtaiset järjestelmät. Lähtötilanneselvityksessä tehdään yleensä vähintään seuraavat selvitykset sopivalla laajuudella:

- **Ilmanvaihto- ja automaatio suunnitelmien tarkastus:** Suunnitelmat tarjoavat tietoa järjestelmistä, rakenteista ja sijainneista. Tarkastuksessa selvitetään, onko tarvittavat suunnitelmat ja dokumentit olemassa sekä arvioidaan, vastaavatko ilmanvaihdon mitoitukset ja ohjaukset rakennuksen nykyistä käyttöä sekä vaatimuksia. Lisäksi tarkastuksessa otetaan huomioon suunnitelmista ilmenevät säätötyöhön liittyvät riskit, kuten kanaviston toteutus ja päätelaitteiden suojaetäisyydet.
- **Rakennuksen tilamuutokset ja käyttötarkoitukset:** Onko tiloja lisätty, muutettu tai poistettu käytöstä? Onko tilojen käyttötarkoitus vaihtunut?
- **Ilmanvaihto- ja/tai automaatiojärjestelmän toimivuuden tarkastus:** Tarkastuksen tulee sisältää ilmanvaihtoon ja automaatioon liittyviä toimintatestauksia otannalla, ilmanvaihtokoneiden toimivuuden tarkastuksia sekä virtaussäätimien kunnan ja toimivuuden tarkastuksia. Nämä tarkastukset auttavat selvittämään, ovatko laitteet kunnossa ja toimivatko ohjaukset järkevästi ja oikein. Lisäksi tarkastetaan järjestelmän puhdistustarve.
- **Energiätehokkuuden arviointi:** Ilmanvaihtokoneiden aikaohjelmat, käyntinopeudet ja tuloilman lämpötilaohjaukset tarkastetaan ja arvioidaan rakennuksen käytön kannalta. Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä huomioidaan ilmamääräsäätimien toimintatilojen ja ohjausten järkevyys kaikissa eri toimintatiloissa. Ilmanvaihdon lisäksi on erittäin suositeltavaa tarkastaa, että myös muut talotekniset järjestelmät toimivat energiatehokkuuden kannalta optimaalisesti.

- **Korjaustoimenpiteiden määrittäminen:** Mikäli järjestelmässä on korjaus-, muutos- tai parannustarpeita, annetaan ehdotukset korjaustoimenpiteistä. On tärkeää myös eritellä sellaiset toimenpiteet, jotka on tehtävä ennen varsinaista säätötyötä.
- **Rakennuksen ominaisuudet ja ilmatiiveyden arviointi:** Arvioidaan rakennuksen ulkovaipan ja sisätilojen välistä ilmatiiveyttä sekä rakennuksen ominaisuuksia (esim. korkeus, alttius tuulelle) painesuhteiden muodostumisen kannalta. Arvion sekä ilmanvaihtojärjestelmän perusteella määritetään säätötyölle paine-eron tavoitetasot.
- **Käyttäjien tarpeet:** Onko käyttäjillä erityistarpeita, jotka vaikuttavat ilmanvaihtoon? Käyttäjien tarpeiden määrittämisessä voidaan joissain tapauksissa käyttää apuna myös käyttäjäkyselyä.
- **Kustannukset:** Mikä on säätötyön kustannusarvio, kun otetaan huomioon mahdolliset korjaus- ja parannustarpeet huomioiden, ja miten ne vaikuttavat budjettiin?

5.5 Säätösuunnitelma

Säätösuunnitelma määrittää mittaus- ja säätöyön yhteydessä tehtävät toimenpiteet. Suunnitelmassa kerrotaan työn toteuttajalle säätöyön sisältö ja tavoitteet, toteutusmenetelmät ja erityispiirteet. Suunnitelman avulla varmistetaan, että säätötyö tehdään tehokkaasti ja onnistuneesti. Suunnitelmassa on myös tärkeää ottaa huomioon rakennuksen eri tilojen ja osien painesuhteet sekä määrittää niille tavoitetasot. Mittaus- ja säätöyön yhteydessä on yleensä järkevää ajantasaistaa rakennuksen IV-suunnitelmat. Suunnitelman laatimisen yhteydessä päätetään tapauskohtaisesti, päivitetäänkö suunnitelmat lähtötilanneselvityksen jälkeen vai mittaus- ja säätöyön loppudokumentoinnin laadinnan yhteydessä, ja voidaanko ne osittain tai kokonaan antaa mittaus- ja säätöurakoitsijan tehtäväksi. Säätösuunnitelmassa määritetään vähintään seuraavat asiat:

- **Mittaus- ja säätöyön tavoitteet:** Tässä kohdassa määritetään, millaisia tuloksia säätötyöllä halutaan saavuttaa rakennuksen sisäolosuhteiden, energiatehokkuuden ja kestävyuden kannalta.
- **Ilmavirtojen säätö:** Ilmavirrat ja päätelaitteiden ilma-asetukset (puhalluskuviot) määritetään joko suunnitelmien mukaan tai niistä poiketen. Määritetään myös säätötapa (esimerkiksi suhteellinen säätötapa).
- **Painesuhteiden säätö:** Painesuhteiden tavoitetasot määritetään ulkoilmaan ja eri rakennusosiin nähden.
- **Ilmanvaihtolaitteiden erityispiirteet ja säätötyöhön vaikuttavat tekijät:** Mitä erityispiirteitä ilmanvaihtolaitteissa on ja miten ne vaikuttavat säätötyöhön.
- **Mittalaitteet:** Käytettävien mittalaitteiden vaatimukset.
- **Ilmavirtojen ja painesuhteiden seuranta:** Jos rakennukseen jää mittauksia säätöyön jälkeen, suunnitellaan niiden lajit, paikat ja yhdistäminen olemassa oleviin järjestelmiin.
- **Järjestelmien muut korjaus-, muutos- tai parannustoimenpiteet:** Mittaus- ja säätöyön lisäksi tehtävät toimenpiteet, kuten ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus tai energiatehokkuuden parantamiseen liittyvät muutostyöt.
- **Vaaditut loppudokumentit:** Mitä loppudokumentteja urakoitsija tuottaa mittaus- ja säätötyöstä.

