

8 Teollisuuden vaativat ilmanvaihtokohteet

Valmistavassa teollisuudessa on useita kohteita, joissa tuotantotilojen ilmanvaihto on vahvasti kytköksissä tuotantoprosessiin. Usein voidaan puhua myös ilmastoinnista, mikäli ilmanvaihtoon liittyy ilman ominaisuuksien käsittelyä, kuten kostutusta, kuivausta tai jäähdytystä. Vaatimukset ilmastoinnille voivat tulla esimerkiksi tuotannon vaatimien olosuhteiden kautta tai tuotannosta syntyvien päästöjen vaikutuksesta. Myös itse tuotantoprosessi voi vaatia ilmastointilaitteita. Näissä kohteissa on tyypillisesti seuraavia piirteitä:

- Erilliset prosessi-ilmastointilaitteet, joiden toimintapisteeet ovat mitoitettu prosessin vaatimalle tasolle
- Yleisilmanvaihdon suodattimien lisäksi käytössä on erilaisia teollisuuden ilmansuodatinratkaisuja, joiden vaatimukset perustuvat poistoilman sisältämiin epäpuhtauksiin tai vastaavasti tuloilman laadulle asetettuihin erityisvaatimuksiin.
- Poikkeavat tuotanto-olosuhteet esimerkiksi lämpötilan ja kosteuden suhteen, esim. puhdistilavaatimukset
- Suuret ilmanvaihtokertoimet ja ilmanvaihdon korkea käyttöaste
- Ilmastoinnin osuus kokonaisenergiankulutuksesta on merkittävä

8.1 Prosessi-ilmastointi

Prosessi-ilmastointilaitteita käytetään esimerkiksi erilaisissa työstökoneissa sekä lämpökäsittely-, jäähdytys ja kuivatusprosesseissa. Kuivatus- ja jäähdytysprosesseissa ilma johdetaan koneellisesti prosessiin ympäröivästä tuotantotilasta tai suoraan ulkoa. Usein prosessin tuloilmaa lämmitetään, jäähdytetään, kostutetaan tai kuivataan prosessin vaatimusten mukaisesti. Joissain tapauksissa varsinaista tuloilmaa ei johdeta prosessiin lainkaan, vaan tuotantolaitteilla/-prosessilla on vain oma kohdepoisto, esimerkkinä lämpökäsittelyunit, työstökoneet ja hitsausyksiköt. Prosessista lähtevä poistoilma johdetaan koneellisesti pääosin suoraan ulos vaadittujen suodatinratkaisujen kautta. Usein poistoilma voi olla hyvinkin lämmintä ja ilmamäärä voi olla suuri.

8.2 Ilman suodatinratkaisut

Ilmanvaihdon yksi vaatimus voi olla ilman epäpuhtauksien poistaminen tuotantoprosessin välittömästä läheisyydestä. Näissä ratkaisuissa käytetään usein erilaisia suodatinratkaisuja epäpuhtauksien erottamiseen poistoilmasta. Joissain tapauksissa itse pöly voi olla lopputuotetta tai osa sitä, jolloin sen suodatusprosessissa pitää huomioida tuotteen järjevä talteenotto. On myös huomioitavaa, että esimerkiksi puutuoteteollisuuden pölynpoistoratkaisuissa suodatettu ilma saatetaan palauttaa takaisin tuotantotilaan, mikä onkin energiankäytön kannalta järjevää. Ilmaa saatetaan myös suodattaa

kierrättämällä ilmaa erillisten suodatinlaitteiden läpi. Suodatusluokkia eri tilojen ilmanvaihdon tarpeisiin sekä nimellisvirtaamalla määritettyjä alkupainehäviöitä on esitettyinä taulukossa 1.

Taulukko 1 Ilman suodatusluokat eri tilojen ilmanvaihtoratkaisuissa

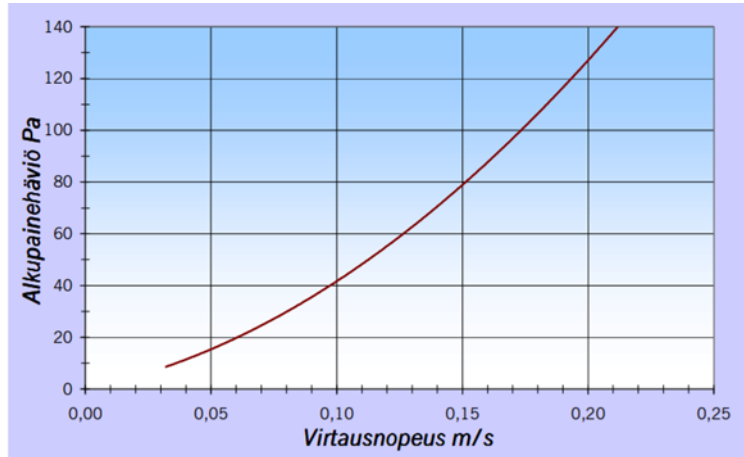
(lähteet: www.hengitysliitto.fi, www.camfil.fi)

Suodatinluokat	Tunnus	Puhtaan suodattimen painehäviö (Pa)	Kohteet
Karkeasuodattimet	G1-G4	30-100	Yleisilmanvaihto; Varastot Teollisuushallit Tuloilman (esi)suodatus Poistoilman suodatus (ml. rasvan/öljyn sekä pisaran erottimet)
Perussuodattimet	M5-M6 (F5-F6)	40-80	Puhdastilojen esisuodatus, poistoilman suodatus LTO kohteissa
Hienosuodattimet	F7-F9	75-180	Yleisilmanvaihto, toimitilakiinteistöt, liiketilat, koulut jne. Yhdistelmäsuodattimet (aktiivihiihi) tuloilman liikenne-/savukaasu-päästöjen suodatuksen
EPA/HEPA-suodattimet	E10-E12, H13-H14	100-260, 65-400	Puhdastilat
ULPA -suodattimet	U15-U17	80-400	Kaasumaiset hiukkaset, puhdastilat

Yo. ratkaisujen lisäksi teollisuudessa käytetään erilaisia partikkelien, pölyn ja hiukkasten erotusjärjestelmiä. Näitä ovat mm.

