



TAAJUUSMUUTTAJAOHJATTU ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ BACNET-KENTTÄVÄYLÄSSÄ

Kristian Hendricksson

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TEKIJÄN NIMI: Kristian Hendricksson
Taajuusmuuttajaohjattu ilmanvaihtojärjestelmä BACnet –kenttäväylässä

Opinnäytetyö 55 sivua, josta liitteitä 10 sivua
Toukokuu 2012

Tämä insinöörityö on toteutettu yhdessä ActiveSet Ky:n kanssa. Työn päätarkoituksena on selvittää taajuusmuuttajakäytön hyödyt ilmanvaihtokonekäytöissä, sekä BACnet-kenttäväylän hyödyt rakennusautomaatiojärjestelmässä. Työhön kuuluu lisäksi taajuusmuuttajan, ilmanvaihdon ja BACnet-kenttäväylän perusteiden esittely, sekä taajuusmuuttajakäyttöön siirtymiseen vaadittavien toimenpiteiden läpikäyminen.

Työn alussa kerrotaan yleisesti ilmanvaihdosta, sekä perehdytään tarkemmin ilmanvaihdon tarpeellisuuteen ja terveystieteiden ilmanvaihtoa koskeviin asetuksiin. Tämän jälkeen siirrytään tarkemmin tutkimaan ilmanvaihtojärjestelmiä ja niiden teknisiin ratkaisuihin.

Ilmanvaihdon jälkeen siirrytään tutkimaan BACnet –kenttäväylän perusteita, sekä tarkemmin mitä standardeja BACnet protokolla määrittää. BACnet –kenttäväylän standardien jälkeen käsitellään taajuusmuuttajia.

Taajuusmuuttaja-osiossa kerrotaan ensin yleisesti taajuusmuuttajista, jonka jälkeen siirrytään käsittelemään taajuusmuuttajakäyttöä, taajuusmuuttajakäyttöjen käyttökohteita, sekä taajuusmuuttajakäyttöjen hyötyjä ja haittoja.

Johtopäätöksenä voikin todeta, että taajuusmuuttajakäyttö ilmanvaihtojärjestelmässä säästää energiaa. Voidaan myös todeta, että BACnet kenttäväylällä on monia hyötyjä rakennusautomaatiojärjestelmissä, kuten ilmanvaihtojärjestelmässä.

Asiasanat: bacnet, taajuusmuuttaja, ilmanvaihtojärjestelmä

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical power engineering

AUTHOR : Kristian Hendricksson
Frequency converter controlled ventilation system based on BACnet protocol

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 10 pages
May 2012

This bachelor's thesis is carried out together with ActiveSet Ky. The main goal of the thesis is to examine the advantages of a frequency controller in ventilation systems, as well as investigating the advantages of the BACnet –field bus in building automation systems. The thesis also included presenting the basis of frequency controllers, ventilation systems and the BACnet -field bus, as well as presenting the requirements and procedures needed when changing to frequency controller usage.

In the beginning we tell about ventilation in general, and also take a look at the general need of ventilation, as well as the health ministry's regulations concerning ventilation. After this we move on to investigate ventilation systems, and their technical solutions, more closely.

After looking at ventilation systems we move on to take a look at the basis of the BACnet –field bus, and more closely what standards the BACnet –protocol defines. After the BACnet –standard we move on to deal with frequency converters.

In the frequency controller –section we first take a look at frequency controllers in general, after which we move on to deal with frequency controller drives and usage applications, as well as the advantages and disadvantages of frequency controller drives.

As a conclusion we can note, that frequency controller driven ventilation systems save energy. We can also note, that the BACnet –field bus has many advantages in building automation systems such as ventilation systems.

Key words: bacnet, frequency controller, ventilation system

SISÄLLYS

1	LYHENTEET JA TERMIT	5
2	JOHDANTO.....	6
3	ILMANVAIHTO.....	7
	3.1 Yleistä ilmanvaihdosta.....	7
	3.2 Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.....	8
	3.3 Ilmanvaihtojärjestelmät	12
	3.3.1 Lämpöenergian talteenotto ilmanvaihtojärjestelmässä	13
	3.3.2 Ilman puhtaus ja suodatus	16
4	BACNET	20
	4.1 BACnet-standardi	21
	4.1.1 Liityntätiedot.....	23
	4.1.2 Bacnet rajapinnat, Lon ja EIB	25
5	TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT	26
	5.1 Yleistä	26
	5.2 Teoria.....	27
	5.2.1 Sähkömoottorin nopeudensäädön periaate.....	27
	5.2.2 Rakenne.....	28
	5.2.3 Yliaallot.....	29
	5.3 Tehoelektroniikan kehitys – keskeinen osa taajuusmuuttajien kehityksessä	30
	5.4 Taajuusmuuttaja ympäristötekniikan kannalta	30
	5.5 Suomalainen teollisuus edelläkävijänä sähkökäytöissä.....	31
6	TAAJUUSMUUTTAJAN KÄYTTÖKOHTEET JA SAAVUTETTAVAT HYÖDYT	32
	6.1 Pumppu- ja puhallinkäytöt.....	32
	6.2 Muut käyttökohteet	34
	6.2.1 Nosturit.....	34
	6.2.2 Tuulivoima	35
7	TAAJUUSMUUTTAJAN TEKNISET VAATIMUKSET	36
	7.1 Kaapelointi ja EMC	36
	7.2 Sähkömagneettisten häiriöiden estäminen.....	36
8	ESIMERKKIKOHDE	38
	8.1 Kohteen esittely	38
	8.2 Tuloilmakoneen ja taajuusmuuttajan mitoitus	38
	8.2.1 Tuloilmapuhaltimen mitoitus ja valinta	39
	8.2.2 Taajuusmuuttajan mitoitus ja valinta	41
9	POHDINTA.....	43
	LÄHTEET.....	44
	LIITTEET	46
	Liite 1. Finlex D2: Ilmavirtojen, ilman liikkeen ja äänitason ohjearvoja. /2/	46
	Liite 2. FanSave laskentatulokset.....	55

1 LYHENTEET JA TERMIT

TAMK	Tampereen ammattikorkeakoulu
BACnet	Building Automation and Control networks
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering
ANSI	Approved American National Standard
CEN	European Committee for Standardization
EMC	Electromagnetic Compatibility, Sähkömagneettinen yhteensopivuus
GTO	Gate Turn Off (tyristori)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
MOSFET	Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor
IGC	Integrated Gate Controlled (tyristori)
TAMU	Taajuusmuuttaja

2 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on toteutettu yhdessä ActiveSet Ky:n kanssa. Työn päätarkoituksena on selvittää taajuusmuuttajakäytön hyödyt ilmanvaihtokonekäytöissä, sekä BACnet-kenttäväylän hyödyt rakennusautomaatiojärjestelmässä. Työhön kuuluu lisäksi taajuusmuuttajan, ilmanvaihdon ja BACnet-kenttäväylän perusteiden esittely, sekä taajuusmuuttajakäyttöön siirtymiseen vaadittavien toimenpiteiden läpikäyminen.

Nykypäivänä ilmanvaihto kattaa suuren osan kiinteistöjen energiakustannuksista. Siksi onkin tärkeää, että ilmanvaihdosta aiheutuvat energiakustannukset tulisi pitää vähäisinä. Taajuusmuuttajakäyttö ilmanvaihtokoneiden yhteydessä on yksi ratkaisu kustannuksien hallintaan.

Tutkimuksen tavoitteena onkin selvittää, mitkä ovat taajuusmuuttajakäytön hyödyt ilmanvaihtojärjestelmässä sähkökulutuksen kannalta. Lisäksi työn tavoitteena on selvittää BACnet-kenttäväylän hyödyt taajuusmuuttajaohjatussa ilmanvaihtojärjestelmässä.

3 ILMANVAIHTO

3.1 Yleistä ilmanvaihdosta

Ilmanvaihdon perusideana on tuoda puhdasta ilmaa hengitykseen ja poistaa rakennuksessa syntyvät epäpuhtaudet. Ihmisen hapentarpeen täyttämiseksi tarvittava ilmanvaihdon määrä on vain pieni osa tarvittavasta kokonaisilmanvaihtomäärästä. Hapentarpeen ja keuhkoissa syntyvän hiilidioksidin poistamiseksi ihmisten keuhkojen läpi kulkee ilmaa reilu 15000 litraa päivässä. On sanomattakin selvää, että mitä puhtaampaa tämä ilma on, sitä paremmin ihminen voi.

Kaikissa rakennuksissa syntyy jatkuvasti epäpuhtauksia, joiden lähteitä ei voida kokonaan poistaa. Näin ollen tarvitsemme riittävää yleisilmanvaihtoa. Yleisilmanvaihdon avulla hiilidioksidin ja vesihöyryn pitoisuudet ilmassa pystytään pitämään ihmiselle ja rakennukselle terveellisellä tasolla.

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin. Ilma virtaa suuremmasta paineesta pienempään. Koneellisessa ilmanvaihdossa paine-ero saadaan aikaan puhaltimilla. Painovoimainen ilmanvaihto taas tarkoittaa sitä, että paine-ero saadaan aikaiseksi lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella. Mikäli tuloilma puhalletaan koneellisesti tilaan, on kyseessä tulo- ja poistoilmanvaihto, muissa tapauksissa vain poistoilmanvaihto. Jos tuloilmaa kostutetaan tai jäähdytetään, on kyse silloin ilmastoinnista.

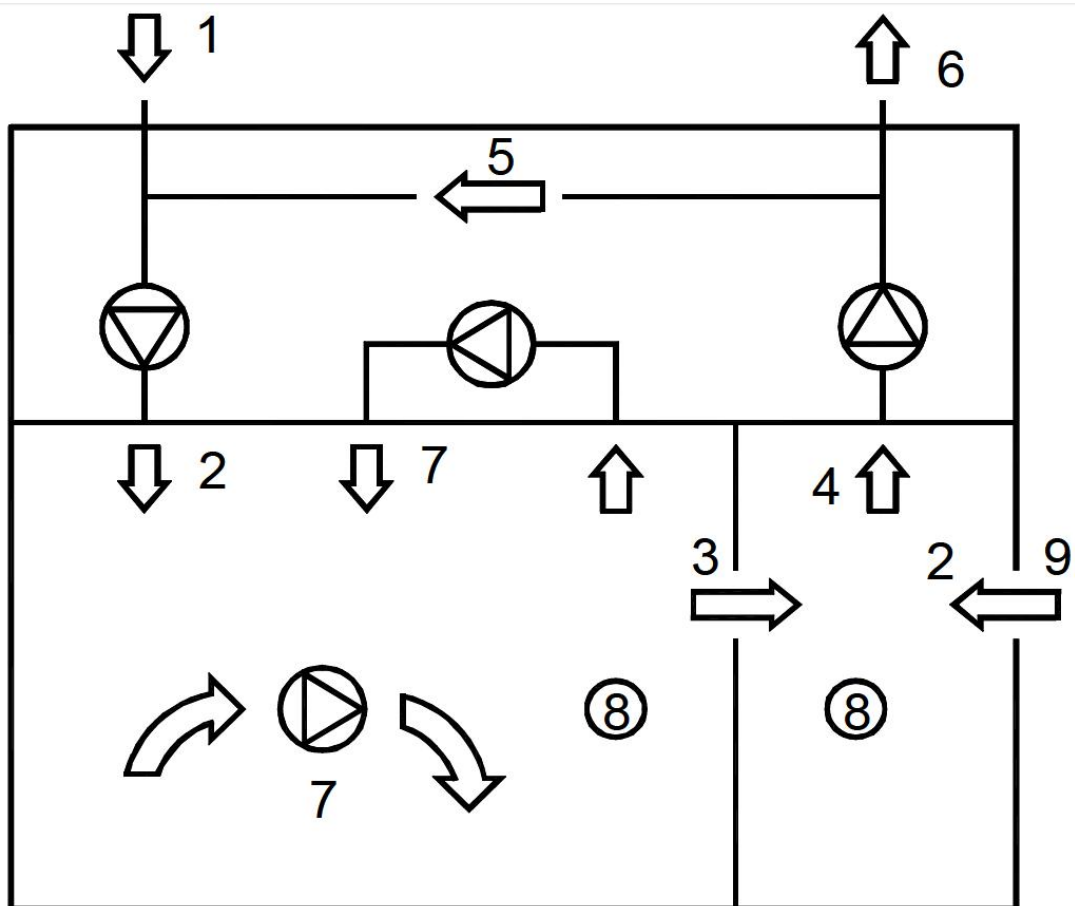
Poistoilmanvaihdon suunnittelussa on tärkeää järjestää hallittu korvausilman sisäänotto, esimerkiksi ulkoilmaventtiilejä hyväksikäyttäen. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuja ovat muun muassa mahdollisuus tuloilman suodatukseen ja lämmöntalteenotto poistoilmassa. Huonosti huolletussa tuloilmakanavistossa alkaa ajan myötä esiintyä likaa, joka tuo rakennukseen epätoivottuja hajuja, eli se pilaa sisäilmaa.

Painovoimainen poistoilmanvaihto on suosittu asuinrakennuksissa yleisesti ottaen siitä syystä, että se perustuu alhaisiin investointikustannuksiin. Painovoimainen ilmanvaihto ei itse aiheuta melua, mutta meluisalla paikalla ikkunatuuletus voi olla ongelmallista. /1/

3.2 Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta

Kuvassa 1 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtojen nimitykset ja ilmavirtojen suunta: :

- 1) Ulkoilma
- 2) Tuloilma
- 3) Siirtoilma
- 4) Poistoilma
- 5) Palautusilma
- 6) Jäteilma
- 7) Kierrätysilma
- 8) Sisäilma
- 9) Ulkoilma (korvausilma)



Kuva 1. Ilmavirtojen nimitykset.

Rakennuksen suunnittelussa ja rakentamisessa on terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilmaston saavuttamiseksi otettava yleensä huomioon seuraavat rakennukseen vaikuttavat tekijät:

- Sisäiset kuormitustekijät kuten lämpö- ja kosteuskuormitus, henkilökuormat, prosessit sekä rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt
- Ulkoiset kuormitustekijät kuten sää- ja ääniolot, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät
- Sijainti ja rakennuspaikka

Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C.

Perustellusta syystä voidaan huonelämpötila suunnitella ohjearvosta poikkeavasti. Tällaisia lämmitys-kauden lämpötilojen tilakohtaisia ohjearvoja esitetään taulukossa 1. Hyväksyttävä poikkeama oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvosta huonetilan keskellä 1,1 m:n korkeudella on ± 1 °C.

Taulukossa 1 on esitetty lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohjearvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C. Ohjearvoja käytettäessä on huolehdittava, ettei viereisten tilojen viihtyisyys heikkene. Lisää tilakohtaisia huonelämpötilan ohjearvoja on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 1. Lämpötilojen tilakohtaiset ohjearvot.

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja. Sisäilman hiilidioksidin pitoisuus tavanomaisissa sääoloissa ja huonetilan käyttöaikana on yleensä enintään 2160 mg/m³ (1200 ppm).

Sisäilman laadun suunnittelussa käytettäviä epäpuhtauksien pitoisuusarvoja esitetään taulukossa 2. Suunnittelun ohjearvot koskevat kuusi kuukautta käytössä ollutta rakennusta, jonka ilmanvaihto on pidetty jatkuvasti käynnissä käyttöajan ilmanvaihdon ilmavirralla. Pitoisuuksien mittaamisessa käytetään sosiaali- ja terveysministeriön ohjeessa esitettyjä menetelmiä.

Taulukko 2. Sisäilman epäpuhtauksien pitoisuuden arvoja rakennuksen sisäilmaston suunnittelemiseksi ja toteuttamiseksi.