- **Mahdolliset rajaukset työn suorittamiselle:** Missä olosuhteissa säätötyö tulee suorittaa ja miten ulkoilmaolosuhteet vaikuttavat säätötyöhön.

5.6 Mittaus- ja säätötyön hankinta

Ilmavirtojen mittaus- ja säätötyön hankinnan tavoitteena on löytää teknisesti, laadullisesti ja taloudellisesti parhaiten tilaajan tavoitteita palveleva toteuttaja. Hankinta tehdään useimmiten kilpailuttamalla mittaus- ja säätötyön suoritus usealla eri toimijalla, ja usein tilaajan on järkevää kilpailuttaa useampi kohde samalla kertaa, mikäli se on kokonaistilanne huomioiden mahdollista. Hankintamenettelyyn vaikuttaa olennaisesti se, onko kyseessä julkinen hankinta. Tässä oppaassa ei käsitellä julkisen hankinnan (Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista 1397/2016) erityispiirteitä, mutta ne tulee ottaa huomioon, mikäli työn hankinta luetaan julkisten hankintojen piiriin.

Hankintaa valmisteltaessa, tilaajan kannattaa kiinnittää huomioita erityisesti seuraaviin asioihin:

- **Hankintamenettelyn ja valintaperusteiden määrittäminen.** Pelkkä hintakilpailu ei aina takaa tilaajalle kokonaistaloudellisesti parasta mahdollista lopputulosta. Hankintalainsäädäntö ja organisaatioiden sisäiset hankintaohjeet ohjaavat luonnollisesti käytettävissä olevia hankintamenettelyitä ja valintaperusteita.
- **Työn sisällön ja laajuuden kuvaus ja riittävät lähtötiedot.** Säätötyösuunnitelman sisältö on kuvattu oppaassa kohdassa 5.5.
- **Toimijan laadun, osaamisen ja kokemuksen varmistaminen**
Mittaus- ja säätötyön suorittaminen Suomessa ei edellytä pakollisia pätevyysvaatimuksia. Tarjoajilta kannattaa edellyttää esimerkiksi referenssejä vastaavista kohteista, riittävän pitkää työkokemusta mittaus- ja säätötyöstä, tai että mittaaajalla on suoritettuna esimerkiksi SuLVI ry:n IV-mittaaajan pätevyyskoulutus tai vastaava pätevyyskoulutus.
- **Tarjouksen sisällön määrittäminen:** Tarjouspyynnössä tulee esittää riittävän tarkasti asiat, jotka tarjoajan tulee esittää tarjouksessaan, jotta tarjoukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Suositeltavaa on pyytää tarjoajia esittämään hintatietojen lisäksi esimerkiksi arvio työn kestosta, työn suorittaja sekä vaaditut dokumentit laadun, osaamisen ja kokemuksen varmistamisesta.

Hankinta on hyvä antaa osaavan ammattilaisen tehtäväksi, mikäli tilaajaorganisaatiossa ei ole riittävää osaamista mittaus- ja säätötyön hankinnan tekemisestä.

5.7 Säätötyön suorittaminen ja dokumentointi

Mittaustulosten epävarmuus

Ilmanvaihtolaitteiden ja ilmavirtojen mittauksissa on aina olemassa mittausepävarmuutta, joka on tärkeää tiedostaa. Mittausepävarmuus on monien eri tekijöiden summa ja korostuu erityisesti pienillä paine-eroilla, jolloin suhteellinen mittausepävarmuus voi nousta jopa 50 % luokkaan. Ilmavirtamittauksissa mittausepävarmuus on yleisesti tasolla noin 10 % ±5 %. Ilmamääräsäätimien ja ilmanvaihtopäätelaitteiden mittausepävarmuus on ilmoitettu laitevalmistajan

teknisessä dokumentaatiossa, ja se vaihtelee yleisesti laitemallista tai asennuksesta riippuen välillä 2–20 %.

Mittaustuloksen epävarmuutta käsitellään yksityiskohtaisemmin Taltekan vuonna 2023 julkaisemassa ohjeessa *Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus* sekä standardissa SFS-EN 12599.

Ilmavirtojen mittaus- ja säätötyö

Mittaus- ja säätötyö on yleensä vaiheittain etenevä prosessi, joka voidaan toteuttaa usealla eri tavalla ja useissa eri vaiheissa, kohteen ominaisuuksien mukaan.