- Letkusuodattimet (käryt, pöly/hiukkaset)
- Patruunasuodattimet (pölynpoistot)
- Syklonit (karkean pölyn/ partikkeleiden erotus)
- Skrubberit, märkäsuodatus (savukaasut, pölyn-suodatus)
- Sähkösuodattimet (hiukkaspäästöt)

Suodatinratkaisuilla on vaikutusta ennen kaikkea puhaltimien energiankäyttöön. Lisäksi tärkeä huomioitava seikka on, että oikein valitut suodatinratkaisut voivat mahdollistaa poistoilman lämmöntalteenoton. Vaikka eri suodattintyypeille on annettu nimellisvirtaamalla mitatut painehäviöt, voi tämä poiketa tutkimuskohteen painehäviöstä eri virtaamatasoista johtuen (ks. kuva 1). Kohteen tutkimisen kannalta onkin tärkeä selvittää suodatinvaihtojen aikataulut ja mahdollisuuksien mukaan myös puhtaan suodattimen painehäviöt.

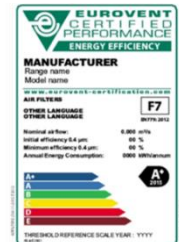


Kuva 1 Esimerkki M5 / F5 luokan suodattimen alkupainehäviöstä virtausnopeuden funktiona (lähde: Suomen Suodatinvalmiste Oy)

Suodatintyyppinä on lukuisia ja samassa suodatusluokassakin niiden välillä voi olla energiatehokkuuden kannalta merkittäviä eroja. Vertailun helpottamiseksi suodattimille on määritelty oma Eurovent-energialuokitusstandardi, jossa suodattimille määritetään vuosittainen energiankulutus laboratoriotestillä simuloidussa pölykuormituskokeessa (Lähde: www.eurovent.eu). Alla olevassa taulukossa on esitetty energialuokat ja niiden raja-arvot (taulukko 2).

Taulukko 2 Suodattimien Eurovent-energialuokitus (lähteet: www.camfil.fi, www.eurovent.eu)

Filter class 2015	M5	M6	F7	F8	F9
ME	-	-	ME ≥ 35%	ME ≥ 55%	ME ≥ 70%
	M _M =250 g ASHRAE		M _P =100 g ASHRAE		
A+	0 – 450 kWh	0 – 550 kWh	0 – 800 kWh	0 – 1000 kWh	0 – 1250 kWh
A	>450 kWh – 600 kWh	>550 kWh – 650 kWh	>800 kWh – 950 kWh	>1000 kWh – 1200 kWh	>1250 kWh – 1450 kWh
B	>600 kWh – 700 kWh	>650 kWh – 800 kWh	>950 kWh – 1200 kWh	>1200 kWh – 1500 kWh	>1450 kWh – 1900 kWh
C	>700 kWh – 950 kWh	>800 kWh – 1100 kWh	>1200 kWh – 1700 kWh	>1500 kWh – 2000 kWh	>1900 kWh – 2600 kWh
D	> 950 – 1200 kWh	> 1100 kWh – 1400 kWh	> 1700 kWh – 2200 kWh	> 2000 kWh – 3000 kWh	> 2600 kWh – 4000kWh
E	>1200 kWh	>1400 kWh	>2200 kWh	>3000 kWh	>4000 kWh



8.2.1 Puhdistilavaatimukset

Tietyillä teollisuusaloilla tuotantotiloille on asetettu tuoteturvallisuuden ja -laadun saavuttamiseksi puhdistilavaatimukset, joka määritelmän (ISO14644) mukaan sisältää tarpeen mukaista ilmapuhdistusta lämmityksen, jäähdytyksen, kostutuksen, paineen ja suodatuksen suhteen. Puhdistiloissa ilman hiukkaspitoisuuden muodostumista, pääsyä tilaan ja säilymistä tilassa pyritään minimoimaan. Standardin ISO14644 lisäksi lääketeollisuudella on käytössä GMP-määräykset (Good Manufacturing Practices) puhdistilojen vaatimuksille. Näiden vaatimusten perusteella tiloja luokitellaan hiukkaspitoisuuksien mukaan. Jos tarkastelukohteena on puhdistilavaatimusten mukainen ilmastointikohte, on energiatehokkuuden tehostamistoimenpiteitä mietittäessä otettava nämä vaatimukset huomioon.

8.2.2 Ilmanvaihtokertoimen merkittävyys

Vaativien ilmastointikohteiden osalta tilojen ilmanvaihtokerroin voi olla hyvinkin suuri. Usein tilan ilma vaihdetaan useita kertoja, jopa kymmeniä kertoja tunnissa. Tämä voi tarkoittaa isojen hallien osalta, että tulo- ja poistoilmamäärät ovat jopa satoja kuutioita sekunnissa. Tällöin ilmastoinnin osuus kokonaisenergiankäytöstä voi olla yksi merkittävimmistä tekijöistä, kun otetaan huomioon tuuloilman lämmitystarve sekä puhaltimien ja lämmönjakopiirien pumppausten sähkönkäyttö. Myös mahdollinen tilojen / prosessin koneellinen jäähdytys lisää ilmastoinnin energian kulutusta. Näissä kohteissa voi jo pienilläkin säätömuutoksilla olla saavutettavissa merkittäviä energiansäästöjä. Myös lämmön talteenoton tehostamisella on pääsääntöisesti lyhyt takaisinmaksuaika.

8.3 Haasteet teollisuuden vaativissa ilmastointikohteissa

Tyypillisiä haasteita teollisuuden vaativissa ilmastointikohteissa ovat:

- Prosessi-ilmastoinnin ja yleisilmanvaihdon kokonaisuuden hallinta on puutteellista
- Tuotantotilat ovat voimakkaasti alipaineisia aiheuttaen ongelmia työskentely- ja tuotanto-olosuhteille
- Tilojen väliset paine-erot aiheuttavat likaisen ilman kulkeutumista ei-toivotuille alueille
- Ilmanlaatu vaihtelee tai on heikkoa työskentelyalueilla
- Suodatin- ja laiteratkaisut tai niiden puutteellisuus aiheuttavat kunnossapidollisia haasteita ja häiritsivät ilmastoinnin toimivuutta
- Kunnossapito ei ole vaaditulla tasolla ilmastoinnin toimintavaatimukseen nähden
- Epäpuhtauksien ja kosteuden hallinta on puutteellista johtaen ilmastoinnin energiankäytön lisääntymiseen ja olosuhteiden heikentymiseen

8.3.1 Kokonaisuuden hallinnan haasteet

Vaativissa ilmastointikohteissa ilmastointi jakautuu usein prosessin ilmastointiin ja tilan yleisilmanvaihtoon. Usein prosessin ilmastointitarpeita on mietitty hyvinkin pitkälle ja sitä on voitu kehittää ajan saatossa tuotantomuutosten myötä eri toimintapisteeseen. Prosessin ilmastointia suunnitellaan ja kehitetään erikseen, eikä ympärillä olevan tilan ilmanvaihtoa oteta huomioon kokonaisuuden kannalta riittävästi. Varsin usein prosessi ottaa korvausilmansa suoraan tuotantotilasta ja prosessin poistoilma puhalletaan suoraan ulos. Yleisilmanvaihto "näkee" prosessin ilmanvaihdosta vain poiston osuuden. Tällöin lopputuloksena voi olla voimakkaasti alipaineinen tuotantotila, jossa ilmapuhtausten hallinta voi muodostua haasteeksi.