Epäpuhtaus	Yksikkö	Suunnittelun ohjearvo Pitoisuus enintään
Ammoniakki ja amiinit	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	20
Asbesti	kuitua/ cm^3	0
Formaldehydi	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Hiilimonoksidi	mg/m^3	8
Hiukkaset PM ₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	50
Radon	Bq/ m^3	200 (vuosikeskiarvo)
Styreeni	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa. Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa.

Jos sisäilman kosteus ylittää arvon 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa, kostutetaan huoneilmaa vain painavista syistä esimerkiksi prosessin tai varastoinnin niin vaatiessa. Arvo 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa vastaa huoneilman tilaa, jossa suhteellinen kosteus on 45 %, kun huonelämpötila on 21 °C ja ilman paine on 101,3 kPa. Alhaisesta sisäilman suhteellisesta kosteudesta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi vältetään lämmityskauden aikana tarpeettoman korkeita huonelämpötiloja.

Huonetiloissa tulee olla ilmanvaihto, jolla käyttöaikana taataan terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilman laatu. Oleskelutiloihin on käyttöaikana johdettava terveellisen, turvallisen ja viihtyisän sisäilman laadun takaava ulkoilmavirta. Ulkoilmavirtojen mitoittamiseen käytetään ensisijaisesti tilakohtaisia ohjearvoja, joita esitetään liitteessä 1. Ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteen mukaan. Jos henkilökuormituksen mukaiselle ilmavirtojen mitoitukselle ei ole riittäviä perusteita,

käytetään pinta-alaan perustuvaa mitoitusta. Muihin kuin liitteessä 1 esitettyihin oleskelutiloihin johdetaan ulkoilmavirta, joka on vähintään $6 \text{ dm}^3/\text{s}$ henkilöä kohti, jos henkilömäärän mukaiselle mitoitukselle on riittävät perusteet. Yleensä ulkoilmavirta tulee kuitenkin olla vähintään $0,35 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 \text{ 1/h}$ huoneessa, jonka vapaa korkeus on $2,5 \text{ m}$. Ilmanvaihtojärjestelmän ilmavirtoja on voitava ohjata kuormituksen ja ilman laadun mukaan käyttötilannetta vastaavasti.

Asuinrakennuksen ilmanvaihdon ohjaus suunnitellaan ja rakennetaan niin, että asunnon käyttöajan tehostettu ilmavirta on vähintään 30% suurempi kuin käyttöajan ilmavirta. Ilmanvaihdon tehostus toteutetaan yleensä vähintään liesikuvun tehostetulla ilmavirralla liitteen 1 ohjearvojen mukaisesti.

Jos ilmanvaihto on asuntokohtaisesti ohjattavissa, voidaan ilmanvaihtojärjestelmä suunnitella ja rakentaa siten, että ilmavirtoja voidaan ohjata myös käyttöajan ilmavirtoja pienemmiksi. Kun asunnossa ei olekella eikä käyttöajan ilmanvaihdolle ole tarvetta esimerkiksi kosteuden hallitsemiseksi, voidaan ilmanvaihdon ohjaus suunnitella siten, että asunnon ilmavirtaa voidaan pienentää enintään 60% käyttöajan ilmavirrasta. Muun kuin asuinrakennuksen ilmanvaihto suunnitellaan ja rakennetaan siten, että käyttöajan ulkopuolella rakennuksen ulkoilmavirta on vähintään $0,15 \text{ (dm}^3/\text{s)/m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,2 \text{ 1/h}$ huoneessa, jonka vapaa korkeus on $2,5 \text{ m}$.

Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Oleskelutilojen tuloilma on yleensä suodatettava. Tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimien erotusaste on vähintään 80% $1,0 \text{ }\mu\text{m:n}$ hiukkasilla suodattimen käyttöiän aikana. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on F7. Suodatinkehiksen ja ilman virtaussuunnassa sen jälkeen olevien alipaineisten osien vuotoilmavirta ei saa merkittävästi heikentää ilmansuodatuksen tehokkuutta.

Taajama- ja teollisuusalueiden ulkopuolella ja etäällä vilkasliikenteisiltä liikenneväyliltä sijaitsevien rakennusten tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimena on vähintään karkeasuodatin. Tätä vastaava ilmansuodattimen luokka on G4. /2/

3.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintatapa perustuu tuulen ja lämpötilan aiheuttamiin paine-eroihin sisä- ja ulkoilman välillä. Sääolosuhteiden muutoksista johtuen ilmanvaihdon ilmavirrat vaihtelevat seuraavasti:

- Kylmällä kelillä ilmanvaihto on suurimmillaan
- Lämpimällä säällä taas olematon

Nykypäivänä painovoimaista ilmanvaihtoa harvemmin käytetään, koska sen avulla ei saada aikaan riittävää ilmanvaihtoa jokaiseen huonetilaan. Koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaperiaatteena on, että ilma poistetaan puhaltimen avulla, joka on yleensä asuinrakennuksen katolla sijaitseva huippuimuri. Tällöin tulo- eli korvausilman saanti tulee olla järjestettynä.

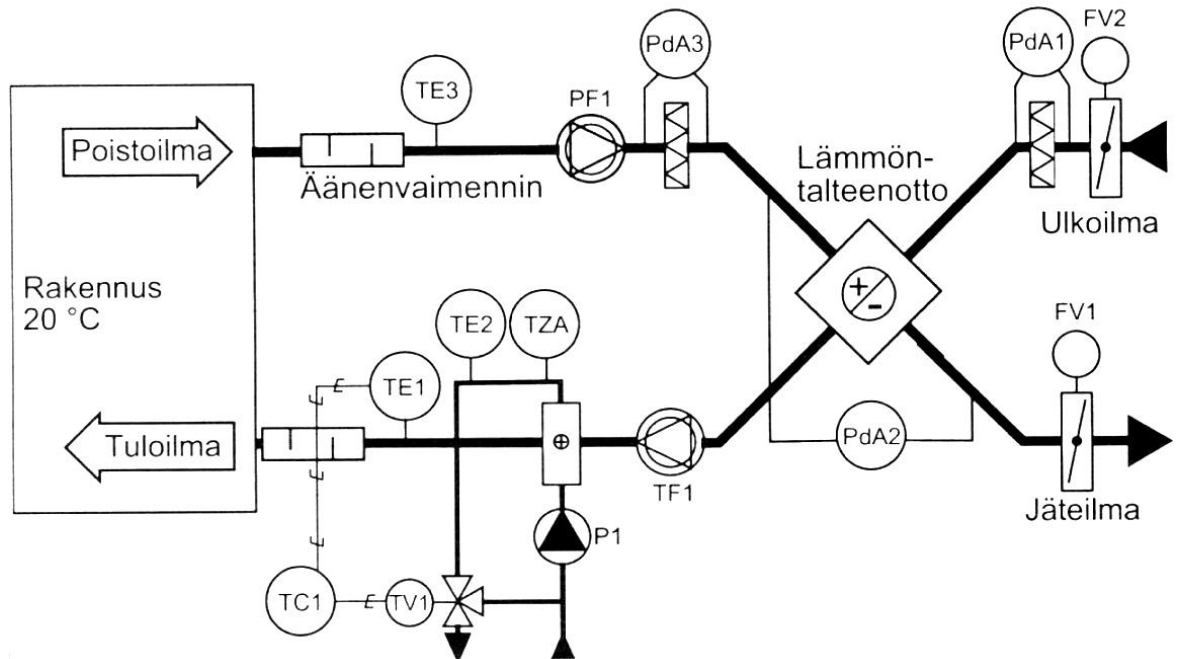
Riittävän korvausilman saanti pystytään toteuttamaan ulkoilmaventtiilien, raitisilmapattereiden tai ikkunarakojen avulla. Sääolosuhteiden riippuvuus koneellisen poistoilmanvaihdon ilmavirtojen suuruuteen on minimaalinen. Puhaltimen kierrosnopeutta muuttamalla voidaan tehostaa ilmavirtojen suuruutta.

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä on yleistynyt viimeisten vuosikymmenien aikana. Nykyään se on käytössä lähes kaikissa omakotitaloissa. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa ilma puhalletaan myös sisään koneellisesti. Ulkoilman lämpöinen tuloilma lämmitetään, ennen kuin se johdatetaan sisälle. Koneellinen tuloilma mahdollistaa myös lämmöntalteenoton poistoilmasta ja paremman ilmansuodatuksen.

Kerrostalossa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan toteuttaa asunto- tai rakennuskohtaisilla laitteilla. Asuntokohtaisessa järjestelmässä jokaiseen asuntoon asennetaan oma ilmanvaihtokone, jonka tehoa asukas voi säätää tarpeen mukaan.

Tuloilmakanavan osia ovat ulkopelti, suodatin, tuloilman lämmityspatteri, puhallin ja tuloilmaventtiili (tuloilmaventtiiliä ei ole taajuusmuuttajaohjatussa käytössä). Poistoilmakanavassa on poistoilmaventtiili, puhallin ja ulkopelti. Muita

ilmanvaihtojärjestelmään liittyviä osia ovat: lämmöntalteenottolaitteistot, jäähdytyspatterit, huoneilmankostuttajat sekä lämpötila – ja virtausanturit. /3/



Kuva 2. Lämmöntalteenotolla varustetun ilmanvaihtojärjestelmän periaatekaavio. /3/

3.3.1 Lämpöenergian talteenotto ilmanvaihtojärjestelmässä

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on tapa vähentää energian kulutusta, lähes puolet kaikesta energiasta käytetään rakennusten lämmitykseen ja jäähdytykseen ja siihen käytetystä energiasta noin puolet aiheutuu ilmanvaihdosta, kun se toteutetaan "ikkuna auki" -menetelmällä. Energian säästöpotentiaali on suuri koska läheskään kaikissa rakennuksissa ei ole ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa lainkaan tai se on puutteellisesti toteutettu. Sisäilmamääräykset taas pakottavat ilmanvaihtoon. Ilmanvaihdon lämmön/energiantalteenotto on hyvä esimerkki termodynamiikan ensimmäisestä pääsäännöstä; energiaa ei voida luoda eikä hävittää - sitä voidaan siis vain kierrättää.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteet pyrkivät vähentämään ilmanvaihdon aiheuttamaa lämpöhäviötä. Ilmasta ilmaan lämpöä siirtävät laitteet voidaan ryhmitellä seuraavasti: ristilevylämmönvaihtimiin, teoreettinen enimmäislämpötilahyötysuhde on 50 %, ja varaavat eli regeneratiiviset laitteet, teoreettinen enimmäislämpötilahyötysuhde on 100 %.

Lisäksi on laitteita, jotka siirtävät lämmön ilmasta väliaineeseen (vesi, glykoli, kylmäaine tms.), eli ns. rekuperatiiviset LTO (lämmön talteenotto) -laitteet. Lämpöä on tässä yhteydessä kahta päätyyppiä:

- tuntuva lämpö, joka voidaan mitata lämpömittarilla, ja
- piilevä eli latentti lämpö, jota ei voi mitata lämpömittarilla, sitä vaaditaan esim. aineen olomuotojen (faasi) muutoksessa alemmalta tasolta korkeammalle, esim. nesteestä kaasuksi (lämpöpumpuissa) tai kiinteästä nesteeksi (latent heat pump), se puolestaan vapautuu päinvastaisessa prosessissa.

Luonnonlain mukaan lämpö siirtyy viileään eikä koskaan päinvastoin. Ilmavaihdon lämmöntalteenotossa Suomessa tavanomaisesti ulos menevän sisäilman lämpö siirretään sisälle tulevaan ulkoilmaan.

Levylämmönsiirtimissä eri lämpöiset ilmat on ohjattu ristikkäin, tyypillisesti niiden välissä on lämpöä johtava metallilevy. Levylämmönsiirrin on massavalmistuksen vuoksi erittäin edullinen. Kun ilmojen lämpötilaero on tarpeeksi suuri aikaan saamaan kastepisteen, näin nimenomaan talvella, ilman kosteus tiivistyy (kondensoituu) välissä olevan metallin pintaan pysyväksi vesikalvoksi, mistä seuraa perustavaa laatua olevaa ongelmia:

- Vesi jäätyy talvella, mikä on estettävä lisäenergialla
- Pysyvä vesikalvo vähentää lämmön siirtymistä
- Kennosto likaantuu helposti
- Pysyvä vesikalvo on mikrobien kasvualusta.

Kosteus toimii siis eristeen tapaan estäen optimaalisen lämmön siirron, kosteus on haitta tälle tekniikalle. Etuna on vähäinen ilmojen sekoittuminen. Varaavat järjestelmät varaavat lämpöä jonkin massaansa, tavanomaisesti metalliin, mistä lämpö siirtyy kylmempään ilmaan. Pyörivässä kennossa vastakkaiset ilmavirrat on ohjattu pyörivän metallimassan läpi, jolloin lämpö siirtyy kahdella tapaa viileään:

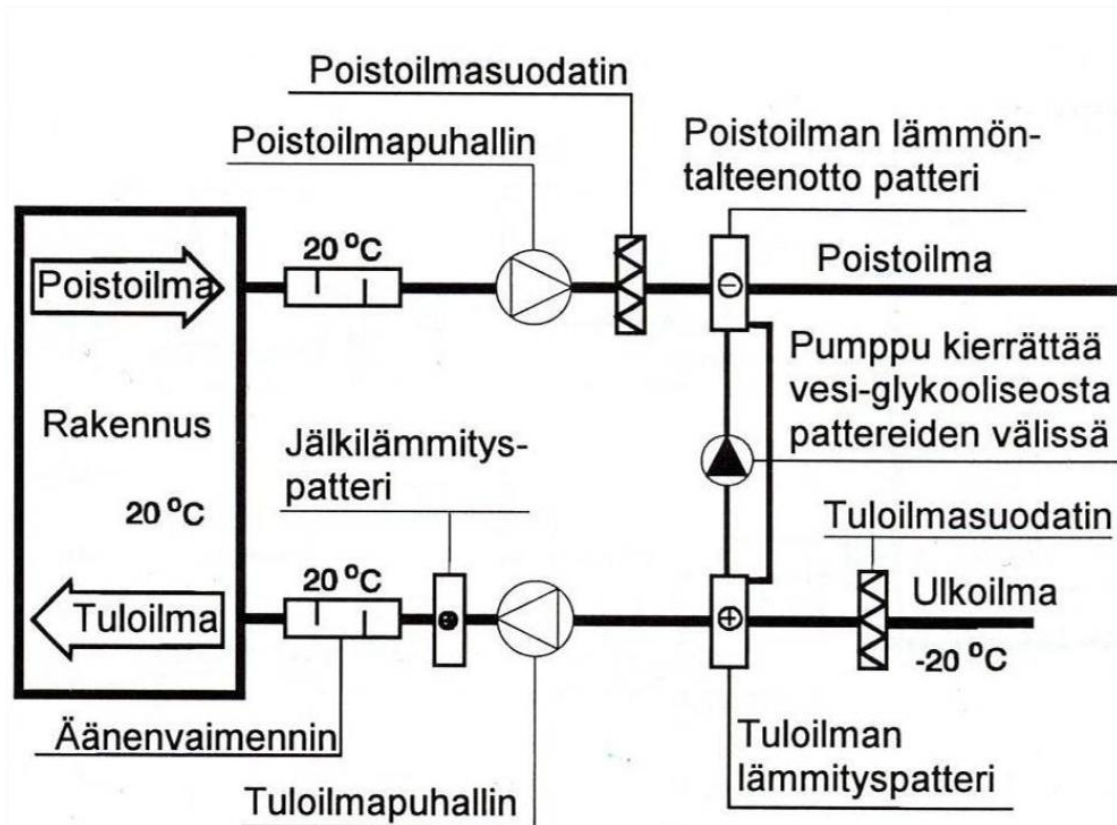
- Varastoituna pyörivään (metalli)massaan
- Suoraan pyörivän metallin siirtämänä

Periaatteensa mukaisesti pyörivä metallimassa ei koskaan ole täysin viileä eikä lämmin, jolloin sen lämmönsiirtokykyä ei täysin hyödynnetä, hyötysuhde ei ole maksimaalinen ja kosteus jää massan pintaan, minkä jäätyminen talvella on estettävä lisäenergialla, tällöin hyötysuhde ei ole paras mahdollinen. Osa kosteudesta pääsee talvella ulos sekä kesällä sisälle. Kennosto likaantuu helposti. Lisäksi ilmojen sekoittuminen on runsasta. Suuret pyörivät kennot tarvitsevat laakeroinnin uusimista säännöllisin väliajoin.

