

ILMAVERHON MITOITUKSEN AUTOMATISOINTI

Heikki Kaisto
28.11.2011
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

1 Koulutusohjelma

Automaatiotekniikka

2 3 Opinnäytetyö

Insinöörityö

4 5 Sivuja

24

6 +

+ 4

7 Liitteitä

8 Suuntautumisvaihtoehto

Projektionnin sv

9 10 Aika

28.11.2011

11 Työn tilaaja

Sah-Ko Oy

12 13 Työn tekijä

Heikki Kaisto

14 Työn nimi

Ilmaverhon mitoituksen automatisointi

15 Avainsanat

ilmaverho, mitoitus, energia, takaisinmaksuaika

Ilmaverho vähentää avoimen oviaukon virtauksesta johtuvaa lämpöenergian häviötä. Tässä työssä on luotu työkalu Sah-Ko Oy:n kehittämän Aeroclus-ilmaverhon suutinparametrien sekä puhaltimen valitsemiseen. Puhaltimen valinnalla on suuri merkitys ilmaverhon investointikustannuksissa. Laskentatyökalulla hahmotellaan ilmaverhon tuottamien säästöjen arvo ja investoinnin takaisinmaksuaika.

Ilmaverhon mitoitukseen on luotu jo aiemmin matemaattinen malli. Tässä työssä kyseistä mallia sovellettiin siten, että samoilla lähtötiedoilla lasketaan yhtäaikaisesti eri parametrivaihtoehtojen tuottamat tulokset. Ilmaverhon toimivuuden takaamiseksi on määritetty raja-arvot, jotka raajavat ilmaverhon kriittisiä suureita. Myös puhaltimen toiminta-alue on kuvattu matemaattisesti. Ilmaverholle määriteltyä toimintapistettä verrataan toiminta-alueen kuvaajiin.

Työssä suunniteltiin laskentatyökalu, joka tuottaa hyvin perusteltuja ja toteuttamiskelpoisia ilmaverhon mitoituksen ratkaisuvaihtoehtoja. Tarkkuus on riittävä tehtävänannossa määriteltyä tarkoitusta varten. Valintakriteetistön jatkokehittäminen on silti tarpeellista ja suunnittelijan on syytä aina tarkastaa työkalun tuottamat ratkaisut.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty oululaiselle Sah-Ko Oy:lle. Opinnäytetyö perustuu suurelta osin lisensiaatti Aki Valkeapään tekemän ilmaverhojen tutkimuksen pohjalle. Ilmaverholaitteiston puhallintoimittaja Fläkt Woodsin puhaltimien tuotepäällikkö Andy Cardy on myös luovuttanut käyttööni opinnäytteen onnistumisen kannalta kriittisen tärkeää tutkimusmateriaalia. Ilmaverhon metallirakenteiden hinnoittelu ei olisi ollut mahdollista ilman Sah-Ko Oy:n Jukka Estaman apua. Opinnäytetyön ohjaavana opettajana on toiminut Heikki Kurki.

Haluan kiittää Sah-Ko Oy:n toimitusjohtajaa Juha Jaaraa mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni tästä aiheestä. Erityisen kiitoksen saamastani tuesta ja luottamuksesta haluan osoittaa aiemmin mainituille neljälle.

Oulussa 28.11.2011

Heikki Kaisto

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ALKUSANAT

SISÄLTÖ.....	4
1 JOHDANTO	5
2 ILMAVERHON KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA.....	6
2.1 Saavutettavat hyödyt.....	6
2.2 Ilmaverhojen toimintaperiaatteita	6
3 ILMAVERHON MITOITUS JA HINNAN ARVIOINTI	11
3.1 Mitoituksen vaikutus kustannuksiin	11
3.2 Suuttimen muuttajat	12
3.3 Puhaltimen valinta	13
3.4 Ilmaverhon metallirakenteiden vaikutus hintaan.....	16
4 TAKAISINMAKSUAJAN LASKENTA.....	18
4.1 Energialaskelman automatisointi.....	18
4.2 Investointilaskennan automatisointi.....	19
5 YHTEENVETO	21
LIITTEET	23
LÄHTEET.....	24

1 JOHDANTO

Ilmaverhoja käytetään erottamaan sisä- ja ulkotilan ilmamassat kulkuaukon ollessa avoimena. Tämä toteutetaan puhaltamalla ilmaa oviaukossa joko horisontaalisesti tai vertikaalisesti poikittain suhteessa oven lävitse kulkevaan virtaukseen. Aeroclaus-ilmaverhon kehittäjä on tekniikan lisensiaatti Aki Valkeapää. Aluetyöterveyslaitoksen ”Kylmien ilmavirtojen torjunta teollisuushal-leissa” -tutkimuksen yhteydessä hänelle ilmeni, että ilmaverhojen tiiveydestä tai niiden mitoituksesta ei ollut saatavissa luotettavaa materiaalia. Ilmaverhojen tiivyyttä tutkittaessa ilmeni, että perinteistä alhaalta puhaltavaa ilmaverhoa kehittämällä voidaan tiiveysastetta nostaa. Vastauksiksi löytyi puhallusilman kierrättäminen sekä lämpötilan ja tuulennopeuden huomioiminen ohjaukses-sa. (1.) Aeroclausin toiminnasta ja kokoonpanosta on lisätietoja liitteessä 1.

Valmistajasta riippumatta ilmaverhotuotteille on tyypillistä, että mahdollisen asiakkaan on hankala itse hahmottaa tarpeisiinsa sopivaa ratkaisua. Lisäksi saavutettavien energiansäästöjen ja niistä muodostuvan takaisinmaksuajan laskeminen edellyttää laskentaa, johon harvoilla loppuasiakkailla on edellyt-tyksiä tai resursseja. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda Excel- taulukkolaskentaohjelmaan perustuva työkalu, jonka pohjalta asiaan pereh- tymätön kykenee helposti ja suhteellisen hyvällä tarkkuudella hahmottele- maan investoinnin arvon sekä sillä saavutettavat säästöt.

Tämä opinnäytetyö on tehty Sah-Ko Oy:lle. Sah-Ko on oululainen vuonna 1955 perustettu tilauspaja ja teollisuuden kunnossapidon yritys. Sah-Ko:n lii- ketoiminta jakautuu viiteen pääkokonaisuuteen: teollisuuden kunnossapito, konepajapalvelut, teollisuusputkistot ja kattilat, metallimyynti sekä omien tuotteiden valmistus ja markkinointi. Sah-Ko:n omia tuotteita ovat suurten te- ollisuusovien Aeroclaus-ilmaverhojärjestelmä sekä jäisten tienpintojen polan- teen poistoon tarkoitettu Raiko-polannemurtaja. Sah-Ko:n omille tuotteille on yhteistä metalli valmistusmateriaalina sekä tuotteiden kehittäjien oululaisuus. (2.)

2 ILMAVERHON KÄYTTÖ TEOLLISUUDESSA

2.1 Ilmaverhon hyödyt

Teollisuusrakennuksille tyypilliset isot kulkuaukot aiheuttavat kylmissä oloissa taloudellisesti merkittävää energiahukkaa. Ovien käyttö aiheuttaa oviaukossa voimakasta virtausta, jonka oviaukon välittämässä läheisyydessä sekä kauempana ovilinjalla työskentelevä henkilökunta tuntee vetona. Lisäksi oviaukosta virtaava kylmä ilmassa voi vaikuttaa negatiivisesti lämpötilaherkkiin prosesseihin sekä suurta tarkkuutta vaativiin työstöihin. Lisäksi automatisoidut ilmastointi- ja lämmityslaitteistot voivat käyttäytyä yllättävästi sisäilman mittauksien nopeiden muutoksien yhteydessä. (1.)

Ilmaverho on laitteisto, jolla estetään kontrolloidulla ilman puhalluksella oviaukon hallitsematon ilmavirtaus. Energian säästöjen aiheuttamien taloudellisten säästöjen lisäksi ilmaverho parantaa työympäristön mukavuutta. (1.)

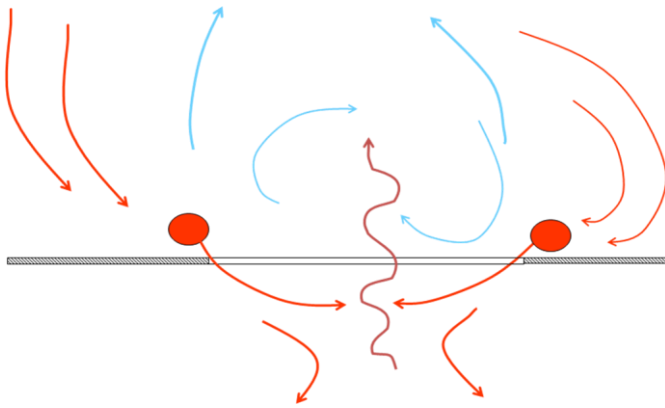
2.2 Ilmaverhojen toimintaperiaatteita

Ilmaverhoja on saatavilla sekä vertikaalisella että horisontaalisella puhalluksella. Vertikaalisella puhalluksella toimivat ilmaverhot on jaoteltavissa kahteen ryhmään: ylhäältä tai alhaalta puhaltavat. Samoin horisontaaliset ilmaverhot on jaettavissa kahteen ryhmään: yhdeltä ja kahdelta sivulta puhaltaviin. (3, s. 8.)

