



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Pavel Makarov

IV-järjestelmän asentamisprosessin kuvaus uudessa rakennuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

16.02.2022

Tekijä Otsikko	Pavel Makarov IV-järjestelmän rakennuksessa	asentamisprosessin kuvaus uudessa
Sivumäärä Aika	29 sivua 16.02.2022	
Tutkinto	insinööri (AMK)	
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka	
Ammatillinen pääaine	LVI-urakointi	
Ohjaaja	lehtori Seppo Innanen	
<p>Opinnäytetyön aiheeksi on valittu uuden rakennuksen ilmanvaihdon asennusprosessin kuvaus. Urakka on monipuolinen prosessi, joka koostuu useista vaiheista. Tämän insinöörityön tavoitteena on tuoda esiin tärkeitä kohtia ja selittää niiden erityispiirteitä.</p> <p>Työssä kuvataan tarvittavat alustavat toimenpiteet ilmanvaihdon asennuksen aloittamiseksi. Nämä ovat sekä suoraan ilmanvaihdon suunnitteluprosessiin liittyviä että sivussa olevia, mutta työn laatuun ja turvallisuuteen vaikuttavia. Tässä tapauksessa vastuu tällaisten töiden suorittamisesta ei ole vain alihankkijalla, vaan myös pääurakoitsijalla. On myös syytä kiinnittää huomiota vuorovaikutukseen rakennustyömaalla muiden töiden kanssa, koska tämä säästää asennusaikaa. Tavoitteena on näyttää ilmanvaihdon asennuksen pääkohdat ja se, että on tarpeen arvioida tilannetta kokonaisuutena, suunnitella työn aikataulu.</p> <p>Myös pitää korostaa, kuinka tärkeää työmaan töiden valmistelu on LVI-urakan onnistumisen kannalta. Työn suunnittelu, materiaalien ja työkalujen oikea-aikainen toimittaminen on yhtä tärkeää kuin ilmaputkien asennus. LVI-urakka ei rajoitu vain asennukseen. Nopeuteen ja laatuun vaikuttavat myös työt piirustuksen kanssa sekä laitteiden toiminnan tarkastus.</p>		
Avainsanat	LVI-urakka, ilmanvaihto	

Author Title Number of Pages Date	Pavel Makarov Description of Installation of Ventilation System in New Building 29 pages 16.02.2022
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building services Engineering
Professional Major	HVAC Contracting
Instructor	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The final year project aimed at describing the several stages of ventilation installation process in a new building. A further aim of the final year project was to highlight important points and explain their special features.</p> <p>The thesis discussed the necessary preliminary measures to start the ventilation installation, both the ones directly related to the ventilation design process and the others that affect, the quality and safety of the work, that are the responsibility of not only the subcontractor but also with the main contractor.</p> <p>Furthermore, the interaction on the construction site with other works was addressed, as this saves installation time. The main points of the ventilation installation were covered, and the need to assess the situation as a whole, to plan the work schedule was emphasized.</p> <p>To the thesis emphasized the importance of preparing the site to ensure the success of a HVAC contract. Work planning, timely delivery of materials and tools was shown to be as important as the installation of air ducts. An HVAC contract was shown not to be limited to installation, speed and quality were also affected by work with the drawing, inspection of equipment operation.</p>	
Keywords	HVAC contract, ventilation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kohteen esittely	2
3	Tarjouslaskenta	3
4	Suunnittelu	4
4.1	Valmistus	4
4.2	Aikataulu	5
4.3	Piirustus	8
4.4	Säilytyspaikat	10
5	Toteutus	10
5.1	Kuvaus	11
5.2	Kuilut	11
5.3	IV-kanavat ja komponentit	14
5.4	IV-konehuoneet	15
6	Mittaus ja säätötyöt	16
6.1	Yleistä	16
6.2	Määräykset	17
6.3	Painekoe	20
6.4	Mittaus- ja säätötyöt	23
7	Luovutusvaihe	25
7.1	Luovutusprosessi	25
7.2	Itselleluovutus	26
7.3	Asiapaperit	27
8	Yhteenveto	28
	Lähteet	29

1 Johdanto

Ilmanvaihdon asennus edellyttää tarkkuutta ja huolellisuutta. Toimisto-, liike, ja tuotantorakennuksissa, omakotitaloissa ja kerrostaloissa iv-järjestelmällä on suuri rooli. Juuri ilmanvaihtojärjestelmän laadusta ja toiminnasta riippuu rakennuksissa olevien ihmisten terveys, viihtyisyys ja hyvinvointi. Ilmanvaihtojärjestelmät voivat esimerkiksi auttaa välttämään homeen esiintymistä taloissa, tartunnan etenemistä, poistaa ylimääräistä kosteutta sekä lämmittää ja jäähdyttää tiloja.

Ilmanvaihtojärjestelmät ovat tulleet ajan saatossa monipuolisemmiksi, jotta ne pystyvät vastaamaan nykyaikaisiin vaatimuksiin. BREEAM- [8] ja LEED-sertifiointi [9] sekä "Zero energy buildings" [10] vaativat energian säästämistä ja vähentämistä taloissa ja lämmön talteenottoa rakennuksessa. Tästä syystä ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelu- ja säätötyöt ovat tärkeitä, ja ne pitää suorittaa erityisen huolellisesti. Pitää myös muistaa, että rakennus- ja suunnitteluvaiheen virheet on vaikea myöhemmin poistaa, kun taloa käytetään, ja nämä virheet aiheuttavat suurta energiakulutuksen kasvua. Esimerkkeinä voivat olla puutteellisen eristyksen takia kondenssin esiintyminen iv-kanavien pinnalla, ilmanvuodot sekä tuloilman lampötilan laskeminen.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on toimistorakennuksen iv-järjestelmän asentamisen työprosessin kuvaaminen. Opinnäytetyöhön on kuvattu kaikki työvaiheet suunnittelusta luovutusvaiheeseen. Työt piirustuksen mukaan, asentamisen suunnittelu, tarjouspyynnön laskeminen, työprosessin järjestyksen kuvaaminen on esitelty työssä. Kaikki ensi silmäyksellä pienet detaljit voivat johtaa suuriin seurauksiin asennuksessa. IV-järjestelmän asentaminen on vain yksi osa talon rakentamisesta; sen siis pitää mukautua muun rakentamisen aikatauluun ja tukea rakentamisen yleistä rytmiä.

2 Kohteen esittely

Opinnäytetyössä käytän esimerkkinä toimistorakennusta "Keilaniemi Next" (kuva 1), joka sijaitsee Espoossa, Keilaniemessä. Rakennuksen epätavallinen muoto on omaperäinen ja mieleenpainuva, mutta toisaalta se tekee LVI-suunnittelu- ja toteutusprosessin haastavammaksi. Suunnittelijat ja asentajat törmäävät tässä kohteessa epästandardista muodosta johtuviin ongelmiin, joihin heidän on löydettävä ratkaisut.



Kuva 1. Keilaniemi Next, työmaa

Kohteen pääurakoitsijana toimii NCC Suomi Oy, LVI-suunnittelijana on Optiplan Oy. IV-urakasta vastaa IR-Pelti Oy, ja urakkaan kuuluvat seuraavat asiat:

- IV-kanavien asennus
- IV-koneiden asennus

- eristystyöt
- painekokeet.

Rakennuksessa on 18,750 neliötä, 9 kerrosta ja 2 kellarikerrosta, jossa ovat parkkipaikat. Yhteensä 17 iv-konetta on ensimmäisessä ja ylimmässä kerroksessa, talotekniikalle on varattu 3 pääkuilua.

