



SÄHKÖMOOTTORIN ENERGIA- TEHOKKUUS TALOTEKNIKASSA

Pekka Antinmaa

Opinnäytetyö
Joulukuu 2016
Sähkötekniikka
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

PEKKA ANTINMAA:
Sähkömoottorin energiatehokkuus talotekniikassa

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Joulukuu 2016

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia erilaisia talotekniikassa käytettyjä sähkömoottoreita. Työssä kerättiin perustiedot yleisimmin ilmanvaihtokoneissa, – puhaltimissa sekä pumpuissa käytetyille moottoreille. Työn taustalla oli moottorin mitoitukselta ja energiatehokkuudelta olevan tiedon kerääminen. Työ onkin tehty LVISA-suunnittelutyön tueksi ALL-Talotekniikka Oy:ssä.

Työssä käsiteltiin sähkömoottoreiden energiatehokkuutta ja sen määrittämistä. Energiatehokkuuden määrittelyn käsittely tapahtui määräysten perusteella sekä konkreettisilla esimerkeillä tehdyillä laskelmilla. Keskeisimmät energiatehokkuusmittarit sähkömoottoreille ovat IE-hyötysuhdeluokitus ja EuP-direktiivi, jonka mukaan uusien sähkömoottoreiden tulee täyttää tietty moottorin tehosta määräytyvä IE-hyötysuhdeluokka.

Tavoitteena oli luoda mallitarjous- ja tarjouspyyntöpohja. Työn aikana saatiin tarjouspyynnön avulla aikaiseksi vertailukelpoisten tarjosten saanti painottaen moottorien energiatehokkuutta. Pohjien avulla moottorien energiatehokkuuden tarjoaminen kiinteistöille helpottui. Määräykset ja laskelmat olivat keskeisessä roolissa työtä tehtäessä. Niiden avulla pystyi perustelemaan ja myymään kiinteistöjen omistajille energiatehokkuusasiat selkeästi ja ymmärrettävästi.

Asiasanat: sähkömoottorit, energiatehokkuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Engineering
Building Services Engineering

PEKKA ANTINMAA:

Energy efficiency of an electrical motor in building services.

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 9 pages
December 2016

The purpose of this thesis was to investigate different electrical motors used in building services. In this thesis there is collected basic knowledge of most commonly used electrical motors in air-conditioning machines, air-conditioning fans and pumps. In the background of this thesis was collecting knowledge of dimensioning and adduce of energy efficiency. Thesis is made to help the planning work of building services engineers in ALL-Talotekniikka Oy.

Energy efficiency of an electrical motor and the definition of energy efficiency are handled in the thesis. Definition of energy efficiency is handled by directives and concrete calculation examples. The most central energy efficiency meters for electrical motors are IE-energy efficiency class and EuP-directive. EuP-directive indicates that new electrical motors must fulfill a certain IE-energy efficiency class.

Purpose of this thesis was to make example offer and offer request. Comparable offers underlining energy efficiency of electrical motors was accomplished with help of the offer request during making of the thesis. With help of the example offer and offer request it was easier to offer energy efficiency of electrical motors to real estates. Directives and calculations were in middle role doing the thesis. With their help you could justify and sell energy efficiency things to the owners of real estate loud and clear.

Key words: electrical motors, energy efficiency

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	TALOTEKNIIKAN MOOTTORIT.....	9
2.1	Tasasähkömoottorit.....	11
2.1.1	Kestomagnetoidut tasasähkökoneet	12
2.1.2	EC-moottorit	13
2.2	Vaihtosähkömoottorit	14
2.3	Epätahtikone	15
2.3.1	Oikosulkumoottorit	16
2.4	Taajuusmuuttaja.....	16
3	ENERGIATEHOKKUUDEN MÄÄRITTELY	19
3.1	Mikä tekee moottorista energiatehokkaamman	21
3.1.1	Hyötysuhteen määritelmä sähkömoottorille	22
3.2	Hyötysuhteen mittaustandardi: IEC 60034-30:2008	23
3.2.1	Vanhat poistuneet EFF luokat ja vertailu uuteen mittaustandardiin.....	23
3.2.2	Hyötysuhteen mittaustandardi: IEC 60034-2-1:2007.....	24
3.3	EuP-direktiivi 2005/32/EC: Ecodesign of Energy-using products	25
3.3.1	EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: Kiertovesipumput ja sähkömoottorit	26
3.4	Taajuusmuuttajan ja moottorin valitseminen pumppu- ja puhallinsovelluksissa	27
3.4.1	Sähkömoottorin tehtävät ja ominaisuudet IV-laitteissa	30
3.4.2	Puhallinmoottorin mitoituksen periaatteet	32
3.4.3	Sähkömoottorin tehtävät ja ominaisuudet pumppukäytöissä.....	33
3.4.4	Pumppumoottorin mitoituksen periaatteet	33
4	ENERGIATEHOKKAAT RATKAISUT	35
4.1	Moottorikäytön- tai sovelluksenohjaus.....	35
4.2	Moottorin energiatehokkuus annetuista moottoriarvoista	35
4.2.1	Takaisinmaksuaika -periaate moottoria valittaessa.....	35
4.2.2	Vanhan moottorin vaihto uuteen ja energiatehokkaampaan	37
4.3	ABB:n puhaltimien ja pumppujen energiataloudellisuuden todentamistyökalu	38
5	HYVÄ TARJOUSPYYNTÖ JA TARJOUS.....	41
6	YHTEENVETO	43
7	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	50
	Liite 1: ABB:n energiansäästö taulukkolaskentaohjelman käyttöohjeet.....	50

Liite 2: IV-koneen tarjouspyyntö liitteineen	53
Liite 3: Moottorinvaihtotarjous liitteineen	58

LYHENTEET

LTO	lämmöntalteenotto
EC	elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori
AC	vaihtovirta
DC	tasavirta
EEl	energiatehokkuusindeksi
CE	vaatimustenmukaisuusvakuutus
IV	ilmanvaihto
SFP	specific fan power

1 JOHDANTO

Sähkömoottori on LVI-tekniikassa yleisesti käytetty laite. Sähkömoottoreita on ilmanvaihtokoneissa, puhaltimissa sekä erilaisissa pumpuissa. LVI-tekniikassa sähkömoottoreita usein säädetään erilaisten prosessien takia. Tähän kaivataan sähkömoottorilta sääntömahdollisuutta. LVI-tekniikassa esiintyvät yleisimmät moottorit tänä päivänä ovat oikosulkumoottori, EC-moottori sekä PM-moottori, joka kuuluu kestopagneettimoottoreihin.

Sähkömoottorit ovat joutuneet päästötarkkailun kohteeksi ja niille on asetettu tiukempia sääntöjä ja ohjeita energiatehokkuuden parantamiseksi. Sähkömoottoreiden energiatehokkuusmääräykset ovat saaneet moottorivalmistajat keskittymään energiatehokkuuden parantamiseen ja moottoreiden kehittämiseen. Työssä pyritään saamaan aikaiseksi perusteet sekä energiatehokkaampien moottoreiden valitsemiselle uudiskohteissa että energiatehokkaampiin moottoreihin vaihtamiselle vanhoissa kiinteistöissä. Moottoreiden vaihto pyritään perustelemaan työssä teknisestä sekä taloudellisesta näkökulmasta.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää erilaisten kiinteistöjen ilmanvaihtolaitteiden moottoreiden vaihtamisella saavutettavissa olevia hyötyjä. Tavoitteena on myös oppia ymmärtämään talotekniikassa käytettyjen moottoreiden mitoituksia ja energiansääntömahdollisuuksia. Näiden tavoitteiden saavuttaminen on opinnäytetyön tavoitteena.

Tämän työn yhteistyökumppanina on ALL-Talotekniikka Oy, jonka pääalana on LVI-SA-tekniinen suunnittelu ja projektinjohto. Työn lähtökohtana on ALL-talotekniikan henkilökunnan tarvitsema tietous LVI-alalla yleisesti käytössä olevista sähkömoottoreista. LVI-insinöörien tarpeena on mitoittaa puhaltimilta vaaditut ilmamäärät ja pumputilta tarvittavat virtaustehot. Työssä esitetään laskukaavat suureiden määrittämiseksi.

Sähköinsinöörin tehtävänä on mitoittaa kiinteistössä moottoreiden syöttökaapelit ja suojaukset. Tehtävää edesauttaa moottoreiden tuntemus. Sähkötehojen laskenta ja siitä johdettava energia-ajattelu ovat myös sähköinsinöörin tehtäviä. Kiinteistön omistajat eivät monesti ajattele moottoria hankkiessaan sitä, kuinka paljon energiaa se elinkaarensa aikana vie. Kuinka monta vuotta menee paremmalta moottorilta tuoda hankintahinnassa hävitty rahasumma takaisin kiinteistönomistajalle? Näihin kysymyksiin pystytään vas-

taamaan laskemalla sekä häviöihin uponneet sähkötehot, että sähkön hinnassa hävitty rahasumma elinkaaren aikana.

ALL-Talotekniikka Oy on vastaperustettu yritys. ALL-Talotekniikka Oy:n henkilökunta pyysi tuottamaan asiakirjapohjan tarjouspyyntöihin ja tarjouksien tekoon. Tarjouspyyntö tehdään, että yrityksessä osattaisiin kilpailuttaa mm. IV-koneet ja saada vertailukelpoisia tarjouksia. IV-koneiden puhaltimien moottoreihin aletaan kiinnittää enemmän huomiota koneita valittaessa, ja myös painottaa valintaprosessissa moottoreiden hyötysuhteita. Tarjouspohja puolestaan toteutetaan palvelemaan mm. vanhoissa kiinteistöissä olevien sähkömoottoreiden vaihtamista. Perusteita vaihtamiselle haettiin sähkömoottoreiden hyötysuhteesta ja hyötysuhteen parantamisella saavutettavien energiahyötyjen kautta. Energiahyötyjen laskenta on taloudellisesta näkökulmasta opinnäytetyössä keskeisessä asemassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää omaa ja ALL-Talotekniikka Oy:n henkilökunnan tietämystä sähkömoottoreista, sekä niiden ominaisuuksista ilmanvaihtokoneissa ja lämpövesijohtopumpuissa. Työssä käsitellään yleisimmin ilmanvaihtokoneissa sekä vesijohtopumpuissa käytettyjä sähkömoottoreita. Tiedon kehityksen pohjalta toiseksi tavoitteeksi muodostuu ALL-Talotekniikka Oy:n palvelutarjonnan laajentaminen energiatehokkaampien sähkömoottoreiden myyntiin, sekä vaihtoon kiinteistöissä.

Konkreettisenä tarkoituksena on kerätä opinnäytetyöhön tietopaketti energiatehokkaan moottorin valintaan IV-koneessa. Työssä käsitellään energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita, sekä energiatehokkuuden mittausta. Opinnäytetyön antaman tiedon perusteella ALL-Talotekniikan LVI-osaajat pystyvät valitsemaan paremmin käyttötarkoitukseen soveltuvan IV-koneen laitevalmistajan koneajojen perusteella. Lisäksi toisena tarkoituksena on kehittää laadukas mallitarjouspohja moottorinvaihtoon yrityksen käyttöön. Tarjouksen sisältöön kerätään kirjallisuuden pohjalta sekä perusteet energiatehokkaampien sähkömoottorien valinnalle, että vanhan sähkömoottorin vaihdolle paremman hyötysuhteen omaavaan sähkömoottoriin.

2 TALOTEKNIIKAN MOOTTORIT

Sähkömoottori on laite, joka muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorin toiminta perustuu pyörivään liikkeeseen, joka saadaan aikaiseksi moottorissa magneettikentän ja virrallisen johtimen välisin voimavaikutuksiin. Ilmiö johon kaikki perustuu, on muuttuvan magneettikentän indusoima sähkömotorinenvoima vaikutuskentässään olevaan johtimeen. Toimintaperiaatteena pyörivälle sähkömoottorille on johtimen liike magneettikentän suhteen tai magneettikentän liike johtimen suhteen siten, että toinen leikkaa toiseen nähden. Moottoria valittaessa tarkastellaan mm. seuraavia tekijöitä: lämpökuormitettavuus, kierrosalue, tarvittava maksimimomentti. (Aura, L & Tonteri A. 2009. 304-305)

Lämpökuormitettavuus tarkoittaa lähinnä moottorin yli- tai alikuormitettavuutta. Vakio oikosulkumoottori on itsejähdytteinen. Tämän takia moottorin kuormitettavuus laskee, kun moottorin nopeus laskee. Jos moottorissa on erillinen jäähdytys, voidaan sitä kuormittaa myös alhaisilla kierrosluvuilla. Jäähdytyksen mitoitetaan siten, että jäähdytysvaikutus on sama kuin moottorin nimellispisteessä. Ylikuormitustapauksissa vaihtovirtamoottoria voidaan ylikuormittaa lyhytaikaisesti ilman moottorin ylikuumentumista. Näiden seikkojen takia pyritään moottori valitsemaan siten, että moottoria voidaan ylikuormittaa noin 30% nimellismomentista hetkellisesti ja ettei moottori olisi jatkuvasti yli- tai alikuormitustilanteessa, vaan pyritään pitämään moottori nimellismomentintuotopistettä lähellä. (Aura, L. 2009. 304, 305)

Talotekniikassa käytetään niin tasa- kuin vaihtosähköllä toimivia sähkömoottoreita. Tasasähkömoottoreiden suurimpana etuna, verrattuna vaihtosähkömoottoreihin, voidaan pitää niiden erinomaista pyörimisnopeuden muuttamismahdollisuutta. Taajuusmuuttajien apu on lisännyt vaihtosähkömoottoreiden käyttöä huomattavasti. Talotekniikka siirtyi oikeastaan pelkästään käyttämään oikosulkumoottoreita, kunnes sittemmin 2010-luvulla on siirrytty taas takaisin tasasähkö PM-moottoreihin sekä EC-moottoreihin. (ABB tekninen opas 7. 23)

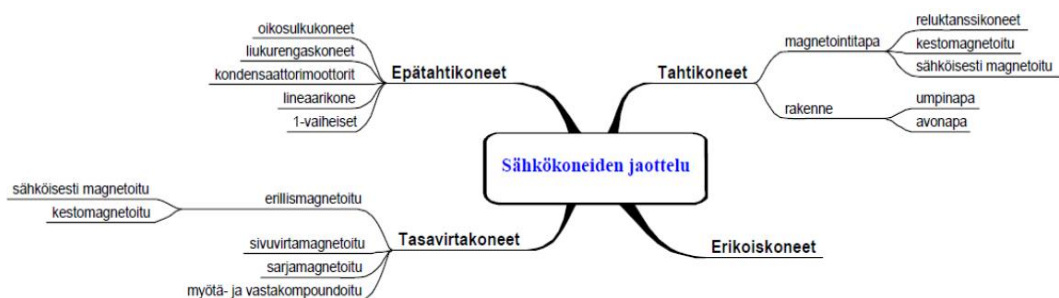
Sähkömoottoria valittaessa sähkömoottoria tulisi pitää momentin lähteenä. Moottorin on pystyttävä muodostamaan tarvittava momentti. Talotekniikassa yleisesti ilmanvaihtokoneissa moottoreiden ylikuormitusta ja alikuormitusta pyritään rajoittamaan 10% nimel-

lisestä momentista. Nimellinen momentti moottoreilla on yleensä käytössä tarvittava suurin momentti. (ABB tekninen opas 7. 7)

Moottoreiden pyörimisnopeuden säätäminen on nykyään tärkeää prosessien, kuten ilmanvaihtokoneiden puhaltimien ilmamäärien ja pumppujen virtaamien osalta. IV-koneissa nopeutta säädetään nykypäivänä usein taajuusmuuttajalla, jota ohjaa automaatiikka. IV-koneita on kahta laatua: Automaation sisällään pitäviä pakettikoneita esimerkiksi Swegon GOLD-koneet, sekä niin sanottuja palakoneita, joihin automaatio rakennetaan erikseen. Myös 0-10V jänniteviestiohjaukset EC-puhaltimille ovat nykypäivää. (ABB Oy)

Sähkömoottorin tehtävä ilmanvaihtokoneessa on saada puhallin pyörimään halutulla nopeudella. Puhaltimen nopeus määrää ilmanvaihtumisnopeuden. Ilmanvaihtumisnopeudelle tunnissa on rakennusmääräyskokoelmassa D2 viitearvot eri tiloille. Pumpuissa vastaavasti rakennusmääräyskokoelmassa D1 on viitearvot vedenpainelle. D1: "Vesilaitteistosta on saatava käyttötarkoitukseen nähden riittävästi vettä." Pumppuja käytetään siis veden liikuttamiseen putkistossa. (D1 2007. 6)

Sähkömoottorit jaotellaan tasavirta- ja vaihtovirtakoneisiin. Vaihtosähkökoneet jaotellaan edelleen tahti- ja epätahtikoneisiin. Kuvasta 1 näkee mitkä koneet kuuluvat mihinkin jaotteluryhmään. (Hietalahti, L. 2011)



KUVA 1. Sähkökoneiden jaottelu (Bastman J.)