Säätötyön onnistumisen kannalta on tärkeää kiinnittää erityistä huomiota mittausolosuhteisiin. Uusissa kohteissa on varmistettava, että kaikki rakennus- ja talotekniset työt ovat valmiita ja toimintatestattuja, eikä rakennuksessa ole juuri muuta toimintaa. Esimerkiksi ikkunoiden ja ulkoovien auki pitäminen tai jatkuva aukominen voi vaikeuttaa säätötyön onnistumista. Käytössä olevissa vanhemmissa rakennuksissa käyttäjille on hyvä antaa ohjeita esimerkiksi ikkunoiden ja ovien käytöstä sekä tiedottaa säätötyön aiheuttamasta häiriöstä. Lisäksi on tärkeää varmistaa etukäteen ilmanvaihdon ja rakennusautomaation toiminta mittaus- ja säätöajankohtana. Työvaiheet voivat siis vaihdella huomattavasti kohteiden monimuotoisuuden vuoksi, minkä vuoksi on erittäin tärkeää laatia kohdekohtainen säätösuunnitelma.

Mittaus- ja säätötyön vaiheistus tulee määrittää kohdekohtaisesti tehtävien toimenpiteiden mukaisesti. Esimerkiksi, jos hankkeeseen sisältyy ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus, sen on oltava valmiina ennen säätötöiden aloittamista. Seuraavassa on esimerkki mittaus- ja säätötyön suorittamisen etenemisestä:

1. **Kohteeseen tutustuminen ja säätötyön valmistelu:** Työn suorittajalle toimitetaan ennen kohdekäyntiä kaikki työn suorittamiseen liittyvät lähtötiedot. Kohdekäynnillä työn toteuttaja tutustuu kohteeseen, minkä perusteella toteuttaja suunnittelee mittaus- ja säätötyön suorittamisen.
2. **Aloituskokous:** Sovitaan työn yksityiskohdista, vastuista ja tiedottamisesta. Voidaan usein myös tehdä samalla kertaa, kun kohteeseen tutustutaan.
3. **Tiedottaminen:** Käyttäjää tiedotetaan työn suorittamisen ajankohdasta ja kestosta, sekä mahdollisista häiriöistä ja vaikutuksesta käyttäjän omaan toimintaan. Tiedottaminen tehdään hyvissä ajoin ennen työn aloittamista ja sen aikana. Tiedottamisen kanavat ja menetelmät sovitaan yhdessä käyttäjän kanssa.
4. **Ennen säätöä tehtävät puhdistus-, korjaus-, muutos- tai parannustyöt:** Mittaus- ja säätötyön aloittamista edeltävät muut työt ovat tehtynä kokonaan.
5. **Järjestelmän esisäätö sekä alue- ja iv-konekohtaisten kokonaisilmavirtojen säätö:** Esisäätötoimenpiteet lyhentävät säätötyön läpimenoaikaa ja ovat erityisen tärkeitä varsinkin vanhoissa rakennuksissa. Muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä on varmistettava ilmanvaihdon suunnitelmien mukainen toiminta ja ilmavirtojen tasapaino kaikissa eri toimintatiloissa. Jos ilmavirtasäätimen (IMS) asennuksen suojaetäisyys ei täyty tai asennus aiheuttaa suurta mittausepävarmuutta, mittauksen oikeellisuus on tarkastettava myös kanavamittauksin.
6. **Tilakohtaisten tulo- ja poistoilmavirtojen säätö:** Tila- ja aluekohtaiset tulo- ja poistoilmamäärät säädetään säätösuunnitelmassa määritellyllä tavalla. Säätötavat ja -menetelmät voivat poiketa hyvinkin paljon toisistaan kohteen sekä järjestelmän ominaisuuksien

takia. Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä on huolehdittava suunnitelmien mukaisesta toiminnasta ja tasapainosta kaikissa toimintatiloissa (esimerkiksi toimintatilat poissa-käyttö-tehostus). Jos ilmavirtasäätimen (IMS) asennuksen suojaetäisyys ei täyty tai lisää mittausepävarmuutta, mittauksen oikeellisuus on varmistettava myös pääte-laitteilta.

7. **Painesuhteiden tarkastus ja hienosäätö:** Ilmavirtamittauksissa tai ilmavirtasäätimissä esiintyvän mittausepävarmuuden takia, on painesuhteet hyvä tarkastaa säätötyön jäl-keen ja hienosäätää säätösuunnitelmassa määritetyille tavoitetasolle. Painesuhteiden hienosäätämistä tarkastellaan lisää seuraavissa kappaleissa.
8. **Dokumentointi:** Mittaus- ja säätötyöstä laaditaan mittauspöytäkirja sekä muut sää-tösuunnitelmassa määritetyt dokumentit.

Ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyötä käsitellään yksityiskohtaisesti oppaassa *Ilmavirtojen mit-taus ja tasapainotus* (Taltega, 2023).”

Painesuhteiden hienosäätäminen

Tilakohtaisten ilmavirtojen säätämisen jälkeen on hyvä tehdä painesuhteiden hienosäätö, joka on erityisen tärkeää hyvin ilmatiiviissä rakennuksissa. Esimerkiksi normaalista mittausepävar-muudesta johtuva pienikin tulo- ja poistoilmavirtojen ero voi aiheuttaa suuren paine-eron ra-kennuksen vaipan yli tai tilojen välillä.

Painesuhteiden hienosäädön vaativuus voidaan luokitella seuraavasti kohteen ominaisuuksien perusteella seuraavasti:

- **Helpot kohteet:** Kohteet, joissa on yksinkertainen vakioilmavirtajärjestelmä ja ilman-vaihtokoneiden sekä erillispoistopuhaltimien määrä on vähäinen
- **Vaativat kohteet:** Kohteet, joissa on suuret mitoitusilmavirrat ja tehostusohjauksia, useita ilmanvaihtokoneita ja erillispoistopuhaltimia (esimerkiksi yli 10 kpl), useampi kerros ja/tai rakennusosa.
- **Erittäin vaativat kohteet:** Kohteet, joissa on suuret mitoitusilmamäärät ja muuttuvil-mavirtainen järjestelmä, huomattava määrä ilmanvaihtokoneita ja erillispoistoja, useita kerroksia ja rakennusosia. Säätötyön valmistelu ja suunnittelu hyvä aloittaa riit-tävän ajoissa, esimerkiksi jopa 6 kk etukäteen.

