

Joni Oksman

Maanalaisten kohteiden savunpoistopuhaltimet vauhdituspuhaltimina

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

15.3.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joni Oksman Maanalaisten kohteiden savunpoistopuhaltimet vauhdituspuhaltimina 22 sivua + 5 liitettä 15.3.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaajat	projektipäällikkö Vikke Niskanen lehtori Erkki Sainio
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella, onko maanalaisen kohteen vauhdituspuhaltimet järkevää toteuttaa kahden vai yhden puhaltimen järjestelmällä. Työssä myös perehdyttiin vauhdituspuhaltimen tarpeeseen ja sen mitoitukseen.</p> <p>Työssä käytiin läpi yksityiskohtaisesti vauhdituspuhaltimen mitoitus sekä puhaltimien ja äänenvaimentimien valinta. Puhaltimet ja äänenvaimentimet ovat aitoja puhallin- ja äänenvaimenninmalleja, joiden valinnassa käytettiin avuksi valmistajilta löytyviä mitoitusohjelmia ja tuotetietoja.</p> <p>Järjestelmän kannattavuutta tarkasteltiin investointi- ja elinkaarikustannuksien näkökulmasta. Investointikustannuksissa huomioon otettiin vain puhaltimen ja äänenvaimentimien kustannukset ja käyttökustannuksissa puhaltimen kuluttama sähkövirta. Tarkastelussa ei otettu huomioon tilantarpeiden investointikustannuksia, eikä puhaltimien vaatimia huoltokustannuksia.</p> <p>Työssä saatiin selville, että vaikka kahden puhaltimen järjestelmän investointikustannukset ovat kalliimmat kuin yhden puhaltimen järjestelmän, energiansäästöjen vuoksi järjestelmän takaisinmaksuaika on alle 10 vuotta. Takaisinmaksuajan perusteella voidaankin sanoa, että kahden puhaltimen järjestelmän investointi on kannattavaa.</p>	
Avainsanat	savunpoisto, vauhdituspuhallin, äänenvaimennin, investointi, elinkaari

Author Title	Joni Oksman The use of smoke extract fans as boost fans in underground buildings
Number of Pages Date	22 pages + 5 appendices 15 March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructors	Vikke Niskanen, Project Manager Erkki Sainio, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to examine whether it is more profitable to use one or two fans as boost fans in underground buildings. Furthermore, the need of a boost fan and its dimensioning were also studied. The final year project covered the details of choosing a boost fan, as well as the steps of choosing the fans and silencers with the sizing programs and product information provided by the manufacturers.</p> <p>The profitability of the investment and life cycle cost of the system were examined. Only the investment and life-cycle costs concerning the consumed electricity of the fan were taken into account. The analysis did not take into account the space investment or maintenance costs.</p> <p>The thesis found out that even if the two-fan system investment costs are more expensive than those of a single fan system, the payback period of the two-fan system is less than 10 years due to the energy savings. On the basis of the repayment period it can be said that the two-fan system investment is profitable.</p>	
Keywords	smoke extract, boost fan, silencer, investment, life cycle

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Maanalaiset kohteet ja niiden puhaltimet	2
2.1	Rakennuksen sisäilmasto	2
2.2	Vauhdituspuhaltimen tarve	2
2.3	Savunpoisto maanalaisissa kohteissa	2
2.4	Ilmanvaihtopuhaltimet	3
2.4.1	Puhallintyytit ja niiden valinta	3
2.4.2	Keskipakopuhaltimet	4
2.4.3	Aksiaalipuhaltimet	5
2.4.4	Savunpoistopuhaltimet	5
2.5	Äänenvaimennuksen tarve	6
3	Suunnittelunäkökohdat	7
3.1	Savunpoiston tason valinta	7
3.1.1	Taso 1	7
3.1.2	Taso 2	7
3.1.3	Taso 3	7
3.2	Puhaltimen valinta	8
3.3	Savunpoistokanavisto	8
3.4	Äänenvaimentimet	9
3.4.1	Äänenvaimentimien vertailu	9
3.4.2	Vertailun lopputulos	12
4	Puhallinjärjestelmän valinta	12
4.1	Esimerkkikohteen esittely	12
4.2	Yhden puhaltimen järjestelmä	12
4.2.1	Puhaltimen valinta	13
4.2.2	Äänenvaimentimen valinta	14
4.3	Kahden puhaltimen järjestelmä	15
4.3.1	Puhaltimien valinta	16
4.3.2	Äänenvaimentimien valinta	17
5	Käyttö- ja investointikustannukset	17

5.1	Puhaltimien käyttökuormat	17
5.2	Moottorien ottotehot eri toimintapisteissä	18
5.3	Sähkön hinta	19
5.4	Investointikustannukset eri versioilla	20
5.4.1	Yhden puhaltimen järjestelmä	20
5.4.2	Kahden puhaltimen järjestelmä	20
5.5	Takaisinmaksuaika	21
6	Yhteenveto	21
	Lähteet	23
	Liitteet	
	Liite 1. Savunpoistopuhaltimen koneajo	
	Liite 2. Savunpoiston äänenvaimennin	
	Liite 3. Normaalin ilmanvaihdon puhaltimen koneajo	
	Liite 4. Normaalin ilmanvaihdon äänenvaimennin	
	Liite 5. Puhaltimen käyttökustannukset käyttötunneittain	

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää, onko maanalaiseen kohteeseen kannattavampaa toteuttaa poistoilmanvaihdon vauhditus yhdellä vai kahdella puhaltimella, ottaen huomioon kohteen koon, puhaltimien käyttö- ja investointikustannukset sekä sen, että rakentamis- ja ympäristömääräykset tulevat täytettyä.

Maanalaiset kohteet ovat ilmanvaihdon kannalta lähes poikkeuksetta haastavia kohteita suunnitella verrattuna maanpäällisiin kohteisiin. Konehuoneet on sijoitettava maan alle, pahimmillaan kymmenien metrien syvyyteen, jolloin raitis- ja jäteilmakanavointi on suunniteltava tarkasti ja ilmanvaihtokanavien pituus voi olla satoja metrejä.

Ilmanvaihtokoneiden sijoitus maan alle aiheuttaa sen, ettei koneissa riitä paineentuotto, vaan raitis- ja jäteilmakanaviin tarvitaan vauhdituspuhaltimet. Maanpäällisissä kohteissa etäisyydet ulkoilmaan ovat yleensä vain muutamia metrejä, jolloin ylimääräisiä vauhdituspuhaltimia ei tarvita. Koska kohteet sijaitsevat maan alla, maanpäällisistä kohteista poiketen ne tarvitsevat yleensä myös erillisen savunpoiston.

Savunpoistojärjestelmälle asetetut tiukat kriteerit ajavat siihen, että savunpoisto on jo itsessään haastavaa suunnitella. Maanalaisen kohteen normaali ilmanvaihto on haastava suunnitella, ja jos siihen lisätään savunpoisto, on se erityisen haastava suunnitella. Maanpäällisissä kohteissa savukaasut voitaisiin johtaa suoraan ulos avautuvista paloluukuista, ikkunoista tai oviaukoista, mutta maanalaiset kohteet vaativat kanavoinnin alhaalta asti ylös ulkoilmaan. Tämä tilanne johtaa siihen, että vauhdituspuhaltimen tulee toimia savunpoistolle annetuilla määräyksillä, mikä ajaa ratkaisun väistämättä äänekkäisiin puhaltimiin ja suurikokoisiin äänenvaimentimiin.

2 Maanalaiset kohteet ja niiden puhaltimet

2.1 Rakennuksen sisäilmasto

Kuten kaikki rakennukset, myös maanalaiset kohteet on suunniteltava siten, että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan tavanomaisissa käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto. Maanalaisissa kohteissa voidaan käyttää samoja ohjearvoja kuin maanpäällisissäkin kohteissa, joten ilmavirtojen määrään voidaan käyttää apuna Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 mukaisia ohjearvoja. (1, s. 5, 30.)

2.2 Vauhdituspuhaltimen tarve

Vauhdituspuhaltimen mitoituksessa ja valinnassa otetaan huomioon käyttötarkoitus, eli käytetäänkö, sitä savunpoistossa vai pelkästään normaalissa ilmanvaihdossa, ja kohteessa olevien ilmanvaihtoverkostojen painehäviöt. Vauhdituspuhaltimen tarkoituksena on kompensoida painehäviöitä ja pitää yllä vakiopainetta. On mahdollista myös mitoittaa IV-koneet ilman vauhdituspuhallinta, mutta silloin yksittäisen ilmanvaihtokoneen tehot kasvavat kohtuuttomiksi suuriksi, koska paineenkorotuksen tarve kasvaa niillä. Vauhdituspuhallinta käytettäessä yksittäiseltä ilmanvaihtokoneelta ei vaadita niin suurta tehoa, ja ilmanvaihtojärjestelmän pysyessä vakiopaineisena järjestelmän säätö helpottuu. Vauhdituspuhaltimen paineenkorotus ja ilmamäärä saadaan lukittua, kun kohteen ilmanvaihtosuunnittelu on muutoin valmis. Vauhdituspuhaltimen tulee pystyä tuottamaan mitoitusilanteen ilmavirta sekä tarvittava paine-ero, johon lasketaan mukaan ilmanvaihtoverkoston painehäviön lisäksi äänenvaimentimen tuottama painehäviö.