8.3.2 Paine-erot ja heikko ilmanlaatu

Alipaineisen tuotantotilan tuomat läpiveto-ongelmat aiheuttavat henkilöstölle vedon tunnetta ja voivat häiritä myös tuotantoprosessia. Isoissa tuotantohalleissa alueelliset erot ilma-tasapainossa aiheuttavat paine-eroja ja edelleen ilman virtauksia tilojen välillä. Tällöin voi syntyä tilanteita, joissa likaista ilmaa ja hajuhaittoja liikkuu ei-toivotusti muualle tuotanto- tai toimistotiloihin vaarantaen tuote- ja työturvallisuuden. Tämä on erityisen haasteellista tuotantoympäristössä, jossa on

vierekkäin puhdastiloja ja "likaisia" tuotantotiloja, joissa syntyy ilmaan epäpuhtauksia/hajuja. Myös vanhoissa tuotantotiloissa raitisilman jako voi olla toteutettu niin, että tuloilmaa ei saada tuotua työskentelypisteille riittävän tehokkaasti. Näin voi käy esimerkiksi, jos tuloilmasuuttimet sijaitsevat korkealla kiinteistön sisäkattorakenteissa.

8.3.3 Laiteratkaisut ja kunnossapito

Vaativissa kohteissa ilmanvaihtolaitteistot voivat sisältää erilaisia suodatinratkaisuja. Näissä on tärkeä tunnistaa suodattimien tukkeutumisten kautta tulevat epätasapainot ilmataseisiin. Ilman sisältämät epäpuhtaudet aiheuttavat myös haasteita ilmanvaihtolaitteiston kunnolle. Huonokuntoiset laitteistot heikentävät energiatehokkuutta ja ilmanvaihdon toimivuutta aiheuttaen ilmataseisiin muutoksia. Tyypillisiä ongelmakohteita ovat tukkeutuneet lämmönvaihtimet, rikkinäiset puhaltimet ja säätöpellit. Myös lämmitys- ja jäähdytyspiirien toiminnoissa voi olla puutteita ja säätöjen heiluntaa. Näiden havaitseminen voi vaatia käsittelyjä ilmavirtaamien ja paine-erojen osalta sekä kiertopumppausten nykytilan tutkimista.

8.3.4 Kosteuden hallinta

Kosteuden hallinta voi myös muodostua haasteeksi kohteissa, joissa prosessista haihtuu kosteutta tai tiloissa joudutaan suorittamaan säännöllisesti erinäisiä pesuja. Kosteusongelmat näkyvät veden kondensoitumisena rakenteiden pinnoilla. Näistä aiheuttavat tiputukset voivat olla riski turvallisuudelle ja tuotannon sujuvuudelle sekä rakenteiden eliniälle. Myös liian kuiva ilma voi aiheuttaa ongelmia mm. tuotteen säilyvyyden ja staattisen sähköilmiöiden muodossa. Nämä ilmiöt voivat aiheuttaa ilmastointijärjestelmissä tehostettuja käyntijaksoja tai pidennettyjä toiminta-aikoja.

8.3.5 Ilmastoinnin vaatimukset ja energiatehokkuuspotentiaali

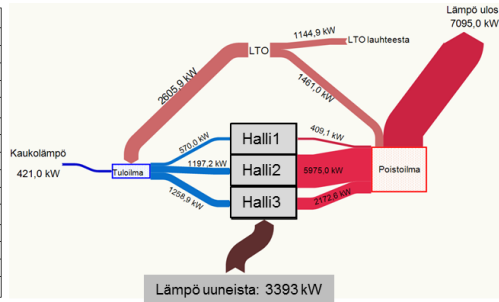
Energiakatselmoinnin kannalta vaativien ilmastointikohteiden tarkastelussa tulee huomioida ilmastoinnin vaatimukset ja tunnistaa mahdolliset ongelmakohtat. Nämä luovat reunaehdot mahdollisten energiatehokkuustoimenpiteiden esittämiseen. Tähän työhön on kuitenkin kannattavaa panostaa, koska ilmastoinnista on varsin usein löydettävissä merkittäviä lämmön ja sähkön säästötoimenpiteitä, ilman että ilmanvaihdon vaatimuksista tingitään.

8.4 Lähtökohdat katselmointiin ja kenttämittaukset

8.4.1 Kokonaiskuvan hahmottaminen

Teollisuuden vaativien ilmastointikohteiden katselmoinnissa on tärkeää suunnitella kenttätöitä niin, että ilmastoinnin nykytilasta saadaan riittävän selkeä kuva. Ilmastoinnin katselmointia on jo kuvattu osioissa 3.5 ja 5.4. Energiatehokkuuden kannalta on syytä muodostaa ilmastoinnin ilma- ja energiataseet, joiden avulla saadaan kokonaiskuva sekä

TULOT	Halli1	Halli2	Halli3	YHTEENSÄ
m ³ /s	24,4	46,1	48,7	119,2
kg/s	29,3	55,3	58,5	143,1
LTO Lämpö kW	511,4	905,9	1188,6	2605,9
Kaukolämpö kW	59,4	291,3	70,3	421,0
POISTOT				
m ³ /s	-12,7	-130,2	-52,4	-195,3
kg/s	-15,2	-186,2	-62,9	-234,4
LTO Lämpö kW	0,0	1067,5	393,5	1461,0
Lämpöhäviö kW	-409,1	-4907,5	-1779,1	-7095,6
ALUETASE				KOK.TASE
m ³ /s	11,7	-84,1	-3,7	-76,1
kg/s	14,1	-100,9	-4,5	-91,3
Lämpötase kW	161,8	-3710,3	-520,2	-4068,8
Tulo/poisto	1,9	0,4	0,9	0,6