2.2.1 Horisontaalinen kahdelta sivulta puhaltava ilmaverho

Horisontaalinen kahdelta sivulta puhaltava ilmaverho on investointikustannuksiltaan usein edullinen. Laitteiden valmistajat toteuttavat koneen yleensä sarjatuotanteisilla valmiskomponenteilla, joiden määrää lisäämällä voidaan vastata erikorkuisien ovien tarpeisiin. Teknisesti laitteet ovat yksinkertaisia, pienistä sähköisistä puhaltimista sekä lämmönsiirtimistä koostuvia koteloituja kokonaisuuksia. (1.)

Ratkaisun heikkoutena on matala, vain noin 45 %:n tiiveysaste. (3, s. 29.) Kylmä ilmavirta murtautuu suihkujen välistä sisätiloihin. Lisäksi suihkujen hallinta todellisissa oloissa on haastavaa ilman erityisratkaisuja. Kuvassa 1 on havainnollistettu horisontaalisen kaksipuhaltimisen ilmaverhon toimintaa. Kuva ylhäältä, puhallus oven molemmilta sivuilta keskelle ja ulos suunnattuna. Punaiset nuolet kuvaavat lämpimiä, violetit viileitä ja siniset kylmiä virtauksia. (1.)

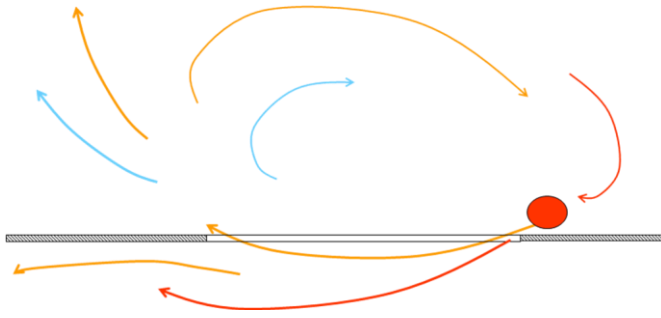


KUVA 1. Horisontaalisen kaksipuhaltimisen ilmaverhon toiminta

2.2.2 Horisontaalinen yhdeltä sivulta puhaltava ilmaverho

Horisontaalinen, yhdeltä sivulta puhaltava ilmaverho on investointikustannuksiltaan usein myös edullinen, mutta tällä tekniikalla ei voida toteuttaa yhtä leveitä ovia. Kahdelta sivulta puhaltavan tapaan myös yksipuoliset ilmaverhot ovat yleensä sarjatuotanteisia valmiskomponentteja. (1.)

Ratkaisulla saavutetaan noin 55 %:n tiiveysaste (3, s. 29). Puhalluksen sivutuotteena syntyy voimakas jäähtynyt puhallussuihku sisälle puhaltimen vastakkaiselle puolelle. Lisäksi toiminta estyy monissa liikennetilanteissa ja ulos pääsee vuotamaan lämmintä sisäilmaa. Kuvassa 2 kuvataan horisontaalisen yksipuhaltimisen ilmaverhon toiminta. Kuva on ylhäältä, puhallus oven oikealta sivulta vasemmalle ja ulos suunnattuna. Punaiset nuolet kuvaavat lämpimiä, keltaiset haaleita ja siniset kylmiä virtauksia. (1.)

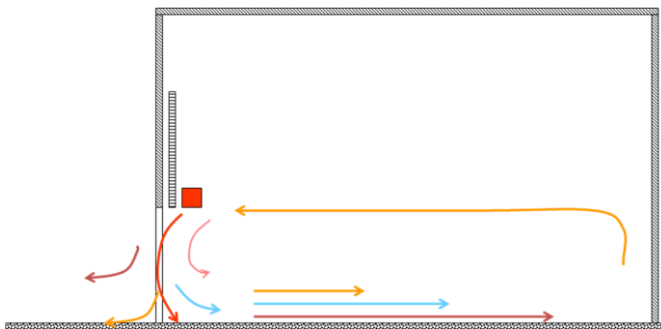


KUVA 2. Horisontaalisen yksipuhaltimisen ilmaverhon toiminta

2.2.3 Vertikaalinen ylhäältä puhaltava ilmaverho

Vertikaalisella ylhäältä puhaltavalla ilmaverholla saavutetaan noin 60 %:n tiiveysaste (3, s. 30). Ratkaisu on saanut suosiota kohteissa, jossa muiden ilmaverhotyypin asentaminen on hankalaa oviympäristön muiden rakenteiden tai toiminnan takia. (1.)

Ylhäältä puhallettua suihku törmää lattiaan ja kääntyy sisälle jäähtyneenä aiheuttaen voimakasta vetoa laajalla alueella sisällä. Tämä aiheuttaa voimakkaita viileitä ilmavirtauksia työskentelyvyöhykkeellä. Kuvassa 3 on kuvattu vertikaalisen ylhäältä puhaltavan ilmaverhon toiminta. Kuva on sivulta, puhallus oven päältä alas ja ulos suunnattuna. Punaiset nuolet kuvaavat lämpimiä, keltaiset haaleita, violetit viileitä ja siniset kylmiä virtauksia. (1.)

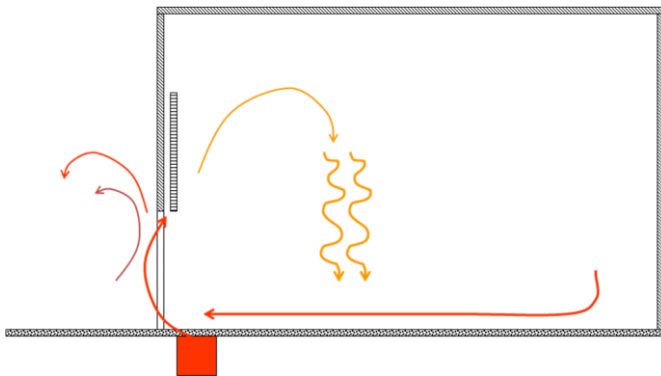


KUVA 3. Vertikaalisen ylhäältä puhaltavan ilmaverhon toiminta

2.2.4 Vertikaalinen alhaalta puhaltava ilmaverho

Vertikaalisella alhaalta puhaltavalla ilmaverholla saavutetaan noin 60 %:n tiiveysaste. Asennukselle on varsinkin jälkiasennuskohteissa usein esteenä ilmaverhon vaatiman alakammion asentaminen hallin lattiaan. (3, s. 30.)

Usein lämmintä puhallusilmaa virtaa ulos oviaukon yläosasta. Alaspäin valuva viileä ilma oven edustalla tuo kuitenkin lämmintä ilmaa lattiarajassa ovelle päin ja lämmittää ovisuuta. Kuvassa 4 kuvataan vertikaalisen alhaalta puhaltavan ilmaverhon toiminta. Kuva on sivulta, puhallus oven alta ylös ja ulos suunnattuna. Punaiset nuolet kuvaavat lämpimiä, keltaiset haaleita ja violetit viileitä virtauksia. (1.)



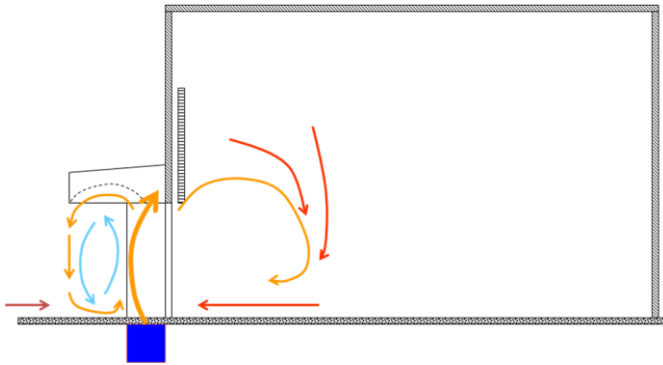
KUVA 4. Vertikaalisen alhaalta puhaltavan ilmaverhon toiminta

2.2.5 Vertikaalinen alhaalta puhaltava kierrätysilmaverho

Vertikaalisella alhaalta puhaltavalla kierrätysilmaverholla saavutetaan noin 80 %:n tiiveysaste (3. s. 31). Aeroclaus-ilmaverho edustaa toimii alhaalta puhaltavan kierrätysilmaverhon toimintaperiaatteen mukaisesti. Alhaalta puhaltavan ilmaverhon asennukselle on varsinkin jälkiasennuskohteissa usein esteenä ilmaverhon vaatiman alakammion asentaminen hallin lattiaan. Kierrättävässä ratkaisussa kammio asennetaan hallin ulkopuolelle, jolloin tätä estettä ei ole. (1.)

Jäähtynyt ilmasuihku ohjataan imuhuuvaan, sisältä puhallussuihkuun indusoituva lämmin ilma hyödynnetään puhallussuihkun lämpönä kierrättämällä

ilmaa järjestelmässä. Puhallussuihku muodostuu kylmän sijasta haaleksi, vaikka sitä ei tarvitse lämmittää. Puhallussuihkun ulkopuolella suojakatoksella synnytetään paluuvirtaus, joka nostaa ulkoa sekoittuvan ilman lämpötilaa ja kohottaa puhallussuihkun lämpötilaa. Puhallussuihku tuo lämpöä ovisuulle lähellä lattiatasoa puhallussuihkun induktiolla. Oven välittömässä läheisyydessä on havaittavissa verhon toiminnasta johtuva vähäinen virtaus, mutta varsinainen ulkoilmasta johtuva veto estetään. Kuvassa 5 kuvataan vertikaalisen alhaalta puhaltavan kierrätysilmaverhon toiminta. Kuva on sivulta, puhallus oven alta ylös ja ulos suunnattuna. Punaiset nuolet kuvaavat lämpimiä, keltaiset haaleita, violetit viileitä ja siniset kylmiä virtauksia. (1.)



