

Kim Petteri Vuorinen

Sähkötekniisten tilojen lämpöhäviöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

17.5.2016

Tekijä Otsikko	Kim Petteri Vuorinen Sähkötekniisten tilojen lämpöhäviöt
Sivumäärä Aika	37 sivua + liitteet 17.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Jarno Nurmio, Lehtori Pekka Tiitto, Ryhmäpäällikkö
<p>Tämä sähkötekniikan insinööri työ tehtiin Insinööritoimisto Granlund Oy:lle. Työssä tarkastellaan teknisten tilojen lämpöhäviöitä sähkösuunnittelijan näkökulmasta ja annetaan ohjeistusta tyypillisten tilanteiden ratkaisemiseksi.</p> <p>Insinööri työssä koottiin kattavasti tietoa teknisten tilojen lämpöhäviöistä ja ohjeistetaan suunnittelijoita oikeanlaisiin ratkaisuihin.</p> <p>Tätä insinööri työtä voidaan käyttää lämpöhäviöiden arviointiin talotekniikan suunnittelussa, kun arvioidaan jäähdytyksen tarvetta ja tehdään tilavarauksia. Insinööri työn tuloksena saatiin sähkösuunnittelijoille yhteenveto: Teknisten tilojen lämpöhäviöt – Pikaopas. Opas auttaa suunnittelijoita ja vähentää virhearvioita.</p> <p>Työn lähdeaineistona käytettiin alan kirjallisuutta, sähkötietokortistoa, sähköstandardeja, teknisiä manuaaleja sekä asiantuntijahaastatteluja.</p>	
Avainsanat	lämpöhäviö, sähkösuunnittelu, tekninen tila, tilavaraus

Author Title	Kim Petteri Vuorinen Heat loss in electrical rooms
Number of Pages Date	37 pages + appendices 17 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Jarno Nurmio, Senior Lecturer Pekka Tiitto, Project Manager
<p>This study concerns heat loss in electrical rooms from the perspective of electrical designers. The main purpose was to gather information for electrical designers on thermal efficiency of electrical building systems and how to solve typical problems caused by heat loss. Moreover, it is also important to know the needed space for cooling due to heat loss, and this is clarified.</p> <p>As sources, literature on electrical designing, technical manuals, electrical standards and interviews with specialists were used. Example cases of problems caused by heat loss are reviewed with specialists to give the general view of the issue.</p> <p>This thesis can be used to estimate the generated heat loss in electrical systems inside buildings when evaluating the need of a cooling and space reservations. The study resulted in a summary: Heat Loss in Electrical Rooms – Quick Guide. The guide helps designers and reduces the amount of miscalculations.</p>	
Keywords	Electrical Designing, Heat Loss, Technical Rooms, Space Reservation

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lämpötila ja lämmön siirtyminen	2
2.1	Säteily	2
2.2	Konduktio (johtuminen)	2
2.3	Konvektio (kuljettuminen)	2
3	Komponenttien lämpenemisominaisuudet	4
4	Lämpöhäviöiden määrittäminen ja laskenta	6
4.1	Lähtötiedot	6
4.2	Lämpöhäviöiden arvio	6
4.3	Kojeistojen lämpöhäviöt	6
4.4	Muuntajatilojen lämpöhäviöt	7
4.5	Kondensaattorien lämpöhäviöt	9
4.6	Tele- ja turvalaitteiden lämpöhäviöt	9
4.7	UPS-laitteiden lämpöhäviöt	10
4.8	Invertterien lämpöhäviöt	11
4.9	Parikaapelien lämpöhäviöt	12
4.9.1	Parikaapelin lämpeneminen ja sen haitat	12
4.9.2	PoE-liittimien lämpeneminen	14
4.9.3	Parikaapelien lämmönnousun minimointi	15
5	Sähkötekniikkatilojen yleiset vaatimukset	17
5.1	Sähkötekniikkatiloissa sallitut lämpötilat	17
5.2	Sähkötekniikkatilojen ilmastoinnin yleisiä vaatimuksia	17
5.3	Sähkösuunnittelijan asettamat vaatimukset sähkötekniikkatiloille	20
6	Tekniikkatilojen ilmastointi	21
6.1	Muuntajatilojen ilmastointi	21
6.1.1	Muuntajatilat luonnollisella ilmanvaihdolla	22
6.1.2	Muuntajatilat koneellisella ilmanvaihdolla	23
6.1.3	Muuntajatilat jäähdytyksellä	24
6.1.4	Valokaaripaineen purkautuminen	24
6.2	Pääkeskusten ja kytkinlaitostilojen ilmastointi	25
6.3	Tele- ja turvalaitteiden tilojen ilmastointi	26

6.3.1	Serverikaapin tiivis jäähdytysratkaisu	27
6.3.2	ATK-tilan pakotettu ilmanvaihto	27
6.4	Kaapelitilojen ilmastointi	29
6.5	Moottorigeneraattoritilojen ilmastointi	29
6.6	Akkutilojen ilmastointi	29
6.7	Valvomo ja prosessiasemien ilmastointi	30
7	Esimerkkitapauksia ylläampenisestä ja tilavarauksista	31
7.1	Yleistä tilavarauksista	31
7.2	Esimerkki: Sairaalan leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet luonnollisella ilmanvaihdolla	31
7.3	Esimerkki: Sairaalan leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet jäähdytyksellä	33
8	Yhteenveto	35
	Lähteet	36
	Liitteet	

Lyhenteet ja määritelmät

ATK-tila	Komero, jossa on ATK-verkon kytkentätaulut, jakoteline ja muut ATK-verkon siirtoteillä tarvittavat laitteet.
AV-keskus	Audiovisuaalisten (Kuva ja ääni) laitteiden keskus.
Emissiivisyys	Kappaleen pinnan ominaisuus, joka kuvaa sen kykyä lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyysluku kertoo kappaleen pinnasta lähtevän lämpösäteilyn määrän osuuden kokonaisenergiasta. Kaikkien kappaleiden emissiivisyysluku on 0,0-1,0.
Jakeluverkko	Sähkönjakelussa sähköjohtojen, jakokeskusten yms. muodostama kokonaisuus.
Jakokeskus	Enintään 1000 V kytkinlaitos (kojeisto), jossa on sähkön tuottamisessa, muuntamisessa, siirrossa tai muuttamisessa tarvittavia kytkin-, ohjaus-, suoja- tai valvontalaitteita. (jakokeskuksen rakenteellinen määritelmä, ks. SFS 4756).
Nousukeskus	Jakeluverkossa pääkeskuksen ja ryhmäkeskuksen välillä oleva jakokeskus.
PoE	<i>Power over Ethernet</i> . Tekniikka, jolla on mahdollista syöttää käyttäjännite parikaapelin avulla. Suurin tehontarve saa olla 15.4 W.
PoE plus	(PoE +) on suuremaan tehontarpeeseen tarkoitettu parikaapelia käyttävä syöttötekniikka. Suurin tehontarve saa olla 25.5 W.
Pääkeskus	Jakokeskus, jonka kautta kiinteistön tai vastaavan sähkölaitteisto liitetään sähkölaitoksen jakeluverkkoon tai liittäjän muuntamoon.
Räkki	19 tuuman räkki on standardisoitu laiteteline tai laitekaappi, johon voidaan asentaa laitteita. Räkkit ovat ammattimaisessa käytössä mm. tietoliikennetekniikan ja audiotekniikan sekä erilaisten mittalaitteiden kiinnitykseen

LTO	<i>Lämmön talteenottolaite.</i>
ST- kortisto	<i>Sähkötietokortisto on monipuolinen sähköalan ammattitietolähde. ST-kortisto opastaa määräysten ja standardien mukaisiin menettelyihin.</i>
SFS 6001	Suurjännitesähköasennuksien standardi.
SFS 6002	Sähkötyöturvallisuuden standardi.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tarkastellaan teknisten tilojen lämpöhäviöiden vaikutusta talotekniikan suunnitteluun sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Työssä on koottu teknisten tilojen lämpöhäviöarvoja ja annettu ohjeita näistä johtuvien ongelmien ratkaisemiseksi. Samalla on käyty läpi muutama esimerkkitapaus ja selitetty miten tilanteessa on toimitettu.

Lämpöhäviöistä johtuvaa jäähdytystarvetta ei ole aina osattu mitoitaa oikein tai se on jäänyt jopa kokonaan huomioimatta. Tieto lämpöhäviöistä on pirstoutunut ja sen etsiminen on suunnittelijoille aikaa vievää. Tämä insinööriyö on kohdistettu sähkösuunnittelijoille alustavaksi tiedoksi, jonka avulla päästään antamaan LVI- ja rakennussuunnittelijoille tarvittavat lähtötiedot jo esisuunnitteluvaiheessa.

Työ tehdään insinööritoimisto Granlund oy:n alaisuudessa.

Granlund oy

Granlund oy on vuonna 1960 perustettu talotekniikkasuunnittelun, kiinteistö-, energia- ja ympäristöasioiden konsultoinnin sekä ohjelmistojen asiantuntijakonserni, jonka osaamisen keihäänkärkenä on energiatehokkuus. Konsernissa työskentelee yli 600 asiantuntijaa 18 toimistossa Suomessa, sekä ulkomailla. Granlundin pääkonttori sijaitsee Helsingissä.

2 Lämpötila ja lämmön siirtyminen

Termodynamiikan lakien mukaan ilman ulkoista työtä lämpö pyrkii aina siirtymään kuumasta kylmempään. Lämpöenergia voi siirtyä kolmella tavalla: säteilemällä, johtamalla ja kulkeutumalla.

2.1 Säteily

Säteily on elektromagneettisten säteiden siirtymistä ilmassa ja se on ihmissilmälle näkymätöntä. Jokainen materiaali, jonka lämpötila on absoluuttisen nolapisteen (0 K eli $-273,15\text{ °C}$) yläpuolella, säteilee infrapunaenergiaa. Säteily eroaa muista energian etenemismuodoista siinä, ettei sen siirtymiseen tarvita väliainetta. [1, 2]

Kaikki kappaleet emittoivat eli lähettävät pinnaltaan jatkuvasti energiaa sähkömagneettisena säteilyä. Samalla kun kappale emittoi ympäristöönsä, se myös absorboi ympäristöstä sähkömagneettista säteilyä. [1]

2.2 Konduktio (johtuminen)

Konduktio on lämpöenergian siirtymistä aineen sisällä. Lämpö siirtyy aineessa johtuen fyysisestä kontaktista. Lämpöenergian siirtymisen nopeus riippuu johtavan aineen ominaisuuksista. Metallit ovat hyviä lämmönjohteita, kun taas esimerkiksi kaasut johtavat huonosti lämpöenergiaa. [1]

Esimerkki: Jos rautatankoa lämmitetään toisesta päästä, lämpö johtuu raudan läpi myös toiseen päähän. [2]

2.3 Konvektio (kuljettuminen)

Konvektio on lämpövirtausta liikkuvassa nesteessä tai kaasussa. Rakennuksissa lämpö johtuu luonnollisesti eniten ylöspäin, mahdollisesti hiukan myös sivuille, mutta ei alaspäin. Lämmenneen aineen tiheys pienenee lämpölaajenemisen seurauksena ja kaasu tai neste nousee tämän takia ylöspäin. Asuntojen lämmityksessä käytettävät ilma- ja vesikiertolämmitys ovat esimerkkejä ilmiön soveltamisesta käytännössä. [1, 2]

