



Otto Päivinen

Ilmastoinnin säädettävyyden optimointi suunnitteluvaiheessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

30.11.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Otto Päivinen
Otsikko:	Ilmastoinnin säädettävyyden optimointi suunnitteluvaiheessa
Sivumäärä:	32 sivua + 1 liite
Aika:	30.11.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	LVI-tekniikka
Ohjaajat:	Timo Päivinen Pasi Partonen

Tämän opinnäytetyön aiheena oli löytää ratkaisuja ilmastoinnin säädettävyyden ongelmiin suurissa rakennuksissa. Opinnäytetyössä hyödynnettiin HPT Ilmastointi Oy:n kokemuksia ilmastointijärjestelmien asennuksesta ja säätötyöstä.

Tavoitteena oli löytää ratkaisuja uudisrakennuksissa tehtyihin havaintoihin säädettävyyden hankaluudesta kanaviston ja automaation osalta. Kerätyn tiedon perusteella esitettiin ohjeita järjestelmien suunnitteluun, jotta hyvä säädettävyys säilyy.

Työssä selvisi, että ilmastointijärjestelmän suunnittelu siten, että järjestelmän säädettävyys säilyy, alentaa käyttökustannuksia. Kanavisto, joka oli varustettu asianmukaisilla säätölaitteilla, joihin oli helppo pääsy, lyhensi merkittävästi ilmastoinnin huoltohenkilön käyttämää aikaa mittauksen tekemiseen ja säätämiseen.

Kanaviston suunnitteleminen painehäviöiltään väljäksi osoittautui tärkeäksi energiankulutuksen kannalta. Insinööriyössä toteutetut mittaukset osoittivat, että väljässä kanavistossa oli pienemmät painehäviöt, jolloin puhaltimet kävivät pienemmillä kierroksilla ja kuluttivat vähemmän sähköenergiaa.

Avainsanat: ilmanvaihto, säädettävyys, energiatehokkuus

Abstract

Author: Otto Päivinen
Title: Optimizing ventilation adjustability in the design phase
Number of Pages: 32 pages + 1 appendice
Date: 30 November 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Timo Päivinen, Title (e.g., Project Manager)
Pasi Partonen, Title (e.g., Principal Lecturer)

The thesis aimed at finding solutions to the problems of ventilation controllability in large buildings.

The main goal was to solve problems with the adjustability of both ductwork and automation observed in new buildings. The thesis relied on the experience of the commissioning company of the installation and adjustment of ventilation systems.

It was found that designing the ventilation system in a way that maintains adjustability also reduced operating costs. The duct system, equipped with appropriate adjustment devices that were easy to access, significantly shortened the time the ventilation maintenance person spent making measurements and adjusting the system.

Designing the ductwork with low pressure losses, proved to be important in terms of energy consumption. This way the fans run at lower speeds and consume less electricity.

Keywords: ventilation, adjustability, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Suurten rakennusten ilmanvaihdon toteutustavat	2
2.1	Vakioilmavirtajärjestelmä eli CAV-järjestelmä	2
2.2	Muuttuvan ilmavirran järjestelmä eli VAV-järjestelmä	4
3	Ilmastointijärjestelmien automatiikka	5
3.1	Säädön tavoitteet	5
3.2	Puhaltimien ohjaus	5
3.3	Automaatiojärjestelmän rakenne	7
3.4	Käyttöjärjestelmät	7
3.4.1	Modbus	8
3.4.2	KNX	8
3.5	Kentälaitteet	9
3.5.1	Kokemuksia kenttälaitteiden toiminnasta	9
4	Arkkitehti- ja rakennesuunnittelun merkitys ilmastointijärjestelmän toimivuudessa	12
4.1	IV-konehuoneiden suunnittelu	12
4.2	Kanaviston vaatimukset	13
5	Ilmastointikoneen ja kanaviston mitoitus	13
5.1	Ilmastointikoneen mitoitus ja valinta	13
5.2	SFP-luvun laskenta	15
5.3	Puhaltimien kuluttama sähköenergia	15
5.4	Kanaviston mitoitus	18
5.4.1	Virtaustekniset perusteet	18
5.4.2	Kanaviston vastuskäyrä	19
5.4.3	Kertavastuspainehäviöt	21
5.5	Havaintoja kohteista	26
6	Havaintoja kohteista	27
6.1	Koulu- ja päiväkotirakennus	27

6.1.1	Ongelmat	27
6.1.2	Pohdinta	28
6.2	Kulttuurirakennus	28
6.2.1	Säätötyötä hankaloittavat seikat	29
6.2.2	Pohdinta	30
6.3	Toimisto- ja laboratoriorakennuksen osittainen saneeraus	31
6.3.1	Säätötyötä hankaloittavat seikat	31
6.3.2	Pohdinta	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1: Menettely ohjeita	

Lyhenteet

CAV: *Constant Air Volume System* vakioilmavirtajärjestelmä.

VAV: *Variable Air Volume System*. muuttuvan ilmavirran järjestelmä.

VAK: Valvonta-alakeskus.

IMS: Ilmamääräsäädin.

IV: Ilmanvaihto.

LTO: Lämmöntalteenotto.

1 Johdanto

Ilmastointijärjestelmät kehittyvät jatkuvasti, ja ne on varustettu yhä monipuolisemmalla automatiikalla. Kehityksen tarkoituksena on sisäilmaston tarkempi hallinta ja energiatehokkuuden parantaminen. Kehityksestä huolimatta vastaan tulee useita uudiskohteita, joissa sisäilmaston hallinta on vaikeaa. Opinnäytetyön tavoitteena on antaa ohjeita ilmastointijärjestelmän suunnitteluun siten, että ilmajärjestelmien säätötyö ja hallinta ovat tarkasti toteutettavissa. Tutkimuksessa käsitellään myös ilmastointijärjestelmän energiatehokkuutta ja ylläpitokustannuksia. Työn tilaajana on HPT Ilmastointi Oy. Työn tilaajalla on ollut kohteita, joissa ilmastointijärjestelmän säätötyö on ollut haastavaa.

Opinnäytetyössä käydään läpi ilmastointijärjestelmien erilaisia toteutustapoja ja tehdään havaintoja kohteista, joissa säätötyö on ollut vaikeaa. Järjestelmien toimivuutta tarkastellaan LVIA-suunnittelun lisäksi myös arkkitehti- ja rakennesuunnittelun näkökulmasta. Tutkimus tehdään HPT Ilmastointi Oy:n suorittamien ilmastointijärjestelmien säätötöiden pohjalta. Työn tekemisessä hyödynnetään insinööriyöntekijän omaa kokemusta ilmastointijärjestelmien säätötöistä HPT Ilmastointi Oy:ssä.

2 Suurten rakennusten ilmanvaihdon toteutustavat

Ilmastointijärjestelmän valinnassa on tärkeää ottaa huomioon kesän jäähdytystilanne, joka on usein ratkaiseva tekijä ilmavirtojen ja laitteiden suunnittelun kannalta. Jäähdytys voi tapahtua jäähdytetyllä ilmalla (ilmajärjestelmät) tai vedellä (vesijärjestelmät). Jos jäähdytysteho tuodaan tilaan jäähdytetyllä ilmalla, on tuloilmakanavat eristettävä ja varmistettava, että ilmavirta on riittävä hoitamaan myös tilan ilmanvaihdon. Vesijärjestelmässä tuloilman lämpötilaa ei muuteta jäähdytys- tai lämmitystehon tarpeen mukaan, vaan teho viedään tilaan jäähdytetyn tai lämmitetyn veden mukana. [1, s. 200–201.]

2.1 Vakioilmavirtajärjestelmä eli CAV-järjestelmä

CAV-järjestelmällä eli vakioilmavirtajärjestelmällä varmistetaan tarpeen mukainen sisäilmasto ilman puhtauden ja lämpötilan osalta. Ilmanvaihtojärjestelmä koostuu suodatuksesta, lämmöntalteenotosta sekä lämmitys- ja jäähdytystoiminnoista. Vakioilmavirtajärjestelmässä ilmavirtojen mitoituksessa käytetään usein kesäajan jäähdytystarpeen laskentaa. Jäähdytystarpeen noustessa tuloilmavirtaa kasvatetaan, jotta saavutetaan haluttu jäähdytysteho. On huomioitava, että eri huonetiloihin on vaikea saada tilan vaatima jäähdytysteho, koska huonekohtaista säätöä ei ole. Vakioilmavirtajärjestelmä on edullinen toteuttaa, mutta se ei sovellu rakennukseen, jonka huonetilojen lämpökuormat eroavat merkittävästi toisistaan. Järjestelmässä käytetään kertasäätöpeltejä (kuva 1). Alakattoon asennettava päätelaite huolehtii tuloilman jakamisesta huonetilaan (kuva 2). [2, s. 131–132.]



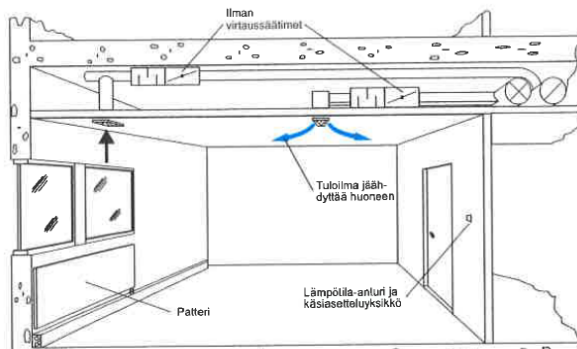
Kuva 1. Iris-säätölaite Fläktwoods [3].



Kuva 2. Swegon EAGLE Ceiling ilmalaite [4].

2.2 Muuttuvan ilmavirran järjestelmä eli VAV-järjestelmä

Kun eri tiloihin viedään tilan tarpeen mukainen ilmavirta tai lämmitys- tai jäähdytysteho tuloilman mukana, on kyse VAV-järjestelmästä eli muuttuvan ilmavirran järjestelmästä (kuva 3). Tuloilmavirralla voidaan säätää tilaan tuotavaa jäähdytystehoa. Eniten jäähdytystehoa vaativa tila määrää tuloilman lämpötilan. Huonekohtaisesti ilmavirtaa ja näin ollen tilaan tuotavaa jäähdytystehoa säätää säätöyksikkö (kuva 4), jota ohjaa huoneeseen asennettu lämpötila-anturi. [1, s. 202.]



Kuva 3. Ilmavirtasäätöinen ilmastointijärjestelmä [1, s. 202].



Kuva 4. Lindab FTCU ilmamääräsäädin ultraäänimittauksella [5].

VAV-järjestelmä suunnitellaan usein kohteisiin, joissa huonetilojen lämpökuormat ovat merkittäviä tai joissa tiloihin täytyy tuoda suuria ilmavirtoja. Ilmavirtojen vaihtelu huonetiloissa edellyttää, että tulo- ja poistoilmalaitteiden toiminta-alueet ovat laajat. Huonetilan ilmamäärää on mahdollista säätää myös hiilidioksidianturin avulla, mikäli henkilömäärä huoneessa kasvaa. Yleisimpiä käyttökohteita muuttuvan ilmavirran järjestelmille ovat toimistorakennukset, sekä kokoustilat. [6, s. 59–60.]

