

Miro Keltti

Ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

23.3.2017

Tekijä Otsikko	Miro Keltti Ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelu
Sivumäärä Aika	48 sivua + 4 liitettä 23.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Sähkösuunnittelija Martti Julin Lehtori Matti Sundgren
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli laatia ilmanvaihtokonehuoneiden sähkösuunnittelua tukeva opas Ramboll Finland Oy:lle. Työssä on tutkittu ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelun kannalta huomioitavia asioita standardien, ST-korttien ja -ohjeistojen, suunnittelijoiden sekä asiantuntijoiden antamia ohjeiden pohjalta. Osa tämän työn ohjeista perustuu yleiseen hyvään käytäntöön ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelussa. Osa ohjeista puolestaan on määräyksiä, joita tulee noudattaa.</p> <p>Ilmanvaihtokoneessa vaadittavia sähköisiä suojauksia tarkasteltiin standardin SFS-EN 60204-1 asettamien vaatimusten pohjalta. Standardin asettamien vaatimusten soveltamisessa ilmanvaihtokoneelle käytettiin apuna Sähkösuunnittelijat NSS ry:n tekemää lehtiartikkelia liittyen konedirektiivin soveltamiseen, sekä asiantuntijoiden lausuntoja. Esimerkiksi nykyään yleistyneen konekohtaisen IV-keskuksen käytön myötä on asiantuntijoiden lausuntojen perusteella voitu jättää standardissa SFS-EN 60204-1 vaadittu turvakytkin pois jokaiselta yksittäiseltä ilmanvaihtokoneen laitteelta. Ilmanvaihtokonetta on alettu ajatella enemmän yhtenä isompana kokonaisuutena, jolloin riittää, kun ilmanvaihtokoneen syötönerotuskytkin sijaitsee konekohtaisessa IV-keskuksessa.</p> <p>Ilmanvaihtokonehuone tulee liittää myös osaksi kiinteistön turvajärjestelmiä. Tällaisia järjestelmiä ovat muun muassa savunpoistojärjestelmä, paloilmoinjärjestelmä sekä turva- ja merkkivalaisinjärjestelmä. Nämä järjestelmät asettavat omat vaatimuksensa ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnitteluun. Esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneen turva- ja merkkivalaisimia suunniteltaessa tulee huomioida, että ne ovat yhteensopivia kiinteistön turva- ja merkkivalaisinjärjestelmän kanssa.</p> <p>Insinööriyötä tehtäessä selvisi, että ilmanvaihtokonehuoneen suunnitteluun ei ole asetettu kovin paljon pakollisia määräyksiä. Sähkösuunnittelun toteutustavat ovat kuitenkin muuttuneet jonkin verran viimeisen kymmenen vuoden aikana. Syynä tähän ovat esimerkiksi moottorityyppien lisääntyminen ja kehitys sekä konekohtaiset IV-keskukset.</p>	
Avainsanat	IV-konehuone, ilmanvaihto, sähkösuunnitteluopas

Author Title	Miro Keltti Electrical Planning for Ventilation Rooms
Number of Pages Date	48 pages + 4 appendices 23 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Martti Julin, Electrical Designer Matti Sundgren, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to make electrical planning instruction for ventilation rooms for the company called Ramboll Finland OY. The thesis includes matters that need to be paid attention to concerning electrical planning in ventilation rooms. Most of the guidance in this thesis is so called general guidelines for good electrical planning from standards, ST-cards and instructions, and from designers and professionals' statements. However, some of the instructions are injunctions which designers must obey.</p> <p>Necessary electrical protections in air supply unit were examined by the demands set by SFS-EN 60204-1. To apply regulations which this standard sets, an article by Sähkösuunnittelijat NSS ry concerning machinery directive, and statements of experts were used. Using individual switchboard for air supply unit has become more popular and it has affected the planning so that according to expert statements, it is acceptable to leave out a personal supply-disconnecting device demanded by SFS 60204-1 from each air supply device in the air supply unit, if the unit's personal switchboard has one supply-disconnecting device located in the personal switchboard.</p> <p>In real estates, there are systems where ventilation room should be added to. These kinds of systems are smoke abatement system, fire alarm system and safety and signal light system. These systems set their own demands for ventilation room's electrical planning. For example safety and signal lights used in ventilation room should be compatible with real estate's safety and signal light system.</p> <p>What discovered while doing the thesis was that there aren't many compulsory regulations for electrical planning for ventilation rooms. Still, the ways of making electrical planning were changed in the past ten years. Reasons to that are for example increased number of motor types and increased use of individual switchboards for air supply units.</p>	
Keywords	Air supply unit, ventilation, electrical planning instruction

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Ilmanvaihtokone	4
3	IV-konehuoneen sähkölaitteet	11
3.1	Moottorit	11
3.2	Taajuusmuuttajat ja sähkömagneettiset häiriöt	16
4	IV-konehuoneen sähkösuunnittelun lähtötiedot	18
5	Sähkökeskukset ja valvonta-alakeskus	19
5.1	Suojalaitteiden ja keskuksen nimellisvirran mitoitus	20
5.2	Ilmanvaihtokonekohtainen keskus	21
5.3	Savunpoistokeskus ja varavoimakeskus	22
5.4	Valvonta-alakeskus	23
6	Ilmanvaihtokoneiden sähköiset suojaukset	24
6.1	Koneita koskevat vaatimukset	24
6.2	Ilmanvaihtokoneen suojaukset	25
6.2.1	Syötönerotuskytkimet	25
6.2.2	Suojaus sähköiskuilta	27
6.2.3	Ylivirtasuojaus	28
7	Kaapelit ja johtotiet	28
7.1	Kaapelit	29
7.2	Kaapeleiden kuormitettavuus ja korjauskerroin	30
7.3	Jännitteenalenema	31
7.4	Yleiset johtotiet	32
7.5	Palonkestävien järjestelmien johtotiet	32
8	Ilmanvaihtokonehuoneen järjestelmät ja sähköpisteet	33
8.1	Siivous- ja huoltopistorasiat	34
8.2	Valaistus	34
8.3	Turva- ja merkkivalaistus	35

8.4	Paloilmoitinjärjestelmä	36
8.5	Savunpoistojärjestelmä	38
8.6	Maadoitus	41
9	Energiatehokkuus	42
10	Yhteenveto	44
	Lähteet	45

Liitteet

Liite 1. Syötönerotuskytkimen vaatimukset

Liite 2. Esimerkkilasku kaapelin kuormitettavuudesta

Liite 3. Kaapeleiden likimääräiset impedanssit

Liite 4. Sähköpisteiden asennuskorkeudet

1 Johdanto

Tanskalainen Ramboll Group, johon Ramboll Finland kuuluu, on kansainvälinen suunnittelu- ja konsulttiyritys, jolla on toimintayksiköitä ympäri maailmaa. Yhteensä sillä on 13 000 työntekijää, joista noin 2200 työskentelee Suomessa. Se onkin tällä hetkellä Suomen suurin suunnittelu- ja konsulttiyritys.

Insinööriyön aihe alkoi kehittyä osana ison yrityksen yhtenäistämisen tuomia haasteita. Ramboll Finland on laajentanut toimiaan myös ostamalla pienempiä yrityksiä ympäri Suomea. Uusien yritysten integroiminen osaksi yhtä isompaa kokonaisuutta luo omat haasteensa. Tämän takia alettiin miettiä eri toimipisteiden välillä suunnittelua tukevaa ohjetta, joka antaisi perusohjeita hyvään suunnitteluun. Insinööriyön tavoitteena on luoda ilmanvaihtokonehuoneiden sähkösuunnittelua tukeva opas asioista, joita tulisi huomioida ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelussa.

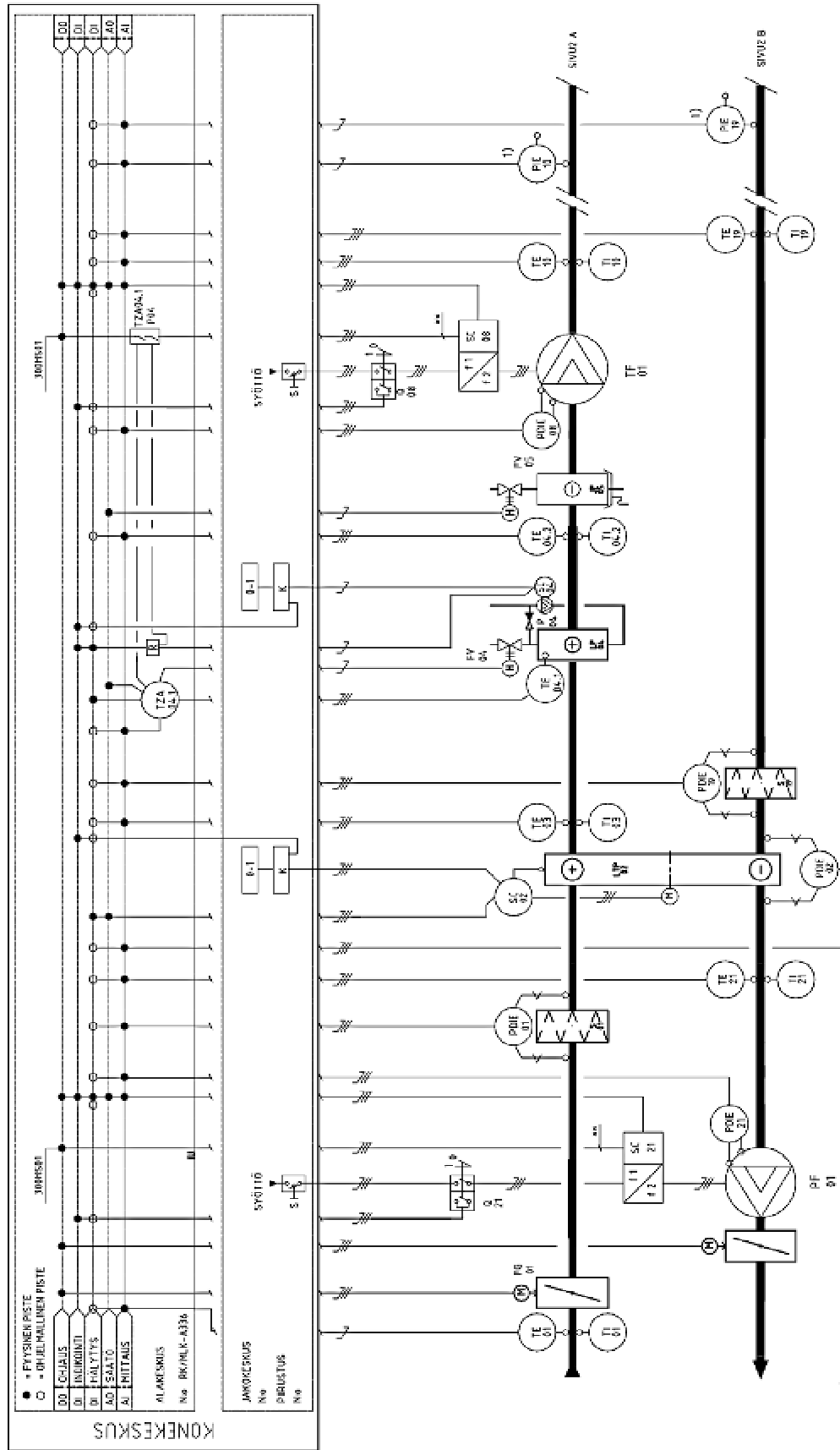
Ilmanvaihtokoneiden sähköistä suojausta tutkitaan suurimmaksi osaksi SFS-EN 60204-1-standardin avulla, joka käsittelee koneturvallisuutta, tarkemmin koneiden sähkölaitteistojen yleisiä vaatimuksia. Uudistettu standardi SFS-EN 60204-1 julkaistiin vuonna 2006. NSS ry:n työryhmä on laatinut sovellusohjeen standardista SFS-EN 60204-1, joka noudattaa uuden konedirektiivin 2006/42/EY vaatimuksia. Nykyisin ilmanvaihtokoneissa käytetään usein oikosulkumoottorin ohjaukseen ja suojaukseen taajuusmuuttajaa, kestromagneettimoottoria ja taajuusmuuttajaa tai elektronisesti kommutoitua tasavirtamoottoria (EC-moottoria), joten standardia tutkitaan suurimmaksi osaksi näiden moottoreiden kannalta. Tämä vaikuttaa standardin soveltamiseen siten, että osa vaadittavista suojuuksista voidaan toteuttaa esimerkiksi taajuusmuuttajan parametrien avulla, jolloin sitä ei tarvitse tehdä fyysisesti keskuksessa.

Ilmanvaihtokonehuoneen sähköpisteiden, sähköreittien ja sähkölaitteiden hyvään suunnitteluun liittyvissä asioissa on tutkittu standardeja, ST-kortteja ja -ohjeistoja sekä alan muuta kirjallisuutta. Lisäksi insinööriyössä on haastateltu alan ammattilaisia ja otettu huomioon käytännön kokemusten tuomia havaintoja käytännöllisistä asennustavoista ilmanvaihtokonehuoneissa.

2 Ilmanvaihtokone

Ilmanvaihtokone (IV-kone) huolehtii rakennusten ilmanvaihdosta, jotta sisäilma pysyisi raikkaana ja puhtaana. Sisään puhallettavaa ilmaa pidetään yleisesti ottaen puhtaampana kuin ulkoilmaa, mutta tutkimukset osoittavat, että ilmanvaihtokoneet saattavat liata sisään puhallettavaa ilmaa joskus vain enemmän. Näin voi esimerkiksi käydä, jos tuloilman mukana ilmanvaihtokanavaan pääsee liiallista kosteutta muodostaen mikrobi- ja bakteeripesäkkeitä kanavan pinnoille. Ilmanvaihtokone saattaa myös likaantua, jos se kootaan paikan päällä työmaavaiheessa. Ilmanvaihtokone voidaan koota paikan päällä tai toimittaa IV-konehuoneeseen valmiina pakettina, jolloin vältytään ilmanvaihtokoneen työmaa-aikaisen kokoamisen aiheuttamalta likaantumiselta. Tätä varten ilmanvaihtokonehuoneeseen suunnitellaan haalausaukko, josta isot ilmanvaihtokoneet saadaan tuotua tilaan. [1, s. 59–63.]

Sähkösuunnittelijan tulee huomioida toimitustavan vaikutus sähkösuunnittelijan vastualueeseen. Jos ilmanvaihtokoneen valmistaja toimittaa koneen valmiina pakettina, sähkösuunnittelun rajapintana toimivat ilmanvaihtokoneen liittimet, joihin syöttöjohtimet tuodaan. Paikan päällä koottavien IV-koneiden rajapintana toimivat syötönerotuskytkimet. Sähkösuunnittelija huolehtii siitä, että jokaiselle virtapiirille on syötönerotus, kun ilmanvaihtokoneita syötetään yhteisestä sähkökeskuksesta. Jos ilmanvaihtokoneen viereen rakennetaan oma konekohtainen keskus, toimii konekohtaisen sähkökeskuksen pääkytkin syötönerotuskytkimenä, sillä koneen keskus on kokoajan näkyvässä. Sähkösuunnittelija suunnittelee konekohtaisen sähkökeskuksen syöttökaapelin ja oikosulkusuojan. Ilmanvaihtokoneita syötettäessä yhteisestä sähkökeskuksesta, sähkösuunnittelija suunnittelee puhallinmoottorin syöttökaapeloinnin loppuun asti. Tämä tarkoittaa myös syötönerotuskytkimen jälkeisen taipuisan liitântäkaapelin sekä moottori-kaapelin oikosulkusuojan ja moottorin ylikuormitussuojauksen suunnittelua. Kuvassa 1 on esitetty ilmanvaihtokoneen säätökaavio, josta nähdään esimerkiksi mittauspisteet, ryhmäkeskuksen ohjauspainikkeet sekä miten kenttäkaapelointi on toteutettu valvontalakeskuksessa. [2; 3.]



Kuva 1. Ilmanvaihtokoneen säätökaavio.

Pellit

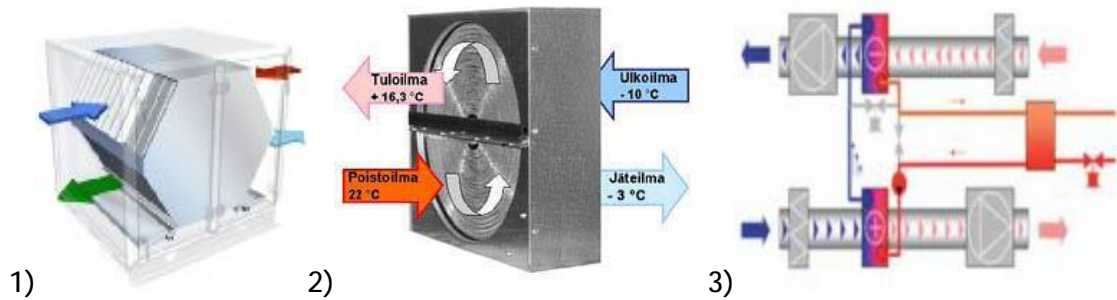
Säätö- ja sulkupellit voivat säädellä ilmanvaihtokoneessa tulo- ja poistoilman virtausta, jos puhaltimen moottorit ovat esimerkiksi kaksinopeusmoottoreita. Nykyään ilmavirtoja säädellään kuitenkin enemmän puhallinmoottorin pyörimisnopeutta säätäen taajuusmuuttajan avulla. Tällöin pellit toimivat vain auki-kiinni-asennoissa. Moottorit, kuten sähkökäyttöiset toimimoottorit, ohjaavat säätöpeltejä vivuston avulla. Jos ilmanvaihtokonetta ei käytetä osana savunpoistoa, ovat peltimoottorit jousipalautteisia, mutta savunpoistojärjestelmään kuuluessaan ne pysyvät jännitteettömässä tilassa siinä asennossa, missä ne ovat jännitteen katketessa. Jäätymisvaaran uhatessa sekä puhaltimen pysähtyessä pitää ulkopeltien sulkeutua sähkökatkoksenkin aikana, mikä varmistetaan käyttämällä peltejä ohjaavissa toimilaitteissa palautusjousta tai akkua. [1, s. 64–65; 3.]