Konvektion aiheuttama lämmönsiirto on monimutkainen tapahtuma, jota kuvaa yhtälö:

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Φ on lämpövirta

Q on lämpömäärä

t on aika

Konvektiosta johtuva lämpövirta on suoraan verrannollinen kappaleen pinta-alaan. Tämän takia jäähdytyslevyihin tai lämmittämiin tehdään suuret pinnat. Lämpövirta on suunnilleen verrannollinen virtaavan aineen ja pinnan väliseen lämpötilaeroon korotettuna potenssiin $\frac{5}{4}$. [1]

3 Komponenttien lämpenemisominaisuudet

3.1 Kuormitusvirran vaikutus lämpenemiseen

Kuormituksen kasvaessa lämpöhäviö nousee kuormituksen suhteen toiseen potenssiin eli jos kuormitusvirta esimerkiksi kaksinkertaistuu, niin lämpötila nousee samalla 2²-kertaiseksi. Seuraavan kaavan avulla voi arvioida kuormitusvirran nousun vaikutusta lämpenemään:

$$dT_{todellinen} = T_{mitattu} - T_{ympäristö}$$

$dT_{todellinen}$	on lämpötilan nousu
$T_{mitattu}$	on kohteen mitattu lämpötila
$T_{ympäristö}$	on ympäristön lämpötila

Esimerkiksi: Lasketaan paljonko lämpötila nousee jos kuormitusvirta nousee 20 %:sta 50 %:iin

$$dT_{50\%kuormalla} = dT_{todellinen} * (I_{50kuormalla}/I_{mitattu})^2$$

$I_{mitattu}$	on 20 %:n kuormitustaso
$I_{50kuormalla}$	on virta 50 % kuormitustasolla
$dT_{50\% kuormalla}$	on lämpötila 50% kuormitustasolla
$T_{mitattu}$	on 33 °C
$T_{ympäristö}$	on 25 °C

$$dT_{todellinen} = 33 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 8 \text{ °C}$$

$$dT_{50\%kuormalla} = 8 \text{ °C} * (50/20)^2 = 8 \text{ °C} * 6,25 = 50 \text{ °C}$$

[2]

3.2 Mahdollisia vikoja

Lämpeneminen on laitteen normaalia toimintaa, mutta huomattavasti kohonnut lämpötila ei aina kerro riittämättömästä jäähtytyksestä, vaan lämpötilan nousu voi johtua lait-

teiston jonkin muun osan viasta. Vika voi sijaita myös laitteiston syöttämissä komponenteissa. Lämpeneminen voi olla laitteen tai komponentin normaalia toimintaa, joten on syytä selvittää ensin niiden normaalin toimintalämpötilat lämpötilannousun selvittämiseksi. [2]

Löystynyt liitos:

Huono liitos on yleinen syy sähkökomponenttien vikaantumiselle. Liitoksen löystyminen nostaa sen resistanssia ja aiheuttaa liittimien ja siihen liitetyn johtimen lämpenemistä kuormitusvirran vaikutuksesta. Mitä suurempi virta piirissä kulkee, sitä tärkeämpää on liitoksen oikea kireys. [2]

Hapettunut liitos:

Yhteen sopimattomien liitosmateriaalien tai ympäristötekijöiden aiheuttama hapettuminen ja syöpyminen voivat aiheuttaa lämpenemisen lisäksi jopa liitosten murtumista. Kupari hapettuu voimakkaasti jo pelkästään ilmassa olevan hapen vaikutuksesta.

Hapettuneiden liitosten lämpövaikutus on helppo havaita lämpökameraa käyttämällä. Hapettuneissa liitoksissa syntynyt lämpö johtuu tehokkaasti johdinta ja riviliitintä pitkin eteenpäin, jolloin varsinainen viallinen liitos ei välttämättä tule havaituksi.

Muita lämpötilapoikkeamia aiheuttavia syitä:

- epäsymmetrinen kuormitus
 - Harmoniset yliaallot
 - ylikuormitus tai komponenttien alimitoitus
 - liian pienet johdinpoikkipinnat
 - eristysviat
 - riittämätön jäähdytys
 - kompensointilaitteisto poissa päältä osittain tai kokonaan.
- [2]

4 Lämpöhäviöiden määrittäminen ja laskenta

4.1 Lähtötiedot

Rakennusten esisuunnitteluvaiheessa tilojen ja kojeistojen ratkaisut ovat vielä suuntaa antavia. Myös ilmastoinnin lähtötietojen osalta joudutaan tyytymään karkeaan arviointiin sähkösuunnittelussa.

Riski mitoitusarvioinnin yli- tai alimitoitukseen on suuri, ja laitteiden toimitusten ratkettua lämpökuormat tulee tarkistaa toimittajien antamien tietojen mukaisiksi. [3]

4.2 Lämpöhäviöiden arvio

Muuntajien häviötehoja löytyy taulukosta 1, häviötehot on saatu valmistajien luetteloista. Arvoja voi luotettavasti käyttää muuntajatilän lämpökuorman arviointiin, jos muuntajatehot on pystytty määrittämään.

Kojeistotilojen lämpöhäviöt voidaan arvioida keskuksen välittämän tehon perusteella. Häviöt ovat luokkaa 0,3...0,5 % tehosta. [3]

Suurehkoissa pj-kennokeskuksissa voi arvioida suuntaa antavaksi häviökuormaksi 800 W / kennokeskuksen metri. [4]

4.3 Kojestojen lämpöhäviöt

Suurjännitteellä kuormitusvirta on yleisesti paljon pienempi kuin nimellisvirta. Lämpöhäviöt riippuvat pääasiassa virrasta, joten ne tulee muuntaa todellisen kuormitusvirran mukaisiksi. Lämpöhäviöt muuttuvat kuormitusvirran neliön mukaan.

Keskukset asennetaan yleensä sähkötilaan, joka täyttää standardin PSK 2002 mukaiset vaatimukset.

Ilmastoinnin mitoituksessa huomioidaan ainakin keskimääräisesti keskuksien häviötehot, jotka ovat luokkaa 0,3...0,5 % jokaisen keskuksen läpimenevästä tehosta tai enintään syöttävien muuntajien kuormitushäviöiden suuruisia. [4]

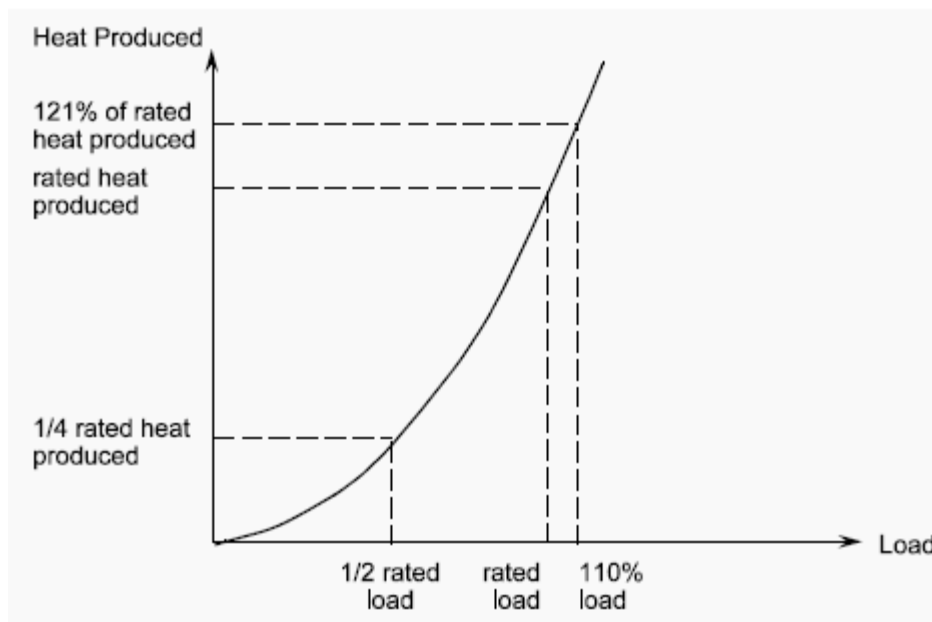
Taajuusmuuttajien ilmastoinnin tarve on aina huomioitava erikseen. Taajuusmuuttajien hyötysuhde on luokkaa 0,97..0,99. Taajuusmuuttajissa syntyvä häviö on lämpöhäviötä. [3, 5]

4.4 Muuntajatiilojen lämpöhäviöt

Muuntajien kuormitushäviöt pienenevät suhteessa kuormitusvirran neliöön. Vastaavasti kuormitushäviöt kasvavat suhteessa kuormitusvirran toiseen potenssiin. Muuntajan kuormituksen pienentyessä puoleen, pienenevät kuormitushäviöt neljäsosaan. Jos kuormitus kaksinkertaistuu, kasvavat kuormitushäviöt nelinkertaisiksi.

Tyhjäkäyntihäviöitä syntyy aina, kun muuntaja on kytkettynä verkkoon.

Kuva 1. Kuorman ja lämpöhäviön suhde muuntajassa. [6]



Taulukon 1 arvot ovat esimerkkejä. Todellisessa tilanteessa pitää käyttää hankittavien muuntajien annettuja häviöitä.

Uusilla eristysneste O1- muuntajilla voidaan päästä jopa 10 % pienempiin kuormitus-häviöihin kuin mitä taulukko 1 osoittaa. [4]

Taulukko 1. Muuntajien likimääräisiä häviöarvoja. [4]

Eristysneste O1 (mineraaliöljy)			Kuivamuuntajat	
kVA	P_o kW	P_k kW	P_o kW	P_k kW
315	480	3550	1000–1150	4200–4600
400	580	4300	1150–1200	4700–5500
500	700	5000	1400–1500	6300–7000
630	820	5900	1600–1650	7000–7800
800	1020	7150	1900–2100	9350–9400
1000	1130	8850	2250–2300	10950–11000
1250	1380	9700	2700–2900	11200–13500
1600	1650	12200	3050–3100	12500–16000
2000	1900	14600	4000–4200	15500–19500

Taulukon arvot pätevät 20 kV / 0,4 kV muuntajille.

P_o = tyhjäkäyntihäviöt [kW]

P_k = kuormitushäviöt [kW] nimelliskuormalla.

4.5 Kondensaattorien lämpöhäviöt

Tavanomaisten muovieristeisten kompensointi-kondensaattoreiden ja kondensaattoriparistojen häviötehoina voidaan käyttää seuraavia arvoja:

- 0,5 W / kVAr erillinen kondensaattori purkausvastuksineen
- 1,2 W / kVAr automaattiset kompensointiparistot
- 6,0 W / kVAr estokelakompensointiparistot (maksimiarvo).

[4]

Muiden harvemmin esiintyvien, kuten suurjännitekondensaattoreiden häviöt tulee selvittää erikseen.

Suljetuissa estokelaparistoissa ja automaattisissa kompensointiparistoissa on usein sisäinen ilmanvaihto, jolla syntynyt liiallinen lämpö siirretään ympäröivään ilmatilaan.

4.6 Tele- ja turvalaitteiden lämpöhäviöt

Palvelinkoneilta vaaditaan koko ajan parempaa suorituskykyä joka tarkoittaa myös suurempia sähkötehoja laitetiloihin. Toimisto- ja liikekiinteistöissä palvelinkoneet sijaitsevat usein kiinteistön tai vuokralaisen jakamotiloissa.

