Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Kinnunen

Vainajakylmiön kylmätekninen suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikka
Insinöörityö
13.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Kinnunen Vainajakylmiön kylmätekninen suunnittelu 40 sivua + 1 liite 13.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	projektipäällikkö Onni Ojala yliopettaja Jukka Yrjölä

Insinöörityössä selvitetään, mitä asioita tulee ottaa huomioon vainajakylmiön kylmäteknisessä suunnittelussa. Tavoitteena oli kerätä tietoa vainajakylmiöistä, mitoituksesta ja käytännön suunnittelusta.

Työssä käydään läpi kylmäprosessia ja sen yleisempiä komponentteja ja niiden mitoittamista sekä kylmätehontarpeen laskentaa teoriassa ja suunnittelunäkökohtia vainajakylmiön suunnittelusta. Kylmätehon tarpeen laskennan avulla saadaan määritettyä tehontarve kylmiöille. Käytännön suunnittelun näkökulmasta nousi esiin kolme tärkeää asiaa: hygienia, huollettavuus ja höyrystimen sijoitus.

Perinteisessä kylmiössä höyrystin on sijoitettu kylmiön takaseinään, jolloin sen huoltamiseksi ja puhdistamiseksi joudutaan menemään kylmiöön sisälle. Vainajakylmiössä tämä aiheuttaa paljon enemmän työtä. Vainajat pitää ensiksi poistaa kylmiöstä, jossa höyrystin on, ja kylmiö täytyy myös pestä huolella ennen itse höyrystinpatterin huoltoa. Tämä johtuu siitä, että on pieni mahdollisuus altistua vainajakylmiöstä kontaminaation takia.

Erityisenä suunnitteluratkaisuna esimerkkikohteessa oli erillinen huoltotila kylmätilan ulkopuolelle. Höyrystin on sijoitettu tähän tilaan ja kanavoitu sulkupellillä varustettuun sisäänpuhallusaukkoon, josta jäähdytetty ilma puhalletaan kohti kylmähuoneen toista sivuseinää. Höyrystimen imuilmaa johdetaan kylmätilasta huoltotilaan väliseinän alaosassa olevasta sulkupellillä varustetusta aukosta. Ratkaisussa huoltamisen yhteydessä ei vainajia tarvitse siirtää kylmiöstä pois eikä pestä kylmiötä ja näin vältytään myös kylmiön turhalta lämpenemiseltä. Huoltotila täytyy kuitenkin pestä huollon yhteydessä, koska kylmiön ilmaa on myös huoltotilassa ja pinnoilla. Ratkaisulla kalman hajukaan ei vaikuta huoltotoimenpiteisiin.

Avainsanat	vainajakylmiö, vainaja, kylmiö, laskenta, höyrystin

Author Title Number of Pages Date	Ville Kinnunen Mortuary refrigerators refrigerator technical designing 40 pages + 1 appendix 13 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Designer
Instructors	Onni Ojala, Team leader Jukka Yrjölä, Principal Lecturer

The purpose of the Bachelor's thesis was to collect information and knowledge about mortuary refrigerators and matters that should take into account in designing of them. The thesis studied the cooling process and its main components, looked into the calculation of mortuary refrigeration capacity, and established the matters to be considered when designing mortuary refrigerators. The design of a sample mortuary was discussed in more detail.

It was established that hygiene, serviceability and the location of the evaporator are the three key aspects in designing mortuary refrigerators. The regular location of a the evaporator in the back wall was shown to be problematic in a mortuary refrigerator since the deceased must be moved from the cold room and the room must be cleaned before service or maintenance to prevent the small possibility of the service personnel being infected due to contamination in the cold room.

The Bachelor's thesis can be used as an introduction to mortuary refrigeration design and capacity calculations.