2.1 Tasasähkömoottorit

Tasavirtamoottorit ovat perinteisesti olleet säädettävyytensä ansiosta suosittuja säädettyjen käyttöjen moottoreita. Tasavirtamoottoreiden ohjaustekniikan yksinkertaisuus on helpottanut moottorien ominaiskäyrien säätöä prosessille tarpeellisiksi. Ohjaustekniikassa käytetään erilaisia magnetointijärjestelmiä. DC-moottorin huonoja puolia ovat mekaaninen vaihtosuuntaaja sekä mekaanisen rakenteen mutkikkuus ja sen aiheuttama kallis hinta. Mekaaninen vaihtosuuntaaja, joka koostuu kommutaattorista ja hiiliharjoista on kuluva ja säännöllistä huoltoa kaipaava osa moottoria. DC-moottori ei myöskään kestä korkeita pyörimisnopeuksia rakenteensa takia. (Hietalahti L. 2011. 35-40)

Nykyaikana teollisuudessa käytetään useimmiten vierasmagnetoituja moottoreita, joiden säädön helppous ja säätöominaisuudet ovat erinomaisia. Talotekniikassa tasasähkömoottoreita käytetään nykyään yleisimmin ilmanvaihtopuhaltimissa, kuten huippuimureissa ja IV-koneiden puhaltimissa. (Hietalahti L. 2011. 35-40)

Tarkastellaan tasasähkökoneen rakennetta koneen toiminnan ymmärtämiseksi. Magneettikentille muodostuvat magneettiipiirit syntyvät tasasähkökoneen rautaosissa. Koneen kehät ja napojen rautaosat ovat täysrautaa tasamagneettikenttien vuoksi. Magneettivuon vaihteluiden aiheuttamien rautahäviöiden pienentämiseksi napakengät valmistetaan joskus sähkölevystä. Tasamagneettikentän pyörimisliikkeeseen joutuva ankkuri, eli pyörijän rautasydän, valmistetaan sähkölevystä. Varsinainen magneettikenttä syntyy koneeseen sivuvirta- ja sarjakäämityksissä. (Hietalahti L. 2011. 35-40)

Tasavirtakoneen toiminta perustuu pyörivän kommutaattorin hyödyntämiseen. Sylinterimäisen rakenteen omaava kommutaattori on tehty toisistaan eristetyistä kiilamuotoisista kupariliuskoista. Koneen kommutaattorin roottoriakselille sijoitetulle ankkurille syötetään tasavirtaa hiiliharjojen välityksellä. Käämityksien päät kytketään kommutaattoriin yhden vyyhden alkupään ja toisen loppupään liittyessä jokaiseen liuskaan. Koneen staattorissa eli seisojassa sijaitsee koneen magnetointi. Staattorin kehälle on kiinnitetty magnetointia varten magneettinavat, joiden ympärillä sijaitsee magneetoiva käämitys. Tasavirtaa käämiin syöttämällä saadaan aikaan tasavuo, joka leikkaa ankkurikäämistä. Pyörrevirtahäviöiden rajoittamiseksi roottori on aina rakennettava levyrakenteisena. Magnetointikäämistä ja ankkurikäämistä syötetään tasajännitteellä. Magnetoin-

tikäämityksen ja ankkurikäämityksen avulla voidaan helposti säätää koneen nopeutta ja momenttia. (Hietalahti L. 2011. 35-40)

Tasasähkömoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää yhtälön 1 mukaan seuraavilla tavoilla:

Pyörimisnopeusyhtälö:

$$n = \frac{U - I_a * R_a - U_H}{k(\Phi_F + \Phi_D)} \approx \frac{U - I_a * R_a}{k\Phi} \quad (1)$$

, jossa

U on ankkurijännite

I_a on ankkuripiirinvirta

R_a on ankkuripiirin resistanssi

U_H on harjajännite

k on koneen rakennevakio

Φ on päävuoto

Φ_F on vierasmagnetointikäämityksen vuoto

Φ_D on sarjakäämityksen vuoto

(Aura, L. 2009. 372)

1: Säädetään moottorin ankkurijännitettä U . Pyörimisnopeus pienenee ankkurijännitettä pienentämällä pyörimisnopeusyhtälön mukaisesti. Jatkuvassa käytössä jännitteen yläraja on $U=U_n$, joten ankkurijännitteen säätöalue on yleensä $U=0...U_n$, josta seuraa, että pyörimisnopeus muuttuu $n=0...n_n$

2. Säädettäessä moottorin magne-toimisvirtaa I_m , päävuon ollessa riippuvainen magne-toimisvirrasta raudan magnetointikäyrän mukaisesti, suurentuu pyörimisnopeus magne-toimisvirtaa pienentämällä myös päävuon pienentyessä. Tätä tapaa nimitetään myös magneettikentän heikennykseksi. (Aura, L. 2009. 372)

2.1.1 Kestomagnetoidut tasasähkökoneet

Kestomagnetoidussa tasasähkökoneessa on paljon ohjaustekniikkaa. Esimerkkinä ohjaustekniikasta ovat asentoanturit jotka indikoivat roottorin asennon ja näin päästään

syöttävää invertteriä ohjaamaan syöttämällä virtaa moottorin käämityksiin vuoron perään. Kun invertteriä ohjataan syöttämään virtaa käämityksiin oikeassa rytmissä, saadaan roottorin pyörimisestä jatkuvaa. Kestomagneetoidun ja perinteisen hiiliharjallisen tasavirtakoneen merkittävin toiminnallinen ero on, että harjattomassa kestopagneetoidussakoneessa virta syötetään staattoriin, taas harjallisessa koneessa ankkurivirta syötetään hiiliharjojen välityksellä suoraan roottorin ankkurikäänitykseen. (Hietalahti. L. 2011. 47,48)

Eräs kestopagneettikonetyyppi on hiiliharjattomat DC-moottorit. Hiiliharjattomien DC-moottoreiden hyviä puolia ovat mm. korkea hyötysuhde, kompakti rakenne, ohjattavuus, jäähtytys, huoltovapaus, luotettavuus ja alhainen melutaso. Hiiliharjattomien DC-moottoreiden huonoja puolia ovat mm. korkea hinta, rajallinen vakiotehoalue, turvallisuus, magneettinen demagnetoituminen, suurten nopeuksien rajallinen kesto ja toiminta invertterioikosulussa. Yhtenä epäkohtana turvallisuudessa on vapaasti pyörivän tai tyhjäksi jäävän moottorin jännitteisyys. Invertterioikosulku voi johtaa moottorin täydelliseen jumitilanteeseen. (Hietalahti. L. 2011. 47,48)

Kestomagneettimoottoreita käytetään mm. IV-koneissa, ajoneuvoissa, työkaluissa, pienkoneissa ja -laitteissa sekä kodinkoneissa. Kestomagneetoitujen harjattomien DC-moottoreiden ominaisuuksia ovat mm. korkea hyötysuhde, ohjattavuus, jäähtytysten helppous, huoltovapaus, luotettavuus, alhainen melutaso ja kompaktius. Käyttöä haitaneita tekijöitä ovat lähinnä kestopagneettimoottoreiden korkea hintataso. (Hietalahti. L. 2011. 47,48)

2.1.2 EC-moottorit

EC-moottori eli elektronisesti kommutoitu DC-moottori on nykyaikainen energiatehokas moottori. EC-moottori tarkoittaa puhallinta, jossa on hiiliharjaton DC-moottori. EC-moottoreita käytetään mm. ilmanvaihtokoneissa ja -puhaltimissa. (Systemair 2012. 12)

EC-moottoreiden etuja verrattuna oikosulkumoottoreihin ovat mm. pienemmät häviöt kestopagneettien ansiosta ja pienistä häviöistä johtuva korkeahyötysuhde. Moottoreiden hyvä säädettävyys on myös etuna verrattuna oikosulkumoottoreihin. Moottorit ovat huoltovapaita ja luotettavia minimikunnossapidollakin. Moottorit ovat alhaisia meluta-

soltaan, eikä edes moottoria käynnistettäessä synny melua. Moottoreissa on yksinkertainen ja nopea sähkö-/automaatioliitäntä, sisäänrakennetulla elektroniikalla ja moottorinsuojalla. Moottoreita syötetään vakiokaapeleilla toisin kuin oikosulkumoottoreita taajuusmuuttajakäytöissä, missä käytetään EMC-kaapeleita. Oikosulkumoottori vaatii aina säädettävyyteensä taajuusmuuttajan. (Systemair 2012. 12)

EC-moottoreissa on sisäänrakennettuna ylikuormenemissuoja, ylikuormitussuoja, suojaus lukittua roottoria vastaan, elektroninen ohjaus ja pehmokäynnistys. Erikoisominaisuutena EC-moottoreille on niiden energiansäästömahdollisuus erityisesti osakuormilla, mutta myös täydellä kuormituksella. Osakuormalla toimittaessa energiahäviö on paljon pienempi kuin vastaavan tehoisella vaihtosähkömoottorilla. (Ebm-papst Oy. 2008)

Pyörivän roottorin magneettikentän napaisuuden määrittämiselle sekä virransuunnan vaihtamiselle DC-moottorit käyttävät hiiltä, harjoja ja kommutointiyksikköä. Virheetöntä moottorinohjausta varten EC-moottoreiden mekaaninen kommutointi on korvattu elektronisella piirillä, joka syöttää tarkalleen oikeaan aikaan ja oikeaan suuntaan tarvittavan määrän apuvirtaa. Käyttämällä kiinteät käämitykset omaavaa kiinteää staattoria on saatu asioita yksinkertaistettua. Roottorin sisälle kiinnitetyt kestopagneetit sijaitsevat puhaltimen siipipyörissä. Roottorin sisäisen ja kiinteiden kestopagneettien vuorovaikutus indusoi pyörimisliikkeen. (Systemair. 2012)

2.2 Vaihtosähkömoottorit

Vaihtosähkömoottorit jaotellaan kahteen osa-alueeseen: epätahti- ja tahtikoneisiin, jotka ovat ns. kiertokenttäkoneita. Kiertokenttäkoneissa koneen ilmaväliin luodaan kiertokenttä staattorikämmityksen avulla. Kiertokenttä mahdollistetaan jännitteen ja sopivan käämirakenteen avulla. Epätahtikoneita ovat mm. oikosulkumoottorit ja liukurengasmoottorit. Vaihtosähkömoottorien toiminta perustuu pyörivän magneettikentän hyödyntämiseen. (Hietalahti. L. 2011. 51)

Vaihtosähkömoottoreiden paremmuuden aikaisempiin tasasähkökoneisiin verrattuna on aiheuttanut epätahti- eli induktiomoottori, joka valmistetaan usein oikosulkumoottoriksi. Oikosulkumoottori onkin rakenteellisesti lähes ihanteellinen voimakone, koska siinä on vain yksi pyörivä osa, joka on pyörivä roottori. Oikosulkumoottoreiden käytettävyyttä on rajoittanut huono pyörimisnopeuden säädettävyys. Nykypäivän tekniikoilla voidaan

jo valmistaa käyttövarma ja suhteellisen halpa taajuusmuuttaja, jonka avulla oikosulkumoottorin pyörimisnopeuden säätö voidaan saattaa lähes tasasähkömoottorin tasolle. (ABB tekninen opas 7. 23)

2.3 Epätahtikone

Teollisuuden käytetyin sähkökonetyyppi on yksinkertaisuutensa ja kestäväyytensä johdosta täysin suljettu epätahtikone. Talotekniikassa käytetyin sähkökone on oikosulkumoottori. Epätahtikone on yksinkertaisen rakenteensa ja suurten valmistuserien kautta edullisin konetyyppi ja sitä onkin usein saatavilla varastotuotteena useille eri tehoille. Molemmista päästään oikosuljetulla roottorin häkkikäänymyksellä varustettuja epätahtikoneita nimitetään myös induktio- ja oikosulkukoneiksi. (Hietalahti L. 2011. 59-62)

Epätahtikoneelle tyypillistä on sähkömagneettisen induktion avulla sähkötehon vienti koneen pyörivään osaan eli roottoriin. Kolmivaiheisessa epätahtikoneessa pääosia on kaksi: staattori joka on tehty rautalevystä ja jonka urissa on staattorikäänitys sekä roottori, pyörivä osa joka sijaitsee staattorin sisällä, jonka urissa on myös käänitys. (Hietalahti L. 2011. 59-62)

Epätahtikoneen käänitykseen syntyy roottorivirta, kun roottori käänitys on oikosuljettu sisäisesti tai on yhdistetty ulkoiseen kuormitukseen. Käänityksen roottorivirta synnyttää itsensä ja staattorikentän välille voimavaikutuksen, joka yrittää saada roottorin liikkeelle. Roottori alkaa pyöriä, jos syntyvä vääntömomentti on suurempi kuin pyörimistä vastustava kuormitusmomentti. (Hietalahti L. 2011. 59-62)

Epätahtimoottoreissa syntyy virtalämpöhäviöitä, rautahäviöitä sekä mekaanisia häviöitä. Staattorissa syntyy pääasiassa rautahäviöt. Kitka- ja tuuletushäviöt aiheuttavat mekaaniset häviöt. Häviöiden summa huonontaa moottorin hyötysuhdetta eli tehoa menee häviöiden paikkaamiseen, kun moottorilta haetaan tiettyä mekaanista tehoa kuormalle. (Hietalahti L. 2011. 59-62)

Talotekniikassa kestopagneettimoottorit ovat yleistyneet hurjalla vauhdilla. Ilmanvaihtokoneissa kestopagnetoiduista moottoreista puhutaan PM-moottoreina. PM-moottorit ilmanvaihtokoneessa ovat usein taajuusmuuttajalla ohjattuja. Taajuusmuuttaja takaa PM-moottoreille tarkan ja helpommin automaatioon liitettävän säädön. IV-

laitevalmistajat haluavat usein myydä myös taajuusmuuttajat PM-moottoreiden mukana, sillä niiden parametrisointi on hankalampaa ja se on helpompi tehdä valmiiksi tehtaalla. (Karjalainen, J. 2016. Sähköpostiviesti.)

2.3.1 Oikosulkumoottorit

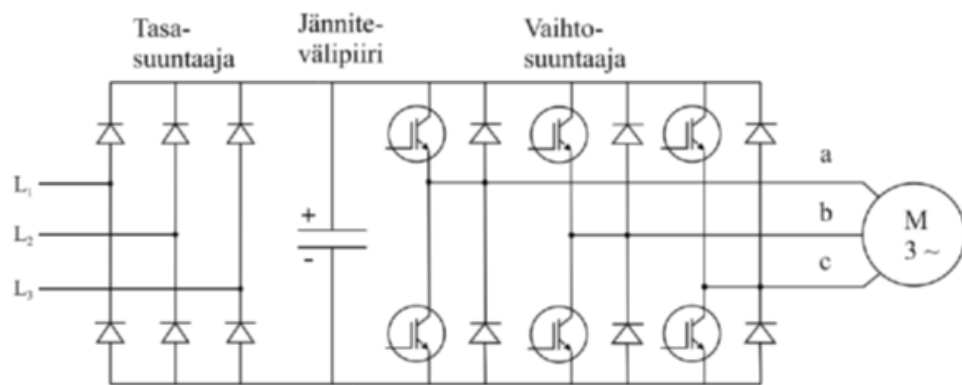
Oikosulkumoottori kuuluu epätahti- eli induktiomoottoreiden luokkaan, josta se valmistetaan oikosulkumoottoriksi. Oikosulkumoottori eli epätahtikone on yleisimmin käytetty moottorityyppi. Oikosulkumoottorin nimi tulee sen roottorin navoista, ne ovat oikosuljettu. Sen yleisyys johtuu edullisesta hinnasta, joka taas johtuu suurista valmistuseristä sekä yksinkertaisesta rakenteesta. 1990-2010 luvuilla suurin osa ilmanvaihtokoneiden puhaltimien moottoreista toimitettiin nimenomaan oikosulkumoottoreina. Nykyään PM- ja EC-moottorit ovat vallanneet oikosulkumoottoreiden osuutta. Oikosulkumoottorit ovat yleistyneet myös nykypäivän tehoelektroniikan kehityksen johdosta. Tehoelektroniikka on kehittänyt hyvät taajuusmuuttajat, joiden avulla oikosulkumoottoreiden säätäminen on tuotu tasasähkökoneiden tasolle. (Aura L. 2009. 304-305)

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Syötettäessä moottoriin vaihtovirtaa luo staattorin käämitys moottorin ilmaväliin pyörivän magneettivuon, joka leikkaa roottorin oikosuljetun häkkikäämityksen sauvoja. Tämän seurauksena roottorisauvoihin indusoituu virtaa, joka magnetoit roottorin. Magnetoitunut roottori pyrkii seuraamaan staattorin pyörivää magneettivuota, mikä saa aikaan roottorin vääntömomentin. Roottorivirran ja staattorikentän välille syntyy voimavaikutus, joka pyrkii saattamaan roottorin liikkeelle. Roottori alkaa pyöriä, kun syntyvä vääntömomentti on suurempi kuin pyörimistä vastustava kuormitusmomentti. Moottorin pyörimisnopeutta voidaan muuttaa taajuusmuuttajalla syöttötaajuutta muuttamalla. Maksiminopeutta rajoittaa koneen mekaaninen kestävyys. (Hietalahti L. 2011. 59-61)

2.4 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on tehoelektroniikan avulla rakennettu ohjauslaite sähkömoottoreille. Talotekniikan pumppu- ja puhallinsovelluksissa tarvitaan nykypäivänä mahdollisuutta muuttaa taajuutta ja/tai jännitettä moottoria syöttävässä verkossa. Taajuusmuuttajan avulla pystytään syöttöä ohjaamalla muuttamalla taajuutta, jännitettä tai virtaa. (Ylirämi, H. 2011.)