3 Ilmastointijärjestelmien automatiikka

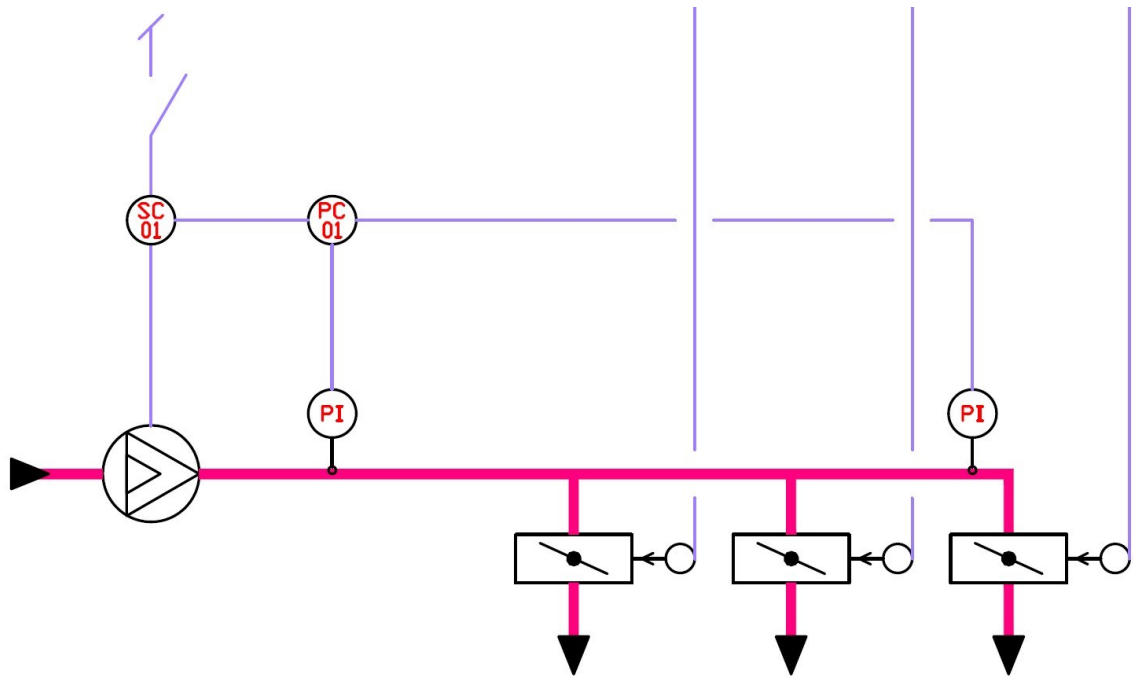
3.1 Säädön tavoitteet

Oikein toteutettu automaatiojärjestelmä on hyvin toimivan ilmanvaihtojärjestelmän perusta. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmään kohdistuu useita sisäisiä ja ulkoisia häiriötekijöitä, jotka tuovat haasteita hyvän sisäilmaston ylläpitämiselle. Sisäisiä kuormitustekijöitä ovat esimerkiksi henkilöt ja laitteet, kun taas ulkoisia tekijöitä ovat mm. ulkoilman lämpötilan ja kosteuden muutokset. Automaatiikan tavoite on pyrkiä ohjaamaan ilmastointia niin, että eri kuormitustekijöiden vaikutukset pystytään pitämään halutuissa rajoissa. [6, s. 245.]

3.2 Puhaltimien ohjaus

Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjaukseen käytetään EC-moottoreita. Oikosulkumoottorin ohjaukseen tarvitaan taajuusmuuttaja. EC-moottorit ja taajuusmuuttajat kytketään rakennusautomaatiojärjestelmään käyttäen standardisoituja väylien tiedonsiirtoprotokollia kuten Modbusia, KNX:ää, Bacnetia, TCP/IP, LonTalkia. [7, s. 45.]

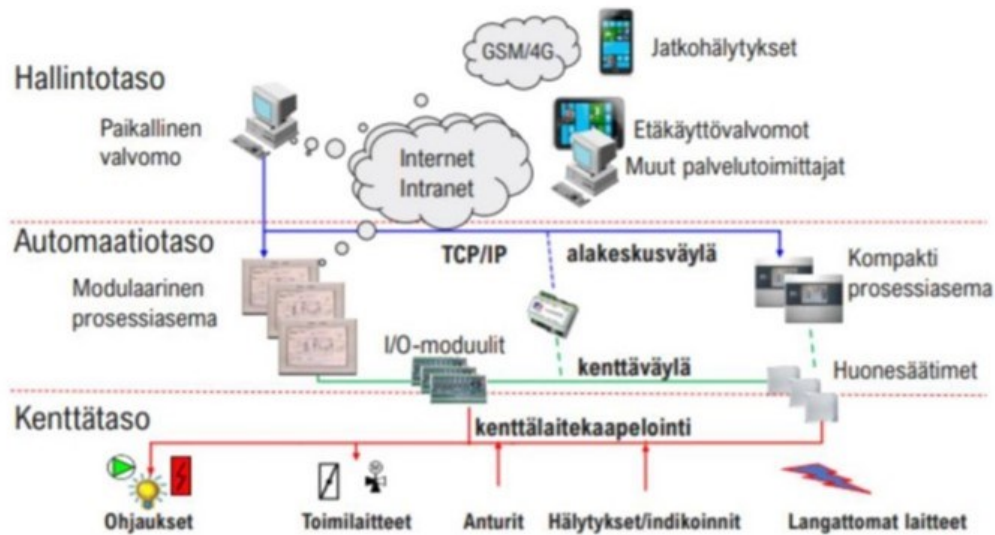
Puhaltimia ohjataan painesäätimillä, jotka pitävät yllä staattista painetta kanavistossa suhteessa rakennuksessa olevaan paineeseen. Puhaltimen kierroksia säättää taajuusmuuttaja. Mikäli puhaltimet on varustettu EC-moottoreilla, ei taajuusmuuttajaa tarvita, vaan puhaltimen kierroksia ohjataan 0–10 V:n säädöllä. Jos kanavisto on painehäviöiltään täysin symmetrinen, paineanturin voi sijoittaa mihin kanavaan tahansa. Tähän tilanteeseen ei kuitenkaan koskaan päästä, joten paineanturin sijainti on aina ratkaistava kanaviston painehäviölaskentaa käyttäen. Paineanturin väärä sijainti onkin yleisin syy VAV-järjestelmän huonon toimivuuteen. Erityisesti suurissa laitoksissa on tärkeää asentaa kanavistoon useampi painesäädin (kuva 5). Yksi painesäädin asennetaan aina puhaltimen läheisyyteen ja muut kaukana sijaitseviin haarakanaviin. Näin ollen myös haarakanavassa varmistetaan riittävä painetaso. [6, s. 62–63.]



Kuva 5. Useampi kuin yksi painesäädin takaa paineen riittävyden kanaviston kriittisimmässäkin osassa. Säätkäavio mukailtu Olli Seppäsen kirjan Ilmastoinnin suunnittelu mukaan. [6, s. 63.]

3.3 Automaatiojärjestelmän rakenne

Automaatiojärjestelmä koostuu eri tasoista ja jokaisella tasolla on tärkeä tehtävä järjestelmän toimivuuden kannalta. Kuvassa 6 on esitetty automaatiojärjestelmän rakenne.



Kuva 6. Automaatiojärjestelmän rakenne [8, s. 60].

Korkein taso on hallintotaso, keskellä automaatiotaso ja viimeisenä kenttätaso. Hallintotaso käsittää rakennuksessa sijaitsevat valvomot ja nykyään myös etävalvomot. VAK eli valvonta-alakeskus kuuluu automaatiotasoon siihen liittyvien oheislaitteiden kanssa. Kenttätasolla ovat esimerkiksi ilmastointiprosessissa olevat toimilaitteet ja anturit. Kenttätasoon kuuluvat myös erilaiset huonesäätimet sekä ilmastointijärjestelmän huonekohtainen säätölaite. [8, s. 21–23.]

3.4 Käyttöjärjestelmät

Tässä luvussa esitellään tarkemmin Modbus- ja KNX-protokollat. Taloautomaatiossa on paljon erilaisia käytettyjä tiedonsiirtoprotokollia, kuten Bacnettiä, Lonworksia, KNX:ää ja Modbussia.

3.4.1 Modbus

Modbus-järjestelmän suurin hyöty on sen toimivuus kaikilla viestintävälineillä, esimerkiksi kuituoptiikalla, parikaapeleilla, langattomalla tiedonsiirrolla ja Ethernetillä. Modbus-laitteiden tietoja hallitaan neljällä niin kutsutulla rekisterillä. Input Register tulkitsee analogisia sisääntuloja (Analog inputs), Holding Register tulkitsee analogisia ulostuloja (Analog outputs), Discrete Input tulkitsee digitaalisia sisääntuloja (Digital inputs) ja Coils tulkitsee digitaalisia ulostuloja (Digital outputs). [9, s. 10.]

Järjestelmä perustuu asiakas/palvelin -menetelmään, jossa asiakas lähettää komentoja palvelinlaitteille, jotka lähettävät vastauksen takaisin asiakkaalle. [9, s.11]

Modbus-järjestelmän valttina on viestinnän tilattomuus, minkä vuoksi se sietää erittäin paljon häiriöitä. Modbus ei kaikilta osin vastaa nykypäivän vaatimuksia, mutta se on yhä paljon käytetty järjestelmä. [9, s.12]

3.4.2 KNX

KNX on KNX-yhdistyksen asettama standardi koti- ja rakennusautomaatioon. KNX standardi on luotu EIB- (European Installations Bus), EHS- (European Home Systems) ja BatiBus-standardeista. KNX:n tavoitteena on pitää huoli järjestelmien, sovellusten ja tuotteiden yhteen toimivuudesta, minkä ansiosta eri toimijoiden ohjaimet, toimilaitteet ja anturit kykenevät muodostamaan yhden eheän automaatioverkon. [9, s.13.]

KNX-verkko on mahdollista suunnitella erilaisilla väylätekniikoilla. Useimmin KNX-verkon toteutuksessa käytetään kierrettyä parikaapelia, mutta toteutuksessa voidaan käyttää myös sähkökaapelia (230 V), radiotaajuutta, infrapuna tai Ethernetiä. Kaikilla laitteilla on KNX-järjestelmässä oma osoite. Tiedonsiirto tapahtuu KNX-laitteiden lähettämällä yksittäisillä sanomilla. KNX-väylän rakenne

muodostuu päälinjasta, runkolinjasta ja linjasta. On mahdollista jakaa linjat segmentteihin toistimien avulla, linjoissa voi olla enintään 256 laitetta. [9, s. 13–14.]

Tavallisimmin KNX-järjestelmää käytetään lämmityksen, ilmavaihdon tai valaistuksen hallintaan. Järjestelmässä voi myös olla erilaisia mittalaitteita, kuten vesi- ja sähkömittareita. KNX-järjestelmän valttina muihin järjestelmiin verrattuna ovat vähäinen johtimien määrä, laajempi skaala erilaisia toimintoja, järjestelmän helppo laajennettavuus sekä hyvät suojausmahdollisuudet. [9, s. 14.]

3.5 Kenttälaitteet

Tässä luvussa käydään läpi ilmastointijärjestelmän automatiikkaan kuuluvien laitteiden ja antureiden toimintaa. Laitteiden ja antureiden toimivuuteen vaikuttavat laadun lisäksi muun muassa laitteen sijainti ja asennustapa.

Kenttälaitteet käsittävät mitta-anturit ja toimilaitteet. Anturit välittävät reaaliajassa tietoa prosessien tilasta ja olosuhteista, esimerkiksi huonetilojen lämpötiloista. Alakeskuksessa sijaitsevat ohjelmistot tai itsenäiset I/O-moduulit vertaavat anturin välittämiä tietoja asetettuihin tavoitteisiin ja pyrkivät ohjaamaan toimilaitteita niin, että tavoitteet saavutetaan. [7, s. 44.]