Palvelinten ja keskustietokoneiden koko tulee selvittää rakennuttajalta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Laitteiden häviötehot ja ilmastoinnin vaatimukset kysytään tietokoneiden toimittajalta.

Taulukossa 2 on esitetty tyypillisesti sijoitettavia tele- ja turvajärjestelmien keskuslaitteita sekä UPS-laitteita. Taulukossa esitetyt teholumemat perustuvat laitteista ilmoitettuihin teknisiin tietoihin sekä arvioihin. Suurimmat lämpökuormat tulevat tällä hetkellä äänen- toiston keskuslaitteista, palvelimista ja UPS-laitteista. Lisäksi kameravalvonnan tallentimet saattavat aiheuttaa merkittävän lämpökuorman jos tallentimia tarvitaan useita.

Taulukko 2. Tele- ja turvalaitteiden aiheuttamia lämpöhäviöitä. [7]

Turvalaitteet	Tehonkulutus enimmillään (W)	Lämpöhäviöt enimmillään (W)	Lämpöhäviöiden osuus (noin %)	Laitetiedot
Videotallennin, hybridi, 32 kameraa	250	200 (arvio)	80 %	Bosch Divar 700
Kulunvalvonnan palvelin	200	200 (arvio)	100 %	Hedengren Hedsam
Rikositietokeskus	150	100	67 %	Hedengren HHL Pro
Paloilmoitinkeskus	160	100 (arvio)	63 %	Esmi FX NET
Telelaitteet				
Yhteisantennijärjestelmän päävahvistin	20	15 (arvio)	75 %	Laatuantenni LAKO
Äänentoistokeskus, A/B-luokan päätevahvistimilla	550	310	56 %	Bosch Plena Voice Alarm
Äänentoistokeskus, D-luokan digit. päätevahvistimilla	5000	1000 (arvio)	20 %	Bosch Praesideo
Pieni tietoliikennepalvelin tai työasema	200	200	100 %	HP ProLiant MicroServer
Palvelinkone neljällä prosessorilla	1600	1000	63 %	HP Integrity rx6600 server
Työasemakytin, 24 porttinen	50	50	100 %	HP E2810
24 porttinen verkkokytin, PoE	257	60	23 %	HP ProCurve 2520-24 PoE
24 porttinen verkkokytin, PoE plus	616	250	41 %	HP E3500-24G-PoE+
VOIP keskuslaitteet (sis. palvelin)	1020	1010	99 %	Nortel Networks CS 1000M MG
UPS-laitteet				
	Laitekuorma (W)	Lämpöhäviöt (W)		
5 KVA On-line UPS, 100% kuorma	3500	350	10 %	Eaton 9135
5 KVA On-line UPS, akkukäyttö 100% kuorma	3500	480	14 %	Eaton 9135
10 KVA On-line UPS, 50% kuorma	4500	450	10 %	Eaton 9355
10 KVA On-line UPS, 100% kuorma	9000	720	8 %	Eaton 9355

Pienissä yleisäänentoistoon ja hätäkuulutuksiin tarkoitetuissa äänentoistokeskuksissa käytetään yleisesti B-luokan transistorivahvistimia. Analogisten B-luokan transistorivahvistimien hyötysuhde on noin 50 %, joten keskuslaitteet tuottavat käytössä runsaat määrät hukkalämpöä.

Uusissa D-luokan digitaalisissa vahvistimissa hyötysuhde voi olla jopa 90 %. Digitaalisilla vahvistimilla toteutetuissa äänentoistokeskuksissa hukkalämmön osuus on siis huomattavasti pienempi kuin analogisilla vahvistimilla toteutetuissa. Äänentoistokeskuksen lämpöhäviöitä määrittäessä on huomioitava myös mahdolliset kaiutinlinjojen jännitemuuntajien lämpöhäviöt, joka on luokkaa 20 % D-luokan äänentoistokeskuksen vahvistintehosta. [7]

4.7 UPS-laitteiden lämpöhäviöt

Taulukko 3 on käytetty tavanomaisia UPS-laitteiden arvoja. Taulukossa ilmoitettuja arvoja voidaan käyttää esisuunnittelussa. Esimerkkitapauksia UPS-laitteiden lämpöhäviöistä on esitetty Taulukossa 2.

Tele- ja turvajärjestelmiä palvelevien UPS-laitteiden hyötysuhde on tyypillisesti noin 88-90 %.

Jos käytössä on vanhoja laitteita, saattaa häviöteho olla huomattavasti suurempi taulukon 3 arvoihin verrattuna.

Häviötehot on ilmoitettu laitteen nimelliskuormalla. Häviölämmöt vaihtelevat UPS-valmistajien kesken, joten todellinen häviöteho tulee aina tarkistaa laitetoimittajalta.

Taulukko 3. UPS-laitteiden tehohäviöitä. [4]

Teho kVA	Tulojännite V	Lähtöjännite V	Häviöteho kW
1	230 AC	230 AC	0,08
5	230 AC	230 AC	0,40
10	230/400 AC	230 AC	0,80
20	230/400 AC	230/400 AC	1,40
50	230/400 AC	230/400 AC	3,50
80	230/400 AC	230/400 AC	6,40
100	230/400 AC	230/400 AC	8,00
130	230/400 AC	230/400 AC	10,40

4.8 Invertterien lämpöhäviöt

Taulukossa 4 on esitetty invertterien tehohäviöitä sekä karkea arvio, missä määrin häviöt ovat riippuvaisia moottorin nimellistehosta.

Taulukon arvot pätevät yleiselle pienjännitteelle 400/230V.

Suurempien invertterien tai esim. 600V:n laitteiden tehohäviöt tulee varmistaa laitteiden valmistajalta. [4]

Taulukko 4. Invertterien tehohäviöitä [4]

Moottorin teho maksimi kW	Tehohäviö tyypillinen W	Häviöt % $P_{nim.}$
3,00	≤ 130	4,3
5,50	≤ 240	4,3
11,00	≤ 380	3,5
15,00	≤ 550	3,6
18,50	≤ 600	3,2
30,00	≤ 660	2,2
45,00	≤ 505	1,1
55,00	≤ 635	1,1

4.9 Parikaapelien lämpöhäviöt

4.9.1 Parikaapelin lämpeneminen ja sen haitat

Parikaapelin johtimissa kulkeva sähkövirta aiheuttaa kaapeleiden lämpenemisen. Kaapelin lämpötilan nousun määrä riippuu kaapelin johtimissa kulkevasta kokonaisvirrasta, kaapelin asennustavasta, kaapelirakenteesta ja sijainnista, muiden samassa nipussa olevien kaapeleiden lukumäärästä sekä ympäristön lämpötilasta.

Kaapelin lämpötila ei saa nousta missään olosuhteissa kuin mikä on kaapelityypille määritelty suurin käyttölämpötila. Kaapelitilojen maksimilämpötilaksi suositellaan taulukon 6 mukaisesti 40 °C. Yleiskaapeloinnissa käytettävien parikaapeleiden suurin sallittu käyttölämpötila on yleisesti 60 °C.

Kaapelin lämpötilan nousun välitön vaikutus on vaimennuksen kasvaminen johtuen kuparin resistanssin kasvamisesta. Ilmoitettu vaimennus kasvaa desibeleissä (dB) suojaamattomilla parikaapeleilla 0,4...0,6 % / °C ja suojatuilla parikaapeleilla noin 0,2 % / °C. Jos esimerkiksi suojaamattoman (U/UTP) kaapelin lämpötila nousee 20 °C, voi vaimennus kasvaa desibeleissä jopa 12 %. Pitkissä kaapeloinneissa (kanavan pituus 100 m tai yli) tämä voi olla kohtalokasta tietoliikenteen kannalta. Kun vaimennus kasvaa, alkaa tiedonsiirrossa esiintyä virheitä ja yhteys hidastuu. Jos virheitä syntyy liikaa, yhteys katkeaa kokonaan.

Lämpötilan nousu aiheuttaa myös kaapelin muovimateriaalin haurastumista ja nopeampaa vanhentumista. Suuntaa antavan säännön mukaan 10 °C lämpötilannousu kaksinkertaistaa vanhenemisen. Muovien vanhetessa niiden sähköiset ominaisuudet heikkenevät ja suurilla taajuuksilla tämä lisää vaimennusta joka taas aiheuttaa yhteyden hidastumista. Vanhetessaan muovit myös heikkenevät mekaanisesti tai toisin sanoen haurastuvat. Tämä johtaa vähitellen kaapelirakenteen järkkymiseen ja kaapelin muuttumiseen käyttökelvottomaksi. Jatkuva korkea lämpötila vanhentaa kaapeleita huomattavalla tavalla.

Taulukossa 5 on esitetty kaapelin lämpötilan nousu 100 kaapelin nipussa eri kategorian kaapeleilla riippuen virrallisten parien lukumäärästä. Taulukossa virran suuruudeksi on oletettu 600mA/pari.

Esimerkki: Jos 100 kaapelin nipussa on jokaisessa kaapelissa kaksi paria käytössä 600 mA virransyöttöön (esim. PoE plus), lämpötila nousee kategorian 5 tapauksessa 5 °C, kategorian 6 tapauksessa 4,2 °C ja kategorian 6A sekä 7 tapauksessa 3,6 °C. [8]

Taulukko 5. Lämpötilan nousu 100 kaapelin nipussa eri kategorian kaapeleilla riippuen virrallisten parien kokonaislukumäärästä. Virran suuruus on 600 mA/pari. [8]

Virrallisten parien lukumäärä	Lämpötilan nousu °C			
	Kategoria 5	Kategoria 6	Kategoria 6A	Kategoria 7
24	0,6	0,5	0,4	0,4
48	1,2	1,0	0,9	0,9
96	2,4	2,0	1,7	1,7
144	3,6	3,0	2,6	2,6
192	4,8	4,0	3,5	3,5
200	5,0	4,2	3,6	3,6
236	5,9	4,9	4,2	4,2
284	7,1	5,9	5,1	5,1
332	8,3	6,9	6,0	6,0
380	9,5	7,9	6,8	6,8
400	10,0	8,3	7,2	7,2

Taulukon arvot perustuvat asiakirjan ISO/IEC PDTR 29125 (2009-05-17) taulukkoon 4.