Oikosulkumoottorin ohjaukseen rakennetun taajuusmuuttajan kolme pääosaa (kuva 2) ovat tasasuuntaaja, jännitevälipiiri ja vaihtosuuntaaja. Näiden lisäksi tarvitaan ohjaus-elektroniikkaa ja suodinrakenteita. Tasasuuntaajassa jännite muunnetaan vaihtosähköstä tasasähköksi, jännitevälipiiri toimii energiavarastona (jännitevälipiiri sisältää myös usein kuristimen, joka tasaa tasajännitteen muutoksia) ja vaihtosuuntaajassa muunnetaan välipiirin tasasähköstä moottorille vaihtosähkö halutulle taajuudelle. Tasasuuntaaja on valmistettu normaalisti 6-pulssisella diodisillalla, jännitevälipiiri kondensaattoripatterista ja vaihtosuuntaaja on toteutettu IGBT-tehotransistoreilla. (Hietalahti L. 2012. 101-109; Aura, L. 2009. 422-424)



KUVA 2. Taajuusmuuttajan rakenne (Hietalahti, L. 2012)

Taajuusmuuttajan parhaina ominaisuuksina voidaan pitää moottorin pyörimisnopeuden säätöä portaattomasti, käynnistyksen virtapiikkien ja rasituksen rajoittamista, moottorin pysäyttämistä halutulla tavalla (esim. vapaa pyöriminen, ramppi tai "fast stop"), moottorin suojaaminen yli- ja alikuormituksilta, taajuusmuuttaja suojaa myös itsensä. Ominaisuuksien hyötynä on moottorin pienempi rasitus, joka antaa moottorille pidemmän käyttöiän sekä tietysti säädettävyyden tuoma energian säästö, joka on varmasti taajuusmuuttajan paras ominaisuus. (Hietalahti L. 2012. 101-109; Aura, L. 2009. 422-424)

Talotekniikassa moottorisovellukset ovat pääosin joko puhallin- tai pumppukäyttöjä. Suurimmat energiansäästöt on mahdollista saavuttaa kuormitustapauksissa, joissa momenttikäyrä on neliöllinen. Näissä tapauksissa kuormamomentti kasvaa pyörimisnopeuteen nähden verrannollisesti neliössä ja kuormateho kasvaa pyörimisnopeuteen verran-

nollisesti kuutiossa. Toiminnallisena etuna talotekniikan sovelluksissa on tehontarpeen sovitus kuormituksen mukaan, pehmeä käynnistys ja jarrutus sekä jatkuva säätö mahdollisuus. Taajuusmuuttajan yhdistäminen rakennusautomaation prosessisäätöihin antaa potentiaalia merkittäviin energiansäästöihin niin sähkön- kuin lämmönkulutuksessa. (Hietalahti L. 2012. 101-109; Aura, L. 2009. 422-424)

Taajuusmuuttajan suojatessa itsensä ja moottorin etuna on myös keskuksen yksinkertaistuminen, kun tarve on enää vain etusulakkeelle (huom. puhallin käyttöjen hätäseis-toiminto, joka joko ohjelmallisesti automatiikassa tai releillä toteutettuna). Taajuusmuuttajat valitaan moottorin nimellisvirran mukaan. (Hietalahti L. 2012. 101-109; Aura, L. 2009. 422-424)

3 ENERGIATEHOKKUUDEN MÄÄRITTELY

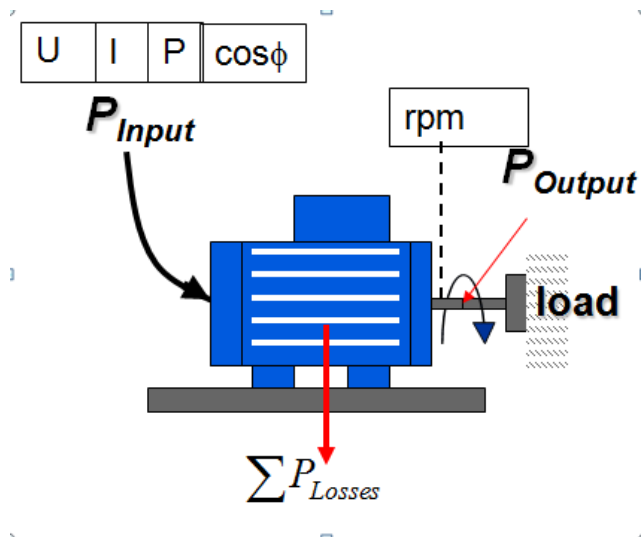
Energiatehokkuudella tarkoitetaan kykyä tuottaa haluttua laatutasoa pienemmällä energiankäytöllä. Sähkömoottoreiden suunnittelussa talotekniikassa energiatehokkuus ja sen parantaminen ovat keskeisessä asemassa. Sähkömoottoria ja niiden mahdollista ohjausta suunniteltaessa voidaan niiden energiatehokkuutta arvioida seuraavin kriteerein:

1. Prosessin teholuokka ja kokonaishyötysuhde
2. Prosessin toiminta-asteen vaihtelu
3. Prosessin toimintapisteen optimointi

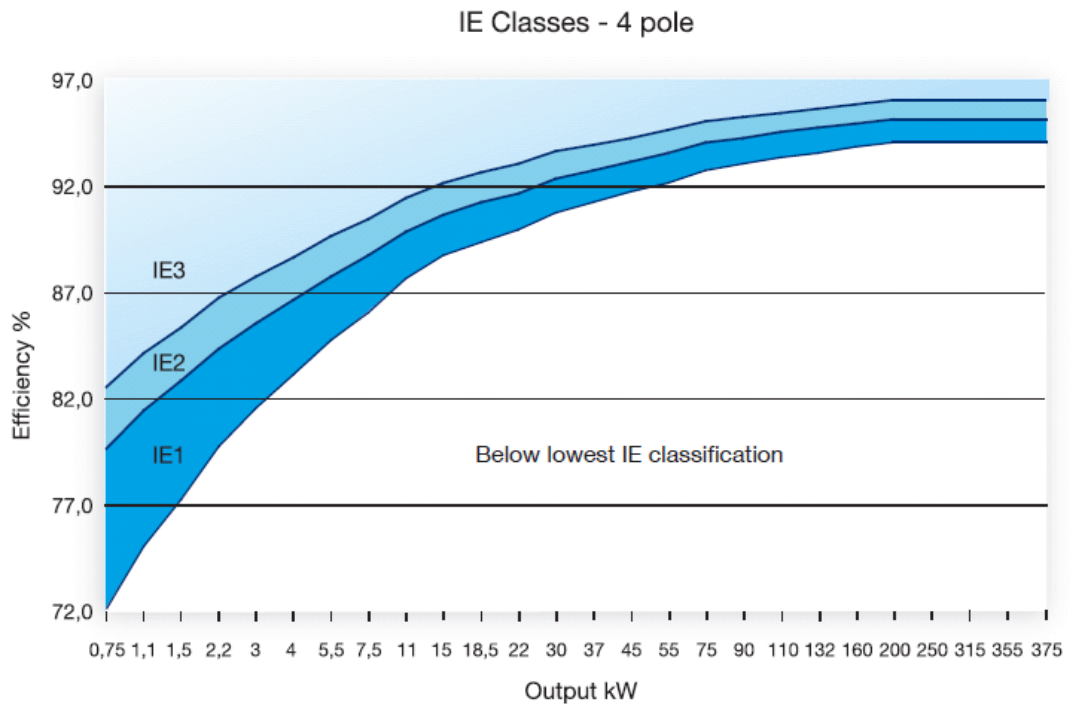
(ABB Oy.)

Nykyinen energiapolitiikka ja ilmastoskenaario ovat tuottaneet yhteisesti sovittuja säännöksiä EU:n alueella. Energianhinta ja kulutuksen tuomat hiilipohjaiset haittavaikutukset ilmastotasapainossa ovat vaikuttaneet moottorikäyttöjen hyötysuhteen mittausstandardin IEC 60034-30:2008 syntyyn. (ABB Oy.)

Sähkömoottorilla energiatehokkuus määritellään hyötysuhteen ja moottorin koon mukaan. Moottorin hyötysuhde määritetään sähkökäyttöön antaman ja verkosta ottaman tehon suhteenä (kuva 3). Moottorin koko ja hyötysuhde sijoitetaan IE-luokitus käyrälle (kuva 4), jonka perusteella katsotaan mihin IE-luokkaan moottori kuuluu. Moottorin hyötysuhteeseen ei lasketa ns. vaihteiston häviöitä eli millä moottori siirtää energiansa sähkökäyttöön. Monesti vaihteistossa hävitään enemmän energiaa kuin moottorin sähköisen energian muunnossa mekaaniseksi energiaksi. (ABB Oy.)



KUVA 3. Moottorin hyötysuhde. (ABB Oy)



KUVA 4. Uudet IE hyötysuhdeluokittelut vanhojen EFF luokkien tilalle (ABB Oy)

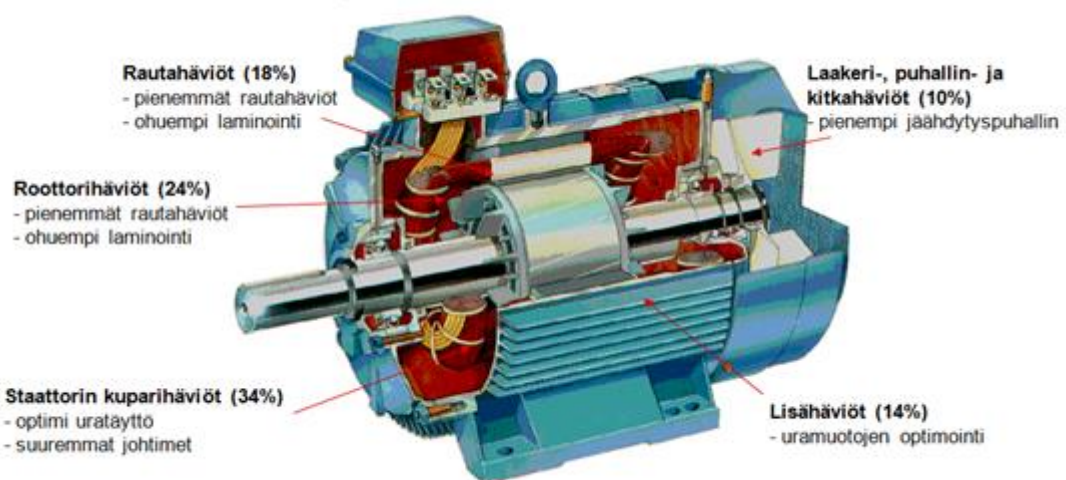
Taloudelliset hyödyt, tekniset mahdollisuudet ohjata kuormalaitetta sekä energiansäästämahdollisuudet ovat syitä säädettyjen järjestelmien lisääntymiselle sähköverkossa. Tehoelektroniikan kehityksen mahdollistamana on syntynyt taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan avulla kestopäinnettujen kiertoakoneiden ohjaus voidaan toteuttaa tarkasti, kun niiden ohjaus ennen oli haasteellista. Taajuusmuuttajan yleistymisen on johtanut teknologian siirtymään tasasähköjärjestelmistä vaihtosähköjärjestelmiin, joissa

taajuusmuuttaja ohjaa kiertokenttäkoneen toimintaa. Taajuusmuuttajilla voidaan ohjata niin isoja kuin pienempiäkin prosesseja. Myös siirtymää tasasähkömoottoreihin on tapahtumassa, uusien hiiliharjattomien EC-moottoreiden teknologiakehityksen saattamana, jossa moottoreita ohjataan suoraan jänniteviestein, sekä kestmagnetoitujen tasasähkömoottoreiden yleistyessä taajuusmuuttaja ohjauksin. (Hietalahti L. 2012. 1)

3.1 Mikä tekee moottorista energiatehokkaamman

Moottorit ovat kehittyneet lähiainoina energiatehokkaammiksi. Uudet direktiivit pakottavat moottorivalmistajia parempaan energiatehokkuuteen. Tämän päivän moottoreiden hyötysuhteet ovat taloudellisen rakentamisen kannalta huipussaan. Suurilla moottoreilla hyötysuhteet voivat olla jo yli 97% ja pienilläkin pakotettu olemaan yli 90%. Loppujen prosenttien käyttöön saattaminen on kallista, johtuen paremman materiaalin suuresta kustannuserosta. Voidaankin siis sanoa, että pitäisi panostaa moottorikäytön parantamiseen, jossa säästöpotentiaalia on enemmän. (Tekniikka & Talous 25.1.2013. 20-22)

Kuvasta 5 näkyy mistä oikosulkumoottorin häviöt prosentuaalisesti koostuvat: Rautahäviöistä (18%), roottorihäviöistä (24%), Staattorin kuparihäviöistä (34%), laakeri-, puhallin- ja kitkahäviöistä (10%) ja lisähäviöistä (14%). Häviöiden parantaminen vaatisi parempia materiaaleja ja optimointia. Moottorin optimoinnilla tarkoitetaan moottoria ohjaavan elektroniikan säätämistä. (ABB Oy)



KUVA 5. Moottorin energiatehokkuuden koostumus (ABB Oy)

3.1.1 Hyötysuhteen määrittelmä sähkömoottorille

Moottoreille hyötysuhde lasketaan moottorin sähköverkosta ottaman sähkötehon ja moottorin akselilta saatavan mekaanisen akselitehon suhteena. Korkea hyötysuhde tarkoittaa moottorin kykyä muuntaa sähkötehoa mekaaniseksi tehoksi energiatehokkaasti.