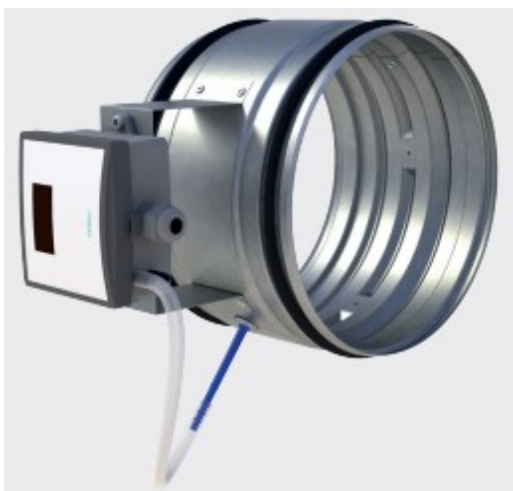
VAV-järjestelmissä tilojen ilmastoinnin säätöön käytetään ilmamääräsäätimiä (IMS). IMS-laitteiden toimintaa ohjaa rakennusautomaatiojärjestelmä siten, että automaatiojärjestelmään saadaan tieto ilmavirrasta ja säätöpellin asennosta. Tilan ilmastointia ohjataan huonesäätimien avulla, jotka kytketään huonesäätöväylällä automaatiojärjestelmään. Tilat varustetaan CO₂-pitoisuuden ja lämpötilan mittauksella. Käyttäjä voi halutessaan säätää tilan asetusarvoa. [7, s. 45.]

3.5.1 Kokemuksia kenttälaitteiden toiminnasta

Havainnot perustuvat kolmen kohteen ilmastointijärjestelmän säätötyöhön. Ilmastointijärjestelmän toimivuuden kannalta on tärkeää perehtyä suunnittelussa kenttälaitteiden valintaan. IMS-säätimiä on usealla valmistajalla, ja suurin osa

säätimistä on nykyään varustettu ultraäänitekniikkaan perustuvalla ilmavirran mittauksella. Ilmavirran mittaus tapahtuu kanavan pinnasta ultraäänellä, näin ollen kanaviston likaantuminen ei johda huoltotoimiin eikä vaikuta mittaustarkkuuteen. IMS-säätimiä saa täydellisinä paketteina (kuva 4), joihin sisältyy mittausyksikkö, säätöpelti ja toimilaite. Valmiiksi tehtaalla koottu paketti on nopea asentaa, kun jäljelle jää ainoastaan laitteen kytkentä automaatiojärjestelmään. Valvonta-alakeskukseen syötetään jokaiselle IMS-säätimelle minimi- ja maksimiilmavirrat. Säädin pyrkii säätämään ilmavirtaa näiden arvojen välillä riippuen huonesäätimien (hiilidioksidi- ja/tai lämpötila) mittaamista arvoista. Tällainen VAV-järjestelmän toteutustapa on yleisesti käytetty.

Useimmat IMS-laitteet eivät mittaa kanaviston painetta. Jos halutaan jokaisen säätöpellin säätävän ilmavirtaa kyseisen kanavan painetason mukaan, täytyy kanavassa olla mittalaitteen jälkeen staattisen paineen mittausyksikkö (kuva 7).



Kuva 7. Staattisen paineen mittausyksikkö Halton MSS [10].

Tässä tapauksessa ilmavirran mittalaitteeseen asennetaan työmaalla säätöpelti, ja automaatiourakoitsija asentaa säätöpellin toimilaitteen. Staattisen paineen mittausyksikkö välittää reaaliaikaista tietoa automaatiojärjestelmään, ja säätöohjelma pyrkii ohjaamaan säätöpeltiä niin, että kanavapaine pysyy asetusarvossaan. Tällaisessa ratkaisussa ilmavirran mittalaite välittää ainoastaan ilmavirran mittaustuloksen automaatiojärjestelmään, ja säädön hoitavat paineanturi ja säätöpelti. Kyseinen VAV-järjestelmän toteutustapa on hieman IMS-säätimillä

toteutettua järjestelmää monimutkaisempi, sillä tarvitaan ilmavirran mittalaite, säätöpelti ja toimilaite erikseen (kuva 8). Järjestelmän tasapainottaminen vaatii, että säätäjä ymmärtää järjestelmän toimintaa ja osaa asettaa kanavapaineen asetusarvot oikein.



Kuva 8. Ylhäältä alas kuvattuna FTMU mittalaite, Lindab [11], BDEP-säätölaite, Fläktwoods [12] ja virtauksen säädin LMV-D3-KNX, Belimo [13].

IMS-säätimiä sisältävän ilmastointijärjestelmän säätäminen helpottuu, jos säätimet ovat varustettu Bluetooth-yhteydellä. Säätimeen täytyy päästä käsiksi esimerkiksi ilmavirran minimi- ja maksimiarvoa säätämään tai jos IMS-säätimessä epäillään olevan vikaa tai laite vaatii kalibrointia. On huomattavasti nopeampaa ottaa laitteeseen yhteys puhelimella Bluetoothin avulla, kuin kiivetä tikkailla avaamaan alakattolevyjä.

4 Arkkitehti- ja rakennesuunnittelun merkitys ilmastointijärjestelmän toimivuudessa

4.1 IV-konehuoneiden suunnittelu

Konehuoneet tulee suunnitella niin, että tilaa on riittävästi ilmastointikoneille ja huoltotoimenpiteille. Rakenne- ja arkkitehtisuunnittelu huolehtii riittävän tilan varaamisesta ilmastointilaitteille. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon koneiden lukumäärä sekä ilmavirrat. Konehuoneeseen täytyy olla esteetön ja turvallinen kulkureitti niin henkilöille kuin tavaraliikenteelle. Konehuoneen ilmastointilaitteiden yhteenlaskettu ilmamäärä antaa alustavan arvion konehuoneen pinta-alalle. Rakennuksen yhteenlaskettu ilmamäärä ei yksin riitä konehuoneen tilantarpeen arvioinnille, on otettava huomioon myös koneiden lukumäärä. Kaksi pientä ilmanvaihtokonetta vie enemmän tilaa kuin yksi suuri ilmanvaihtokone. On tärkeää ottaa huomioon konehuoneen korkeus, jotta ilmastointikoneiden ja kanaviston asennukselle on tarpeeksi tilaa. Vähimmäiskorkeutena voidaan pitää 3,5 metriä ja isommissa konehuoneissa neljää metriä. Konehuoneen muoto ei voi olla millainen tahansa, suotava muoto on suorakaide, jonka lyhyt sivu on vähintään neljä metriä pitkä. [1, s. 185–187.]

Ilmanvaihtokonehuoneet on suunniteltava niin, että tilaa on tarpeeksi koneiden huoltotöitä varten. Pinta-ala tulisi olla 5–7 % koko rakennuksen bruttoalasta. Koneen huoltopuolella on oltava vähintään koneen levyinen ja korkuinen tila, jotta esimerkiksi pyörivä LTO-lämmönsiirrin voidaan tarvittaessa vaihtaa. Mikäli

koneita asennetaan päällekkäin, on kiinteä huoltotaso asennettava yli kahden metrin korkeudella sijaitsevia laitteita varten. Konehuoneen kanavistojen ja kammioiden puhdistusluukkuihin täytyy olla riittävän helppo pääsy. [6, s. 109–114.]

4.2 Kanaviston vaatimukset

Kanaviston hyvä suunnittelu helpottaa asennus- ja säätötyötä. Painehäviöiltään väljäksi suunniteltu ja turhia mutkia välttävä kanavisto on energiatehokas ja helppo säätää. Tässä luvussa esitetään kanaviston tärkeimpiä ominaisuuksia hyvän säädettävyyden sekä helpon asennustyön näkökulmasta.

Tärkeä seikka kanaviston suunnittelussa on sen vaatima tilantarve. Itse kanaviston lisäksi on varattava tilaa kanavien risteyskohdille, eristyksille, asennus- ja eristystyölle, sekä huollolle. Muun talotekniikan vaatima tilantarve tulee myös ottaa suunnittelussa huomioon. Jos riittävää tilantarvetta ei ole suunnittelussa noudatettu, on mahdollista, että kanavisto täytyy asentaa eri korkeudelle ja eri tavalla kuin suunnitelmissa. Tästä koituu monia ongelmia, kuten virtauspoikkipinta-alan pieneneminen, lisätyt korkeus- ja sivuttaissiirrot sekä ylimääräiset kanavamutkat. [2, s. 220.]

5 Ilmastointikoneen ja kanaviston mitoitus

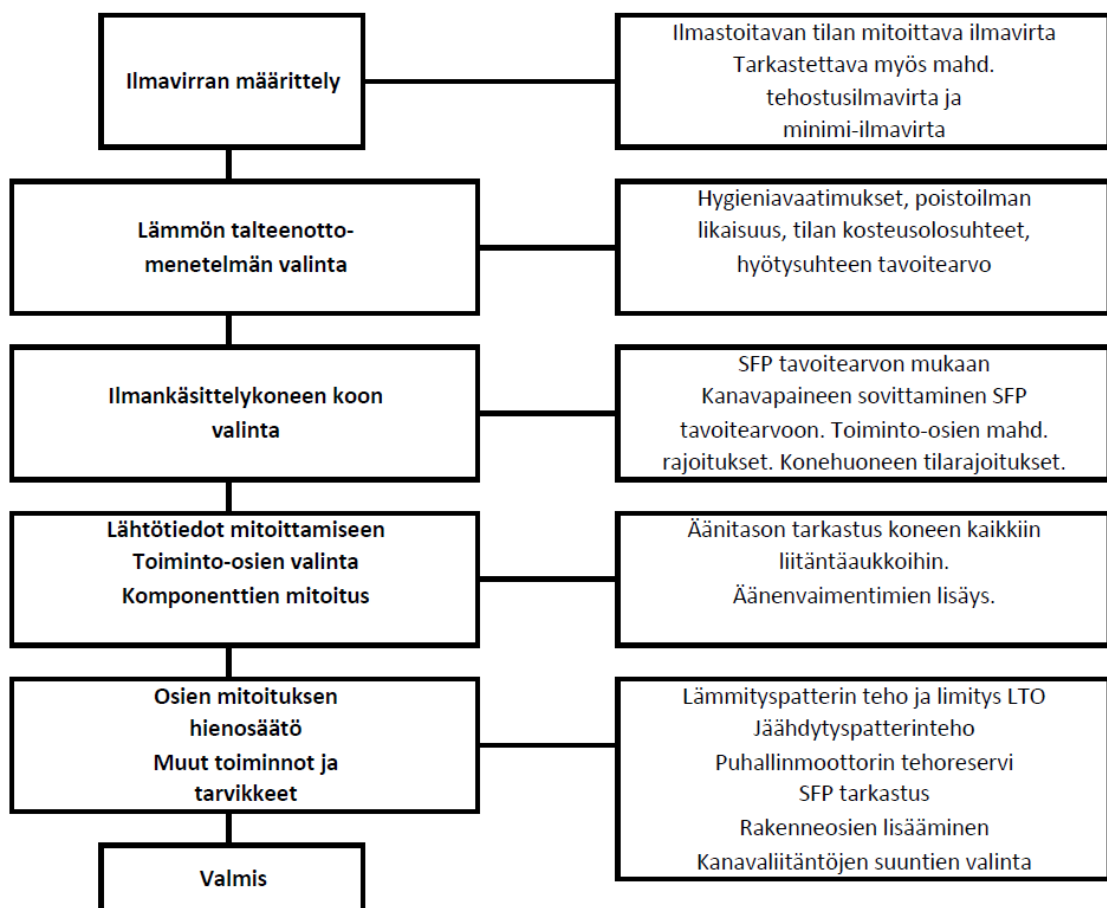
Luvussa käsitellään ainoastaan kammiopuhaltimilla varustettuja koteloituja koneita. Lisäksi esitetään, miten kanaviston painehäviöt lasketaan.