Ilmansuodatin

Ilmansuodattimen päätehtävä on pitää ulkoilman epäpuhtaudet poissa sisään puhallettavasta ilmasta, jotta ne eivät päädy ihmisten keuhkoihin ja rakennusten sisäilma pysyy raittiina. Ilmansuodatin myös estää laitteita likaantumasta, jolloin laitteita ei tarvitse huoltaa niin usein. Suodatintyypejä on kolmenlaisia: mekaaninen suodatin, sähkösuodatin sekä kemiallinen suodatin. Suodatintyyppi valitaan rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan ja tarvittaessa suodattimia voidaan myös yhdistellä. Jos lämmintä sisäilmaa halutaan hyödyntää ohjaamalla sitä takaisin tuloilman, on kiertoilmasuodatin välttämätön kierrätettävän ilman puhdistamiseksi. [1, s. 65–67.]

Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto eli LTO hyödyntää rakennuksen lämmitettyä poistoilmaa ottamalla sitä talteen, ja kerätyllä lämmöllä lämmitetään sisään tulevaa ilmaa. Tällä tavoin poistoilmaa hyväksi käyttämällä voidaan säästää lämmityskustannuksissa ja lisätä ilmanvaihtokoneen energiatehokkuutta. Lämmöntalteenottolaitteen tiiviysluokan tulee olla sama kuin ilmastointikoneen tiiviysluokan, ja ilman on jakaannuttava tasaisesti LTO-laitteen otsapinnalle. Lämmöntalteenottolaitteiden tulee olla hygieenisinä, jotta sisäilma pysyy raikkaana. Kuvassa 2 on esitetty lämmöntalteenottotyyppien toimintaperiaatteet. [1, s. 73.]



Kuva 2. 1) Levylämmönsiirtimellinen LTO 2) Pyörivä LTO 3) Nestekiertoinen LTO [1].

Lämmöntalteenottolaitteita on kolmea eri tyyppiä: levylämmönsiirtimellinen, pyörivä ja nestekiertoinen. Levylämmönsiirtimessä tulo- ja poistoilma liikkuvat ristikkäin alumiini-levyjen välissä. Poispuhallettava sisäilma lämmittää alumiinilevyä, joka siirtää lämpöä viereisessä välissä sisään puhallettavaan ulkoilmaan. Levylämmönsiirtimessä ei siis ole liikkuvia osia, jotka vaatisivat sähköistystä, ja sen huolto on helppoa ja huoltotarve melko vähäistä. Levylämmönsiirtimen pinnalle saattaa kondensoitua vettä, joten siirrin on viemäritävä. Kylmällä säällä levylämmönsiirtimessä oleva kosteus saattaa huurtua, mikä voi tukkia ilma-aukkoja. Tämän takia siirrintä valvotaan paine-eromittauksella tai valokennolla, ja tarvittaessa ilma ohjataan ohituspeltien avulla LTO-patterin ohi niin kauan, kunnes tilanne on taas normaali. [1, s. 73.]

Pyörivässä lämmöntalteenotossa poisto- ja tuloilma virtaavat suuren pyörivän reiällisen kiekon lävitse, joka on jaettu kahteen osaan. Kiekon pyörimissuunnan näkee laitteen vaippaan merkitystä nuolesta. Poistoilma virtaa kiekon läpi lämmittäen sen metallista ritilää. Kiekon lämmenneen osan pyörähtäessä tuloilman puolelle, lämmittää se sisään puhallettavaa ilmaa. LTO:n pyörimisnopeutta kasvattamalla lisätään lämmön siirtymistä tuloilmaan, mutta tietyn nopeuden jälkeen lämmön siirtyminen ei enää kasva, sillä ritilä ei ehdi lämmitä tarpeeksi. Pyörivän LTO:n ritilän kautta kulkeutuu aina hieman kosteutta ja epäpuhtauksia tuloilmaan. Jotta huoneilma pysyisi mahdollisimman puhtaana, täytyy tulo- ja poistoilman väliin jättää ns. puhdistussektori. Pyörivää LTO:ta ei siis käytetä tiloissa, joissa vaaditaan erittäin tarkkaa hygieniaa. [1, 75–76.]

Nestekiertoisen LTO:n tulo- ja poistoilmakanaviin asennetaan lamellipatterit ja niiden välissä kierrätetään esimerkiksi jäätymätöntä vesi-glykoliseosta. Säästöventtiilillä säädetään tuloilmakanavassa olevan patterin läpi kulkevaa nestevirtaa. Virtaava neste on lämmitetty poistoilmakanavassa virtaavan poistoilman ja lamellipatterin avulla. Nestekiertoinen LTO on lämmöntalteenottotavoista kaikista hygieenisin vaihtoehto. Neste-

mäisen lämmöntalteenoton ylläpito vaatii nestepitoisuuden ja -määrän tarkistuksen aika ajoin sekä pintojen puhdistuksen. Pumpun toimivuus tulee myös samalla varmistaa. [1, s. 77–78.]

Ilmankostutin

Liian kostea ilma voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa homeongelmia kiinteistöön, mutta liian kuivakaan huoneilma ei ole hyväksi, sillä se lisää kiinteistössä olevien henkilöiden riskiä altistua hengitystiesairauksille. Ilmankosteutta voidaankin tarvittaessa lisätä ilmanvaihtokoneessa ilmankostuttimella, mutta hygieniasyistä sitä ei suositella käytettävän ilman pakottavaa tarvetta. Ilmanvaihtokoneissa käytettäviä kostuttimia ovat höyrykostutin, sumutuskostutin sekä haihdutuskostutin. Ilman kostutuksessa paras vaihtoehto näistä on höyrykostutin, jossa vesi höyrystetään sähkön avulla. Höyrystettävä vesi otetaan suoraan vesijohtoverkosta, jolloin se on puhdasta. Höyrykostuttimen avulla saadaan myös haluttu kosteus virtaavaan ilmaan tarkasti. Kostuttimien kanssa tulee käyttää esi- ja jälkilämmityspatteria. [1, s. 85.]

Lämmityspatteri

Sisään puhallettava kylmä ilma aiheuttaa vedon tunnetta ja voi esimerkiksi toimistoissa saada työntekijöiden hartiat jumiin. Tätä pyritään estämään lämmittämällä tuloilmaa mm. lämmityspatterilla. Lämmityspatterin lämmitystehoa säädetään patteriveden lämpötilaa muuttamalla. Muita lämmitystehoon vaikuttavia asioita ovat muun muassa patterin pinta-ala, veden virtausnopeus sekä meno- ja paluuveden lämpötilaero. Patterissa olevan veden virtassuunta on usein alhaalta ylöspäin, mikä tehostaa ilman poistumista patterista. Isoissa ilmanvaihtokoneissa sekä kostuttimien kanssa käytetään esi- ja jälkilämmityspatteria. Esilämmityspatteri tulee suojata jäätymissuojatermostaattilla ja sen laukeamisesta tulee aiheutua hälytys. Ennen hälytyksen kuittaamista tulee vian syy aina selvittää. [1, s. 82–83.]

Jäähdytyspatteri

Sisään puhallettavan ilman viilentäminen voi olla tarpeellista esimerkiksi toimistoissa, joissa sisälämpötilat voivat nousta kesällä hyvinkin korkeiksi lämpimän sään vuoksi. Lisäksi toimistoissa on usein koneita, joiden käyttö osaltaan nostattaa sisäilmaan lämpötilaa. Tällöin ilmanvaihtokoneeseen asennetaan jäähdytyspatteri. Jäähdytyspatterin rakenne on hyvin samankaltainen kuin lämmityspatteritkin. Patterissa kiertää kylmä vesi tai höyrystyvä jäähdykseneste, joka viilentää sisään puhallettavaa ilmaa. Kondensoituvan veden vuoksi se tulee varustaa viemäröintialtaalla, jotta vesi saadaan ohjattua pois ilmanvaihtokoneesta. Jos vaarana on, että kondensoitunut vesi saattaa lentää tippuvesialtaan ulkopuolelle, tulee patteri varustaa pisaranerotimella. Pisaraerotinta käytetään aina, jos otsapintanopeus ylittää ilmavirran maksiminopeudella yli 2,5 m/s. [1, s. 89.]

Tulo- ja poistoilmapuhaltimet

Tulo- ja poistoilmapuhaltimet siirtävät ilmavirtaa kanavia pitkin haluttuun pisteeseen. Ne voivat olla yksi- tai kaksinopeuspuhaltimia, tai jatkuvasääteisiä puhaltimia, jolloin puhallinnopeutta säätelee taajuusmuuttaja. Siipipyörän muodon ja toimintatavan perusteella puhaltimet on jaettu kolmeen eri tyyppiin: keskipakoispuhaltimiin, sekavirtauspuhaltimiin ja aksiaalipuhaltimiin. [1, s. 91.]

Keskipakoispuhaltimessa ilma virtaa puhaltimen keskeltä sisään siipipyörään, josta se ohjautuu eteenpäin siipipyörän säteen suuntaisesti. Puhaltimen siipipyörän siivet ovat kaarevat joko eteen tai taaksepäin, mutta taaksepäin kaartuvilla siivillä päästään parempaan energiatehokkuuteen. Aksiaalipuhaltimessa akseli pyörittää siipiä, jotka työntävät ilmavirran akselinsuuntaisesti eteenpäin. Puhaltimen sisällä olevilla ohjaussiivillä saadaan oikaistua pyörimään lähtenyt ilmavirta. Ilmavirran nopeutta saadaan säädettyä moottorin pyörimisnopeutta säätämällä. Sekavirtauspuhallin on kahden edellisen puhaltimen yhdistelmä, joka käyttää hyödyksi molempien puhaltimien parhaita ominaisuuksia. Se siis siirtää ilmaa sekä keskipakoisvoimalla että potkurin työntövoimalla. Puhallin on yleensä hihnakäyttöinen. [1, s. 91–94.]

Toimintaperiaate

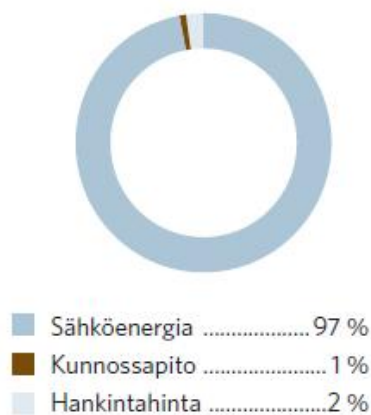
Edellä mainitut osat muodostavat yhdessä kanavien ja koteloiden kanssa ilmanvaihtokoneen. Kuvan 1 säätökaaviosta nähdään, että ensimmäisenä ilmanvaihtokoneen tuloilmakanavaan on asennettu sulkupelti, jota ohjataan auki-kiinni-asennoissa. Seuraavana tuloilmakanavassa on raitisilmasuodatin, joka suodattaa pois ulkoilman epäpuhauksia sisään puhallettavasta ilmasta. Ilman virrattua suodattimen läpi lämmittää pyörivä LTO sisään virtaavaa ilmaa talteen otetulla poistoilmalla, jonka jälkeen ilmanvaihtokoneessa olevat lämmityspatteri ja jäähdytyspatteri joko lämmittävät tai jäähdyttävät ilmaa säädettyyn lämpötilaan tarpeen mukaan. Viimeisenä kuvan 1 ilmanvaihtokoneessa on tuloilmapuhallin, jota voidaan ohjata taajuusmuuttajan avulla halutulla nopeudella. Poistoilmakanava koostuu suodattimesta, joka sijaitsee poistoilmakanavassa ennen lämmöntalteenottoa, jotta takaisin kierrätettävä ilma olisi mahdollisimman puhdasta. Seuraavana on LTO ja tämän jälkeen poistoilmapuhallin. Viimeisenä poistoilmakanavassa on sulkupelti.

Jos ilmanvaihtokoneita on tilassa useampia, on sisään puhallettava ilma helpompi ottaa raitisilmakammion kautta, kuin kanavoida jokainen ilmanvaihtokone yksitellen. Raitisilmakammion ulkoilma tulee kammioon raitisilmasäleikön kautta, jonka tarkoitus on pitää lumi poissa ilmanvaihtokoneesta. Lumen tukkiessa ilmanvaihtokoneen suodattimen, se aiheuttaa kosteusongelmia sisään puhallettavaan ilmaan ja ilmavirtaus voi heikentyä suodattimessa olevan lumen vaikutuksesta. Lisäksi tällainen sisäilmaongelmien aiheuttaja on vaikea todeta. Jos raitisilmasäleikkö katsotaan tarpeelliseksi lämmitettävä, sähköllä lämmitetyn säleikön lämmitysteho on normaalisti noin 2000 W/m². Lämmitetyn säleikön tarkoituksena on muuttaa lumihutaleet vedeksi, joka on huomattavasti helpompaa erotella ilmavirrasta kuin lumi. Vesipisaroiksi muuttunut lumi ohjataan kaukalon tai viemäriin kautta pois kammion. Kaukalot ja viemäri tulee myös saattolämmitellä, jotta vesi pääsee poistumaan viemäriä pitkin, eikä jäädy ja tuki viemäriä, jolloin kammion lattia täytyisi vedellä. Tämän seurauksena raitisilmakammion lattia saattaisi jäätyä. [3; 4.]

3 IV-konehuoneen sähkölaitteet

3.1 Moottorit

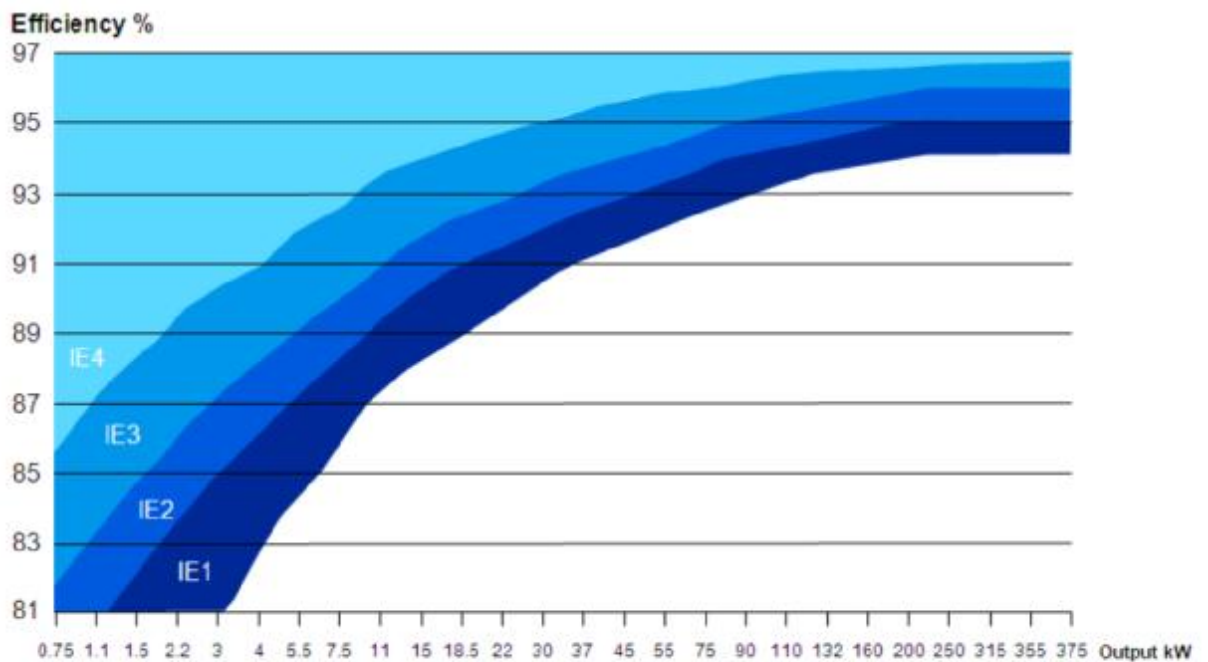
Suurin osa sähkömoottoreiden elinkaarikustannuksista koostuu sen käyttökustannuksista, kuten kuvasta 3 voidaan havaita. Tämän vuoksi moottoreiden energiatehokkuuteen on syytä kiinnittää suunnitteluvaiheessa erityistä huomiota. Ilmanvaihtokoneen laitteiden vuotuiset käyttöajat ovat pitkiä, joten laitteiden moottoreiden valinnalla voidaan vaikuttaa suuresti energiankulutukseen. Ilmanvaihtoa voidaan ohjata ilman laadun ja läsnäolon perusteella, jolloin ilmanvaihtokoneen käyttöajat maksimiteholla jäävät yleensä lyhyiksi. Taajuusmuuttajalla ohjatulla oikosulkumoottorilla saadaan puhaltimen pyörimisnopeutta säädettyä noin 20 Hz:iin asti siten, että moottorin ja taajuusmuuttajan yhteishyötysuhde pysyy hyvänä. Tätä pienemmillä taajuuksilla ei ototeho enää pienee, vaikka taajuutta madallettaisiin. EC-moottorilla ja PM-moottorilla säädettävä alue on hieman laajempi. Ilmanvaihtokoneissa tällä hetkellä eniten käytettyjä moottoreita ovat oikosulkumoottori, EC-moottori sekä PM-moottori. [5, s. 16; 6, s. 10.]



Kuva 3. Moottorin elinkaaren aikaiset kustannukset [7].