2.3 Savunpoisto maanalaisissa kohteissa

Savunpoisto on itsessään jo haastavaa suunnitella, koska ilmanvaihtokanaviston ja puhaltimien tulee täyttää savunpoistolle asetetut kriteerit. Rakentamismääräyskokoelman osassa E1 on yleinen määräys, että ilmanvaihtolaitteisto ei saa oleellisesti lisätä palon tai savukaasujen leviämisvaaraa. (2, s. 16.)

Yleisesti mitoituksen lähtökohtana on, että kanaviston tulee toimia 2 tuntia 600 °C:n ja puhaltimen tulee toimia 2 tuntia 400 °C:n lämpötilassa. Maanalaisissa kohteissa savukaasut tulevat myös kanavoida alimmasta pisteestä aina maan tasolle asti. (3, s. 2.)

2.4 Ilmanvaihtopuhaltimet

2.4.1 Puhallintyytit ja niiden valinta

Kaikki puhaltimet voidaan jakaa pien-, keski- ja suurpainepuhaltimiin kokonaispaineesta riippuen (4, s. 38.). Puhaltimet voidaan myös jakaa kahteen yleisimpään puhallintyyppiin: aksiaali- ja keskipakopuhaltimiin. On olemassa vielä muitakin puhallintyyppiä, esimerkiksi diagonaalipuhallin, joka on keskipako- ja aksiaalipuhaltimen välimuoto, yleensä usein pärjätään kahdella edellä mainitulla puhallintyyppillä.

Valittaessa sopivaa puhallinmallia tulee ottaa huomioon haluttu ilmavirta tietyllä paineenkorotuksella, puhaltimen koko, äänitaso, hyötysuhde sekä moottorin sähkövirran jännite. Puhaltimen äänentuotto tulee ottaa huomioon ilmanvaihtoa suunniteltaessa, jotta etenkin oleskelu- ja asiakastiloihin ei kantaudu liian voimakasta melua. Moottorin sähkövirran jännite on varsinkin sähkösuunnittelijoille tarpeellinen tieto. Tilan puute rakennuksessa voi ajaa siihen tilanteeseen, että puhallintyyppiä voidaan joutua muuttamaan alkuperäisestä suunnitelmasta. Tilanpuutteeseen voi vaikuttaa puhaltimen fyysinen koko mutta myös aksiaalipuhaltimien vaatimat varoetäisyydet kanavakomponentteihin, jotta saadaan aikaan haluttu ilmavirtaus. (1, s. 40.)

2.4.2 Keskipakopuhaltimet

Keskipakopuhaltimet (kuva 1) sopivat hyvin laajalle tilavuusvirta- ja painealueelle, mutta ei niinkään pienille paineille, sillä aksiaalipuhaltimilla saadaan aikaan ilmavirta paremmalla hyötysuhteella. Keskipakopuhaltimia on kahdenlaisia: kaavullisia ja kaavutomia. Kaavutonta keskipakopuhallinta kutsutaan kammiopuhaltimeksi. Puhallintyyppin valinta riippuu siitä, mihin käyttötarkoitukseen puhallinta valitaan. Kammiopuhaltimia käytetään yleensä ilmanvaihtokoneissa, jossa puhallin sijaitsee kammiossa. Puhallin imee ilmaa sisäänsä imuaukosta, ja ilma puhalletaan lavoista suoraan vapaaseen tilaan. Kaavullisia keskipakopuhaltimia käytetään ilmanvaihtokoneissa, huippuimureina ja kanavapuhaltimina. Kaavullisessa keskipakopuhaltimessa ilma virtaa imuaukosta puhaltimen lapoihin, jotka työntävät ilman kanavistoon kohtisuorasti akseliinsa nähden.



Kuva 1. Keskipakopuhallin (5)

2.4.3 Aksiaalipuhaltimet

Aksiaalipuhallin (kuva 2) toimii potkurin tavoin, ilma virtaa siipipyörän läpi roottoriakselin suuntaisesti. Osa aksiaalipuhaltimista toimii myös molempiin suuntiin, eli puhallin pyörii myös toiseen suuntaan, jolloin imu- ja paineaukko suunnat vaihtuvat. Aksiaalipuhallin on parhaillaan alueella, jossa on suuret ilmavirrat ja pienet paineenkorotukset.



Kuva 2. Aksiaalipuhallin (6)

Aksiaalipuhallinta suunniteltaessa tulee huomioida se, että heti puhaltimen läheisyyteen ei voida asentaa esimerkiksi suunnanmuutoksia. Varsinkin painepuolella suunnanmuutokset voivat viedä suurimman osan puhaltimen tehosta, jos ne ovat liian lähellä puhaltimen paineaukkoa.

2.4.4 Savunpoistopuhaltimet

Sekä aksiaali- että keskipakoispuhaltimet soveltuvat savunpoistoon, mutta käytännössä savunpoistopuhaltimena käytetään lähes aina aksiaalipuhaltimia. Puhallinta valittaessa on vain muistettava jo aiemmin mainitut määräykset, jotka Suomen rakentamismääräyskokoelma ja SFS-standardit vaativat. Lisäksi savunpoistopuhaltimet voidaan luokitella yhteen tai useampaan käyttöluokkaan:

- Eristetty tai eristämätön
- Savunpatjan sisälle soveltuva tai soveltumaton

- Yleisilmanvaihtoon ja hätätilanteessa savunpoistoon käytettävä tai vain hätätilanteessa savunpoistoon käytettävä
- Kanavoidun jäähdytysilman vaativa

Keskikapopuhaltimia käytetään tilanteissa joissa tarvitaan suuria paineenkorotuksia. Muuten käytetään aksiaalipuhaltimia, sillä niiden suoritusarvot ovat paremmat suurissa ilmamäärissä kun kyseessä on pienet tai keskisuuret paineenkorotukset. Aksiaalipuhaltimien vahvuus on niiden tarvitsema tilantarve. Puhallin itsessään ei vie hirveästi ylimääräistä tilaa, koska se asennetaan suoraan kanavistoon, mutta kuten normaalissa ilmanvaihdossa, ovat savunpoistoon tarkoitetut aksiaalipuhaltimet herkkiä erilaisille muodon- ja suunnanmuutoksille. Puhaltimen imu- sekä painepuolelle tulee jättää riittävästi tyhjää tilaa, jotta saadaan aikaan virheetön ilmavirtaus. Savunpoistoon tarkoitetut aksiaalipuhaltimet ovat myös hinnaltaan kalliita, koska ollessaan kanavistossa, niiden tulee kestää savukaasuja standardien mukaisesti. (3, s. 2.)

2.5 Äänenvaimennuksen tarve

Suurissa savunpoistopuhaltimissa on ongelmana niiden äänentuotto. Suurien ilmamäärien kanssa on normaalistikin puhaltimien äänien kanssa ongelmia, ja savunpoistopuhaltimien, joiden suoritusarvot eivät täysin vastaa normaalin ilmanvaihdoin puhaltimia, äänien kanssa on oltava tarkkana. Käytettäessä savunpoistopuhallinta normaalissa ilmanvaihdossa on sen täytettävä rakentamismääräyksen ohjearvo 45 dB(A) tontin rajalla. (7, s. 7.) Kriisitilanteen aikana ei ohjearvo päde, jolloin ohjearvon 45 dB(A) saa ylittää. Äänitaso ei saa kuitenkaan aiheuttaa vaaratilanteita, esimerkiksi estämällä hälytysäänien- ja kuulutuksien kuulumisen ihmisille. Ohjearvona on että savunpoistopuhaltimen aiheuttama keskimääräinen äänenpainetaso (L_{eq}) tulee olla vähintään 5 dB matalampi kuin hälytyksen äänenpainetaso 500 Hz...2000 Hz:n alueilla. (8, s. 118–120.)

On syytä tapauskohtaisesti miettiä, mitä äänenvaimennintyyppiä tulisi käyttää, riippuen käytettävästä kanavakoosta, vaimennuksen tarpeesta, sekä millaiset tilat on vaimentimille käytettävissä. Tavallisimpia äänenvaimentimia ovat äänenvaimennetut mutkat, lamellivaimentimet, sylinterivaimentimet ja kammiovaimentimet.

3 Suunnittelunäkökohdat

3.1 Savunpoiston tason valinta

Eri savunpoistotasoja on kolme: savunpoistotaso 1, 2 ja 3. Savunhallintalaitteiston suunnittelu voidaan toteuttaa säädösperusteisesti tai riskiperusteisesti, mutta käytännössä vain tason 1 savunpoisto voidaan toteuttaa säädösperusteisesti. (8, s. 38–41.)

3.1.1 Taso 1

Tason 1 savunpoistotaso tarkoittaa savunpoistoa, jonka järjestäminen ei edellytä erityistoimia, jos kohteessa voidaan käyttää ikkuna- ja oviaukkoja savunpoistoon tai savu voidaan poistaa palokunnan toimin. Normaalit asuinrakennukset ja toimistot kuuluvat tähän tasoon.