Kuva 2 Esimerkki erään konepajan ilma- ja lämpötaseesta, kun ulkoilma oli 0 °C

8.4.2 Kenttämittausten suunnittelu

Kenttämittausten suunnittelu kannattaa aloittaa tutustumalla tuotantoprosessien ja tilojen ilmastoinnin kytkentäkaavioihin ja automaatiojärjestelmistä saatavaan tietoon ilmastoinnin toimintaperiaatteista, mittausdatan kattavuudesta sekä sen saatavuudesta. Usein prosessi-ilmastointi on kuvattu erikseen omilla kaavioilla ja suunnittelukuvilla. Automaatiojärjestelmistä on hyvä selvittää mahdollisuus saada mittausdataa ulos pidemmältä seuranta-ajalta esim. tunti- tai minuuttidatana. Kenttätöissä on tärkeä tunnistaa kenttämittaustarpeet etenkin kohteissa, joissa:

- Käsitellään likaisia ilmavirtauksia,
- Ilmanvaihtokoneiden ilmamäärät ovat suuria,
- Ilmanvaihtojärjestelmissä on käytössä lämmöntalteenottoratkaisuja,
- Automaatiojärjestelmistä saatava informaatio on puutteellista tai
- Ilmastoinnissa tai ilmanlaadussa on ongelmia

8.4.3 Kenttämittaukset

Kenttämittausten toteutus on katselmuksen onnistumisen kannalta tärkeä vaihe. Pääsääntöisesti mittausten tulisi edustaa tyypillistä toimintahetkeä/-jaksoa. Mittausten toteutus tallentavilla mittalaitteilla auttaa hahmottamaan toimintoja pidemmältä aikajaksolta. Mittausten yhteydessä suositellaan valokuvaamaan mittauspaikat (asiakkaan luvalla) sekä kirjaamaan ylös tuotantotiedot ja ulkoilman olosuhteet mittausjaksolta. Tarvittavia kenttämittauksia voivat olla esimerkiksi:

- Prosessi- ja yleisilmanvaihdon ilmamäärämittaukset tulo- ja poistoilmakoneista sekä näiden vertailu suunnitteluarvoihin. Huomioi myös mahdolliset muutokset asetusarvoissa eri käyttötilanteissa (tuotantoaika Vs. ei tuotantoa) sekä mahdollisten tuotantomuutosten aiheuttamat muutokset ilmanvaihdon vaatimuksiin
- Tulo- ja poistoilman ominaisuudet (lämpötila ja kosteus), myös eri lämmönvaihtimien tai kostutusten välistä, jos vain mahdollista. Tässä kannattaa suosia dataloggausta, jolloin ilman ominaisuuksista saadaan kattavammin tietoa eri toimintapisteissä
- Tuotantotilan olosuhteiden mittaus dataloggereilla (T, RH%, CO₂, CO)
- Lämmitys, jäähdytys- ja lämmöntalteenottopiirien virtaamat, esim. ultraäänivirtausmittarilla tai paine-eromittauksena. Näissä mittauksissa on huomioitava kiertoaineen ominaisuudet ja mahdolliset liuosvahvuudet.

- Glykoliliuoksen pitoisuuden määrittäminen ja vertaaminen todelliseen tarpeeseen
- Lämmitys- ja jäähdytyspiirien meno- ja paluulämpötilat
- Ilmanvaihdon pääkiertopiiri
- Ilmastoinnin merkittävimmät lämmönvaihtimet
- Tilojen väliset paine-erot
- Paine-erot suodattimien yli
- Puhaltimien ja kiertopumppujen moottoreiden sähkötehot
- Merkkisavukokeet esim. tuloilman jaon ongelmakohtien selvittämiseksi

8.4.4 Kenttämittauslaitteet

Kenttämittauksissa on hyödyllistä käyttää mittareita, joilla mittausdataa voidaan tallentaa ja pidemmältä seurantajaksolta. Myös datan jatkokäsittelyn mahdollisuus on tärkeä toiminto. Alla olevaan taulukkoon (taulukko 3) on koottu esimerkkejä laadukkaasti katselmoinnin toteutukseen soveltuvista mittalaitteista. Mittalaitteiden käytön osalta on myös huomioitava mittalaitteiden säännöllinen kalibrointi. Markkinoilla on tarjolla kattavasti monitoimisia yleismittareita, joilla voi tehdä useita erilaisia mittauksia niihin soveltuvilla mitta-antureilla.

Taulukko 3 Esimerkkejä katselmuksessa käytettävistä mittalaitteista ja mittaustekniikoista

Mittauskohde	mittaustekniikat
Ilmavirtaus ja paine, kanava	pitot-putki ja mikromanometri
Ilmavirtaus, avovirtaukset	Siipipyörät ja kuumalanka-anemometri
Lämpötila, kontaktiin perustuvat	vastuslämpötila-anturi Pt100 ja termopari anturit / langat (esim. K-tyyppi)
Kosteusmittaus, kanava	Elektroniset hygrometrit: kapasitiiviset ja resistiiviset anturit Märkälämpötilamittaus
Lämpötila, ei kontaktia	IR-mittaus, lämpökamerat
Olosuhde-mittaukset: Lämpötila, kosteus, CO ₂ ja CO	Termoparit ja hygrometriset anturit, sähkökemialliset anturit ym. kaasuilmaisimet
Nestevirtaus	Ultraäänimittaus
Sähkövirta-/tehomittaus, pumput ja puhaltimet	Virtapihdit, sähkötehoanalysointori

8.4.5 Ilmamäärämittaukset

Ilmavirtauksien mittausten yhteydessä on syytä tarkistaa, miten puhaltimia ohjataan mittaushetkellä ja miten tulokset peilautuvat puhaltimien suunnitteluarvoihin. Mikäli virtauksen suuruus on selvästi alhaisempi kuin sen tulisi olla asetusarvojen mukaan, on syytä epäillä järjestelmässä laiterikkoa / suodattimien tukkeumia. Näihin saa vahvistuksia tarkistamalla mm. suodattimien, vaihtimien ja säätöpeltien/-säleikköjen toimintakunnot ja niiden aiheuttamat paine-erot.

8.4.6 Tulo- ja poistoilman lämpötila ja kosteusmittaukset

Tulo- ja poistoilman lämpötila- ja kosteusmittausten avulla voidaan arvioida mm.:

- Miten paljon energiaa tuloilman lämmittämiseen siirretään
- Mahdollisten LTO-piirien toimintaa
- Ulospuhallettavan lämpöenergian määrää suhteessa ulkoilmaan.
- Lämmönvaihtimien vuotoja

Näin pääsee arvioimaan, onko tuotantotilan tai prosessin poistoilmassa vielä järkevästi otettavissa lämpöä talteen ja voidaanko sitä siirtää esimerkiksi tuloilman, käyttöveden tai lämmityspiirin (esi)lämmittämiseksi.