3 Tarjouslaskenta

Ilmanvaihdon asentamista koskevan tarjouksen laskeminen on prosessi, jonka aikana urakoitsija määrittää ehdotetun urakkasopimuksen lopullista hintaa. Lopullinen hinta sisältää omat kustannukset (materiaalin ja työn kustannukset), mahdollisten riskien varauksen ja lisäarvon, joka määrää urakoitsijan voiton.

Työkustannukset lasketaan asiakkaan toimittamien tietojen ja asiakirjojen perusteella. Kustannukset määräytyvät tapahtuman erityisten ehtojen, alueen, tilanteen ja asiakkaan vaatimusten mukaan.

Joskus jo saatujen kaupallisten arvioiden hintoja on muutettava, esimerkiksi silloin, kun urakoitsija on jo valittu, mutta asiakkaan ehdot tai kustannustilanne ovat muuttuneet. Kustannuslaskenta perustuu keskimääräisten markkinahintojen analyysiin ja kilpailijoiden ehdotuksiin.

Tarjouslaskenta aloitetaan piirustusten ja työselityksen tutkimisesta, jotta voidaan selvittää asennuksen vaikeimmat paikat, määrittää työkohteen ominaisuudet ja tarvittavat työkalut. Ennen työn aloittamista piirustusten yksityiskohdat selvennetään urakoitsijalle. Pääurakoitsijan ja ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelijan on viipymättä vastattava urakoitsijan esittämiin kysymyksiin ja varmistettava niiden nopea ratkaisu.

Piirustuksen mukaisesti tehdään luettelo osista ja lasketaan niiden hinta. Piirustuksessa esitetään kaikki epätyypilliset komponentit, eristys, päätelaitteet jne. Sitten manuaalisesti tai erikoisohjelmien avulla osien lukumäärä lasketaan kullekin kerrokselle ja koko rakennukselle kokonaisuudessaan.

Laskemalla osien ja kanavien määrän urakoitsija voi ymmärtää, kuinka kauan niiden asentaminen kestää. Tunnit lasketaan LVI-toimialan työehtosopimuksen avulla, joka kertoo tietyn osan asentamiseen tarvittavien tuntien määrän. Tässä käyttöoppaassa on kohtia, joissa saman osan asennus kestää eri ajan. Tähän vaikuttaa huoneen kattojen korkeus metallin paksuus samankokoisille osille. Urakoitsija voi myös lisätä tuntimäärää joissakin vaikeimmissa tiloissa henkilökohtaisen työkokemuksensa perusteella.

4 Suunnittelu

4.1 Valmistus

Ennen ilmanvaihdon asentamista pitää suorittaa seuraavat toimenpiteet:

- IV-järjestelmän suunnittelu: piirustukset, 3D-kuvat, säätökaaviot, toimintakaaviot.
- Suunnitella ja toteuttaa työturvallisuuteen liittyvät vaiheet ja tiedottaa turvallisuuteen liittyvistä asioista.
- Tarkistaa, että työntekijät toimivat turvallisesti kaikilla työkoneilla, työkaluilla sekä, mittaus- ja merkintälaitteilla. Lisäksi työntekijät tulee varustaa tarvittavilla suojeluvälineillä, kuten turvaliivit, kengät, turvavaljaat, jne.
- Tuoda työmaalle tarvittavat kanavien osat, kiinnitystarvikkeet ja eristysmateriaalit.

Rakennustarvikkeet, osat ja rakenteet on oltava projektissa määriteltyjen erittelyjen, määräyksien standardien ja tavaratoimittajien teknisten ehtojen mukaisia, ja niihin on oltava liitettävissä asiakirjat, jotka todistavat materiaalien, osien ja rakenteiden laadun. Tarkistuksen menettelyn mukaisesti hylätyt tarvikkeet, osat ja rakenteet on tavaratoimittajan korvattava välittömästi.

Ennen ilmanvaihdon asentamista pääurakoitsija suorittaa seuraavat työt:

- välikerrosten lattian, seinien asentaminen
- raitis- ja jäteilmakanavien kammioiden muodostaminen
- vesieristysten työt iv-huoneissa
- reikien valmistelu seiniin, väliseiniin, kattoihin ja muihin tiloihin ilmakanavien asentamiseksi
- perustuksien, lattioiden ja tilojen valmistelu iv-koneiden asentamiseksi
- seinien, väliseinien, välikerrosten lattioiden maalaaminen ja kipsaus tiloissa joihin asennetaan ilmakanavia
- haalausaukkojen valmistus seiniin ja kattoihin suurikokoisten laitteiden ja ilmakanavien toimittamiseksi rakennukseen
- kerroksissa ovat valmiina sähkökeskukset sähkötyökalujen kytkemistä varten
- ikkuna-aukkojen tulee olla varustettu kaiteilla.

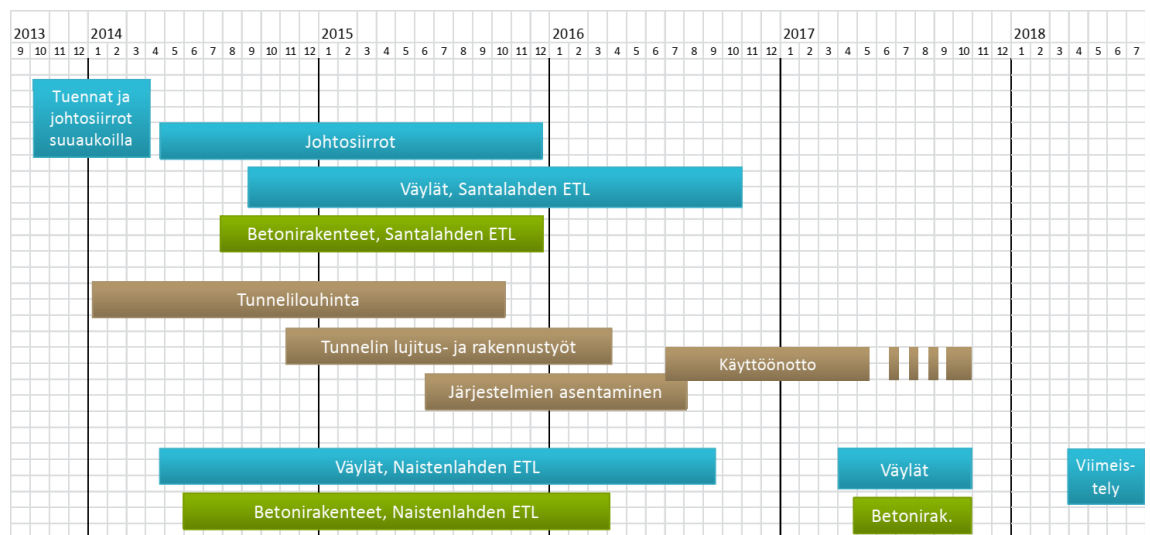
Lisäksi on pieniä toimenpiteitä turvallisen ilmanvaihdon asentamisen mahdollistamiseksi, joita ei tähän on listattu.

4.2 Aikataulu

Ennen ilmanvaihdon asennustöiden aloittamista nämä työt on pakko suunnitella huolellisesti. Ilmanvaihdon asennustyön suunnittelu on tärkeä osa rakennuksen suunnittelua. Työn suunnittelun avulla turvataan sopiva työtahti, työturvallisuus sekä keskeytymätön tarvikkeiden toimitus.

Oikean asennustyön järjestämisen takia on välttämätöntä, että työsuunnittelun tekee myös rakentamiseen perehtynyt asiantuntija. Työsuunnitelman lisäksi on tärkeää laatia aikataulu tarvikkeiden tilaukseen, jotta ne saapuvat rakennustyömaalle ajoissa.