Uusi IE-hyötysuhdeluokitus (IE = International Efficiency) perustuu vuonna 2008 hyväksytyyn standardiin IEC 60034–30, joka maailmanlaajuisesti harmonisoi standardimoottorin hyötysuhdevaatimukset sen tehon perusteella. Ennen moottoreiden luokitteluun käytettiin EFF-luokitusta, joka poistui IEC-standardin uudistuksen myötä. IE-luokkia on tällä hetkellä neljä, IE1-IE4. Lähitulevaisuudessa moottoreille on tulossa uusi energiatehokkuusluokka IE5. IE-luokitus koskee alle 1000 V:n nimellisjännitteellä toimi-

via 2-, 4-, ja 6-napaisia oikosulkumoottoreita 50- ja 60 Hz taajuudella. Vuonna 2015 astui voimaan vaatimus, jonka mukaan tehoiltaan 7,5–375 kW:n moottorit tulee kuulua hyötysuhdetasoltaan IE3-luokkaan, tai taajuusmuuttajan kanssa käytettynä IE2-luokkaan. Vuoden 2017 alusta vaatimukset tiukentuivat niin, että teholtaan 0,75–7,5 kW:n olevien moottoreiden tulee myös yltää IE3-luokkaan tai taajuusmuuttajan kanssa IE2-luokkaan. Tämä on merkittävä muutos varsinkin julkisten rakennusten kannalta, joissa LVI-laitteiden keskeinen teholuokka on juuri 0,75–7,5 kW. Kuvassa 4 on esitetty hyötysuhdevaatimukset eri tehoisille moottoreille. [5, s. 16; 7, s. 6, s. 8–9; 8.]

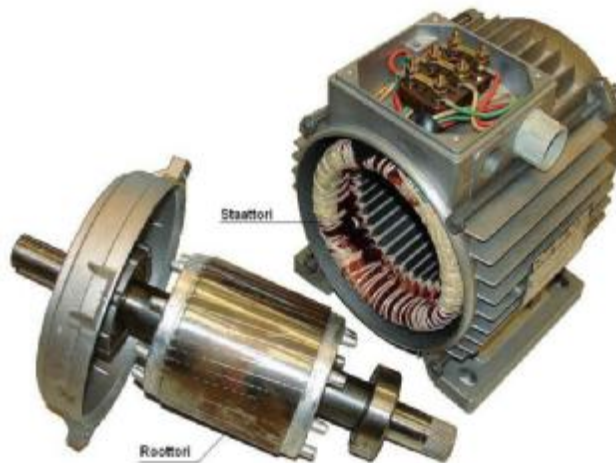


Kuva 4. IE-hyötysuhdeluokitukset [9].

Oikosulkumoottori

AC-moottoreita (alternating current motors) eli vaihtovirtamoottoreita on kahdenlaisia: tahtimoottoreita ja epätahtimoottoreita. Tahtimoottoreiden nimellisyörimisnopeus tulee suoraan verkon taajuudesta, kun taas epätahtimoottoreissa syntyy jättämää. Tästä johtuen epätahtimoottoreiden nimellisyörimisnopeus ei mene suoraan verkon taajuuden mukaan. Yleisin talotekniikan alalla käytetty AC-moottori on oikosulkumoottori, joka on epätahtimoottori. Oikosulkumoottorin (squirrel cage motor) toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään staattorissa, jonka synnyttää symmetrinen 3-vaihevirta. Mag-

neettikenttä siirtyy napapari kerrallaan eteenpäin syöttävän vaihtosähkön taajuudella staattorin navoissa, mikä indusoi roottorin häkkikäämitykseen sähkövirran. Käämitykseen indusoitunut virta magnetoi roottorin, joka pyrkii seuraamaan staattorin pyörivää magneettikenttää. Tästä syntynyt voimavaikutus välittää roottorin akselille vääntömomentin, jolloin roottori jää hieman tahtinopeudesta. Oikosulkumoottorin vääntömomentti ja jättämä riippuvat siitä, miten paljon moottoria kuormitetaan. Kuvassa 5 on esitetty oikosulkumoottorin roottori ja staattori. [10, s. 7, s. 11–17.]



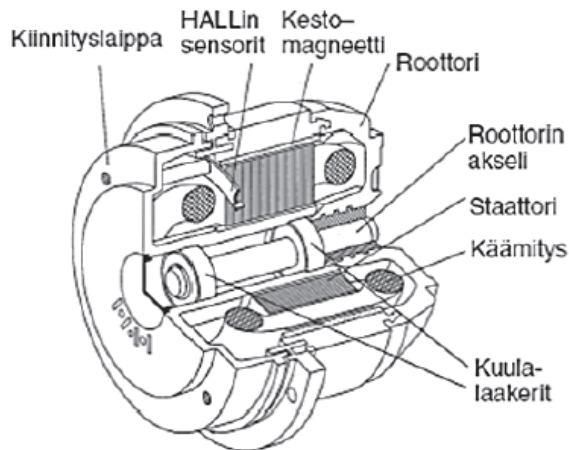
Kuva 5. Oikosulkumoottorin roottori ja staattori [6].

Oikosulkumoottorin käynnistyksessä syntyy suuri käynnistysvirta I_s , joka on noin 5-8 x nimellisvirrasta. Käynnistysvirtaa voidaan rajoittaa taajuusmuuttajan avulla. Moottorin hyötysuhde lasketaan vertaamalla, kuinka paljon sen antoteho on ottotehosta eli kuinka paljon tehoa kuluu moottorin sisällä. Oikosulkumoottori käyttää virtaa muodostaakseen magneettikentän, ja oikosulkumoottorin ottamasta tehosta osa kuluu virran aiheuttamaan lämpöhäviöön. Tämä on yksi syy siihen, miksi EC-moottoreilla ja PM-moottoreilla on parempi hyötysuhde verrattuna oikosulkumoottoriin, sillä niiden magnetointi on toteutettu kestopagneeteilla, jolloin virtaa ei tarvita roottorin magnetointiin. [10, s. 7, s. 11–17.]

EC-moottori

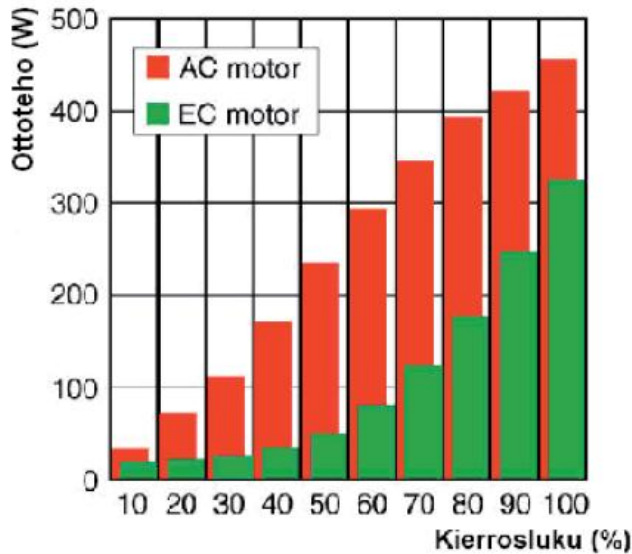
Electronically Commutated D.C. motor eli EC-moottori on energiatehokas ratkaisu ilmastointijärjestelmiin, joiden ilmastusta halutaan säädellä erilaisten tilanteiden mukaan. EC-moottori on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori, jonka pyörimisnope-

utta pystytään säätämään automatiikasta 0–10 V:n tasajännitteellä, standardilla ohjausviestillä tai väyläliitynnällä. Moottorin roottori pyörii kiinteään staattoriin ympärillä ja roottorin akseli on kiinnitetty staattoriin kuulalaakereihin. Roottorin pyöriminen aiheuttaa virran kulkusuunnan vaihtelun sen staattorissa muodostaman magneettikentän vuoksi. Tätä kutsutaan kommutoinniksi, ja jotta kommutointi tapahtuisi oikealla hetkellä, tulee HALLin sensoreiden havaita roottorin asennon muutokset. Erona perinteisiin D.C.-moottoreihin on se, että kommutointi tapahtuu EC-moottoreissa elektronisella säätimellä hiiliharjojen sijaan. Koska EC-moottorin ohjaukseen ei tarvita taajuusmuuttajaa, eikä se muodosta taajuusmuuttajan kaltaisia suurtaajuushäiriöitä, voidaan kaapelointi IV-keskukseen tehdä tavanomaisella kaapelilla. Moottorin ja keskuksen välinen kaapeli ei siis tarvitse olla EMC-kaapelia. Kuvassa 6 on esitetty EC-moottorin osat. [6, s. 2, s. 4; 11, s. 132.]



Kuva 6. EC-moottorin rakenne [6].

EC-moottoreita käytetään yleisesti puhaltimissa noin 7,5 kW:iin asti. Verrattuna AC-moottoriin EC-moottorin käyttötaajuusalue on laajempi kuin taajuusmuuttajalla ohjatun oikosulkumoottorin (käytännössä 0–100 %) ja sen hyötysuhde on parempi koko säätöalueella, kuten kuvasta 7 voidaan todeta. Oikosulkumoottorin verkosta ottama maksimiteho on suurempi kuin EC-moottorilla ja pienemmillä kierroksilla moottorin prosentuaalinen ero ottotehossa on huomattavasti parempi EC-moottorin hyväksi. Kuva 7 havainnollistaa AC- ja EC-moottoreiden sähkönkulutusta eri pyörimisnopeuksilla. [6, s. 2, s. 4–5; 8.]



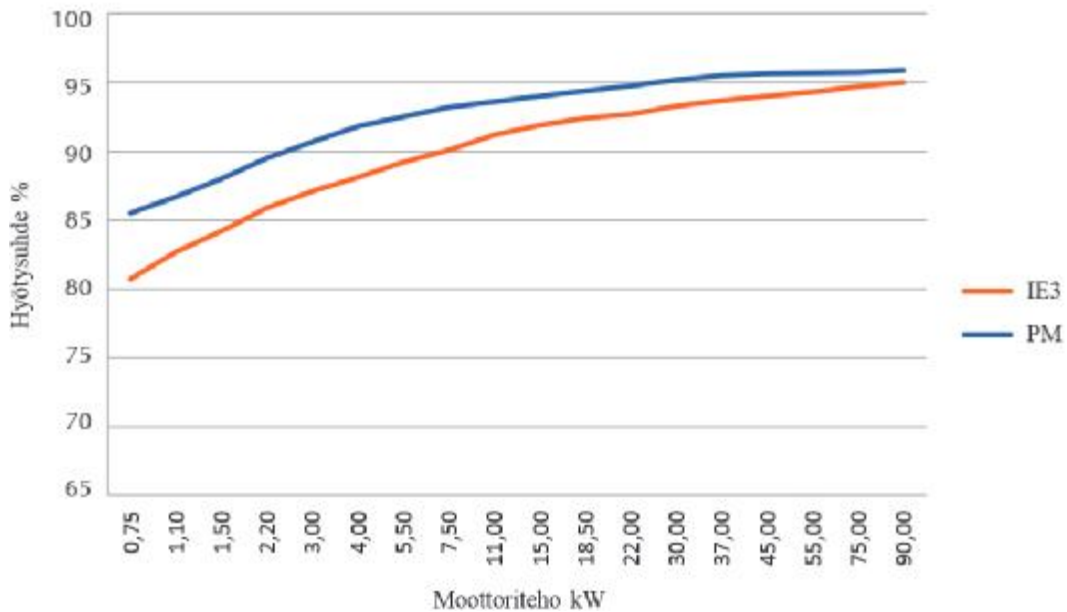
Kuva 7. AC- ja EC-moottorin ottotehojen vertailu [6].

PM-moottori

Permagnet magnet motor eli PM-moottoria kutsutaan myös kestopagneettimoottoriksi, jolla on korkea hyötysuhde. PM-moottori on rakenteeltaan oikosulkumoottorin tapainen, mutta sen roottorikäänitys on korvattu kestopagneettilevyillä, jotka magnetoivat moottorin. Tämän takia kestopagneettimoottori ei tarvitse sähkövirtaa roottorin magnetoimiseen eikä roottorissa tapahdu juurikaan häviöitä, jonka vuoksi sen hyötysuhde on parempi ja se käy viileämpänä kuin oikosulkumoottori. Tämä on ratkaiseva ero näiden kahden moottorin hyötysuhdetta vertailtaessa, sillä molempien moottoreiden pyörimisnopeuksia säädetään taajuusmuuttajan avulla. [6, s. 7; 8.]

EC-moottoriin verrattuna kestopagneetti- sekä oikosulkumoottorin huollettavuus poikkeaa siinä, että niiden laakerit sekä taajuusmuuttajan voi tarvittaessa vaihtaa, kun taas EC-moottori on niin kompakti, että sen rikkoutuessa pitää EC-moottori vaihtaa kokonaan. PM-moottori jakautuu kahteen moottorityyppiin, pintamagneettimoottoreihin sekä uppomagneettimoottoreihin. Pintamagneettimoottorissa kestopagneetit on liimattu roottorin pintaan ja niiden pitävyys varmistetaan usein lasikuitupannalla. Uppomagneettimoottorissa kestopagneetit on puolestaan upotettu roottorilaminoinnin sisään. Magneettien sijainti vaikuttaa sen magneettikenttään. [6, s. 7; 8.]

PM-moottoria täytyy käyttää aina yhdessä taajuusmuuttajan kanssa, jolla säädetään moottorin pyörimisnopeutta. Koska PM-moottori tarvitsee sille tarkoitetun taajuusmuuttajan toimiakseen, sitä ei voi käyttää ohituskäytöllä. Jos ilmanvaihtoa käytetään osana savunpoistoa, täytyy taajuusmuuttajasta löytyä parametrit joilla moottoria pystytään ajamaan vikatilanteesta huolimatta. Kuvassa 8 on vertailtu kestomagneettimoottorin hyötysuhdetta ja IE3-luokan oikosulkumoottorin hyötysuhdetta. [6, s. 7; 8.]



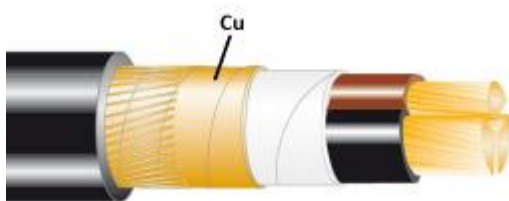
Kuva 8. IE3- ja kestomagneettimoottorin hyötysuhteet eri tehoisilla moottoreilla [6].

3.2 Taajuusmuuttajat ja sähkömagneettiset häiriöt

Moottorin pyörimisnopeutta tarpeen mukaan portaattomasti säätelämällä voidaan säästää huomattavasti energiankulutuksessa, sillä se vaikuttaa myös ilmanvaihtokoneiden pumppujen ja puhaltimen käyttämään tehoon. Tämän takia taajuusmuuttajan käyttö onkin yleistynyt ilmanvaihtokoneiden osia liikuttavien moottoreiden ohjauksessa ja tänä päivänä taajuusmuuttajaan löytyy lukematon määrä parametreja. Niillä voidaan ohjata moottoria halutulla tavalla. Taajuusmuuttajalla voidaan muuttaa muun muassa lähtöjännitettä sekä -taajuutta, mutta myös paljon muuta, kuten jarrutus- ja kiihdytysaikoja. Suuri osa ilmanvaihtokoneen pumpuista ja puhaltimista toimivat taajuusmuuttajalla ohjatulla oikosulkumoottorilla, mikä on vähentänyt keskukseseen tulevien suojalaitteiden määrää. Taajuusmuuttaja pystyy suorittamaan ylikuormitussuojauksen laskennallisesti, kun siihen syötetään moottorin arvot (teho (P), tehokerroin ($\cos \varphi$), virta (A) ja kierros-

luku (r/min)). IV-konehuoneessa saattaa kuitenkin olla myös laitteita, joiden moottoreita voidaan kytketä useampi rinnan yhden taajuusmuuttajan taakse. Tästä yhtenä esimerkkinä toimivat lauhduttimet. Tällöin moottorinsuojakytkimet tai lämpöreleet tulee asentaa taajuusmuuttajan ja moottorin väliin. Ne voivat fyysisesti sijaita keskuksessa, mutta ne tulee suunnitella taajuusmuuttajan jälkeen jokaiselle moottorille erikseen. Perinteisesti taajuusmuuttajat ovat liitetty rakennusautomaatiojärjestelmään suorilla I/O-liittynöillä. Väyläpohjainen ratkaisu taajuusmuuttajan liittämiseksi rakennusautomaatiojärjestelmään antaa kuitenkin energiakulutuksen kannalta hyödyllistä lisätietoa. Tällainen väyläpohjainen ratkaisu voidaan toteuttaa esimerkiksi Modbusin tai Lonin kautta. [11, s. 127; 12.]

Taajuusmuuttajan ongelmana ovat sen tuottamat yliaallot, joita muodostuu, kun välipiirin jännite synnytetään tasasuuntaamalla tulojännite ilman kuormankorjaintekniikkaa (PFT). Tämä onkin varsin yleinen tapa ohjata tulojännite välipiiriin ja sen aiheuttamalta sähkömagneettiselta säteilyltä pyritään suojautumaan maadoituksella. Tämän takia tulee taajuusmuuttajan jälkeen käyttää EMC-kaapeleita. EMC-kaapelissa johtimet ovat suojattu sähköä johtavalla materiaalilla, esimerkiksi kuparilla, kuten kuvassa 9 on esitetty. Taajuusmuuttajassa pitää olla CE-merkintä, joka tarkoittaa sitä, että laite on pienjännitedirektiivin (LVD) ja EMC-direktiivin vaatimusten mukainen. Standardista IEC 61800-3 löytyy lisätietoa EMC:hen liittyen, esimerkiksi EMC-luokat. Muita sähkömagneettisia häiriöitä voi syntyä esimerkiksi johtumalla kaapeleista toisiin. Kaapelihyllyn lisääminen potentiaalitasaukseen suojaa hieman johtumalla syntyviltä sähkömagneettisilta häiriöiltä, kuten myös se, että noudatetaan hyvää asennustapaa johtoteillä. [3; 12.]