8.4.7 Olosuhdemittaukset

Tuotantotilojen olosuhdemittausten avulla päästään käsiksi ilmanvaihdon toimivuuteen sekä lämpötilan säätöjen toimintaan. Prosessi- ja tuotantotilojen ilmastoinnin toiminnasta ja olosuhteista on syytä kerätä informaatiota myös tuotannon ulkopuoliselta ajalta, jolloin nähdään miten ilmanvaihdon ja lämmityksen/jäähdytyksen tarpeen mukainen säätö toteutuu.

8.4.8 Kiertopiirien toiminnan tutkiminen

Ilmastoinnin lämmitys- ja jäähdytyspiirien mittauksissa on tärkeää havainnoida, miten piiri luovuttaa energiaa eri kohteille ja miten piiri jäähtyy. Normaali toimintatilanteissa kierron jäähtymä tulisi olla noin 10...20 °C astetta. Heikko jäähtyminen voi johtua

- Liiallisesta kierron virtaamasta,
- Lämmönvaihtimien heikosta kunnosta,
- Linjasäätöjen epätasapainosta tai
- Liian suuresta glykolipitoisuudesta

Itse kierron virtaaman säätö on järkevää toteuttaa kierroslukuohjatulla pumpulla, jonka säätö perustuu tyypillisesti järjestelmän aiheuttamaan paine-eroon. Myös menoveden lämpötilan säädön toteutustapa on tarkistettava. Yleisesti tilojen lämmityksessä ja jäähdytyksessä on järkevää soveltaa ulkolämpötilan mukaan säätyvää menoveden lämpötilaa. Prosessi-ilmastoinnin lämpötilat säätyvät prosessin vaatimusten mukaan.

Myös kiertopiirien liuoksen ominaisuudet voi olla järkevä määrittää, etenkin jos glykolipitoisuuksia ei ole aikaisemmin tutkittu. Haasteena voi olla, että liuoksen vahvuutta lisätään varmuuden vuoksi tai sitä ei muuten ole kontrolloitu. Liiallinen liuosvahvuus heikentää liuoksen lämmönsiirtokykyä aiheuttaen järjestelmän energiatehokkuuden laskua. Tämän takia on tärkeää annostella glykolia tarpeen mukaisesti.

8.4.9 Ilmanjaon tutkiminen

Suurien teollisuushallien rakenteesta on hyvä huomioida lämmön taipumus kerrostua. Korkeissa tiloissa tämä näkyy selkeästi lämpöisen ilman kulkeutumisena kohti tilojen kattoa. Tämä aiheuttaa haasteita tuloilman tuonnille työskentelytasolle. Ongelmia esiintyy tyypillisesti vanhoissa tuotantotiloissa ja tuotantotilojen muutosten yhteydessä. Tuloilman suuttimien sijaitessa korkeiden hallien katon rajassa voi ilman tuonti hallin lattiatasolle heikentyä. Tähän voidaan osaltaan vaikuttaa tuloilmakanavien suutinrakenteilla. Helpoiten ilmanvirtauksia voidaan visualisoida esimerkiksi merkkisavukokeilla.

8.4.10 Kokonaiskuvan hahmottaminen

Mittausten ja havaintojen avulla muodostetaan kokonaiskuva ilmastoinnin toiminnasta ja tarvittaessa jaetaan ilmasoinnin toimintaa alueittain / prosesseittain, jotta nähdään kunkin osa-alueen vaikutukset kokonaisuuteen (ks. kuva 1). Näin pääsee käsiksi mahdollisiin ilmatasehaasteisiin sekä potentiaaliin energiasäästökohteisiin

8.5 Vaativien ilmastointikohteiden tehostamismahdollisuudet

Teollisuuden vaativien ilmastointikohteiden energiatehokkuuspotentiaali on usein merkittävä koko kohteen kannalta. Käyttötekniikan ja laiteinvestointeja vaativien tehostamistoimenpiteiden lisäksi tarvittavia toimia vaaditaan varsin usein kunnossapitoon liittyvistä teemoista. Alla on esitettyä tyypillisimpiä tehostamiskeinoja energiatehokkuuden edistämiseksi.

8.5.1 Ilmanvaihdon ohjaus

Prosessi- ja yleisilmanvaihdon ilmamäärät ovat mitoitettu tuotantoajan olosuhteiden ylläpitämiseksi. Varsin usein tuotannon ulkopuolisena aikana ilmanvaihtuvuutta voidaan rajoittaa merkittävästi tuotantoajan käyttöpisteestä. Nämä käyttötilanteet ja toimintatavat kannattaa aina selvittää, vaikka käytössä olisikin kehittyneitä automaattioratkaisuja ja kello-ohjelmia puhaltimien ohjaukseen. Myös prosessi-ilmastoinnin käyntiajat tulisi huomioida perusilmanvaihdon lisäksi, jolloin tilojen ilmatase kokonaisuudessa käy selville. Ilmanvaihtuvuuden rajoittaminen näkyy suoraan sähkön ja lämmön säästönä. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkäytön ominaiskulutusta voidaan tarkastella seurantasuureella SFP (Specific Fan Power), kW/(m³/s). Perusilmanvaihdolle ominaiskulutuksen ohjearvo on alle 2 kW/m³/s (RakMk D3 2.6.1.1). Myös järjestelmien pumppaukseen käytettyä sähköenergiaa on hyvä tarkastella samalla tunnusluvulla.

Teollisuuden ilmanvaihtokoneistoissa löytyy tavallisesti kierrätystoimintoja, joita voidaan hyödyntää erilaisissa toimintapisteissä. Tällöin ilmaa kierrättämällä raitisilman sekaan ennen tuloilman lämmitystä voidaan lämmityskustannuksissa saavuttaa merkittäviä säästöjä. Tämä vähentää raitisilmamäärää, mutta toiminto voi olla perusteltua mm. tuotannon ulkopuolisella ajalla ja kovilla pakkasilla. Varsin usein IV-koneet toimivat tuotantotilojen ainoana lämmitysjärjestelmänä, jolloin tuotannon ulkopuolisena aikana kiertoilman osuus voidaan asetella 90-100 %:iin. Tämä voi olla vaihtoehtona tuloilmakoneen pysäyttämiseksi, mikäli pelätään esimerkiksi lämmityspattereiden jäätyminen ongelmia. Kyseisissä tilanteissa voidaan usein myös poistoilmamäärää rajoittaa harkitusti.