Selkeän aikataulun laatiminen edellyttää, että sen muodostaja ymmärtää, mistä vaiheista rakennusprosessi koostuu ja kuinka kauan niiden suorittaminen kestää. Aikataulussa tulisi ottaa huomioon tarvikkeiden ja osien saatavuus, käytettävissä oleva työvoima ja mahdolliset odottamattomat viivästyksset. Aikataulukaaavion (kuva 2) avulla kuvataan töiden vaiheittaista etenemistä. Aikatauluun kannattaa merkitä aika, jolloin osat ja tarvikkeet pitää tilata. Aikatauluun merkitään myös tarkemmat maksupositit.



Kuva 2. Aikataulukaaavion esimerkki

Ensimmäinen vaihe materiaalien tilaamisessa on selvittää, kuinka paljon ja minkälaisia materiaaleja tarvitaan. Yleensä materiaalityypien laskennan suorittaa rakennuksen suunnittelija tai henkilö, joka osallistuu työmaalla rakennus- ja asennustöiden järjestämiseen. Piirustusten mukaan lasketaan, kuinka monta osaa tarvitaan, kuinka monta metriä kanavaa tarvitaan jne.

Materiaaleja tilattaessa on volyymin lisäksi tärkeää ottaa huomioon myös toimittajien määrittelemät rakennusmateriaalit ja toimitusajat kullekin materiaalityypille.

Jos toimitusaika on yksi viikko, materiaali on tilattava vähintään viikkoa ennen kuin sitä tarvitaan. Toimitusajat voivat vaihdella. Ne ovat yleensä kesällä pidempiä kuin muina vuodenaikoina.

Rakennustöiden järjestämisessä materiaalien tilauksessa on selvästi ilmoitettava,

- millaisia materiaaleja rakennustyömaalla tarvitaan ja missä määrin.
- milloin materiaaleja tarvitaan rakennustyömaalla ja mihin ne toimitetaan.
- missä järjestyksessä niiden tulisi olla työmaalla.

Tässä tapauksessa materiaalin toimittaja voi tarkistaa asiaankuuluvien materiaalien saatavuuden ja vahvistaa tilauksen. Samalla toimittajalla on mahdollisuus ohjelmoida toimitus omaan aikatauluun ja varata toimitukseen sopiva ajoneuvo. Toimittaja sijoittaa materiaalit siten, että ne puretaan rakennustyömaalla oikeassa järjestyksessä.

Työ viivästy miseen on yleensä seuraavia syitä:

- Laitteet, ilmakanavat ja liitäntäosat eivät olleet tarvetta vastaavia, jolloin seurauksena on seisokki, koska asentajat eivät voi jatkaa työtä ennen kuin kaikki materiaalit ovat saapuneet työmaalle.
- Asentajia ei ole tarpeeksi.
- Suuri määrä sopimattomia osia (liittimet, käyrät jne.), mikä johtaa niiden uudelleen tilaukseen. Työ viivästyy, jos projektissa havaitaan puute, eikä asennusyrityksen henkilökunnalla ole suunnitteluosastoa tekemään muutoksia nopeasti ja koordinoimaan niitä esimerkiksi suunnittelutoimisten kanssa.

Ammattimaisella tavalla työ tehdään ottaen huomioon seuraavat seikat:

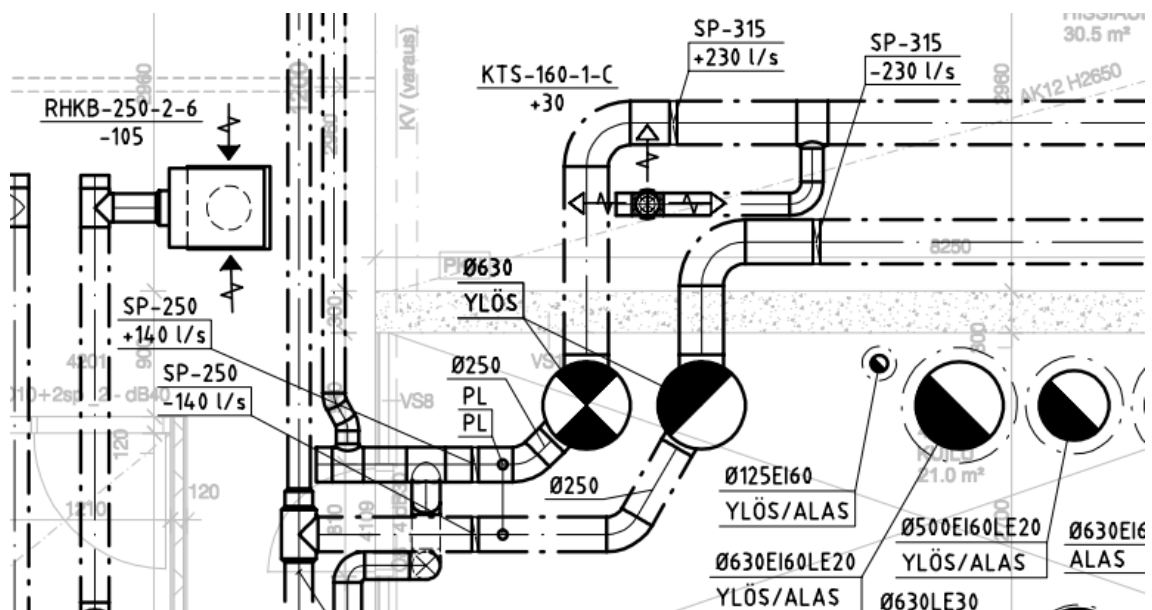
- Suoritetaan eri rakennusprosessit onnistuneesti tuotantoprojekti urakoitsijan ja pääurakoitsijan välillä. Sovitaan seuraavista: laitteiden ja materiaalien toimittaminen, asennusryhmien asennuksen järjestys, tilan varustaminen

nostolaitteella ja kääntölaitteella (pumppukärky, vinssi). Tämän seurauksena seisokit minimoidaan.

- Piirustusten valmistelun ilmakeinien ja -liittimien tilaamiseksi suorittaa koulutettu ammattilainen. Jäämät työmaalla eivät koskaan ylitä 10 %:a. Jos laitoksella on valtava kasa ilmakeinien, tiedät, että olet palkannut ei-ammattilaisia, jotka ovat tuhlanneet rahaa ja aikaa.
- Osien ostamista ei saisi suorittaa työnjohtaja, vaan siihen erikoistunut toimistoininööri, joka on henkilökohtaisesti vastuussa siitä, että työmaalla on aina kaikki tarvittavat materiaalit työn tuottamiseen.