5.1 Ilmastointikoneen mitoitus ja valinta

Ilmastointikoneen valinta määräytyy rakennuksen eri huonetilojen kuormituksesta sekä käyttöajoista. Useimmiten säätöalue on välillä 50–100 %. Kun osaa huonetiloista käytetään myös työajan ulkopuolella, täytyy keskuskoneen minimi

ilmavirran olla 15–30 % maksimista. Tämä tarkoittaa sitä, että tavanomaisessa kuormitusilanteessa kone käy 50 %:n teholla maksimista, jolloin kanaviston staattinen paine pysyy matalana ja näin ollen säästyy puhaltimien kuluttamaa sähköenergiaa. [6, s. 61–62.]

Ilmastointikoneiden valinta tehdään nykyisin lähes aina valmistajien mitoitusohjelmilla. Tuloksena saadaan esimerkkikone, joka täyttää valintaohjelmaan syötetyt vaatimukset. Ilmastointikoneen valinta on tärkeä osa ilmastointijärjestelmän toimintaa. Oikealla valinnalla vaikutetaan rakennuksen energiatehokkuuteen, sisäilmaston puhtauteen ja viihtyvyyteen. Mitoitus- ja valintaprosessi suoritetaan pääpiirteissään kuvan 9 lohkokaaavion mukaan. [7, s. 178–179.]



Kuva 9. Ilmastointikoneen valinta- ja mitoitusprosessi. Mukailtu Esa Sandbergin kirjan Ilmastointilaitoksen mitoitus mukaan [7, s. 178–179.].

5.2 SFP-luvun laskenta

Ominais sähköteho koko rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmälle lasketaan siten, että kaikkien puhaltimien ja niiden tarvitsemien apulaitteiden sähköverkosta otettava sähköteho lasketaan yhteen ja jaetaan mitoitusilanteen ulospuhallus- tai ulkoilmavirralla, riippuen kumpi näistä on suurempi. SFP-luku kuvaa siis, kuinka paljon sähkötehoa rakennuksen ilmastointi tarvitsee yhden ilmakeuution siirtämiseen. Kokonais sähköenergian kulutuksessa on huomioitava lisäksi lämmön talteenoton pumppujen ja moottorien kuluttama sähköenergia. SFP-luku lasketaan kaavalla 1. Laskennassa tulee käyttää aina suurempaa ilmavirtaa. [7.]

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{max}} \quad (1)$$

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho, kW/ (m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

$P_{apulaitteet}$ on taajuusmuuttajien ja muiden sähkölaitteiden, sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottorien ottama sähköteho, kW

q_{max} on mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m³/s

5.3 Puhaltimien kuluttama sähköenergia

Puhaltimet kuluttavat arviolta noin 40 % koko LVI-järjestelmän sähköverkosta ottamasta sähköenergiasta. Ruotsissa ECiS AB (Energy Concept in Sweden) teki LVI-järjestelmistä puhaltimien tehomittauksia yhteensä 767 puhaltimesta. Mittausten kohteena olivat vuosina 2005–2009 toteutetut LVI-järjestelmät. Tutkimuksessa havaittiin puhaltimien kokonaishyötysuhteen keskiarvoksi vain 33 %. Jopa 50 % puhaltimien kuluttamasta sähköenergiasta olisi säästettävissä asentamalla energiatehokkaampia puhaltimia ja hallitsemalla paremmin järjestelmän toimintaa. Puhaltimen sähköverkosta ottama teho lasketaan kaavalla 2. [14, s. 5.]

$$P_{input} = \frac{P_{tot} \cdot V}{\eta_{tot}} \quad (2)$$

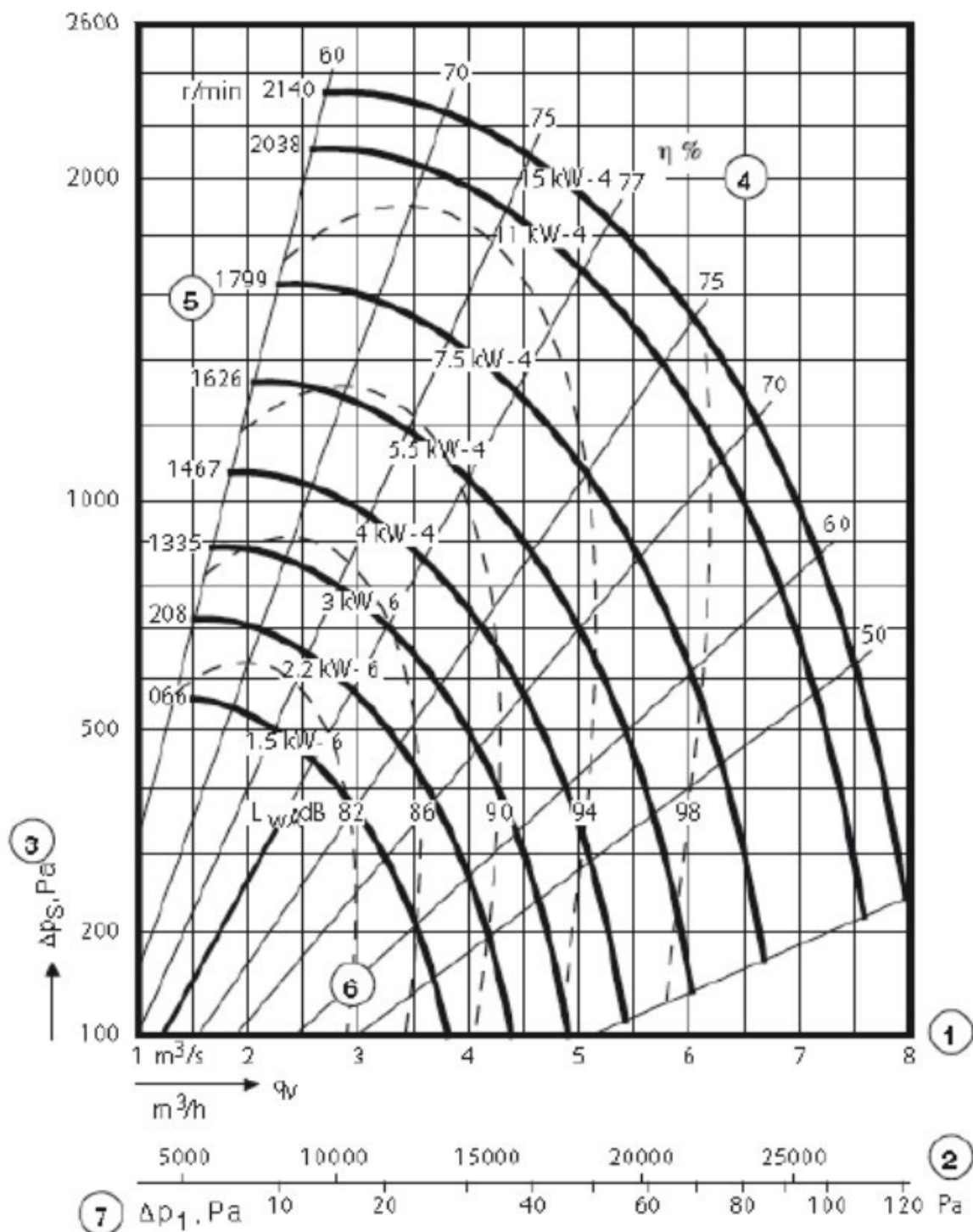
P_{input} on puhaltimen sähköverkosta ottama teho, W

P_{tot} on kokonaispainehäviö, Pa

V on ilmavirta, m³ /s

η_{tot} on puhaltimen kokonaishyötysuhde

Kuvassa 10 on erään puhaltimen puhallinkäyrä. Puhaltimen toimintapiste löytyy puhallinkäyrän ja kokonaispainehäviökäyrän leikkauspisteestä. Kokonaispainehäviöön sisältyvät IV-koneen sisäiset painehäviöt, joita ovat muun muassa suodattimet, lämmitys- ja jäähdytyspatterit sekä kanaviston vaikeimman reitin painehäviö. Yleensä vaikein reitti on ulkoilmasäleiköltä kaukaisimmalle pääte-laitteelle.



Kuva 10. Erään kammiopuhaltimen puhallinkäyrä, josta nähdään puhaltimen sähköenergian kulutus paineen tuotosta, kierrosnopeudesta ja ilmamäärästä riippuen [2].

5.4 Kanaviston mitoitus

Tässä luvussa käydään läpi kanaviston virtausteknisiä perusteita. Luvussa esitetään, miten kanaviston vastuskäyrä riippuu kitkapainehäviöistä sekä kertavastusten painehäviöistä.

5.4.1 Virtaustekniset perusteet

Ilmakanavien kokonaispaineen virtaushäviöt muodostuvat kitkapainehäviöistä, muodonmuutosten eli käyrien, T-haarojen ja kanavistovarusteiden kertavastuksien painehäviöistä ja puhaltimen liitäntähäviöistä. [7, s. 88.]

Kitkapainehäviöiden suuruuteen vaikuttavat

- kanavan koko sekä muoto
- ilman nopeus
- ilman viskositeetti
- sisäpinnan karheus
- kanavan pituus
- ilman tiheys

Peltikanavien kitkapainehäviöt luetaan yleisesti niille laadituista käyrästäistä tai valmistajien käyrästäistä. Kanavistojen suunnitteluohjelmistot noudattavat myös näitä käyrästäjä. [7, s. 88–90.]

Ilman nopeus kanavassa voidaan laskea kaavalla 3, kun tiedetään tilavuus- tai massavirta. [7, s. 88.]