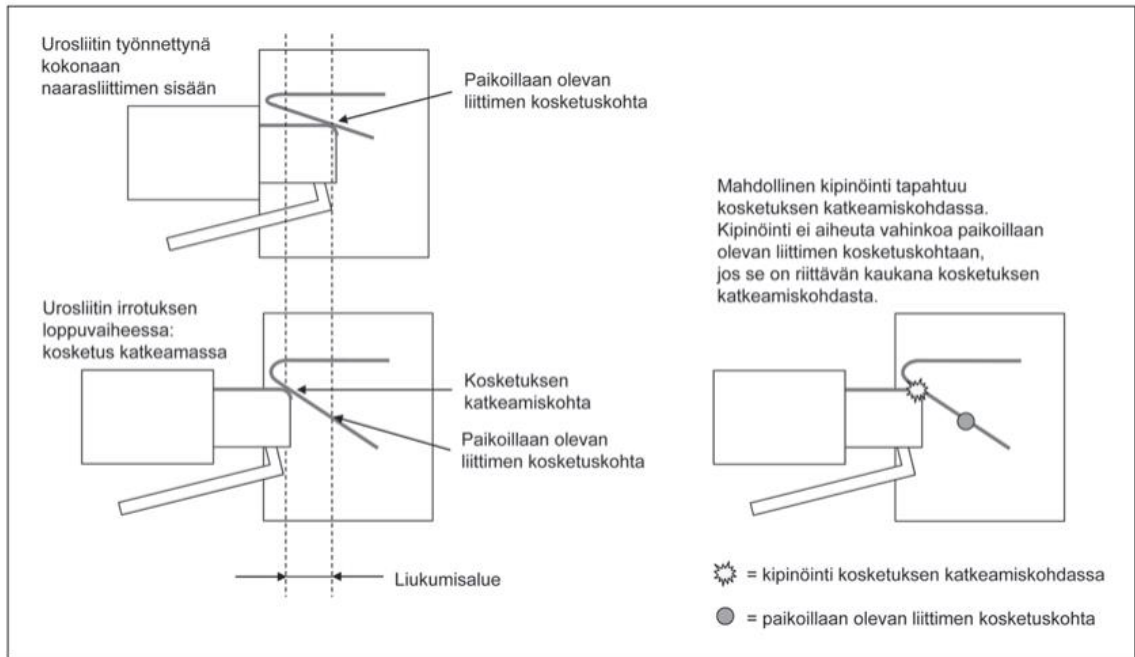
4.9.2 PoE-liittimien lämpeneminen

PoE, eli Power over Ethernet on tekniikka, jolla on mahdollista syöttää käyttöjännitettä parikaapelin avulla. PoE-sovellusten käyttökohteiden määrä tulee kasvamaan nykyisestä, mutta sovellusten yleistymistä lähitulevaisuudessa on vaikea arvioida. Suurempia tehoja vaativat ja suuren käyttöasteen sovellukset todennäköisesti muuttavat myös pienien jakamoiden jäähtymisen tarpeita. Näitä voisivat olla mm. päätelaitteen lataus ja työpistevalaistus yleiskaapelointipisteestä.

Parikaapeloinnin liittimien tulee kestää virta, joka PoE-syötössä kulkee niiden läpi. Standardinmukaiset liittimet kestävät 0,75 A / johdin, jos lämpötila on enintään 60 °C, virransiedon ei siis pitäisi olla ongelma virran ollessa jatkuva ja liittimien välisten liitoksien ollessa kiinni.

Ongelmia voi kuitenkin syntyä, jos virrallinen liitos katkaistaan. Näin käy esimerkiksi jos PoE-virrallisen kaapeloinnin kytkentäkaapeli irrotetaan tietoliikennesiasta tai päätelaitteesta. Tällöin voi liittimien koskettimien välille syntyä kipinäointia ja/tai valokaari. Kipinäointi ja valokaari voivat aiheuttaa liittimien koskettimiin vahinkoja, jotka heikentävät liitoksen suorituskykyä. Tämä voi ilmetä esimerkiksi vaimennuksen tai kosketinresistanssin lisääntymisenä.

Kipinäointi ja valokaariongelmita voidaan välttää tai niiden esiintyminen voidaan ainakin minimoida. On suositeltavaa käyttää PoE-tehonsyöttölaitteita, jossa on mahdollista porttikohtaisesti estää, sallia ja rajoittaa kunkin portin teho. Tämä koskee sekä PoE-ominaisuuksilla varustettuja välisyöttölaitteita, että Ethernet-kytkimiä. Porttien hallinnan voi toteuttaa esim. web-tyyppisellä liittymällä. Lisäksi liitinvalinnat vaikuttavat em. ongelmien syntyyn. Liittimissä on eroja sen suhteen millaisia vahinkoja niihin syntyy kipinöiden ja valokaaren vaikutuksesta. RJ45-liittimessä kipinäointi tai valokaari syntyy tyyppillisesti koskettimien sille alueelle, jossa kosketus katkeaa. Tämän koskettimien alueen tulisi olla tarpeeksi kaukana koskettimien siitä alueesta, johon syntyy kosketus liittimen ollessa paikoillaan (katso kuva 2). [8]



Kuva 2. Liittimien irrotuksen yhteydessä voi syntyä kipinöitä.

[8]

4.9.3 Parikaapelien lämmön nousun minimointi

Lämpötilan nousua voidaan vähentää minimoimalla lämpöhäviöt ja maksimoimalla lämmön hajaantuminen. Näiden toteuttamiseen voidaan käyttää seuraavia ratkaisuja:

- suuremman johdinpoikkipinnan valitseminen
- korkeamman kategorian kaapelien käyttäminen
- virrallisten parien vähentäminen
- tiukkojen kaapelinippujen välttäminen
- laitteiden käyttäminen, joilla on pienempi virrankulutus
- lämmön poisjohtumisen ja hajaantumisen parantaminen käyttämällä kaapeleita, joilla on:
 - parempi lämmönjohtavuus
 - parempi lämmön siirtyminen kaapelista ilmaan

- paremmat materiaalien väliset lämmönsiirron-ominaisuudet
- metallisia rakenneosia, kuten suoja
- kiinteä eristemuovi, mutta ei kuitenkaan vaahtomuovi
- suurempi halkaisija.

[9]

Kaapeloinnin lämmön nousua ei voi koskaan kokonaan estää. Lämmön nousu tulisi kuitenkin minimoida, koska pienempi lämmön nousu:

- vanhentaa kaapeleiden muovimateriaaleja hitaammin
- vähentää rakennuksen jäähdytyskuormaa
- lisää vähemmän kaapelin vaimennusta
- mahdollistaa kaapeloinnin käytön korkeammassa ympäristön lämpötilassa ilman, että kaapelin suurin sallittu käyttölämpötila ylitetään
- vähentää kokonaiskustannuksia, koska tehohäviöt kaapelissa ovat pienemmät.

[8]

5 Sähkötekniisten tilojen yleiset vaatimukset

5.1 Sähkötekniisissä tiloissa sallitut lämpötilat

Taulukko 6. Teknisissä tiloissa sallitut lämpötilat. Muuntajan luokalla tarkoitetaan kotelointiluokkaa. [4]

Tila	Maksimi lämpötila	Minimi lämpötila	Käyttö-lämpötila	Huomautuksia	Ylipaine	Suodatus-tarve
Muuntajatilaluokka 0 ¹	huom. 1a	huom. 2	20 °C	100 % jatkuva kuormitus	huom. 3	
Muuntajatilaluokka 10K ¹	huom. 1a	huom. 2	20 °C	88 % jatkuva kuormitus	huom. 3	
Muuntajatilaluokka 20K ¹	huom. 1a	huom. 2	20 °C	77 % jatkuva kuormitus	huom. 3	
Muuntajatilaluokka 30K ¹	huom. 1a	huom. 2	20 °C	63 % jatkuva kuormitus	huom. 3	
Pääkeskustila	40 °C	5 °C	15...25 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Kaapelitilat tai vastaavat	40 °C	5 °C	10...30 °C	Kaapelien kuormitus!		huom. 6
Moottorigeneraattoritila	35 °C	5 °C	10...30 °C			huom. 6
Akustotilat	25 °C	15 °C	20 °C	SFS-EN 50272-2		huom. 6
UPS-tilat	30 °C	15 °C	20 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Automaatiotilat yleensä	25 °C	15 °C	20 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Tietokonetilat yleensä	25 °C	18 °C	22 °C	toleranssi yksi aste	huom. 3	huom. 4 tai 5
Inverteri- ja tasavirtakäytöt	25 °C	15 °C	18...22 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Erillinen kompensointitila	40 °C	5 °C	15...25 °C			huom. 4 tai 5

huom. 1 IEC 61 330 mukainen kotelointiluokka.

huom. 1a Maksimiarvon määrää muuntajan lämpeneminen.

huom. 2 Mitä alhaisempi sen parempi. Ympärillä olevat tilat on otettava huomioon.

huom. 3 Tarvittaessa pieni ylipaineistus ympäristöön nähden.

huom. 4 Mekaaninen suodatus.

huom. 5 Tarvittaessa kemiallinen suodatus

huom. 6 Harkinnan mukaan.

5.2 Sähkötekniisten tilojen ilmastoinnin yleisiä vaatimuksia

Ilmastoinnin tehtävänä on poistaa liiallinen lämpö tilasta ilmanvaihdolla ja/tai jäädytyksellä, estettävä tarvittavassa määrin tilan likaantuminen, pidettävä ilman laatu tilan käyttötarkoituksen mukaisena, sekä pitää tila riittävän kuivana ja oikean lämpöisenä.

Ilmastoinnin mitoituksessa huomioidaan ainakin kesimäärin keskuksien häviötehot, jotka ovat 0,3...0,5 % jokaisen keskuksen läpimenevästä tehosta tai enintään syöttä-

vien muuntajien kuormitushäviöiden suuruisia. Taajuusmuuttajien ilmastointitarve on huomioitava erikseen.

Ilmastointijärjestelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä

- onko kyseessä ainoastaan laitetila vai onko se myös työtila
- mihin ilmastoinnilla pyritään?
- laitteiden asettamat vaatimukset ilmastoinnille
- sallitut ilman pöly- ja kaasupitoisuudet
- sallittu olosuhteiden muutosnopeus
- ympäristön ilman laatu, puhtaan ilman saanti
- tilan sijainti rakennuksen sisällä
- tilan rakenneratkaisut
- kojeiston rakenne.

[4]

Tilan kaikki lämpöä tuottavat laitteet on otettava huomioon ilmanvaihtoa tai jäähdytystä suunniteltaessa. [3]

Sähkötilojen ilmanvaihdolla ja tarvittaessa myös jäähdytyksellä luodaan edellytykset laitteiden ja kojeiden häiriöttömälle toiminnalle. Koje- ja laitetilojen jäähdytykseen ja ilmanvaihtoon on kiinnitettävä erityistä huomiota etenkin silloin, kun niissä on suuri määrä tärkeitä atk- ja automaatiolaitteita.

Jäähdytyksen ja ilmanvaihdon määrittely perustuu lämpölaskentaan, jossa huomioidaan:

- tilan toivottu lämpötila
- henkilöiden lämmönluovutus
- laitteiden lämmönluovutus
- ympäröivien rakenteiden läpi tapahtuva lämmönsiirtyminen ulos tai sisään.

[4]

Sähköteknisissä tiloissa kasvava käyttäjälaitteiden energiakulutus lisää jäähdytystarvetta. Jäähdytyksen tarpeellisuus tulee arvioida vallitsevan tilanteen mukaan. Nämä kuulostavat itsestäänselvyksiltä, mutta teknisten tilojen jäähdytys mitoitetaan usein väärin tai unohdetaan kokonaan.

Palavia aineita sisältävien tilojen ja muuntamoiden palokuormat pitää määrittää ja tilojen palo-osastoinnista huolehtia jo esisuunnitteluvaiheessa. Ilmanvaihto järjestetään palo-osastojen mukaisesti. Palokuorman lisäksi rakennusosien mitoituksessa on otettava huomioon myös valokaaripaine.

Elektroniikkaa sisältävät kytkinlaitokset, tasasähkö- ja taajuusmuuttajakäytöt saattavat vaatia erillisen tilan ja ilmastoinnin.

Jako automaatio- ja kojeistotilojen kesken on selvitettävä tapauskohtaisesti. On mahdollista, että osa automaation laitteista sijoitetaan kojeistotiloihin. [4]

On muistettava, että teknisissä tiloissa syntyvää hukkalämpöä voidaan hyödyntää rakennuksen lämmittämiseen.