Prosessi-ilmastoinnin osalta on tärkeä pyrkiä tilanteeseen, että se pysähtyy aina, kun tuotanto pysähtyy. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista, koska prosessi-ilmastoinnin tarkoitus voi olla myös laitteiden ja sen huoltotilojen jäähdytys, jonka takia pysäytystä joudutaan vähintäänkin viivästyttämään.

8.5.2 Lämpötilan säätö

Kuten on jo aikaisemmin todettu, tilojen ja prosessi-ilmastoinnin lämpötilojen asetusrvojen ja todellisten lämpötilojen toteutuvuus on hyvä tarkistaa. Näissä on hyvä myös huomioida prosessilaitteista aiheutuvat lämpökuormat ja mahdollisuudet pienentää sitä kautta tilalämmitysten asetusrvoja, etenkin jos lämmitys tapahtuu primäärilämmöllä. Myös tuotannon ulkopuolisella ajalla toteutetuilla säätömuutoksilla on mahdollista saavuttaa merkittäviä säästöjä jo pienilläkin muutoksilla. Kiertopiirien lämpötilan ja pumppausten säädöt sekä lämmönjaon optimointi

Isoissa teollisuuskohteissa ilmanvaihdon lämmitysverokosto voi olla laaja sisältäen useita lämmityskohteita. Lähtökohtaisesti ilmanvaihdolle tulisi olla oma lämmönjakopiiri. Mikäli samassa kierrossa on esimerkiksi prosessi-ilmastointia, käyttöveden lämmitystä tai patteriverkosto, aiheutuu kierron säädettävyydelle haasteita niiden lämpötilavaatimusten eroavaisuuksien takia. Tyypillisiä kiertopiirin kehitystoimenpiteitä voivat olla mm.

- Lämmityspiirin menoveden lämpötilan säädön tarkennus, esim. ulkolämpötilan mukaan tai kulutuskohteiden säätöventtiilien asennon mukaan
- Verkoston ja kulutuskohteiden linjasäätöjen optimointi
- Kiertopumppauksen säätö kierroslukuohjatulla pumpulla.
- Edellä mainitulla toimenpiteillä pitäisi olla positiivinen vaikutus myös kierron jäähtymään, mikä kertoo järjestelmän tehokkaasta toiminnasta. Kierron paluulämpötilan maltillinen taso voi mahdollistaa mm. prosessin ylijäämälämmön hyödyntämisen kierron (esi)lämmityksessä.
 - Esimerkiksi, jos ulkoilma on 0...-5 °C, voidaan ilmanvaihtoa lämmittää tyypillisesti noin 45-50 °C menovedellä. Jos järjestelmä on säädetty hyvin, voi paluulämpötila olla tasolla 30-35 °C. Tähän lämpötilatasoon voidaan soveltaa prosessista lähteviä ylijäämälämpövirtoja, joiden lämpötilataso on vähintään 40 °C astetta.

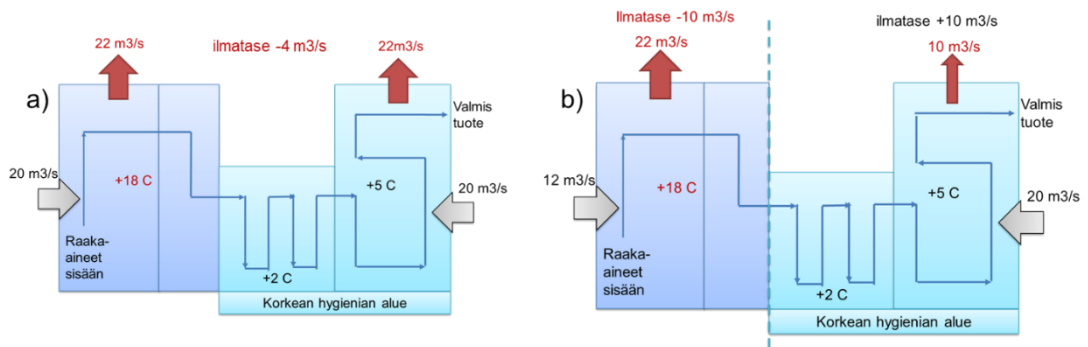
On myös hyvä huomioida lämmönjaon erilaiset tavat tilojen lämmittämisessä. Tyypillisen tuloilman lämmittämisen sijaan, voidaan lämpöä jakaa tiloihin erilaisilla säteily- ja kiertoilmapuhallinratkaisuilla. Viime aikoina on sovellettu korkeiden ja isojen hallitilojen lämmittämisessä vesikiertoisia kattoon asennettavia säteilypaneeleita. Näiden etuna on lämmön kerrostumisen välttäminen, koska säteilyllä lämmitetään pintoja. Kiertopiiriin voidaan soveltaa myös alhaisempaa lämpötilatasoa verrattuna tuloilman lämmittämiseen, jolloin siihen voidaan soveltaa hyvin matalalämpöistä energiaa. Kyseisten säteilylämmittimien asennuskorkeudelle ei ole määritelty maksimikorkeutta, mutta säteilyn absorboituminen ilman epäpuhtauksiin kasvaa korkeuden kasvaessa.

8.5.3 Ilmanjaon optimointi

Mikäli tuloilman tuonti haluttuun kohteeseen rajoittuu tuloilman kanavoinnin ollessa liian korkealla, voidaan tähän pyrkiä vaikuttamaan kanavistomuutoksilla ja erilaisilla suutinratkaisuilla. Lämmön kerrostumiseen voidaan vaikuttaa myös erilaisia puhallinratkaisuilla, joilla ilmaa kierrätetään katon

rajasta takaisin kohti lattiatasoa. Riskinä tässä ratkaisussa on epäpuhtauksien päätyminen takaisin työskentelypisteille ja tuotantoprosessiin.

Tilojen väliset paine-ero-ongelmat ovat hyvin haastavia ratkaistaviksi. Mikäli kyseessä on likaisen ilmojen / hajuhaittojen kulkeutuminen tilojen välillä, voidaan näissä pyrkiä korjaamaan tilanne tekemällä likaisen ilman alue selkeämmin alipaineiseksi joko lisäämällä poistoilman määrää tai pienentämällä tuloilmamäärää. Vastaavasti puhtaana pidettävään tilaan voidaan luoda ylipaine lisäämällä tuloilmaa tai vähentämällä poistoilmamäärää. Ylipaineinen puhtaana pidettävä tila työntää ilmaa likaista tilaa kohden estäen ilmojen epäedullisen liikkumisen likaiselta puolelta puhtaammalle puolelle (ks. kuva 3). Myös ilmanvaihtokoneiden sijainnit vaikuttavat ilmassojen liikkeeseen tilojen välillä.