(ABB Oy)

$$\eta = \frac{P_{Output}}{P_{Input}} \quad (2)$$

, jossa

η on moottorin hyötysuhde

P_{Output} on moottorin kuormalle antama teho, kW

P_{Input} on moottorin sähköverkosta ottama teho, kW

Euroopassa on sovittu eurooppalainen hyötysuhdeluokitus. Sopimuksen osapuolina ovat Euroopan Komissio sekä CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics). Hyötysuhdeluokittelun avulla haluttiin saada hyötysuhde selvästi näkyville. Luetteloihin on pakko kirjata hyötysuhde 3/4- että täydellä kuormalla. Hyötysuhde on leimattava moottorin arvokilpeen. Hyötysuhdeluokitus määrittelee kolme hyötysuhdeluokkaa (IE1, IE2, IE3), pakollisen minimihyötysuhde luokan ollessa IE3 ilman taajuusmuuttajaa yli 7,5 kW moottoreille. (ABB Oy; EU-komission asetus no 640/2009)

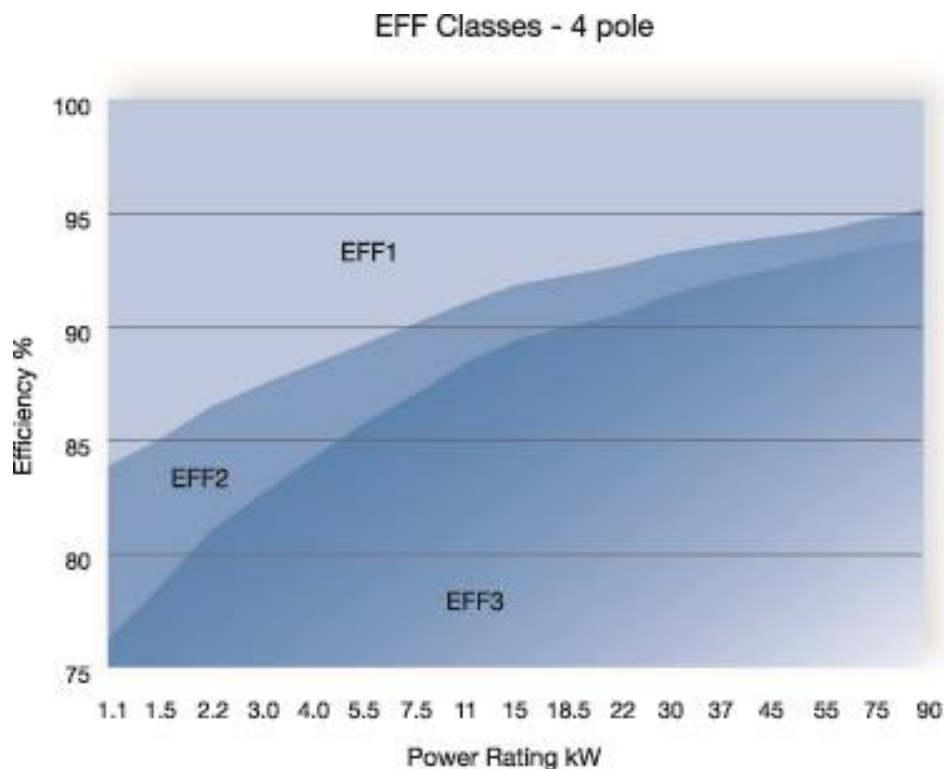
Sähkömoottorit ovat suurin sähkökuormatyyppi teollisuuden alalla, jopa 70 prosenttia teollisuuden sähkönkulutuksesta on sähkömoottoreiden kulutusta. Merkittävän ympäristövaikutusmahdollisuutensa takia myös Euroopan unioni on antanut ekosuunnitteluvälineitä sähkömoottoreille. Asetuksilla pyritään vaikuttamaan ilmastonmuutokseen vähentämällä hiilidioksidipäästöjä, jotka tulevat sähköenergian tuotantoa. Hyötysuhdeluokittelun hyödyt ovat seuraavat: auttaa ja helpottaa moottorin valintaa, lisää eurooppalaisen teollisuuden kilpailukykyä pienentämällä energiakustannuksia, vähentää voimalaitosten kuormitusta sekä vähentää CO₂-päästöjä. (ABB Oy; Tekniikka & Talous 25.1.2013)

3.2 Hyötysuhteen mittausstandardi: IEC 60034-30:2008

IEC 60034-30:2008 standardin mukaan moottorit luokitellaan energiatehokkuutensa perusteella kolmeen luokkaan: IE1, IE2 ja IE3. Näistä luokituksista paras energiatehokkuus on IE3 luokan moottoreilla. (Euroopan unionin komission asetus (EY)N:o 640/2009/IEC 60034-30:2008)

3.2.1 Vanhat poistuneet EFF luokat ja vertailu uuteen mittausstandardiin

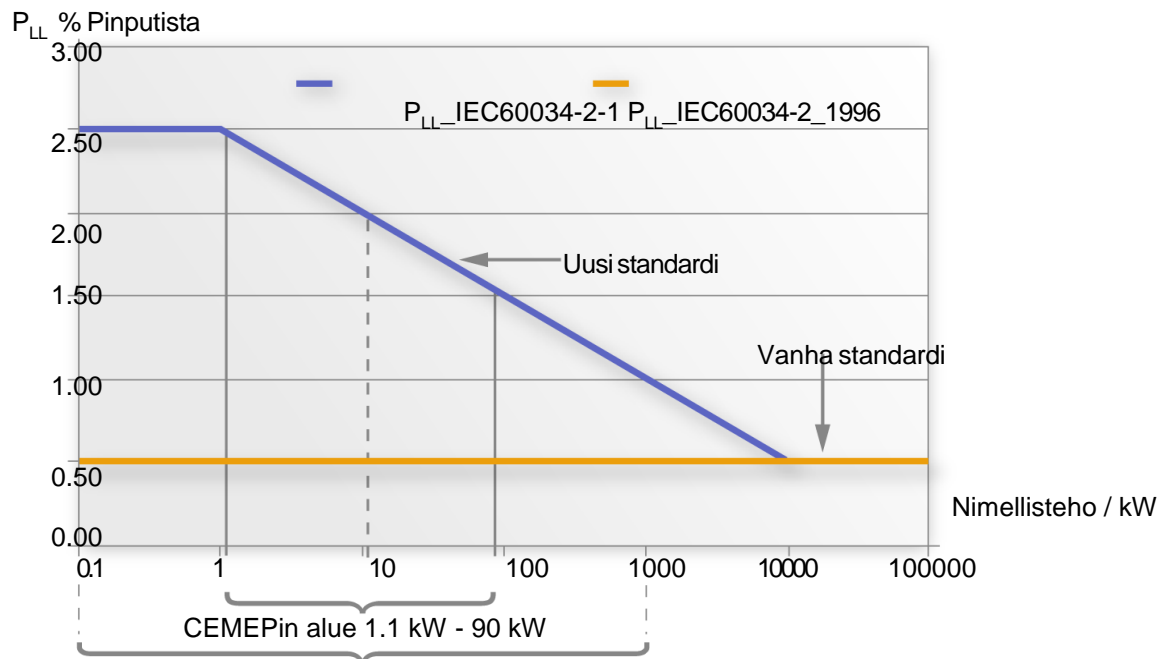
Vanha mittausstandardi (EFF-luokat kuvassa 6) sisälsi vain 2- ja 4-napaiset moottorit tehovälillä 1,1-90 kW. Uusi standardi sisältää 2-, 4- ja 6-napaiset moottorit välillä 0,75-375 kW. Myös Atex-luokitellut moottorit sekä jarrumoottorit sisältyvät uuden standardin piiriin. Vanha standardi oli vapaaehtoinen, ei pakollista minimihyötysuhdetta. Uusi standardi on pakollinen ja sisältää minimihyötysuhde vaatimuksen.



KUVA 6. Poistuneet EFF-luokitukset (ABB Oy)

3.2.2 Hyötysuhteen mittausstandardi: IEC 60034-2-1:2007

Vanhassa hyötysuhteen mittausstandardissa (EN/IEC 60034-2:1996 standardi) lisähäviöt oli mahdollista määrittää 0,5:ksi prosenttiyksiköksi sähkötehosta, jonka moottori ottaa verkosta. Uudessa mittausstandardissa on vaihtoehtoja lisähäviöiden määrittelyyn. Lisähäviöt voidaan laskea kuormitustestin perusteella tai määrittää kiinteä arvo 2,5-1,0 prosenttiyksikköä (esimerkkejä muutoksesta kuvassa 7) moottorin nimelliskuormalla verkosta ottamasta tehosta. Vanhassa standardissa staattorin kuparihäviöt ja roottorihäviöt retusoitiin aina 95 Celsius-asteen lämpötilaan, uudessa standardissa häviöt määritetään todellisen lämpötilan mukaan. Tämä johtaa uuden standardin suosimiseen moottoreille, joiden lämpenemä on pieni. Uudessa mittausstandardissa lisähäviöiden mittaus on harmonisoitu kansainvälisten standardien kanssa (CSA C-390 ja IEEE 112-B). Kuvasta 8 käy ilmi vanhan ja uuden mittausstandardin ero. (IEC 60034-2-1:2007)



KUVA 7. Moottoreiden lisähäviöiden määrittäminen vanha standardi (1996) verrattuna uuteen. (ABB Oy)

Moottorin nimellisteho	'Vanha' mittausstandardi: EN/IEC 60034-2 : 1996	Uusi mittausstandardi IEC 60034-2-1: 2007-09	
	Hyötysuhde	Hyötysuhde	Ero
5.5 kW, 4-nap.	89.50 %	88.80 %	- 0.70 %-yks.
11 kW, 4-nap.	91.50 %	90.70 %	- 0.80 %-yks.
160 kW, 4-nap.	96.00 %	95.50 %	- 0.50 %-yks.

KUVA 8. Esimerkkejä hyötysuhteen muutoksesta moottoreilla (ABB Oy)

3.3 EuP-direktiivi 2005/32/EC: Eco-design of Energy-using products

EuP-direktiivissä säädetään moottoreiden energiatehokkuuden noususta portaittain vuoteen 2017. Ensimmäinen vaihe tuli käyttöön jo 16.6.2011 alkaen. Ensimmäisessä vaiheessa määrättiin, että moottoreiden tulee täyttää hyötysuhdeluokka IE2 (kuva 9). Toinen vaihe, joka tuli käyttöön 1.1.2015, määrää, että moottoreiden tehoalueella 7,5-375kW täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 tai hyötysuhdeluokan IE2 moottori tulee asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä. Vaihe kolme otetaan käyttöön 1.1.2017 eli ensi vuoden alussa, jolloin moottorit 0,75-7,5kW otetaan mukaan vaiheen kaksi mukaisesti. (EuP-direktiivi 2005/32/EC)

Vaihe 1: 16.6.2011 alkaen	Moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE2
Vaihe 2: 1.1.2015 alkaen	Tehoalue 7.5 – 375 kW, moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 TAI hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä
Vaihe 3: 1.1.2017 alkaen	Tehoalue 0.75 – 375 kW, moottoreiden täytyy täyttää hyötysuhdeluokka IE3 TAI hyötysuhdeluokan IE2 moottori täytyy asentaa taajuusmuuttajakäyttöisenä

KUVA 9. IE-luokitusten siirtymävaiheet (ABB Oy)

3.3.1 EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: Kiertovesipumput ja sähkömoottorit

EuP-direktiivin vaikutukset näkyvät vaatimuksina kiertovesipumpuille. 1.1.2013 alkaen myytävien erillisten pumppujen, jotka eivät ole laitteen osana, energiatehokkuusindeksi (EEI, energy efficiency index) ei saa olla suurempi kuin 0,27. Asetus ei koske pumppuja, jotka on suunniteltu aurinkolämpö- tai lämpöpumppujärjestelmiin. 1.1.2015 alkaen erillisten ja muun laitteen (esim. lämmityskattilan) osana olevien pumppujen energiatehokkuusindeksi ei saa olla suurempi kuin 0,23. Asetus sallii vain sellaisten kiertovesipumppujen myynnin, jotka muuttavat pyörimisnopeuttaan tarpeen mukaan. (Rautiainen, K. 2009.)

Gaia Consulting Oy:n tekemässä tutkimuksessa todetaan: "Energiatehokkuustoimet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä arvioidaan energiansäästöjä vuositasolla seuraaviksi: Taajuusmuuttajilla saavutettava säästö on keskimäärin 20% (erilähteistä ja käyttötavoista riippuen säästö n.10-50%). IE2 moottoreilla saavutetaan noin 2% säästö verrattuna perinteisiin moottoreihin. IE3 moottoreilla saavutetaan noin 5% säästö verrattuna perinteisiin moottoreihin." (Rautiainen. 2009)

3.4 Taajuusmuuttajan ja moottorin valitseminen pumppu- ja puhallinsovelluksissa

Moottorien mitoituksen peruseriaatteena on pyrkiä saamaan moottori antamaan työkooneen tarvitsema mekaaninen energia tuotettua parhaalla mahdollisella tavalla. Mitoittaessa on selvítettävä seuraavat kolme asiaa. Onko hyvällä sähkökäytön valinnalla mahdollista parantaa työkooneen ja sitä kautta prosessin ominaisuuksia? Mitkä ovat työkooneen aiheuttamat vaatimukset sähkömoottorikäytölle? Entä mitkä ovat sähkökäytön vaatimukset sähköverkolle ja ympäristölle ja vaikutukset näihin? (Hietalahti. 2012. 1-2)

Pumppu ja puhallinsovelluksia mietittäessä mitoituksen vaiheita moottoreille ovat kierrosalueen tarkistus, tehonlaskenta korkeimmalla mahdollisella kierrosluvulla, käynnistysmomentin tarve ja napaparin myötä taloudellisin toimintataajuus moottorille. Taloudellisin toimintataajuus on yleensä kentänheikennys alueella, jossa moottoriteho sekä teho ovat käytettävissä maksimikierrosluvulla. Näiden lisäksi vielä taajuusmuuttaja ja sen valinta. Taajuusmuuttaja valitaan pumppu- ja/tai puhallinarvoja käyttämällä, jos näitä ei ole saatavilla, taajuusmuuttaja valitaan moottorivirran mukaan. (ABB Oy)

Otetaan esimerkki moottorin ja taajuusmuuttajan valinnasta. Pumpulla on 15 kW kuormitus 2000rpm kierrosluvulla:

$$T = \frac{9550 * P}{n} Nm \quad (3)$$

, jossa

T on moottorin tuottama momentti, Nm

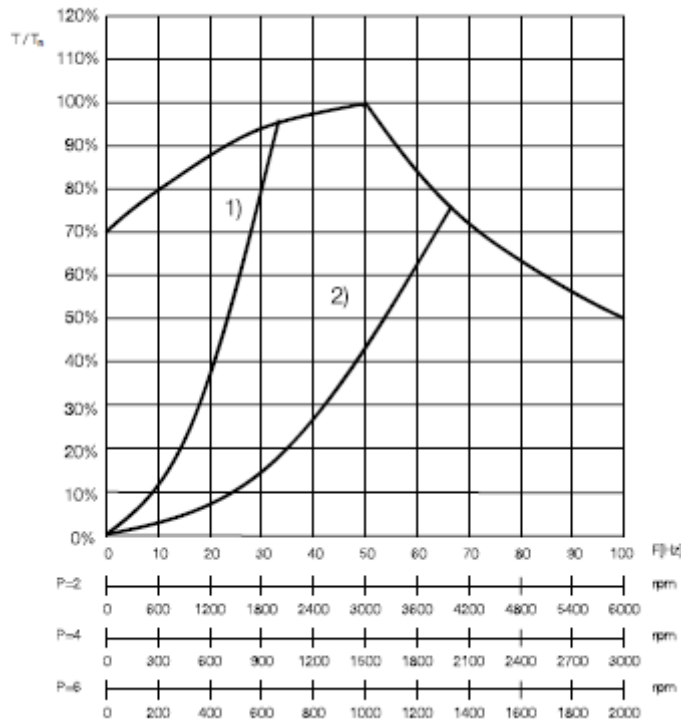
P on teho, kW

n on moottorinkierrosluku

(ABB Oy)

$$T = \frac{9550 * 15}{2000} Nm = 71,6 Nm$$

Sovellukseen voidaan valita joko 2- tai 4-napainen moottori (Kuvassa 10 2- ja 4-napaisten moottoreiden kuormitettavuuskäyrät).