Varaavista tekniikoista toistaiseksi vähemmän tunnettuja ovat kiinteäkennoiset laitteet. Tavanomaisesti niissä on ihmisen keuhkojen tapaan kaksi lämpöä varastoivaa (metalli)kennoa. Ilmavirrat voivat olla joko samansuuntaisia tai vastakkaisia, viimeksi mainitussa on parempi hyötysuhde. Ilmavirtojen suunnan vaihtoon on kehitetty eri tekniikoita, mutta oven tapaan avautuvien ja sulkeutuvien läppien ongelmana on, monimutkaisen mekaniikan ja huollon tarpeen lisäksi, kennostojen jäätyksen estämiseen tarvittava lisäenergia, mikä vähentää hyötysuhdetta. Eräs tapa vaihtaa ilmavirtojen suunta, on käyttää tasoventtiiliä, jolloin kennosto ei jäädy eikä sen estämiseen tarvita lisäenergiaa, mikä parantaa hyötysuhdetta. Tällöin kennostossa mikrobit eivät voi kasvaa, koska jatkuvaa lämmintä ja kosteaa kasvualustaa ei ole, lisäksi kennosto on itsepuhdistuva/itsepesevä. Ilmojen sekoittuminen on vähäisempää kuin ihmiskeuhkoissa.

Yleensä tarkastellaan vain lämpötilahyötysuhdetta, siis sitä kuinka paljon lämpöä voidaan siirtää viileään. Huomiotta jää kokonaan kosteuden vaikutus, näin mm. EU:n direktiiveissä. Ilma ei käytännössä koskaan ole kuivaa. Toisaalta kosteuteen voi sisältyä huomattava määrä energiaa; mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän se voi sisältää energiaa. Käytännössä ristilevylämmönsiirtimien lämpötilahyötysuhde on Suomessa 0 (pohjoisessa) - 30 % (etelässä) kun kesällä lämmöntalteenotto kytketään pois kokonaan, jolloin ulkoilman lämpö ja kosteus pääsevät sisälle, mikä jo lähtökohtaisesti vähentää vuotuista hyötysuhdetta puolella. Tasoventtiiliä käyttävän varaavan laitteen parhaaksi lämpötilahyötysuhde on 105 %, mikä johtuu kosteuden eli latentin (piilevän) lämmön optimaalisesta hyödyntämisestä, jolloin kesäaikana saadaan aikaan ilmainen kosteuden haihtumiseen perustuva jäähdytys, , haihdutus- eli evaporatiivinen jäähdytys, jopa viisi celsius -astetta. Tällöin kyseessä on ilmastointi. Latentin lämmön osuus joissain tapauksissa on suurempi kuin tuntuvan lämmön, mikä on täysin ainutlaatuista. Kosteus on siis kaikin puolin hyöty tälle tekniikalle, mikä on todettavissa kesällä ilmaisena haihdutusjäähdytyksenä. Talvella lämpö ja kosteus pidetään sisällä sekä kesällä ulkona.

Kierrätysenergiaa hyödyntävä tekniikka kutsutaan englanniksi *enthalpy recovery* (entalpian talteenotto). Pyörivän kennon hyötysuhde on näiden välillä. /4/



Kuva 3. Lämmön talteenoton periaatekaavio. /3/

3.3.2 Ilman puhtaus ja suodatus

Ilmanvaihdon määrällä (kuinka paljon ilmaa vaihdetaan tilaa käyttävää henkilöä kohti) on selvä vaikutus sisäilman laatuun. Ilmanvaihdon lisääminen kymmeneen litraan ilmaa sekunnissa jokaista tilaa käyttävää henkilöä kohti parantaa selvästi sisäilman laatua. Ilmanvaihtoa lisättäessä energian kulutus kasvaa, mutta sisäilmaan liittyvä oireilu vähenee.

Hiilidioksidin määrää sisäilmassa pidetään yleensä ihmisestä peräisin olevien epäpuhtauksien mittarina. Rakentamismääräyskokoelman osassa D2 sanotaan huoneilman olevan tyydyttävää, kun hiilidioksidipitoisuus pysyy alle 2160 mg/m³ (1200 ppm). Tämä vastaa sisäilmastoluokituksen sisäilmastoluokkaa S3, S2 luokassa rajana on 900 ppm ja S1 luokassa 700 ppm.

Asuntojen ilmanvaihto on riittävää, kun ilmanvaihtokerroin on 0,5 1/h, eli ilmanvaihdon määrä on vähintään 0,5 m³/h/m³. Muiden oleskelutilojen ilmanvaihto täyttää terveysuojelulain vaatimukset, kun se on rakentamismääräyskokoelman osan D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto mukainen. Jos noudatetaan osan D2 liitteessä esitettyjä ohjearvoja, on sisäilmasto tavanomaisissa huonetiloissa yleensä tyydyttävä. Tilan käyttötarkoitus vaikuttaa ilmanvaihdon suunnitteluarvoihin.

Muutamien epäpuhtauksien tai ylimääräkosteuden poistamiseksi tarvittavia ilmamääriä:

- Hengityksestä tuleva CO₂ 4 l/s henkilöä kohden
- Asumisen aiheuttama kosteus 7...8 l/s henkilöä kohden talvella
- Kuivuvan pyykin aiheuttama kosteus 10 l/s kuivumisaikana
- Tupakoinnin aiheuttama häkä 20...40 l/s tupakoitsijaa kohden
- Rakennusmateriaalien orgaaniset päästöt (0,4 mg/h×m²) 0,2 l/s×m²

Tuloilman suodatustaso määräytyy sisäilman laadulle asetettujen vaatimusten ja ulkoilman laadun perusteella. Tuloilman suodatus suunnitellaan yleensä siten, että ilmansuodattimen erotusaste on vähintään 80 % 1,0µm:n hiukkasilla suodattimen käyttöiän aikana. Tämä vastaa ilmansuodattimen luokkaa F7 (EU 7).

Ilmanvaihtojärjestelmään voi kertyä epäorgaanisia ja orgaanisia epäpuhtauksia käytön aikana, mutta myös jo ennen käyttöönottoa mm. ilmanvaihtojärjestelmän osien valmistamisen, kuljetuksen, varastoinnin, asentamisen ja rakentamisen aikana. Ilmanvaihtojärjestelmä pitäisi puhdistaa tarvittaessa ennen käyttöönottoa. Syitä ilmanvaihtojärjestelmän likaantumiseen:

- Ennen käyttöönottoa ilmanvaihtolaitteiden osien valmistuksessa
- Kuljetuksessa
- Varastoinnissa epäpuhtauksien kertyminen pinnoille
- Tavanomaisessa käytössä epäpuhtauksien kertyminen
- Kosteuden aiheuttama mikrobikasvu

Järjestelmään kertyneet epäpuhtaudet voivat aiheuttaa viihtyisyyshaittaa hajuina. Äänieristeinä käytetyistä eristemateriaaleista irtoavat kuidut tai järjestelmien

mikrobikasvu saattavat aiheuttaa terveyshaittaa, mm. ärsytysoireita, päänsärkyä tai allergiaoireiden pahenemista.

Mikrobikasvu vaatii kosteutta, joka yleensä on peräisin kostutus- ja jäähdytyslaitteista tai lumen pääsystä tuloilmakoneeseen. Kuiva pakkaslumi tunkeutuu sellaisiinkin paikkoihin, joihin vesi- tai tavallinen lumisade ei muutoin pääse, kuten suodattimille. Lumen kerääntyessä kammioon lumen pinnan korkeus voi ulottua sulkupeltien ja suodattimien tasolle. Lumesta sulanut vesi kastelee suodattimet ja myös muun ilmanvaihtojärjestelmän.

Jos ilmanvaihtokanaviston lämmöneristys on puutteellinen, kondensoituu kylmän kanaviston pinnalle vettä, joka voi muodostaa pölyn kanssa kasvualustan mikrobeille. Ilmanvaihtokoneet tulisi säätää aika ajoin. Suodattimet tulisi vaihtaa säännöllisesti, koska suodattimien hajupäästöt kasvavat niiden käytön myötä. Lisäksi likaiset suodattimet pienentävät ilmamääriä merkittävästi. Suodattimien vaihto perustuu useissa kiinteistöissä suodattimien aiheuttaman painehäviön mittauksiin. Jos suodattimissa on reunavuotoja, painehäviö ei korreloi hyvin suodattimien kuormittuneisuuteen tai vaihtotarpeeseen. Suodattimien takapinnan tummuuden arviointi on osoittautunut luotettavaksi suodattimen kuormittuneisuuden mittariksi.

Tuloilmakanavat puhdistetaan lähinnä hygieenisistä syistä ja poistoilmakanavat paloturvallisuussyistä. Kiinteistön omistajan tai haltijan on huolehdittava ilmanvaihtolaitteiston asianmukaisesta puhdistamisesta. Poistoilmakanavistojen puhdistamisesta on paloturvallisuussyistä annettu virallisia ohjeita. Sisäasiainministeriön päätöksen (1/95) mukaan ilmanvaihtolaitteistot tulisi puhdistaa rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen seuraavin väliajoin:

- Ravintolan keittiön ja laitoskeittiön, palavia nesteitä käyttävien teollisuuslaitosten tai laitosten, joiden kanavistoon kertyy palavia aineita, ilmanvaihtolaitteistot puhdistetaan vuoden välein
- Ravintolasalin, sairaalan, hotellin ja muiden vastaavien tilojen poistoilmalaitokset viiden vuoden välein
- Asuinkerrostalon ja työpaikkahuoneistojen tulo- ja poistoilmalaitokset kymmenen vuoden välein

- Asuntojen liesituulettimien suodattimet on puhdistettava muutamia kertoja vuodessa. /5/

4 BACNET

BACnet (Building Automation and Control networks) on American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineeringsin (ASHRAE) kehittämä tietoliikenneprotokolla, ja on käytössä laajalti keskieuroopassa ja Yhdysvalloissa. BACnet on kehitetty erityisesti vastaamaan talotekniikan tarpeita ja BACnetin käyttöönotto on kasvanut johtavien kiinteistöautomaatiolaittevalmistajien keskuudessa. Kehitys aloitettiin vuonna 1987 ja kehitystyöhön osallistui monta työryhmää, jotka keskittyivät kenttäväylän eri osa-alueisiin. BACnet kattaa kokonaan hallinnointi-, automaatio- ja kenttätasot, ja European Committee for Standardisation (CEN) onkin ottanut BACnetin prestandardiksi hallinnointi- ja automaatiojärjestelmille.

BACnet-standardi on laajuudeltaan n. 700-sivuinen ja se määrittelee BACnetin sopivista kaapeleista lähtien yksittäisiin ohjelmakäskyihin asti. BACnet-verkossa toimiville laitteille on määritelty tarvittavat standardiobjektit ja objektien välinen tietoliikenne muodostetaan standardiviesteillä. BACnetin yksi perusajatus on, että se ei ole riippuvainen mistään tietystä laite- tai ohjelmistoalustasta.

BACnet-standardin mukainen käyttö mahdollistaa mm. seuraavat asiat:

- Tiedonsiirto erilaisten verkkojen ja laitteiden välillä
- Hälytysten ja tapahtumien hallinta
- Historiatietojen tallennus ja hyödyntäminen
- Ajoitetut toiminnot
- Etälaitteiden ja verkon hallinta

BACnet protokolla tarjoaa ”plug-and-play” integroinnin rakennusautomaatiolaitteille. Tämä tekee siitä samankaltaisen kuin jo aikaisemmin olemassa olevan Lonworks protokollan, mutta toisin kuin Lonworks, BACnetistä ei yksittäisen käyttäjän tarvitse maksaa erillistä lisenssimaksua, joka tekee BACnetistä edullisemman.

Avoimet järjestelmät, kuten BACnet, mahdollistaa eri valmistajien laitteiden integroinnin helposti. BACnet on yksi helppopääsyisimmistä avoimista järjestelmistä, ja tarjoaa näin ollen enemmän pelivaraa tulevaisuuden kehittämistä varten. Kaikki BACnet laitteet keskustelevat samalla kielellä, ilman lisälaitteita tai porttiväyliä.

BACnet on suunniteltu tarjoamaan kaikki palvelut, joita rakennusautomaatiojärjestelmät tarvitsevat. Kun käyttö, eli laite, kommunikoi BACnet koodilla tarkoittaa se, että sen voi helposti ja saumattomasti integroida automaatiojärjestelmään. Aikaisemmin käytöt pystyttiin kytkemään samaan automaatiojärjestelmään ainoastaan kohde- ja laitekohtaisten kääntäjien (porttiväylien) avulla. BACnetin avulla eri valmistajien laitteet saadaan kytkettyä samaan automaatiojärjestelmään helposti ja edullisesti. /6/

4.1 BACnet-standardi

BACnet määrittää kuusi standardoitua laitetyyppiä:

- BACnet Operator Workstation (B-OWS)
B-OWS on operaattorin ikkuna BACnet järjestelmään. Sitä käytetään ensisijaisesti järjestelmän operaattorina.
- BACnet Building Controller (B-BC)
B-BC on yleiskäyttöinen, kentällä ohjelmoitava laite, joka pystyy erottelemaan rakennusautomaation ja kontrolloinnin.
- BACnet Advanced Application Controller (B-AAC)
B-AAC on kontrollointilaite, rajallisesti verrannollinen B-BC –laitteille. Ne on tarkoitettu spesifioituihin sovelluksiin ja auttavat osittain ohjelmallisuutta.
- BACnet Application Specific Controller (B-ASC)
B-ASC on kontrolloija joka on rajallisesti verrannollinen B-AAC –laitteille. Ne on tarkoitettu spesifioituihin sovelluksiin ja auttavat osittain ohjelmallisuutta.
- BACnet Smart Actuator (B-SA)
B-SA on yksinkertainen kontrollointilaite rajallisilla mahdollisuuksilla. Se on tarkoitettu spesifioituihin sovelluksiin.
- BACnet Smart Sensor (B-SS)
B-SS on tunnusteleva laite erittäin rajallisilla mahdollisuuksilla.