$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{q_m}{\rho A} \quad (3)$$

v on ilman nopeus [m/s]

q_v on ilman tilavuusvirta [m^3/s]

q_m on ilman massavirta [kg/s]

ρ on ilman tiheys [kg/m^3]

A on kanavan poikkipinta-ala [m^2]

Painehäviöistä nähdään virtauksen kokonaispaineen muutos. Kaavalla 4 voidaan laskea painehäviöt $\Delta p_{\text{häviöt}}$, jossa summamerkki tarkoittaa kaikkien samassa virtaussuunnassa olevien painehäviöiden yhteen laskemista. [7, s. 88.]

$$\Delta p_{\text{häviöt}} = \sum \Delta p_{\lambda} + \sum \Delta p_{\zeta} = \sum \left(\frac{\lambda L}{d} * 0,5 * \rho v^2 \right) + \sum (\zeta * 0,5 * \rho v^2) \quad (4)$$

Δp_{λ} = kitkapainehäviö yhdellä kanavaosuudella [Pa]

Δp_{ζ} = kertavastuspainehäviö yhdessä muodonmuutoksessa [Pa]

λ = kitkavastuserroin [–]

L = kanavaosuudenpituus

d = kanavaosuuden sisähalkaisija [m]

ζ = muodonmuutoksen kertavastusluku

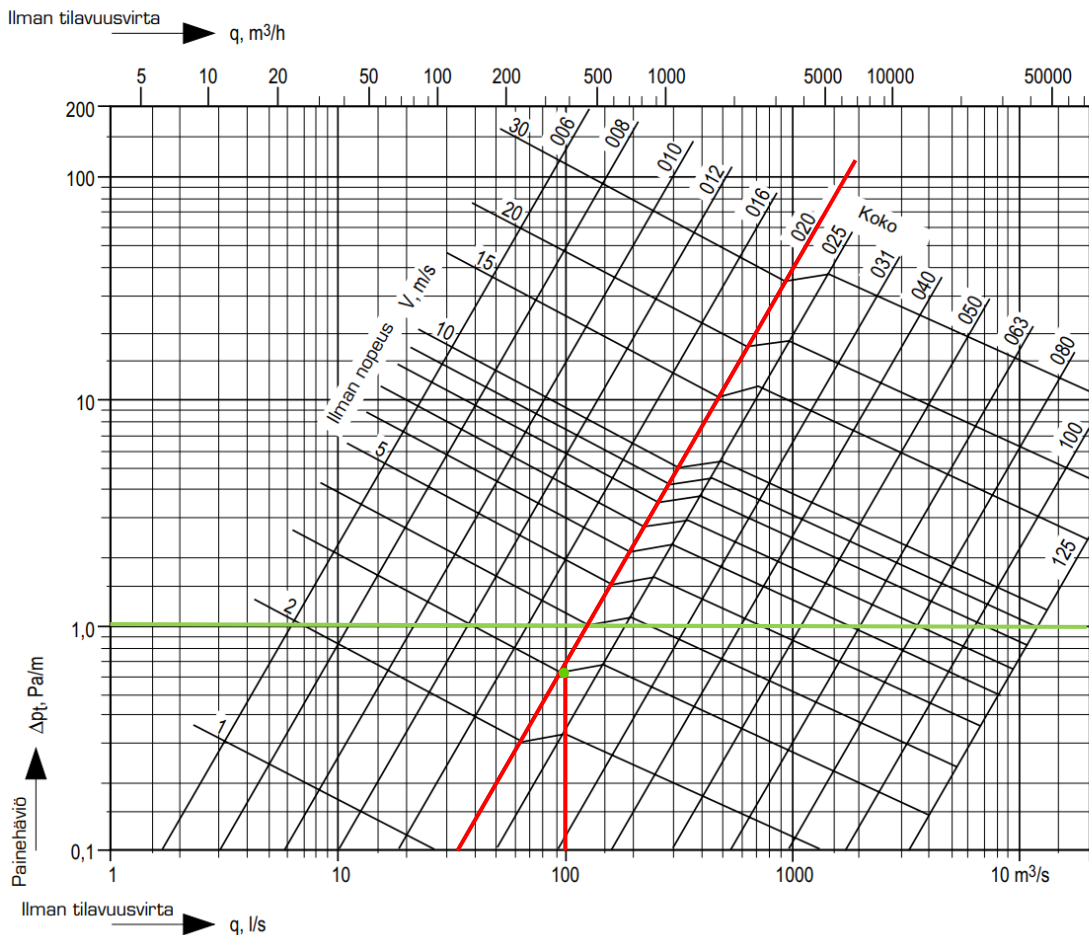
Kanavistot tulisi pyrkiä suunnittelemaan niin, ettei kitkapainehäviö ylitä arvoa 1 Pa/m. Yleensä tähän päästään, kun pidetään ilman nopeus kanavassa alle 3 m/s. Kaavasta 4 nähdään, että ilman nopeuden kasvaessa painehäviöt kasvavat nelikertaisesti.

5.4.2 Kanaviston vastuskäyrä

Ilmanvaihtojärjestelmän kanavistolle on asetettu tavoitteita, jotka edesauttavat järjestelmän vaatimaa toimivuutta. Hyvän säädettävyyden varmistamiseksi kanaviston on oltava virtausteknisesti vakaa ja painehäviöiltään symmetrinen, näin ilmavirrat pysyvät halutuissa arvoissa eri virtaustilanteissa. Kun kanaviston painehäviöt nousevat liian suuriksi, ilmavirtojen hallinta ja säätö vaikeutuu. [6, s. 115.]

Kanaviston mitoituksessa käytetään pääkanavissa enimmäisnopeuksina 5...6 m/s ja haarakanavissa 2...3 m/s. Vakiopainehäviöinä käytetään usein 1 Pa/m:n painehäviöitä. On edullista pyrkiä kanaviston väljään mitoitukseen, sillä mitä pienemmät ovat painehäviöt, sitä pienempi on puhaltimen sähköenergian kulutus. Mitä suuremmat ovat painehäviöt, sitä kalliimmaksi ja jopa mahdottomaksi tulee virtausten tasapainottaminen ja äänitasojen hallinta. [6, s. 115.] Kuvassa 11 esitetään kanaviston mitoitusperiaate, kun pyritään enimmillään 1 Pa/m oleviin kitkapainehäviöihin.

Kanava



Kuva 11. Kuvasta nähdään eri kokoisten kanavien painehäviö/m ja ilman nopeus, riippuen ilman tilavuusvirrasta [15, s. 60].

Vihreällä viivalla on merkitty raja 1 Pa/m raja, eli kanavat valitaan vihreän viivan alapuolelta. Kuvassa 11 on esitetty kanavakoon valinta ilmavirralla 100 l/s.

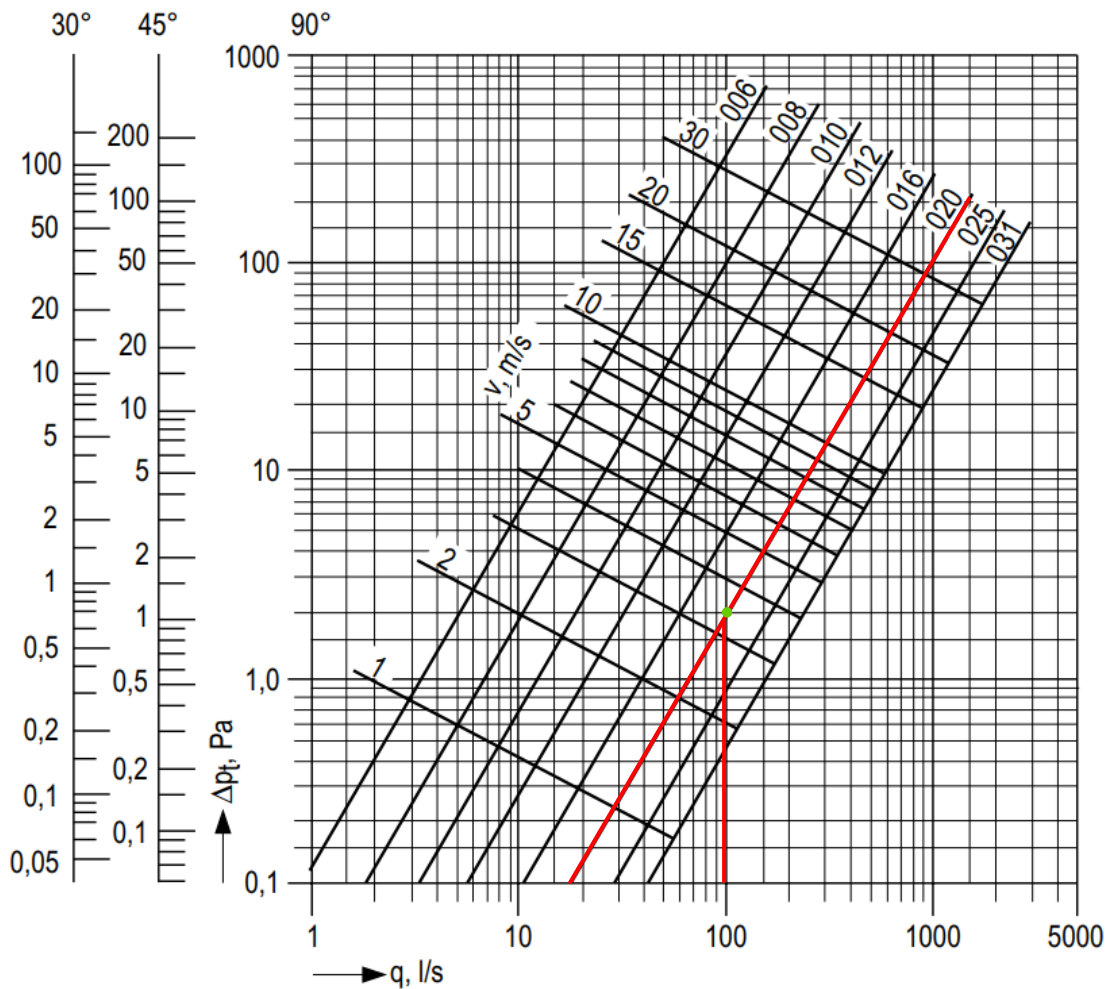
Punaiset viivat risteävät vihreällä merkatussa pisteessä 1 Pa/m viivan alapuolella, joten valitaan \varnothing 200 mm:n kanava. Ilman nopeus asettuu 100 l/s ilmavirralla \varnothing 200 mm:n kokoisella kanavalla hieman yli suositellun 3 m/s raja-arvon, mikäli kyseessä on haarakanava. Suunnittelussa voidaan pohtia, onko seuraavan kanavakoon valitseminen järkevää ylityksen ollessa näin pieni. Esimerkistä nähdään, että täydellistä kanavien mitoitusta on vaikea saavuttaa. On selvitetävää, kuinka paljon tilaa voidaan rakennuksessa varata kanavistolle. Kanavisto on mitoitettava siten, että mahdolliset kitkاپainehäviöiden ja ilman nopeuksien ylitykset suositelluista raja-arvoista pysyvät mahdollisimman pieninä.