Tason 1 savunpoisto voidaan toteuttaa silloin, kun rakennuksen osastointi, rakennusten ja rakenteiden sekä poistumisteiden luokkavaatimukset täyttyvät eikä henkilöturvallisuuden tai omaisuuden takia ole syytä käyttää parempaa tasoa. (8, s. 38–39.)

3.1.2 Taso 2

Tason 2 savunpoistossa on olennaista, että palokunta voi nopeasti käynnistää sammutus- ja pelastustehtävän edellyttämät savunpoistolaitteet. Savunpoistossa käytetään savunpoistoluukkuja tai -puhaltimia, jotka avautuvat palokunnan toimesta tai käynnistyvät automaattisesti. (8, s. 39–40.)

3.1.3 Taso 3

Savunpoisto toteutetaan automaattisena, ja siten että ihmisten poistuminen kiinteistöstä varmistetaan jo ennen palokunnan saapumista paikalle. Savunpoisto käynnistyy savunilmaisimen aiheuttaman herätteen perusteella, ja laitteisto tulee olla käynnistettävistä myös käsin painonapista tai muulla tavalla. Maanalainen kohde ei aina ole tasoa 3, vaan tasosta neuvotellaan tapauskohtaisesti pelastuslaitoksen kanssa. (8, s. 40–41.)

3.2 Puhaltimen valinta

Vaihtoehtoina maanalaisen savunpoiston suunnittelussa on käyttää normaalissa ilmanvaihdossa ja savunpoistossa omia puhaltimia tai molemmissa järjestelmissä samaa puhallinta. Ongelmana ratkaisussa on se, että käytettäessä kahta puhallinta, tilantarve yleensä lisääntyy ja investointikustannukset nousevat suuremmiksi. Yhtä puhallinta käytettäessä suurimpana ongelmana on, varsinkin suurien ilmamäärien kanssa, saada puhallin, joka on investointikustannuksiltaan ja suoritusarvoiltaan hyvä ja joka täyttää sille annetut normit.

Suunnittelussa tulee myös huomioida savunpoiston aiheuttamat vaatimustasot puhallimelle. Jo aiemmin mainitun lämpötilavaatimuksen lisäksi (ks. luku 2.3), puhaltimen tulee olla CE-merkitty (3 s. 4), ja merkinnässä

- tuotestandardin numero ja vuosi
- tyyppi ja malli
- toimintavalmiusaika, lumikuorma ja/tai tuulikuorma; palonkestävyysluokka
- moottoriluokittelu ympäristön lämpötila/eristysluokka.

3.3 Savunpoistokanavisto

Käytettäessä ilmanvaihtokanavaa savunpoistoon edellytetään, että laitteisto kokonaisuudessaan täyttää savunpoistolaitteille asetetut vaatimukset (9).

Ilmanvaihtokanavissa yleensä suunnitteluarvona pidetään painehäviötä 1 Pa/m, jolloin kanavistossa ei ole liian suuria painehäviöitä ja järjestelmä saadaan energiatehokkaaksi. Savunpoisto ei kuulu normaaliin ilmanvaihtoon, eivätkä määräykset energiatehokkuudesta päde näissä järjestelmissä. Koska savunpoistossa on yleensä huomattavasti isommat ilmavirrat kuin normaalissa ilmanvaihdossa, kanavakoot kasvaisivat kohtuuttoman suuriksi, jos savunpoistokanavistotkin suunniteltaisiin energiatehokkaiksi. Savunpoistokanavistossa ilmannopeuden hyvänä ohjearvona voidaan pitää 10 m/s, jolloin esimerkiksi Ø500:n kanavassa kulkee ilmaa 2 m³/s, mutta normaaliin ilmanvaihtoon tarkoitettussa kanavassa koon tulisi olla Ø630, jotta päästäisiin yhä tiukkeneviin ener-

giatavoitteisiin. Isommilla nopeuksilla painehäviö nousee kohtuuttomasti, sillä kanaviston painehäviö on suoraan verrannollinen ilman nopeuden neliöön. (4, s. 37.)

3.4 Äänenvaimentimet

Yleisesti äänenvaimentimista puhuttaessa on käytössä kaksi äänenvaimenninmallia: pyöreät eli sikariäänenvaimentimet, sekä kantikkaat lamelliäänenvaimentimet. Pyöreissä äänenvaimentimissa sekä kantikkaissa lamelliäänenvaimentimissa on valinnanvaraa erilaisissa malleissa. Esimerkiksi pyöreitä äänenvaimentimia saa erillisellä vaimennuspatruunalla, jonka äänenvaimennusominaisuudet ovat paremmat kuin ilman, mutta vaimennuspatruunan kanssa painehäviöt kasvavat.

Vertailemme Lindabin kahta pyöreää äänenvaimenninta, joista toinen on ilman patruunaa (PVA) ja toisessa on vaimennuspatruuna (PVAP), sekä kantikasta lamelliäänenvaimenninta (MINKA). Vertailun tavoitteena on selvittää, miksi eri tilanteisiin tarvitaan erilaisia äänenvaimentimia, minkälaisia ominaisuuksia tietyllä äänenvaimentimella on ja mitkä kriteerit ohjaavat suunnittelijaa hänen valitessaan äänenvaimenninta.

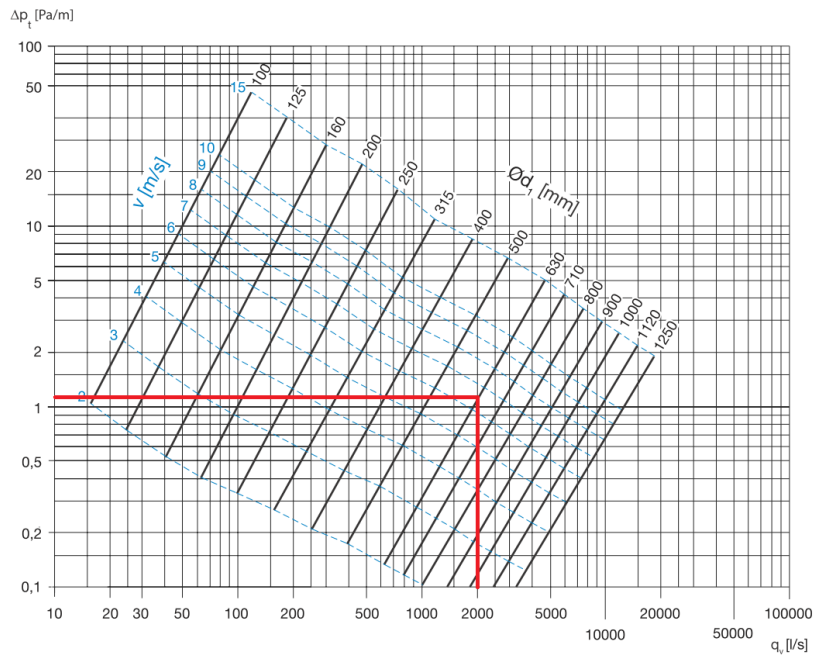
3.4.1 Äänenvaimentimien vertailu

Jotta vertailutuloksesta saataisiin vertailukelpoinen, esimerkkituloksena on kanavisto, jossa virtaa ilmaa 2 m³/s. Pyöreissä äänenvaimentimissa käytämme 900 mm pitkää äänenvaimenninta 100 mm:n äänenvaimennusmateriaalilla ja kanavakoolla $\varnothing 630$, kantikkaassa äänenvaimentimessa taas kokoa 800x800.

Pyöreissä äänenvaimentimissa vaimennus ei ole riippuvainen ilmavirrasta, vaan äänenvaimennus on vakio riippuen äänenvaimentimen pituudesta ja vaimennusmateriaalin paksuudesta. Annetuilla lähtöarvoilla pyöreän äänenvaimentimen vaimennus ja painehäviö ilman vaimennuspatruunaa on kuvien 3 ja 4 mukaisia.