BACnet-standardi määrittelee 23 objektityyppiä:

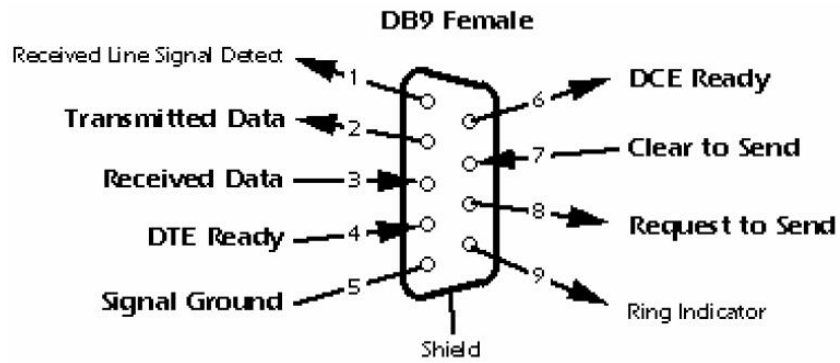
- Binääri-sisääntulo
- Binääri-ulostulo
- Binääri-arvo
- Analogi-sisääntulo
- Analogi-ulostulo
- Analogi-arvo
- Monitila-sisääntulo
- Monitila-ulostulo
- Monitila-arvo
- Tiedosto
- Ohjelma
- Aikataulu
- Historialoki
- Ryhmä
- Silmukka
- Kalenteri
- Tapahtuman kirjaaminen
- Tiedonantoluokitus
- Keskiarvo
- Käsky
- Laite
- Turvallisuusalue
- Turvallisuuspiste

Erilaisia viestityyppejä BACnet-standardissa on määritelty 35 ja ne on jaettu viiteen eri luokkaan. /6/

4.1.1 Liityntätiedot

BACnet/PTP: RS-232

9-napaisen liittimen ja RJ45 –liittimen kytkennät näkyvät alla olevissa kuvissa 4 ja 5.

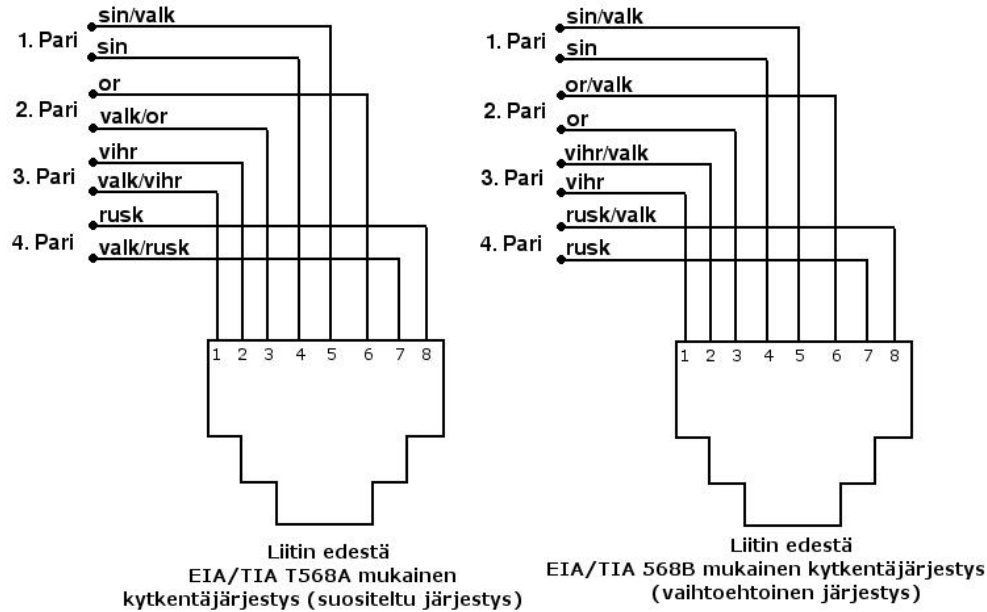


Kuva 4. RS-232 –kytkentä. /7/

Taulukko 3. RS-232 –kytkentä. /7/

IN	1	DCD	Data Carrier Detect
IN	2	RD	Receive Data
OUT	3	TD	Transmit Data
OUT	4	DTR	Data Terminal Ready
--	5	GND	Signal Ground
IN	6	DTS (DSR)	Data set Ready/ring indicator
OUT	7	RTS	Request to Send
IN	8	CTS	Clear to Send
IN	9	RI	

8-napaisen modular-naarasliittimen (RJ45) kytkentäjärjestys:



Kuva 5. RJ45 –liittimen kytkentä. /8/

Taulukko 4. RJ45 –kytkentä. /7/

1	DSR	Data set Ready/ring indicator
2	DCD	Data Carrier Detect
3	DTR	Data Terminal Ready
4	GND	Signal Ground
5	RD	Receive Data
6	TD	Transmit Data
7	CTS	Clear to Send
8	RTS	Request to Send

BACnet/MSTP (Master and Slave operation): RS-485

RS485 on Electronics Industries Associationin (EIA) laatima sarjaliitennestandardi (RS = Recommended Standard). RS485 on kehittyneempi versio RS422:sta, joka puolestaan on kehittyneempi versio RS232:sta. Vaikka RS485-sarjaliitettä esiteltiin jo vuonna 1983, se ei ole yhtä tunnettu kuin RS323. RS485 suunniteltiin pääasiassa teollisuuden ohjausjärjestelmien datansiirtoon. RS232-liitännän ongelmina teollisuuden järjestelmissä ovat hidas tiedonsiirtonopeus ja varsin lyhyt siirtomatka. RS485 on tässä ja monissa muissakin suhteissa RS232:sta etevämpi. /9/

4.1.2 Bacnet rajapinnat, Lon ja EIB

Käyttämällä asiakas-palvelin-arkkitehtuuria voidaan integroida BACnet ja LON käyttämällä BACnet- tai LON OPC-serveriä erottamaan kommunikointiväylät. ASI LinkOPC-serveri kommunikoi ASI Control-laitteiden kanssa, ja asiakkaan ohjelmisto voi muuttaa datan erilaisten järjestelmien välillä. ASI Weblink pystyy käsittelemään dataa usealta OPC -serveriltä. /10/

Yksi yhtiö tarjoaa rajapinnan BACnetin ja LON-väylän välille. Tridium on kehittänyt järjestelmän, joka tarjoaa TCP/IP-pohjaisen kommunikaation ja sisältää molemmat väylät, BACnetin ja LON-väylän. /11/

Kun BACnet- ja EIB-laitteet ja LonWorksin toiminnalliset profiilit ovat informatiivisessa muodossa ja XML on käytettävä kieli, voidaan tarjota näille XML -muodossa korkeatasoinen tiedonsiirto ja tehdä niistä yhteensopivat Webpalvelin arkkitehtuurin kanssa. Koska XML on joustava ja käytetään Webpalvelinarkkitehtuuria, voidaan tämä laajentaa käsittämään muunkin tyyppisiä luotettavia tiedonsiirtoja. /9/

KNX on järjestelmä, jolla pystytään ohjaamaan erilaisia sähköjärjestelmiä samanaikaisesti. Näitä järjestelmiä ovat esimerkiksi valaistus-, turva-, lämmitys-, jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmät sekä audio/video-järjestelmät. Tiedonsiirto järjestelmässä tapahtuu kierrettyä parikaapelia, Powerlinea tai radiotaajuutta hyödyntäen. /12/

5 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT

5.1 Yleistä

Taajuusmuuttajaa kutsutaan myös taajuuden muuttajaksi, invertteriksi ja moottorivaihtosuuntaajaksi. Taajuusmuuttajia käytetään nykyisin kiinteistöjen ilmanvaihtokojeiden puhaltimien moottoreiden kierrosnopeuden portaattomaan säätöön, mikä mahdollistaa merkittäviä sähkö- ja lämmitysenergian säästöjä. Teollisuuden käyttökohteista tavallisimmat ovat erilaiset pumppu- ja puhallinkäytöt, joissa taajuusmuuttajakäyttö säästää energiaa perinteiseen kuristussäätöön verrattuna. Vaativimpia käyttökohteita ovat paperi- ja terästeollisuuden linjakäytöt, joissa säädön tarkkuusvaatimukset ovat hyvin suuret.

Oikosulkumoottorit ovat luotettavia ja omaavat erinomaisen hyötysuhteen. Taajuusmuuttajakäytössä on useita muita hyötyjä. Taajuusmuuttajakäytössä käynnistysvirtaa voidaan pienentää käynnistämällä moottori pehmeästi. Moottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti ja tarkasti, suunnanvaihtokin onnistuu vaivattomasti. Moottorin kiihdytys- ja hidastusaikoja voidaan myös säätää. Esimerkiksi kaksinapaista moottoria (3000 rpm) voidaan taajuusmuuttajakäytössä ajaa 3600-6000 rpm:n nopeudella, riippuen kuinka suuri moottori on käytössä. Kun oikosulkumoottoria käytetään taajuusmuuttajakäytössä päästää usein myös merkittäviin taloudellisiin säästöihin pienemmän virrankulutuksen ja alhaisten rakenneosaj- ja työkuukustannuksien myötä. Suosittuja taajuusmuuttajakäytön kohteita ovat pumppu- ja puhallinkäytöt, rullaratakäytöt, kuljettimet, hissit, nosturit, erilaiset tuotantolinjat, sähköautot sekä tuulivoimalat. Taajuusmuuttajakäyttöjen etuihin kuuluu myös helposti toteutettu kauko-ohjaus. Taajuusmuuttajaa voidaan kytkeä kenttäväylään tai verkkoon, ja näin ollen helposti muuttaa sen parametrejä ja säätöjä tietokoneelta jonka ei tarvitse sijaita taajuusmuuttajan lähistöllä. /13/

5.2 Teoria

5.2.1 Sähkömoottorin nopeudensäädön periaate

Tasavirtamoottorin nopeutta voidaan säätää muuttamalla pelkästään jännitettä, oikosulkumoottorin nopeutta puolestaan voidaan säätää muuttamalla sekä jännitettä, että taajuutta. Tasavirtamoottorin vääntömomentin säätö on suoraviivaista, sillä moottorin ankkurivirta määrää suoraan verrannollisesti vierasmagnetoidun tasavirtakoneen vääntömomentin. Oikosulkumoottorin virta taas sisältää sekä moottorin magnetoinnin, että vääntömomentin tuottavat komponentit, minkä vuoksi vääntömomentin säätöä varten tarvitaan ns. vektorisäätöä. Jännitevälipiirillisten taajuusmuuttajien ohjaus perustuu joko skalaarisäätöön, skalaarivektorisäätöön tai suoraan momenttisäätöön.

Skalaarisäädössä säädettävät muuttujat ovat jännite ja taajuus. Pelkkään skalaarisäätöön perustuvassa ohjauksessa ei käytetä takometriä tai muita mittalaitteita, jotka mittaavat moottorin pyörimisnopeutta ja roottorin asentoa. Pelkkään skalaarisäätöön perustuvassa ohjauksessa huonoja puolia ovat ohjauksen epätarkkuus sekä pieni käynnistysmomentti. Hyviä puolia ovat järjestelmän yksinkertaisuus sekä järjestelmän halpa hinta. Skalaarisäätöön perustuvia taajuusmuuttajia käytetään yleisesti kohteissa, joissa ohjaukselta ei vaadita suurta tarkkuutta, kuten pumppu- ja puhallinkäytöissä.

Skalaarivektorisäätö on paranneltu versio skalaarisäädöstä. Skalaarivektorisäädössä taajuusmuuttaja saa palautetta moottorilta. Taajuusmuuttajan tarvitsemat tiedot ovat tieto moottorin nopeudesta sekä roottorin asennosta. Skalaarivektorisäädössä moottorin vääntömomenttia voidaan säätää. Skalaarivektorisäädössä säädettävät muuttujat ovat jännite virta ja taajuus.

Skalaarivektorisäädössä moottorilta mitatut suureet syötetään moottorin matemaattiseen malliin. Moottorin tilatiedoista voidaan laskea moottorin magneettivuo sekä jakamaan virta vääntömomenttia ja magneettivuota kuvaaviin osiin. Näitä kumpaakin virranosaa pystytään säätämään erikseen. Virranosia tarvitaan siihen, että moottorin vääntömomenttia voidaan säätää. Skalaarivektorisäädön hyviä puolia ovat säädön tarkkuus, vääntömomentin säätäminen sekä hyvä käynnistysmomentti. Huonoja puolia ovat järjestelmän monimutkaisuus ja kalleus.

Suora momenttisäätö, eli DTC (Direct Torque Control) on ABB Oy:n kehittämä taajuusmuuttajien ohjaustapa. Suorassa momenttisäädössä säädettäviä muuttujia ovat magneettivuo ja momentti. Suorassa momenttisäädössä magneettivuolle ja momentille asetetaan rajat, joiden sisällä niiden on pysyttävä. Magneettivuon, momentin tai molempien mennessä annettujen rajojen ulkopuolelle suoritetaan korjaustoimenpide, joka palauttaa suureet annettuihin rajoihin. Suora momenttisäätö tarvitsee hyvin tarkan matemaattisen mallin. Suorassa momenttisäädössä ei tarvita palautetta moottorilta, vaan taajuusmuuttaja pystyy laskemaan moottorin tilatiedot itse. Suora momenttisäätö on kaikkein kehittynein markkinoilla oleva ohjausmenetelmä. Suoran momenttisäädön hyviä puolia ovat ohjauksen tarkka säätö, suuri käynnistysmomentti ja yksinkertainen rakenne. /14/

5.2.2 Rakenne

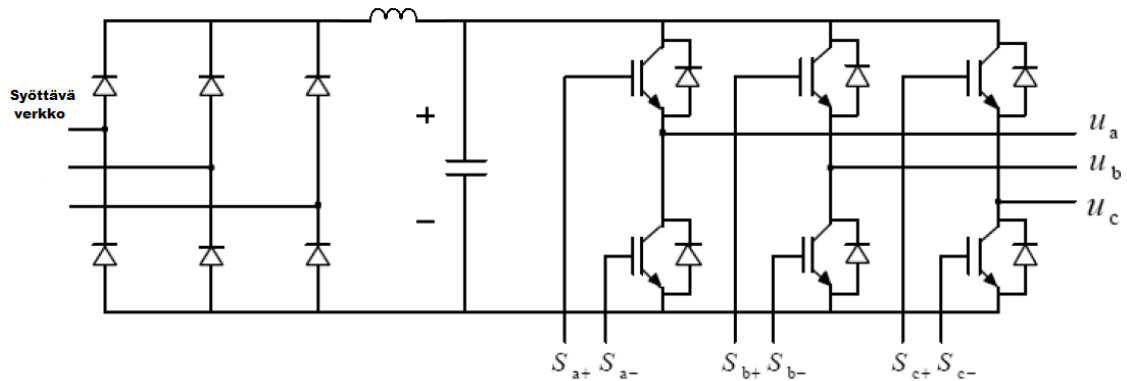
Taajuusmuuttajalla muokataan verkon kiinteätaajuisesta ja –amplitudisesta jännitteestä oikosulkumoottorin vääntömomentin ja pyörimisnopeuden vaatimaa jännitettä. Yleisin taajuusmuuttajatyyppeistä koostuu kolmesta osasta; tasasuuntaajasta, suodatus- ja kapasitanssipiiristä sekä vaihtosuuntaajasta.

Tasasuuntaaja tasasuuntaa vaihtojännitteen tasajännitteeksi. Tasasuuntaus toteutetaan yleensä joko diodi- tai tyristorisillalla. Tasasuuntaus saattaa aiheuttaa verkossa epätoivottuja häiriöitä ja häviöitä yliaaltojen vuoksi. Tasasuunnattu sähköteho suodatetaan kuristin- ja kondensaattorisuodattimilla. Kondensaattorit vakauttaa vaihtosuuntaajan syöttöä ja varastoi syötettyä sähkötehoa. Kondensaattoreiden ja kelojen muodostama suodatinpiiri pienentää jännite- ja virtapiikkejä ja näin ollen rauhoittaa taajuusmuuttajan toimintaa.

Vaihtosuuntaus toteutetaan kytkinkomponenteilla, esim tyristoreilla tai IGBT-transistoreilla. Uusissa taajuusmuuttajissa on useimmiten käytössä IGBT- transistoreita. Vaihtosuuntaajan muodostama jännite on muodoltaan kantiaaltoa, jonka pulssinleveyttä voidaan säätää muuttamalla kytkinkomponentin kytkentätaajuutta. Jännite suodatetaan (lähes) sinimuotoiseksi ennen kuin se syötetään moottorille.