Kuva 9. EMC-kaapeli [13.]

Lisäsuojamaadoitusta tulee käyttää pienemmissä taajuusmuuttajissa, tai jos laitevalmistaja on tietyn taajuusmuuttajatyypin ohjekirjassa niin erikseen maininnut. Lisämaadoitusjohdin liitetään taajuusmuuttajaan (ei moottoriin) ja sen koko riippuu taajuusmuut-

tajalle kytkettävien syöttöjohtimien poikkipinta-alasta. Kun syötössä käytetään 1,5 mm² tai 2,5 mm²:n johtimia, tulee lisäsuojamaadoitusjohtimen olla 4 mm². Syöttöjohtimen ollessa 6 mm² käytetään 6 mm² lisäsuojamaadoitusjohdinta. Tätä suurempien syöttöjohtimien kanssa ei lisäsuojamaadoitusta tarvita. [3; 14, s. 14.]

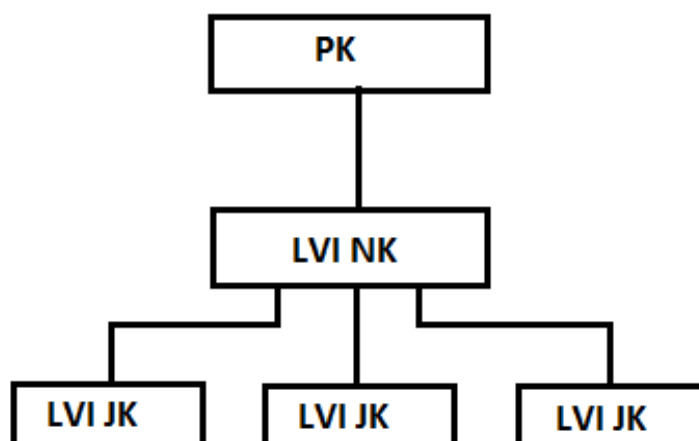
4 IV-konehuoneen sähkösuunnittelun lähtötiedot

IV-konehuoneen sähkösuunnittelua aloitettaessa ensiksi tulee kerätä mahdollisimman paljon lähtötietoja muilta projektissa mukana olevilta suunnittelijoilta, jotta sähkösuunnittelija saa laajemman käsityksen rakennuksen ilmanvaihtokonehuoneesta sekä siitä, minkälaisia haasteita, vaatimuksia ja erityisosoitteita suunnittelussa on mahdollisesti odotettavissa. Yksi oleellisimmista asioista ilmanvaihtokonehuoneen suunnittelua aloitettaessa on selvittää tilaan tulevat sähköä vaativat LVI-laitteet. Tieto tilaan tulevista LVI-laitteista ja niiden sijoituspaikoista saadaan LVI-suunnittelijan laatimasta LVI-laiteluettelosta. LVI-suunnittelijan määrittämien ilmamäärien yms. mukaan rakennusautomaatiosuunnittelija (RAU-suunnittelija) määrittää koneen vaativan sähkötehon, koneissa käytettävien moottoreiden tyyppin ja niiden ohjaustavat. RAU-suunnittelijan laatimasta ilmanvaihtokoneiden säätökaaviosta selviää, miten laitteita halutaan ohjata. [3.]

Sähkösuunnittelijan tehtävänä on keräämiensä tietojen perusteella määrittää kaapelit, suojalaitteet ja mahdolliset lisäsuojaukset. Pienemmissä kohteissa, joissa on vain muutama ilmanvaihtokone, ohjausta ei välttämättä haluta toteuttaa valvonta-alakeskuksen eli VAK:in kautta. Tällöin ohjaus voidaan toteuttaa moottorityypistä riippuen joko laitteeseen integroidulla säätöelektronikalla tai taajuusmuuttajaan käsin asetettavien parametrien avulla. Lisäksi ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelua aloitettaessa tulee sähkösuunnittelijan miettiä, mitä reittiä sähköt tilan keskuksille saadaan tuotua. Jos ilmanvaihtokonehuone on esimerkiksi kantavien seinien sisällä, täytyy sähköille varata hyvissä ajoin reiät rakenteeseen ja reikien paikat ja koot tulee käydä yhdessä rakennussuunnittelijan kanssa läpi. Lisäksi suunnittelussa täytyy ottaa huomioon arkkitehtipohja ja siinä tapahtuvat muutokset, jotta ilmanvaihtokonehuonetta suunnitellaan viimeisimpien tietojen perusteella [3.]

5 Sähkökeskukset ja valvonta-alakeskus

Kun kaikki lähtötiedot on kerätty yhteen, voidaan aloittaa ilmanvaihtokonehuoneen sähkökeskusten suunnittelu. Nousukaapelit ilmanvaihtokonehuoneeseen kannattaa selektiivisyyden takia tuoda suoraan rakennuksen pääkeskukselta, kuten kuvassa 10 on esitetty. Ennen taajuusmuuttajia ja EC-moottoreita moottoreille rakennettiin erilliset ohjaukset ilmanvaihtokonehuoneessa olevaan keskukseseen, mistä ilmanvaihtokoneet saivat myös sähkönsä. Tällöin keskuksen fyysinen koko on ollut huomattavasti nykyistä suurempi ja ohjausten kytkennät ovat olleet monimutkaisia ja sisältäneet paljon komponentteja. Nykyään varsinkin isommissa ilmanvaihtokonehuoneissa, joissa on useampia ilmanvaihtokoneita, on alettu suunnittelemaan konekohtaisia IV-keskuksia (LVI JK). Tällöin IV-konehuoneeseen tulee nousukeskus (LVI NK), josta IV-konekohtaisia keskuksia syötetään. IV-konekohtaiset keskukset voidaan tilata ilmanvaihtokoneen mukana, jolloin sitä ei tarvitse erikseen suunnitella, tai rakentaa työmaalla. Konekohtaiset keskukset pienentävät keskuksien kokoa huomattavasti, sekä helpottavat ilmanvaihdon kulutusmittauksen suunnittelua, kun kaikki päälaitteet sijaitsevat yhden keskuksen takana. Energiakulutuksen tarkkailun myötä onkin vuonna 2012 astunut voimaan uudet rakennusmääräykset, jotka vaativat ilmanvaihtojärjestelmän, kiinteän valaistuksen, lämmityksen sekä jäähdytyksen osalta muissa kuin pientaloissa päämittauksen lisäksi oman järjestelmäkohtaisen mittaroinin. Keskuksia suunniteltaessa tulisi muistaa jättää varalähtöjä laajennustoimia varten sekä varautua sähkötehon tarpeen nousuun. [3; 5, s. 20.]



Kuva 10. Sähkönsyötön periaatekuva nousukeskusta käyttäen.

Jos keskuksen nimellisvirta on 63 A tai yli, keskuksen eteen on jätettävä 0,8 m:n huoltotila. Keskukseen on varattava tarpeeksi paljon sopivia liittimiä asennuspaikalla liitettävälle johdolle, sillä alumiinijohdinta ei saa kiinnittää vain kuparijohtimelle tarkoitettuun liitimeen. Keskuksia ketjutettaessa niiden liittimen täytyy olla testattu ja tähän tarkoitukseen sopivia, sillä keskuksia ketjutettaessa yhteen liitimeen tulee kaksi johdinta. Muita tiloja palvelevat sähkö- sekä automaatiokeskukset tulisi sijoittaa ilmanvaihtokonehuoneessa omaan palo-osastoituu komeroon silloin, kun ilmanvaihtokonehuoneessa on keskusilmanvaihtolaitteistoja. Keskusilmanvaihtolaitteistolla tarkoitetaan samassa ilmanvaihtokonehuoneessa olevia IV-koneita, jotka syöttävät eri palo-osastoja. Tällöin ne on varustettu palopelleillä. Keskusilmanvaihtolaitteistoon kuuluvia tai sen kannalta välttämättömiä laitteita, jotka sijaitsevat muualla kuin ilmanvaihtokonehuoneessa, mutta jotka saavat syötön ilmanvaihtokonehuoneessa olevasta sähkökeskuksesta ei tarvitse palokoteloida. Tällaisia ovat esimerkiksi katolla olevat lauhduttimet. Tämä on sanottu ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusoppaan julkaisussa kohdassa 4.6 ilmanvaihtokonehuone ja kammio. [15, s. 3; 16, s. 38; 17.]

5.1 Suojalaitteiden ja keskuksen nimellisvirran mitoitus

Ilmanvaihtokonehuoneen keskusten mitoittaminen aloitetaan käyttölaitteilta. Laiteluettelosta saatavien tietojen perusteella mitoitetään keskuksen suojalaitteet, kuten ylivirtasuojat. Keskuksen nimellisvirta voidaan määrittää karkeasti laskemalla kaikki keskuksen syöttämien laitteiden tehot yhteen ja tämän jälkeen käyttää kaavaa 1. Saadun virran perusteella voidaan määrittää keskuksen pääsulakkeen koko. Jos keskuksen tehot pitää määrittää tarkasti, tarvitaan jokaisen laitteen jännitteen ja virran välinen vaihekulma $\cos \varphi$, jolla pystytään laskemaan jokaisen laitteen nimellisteho S_n .

$$I = \frac{P_{kok}}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (1)$$

I on virta (A)

P_{kok} on laitteiden yhteenlaskettu teho (W)

U_n on nimellisjännite (U).

Suunniteltaessa on hyvä huomioida myös suojalaitteiden selektiivisyys, jotta vikatilanteissa häiriö pystyttäisiin rajaamaan mahdollisimman pienelle alueelle. Tällöin ylivir-

tasuojaus toimii oikein, eikä ylikuormitus tai oikosulkuvirta pääse aiheuttamaan suurta vahinkoa kiinteistön sähköverkossa. Selektiivisyyden perusnyrkkisääntönä on, että keskuksen pääsulake on kaksi pykälää isompi kuin keskuksen suurin lähtösulake. Jos ei tiedetä, mitä suojalaitteita keskusvalmistaja käyttää, tulee varmuuden vuoksi mitoitaa kolme pykälää isompi noususulake kuin nousukeskuksen isoin lähtösulake on. Keskusvalmistajan tulisi tarkistaa suojalaitteiden laukaisukäyristä, että heidän valitsemansa sulakkeet keskuksessa toimivat selektiivisesti suojalaitteita valittaessa. [18.]

5.2 Ilmanvaihtokonekohtainen keskus

Aikaisemmin samassa ilmanvaihtokonehuoneessa olevia ilmanvaihtokoneita on syötetty yhden yhteisen IV-keskuksen kautta, jossa kaikkien ilmanvaihtokoneiden moottoreiden ylivirtasuojat ja kontaktorit ovat sijainneet. Ilmanvaihtokoneiden huoltotöitä tehdessä ei siis välttämättä ole ollut näköyhteyttä IV-keskukselle, joten jokaiselle ilmanvaihtokoneen sähköiselle laitteelle on tarvittu oma turvakytkin laitteen välittömään läheisyyteen, jolla on voitu varmistaa huoltotoimenpiteiden turvallisuus. IV-konekohtainen keskus lisää työturvallisuutta siten, että keskus on aivan ilmanvaihtokoneen vieressä, eikä esimerkiksi kulman takana, jolloin IV-keskukseen ei olisi näköyhteyttä. [3; 19.]

Yleensä konekohtaiset IV-keskukset pyritään asentamaan ilmanvaihtokoneen kylkeen, jotta näköyhteys koneelle olisi mahdollisimman lyhyt ja esteetön. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, eikä keskusta voi asentaa ilmanvaihtokoneen etupuolelle. Ilmanvaihtokoneen kotelon luukut voivat joissain tapauksissa esimerkiksi olla saranallisia, jolloin avautuva kotelo vaatii suuremman huoltotilan laitteen edustalla verrattuna irti otettavaan kansiin. Tällöin konekohtainen IV-keskus tulisi asentaa mahdollisimman lähelle ja näkyvälle paikalle, esimerkiksi lähellä olevaan seinään, ilmanvaihtokoneen päätyyn tai kiinni pystyhyllyyyn koneen viereen. [3.]

Nykyään ilmanvaihtokonetta on alettu ajattelemaan enemmän yhtenä kokonaisuutena. Kun keskus on lähellä ja näkyvissä, ei syötönerotuskytkimiä tarvitse jokaisen ilmanvaihtokoneen sähköiselle laitteelle erikseen. Tällöin konekohtaisessa IV-keskuksessa oleva pääkytkin toimii syötönerotuskytkimenä, kuten kuvassa 11, jolla saadaan koko koneen syöttö katkaistua. Tämä vähentää myös turhien hälytyksien määrää, kun tieto ilmanvaihtokoneen syötön katkaisemisesta otetaan syötönerotuskytkimeltä suoraan automaatiojärjestelmään. [3; 19.]



Kuva 11. IV-konekohtainen keskus, jossa pääkytkin toimii laitteiden syötönerotuskytkimenä.

5.3 Savunpoistokeskus ja varavoimakeskus

Ilmanvaihtokonehuoneessa sijaitsevien savunpoistojärjestelmän toimilaitteiden ja niiden sähkönsyötön tulee kestää palotilanteessa ja siksi laitteiden kaapelit ja johtotiet tulee olla suunniteltu palonkestävästi. Savunpoistokeskus voidaan sijoittaa IV-konehuoneeseen, mutta tällöin sille pitää järjestää erillinen palonkestävä tila tai komero. Samaan tilaan voidaan sijoittaa myös savunpoistoa ohjaava valvonta-alakeskus, jolloin se sijaitsee eri palo-osastolla savunpoiston toimilaitteiden kanssa. Savunpoiston taajuusmuuttajat ja mahdolliset laukaisukeskukset tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle toimilaitteita, mutta ne eivät saa sijaita samassa palo-osastossa niillä ohjattavien laitteiden kanssa, jos ne eivät ole palonkestäviä. Palonkestäviä taajuusmuuttajia ja savunpoiston laukaisukeskuksia voi tapauskohtaisesti sijoittaa samalle palo-osastolle, mutta jos niitä on useampia, tämä on usein turhan kallis ratkaisu. Jos varavoimakeskus syöttää palon aikana toimivia laitteita, tulee se sijoittaa erilliseen palonkestävään komeroon tai tilaan, jotta sähköt eivät katkea palonkaan aikana. Ilmanvaihdon suunnittelua varavoimakeskuksen taakse voisi harkita niissä tapauksissa, kun ilmanvaihdon pysähtymisestä esimerkiksi sähkökatkoksen aikana saattaisi aiheutua vaaraa ihmis- hengille. Esimerkkinä tällaisista paikoista voidaan pitää maanalaisia parkkihalleja, jois-

sa ilmanvaihdon pysähtymisen myötä ihmiselle haitalliset pakokaasut eivät pääse poistumaan tarpeeksi tehokkaasti ilman ilmanvaihtoa. [3; 20, s. 11.]

5.4 Valvonta-alakeskus

Valvonta-alakeskus eli VAK toimii kohteen rakennusautomaation ohjauskeskuksena. Tarpeetonta energiankulutusta pyritään vähentämään yhä tarkemmilla säätötavoitteilla. Valvonta-alakeskuksella voidaankin kauko-ohjata ja valvoa ilmanvaihtokonehuoneessa kaikkea sähköllä toimivaa kuten ilmanvaihtoa, lämmitystä ja valaistusta keskitetysti, esimerkiksi kiinteistövalvomosta käsin. Riittävän tarkan laite seurannan ja älykkään ohjauksen avulla voidaan valvonta-alakeskuksen keräämien tietojen perusteella analysoida mahdollisen kulutuksen kasvun syitä, sekä pitää kiinteistön olosuhteet parhaalla mahdollisella tasolla. [5, s. 20; 11, s. 49.]

Yhdessä kohteessa voi olla useampia valvonta-alakeskuksia ja niitä voidaan yhdistää rinnan väyläohjauksen avulla. Valvonta-alakeskukset sijoitetaan yleensä teknillisiin tiloihin, kuten ilmanvaihtokonehuoneisiin, sähkötiloihin ja lämmönjakohuoneisiin, ja yhdessä valvonta-alakeskuksessa on tyypillisesti 30–150 pistettä. Myös huolto- ja vianhakutoimenpiteet onnistuvat helpommin, kun valvonta-alakeskus sijaitsee lähellä säädettäviä laitteita. Laitteiden ohjaus onnistuu sekä paikallisesti että etänä hallintotasolta eli valvomotilasta, jossa alakeskukset liitetään PC:eihin. [11, s. 49, s. 51, s. 93–94.]

Valvonta-alakeskus pystyy valvomaan taloteknillisiä toimintoja keräämällä hälytys- ja vikatietoja eri järjestelmistä. Vika- ja häiriötilanteista tulee myös toipua mahdollisimman nopeasti. Nykyään automaatiotason kenttäkaapeloinnissa käytetään useimmiten standardin CAT6 mukaista kaapelointia, jolla päästään jopa nopeuteen 100 Mb/s. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että CAT6 kaapelointimatka laitteelle saa maksimissaan olla 90 m. Savunpoistokeskus vaatii oman valvonta-alakeskuksen, josta voidaan ohjata savunpoistoon liittyviä laitteita, vaikka laite varottaisikin viasta. Kuva 12 on otettu ilmanvaihtokonehuoneen VAK:ista. [11, s. 49, s. 51, s. 93–94, s. 98–99.]



Kuva 12. Ilmanvaihtokonehuoneen valvonta-alakeskus.

6 Ilmanvaihtokoneiden sähköiset suojaukset

6.1 Koneita koskevat vaatimukset

Ilmanvaihtokoneita koskevat useat asetukset ja direktiivit. Esimerkiksi valtioneuvoston koneiden turvallisuudesta antaman asetuksen (400/2008) pohjalta on Suomessa käyttöön otettu konedirektiivi 2006/42/EU. Myös pienjännite- ja EMC-direktiivit koskevat ilmanvaihtokoneita. Konedirektiivin asettamat vaatimukset täyttyvän kun noudatetaan yhdenmukaistettuja standardeja tai saavutetaan vastaava turvallisuustaso.