5.3 Sähkösuunnittelijan asettamat vaatimukset sähköteknisille tiloille

Sähkösuunnittelijan on annettava tarvittaessa LVI- ja rakennesuunnittelijalle sähkö- ja laitetilojen lähtötiedot ja olosuhdevaatimukset ottaen huomioon mm:

- Seinien, kanavien ja muiden rakenteiden lujuudet ja tiiviys
- sähkölaitteista aiheutuva palokuorma
- läpivientien rakenne standardien SFS 6001, E1 ja E7 mukaisesti
- vikatilanteessa valokaaren aiheuttama paine.

[4]

6 Teknisten tilojen ilmastointi

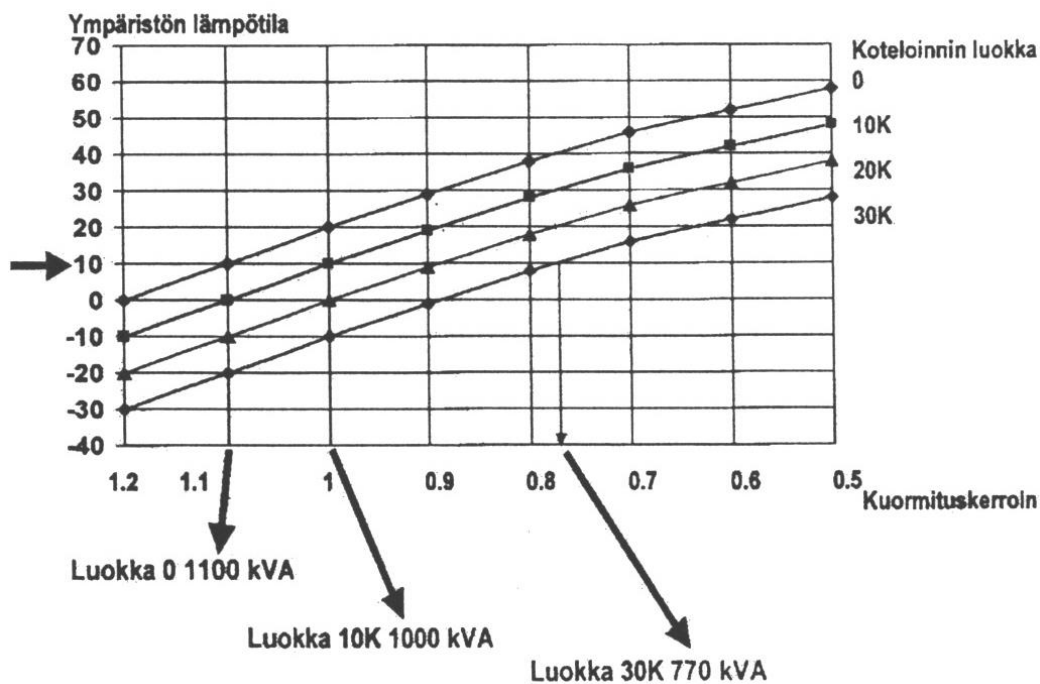
6.1 Muuntajatilojen ilmastointi

Muuntajatiljan ilmanvaihdon tai jäähdytyksen ratkaisee muuntajan häviölämpö. Muuntajien lämpöhäviöitä on esitetty taulukossa 1 muuntajan likimääräiset häviöarvot.

Rakennuksessa sijaitsevassa muuntamotilassa on oltava aina joko koneellinen tai luonnollinen ilmanvaihto. Jos tuloilman lämpötila on $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, käytetään koteloitiluokkaa 0, jolloin muuntajaa voidaan kuormittaa 100 %:n kuormalla. Täyteen kuormaan voidaan päästä myös korkeammilla tuloilman lämpötiloilla, jos tuloilman määrää kasvatetaan. [4]

Kuivamuuntajat on yleensä koteloitu valmiiksi. Koteloinnin rakentaja antaa ohjeistuksen ilmastoinnista.

Kuten kuvasta 3 voidaan päätellä, muuntajan koteloitavalla on erittäin tärkeä merkitys muuntajan kuormitettavuuteen. Kuvassa 3 on ympäristön lämpötilaksi oletettu $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Kuva 3. Koteloidun muuntajan kuormitus. [4]

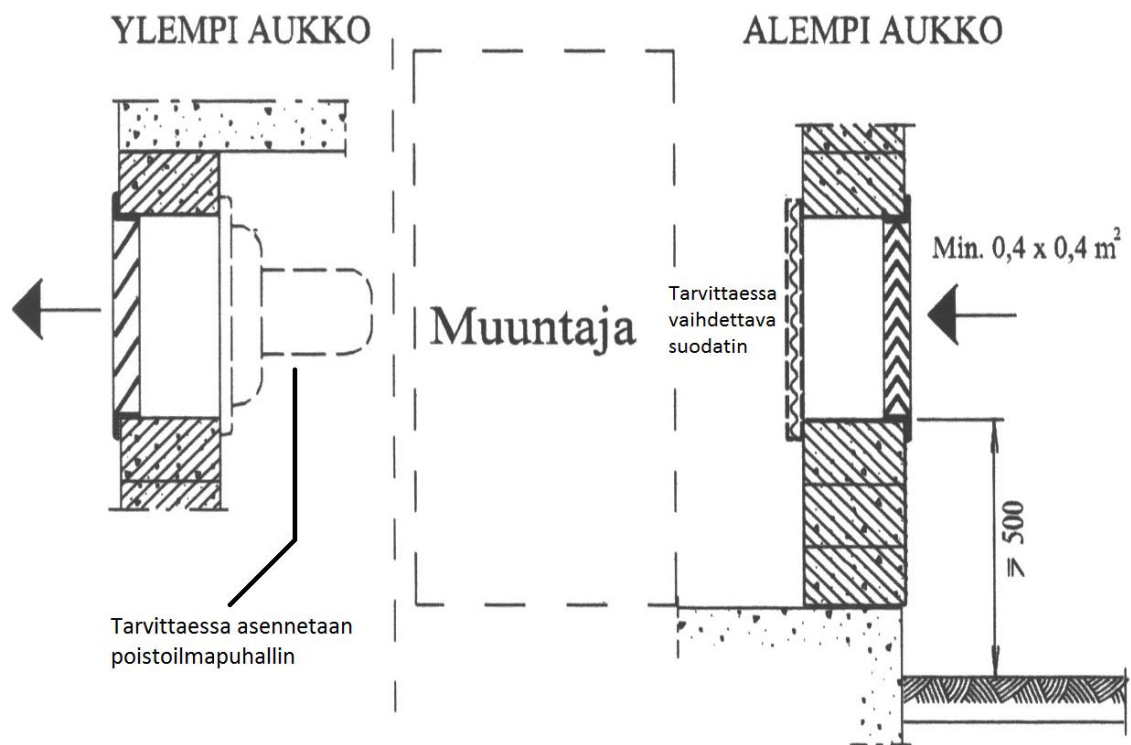
6.1.1 Muuntajatila luonnollisella ilmanvaihdolla

Muuntajatilassa pyritään luonnolliseen ilmanvaihtoon. [10]

Jos muuntajan kuorma on tasaista ympäri vuorokauden tai kuormitushuippu osuu kesäaikaan, joudutaan käyttämään poistopuhallinta.

Suuria vapaita aukkoja tulee välttää, sillä mahdollisessa palotilanteessa ne edistävät paljon kiihtymistä palavan öljyn saadessa paljon ilmaa. Jos aukkojen lähellä on huomattava määrä palokuormaa, tulee harkita sellaisten paloluukkujen käyttöä, jotka sulkeutuvat palosulakkeiden toimiessa. [4]

Kuvan 4 aukoilla voidaan yleensä hoitaa luonnollisen kierron ilmanvaihto aina 800 kVA muuntajakokoon asti tyypillisillä sähkönjakelun ja yksivuorotyön kuormilla.



Kuva 4. Esimerkillinen toteutustapa muuntajatilan luonnollisen ilmanvaihdon aukoista.

[4]

Ilmanvaihtoaukkojen vapaan poikkipinnan alue voidaan laskea yhtälöllä:

$$A = \frac{k \times Ph}{\sqrt{h}}$$

jossa:

Ph = kokonaishäviöt mitoitusteholla (kW)

h = tehollinen vetokorkeus, m

k = 0,12...0,17.

Yhtälön edellytyksenä on, että tulevan ja poistuvan jäähdytysilman lämpötilaero on 15 °C. Jos ero on suurempi, on mahdollista, että kerroin k on edellä mainittua pienempi.

Jos mitoitussyhtälössä käytetään suurien muuntajien (> 800 kVA) nimelliskuorman häviöitä, ovat yhtälöllä saadut aukot myös suuria. Kun otetaan huomioon huippukuorman aikainen jäähdytysilman keskimääräinen lämpötila ja häviötehon pysyvyyskäyrä, voidaan todeta pienempienkin aukkojen riittävän etenkin yksivuoroteollisuudessa ja tyypillisissä jakeluverkon muuntamoissa. [4]

6.1.2 Muuntajatila koneellisella ilmanvaihdolla

Rakennuksissa sijaitsevilla muuntajajaloissa tarvitaan usein koneellista ilmanvaihtoa. Myös kiviaineisissa puistomuuntajajaloissa saatetaan tarvita koneellista ilmanvaihtoa, jos kuormitushuippu on kesällä tai kuormitus on jatkuvasti suuri. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko ulos- tai sisäänpuhalluksella. Likaantumisen välttämiseksi ja ilman oikean suuntaamisen takia on sisäänpuhallus parempi vaihtoehto. Tuloilma on otettava mahdollisimman pölyttömästä paikasta ja ilma tulee suuntautua muuntajan alaosaan. [11]

On huomioitava, että jäähdytys nostaa muuntajien tehoja tuntuvasti jos rakennusten huippukuormat osuvat kesäaikaan. Tällöin muuntajajaloiden ilmanvaihtoon ja mahdolliseen jäähdytykseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Koneellinen ilmanvaihto tulee varustaa automaattisella ohjauksella. Ohjaukseen voidaan käyttää huonetermostaattia, muuntajan kosketinlämpömittaria tai tarvittaessa molem-

pia. Puhaltimena voidaan käyttää myös kahden nopeuden puhallinta. Tämän toimintaa ohjataan esimerkiksi siten, että muuntajan kosketinlämpömittari (+60...+70 °C) käynnistää pienemmän nopeuden ja huonetermostaatti (+25...+30 °C) tarvittaessa suuremman nopeuden. [4]

Ilmanvaihtolaitteiden toimintojen ja muuntajan lämpötilan hälytyksen voidaan ohjata esim. kiinteistön hälytysjärjestelmään, jonne merkitään yhteysnumero muuntajatilán käytön johtajalle.

Ilmanvaihtolaitteet tulee sijoittaa siten, että ne voidaan huoltaa myös muuntamon ollessa jännitteinen. [10]

6.1.3 Muuntajatilaa jäähdytyksellä

Joskus ei pystytä rakentamaan palomääräysten mukaisia ilmanvaihtokanavia tai rakennettu ilmanvaihto osoittautuu riittämättömäksi ratkaisuksi. Tällöin on turvauduttava erilliseen kylmäkoneella tapahtuvaan jäähdytykseen.