Keywords	mortuary, calculation, refrigeration, departed, cold room

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Kylmäsäilytys ja kylmätehontarpeen laskenta 2

2.1 Kylmäsäilytys ja pakkassäilytys 2
2.2 Laskennan perusteet 2
2.2.1 Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto 3
2.2.2 Ilmanvaihto oven kautta sekä muu ilmanvaihto 4
2.2.3 Tuotteen hengityslämpö sekä vainajavaihto 6
2.2.4 Henkilökunnan ja valaistuksen lämmönluovutus 7
2.2.5 Puhaltimet ja sulatus 8
2.3 Kylmäkoneiston tehontarve 9

3 Kylmäsuunnittelun lähtökohdat 11

3.1 Suora ja välillinen järjestelmä 11
3.2 Koneikon sijoittaminen 13
3.3 Höyrystimen ja liuospatteri sijoitus ja valinta 14
3.4 Putkistot ja asennus 20

4 Vainajakylmiön suunnittelu 22

4.1 Vainajakylmiön suunnittelun lähtökohdat 22
4.2 Höyrystimen ja liuospatterin sijoitus 23
4.3 Kompressori 27
4.4 Järjestelmän kuvaus ja kytkennät 30
4.5 Höyrystin 31
4.6 Lauhdutin 32

5 Muita suunnittelunäkökohtia 33

5.1 Tiedon kulku 33
5.2 Säilytyshäkki, laveri ja nostin 34
5.3 Vainajatorni ja vainajakuljetus 37

6 Yhteenveto 38

Lähteet 40

Liitteet

Liite 1. Vainajakylmiön ja pakkasen laskentapohja sekä yhteenveto jäähdytystehosta

Lyhenteet

EER	Energy Efficiency Ratio. Tarkoittaa samaa kuin kylmäkerroin.
EU	Euroopan unioni.
GWP	Lyhenne englanninkielisistä sanoista Global Warming Potentieal. Ilmoittaa kylmäaineen haitallisuuden ilmastolle.
HFC-kylmäaineet	Kokonaan kloorittomat hiilivedyt, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. HFC-kylmäaineilla ei ole otsonihaitallisuutta mutta kasvihuonehaitallisuus on keskitasoinen tai korkea. Esimerkiksi R404A.
Kontaminaatio	Haitallisten aineiden tai eliöiden joutuminen jonkun tai jonkin pinnalle tai johonkin tilaan.
Kylmäkerroin	Kylmäprosessin hyötysuhteesta käytetty termi.
Lautuma	Toissijainen kuolemanmerkki, jossa painovoiman vaikutuksesta punasolujen vajoamisesta johtuva violetinpunainen väritys iholla, kuolonkankeus sekä ruumiin jäähtyminen tai hajoaminen.
Vainaja	Kuolleesta ihmisestä käytetty termi.
THL	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on vainajakylmiön kylmätekninen suunnittelu. Aihe opinnäytetyöhön syntyi Ramboll Finland Oy:n kylmätekniikan johtajavalta asiantuntijalta. Vainajakylmiöt ovat elementtirakenteisia kylmiötä, joita löytyy pääsääntöisesti sairaaloista, terveyskeskuksista ja seurakunnista. Vainajakylmiön elementit kuljetetaan paikan päälle ja asennetaan. Kuvassa 1 on esimerkki elementtirakenteisesta vainajakylmiöstä. Työssä käytetään esimerkkinä Helsingin terveyden ja hyvinvointilaitoksen vainajakylmiötä. Työn tavoitteena on kerätä tietoa ja tuoda suunnittelunäkökulmia vainajakylmiön suunnittelulle. Kompressorin esimerkkimitoituksessa on käytetty saksalaisen kompressorivalmistajan Bitzerin mitoitus- ja valintaohjelmaa (Bitzer Software v.6.12.0 rev2326). Höyrystimien ja lauhduttimien mitoituksessa on käytetty Güntner Product Calculator mitoitusohjelmaa (GPC.EU 2020). Opinnäytetyöstä on rajattu putkiston mitoitus pois.