On huomioitava, että paine-erojen tarkka hienosäätö ei ole aina mahdollistaärkevin resurssein, varsinkin vanhoissa rakennuksissa, joissa ilmanvaihtokoneiden tehoasetuksiin tai paine-eroihin ei voi vaikuttaa helposti. Siksi on otettava huomioon kohdekohtaiset ominaisuudet ja määritel-tävä säätösuunnitelmassa paine-eron tavoitetasot niiden mukaan.

Dokumentointi

Ennen työn hyväksymistä on tärkeää tarkastaa, että säätötyö on dokumentoitu säätösuunnitel-massa ja tarjouspyyntöasiakirjoissa määritetyn mukaan ja riittävän tarkasti. Loppudokumenttien tulisi sisältää vähintään ilmavirtojen mittauspöytäkirjan ja ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus-pöytäkirjan, mikäli samassa yhteydessä on tehty järjestelmän puhdistustöitä, kuten usein teh-dään. Lisäksi loppudokumenttien tulee sisältää muut asiakirjat havaituista puutteista, poik-keamat säätösuunnitelmasta perusteluineen sekä tiedot tehdyistä korjauksista tai muutoksista.

On suositeltavaa tarkastaa ja hyväksyä urakoitsijan käyttämä pöytäkirjapohja ennen säätötyön aloittamista. Mittauspöytäkirjassa esitettäviin tietoihin vaikuttavat kohteen ominaisuudet ja käytössä oleva järjestelmä, mutta siinä tulee olla aina esitettynä vähintään seuraavat asiat:

Pakolliset tiedot

- **Kohteen tunnistetiedot ja mittausajankohta:** Kohteen osoitetiedot ja päivämäärä, milloin mittaukset ja säädöt on suoritettu.
- **Urakoitsijan ja mittaaajien tiedot:** Mittauksen suorittanut yritys ja yhteystiedot, mittauksen suorittaneiden henkilöiden nimet sekä mahdolliset pätevyudet.
- **Mittalaitteiden tiedot ja kalibrointitodistus:** Käytettyjen mittalaitteiden valmistaja ja malli sekä liitteeksi mittalaitteiden kalibrointitodistukset.
- **Ulkoilmaolosuhteet:** Ulkoilman lämpötila mittaushetkellä ja lisäksi poikkeavat ulkoilmaolosuhteet (esimerkiksi kova tuuli).
- **Mittaustavat:** Säätötyössä käytetyt mittausmenetelmät, kuten paine-ero tai pitot tai kuormalanka tai siipipyörä-anemometri.
- **Ilmanvaihtokoneiden tehoasetukset, käyntitiedot ja suodatinpaineet:** Ilmanvaihtokoneiden käyntitehot mittausajankohtana, kuten Hz, kammio- tai kanavapaine (Pa), ilmamäärä, tehoprocentti (%), ja käyntiasetus (1/1 ja/tai 1/2-nopeus) on kirjattava. Suodatinpaineet on merkittävä pöytäkirjaan sekä 1- että 2-nopeuskoneissa. Urakoitsijan on myös hyvä tulostaa tarra ilmanvaihtokoneisiin, jossa on tehoasetukset.
- **Tila- ja kerrosnumerot:** Mittauspaikan kohdistustiedot. Mittauspaikat tulee esittää ilmanvaihtokonekohtaisesti tilanumerojärjestyksessä, joko laskevasti tai nousevasti.
- **Mittauspistettä palveleva ilmanvaihtokone:** Ilmanvaihtokone, joka palvelee mittauspaikan aluetta.
- Tulo- ja poistoilmapäätelaitteiden tiedot: Päätelaitteen malli ja koko.
- **Mittaustiedot:** Aina mittausmenetelmän tai -paikan mukaan, joko mitattu paine-ero (Pa) tai ilmannopeus (m/s) tai ilmamäärä (l/s) ja kanavan koko sekä laitteen k-arvo tai avausasetus.
- **Suunniteltu ja mitattu kokonaisilmamäärä:** Kokonaisilmamäärät ilmanvaihtokonekohtaisesti mitoitus- ja osatehotilanteessa.
- **Suunniteltu ja mitattu tulo- ja poistoilmamäärä:** Mittauspisteiden tulo- ja poistoilmamäärät ja lisäksi säädön referenssiventtiilit.
- Suunnitellun ja mitatun ilmavirran ero: Mitattujen ilmavirtojen ero (%).
- **Ilmavirtasäätimet, säätöpellit ja vakiovirtaussäätimet:** Ilmamääräsäätimiin (IMS) ohjelmoidut asetukset tai automaatioon asetetut asetusarvot kaikissa säätimen eri toimintatiloissa. Vakioilmavirtasäätimien asetukset ja säätöpeltien asennot sekä ilmamäärätiedot. IMS-laitteista vähintään: laitekoodi tai pistetunnus tai huonenumero, valmistaja ja laitemalli, koko (mm), säätöasento, aseteltu minimi- ja maksimi-ilmavirta (l/s), suunniteltu minimi- ja maksimi-ilmavirta (l/s) sekä poikkeama suunnitteluarvosta (%).