4.3 Piirustus

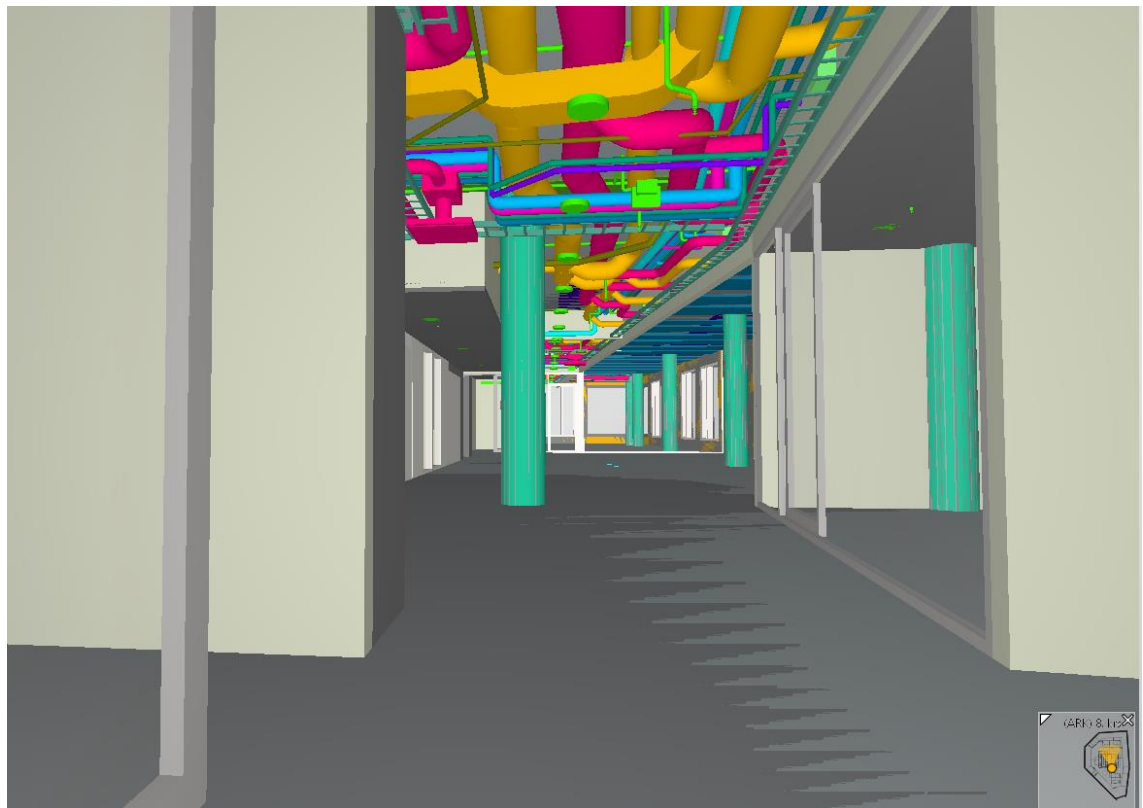
Pohjapiirustuksiin (kuva 3) on sisällyttävä piirustukset rakennuksen jokaisesta kerroksesta tai tasosta sekä tarvittaessa vesikatosta. Pohjapiirustuksiin on sisällyttävä myös tieto palo-osastoista ja poistumisalueista. Pystysuuntaiset rakenteet ja rakennusosat on esitettävä poikkileikkauksina ja taustalla näkyvät asiat projektoina. Pohjapiirustuksiin on merkittävä kutakin leikkauspiirustusta vastaava kohta ja katselusuunta. [3, §7.]



Kuva 3. Ilmanvaihdon järjestelmän piirustus

Työn suunnittelussa tarvittavien komponenttien laskemiseen ja tilaamiseen käytetään mittakaavassa 1:50 piirustuksia, joissa esitystapa on SFS-ISO 3098-1 -standardin mukainen. Jokainen piirustus on kaavio tietyn kerroksen ilmanvaihtojärjestelmästä, johon on merkitty kaikki tarvittavat osat asentamiseen. Venttiilimallit on merkitty ilmaisulla ilmamäärä litroina sekunnissa, palopeltien ja säätöpeltien mallit, ja suunnat on osoitettu pystysuorille kanaville.

Lisäksi käytettiin Solibri-ohjelman (kuva 4) tiettyä rakennusmallia. Tämä ohjelma on välttämätön työkalu työsuunnittelussa. Sen avulla on mahdollista tarkastella järjestelmän kaikkia yksityiskohtia 3D-mallissa, jotta voidaan esimerkiksi selvittää kiinnostavan kohteen korkeusasema. Piirustus ei aina anna asennusta varten tarvittavia tietoja, esimerkiksi etäisyyttä lattiasta ilmanvaihtokanavaan ja että yksi kanava on toisen päällä, kun on monta kanavaa yhdessä paikassa. Solibria käytettäessä on helppo tutkia kaikki osat, suorittaa tarvittavat mittaukset, ja määrittää sijainti tarkasti mahdollisten virheiden välttämiseksi asennuksen aikana.



Kuva 4. Solibrissa näkyvä 3D-piirustus

4.4 Säilytyspaikat

Rakennustyömaalla on välttämätöntä, että materiaalit toimitetaan välittömästi sinne, missä niitä tarvitaan. Kaikkea tarvitsemaasi ei kuitenkaan voida toimittaa optimaaliseen aikaan, joten osa materiaaleista on varastoitava paikan päällä. Toimitukset tulisi jakaa vaiheisiin siten, että suurimmat ja raskaimmat kuormat toimitetaan oikeaan aikaan ja paikkaan. Työmaamateriaalit tulee sijoittaa lähelle työmaata niin, että kantomatka on mahdollisimman lyhyt. Kun materiaaleja sijoitetaan työmaalle, on harkittava, missä niitä on pääasiassa ja missä seuraavaksi tarvitaan.

Joskus rakennustyömaalla syntyy tilanne, jossa työmaalla kerääntyy liikaa materiaalia. Rakennustyön asianmukaisella järjestämisellä on parempi tuoda pieni määrä materiaaleja työmaalle kerrallaan ja täydentää tarvikkeita asteittain. Kerroksissa materiaalit kannattaa varastoida kuormalavoille, joilla niitä helppo siirtää.

Ulkona varastoidut materiaalit tulee aina suojata säältä. Tämä voidaan tehdä kovalla suojapeitteellä tai kalvolla, joka peittää materiaalit hyvin. Suojus on kiinnitettävä hyvin, jotta tuuli ei irrota sitä.

Materiaalien tulisi olla hyvällä, tasaisella pinnalla. Muuten tuet ja laatat voivat taipua. Kanavat tulisi varastoida pinoissa. Pinot on varastoitava suojapeitteen alla, ja ne on peitettävä kiristyslevyillä joka kerta käytön jälkeen, kun materiaalia ei tarvita.

5 Toteutus

Ilmanvaihtojärjestelmien asennus voidaan jakaa seuraaviin kohtiin:

- pystykanavien asennus kuiluissa
- IV-koneiden asennus
- runkokanavien asennus kerroksissa

- kanavien asennus
- päätelaitteiden ja venttiilien asennus.

Kanavien asennus etenee aina suurista koista pienempiin, runkokanavista venttiileihin. Ensimmäisinä asennetaan suurimmat kuilukanavat, joista on uloskäynnit kerroksiin. Ilmanvaihtokuilujen tilat suljetaan pääsääntöisesti ennen viimeistelyn aloittamista, minkä vuoksi nämä työt tulisi suorittaa ensin. Kun kuiluissa olevat kanavat ja kerrosten uloskäynnit on asennettu, on aikaa jatkaa runkokanavien asentamista kerroksiin.

5.1 Kuvaus

Ilmanvaihtojärjestelmien asennus on suoritettava samanaikaisesti yleisten rakennustöiden kanssa järjestyksessä, mikä estää aiemmin tehtyjen töiden muuttamisen.

Työvyöhyke voi olla ilmanvaihtokammio tai kammioryhmä, ilmanvaihtolaitteet kerroksessa tai kerroksen osassa, ilmakeinavat kuilussa tai kuilunryhmässä, ilmanvaihtolaitteet rakennuksen katolla jne. Katon läpäisy on tehtävä ennen katon asentamista. Jos näiden ilmakeinavien tiiviys on tarpeen tarkistaa, testit on tehtävä ennen ilmakeinavien eristämistä ja niiden sulkemista.