$\varnothing d_{1nom}$ mm	l_{nom} mm	Vaimennus (dB) keskitajuudella (Hz)								$\varnothing d_y$ mm	m kg
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
630	900	1	3	10	16	12	7	8	3	835	35,0

Kuva 3. Pyöreän äänenvaimentimen vaimennus (10)

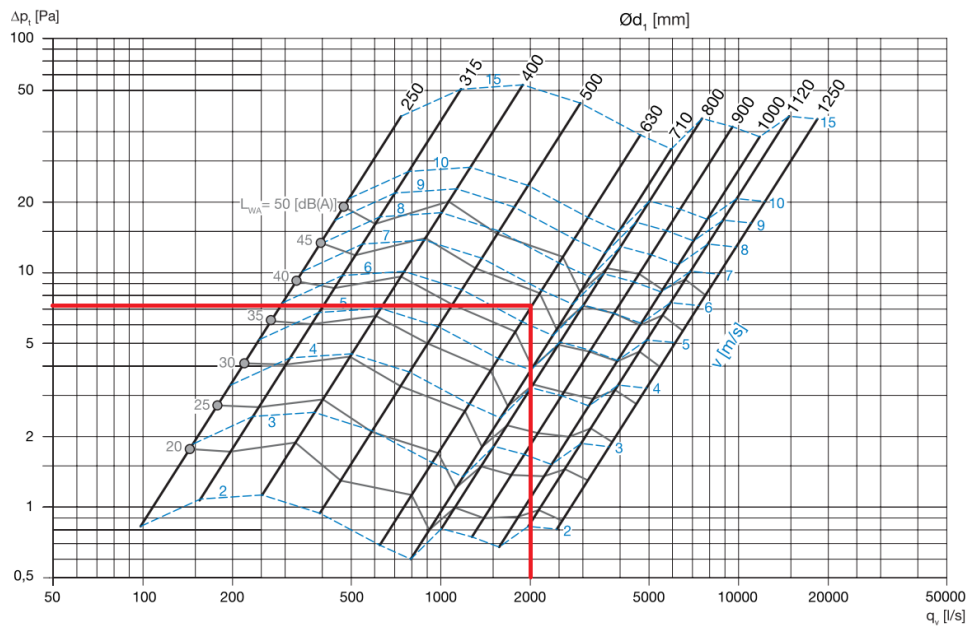


Kuva 4. Pyöreän äänenvaimentimen painehäviö (10)

Pyöreissä äänenvaimentimissa vaimennuspatruunalla tulee ottaa huomioon se, että sen lisäksi, että äänenvaimennin vaimentaa ääntä, isoilla virtausnopeuksilla äänenvaimennin alkaa myös itse tuottaa ääntä. Onkin syytä olla tarkkana, ettei valitse liian pientä äänenvaimenninta ilmavirtaan nähden, jotta sen äänentuotto ei nousisi kohtuuttomaksi. Annetuilla lähtöarvoilla pyöreän äänenvaimentimen vaimennus ja painehäviö vaimennuspatruunalla on kuvien 5 ja 6 mukaisia.

$\text{Ø}d_{1\text{nom}}$ mm	I_{nom} mm	Vaimennus (dB) keskitaajuudella (Hz)								$\text{Ø}d_y$ mm	m kg
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		
630	900	2	4	12	20	30	24	19	9	835	44

Kuva 5. Pyöreän äänenvaimentimen vaimennus, vaimennuspatruunalla (11)



Kuva 6. Pyöreän äänenvaimentimen painehäviö, vaimennuspatruunalla (11)

Kantikkaissa lamelliäänenvaimentimissa on sama ongelma kuin pyöreällä äänenvaimentimella vaimennuspatruunan kanssa, eli isoilla ilmavirrannopeuksilla äänenvaimentimen oma äänentuotto nousee kohtuuttomaksi verrattuna itse äänenvaimennukseen. Annetuilla lähtöarvoilla kantikkaan lamelliäänenvaimentimen vaimennus ja painehäviö on kuvien 7 ja 8 mukaisia.

	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
Vaimennus		1	3	0	20	33	27	18	12	dB

Kuva 7. Lamelliäänenvaimentimen vaimennus

Tuotenimi	Taso	[l/s] Virtausmä	[Pa] Painehäviö
MINKA 40 02 800x800 900	Äänenvaimennin	2000	14

Kuva 8. Lamelliäänenvaimentimen painehäviö (12)

3.4.2 Vertailun lopputulos

Kuten edellä olevista tuloksista näemme, äänenvaimennus ilman vaimennuspatruunaa on maltillinen. Tällainen äänenvaimennin sopii parhaiten silloin, kun äänenvaimennustarve on pieni. Etuna tällä äänenvaimennin tyypillä on ratkaisun kustannustehokkuus. Vaimennuspatruunan kanssa painehäviö kasvaa jo 8-kertaiseksi verrattuna äänenvaimentimeen ilman patruunaa, ollen vieläkin maltillinen mutta tarjoten huomattavasti paremmat ominaisuudet äänenvaimentamiseen. Lamelliäänenvaimentimessa on annettulla koolla ja lamellivälillä 2-kertainen painehäviö verrattuna patruunamalliin. Lamelliäänenvaimentimen valintaa tulisikin aina miettiä tarkasti, sillä ne tehdään aina tilauksen mukaan, mikä tietenkin nostaa tuotteen hintaa verrattuna pyöreisiin äänenvaimentimiin, joita on useimmissa varastoissa valmiina. Lamelliäänenvaimentimet tulevat kyseeseen kun tarvitaan paljon äänenvaimennusta, muuten pienemmät äänenvaimennukset pyritään toteuttamaan pyöreillä äänenvaimentimilla.

4 Puhallinjärjestelmän valinta

4.1 Esimerkkikohteen esittely

Elinkaari- ja investointikustannukset lasketaan erääseen maanalaiseen kohteeseen. Rakennuksen alimmasta IV-konehuoneesta maanpinnalle on yli 20 metriä, joten kohde vaatii vauhdituspuhaltimen käyttöä. Normaalin ilmanvaihdon aikana vaadittava poistoilmavirta on 17 m³/s ja savunpoiston ollessa toiminnassa 22 m³/s. Elinkaari- ja investointikustannuksissa huomioon on otettu vain puhaltimen ja äänenvaimentimen investointikustannukset sekä puhaltimien sähköenergian kulutus. Kahden puhaltimien vuoksi kasvanutta tilantarvetta ei ole otettu huomioon kustannuslaskelmissa.

4.2 Yhden puhaltimen järjestelmä

Käytettäessä savunpoiston ja ilmanvaihdon vauhdituspuhaltimena samaa puhallinta tulee puhallin mitoittaa toimimaan normaalin ilmanvaihdon lisäksi myös savunpoistolanteessa. Kohteen ilmanvaihtoverkoston painehäviöt ja ilmamäärät antavat puhaltimen valinnalle seuraavat lähtöarvot:

- Savunpoistossa vaadittava ilmamäärä 22 m³/s, kokonaispaineenkorotus 500 Pa
- Normaalin ilmanvaihdon vaativa ilmamäärä 17 m³/s, kokonaispaineenkorotus 300 Pa

Kuten aiemmin mainittiin (ks. luku 2.2) tulee puhaltimen myös tuottaa tarvittava paineero, jossa äänenvaimentimen aiheuttama painehäviö otetaan huomioon. Koska saman puhaltimen tulee toimia myös savunpoistossa, niin äänenvaimennuksen tarvekin on mitoitettu savunpoiston aikana. Tämä tilanne vaatii paremman äänenvaimennuksen, jolloin äänenvaimennin itsessään on raskaampi ja aiheuttaa enemmän painehäviötä. Savunpoistotilanne ei vaadi aina parempaa äänenvaimennusta (ks. luku 2.5)

4.2.1 Puhaltimen valinta

Valitaan siis järjestelmään puhallin, jonka huipputehona on 22 m³/s ja paineenkorotusta 500 Pa, sekä osatehona normaalin ilmanvaihdon 17 m³/s ja paineenkorotusta 300 Pa. Puhaltimen osallistuessa myös savunpoistoon pitää muistaa mitoittaessa ottaa huomioon puhaltimeen kohdistuvat määräykset (ks. luku 2.3).

Puhaltimeksi valikoitui Fläkt Woods Oy:n HT125JM/50B/4/9/18 Aerofoil -aksiaalipuhallin (kuva 9), jonka kokonaishyötysuhde on 58,4 % [liite 1]. Tuotekoodista selviää suoraan puhaltimen koko, siipien lukumäärä sekä myös käytetty siipikulma, eli valittu puhallin on halkaisijaltaan 1 250 mm, 9-siipinen ja puhaltimen siipikulma 18°.

Savunpoiston vaatimukset aiheuttavat joitakin reunaehtoja puhaltimelle. Lämpötilavaatimuksien lisäksi vastaan tulee myös puhaltimen koko. Savunpoistoon tarkoitettuja aksiaalipuhaltimia ei ole saatavana normaalirakenteisina niin isoina kuin puhaltimia, joita ei ole tarkoitettu savunpoistoon. Isoimmat savunpoistoon tarkoitettut aksiaalipuhaltimet ovat halkaisijaltaan 1 250 mm.

	Oktaavikaista (Hz)								Yhteensä	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3 m**
Imuaukko*	95	98	107	109	110	104	97	90	114	92
Paineaukko*	98	101	109	109	109	103	98	91	114	91
Rungon läpi*	85	75	79	82	83	75	76	67	89	65

* Lw dB re 10⁻¹² W

** dBA re 2x10⁻⁵ Pa

Sound data at requested duty.

Kuva 9. Puhaltimen tuottama äänen tehotaso oktaavikaistoittain [liite 1]

Varsinkin sähkösuunnittelijaa kiinnostaa tieto siitä, minkä kokoinen moottori puhaltimessa on ja minkälainen virrankulutus laitteessa on, jotta osataan mitoittaa sähkökomponentit riittäviksi. Valitussa puhaltimessa on moottoriteho 33 kW ja virrankulutus 65 A. Pitää myös muistaa, että samalla ilmavirralla ja paineenkehityksellä savunpoistotilanteessa puhaltimen sähköteho ja virrankulutus ovat suuremmat kuin 20 °C:n lämpötilassa.

4.2.2 Äänenvaimentimen valinta

Äänenvaimentimelta vaadittiin riittävä äänenvaimennus, jotta päästäisiin kuvan 10 mukaisiin tavoitearvoihin.