Mahdolliset lisätiedot

- **Hetkellisen paine-eromittaukset:** Hetkelliset paine-eromittaukset ulkoilman ja sisäilman välillä tai rakennuksen sisätilojen välillä, sekä tieto siitä, mistä tilasta mihin suuntaan mittausta on suoritettu. Muuttuvilmavirtaisissa järjestelmissä tarkasteluja tulisi suorittaa riittävän laajasti ilmanvaihdon eri toimintatiloissa ja dokumentoida eri toimintatilojen tuottamat paine-erot.
- **Säätötyötä koskevat havainnot ja puutteet:** Säätötyön yhteydessä havaitut puutteet, jotka ovat vaikuttaneet säätötyöhön tai vaikuttavat ilmanvaihdon toimintaan tai sisäilman laatuun, esim. järjestelmästä havaitut teollisten mineraalikuitujen lähteet.

Lisätietoja dokumentoinnista löytyy seuraavista oppaista ja ohjeista:

- Ilmavirtojen mittausta ja tasapainotusta (Taltega, 2023)
- Tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän ohje (Helsingin kaupunki, 2022)

5.8 Laadunvarmistus

Laadunvarmistus on olennainen osa säätötyöhankkeen loppuvaihetta. Se varmistaa, että hankkeelle asetetut tavoitteet saavutetaan. Laadunvarmistuksessa kannattaa hyödyntää ilmanvaihdon mittaus- ja säätötyön hyvin tuntevaa asiantuntijaa tai hankkeen valvojaa, mikäli tällä on riittävä osaaminen. Säättöurakoitsijalta edellytetään aina oman työnsä laadunvalvontaa, ja urakoitsijaa voi käyttää vähintään osittain apuna myös esimerkiksi tarkastusmittausten tekijänä.

Mikäli mittaus- ja säätötyön yhteydessä on suoritettu ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus, on puhdistuksen onnistuminen ja sen riittävä dokumentointi tärkeää tarkastaa ennen säätötöiden aloittamista. Hyvässä puhdistuspöytäkirjassa on esimerkiksi esitetty kohteen tiedot, työn suorittaja, ajankohta, puhdistustoimenpiteet ja niiden laajuus, työmenetelmät, havaitut puutteet ja tehdyt korjaukset, ennen ja jälkeen -valokuvat sekä pohjakuvaan merkitty valokuvan kuvauspaikka.

Erillisen laadunvarmistuksen tarve ja sisältö riippuvat merkittävästi kohteen vaativuudesta säätötyön näkökulmasta. Yksinkertaisissa kohteissa erillistä laadunvarmistusta ei yleensä tarvita, jos mittaus- ja säätötyö on tehty ja dokumentoitu tämän oppaan mukaisesti. Vaativammassa järjestelmissä mittaus- ja säätötyön laadunvarmistukseen on suositeltavaa sisällyttää vähintään:

- Ilmavirtojen säätötyön laadun tarkastaminen pistokoeluontoisella tarkastusmittauksilla.
- Painesuhteiden tarkastaminen jatkuvatoimisten seurantamittausten avulla.
- Dokumentoinnin laadun ja laajuuden tarkastaminen.

Mikäli hankkeen yhteydessä tehdään ilmanvaihtoon liittyviä muutoksia automaatioon tai ilmanvaihtokoneiden ohjauksiin, on järkevää sisällyttää myös näiden muutosten tarkastus laadunvarmistukseen. Energiankulutuksen seuranta säätötyön jälkeen on myös tärkeä osa ilmanvaihdon optimointia. Kulutusseurannalla voidaan varmistaa, että säätötyö on tuottanut halutut tulokset ja että ilmanvaihto toimii tehokkaasti ja taloudellisesti. Seurannasta ja sen toteuttamisesta kerrotaan lisää kohdassa 6.

Laadunvarmistuksessa kiinnitetään huomiota seuraaviin asioihin:

- **Säätötyön tulosten arviointi:**
 - Onko säätötyö saavuttanut tavoitteensa
 - Onko säätötyö suoritettu sovitusti ja suunnitelmien mukaisesti
- **Rakennuksen painesuhteiden hallinta:**
 - Ovatko painesuhteet säätösuunnitelmassa määritetyllä tavoitetasolla
- **Ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuus:**
 - Onko säätötyö toteutettu energiatehokkaasti (onko vältetty järjestelmän turhaa kuristamista, joka johtaa korkeampaan painetasoon ja kasvaneeseen energiankulutukseen)
 - Ovatko säätöpaineet oikealla tasolla (esimerkiksi ilmanvaihtokoneiden kanava- tai kammiopaineet, ilmavirtasäätimien (IMS) toiminta minimi- ja tehostustilanteessa)
- **Dokumentointi:**
 - Onko säätötyö ja korjaukset dokumentoitu riittävällä laajuudella ja loppudokumentit toimitettu tilaajalle.

Laadunvarmistusmittaukset ja -tarkastukset tulee myös dokumentoida riittävällä laajuudella ja laadunvarmistusraportti tallentaa osaksi mittaus- ja säätötyön loppudokumentointia.