Kuvassa 6 on esitetty jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan rakenne. Verkosta saatava kolmivaiheinen jännite tasasuunnataan diodisillalla välipiirin tasajännitteeksi. Vaihtosuuntaajapuolen transistorisillalla muunnetaan tasajännite taas kolmivaiheiseksi

vaihtojännitteeksi. Transistorikytkimiä ohjataan signaaleilla S_{a+} , S_{a-} , S_{b+} , S_{b-} , S_{c+} ja S_{c-} sopivasti vuoroin johtavaan ja johtamattomaan tilaan, jolloin saadaan halutun taajuista ja amplitudista vaihtojännitettä u_a , u_b ja u_c . Yleensä käytetään pulssinleveyden modulointia, jolla saadaan lähes sinimuotoista vaihevirtaa, joka reagoi nopeasti muutoksiin. /15/



Kuva 6. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan rakenne. /15/

5.2.3 Yliaallot

Yliaallot muodostuvat taajuusmuuttajan tasa- ja vaihtosuuntauksessa. Yliaallot ovat pääosin virtayliaaltoja. Myös jänniteyliaaltoja syntyy, mutta ne muodostuvat yleisimmin virtayliaaltojen ja verkon impedanssin tulona ($U=IZ$). Yliaaltojen ansiosta jännite- ja virtakäyrät eivät ole enää sinimuotoisia. Yliaalloilla on paljon haittavaikutuksia, kuten moottorin, kaapeleiden ja muuntajien lämpeneminen, resonanssi-ilmiöitä moottorissa, sekä ohjauslaitteiden häiriötoiminnat. Kompensointikondensaattoriparistot voivat yhdessä muuntajan impedanssin kanssa muodostaa resonanssipiirin, joka suurentaa yliaaltoa entisestään.

Yliaallot voidaan jakaa kahteen ryhmään; EMC ja harmoniset. Harmoniset yliaallot ovat perusaallon (yleisimmin 50Hz) moninkertoja. Harmoniset yliaallot johtuvat, mutta eivät säteile. EMC, eli sähkömagneettinen säteily, sen sijaan johtuu ja säteilee.

Sähkömagneettinen säteily voi säteillä muihin lähellä oleviin kaapeleihin ja laitteisiin ja aiheuttaa häiriöitä, lämpenemistä ja jopa laitteiden hajoamista. Taajuusmuuttajissa on usein EMC-suodin verkon puolella. Säteileviin häiriöihin vaikuttaa moottorikaapelin pituus ja tyyppi (vaippa), sekä vaihtosuuntaajan kytkentätaajuus. Moottorikaapeliksi suositellaankin symmetristä suojattua kaapelia. Harmoniset yliaallot muodostuvat diodisillan verkkojännitteeseen aiheuttamasta säröstä. /16/

Pumppu- ja puhallinkäytöissä yliaallot voivat kasvattaa moottorin roottorihäviöitä, pienentää momenttia, sekä lyhentää moottorin elinikää epäsymmetrisen kuormituksen takia. Yliaallot voivat myös häiritä pumppu- ja puhallinprosessin tarkkuutta, eli nopeus saattaa heitellä. /20/

5.3 Tehoelektroniikan kehitys – keskeinen osa taajuusmuuttajien kehityksessä

Taajuusmuuttajien kehitys on ollut nopeaa viime vuosikymmeninä. Kehityksen pohjana on ollut tehoelektroniikan komponenttien nopea tehostuminen. Kun Suomessa 1970-luvulla Oy Strömberg Ab:n tuotekehitysinsinööri Martti Harmoinen ryhtyi työryhmänsä kanssa kehittämään tekniikkaa oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säätöä varten, käytettiin vielä tavallisia tyristöireita moottorivaihtosuuntaajassa. Tyristori on siitä hankala komponentti, että sitä voidaan kytkeä varsin hitaasti, eikä se sammu ilman ulkoista apujärjestelmää. Siinä vaiheessa, kun hilalta sammutettavat GTO-tyristorit (Gate Turn Off) kehitettiin, saatiin ensimmäiset vektorisäätöiset Strömbergin invertteritkin markkinoille. /13/

Seuraavassa vaiheessa käytettiin suuria Darlington -transistöireita moottorivaihtosuuntaajien pääteasteessa ja lopuksi käyttöön otettiin IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), jossa yhdistyvät MOSFET:ien (Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor) helppo ohjattavuus ja bipolaaritransistorien hyvä virranjohtokyky. Nyt käytössä on neljännen sukupolven IGBT, jonka ympärille voidaan rakentaa jopa 5000 kilowatin (kW) 690 voltin (V) taajuusmuuttajia. Suurjännitetaajuusmuuttajia on markkinoilla, ja niissä sovelletaan joko GTO- tai IGC-tyristöireita (Integrated Gate Controlled). /13/

Tehoelektroniikan komponenttien lisäksi välttämättömiä ovat prosessorit. Erilaiset, mm. matkapuhelimissakin käytetyt signaaliprosessorit suorittavat nykyajan taajuusmuuttajissa tarvittavat laskutoimet ja käyttöliittymien, sekä teollisuusautomaation pyörittämiseen tarvittavat ohjelmat. /13/

5.4 Taajuusmuuttaja ympäristötekniikan kannalta

Taajuusmuuttajaa voidaan pitää merkittävänä ympäristöteknisenä laitteena. Kun moottoreita voidaan taajuusmuuttajan avulla säätää täsmälleen tarpeen mukaisesti, vähenee sähkönkulutus merkittävästi.

On laskettu, että suomessakin voitaisiin säästää satoja megawatteja tehoa, jos kaikki soveliaat moottorikäytöt varustettaisiin taajuusmuuttajilla. Esimerkiksi kiinteistöjen energiansäästöä voitaisiin merkittävästi tehostaa ohjaamalla ilmanvaihtoa juuri oikean tarpeen mukaisesti taajuusmuuttajien avulla. Taajuusmuuttajat ovat yleisiä uusissa rakennuksissa, mutta sopivia vanhempia käyttökohteita löytyy lähes mittaamattomasti.

/13/

5.5 Suomalainen teollisuus edelläkävijänä sähkökäytöissä

Suomalainen teollisuus on tehostanut energiakäyttöään varsin hyvin ja yksi tärkeä tekijä on juuri taajuusmuuttaja. Varsinkin metsäteollisuus on toiminut sähkökäyttökniikan kehitystä edistäneenä veturina. Taajuusmuuttajakäyttöiset kestopagneettimoottorit pyörivät jo suomalaisessa paperiteollisuudessa. Myös suomalainen hissiteollisuus on ollut ensimmäisten joukossa käyttämässä kestopagneettimoottoreita ja taajuusmuuttajia hissien sähkökäytöissä. /13/

6 TAAJUUSMUUTTAJAN KÄYTTÖKOHTEET JA SAAVUTETTAVAT HYÖDYT

6.1 Pumppu- ja puhallinkäytöt

Sähkömoottoreiden yleistyminen ja niiden lisääntyminen ovat nykypäivää. Joissain tapauksissa niitä syötetään suoraan verkosta ilman minkäänlaista säätöä, eli ne käyvät täysillä kierroksilla, vaikkei olisi tarvetta. Tämä ongelma kohdistuu erityisesti puhallinkäyttöihin, joissa säätö tapahtuu usein ilmassaa kuristamalla.

Pumppu- ja puhallinkäytöissä pienikin kierrosnopeuden alentaminen saa aikaan merkittävän energiansäästön. Esimerkiksi, jos puhaltimen pyörimisnopeutta pystytään alentamaan 20% (50 hertsistä 40 hertsiin), putoaa teho 100%:sta 51%:iin (teho on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin).

Energiansäästön kannalta on myös tärkeää, että esimerkiksi sähkömoottoreiden käynnistykset ja pysäytykset tapahtuvat tasaisesti. Tämä lisää laitteiden elinikää, koska mekaaniset osat säästyvät turhilta rasituksilta.

Suurin osa pumppu- ja puhallinkäytön energiahäviöistä muodostuu mitoitus- ja säätöhäviöistä. Sähkönsäästön kannalta olisikin tärkeää, että nämä häviöt tulisi karsia pois ilmanvaihtojärjestelmistä.

Mitoitushäviöitä saadaan vähennettyä sekä moottorin, että toimilaitteen (esim. pumpun tai puhaltimen) optimaalisella sovituksella prosessin tarpeisiin. Sovituksen ideana on, että laite toimii prosessissa parhaan hyötysuhteen alueellaan. Moottorin osalta optimointitehtävä on suhteellisen yksinkertainen, tarkoittaen oikeankokoisen ja parhaan hyötysuhteen omaavaa moottoria. Pumpun ja puhaltimen valinta optimaalisesti on hankalampaa, koska ne on sovittava yhtäaikaaisesti sekä prosessin tarvitseman virtauksen, että paine-eron osalta.

Prosessin suunnittelussa on otettava huomioon, että paine-ero- ja virtausarvot eivät ole välttämättä tarkkoja, ”lopullisia” arvoja. Pumput ja puhaltimet ylimitoitetaan yleensä reilusti, koska alimitoitus on virhe, jota halutaan erityisesti välttää. Ylimitoituksen

huono puoli on se, että se huonontaa puhaltimen hyötysuhdetta. Säätohäviöt syntyvät tarpeesta säätää moottorikäyttöjen tekemää työtä. Pumppujen ja puhaltimien yhteydessä on tärkeää säätää moottorikäyttöjen tekemää työtä. Pumppujen ja puhaltimien yhteydessä on tärkeää säätää virtaus prosessin tarpeiden mukaan. Pitkään käytössä ollut virtauksen kuristaminen säätöventtiilillä on edelleenkin yksi yleisimmistä säätötavoista. Mitä enemmän venttiilillä kuristetaan, sitä enemmän energiaa menetetään säätöventtiilissä tapahtuvan painehäviön kautta.

Pyörimisnopeussäädön periaatteena on pienentää virtausta ja paine-eroa pumpun tai puhaltimen kierrosnopeutta pienentämällä, ja näin ollen välttää kuristushäviöt. Virtaus muuttuu suurin piirtein suhteessa pyörimisnopeuden muutokseen ja paine-ero suhteessa sen neliöön. Staattisen vastapaineen ollessa pieni, pumpun tai puhaltimen hyötysuhde ei juuri huonone virtauksen pienentyessä. Tämä tekee pyörimisnopeussäädöstä todella energiatehokkaan säätötavan.

Jos taas staattinen vastapaine on suuri, pumpun ja puhaltimen hyötysuhde huononee huomattavasti virtauksen pienentyessä. Kuristussäädön korvaaminen pyörimisnopeussäädöllä säästää aina energiaa. Energiasäästön suuruus riippuu säätöalueen laajuudesta, virtauksesta, toimilaitteesta, sekä virtausprosessista (staattisesta vastapaineesta). Energiansäästön määrää on hankalaa luotettavasti selvittää ilman positiokohtaisia riittäviä ja tarkkoja mittaustuloksia.

Taajuusmuuttajien avulla toteutettu pumppujen ja puhaltimien pienempi pyörimisnopeus voi säästää parhaimmassa tapauksessa jopa 60 prosenttia sähköä. Jos pumppujen ja puhaltimien pyörimisnopeus saadaan pudotettua puoleen normaalista nopeudesta, moottorit kuluttavat sähköä ainoastaan kahdeksasosan siitä, mitä ne tuottavat normaalisti.

Taajuusmuuttajien avulla saavutettu moottorien pehmeämpi käynnistys ehkäisee myös putkien, venttiilien ja erilaisien sensoreiden rikkoutumista painevaikutuksen vuoksi. Taajuusmuuttajien avulla pystytään saavuttamaan myös moottorin 5 - 20 prosentin pyörimisnopeuden lisäys, joten taajuusmuuttajakäyttöjen avulla pystytään saavuttamaan helposti myös ylikapasiteettia.

ABB:n FanSave 4.4.2 -laskentaohjelma laskee energian säästön, joka syntyy, kun puhallinkäyttöön asennetaan taajuusmuuttaja. Ohjelmalla laskettiin esimerkkitapaus säästöstä, joka syntyy, kun taajuusmuuttaja syöttää puhallinta. Esimerkissä puhaltimen moottori, jota käytetään vuosittain noin 8 760 tuntia on teholtaan 37 kilowattia. Tällaiseen puhallinkäyttöön taajuusmuuttajainvestointi maksaa noin 3 000 euroa. Taajuusmuuttajan avulla laskelmien mukaan säästetään sähköä 57 MWh. Rahaa säästyy pienentyneen energian kulutuksen ansiosta vuosittain 5 712 euroa. Taajuusmuuttajainvestoinnin takaisinmaksuaika on noin puoli vuotta. /17, 18, 19/

6.2 Muut käyttökohteet

6.2.1 Nosturit

Taajuusmuuttajilla ohjatussa nosturikäytössä säästyy huomattavasti sähköenergiaa, verrattuna pelkästään oikosulkumoottorilla toteutettuun nosturikäyttöön. Taajuusmuuttajilla pystytään ohjaamaan oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta juuri nostotapahtuman vaativalle tasolle. Pelkällä oikosulkumoottorilla toteutetussa nosturikäytössä moottorin pyörimisnopeutta täytyy säätää erilaisilla jarruilla ja vaihteistoilla. Taajuusmuuttajien avulla pystytään karsimaan liialliset, helposti hajoavat mekaaniset osat nosturikäytöstä kuten vaihteistot ja jarrut. Taajuusmuuttajien tarkan ohjauksen avulla saavutetaan myös pehmeämmät suunnan ja tilan muutokset kuin pelkällä oikosulkumoottorilla. Nämä pehmeämmät tilan muutokset säästävät nosturin laakereita, vajereita sekä kaikkia mekaanisia osia.

Taakan laskutilanteessa oikosulkumoottorin generaattorina tuottama sähköenergia saadaan taajuusmuuttajien kautta helposti syötettyä takaisin sähköverkkoon. Taajuusmuuttajan avulla nosturin moottorin verkkoon päin syöttämä sähkö saadaan muutettua täsmälleen halutunlaiseksi. Taajuusmuuttajaan takaisinpäin tuleva sähkö ensin tasasuunnataan, jonka jälkeen tasavirtaa käsitellään taajuusmuuttajan välipiirissä. Välipiirin jälkeen tasavirta vaihtosuunnataan ja syötetään verkkoon päin. Taajuusmuuttajaa käytettäessä vältytään myös oikosulkumoottoreiden huonoilta puolilta eli suurelta käynnistysvirralta ja pieneltä käynnistysmomentilta. /17/

6.2.2 Tuulivoima

Taajuusmuuttajilla voidaan säätää generaattorin syöttämän jännitteen taajuutta. Tuulivoimaloissa, joissa ei ole taajuusmuuttajia, roottorin pyörimisnopeus on muutettava vaihteiston avulla generaattorille optimaaliseksi, jotta generaattori syöttäisi verkon taajuutta vastaavaa jännitettä. Vaihteiston pois jättämisellä saavutetaan huomattavia säästöjä. Vaihteisto on kallis osa tuulivoimalaa, ja sen pois jättämisellä säästetään huoltokustannuksissa, kun helposti hajoava mekaaninen osa saadaan jätettyä pois. Vaihteiston pois jättämisellä saavutetaan myös huomattava tilan säästö.