Äänen tehotaso vaimentimen jälkeen 90 76 64 60 60 56 54 54 dB

Kuva 10. Sallittu äänen tehotaso vaimentimen jälkeen oktaavikaistoittain [liite 1]

Näillä arvoilla saavutetaan rakentamismääräyskokoelman osan C1 määräys koskien rakennusta palvelevien tai rakennuksen LVIS-laitteiden aiheuttamaa keskiäänitasa, sillä äänenvaimentimesta on riittävä etäisyys seuraavaan kiinteistöön. Keskiäänitaso saa olla enintään 45 dB saman tai läheisen rakennuksen ikkunan ulkopuolella, parvekkeella, pihamaalla, tai muussa vastaavassa paikassa asuinalueella ja muilla melulle herkillä alueilla. (7, s. 7.)

Käytännössä matalia ääniä on erityisen vaikea vaimentaa, eli oleellista on kokonaisäänentehotaso. Äänenvaimentimeksi valikoitui Lindabin suorakaiteen muotoinen lamellivaimennin MINKA (kuva 11). Tämä äänenvaimennin takaa riittävän äänenvaimennuksen, jotta päästään tavoiteltuihin äänen tehotasoihin.

	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
Lw ennen äänenvaimenninta		98	101	109	109	109	103	98	91	112
Vaimennus		11	27	50	50	50	50	36	26	dB
Laitteen äänitaso		60	60	58	57	55	53	50	47	60
Lw äänenvaimentimen jälkeen		87	74	62	61	60	56	62	65	69

Kuva 11. Äänen tehotaso MINKA-vaimentimen jälkeen oktaavikaistoittain [liite 2]

Äänenvaimentimen tuottama painehäviö ilmavirtauksella 22 m³/s on 140 Pa. Koska painehäviö on suoraan verrannollinen nopeuksien neliöön, äänenvaimentimen tuottama painehäviö saadaan laskettua normaalin ilmanvaihdon aikana kaavalla

$$\Delta p_1 = \left(\frac{q_{v1}}{q_{v2}} \right)^2 * \Delta p_2 \quad (4 \text{ s. } 37) \quad (\text{Kaava } 1)$$

Δp_1 äänenvaimentimen painehäviö osateholla [Pa]

q_v on ilmavirta [m³/s]

Δp_2 äänenvaimentimen painehäviö mitoitustilanteessa

$$\Delta p = \left(\frac{17 \text{ m}^3/\text{s}}{22 \text{ m}^3/\text{s}} \right)^2 * 140 \text{ Pa} = 84 \text{ Pa}$$

4.3 Kahden puhaltimen järjestelmä

Kahden puhaltimen järjestelmässä toinen puhallin on poistoilmanvaihdolle ja toinen vain savunpoistolle. Puhaltimet ovat sijoitettu kanavistoon, mutta ne on asennettu rinnakkain. Savunpoistoon tarkoitettu puhallin pysyy samana, koska sama toimintapiste savunpoistolle tulee olla saavutettavissa. Kahden puhaltimen ratkaisu nostaa investointikustannuksia, mutta koska järjestelmään saadaan valittua suoritusarvoiltaan parempi puhallin sekä kevyempi äänenvaimennin, käyttökustannukset pienenevät.

Jotta vertailusta saadaan vertailukelpoinen, käytämme savunpoistopuhaltimena ja äänenvaimentimena edellä mitoitettuja komponentteja. Toinen puhallin mitoitetaan normaalin ilmanvaihdon toimintapisteelle, 17 m³/s ja paineenkorotus 300 Pa. Todellisuudessa paineenkorotuksen tarve on hieman pienempi, sillä äänenvaimentimeksi saadaan kevyempi ratkaisu, jolloin äänenvaimentimen painehäviö putoaa ja puhaltimen paineenkorotuksen tarve laskee. Äänenvaimennuksessa tavoitellaan samaa äänen tehotasoa kuin yhden puhaltimen järjestelmässäkin.

Yhden puhaltimen järjestelmässä sama puhallin käy jatkuvasti vuoden jokaisena päivänä, mutta kahden puhaltimen järjestelmässä vain normaaliin ilmanvaihtoon tarkoitettu puhallin pyörii jatkuvasti. Tämän puhaltimen käyttökustannukset on laskettu samalla käyttöajalla ja -kuormalla kuin savunpoistoon tarkoitettu puhallin. Kahden puhaltimen

järjestelmässä savunpoistopuhallinta testataan minimissään kahdesti vuodessa tunnin ajan kerrallaan, joten tämän puhaltimen käyttökustannukset voidaan jättää huomioimatta.

4.3.1 Puhaltimien valinta

Puhaltimen valinnassa on huomattavasti enemmän vaihtoehtoja kuin savunpoistolle tarkoitetuissa puhaltimissa. Koska erityisiä vaatimuksia ei puhaltimelle ole, puhaltimen kokoa voidaan kasvattaa 1 250 mm:stä aina 1 600 mm:iin saakka. Puhaltimen koon kasvaessa tilantarve lisääntyy, mutta puhaltimesta saadaan huomattavasti energiatehokkaampi. Myös puhaltimen hyötysuhde kasvaa, koska puhaltimen tekniikka voidaan toteuttaa hieman eri tavalla ja puhaltimen puhallintekniset ominaisuudet paranevat. Ilmavirran ollessa sama puhaltimen dynaaminen paine pienenee puhaltimen kasvaessa, mikä johtaa pienempiin moottoritehoihin.

Puhallinta valittaessa tulee olla tarkkana halutuista valintakriteereistä, samalle toimintapisteelle ovat mahdollisia eri puhallinmalliratkaisut, riippuen siipien lukumäärästä aina puhaltimen moottorin tehoon asti. Tässä työssä ei puhaltimen koolla ole väliä, vaan valitaan puhallin, joka mahdollisimman pienellä energiankulutuksella ja äänentuotolla tuottaa tarvittavan paineen, kuitenkin mitoittamatta puhallinta turhaan ylisuureksi.

Puhaltimeksi valikoitui Fläkt Woods Oy:n 140JM/40/6/6/16-aksiaalipuhallin [liite 2]. Puhallin on halkaisijaltaan 1 400 mm, 6-siipinen, ja puhaltimen siipikulma on 16°. Puhallin valikoitui hyvän kokonaishyötysuhteen ja maltillisen äänentuoton vuoksi (kuva 12). Vaihtoehtona oli myös muutaman dB:in hiljaisempi puhallin, mutta sen alhaisemman kokonaishyötysuhteen vuoksi tämä puhallin osoittautui paremmaksi vaihtoehdoksi.

	Oktaavikaista (Hz)								Yhteensä	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3 m**
Imuaukko*	94	95	93	96	94	92	89	80	102	79
Paineaukko*	97	96	93	96	94	92	91	82	103	79
Rungon läpi*	87	73	65	69	67	63	70	59	88	54

* Lw dB re 10⁻¹² W
** dBA re 2x10⁻⁵ Pa
Sound data at requested duty.

Kuva 12. Puhaltimen äänen tehotaso oktaavikaistoittain [liite 3]

Kuten äänen tehotasoista näemme, puhaltimen äänentuotto on huomattavasti matalampi kuin puhaltimella savunpoistossa. Koska on mahdollista valita isompi puhallin

eikä tarvitse täyttää savunpoistovaatimuksia, moottorin tarvitsema teho pienenee alle puoleen. Valitun puhaltimen moottoriteho on vain 13,2 kW ja virrankulutus 26,3 A, kun savunpoistoon tarkoitettujen puhaltimien arvot ovat 33 kW ja 65 A.

4.3.2 Äänenvaimentimien valinta

Koska savunpoistoon tarkoitettujen komponenttien on jo mitoitettu, voidaan suoraan mitoitaa äänenvaimennin pelkästään normaalille ilmanvaihdolle. Tavoitearvoina pidetään samoja äänen tehotasoja kuin savunpoiston äänenvaimentimella.

Äänenvaimentimeksi valikoitui Lindabin suorakaiteenmuotoinen lamellivaimennin MINKA (kuva 13). Äänenvaimennin samankokoinen kuin savunpoistossa käytettävä äänenvaimennin, mutta lamelliväli on huomattavasti väljempi, joten äänenvaimentimen painehäviö on vain 61 Pa.

	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		dB(A)
Lwennenaänenvaimennintaää		97	96	93	96	94	92	91	82	dB	99
Vaimennus		7	20	44	50	50	50	35	22	dB	
Laitteenäänitaso		56	44	38	36	34	31	29	25	dB	40
Lwäänenvaimentimenjälkeen		90	76	49	46	44	42	56	60	dB	67

Kuva 13. Äänen tehotaso vaimentimen jälkeen oktaavikaistoittain [liite 4]

Tällä puhaltimella ja äänenvaimentimella päästään samaan äänentehotasoon kuin savunpoistopuhaltimella ja raskaalla äänenvaimentimella.