5.4.3 Kertavastuspainehäviöt

Kanaviston komponenttien ja muodonmuutosten kertavastuspainehäviöt voidaan esittää kahdella eri tavalla:

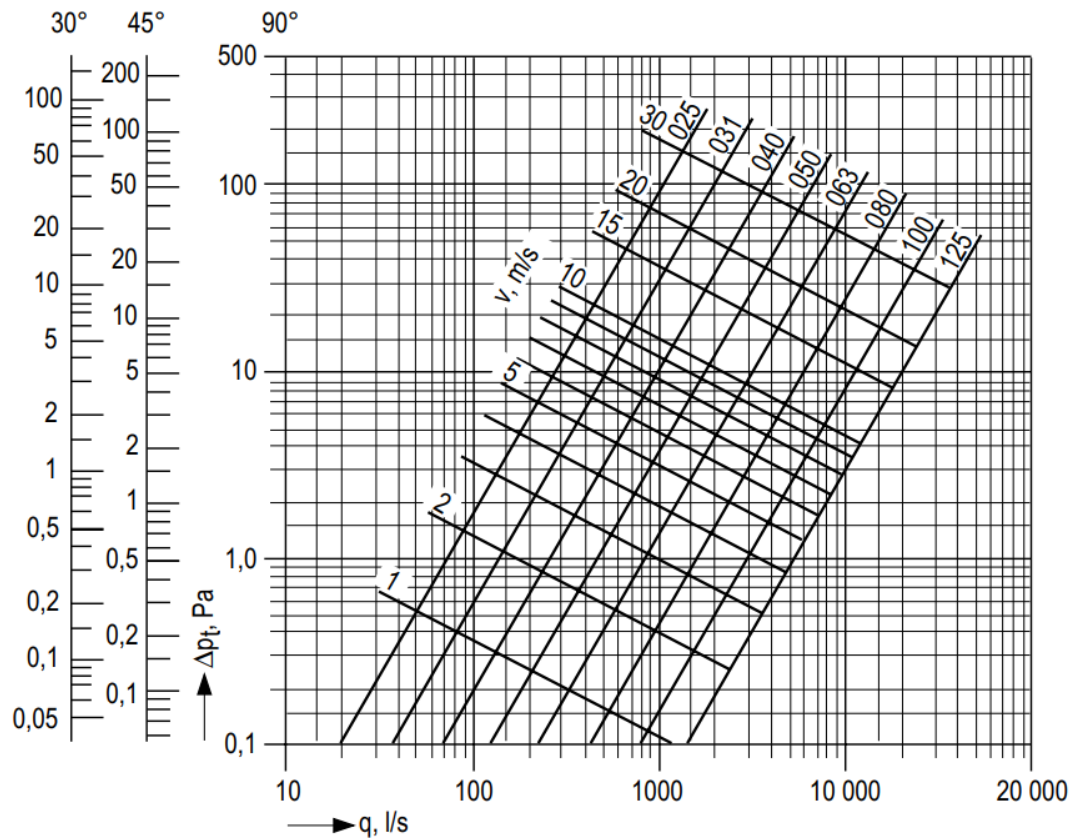
1. Standardimittaisten pyöreiden kanavaosien käyrästöt, joista luetaan painehäviö [Pa]. Lukema pitää sisällään myös muodonmuutoksen kitkavastuksen.
2. Kertavastuslukukäyrästöt, joista saadaan painehäviöt kertomalla kertavastusluvut [-] dynaamisella paineella [Pa]. Kitkavastusta ei ole näissä luvuissa huomioitu.

Seuraavaksi esitetään kanavaosille laadittuja käyrästöjä. Kuvassa 12 esitetään puristustekniikalla valmistettujen käyrien painehäviöt ja kuvassa 13 palaosana valmistettujen käyrien painehäviöt. [7, s. 93]



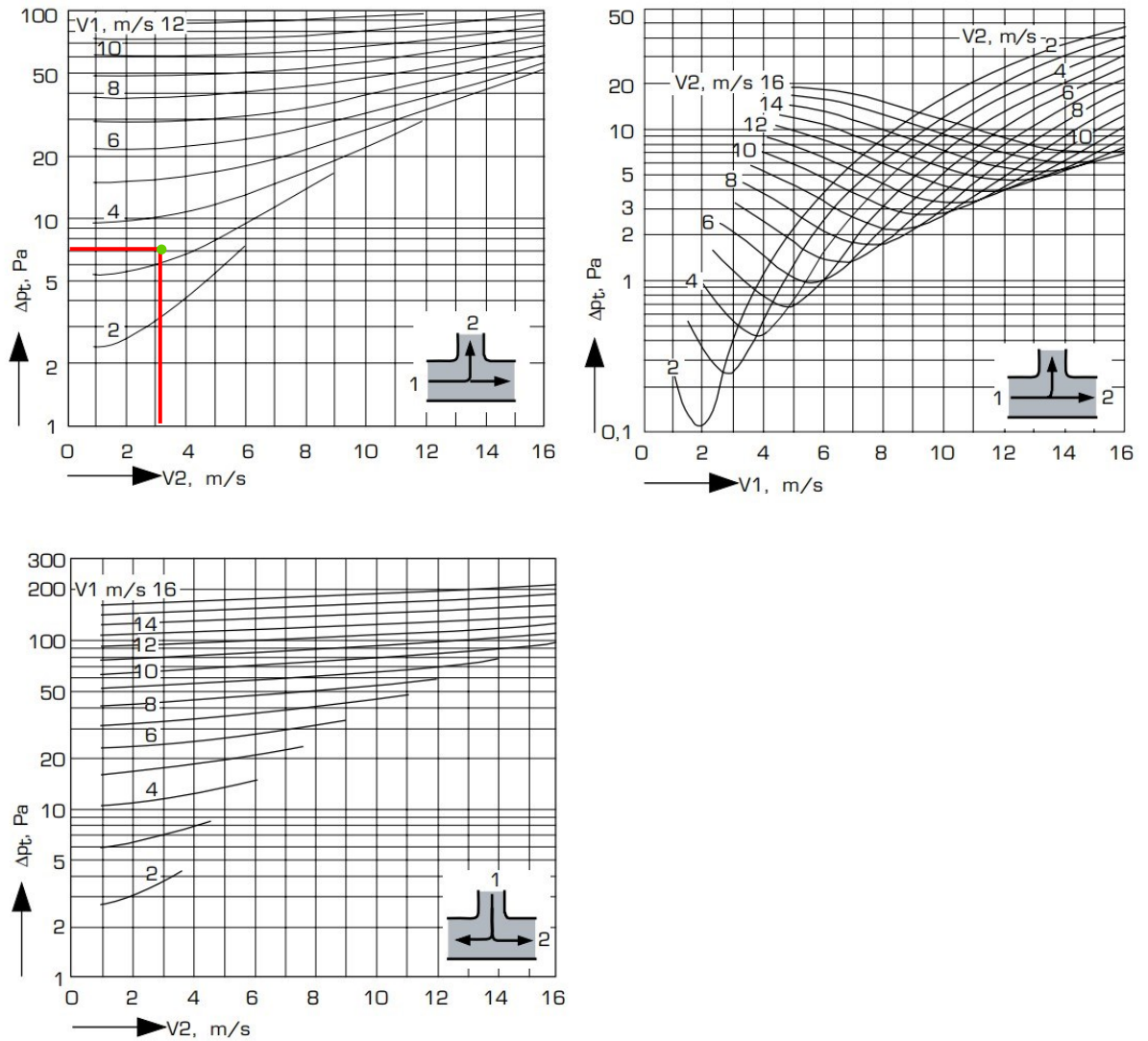
Kuva 12. Kuvasta nähdään puristettujen käyrien (pienet koot noin 250 mm:iin asti) painehäviöt, jotka sisältävät myös kitkavastuksen [15, s. 61].

Kanaviston mitoitusta voidaan jatkaa valitsemalla \varnothing 200 mm kanava, jossa kulkee 100 l/s ilmavirta. Kuvassa 12 nähdään yhden 90° käyrän tuottavan noin 2 Pa:n painehäviön. Painehäviölaskennassa on huomioitava, että kaksi peräkkäin asennettua muodonmuutos osaa saattaa aiheuttaa suuremman painehäviön, kuin kaksi yksittäistä osaa yhteensä. Esim. Z-mallisesti kaksi toisiinsa kiinni asennettua 90° käyrää aiheuttavat noin 1,5-kertaisen painehäviön verrattuna kahden erillisen käyrän painehäviöön. [6, s. 95.]



Kuva 13. Kuvasta nähdään palaosana valmistettujen käyrien (suuret koot) painehäviöt, jotka sisältävät myös kitkavastuksen [15, s. 61].

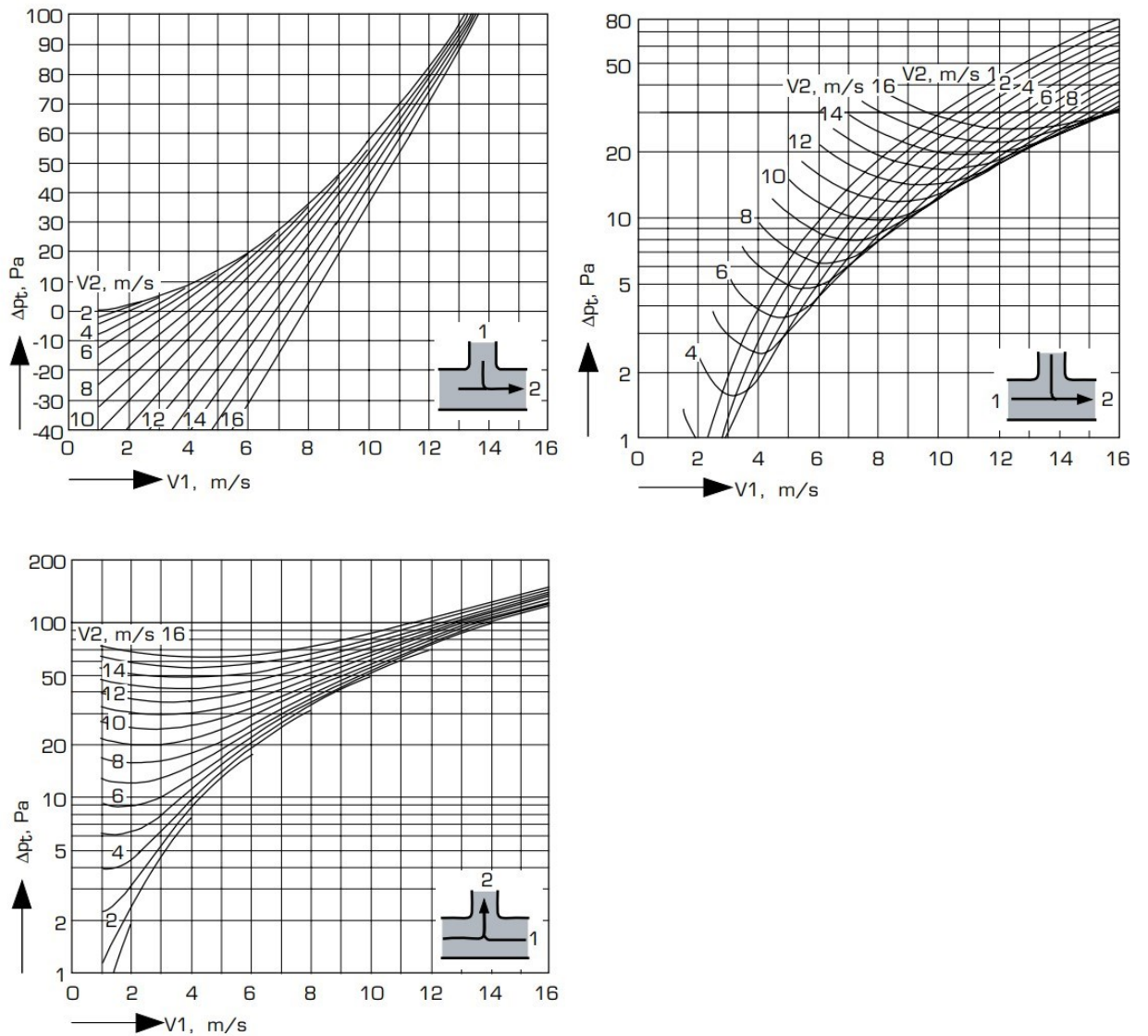
T-haarojen muodostamille painehäviöille on erikseen laadittu käyrästä tuloilmakanaville (kuva 14) ja poistoilmakanaville (kuva 15). Muuntoliittimien aiheuttama painehäviö sisältyy T-haaran painehäviöön, mikäli muuntoliitin on asennettu t-haaran yhteyteen.



Kuva 14. Pyöreiden tuloilmakanavien t-haarojen painehäviöitä, jotka sisältävät kitkavastuksen. On kiinnitettävä huomiota virtaussuuntaan, joka on kuvattu 1 -> 2. [15, s. 63].