Kuva 3 Esimerkinä valmistavan teollisuuden tuotantotilan ilmatase lähtötilanteessa a), jossa hajuhaitat liikkuvat raaka-aineen esikäsittelystä korkean hygienian tuotantotiloihin. Ongelma saatiin hallintaa lisäämällä selkeä paine-ero tilojen välille niin, että "puhtaan" puolen poistoilmamäärää vähennettiin ja vastaavasti "likaisen" ilman alueella vähennettiin tuloilmamäärää.

8.5.4 Ylijäämälämmön hyödyntäminen, lämmönvaihdinratkaisut

Teollisuuden vaativissa ilmastointikohteissa prosessi-ilmastoinnin kautta voi liikkua suuria lämpövirtoja, joissa on merkittävä lämmön hyödynnyspotentiaali. Myös itse tuotantotilan ilmanvaihdon poistoilma sisältää pääsääntöisesti paljon lämpöä. Yleisilmanvaihdon osalta lämmön talteenotto-ratkaisut ovat laajasti käytössä etenkin uusissa teollisuuskiinteistöissä. Mutta edelleen on paljon tuotantolaitoksia, joissa talteenottoa ei ole lainkaan tai ratkaisut ovat tulleet tiensä päähän nopeasti käyttöönoton jälkeen. Syynä tähän on tyypillisesti likaisen poistoilman aiheuttamat haasteet ja olosuhteisiin sopimattomat laitevalinnat. Tämän takia olemassa olevan LTO:n toiminta on tarkasteltava katselmoinnissa erityisen huolellisesti jo pelkästään kunnossapidon näkökulmasta. Joka tapauksessa, kun arvioidaan kohteen lämmön talteenottopotentiaalia, tulee yleisilmanvaihtoa ja prosessi-ilmastointia tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Mikäli lämmön talteenottopotentiaalia löytyy, on poistoilman epäpuhtauksia ja sen mahdollisia suodatinratkaisuja tarkasteltava lämmön talteenottotekniikoiden kanssa samanaikaisesti.

8.5.5 LTO ilmasta ilmaan

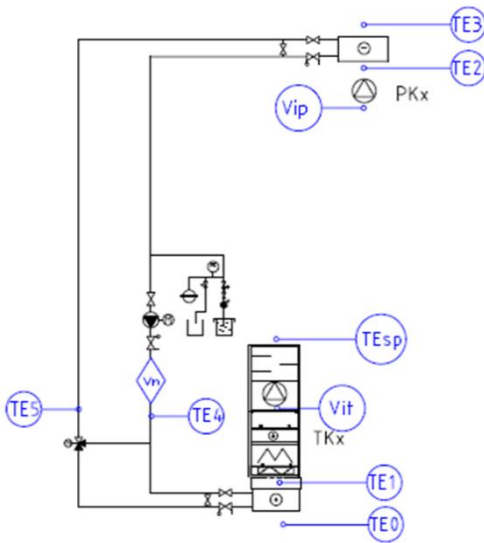
Teollisuudessa poistoilman lämmön talteenottoon on sovellettu useita eri tekniikoita. Etenkin paperi- ja kartonkiteollisuudessa käytetään edelleen yleisesti ristivirta-levylämmönsiirtimiä, joilla

siirretään lämpöä prosessi poistoilmasta suoraan prosessin tai tuotantosalin tuloilmaan. Yleisilma- vaihdossa hyödynnetään yleisesti pyöriviä lämmönsiirtimiä niiden hyvän hyötysuhteen takia. Tämä on teollisuuskohteissa mahdollista, jos poistoilman suodatus on riittävää ja sen sallitaan sekoittuvan tuloilmaan (poistoilmasta sekoittuu < 1% tuloilman sekaan)

8.5.6 LTO välipiirillä

Lähtökohtaisesti likaisten ilmojen ollessa kyseessä, joudutaan LTO rakentamaan erillisellä välipiirillä (kuva 4). Poistoilman suodatinratkaisujen lisäksi, täytyy lämmönvaihdintyyppin valintaan kiinnittää huomiota. Vaativissa olosuhteissa myös lämmönvaihtimen huollettavuus tulee ottaa huomioon jo esisuunnitteluvaiheessa. Vaihtimien materiaalivalinnat ovat myös tärkeitä tekijöitä vaihtimien elinkaaren kannalta. Teollisuuden likaisten ilmojen lämmönvaihtimina on käytetty seuraavia tekniikoita:

- Lamellilämmönvaihdin
- Putkilämmönvaihdin
- Neulaputkilämmönvaihdin
- Lämpöputkilämmönsiirrin



Kuva 4 Esimerkki epäsuorasta lämmöntalteenottopiiristä (Lähde:Retermia)

Tyypillisesti yleisilmanvaihdon tapauksessa lämmönvaihdintyyppinä LTO-ratkaisuissa käytetään lamellilämmönvaihtimia, jotka ovat tehokkaita ja ovat helposti sijoitettavissa ilmanakanaviin. Lamellien rakovälien mittoihin voidaan vaikuttaa, jolloin niiden tukkeutumisherkkyttä ja peseytyvyyttä voidaan parantaa. Joka tapauksessa lamellivaihtimien valinta likaisen poistoilman LTO-vaihtimeksi voi kuitenkin osoittautua ongelmalliseksi, etenkin jos poistoilman suodatettavuus osoittautuu teknisesti ja kustannusten osalta liian haasteelliseksi.

Putkilämmönvaihtimia käytetään pääosin prosessi-ilmastoinnin lämmöntalteenottoratkaisuissa, etenkin kun käsitellään kuumia ilmavirtoja. Putkivaihtimen hyvänä ominaisuutena on niiden

huollettavuus / peseytyvyys sekä pääosin lamellivaihdinta pienempi pumppausvastus lämmönsiirtojärjestelmään. Haasteita aiheuttaa toisaalta lämmönsiirron tehottomuus, jonka seurauksena putkilämmönvaihtimen koko ja hinta kasvavat usein suureksi.

Neulalämmönsiirrin on eräänlainen paranneltu putkilämmönvaihdin, jonka pinta on rakenteeltaan neulamainen. Neulapinnan ansiosta lämmönsiirron tehokkuus parantuu. Neulalämmönvaihtimia voidaan usein käyttää monirivisenä ratkaisuna, jolloin ilman suodatusta voidaan keventää tai jättää jopa pois kokonaan. Poistoilman likapartikkelit kerääntyvät ensimmäiselle putkirivistöön, josta se on pestävissä pois. Neulaputkipattereita käytetään sekä yleisilmanvaihdon että prosessi-ilmastoinnin lämmönsiirrinratkaisuissa.