KUVA 10. Moottorin kuormitettavuuskäyrät pumppu- ja puhallinsovelluksissa. Vertailussa 1) 2-napaiset ja 2) 4-napaiset moottorit (ABB Oy)

1) Moottori, jonka napapariiluku $p=2$

2-napaiselle moottorille kuormitettavuus 2000 rpm kierrosluvulla on noin 95%, joten nimellismomenttia on oltava:

$$T \geq \frac{71,6}{0,95} Nm = 75,4 Nm$$

Josta lasketaan vastaavan nimellisteho, jonka on oltava vähintään:

$$P_n \geq \frac{75,4 Nm * 3000}{9550} kW = 23,7 kW$$

Valitaan sähkömoottori kuvan 11 moottori arvo taulukosta:

General purpose aluminum motors

Technical data for totally enclosed squirrel cage three phase motors



IP 55 – IC 411 – Insulation class F, temperature rise class B

Output kW	Motor type	Product code	Speed r/min	Efficiency		Power factor cos φ 100%	Current		Torque			
				Full load 100%	3/4 load 75%		I_n	$I_{L\beta}$	T_n	$T_{L\beta}$	T_{max}	
3000 r/min = 2-poles			400 V 50 Hz				Basic design					
0.09	M2VA 56 A	3GVA 051 001-**-A	2820	59.8	53.3	0.69	0.32	3.9	0.31	2.9	2.7	
0.12	M2VA 56 B	3GVA 051 002-**-A	2840	67.2	63.8	0.64	0.41	4.1	0.41	3.2	2.8	
0.18	M2VA 63 A	3GVA 061 001-**-C	2820	73.7	70.6	0.64	0.56	4.2	0.62	3.5	3.1	
0.25	M2VA 63 B	3GVA 061 002-**-C	2810	77.5	75.8	0.71	0.66	4.5	0.87	3.6	3.3	
0.37	M2VA 71 A	3GVA 071 001-**-C	2840	77.1	76.5	0.72	1	5.5	1.25	3.8	3.9	
0.55	M2VA 71 B	3GVA 071 002-**-C	2830	79.2	78.2	0.76	1.35	5.7	1.86	3.6	3.7	
0.75	M2VA 80 A	3GVA 081 001-**-B	2870	81.2	79.3	0.75	1.8	6.2	2.49	2.9	3.6	
1.1	M2VA 80 B	3GVA 081 002-**-B	2850	81.4	79.5	0.78	2.5	6.1	3.69	2.3	3.5	
1.5	M2AA 90 S	3GAA 091 001-**-E	2870	80.1	76.2	0.82	3.35	5.5	5	2.4	3.0	
2.2	M2AA 90 L	3GAA 091 002-**-E	2885	83.6	83.9	0.87	4.37	6.0	7.5	2.5	3.0	
3	M2AA 100 L	3GAA 101 001-**-E	2900	86.0	84.1	0.88	5.95	7.5	10	2.7	3.6	
4	M2AA 112 M	3GAA 111 101-**-E	2895	85.7	86.1	0.90	7.6	7.2	13.2	2.7	3.3	
4	M2AA 112 M	3GAA 111 001-**-A	2850	86.0	86.0	0.91	7.4	7.5	13.4	2.8	3.0	
5.5	M2AA 132 SA	3GAA 131 001-**-A	2855	86.0	86.0	0.88	10.5	6.8	18.3	2.7	3.5	
7.5	M2AA 132 SB	3GAA 131 002-**-A	2855	87.0	87.0	0.90	13.9	7.2	25	3.2	3.8	
11	¹⁾ M2AA 160 MA	3GAA 161 111-**-A	2915	88.4	88.9	0.89	20.5	6.2	36	2.1	2.5	
15	¹⁾ M2AA 160 M	3GAA 161 112-**-A	2900	89.5	89.9	0.90	27	6.1	49.4	2.4	2.6	
18.5	¹⁾ M2AA 160 L	3GAA 161 113-**-A	2915	90.2	90.5	0.91	32.5	6.8	61	2.6	3.0	
22	¹⁾ M2AA 180 M	3GAA 181 111-**-A	2925	91.2	91.3	0.89	39	7.9	72	2.8	3.2	
30	¹⁾ M2AA 200 LA	3GAA 201 011-**-A	2945	92.0	92.0	0.88	53	7.9	97	3.0	3.7	
37	¹⁾²⁾ M2AA 200 L	3GAA 201 012-**-A	2945	92.8	92.9	0.89	65	8.2	120	3.1	3.6	
45	M2AA 225 M	3GAA 221 011-**-A	2940	93.0	93.0	0.88	80	7.7	146	2.8	3.0	
55	¹⁾ M2AA 260 M	3GAA 251 011-**-A	2960	93.5	93.8	0.90	95	7.3	177	2.8	3.0	

¹⁾ Temperature rise class F for 380 V 50 Hz.

²⁾ Temperature rise class F for 415 V 50 Hz.

The bullets in the product code indicate choice of mounting arrangement, voltage and frequency, generation code (see ordering information page).

KUVA 11. Moottorien arvo taulukko 2-napaisille ABB-moottoreille (ABB Oy)

Valitaan 30kW moottori (400V, 53A, 50Hz, 2945rpm ja 0,88). Moottorin nimellismommenti on

$$T_n = \frac{30 * 9550}{2945} Nm = 97 Nm$$

Moottorivirta lasketaan seuraavalla laskukaavalla:

$$i_m = \frac{T_{kuorma}}{T_n} * I_n \quad (4)$$

, jossa

T_{kuorma} on kuormamomentti, Nm

T_n on nimellismomentti, Nm

I_n on nimellisvirta, A

(ABB Oy)

Moottorivirta 2000rpm kierrosluvulla (vakiovuoalue) on noin:

$$i_m = \frac{T_{kuorma}}{T_n} * I_n = \frac{75,4}{97} * 53A = 41A$$

Tämä (41A) on myös taajuusmuuttajan jatkuvavirta.

Valitaan kuvan 13 kaaviosta taajuusmuuttajaksi pumppu ja puhallinkäyttöön sopiva taajuusmuuttaja moottorin nimellisarvon perusteella. Taajuusmuuttajaksi valitaan siis ACS601-0030-3 käytön ollessa puhallin- tai pumppusovellus.

Tekninen taulukko, kolmivaiheinen verkkojännite 380 V, 400 V tai 415 V.

Tyyppi (U _n = 400 V *)	Normaali käyttö			Raskas käyttö			Pumppu ja puhallin			Tietoja laitteista ja kaapeista							
	I _n A	110% I _n A	P _n kW	I _{150%} A	150% I _n A	200% I _n A	P _{150%} kW	I _{200%} A	P _{200%} kW	Korkeus mm	Leveys mm	Syvyys mm	Paino kg	Molu dBA	Lämpöohvio kW	Ilmavirta m ³ /h	Moduulin tyyppi
ACS601-0005-3	7,6	8,4	3	6,2	9,3	12,4	2,2	7,6	3	420	220	292	14	61,1	0,06	40	R2
ACS601-0006-3	11	12	4	7,6	11	15,2	3	11	4	420	220	292	14	61,1	0,10	40	R2
ACS601-0009-3	15	17	5,5	11	17	22	4	15	5,5	420	220	292	14	61,1	0,14	40	R2
ACS601-0011-3	18	20	7,5	15	23	30	5,5	18	7,5	420	250	298	17,5	49,0	0,19	60	R3
ACS601-0016-3	24	26	11	18	27	36	7,5	24	11	420	250	298	17,5	49,0	0,26	60	R3
ACS601-0020-3	32	35	15	24	36	48	11	41	18,5	526	306	310	25	61,5	0,38	70	R4
ACS601-0025-3	41	45	18,5	32	48	64	15	47	22	526	306	310	25	61,5	0,46	100	R4
ACS601-0030-3	47	52	22	41	62	82	18,5	62	30	715	306	360	35	65,0	0,55	260	R5
ACS601-0040-3	62	68	30	47	71	94	22	76	37	715	306	360	35	65,0	0,75	260	R5
ACS601-0050-3	76	84	37	62	93	124	30	89	45	715	306	360	35	65,0	0,93	260	R5
ACS601-0060-3	89	98	45	76	114	152	37	112	56	715	306	432	50	65,0	1,1	280	R6
ACS601-0070-3	112	123	55	89	134	178	45	124	75(60)	715	306	432	50	65,0	1,4	280	R6
ACS601-0100-3 [§]	147	162	75	112	168	224	55	178	90	860	480	428	88	65,8	1,9	660	R7
ACS601-0120-3 [§]	178	196	90	147	221	294	75	200	110(100)	860	480	428	88	65,8	2,3	660	R7
ACS601-0100-3	147	162	75	112	168	224	55	178	90	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	280	65,8	1,9	660	R7
ACS601-0120-3	178	196	90	147	221	294	75	200	110(100)	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	280	65,8	2,3	660	R7
ACS601-0140-3	216	238	110	178	267	356	90	250	132	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	360	61,8	2,8	1640	R8
ACS601-0170-3	260	286	132	216	324	432	110	300	160	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	370	61,8	3,3	1640	R8
ACS601-0210-3	316	348	160	260	390	520	132	375	200	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	370	61,8	4,0	1640	R8
ACS601-0260-3	395	435	200	316	474	632	160	480	250	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	400	67,6	5,0	1840	R9
ACS601-0320-3	480	528	250	395	593	790	200	510	315(265)	2080 [§]	830 [§]	644 [§]	400	67,6	6,3	1840	R9
ACS601-0400-3	600	661	315	494	741	988	250	712	400	2080 [§]	2130 [§]	644 [§]	710	65	7,9	3580	2XFR8
ACS601-0490-3	751	827	400	600	901	1200	315	912	500	2080 [§]	2130 [§]	644 [§]	870	71	10	3680	2XFR9
ACS601-0610-3	912	1003	500	751	1127	1502	400	969	560	2080 [§]	2130 [§]	644 [§]	870	71	13	3680	2XFR9
ACS601-0760-3	1094	—	630	821	1231	1502	500	1094	630	2120 [§]	3030 [§]	644 [§]	1480	71	20	5090	B4+R11
ACS601-0930-3	1336	—	710	1002	1503	1802	630	1336	710	2120 [§]	3530 [§]	644 [§]	1750	73	24	6930	B4+R12
ACS601-1120-3	1624	—	900	1218	1827	2252	710	1624	900	2120 [§]	3530 [§]	644 [§]	1750	73	29	6930	B4+R12
ACS601-1440-3	2079	—	1120	1559	2339	3002	900	2079	1120	2120 [§]	4030 [§]	644 [§]	2500	75	39	9790	B5+2xR11
ACS601-1770-3	2558	—	1400	1919	2878	3602	1120	2558	1400	2120 [§]	5230 [§]	644 [§]	2800	76	47	13470	B5+2xR12
ACS601-2140-3	3085	—	1750	2314	3471	4504	1400	3085	1750	2120 [§]	5230 [§]	644 [§]	2800	76	55	13470	B5+2xR12

Normaali käyttö:

I_N nimellislähtövirta.
110 % I_N lyhytaikainen ylikuormitusvirta sallittu enintään minuutin ajan 5 minuutin välein.

Raskas käyttö:

I_{150%} nimellislähtövirta.
150 % I_N lyhytaikainen ylikuormitusvirta sallittu enintään minuutin ajan 5 minuutin välein.
200 % I_N lyhytaikainen ylikuormitusvirta sallittu ACS 601-0005-3...ACS 607-0610-3

2 sekuntia 15 sekunnin välein (maks. moottorin akseliteho 1,5 * P_n).

Tyypille ACS 607-0760-3... ACS 607-2140-3 10 sekuntia 60 sekunnin välein.

Pumppu- ja puhallinkäyttö:

(neliöllinen kuorma)
I_{NS2} nimellinen rms-lähtövirta.

P_n, P_{150%}, P_{200%} moottorin nimellisteho. Tehoarvot (kW) pätevät useimmille 6-napaisille IEC 34-moottoreille. Virta-arvot säilyvät muuttumattomina verkkojännitteestä riippumatta.

Jotta taulukossa esitetty moottorin nimellisteho voitaisiin saavuttaa, ACS 600 SingleDriven nimellisvirran on oltava vähintään yhtä suuri kuin moottorin nimellisvirta. Suluissa olevat arvot ilmoittavat nimellisellä rms-lähtövirralla (I_{NS2}) saatavan moottorin tehon.

*) Tehoarvot pätevät nimellijännitteellä (400 V).

[§] EMC-suoitelle tarvitaan 400 mm:n lisäkaappi.

[§] Kaapelointi ylhäältä -malleihin 400 mm:n lisäkaappi.

[§] Kaapelointi ylhäältä -malleihin 600 mm:n lisäkaappi.

[§] Kaapelointi ylhäältä -malleihin ja/tai yhteisen moottorin liitäntään tarvitaan 800 mm:n lisäkaappi.

[§] Kaapelointi ylhäältä -malleihin ja/tai yhteisen moottorin liitäntään tarvitaan 600 mm:n lisäkaappi.

[§] IP 54:n korkeus poikkeaa.

[§] Suurin syvyys on 689 mm (sis. ovenkahvan).

[§] Suurin syvyys on 731 mm (sis. valokaarisuojat ja ovenkahvan).

[§] Vain IP 22.

[§] EMC-suoitelle tarvitaan 600 mm:n lisäkaappi.

Huomautus: Kuormitettavuus (virta ja teho) pienenee, jos asennuspaikan korkeus merenpinnasta ylittää 1000 metriä, tai jos käyttöympäristön lämpötila ylittää 40 °C. ACS 601:n kuormitettavuus IP 54 -kotelolle poikkeaa, lisätietoja on ACS 600 Technical Catalogue -oppaassa, koodi 58059412.

Huomautus: 110 % I_N ja 150 % I_{NS2} lyhytaikainen ylikuormitusvirta sallittu enintään minuutin ajan 10 minuutin välein 240 V-käyttöille.

KUVA 12. ABB-taajuusmuuttajia (ABB Oy)

3.4.1 Sähkömoottorin tehtävät ja ominaisuudet IV-laitteissa

Ilmanvaihtojärjestelmiä ja nesteen pumppausta tehdään yhä enemmän säädetyillä järjestelmillä. Säätö on ominaisuutena tärkeä, sillä käytöt ovat nykypäivänä tärkeää mitoittaa

tarkasti käyttötarkoituksen mukaan. Jos ilmastointikone pyörii jatkuvasti täydellä teholla, vaikka tarvetta tälle ei olisi menetettäisiin huimat energiansäästö mahdollisuudet lähtemällä kuristamaan ilmamääriä sulkupeltien ynnä muiden avulla. Vaihtoehtoisesti taajuusmuuttajalla voidaan säätää ilmamäärää säätämällä puhaltimen pyörimisnopeutta tarpeen mukaan. (Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas)

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudelle esitetään vaatimuksia Suomen Rakentamismääräyskokoelman osassa D2. Muun muassa ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien käyttämälle sähköteholle on annettu enimmäis ohjearvot. IV-koneiden ominaisuuksia mitataan normaalisti SFP-luvulla, eli Specific Fan Power, ilmanvaihtojärjestelmän sähkötehokkuus. SFP-luku on lukuarvo, mikä kertoo, miten paljon sähkötehoa ilmanvaihto tarvitsee yhden ilmakeuution siirtämiseen sekunnissa. Tähän pystytään vaikuttamaan oikealla suunnittelulla ja hyvillä laitevalinnoilla. Sähkönkulutuksen ollessa merkittävä osuus energiantarpeessa, voidaan määräyksiä ja hyvää suunnittelua noudattamalla vaikuttaa koko rakennuksen ympäristökuormitukseen ja elinkaarikustannuksiin. (Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas)

Seuraavassa ote Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2(2011) vaatimuksista:

"4.1.1

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava rakennuksen suunnitellun käyttötarkoituksen ja käytön perusteella siten, että se luo omalta osaltaan edellytykset tehokkaalle energiankäytölle.

Ilmanvaihdon energiatehokkuus varmistetaan rakennuksen käytön kannalta tarkoituksenmukaisilla keinoilla tinkimättä terveellisestä, turvallisesta ja viihtyisästä sisäilmastosta.

4.1.1.3

Ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava siten, että järjestelmän ottama sähköteho voidaan helposti mitata.

4.1.1.4.

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,5 kW/(m³/s). Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä

enintään 1,0 kW/(m³/s).”

(D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 30.3.2011)

SFP-luvun laskentaa varten on tarpeellista, että myös sähkösuunnittelussa toteutetaan suositusta IV-sähkötehon mittauksesta. Näin ollen on helpompi todentaa laitevalmistajien antamia SFP-lukuja. Lukuja onkin monesti nykypäivän tarjouspyynnöissä sekä urakka-asiakirjoissa pyydetty todentamaan laskemalla jälkikäteen.

SFP-luvun laskenta:

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_{max}} \quad (5)$$

, jossa

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho, kW (m^3/s)

$P_{tuloilmapuhaltimet}$ on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho, kW

$P_{poistoilmapuhaltimet}$ on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho, kW

q_{max} on mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m^3/s

(Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas)

3.4.2 Puhallinmoottorin mitoituksen periaatteet

Puhallinmoottorilta vaadittu teho riippuu puhaltimella tuotetusta ilmamäärästä, painehäviöstä ja puhaltimen hyötysuhteesta. Ilmanvaihdon ilmavirtoja pyritään säätämään tarpeen mukaisesti. Taajuusmuuttajan avulla voidaan ohjata puhaltimien moottoreita rakennusautomaation mittauksien ja ohjauksien avulla. Käytettyjä tapoja säätää ilmavirtoja ovat myös vakiopaineohjaus paineanturin avulla sekä aikaohjelmat. Nykyään talotekniikassa käytetään jo usein näiden kolmen yhdistelmiä. (Hietalahti. 2012. 10; Yli-Rämi. 2011)

Vaadittu teho voidaan laskea seuraavalla kaavalla.

$$P_w = \frac{1}{\eta} * Q * p \quad (6)$$

$$p = \rho * \frac{v^2}{2} + \lambda * \rho * \frac{v^2}{2} * \frac{l}{d} + \Delta p_{kr} \quad (7)$$

, jossa

Q on tilavuusvirtaus,

p on kokonaispaine,

η on hyötysuhde 0.3...0.65,

ρ on kaasun tiheys (ilma $1,2\text{kg}/\text{m}^3$,

λ on kitkakerroin,

Δp_{kr} on mutkasta tai kuristuksesta aiheutuva painehäviö ja

l, d on kanavan pituus ja halkaisija

(Hietalahti. 2012. 10)

3.4.3 Sähkömoottorin tehtävät ja ominaisuudet pumppukäytöissä

Myös patteriverkoissa on IV-verkoston kaltainen ongelma. Laitetaan kiertämään pattereihin siirtimen pumpun avulla ylisuuri määrä lämpöä, josta seurauksena tilat lämpenevät liiaksi ja tuotetaan liikaa lämpöenergiaa kiinteistössä tai kiinteistölle lämpöratkaisuissa. (Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas)

Nykyään lämmitysverkostoissa pumpun yhteyteen on yleensä integroitu taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan avulla on mahdollista säätää tarkasti pumppujen toimintaa ja tätä kautta säätötapa. Lämmitysverkostoilla etenkin IV-koneissa on suuresti vaihtelevat tehon tarpeet ilmamäärien ja ulkolämpötilan muuttuessa. Sama juttu on myös jäähdytetyssä IV-verkoston avulla. Näitä vaihteluita on helppo säätää rakennusautomaation avulla säätämällä pumppujen toimintaa. (Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas)

3.4.4 Pumppumoottorin mitoituksen periaatteet

Pumppumoottoria mitoittaessa teho riippuu tuotetusta nestemäärästä, painehäviöstä ja pumpun hyötysuhteesta. Painehäviön laskennassa huomioidaan nesteen nostokorkeudesta aiheutuva termi. Pumpun energiatehokkuuteen vaikuttaa myös säätötapa.