Vasemman yläkulman käyrästä voidaan lukea T-haaran painehäviö, kun runko kanava on $\varnothing 200$ mm ja siitä haarautuva kanava on myös $\varnothing 200$ mm. Kanavassa kulkee 100 l/s ilmavirta. Käytetään laskennassa kaavaa 3. Ilman nopeudeksi saadaan $0,1 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0314 \text{ m}^2 = 3,18 \text{ m/s}$. Tässä tapauksessa V_1 ja V_2 ovat samat, joten luetaan käyrästä t-haaran aiheuttamaksi painehäviöksi noin 7 Pa.

$$v = \frac{q_v}{A} = \frac{q_m}{\rho A} \quad (3)$$



Kuva 15. Pyöreiden poistoilmakanavien t-haarojen painehäviöitä, jotka sisältävät kitkavastuksen. On kiinnitettävä huomiota virtaussuuntaan, joka on kuvattu 1 -> 2. [15, s. 63].

Ulkoiset painehäviöt saadaan, kun lasketaan painehäviöltään kanaviston vaikeimman reitin painehäviöt yhteen. Suunnitteluohjelmat laskevat kanaviston painehäviöt automaattisesti, mutta on tärkeää osata laskenta myös käyrästöistä. Suunnittelija osaa tällöin tulkita suunnitteluohjelman laskennan tuloksia ja nähdä mahdolliset virheet.

5.5 Havaintoja kohteista

Suunnittelussa pyritään aina noudattamaan edellä mainittuja ohjeita ilmastointikoneen ja kanaviston mitoitukseen. Projektin edetessä tulee kuitenkin eteen ennalta arvaamattomia haasteita. Kuvassa 16 nähdään, kuinka kanavisto mutkittelee tilanpuutteen takia. Asennuksessa on lisäksi jouduttu käyttämään jyrkempää 90° käyrää, joka aiheuttaa tavallista käyrää suuremman painehäviön. Luvussa 5.4.2 nähtiin, miten kanaviston muodonmuutokset kasvattavat painehäviötä. Kokonaispaineen korotus muuttuu ja puhaltimen toimintapiste puhallinkäyrässä siirtyy epäsuotuisaan suuntaan. Puhallinta mitoitettaessa tulisi varmistaa puhaltimen tehoreservin riittävyys, mikäli ulkoiset painehäviöt kasvavat suunniteltuja painehäviötä suuremmiksi.



Kuva 16. Kanaviston mutkittelua tilanpuutteen vuoksi.

6 Havainnot kohteista

Havainnot perustuvat kolmessa kohteessa suoritettuun ilmastointijärjestelmän säätötyöhön. Kohteissa kiinnitetään huomiota kanaviston- ja automatiikan suunnitteluun.

6.1 Koulu- ja päiväkotirakennus

Rakennus on yksikerroksinen. Kohteessa on kolme moduulikonetta sekä erillisiä poistoilmakoneita. Koneiden yhteenlasketut enimmäis- tulo- ja poistoilmavirrat ovat noin $+6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $-6.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Rakennuksessa on vyöhykekohtainen VAV-järjestelmä. Vakio-ominaisuuksien lisäksi koneet on varustettu jäähdytyspattereilla. Puhaltimissa on vakiopainesäätö. Säätöpeltiä ohjaa vyöhykkeiden poistoilmakanaviin asennetut hiilidioksidianturit. Hiilidioksidin ppm arvon noustessa säätöpelti avautuu ja staattinen paine putoaa hetkellisesti kanavistossa. Paineen laskuun reagoi kanavistoon asennettu paineanturi, joka antaa painesäätimelle viestin nostaa puhaltimen kierroksia, kunnes saavutetaan haluttu painetaso kanavistossa. Kun lämpötila vyöhykkeen poistoilmakanavassa nousee yli raja-arvon, tuloilmaa aletaan jäähdyttää. Samalla säätöpellit avautuvat, jotta tiloihin virtaa enemmän jäähdytettyä tuloilmaa.

6.1.1 Ongelmat

Kohteen käyttöönoton jälkeen osassa huonetiloista koettiin sisäilma huonoksi. Mittauspöytäkirjat osoittivat, että kaikissa huonetiloissa oli mitattu suunniteltu tulo- ja poistoilmavirta. Kohteeseen suoritettiin tarkistusmittaukset, jotka osoittivat ilmavirtojen pysyneen suunnitelluissa arvoissa.

Ongelman selvittämiseksi luokkiin asennettiin huonekohtaiset hiilidioksidianturit. Kriittisimmissä luokkahuoneissa mittaukset näyttivät tiettyyn kellonaikaan jopa 1500 ppm . Vyöhykkeen poistoilmakanavassa oleva hiilidioksidianturi sen sijaan

näytti korkeimmillaan 750 ppm:n arvoja, joten säätöpelti ei lähtenyt avautumaan nostaan ilmavirtaa kohti maksimiarvoa. Hiilidioksidimittausten ero johtui siitä, että samaan vyöhykkeeseen kuului tiloja, joiden kuormitustekijät olivat huomattavasti pienemmät, mikä alensi vyöhykekohtaisen hiilidioksidimittauksen keskiarvoa.

6.1.2 Pohdinta

Vyöhykkeiden eri huonetilojen kuormitustekijät eivät suunnittelussa poikenneet huomattavasti toisistaan. Vyöhykekohtainen VAV-järjestelmä näytti suunnittelu- vaiheessa oikealta ratkaisulta ja edullisemmalta toteuttaa huonekohtaiseen järjestelmään verrattuna. Huoneiden henkilömäärät ovat voineet muuttua tilapäisesti kuormittaen tiettyjä huonetiloja enemmän. Vyöhykekohtainen järjestelmä ei ole herkkä reagoimaan muutoksiin kuormituksessa, ja eteen voi tulla edellä mainittuja ongelmia. Huonekohtaisen järjestelmän toteuttaminen jälkikäteen on kalliimpaa, kuin suoraan huonekohtaisen järjestelmän toteuttaminen. Tulevaisuudessa voidaankin vyöhykekohtaisen järjestelmän sijaan arvioida huonekohtaisen järjestelmän tuomaa etua, vaikka rakennuksen nykyinen käyttötarkoitus ei sitä edellyttäisi.

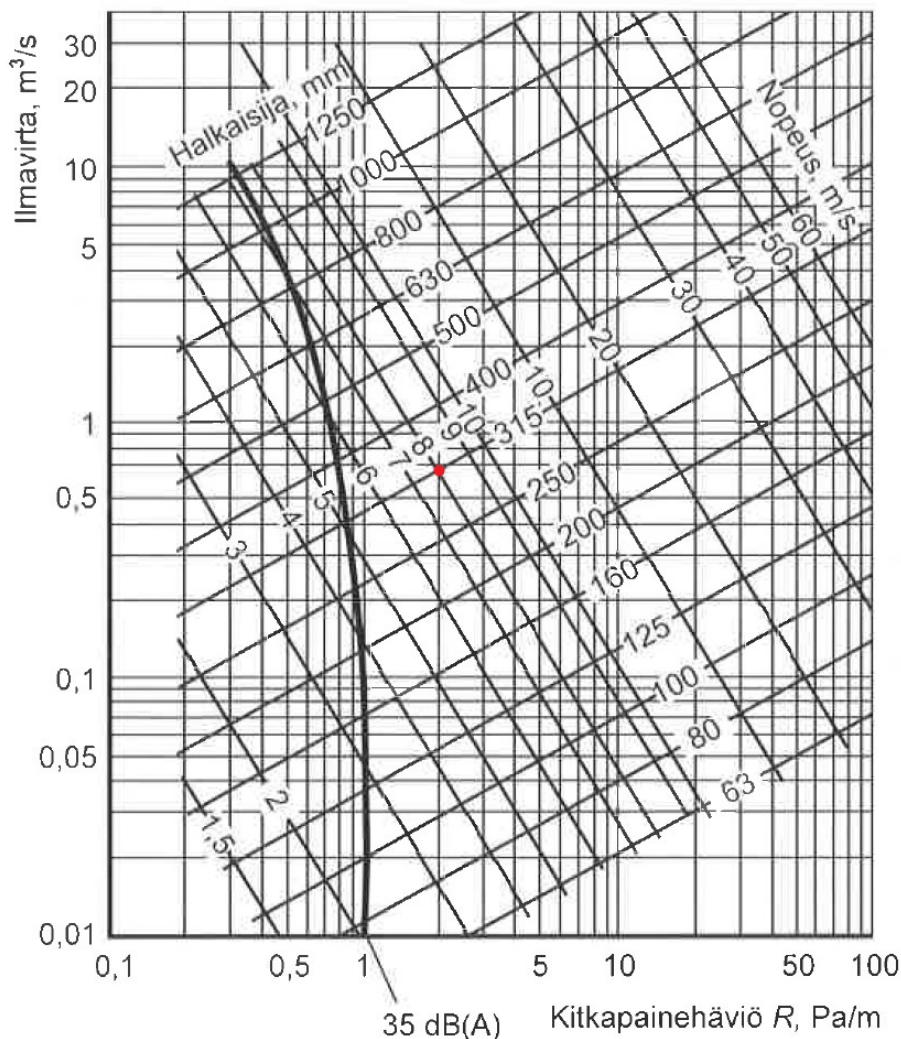
6.2 Kulttuurirakennus

Rakennus on kolmekerroksinen. Suurinta osaa rakennuksesta palvelee yksi moduulikone. Koneen enimmäisilmavirrat ovat $+3.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ja $-3.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Kone on varustettu yleisimpien ominaisuuksien lisäksi jäähdytys- ja kostutustoiminnoilla.

Rakennuksessa on huonekohtainen VAV-järjestelmä. Puhaltimissa on vakiopainesäätö. Kun jäähdytystarvetta ei ole, säätöpeltejä ohjaavat hiilidioksidianturit. Kun jossakin tilassa ilmenee jäähdytystarvetta, huonekohtaiset lämpötila-anturit ohjaavat säätöpeltejä.

6.2.1 Säätyötä hankaloittavat seikat

Kohteessa merkittävin säätyötä vaikeuttava seikka oli talotekniikan niukat tilavaraukset. Kanaviston asentaminen oli hidasta, ja ylimääräisiä korkeus- ja sivuttaissiirtoja tuli paljon. Alakatot olivat ritilämäisiä tai rimoitettuja, jotta ilma kulkeutuu alakaton yläpuolelta huonetilaan. Näin päätelaitteet, sekä ilmavirran huonesäätimet asennettiin alakaton ylle. Tällainen ratkaisu hidasti säätyötä merkittävästi ja lisää huoltokustannuksia tulevaisuudessa. Huonesäätimiä ja niitä ohjaavia peltimoottoreita täytyy varmasti huoltaa tai vaihtaa. Huoltohenkilöllä on oltava käytössään henkilönostin ja mahdollisesti apumies vaikeasti avattavan alakaton takia. Kuvassa 17 nähdään kanaviston mitoitusdiagrammi, josta voidaan lukea kitkapainehäviö Pa/m ilmamäärästä ja kanavakoosta riippuen.