6.1 Yleistä

Ilmanvaihdon ilmavirroilla ja rakennukseen muodostuvilla painesuhteilla on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen (ks. kohta 4) sekä sisäolosuhteisiin (ks. kohta 3). Ilmavirtojen ja rakennuksen painesuhteiden seuranta voidaan jakaa kahteen menetelmään:

- **Jatkuva seuranta**, joka edellyttää rakennusautomaatioon tai erilliseen järjestelmään liitettyjä paine-eromittauksia. Ilmanvaihtojärjestelmän ja rakennuksen painesuhteiden tietojen ohella tietoa on suositeltavaa kerätä myös tilojen sisäilman olosuhteista.
- **Hetkellinen seuranta**, jossa hyödynnetään määrävälein tai tarpeen mukaan suoritettavia hetkellisiä tai määrämittäisiä seurantajaksoja, joiden aikana tietoa kerätään oleellisista pisteistä tilojen ja ilmanvaihtojärjestelmän erilaiset käyttötilanteet huomioiden.

Rakennuksen painesuhteiden ja sisäilman olosuhteiden seurantaan liittyy oleellisesti myös ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan valvonta. Rakennusautomaatiojärjestelmä valvoo ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa siihen ohjelmoitujen hälytystoimintojen avulla. Etäyhteyden avulla paikallinen rakennusautomaatiojärjestelmä voidaan liittää keskitettyyn valvomoon tai pilvivalvomoon, jotka tarjoavat lisämahdollisuuksia ja tehokkuutta valvontaan. Suositeltavaa on myös ilmanvaihtojärjestelmän määräaikaisten katsastukset, joihin liittyvistä menettelyistä ja sisällöstä Ympäristöministeriö on 2022 julkaissut kattavan oppaan: Ilmanvaihdon katsastusopas.

Pitkällä aikavälillä tapahtuvia muutoksia rakennuksen painesuhteissa on käytännössä mahdollista tunnistaa rakennustason energiamittausten avulla, minkä takia pelkkä energiankulutuksen mittaaminen ei ole ilmanvaihdon energiatehokkuuden sekä sisäolosuhteiden optimoinnin tai mahdollisten ongelmatilanteiden havaitsemisen kannalta riittävää, vaan sen lisäksi on suositeltavaa mitata myös ilmavirtoja ja rakennuksen painesuhteita.

Rakennukset ja niiden järjestelmät on tehty ensisijaisesti palvelemaan rakennusten käyttäjien tarvetta. Tämän takia kannattaa myös käyttäjien palautetta tilojen olosuhteista kerätä säännöllisesti niin lämmitys- kuin jäähdytyskaudellakin.

6.2 Jatkuva seuranta

Rakennusautomaatiojärjestelmä

Uudisrakentamisen ja peruskorjaushankkeiden yhteydessä on suositeltavaa varustaa kiinteistö jatkuvatoimisilla rakennusautomaatiojärjestelmään kytketyillä paine-eromittauksilla. Mikäli mittaukset toteutetaan erillisenä hankkeena, edullisemmaksi vaihtoehdoksi saattaa muodostua erillinen langaton järjestelmä. Mittausten avulla voidaan valvoa rakennuksen painesuhteiden pysyvyyttä ja niitä voidaan hyödyntää myös ilmavirtoja säädettäessä (tulo- ja poistoilmavirtojen tasapainotus).

Riittävän laajan mittausjärjestelmän toteutuksessa mittauspisteiden sijoituksessa huomioitavia seikkoja:

- Mittaus useammalta kuin yhdeltä julkisivulta vähentää tuuliolosuhteista aiheutuvia virhetulkintoja.
- Mittaus eri kerroksista paljastaa termisestä paine-erosta aiheutuvat ongelmatilanteet.
- Mittaus eri ilmanvaihtokoneiden palvelualueilta kertoo yksittäisten koneiden ja kanavistojen ongelmista.

Seurannan helpottamiseksi jatkuvatoimisille mittauksille on suositeltavaa asettaa rakennusautomaatioon hälytysrajat, jolloin kiinteistön huolto-organisaatiolle saadaan automaattisesti tieto mahdollisesta viasta. Hälytysparametreihin on syytä ohjelmoida viive, jonka arvon tulee olla riittävän pitkä (useita tunteja), jotta tuulenpaineen vaihtelu ei laukaise hälytystä aiheuttomasti. Hälytystoiminnallisuuksille rajoituksia asettavaa ainoastaan mittausjärjestelmän toteutus: Yksinkertaisimmillaan seurataan rakennuksen keskimääräistä paine-eroa ulkoilmaan verrattuna. Monipuolisempien, laajempien toteutusten avulla on mahdollista havaita poikkeamia ilmastointikoneissa, kanavistossa tai huonetiloissa. Optimaalinen mittausjärjestelmän rakenne ja laajuus on kuitenkin aina syytä määrittää tapauskohtaisesti kohteen ominaispiirteet huomioiden.

Erilliset järjestelmät

Rakennusautomaatiosta erillään olevat rakennuksen painesuhteita valvovat järjestelmät hyödyntävät yleensä langattomia joko erilliseen lähettimeen tai suoraan pilveen yhteydessä olevia antureita. Samalla järjestelmällä kerätään usein laajasti tietoa painesuhteiden lisäksi myös sisäilman lämpötilasta, kosteudesta sekä hiilidioksidi- ja hiukkaspitoisuuksista. Yksittäisten antureiden hetkellisiä mittautietoja saattaa olla mahdollista tarkastella näytöllä varustetuilta anturilta, mutta tyypillisesti langattomien anturien mittautiedot koostetaan tallennusta, visualisointia ja analysointia varten verkossa toimivaan sovellukseen, jonka käyttö on tietokoneen lisäksi mahdollista mobiililaitteilla.