Ilmakeinavien asennusmenetelmä tulisi valita riippuen niiden sijainnista (vaaka, pystysuora), sijoittelusta suhteessa rakenteisiin (rakennuksen sisällä tai ulkopuolella, seinää vasten, pylväiden lähellä, kuilussa, rakennuksen katolla) ja ottamalla huomioon rakennuksen luonne (yksi- tai monikerroksinen, teollisuus-, julkinen jne.).

5.2 Kuilut

Kanavat asennetaan ilmanvaihtokuiluihin heti työn alussa, koska väliseinien asentamisen jälkeen on mahdotonta siirtää suurihalkaisijaisia kanavia kuiluun. Myös kannakkeet, joihin kanavat on kiinnitetty, ovat suuria, ja niiden asennus väliseinien

asennuksen jälkeen on ongelmallista. Asennuksen aikana käytetään erityisiä laitteita (ketjutaljat, kanavanostimet) (kuvat 5, 6) raskaiden kanavien nostamiseen ja laskemiseen turvallisesti kerroksien välisiin aukkoihin. Kuilussa kannatukset asennetaan vähintään 2 metrin välein; kanavat on kannatettava kerroksien ulostulosta (kuva 7).



Kuva 5. Ketjutalja



Kuva 6. Kanavanostin

Paloturvallisuus vaatii kuilujen kanavien eristämisen vähintään EI60-tasolla. [1. Luku 6.3.] Valmistuskeittiön kohdepoistokanavan palonkestoksi suunnitellaan toisen palo-osaston alueella EI120 ja saman palo-osaston alueella EI60. [1, Luku 11.5.]

Kuiluissa asennettaessa on ehdottomasti noudatettava turvallisuusvaatimuksia:

- Kuilujen ympärille tulee asentaa kaiteet.
- Aukot kerroksien välillä tulee sulkea puisilla suojakuorilla.
- Turvalajaita on käytettävä tarpeen mukaan.
- Kanavien asennus kuiluihin tulisi sovittaa yhteen pääurakoitsijan kanssa ja valvoa, ettei alakerrassa ole asennuksen aikana muita työntekijöitä. [4, §35.]



Kuva 7. Erillinen kannake kanavan ulostulossa

5.3 IV-kanavat ja komponentit

Vaakasuorien metallisten ilmakekanavien kannattimet (kiinnittimet, kannakkeet, tuet jne.) tulisi asentaa enintään 3 m:n etäisyydelle toisistaan siten, jos kanavan halkaisija tai suorakaiteen muotoisen kanavan suuremman sivun mitat ovat alle 400 mm ja enintään 2 m:n etäisyydellä toisistaan – pyöreän kanavan halkaisijan mitoilla 400 mm tai enemmän.

Kiinnitys niiteillä tulee suorittaa kaikenkokoisten ilmakekanavien kaikissa liitoksissa. 100–200 mm:n kanaville riittää 3 niittiä liitosta kohti, 250–400 mm:n kanaville 4, ja niille kanaville, joiden halkaisija on yli 400 mm:n, vähintään 8 niittiä. Lisäksi kaikki yli 315 mm:n ilmakekanavien liitokset on liimattava sopivalla teipillä (bitumiteipillä esimerkiksi).

Ilmakekanavia on tuettava, jotta niiden paino ei siirry ilmanvaihtolaitteisiin.

5.4 IV-konehuoneet

IV-koneet (kuva 8) koostuvat puhaltimesta, sulkupelleistä, LTO-laitteesta, sähkömoottorista, suodatinyksiköstä, lämmityselementistä, jäähdytyspatterista ja tärinää eristävästä alustasta. Kokonsa vuoksi ne toimitetaan usein kokoomattomina ja kootaan paikan päällä.

Ennen IV-koneen asentamista pitää ottaa esille osat pakkauksesta, tehdä niiden ulkoinen tarkastus ja reklamoida kuljetuksen aikana sattuneista vaurioista. Kun asennetaan IV-konetta alustalle, irrotetaan ensin kuljetusalustat. Sitten IV-koneen rungon ja perustukseen väliin kiinnitetään tärinäeristimet ja runko asennetaan tarkasti vaakasuoraan asentoon. Koneen asennus ja kokoonpano voidaan tarkistaa seuraavasti: koneen tasapainotettu moottori pysähtyy mielivaltaiseen asentoon, kun sitä käännetään hieman käsillä (aikaisemmat moottoriin ja yksikön seinään kiinnitettyt merkit eivät täsmää). Jos epätasapaino on olemassa, moottori ottaa tietyn aseman (merkinnät yhtyvät).

Koneen asentamisen ja jalustan säätämisen jälkeen koneeseen kiinnitetään liitosyksikkö, johon sisään- ja ulospuhalluspuolen kanavat yhdistetään. Kehykset asennetaan IV-koneen sisään, kiinnitetään niiteillä ja tiivistetään silikonilla. Kammiot, joissa on pyöreiden kanavien ulostulot, kiinnitetään kehyksiin, kaikissa saumoissa käytetään aina tiivistekumia, saumat käsitellään silikonilla. Tulo- ja poistoilman kammiot on eristetty kondenssiveden muodostumisen estämiseksi; kammioihin on asennettava huoltoluukut kammioiden myöhempää puhdistusta varten. Työn jälkeen kanavat liitetään IV-koneisiin.

Raitis- ja jäteilmakanaville tulee asentaa sulkupellit jäätymissuojaukselle, jotka estävät takaisinvirtausta ja hallitsemattoman ilmanvaihdon, kun IV-kone on pysähdyksissä. Peltien on täytettävä standardin EN 1751:1998 mukainen tiiviysvaatimus. [4, Luku 3, §20.1.]

IV-koneen ympärille on jätettävä riittävästi tilaa niiden myöhempää huoltoa varten. On tarkistettava, että laitteen ovien on mahdollista avautua kokonaan. Asennetut yksiköt on suojattava rakennuspölyltä ja kosteudelta, ja aukot on suljettava asennuksen jälkeen. [4, Luku 3, §24.1]



Kuva 8. Moduulirakenteinen iv-kone

6 Mittaus ja säätötyöt

6.1 Yleistä

Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien mittaus ja säätö suoritetaan

- järjestelmien asennuksen aikana yksittäisinä testeinä
- järjestelmien asentamisen jälkeen niiden käyttöönoton yhteydessä
- järjestelmien korjaamisen tai saneerauksen jälkeen
- jos järjestelmät eivät tuota vaadittuja ilmamääriä

- järjestelmien puhdistuksen jälkeen.

Testaukseen ja käyttöönottoon sisältyy sekä ilmastointilaitteiden että ilmanvaihtojärjestelmien säätö.

Lisäksi järjestelmiä testattaessa tarvitaan mittauksia. Käyttöönotto on suoritettava rakennus- ja asennustöiden päätyttyä ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmien valmistelun ja käyttöönoton yhteydessä.

Ilmanvaihtojärjestelmien testit suoritetaan asennettujen laitteiden valmistajien käyttöasiakirjojen ja teknisten asiakirjojen mukaisesti.

Ilmanvaihtojärjestelmin testaus ja säätö suoritetaan tulo- ja poistojärjestelmien toimiessa samanaikaisesti, ja ne sisältävät seuraavat toimenpiteet:

- Ilmanvaihtojärjestelmien testaus ja säätäminen, jotta saavutetaan ilmanvaihtokanavien, ilmanjakolaitteiden, poistolaitteiden, suodattimien toiminta-arvot.
- Ilmakanavien tiiviyyden määrittäminen, jos tämä vaatimus on määrätty käyttöasiakirjoissa tai käyttöönotto-organisaation laatimassa käyttöönotto-ohjelmassa.