KUVA 5. Vertikaalisen alhaalta puhaltavan kierrätysilmaverhon toiminta

3 ILMAVERHON MITOITUS JA HINNAN ARVIOINTI

3.1 Mitoituksen vaikutus kustannuksiin

Ilmaverholaitteiston kustannuksiin ja hintaan vaikuttavat käytettävien materiaalien ja osien hinnat. Metallirakenteiden kustannukset voidaan suhteellisen helposti laskea kohteena olevan oviaukon mittojen perusteella, sillä Aero-clausin rakenne skaalautuu helposti. Tätä helpottaa metalliteollisuudessa yleisesti käytetty kustannuksien arviointitapa, jossa materiaalin kilohinta sisältää myös rakentamisen työkustannukset. (4.)

Ostokomponenttien hinnan arviointi on haastavampaa. Ilmaverholle on valittu soveltuvan tehoisia aksiaalipuhaltimia. Puhaltimen tehovaatimus asettaa luonnollisesti vaatimuksia puhallinkäyttöön tarvittavalle taajuusmuuttajalle. Puhaltimen mitoituksessa on huomioitava kohderakennuksen sisälämpötila, ulkolämpötilan mitoitusväli (normaalissa kohteessa +10 °C – -20 °C), rakennuksessa vallitseva alipaine sekä oviaukon mitat. Näiden perusteella valitaan puhaltimien määrä (yksi tai kaksi kappaletta) sekä sähköteho. (1.)

Tarvittavaan tehoon voidaan vaikuttaa siten, että muutetaan ilmaverhon suuttimen halkaisijaa ja kulmaa. Aiemmin mainittuihin lähtötietoihin on harvoin mahdollisuutta vaikuttaa, joten suuttimen mitoitus on ainoa tapa vaikuttaa puhaltimen valintaan ja siitä aiheutuviin hankinta ja käyttö kustannuksiin. (4.)

Työn tavoitteena oli löytää tapa, jolla oviaukon virtauksen malliin perustuen voidaan valita kullekin kohteelle optimaalinen suutin ja puhallinratkaisu ilman aikaa vievää käsityötä sekä laskentaa. Mitoituslaskenta perustuu Aki Valkeapään (2007) kehittämään oviaukon virtauksien laskentamalliin sekä tutkimustuloksiin perustuvien valintaperusteiden luomiseen.

3.2 Suuttimen muuttujat

Suuttimen valinnassa on mahdollista vaikuttaa suuttimen leveyteen (b_0) sekä sen puhalluskulmaan (α_0). Suuttimen leveyden valinta suositellaan tehtäväksi H/b_0 -suhdeluvulla 20 - 60, jossa H on oviaukon korkeus. (5, s. 3.)

Ilmaverhon luotettavan toiminnan vaatimus asettaa rajoitteita ilman virtauksen nopeudelle suuttimessa (V_{jet}) ja alakammiossa (V_{ak}). Molemmille on asetettu maksimivirtauksen raja-arvo, joka perustuu laitteiston tuotekehitystyössä tehtyihin mittauksiin. Mikäli suuttimen virtausnopeuden raja-arvo ylitetään, ei puhalluksen hallinta ole turbulenssin voimakkuuden takia mahdollinen. Kammion virtausnopeuden raja-arvon ylitys johtaa puhalluksen epätasaiseen voimakkuuteen eri kohdissa suutinta. Suuttimen parametrien muutokset vaikuttavat virtausnopeuksiin taulukossa 1 esitetyllä tavalla. Taulukossa suuttimen kulma (α_0) on puhalluskulma pystytasoon nähden.

TAULUKKO 1. Suuttimen leveyden ja kulman suhde suuttimen ja alakammion virtausnopeuksiin

	Suuttimen virtaus (V_{jet})	Kammion virtaus (V_{ak})
Suuttimen leveys (b_0)kasvaa	pienenee	kasvaa
Suuttimen kulma (α_0)kasvaa	pienenee	pienenee

Peruseriaatteellisesti taulukosta voisi päätellä, että useat mitoituksen ongelmat ratkeavat suuttimen puhalluskulmaa kasvattamalla. Kuitenkin käytännön kokemukset ilmaverhojen toiminnasta osoittavat, että ilmaverhon puhalluskulman kasvattaminen tekee virtauksen hallinnasta epäluotettavampaa. Virheellisestä ohjauksesta johtuvan vuodon riski kasvaa, mikä vaikuttaa ilmaverhon toimivuuteen sekä tehokkuuteen.

Kammion virtaukseen vaikuttaa erityisesti mitoitettavan kohteen oviaukon leveys. Yksi tapa ratkaista ongelma on toteuttaa ilmaverho kahdella puhaltimella. Silloin oven oikeaan laitaan asennettu puhallin aiheuttaa virtausta ainoastaan alakammion oikeaan pätyyn ja vasempaan laitaan asennettu puhallin vastaavasti ainoastaan kammion vasempaan laitaan. Tämän ansios-

ta suositeltu virtausnopeus ei missään kohdassa kammiota ylitä ja virtauksen kokonaismäärä saadaan riittäväksi.

Peruseriaatteellisesti suuttimen leveydelle ei ole asetettu muita rajoitteita kuin aiemmin mainittu H/b_0 -suhdeluku. Suuttimen puhalluskulmalle on olemassa maksimiarvo, jonka ylittäminen ei ole suotavaa ilmaverhon luotettavuuden takaamiselle. Toisaalta loiva kulma pakottaa nostamaan suuttimen virtausta, mikä johtaa suurempaan puhaltimen tehovaatimukseen. (5, s. 3.)

Suuttimen tekninen toteutus aiheuttaa rajoituksia sille, kuinka pieniä muutoksia kannattaa suuttimen ominaisuuksiin tehdä. Sah-Ko Oy:n tuotannon kanssa päädyttiin rajaamaan suuttimen kulmavaihtoehdot neljään siten, että jokaisen vaihtoehdon välissä on 2° :n ero. Myös suuttimen leveydelle valittiin neljä vaihtoehtoa 1 cm:n porrastuksella. Yhdelle puhallinratkaisulle tulee laskennallisesti aina 16 erilaista variaatiota. Kun puhallinratkaisu voidaan tehdä neljän eri pohjan mukaisesti, tulee kokonaisvaihtoehtojen joukoksi 64 ratkaisuvaihtoehtoa. Näiden joukosta on valittava optimaalisin.

Suuttimen parametreilla on vaikutusta tarvittavaan moottoritehoon ja moottorista sekä taajuusmuuttajasta aiheutuviin kustannuksiin. Siksi suuttimen mitoitus on otettava osaksi ilmaverhon hinnan muodostusta. Samalle puhaltimen koolle on saatavissa useita eri moottoritehoja.

3.3 Puhaltimen valinta

Ilmaverhon puhaltimen valinta perustuu laskennasta saatavaan maksimi paineenkorotukseen (Δp_{kok}) ja maksimi ilmamäärään ($Q_{V_{\text{kok}}}$). Manuaalisesti mitoitusyötä tehtäessä valitaan näiden avulla käyrästä käyttäen oikea puhaltimen siipikulma siten, että toimintapiste tulee mahdollisimman lähelle käyrää, kuitenkin sen alapuolelle. Moottoriteho ($P_{f_{\text{max}}}$) valitaan siten, että tehon ja ilmamäärän suhdetta kuvaavalta käyrästä valitaan ilmamäärää vastaava tarvittava teho. Puhaltimien valmistaja suosittelee ylimitoittamaan puhaltimet tietoisesti 10 %:lla. Kerrotaan siis käyrästä saatu moottoriteho varmuuskertoimella 1,1.

Opinnäytetyön kannalta muodostui nopeasti ongelmaksi näiden normaalisti graafisena materiaalina saatavien käyrästöjen muokkaaminen laskentaan soveltuvaan muotoon. Valmistajan tuotekehitysosasto luovutti kuitenkin tämän työn tekemistä varten taulukkotietoa puhaltimien toiminnan laboratorio-mittauksista. Taulukkojen mittaustiedot kuvasivat puhaltimen tuottamaa staattista painetta (p_s). Mitoituksessa on kuitenkin käytettävä konaispainetta (p_{kok}), johon vaikuttaa staattisen paineen lisäksi dynaaminen paine (p_{dyn}) kaavojen 1 ja 2 mukaisesti.