(Hietalahti. 2012. 11)

$$P_w = \frac{1}{\eta} * Q * p \quad (8)$$

$$p = \rho * g * h + \rho * \frac{v^2}{2} + \lambda * \rho * \frac{v^2}{2} * \frac{l}{d} \quad (9)$$

, jossa

h on nostokorkeus,

η on hyötysuhde 0.8...0.95, mäntä 0.5 ... 0.85 keskipako,

ρ on tiheys (vesi 103 kg/m³)

λ on kitkakerroin,

l, d on putken pituus ja halkaisija

(Hietalahti. 2012. 11)

4 ENERGIA TEHOKKAAT RATKAISUT

Energiamääräykset ovat pakottaneet moottoreita ja niiden sovelluksia talotekniikassa parempaan energiatehokkuuteen. Määräykset pakottavat moottoreilta parempaa hyötysuhdetta, mutta puhuttaessa energiatehokkaista ratkaisuista puhutaan yleensä moottorin koko sovelluksesta ja moottorin ajosta energiatehokkaasti.

4.1 Moottorikäytön- tai sovelluksenohjaus

Moottoreita ohjattaessa puhutaan usein taajuusmuuttajista, mutta taajuusmuuttaja on vain keino saada moottoreita ohjattua tarpeen mukaisesti. Esimerkiksi ilmanvaihdosta puhuttaessa automaatiolaitteilla kuten ilmamääränsäätöpelti, läsnäolo- ja hiilidioksiditunnistimet sekä aikaohjelmat antavat ilmanvaihtolaitteelle tilalle kullakin hetkellä tarpeellisen ilmamäärän. IMS-pelti säättää kanavan ilmamäärää pienemmälle, kun tilassa ei ole ketään ja taas suuremmalle, kun tilassa ollaan ja hiilidioksidipitoisuus alkaa nousta. (ABB Oy)

4.2 Moottorin energiatehokkuus annetuista moottoriarvoista

Sähkomoottoreiden valinnassa on kiinnitettävä huomiota moottoreiden hyötysuhteeseen. Vaikka paremman hyötysuhteen moottorit maksavatkin enemmän, ne tuottavat itsensä takaisin elinkaarensa aikana. Moottoreiden hankintahinta on verrannollinen sen 8-12 viikon sähkönkulutukseen. Moottorin hankintahinnan osuus on vain 1-2 prosenttia elinkaarikustannuksista. Korkeamman hyötysuhteen moottoreilla on mahdollista päästä pienempiin elinkaarikustannuksiin. (Tekniikka ja talous 25.1.2013; ABB Oy)

4.2.1 Takaisinmaksuaika -periaate moottoria valittaessa

Miten hyötysuhde vaikuttaa häviöihin? Moottorin kokonaishyötysuhteen kasvattaminen 3%-yksiköllä alentaa häviöitä n. 30-40%. Todistetaan asia laskemalla. Oletetaan että moottorilta vaadittu työteho on 10 kW ja sen hyötysuhde on 90%, vastaavasti valitaan toinen moottori, jonka hyötysuhde on 93%. (ABB Oy)

Moottorin takaisinmaksussa puhutaan yleensä energiatehokkaamman moottorin hankintahinnan erotuksen takaisinmaksuajasta suhteessa energiatehottomampaan sähkömoot-

toriin. Takaisinmaksu lasketaan sähköenergiassa hävityn rahan vertailulla suhteessa moottorin hankintahintojen erotukseen. Moottorin vaihtoa voidaan kuvitella vanhassa kiinteistössä saneeraamalla IV-koneen moottori uuteen tai uusissa kiinteistöissä vaihtamalla suunnittelurajojen puitteissa valittu moottori vielä energiataloudellisempaan moottoriin. (ABB Oy)

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{n} \quad (10)$$

, jossa

P_{in} on moottorin ottama teho sähköverkosta

P_{out} on moottorin kuormalle antava teho

n on hyötysuhde

$$P_L = P_{in} - P_{out} \quad (11)$$

, jossa

P_L on moottorin häviöt

$$P_{in1} = \frac{10kW}{0,90} = 11,11kW$$

$$P_{in2} = \frac{10kW}{0,93} = 10,75kW$$

Moottorilla 1 häviöt ovat 1,11kW ja moottorilla 2 häviöt ovat 0,75kW. Häviöt ovat vähentyneet paremman hyötysuhteen moottorilla 0,36kW, mikä on n. 32% vähemmän häviöitä mitattuna prosenttiyksiköissä. Oletetaan myös, että moottori 1 maksaa 500 euroa ja moottori 2 sata euroa enemmän eli 600€. Lasketaan paremman hyötysuhteen moottorille takaisinmaksuaika huomioiden pelkkä energiakustannus. Oletetaan, että sähköenergia maksaa siirtokuluineen noin 0,11€/kWh. Oletetaan myös, että kyseessä on ilmastointikoneen puhallinmoottori ja että moottori on päällä 8760 h / vuosi eli koko ajan.

$$n^* = \frac{\epsilon_{osto1} - \epsilon_{osto2}}{(E_1 - E_2) * t * \epsilon_E} \quad (12)$$

, jossa

n^* on takaisinmaksuaika

E on energiankulutus

t on aika jonka laite päällä vuodessa

ϵ_E on energian ostohinta

ϵ_{osto} on moottorin ostohinta

$$\frac{100\text{€}}{0,36\text{kW} * 8760\text{h} * \frac{0,11\text{€}}{\text{kWh}}} = \frac{100\text{€}}{346,9\text{€}} = 0,29\text{vuotta} = 15\text{ viikkoa}$$

Sähköenergian hinta on suhteellisen iso ja jo pienenkin moottorin häviöihin uppoaa iso rahamäärä vuodessa. Moottorin energiatehokkuutta parantamalla voidaan pienentää vuosikulutusta ja hiilijalanjälkeä kiinteistöissä. (Tekniikka ja talous 25.1.2013)

4.2.2 Vanhan moottorin vaihto uuteen ja energiatehokkaampaan

Moottorin hyötysuhdetta parantamalla voidaan perinteisestä moottorista saada noin 5% tehohyöty irti paremmasta moottorista. Helena Raunion tekstissä on haastateltu kahden suuren moottorinvalmistajan ABB:n ja SIEMENS:n henkilöitä. Ilkka af Ursinin Siemens Oy:ltä mukaan: ”Toimivaa, elinkaaren puolivälissä olevaa sähkömoottoria ei yleensä kannata vaihtaa paremman hyötysuhteen moottoriksi.” Kristian Holberg ABB Oy:ltä taas on toista mieltä: ”Sähkömoottoreiden investointikustannukset ovat kaksi prosenttia ja käyttökustannukset 98 prosenttia elinkaarikustannuksista.” (Tekniikka & Talous 25.1.2013. 20-21)

Otetaan esimerkki ABB:n kalvoista moottorin vaihtamiselle vanhasta uuteen (kuva 13):

Korkean hyötysuhteen moottorit

Vanhan moottorin korvaaminen – esimerkki

■ Vaihtoehdot IE 2 (A) ja IE 1 (B) moottorit

	Moottori A	Moottori B	Moottori C
	UUSI	UUSI	VANHA
Hyötysuhdeluokka	IE 2	IE 1	alle IE1
Teho kW	5,5	5,5	5,5
Hyötysuhde	89,4 %	86 %	80 %
Hankintahinta EUR	350	250	0
Käyntiaika h / vuosi	8000	8000	8000
Häviöt kWh / vuosi	5217	7163	11000
Energian hinta EUR / MWh	55	55	55
Häviöt EUR / vuosi	287	394	605

■ IE 2 -moottorin hankinta on kannattavaa

Energiansäästö EUR / 8000h	
vs. moottori B	107
vs. moottori C	318
Lisäinvestointi EUR	
vs. moottori B	100
vs. moottori C	350
Takaisinmaksuaika / v	
vs. moottori B	0,93
vs. moottori C	1,10

■ IE 2 -moottorille

Käyttöikä / v	30
Käyttöikä / tuntia	240000
Kulutettu energia MWh	1477
Energian hinta EUR	81208
Moottorin hinta / energian hinta	0,43 %

KUVA 13. Vanhan moottorin korvaaminen uudella (ABB Oy)

Kuvan 13 laskelmien perusteella voidaan perustella moottorin vaihtamisen kannattavuus kiinteistöissä, kuten Kristian Holberg myös Tekniikka ja talous -lehden haastattelussa totesi. Vanhoista kiinteistöistä löytyy todella vanhoja huonon hyötysuhteen omaavia sähkömoottoreita. Niiden vaihtamisella säästettäisiin energiaa ja tätä kautta vähennettäisiin hiilidioksidipäästöjä. ABB:n materiaaleissa on annettu lukema 0,5kg CO₂ päästöjä / 1 kWh sähköenergiaa. Luonnon säästämisen kannalta moottorin vaihtoa olisi hyvä ajatella myös yleisimmän raha-ajattelun ulkopuolelta. (Tekniikka & Talous 25.1.2013. 20-21; ABB Oy)

4.3 ABB:n puhaltimien ja pumppujen energiataloudellisuuden todentamistyökalu

ABB Oy on kehittänyt pumppu- ja puhallinlaskentaohjelman, jota hyödyntämällä voidaan laskea energiansäästö kiinteistöjen pumppu- tai puhallinsovelluksille. Ohjelmassa on vaihtoehtoja puhallinsovelluksille, moottoreille ym. joita valitsemalla valitaan oikeat lähtötiedot. Lähtötietoina käytetään esim. Ilmanvaihtokoneen kaksinopeusmoottorin vaihtamista CO₂-ohjattuun taajuusmuuttajalla varustettuun moottoriin. (ABB Oy)

Työkalu laskee energiansäästön käyttäen osanopeuksia, joita taajuusmuuttajalle voidaan syöttää, ja vertaa niitä kaksi nopeusmoottorin vastaaviin energian kulutuksiin. Tuloksina työkalun käytölle saadaan energiansäästö ja tätä kautta rahansäästön potentiaali esille. Työkalu laskee myös takaisinmaksuajan, vuosittaisen säästön, elinkaarisäästön ja CO₂-päästöjen vähentymisen. (ABB Oy)

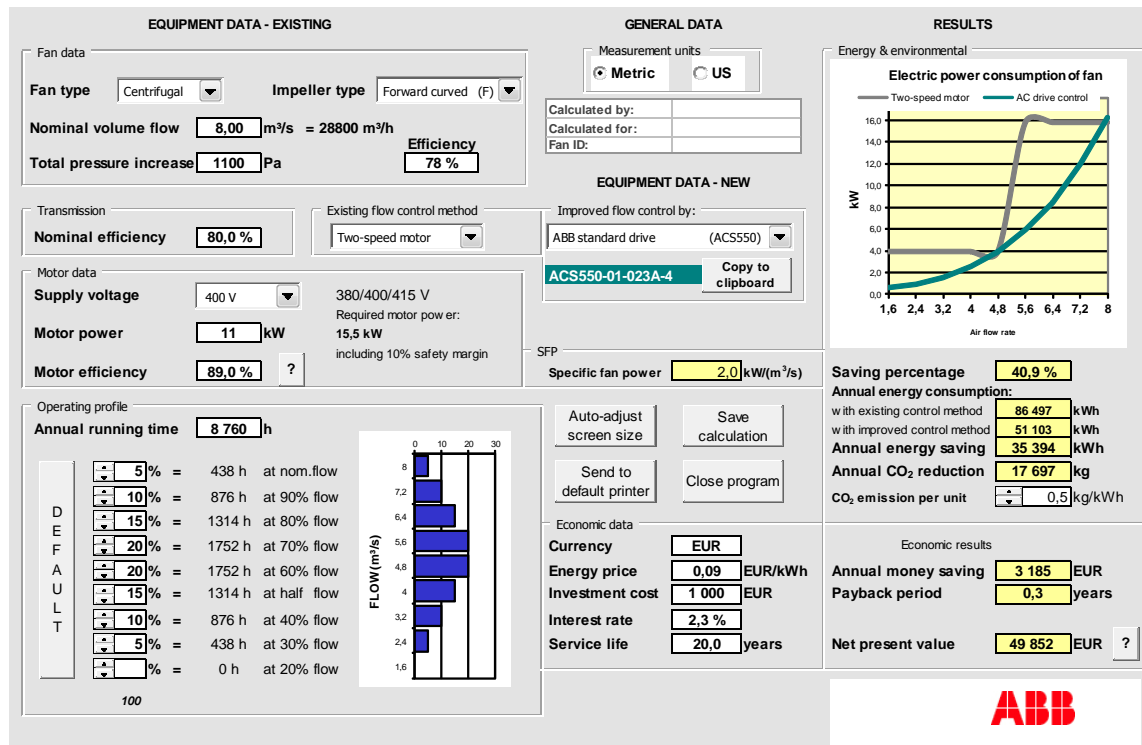
Seuraavassa esimerkki työkalunkäytöstä. Uusi puhallin ohjautuu CO₂-pitoisuuden mukaan taulukon 1 mukaisesti seuraavasti:

TAULUKKO 1. Puhaltimen ajotuntien jakauma

Vuoden ajojakso		8760 h	
5 %	=	438h	nimellisellä nopeudella
10 %	=	876h	90% virtauksella
15 %	=	1314h	80% virtauksella
20 %	=	1752h	70% virtauksella
20 %	=	1752h	60% virtauksella
15 %	=	1314h	50% virtauksella
10 %	=	876h	40% virtauksella
5 %	=	438h	30% virtauksella
0 %	=	0h	20% virtauksella

Työkalu on Excel-pohjainen ohjelma. Näkymä työkalusta kuvassa 14. Työkalun käyttö vaatii englanninkielentaitoa. Valkoisein kenttiin syötetään lähtötiedot. Taulukon täyttö aloitetaan syöttämällä nykyisen sovelluksen tiedot. Esimerkiksi yllä täytetyssä on annettu seuraavat tiedot:

Fan Type: Puhaltimen tyyppi
 Impeller Type: Puhaltimen siipien muoto
 Nominal volume flow: IV-koneen / puhaltimen ilmamäärä
 Total pressure increase: kokonaispaine systeemissä (sisältäen kanavoinnit ym.)
 Efficiency: Koko järjestelmän hyötysuhde
 Transmission efficiency, nominal efficiency: Vaihteiston hyötysuhde
 (ABB Oy)



KUVA 14. Säästölaskelma 11kW puhallinsovellukselle taajuusmuuttajaohjauksella vs. 2-nopeusmoottori (ABB Oy)

Johtopäätöksenä kuvan 14 perusteella voidaan todeta, että taajuusmuuttajalla voidaan säätää pyörimisnopeutta halutusti. Nopeuden säätö säästää energiaa, kun ollaan poissa 2-nopeusmoottorin nimellispisteistä. Työkalulla saadaan helposti luotua yksinkertaiset perusteet moottorin vaihtamiselle kiinteistöissä. Työkalun täytetty näkymä voidaan laittaa esimerkiksi moottorinvaihtotarjouksen liitteeksi.