Suurimmaksi osaksi ilmanvaihtokoneiden sähköasennuksissa sovelletaan standardia SFS-EN 60204-1 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Pientalojen ja yksittäisten huoneistojen ilmanvaihtoon käytettäviin ilmanvaihtokoneisiin sovelletaan standardia SFS-EN 60335-1 Kotitaloussähkölaitteiden ja vastaavien turvallisuus. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yksityiskohtaisia suunnitteluohjeita ja lisätietoa aiheesta on saatu lisää ST-korttien päivityksen myötä, esimerkiksi ST-korteista 51.31, 51.26 ja 820.40. [2.]

6.2 Ilmanvaihtokoneen suojaukset

Suurin osa ilmanvaihtokoneista Suomessa on suojattu kotelolla. Tämän tyyppisten ilmanvaihtokoneiden pyöriviin osiin ei pääse käsiksi koneen ollessa normaalisti toiminnassa. Lisäksi ilmanvaihtokoneet sijoitetaan tiloihin, jonne asiattomilta henkilöiltä on pääsy kielletty, kuten ilmanvaihtokonehuoneisiin tai katolle.

Kun ilmanvaihtokoneen liikkuvat osat on suojattu kotelolla, jotka voidaan avata vain työkaluilla tai avatun kotelon takana ei turvaetäisyydellä ole pyöriviä tai muulla tavalla henkilölle vaaraa aiheuttavia osia, voidaan koneen osia pitää turvallisesti suojattuna. Tällöin ilmanvaihtokonetta ei tarvitse suojata rajakytkimillä tai muillakaan sähköisillä suojapiireillä, sillä kukaan ei pääse vahingossa pyörivien osien lähelle. Huoltotoimenpiteiden, kuten käyttöhihnojen vaihtamisen aikana, kotelointi joudutaan avaamaan, mikä altistaa huoltomiehen koneen mekaanisille osille. Tätä tilannetta varten jokaiselta huollettavalta osalta pitää pystyä katkaisemaan sähköt, mikä voidaan suorittaa käyttämällä syötönerotuskytkimiä. [2.]

6.2.1 Syötönerotuskytkimet

SFS-EN 60204-1 kohdan 5.3.1 mukaan, syötönerotuskytkin on oltava jokaisen erillisen koneen syötössä. Syötönerotuskytkimellä eli turvakytkimellä on tarkoitus taata ilmanvaihtokoneen sähköttömyys tarvittaessa, esimerkiksi koneen ja sen sähkölaitteistoissa tehtäviä töitä varten. Syötönerotuskytkimen ansiosta korjaus- ja huoltotoimenpiteet voidaan suorittaa turvallisesti ja jännitteettömästi. Tärkeätä on muistaa, että koska ilmanvaihtokone koostuu erillisistä koneista, syötönerotuskytkimiä tulee olla useampia. Tällöin syötönerotuskytkimenä on käytettävä lukituskytkentöjä, joilla varmistetaan oikea toiminta ja estetään mahdolliset vaaratilanteet, joihin kuuluvat koneeseen ja meneillään olevaan työhön kohdistuvat vauriot. Poikkeustapauksena edellä olevaan määräykseen toimii konekohtainen IV-keskus, joka sijoitetaan IV-koneen viereen niin, että se on esteettömästi nähtävissä koko huoltotoimenpiteiden ajan. Tällöin riittää, kun konekohtaisen IV-keskuksen kannessa on koneen pääkytkin, eikä jokaisella ilmanvaihtokoneen osalla tarvitse olla syötönerotuskytkintä erikseen. [19; 21, s. 50.]

Syötönerotuskytkimen tyyppi on SFS-EN 60204-1 standardin kohdan 5.3.2 mukaan oltava joku seuraavista:

"a) standardin IEC 60947-3 käyttöluokan AC-23B tai DC-23B mukainen sulakkeellinen tai sulakkeeton kuormaerotin

b) standardin IEC 60947-3 mukainen sulakkeellinen tai sulakkeeton erotin, jossa on apukosketin, joka kaikissa tapauksissa saa kytkentälaitteella aikaan kuormitetun virtapiirin katkaisun ennen erottimen pääkoskettimen avautumista

c) katkaisija, joka soveltuu erottamiseen standardin IEC 60947-2 mukaisesti

d) muu kytkinlaite, joka täyttää sitä koskevan tuotekohtaisen IEC-standardin vaatimukset ja standardin IEC 60947-1 erottamisvaatimukset ja tuotekohtaisessa standardissa määritellyn kuormitetun moottorin tai muun induktiivisen kuorman kytkemiseksi määritellyn käyttöluokan vaatimukset

e) taipuisan syöttökaapelin pistokytkin." [21, s. 50.]

Ilmanvaihtokoneissa yleisimmin käytössä oleva syötönerotuskytkimen tyyppi on kohdan c) tyyppin katkaisija. Lähes kaikille syötönerotustyypeille pätee samat vaatimukset, lukuun ottamatta pistokytkintä. Lyhyesti sanottuna syötönerotuskytkimessä tulisi olla asennonosoitin tai näkyvän koskettimen avausväli, ohjausmahdollisuus (esim. ohjaukahva), kytkimen lukitusmahdollisuus AUKI-asentoon sekä sen tulisi erottaa kaikki jännitteiset syöttöjohdot koneesta. Kuvassa 13 on esitetty lukittava syötönerotuskytkin. Syötönerotuskytkintyyppien vaatimukset on tarkemmin esitetty liitteessä 1. [21, s. 52.]



Kuva 13. Lukittava syötönerotuskytkin.

Sähkösuunnittelijat NSS ry:n tekemä sovellusohje antaa lisämahdollisuuden vaatimukseen, jolloin kytkimen lukitus voidaan korvata lukitsemalla kytkimen sijaintipaikka. Suun-

niteltaessa syötönerotuskytkimen ohjauslaitteen (esim. ohjauskahva) sijaintia, tulee se sijoittaa mahdollisimman helposti luokse päästävään paikkaan. Ohjauslaitteen korkeus huoltotasosta on oltava 0,6–1,9 m, mutta maksimikorkeudeksi suositellaan 1,7 m. [21, s. 52.]

Standardin SFS-EN 60204-1 kohdan 5.3.5 (virtapiirin erottamista koskevat poikkeukset) mukaan laitteita syöttäviä virtapiirejä, joiden tulisi normaalisti jäädä jännitteiseksi oikean toiminnan aikaansaamiseksi, ei välttämättä tarvitse erottaa syötönerotuskytkimellä. Ilmanvaihtokoneessa tällaisia laitteita ovat mm. kiertovesipumput ja sulkupellit, jotka estävät laitetta jäätymästä. Kohtaa 5.3.5 soveltaen, jos ilmanvaihtokoneen pääkytkintä käytetään syötönerotuskytkimenä, voidaan nämä laitteet jättää erottamatta syötönerotuskytkimellä. Tällaisessa tilanteessa SFS-EN 60204-1 antaa kaksi vaihtoehtoa asennuksen suorittamiseksi. Joko asennetaan näille virtapiireille omat syötönerotuskytkimet, mikä on suositeltavaa. Toisessa tapauksessa virtapiirit voidaan jättää erottamatta, mutta tämä vaatii sen, että pysyvä varoituskilpi asennetaan syötönerotuskytkimen läheisyyteen kohdan 16.1 mukaisella kilvellä. Tämä pitää mainita myös käyttö- ja huolto-ohjeissa. [21, s. 54.]

6.2.2 Suojaus sähköiskuilta

Ilmanvaihtokone tulee suojata suoralta kosketukselta sen jännitteisten ja liikkuvien osien vuoksi. Tehokas tapa suojata ilmanvaihtokone on sijoittaa pyörivät ja jännitteiset osat koteloiden sisälle. Lattiatasossa kotelointiluokan tulee olla vähintään IP2X tai IPXXB ja helposti päästävien vaakatasossa olevien koteloiden yläpintojen suojaus vähintään IP4X tai IPXXD. Opinnäytetyötä tehtävän yrityksen käytäntönä on ollut, että taajuusmuuttajissa on käytetty IP54-luokkaa ja IV-konekohtaisen sähkökeskuksen koteloinnissa IP34C-luokkaa. [21, s. 56.]

Kotelon aukaisemisen (ts. oven, luukun, kannen tms.) tulee olla mahdollista vasta, kun jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- Kotelo aukeaa työkalulla tai avaimella.
- Jännitteiset osat on tehty jännitteettömiksi ennen kotelon aukeamista (mahdollista, kun koneen ovi lukitaan toiminnallisesti esimerkiksi syötön erotuskytkimeen niin, että ovi aukeaa vasta, kun erotuslaite on avautunut).

- Avaaminen ilman edellä mainittuja turvatoimia on mahdollista vain, jos kaikki ilmanvaihtokoneen sisällä olevat jännitteiset osat suojataan kosketukselta vähintään IP2X tai IPXXB luokalla. [21, s. 58, s.60.]

Vikasuojaukseen käytetään yleensä syötön nopeaa automaattista poiskytkentää ylivirtasuojien avulla. Huoltoon käytettävät alle 32 A:n pistorasiat vikavirtasuojataan ja lisäsuojataan SFS 6000-4-41 kohdan 411.3.3 mukaisesti, lukuun ottamatta pistorasioita, joita käytetään tietyn kiinteän laitteen liitämiseen. Tällöin pistorasia voidaan jättää ilman vikavirtasuojasta ja merkitä SFS 6000-4-41:n liitteen 41X mukaisesti. [2.]

6.2.3 Ylivirtasuojaus

Ilmanvaihtokoneen virtapiirit tulee suojata ylivirtasuojauksella, kun vaarana on, että virta saattaa ylittää komponentille annetun mitoitusvirran tai jos johtimen kuormitettavuus ylittyy. Jos moottoreiden ohjaus on toteutettu kontaktorein, toteutetaan ylivirtasuojaus fyysisesti keskuksessa. Taajuusmuuttajaa ja EC-moottoria käytettäessä voidaan ylikuormitussuojaus hoitaa niiden kautta. SFS-EN 60204-1:n kohdassa 7.2.10 on annettu ohjeet ylivirtasuojan mitoitus- ja asetteluarvojen määrittelyyn. Ylivirtasuojan mitoitusvirta ja muut asetteluarvot tulisi mitoittaa mahdollisimman alhaisiksi, ottaen huomioon kuitenkin odotettavissa olevat virrannousut, kuten moottorin käynnistysvirran, sekä muuntajan kytkentävirran. [21, s. 66.]

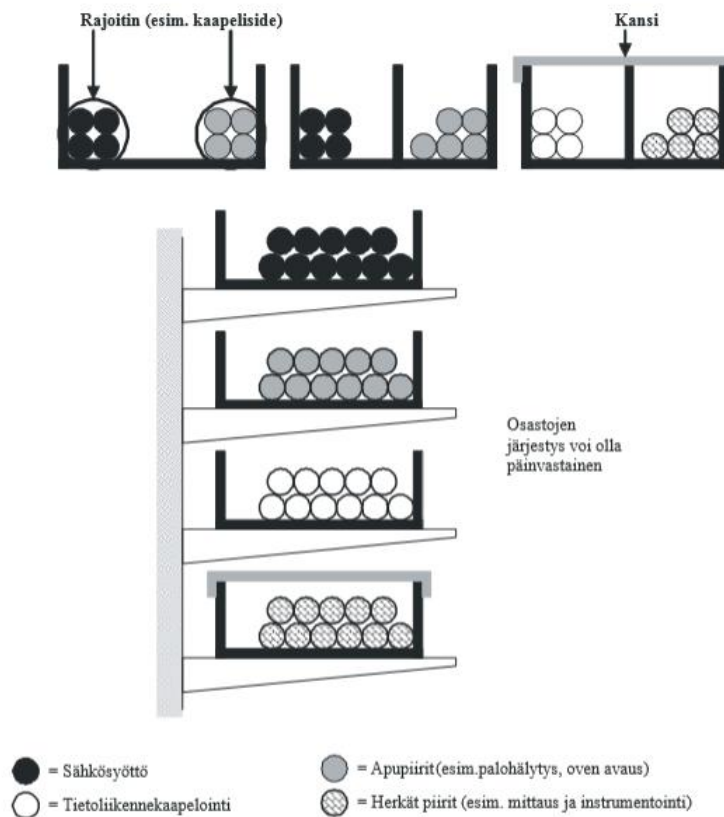
7 Kaapelit ja johtotiet

Johtotiet mahdollistavat kaapeleiden kuljetuksen ilmanvaihtokonehuoneessa. Kun keskuksat on saatu sijoitettua ilmanvaihtokonehuoneeseen, suunnitellaan alustavat johtotiereitit keskuksien ja IV-koneiden välille. Ilmanvaihtokonehuoneen sähkökeskuksien suunnittelun jälkeen, kun keskuksien lähtöjen määrät ja kaapelipituudet ovat tiedossa, tarkistetaan johtoteiden riittävyys. Jos rakennuskohteessa käytetään 3D-mallinnusta, tarkastetaan 3D-mallista, etteivät ilmanvaihtokonehuoneeseen suunnitellut johtotiet törmäile muun talotekniikan kanssa. Johtotiet tulisi suunnitella ilmanvaihtokoneen yläpuolelle, sillä jos kotelot ovat saranallisia ja johtotie on liian alhaalla, ei luokku pääse aukeamaan. Johtoteilla on eri kiinnitysvaatimuksia riippuen johtotien käyttötarkoituksesta kiinteistössä. Johtoteille on asetettu myös palonkestoon liittyviä vaatimuksia. Lähtökohtaisesti hyvä johtoteiden asennustapa tarkoittaa sitä, että eri järjestelmille on

omat johtotiet ja tähän pitäisi pyrkiä. Aina näin ei pystytä toimimaan ja eri järjestelmien kaapeleita saatetaan joutua asentamaan samoille johtotielle.

7.1 Kaapelit

Ilmanvaihtokonehuoneen kaapeleiden asennusreitteinä käytetään tikashyllyjä. Jos eri järjestelmän kaapeleita joudutaan asentamaan ilmanvaihtokonehuoneessa samalle johtotielle, tulee tällaisissa tapauksissa eri järjestelmien kaapelit erotella toisistaan standardin SFS 6000-4-44 mukaan, joka on esitetty kuvassa 14. Tietoliikennekaapeloinnit, joiden tyyppiä tai käyttötarkoitusta ei ole määritelty, pitää erottaa sähköverkon kaapeleista vähintään 200mm ilmavälillä, jos ei käytetä suojaavaa väliseinää. Erotusetäisyyttä johtotiellä voidaan pienentää suojaavilla väliseinillä taulukon 44.R1 mukaisesti tietyin huomioin. Jos taas tietoliikennekaapeloinnin tyyppi ja käyttötarkoitus on tiedossa, täytyy soveltaa standardin SFS-EN 50174-2 kohtaa 6.2 kaapeleiden erotukselle. [22, s. 34–35; 23, s. 43.]



HUOM. Kaikki metalliosat on liitetty potentiaalintasaukseen.

Kuva 14. Kaapeleiden erotustavat johtoteillä [22].

7.2 Kaapeleiden kuormitettavuus ja korjauskertoin

Kun ilmanvaihtokonehuoneen laitteiden suojalaitteet on mitoitettu keskuksien pääkaavioon laitteiden tietojen perusteella ja sähkökeskuksen pääsulakkeet määritetty tehojen perusteella, voidaan taulukosta 1 valita sopivan kokoiset kaapelit asennustavan mukaan. Koska kaapeleita asennetaan usein johtotielle useampi vierekkäin, katsotaan kaapelikoko taulukosta korjauskertoimen 0,8 mukaan. Jos johtoteitä on useampi päällekkäin ja kaapeleita johtotiellä paljon, voidaan varmuuden vuoksi käyttää kerrointa 0,7. Jos johdon kuormitusta halutaan tutkia tarkemmin, lasketaan johdon kuormitus tarvittavia korjauskertoimia käyttäen. Liitteessä 2 on esitetty yksinkertainen lasku kaapelin kuormituksen laskemisesta. SFS 6000-5-52:n taulukosta 52.20 nähdään, että korjauskertoimien ilmanvaihtokonehuoneessa käytettävälle tikashyllylle (asennustapa E) on yleisesti noin 0,8–0,7, kun kaapelit koskettavat toisiaan, riippuen siitä, kuinka monta hyllyä on asennettu päällekkäin. Yrityksellä, johon tämä opinnäytetyö tehdään, on käytössä oma taulukko, jonka mukaan pystytään tarkistamaan kaapeleiden sallitut maksimipi-tuudet B- ja C-typin johdonsuojakatkaisijoille sekä gG-typin sulakkeelle niin, että kosketusjännitesuojaus toteutuu syötön automaattisen poiskytkennän avulla. [24, s. 47.]

Taulukko 1. Johdon mitoitus ylivirtasuojan nimellisvirran perusteella [25].