Muuntajatilán jäähdytys on mahdollista rakentaa suljettuna ja johtaa häviölämpö lämmönvaihtajien avulla lämmitettäviin tiloihin. Tämä ratkaisu vaatii aina tapauskohtaisen suunnittelun, ja sähkösuunnittelijan tehtäväksi jää ilmoittaa siirrettävä häviölämpö LVI-suunnittelijalle. Suunnittelijoiden on huomioitava, etteivät läpiviennit oleellisesti pienennä rakenteiden osastoivuutta.

Nykyiseen koneelliseen ilmanvaihtoon on mahdollista lisätä jäähdytys, jolloin laitteiden sijoitus on ratkaistava. Lämmön talteenotto saattaa olla vaikeasti toteutettavissa jälkeinpäin lisätyssä jäähdytysjärjestelmässä. [4]

6.1.4 Valokaaripaineen purkautuminen

Valokaaripaine tulee ottaa huomioon rakenteiden mitoituksessa. Valokaarivahinkoja voidaan vähentää purkausteiden ja ilmanvaihtokanavien oikealla mitoituksella. [10]

Valokaaren painevaikutusta ja purkautuvia kaasuja ei saa suunnata käyttäjään vaan esim. takaseinään tai kaapelikanaviin. Tutkimusten perusteella tiedetään, että tavan-

omaiset ilmanvaihtokanavat pystyvät alentamaan riittävästi valokaaripainetta tavanomaisilla muuntamoilla. [10]

Jos oikosulkuvirta ylittää 20 kA, pitää paineen purkautuminen tutkia erikseen. Tällöin asiaa yleensä auttaa se, että tilan suurentaminen pienentää painevaikutusta.

Kojeistojen valmistajilta saa ohjeita paineen purkautumisteiden mitoituksesta ja rakenteesta suurille kojeistoille. [4]

6.2 Pääkeskuksien ja kytkinlaitostilojen ilmastointi

Lämmöntuotto on yleisesti kohtuullista, se koostuu johdonsuojakatkaisijoiden, sulakkeiden, kojeiden ja kiskostojen häviölämmöistä.

Korkein sallittu lämpötila sähkölaitteille on +40 °C, taulukosta 6 näkee lisätietoja.

Sulakkeiden ja johdonsuojakatkaisijoiden lämpeneminen on verrannollinen kuormitusvirran neliöön. Tästä johtuen lämpöhäviöt voivat vaihdella kuormituksen mukaan suuresti. [4]

6.3 Tele- ja turvalaitetilojen ilmastointi

Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen mitoituksessa on otettava huomioon myös tulevaisuuden tarpeet. Tele- ja turvalaitetilojen jäähdytyksen toteuttamiseen vaikuttaa sähkölaitteiden lämpöhäviöiden määrä, sähkölaitteiden asennustapa sekä jäähdytettävän tilan koko. Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen suunnitelma on siis aina tapauskohtainen.

Tietokoneet ja niitä syöttävät UPS- laitteet sijaitsevat nykyisin usein samoissa tiloissa. UPS- laitteisto voi sijaita myös keskustilan yhteydessä.

Toimisto- ja liiketilojen ATK-pääjakamotila vaatii tyypillisesti ilmanvaihdon lisäksi jäähdytyksen johtuen suuremmasta lämpökuormasta.

Jotta atk-laitteiden mahdollinen jäähdytystarve voidaan ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa, on niiden sijoittelusta ja ottotehoista saatava käyttäjältä selvitys.

Jos huonetilaan tulee useita atk-laitteita, kuten esimerkiksi eri järjestelmien keskusyksikköinä toimivia tietokoneita, on mietittävä voidaanko järjestelmille käyttää yhteistä palvelinta ja yhtä näyttöä sekä voiko tilan ilmanvaihtoa parantaa, jotta erilliseltä jäähdytykseltä vältyttäisiin. Jos jäähdytystä joudutaan käyttämään, energiatehokkain tapa on tehdä se keskitetyllä järjestelmällä, jolloin voidaan käyttää vapaajäähdytystä talvella ja lisäksi käyttää osa lauhdutintehosta hyödyksi esim. ilmastoinnin lämmön talteenotossa.

Taulukosta 6 löytyy ohjearvot näiden tilojen ilmastoinnin säätöä varten

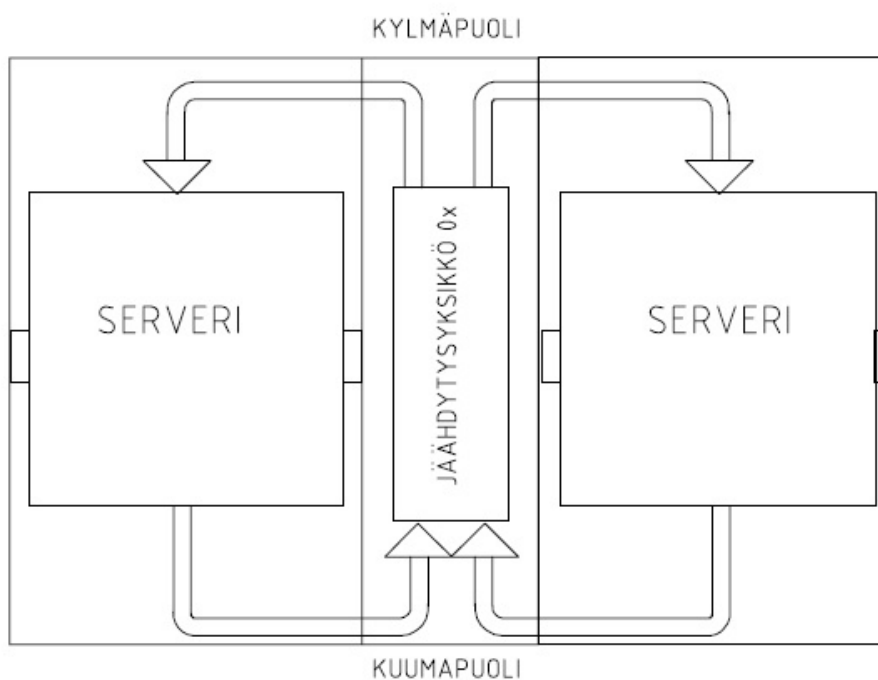
Jäähdytys voidaan tarvittaessa toteuttaa vakiorakenteisilla kojeilla, joissa on valmiina jäähdytys, hienosuodatus, kostutus ja lämmitys.

Ilman tuominen tulee toteuttaa siten, että tietokonetilassa vältetään pöly- ja korroosio-ongelmat. [4, 7]

6.3.1 Serverikaapin tiivis jäähdytysratkaisu

Kylmä ja kuuma puoli on erotettu toisistaan. Asennustapa on tiivis ja nestejäähdytyksellä toteutettu. Jäähdytysyksikkö puhalttaa ulos kylmää ilmaa. Kylmä ilma imetään servereiden läpi josta se tulee takaisin lämpimänä jäähdytysyksikköön.

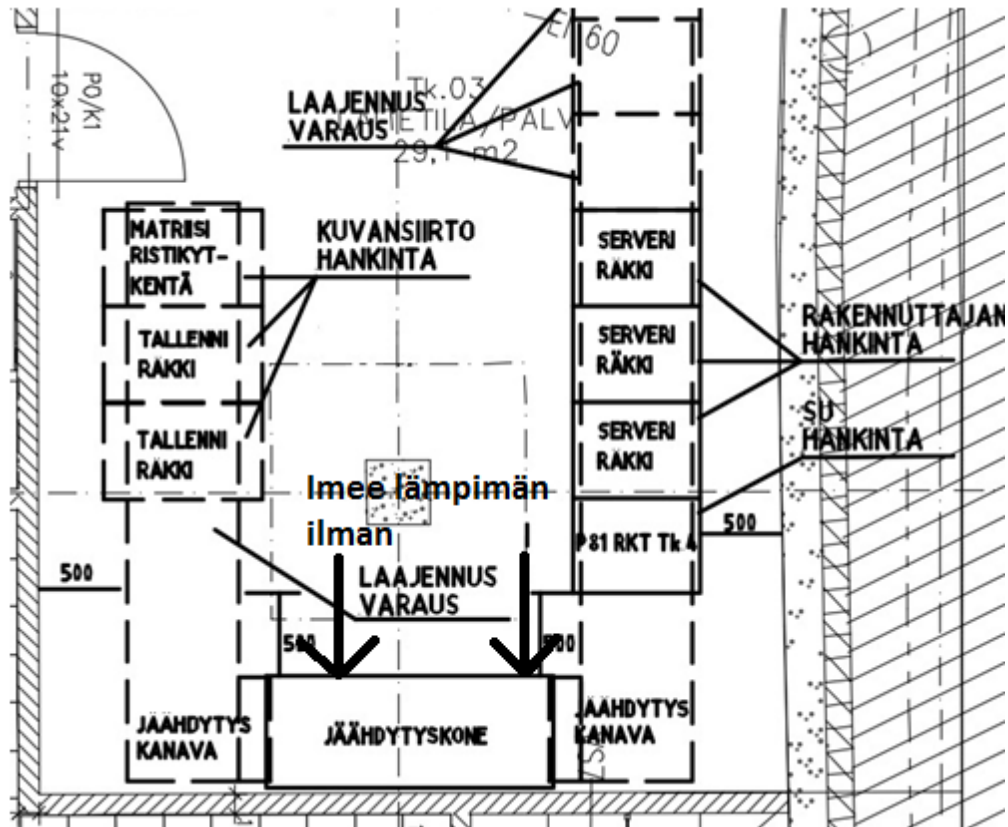
KUVA 5. Yläpuolelta kuvattu radiostudion serverikaapin suljettu jäähdytysperiaate.



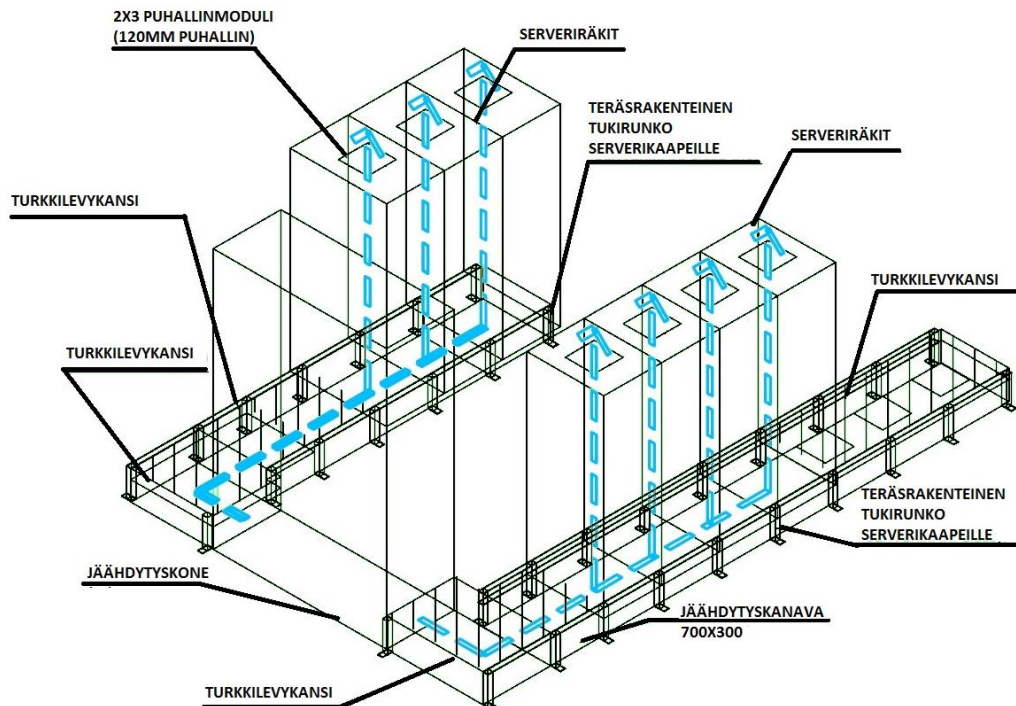
6.3.2 ATK-tilan pakotettu ilmanvaihto

Kuvassa 6 on sairaalan ATK-tila pakotetulla ilmanvaihdolla. Kuvasta 7 näkee periaatteen jolla räkkit viilennetään. Jäähdytyskone imee lämpimän ilman tilasta ja puhalttaa sen kylmänä jäähdytyskanavia pitkin räkkeihin. Lämmennyt ilma poistuu rakkien yläosasta. [12]

Kyseinen jäähdytysjärjestelmä ei ole yhtä energiatehokas kuin tiivis jäähdytysratkaisu. [12]



KUVA 6. ATK-tilan laitteisto tasokuvassa.