Langaton mittausjärjestelmä on usein hankintakustannuksiltaan langallista edullisempi, mutta järjestelmien elinkaarikustannuksia vertailtaessa on otettava huomioon palveluun liittyvä ylläpitomaksu. Järjestelmän kustannusrakenteen erojen lisäksi rakennusautomaatiosta irrallinen mittausjärjestelmä ei itsessään mahdollista kerätyn mittautiedon välitöntä käyttöä kiinteistön taloteknisten järjestelmien, kuten lämmityksen ja ilmanvaihdon ohjauksessa. Ohjauskäskyn siirtämiseksi erillisestä järjestelmästä rakennusautomaatiojärjestelmään on kuitenkin olemassa useita erilaisia toteutusvaihtoehtoja.



Kuva 3. Esimerkkejä paine-eron mittalaitteista.

6.3 Hetkellinen seuranta

Jos kiinteistöä ei ole varustettu jatkuvasti mittaustietoa rakennuksen painesuhteista keräävällä järjestelmällä, on painesuhteiden hetkellinen mittaus suositeltavaa suorittaa systemaattisesti määräajoin. Sopiva seurantaväli on syytä määrittää kiinteistön käyttötarkoituksen ja yksilöllisten tarpeiden mukaan, lisäksi painesuhteet on syytä mitata aina ilmanvaihtojärjestelmän säädön, vaipan tiivistyskorjausten, sekä merkittävien tilamuutosten yhteydessä, koska näiden toimenpiteiden jäljiltä rakennuksen painesuhteet eivät välttämättä asetu itsestään toivottuun tasoon.

Suosittelava yhtäjaksoinen pituus hetkellisen mittausjakson kestoksi on kaksi viikkoa, koska tällöin paine-eromittauksella saadaan tietoa rakennuksessa erilaisissa käyttötilanteissa (arki- ja viikonloppukäyttö) ja sääolosuhteissa vallitsevista paine-eroista, joita voidaan tarvittaessa mittausjakson aikana ja jälkeen muokata tekemällä ilmanvaihtojärjestelmään pieniä säätöjä. Mittauksista voidaan myös todeta säädön onnistuminen ja paine-erojen pysyvyys.

Kuten jatkuvaa seuranta suorittavien järjestelmien toteutuksessa, myös hetkellisten mitausten suorituksessa on syytä kiinnittää huomiota selvityksen kannalla riittävän laajaan ja edustavaan otantaan. Mittausprojektin suunnittelu on tärkeää, koska tunnistamalla ennakolta rakennuksen painesuhteiden ja niihin vaikuttavien tekijöiden, kuten ilmanvaihtojärjestelmän heikkoja kohtia, on hetkellisistä mittauksista joustavuutensa vuoksi mahdollista saada jopa enemmän hyötyä kuin kiinteästi asennetuista jatkuvista mittauksista.

Seurannan vastuuttaminen ja rakennuksen painesuhteisiin liittyvien tavoitteiden asettaminen on tärkeää prosessin toiminnan kannalta. Vastuun jakamisessa oleellinen merkitys on seurannan toteutustavalla:

- Rakennusautomaatioon liitetyn järjestelmän tuottamiin hälytyksiin reagointi on usein luontevaa vastuuttaa kiinteistöhuollolle, jonka tehtäviin rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjen taloteknisten järjestelmien käyttö- ja huoltotehtävätkin yleensä kuuluvat. Hälytystoiminnot ovat kuitenkin omiaan vain saavutetun tason säilyttämisessä ja toimivat vain juuri niin hyvin kuin ne on ohjelmoitu. Tästä syystä rakennuksen painesuhteiden laajempi analysointi on suositeltavaa suorittaa ajoittain myös asiantuntijan toimesta, joka osaa huomioida rakennuksen kokonaisuutena.
- Erillisten jatkuvaan seurantaan suunniteltujen järjestelmien mukana kuvaan astuu yleensä myös palveluntuottaja, jolla usein on paras tietotaito sekä taloudellinen intressi toimivan seurantajärjestelmän ja siihen liittyvien prosessien ylläpitämisessä.
- Hetkellisiin mittauksiin perustuvan seurannan vastuut jakautuvat yleensä usealle osapuolelle: Tilaaja/manageri, jonka tehtävä on huolehtia rakennuksen suunnitelmallisesta ja pitkäjänteisestä ylläpidosta, tilaa suunnitelman mukaiset katselmukset ja mitaukset usein erilliseltä asiantuntijalta.

Ilmanvaihdon ilmavirroilla sekä rakennuksen painesuhteilla on merkittävä vaikutus rakennuksen sisäolosuhteisiin sekä energiankulutukseen. Tasapainossa oleva ja riittävät sekä rakennuksen käyttöä vastaavat ilmamäärät tuottava ilmanvaihtojärjestelmä on perusedellytys hyvien sisäilmaolosuhteiden ja energiatehokkuuden saavuttamiselle.

Oppaassa on suositeltu ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus- ja säätötyön suorittamista vähintään kymmenen vuoden välein riippumatta järjestelmän tyyppistä tai käyttötavasta. Ilmavirtojen ja järjestelmän puhdistustarpeen tarkastus on suositeltavaa suorittaa vähintään viiden vuoden välein. Muita tilanteita, joissa ilmavirtojen ja painesuhteiden säätötyö on tarpeen, ovat mm. sisäilmaongelmatilanteissa, tilamuutosten tai käyttötarkoituksen muutosten yhteydessä, rakenteiden tiivistämisen yhteydessä, sekä ilmanvaihtojärjestelmän puhdistustyön yhteydessä.