Korjauskertoimien		0,8	0,7
Asennustapa	Sulake/johdonsuojakatkaisijan nimellisvirta I_N	Vähimmäispoikkipinta, kun suojalaitteena on sulake/johdonsuojakatkaisija mm ² Cu	
E	6	1,5	1,5
	10	1,5	1,5
	13 ⁴⁾	1,5	1,5
	16	2,5	2,5
	20	4/2,5	4
	25	4	6/4
	32	6	10
	35	10/6	10
	40	10	10
	50	16/10	16
	63	25/16	25
	80	35/25	35
	100	50/35	50
	125	70/50	70
	160	95	120

7.3 Jännitteenalenema

Jännitteenalenema kertoo kaapelin resistanssin ja reaktanssin aiheuttaman jännitetasen aleneman koko kaapelin matkalla. Jännitteenalenema pääkeskukselta käyttölaitteelle saisi standardin SFS 6000 suosituksen mukaan olla maksimissaan 4 % nimellisjännitteestä. Käytettävien kaapeleiden poikkipinta ja pituus määrittelevät jännitteenaleneman kiinteistön pääkeskukselta IV-nousukeskukselle. Tämän tiedon perusteella ilmanvaihtokonehuoneen suunnittelija mitoittaa kaapelit siten, että jännitteenalenema IV-nousukeskukselta käyttölaitteelle ei laske kokonaisjännitteen alenemaa pääkeskukselta käyttölaitteelle alle vaaditun jännitetasen. Jännitteen alenema voidaan laskea kaavoilla 2 ja 3:

$$\Delta U = I \times l \times \sqrt{3} \times (r \cos \varphi \pm x \sin \varphi) \quad (2)$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100\% \quad (3)$$

- ΔU on jännitteenalenema voltteina (V)
- I on kuormitusvirta (A)
- l on kaapelin pituus (m)
- r on kaapelin ominaisresistanssi (Ω/m)
- x on kaapelin ominaisreaktanssi (Ω/m)
- φ on jännitteen ja virran välinen vaihekulma
- Δu on suhteellinen jännitteenalenema
- U_n on nimellisjännite (V).

Liitteestä 3 voidaan tarkistaa likimääräiset arviot ominaisresistanssista ja -reaktanssista eri kaapelityypeille. Näillä arvoilla saadaan usein riittävän tarkat arviot jännitteen alenemasta, mutta jos tarvitaan tarkat laskelmat, täytyy kaapelin tiedot kysyä kaapelivalmistajalta. [26, s. 111–112.]

7.4 Yleiset johtotiet

IV-konehuoneessa kaapelihyllynä käytetään yleensä tikashyllyjä, joiden materiaali on terästä. Jos kyseessä on pieni kohde, voidaan kaikki kaapelit asentaa yhdelle hyllylle asianmukaisesti. Isommissa kohteissa, joissa IV-konehuoneen kaapelimäärät ovat suurempia, käytetään yleensä erillisiä hyllyjä sähköverkon ja tietotekniikan kaapeleille. Jos kaapelihyllyjä asennetaan useampi päällekkäin, tulisi niiden väliin pyrkiä jättämään 300 mm asennustilaa korkeussuunnassa ja 100 mm leveysuunnassa. Valitettavan usein sähkötiloissa ei kuitenkaan ole kovin paljon vapaata korkeutta ja kaikki talotekniikka pitäisi saada mahdutettua samaan tilaan, joten suositusasennusväliä voi olla hankala noudattaa. Jos suositellusta asennusvälistä joudutaan poikkeamaan, tulisi hyllyjen väliin kuitenkin jättää ainakin nyrkinmentävä väli (~180 mm). Asennusväli 300 mm on laskettu alemman hyllyn alareunasta ylemmän hyllyn alareunaan. [23, s. 36–37.]

Kaapelireittejä suunniteltaessa tulisi välttää kantavien osien läpivientejä. Jos läpivienti kuitenkin on tarpeellinen ja edistää johtoteiden suunnittelua ja turvallisuutta merkittävästi, tulee ne suunnitella ja hyväksyttää rakennesuunnittelijalla. Varsinkin turvajärjestelmien asennusreitit suunniteltaessa voi tulla tarve läpivienneille, sillä ne vaativat usein oman kaapelihyllyn. Hylly tulee asentaa ylimmäksi, jottei esimerkiksi tulipalon sattuessa muu talotekniikka putoa hyllyn päälle ja pudota sitä. [23, s. 36–37.]

7.5 Palonkestävien järjestelmien johtotiet

Turvajärjestelmien eli sähköisten laitteiden järjestelmien, joiden tarkoitus on vaaratilanteessa suojata tai varoittaa tilassa olevia henkilöitä, pitää säilyttää toimintakykynsä sähkökatkon ja vaadittaessa myös tulipalon aikana. Palonkestävä johtojärjestelmä tulee asentaa aina ylimmäksi, jottei tulipalon sattuessa johtotien päälle putoa muuta tavaraa, joka voi pudottaa palonkestävän johtotien. Turvajärjestelmien kaapelit olisi hyvä asentaa omalle palonkestävälle johtotielle, mutta jos joudutaan käyttämään yhteistä johtotietä kiinteistön muiden tavanomaisten kaapeleiden kanssa, tulee kiinnitys toteuttaa vaativimman asennuksen mukaan. Yhteistä johtotietä käytettäessä turvajärjestelmien ja muiden tavanomaisten kaapeleiden väliin tulee jättää riittävä etäisyys (kaapelin halkaisija tai 50 mm), käyttää metallivaippaista kaapelia tai jakaa hylly välilevyllä. [20, s. 3–5.]

Palonkestäviä johtoteitä suunniteltaessa tärkeimpiä tietoja suunnittelijan kannalta ovat palohyllyn palonaikainen kuormitus hyllymetriä kohti, asennustukien maksimiväli sekä hyllylle asennettavien kaapeleiden mahdollinen kiinnitystarve. Huomioitavaa tavallisessa käytössä olevaan johtotiehen verrattuna on, että palonkestävän johtotien sallittu kuormitus metriä kohden on melko pieni. Valmistajasta riippuen palonkestävän johtotien maksimikuormitus on noin 15–20 kg/m. Palonkestävän johtotien kiinnitysväli on myös tiheämpi kuin tavallisella johtotiellä ja se vaihtelee 1–2 m välillä. [20, s. 3–6.]

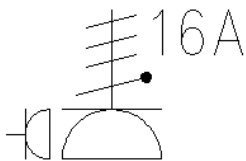
Vaihtoehtoisia asennustapoja palonkestäville johtoteille ovat palonkestävät johtokanavat sekä kaapelikiinnikkeet. Palonkestävissä johtokanavissa voidaan käyttää tavallisia kaapeleita, jos tuotteen valmistaja on tehnyt palotestit nimenomaan tavanomaisilla kaapeleilla. Palonkestävän johtotien tulee täyttää standardin SFS-EN 50085 sekä palonkeston vaatimukset ja asennuksessa tulee noudattaa valmistajan ohjeita. Kaapelikiinnikkeet ovat hyviä esimerkiksi silloin, kun johtotielle ei ole tilaa, tai palonkestäviä kaapeleita on vain muutama. Yleensä kaapelikiinniketyyppi palonkestävässä asennuksessa on terästä ja kaapelikiinnikkeet voidaan kiinnittää suoraan palonkestävään rakenteeseen tai asennuskiskoon. Myös teräsputken käyttö on hyväksyttävää palonkestävissä asennuksissa. [20, s. 5–6.]

8 Ilmanvaihtokonehuoneen järjestelmät ja sähköpisteet

Ilmanvaihtokonehuonetta suunniteltaessa tila varustetaan ilmanvaihtokoneiden ja -keskuksien lisäksi myös yleisillä kiinteistön järjestelmillä ja sähköasennuksilla. Paloilmoitinjärjestelmän tarkoituksena on varoittaa ilmanvaihtokonehuoneessa olevaa henkilöä rakennuksessa olevasta tulipalosta, jottei henkilö jää palavaan taloon tulipalon sattuessa. Ilmanvaihtokonehuoneeseen olisi hyvä asentaa palokellot tai hätäkuulutuskaiuttimet, sillä konehuoneen laitteiden aiheuttama melu saattaa estää hätäkuulutuksen kuulumisen tilaan muualta rakennuksesta. Henkilön turvallisuutta pyritään parantamaan myös ilmanvaihtokonehuoneeseen asennettavilla turva- ja merkkivalaisinpisteillä, joiden tarkoitus on taata henkilön turvallinen poistuminen ilmanvaihtokonehuoneesta sähkökatkoksen sattuessa. Normaalityössä tarvittavia sähköpisteitä ilmanvaihtokonehuoneessa ovat esimerkiksi valaisimet, huoltopistorasiat, sekä yleiskaapelointipiste ja WLAN, jonka avulla voidaan vahvistaa signaalia langattomalle internetyhteydelle, jos siitä on hyötyä ilmanvaihtokonehuoneen ohjauksessa. Liitteessä 4 on annettu yleisimpien sähköpisteiden suositusasennuskorkeuksia. [27, s. 1–2.]

8.1 Siivous- ja huoltopistorasiat

Ilmanvaihtokonehuoneen siivous- ja huoltopistorasioita suunniteltaessa olisi hyvä sijoittaa ainakin yksi kombipistorasia IV-konehuoneeseen. Kombipistorasia (kuva 15) on rasia, jossa 1- ja 3-vaiheinen pistorasia ovat samassa kotelossa. Jos ilmanvaihtokonehuone on suurikokoinen, siivous- ja huoltopistorasioita sijoitetaan noin 40 m:n välein. Siivous- ja huoltopistorasia tulee varustaa 30 mA:n vikavirtasuojalla, joten se voidaan asentaa tarvittaessa samaan 16 A:n ryhmään muiden 3-vaiheisten pistorasioiden kanssa, joita ei ole määritetty vain tietyn laitteen käyttöön. Tällöin täytyy olla tarkkana, että ryhmää ei ylikuormiteta, sillä huoltolaitteet voivat aiheuttaa piikin virrankulutukseen. Normaalisti siivous- ja huoltopistorasiat asennetaan 1000 mm:n tai 1800 mm:n korkeuteen riippuen asennustilasta. Asennuskorkeus ilmoitetaan yleensä rasian tai kytkimen keskikohdasta. Sähkösuunnittelijan tulee huolehtia, että tasokuvan siivous- ja huoltopistorasioihin on merkitty viiteviivalla joko asennuskorko tai tunnus, joka viittaa siivouspistorasiaan. Tunnus selitetään auki kohdekohtaisesti sähköselityksessä tai -piirustuksessa, esimerkiksi ”S tarkoittaa siivouspistorasiaa, joka on kombipistorasia ja asennetaan 1800 mm:n korkeudelle.” [3; 27, s. 2–3.]



Kuva 15. Kombipistorasian piirrosmerkki.

8.2 Valaistus

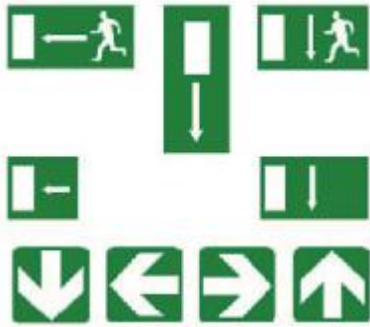
Standardin SFS-EN 12464-1 mukaan valaistuksen suunnittelu on tehtävä vastaamaan valaistusvaatimuksia mahdollisimman energiatehokkaalla tavalla tinkimättä valaistuksen laadusta. Standardissa SFS-EN 12464-1 ei ole suoraan määrätty valaistustasoa ilmanvaihtokonehuoneelle, mutta standardin taulukkoa 5.3 soveltaen ilmanvaihtokonehuoneen keskimääräiseksi ylläpidettäväksi valaistustasoksi olisi työalueella tultava vähintään 200 luxia. Samasta taulukosta saadaan myös minimiarvot valaistusvoimakkuuden tasaisuudelle sekä värintoistoindeksille. Valaisimet sijoitellaan mahdollisimman tasaisesti ilmanvaihtokoneiden ja -keskuksien luo ja niille johtaville reiteille. Ilmanvaihtokonehuoneessa on paljon kanavia ja putkia, jotka voivat joskus käydä melko matalal-

lakin, joten valaistuksen suunnittelussa on oltava tarkkana, etteivät putket aiheuta katvealueita, vaan valaisimet pääsevät valaisemaan koneita ja muuta tilaa estoitta. Normaalisti ilmanvaihtokonehuoneissa riittää, kun käytetään IP21-valaisinta. [3; 28, s. 32, s. 38.]

IV-konehuoneisissa, kuten muissakin teknisissä tiloissa, sekä varastoissa olisi suositeltavaa käyttää liiketunnistimia. Tämä lisää energiansäästöä sekä valaisimen käyttöikä, sillä valaisimet eivät jää pitkiksi ajoiksi palamaan tyhjiin IV-konehuoneeseen. Tarpeen vaatiessa voidaan liiketunnistimen lisäksi asentaa lisäaikapainike, joka voidaan käyttää isompia huoltotoimenpiteitä tehtäessä. Toinen vaihtoehto on lisätä ilmanvaihtokonehuoneeseen niin monta liiketunnistinta, että ne havaitsevat tilassa olevan henkilön jokaisen ilmanvaihtokoneen ja sähkökeskuksen luona. Toteutustavasta tulee keskustella tilaajan kanssa tapauskohtaisesti. Konekohtaisen keskuksen kohdalle tulee suunnitella huoltovalaistus, jotta keskuksen luona on riittävästi valaistusta huoltotöiden aikana. Jos IV-konekohtaisten keskuksien sijoitus onnistuu vastakkain, saadaan yhdellä huoltovalaistuksella hoidettua kaksi konekohtaista keskusta. [3; 28, s. 32, s. 38.]

8.3 Turva- ja merkkivalaistus

IV-konehuoneen hätäpoistumisoven tai -ovien päälle asennetaan selkeästi merkityt poistumismerkkivalaisimet. Jos IV-konehuoneessa ei ole suoraa näköyhteyttä lähimmälle hätäpoistumisovelle, lisätään poistumisreitille yhdenmukaisia poistumismerkkivalaisimia esimerkiksi ripustuskiskoon tai kaapelihyllyyn ohjaamaan hätäpoistumisovelle. Kuvassa 16 on esitetty poistumisvalaisinkylttityyppejä. Poistumismerkkivalaisimien tulee aina olla valaistuja tavallisesta valaistuksesta riippumatta ja ne tulee sijoittaa siten, että edellisen poistumismerkkivalaisimen ohitettua seuraava opaste on välittömän näköetäisyyden päässä. Vaikka poistumismerkkivalaisimet ovat valaistuja joko sisäisesti tai ulkopuolisella valaisimella, se ei kuitenkaan tarkoita automaattisesti sitä, että ne valaisisivat myös ympäristöä riittävästi. Tämä tulee ottaa huomioon ja selvittää jo suunnitteluvaiheessa. [29, s. 11–13.]



Kuva 16. Turvamerkkipäätöksessä määritellyt poistumisopasteissa käytettävät merkit (oikealla ylhäällä olevan merkin nuoli tarkoittaa suuntaa eteenpäin, ei alas) [29].

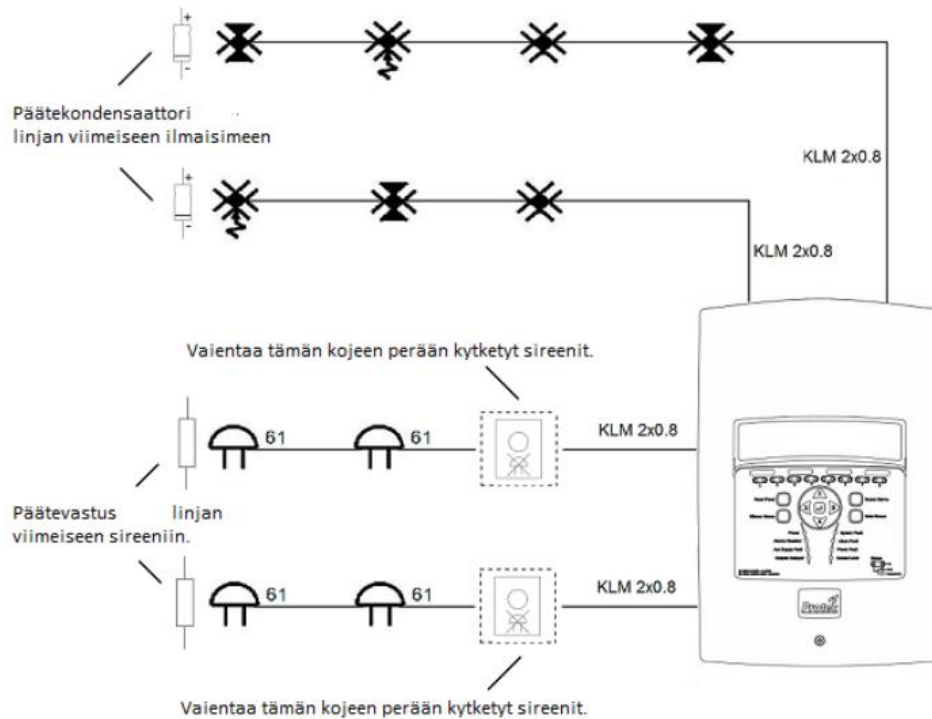
Turvavalaisimia sijoitetaan tarvittaessa IV-konehuoneen poistumisreiteille siten, että se mahdollistaa turvallisen poistumisen pois tilasta. Esimerkiksi tasoerot ja kynnykset tulee valaista, sillä valaisematon este aiheuttaa poistuttaessa loukkaantumisriskin. Turvavalaisituksen on syyttävä, kun muu valaistus joutuu epäkuntoon. Standardi SFS-EN 1838 edellyttää, että erityisesti valaistavia paikkoja ovat portaat ja niiden lähi-alue, jossa jokainen porrastasanne saa valoa, tasoerot kuten edellä mainittiin, pakolliset uloskäytävät ja turvallisuuskilvet sekä käytävien risteykset. Myös poistumisovet tulee valaista ja jos poistumismerkkivalaisin ei valaise oven edustaa riittävästi, lisätään oven läheisyyteen myös turvavalaisin. Turvavalaisimen asennusväli riippuu valmistajasta ja asennuskorkeudesta, joten asennusväli tulee tarkastaa valaisinvalmistajilta. [29, s. 9–10, s. 13.]