Taajuusmuuttajilla varustettu tuulivoimalaitos mahdollistaa myös sähköntuotannon hiljaisilla tuulen nopeuksilla, koska tuulen energiaa ei kulu liikaa mekaanisten osien pyörittämiseen. Taajuusmuuttajien avulla tuulivoimalan ylimääräistä energiaa voidaan myös varastoida roottorin mekaaniseksi pyörimisenergiaksi ja myös jonkin verran magneettiseksi energiaksi, jota voidaan hiljaisemmilla tuulen nopeuksilla vapauttaa generaattorin pyörittämiseen.

Taajuusmuuttajien avulla saadaan myös säädettyä suoraan verkon loistehoa. Ilman taajuusmuuttajia tarvitaan kalliita ja tilaa vieviä kompensointikondensaattoreita loistehon säätämiseen. /17/

7 TAAJUUSMUUTTAJAN TEKNISET VAATIMUKSET

7.1 Kaapelointi ja EMC

Sähkölaitteelta edellytetään sen turvallisuuden, luotettavuuden ja huollettavuuden lisäksi moitteetonta toimintaa muiden laitteiden kanssa sille tarkoitettussa ympäristössä. Häiriöttömän toiminnan takaa samaan käyttöympäristöön tarkoitettujen laitteiden sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC, electromagnetic compability). Sähkölaitte ei saa kohtuuttomasti lähettää ympäristöönsä häiriöitä, toisaalta, sen on siedettävä riittävässä määrin muualta tulleita häiriöitä. [Tukes-direktiivi]

Taajuusmuuttajakäyttöön siirtyminen tuo joitakin lisävaatimuksia kaapelointiin ja maadoitukseen. Moottori tulee kaapeloida suojatulla, symmetrisellä kaapelilla ja tiivisteholkeilla (tarkemmin sanottuna EMC-tiivisteholkeilla), jotka muodostavat 360 asteen liitoksen. Alle 30kW:n moottoreissa on mahdollista käyttää epäsymmetrisiä kaapeleita, mutta on aina suositeltavaa, että käytetään suojattuja kaapeleita (etenkin jos käytettävässä sovelluksessa on herkkiä antureita).

Moottorin rungon ja koneen välillä tarvitaan ylimääräinen potentiaalintasaus, jos moottorin IEC-runkokokoo on 280 tai suurempi. Moottorin ja koneen ollessa yhteisellä teräsalustalla, ylimääräistä potentiaalintasauasta ei tarvita. Kytkenän suurtaajuinen johtokyky tulee tarkistaa, jos teräsalusta toimii potentiaalintasauksena.

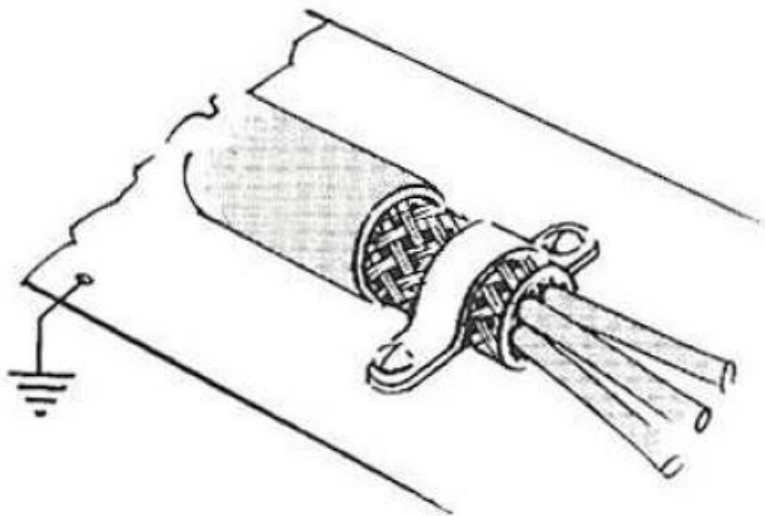
EMC-vaatimusten johdosta taajuusmuuttajakäytön yhteydessä tulee käyttää EMC-hyväksytyjä kaapeleita (esimerkiksi EMCMK- tai AEMCMK-kaapeleita) sekä maadoituksesta huolehtivaa tiivisteholkkiasennusta. Tarkemmat ja yksityiskohtaisemmat ohjeet löytyvät yleensä jokaisen taajuusmuuttajamallin käyttöoppaasta. /16/

7.2 Sähkömagneettisten häiriöiden estäminen

Taajuusmuuttajan varustaminen radiohäiriösuotimella (eli EMC-suotimella). Suodin tulee liittää taajuusmuuttajassa syöttävän verkon puolelle, jolloin sähkömagneettiset häiriöt eivät pääse johtumaan syöttävään verkkoon. EMC-suodin pitää liittää

taajuusmuuttajaan lyhyellä kaapelilla, koska tällä tavoin häiriösäteilyvaikutus on mahdollisimman pieni.

Moottorikaapelin täytyy olla suojattua, eli armeerattua kaapelia. Suojavaipan ja sen oikean maadoittamisen ansiosta kaapelin häiriösäteily estyy tehokkaasti. Suojavaippa täytyy maadoittaa moottorin ja taajuusmuuttajan maadoitusliittimiin. Myös jarruvastuksella varustetun taajuusmuuttajan kaapeloinnissa tulee käyttää armeerattua kaapelia.



Kuva 7. Armeeraus /16/

Moottori, taajuusmuuttaja, EMC-suodin ja suojavaippa maadoitetaan mahdollisimman pieni-impedanssisilla maadoituskaapeleilla. Tämä varmistaa häiriösignaalien suoraan johtumisen maatasoon ja maadoitusliittimiin.. Taajuusmuuttajan kytkentätaajuutta ei tule nostaa tarpeettomasti.

Taajuusmuuttajan ja muiden laitteiden ohjaustoimet tulee pitää erillään taajuusmuuttajan verkko- ja moottorikaapeleista. Vahva- ja heikkovirtakaapeleiden välinen suositusetäisyys on 30cm.

Taajuusmuuttajan ohjaustoimien tulee olla vaipallisia kierrettyjä parikaapeleita. Ohjaustoimien vaipan maadoitus tapahtuu vain taajuusmuuttajan päässä. /16/

8 ESIMERKKIKOHDE

8.1 Kohteen esittely

Saneerattava kohde on Orimattilan museoviraston keskusvarasto. Kohteessa on tällä hetkellä kaksinopeusmoottorilla toimiva ilmanvaihtokone, jonka ilmavirtaa säädetään pääpiirteittään nopeutta vaihtamalla ja hienosäätö toteutetaan kuristamalla ilmavirtaa venttiileillä. Koska saneerattavassa kohteessa koko ilmanvaihtojärjestelmä on tarkoitus uusida, päädyttiin se toteuttamaan taajuusmuuttajaohjattuna käyttönä. Koko ActiveSet Ky:n suunnittelema automaatiojärjestelmä toimii BACnet kenttäväylässä ja näin ollen tulee se ottaa myös huomioon taajuusmuuttajan valinnassa. Tilan tekniset tiedot rajoittuvat varaston pinta-alaan, joka on 2000 m². Finlexin ohjeiden mukaan ilmanvaihdon tulisi olla vähintään 4dm³/m² museotiloissa, mikä tarkoittaisi 2000m² rakennuksessa 8m³/s ilmavirtaa. Työn tilaajalta on kuitenkin tullut ohje, että maksimi-ilmavirran tulisi olla 8,3 m³/s.

Ajan tasalla olevia piirustuksia ja sähkökuvia tilasta ei ole. Activeset piirtää uudet kuvat, kun ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus on laitteiden osalta valmis. Työn tilaajan pyynnöstä kuvia ei tutkimustyön tekijälle ole saatavilla.

Ilmanvaihtokoneessa on ActiveSet Ky:n suunnitteleman automaatiojärjestelmän avulla ohjattu ilmankostutin, jonka avulla voidaan ilmankosteus säätää sen mukaan, mitä keskusvarastossa varastoidaan.

Saneerauskohteen ilmanvaihtokoneen suunnittelussa on tehty työnjako, jossa minä mitoitan tuloilmakoneen ja taajuusmuuttajan, ja ActiveSet Ky suunnittelee automaatiojärjestelmän, poistoilmakoneen taajuusmuuttajineen, sekä mitoittaa kaapelit ja piirtää sähkökuvat. ActiveSet Ky tekee myös lopullisen päätöksen kohteeseen tulevien laitteiden valmistajasta.

8.2 Tuloilmakoneen ja taajuusmuuttajan mitoitus

Taajuusmuuttajamallin valintaa rajoitti BACnet-kenttäväylään kytkemisen tarve. Koska ABB Oy Drives on johtava taajuusmuuttajavalmistaja, päädyin katsastamaan heidän

tarjonnan kyseiseen käyttöön. ABB oy Drivesin tarjonnasta löytyikin BACnet kenttäväylään soveltuva tuoteperhe ACH550.

ABB:n ACH550 –taajuusmuuttaja on ensimmäinen talotekniikan sovelluksille suunniteltu taajuusmuuttaja. Tähän mennessä laitteita on asennettu jo yli 300 000 kappaletta ympäri maailmaa. ACH550 –taajuusmuuttajat ovat osoittautuneet erittäin varmatoimisiksi. ABB:n ACH550 –taajuusmuuttaja on tullut tunnetuksi alansa huippuna, ja se on voittanut palkintoja erinomaisesta suunnittelusta niin Italiassa kuin Yhdysvalloissakin.

Paljon kiitosta on saanut ACH550 –taajuusmuuttajien helppokäyttöinen käyttöliittymä, jota on yhtä vaivaton käyttää kuin matkapuhelinta. Käyttäjät ovat antaneet runsaasti positiivista palautetta myös vakiona olevista sovellusmakroista, joiden avulla halutun makron valinta käy muutamassa sekunnissa.

Sovellusmakroista on merkittävää hyötyä tulo- ja poistoilmapuhaltimien, huippuimureiden, paineenkorotuspumppujen ja lauhduttimien sekä monien muiden toimilaitteiden ohjauksessa. ACH550 –taajuusmuuttajien ohjauspaneelissa on useita älykkäitä ominaisuuksia: paneeli muun muassa neuvoo käyttäjää ymmärrettävästi aina tarvittaessa.

Yliaallot ja RFI –päästöt aiheuttavat monissa talotekniikan asennuksissa paljon huolta. ABB:n ACH550 –taajuusmuuttajat täyttävät sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle asetetut vaatimukset. Mukautuva kuristin vähentää yliaaltoja jopa 25%.

ABB:n ACH550 –sarjan taajuusmuuttajat ovat BACnet –kenttäväylän kanssa yhteensopivia, teholtaan 0,75-355kW ja käyttöjännitteeltään 380-480V (löytyy myös 0,75-75kW, 208-240V versioita). ACH –sarjan taajuusmuuttajat sisältävät EMC –suotimen.

8.2.1 Tuloilmapuhaltimen mitoitus ja valinta

Orimattilan museoviraston keskusvaraston ilmanvaihtokoneen tuloilmapuhaltimen suurin ilmavirran tarve on sama kuin vanhassa tuloilmakoneessa, eli 8,3 m³/s (29880

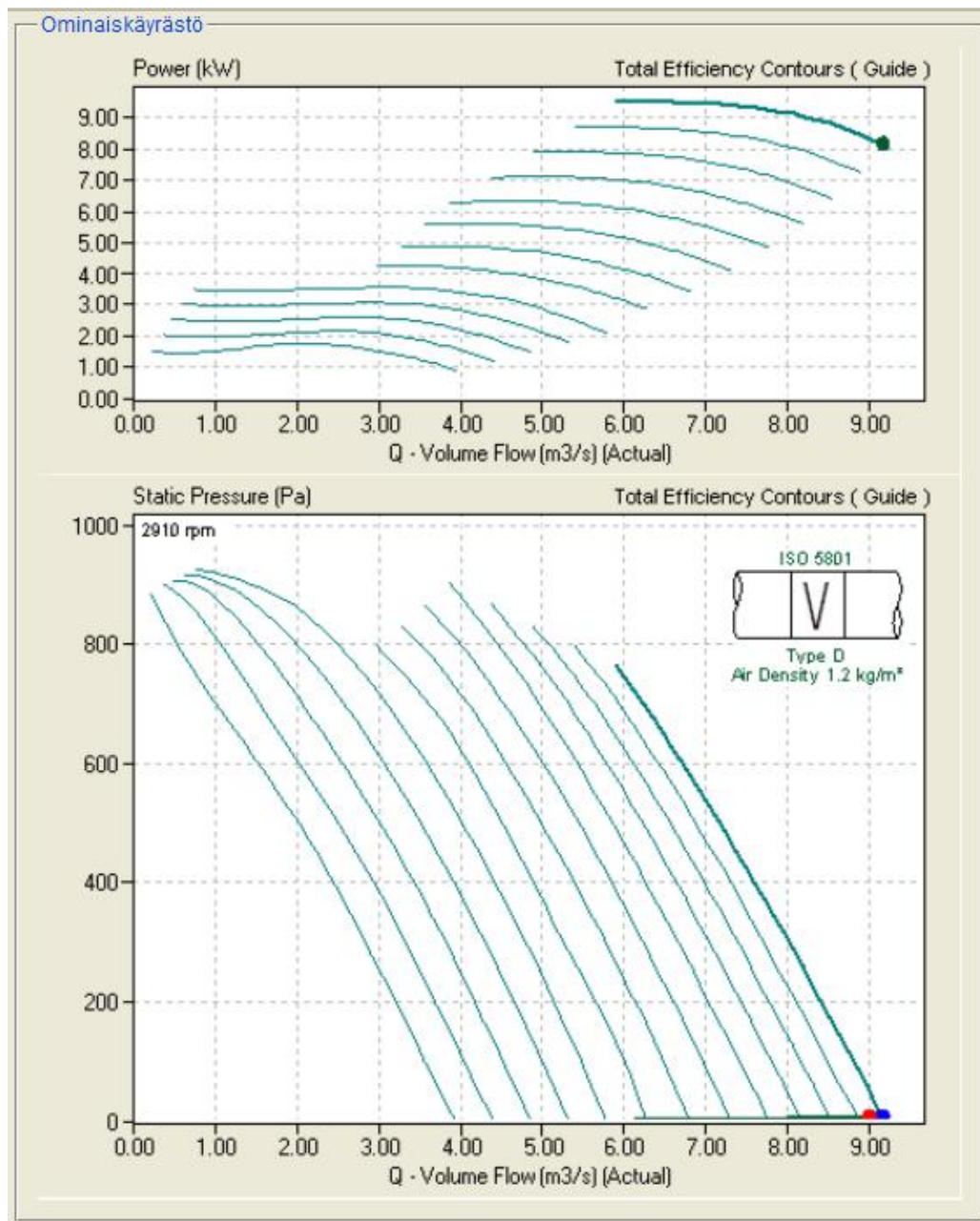
m³/h). Tuloilmakone mitoitetaan maksimi-ilmavirran mukaan, koska asiakas on ilmoittanut, että tarvetta ylimitoittaa ei ole.

Tuloilmapuhaltimiksi valitaan Fläkt Woodsin 63JM/25/2/3/32 kanavapuhallin, jonka maksimi ilmavirta on 9 m³/s. Kyseisen tuloilmapuhaltimen maksimi akseliteho on 9,71 kW, ottoteho on 11kW ja maksimi pyörimisnopeus 2910 rpm.

Taulukko 5. Tuloilmapuhaltimen tekniset tiedot.