Vainajasäilytyksestä ei ole olemassa lakia tai asetusta ja ohjeetkin ovat todella suuntaa antavia. Eettisyys on isossa arvossa, mutta joissakin tapauksissa vainajien kylmäsäilytystilat on sijoitettu tilakohtaisesti lähelle jätteiden säilytystä (2, s. 10). Tässä työssä käydään läpi suunnitteluperiaatteita, joita tarkastellaan pääsääntöisesti kylmäsuunnittelun näkökulmasta, mutta otetaan huomioon myös muita näkökulmia. Perinteisessä vainajakylmiöratkaisussa on todettu olevan ongelmia höyrystimien/pattereiden huoltamisessa, tilan puutteessa ja hygieniassa. Ongelmakohtina on ollut myös tiedonkulun puute ja pahimpina esimerkkinä tiedonkulun puutteesta on ollut vainajan unohtuminen kylmäsäilytykseen moneksi kuukaudeksi sekä vainajien sekoittuminen. (11, s. 1.)

Vainajat säilytetään kylmäsäilytystiloissa kerroksittain omissa metallisissa lavereissa, kunnes omaiset ovat asioineet hautaustoimistossa ja valinneet arkun. Kuitenkin osa vainajista, joiden kuolinsyy on epäselvä tai joiden kuolemaan liittyy rikos, siirretään kylmäsäilytykseen oikeuslääketieteen tiloihin ja tämän jälkeen tehdään oikeuslääketieteellinen ruumiinavaus. Ruumiinavauksen ja tutkimuksien jälkeen vainajat siirretään kylmäsäilytykseen ruumisautolla seurakunnan omistaman kappelin yhteyteen odottamaan

hautausta. (22, s. 1.) Osa ihmisistä lahjoittaa testamentilla ruumiinsa tieteelle opetus- ja tutkimuskäyttöön (19, s. 1).

Kuva 1. Vainajakylmiö (10, s. 2).

2 Kylmäsäilytys ja kylmätehontarpeen laskenta

2.1 Kylmäsäilytys ja pakkassäilytys

Kylmäsäilytyksessä lämpötila on yleensä 0...10 °C ja vainajien kylmäsäilytyksessä lämpötila on yleensä 4…6 °C. Elintarvikepakasteiden säilytyslämpötila on aina alle –18 °C, mutta vainajien pakkassäilytyksessä lämpötila on yleensä –10…–12 °C, koska vainajat eivät ole elintarvikkeita. Vainajan pakkastilat on toteutettu lämpötilalla –22 °C, koska pakkastilassa olevat vainajat saattavat olla pitkiäkin aikoja säilytyksessä. Mitoituksessa on käytetty keskimääräistä ominaislämpöä ennen jäätymistä 3,5 kJ/kg°C, koska tarkkaa tietoa vainajan ominaislämmöstä ei löytynyt. (2, s. 9.)

2.2 Laskennan perusteet

Kylmä- ja pakkastilojen kylmätehontarve tulee laskea vuorokautisen keskitehon mukaan, koska kuormitus ei yleensä jakaudu tasaisesti vuorokaudelle. Laskennassa otetaan

huomioon kohteesta poistettava kokonaislämpömäärä vuorokaudessa, joka jaetaan vuorokautisella käyntiajalla ja kerrotaan varmuuskertoimella. Päivittäisen käyntiajan valintaan vaikuttaa kohteen jäähdytyksen kuormituksen tasaisuus ja höyrystimien sulatustapa. (1, s. 34.)

Kylmä- ja pakastekylmiöiden, vainajien säilytysmäärät, tulolämpötilat, säilytyslämpötilat, pinta-alat ja tilavuudet on esitetty taulukossa 1. Vainajan tarkkaa tulolämpötilaa on vaikea tietää, joten tulolämpötila on tarkoituksella laitettu korkeaksi.

Taulukko 1. Vainajakylmiön lähtötietoja (1, s. 44).