8.4 Paloilmoitinjärjestelmä

Paloilmoitin on järjestelmä, joka automaattisesti valvoo kiinteistön paloturvallisuutta havaitsemalla alkavat palot, välittämällä tiedon paloilmoitinkeskukselle ja antamalla hälytyksen rakennuksessa oleville ihmisille, sekä hätäkeskukseen. Paloilmoitinjärjestelmään kuuluvat muun muassa ilmoitinkeskuksat ja niiden tehonsyöttölaitteet, signaalien siirtojärjestelmä, ilmaisimpiirit ja niihin liitetyt palopainikkeet sekä ilmaisimet. Palovaroitinjärjestelmä eroaa paloilmoitinjärjestelmästä siten, että se ei lähetä hälytystä hätäkeskukseen, eikä siinä ole palopainiketta.

Paloilmoitinkeskuksien tulee olla vähintään standardissa SFS-EN 54-2 esitettyjen pakollisten toimintojen mukaisia. Ilmoitinkeskukset voivat sisältää lisäksi valinnaisia toimintoja, joihin liittyvät vaatimukset on myös käsitelty standardissa. Paloilmoitinkeskus ottaa vastaan signaaleja siihen liitetyiltä laitteilta, kuten paloilmaisimilta, ja käsittelee niitä. Kun paloilmoitinkeskus tulkitsee signaalin paloilmoitukseksi, kytkeytyy se paloilmoitustilaan. Tähän tilaan siirtyminen saa kestää maksimissaan 10 sekuntia minkä tahansa paloilmoituspainikkeen painamisesta. Ilmoitinkeskuksen tehonsyöttölaite voi sijaita samassa kotelossa keskuksen kanssa, tai se voidaan koteloida erikseen. Jos varateholähde eli akku koteloidaan samaan tilaan muiden paloilmoittimen komponenttien kanssa, tulee sen olla suljettua tyyppiä ja asennuksessa on noudatettava valmistajan asennusohjeita. Paloilmaisimena ilmanvaihtokonehuoneessa käytetään savuilmaisinta ja niiden tulee täyttää standardin SFS-EN 14604 vaatimukset. [30, s. 13; 31, 10.]

Ilmanvaihtokonehuoneen äänievakuoinnin eli hätäkuulutuksen voi hoitaa joko palokelloilla tai kaiuttimilla, mutta jos hätäkuulutus hoidetaan kaiuttimilla, täytyy huomioida, että kaiuttimien äänenvoimakkuuden täytyy olla 60 dB(A) äänievakuointitilassa tai sen tulee ylittää 5 dB(A) minkä tahansa yli 30 sekuntia kestävä äänen tason. Evakuointiäänen voimakkuus ei kuitenkaan saa ylittää 120 dB(A). Hälytyksen merkinä toimii merkkiääni, puheviesti tai molemmat, kun paloilmoitinkeskus lähettää äänievakuointikeskukselle automaattisen hätäsignaalin. Hälytys on oltava mahdollista myös laukaista sekä hiljentää käsikäyttöisestä hallintalaitteesta. Äänievakuointikeskuksen tulee lähettää paloilmoitinkeskukseen ainakin yleinen vikasignaali. Sekä paloilmoitinkeskus että äänievakuointikeskus voivat molemmat valvoa ilmoitinkeskusten välistä liitäntää. Kuvassa 17 on esitetty paloilmaisimien ja palokellojen liittäminen paloilmoitinkeskukseen. [30, s. 24; 32, s. 20, s. 44, s. 92, s. 98; 33, s. 23.]



Kuva 17. Esimerkkikuva paloilmoitinkeskuksista sekä siihen liitettävistä laitteista.

8.5 Savunpoistojärjestelmä

Savunpoiston tehtävänä on ohjata palon aiheuttamat myrkykaasut ja lämpö pois ilmanvaihtokonehuoneesta, jos siellä sattuu syttymään palo esimerkiksi jonkin sähkölaitteessa aiheutuvan vian vuoksi. Savunpoistojärjestelmän suunnittelun koordinoitavastuu kuuluu pääsuunnittelijalle eli LVI-suunnittelijalle, jolla on kokonaisvastuu yhteensovituksista ja lähtötiedoista. Pääsuunnittelija tekee yhteistyötä eri alojen erikoissuunnittelijoiden kanssa. Savunpoiston suunnitteluperusteet laatii palotekninen suunnittelija, ja suunnitteluperusteet on suositeltavaa laatia kohteeseen, sillä se helpottaa huomattavasti koko savunhallintajärjestelmän suunnittelua. Savunpoiston ohjauskeskus eli SPOK sijoitetaan yleensä palokunnan hyökkäystien varrelle paloilmoitinkeskuksen läheisyyteen josta palokunnan on helppo ja nopea päästä siihen käsiksi palon sattuessa. Kohteessa laukaisukeskukset voivat olla myös fyysisesti erotettu ohjauskeskuksesta, jolloin laukaisukeskusten paikat määrittää sähkösuunnittelija niin, että ne ovat mahdollisimman lähellä puhaltimia ja luokkuja. Laukaisukeskuksen tulee kuitenkin sijaita eri palo-osastolla sen laitteiden kanssa. Laukaisukeskuksen laukaisupainike sijaitsee yleensä hyökkäysreitillä, mutta se voidaan sijoittaa myös muualle, kunhan se on hyvin

merkitty ja sijoituspaikka on pelastusviranomaisen hyväksymä. Laukaisupainike tulee sijoittaa lasten ulottumattomille ja sen ohjeelliseksi asennuskorkeudeksi on annettu 1700 mm. [34, s. 3–5.]

Rakennusautomaatiosuunnittelijan suunnittelutehtäviin kuuluu lisätä sähkötekniset asiat ja ohjauslogiikan asiat savunpoiston järjestelmäkaavioon. Sähkösuunnittelijan tehtävänä on sähköistäää savunpoistossa käytettävät laitteet muilta suunnittelijoilta saamien lähtötietojen perusteella. Lisäksi suunnitteluun kuuluu muun muassa sähkökeskusten sijoituspaikkojen, pää- ja piirikaavioiden laatiminen, kaapeleiden tyyppin ja koon määrittäminen, sekä huolehtia siitä, että savunpoistojärjestelmä kommunikoi sujuvasti ja toimivasti paloilmoitinjärjestelmän sekä rakennusautomaatiojärjestelmän kanssa. [34, s. 3–5, s. 8.]

Savunpoistojärjestelmän puhaltimet tulee varustaa turvakytkimellä, jotta niiden huolto olisi turvallista. Huomioitavaa on, että savunpoiston turvakytkin tulee olla mahdollista lukita myös I-asentoon. Jokaisella savunpoistopuhaltimella olisi hyvä olla oma turvakytkin ja sen tulee sijaita lähellä savunpoistopuhaltimia. Jokaiselta savunpoistopuhaltimien turvakytkimeltä tulee johtaa tilatieto kiinteistövalvontajärjestelmään. Palon aiheuttama kuumuus ja liekit vaikuttavat kaapeliin siten, että sen vastus kasvaa, joka vaikuttaa jännitteeseen alenevasti. Tämä tulee ottaa huomioon mitoitettaessa palonkestäviä kaapeleita, jotta laitteet kuten savunpoistopuhaltimet toimisivat oikein palon aikana. Jos tavanomaiseen kaapelointiin tehdään kahden poikkipinnan lisäys, ei loppulämpötilaa huomioitavaa laskentaa tarvitse esittää palonkestävän kaapelin poikkipinnalle. Kahden poikkipinnan lisäyksessä tulee huomioida, että vaikka yleisesti saatavilla olevat kaapelikoot ovat 1,5 mm², 2,5 mm², 6 mm², 10 mm² jne. löytyy näiden väliltäkin palonkestäviä kaapeleita. Nämä välikoot voidaan ottaa huomioon mitoitettaessa palonkestävän kaapelin kokoa. Esimerkiksi 2,5 mm² palonkestävän kaapelin kahden poikkipinnan lisäys tarkoittaisi 10 mm² kaapelia, mutta koska saatavilla on myös 4 mm² palonkestävää kaapelia, riittää kahden koon lisäykseksi 6 mm² palonkestävä kaapeli. Kahden kaapelikoon lisäys on joka tapauksessa merkittävä, ja tällöin tuleekin huomioida, että kaapelit varmasti mahtuvat taajuusmuuttajan liittimiin tai että taajuusmuuttajille hankitaan lisäliittimet, jotta kaapelit saadaan kiinnitettyä taajuusmuuttajaan. [34, s. 7; 35.]

Jos ilmanvaihtokonetta ei käytetä savunpoistoon, pitää se kytkeä mahdollisimman nopeasti pois päältä palon havaitsemisesta. Tämä tapahtuu ilmanvaihdon IV-hätä-seis-painikkeella, joka sijoitetaan lähelle savunpoiston ohjauskeskusta. Tästä painikkeesta

on käytetty nimitystä hätä-seis, joka on harhaanjohtava, sillä hätä-seis-painikkeesta puhuttaessa viitataan henkilöturvallisuuteen. Esimerkiksi hihnakuljettimille, murskaimille, hakkureille yms. asennetaan konekohtainen hätä-seis-painike koneen käyttöpaikalle. Kiinteistön ilmanvaihtolaitoksen IV-hätä-seis-järjestelmä suunnitellaan pelkästään tulipalon sammutuksen tehostamiseksi. IV-hätä-seis-painiketta voisi kutsua IV-palopysäytyspainikkeeksi, jonka lyhenteenä käytettäisiin IV-palopys. Tämä nimitys on pitkä, mutta kertoo selvästi painikkeen tarkoituksen, joka vähentää sekaannusta puhuttaessa IV-koneiden palo-pysäytyspainikkeesta. IV-laitoksen palo-pysäytyspainike sijoitetaan paloviranomaisten vaatimuksesta paloilmoittimen välittömään läheisyyteen. Palotilanteessa IV-pysäytyksen ei haluta tapahtuvan automaattisesti, vaan sammutuksesta vastaavan palopäällikön tilannekohtaisen arvion mukaan. Ilmanvaihdon pysäytyspainikkeella ei siis ole mitään tekemistä koneturvallisuuden kanssa, sillä painikkeen käyttöoikeus on vain sammutustöistä vastaavalla palopäälliköllä. IV-laitos voi henkilöturvallisuuden vaarantumatta käynnistyä uudelleen kun IV-palo-pysäytyspainike on palautettu normaaliasentoon. Käyttäjät haluavat ilmanvaihtolaitteistojen käynnistyvän myös automaattisesti jännitekatkoksen jälkeen, eli ohjaus toteutetaan ilman pitopiiriä (kytkin Auto-0-Käsi). Perusteena on, ettei huoltomiehen tarvitse esimerkiksi ukonilman aiheuttaman jännitekatkon jälkeen käydä joka kerta käynnistämässä ilmanvaihtoa joka kiinteistössä. Työturvallisuusmääräysten mukaan on huoltotöihin ryhdyttäessä aina estettävä vahinkokäynnistyminen muilla tavoin, esimerkiksi IV-konekohtaisen keskuksen pääkytkimellä. [36.]

Jos taas ilmanvaihtokonetta käytetään osana savunpoistoa, täytyy sen kestää standardin SFS-EN 12101 asettamat vaatimukset. Tällöin tulee huomioida korvausilman saanti. Lisäksi ilmanvaihtokoneen kaapeleiden ja johtoteiden tulee olla palonkestäviä ja ilmanvaihtokoneen ohjaukset tulee olla liitetty rakennuksen savunpoistoautomaatiikkaan. Taajuusmuuttajien tulee olla palonkestäviä, jos ne sijaitsevat samassa palo-osastossa ilmanvaihtokoneiden kanssa. Savunpoistopuhaltimien tulee olla standardin SFS-EN 12101-3 mukaisia ja palotilanteessa taajuusmuuttaja tulee ohittaa, jotta puhaltimen käyttövarmuus säilyy. Jos taajuusmuuttajassa on palotoimintotila, ei taajuusmuuttajaa tarvitse ohittaa, sillä silloin se lukittuu tietylle taajuudelle, eikä sen oma suoja estä toimintaa palotilassa. Kuvassa 18 taajuusmuuttajat on kiinnitetty asennusseinälle eri palo-osastoon savunpoistossa käytettävien ilmanvaihtokoneiden kanssa. [34, s. 7, s. 15.]



Kuva 18. Taajuusmuuttajat kiinnitettyinä asennusseiniin ja kaapeloituna palonkestävästi.

8.6 Maadoitus

IV-konehuoneen kaikki johtavat osat, kuten koneet, kotelot, hyllyt ja putket, tulee maadoittaa, jotta saavutetaan tasapotentiaali, eikä johtavien osien välille pääse muodostumaan vaarallisia jännite-eroja. Jännitteelle alttiit osat, eli osat, jotka peruseristeen pettäessä tulevat jännitteiseksi, suojamaadoitetaan keskuksessa sijaitsevaan suojamaadoituskiskoon. Reitin tulee olla mahdollisimman lyhyt. Keskuksen suojamaadoituskisko yhdistetään potentiaalitasausjärjestelmään suojajohtimella. Muut johtavat osat, joita ovat sähköasennukseen kuulumattomat osat, tulee maadoittaa potentiaalitasaukseen lyhintä reittiä. Esimerkiksi metalliset IV-kanavat liitetään potentiaalitasaukseen, mutta metallinen asennusputki, jossa on sisällä peruseristettyjä johtimia, pitää suojamaadoittaa. Tämä koskee siis vain yksittäisiä johtimia, eikä johtoja, joiden johtimet ovat eristetty erillisellä muovieristeellä, kuten esimerkiksi MMJ asennuskaapelissa. Päämaadoituskiskoon liitettävien potentiaalitasausjohtimien tulee olla poikkipinta-alaltaan ainakin puolet asennuksen suurimmasta suojamaadoitusjohtimesta, mutta vähintään 6 mm²

kuparia tai 16 mm² alumiinia. Pääpotentialitasausjohtimen ei kuitenkaan tarvitse olla poikkipinta-alaltaan suurempi kuin 25 mm² kuparia tai vastaavaa muuta materiaalia. [25, s. 293–294.]

Jos kiinteästi asennetun sähkölaitteen suojamaadoitusjohtimessa kulkevat virrat ovat yli 10 mA, on laitevalmistaja velvollinen ilmoittamaan asiasta. Tällöin yhtä suojamaadoitusjohdinta käytettäessä poikkipinnan tulee olla koko kaapelin matkalta vähintään 10 mm² Cu tai 16 mm² Al. Vaatimus liittyy osittain häiriösuojaukseen. Laitteessa pitää olla lisämaadoitusjohtimelle soveltuvat liittimet, jos vaatimus 10 mm² suojamaadoitusjohtimen poikkipinnalle ei täyty. Tämän takia taajuusmuuttajat, joiden syöttökaapeli on 6 mm² tai alle, tarvitsevat erillisen lisämaadoitusliittimen, johon lisämaadoitusjohdin kiinnitetään. [14, s. 14; 25, s. 290.]

9 Energiatehokkuus

Ennen teollisuudessa on kiinnitetty huomiota lähinnä prosessitehokkuuden kehittämiseen, mutta kiinteistön puolelta saatavat energiasäästöt ovat jääneet vähemmälle intressille. Esimerkiksi lämmityksen, ilmanvaihdon ja vanhan valaistuksen aiheuttamissa kustannuksissa on reilun säästön paikka, sillä jo pelkästään toimistorakennuksien ilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa koko rakennuksen energiankulutuksesta 25–35 %. Vasta viime vuosina tähän asiaan on jo rakennetuissa kiinteistöissä alettu kiinnittämään enemmän huomiota, kun vuoden 2015 alussa voimaan astui energiaterhokkuuslaki, joka vaatii suuria yrityksiä tekemään energiaterhokkuuskatselmuksen neljän vuoden välein, ensimmäisen kerran 5.12.2015 mennessä. Laki velvoittaa energiasäästötoimenpiteiden edistymisen raportoimista sekä puutteellisten kohteiden korjaamista. Suureksi yritykseksi luokitellaan yritys, jolla on yli 250 työntekijää tai jonka liikevaihto ylittää 50 M€ ja tase on yli 43 M€. Energiaterhokkuuslain 9. §:ssä käsitellään kohdekatselmuksen vähimmäisvaatimuksia. Tässä pykälässä kehoitetaan tekemään katselmuksia mahdollisuuksien mukaan yrityksen eri energiankäyttökohteisiin, ensisijaisesti niihin kohteisiin, joiden energiankulutus on suurinta, sekä niihin kohteisiin, joiden energiaterhokkuudessa on parhaat parannusmahdollisuudet. Tämän takia ilmanvaihtokoneille pyritään asentamaan energiamittarit, jotta sen energiankulutus ja säästöt saadaan kirjattua energiaterhokkuuskatselmukseen. [37; 38.]

Nykyisin uudisrakentamista ohjaa energiatehokkuus. Tätä varten on EU:ssa tehty linjauksia, direktiivejä, kansallisia lainsäädäntöjä sekä kansainvälisiä standardeja. Rakennuksen kokonaisenergiatarkkailua varten on kehitetty E-luku, joka ilmoitetaan muodossa kWh/netto-m²,a. Rakennuksen E-luku muodostuu energiamuotojen kertoimilla laskettuna vuotuisesta ostoenergiakulutuksesta standardikäytöllä. Sähkön energiakerroin on rakennusmääräysten D3 mukaan 1,7. Kaikki uudet rakennusten energiatodistukset perustuvat nykyisin laskennalliseen E-lukuun. [5, s. 4–6.]

Hyvin toteutetussa ilmanvaihdossa on otettu suunnitteluvaiheessa huomioon myös sen muuntojoustavuus, jolloin ilmanvaihdolla pystytään tuottamaan eri käyttötilanteissa vedoton ja tarpeenmukainen puhdas sisäilma. Ilmanvaihtopuhaltimien mitoitus pyritään tekemään niin, että taajuusmuuttajakäytöllä puhallinmoottori toimii sen optimihyötysuhdealueella. Tulo- ja poistoilmakoneen ominaissähköteho taajuusmuuttajineen on pitkään ollut SFP-standardia soveltaen korkeintaan 2,5 kW/m²/s. Vuonna 2012 tätä tehorajaa on alennettu D3-rakennusmääräyksen mukaan siten, että yhteisteho saa olla ilmanvaihtopatterin nestepuolen pumput mukaan lukien 2 kW/m²/s ja matalaenergiatason rakentamisessa tulee pyrkiä jopa 1,8 kW/m²/s. [5, s. 4–6, s. 8–9.]