Tekniset tiedot	
Puhallinkoodi	63JM/25/2/3/32
Puhaltimen halkaisija	630 mm
Siipien lukumäärä	3
Pyörimisnopeus	2910 rpm
Velocity	29.4 m/s
Siipikulma	32°
Runko	Long
Pyydetty toimintapiste	9m ³ /s @ 10 Pa (static)
Paineaukon dyn.paine	518 Pa
Akseliteho	8.15 kW
Maks. akseliteho	9.71 kW
Kokonaishyötysuhde	59 %
Moottorin runko	132M
Motor Efficiency	IE1
Moottoriteho	11.00 kW
Täyden kuorman virta	20.2 A
Käynnistysvirta	135 A
Moottorin asennus	Kylki
Jännite	380-420 Volts 50 Hz 3 Phase

Kuvasta 8 voimme nähdä millä teholla saavutetaan suurin tarvittu ilmavirta 8,3 m³/s. 8,3 m³/s ilmavirta saavutetaan n. 7.9kW akseliteholla.



Kuva 8. Tuloilmakoneen tuottokäyrä

8.2.2 Taajuusmuuttajan mitoitus ja valinta

Kohteen maksimi-ilmavirran ollessa $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$, voimme mitoittaa taajuusmuuttajan sen tehon mukaan, jonka tuloilmakone ottaa $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirralla. Tuloilmakoneen tuottokäyrästä (Kuva 8) voimme lukea, että $8,3 \text{ m}^3/\text{s}$ ilmavirtaan päästään n. $7,9 \text{ kW}$ akseliteholla. Verkosta otetun tehon voimme laskea akselitehon ja kokonaishyötysuhteen avulla kaavalla 1. Taajuusmuuttaja ja tuloilmakone liitetään 400 V kolmivaiheverkkoon, joten voimme laskea maksimivirran kolmivaihetehon kaavalla (2).

$$P_{otto} = \frac{P_{akseli}}{\eta} = \frac{7,9kW}{0,59} = 13,4kW \quad (1)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

Koska ilmanvaihtokoneen teknisissä tiedoissa ei ole kerrottu moottorin tehokerrointa, voimme olettaa, että se on vastaavien koneiden kanssa samaa kokoluokkaa. Laskuissa käytetty tehokerroin on otettu ABB:n valurautaisen vakiokoneen tuoteluettelosta. 11kW, 2920rpm:n moottorilla tehokerroin on 0,89.

$$\rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{13,4kW}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 0,89} = 21,7A$$

Maksimivirran avulla moitoittamalla huomaamme, että vaikka tuloilmakoneen maksimi ottoteho on 13,5kW, voimme maksimivirran kautta valita 11kW taajuusmuuttaja (taulukko 6), jonka jatkuva maksimivirta 50°C lämpötilassa on 23A. Valitsemme siis taajuusmuuttajaksi ABB:n ACH550-01-023A-4 taajuusmuuttajan.

Taulukko 6. Taajuusmuuttajan tekniset tiedot.

P_N kW	I_{2N} A	Runko- koko	Tyypikoodi (tilauskoodi)
$U_N = 380-480 V (380, 400, 415, 440, 460, 480 V)$ Sisältää ohjauspaneelin ja EMC-suotimen.			
5,5	11,9	R1	ACH550-01-012A-4
7,5	15,4	R2	ACH550-01-015A-4
11	23	R2	ACH550-01-023A-4
15	31	R3	ACH550-01-031A-4
18,5	38	R3	ACH550-01-038A-4

9 POHDINTA

Aloitin työn tutkimalla ilmanvaihtojärjestelmän, BACnet –kenttäväylän, sekä taajuusmuuttajan perusteita, sekä asetettuja standardeja. Vaikka ilmanvaihtojärjestelmät ja BACnet –kenttäväylä olivat minulle aikalailla uusia asioita, selkeytyi asiat laajan tutkiskelun jälkeen. Ilmanvaihto-osiossa on kerrottu ilmanvaihdon perusteista, energiaa säästävästä tarpeenmukaisesta ilmanvaihdosta, ilmanvaihdosta terveyden kannalta sekä terveysministeriön asetukset ilmanvaihdosta. BACnet –kenttäväylä-osiossa on kerrottu BACnet –kenttäväylän synnystä, kehityksestä, määritetyistä standardeista, sekä hyödyistä.

Työn päätarkoituksena oli selvittää taajuusmuuttajakäytön hyödystä ilmanvaihtokoneessa energiakulutuksen kannalta. Työn toinen iso osa oli selvittää taustatietoja BACnet –kenttäväylästä sekä sen laite- ja liityntästandardeista. Työhön kuului myös esimerkkimielessä tuloilmakoneen sekä sitä ohjaavan taajuusmuuttajan mitoitus ja valinta annettujen pohjatietojen avulla.

Työn tekeminen opetti minulle paljon ilmanvaihtokoneista, ilmanvaihdon tarpeellisuudesta, BACnet –kenttäväylästä, niiden yhteensä lasketusta hyödystä automaatio suunnittelussa ja etenkin niiden yhteensovittamisesta. Samalla opin paljon taajuusmuuttajakäytön käyttöönoton kannalta huomioon otettavista seikoista, kuten sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta ja häiriöiden minimoimisesta. Taajuusmuuttajakäyttö on mielestäni mielenkiintoinen yhdistelmä, koska sitä voi soveltaa niin moneen käyttökohteeseen. Taajuusmuuttajakäyttöjen opiskelusta jäi sellainen käsitys, että se on sekä nykypäivää että tulevaisuutta. BACnet –kenttäväylän edut vaikuttivat myös niin suurilta, että uskon sen yleistyvän huomattavasti tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- [1] Ilmanvaihdon perusteet. Sisäilmayhdistys. Verkkodokumentti. Viitattu 13.10.2011. Saatavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/perustietoa/ilmanvaihdon_perusteet/
- [2] Finlex: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Määräykset ja ohjeet 2012. Verkkodokumentti. Viitattu 14.2.2012. Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf
- [3] Insinööriyö: Taloautomaation käyttöönottoprosessi asuntokohteissa (Ilkka Romppanen, 2008). Viitattu 14.2.2012. Saatavissa: TAMK käsikirjasto.
- [4] Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Wikipedia. Verkkodokumentti. Viitattu 18.2.2012. Saatavissa: http://fi.wikipedia.org/wiki/Ilmanvaihdon_1%C3%A4mm%C3%B6ntalteenotto
- [5] Ilmanvaihdon vaikutus. Sisäilmayhdistys. Verkkodokumentti. Viitattu 20.2.2012. Saatavissa: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/sisailmasto/ilmanvaihdon_vaikutus
- [6] BACnet-standardi, 135-2004. Verkkodokumentti. Viitattu 20.11.2011. Saatavissa: www.bacnet.org
- [7] Sarjaväylä, eli RS-232, eli COM-portti. Verkkodokumentti. Viitattu 19.3.2012. Saatavissa: users.utu.fi/ptmusta/rs232.shtml
- [8] Planning and cabeling networks. Verkkodokumentti. Viitattu 19.3.2012. Saatavissa: http://www.highteck.net/EN/Cabling/Planning_and_Cabling_Networks.html
- [9] Insinööriyö: Selvitystyö taajuusmuuttajan liittämisestä BACnet-ympäristöön (Marko Vilppu, 2005). Viitattu 23.3.2012. Saatavissa: TAMK käsikirjasto.
- [10] ASI Controls. Verkkodokumentti. Viitattu 13.3.2012. Saatavilla: <http://www.asicontrols.com/support/faqs/>
- [11] Automated Buildings. Verkkodokumentti. Viitattu 11.3.2012. Saatavissa: <http://www.automatedbuildings.com/news/aug02/articles/jh/jh.htm>
- [12] Insinööriyö: KNX-järjestelmä (Janne Hurme, 2010). Viitattu 9.4.2012. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/handle/10024/16175>
- [13] Insinööriyö: Taajuusmuuttajakäyttö BACnet-kenttäväylässä (Esa Saari, 2007). Viitattu 14.11.2011. Saatavissa: TAMK käsikirjasto.

- [14] Technical guide No. 1. Direct torque control - the world's most advanced AC drive technology. Verkkodokumentti. Viitattu 28.11.2011. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/14f3a3ad8f3362bac12578a70041e728/\\$file/abb_technical%20guide%20no.1_rev.c.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/14f3a3ad8f3362bac12578a70041e728/$file/abb_technical%20guide%20no.1_rev.c.pdf)
- [15] Taajuusmuuttaja. Wikipedia. Verkkodokumentti. Viitattu 11.11.2011. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Taajuusmuuttaja>.
- [16] Insinööriyö: Taajuusmuuttajakäytön hyödyt käytössä olevissa ilmanvaihtokoneissa (Jussi-Pekka Partanen, 2011). Viitattu 10.11.2011. Saatavissa: TAMK käsikirjasto.
- [17] Insinööriyö: Taajuusmuuttajan käyttökohteet (Juha Saari, 2008). Viitattu 18.11.2011. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/handle/10024/2413>
- [18] ABB FanSave. Verkkodokumentti. Viitattu 3.2.2012. Saatavissa: <http://www.abb.com/product/seitp322/5b6810a0e20d157fc1256f2d00338395.aspx>
- [19] Puolet nopeudesta kahdeksasosalla energiaa. ABB. Verkkodokumentti. Viitattu 3.2.2012. Saatavissa: <http://www.abb.fi/cawp/db0003db002698/ae3607e564dc19a9c12573d70041f292.aspx>
- [20] Insinööriyö: Epäsymmetrisen kuormituksen ja yliaaltojen mittaukset (Tommi Karonen, 2010). Viitattu 10.4.2012. Saatavissa: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/13483/Karonen_Tommi.pdf?sequence=1

LIITTEET

Liite 1. Finlex D2: Ilmavirtojen, ilman liikkeen ja äänitason ohjearvoja. /2/

Taulukoissa 1-11 esitetään ohjearvot käyttöajan ilmanvaihdon mitoittamiseen. Ulkoilmavirta määräytyy ensisijaisesti henkilöperusteiden mukaan. Jos henkilökuormituksen mukaiselle ilmavirtojen mitoitukselle ei ole riittäviä perusteita käytetään pinta-alaan perustuvaa mitoitusta. Ilmakanavien mitoituksessa on otettava huomioon käyttöajan tehostetut ilmavirrat.

Ulkoilmavirrat on määritelty sisäilman laadun ylläpitämiseksi, kun rakennus- ja sisustusmateriaaleina käytetään vähäpäästöisiä materiaaleja. Sisäisten ja ulkoisten epäpuhtaus- tai lämpökuormien aiheuttaman pitoisuuden tai huonelämpötilan kohoamisen rajoittaminen ilmanvaihdon avulla edellyttää taulukossa esitettyjä ilmavirtojen ohje- arvoja suurempia ilmavirtoja, jotka on otettava huomioon ilmakanavien mitoituksessa.

Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus on yleensä toteutettava vähintään niissä tiloissa, joiden henkilö- tai epäpuh- tauskuormitus vaihtelee merkittävästi.

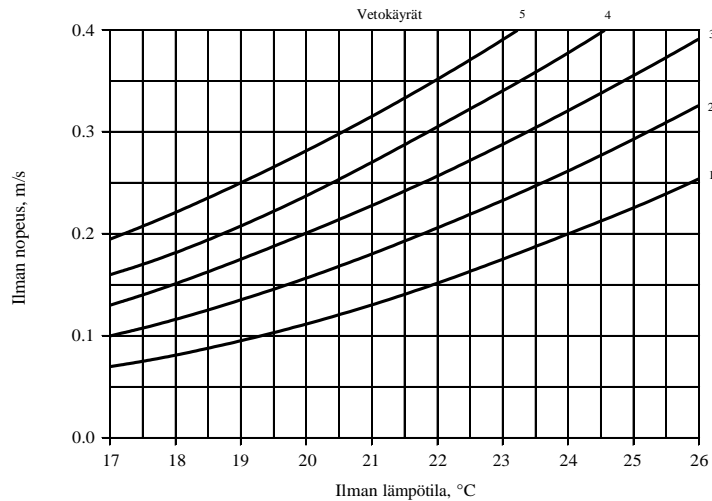
Rakentamismääräyskokoelman osassa C1 on annettu määräyksiä ja ohjeita LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnas- tettavien laitteiden aiheuttamista suurimmista sallituista äänitasoista rakennuksen sisätiloissa ja ulkopuolella. Rakentamismääräyskokoelman osan C1 mukaiset äänitasot on liitteen taulukoissa esitetty lihavoidulla tekstityypillä. Nämä äänitasot ovat osan C1 määräysten mukaisia arvoja asuinhuoneiden sekä keittiöiden osalta ja osan C1 ohjeiden mukaisia arvoja potilashuoneiden, lasten lepo- huoneiden, opetustilojen ja toimistojen osalta.

Äänitason ohjearvot ovat rakennuksen LVIS-laitteiden ja muiden niihin rinnastettavien laitteiden aiheuttama A- taajuuspainotettu keskiäänitaso $L_{A,eq,T}$ (dB) ja enimmäisäänitaso $L_{A,max}$ (dB) huoneessa. Ohjearvoja sovellettaessa on otettava huomioon ilmanvaihdon ja muiden äänilähteiden yhteisvaikutus. Jos tilaan tulee ääntä useammasta kuin yhdestä äänilähteestä, tulee kunkin äänilähteen erikseen tuottaman äänitason olla niin alhainen, ettei niiden yhteisesti aiheuttama äänitaso ylitä sallittua äänitasoa. Usean äänilähteen vaikutus huonetilan kokonaisäänitasoon otetaan huomioon laskemalla kaikkien huonetilaan ääntä aiheuttavien laitteiden äänitaso yhteen seuraavan kaavan avulla

$$L_{A,tot} = 10 \lg(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \dots + 10^{L_{An}/10}),$$

jossa $L_{A,tot}$ on laitteiden yhteisesti aiheuttama äänitaso ja $L_{A1} \dots L_{An}$ on kunkin laitteen erikseen aiheuttama äänitaso. Oleskeluvyöhykkeen ilman liikettä kuvaavat ilman nopeuden arvot taulukoissa 1-

11 vastaavat kohdassa 2.2 määriteltyjä huonelämpötiloja. Epäviihtyisyyttä aiheuttavaa ilman nopeutta eri huoneilman lämpötiloissa voidaan arvioida lisäksi kuvan 1 vetokäyrien avulla. Mitä suurempi on huonelämpötila, sitä suurempi saa ilman nopeus olla viihtyisyyden heikentymättä. Käyrien väliarvot voidaan arvioida.



Kuva 1. Vetokäyrät kuvaavat epäviihtyisyyttä aiheuttavan ilman liikkeen riippuvuutta ilman lämpötilasta.

Jos ilmanvaihto- tai kierrätysilmalaitteiden tehostusta voidaan ohjata henkilökohtaisesti käyttöajan ohjearvoja suuremmiksi, voidaan tehostuksen aikana taulukoiden ilman nopeuden ohjearvot ylittää + 0,1 m/s ja äänitason ohjearvot ($L_{A,eq,T}$ ja $L_{A,max}$) + 10 dB.

Taulukko 1. Asuinrakennukset

<p>Asuntojen ilmanvaihto mitoitetaan yleensä taulukon poistoilmavirtojen perusteella siten, että asuntojen ilmanvaihto- kerroin on vähintään 0,5 1/h ja ulkoilmavirtojen riittävyys varmistetaan vähintään ohjearvojen mukaisiksi. Pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston käyttöajan ilmanvaihto- kerroin on enintään 0,7 1/h ja poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti tarpeen mukaan. Jos poistoilmavirran tehostusta voidaan ohjata vain rakennuskohtaisesti, voidaan pienten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan ohjearvoja pienemmiksi siten, että huoneiston ilmanvaihtokerroin on vähintään 1,0 1/h. Suurten asuntojen poistoilmavirrat mitoitetaan yleensä ohjearvoja suuremmiksi, jotta tilakohtainen ulkoilmavirta olisi ohjearvon mukainen ja huoneiston ilmanvaihtokerroin olisi vähintään 0,5 1/h.</p>						
Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta dm ³ /s	Äänitaso $L_{A,eq,T}$ / $L_{A,max}$ dB	Ilman nopeus talvi m/s	Huom!