Yhden lohkon tiedot (3m korkeus)				**Vainajavaihto**				
1		lohko		Vainajanvaihto			1000	kg/vrk
0,83	m	leveys		Vainajan ominaislämpö			3,5	kJ/kg°C
3	m	korkeus		Vainajan tulolämpö			33	°C
2,4	m	syvyys		Vainajan säilytyslämpötila			4	°C
6,0	m³	tilavuus						
Yhden lohkon tiedot (2m korkeus)								
1		lohko						
0,83	m	leveys						
2	m	korkeus						
2,4	m	syvyys						
4,0	m³	tilavuus						
Kaappien/lohkojen koot			Vainajien lukumäärä	Tilavuus m³	Seinäosan pituus	Korkeus	Katon ja lattian ala m²	Pinta-ala m²
5*6	korko 3m	Kylmiö	30	29,9	13,1	3	19,9	59,2
6*6	korko 3m	Kylmiö	36	35,9	14,8	3	23,9	68,2
7*6	korko 3m	Kylmiö	42	41,8	16,4	3	27,9	77,1
7*6	korko 3m	Kylmiö	42	41,8	16,4	3	27,9	77,1
4*6	korko 3m	Kylmiö	24	0,0	11,4	3	15,9	50,3
4*4	korko 2m	Kylmiö	16	15,9	11,4	2	15,9	38,8
2*3	korko 2m	Pakastin	6	0,0	8,1	2	8,0	24,2

2.2.1 Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto

Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto voidaan laskea kaavalla 1. Taulukossa 2 on esitetty U-arvoja erilaisille eristeille ja eristevahvuuksille. (1, s. 34.)

$$Q_1 = U * A * (T_u - T_s) * 24/1000 \quad (1)$$

jossa

Q_1 on seinämien kautta tuleva lämpökuorma (kWh/d)
U on rakenteen lämmönläpäisykerroin (W/m²°C)
A on seinämän pinta-ala (m²)
T_u on ulkolämpötila
T_s on sisälämpötila

Taulukko 2. Rakenteen U-arvoja erilaisille eristeille ja eristevahvuuksille (1, s. 34).

Paksuus	Polyuretaani	Polystyreeni	Vuorivilla	
50 mm	0,45	0,6	0,8	W/m²°C
75 mm	0,30	0,4	0,6	W/m²°C
100 mm	0,25	0,3	0,5	W/m²°C
150 mm	0,20	0,2	0,35	W/m²°C

Eristämättömän maanvaraisen lattian U-arvo on yleensä 0,7–0,9 W/m²°C

2.2.2 Ilmanvaihto oven kautta sekä muu ilmanvaihto

Ovi- ja liuskaverholla voidaan pienentää ovien kautta tapahtuvaa ilmanvaihdon kuormitusta 50–70 % (1, s. 35). Oven kautta tapahtuvasta ilmanvaihdosta syntyvä kuormitus lasketaan kaavalla 2.

$$Q_2 = k * n_i * V * \rho_s * (h_u - h_s)/3600 \quad (2)$$

jossa

Q_2 on oven kautta tapahtuva ilmanvaihdon kuormitus (kWh/d)
k on korjauskerroin (1…3)
n_i on ilmanvaihtokertojen lukumäärä /d
V on kylmiön sisätilavuus (m³)
ρ_s on kylmiön kuivan sisäilman tiheys (kg/m³), n. 1,2 kg/m³

h_u on ilman entalpia kylmiön oven ulkopuolella (kJ/kg)
h_s on kylmiön sisäilman entalpia (kJ/kg)

Bäckströmin kaavan 3 avulla voidaan määrittää kylmiön ilmanvaihtokertojen lukumäärä vuorokaudessa.

$$n_i = 70/\sqrt{V} \tag{3}$$

jossa

n on ilmanvaihto oviaukon kautta (krt/vrk)
V on kylmiön sisätilavuus (m^3)

Kaava 3 antaa pienissä varastoissa liian pienen arvon. Alle 50 m^3:n varastojen jäähdytystehontarve kannattaa yleensä aina laskea kokemusperäisten tehontarvekäyrästöjen tai taulukoiden avulla. (4, s. 25)

Pakkasvarastointi ei vaadi koneellista ilmastointia eikä sitä saa asentaakaan huurtumisongelman takia. Jäähdytetyt työtilat, joissa työskennellään, varustetaan ilmavaihtolaitteilla normaalien suunnitteluperiaatteiden mukaisesti. Vähimmäisilmavirta on tällöin 4 l/s / hlö, tai mikäli ei ole henkilökuormitusta tiedossa, vähintään 1 l/s /m^2. Pitkäaikaisvarastoinnissa, joissa ei työskennellä, tulkinta on usein, että vähimmäispoistoilmavirta on 0,2 l/s /m^2. Suomessa rakentamismääräyskokoelman osa D2 edellyttää yli 4 m^2:n kaupan, ruokaloiden ja ravintoloiden kylmätiloilta poistoilmavirtaa 0,35 l/s m^2. (4, s. 32)