$$p_{kok} = p_s + p_{dyn} \quad \text{KAAVA 1}$$

$$p_{dyn} = 0,5 * p_s^2 \quad \text{KAAVA 2}$$

p_{kok} = kokonaispaine

p_s = staattinen paine

p_{dyn} = dynaaminen paine

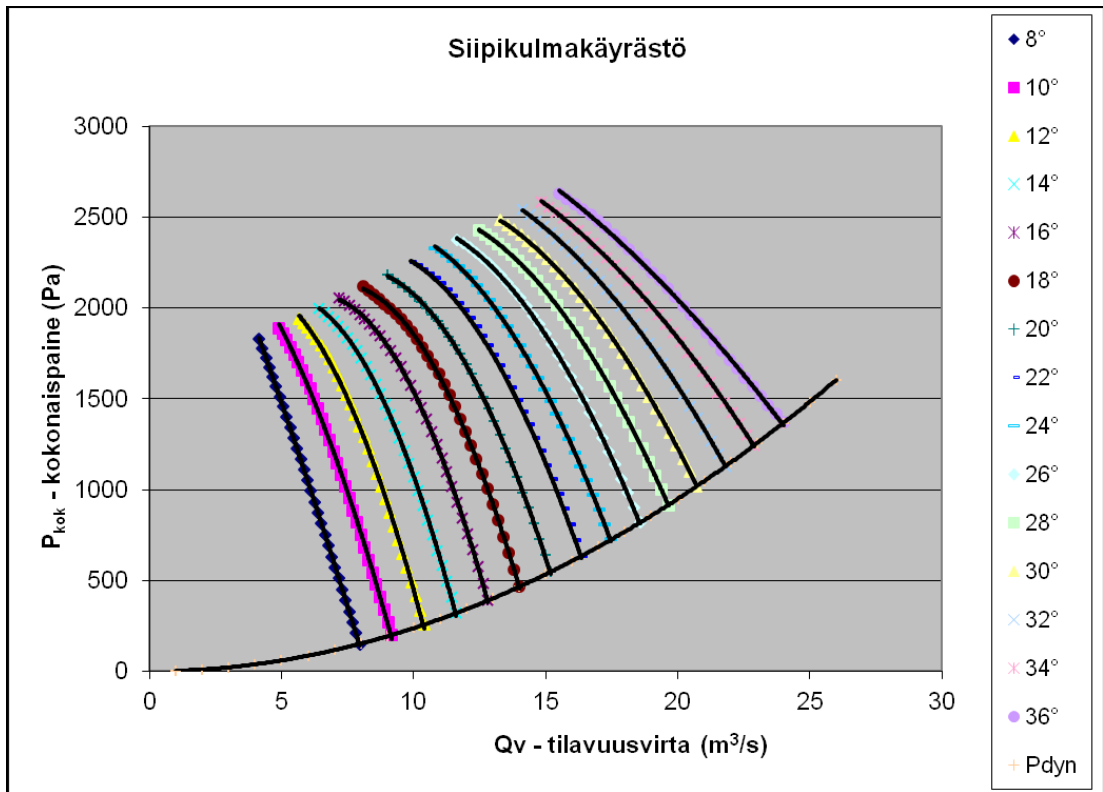
Taulukoitu materiaali muutettiin kaavoja 1 ja 2 käyttäen kokonaispaineeksi. Excel-ohjelmiston polynomisovite-työkalua käyttämällä rakennettiin graafiset kuvaajat siipikäyrille. Samalla työkalua käyttämällä saatiin myös yhtälö, jota käyrät noudattavat alkuperäisen materiaalin mukaisella alueella. Liite 2 sisältää ilmaverhossa käytettyjen puhaltimien mitoitusohjeen.

Esimerkiksi kuvassa 6 graafisesti esitetty 18° :n siipikulmakäyrän yhtälö on esitetty kaavassa 3.

$$p_{kok} = - 36,612QV^2 + 530,83QV + 207,36 \quad \text{KAAVA3}$$

p_{kok} = kokonaispaine

QV = tilavuusvirta



KUVA 6. Fläkt Woods 80JM-puhaltimen siipikulmakäyrästä

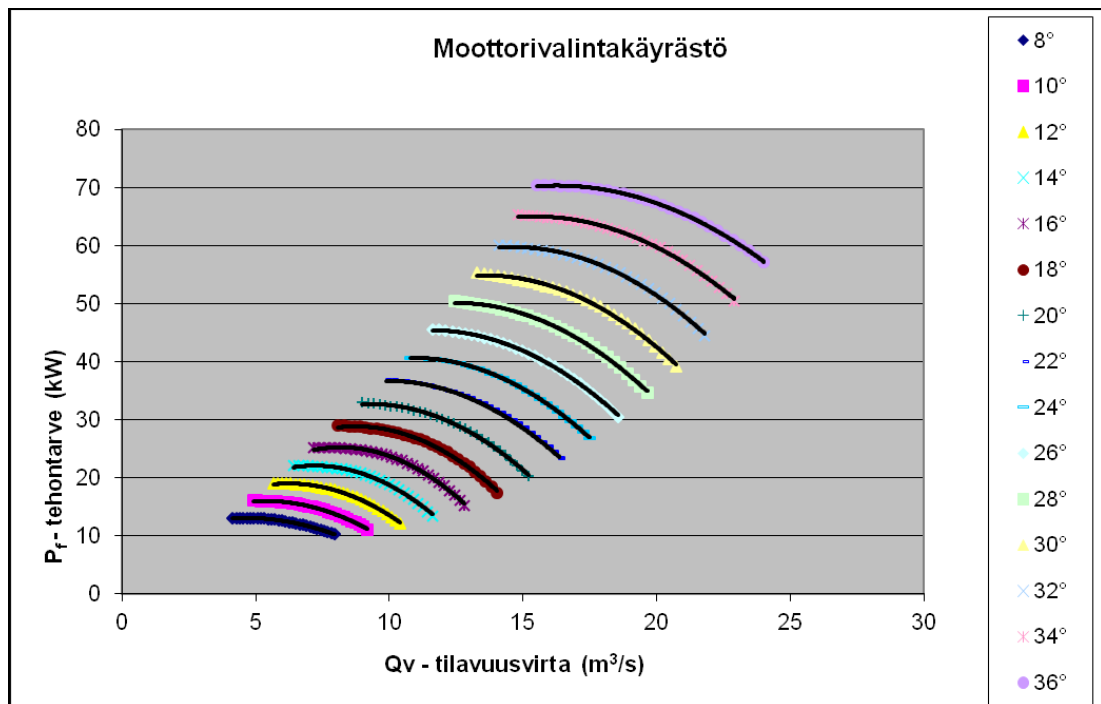
Saman 18°:n siipikulman tehontarvetta kuvaava moottorikäyrä on nähtävissä kuvassa 7. Käyrän yhtälö on esitetty kaavassa 4.

$$P_f = -0,3966Q_v^2 + 6,9369Q_v - 1,5371$$

KAAVA 4

P_f = tehon tarve

Q_v = tilavuusvirta

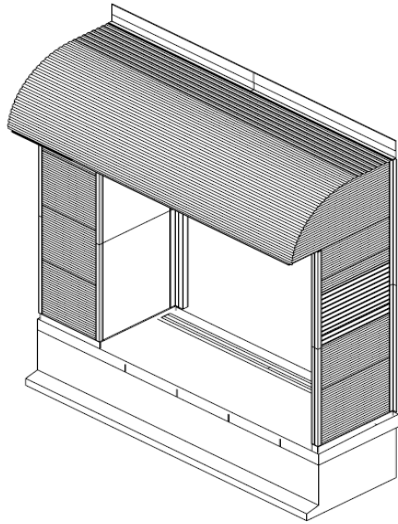


KUVA 7. Fläkt Woods 80JM-puhaltimen moottorivalintakäyrästä

Kun käyrät saatiin edellä olevien esimerkkien muotoon, on valinta helppoa. Tehovaatimuslaskennasta saatavaa paineenkorotusvaatimusta verrataan vastaavan ilmamäärän sekä siipikulmakäyrien leikkauspisteistä saataviin paineenkorotusmääriin. Saatavista käyristä valitaan alin mahdollinen paineenkorotus. Sen jälkeen lasketaan tarvittava moottoriteho samalla ilmamäärällä.

3.4 Ilmaverhon metallirakenteiden vaikutus hintaan

Rungon hinnan arvioimiseksi toteutettiin tarjouslaskenta kolmen erikokoisen oven välillä. Tällä tavalla saatiin käsitys siitä, miten rungon hinta vaihtelee ovikokojen välillä. Vertailuovien perusteella rakennettiin laskentatapa, joka kuvaa myös muiden ovikokojen metallirakenteiden hinnan muodostumista. Vaaka- ja pystykomponenttien hinnat eroteltiin toisistaan, jotta oviaukon dimensioita voitaisiin laskennassa muuttaa vapaasti laskelman siitä häiriintymättä. Kuvasta 8 voi nähdä Aeroclaus-ilmaverhon rakenteen.



KUVA 8. Yksipuhaltiminen Aeroclaus koteloituna

4 ILMAVERHON TAKAISINMAKSUAJAN LASKENTA

4.1 Energialaskelman automatisointi

Energialaskelma perustuu oviaukossa vaikuttavien ilmavirtojen laskentaan. Ilmaverhon mitoitukseen vaikuttavien lähtötietojen lisäksi täytyy tietää oviaukon aukioloaika sekä lämpö- ja sähköenergioiden hinnat. Laskennassa on arvioitava ulkolämpötilan kehitys eri vuodenaikoina kohteen sijaintipaikkakunnalla. Tähän käytetään Ilmatieteen laitokselta saatuja tilastotietoja.

Laskennan automatisointi työn pohjana olevan laskentatyökalun avulla on suhteellisen vaivatonta. Myöhemmässä vaiheessa energialaskelmaa voidaan käyttää takaisinmaksuajan sekä investointilaskelman pohjana, minkä avulla usein arvioidaan investoinnin kannattavuutta.

Energialaskelma-työkalun käyttö oli jo aiemmin huomattavan yksinkertaista. Laskentaa varten on oven mitoitus tietojen lisäksi syötettävä aukioloaikatiedot sekä lämpö- ja sähköenergian hinnat. Lisäksi on valittava ilmaverhon asennuskohdetta lähimpänä sijaitseva sääasema pudotusvalikosta. Näin saadaan laskentaan oikea arvio ulkolämpötilan vaihtelusta eri kuukausina.

Kuvassa 9 on nähtävissä muokkaamattoman energialaskelman ensimmäinen välilehti. Alkuperäisessä energialaskelmassa lähtötiedot syötettiin tälle välilehdelle ja laskelma palautti lopputuloksen samalle välilehdelle. Ulkolämpötilan tiedot syötettiin erilliselle laskentavälilehdelle. Liitteessä 4 on nähtävissä opinnäytetyössä toteutetun ohjelman tuottama laskennan asiakaskappale. Tälle välilehdelle ei syötetä mitään tietoja, vaan kaikki tiedot siirretään muilta laskentaan käytetyiltä välilehdiltä.