Yksi Suomessa käytetyistä kiinteistöjen ympäristöluokitusjärjestelmistä on yhdysvaltalainen LEED-sertifiointijärjestelmä (Leadership in Energy and Environmental Design). Sen avulla pyritään ohjaamaan ja vähentämään kiinteistöjen rakentamisen ja käytön aikana syntyvää haitallista ympäristökuormitusta koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Järjestelmän kehitti ja sitä ylläpitää U.S. Green Building Council (USGBC), joka tarjoaa kolmannen osapuolen arvion rakennuksen ympäristövaikutuksista. LEED-sertifiointijärjestelmässä on neljä eri luokitustasoa. Mitä enemmän pisteitä rakennus ansaitsee, sitä korkeampi luokitustaso on. Tämän lisäksi on olemassa yleiset vaatimukset (prerequisites), jotka rakennuksen tulee täyttää LEED-sertifikaatin saamiseksi. Yleiset vaatimukset määrittävät esimerkiksi alamittauksien, kuten ilmanvaihdon, vaaditun tarkkuuden, eli mitataanko ilmanvaihtokoneita syöttävän keskuksen kokonaiskulutusta vai ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutusta konekohtaisesti. [39.]

10 Yhteenveto

Ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelussa voidaan karkeasti seurata seuraavaa järjestystä. Aluksi kerätään tarvittavat lähtötiedot muilta suunnittelijoilta. LVI-suunnittelijan tekemästä laiteluettelosta saadaan selville ilmanvaihtokonehuoneeseen tulevat sähköistettävät LVI-laitteet ja niiden paikat. Tämän jälkeen aletaan suunnitella ilmanvaihtokonehuoneen sähkökeskuksia. Laiteluettelosta saatavien tietojen perusteella voidaan mitoittaa ylivirtasuojat keskuksen laitteille. Laskemalla yhteen keskuksen laitteiden tehot voidaan määrittää keskuksen nimellisvirran suuruus. Nykyään ilmanvaihtokoneen tullessa valmiina pakettina IV-konehuoneeseen on sen konekohtainen keskus usein kasattu valmiiksi, jolloin sähkösuunnittelijan täytyy vain mitoittaa oikeankokoinen syöttökaapeli konekohtaiselle keskukselle sekä oikeankokoinen suojalaitte nousukeskukseen.

Kun LVI-laitteet ja sähkökeskukset ovat paikallaan, suunnitellaan alustavat johtotiereitit niin, että kaapelit saa vietyä keskuksille, sekä keskuksilta ilmanvaihtokoneille. Kaapeleita mitoitettaessa tulee huomioida niiden asennustapa. Jos kaapelihyllyt vaikuttavat tulevan täyteen kaapeleita, tulee niiden kuormitettavuus tarkistaa laskemalla, korjauskertoimia käyttäen. Kun kaapelimäärät ja -tyypit ovat tiedossa, tulee johtoteiden kulureitit, riittävyys ja vaatimustenmukainen asennustapa tarkistaa. Kun ilmanvaihtokoneet on saatu sähköistettyä, suunnitellaan tilan muut sähköpisteet, kuten valaistus, huoltopistorasiat yms. Lisäksi ilmanvaihtokonehuone liitetään osaksi rakennuksen turvajärjestelmiä.

Ohjaustekniikoiden kehittyessä sähkösuunnittelun toteutustavat muuttuvat ja energiankulutuksen vähentämiseksi pyritään kehittämään uudenlaisia ratkaisuja. Tämän takia sähkösuunnittelijan tulisi aktiivisesti tarkkailla sähköalalla tapahtuvaa kehitystä ja pysyä tietoisena muuttuvista ja uusista määräyksistä. Insinööriötä tehtäessä selvisi, että ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnitteluun ei ole asetettu kovinkaan paljon pakollisia määräyksiä, mutta ohjeistuksia hyödyntämällä päästään toimivaan ja käytännölliseen lopputulokseen. Vielä ei ole tiedossa, tuleeko insinööriö ilmanvaihtokonehuoneen sähkösuunnittelusta käyttöön sellaisenaan vai liitetäänkö se osaksi laajempaa sähkösuunnitteluohjetta.

Lähteet

1. Harju, P. 2008 Ilmastointitekniiikan oppikirja 1. 1. painos. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy.
2. Konedirektiivin soveltamisen pelisäännöt, Plaani 4/11. 2011. Verkkodokumentti. Sähkösuunnittelijat NSS ry. <http://www.nsoy.fi/plaani>. Luettu 18.9.2016.
3. Julin, M. 2017. Sähkösuunnittelija. Ramboll Finland Oy. Espoo. Haastattelut 10.2016 – 01.2017.
4. Asikainen, V. Ilmanvaihdon parannus- ja korjausratkaisut. Kuopion Yliopisto. Verkkodokumentti. www.retermia.fi/html/kuvat/paino/MIV_lumen_esto.pdf. Luettu 9.1.2017.
5. Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniiset ratkaisut. 2017. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf. Luettu 13.2.2017.
6. ST 21.33. 2012. EC- ja PM-moottorit taloteknisissä järjestelmissä. Espoo: Sähkötieto ry.
7. Energiatehokkaat sähkömoottorit. 2017. Verkkodokumentti. Motiva. www.motiva.fi/files/5342/Energiatehokkaat_sahkomoottorit.pdf. Luettu 24.2.2017.
8. Yli-Olli, J. 2017. Puhaltimien moottoreiden ja taajuusmuuttajien asiantuntija, Fläck Woods Oy. Puhelinkeskustelu 22.2.2017.
9. Koppanen, V. 2015. Säädettyjen sähkömoottoreiden vertailu. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
10. Kupila, E. 2012. Sähkökäytön perusteet luentomateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.

11. ST-käsikirja 17. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. 3. painos. Espoo: Sähkö-tieto ry.
12. Honkanen, H. Taajuusmuuttajat. 2016. Kajaanin ammattikorkeakoulu.
http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/SVTEK_Taajuusmuuttajat.pdf.
Luettu 25.11.2016.
13. Draka kaapelit. 2017. Verkkodokumentti. <http://drakakeila.ee/cables/>. Luettu 13.3.2017.
14. SESKO. 2012. SFS 6000-5-54 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-54: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Maadoittaminen ja suojajohtimet. 3. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
15. ST 53.34. 2009. Jakokeskuksen suunnittelussa ja valmistuksessa huomioon otettavia asioita. Espoo: Sähkötieto ry.
16. Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusopas. 2012. Verkkodokumentti.
<http://www.ym.fi/download/noname/%7B7818B3A7-C01F-4522-9F06-845C4999AE10%7D/27846>. Luettu 24.2.2017.
17. Martikainen, H. 2017. LVI-suunnittelun projektipäällikkö, Ramboll Finland Oy. Sähköpostikeskustelu 27.2.2017.
18. Honkanen, M. 2017. Sähkösuunnittelija, Ramboll Finland Oy. Haastattelu 3.3.2017.
19. Mäki-Pollari, S. 2016. Sähkösuunnittelun johtaja, Ramboll Finland Oy. Sähköpostikeskustelu 1.12.2016.
20. ST 51.06. 2015. Palonkestävä johtotiejärjestelmä palon aikana toimivaksi tarkoitettuille järjestelmille. Espoo: Sähkötieto ry.
21. SESKO. 2006. SFS-EN 60204-1 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. 3. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

22. SESKO. 2012. SFS 6000-4-44 Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-44: Suojausmenetelmät. Suojaus jännitehäiriöiltä ja sähkömagneettisilta häiriöiltä. 3. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
23. ST-käsikirja 35. 2015. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien tilavaraukset. 2. painos. Espoo: Sähkötieto ry.
24. SESKO. 2012. SFS 6000-5-52 Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52: Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. 4. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
25. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2012. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 22. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
26. Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus 3. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.
27. ST 51.22. 2013. Kytkimien, pistorasioiden yms. sijoitus. Espoo: Sähkötieto ry.
28. SESKO. 2010. SFS-EN 12464-1 Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
29. ST-ohjeisto 8. 2016. Poistumisvalaistus ja poistumisreittivalaistus. 3. painos. Espoo: Sähkötieto ry.
30. SFS-EN 54-2. 2007. Paloilmoittimet, Osa 2: Ilmoitinkeskukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
31. SFS-EN 54-4. 2005. Paloilmoittimet, Osa 4: Teholähteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
32. SFS-EN 54-16. 2008. Paloilmoittimet, Osa 16: Äänihälytyksen hallinta- ja osoituslaitteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
33. ST-ohjeisto 1. 2016. Poistumisvalaistus ja poistumisreittivalaistus. 3. painos. Espoo: Sähkötieto ry.

34. ST666.10. 2015. Savunhallintajärjestelmä. Suunnittelu. Espoo: Sähkötieto ry.
35. Matinkylän metroasema. 2017. Työmaakäynti 25.1.2017.
36. Laitinen, T. 2004. IV-palopysäytyspainike. Sähköpostikeskustelu. Luettu 27.2.2017.
37. Energiatehokkuuslaki 1429/2014.
38. Automaatioväylä. 2016. Prosessiautomaatio. Verkkodokumentti. Luettu 15.1.2017.
39. U.S. Green Building Council. 2017. Verkkodokumentti. <http://www.usgbc.org/LEED>. Luettu 26.2.2017.

Syötönerotuskytkimen vaatimukset

Tässä liitteessä on listattu eri syötönerotuskytkintyyppien vaatimukset. NSS ry:n tekemän SFS-EN 60204-1 sovellusohjeen mukaan kohdan 5.3.3 lukitusmahdollisuus voidaan toteuttaa myös lukitsemalla kytkimen sijaintipaikka. [19, s. 52].

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN 60204-1
52

5.3.3 Vaatimukset

Kun syötön erotuskytkimenä käytetään yhtä kohdassa 5.3.2 a)...d) määritellyistä tyypeistä, sen on täytettävä kaikki seuraavat vaatimukset:

- erottaa sähkölaiteisto syötöstä ja omata yksi AUKI- (erotus-) ja yksi KIINNI-asento, joka on merkitty "O" ja "I" [kuvatunnukset IEC 60417-5008 (DB: 2002-10) ja IEC 60417-5007 (DB: 2002-10), ks. 10.2.2)]
- omaa näkyvän koskettimen avausvälin tai asennonosoituksen, joka ei voi osoittaa AUKI- (erotus-) asentoa ennen, kuin kaikki koskettimet ovat avautuneet ja erottamisen edellyttämät vaatimukset ovat toteutuneet
- omaa ulkopuolisen ohjausmahdollisuuden (esim. ohjauskahvan) (**poikkeus**: teho-ohjatun kytkinlaitteen ei tarvitse olla kotelon ulkopuolelta ohjattavissa kun se voidaan avata muulla tavalla). Jos ulkopuolista ohjausmahdollisuutta ei ole tarkoitettu hätätoimintoon, sen tulisi olla väriiltään MUSTA tai HARMAA (ks. 10.7.4 ja 10.8.4).
- on varustettu AUKI- (erotus-) asentoon lukitusmahdollisuudella (esim. riippulukolla). Lukituksen on estettävä paikallis- ja kauko-ohjauksella tapahtuva sulkeminen.
- erottaa kaikki jännitteiset syöttöjohdot. TN-syöttöjärjestelmän nollajohdin voi kuitenkin olla erotettuna tai kytkettynä. Joissakin maissa nollajohtimen erottaminen on pakollista (kun sitä käytetään).
- omaa riittävän katkaisukyvyyn virralle, joka syntyy suurimman moottorin juuttuessa kiinni lisättyinä muiden moottorien ja/tai kuormien normaalilla käyttövirralla. Laskettua katkaisukykyä voidaan alentaa käyttämällä oikeaksi osoitettua tasauserrointa.

Kun syötönerotuskytkimenä käytetään pistokytintä, sen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- omaa kytkentäkapasiteetin virralle, joka syntyy suurimman moottorin juuttuessa kiinni lisättyinä muiden moottorien ja/tai kuormien normaalilla käyttövirralla, tai se on lukittu kytkinlaitteeseen, jolla on katkaisukyky mainitulle virralle. Laskettua katkaisukykyä voidaan alentaa käyttämällä oikeaksi osoitettua tasauserrointa. Kun lukitus on sähköisesti toimivaan kytkinlaitteeseen (esim. kontaktoriin), sillä tulee olla käyttöluokka.
- kohdan 13.4.5 a)...f) vaatimukset.

HUOM. Sopivasti mitoitettu standardin IEC 60309-1 mukainen pistokytin, jatkopistokytin tai kojepistokytin voi täyttää nämä vaatimukset.

Kun pistokytintä käytetään syötönerotuskytkimenä, koneessa tulee olla sopivan käyttöluokan mukainen kytkinlaite päälle ja pois kytkemiseksi. Se voidaan toteuttaa edellä kuvatulla lukitulla kytkinlaitteella.

Esimerkkilasku johdon kuormitettavuudesta

Ilmanvaihtokonehuoneen nousukeskuksesta viedään AMCMK 4x35+16 Cu konekohtaiselle IV keskukselle. Kaapeli asennetaan tikashyllylle 8 muun kaapelin kanssa. Ilmanvaihtokonehuoneen lämpötila on 25°C. Määritetään konekohtaisen IV-keskuksen kaapelin kuormitettavuus ja sopivan kokoinen ylikuormitussuojana käytettävä sulake.

1. Katsotaan kaapelin kuormitettavuus ilman korjauskertoimia standardin SFS 6000-5-52 taulukosta B52.5 asennustavan E mukaan. Kuormitettavuudeksi saadaan **102A**.
2. Seuraavaksi katsotaan korjauskerroin, kun kaapeli asennetaan muiden kaapeleiden kanssa rinnan niin, että ne koskettavat toisiaan. Standardin SFS 6000-5-52 taulukon B52.17 kohdan 5 mukaan 9 rinnakkaisen kaapelin korjauskerroin on **0,78**.
3. Varmistetaan vielä ympäristön lämpötilan aiheuttama korjauskerroin standardin SFS 6000-5-52 taulukosta B52.14 PVC-eristeiselle kaapelille kun lämpötila on 25°C. Korjauskertoimeksi saadaan **1,00**.
4. Nyt voidaan laskea kaapelin korjattu kuormitettavuus korjauskertoimien avulla.
 $102A \times 0,78 \times 1,00 = 79,6A$

Ylikuormitussuoja saadaan standardin SFS 6000-5-52 taulukosta C52.1, jonka mukaan valitaan ylikuormitussuojaukseksi **63A** sulake.

Kaapeleiden likimääräiset impedanssit

Kaapeleiden likimääräiset impedanssit (Ω/km) 80°C johdinlämpötilassa [23, s. 98].

Johtimien poikkipinta A/mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
4 × 1,5	14,620	0,115	14,620			
4 × 2,5	8,770	0,110	8,770			
4 × 4	5,480	0,107	5,480			
4 × 6	3,660	0,100	3,660			
4 × 10	2,244	0,094	2,246			
4 × 16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4 × 25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4 × 35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4 × 50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4 × 70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4 × 95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4 × 120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4 × 150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4 × 185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4 × 240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4 × 300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Sähköpisteiden asennuskorkeudet

Taulukossa on esitetty yleisimpien sähköpisteiden asennuskorkeudet. Asennuskorkeudet ovat vain ohjeellisia. Joissain tapauksissa niistä voidaan tai joudutaan poikkeamaan. Tällöin poikkeavat asennuskorkeudet tulee esittää kohdekohtaisissa sähköselitteissä sekä -piirustuksissa ja niiden tulee olla yhtenäiset joka piirustuksissa [25, s.2].

Asennuskorkeudet yleensä	Lattiasta mm
Ohjauspisteet Kytkimet yms. Termostaatit, mekinantokojeet yms. Palohälytyspainike Ilmanvaihdon hätäpysäytyspainike	1000 1400 1700 1700 tai palohälytyspainikkeen yläpuolella 1900
Pistorasiat, telepisteet Asuinhuoneet Pesu- ja kylpyhuone (tapa 1) Pesu- ja kylpyhuone (tapa 2) Pesu- ja kylpyhuone, kodinkoneasennusten niin vaatiessa, esim. "pesutorni" Siivous Porrashuone, kellarikäytävä Parveke, (tapa 1) Parveke (tapa 2) Keittiön työpöytätao Astianpesukone (viereisessä kaapissa) Kylmäkaappiyhdistelmä Liesituuletin Lieden pistorasia, liitännärasia tai keittiön pistorasiaryhmän jakorasiasia lieden takana Mikroaaltouuni Seinä-tv Soittokello	200 800 tai 1000 1700 1900 1000 tai 1800 1800 300 1700 1000 tai 1200 300 2200 1800 300 Kalustopiirustuksen mukaan, usein työtason yläpuolella olevassa kaapissa, h = 1600 1900–2100 tai kalustopiirustuksen mukaan 2200
Seinävalopisteet Kylpyhuoneen ja WC:n peilivalaisin, kiinteä liitäntä (Peilin päällä) (Peilin sivulla) Peilikaapin liitäntä Kaapistot matalalla (työtaso 850 mm) Keittiön työtasovalaisin Keittiön yläkaapin alareunaan sijoitettava valaisin Kaapistot korkealla (työtaso 900 mm) Keittiön työtasovalaisin Keittiön yläkaapin alareunaan sijoitettava valaisin	1900 1700 Kalustopiirustuksen mukaan 1300 1300 1380 1400
Jakorasiat	2200 tai katossa