Vainajakylmiöt ovat kuitenkin huomattavasti pienempiä kuin elintarvikkeiden säilyttämiseen tarkoitetut varastot, joten niissä ja pienissä varastoissa ovien avauksissa tapahtuva ilmanvaihto riittää käytännössä huolehtimaan tarvittavasta ilmanvaihdosta. Toisaalta, jos vainajakylmiöt ovat isompia kuin 50 m^3, kannattaa kylmiöistä tehdä hieman alipaineisia. Eli poistoilmavirran määrän tulisi olla suurempi kuin tuloilmavirran, jotta vainajista lähtevä haju ei leviä muihin tiloihin.

2.2.3 Tuotteen hengityslämpö sekä vainajavaihto

Tuotteet kuten hedelmät, vihannekset ja marjat jatkavat vielä kypsymistään kylmäsäilytyksessä, joten niille tulee laskea hengityslämmön kuormitus. Kylmä- sekä pakastevarastoissa, joissa säilytetään liha-, pakaste- tai pakattuja tuotteita, ei tarvitse hengityslämmön kuormitusta ottaa huomioon, sillä kyseiset tuotteet eivät luovuta hengityslämpöä. Sama mitoitusperiaate koskee myös vainajakylmäsäilytystä. Tuotteiden hengitys tulee tarkistaa tuotekohtaisesti suuntaa-antavista taulukoista. (3, s. 30)

Vainajavaihdosta aiheutuvaa kuormitusta laskettaessa tulee tietää vainajavaihdon määrä vuorokaudessa. Tämän tiedon puuttuessa voidaan käyttää taulukon 3 oletusarvoja. Laboratoriokoordinaattori Pulliaisen (2) mukaan THL:n vainajakylmiöiden vaihtomäärä on 10 vainajaa päivässä ja yhden vainajan keskimääräinen massa on 100 kg.

Taulukko 3. Eri varastotyyppien tuotevaihdon oletusarvoja (1, s. 36).

Varastotyyppi	Tuotevaihdon oletusarvo (kg/m²)
Talouskellari	6
Kylmävarasto	50
Tukkuvarasto	100-150

Varastoitavien tuotteiden tietojen puuttuessa voidaan tuotteen ominaislämpönä käyttää taulukon 4 oletusarvoja.

Taulukko 4. Tuotteiden oletusarvoja ominaislämpökapasiteetille sulana ja jäätyneenä (1, s. 36).

Tuotteen lämpötila	Ominaislämpö (kJ/kg°C)
Ennen jäätymistä	3,5
Jäätymisen jälkeen	1,7

Vainajavaihdosta aiheutuva kuormitus lasketaan kaavalla 4 (1, s. 36). Huomioitavaa on myös se, että normaali varasto ja vainajakylmiö ei ole koskaan esijäähdytystila eikä pakastustila.

$$Q_3 = m_v * c_\mathrm{p} * (T_\mathrm{t} - T_v)/3600 \qquad (4)$$

jossa

Q_3 on vainajavaihdon aiheuttama kuormitus (kWh/d)
m_v on vainajavaihto (kg/d)
c_p on vainajan ominaislämpö (kJ/kg°C)
T_t on vainajan tulolämpötila (°C)
T_v on vainajan säilytyslämpötila (°C)

2.2.4 Henkilökunnan ja valaistuksen lämmönluovutus

Henkilökunnan aiheuttama lämpökuormitus voidaan laskea kaavalla 5 (1, s. 37).

$$Q_4 = n * \Phi_{hlö} * t \tag{5}$$

jossa

Q_4 on henkilökunnan aiheuttama kuormitus (kWh/d)
n on henkilömäärä (kpl)
$\Phi_{hlö}$ on henkilön lämmönluovutus (kW/kpl)
t on työskentelyaika (h/d)

Henkilökunnan lämmönluovutus voidaan myös määrittää taulukon 5 oletusarvoilla. Henkilökunnan työskentelyaikaa vainajakylmiössä on vaikeaa arvioida, koska esimerkiksi isommissa kylmiöissä ovea pidetään auki työskentelyaikana, jotta henkilökuntaa ei alkaisi ahdistamaan ollessaan suljetussa tilassa vainajien kanssa. Ovia joudutaan availemaan myös paljon, jos ollaan etsimässä jotain tiettyä vainajaa.