KUVA 7. 3D-malli ATK-tilan laitteiston ilmanvaihdesta.

6.4 Kaapelitilojen ilmastointi

Yleisesti liika lämpö voidaan poistaa luonnollisella ilmanvaihdolla, mutta tarvittaessa voidaan käyttää lämpötilaohjattua tuloilma- ja/tai poistopuhallinta. Pölyn leviäminen tulee estää sopivien suodattimien avulla.

Kaapelitilojen käyttölämpötila on taulukon 1 mukaisesti alueella +10 °C...+30 °C, tällöin ei tarvita ilmanvaihtoa. [4]

6.5 Moottorigeneraattoritilojen ilmastointi

Sähkösuunnittelija antaa moottorin tehon LVI-suunnittelijalle. Tehon saa laitteen valmistajalta.

Ilmanvaihto järjestetään moottorigeneraattorin jäähdytyksen mukaisesti. Oleellisia tekijöitä ovat sekä laitteistoa, että polttoainetta koskevat palomääräykset ja palokaasujen poisto. [4, 5]

6.6 Akkutilojen ilmastointi

Akkutiloissa ilmanvaihto on välttämätöntä. Ilmanvaihdon tarkoituksena on pitää akustilan vetykonsentraatio vedyn alemman räjähdysrajan alapuolella.

Akkujen latauksen aikana syntyvät kaasut ovat erittäin räjähdysherkkiä. Suurien akustojen ollessa jatkuvassa latauksessa, on räjähdysherkkää kaasua aina akkujen lähellä. Ilma tulee ottaa viileästä ja puhtaasta paikasta. Lisäksi epäpuhtauksien pääsy akkutilaan tulee estää.

Akkujen asennuksia koskee standardi SFS-EN 50272-2 ”Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset, Osa 2: paikallisakut”. Tämä standardi löytyy TUKES- ohjeesta S10 ”sovellettavat standardit” ja sen noudattaminen on pakollista. [4]

6.7 Valvomo ja prosessiasemien ilmastointi

Prosessiasemien tietokoneet ja ohjauslogiikat voivat muodostaa huomattavan suuren lämpökuorman. Tapaukset ovat kuitenkin niin yksityiskohtaisia, ettei yhtä mitoitusarvoa voida antaa. Lämpöhäviöt voidaan yleensä poistaa tavanomaisen ilmastoinnin yhteydessä. [4]

7 Esimerkkitapauksia yllälämpenemisestä ja tilavarauksista

7.1 Yleistä tilavarauksista

Lämpöhäviöt pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa kun tehdään tilavarauksia jäähdytyslaitteille. Jäähdytyksessä on oleellista, että ilma saadaan kiertämään. [13]

Tyypillisesti tekniset tilat suunnitellaan laitteille ottamatta huomioon lämpöhäviöitä ja jäähdytyksestä syntyvää tilantarvetta. [14]

7.2 Esimerkki: Sairaalan leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet luonnollisella ilmanvaihdolla

Sairaalan kuvansiirtojärjestelmällä on tiukat laatuvaatimukset. Leikkaussalissa tapahtuva toimenpide saattaa tapahtua AV-tekniikan välityksellä saatavan informaation varassa. AV-tekniikalla tarkoitetaan audiovisuaalista tekniikkaa. Tekniikalta vaaditaan tarkkuutta, moitteetonta värierottelua ja mahdollisimman pientä viivettä. [13]

Tässä esimerkkitapauksessa leikkaussalin AV-tilassa lämpötila nousi liian korkeaksi. Aluksi jäähdytysratkaisuna oli ainoastaan oven alaosassa sijaitseva reikä. Lisäksi ongelmana oli tilanpuute.

Tilassa sijaitsevat komponentit tuottavat yli 1 kW verran häviölämpöä (Taulukko 7). Laitteiden toimimattomuus riskeerisi potilasturvallisuuden ja tulisi lisäksi erittäin kalliiksi: komponenttien yhteishinta yli 100 000e.

Sairaalassa potilasturvallisuus on kaiken keskiössä. Kaikki kuvansiirto menee tilan läpi. Järjestelmän täytyy olla täysin käyttövarma. [14]

Ratkaisu: päädyttiin ritiläoveen, jotta ilma kiertäisi paremmin (kuva 8).

Taulukko 7. AV-keskuksen lämpöhäviöt [13]

Komponentit	Max Lämpöteho (W)/komponentti
OpenOR Over IP Main Unit	400
OpenOR Over IP Extension Unit A	400
Audio DSP ASHLY ne 24.24	40
Audio Amplifier Proel HPX-900	200
Wireless Mic Receiver Shure ULXD4	62,4
Barco MNA-120 ENC ANA	50
Yhteensä lämpöteho AV-keskus (W):	1152,4



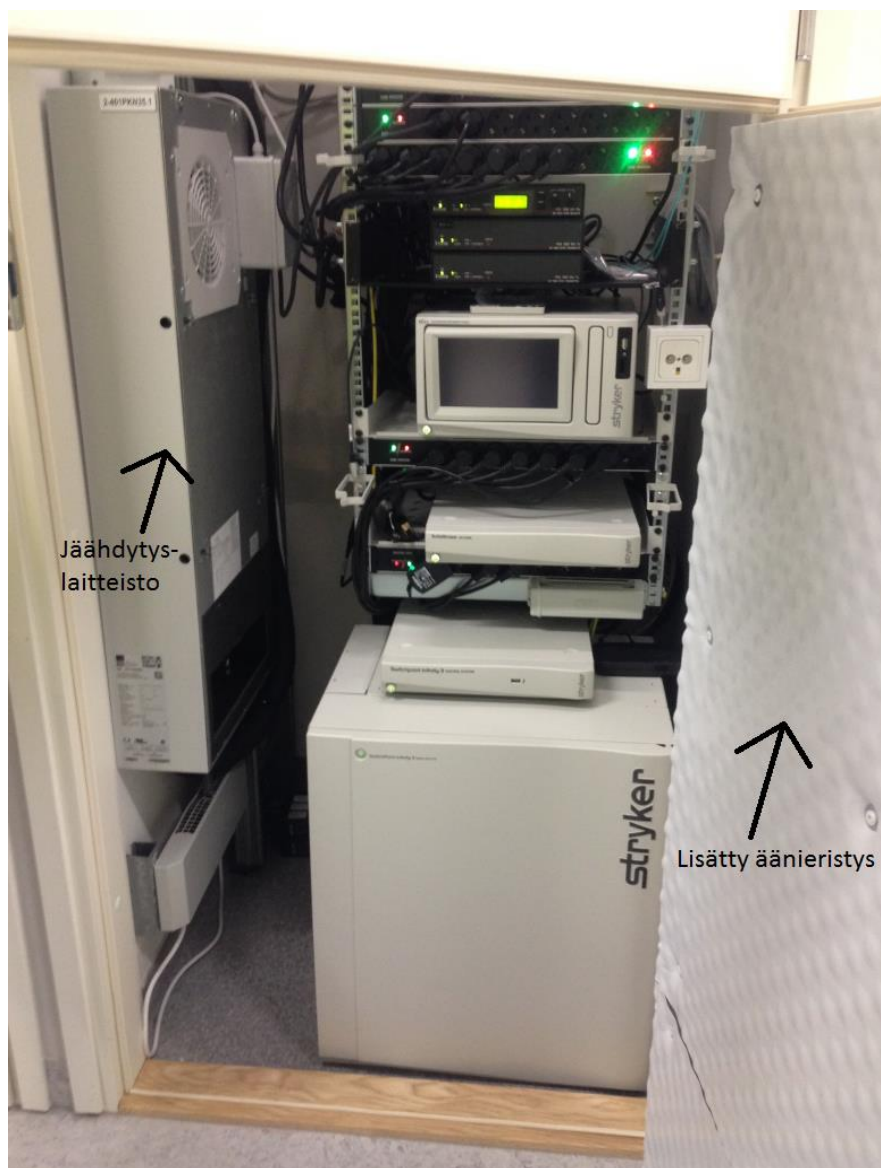
KUVA 8. Leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet ahtaassa komerossa ritiläovella. [13]

7.3 Esimerkki: Sairaalan leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet jäähdytyksellä

Kuvan tilassa on leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteisto, tällä kertaa toisessa sairaalassa. Kyseessä on sama laitteisto kuin edellisessä tilanteessa, mutta komerossa on enemmän tilaa käytettävissä. Kuvan komero kuumeni sietämättömästi ja vaaransi laitteiden toimivuuden.

Ratkaisu: Tilaan päätettiin asentaa jäähdytys.

Jäähdytyslaitteistosta lähtevä ääni häiritsi hoitohenkilökuntaa joten oven piti lisätä ääntä eristävä levy.



Kuva 9. Leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän laitteet tilavassa komeros-
sa. Tilassa on jäähdytys sekä äänieristetty ovi. [13]



Kuva 10. Leikkaussalin kuvansiirtojärjestelmän tilan yläosa. Lämpötila on hyväksyttävä +25 °C. [13]

8 Yhteenveto

Tämän insinööriyön ensisijainen tavoite oli selvittää sähköteknisissä tiloissa syntyvien lämpöhäviöiden suuruusluokkaa ja miten sähkösuunnittelija pystyy vaikuttamaan näiden tilojen toimivuuteen.

Teknisistä laitteista syntyy yllättävän paljon lämpöhäviöitä. Varsinkin tele-laitteiden lämpökuormat ovat suuria. Laitteiden ja teknisten tilojen korkea lämpeneminen vähentää laitteiden käyttöikää ja vaarantaa niiden toimivuuden.

Lämpöhäviöt pitää ottaa huomioon mahdollisimman aikaisin uutta tilaa suunniteltaessa. Sähkösuunnittelijan pitää aloittaa tilavarauksien suunnittelu heti kun on mahdollista. Tilavarausten laiminlyönti kostautuu tukevaisuudessa. Sähkötilojen tilavarauksien määrittelyminen on suunnittelun ensimmäisiä tehtäviä. Tilavarauksia tehtäessä on otettava huomioon laitteiden lämpöhäviöistä aiheutuva jäähdytyksen tilan tarve.