6.2 Määräykset

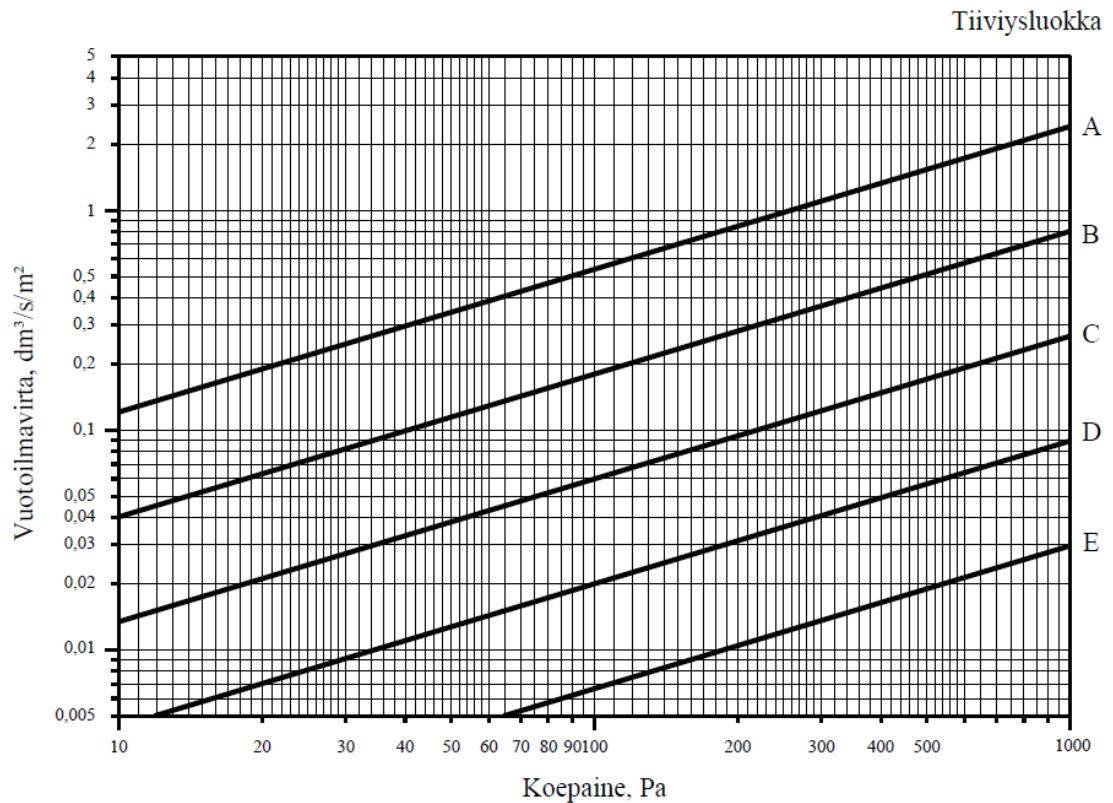
Ensinnäkin ilmatiiviiden lasku vaikuttaa negatiivisesti ilmanvaihtojärjestelmän tehokkuuteen ja aiheuttaa myös vaikeuksia järjestelmien käytössä ja ylläpidossa. Ohjeistukset asettavat vaatimuksia tuloilman määrälle, ja niiden noudattamiseksi pitää huomioida myös ilmakanavien vuodot.

Jos suunniteltuja ilmamääriä ei saavuteta, huoneen mikroilmasto heikkenee, mikä vaikuttaa negatiivisesti siinä olevien ihmisten terveyteen ja suorituskykyyn.

Jos vuotava ilmakehä sijaitsee kylmässä tilassa voi muodostua kondenssivettä kanavan tai eristyksen pintaan. Ilmanvaihtojärjestelmän kanavisto on yleensä riittävän tiivis, kun se on tiiviydeltään vähintään tiivisyysluokkaa B. Tiivisyysluokan B suurin sallittu vuotoilmavirta on esitetty kuvassa 9. Tavanomaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä saavutetaan kanaviston tiivisyysluokka B yleensä, kun käytettävien ilmakehävien ja kanavien tiivisyysluokka on C.

Ilmanvaihtokone on yleensä riittävän tiivis, kun se on vaipan tiiviydeltään vähintään tiivisyysluokkaa A ja vuotoilmavirta tulo- ja poistopuolen välillä on enintään 6 % ilmanvaihtokoneen nimellisilmavirralla paine-eron ollessa 300 Pa.

Ilmanvaihtojärjestelmän ja sen osien suurimmat sallitut vuotoilmavirrat eri tiivisyysluokissa esitetään yhtälönä käyrästä kuvassa 9. [4, Luku 3 §19.]



Kuva 9. Ilmanvaihtojärjestelmän ja sen osien suurimmat sallitut vuotoilmavirrat vaipan pinta-alaa kohti eri tiiviysluokissa

Ilmanvaihtojärjestelmän säätäminen varmistaa, että se toimii oikein, jotta jokaiseen huoneeseen tulee tavoitellut ilmamäärät.

Ilmanvaihtojärjestelmä on aina säädettävä ilmanvaihtosuunnitelman mukaan, jotta se toimisi kunnolla. Oikea asettelu takaa riittävän ilmanvaihdon jokaisessa huonetilassa sekä myös oikeat tulo- ja poistoilmavirtojen suhteet. Rakennuksen liiallinen ylipaine työntää sisäilman kosteuden ulkoseinärakenteeseen, ja liialliset vuotoilman virtaukset voivat vetää epäpuhtauksia rakennuksen ulkopuolelta tai seinärakenteiden läpi.

Tulo- ja poistoilmamäärien suuruus riippuu monesta tekijästä: ihmisten lukumäärästä tilassa, heidän toiminnastaan ja tiloissa olevista ilmanvaihtoa vaativista laitteista. Tasopiirustuksesta nähdään kunkin venttiilin tulo- ja poistoilman määrät litroina sekunnissa. Minimi-ilmamäärät voidaan laskea myös taulukon 1 avulla.

Taulukko 1. Ilmamäärät toimistorakennuksissa

TAULUKKO 2. TOIMISTORAKENNUKSET #1						
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Toimistohuone ja vastaavat tilat		1,5		33 / 38 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Neuvotteluhuone	8	4		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Asiakastila		2		38 / 43	0,30 / 0,40	#2
Käytävätila		0,5		38 / 43	0,30	#2
Kahvio, taukotila		5		38 / 43	0,25	
Arkisto, varasto			0,35			
Tupakkahuone: – rakennuksen käytön aikana		10	20	38 / 43	0,30	#4
– rakennuksen käytön ulkopuolella			10			#4
Kopiointihuone		1	4			

#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.
#2 Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.
#3 Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.
#4 Tupakkahuoneen on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.

6.3 Paineoke

Ilmakanavien tiiviysmittaukset suoritetaan, kun ilmanvaihto tai ilmastointijärjestelmä on asennettu, jolloin vaaditaan parempaa ilmatiiviyyttä. Tiiviysluokan valintaperuste muodostuu käyttöolosuhteista ja järjestelmän ilmanvuodon sallitusta määrästä prosentuaalisesti. Tarpeettomien energiahäviöiden välttämiseksi ja järjestelmän vaaditun ilmavirran ylläpitämiseksi sallittu ilmavuoto ei saisi ylittää 6 %:a.