5 HYVÄ TARJOUSPYYNTÖ JA TARJOUS

Tarjouspyyntö kuuluu työelämän tavallisimpiin liikekirjeisiin. Oikein laadittuna se on hankintaprosessin tärkein asiakirja. Tarjouspyynnön tavoitteena on saada vertailukelpoisia tarjouksia, jotta yrityksen tarpeet saadaan täytettyä taloudellisemmin. Tavoitteeseen päästään parhaiten tekemällä pyynnöstä selkeä. Tuotteiden tai palveluiden vertailu on mahdotonta, jos ei ole saanut tarvittavia tietoja. Tarjouspyynnön laadinnassa on siis käytettävä huolellisuutta. (Kuusniemi-Laine, A. & Takala, P. 2007. 161; Repo, I. & Nuutinen, T. 2003. 109)

Tuote tai palvelu, joka halutaan, kuvataan tarkasti tyypiltään, nimeltään, käyttötarkoitukseltaan ja määrältään. Toimitusaika ja vastausaika helpottavat yhteistyön sujumista. Tarjouspyynnön sisältöön kuuluvat myös tunnistetiedot, osoitetiedot, mahdolliset viitteet, otsikko, asiaa hoitavan henkilön nimi ja allekirjoitusosa. (Kuusniemi-Laine. 2007. 161; Repo, I. & Nuutinen, T. 2003. 109)

Tarjouspyyntöön vastataan tarjouksella. Tarjouksesta käy ilmi ehdot, joilla myyjä on valmis tarjoamaan tuotteen tai palvelun. Jotta tarjous on kilpaileva, sen tulisi olla realistinen ja kiinnostava. Se on sitova asiakirja, jos se on allekirjoitettu ja muuta ei erikseen mainita. Tärkeää on merkitä tarjouksen voimassaoloaika. Lopullisesta kaupasta sovitaan yleensä neuvottelussa, joiden pohjana hyvä tarjous toimii. (Kuusniemi-Laine. 2007. 161; Repo, I. & Nuutinen, T. 2003. 109)

Viestintätaito -oppaan (2003) mukaan tarjousta kirjoittaessa tulee miettiä sen edustavuutta, myönteisyyttä, täsmällisyyttä ja viimeistelyä. Tarjous edustaa yritystä, joten sen tulisi olla kohtelias ja palveluhenkinen. Jotta tarjous palvelisi asiakasta hyvin, tiedon tulisi olla helposti omaksuttavissa. Siihen vaikuttaa tekstin täsmällisyys, tiiviys ja virheettömyys. Kielen ei tarvitse olla kirjakieltä, mutta huoliteltua puhekieltä tulisi käyttää. Sanavalintojen on hyvä olla myönteisiä. Negatiivisia asioitakin ilmoittaessa voi ehdottaa vaihtoehtoista ratkaisua. (Repo & Nuutinen 2003. 111)

Tarjouksen alusta käy ilmi tunnistetiedot, osoitetiedot, mahdolliset viitteet, otsikko ja mahdollinen kiitos tarjouspyynnöstä. Tarjottavasta tuotteesta tai palvelusta kirjoitetaan tarkasti nimi ja tietoja esimerkiksi laadusta, hintatiedoista ALV:tä unohtamatta, pakkauksesta ja asennuksesta. Tarjouksesta tehdään kiinnostava hinnan alennusten lisäksi

kaupan ehdoilla toimitusajoista, -paikoista ja -tavoista, maksuehdoista ja -tavoista sekä kuljetustavoista. Hyvään asiakaspalveluun kuuluu sopiminen takuista, huoltopalveluista sekä käyttökoulutuksista. Ei tule unohtaa myöskään tarjota asiakkaalle mahdollisuutta tutustua tuotteeseen tai palveluun näytekappaleella, esittelytilaisuudessa tai henkilökohtaisesti yhteyshenkilön kanssa. (Kuusniemi-Laine. 2007. 161; Repo, I. & Nuutinen, T. 2003. 111)

6 YHTEENVETO

Moottoreiden energiatehokkuuteen vaikuttavia asioita on monia. Moottorilla paremmat materiaalit ja suunnittelu vähentävät häviöitä ja tätä kautta parantavat energiatehokkuutta. Moottoreiden energiatehokkuutta enemmän potentiaalia on moottoreiden säätämislä. Taajuusmuuttajat oikosulkumoottoreilla ja EC-puhaltimien 0-10V säätö mahdollistavat säädön puhaltimen tai pumpun nopeutta muuttamalla, eikä kuristamalla verkkoa niin kuin ennen on tehty. Näitä säästöjä varten tarvitaan nykypäivänä yleistynyttä automaatiota, sekä tämän mittauksia ja säätöjä.

Nykyään yleisimmin käytetty ilmanvaihtokoneen sähkömoottori on PM-moottori. PM-moottoreilla varustettuja puhaltimia ohjataan taajuusmuuttajalla. Koska PM-moottorin taajuusmuuttajan parametrisointi on hankalaa, taajuusmuuttajat tulevat koneen mukana valmiiksi parametrisoituina tehtaalta. PM-moottorin suurimmat edut ovat energiatehokkuudessa. Ne ovat energiatehokkaampia kuin vielä vähän aikaa sitten yleisimmät oikosulkumoottorit. Eritoten SFP-luvun ja moottoreiden energiatehokkuuden kiristyminen ovat ajaneet konevalmistajia siirtymään energiatehokkaampiin moottoreihin.

2000-luvulla rakennetuista IV-koneista yleisin moottori on oikosulkumoottori. IV-koneen oikosulkumoottoria ohjataan taajuusmuuttajalla automaation avulla. Toiseksi yleisimmin nykyään käytetty moottori on EC-moottori, niiden integroitua elektroniikkaa pystytään myös ohjaamaan automaatio-sovelluksilla. EC-moottoria käytetään enemmän huippumuri sovelluksissa, mutta myös IV-koneen puhaltimissa EC-moottori on yleistynyt. Pumppukäytöissä käytössä on integroituja oikosulkumoottoreita, eli moottorin kytkentäkoteloon on integroituna taajuusmuuttaja. Myös pumppukäytöissä automaatio-ohjaukset ovat yleisesti käytössä.

Sähkömoottoreiden energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat moottorissa syntyvät häviöt. Moottorin häviöiden pienentämiseen pystytään vaikuttamaan materiaalivalinnoilla ja moottorin rakenteella. Moottorijon kokonaistaloudellisuuteen pystytään vaikuttamaan säätämällä moottoria tarpeen mukaan. Energiatehokkuutta mitataan yleisesti moottorin nimellispisteessä olevien häviöiden vertaamisella moottorin tuottamaan momenttiin.

EU:n lainsäädäntö on säätänyt IE-luokitukset, jotka käsittelevät moottoreiden energiatehokkuutta. EuP-direktiivistä 2005/32/EC konevalmistajat on pakotettu portaittain siirtymään käyttämään paremman energiatehokkuuden omaavia sähkömoottoreita.

Perusteet vanhan moottorin vaihtamiselle uuteen moottoriin tulevat elinkaariajattelumallista. Elinkaariajattelussa sähkömoottoreille ajatellaan, että moottorin hankintahinta on vain murto-osa verrattuna elinkaaren aikana sähkömoottorin kuluttaman sähköenergian kustannuksiin.

Sähkömoottorin vaihtamisen perustelua kiinteistön omistajille on hankalaa tehdä muuten kuin teknis-taloudellisten laskelmien avulla. Näiden laskelmien avuksi on annettava perusteita ammatillisen osaamisen avulla. Monella kiinteistön omistajalla ei ole jalansijaa ns. "vihreiden arvojen" -periaatteelle, vaan myös rahaa täytyy säästyä ja mieluusti niin paljon, että moottorin vaihdon takaisinmaksu on alle kymmenen vuotta. Oma kokemukseni on, että alle kymmenen vuoden takaisinmaksuajoilla perustellut laitevalinnat menevät helpommin kiinteistön omistajille läpi kuin sen yli menevät takaisinmaksuajat.

Laadukas tarjouspyyntö on asiallinen ja selkeä. Tarjouspyynnön tarkoituksena on taloudellinen vertailu. Laadukkaalla tarjouspyynnöllä varmistetaan, että pyydettyyn aiheeseen saadaan vertailukelpoiset tarjoukset. IV-koneiden tarjouspyyntöä kirjoittaessa on tärkeää saada kiinteistön kannalta tarpeelliset asiat tarjouspyyntöön. Tärkein asia mitoituksellisesti konevalmistajille on kanavapaine ja tarvittavat ilmamäärät.

Laadukas moottorinvaihtotarjous on lyhyt, asiallinen ja selkeä. Tarjous on selvästi osoitettu jollekulle. Tarjouksen tekijä ja tarjouksesta tietävä henkilö on myös selvästi kerrottu tarjouksen sivulla. Tarjous kuvaa tarkasti mitä myydään ja mihin hintaan. Tarjouksen tulee olla edustava ja ystävällinen.

IV-koneen tarjouspyyntöön on hyvä kirjata moottoreilta haluttu hyötysuhde, jos halutaan energiatehokkaat moottorit koneeseen. Pelkkä moottoreilta vaadittu hyötysuhde ei riitä, vaan myös kokonaiskäyttöä pitää ajatella. Moottoreille pitää varata kapasiteettia ilmamäärien kasvattamiselle moottorin hetkellisellä ylikuormittamisella. Tämä tarkoittaa sitä, että laitevalmistaja ei saa ali mitoittaa koneeseen asennettavia sähkömoottoreita nimellisasteessa eli halutulla ilmamäärällä. Monesti IV-koneiden tarjouksen mukana tulevilla koneajoilla on haluttu ilmamäärä saatu oikosulkumoottorilta käyttämällä niitä

yli Suomessa normalisoidun jännitetaajuuden 50Hz. Yleisesti moottorivalmistajat pitävät n. 10% moottorin yli/alikuormitus tilaa moottorille sallittuna jatkuvassa käytössä.

7 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia ALL-Talotekniikka Oy:n käyttöön hyvä pohja tarjouksille ja tarjouspyynnöille. Tarjouspohjan luonti onnistui sujuvasti, kun pohjan luontiin otettiin mallia muiden yritysten tarjouspohjista. Tarjouspohja muotoutui monen eri mallitarjouksen pohjalta. Tarjouspyyntöpohja muokattiin tarjouspohjasta, kun tarjouspohja oli saatu riittävän hyvälle tasolle. Molempien pohjien liitteitä mietittiin käyttäjien tarpeen mukaan LVI-insinöörien sekä sähköinsinöörien ammattitaidon ja pohdintojen pohjalta. Tarjouspohja on helposti muokattavissa Word-muodossa ja se löytyy ALL-Talotekniikan verkkoasemalta, jonne on pääsy jokaisella työntekijällä. Opinnäytetyön heikkous on, että tarjousmateriaalia sähkömoottoreista ei päästy kokeilemaan asiakkailta. Näin ollen asiakkailta saatu palaute jäi saamatta ja mahdolliset lisäykset tarjousmateriaaliin lisäämättä. Tarjouspyyntöpohjaa päästiin testaamaan ja IV-koneiden myyjiltä saatu palaute oli hyvää, materiaalin ollessa lyhyt mutta sisällökäs. Molemmat pohjat ovat käytössä yrityksessä edelleenkin.

Yhtenä opinnäytetyön vahvuutena on kattava tietous käytössä olevista moottoreista, sekä näiden energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä. Vahvuus näkyi opinnäytetyön kykyinä lisätä ALL-Talotekniikka Oy:n henkilökunnan tietämystä yleisesti talotekniikassa käytetyistä sähkömoottoreista. Kirjallisista lähteistä kerättiin työn teoriaosuus. Teoriaosuuteen kerättiin talotekniikassa käytetyistä sähkömoottoreista sekä näiden energiatehokkuudesta tietoa. Teoriaosuuteen toi haastavuutta vähäinen kirjallinen materiaali ja luotettavien lähteiden puutos. Opinnäytetyön tiedot perustuvat yhden ison moottorivalmistajan materiaaliin, sekä luotettavien lähteiden kirjallisuuteen. Teoriaosuudesta pyrittiin karsimaan pois erittäin vähäisessä käytössä olevat talotekniikan sähkömoottorit ja keskittymään energiatehokkuuteen ja sen todentamiseen laskennallisesti.

Tutkimusongelmat olivat keskeisessä roolissa työnedetessä. Kaikkiin tutkimusongelmiin tuli opinnäytetyössä vastaukset. Osiin kysymyksistä kattaukset olivat laajoja ja kattavia, osassa vastaukset tulivat lyhyesti, mutta asiasisällöllisesti. IV-koneen tarjouspyyntöön moottoreiden energiatehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä, käytännön vaikuttaminen jäi suurilta osin konevalmistajalle, siinä ehkä työn suurin kehityspaikka.

Työn hyödyt henkilökohtaisesti olivat erinomaiset. Moottorit, niiden ajot, suunnittelu ja mitoitus tulivat tutuiksi talotekniikan IV- ja pumppukäyttöjen osalta. Samalla tutustui

moottoreiden kytkentöihin sekä ominaisuuksiin. Suunnittelussa moottorin mitoitus ja energiansäästömahdollisuudet tulivat erilaisten hankkeiden osalta LVI-suunnittelun kanssa läpikäytyä. Asentajien kytkentöjen ja työmaalta muun saadun palautteen myötä sai lisätietoutta, miten moottoreita voi ohjata ja mitä tietoutta niistä saa automaatioon.

LÄHTEET

ABB. Tekninen opas nro 7 - Sähkökäytönmitoitus. Helsinki: ABB industry OY.

ABB. Energiatehokkaat moottorit ja taajuusmuuttajat. Helsinki: ABB industry OY.

ABB. TTT-käsikirja. Helsinki: ABB industry OY.

ABB. Teknistä perustietoa sähkömoottoreista.

ABB. Nopeussäädettyjen käyttöjen opas.

Ammattikorkeakouluopintoja määrittelevä asetus 352/2003; Hakala J. 2004. Opinnäytetyöopas ammattikorkeakouluille

Anneli, K., Nummi, J & Savola, T. Tekniikan viestintä: kirjoittamisen ja puhumisen käsikirja. Helsinki: Edita.

Aura, L. & Tonteri A. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: WSOY

Bastman J. TTY. Opetusmonisteet.

D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 24.1.2007.

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 30.3.2011.

EU-komission asetus no 640/2009.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka Oy.

Hietalahti, L. 2012. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka Oy.

Hirsjärvi S., Remes P. & Sajavaara P. 2007. Tutki ja kirjoita. 13.painos. Helsinki: Tammi.

Karjalainen, J. Tekninen myyjä Systemair Oy. 2016. Tekniset vaatimukset IV-koneista. Sähköpostiviesti. juho.karjalainen@systemair.fi. Luettu 25.4.2016

Kuusniemi-Laine, A., Takala, P. 2007. Julkisten hankintojen käsikirja. Helsinki: Edita.

Mäkinen P. & Railio J. SFP-opas. Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen.

Niemi, T., Nietosvuori, L. & Virikko, H. 2006. Hyvinvointialan viestintä. Helsinki: Edita.

Puhaltimet EC-moottorilla 2012. Systemair Oy.

Rautiainen K. 2009. EuP-direktiivin vaikutusten arviointi: kiertovesipumput, lämmityskattilat, vedenlämmittimet ja sähkömoottorit. Motiva.

Repo, I & Nuutinen, T. 2003. Viestintätaito: opas aikuisopiskelun ja työelämän vuorovaikutustilanteisiin. Helsinki: Otava.

Shemeikka J. & Hietaniemi J. 2003. Motiwatti 2.0 energiakatselmoijan työkalun laskentaperiaatteet. Helsinki: Motiva.

ST-kortisto. ST-715 sarja.

Tietoisku ebm-papstin yhteistyökumppaneille ECPUHALTIMET 2008
http://www.ebmpapst.fi/fi/dat/media_manager/news/8/news-files/Tietoisku__Mita_erikoista_EC-puhaltimissa.pdf viitattu 3.4.2016

Yli-Rämi, H. 2011. Luentokalvot. Tampereen ammattikorkeakoulu.

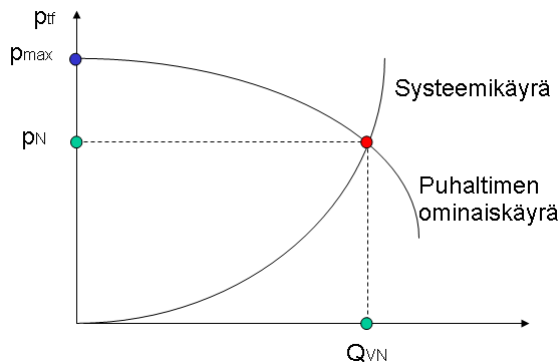
LIITTEET

Liite 1: ABB:n energiansäästö taulukkolaskentaohjelman käyttöohjeet

FanSave Energy saving calculator for fans

V4.0.B

FanSave on Microsoft Excelissä toimiva laskentaohjelma, jonka avulla voi laskea taajuusmuuttajan avulla saavutettua energiansäästöä verrattuna muihin virtauksen säätötapoihin. Laskenta perustuu tyypillisiin puhaltimien arvoihin ja tarkkuus on $\pm 10\%$, johon vaikuttaa myös lähtötietojen tarkkuus. Laskennan tulos on vain arvioitu, se ei ole takuuarvo.