5 Käyttö- ja investointikustannukset

5.1 Puhaltimien käyttökuormat

Molemmassa järjestelmissä normaaliin ilmanvaihtoon osallistuvien puhaltimien käyttöajat pysyvät samana. Puhaltimien todellinen kuormitus vaihtelee järjestelmittäin, sillä yhden puhaltimen järjestelmässä puhallinta ajetaan normaalitilanteessa osakuormilla,

koska puhallin on mitoitettu savunpoiston vaatimalle ilmamäärälle 22 m³/s ja normaaliin ilmanvaihdon tarvitsema ilmamäärä on 17 m³/s. Puhaltimen kuormitusaste on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Puhaltimien kuormitusaste

Aikataulu	Normaalin ilmanvaihdon kuormitus
Kello 21:00–07:00	50 %
Kello 07:00–09:00	100 %
Kello 09:00–15:00	75 %
Kello 15:00–17:00	100 %
Kello 17:00–21:00	75 %

Puhaltimien käyttökuormitus on arvioitu siten, että illalla kello 21:00:n jälkeen on käyttö vähäisempää ja puhaltimen käyttökuorma 50 %, ruuhka-ajoiksi, jolloin ihmiset menevät töihin ja kouluihin ja päivän päätteeksi matkustavat kotiin, on arvioitu olevan aamulla kello 07:00–09:00 ja iltapäivällä kello 15:00–17:00. Muina aikoina on arvioitu käytön olevan kohtuullista, joten puhaltimen kuormaksi on arvioitu 75 % täydestä tehosta.

5.2 Moottorien ottotehot eri toimintapisteissä

Puhaltimen sähkötehon tarve laskee puhaltimen ilmavirran ja kokonaispaineentuoton suhteessa. Laskentakaava sähkötehontarpeelle on

$$P_{\text{sähkö}} \text{ on } q_{v\text{puhallin}} * p_{tF} \quad (4 \text{ s. } 43) \quad (\text{Kaava } 2)$$

p_{tF} on puhaltimen sähköteho (kW)

$q_{v\text{puhallin}}$ on puhaltimen ilmavirta $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)$

p_{tF} on puhaltimen kokonaispaine (Pa)

Todellisuudessa sähkötehon tarpeen laskentaan kuuluu vielä ottaa huomioon puhaltimen, taajuusmuuttajan ja mahdollisen hinnakäytön hyötysuhde, joka kasvattaa puhaltimen tarvitsemaa sähkötehoa. Koska kyseessä on sama puhallin eri toimintapisteissä, voidaan suoraan ilmoittaa ottoteho kokonaispaineen ja ilmavirran suhteessa. Taulukon 2 arvot on saatu koneajojen mukaisilla puhaltimilla, jotka on mitoitettu toimimaan useassa toimintapisteessä

Taulukko 2. Moottorien ottotehot eri toimintapisteissä

Yhden puhaltimen järjestelmä	Ottoteho
Savunpoistotilanteessa 22 m³/s	29,5 kW
Normaali ilmanvaihto 17 m³/s, 100%	13,62 kW
Normaali ilmanvaihto 12,75 m³/s, 75%	5,49 kW
Normaali ilmanvaihto 8,5 m³/s, 50%	2,12 kW

Kahden puhaltimen järjestelmä	Ottoteho
Savunpoistotilanteessa 22 m³/s	29,5 kW
Normaali ilmanvaihto 17 m³/s, 100%	10,03 kW
Normaali ilmanvaihto 12,75 m³/s, 75%	4,01 kW
Normaali ilmanvaihto 8,5 m³/s, 50%	1,64 kW

5.3 Sähkön hinta

Sähkön hintana käytetään Fortumin 10.2.2016 ilmoittamaa sähkön hintaa (13) ja Carunan ilmoittamaa siirtohintaa (14). Siirtomaksun hinnassa on käytetty tehosiirtotaulukon mukaista hintaa, joka on tarkoitettu paljon sähköä käyttäville asiakkaille.

Sähkön hinta: 4,72 c/kWh

Siirtomaksu: 1,38 c/kWh

Sähköveroluokka: Veroluokka 1, 2,7937 c/kWh

Yhteensä sähkön hinta: 8,89 c/kWh

5.4 Investointikustannukset eri versioilla

5.4.1 Yhden puhaltimen järjestelmä

Yhden puhaltimen järjestelmässä investointikustannukset syntyvät puhaltimesta ja siihen tarkoitettuun äänenvaimentimesta, joiden hinnat ovat seuraavat:

HT125JM puhallin, hinta 18 375 €

MINKA 40 25 2870x1500 3000+0-1-0-E-0 äänenvaimennin, hinta 4 800 €

Yhteensä investointikustannukset puhaltimelle ja äänenvaimentimelle on 23 175 €. Hinnassa ei ole huomioitu lisätarvikkeita tai tilantarpeen vaatimia kustannuksia. Tuotteiden hinnat on saatu valmistajilta.

5.4.2 Kahden puhaltimen järjestelmä

Kahden puhaltimen järjestelmässä investointikustannukset syntyvät kahdesta puhaltimesta ja normaaliin ilmanvaihtoon tarkoitettuun äänenvaimentimesta. Savunpoistoon tarkoitettuna puhaltimen hinta on jo yllä ilmoitettu, ja siihen tulee lisätä normaaliin ilmanvaihtoon tarkoitettuna puhaltimen ja äänenvaimentimen investointikustannukset. Savunpoistoon tarkoitettuna puhaltimen äänenvaimenninta ei tule ottaa huomioon, koska savunpoistotilanteessa ei ole 45 dB(A):n rajoitusta eikä näin ollen kahta isoa äänenvaimenninta tarvita.

140JM puhallin, hinta 9 960 €

MINKA 40 22 2870x1500-3000+0-1-0-0-0 äänenvaimennin 4 100 €

Investointikustannukset puhaltimelle ja äänenvaimentimelle on yhteensä 14 060 €. Yhteiskustannukset kahdelle puhaltimelle ja äänenvaimentimelle on 32 435 €.

5.5 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuajan laskennassa on huomioitu vain puhaltimien kuluttama sähköenergia ja sen hinta. Hintoja ei ole diskontattu, vaan on vain laskettu paljas takaisinmaksuaika. Puhaltimien aikataulutuksesta (ks. luku 5.1) ja moottorien ottotehosta saadaan laskelmat siitä, kuinka monta kilowattituntia eri puhallinjärjestelmät kuluttavat sähköä. Saatu kilowattituntimäärä (kWh) kerrotaan sähkön kilowattituntimäärällä c/kWh, jolloin saadaan puhaltimen käyttökustannukset vuoden ajalta.

Vuotuiset käyttökustannukset yhden puhaltimen järjestelmälle on 4 237 € ja kahden puhaltimen järjestelmässä 3 135 € [liite 5]. Takaisinmaksuaika saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{\text{Investointikustannuksien erotus}}{\text{Vuotuinen säästö sähkölaskussa}} \quad (\text{Kaava 3})$$

Kahden puhaltimen takaisinmaksuaika verrattuna yhteen puhaltimeen on:

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{32435 \text{ €} - 23175 \text{ €}}{4237 \text{ €/a} - 3135 \text{ €/a}} = 8,4 \text{ vuotta}$$

6 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella, onko maanalaisen kohteen vauhdituspuhaltimet järkevää toteuttaa kahden vai yhden puhaltimen järjestelmällä. Järjestelmän kannattavuutta tutkittiin vain energiankäytön näkökulmasta, eikä esimerkiksi kasvaneita tilantarpeita otettu huomioon, mikä tuo lisää investointikustannuksia ja vaikuttaa takaisinmaksu-aikaan. Myöskään puhaltimien huoltovälejä eikä laakerin vaihtoja otettu huomioon, joka varsinkin yhden puhaltimen järjestelmässä olisi tarpeellista.

Kun tarkasteltiin puhtaasti vain puhaltimen käytöstä johtuvia kustannuksia, niin laskennasta saatiin yksinkertainen mutta hyvin suuntaa antava. Työ antaa maanalaisen kohteiden suunnittelijoille käsityksen siitä, kuinka paljon investointikustannukset nousevat puhaltimien lisääntyessä ja kuinka paljon säästetään energiaa, kun käytetään suoritusarvoiltaan parempia ja tilanteeseen sopivia puhaltimia.

Ennen työn aloittamista päätimme, että sopiva takaisinmaksuaika olisi 15–20 vuotta, ja jos sen alle päästäisiin, investointi kahteen puhaltimeen olisi kannattavaa. Kahden puhaltimen järjestelmässä takaisinmaksu ajaksi tuli 8,4 vuotta, eli noin 8,5 vuotta. Luvuista ei voi tehdä suoria johtopäätöksiä, sillä laskennassa ei ole otettu huomioon energian hinnan korotuksia eikä edellä mainittuja lisätilantarpeita. Tarkastellessa vain energiankäytön kustannuksia voidaan todeta, että kahden puhaltimen järjestelmä on järkevä investoida sen vähäisen takaisinmaksuajan vuoksi.

Työtä voisi jatkossa viedä eteenpäin siten, että tarkasteltaisiin, kuinka paljon puhaltimet vievät lisää tilaa, ja minkälainen vaikutus puhaltimien lisäyksillä olisi rakennusurakkaan. Myös puhaltimien vaatimat huoltotilat, ja varsinkin puhaltimien vaatimat huollot ja niiden kustannukset tulisi ottaa mukaan laskelmiin. Savunpoistopuhaltimessa laakerien vaihtoväli on tiheämpi kuin normaalissa ilmanvaihdossa, ja tästä johtuen takaisinmaksuaika voisi olla vieläkin lyhempi. Myös hyötysuhteiden vaikutus pitäisi ottaa huomioon laskelmissa.