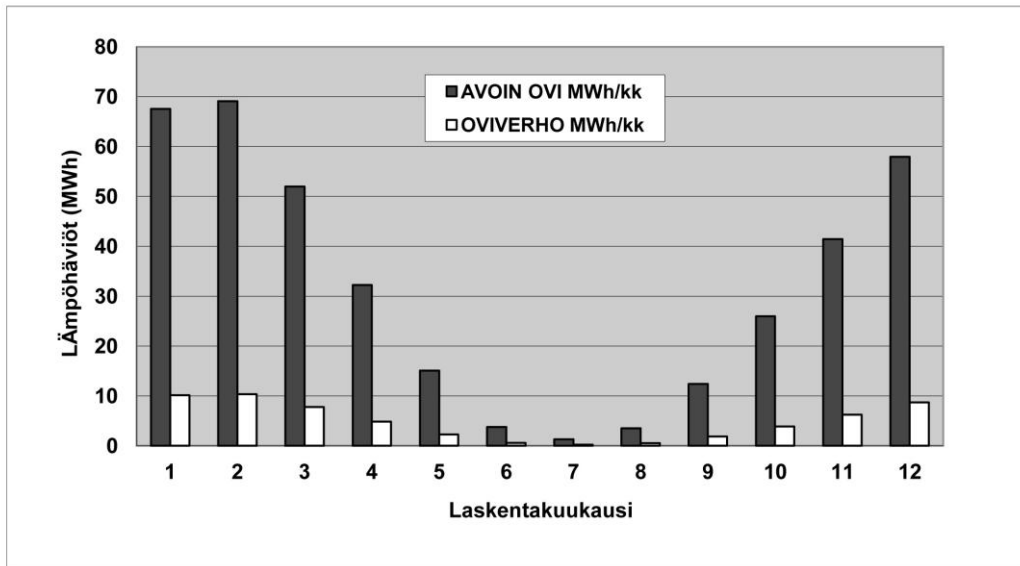
Laskentapäivä 11.10.2011
Kohde
Sijaintipaikkakunta Oulu
Säädädata Oulu

Syöttötiedot:

ovikorkeus 5 m
 ovileveys 4,5 m
 sisälämpötila 18 °C
 aukioloaika 300 s
 avaustiheys 4 kpl/h
 työaika / päivä 8 h/pv
 vuorokausia kuukaudessa 20 vrk/kk
 aukioloaika / päivä 160 min
 Lämpöenergian hinta 34,0 €/MWh
 Sähköenergian hinta 70,0 €/MWh
 Oviverhopuhaltimia 1 kpl
 Moottoriteto / puhallin 7,5 kW

Laskentatulokset:

Oviverhon käyntiaika 960 h/a
 Lämpöhäviöt vuodessa 382,1 MWh
 Lämpöhäviöt vuodessa 12993 €/a
 Sähkön kulutus vuodessa 7,2 MWh
 Sähkön kulutus vuodessa 504,0 €/a
 Säästöt vuodessa 10540 €



KUVA 9. Esimerkki ilmaverhon energialaskelmasta

4.2 Investointilaskennan automatisointi

Takaisinmaksuajan laskenta toteutettiin jakamalla kustannuslaskelmaosion arvio energialaskelman vuosittaisella säästöllä. Viiden vuoden investointilaskelma saadaan aikaan kertomalla vuosittainen energian säästö viidellä ja vähentämällä siitä investoinnin kustannukset. Laskelma ei ota kantaa asiakkaan mahdollisiin rahoituskustannuksiin tai energiahintojen muutoksiin.

Liite 3 sisältää tulosteen mitoitusohjelman syöttötietotaulukon sekä laskennan tulosten koonnan. Liitteessä 4 on nähtävillä asiakkaalle toimitettavat tiedot.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Excel-taulukkolaskentaohjelmaan perustuva työkalu, jonka pohjalta asiaan perehtymätön kykenee helposti ja suhteellisen hyvällä tarkkuudella hahmottelemaan investoinnin arvon sekä sillä saavutettavat säästöt. Työn toteuttamiseksi luotiin vertailuaineisto, jonka avulla voidaan suorittaa puhaltimen sekä suuttimen oikea valinta. Lisäksi luotiin työkalu, jolla voidaan vaivattomasti arvioida rakennekomponenttien kustannukset.

Opinnäytetyö on kapea otanta ilmaverhon mitoituksen ja ohjauksen kokonaisuudesta. Siinä ei ole käsitelty merkittävässä määrin itse mitoitukseen käytettävää laskentaa. Syitä tähän on kaksi. Ensimmäinen ja tärkein on se, että ilmaverhon mitoitukseen käytettävä laskenta ei ole opinnäytetyön tekijän tuotantoa, vaan automatisoinnissa käytetty laskentamalli on Aki Valkeapään kehittämä. Toinen syy on se, että iso osa laskennasta on Sah-Ko Oy:n taloudellisten etujen takia salassa pidettävää. Mikäli asiaa olisi haluttu tässä työssä käsitellä, olisi laskentaa pitänyt muokata tuntemattomaksi tavalla, joka ei olisi palvellut ketään.

Myös puhaltimen valintaan tarvittava taulukkomateriaali ja sen muokkaamiseen liittyvä matematiikka olisi voinut olla mielenkiintoista monille. Valitettavasti myös tämä materiaali on luovutettu opinnäytetyöntekijälle ainoastaan automatisointia varten ja sen julkaiseminen on kielletty.

Ilmaverhon mitoitus käyttäen edellä kuvattua valintametodia tuottaa hyvin samantyyppisiä tuloksia kuin ihmistyönä suoritettu mitoitus. Tällä menetelmällä saadaan riittävällä tarkkuudella arvioitua hinta, jotta asiakkaan on mahdollista saada nopea arvio välittömästi. Tässä testauksen vaiheessa ei kuitenkaan ole suotavaa tehdä sitovia tarjouksia järjestelmän tuottamien mitoitus pohjalta, ilman manuaalista tarkastusta. Kaikki järjestelmän tarjoamat vaihtoehdot ovat toteuttamiskelpoisia. Kuitenkin suunnittelijan on suosi-

teltavaa tarkistaa järjestelmän tuottamat ratkaisut ja arvioida niiden suorituskykyä.

Työ on ollut antoisa, vaikka hetkittäin jopa epätoivoon saakka haastava. Se on pakottanut tutustumaan ilmaverhojen mitoitukseen huomattavan syvästi. Erityisesti uutta oppimista on tapahtunut puhaltimien valintaan liittyviin instrumentointipäätöksiin.

LIITTEET

Liite 1. Aeroclaus-ilmaverhon RT-kortti

Liite 2. JM Aerofoil-aseteltavasiipisten aksiaalipuhaltimien tekninen esite

Liite 3. Aeroclaus-lähtötieto/lopputulosesimerkki

Liite 4. Aeroclaus-laskennan asiakaskappale, esimerkki

LÄHTEET

1. Sah-Ko Oy. 2011. Saatavissa: <http://www.ilmaverho.fi>. Hakupäivä: 4.10.2011.
2. Sah-Ko Oy. 2011. Saatavissa: <http://www.sah-ko.fi>. Hakupäivä: 4.10.2011.
3. Valkeapää, Aki 2010. Fundamentals of air curtain design. Espoo: School of Science and Technology, Faculty of Engineering and Architecture. Lisensiaatintutkimus.
4. Sah-Ko Oy. 2011. Ilmaverhon mitoitus- ja hinnoitteluohje.
5. Valkeapää, Aki – Sirén, Hannu 2009. The Influence of Air Circulation, Jet Discharge Momentum Flux and Nozzle Design Parameters on the Tightness of an Upwards Blowing Air Curtain. International Journal of Ventilation 10.12.2009.

AEROCLAUS-ILMAVERHO

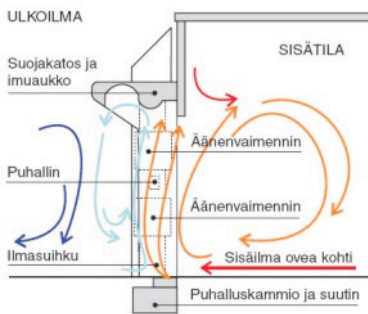
aeroclaus®
ilmaverho

- Isojen oviaukkojen ilmaverhojärjestelmä
- Poistaa tehokkaasti vetoa ja kylmyyttä
- Ehkäisee lämpöhäviötä jopa yli 90 %
- Vähentää sairaspoissaoloja
- Lisää työvihiä ja tuottavuutta

Aeroclaus-ilmaverhon puhallussuunta on alhaalta ylöspäin. Tämä takaa tehokkaimman suojan ovivetoa vastaan. Kylmä ulkoilma tunkeutuu voimakkaimmin sisään aina oviaukon alaosaan ja lattianrajasta. Ilmasuihku ohjataan oviaukon yläpuolella suojakatoksen imuaukkoon, josta ilma palautetaan takaisin puhallussuuttimelle. Yhtäaikainen puhallus ja imu parantaa olennaisella tavalla ilmaverhon tiiviyyttä.

Ilmaverhon teho perustuu

- Logiikan säätämään puhallusvoimaan
- Yhtäaikaisen työntö ja veto -periaatteeseen
- Huuvan aikaansaamaan pyörivään ilmassaan
- Lämmittämättömän ilman käyttöön



Kuva 1. Ilmaverhon toimintaperiaate.