Yleisten ilmanvaihtojärjestelmien ilmakanavien (kuilukanavat, runkokanavat ja muut ilmanvaihtokanavat), ilmalämmityksen, paikallisten poistojärjestelmien, ilmastointilaitteiden, hätäilmanvaihdon ja kaikkien järjestelmien, joilla on nimellinen palonkestävyysrajoitus, luokitellaan tiiviysluokan B. Muissa tapauksissa ilmanvaihto-osat voidaan määrittää tiiviysluokkaan A. Vuodot ja ilmavuodot tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä eivät saisi ylittää tiiviysluokan A vuotoarvoja.

Jos ilmakehän ja huoneen ilmanpainereiden ero on erittäin korkea tai ilmakeuoto voi johtaa vaatimusten täyttämättä jättämiseen, tulee käyttää tiiviysluokkia C ja D.

Tilapäisen tehon omaavan puhaltimen käyttö mahdollistaa ilmakehävien tiiviys tarkistamisen asennusvaiheessa ennen päätelaitteen asentamista. Puhallin on yleensä 3 kW:n tehoinen.

Ilmakehävatestimenetelmässä tiiviysden mittaamiseksi (ilmakevaihtoverkon ilmakehäviöiden (vuotojen) määrittäminen kanavapuhaltimen avulla) puhaltimen poistoputkeen liitetään Ø 200 mm:n ilmakehävä, joka kiinnitetään testattuun ilmakehävään. Puhaltimen tuloputkeen liitetään Ø 200 mm:n ilmakehävä 1 metrin pituudella. Ennen testien aloittamista on tarpeen

- tarkistaa ilmakevaihtoverkon yhteensopivuus hankkeen kanssa
- asentaa tulpat ilmakevaihtoverkon reikiin
- määrittää sallitun ilmakevuodon määrä.

Ilmakevuotojen määrä määritetään seuraavasti: Kun järjestelmä on valittu testausta varten, on tarpeen eristää muu kanavisto tulppien avulla. Kun puhallin on kytketty ilmakehävään, 10–15 minuutin käytön jälkeen mitataan staattisen paineen puhaltimesta, sekä mitattavan järjestelmän päästä. Sitten lasketaan

- kanavaosan pinta-ala S_{kok} .
- puhaltimen ilmake kulutus kaavalla $L=S \cdot V \cdot 1000$

jossa, L – ilmake kulutus dm^3/s

S – kanavan pinta-ala m^2 (meidän tapauksessa $0,031\text{m}^2$, koska kanavan halkaisija on 200 mm).

V – ilmake nopeus m/s .

Ilmakevuodot lasketaan kaavalla $q_{\text{VIA}}=L/S_{\text{kok}}$ jossa

q_{VIA} – vuotoilma $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$

L – ilman kulutus dm^3/s

S – kanavaosan pinta-ala

Jos vuotoilman arvo on pienempi kuin kuvassa 9 on esitetty, vuotoilmamäärä on tarpeeksi vähäinen. Jos se on suurempi, vuotojen paikat täytyy etsiä ja tiivistää. Etsitään vuodot tilakohtaisesti tuulettimen käydessä. Jos silmämääräinen tarkastus ei anna tulosta, tehdään kanavistolle savukoe. Vuotojen sijainti ja kanavan testaus vuotojen varalta tehdään, kunnes todellinen ilmavuoto alittaa sallitun 6 %.

Mittalaitteiden tarkistus tapahtuu seuraavasti:

- Mitataan puhaltimen kotelon ja imukanavan todellinen ilmavuoto, staattinen paine, sulkemalla kanavan vapaa pää.
- Liitetään puhallin testattuun kanavaan ja mitataan todellinen ilmavuoto ja staattinen paine testatussa kanavassa.
- Todellinen ilmavuoto mitataan 2–3 kertaa staattisella paineella kuristamalla puhaltimen imupuolelle liitettyä ilmakehää.

On olemassa toinen vaihtoehto – käyttää automaattinen ilmanvuodon tiivistestieriä. Tähän sopii esimerkiksi Wöhler DP 700 (kuva 10) [11]. Tällä laitteella on mahdollista helposti laskea ilmanvuodot automaattisesti. Lisäksi se toimii monella painealueella; sillä voidaan tulostaa myös painekokeen tulokset.



Kuva 10. Wöhler DP 700, ilmanvaihdon tiiviystesteri

6.4 Mittaus- ja säätötyöt

Kun koko järjestelmä on tarkastettu vuotojen varalta, kaikki venttiilit on asennettu ja iv-koneet käynnistetään suunnitellulla teholla, on tarpeen aloittaa venttiilien säätö. Eri huoneisiin tuotetaan tietty määrä tulo- ja poistoilmaa. Piirustuksessa, jokaisessa kerroksessa ja jokaisessa venttiilissä on ilmoitettu huoneeseen tuleva tai sen kautta poistuva ilmamäärä litroina sekunnissa. Näitä arvoja käytetään säätötyössä.

Mittaukset tehdään ensin iv-koneille, jotta varmistutaan, että ne toimivat oikein. Seuraavaksi mitataan säätöpeltien ilmämäärät kunkin kerroksen pääkanavissa, sitten suoraan venttiileistä ja päätelaitteista. Ilmamäärien mittaamiseen käytetään paine-eromittaria, esimerkiksi paine-eromittaria TC5825 (kuva 11) [12], jonka avulla voidaan mitata ilmamäärää säätöpellille tai mille ja missä tahansa venttiilille.



Kuva 11. Monitoimimittari TC5825

Ilmamäärän selvittämiseksi on tarpeen mitata paine-ero asettamalla mittari kuvan 12 mukaisesti. Päätelaitteissa ja säätöpelleissä on mittayhteet, joihin mittari on kytkettävä. Seuraavaksi on määritettävä rakolevyt ja sen avulla k-arvo laskemalla ilmavirta kaavan avulla:

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_m}$$

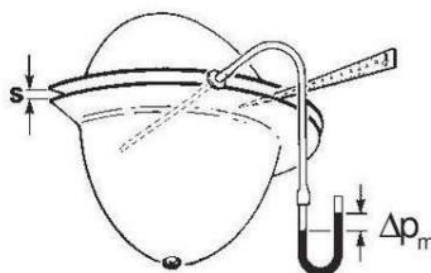
jossa

q_v on todellinen ilmavirta

k on ilmavirtakerroin (k-arvo)

ΔP_m on mitattu paine-ero.

CTVK



Rakoleveys	2	3	4	5	6	8	10	12	15
Koko 100 ja 125 k-arvo	0,48	1,71	0,94	1,15	1,37	1,82	2,2	2,7	3,3

Kuva 12. K-arvo riippuu rakoleveydestä.

7 Luovutusvaihe

7.1 Luovutusprosessi

Rakennuskohteiden luovutus on urakan viimeinen ja tärkein vaihe. Luovutuksella tarkoitetaan valmiin rakennuskohteen omistuksen ja vastuiden siirtämistä rakentajilta rakennuttajalle tai käyttäjälle. Luovutus on monivaiheinen prosessi, joka varmistaa, että asiakas saa rakennuskohteen ajoissa ja ilman puutteita. Luovutusprosessi alkaa jo rakennusvaiheessa ja jatkuu, kunnes takuutyöt on hyväksytty. Prosessin tehtävänä on myös havaita mahdolliset puutteet rakennusprosessissa, jotta ne voidaan korjata ajoissa.

Luovutusvaiheessa osallistuvat sekä urakoitsijan että asiakkaan edustajat sekä alihankkijat työnjohtajien kanssa. [5, Luku 3, §1.]