Insinööriyön lopputuloksena syntyi yhteenveto yleisimpien laitteiden aiheuttamista kuormista: ”Teknisten tilojen lämpöhäviöt – Pikaopas” joka jaetaan Granlundin sähkösuunnittelijoille. Pikaopas on tiivistelmä tästä insinööriyöstä, jossa näkyy oleelliset tiedot tyypillisimmistä tilanteista. Pikaopas tulee helpottamaan sähkösuunnittelijoiden työtä.

Lämpöhäviöissä on paljon potentiaalia jatkotutkimukselle. Esimerkiksi sairaaloissa on paljon tiloja joissa voitaisiin tehdä tarkentavia mittauksia. PoE-liittimien käyttö lisääntyy tulevaisuudessa; telelaitetiloissa syntyviä lämpöhäviöitä voisi tutkia tulevaisuudessa lisää.

Lähteet

1. Pentti Inkinen ja Jukka Tuohi 1999, Momentti 1 Insinöörifysiikka
2. ST 53.62: Sähkölaitteistojen lämpökuvaus
3. ABB Strömberg MD Suunnitteluopas: Ympäristöolot, sähkötilat ja kiskosillat
4. ST 53.61: Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys
5. ABB Tekninen opas nro 4: Nopeussäädettyjen käyttöjen opas
6. Benjam Lytz, johtava asiantuntija, Granlund oy
7. Ville Sipilä, Insinööriyö: Yleiskaapelointijärjestelmän sovellukset toimisto- ja liikekiinteistöissä
8. ST 681.01: Laitteiden tehonsyöttö yleiskaapeloinnin parikaapelia käyttäen
9. ISO/IEC 29125: Telecommunications cabling requirements for remote powering of terminal equipment
10. SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset
11. Helsingin Energia: Muuntamotilan suunnittelu- ja rakentamisohje
12. Aki Väänänen, Ryhmäpäällikkö, Granlund oy
13. Markku Myllys, Ryhmäpäällikkö, AV- ja esitystekniikka, Granlund oy
14. Pekka Tiitto, Ryhmäpäällikkö, Granlund oy
15. SFS 3209: Jakokeskus- ja teletilat sekä johtotiet

16. ST 23.32: Rakennusten energiatehokkuusvaatimusten huomioonottaminen sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien suunnittelussa
17. Rittal, The Rittal technology library 2014: Enclonsure and proses cooling

Teknisten tilojen lämpöhäviöt – Pikaopas

Tila	Maksimi lämpötila	Minimi lämpötila	Käyttö-lämpötila	Huomautuksia	Ylipaine	Suodatus-tarve
Pääkeskus-tila	40 °C	5 °C	15...25 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Kaapelitilat tai vastaavat	40 °C	5 °C	10...30 °C	Kaapelien kuormitus!		huom. 6
Moottorigeneraattoritila	35 °C	5 °C	10...30 °C			huom. 6
Akustotilat	25 °C	15 °C	20 °C	SFS-EN 50272-2		huom. 6
UPS-tilat	30 °C	15 °C	20 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Automaatiotilat yleensä	25 °C	15 °C	20 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Tietokonetilat yleensä	25 °C	18 °C	22 °C	toleranssi yksi aste	huom. 3	huom. 4 tai 5
Inverteri- ja tasavirtakäytöt	25 °C	15 °C	18...22 °C		huom. 3	huom. 4 tai 5
Erillinen kompensointitila	40 °C	5 °C	15...25 °C			huom. 4 tai 5

Tilojen sallitut lämpötilat.

Lämpöhäviöt pitää ottaa huomioon suunnitteluvaiheessa kun tehdään tilavarauksia.

Suurjännitteellä kuormitusvirta on yleisesti paljon pienempi kuin nimellisvirta. Lämpöhäviöt riippuvat pääasiassa virrasta, joten ne tulee muuntaa todellisen kuormitusvirran mukaisiksi. Lämpöhäviöt muuttuvat kuormitusvirran neliön mukaan.

Muuntajatilat:

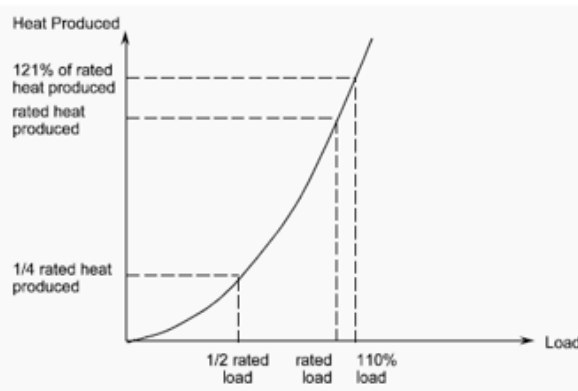
Muuntajien kuormitushäviöt pienenevät suhteessa kuormitusvirran neliöön. Vastaavasti kuormitushäviöt kasvavat suhteessa kuormitusvirran toiseen potenssiin. Muuntajan kuormituksen pienentyessä puoleen, pienenevät kuormitushäviöt neljäsosaan. Jos kuormitus kaksinkertaistuu, kasvavat kuormitushäviöt nelinkertaisiksi.

Eristysneste O1 (mineraaliöljy)			Kuivamuuntajat	
kVA	P ₀ kW	P _k kW	P ₀ kW	P _k kW
315	480	3550	1000–1150	4200–4600
400	580	4300	1150–1200	4700–5500
500	700	5000	1400–1500	6300–7000
630	820	5900	1600–1650	7000–7800
800	1020	7150	1900–2100	9350–9400
1000	1130	8850	2250–2300	10950–11000
1250	1380	9700	2700–2900	11200–13500
1600	1650	12200	3050–3100	12500–16000
2000	1900	14600	4000–4200	15500–19500

Muuntajien likimääräisiä häviöarvoja

P₀ = tyhjäkäyntihäviöt [kW]

P_k = kuormitushäviöt [kW] nimelliskuormalla



Lääkintäsuojaerotusmuuntaja (LSEM) esim:

Tyypillisesti G2-luokantila kuten leikkaussali tarvitsee yhden 5,5 ja yhden 7,5kVA LSEM:n.

Sähkötilan LSEM:ien lämpöhäviö laskelma:

Leikkaussalin laitekuorma (pistorasioihin liitettävät laitteet) 2,5kVA. Tämä jakaantuu kahdelle LSEMille seuraavasti 1,5kVA (7,5kVA LSEM varavoimassa) ja 1,0kVA (5,5kVA LSEM UPS-verkossa).

$$P_h \text{ (LSEM 7,5kVA)} = P_0 + P_k = 45W + (1,5/7,5)^2 * 220W = 53,8W$$

$$P_h \text{ (LSEM 5,5kVA)} = P_0 + P_k = 35W + (1,0/5,5)^2 * 200W = 41,6W$$

Arvioina voisi pitää että ko. kaksi LSEM:aa lämmittävät sähkötilaa n. 100W teholla ollessaan osakuormalla kuormitettuja.

Kojeistot

Ilmastoinnin mitoituksessa huomioidaan ainakin kesimäärin keskuksien häviötehot, jotka ovat 0,3...0,5 % jokaisen keskuksen läpimenevästä tehosta tai enintään syöttävien muuntajien kuormitushäviöiden suuruuksia. Taajuusmuuttajien ilmastointitarve on huomioitava erikseen. Taajuusmuuttajien hyötysuhde on luokkaa 0,97..0,99.

Tele ja turvalaitetilat

Turvalaitteet	Tehonkulutus enimmillään (W)	Lämpöhäviöt enimmillään (W)	Lämpöhäviöiden osuus (noin %)	Laitetiedot
Videotallennin, hybridi, 32 kameraa	250	200 (arvio)	80 %	Bosch Divar 700
Kulunvalvonnan palvelin	200	200 (arvio)	100 %	Hedengren Hedsam
Rikosiilmotinkeskus	150	100	67 %	Hedengren HHL Pro
Paloilmoitinkeskus	160	100 (arvio)	63 %	Esmi FX NET
Telelaitteet	Laitekuorma (W)	Lämpöhäviöt (W)		
Yhteisantennijärjestelmän päävahvistin	20	15 (arvio)	75 %	Laatuantenni LAKO
Äänentoistokeskus, A/B-luokan päätevahvistimilla	550	310	56 %	Bosch Plena Voice Alarm
Äänentoistokeskus, D-luokan digit. päätevahvistimilla	5000	1000 (arvio)	20 %	Bosch Praesideo
Pieni tietoliikennepalvelin tai työasema	200	200	100 %	HP ProLiant MicroServer
Palvelinkone neljällä prosessorilla	1600	1000	63 %	HP Integrity rx6600 server
Työasemakäytin, 24 porttinen	50	50	100 %	HP E2810
24 porttinen verkkokäytin, PoE	257	60	23 %	HP ProCurve 2520-24 PoE
24 porttinen verkkokäytin, PoE plus	616	250	41 %	HP E3500-24G-PoE+
VOIP keskuslaitteet (sis. palvelin)	1020	1010	99 %	Nortel Networks CS 1000M MG
UPS-laitteet	Laitekuorma (W)	Lämpöhäviöt (W)		
5 KVA On-line UPS, 100% kuorma	3500	350	10 %	Eaton 9135
5 KVA On-line UPS, akkukäyttö 100% kuorma	3500	480	14 %	Eaton 9135
10 KVA On-line UPS, 50% kuorma	4500	450	10 %	Eaton 9355
10 KVA On-line UPS, 100% kuorma	9000	720	8 %	Eaton 9355

Taulukossa on esitetty tyypillisiä tele- ja turvajärjestelmien keskuslaitteita sekä UPS-laitteita. Analogisten B-luokan transistorivahvistimien hyötysuhde on noin 50 %, joten keskuslaitteet tuottavat käytössä runsaat määrät hukkalämpöä. Uusissa D-luokan digitaalisissa vahvistimissa hyötysuhde voi olla jopa 90 %. Äänentoistokeskuksen lämpöhäviöitä määrittäessä on huomioitava myös mahdolliset kaiutinlinjojen jännitemuuttajien lämpöhäviöt, joka on luokkaa 20 % D-luokan äänentoistokeskuksen vahvistintehosta.

Tele- ja turvajärjestelmiä palvelevien UPS-laitteiden hyötysuhde on tyypillisesti noin 88- 90 %.

Parikaapelien lämpiäminen

Virrallisten parien lukumäärä	Lämpötilan nousu °C			
	Kategoria 5	Kategoria 6	Kategoria 6A	Kategoria 7
24	0,6	0,5	0,4	0,4
48	1,2	1,0	0,9	0,9
96	2,4	2,0	1,7	1,7
144	3,6	3,0	2,6	2,6
192	4,8	4,0	3,5	3,5
200	5,0	4,2	3,6	3,6
236	5,9	4,9	4,2	4,2
284	7,1	5,9	5,1	5,1
332	8,3	6,9	6,0	6,0
380	9,5	7,9	6,8	6,8
400	10,0	8,3	7,2	7,2

Taulukon arvot perustuvat asiakirjan ISO/IEC PDTR 29125 (2009-05-17) taulukkoon 4.

Lämpötilan nousu 100 kaapelin nipussa eri kategorian kaapeleilla riippuen virrallisten parien kokonaislukumäärästä. Virran suuruus on 600 mA/pari.

Esimerkki: Jos 100 kaapelin nipussa on jokaisessa kaapelissa kaksi paria käytössä 600 mA virransyöttöön (esim. PoE plus), lämpötila nousee kategorian 5 tapauksessa 5 °C, kategorian 6 tapauksessa 4,2 °C ja kategorian 6A sekä 7 tapauksessa 3,6 °C.