Lämpöputkilämmönsiirrin on sovellus, jota voidaan hyödyntää kuumien ja likaisten savukaasujen tai ilmavirtojen lämmöntalteenotossa.

8.5.7 Ylijäämälämmön hyödyntäminen, lämmön hyödynnyskohteet ja lämpöpumput

Pääsääntöisesti poistoilmasta talteen otettu lämpö hyödynnetään tuloilman esilämmityksessä. Tyypillisesti yleisilmanvaihdon osalta poistoilmasta talteen otetulla lämmöllä esilämmitetään vastaavaa määrää tuloilmaa. Mikäli poistoilman lämpösisältö on korkeampi kuin normaali huoneilman lämpötila, voidaan lämpöä jakaa suurempaan tuloilmamäärään tai korvata tuloilmaan käytetystä primäärilämmöstä suurempi osa.

Mikäli lämpöä on otettavissa prosessi-ilmastoinnin poistosta, jonka ilmamäärä ja lämpötilataso ovat suuria, voidaan lämmön talteenottokohteeksi miettiä myös lämmönjakopiiriä ja käyttöveden lämmitystä. Lämmönjakopiiriin voidaan hyödyntää suurempi energiamäärä yksittäisellä lämmönvaihtimella. Tässä yhteydessä on kuitenkin tarkasteltava lämmönjakopiirin toimintaa lämpötilatason osalta; onko kierron paluulämpötila riittävän alhainen ottaakseen vastaan talteen otettua lämpöä? Mikäli tarkastelut osoittavat, että suoralle lämmöntalteenotolle ei löydy kannattavia toteutusmalleja, on hyvä tunnistaa mahdollisuudet lämpöpumppujen hyödyntämiselle. Potentiaalisia lämpöpumpun hyödynnyskohteita ovat järjestelmät, joissa

- Syntyy jatkuvasti 20-40 °C asteista ylijäämälämpöä
- On jatkuvaa lämmitystarvetta esimerkiksi 55-65 °C asteiselle vedelle
- Tuloilman lämmityksessä halutaan / on kannattavaa korvata merkittävä osa primäärilämmöstä

Lämpöpumppujen hyödyntämisessä säästöpotentiaalin tulee olla merkittävä vuositasolla, jotta hanke on kannattava toteuttaa.

8.5.8 Lämpövuotojen minimointi

Teollisuuden vaativissa ilmastointikohteissa lämpövuodot aiheuttavat usein ylimääräisiä energiakustannuksia. Vuodot korostuvat hallien ollessa voimakkaasti alipaineisia. Vuotoja syntyy tyypillisesti isojen oviaukkojen osalta, jolloin ovien toiminnat ovat tärkeässä roolissa. Myös oviverhopuhaltimia käytetään usein vähentämään ulkoilman ja sisäilman sekoittumista.

Teollisuushalleista voi myös löytyä käytöstä poistettuja vanhoja ilmanvaihtokoneita tai muita käytöstä poistettujen kanavien läpivientejä. Näiden kohdalta on tärkeää tarkastella, miten kanavistot on sulettu, ettei niiden kautta synny merkittäviä lämpöhäviöitä ja läpivetoilmiöitä.

8.5.9 Seurannan ja kunnossapidon kehitys

Ilmastointijärjestelmien seuranta ja ohjaus on useimmiten toteutettu kiinteistö- tai prosessiautomaatiojärjestelmiin. Ohjauksen ja mittausten toimivuutta kannattaa tarkastella kenttätutkimusten yhteydessä. Usein myös järjestelmän energiatehokkuuden seurannassa voi olla kehittämisen varaa niin mittausten kuin seurannan toteutuksenkin kannalta. Laajoissa ilmastointiratkaisuissa on hyvä miettiä kokonaisuuden seurantaa ja hallintaa ilma- ja energiataseen näkökulmasta.

Kunnossapidon näkökulmat ovat tärkeitä tuoda esille järjestelmän ja kunnossapidon kehityksen kannalta. Varsin usein laitteiden heikko kunto on syynä energiatehokkuuden ja ilmastoinnin toimivuuden heikentymiseen.

8.6 Yhteenveto ja tarkastuslista teollisuuden vaativien ilmastointikohteiden katselmointiin

Teollisuuden vaativien ilmastointikohteiden energiakatselmointi on tärkeä osa kohteen energiakatselmointia. Haasteena on tunnistaa ilmastoinnin vaatimukset ja reunaehdot energiatehokkuuden edistämiseksi. Tämä vaatii tiivistä vuorovaikutusta kohdeyrityksen yhteyshenkilöiden ja työntekijöiden kanssa. Alle on koottuna vielä tarkastuslistaa katselmoinnin toteutukseen:

- Tarkasta ilmanvaihdon ohjauksen tarpeenmukaisuus sekä tuotannon aikana, että sen ulkopuolella.
- Vertaa ilmanvaihdon asetusarvoja, mittausarvoja ja tilojen todellisia lämpötiloja.
- Tarkasta ilmanvaihdon lämmitys- ja jäähdytyspiirien menolämpötilan säätötavat ja niiden toimivuus.
- Tarkasta kiertopiirien paluulämpötilat ja virtaussäätötavat.
- Tarkastele ilmataseita kokonaisuutena ja alueellisesti eri tilojen välillä sekä vertaa havaintoja mahdollisiin ilmanlaatu- / alipaineongelmiin.
- Tarkastele ilmanjakoa eri alueilla ja sen toimivuutta ilmanlaadun ja lämmönjaon näkökulmasta.
- Tarkastele mahdolliset lämpövuotokohdat.
- Tarkasta prosessi- ja yleisilmanvaihdon poistoilmojen lämpövirrat ja laske lämmöntalteenotto-potentiaali.
- Tarkastele poistoilman laatua ja suodatuksen toimivuutta.
- Selvitä mahdolliset lämmöntalteenoton hyödynnyskohteet ja tekniset toteutusmahdollisuudet ml. suodatustarpeet.
- Huomioi myös lämpöpumput mahdollisena hyödynnystekniikkana.
- Listaa ilmastoinnin kunnossapitohavainnot ja toimimattomat laitteet ja tarkastele niiden vaikutuksia energiatehokkuuteen.
- Mietin miten järjestelmän toiminnan ja energiatehokkuuden seurantaa voitaisiin kehittää, niin että sen toiminnan tilaa olisi helppo seurata.