Fan Data

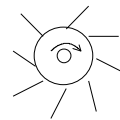
Fan type

Puhaltimen tyyppi: **Centrifugal** – Keskipako,
Axial Flow – Akselin suuntainen virtaus

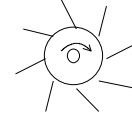
Impeller type

Puhaltimen siipien muoto:

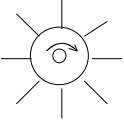
Forward curved



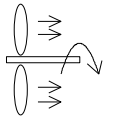
Backward curved



Radial blades



Axial Flow



Fan Data

Nominal volume flow (Q_{VN})

Puhaltimen normaali virtaama. Arvo on maksimi virtaama jonka puhaltimen normaalisti kuuluisi tuottaa. Energian säästölaskelmat perustuvat virtaamaan jotka ovat yhtä suuria tai alempia kuin tämä arvo.

Total pressure increase (p_N)

Puhaltimen paineen korotus, jolla saavutetaan normaali virtaama (Q_{VN}). Arvo saadaan puhaltimen ominaiskäyrältä.

Efficiency

Puhaltimen nimellinen hyötysuhde normaalilla virtauksella (Q_{VN}).

Transmission

Nominal efficiency

Voimansiirron hyötysuhde. Jos moottori on kiinnitetty suoraan puhaltimen akselille, käytä arvoa 100%.

Existing flow control method

Säätötapa, johon taajuusmuuttajalla säädettyä puhallinta verrataan:

No flow control – Virtausta ei säädetä moottori

Two-speed motor – Kaksinopeus

Outlet damper – Poistoilman kuristussäätö

Cycling (on/off) – Ajoittainen käyttö

Slip coupling – Liukukytkin säätö

Inlet box damper –

Tuloilman kuristussäätö

Voltage control (Triac) – Jännitesäätö

Inlet vanes – Johtosiipisäätö

Motor Data

Supply voltage

Puhaltimen moottorin syöttöjännite

Motor power

Puhaltimen moottorin nimellisteho. Arvo annetaan vain tarkistamaan, että moottori on riittävän suuri verrattuna puhaltimen vaatimaan tehoon. Energian säästölaskelmissa käytetään puhaltimen vaatimaa tehoa.

Motor efficiency

Puhaltimen moottorin nimellishyötysuhde. Arvo on suoran verkkokäytön hyötysuhde nimellisteholla. Ohjelma laskee hyötysuhteen alemmilla nopeuksilla ja kuormilla. Jos moottori on ylisuuri, niin hyötysuhteen voi käyttää arvoa joka saavutetaan puhaltimen vaatiman tehon pisteessä.

Operating Profile

Puhaltimen vuosittainen käyttöaika **tunteina** ja kuinka paljon virtaamaa **säädetään**. Default-painikkeella ohjelma täyttää arvot painottaen 60-70%:n virtaamaa. Näitä arvoja voi muuttaa nuoli-painikkeilla.

Economic Data

Energian säästölaskelmissa käytetty **energian hinta** ja investoinnin **kokonaiskustannus**, sisältäen laitteet ja asennuskustannukset. Käytettävää **korkotasoa** ja **käyttöikää** käytetään vain nykyarvon laskentaan (**NPV**)

Energy & environmental

Laskennan tuloksena saadaan säästynyt vuotuinen **energia** ja **hiilidioksidi** sekä investoinnin **takaisinmaksuaika** ja **nykyarvo (NPV)**

Voita ladata FanSave ohjelman osoitteesta:

www.abb.fi ⇒ Moottorit käytöt ja tehoelektroniikka ⇒ Käytöt ⇒
Energiansäästö

www.abb.fi ⇒ Energiansäästö

The ABB logo is displayed in a large, bold, red serif font.

Fansave

Energy saving calculator for fans

4.0.B Traditional flow control methods compared to variable speed AC drive control

EQUIPMENT DATA - EXISTING

Fan data

Fan type: Centrifugal | Impeller type: Backward curved (B) | Efficiency: 84 %

Nominal volume flow: 15,00 m³/s = 54000 m³/h

Total pressure increase: 5000 Pa

Transmission: Existing flow control method | Inlet box damper

Nominal efficiency: 98,0 %

Motor data

Supply voltage: 400 V | 380/400/415 V | Required motor power: 98,8 kW

Motor power: 110 kW | 89,79 including 10% safety margin

Motor efficiency: 95,6 %

Operating profile

Annual running time	8 760 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

100

GENERAL DATA

Calculated by: | Calculated for: | Fan ID:

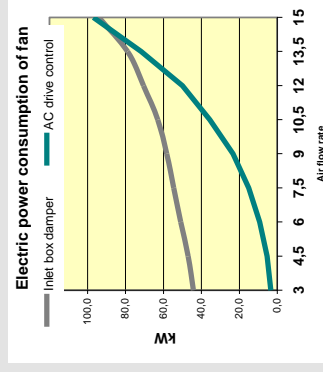
EQUIPMENT DATA - NEW

Improved flow control by: ABB Industrial drive (ACS800) | ACS800-01-0120-3

SFP: Specific fan power: 6,4 kW/(m³/s)

RESULTS

Energy & environmental



Saving percentage 44,9 %

Annual energy consumption:
 with existing control method: 551 684 kWh
 with improved control method: 303 794 kWh

Annual energy saving 247 899 kWh

Annual CO₂ reduction 123 950 kg

CO₂ emission per unit: 0,5 kg/kWh

Economic data

Economic data	
Currency	EUR
Energy price	0,05 EUR/kWh
Investment cost	8 000 EUR
Interest rate	12,0 %
Service life	15,0 years

Economic results

Annual money saving	12 395 EUR
Payback period	0,6 years
Net present value	76 420 EUR



Liite 2: IV-koneen tarjouspyyntö liitteineen

ALL-Talotekniikka Oy
 Tarjouspyynnin laatija
 Taninkatu 7 A
 33400 TAMPERE

TARJOUSPYYNTÖ
PVM

Vastaanottava Yritys Oy
 Vastaanottaja
 Vastaanottavan yrityksen osoite
 Postinumero **POSTITOIMIPAIKKA**

KOHTEEN NIMI, TARJOUSPYYNTÖ IV-KONEESTA

Pyydämme tarjoustanne IV-koneesta kohteeseemme vapaasti toimitettuna työmaalle. Tekniset vaatimuksemme löytyvät liitteestä (tekniset vaatimukset). Annan mielelläni lisätietoa tarjoukseen liittyen ja olen vastaanottavainen esittämillesi vaihtoehdoille.

Maksuehtomme	21 vrk netto
Tarjouksen jättöpäivä	viimeistään PVM
Toimitusaika	Kuukausi vuosi
Voimassaolo	minimissään kuukauden (1 kk)
Huom.	Koneajon tulee olla tarjouksen liitteenä

Kunnioitavasti
ALL-Talotekniikka Oy

Tarjouksen pyytäjän allekirjoitus

Tarjouksen pyytäjä
 Titteli

Lisätietoja etunimi.sukunimi@all-talotekniikka.fi / puh. 044 775038X

LIITTEET: Laiteluettelo
 Sääntökaavio

ALL-Talotekniikka Oy
 Taninkatu 7A
 33400 TAMPERE
 Y-tunnus: 2556436-3

www.all-talotekniikka.fi
 puh: 044 775 0380
 sähköposti: etunimi.sukunimi@all-talotekniikka.fi

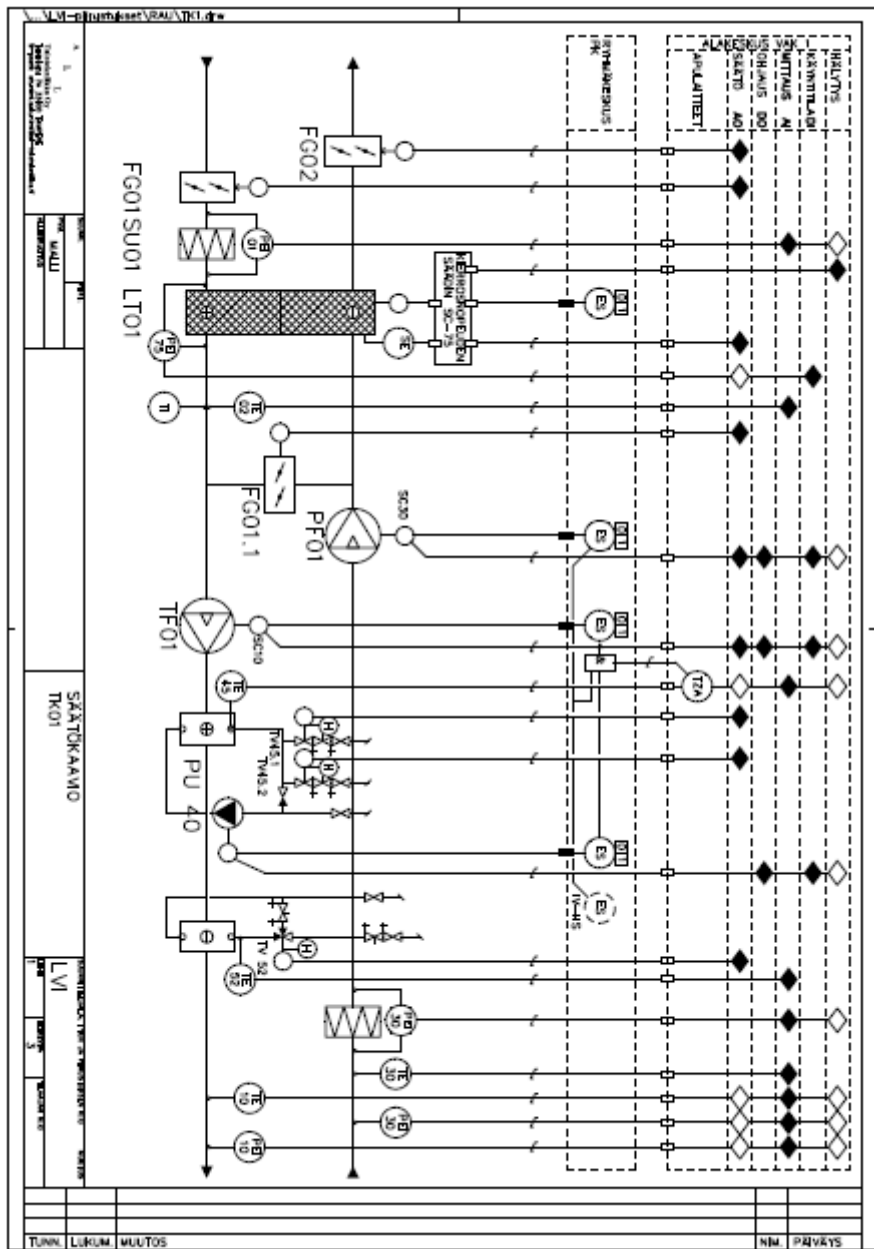
Kohteen nimi

Laiteluettelo TK01

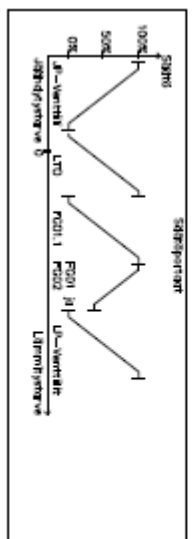
Tunnus	UR	LAITE	VAIKUTUSALUE	SÄHKÖ	SIJAINTI	TEKNISET TEDOT
TK01	IU	TULO/POISTOILMAKOJE	MYYMÄLÄ		IV-KH	RTEK RVM PR60 Ventier
US01	IU	ULKOSÄLEIKKÖ	TK01		ULKOSIENÄ	RIS 2000x1500(RAL9010)
FG01	IU	ULKOILMAPELTI	TK01	24 V	TK01	LÄMPÖERISTETTY
SU01	IU	SUODATINOSA	TK01		TK01	F7 + VARASUODATINSARJA
LTO1	IU	LTO-KIEKKO	TK01	230 V	TK01	Ø261 kW, Ti= -29/+9,7 °C
LP10	IU	LÄMMITYSPATTERI	TK01		TK01	Ø139 kW, Ti= +2,7/+25 °C
PU40	PU	LÄMPÖJOHTOPUMPPU	TK01	230V	IV-KH	1,12 l/s, 25 kPa
TV45	AU	MOOTTORIVENTTIILI	TK01	24V	IV-KH	1,12 l/s, 15 kPa
JP10	IU	JÄÄHDYTYSPATTERI	TK01		TK01	
TV52	AU	MOOTTORIVENTTIILI	TK01	24V	IV-KH	
TF01	IU	PUHALLINOSA	TK01	400V	TK01	+5205 l/s
SC01	AU	TAAJUUSMUUTTAJA	TF01		TK01	
FG01.1	IU	KIERTOILMAPELTI	TK01	24V	TK01	
SU30	IU	SUODATINOSA	TK01		TK01	F5 + VARASUODATINSARJA
ÄV	IU	2xÄÄNENVAIMENNIN	TK01		KANAVISTO	PVA-1200-100
PF01	IU	PUHALLINOSA	TK01	400V	TK01	-5198 l/s
SC30	AU	TAAJUUSMUUTTAJA	PF01		TK01	
FG02	IU	JÄTEILMAPELTI	TK01	24V	TK01	LÄMPÖERISTETTY
US02	IU	ULOSPUHALLUSHAJOTTAJA	TK01		KVESIKATTO	EYMA-1250

KANAVAPAIN
MIN. LTO HYÖTYSUHDE
MIN. MOOTTOREIDENHYÖTYSUHDE

300 Pa
PÖÖRIVÄ 80%
90 %



<p>TOIMINTAJÄRJESTYS</p> <p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <p>TK1 kassan myyjäisohjeiden toiminnan, myyjäisohjeiden toiminnan toiminnan ohjeistus</p> <p>KÄYTTÖ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti 	<p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>LAUSTON JÄSESTÖJÄSEN TILITUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tilinmyyjätoiminta TK1 lähtien alkuun rekisteröintitietojen perusteella alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti
<p>Yhteistyötoiminta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keskustella yhteistyötoiminta alustuksen mukaisesti alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>Yhteistyötoiminta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keskustella yhteistyötoiminta alustuksen mukaisesti alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti 	<p>Yhteistyötoiminta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keskustella yhteistyötoiminta alustuksen mukaisesti alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti <p>Yhteistyötoiminta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Keskustella yhteistyötoiminta alustuksen mukaisesti alustuksen mukaisesti - Jos tilaus on toimittamassa alustuksen alustuksen, TK1 lähtien lähtien alustuksen mukaisesti



SÄÄTÖKAAVIO

TK01

LV

3

3

3

3

TUNN. LUKUM. MUUTOS

Liite 3: Moottorinvaihtotarjous liitteinen

ALL-Talotekniikka Oy**MOOTTORINVAIHTOTARJOUS
PVM**

ALL-Talotekniikka Oy
Tarjouksen laatija
Taninkatu 7 A
33400 TAMPERE

Vastaanottava Yritys Oy
Vastaanottaja
Vastaanottavan yrityksen osoite
Postinumero POSTITOIMIPAIKKA

KOHTEEN NIMI, MOOTTORINVAIHTOTARJOUS

Kiitämme mielenkiinnostanne ja tarjoamme Teille moottorinvaihtoa TK201. Hintamme sisältää moottorinvaihdon suunniteltuna avaimet käteen periaattella. Myös vanhan moottorin pois kuljetus sisältyy hintaamme.

10.000,00 € alv 0 %
12.400,00 € alv 24%

Maksuehto	Työvaiheittain, sopimuksen mukaan, 14 vrk netto
Toimitusaika	Yhteisesti sovittavan aikataulun mukaan
Voimassaolo	Tarjouksemme on voimassa kaksi kuukautta tarjouspäivästä lukien
Huom.	Tarjouksessamme oletettu uuden ja vanhan moottorin kuljetus konehuoneeseen rakenteita rikkomatta.

Kunnioitavasti
ALL-Talotekniikka Oy

Tarjouksen laatijan allekirjoitus
Tarjouksen laatija

Lisätietoja	Henkilö / ALL-Talotekniikka Oy, Taninkatu 7A, 33400 TAMPERE Puh: etumimi.sukumimi@all-talotekniikka.fi
Liitteet:	Takaisinmaksun koontilista

Kohteen nimi		
Moottorinvaihtotarjous		
TK 201		
Uuden moottorin hinta	12400	€
Käyttötunnit vuodessa	8760	h
Energian hinta	0,12	€/ kWh
Vanha moottori		
Teho	12	kW
hyötysuhde	0,84	
häviöihin hukkuva teho	2,29	kW
Uusi moottori		
Teho	7	kW
hyötysuhde	0,92	
häviöihin hukkuva teho	0,61	kW
häviötehojen erotus	1,68	kW
erotukseen hukkuva summa vuodessa	1762,88	€
Moottorinvaihdontakaisinmaksuaika	7,0	vuotta