Kuva 17. Pyöreän kanaviston mitoitusdiagrammi. [6, s. 117]

Kellarikerroksen alakaton ja ontelolaatan välissä oli tilaa enintään $\varnothing 315$ mm tuloilmakanavalle. Kanavan maksimi-ilmavirraksi oli mitoitettu 585 l/s. Kanaviston mitoitussuunnitelmasta (kuva 17) nähdään kitkapainehäviön nousevan kanavassa noin 2 Pa/m ja ilman nopeuden kanavassa noin 8 m/s. Kanavistojen mitoituksessa nyrkkisääntönä käytetään 1 Pa/m. Suunnitellun enimmäisilmavirran saavuttamiseksi tuloilmapuhallinta jouduttiin käyttämään suurilla kierroksilla. Oletetaan, että $\varnothing 400$ mm kokoisella tuloilmakanavalla kanaviston vaikeimman reitin painehäviö on 250 Pa ja $\varnothing 315$ mm kanavalla 300 Pa. Ilmanvaihtokoneen sisäiset painehäviöt ovat 500 Pa. Kuvassa 18 nähdään puhaltimen sähköverkosta ottaman sähkötehon laskenta molemmilla kanavakoilla. Laskennassa on käytetty kaavaa 2.

$\varnothing 315$ mm kanava			$\varnothing 400$ mm kanava		
$q_{v,t}$	3,2	m^3/s	$q_{v,t}$	3,2	m^3/s
Δp_{tulo}	800	Pa	Δp_{tulo}	750	Pa
η_{tulo}	63 %		η_{tulo}	66 %	
$P_{e,t}$	4,063	kW	$P_{e,t}$	3,636	kW

Kuva 18. Puhaltimen sähkötehon laskenta eri painehäviöillä.

Oletetaan, että ilmanvaihto on kyseisellä ilmamäärällä käytössä viitenä päivänä viikossa, 12 tuntia päivässä. Jos arvioimme sähkön hinnaksi 20 snt/kWh siirtomaksuineen, maksaa 50 pascalin kanaviston painehäviöiden nousu kiinteistölle 267 euroa vuodessa. Suuremman energiankulutuksen lisäksi kanavapaineen nousu voi aiheuttaa myös ääniongelmia, joita ei ole tässä opinnäytetyössä käsitelty.

6.2.2 Pohdinta

Hyvän säädettävyyden ja energiatehokkuuden vuoksi on tärkeää mitoittaa kanavisto väljäksi.

Rakenne- ja arkkitehtisuunnittelussa on huomioitava kanaviston vaatima tilantarve, jotta tällaisilta ongelmilta vältytään.

6.3 Toimisto- ja laboratoriorakennuksen osittainen saneeraus

Kohteessa uusittiin olemassa olevia kanavistoja ja ilmastointikoneita. Ilmastointijärjestelmään toteutettiin uusi automaatiojärjestelmä. Vanhoihin moduulikoneisiin vaihdettiin EC-moottorilla varustetut puhaltimet hihnavetoisten puhaltimien tilalle. Vanhat puhaltimet olivat taajuusmuuttajilla ohjattuja.

6.3.1 Säättötyötä hankaloittavat seikat

Rakennuksessa oli laboratoriotiloja, joissa oli useita työpisteitä. Jokaisen työpisteen poistoilmakanavassa oli oma säätöpelti toimilaitteella. Kun työpiste otetaan käyttöön, saa säätöpelti 0–10 V:n viestin avautua tiettyyn pisteeseen, kunnes saavutetaan haluttu ilmavirta. Puhaltimia ohjaavia painesäätimiä ei ollut asennettu riittävästi kanavistoon. Painesäätimiä tulisi asentaa myös kriittisiin haarakanaviin (luku 3, kuva 5). Ainoastaan puhaltimen läheisyyteen asennettu paineanturi ei ollut riittävän herkkä havaitsemaan yksittäisen työpisteen käyttöönottoa, jolloin säätöpellin avautuessa puhallin ei vielä korjannut kanaviston pudonnutta staattista painetta. Vasta, kun useampi työpiste otettiin samanaikaisesti käyttöön, paineanturi havaitsi pudonneen staattisen paineen kanavistossa ja korjasi tilanteen nostamalla puhaltimen kierroksia.

6.3.2 Pohdinta

Automaatikan heikko toimivuus haittaa merkittävästi muuten hyvin suunniteltua ja toteutettua ilmastointijärjestelmää. VAV-järjestelmissä kanaviston paineanturin väärä sijainti sekä antureiden liian vähäinen lukumäärä heikentävät järjestelmän toimintaa. Paineantureiden tarkkaa sijaintia ja lukumäärää ei ole aina ilmoitettu automaation toimintaselostuksessa. Puute olisi helposti korjattavissa, jos paineantureiden sijainti ratkaistaisiin aina kanaviston painehäviölaskentaa käyttäen.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä esitettiin ilmastointijärjestelmien toimintaa ja ohjeita suunnitteluun. Tavoitteena oli keskittyä järjestelmien ongelmakohtiin säädettävyyden ja energiatehokkuuden näkökulmasta. Vaikka suunnitteluohjelmat laskevat kanaviston painehäviöt automaattisesti, haluttiin tutkimuksessa esittää kanaviston painehäviölaskentaa käyrästöjen avulla. Tutkimuksen tuloksena saatiin käsitys siitä, mitkä ovat mahdollisia ongelmakohtia järjestelmien toteutuksessa. Liite 1 sisältää menettelyohjeita toimivan ilmastointijärjestelmän suunnitteluun.

Energiatehokkaan ja tarkasti säädettävän järjestelmän perustana voidaan insinööriyössä tehtyjen selvitysten perusteella pitää riittäviä tilavarauksia konehuoneille ja kanavistoille. Mikäli saadaan riittävät tilavaraukset, voidaan kanavisto suunnitella painehäviöiltään mahdollisimman symmetriseksi ja väljäksi. Monissa kohteissa oli ahtaat konehuoneet. Kanaviston asentamisessa oli jouduttu tilanpuutteen vuoksi käyttämään suunniteltua enemmän kanavamutkia. Opinnäytetyössä esitettiin säädettyjen kohteiden pohjalta puhaltimen sähköenergian kulutuksen kasvu, kun kanava oli tilan puutteen vuoksi mitoitettu liian pieneksi. Vaikka LVI-järjestelmien vaatimasta tilantarpeesta rakennuksessa on paljon kirjallisuutta, on se edelleen yksi ongelmakohta ilmastointijärjestelmien toteutuksessa. Paikoin niukat tilavaraukset voivat johtua kustannussyistä, joita ei tässä työssä käsitelty.

Järjestelmän toiminta on kuitenkin sidoksissa automaatiojärjestelmän toimivuuteen. Tutkimuksessa esitettiin automaatiojärjestelmän periaatteita ja kohtia, jotka vaativat erityistä huomioita. Erityisesti VAV-järjestelmissä paineantureiden sijainnin ratkaiseminen on keskeinen seikka ilmastointijärjestelmän toimivuuden kannalta.

Opinnäytetyön tilaajalle laadittiin työn pohjalta ohjeita ilmastointijärjestelmien mahdollisiin ongelmakohtiin ennen urakan alkua. Toteutussuunnitelmista voidaan tehdä havaintoja ja antaa kommentteja suunnittelijalle, jotta voidaan toteuttaa energiatehokas ja tarkasti säädettävissä oleva järjestelmä.

Lähteet

- 1 Seppänen, Olli & Seppänen Matti. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Espoo: SIY Sisäilmätieto Oy.
- 2 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Ilmastointitekniikka osa 1. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 3 Iris mittaus- ja säätölaite.2023. Verkkoaineisto. Fläktwoods Oy. <<https://www.flaktgroup.com/fi/products/ilman-hallinta-ja-huonelaitteet/mittaus-saato-ja-sulkupellit/saato-ja-mittauspellit/iris-mittaus-ja-saato-laite/?code=IRIS-800-2>>. Luettu 10.4.2023.
- 4 S. Eagle Ceiling ilmalaite. Verkkoaineisto. Swegon Oy. <<https://www.swegon.com/fi/tuotteet-ja-palvelut/huonelaitteet/ilmanjako-ja-huonelaitteet/poistoilmalaitteet/eagle-ceiling/>>. Luettu 10.4.2023.
- 5 FTCU ilmamääräsäädin ultraäänimittauksella. Verkkoaineisto. Lindab Oy. <<https://www.lindab.fi/Tuotteet/ilmanvaihto/ilmavirtasaatimet/ultralink-laitteet/ftcu/?sort=popularity&display=16&page=1>>. Luettu 11.4.2023
- 6 Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Espoo: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 7 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus, Ilmastointitekniikka osa 2. Helsinki. Helsinki. Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 8 Liedes, Riikka. 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo.
- 9 Surakka, Vesa. 2021. Rakennusautomaatiojärjestelmän ja pilvijärjestelmän välinen integraatio. Diplomityö. Tampereen yliopisto. Tuni tietokanta.
- 10 Staattisen paineen mittausyksikkö. Verkkoaineisto. Halton Oy. <https://www.halton.com/fi/tuotteet/mss-fi_fi/>. Luettu 15.4.2023.
- 11 FTMU mittalaite ilmavirralle ja lämpötilalle. Verkkoaineisto. Lindab Oy. <<https://www.lindab.fi/Tuotteet/ilmanvaihto/ilmavirtasaatimet/ultralink-laitteet/ftmu/?sort=popularity&display=16&page=1>>. Luettu 10.6.2023.
- 12 BDEP säätölaite ilmavirralle. Verkkoaineisto. Fläktwoods Oy. <<https://www.flaktgroup.com/fi/products/ilman-hallinta-ja-huonelaitteet/mittaus-saato-ja-sulkupellit/sulkupellit/bdep-saatolaite/?code=BDEP-1-008-1>>. Luettu 10.6.2023.

- 13 Virtauksen säädin. Verkkoaineisto. Belimo Finland Oy. <https://www.belimo.com/fi/shop/fi_FI/Toimilaitteet/Muuttuva-ilmavirta/LMV-D3-KNX/p?code=LMV-D3-KNX>. Luettu 10.6.2023.
- 14 Brelih, Nejc. 2012. How to improve energy efficiency of fans for air handling units. Verkkoaineisto. Rehva Journal. <<https://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/01-2012/02-2012/how-to-improve-energy-efficiency-of-fans.pdf.2/2012>>. Luettu 16.6.2023.
- 15 Pyöreä kanavajärjestelmä, tekninen esite. 2023. Verkkoaineisto. FläktWoods Oy. <www.flaktgroup.com/api/v1/Documents/b44bb725-060b-4179-be98-fc8ca6437203?analytics=0.6.10.2023>. Luettu 10.10.2023

Menettelyohjeita

Ohjeita hyvän säädettävyyden omaavan ilmastointilaitoksen suunnitteluun.

- Pyri saamaan laitteille ja kanavistoille riittävän suuret tilavaraukset.
- Vertaile eri järjestelmien sopivuutta kohteeseen (CAV, VAV-vyöhykekohtainen, VAV-huonekohtainen)
- Ota selvää ovatko käyttäjät olleet tyytyväisiä sisäilman laatuun samankaltaisissa kohteissa.
- Mieti kohteen lopullista käyttötarkoitusta ja mahdollisia käytönajan ongelmakohtia.
- Suunnittele huolella huoltoa tai säätöä vaativien laitteiden sijoituspaikat.
- Pyri mahdollisimman alhaisiin ulkoisiin painehäviöihin.
- Varmista, että kanavisto on painehäviöiltään mahdollisimman symmetrinen.
- Runko- ja haarakanaviin kannattaa suunnitella kattava määrä virtaussäätimiä joihin asentajalla on helppo pääsy.
- Tarkista muun talotekniikan suunnittelijoiden kanssa asennusten yhteensopivuus.
- Ratkaise kanaviston paineantureiden oikea sijainti painehäviölaskentaa käyttäen.
- Merkitse paineantureiden sijainti kanavistossa selvästi automaatiourakoitsijaa varten.