Asuintilat:	6					
Asuinhuoneet		0,5		28 / 33 *	0,20	*C1
Keittiö		#S	8 #A	33 / 38 *	0,20	määräys
- käyttöajan tehostus		#S	25	33 / 38	0,20	*C1
Vaatehuone, varasto		#S	3	33 / 38		määräys
Kylpyhuone		#S	10 #B	38 / 43	0,20	
- käyttöajan tehostus		#S	15	38 / 43	0,20	
WC		#S	7 #B	33 / 38		
- käyttöajan tehostus		#S	10	33 / 38		
Kodinhuone		#S	8	33 / 38	0,30	
- käyttöajan tehostus		#S	15	33 / 38	0,30	
Huoneistos sauna		2 #C	2/m ² #C	33 / 38		
Yhteistilat:						
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	38 / 43		
Varastot		0,35	0,35 /m ²	43 / 48		
Kylmäkellari (myös asuntokylmiö, jos pinta-ala > 4m ²)		0,2	0,2 / m ²	43 / 48		
Pukuhuone		2	2 / m ²	33 / 38	0,20	
Pesuhuone		3	3 / m ²	43 / 48	0,20	
Saunan löylyhuone		2	2 / m ²	33 / 38		
Talopesula		1	1 / m ²	43 / 48		
Kuivaushuone		2 #D	2 / m ² #D	43 / 48		
Askarteluhuone, kerho huone		1 #E	1 / m ² #E	33 / 38	0,20	
<p># A Ohjearvo, kun liesikuvun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa on liesikuvun ohjearvo 20 dm³/s.</p> <p># B Ohjearvo, kun ilmavirran tehostusta voidaan ohjata tila- tai asuntokohtaisesti, muussa tapauksessa ilmavirran ohjearvo on käyttöajan tehostuksen mukainen.</p> <p># C Kuitenkin vähintään 6 dm³/s. Saunan ilmavirtaa ei oteta huomioon laskettaessa asunnon ilmanvaihtokerrointa, jos saunan ulkoilmavirta on yhtä suuri kuin poistoilmavirta.</p> <p># D Voidaan mitoittaa pienemmäksi kun käytetään ilmankuivainta.</p> <p># E Edellyttää tuuletusmahdollisuutta; muuten 1,5 (dm³/s)/m².</p> <p># S Ulkoilmavirta korvataan yleensä asuinhuoneista johdettavalla siirtoilmavirralla.</p>						

Taulukko 2. Toimistorakennukset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Toimistohuone ja vastaavat tilat Neuvotteluhuone Asiakastila Käytävätila Kahvio, taukotila Arkisto, varasto Tupakointitila: – rakennuksen käyttöaikana – rakennuksen käyttöajan ulkopuolella Kopiointihuone	8	1,5 4 2 0,5 5	0,35 20 10 4	33 / 38 * 33 / 38 38 / 43 38 / 43 38 / 43 38 / 43	0,20 / 0,30 0,20 / 0,30 0,30 / 0,40 0,30 0,25 0,30	*C1 ohje #3 #2, #2, #4 #4
<p>#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.</p> <p>#2 Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.</p> <p>#3 Jos rakennuksessa on kolme tai useampia neuvotteluhuoneita, on niiden ilmanvaihto oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.</p> <p>#4 Tupakointitilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.</p>						

Taulukko 3. Oppilaitokset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Opetustilat Käytävät / Aulat Liikuntasali: – liikuntasalikäyttö – juhlasalikäyttö Luentosali Ryhmätyötila Ruokala Varastot	6 8 8 6	3 4 2 6 6 4 5	0,35	33 / 38 * 38 / 43 38 / 43 33 / 38 33 / 38 33 / 38 33 / 38	0,20 / 0,30 0,30 0,25 0,20 / 0,30 0,20 / 0,30 0,25	#4, *C1 ohje #2 #3 #4 #4 #S
<p>#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.</p> <p>#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.</p> <p>#3 Sisäilmasto ja ilmanvaihto mitoitetaan vaativimman käytön mukaisesti, oltava ohjattavissa tarpeen mukaan eri käyttötilanteisiin.</p> <p>#4 Tilan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.</p> <p>#S Voi käyttää siirtoilmaa</p>						

Taulukko 4. Ravintolat ja hotellit #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Ravintolat	10	10		38 / 43	0,20	#2, #T
Henkilöstö- ja lounasravintolat	6	6		38 / 43	0,20	#2
Hotellihuone	10	1		28 / 33	0,20	
Käytävä		0,5		33 / 38	0,25	#2
Aula		2		33 / 38	0,20	#2
Kokoustila	8	4		33 / 38	0,20	
Ravintolan tupakointitila						#3
- ravintolan käyttöaikana			30			#4
- ravintolan käyttöajan ulkopuo- lella			10			
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11. Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Ravintolan ja muun ravitsemisliikkeen tupakointitilasta ja sen ilmanvaihdosta säädetään toimenpiteistä tupakoinnin vähentämiseksi annetulla lailla (693/1976), sellaisena kuin se on laissa 700/2006, valtioneuvoston asetuksella toimenpiteistä tupakoinnin vähentämiseksi (225/1977), sellaisena kuin se on asetuksessa 963/2006, ja sosiaali- ja terveysministeriön asetuksella ravintolan ja muun ravitsemisliikkeen tupakointitilasta (964/2006).					
#4	Kuitenkin vähintään 180 dm ³ /s oviaukon neliometriä kohden.					
#T	Ravintolan ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					

Taulukko 5. Myymälät ja teatterit #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Myymälä		2		43 / 48	0,25	#2, #T
Teatterin katsomo	8			28 / 33	0,20	#T
Teatterin näyttämö		3		28 / 33	0,25	#2
Aula, lämpiö		5		38 / 43	0,25	#T
Konserttisali	8			25 / 30	0,20	#T
Elokuvateatteri	8			33 / 38	0,20	#T
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11. Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilman nopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#T	Ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					

Taulukko 6. Urheilutilat, uimahallit ja kasarmit #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hl ö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,e} q,T / L _{A,m} ax	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Liikuntatilat:						#T
– Kuntosali		6		38 / 43	0,25	
– Liikuntasali		4		38 / 43	0,25	
– Liikuntahalli		2		38 / 43	0,25	
– Katsomo	8			33 / 38	0,25	
Käytävät/aulat, joissa oleskellaan		5		38 / 43	0,30	#2
Käytävät, joissa ei oleskella		1		38 / 43	0,30	
Uima-allastila		2		38 / 43	0,40	#K
Kasarmitilat:						
Miehistötila	8	2		33 / 38	0,20	
Ruokala	6	5		33 / 38	0,25	
Pesuhuone			5	38 / 43	0,30	#S
Käytävä		1		38 / 43	0,25	
Oleskelutila		3		33 / 38	0,20	
Opetustila	6	3		33 / 38	0,20	
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11. Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#T	Ilmanvaihto on oltava ohjattavissa tarpeen mukaan.					
#K	Kosteuden poisto on mitoittava tekijä. Lasketaan tapauskohtaisesti.					
#S	Siirtoilmavirtana					

Taulukko 7. Hoitolaitokset #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilmavirta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Sairaalan potilashuone	10	1,5		28 / 33 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Sairaalan toimenpidehuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	#E
Sairaalan kuntoutushuone		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Sairaalan oleskelutila		3		33 / 38	0,20	
Lastenhoitotilat		2		33 / 38	0,20 / 0,30	
Pitkäaikaispotilaiden hoitotilat Käytävä		2		33 / 38	0,20 / 0,30	#3
Odotustilat		0,5		33 / 38	0,20 / 0,30	#2
Potilas- ja odotustilojen WC Huuhteluhuone		3	30 / paikka 10	33 / 38 38 / 43 38 / 43	0,20 0,20	#2 #3
Pidätettyjen vastaanottotila		3	1	33 / 38	0,20	#4
Putkakäytävä		3		38 / 43	0,20	
Juoppoputka		8	10	33 / 38	0,20	#S
Sellikäytävä Selli	8	2,5	3	38 / 43 33 / 38	0,30 0,20	#S
Päiväkodit:	6	2,5		28 / 33 *	0,20 / 0,30	*C1 ohje
Lepohuoneet	6	2,5		33 / 38	0,20 / 0,30	
Leikki- ja ryhmähuoneet		2		33 / 38	0,20	
Vesileikkihuone			5			#3, #S
#1	Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.					
#2	Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjearvot kuten toimistohuoneessa.					
#3	Poistoilmavirtaa ja vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja / tai hajujen hallitsemisen edellyttämällä määrällä.					
#4	Poistoilma ympäröivien hygienia- ymv. tilojen kautta.					
#E	Erikoistilojen, kuten leikkaussalien, toimenpidehuoneiden, röntgentilojen, välinehuoltotilojen, potilaiden pesuun käytettyjen tilojen jne. ilmanvaihto suunnitellaan tapauskohtaisesti.					
#S	Siirtoilmavirta					

Taulukko 8. Muut julkiset tilat #1

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Liikenneasemat: Odotustila ja käytävä		5		43 / 48		#2
Näyttelyihin käytettävät tilat: - Näyttelytilat		4		33 / 38	0,20/0,40	#2, #T
- Museot		4		33 / 38	0,20 / 0,40	#2, #T
- Messutilat		4		38 / 43	0,20 / 0,40	#2, #T
Kirjastot: - Kirjastosali	8	2	0,5	33 / 38	0,20 / 0,40	#2
- Lukusali	8	2		33 / 38	0,20 / 0,30	#S
- Varasto						
Kirkot: - Kirkkosali	6			33 / 38	0,20	#T
- Muut yleisötilat		5		33 / 38	0,20	#T
#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.						
#2 Kiinteiden työpisteiden ilmannopeuden ohjeavot kuten toimistohuoneessa.						
#S Siirtoilmavirta						
#T Ilmanvaihdon tarpeenmukaisen käytön oltava mahdollista.						

Taulukko 9. Työtilat yms. #1, #2 ja #3

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Tehdastyö: - Kevyt	10	1,5 #4			0,20 / 0,30	
- Keskiraskas	10	1,5 #4			0,25 / 0,50	
Laboratoriot (kemian)	8	1		38 / 43	0,20 / 0,40	#E, T
Autokorjaamo,		7 #5	3	43 / 48	0,25	
Käyttötilat						
#1 Hygieniatilojen poistoilmavirrat kts. taulukko 11 Hygieniatilat.						
#2 Rakennukseen kuuluvissa toimistotiloissa sovelletaan toimistorakennuksen ohjeita.						
#3 Poistoilmavirtaa ja vastaavasti ulkoilmavirtaa suurennetaan kohdepoistojen ja/tai epäpuhtauksien hallitsemisen edellyt- tämällä määrällä.						
#4 Ilmanvaihtolaitos mitoitetaan vähintään ko. ilmavirralla. Laitosta voidaan käyttää pienemmällä ilmavirralla työtavoista yms. tehtävän selvityksen epäpuhtauspäästöjen ja lämpökuormien perusteella. Ilman nopeudet ovat esimerkkejä. Työn luonne ratkaisee lämpötilatason ja ilman nopeuden tapauskohtaisesti.						
#5 Edellyttää paikallista pakokaasun poistoa, jonka suuruus on vähintään 100 dm ³ /s henkilöautoille ja 300 dm ³ /s kuorma- autoille. Mikäli käytetään pakokaasunpoistokiskoa, joihin ajoneuvot ovat liitettyinä koko ajan, voi ilmavirta olla 2 (dm ³ /s)/m ² . Poistoilmavirta mitoitetaan ottaen huomioon pakokaasunpoisto siten, ettei tila ole alipaineinen, ks. myös standardi SFS 3352.						
#E Tapauskohtainen suunnittelu.						
#T Ilmanvaihdon tarpeenmukaisen käytön oltava mahdollista.						

Taulukko 10. Ruoanvalmistus- ja säilytystilat

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
Keittiötilat: – Valmistuskeittiö – Kuumennuskeittiö – Jakelukeittiö – Kahvikeittiö		15 10 5 3	15 10 5 30 1/s/keittiö	38 / 43 38 / 43 38 / 43 33 / 38	0,25 / 0,50 0,25 / 0,50 0,25 / 0,50 0,20 / 0,40	#E #E #E
Varastotilat: – Kuivavarasto – Kylmävarastot >4 m ² – Jätehuone – Jäähdytetty jätehuone			0,5 0,2 5 2			#S #S #1 #1
#1	Tilan on aina oltava alipaineinen ympäröiviin tiloihin nähden.					
#E	Minimi-ilmavirtoja. Ilmavirrat mitoitetaan tapauskohtaisesti lämpökuormien perusteella.					
#S	Siirtoilmavirta					

Taulukko 11. Muiden kuin asuntojen hygieniatilat sekä muut tilat

Tila / käyttötarkoitus	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/hlö	Ulkoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Poistoilma- virta (dm ³ /s)/m ²	Äänitaso L _{A,eq,T} / L _{A,max} dB	Ilman nopeus talvi / kesä m/s	Huom!
WC:t – työpaikkatiloihin tai vastaaviin liittyvät – yleisön käyttämiin tiloihin liittyvät			20 / paikka 30 / paikka	38 / 43 38 / 43		#S #S
Pesuhuone Pukuhuone Saunan löylyhuone		3 5 1	5, 4/kaappi 2	38 / 43 38 / 43 38 / 43	0,20 0,20	#S #S #S
Siivoustilat			4			#S
Porrashuone		0,5 1/h	0,5 1/h	38 / 43		#1
Hissikuilu Hissikonehuone	4		8 17			#2
#1	Ilmanvaihtokerroin					
#2	Tarkistetaan lämpökuorman perusteella. Konehuoneen enimmäislämpötila on 35 °C.					
#S	Siirtoilmavirta					

FanSave 4.4.2 Energy saving calculator for fans

Language **English**

Fan Data

Fan type: Centrifugal | Impeller type: Forward curved (F)

Nominal volume flow: 10,00 m³/s = 360000 m³/h

Pressure increase: 3000 Pa

Efficiency: 90%

Existing Flow Control

Inlet vanes

Transmission

Efficiency: 100,0%

Motor and Supply Data

Supply voltage: 400 V

Motor power: 37 kW

Motor efficiency: 93,0%

Operating Profile

Annual running time: 8760 h

5%	438 h	at nom. flow
10%	876 h	at 90% flow
15%	1314 h	at 80% flow
20%	1752 h	at 70% flow
20%	1752 h	at 60% flow
15%	1314 h	at half flow
10%	876 h	at 40% flow
5%	438 h	at 30% flow
0%	0 h	at 20% flow

Results

Specific fan power: 3,6 kW/(m³/s)

Saving percentage: 33,2%

Annual energy consumption:
with existing control method: 172 MWh
with improved control method: 115 MWh

Annual energy saving: 57 MWh

Annual CO2 reduction: 29 t

CO2 emission: 0,5 kg/kWh

Measurement Units

Calculated by: ACS550

Calculated for: ACS550-01-072A-4

Fan ID:

Improved control by ABB drive: ACS550

Copy to clipboard

Energy Consumption

Energy Consumed (kWh)

Economic Data

Currency: EUR

Energy price: 0,10 EUR/kWh

Investment cost: 3000 EUR

Interest rate: 4,0%

Service life: 10,0 years

Economic Results

Annual saving: 5712 EUR

Payback period: 0,5 years

Net present value: 43332 EUR

ABB

Auto-adjust screen size

Save calculation

Send to default printer

Close program