Osapuolet	Keskeiset toimijat
Asiakas	Valvoja Käyttäjä(t) Rakennuttajainsinööri Isännöitsijä Asukas
Pääurakoitsija	Projektipäällikkö Työpäällikkö Työnsuunnittelija Vastaava työnjohtaja Työnjohtajat Talotekniikkakoordinaattori Työntekijät
Aliurakoitsijat	Työnjohto Nokkamies
Suunnittelutoimisto	Suunnittelija (ark, rak, lvis jne.)
Viranomainen	Rakennustarkastaja

Kuva 13. Luovutusprosessin osapuolet ja toimijat [5, Luku 3, §2.]

Luovutusvaiheen suunnittelu on myös tärkeää, ja se on tehtävä etukäteen, jotta korjauksille jää riittävästi aikaa.

Rakennusurakan yleisissä sopimusehdoissa kohdassa 10 § Urakoitsijan laadunvarmistus, todetaan seuraavaa: Urakoitsijan on noudatettava sopimusasiakirjoissa edellytettyä laadunvarmistusta. Urakoitsijan on viimeistään ennen työn aloitusta vaadittaessa kirjallisesti osoitettava, kuinka hän varmistaa suorituksensa laadun. Urakoitsijan on joka tapauksessa meneteltävä siten, että sopimuksen mukainen laatu saavutetaan. [6, Luku 1, §10.]

7.2 Itselleluovutus

Vastuu työn suorittamisesta on urakoitsijalla/aliurakoitsijalla, ja nämä ensisijaisesti tarkistavat omat suoritukset. Luovutusvaiheen ja erityisesti itselleluovutuksen tarkoitus ei ole välttää virheiden havaitsemista, vaan pyrkiä korjaamaan esille tulleet virheet. Ensimmäinen vaihe on itsetesti, jonka aikana alihankkija tarkistaa laadun itse. Asennustavan päivittäisen tarkastuksen lisäksi käytön aikana suoritetaan itsetarkastus ennen rakennuksen luovuttamista asiakkaalle. Ilmanvaihtojärjestelmät arvioidaan ja

teknisten standardien noudattaminen tarkistetaan. Jos havaitaan puutteita ja virheitä, ne korjataan vaadittuun laatuun.

Lisäksi aliurakoitsijan itselleluovutukseen tulee sisältyä kirjallinen asiakirja, jossa kuvataan mahdolliset virheet ja menetelmät niiden poistamiseksi. Näiden töiden kustannusten korjaaminen on täysin aliurakoitsijan vastuulla. Korjauksien jälkeen itselleluovutusasiakirjat toimitetaan pääurakoitsijalle, joka puolestaan tarkistaa aliurakoitsijan työt.

Myös tähän osaan voidaan sisällyttää painekokeita ja mittauksia, koska näiden toimipiteiden tarkoituksena on tarkistaa suoritettavan työn laatu.

7.3 Asiapaperit

Laadunvarmistuksen eri vaiheiden tulokset kirjataan mittaus-, tarkastus- ja katselmuspöytäkirjoihin, jotka tallennetaan sovitulla tavalla esim. hankkeen projektipankkiin, tietomalliin tai talotekniikkatoteuttajan laadunvarmistuskansioon sekä luovutetaan rakennuttajalle vastaanottotarkastuksen osana. Ellei sopimusasiakirjoissa toisin määrätä tai ohjeisteta, tarvittavan dokumentin laatii ja allekirjoittaa se henkilö, jonka vastuulla on ao. mittaustyön suorittaminen tai katselmuksen/tarkastuksen koolle kutsuminen. Jos dokumentti sisältää valokuvia tai videotallenteita, on selkeästi osoitettava, mistä kohdin rakennusta tai järjestelmää valokuvat tai videot on tallennettu. Tarkastusdokumenttiin tai -pöytäkirjaan tehtyjen kirjausten oikeellisuudesta vastaa dokumentin laatija. Dokumentin hyväksymismerkintä on kuittaus asiakirjaan tutustumisesta ja tulosten hyväksyttävyydestä suhteessa tarkastetun työsuorituksen sopimusasiakirjoissa esitettyihin tavoitearvoihin. Vastaanotto- ja osatarkastustilaisuuksissa tulee eri urakoitsijoiden edustajien olla laitteet täysin tuntevia henkilöitä. Rakennusluvassa määrätyt tai aloituskokouksessa sovitut rakennusvaiheiden vastuuhenkilöt sekä työvaiheiden tarkastuksia suorittavat henkilöt varmentavat suorittamansa tarkastuksen rakennustyön tarkastusasiakirjaan. [7, Luku 3, §2.]

8 Yhteenveto

Ilmanvaihdon asennus on monipuolinen tehtävä, jossa on monia osia. Sen ratkaisu edellyttää tiukkaa työjärjestyksen noudattamista ja vain korkealaatuisten laitteiden ja materiaalien käyttöä. Ei vain itse asennuksella, vaan myös suunnittelulla on valtava rooli. Työn laatu ja nopeus riippuvat myös vuorovaikutuksesta muiden urakoitsijoiden kanssa työmaalla. Maksimaalisen laadun saavuttamiseksi on tärkeää, että töitä suunnitteluhetkestä kohteen toimitukseen asiakkaalle suorittavat ja valvovat asiantuntijat.

Tämä työ osoittaa, kuinka monimutkainen asennusprosessi voi olla, kuinka monta ehtoa on täytettävä. Menestyksekkääseen työhön vain urakoitsijan ponnistelut eivät riitä, pääurakoitsijan on täytettävä tiukasti velvoitteensa. Osien toimitus työmaalle ja töiden aikataulu ovat yhtä tärkeitä kuin asennus. Suunnittelusta kohteen luovutukseen tilaajalle jokainen työn osa vaatii vastuullista lähestymistapaa ja huomiota.

Lähteet

- 1 Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas. 2021. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas/63-ilmakanavan-materiaalivaatimukset>. Päivitetty 11.6.2021. Luettu 25.04.2022
- 2 Ympäristöministeriön asetus rakentamista koskevista suunnitelmista ja selvityksistä. 2015.12.3.2015/216.
- 3 Työturvallisuuslaki. 2002. 23.8.2002/738, §35.
- 4 Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 2021. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>. Päivitetty 11.6.2021. Luettu 25.04.2022
- 5 Koski, Hannu 2004. Rakennushankkeen luovutusprosessin kehittäminen. VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT.
- 6 Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998.
- 7 Talotekniikan laadunvarmistus- ja vastaanottomenettely. Prosessikuvaus. 2018. RT 10-11301. Rakennustieto Oy.
- 8 Building Research Establishment Ltd. Verkkoaineisto. <https://breeam.com/>. Luettu 25.04.2022.
- 9 Leed. Verkkoaineisto. U.S. Green Building Council. <https://www.usgbc.org/leed/>. Luettu 25.04.2022.
- 10 Zero Energy Buildings. Verkkoaineisto. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy Forrestal Building 1000 Independence Avenue, SW Washington, DC 20585. <https://www.energy.gov/eere/buildings/zero-energy-buildings>. Luettu 25.04.2022.
- 11 Wöhler DP 700. Verkkoaineisto. Wöhler Technik GmbH Headquarters Germany. https://www.woehler-international.com/fileadmin/user_upload/woehler/resources/downloads/print_media/en/EN_Leaflet_Woehler_DP_700_Leakage_Tester.pdf. Luettu 25.04.2022.
- 12 5825 DP-Calc. Verkkoaineisto. TSI Incorporated 500 Cardigan Road Shoreview, Minnesota 55126 USA. <https://tsi.com/getmedia/cb32be15-fcba-4332-b026-2fc0aa853447/5825-DP-Calc-Finnish-6001236-web?ext=.pdf>. Luettu 25.04.2022.