Ilmaverho käynnistyy ja pysähtyy automaattisesti oven liikkeen mukaan. Puhallusilmavirtaa säädetään automaattisesti sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron sekä tuuliolosuhteiden mukaisesti.

Työympäristön viihtyisyys ja vetoisuus

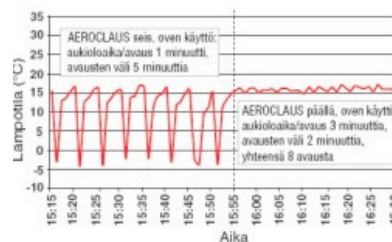
Isojen ovien avaaminen aiheuttaa voimakkaita ilmavirtauksia ja lämpötilavaihteluita laajoilla alueilla.

Ovista aiheutuvat vetohaitat voivat olla jatkuvia. Vetohaittojen ehkäisemiseksi on pyrittävä poistamaan kaikki lattiavirtaukset niiden lämpötilasta riippumatta.



Aeroclaus-ilmaverho 630SF

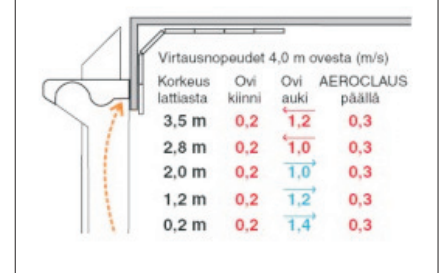
Työntekijöiden altistuminen vedolle aiheuttaa viihtyisyshaittojen lisäksi terveyshaittoja. Vetoisa työympäristö laskee työntekijöiden työmotivaatiota ja työtehoa, mikä vaikuttaa olennaisesti tuottavuuteen.



Kuva 2. AEROCLAUS-ilmaverhon vaikutus oven edustan lämpötilaan (mittauspaikan etäisyys ovesta 5 m, mittauskorkeus 0,6 m).

Aeroclausista aiheutuu erittäin vähän meluhaittaa, sillä tehokkaasti äänenvaimennettu puhallin sijaitsee rakennuksen ulkopuolella.

Aeroclaus-ilmaverholla voidaan poistaa isojen ovien vetohaitta, parantaa työympäristön viihtyisyyttä ja saavuttaa samalla merkittäviä energiansäästöjä.



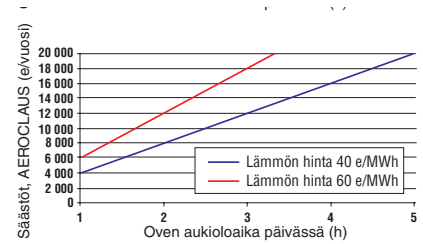
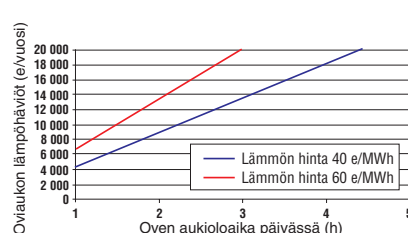
Kuva 3. AEROCLAUS-ilmaverhon vaikutus sisätilan lämpötilaan ja ilman virtausnopeuteen (ulkolämpötila -12 °C, oviaukko 4 x 4 m).

Energiansäästölaskelma

Esitietojen perusteella laitetoimittaja voi laskea Aeroclaus-ilmaverholla saavutettavat säästöt ja laitteiston takaisinmaksuajan perustuen pelkästään energian säästöön.

Laskelmassa huomioidaan:

- Oven mitat
- Oven käyttötunnit
- Rakennuksen ominaisuudet
- Lämpöenergian hinta
- Sähköenergian hinta
- Rakennuksen tavoitteellinen sisälämpötila
- Ulkolämpötilan vaihtelu vuoden aikana



Kuva 4. AEROCLAUS-ilmaverhojärjestelmällä saavutettavat vuotuiset säästöt. Teollisuusovi 5 x 5 m, sisälämpötila +18 °C, z = 0,5 x H_{ovi}, III säävyöhyke

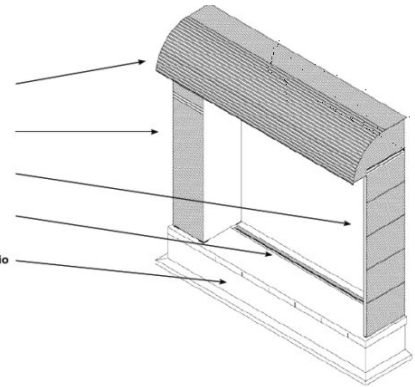
Ilmaverhon rakenne

Aeroclaus-ilmaverho asennetaan kokonaisuudessaan rakennuksen ulkopuolelle, vain logiikkayksikkö sijoitetaan sisätilaan.

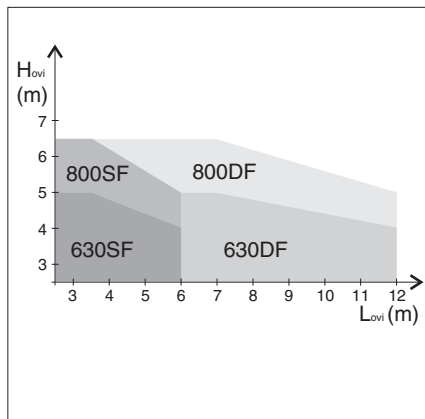
Järjestelmä sisältää maanalaisen puhalluskammion ja suuttimen, oviaukon ulkopuolisen suoja- ja imukatoksen, ilma-verhopuhaltimen, tehokkaat äänenvaimentimet sekä ovi-verhosuihkun säädössä ja ohjauksessa tarvittavan säätö- ja ohjausjärjestelmän.

Koska Aeroclaus toimii lämmittämättömällä ilmalla, laitteistossa ei ole ilmaverhoille yleisiä, huoltoa vaativia lämmönsiirtimiä.

1. Katosrakenne
2. Puhallintorni
3. Suojaseinä
4. Suutin
5. Puhallinkammio



Ilmaverhon mitoitus



Kuva 6. Ilmaverhomallin valinta oviaukon korkeuden (H) ja leveyden (L) mukaan.

Ilmaverhomalli valitaan ensisijaisesti oviaukon mittojen mukaan kuvan 6 perusteella. Suurempien oviaukkojen kohdalla ota yhteyttä laitetoimittajaan.

Ilmaverhopuhaltimen tehot

Ilmaverhomalli	H _{max} (m)	L _{max} (m)	P _{puhallin} (kW)
630SF	5,0	3,5	1 x 9,8
630SF	4,0	6,0	1 x 11,8
800SF	6,5	3,5	1 x 18,3
800SF	5,0	6,0	1 x 21,0
630DF	5,0	7,0	2 x 9,8
630DF	4,0	12,0	2 x 16,4
800DF	6,5	7,0	2 x 18,3
800DF	5,0	12,0	2 x 21,0

Ilmaverhon toiminta-alue -30...+10 °C.
Sisälämpötila +18 °C.

Mitoitus esitietolomakkeen perusteella

Ilmaverhojärjestelmän mitoitustiedot, kuten suuttimen leveys, puhalluskulma, puhallusilmavirta ja puhaltimen toiminta-arvot, lasketaan esitietojen perusteella. Esitietolomakkeita on saatavissa osoitteesta www.ilmaverho.fi.

Asennus

Ilmaverhojärjestelmän asennus on nopea. Maanalaiset osat asennetaan paikalleen yhdessä päivässä, jonka jälkeen liikennöinti oven läpi voidaan tarvittaessa aloittaa. Kokonaisuudessaan Aeroclausin asennus rakenteineen vie 2-3 päivää.

VALMISTUS JA MYYNTI

Sah-Ko Oy
Lumijoentie 6, PL 13
90401 OULU
Puhelin 0207 44 85 00
heikki.kaisto@sah-ko.fi
www.ilmaverho.fi

aeroclaus
ilmaverho

***JM Aerofoil aseteltavasäipiset
aksoalipuhaltimet 50 Hz***



Woods

FläktWoods

Puhaltimen valinta

Valintaperusteet

Kun ilmavirta ja paine tiedetään, voidaan ominaiskäyrästä valita sopiva puhallin. Yleensä halutut arvot antavia puhaltimia löytyy useita. Valinta näiden vaihtoehtojen välillä riippuu siitä, mikä ominaisuus kyseisessä tapauksessa on tärkeä: puhaltimen koko, tehontarve, äänitaso tai hankintahinta.

Ominaiskäyrät ovat englanninkielisiä. Niiden tekstit on suomennettu valintaesimerkkeihin liittyvissä mallikäyrästäissä. Kuten esimerkeistä ilmenee, voidaan puhallin valita joko staattisen tai kokonaispaineen mukaan.

Säädettävät moottorit

Jos puhaltimen pyörimisnopeutta tullaan säätämään tai puhaltimelle halutaan kaksi pyörimisnopeutta kolmio/tähti-kytkentää käyttäen, tulee puhaltimessa olla säädettävä moottori.

Tällöin on haluttu ilmavirta kerrottava luvulla 1,05 moottorin valintaa varten.

Valintaesimerkki 1

Kokonaispaine

D Haluttu toimintapiste normaali-ilmalla (1,2 kg/ m³): 0,55 m³/s 100 Pa kokonaispaineella.

- 1** Ilmavirta = 0,55 m³/s
- 2** Puhaltimen kokonaispaine = 100 Pa
- 3** Äänen tehotaso = 72 dB
(Interpoloidaan viereisistä arvoista)
- 4** Potkurin siipikulma 28°
- 5** Äänen tehotasot oktaavikaistoittain
(Toimintapiste on varjostetun alueen alapuolella.)