Ennen ilmavirtojen säätötyön toteuttamista on hyvä myös tarkastaa, käytetäänkö ilmanvaihtoa rakennuksen käyttöä vastaavasti ja toimiiko rakennuksen talotekniikka muiltakin osin optimaalisesti ja energiatehokkaasti. Ennen mittaus- ja säätötyön aloittamista on syytä suorittaa riittävän kattava lähtötilanneselvitys, jossa selvitetään ilmanvaihdon ja muun talotekniikan toimivuus nykytilanteessa sekä määritetään järjestelmiin mahdollisesti tarvittavat korjaus- tai muutostoimenpiteet. Lähtötilanneselvityksen perusteella laaditaan säätösuunnitelma, jonka perusteella mittaus- ja säätötyö suoritetaan ja dokumentoidaan.

Ilmavirtojen mittaus- ja säätötyön hankinnan tavoitteena on löytää teknisesti, laadullisesti ja taloudellisesti parhaiten tilaajan tavoitteita palveleva toteuttaja. Hankinnassa tulee kiinnittää erityistä huomioita hankintamenettelyn ja vertailuperusteiden määrittämiseen, työn sisällön, tavoitteiden ja laajuuden määrittämiseen, toimijan osaamisen ja toimituskyvyn varmistamiseen sekä tarjouspyynnön sisällön määrittämiseen niin, että tilaaja saa vertailukelpoisia tarjouksia. Jos kiinteistönomistajalla on useita hallinnoitavia kohteita, on usein järkevää kilpailuttaa useampia kohteita kerralla. Tällöin on tärkeää varmistaa, että lähtötilanneselvitykset on tehty ja kohdekohtaisissa säätösuunnitelmissa on huomioitu kunkin kohteen ominaispiirteet.

Mittaus- ja säätötyön suorittamisessa on itse työn toteuttamisen lisäksi tärkeää suunnitella työn toteutus etukäteen, tiedottaa käyttäjiä ja laatia säätösuunnitelmassa sekä tarjouspyyntöasiakirjoissa edellytetty loppudokumentointi. Tilakohtaisten ilmavirtojen lisäksi on tärkeää tasapainottaa rakennuksen painesuhteet. Painesuhteiden tasapainottaminen vaatii eniten osaamista ja aikaa monimutkaisemmissa rakennuksissa ja järjestelmissä, joissa on suuret mitoitusilmamäärät, paljon ilmanvaihtokoneita ja muuttuvailmavirtainen järjestelmä. Palvelurakennuksissa, joissa ei ole poikkeavaa sisäilman kosteuslisää, tulee paine-erot säätää mahdollisimman lähelle tasapainoa. Paine-erojen tavoitetasot tulee kuitenkin määrittää säätösuunnitelmassa rakennuksen ominaispiirteet, käyttö ja ilmanvaihtojärjestelmä huomioiden.

Rakennuksen ilmavirtoja ja painesuhteita seurataan nykyään enenevässä määrin. Seuranta voidaan tehdä jatkuvalla seurannalla tai määrävälillä tehtävällä hetkellisellä seurannalla. Uudisrakentamisen ja peruskorjaushankkeiden yhteydessä on suositeltavaa varustaa kiinteistö jatkuvatoimisilla rakennusautomaatiojärjestelmään kytketyillä paine-eromittauksilla. Itse mittauksen järjestämisen lisäksi on tärkeää vastuuttaa mittauksen seuraaminen ja niihin reagoiminen.

Palvelurakennuksen mittaus- ja säätötyö on parasta toteuttaa vaiheittain, joskin yksinkertaisimmissa kohteissa tiettyjä vaiheita voi selkeästi yhdistää toisiinsa. Alla on kuvattu mittaus- ja säätötyön suorittamisen eteneminen vaiheittain lähtötilanneselvityksestä laadunvarmistukseen ja käytönaikaiseen seurantaan.



Kuva 4. Mittaus- ja säätötyön eteneminen vaiheittain.

Energiatehokkuusdirektiivi 2023/1791, EU, 2023

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutos (2018/44/EU)

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (2010/31/EU)

Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennusten teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista, Ympäristöministeriö, 2020

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017, Ympäristöministeriö, 2017

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, Ympäristöministeriö, 2017

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015, Sosiaali- ja terveysministeriö, 2015

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennustieto, 1976, 1978, 1987, 2003, 2010 ja 2012

Motiva, tilastotietoa energiakatselmuksista: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmuksset/tilastotilast_katselmuksista. Viitattu 5.2.2024

Ilmamäärien mittaus ja tasapainotus, Talotekninen teollisuus ja kauppa ry, 2023

Ilmanvaihdon säädön yleisohje rakennusten painesuhteiden hallintaan, Tiiviit rakennukset, Talotekninen teollisuus ja kauppa ry, 2023

Rakennusten paine-erojen mittausohje-projektin loppuraportti, A-insinöörit Oy, 2019

Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuuisto, Kuntien sisäilmaverkosto, 2019

Julkisten rakennusten ilmanvaihdon käyttöaikojen vaikutus työolosuhteisiin ja sisäilman laatuun - Aalto yliopiston Tiede ja teknologia sarja 3/2021, Ilmanvaihdon kokonaan sammuttamisen vaikutukset koulujen ja päiväkotien sisätilan fysikaalisiin olosuhteisiin

https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiakatselmustoiminta/tuetut_energiakatselmukset/tilas-totietoa_katselmuksista

<https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/tulokset/>