Lähteet

- 1 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 2 Rakennusten paloturvallisuus. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa E1. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 3 SFS 7025. Savunpoistopuhaltimille eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot. 2010. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 4 Puhallintekninen käsikirja. 2007. Turku. Fläkt Woods Oy.
- 5 Fläkt Woods Oy. Verkkodokumentti. <<http://www.flaktwoods.fi/d57d559a-7f13-43de-b11d-184acff24289>>. Luettu 4. 12 2015.
- 6 Fläkt Woods Oy. Verkkodokumentti.<<http://www.flaktwoods.fi/de74a2f3-6792-4def-8faa-144125f5c74d>>. Luettu 4. 12 2015.
- 7 Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. 1998. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C1. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 8 RIL 232-2012. Rakennusten savunpoisto - Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. 2012. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL.
- 9 SFS-EN 12101-7 Savunhallintajärjestelmät. Osa 7: Savunhallintakanavat. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 10 PVA. 2014. Verkkodokumentti. Lindab. <<http://www.lindab.com/fi/pro/products/pages/pva-100.aspx>>. Luettu 8.1.2016.
- 11 PVAP. 2013. Verkkodokumentti. Lindab. <http://www.lindab.com/fi/pro/products/pages/pvap-100_3064.aspx>. Luettu 1.1.2016.
- 12 MINKA. 2014. Verkkodokumentti. Lindab. <<http://www.lindab.com/fi/pro/products/pages/minka.aspx>>. Luettu 1.1.2016.
- 13 Sähkö sopimus. 2016. Fortum. Verkkodokumentti.<<http://www.fortum.com/countries/fi/sahko/sahkosopimus/tarkka-sopimus/Pages/default.aspx>>. Luettu 10.2.2016.

14. Sähkösiirron hinta. 2016. Caruna. Verkkodokumentti. <<https://www.caruna.fi/asiakaspalvelu/hinnastot-ja-sopimusehdot/sahkonsiirron-hinta>>. Luettu 10.2.2016.

Savunpoistopuhaltimen koneajo



Fläkt Woods Limited
Tekninen tietosivu
JM Aerofoil



Tarjousnumero	:	Project Code	:
Projektin nimi	:	Asiakas	:
Viite	:	Päivämäärä:	: keskiviikko, helmikuu 3, 2016
Puhallinkoodi	HT125JM/50B/4/9/18	Performance data has been derived from tests carried out in a Fläkt Woods laboratory, in accordance with ISO 5801 and is specifically applicable for Ducted installations. When an electronic controller is incorporated, enhanced motor noise can occur - particularly when the operating speed is well below maximum. FWL therefore recommend using an auto transformer speed controller for noise sensitive applications. Bifurcateds are Erp exempt when used continuously at >100C. They are not for use in the EEA at lower temperatures.	
Puhaltimen halkaisija	1250 Koko / mm		
Siiptien lukumäärä	9		
Pyörimisnopeus	1470 rpm		
Nopeus	18,0 m/s		
Siiptikulma	18°		
Asennustyyppi / Käyttötapa	D / B		
Runko	Pitkä		
Pyydetty toimintapiste	22m³/s @ 500 Pa (static)	Acoustic data has been derived from tests carried out in a Fläkt Woods laboratory, in accordance with BS 848 Pt 2, 1985 / ISO 5136 under Ducted conditions. The LpA figure provided is the overall Inlet sound pressure level calculated at the specified distance, under spherical, free field conditions. Breakout levels stated are estimated from induct sound power levels and are provided for guidance.	
Todellinen hätätehtävä	22,03m³/s @ 501 Pa (static)		
Paineaukon dyn.paine	193 Pa		
Akseliteho	26,21 kW	Acoustic figures for adjusted running speeds have been interpolated and are for reference only.	
Maks.akseliteho	31,11 kW		
Kokonaishyötysuhde	58,4 %	Ehdot ja olosuhteet:Tämä tarjous on tehty liitteenä olevat ehdot ja olosuhteet huomioiden.	
Moottorin runko	180L		
Moottoriteho	34,50 kW [IE2]		
Virrankulutus	61,7 A		
Käynnistysvirta	368,22 A		
Moottorin asennus	Kylki		
Jännite	380-420 Volts 50 Hz 3 Phase		
Käynnistys	DOL		
Moottorin käämitys	Vakio		
Liite	Vakio Kaikki		
SFP arvo	1,29 W/(l/s) @ Pyydetty toimintapiste		
Moottorin virta sähköverkosta	28,47 kW		
Energiankulutus	248742 kWh (8736 h/vuosi)		
Käyttökustannukset / Vuosi	€24874		
Ilman tiheys	1,2 kg/m³ / 20 °C / 0 m / 50% RH		
Savunpoisto	400°C 2 tuntia (F400)		

	Oktaavikaista (Hz)								Yhteensä	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3m**
Imuaukko*	95	98	107	109	110	104	97	90	114	92
Paineaukko*	98	101	109	109	109	103	98	91	114	91
Rungon läpi*	85	75	79	82	83	75	76	67	89	65

* Lw dB re 10⁻¹² W ** dBA re 2x10⁻⁵ Pa
Sound data at requested duty.

Kuvaus	Kpl
Puhallin HT125JM/50B/4/9/18	1
Lisätarvikkeet	
Optional Controllers & Sensors	Optional Accessories
IDDXF54 - 3/3 - Inverter [EA901028]	Mounting Feet Vastalappu Flexible Connector

Savunpoiston äänenvaimennin



Äänenvaimentimet

Suun. nro
Vaimentimen suorituskyky

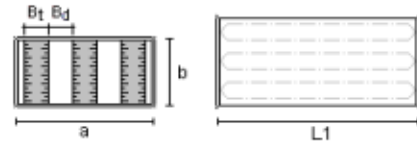
4.2.2016

DIMSILENCER 6.0

Tuotenimi

MINKA 40 25 2870x1500 3000

Äänenvaimentimen tiedot



Leveys, a	2870
Korkeus, b	1500
Pituus (L1):	3000

Kuvaus

MINKA on äänenvaimennin suorakaidekanaviin. Vaimennusmateriaalina on huopapintainen mineraalivilla. Liitäntämitat: 400 x 300 - 3000 x 3000. Isoissa vaimentimissa käytetään liitosmittojen ulkopuolella olevaa runkovahvistusta. Liitostapa vaihtoehtoina: IT, EURO20 tai EURO30. Vaimentimet varustettavissa reikäpellillä, 50 mm:n lämpöeristyksellä (myös muita lämpöeristysvaihtoehtoja) sekä paloeristyksellä. Vaimentimiin TO-tasausosalle saatavissa tarkastusluukku. Täysin puhdistettavissa oleva vaimennin löytyy tuoteperheestä MINKA-A. Vaimennusmateriaali täyttää seuraavat palo-ominaisuudet. Paloluokka: EN1182: Syttymätön; Palonkestoluokka: EN 13501: A2. Käyttölämpötila max +200 °C Vaimennusmateriaali täyttää rakennustietosäätiön M1 pintamateriaalien päästöluokan vaatimukset. Vaimennuselementit puhdistettavissa polyimurilla tai

Taso

Äänenvaimennin

Asennus

Jäteilma

Lw ennen

Virtausm [l/s]

22000

Painehäviö [Pa]

154

	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		dB(A)
Lw ennen äänenvaimenninta		98	101	109	109	109	103	98	91	dB	112
Vaimennus		11	27	50	50	50	50	36	26	dB	
Laitteen äänitaso		60	60	58	57	55	53	50	47	dB	60
Lw äänenvaimentimen jälkeen		87	74	62	61	60	56	62	65	dB	69