Äänen tehotaso dB	Oktaavikaista Hz							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Imupuoli	65	67	64	65	60	54	51	45
Painepuoli	67	70	65	65	60	54	52	46

- 6** Puhaltimen tehontarve toimintapisteessä 28° siipikulmalla = 0,09 kW

Sopiva 3-vaihemoottori vakiopyörimisnopeudelle valitaan moottoritaulukosta:

Moottori	= BT4
Nimellisteho	= 0,15 kW
Nimellisvirta	= 0,5 A
Käynnistysvirta	= 2,0 A



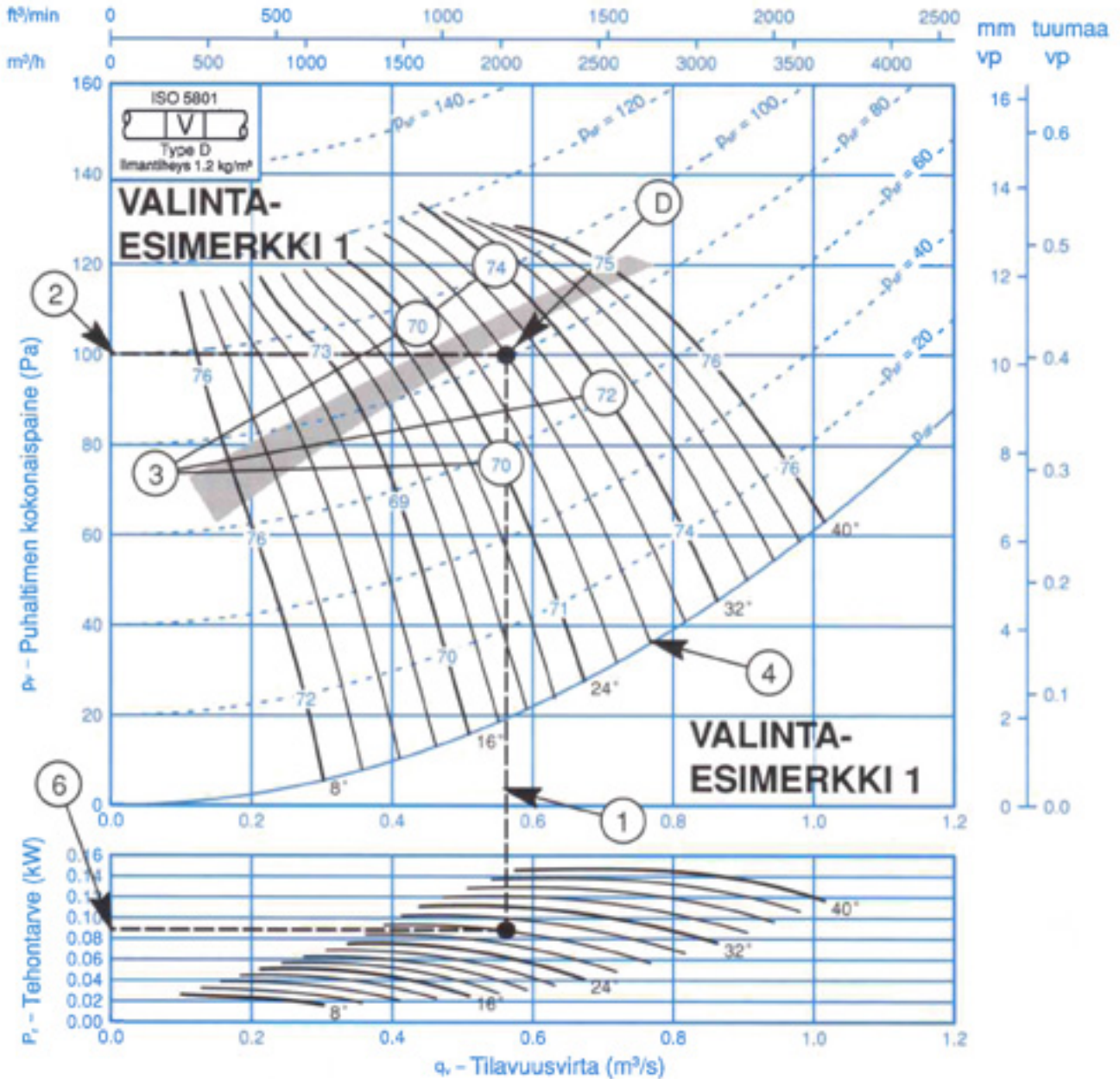
BS 5750 Pt 1
EN 29001
ISO 9001

Lajimerkki: 35JM/16/4/5/...

355 mm 1420 1/min 5 siipeä 50 Hz

Tuottoarvot ISO 5801:

Kanava-asennus



Ääniarvot BS848 Part 2 1985:

Ominaiskäyrästössä on ilmoitettu äänen teho (dB) kanava-asennuksessa puhaltimen imupuolella. Tehotasot oktaavikaistoittain saadaan vähentämällä tästä tehoastasosta alla olevan taulukon mukaiset luvut. Ylempiä lukuja käytetään käyrästön varjostetun alueen yläpuolella ja alempia lukuja sen alapuolella.

Siipi- kulma	Imupuoli								Siipi- kulma	Painepuoli							
	Oktaavikaistat (Hz)									Oktaavikaistat (Hz)							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
8	-9	-7	-5	-5	-13	-20	-27	-35	8	-6	-5	-4	-5	-13	-20	-27	-35
	-14	-10	-7	-3	-10	-16	-22	-31		-12	-8	-7	-3	-9	-16	-20	-29
16	-12	-6	-6	-5	-13	-15	-21	-27	16	-10	-3	-6	-5	-12	-14	-21	-27
	-10	-6	-7	-6	-9	-12	-17	-24		-9	-3	-6	-6	-9	-12	-17	-24
24-40	-5	-6	-7	-6	-14	-18	-23	-28	24-40	-3	-5	-7	-7	-13	-17	-21	-26
	-7	-5	-6	-7	-12	-16	-21	-27		-5	-2	-7	-7	-12	-16	-20	-26

Puhaltimen valinta

Valintaperusteet

Kun ilmavirta ja paine tiedetään, voidaan ominaiskäyrästä valita sopiva puhallin. Yleensä halutut arvot antavia puhaltimia löytyy useita. Valinta näiden vaihtoehtojen välillä riippuu siitä, mikä ominaisuus kyseisessä tapauksessa on tärkeä: puhaltimen koko, tehontarve, äänitaso tai hankintahinta.

Ominaiskäyrät ovat englanninkielisiä. Niiden tekstit on suomennettu valintaesimerkkeihin liittyvissä mallikäyrästäissä. Kuten esimerkeistä ilmenee, voidaan puhallin valita joko staattisen tai kokonaispaineen mukaan.

Säädettävät moottorit

Jos puhaltimen pyörimisnopeutta tullaan säätämään tai puhaltimelle halutaan kaksi pyörimisnopeutta kolmio/tähti-kytkentää käyttäen, tulee puhaltimessa olla säädettävä moottori.

Tällöin on haluttu ilmavirta kerrottava luvulla 1,05 moottorin valintaa varten.

Valintaesimerkki 2

Staattinen paine

D Haluttu toimintapiste normaali-ilmalla (1,2 kg/ m³): 0,55 m³/s 100 Pa staattisella paineella.

- 1** Ilmavirta = 0,55 m³/s
- 2** Puhaltimen **staattinen** paine = 100 Pa
- 3** Äänen tehotaso = 74 dB
(Interpoloidaan viereisistä arvoista)
- 4** Potkurin siipikulma 32°
- 5** Äänen tehotasot oktaavikaistoittain
(Toimintapiste on varjostetun alueen **yläpuolella**.)

Äänen tehotaso dB	Oktaavikaista Hz							
	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Imupuoli	69	68	67	66	60	56	51	46
Painepuoli	71	69	67	67	61	57	53	48

- 6** Puhaltimen tehontarve toimintapisteessä 32° siipikulmalla = 0,11 kW

Sopiva 3-vaihemoottori vakiopyörimisnopeudelle valitaan moottoritaulukosta:

Moottori = BT4

Nimellisteho = 0,15 kW

Nimellisvirta = 0,5 A

Käynnistysvirta = 2,0 A



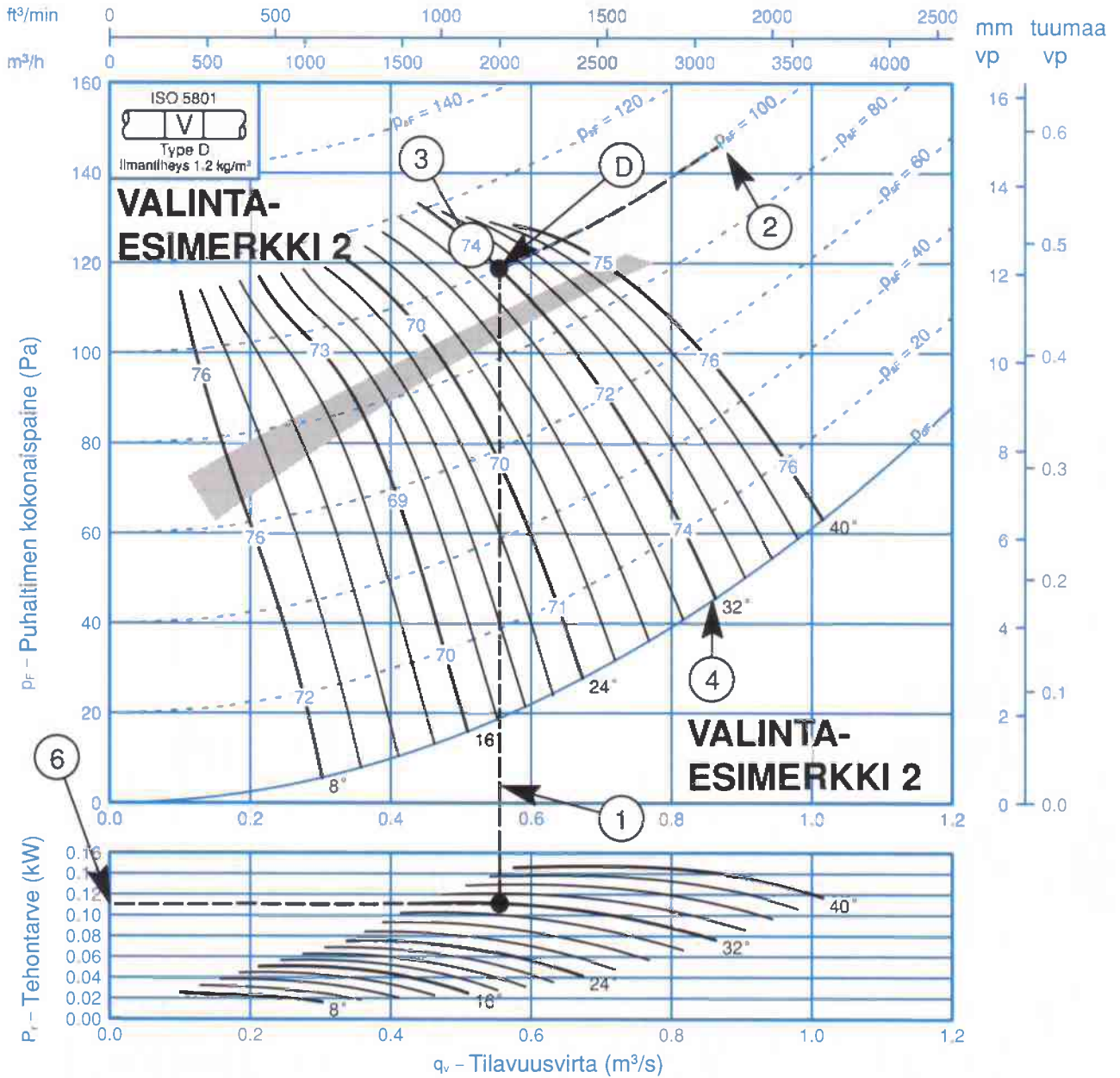
BS 5750 Pt 1
EN 29001
ISO 9001

Lajimerkki: 35JM/16/4/5/...

355 mm 1420 1/min 5 siipeä 50 Hz

Tuottoarvot ISO 5801:

Kanava-asennus



Ääniarvot BS848 Part 2 1985:

Ominaiskäyrästössä on ilmoitettu äänen teho (dB) kanava-asennuksessa puhaltimen imupuolella. Tehotasot oktaavikaistoittain saadaan vähentämällä tästä tehotasosta alla olevan taulukon mukaiset luvut. Ylempiä lukuja käytetään käyrästön varjostetun alueen yläpuolella ja alempiä lukuja sen alapuolella.

Siipi- kulma	Imupuoli								Siipi- kulma	Painepuoli							
	Oktaavikaistat (Hz)									Oktaavikaistat (Hz)							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
8	-9	-7	-5	-5	-13	-20	-27	-35	8	-6	-5	-4	-5	-13	-20	-27	-35
	-14	-10	-7	-3	-10	-16	-22	-31		-12	-8	-7	-3	-9	-16	-20	-29
16	-12	-6	-6	-5	-13	-15	-21	-27	16	-10	-3	-6	-5	-12	-14	-21	-27
	-10	-6	-7	-6	-9	-12	-17	-24		-9	-3	-6	-6	-9	-12	-17	-24
24-40	-5	-6	-7	-8	-14	-18	-23	-28	24-40	-3	-5	-7	-7	-13	-17	-21	-26
	-7	-5	-8	-7	-12	-16	-21	-27		-5	-2	-7	-7	-12	-16	-20	-26

Syöttötiedot

Mitoitus		
Oven korkeus		4 m
Oven leveys		4 m
Sisälämpötila		18 °C
Mitoitus max		10 °C
Mitoitus min		-20 °C
Z _{kerroin}		1 H _d
Energialaskelma		
Aukioloaika		300 s
Avaustiheys		5 kpl/h
Työaika / päivä		24 h/pv
Lämpöenergian hinta		25,0 €/MWh
Sähköenergian hinta		50,0 €/MWh
Kohdeyritys		Sah-Ko Oy
Sijaintipaikkakunta		Oulu
Säädädata		OULU LENTOASEMA

Tulokset

Mitoitustiedot		
Suutinkulma		α_0 °
Suuttimen korkeus		b_0 m
Suuttimen leveys		4,1 m
Puhallin		0,63 m
Moottori		7,5 kW
Siipikulma		20 °
Puhaltimia		1 kpl
Kustannuslaskenta		
Hinta		26200 €
Vuosisäästö		19289 €
Viisivuotislaskelma		111711 €

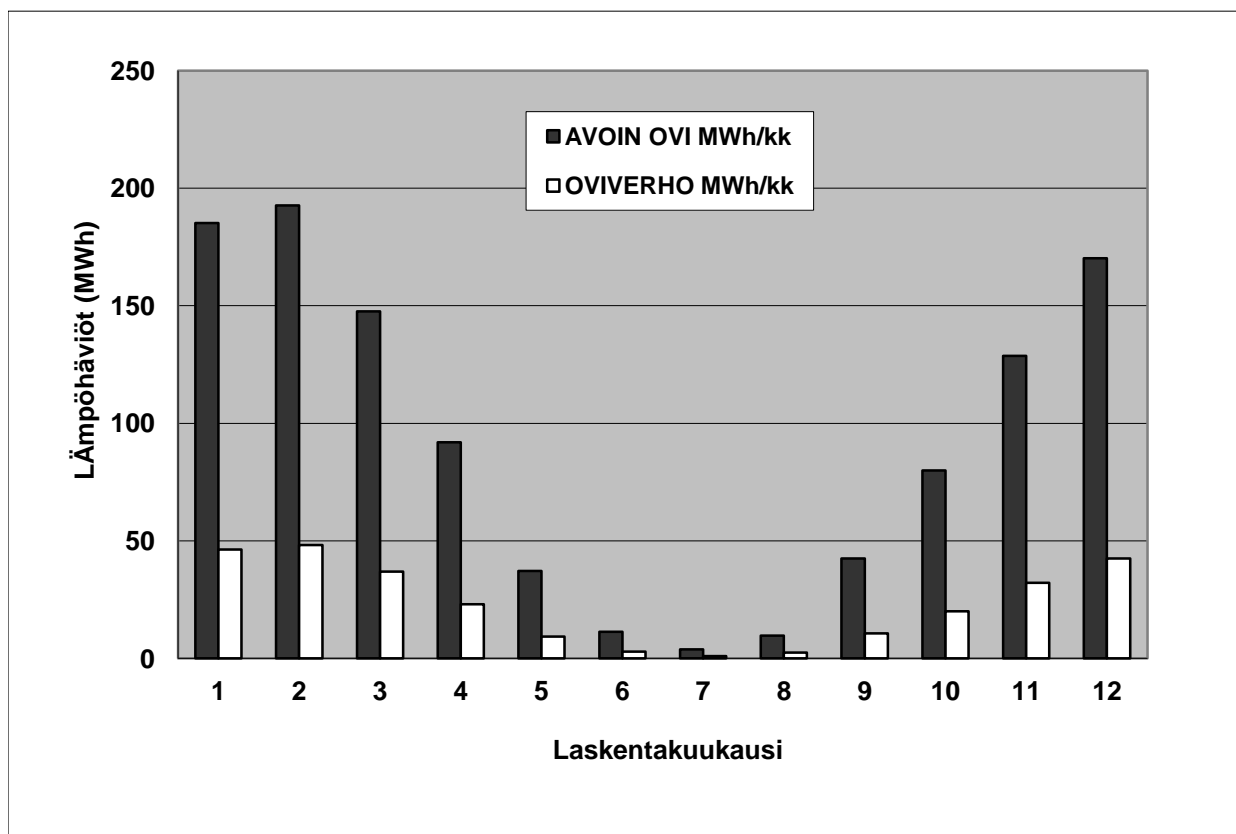
Laskentapäivä 11.10.2011
Kohde Sah-Ko Oy
Sijaintipaikkakunta Oulu
Säädä OULU LENTOASEMA

Syöttötiedot:

ovikorkeus 4 m
ovileveys 4 m
sisälämpötila 18 °C
aukioloaika 300 s
avaustiheys 5 kpl/h
työaika / päivä 24 h/pv
vuorokausia kuukaudessa 30,3 vrk/kk
aukioloaika / päivä 600 min
Lämpöenergian hinta 25,0 €/MWh
Sähköenergian hinta 50,0 €/MWh
Oviverhopuhaltimia 1 kpl
Moottoriteho / puhallin 7,5 kW

Laskentatulokset:

Oviverhon käyntiaika 3600 h/a
Lämpöhäviöt vuodessa 1100,8 MWh
Lämpöhäviöt vuodessa 27519 €/a
Sähkön kulutus vuodessa 27,0 MWh
Sähkön kulutus vuodessa 1350,0 €/a
Säästöt vuodessa 19289 €



Kustannuslaskenta	
Hinta	26200 €
Vuosisäästö	19289 €
Viisivuotislaskelma	111711 €

Puhallintiedot	
Puhallin	0,63 m
Moottori	7,5 kW
Puhaltimia	1 kpl