Normaalin ilmanvaihdon puhaltimen koneajo



Fläkt Woods Limited
Tekninen tietosivu
JM Aerofoil




Tarjousnumero	:	Project Code	:
Projektin nimi	:	Asiakas	:
Viite	:	Päivämäärä:	: keskiviikko, helmikuu 3, 2016
Puhallinkoodi	:	140JM/40/6/6/16	Performance data has been derived from tests carried out in a Fläkt Woods laboratory, in accordance with ISO 5801 and is specifically applicable for Ducted installations. When an electronic controller is incorporated, enhanced motor noise can occur - particularly when the operating speed is well below maximum. FWL therefore recommend using an auto transformer speed controller for noise sensitive applications. Bifurcateds are Erp exempt when used continuously at >100C. They are not for use in the EEA at lower temperatures.
Puhaltimen halkaisija	:	1400 Koko / mm	
Siiptien lukumäärä	:	6	
Pyörimisnopeus	:	960 rpm	
Nopeus	:	11,0 m/s	
Siiptikulma	:	16°	
Asennustyyppi / Käyttötapa	:	D / B	
Runko	:	Pitkä	
Pyydetty toimintapiste	:	17m ³ /s @ 300 Pa (static)	Acoustic data has been derived from tests carried out in a Fläkt Woods laboratory, in accordance with BS 848 Pt 2, 1985 / ISO 5136 under Ducted conditions. The LpA figure provided is the overall Inlet sound pressure level calculated at the specified distance, under spherical, free field conditions. Breakout levels stated are estimated from induct sound power levels and are provided for guidance.
Paineaukon dyn.paine	:	72 Pa	
Akseliteho	:	8,47 kW	
Maiks. akseliteho	:	9,16 kW	
Kokonaishyötysuhde	:	73,7 %	
Moottorin runko	:	160L	Acoustic figures for adjusted running speeds have been interpolated and are for reference only.
Moottoriteho	:	13,20 kW [IE2]	
Virrankulutus	:	26,3 A	
Käynnistysvirta	:	132 A	
Moottorin asennus	:	Jalka	Ehdot ja olosuhteet:Tämä tarjous on tehty liitteenä olevat ehdot ja olosuhteet huomioiden.
Jännite	:	380-420 Volts 50 Hz 3 Phase	
Käynnistys	:	Enquire	
Moottorin käämitys	:	Vakio	
Liite	:	Vakio Kaikki	
SFP arvo	:	0,56 W/(l/s) @ Pyydetty toimintapiste	
Moottorin virta sähköverkosta	:	9,48 kW	
Energiankulutus	:	82804 kWh (8736 h/vuosi)	
Käyttökustannukset / Vuosi	:	€8280	
Ilman tiheys	:	1,2 kg/m ³ / 20 °C / 0 m / 50% RH	
Savunpoisto	:	Ei savunpoistoa	

	Oktaavikaista (Hz)								Yhteensä	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3m**
Imuaukko*	94	95	93	96	94	92	89	80	102	79
Paineaukko*	97	96	93	96	94	92	91	82	103	79
Rungon läpi*	87	73	65	69	67	63	70	59	88	54

* Lw dB re 10⁻¹² W
Sound data at requested duty.

** dBA re 2x10⁻⁵ Pa

Kuvaus	Kpl
Puhallin 140JM/40/6/6/16	1
Lisätarvikkeet Termistorit	1
Optional Controllers & Sensors  IDDXF54 - 3/3 - Inverter [EA901024]	
Optional Accessories  Mounting Feet  Rubber AV Mounts  Vastalaippa  Flexible Connector	

Internetsivu:

..

Puh: Telekopio:

Sähköposti: joni.oksman@granlund.fi
Copyright Fläkt Woods Group 2003 - 2015



Fläkt Woods Limited
Yhdistelmätuotolomake
JM Aerofoil



Tarjousnumero : Project Code :
Projektin nimi : Asiakas :
Viite : Päivämäärä: : keskiviikko, helmikuu 3, 2016

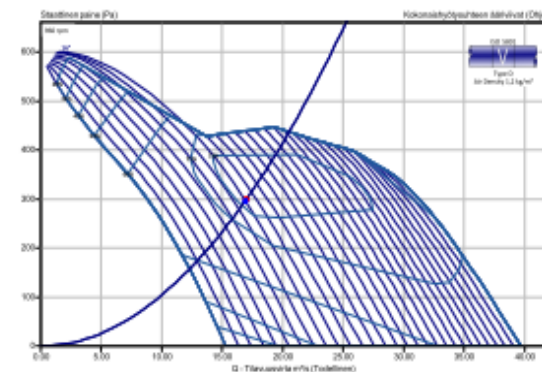
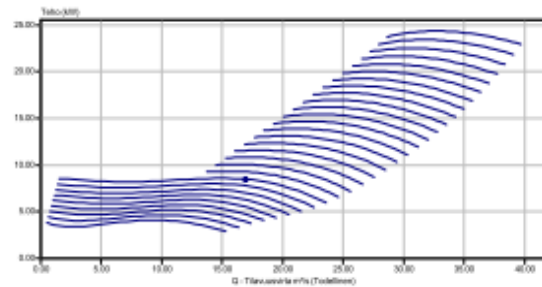
Puhallinkoodi 140JM/40/6/6/16
Puhaltimen halkaisija 1400 Koko / mm
Siipien lukumäärä 6
Pyörimisnopeus 960 rpm
Nopeus 11,0 m/s
Siipikulma 16°
Asennustyyppi / Käyttötapa D / B
Runko Pitkä

Pyydetty toimintapiste 17m³/s @ 300 Pa (static)
Paineaukon dyn.paine 72 Pa

Akseliteho 8,47 kW
Maks.akseliteho 9,16 kW
Kokonaishyötysuhde 73,7 %

Moottorin runko 160L
Moottoriteho 13,20 kW [IE2]
Virrankulutus 26,3 A
Käynnistysvirta 132 A
Moottorin asennus Jalka
Jännite 380-420 Volts 50 Hz 3 Phase
Käynnistys Enquire
Moottorin käämitys Vakio
Liite Vakio Kalkki
SFP arvo 0,56 W/(l/s) @ Pyydetty toimintapiste
Moottorin virta sähköverkosta 9,48 kW
Energiankulutus 82804 kWh (8736 h/vuosi)
Käyttökustannukset / Vuosi €8280

Ilman tiheys 1,2 kg/m³ / 20 °C / 0 m / 50% RH
Savunpoisto Ei savunpoistoa



	Oktaavikaista (Hz)								Yhteensä	
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Lw*	LpA @ 3m**
Imuaukko*	94	95	93	96	94	92	89	80	102	79
Paineaukko*	97	96	93	96	94	92	91	82	103	79
Rungon läpi*	87	73	65	69	67	63	70	59	88	54

* Lw dB re 10⁻¹² W
** dBA re 2x10⁻⁵ Pa
Sound data at requested duty.

Ehdot ja olosuhteet: Tämä tarjous on tehty liitteenä olevat ehdot ja olosuhteet huomioiden.

Kuvaus	Kpl
Puhallin 140JM/40/6/6/16	1
Lisätarvikkeet Termistorit	1
Optional Controllers & Sensors IDDXF54 - 3/3 - Inverter [EA901024]	
Optional Accessories Mounting Feet Rubber AV Mounts Vastalaippa Flexible Connector	

Internetsivu:

..

Puh: Telekopio:

Sähköposti: joni.oksman@granlund.fi
Copyright Fläkt Woods Group 2003 - 2015

Normaalin ilmanvaihdon äänenvaimennin



Äänenvaimentimet

Suun. nro
Vaimentimen suorituskyky

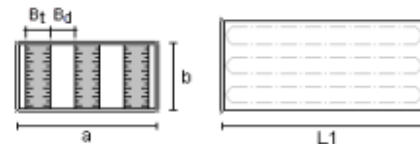
4.2.2016

DIMSilencer 6.0

Tuotenimi

MINKA 40 22 2870x1500 3000

Äänenvaimentimen tiedot



Leveys, a 2870
Korkeus, b 1500
Pituus (L1): 3000

Kuvaus

kuivapesulla. Vaimentimet täyttävät tiivisyysluokka C:n vaatimukset. Vaimentimien vaimennus-, painehäviö- ja äänenkehitysarvot ovat mitattu Oy Lindab Ab:n testauslaitteistoilla ISO 7235:2003 mukaisesti kanavamenetelmällä tai VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan laitoksella. Sinkityn pellin sijaan voidaan käyttää myös ruostumatonta tai haponkestävää peltiä. Vaimentimet voidaan valmistaa myös maalattuna. Asiakkaan vaatimuksen mukaisesti vaimentimet voidaan käyttää laippaliitosta, standardina Norsok- laippastandardi tai hitsauskauluksia. Lisätietoja myynnistämme!

Taso

Äänenvaimennin

Asennus

Jätellmä

Lw ennen

Virtausm [l/s]

17000

Painehävi [Pa]

61

Lw ennen äänenvaimenninta
Vaimennus
Laitteen äänitaso
Lw äänenvaimentimen jälkeen

Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB(A)
Lw ennen äänenvaimenninta	97	96	93	96	94	92	91	82	99
Vaimennus	9	19	42	50	50	50	46	27	dB
Laitteen äänitaso	51	51	48	47	45	41	37	32	dB
Lw äänenvaimentimen jälkeen	88	77	53	50	48	45	46	55	dB

Puhaltimen käyttökustannukset käyttötunneittain

Yhden puhaltimen järjestelmä

Aikataulu		Käyttötunnit/vrk	Kokonaistunnit/a	Ottoteho, kW	Hinta €/a 8,89 c/kWh
21:00	7:00	10,0	3650	2,12	688
7:00	9:00	2,0	730	13,62	884
9:00	15:00	6,0	2190	5,49	1069
15:00	17:00	2,0	730	13,62	884
17:00	21:00	4,0	1460	5,49	713
					4 237 €

Kahden puhaltimen järjestelmä

Aikataulu		Käyttötunnit/vrk	Kokonaistunnit/a	Ottoteho, kW	Hinta €/a 8,89 c/kWh
21:00	7:00	10,0	3650	1,64	532
7:00	9:00	2,0	730	10,03	651
9:00	15:00	6,0	2190	4,01	781
15:00	17:00	2,0	730	10,03	651
17:00	21:00	4,0	1460	4,01	520
					3 135 €