Taulukko 5. Keskimääräiset lämmönluovutusarvot henkilöä kohden eri huonelämpötiloissa (1, s. 37).

Huonelämpötila (°C)	Lämmönluovutus henkilöä kohden (kW/hlö)
10	0,2
0	0,3
–20	0,4

Valaistuksen aiheuttama lämpökuormitus riippuu valaisintyypistä ja valaistustehosta. Valaistuksen yksikkö on (W/m²), joka pystytään määrittämään eri lampputyypeille muuttamalla niiden luksimäärät (lux) taulukossa 6 olevien kertoimien avulla. Loistevalojen lämpökuorma on yleensä 15–30 W/m². (3, s. 31; 4, s. 47)

Taulukko 6. Eri valaisintyyppien muuntokertoimia (1, s. 37).

Valaisintyyppi	Kerroin
Hehkulamppu	0,5
Loisteputki	0,05

Valaistuksen lämpökuorma voidaan määrittää kaavalla 6 (1, s. 37).

$$Q_5 = A * P_v * t_v / 1000 \tag{6}$$

jossa

Q_5 on valaistuksen aiheuttama kuormitus (kWh/d)
A on kylmiön pohjanpinta-ala (m²)
P_v on valaistusteho (W/m²)
t_v on valaistuksen käyttöaika (h/d)

2.2.5 Puhaltimet ja sulatus

Puhaltimien lämpökuormaa muodostuu höyrystimien puhaltimista. Puhaltimen verkosta ottama sähköteho muuttuu kokonaan lämmöksi, koska puhallin saattaa ilman molekyylit liikkeelle ja niiden välinen hankauskitka lämmittää ilmaa. Puhaltimien aiheuttama lämpökuorma voidaan laskea kaavalla 7. (4, s. 54)

$$Q_6 = n * P * t \tag{7}$$

jossa

Q_6 on puhaltimien aiheuttama kuormitus (kWh/d)
n on puhaltimien lukumäärä (kpl)

P on puhaltimien verkosta ottama teho (kW)
t on puhaltimien käyntiaika (h/d)

Höyrystimet tarvitsevat sähkösulatusta, koska niiden pintaan muodostuu jäätä. Sulatuskertoja on yleensä 2–4 kpl ja sulatusaika 15–30 minuuttia kerralla. Sähkösulatuksella lämpökuorma on n. 30 % sulatusvastuksien ottamasta sähköenergiasta. Sähkösulatuksen aiheuttama kuorma voidaan laskea kaavalla 8. (4, s. 59)

$$Q_7 = 0{,}3 * P_s * t_s \tag{8}$$

jossa

Q_7 on sähkösulatuksen aiheuttama kuormitus (kWh/d)
P_s on sulatusvastuksien ottama teho (kW)
t_s on sulatusaika (h/d)

2.3 Kylmäkoneiston tehontarve

Jäähdytettävän tilan kokonaislämpökuorma saadaan laskemalla kaikki edellä mainitut lämpökuormat yhteen. Mikäli jäähdyttävässä tilassa on kosteuskuormia, niitä tulee tarkastella tapauskohtaisesti.

$Q_{kok} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$

Kokonaislämpökuormassa tulee huomioida vielä laskennassa olevia epävarmuustekijöitä. Esimerkiksi tavaranvaihto voi olla arvioitua suurempi tai tuotteet voivat tulla arvioitua lämpimämpänä. Näitä epävarmuustekijöitä otetaan huomioon varmuuskertoimella, joka on arvojen 1,1–1,3 välillä. Tämän lisäksi tulee ottaa huomioon myös kylmäkoneiston käyntiaika. Vuorokautisen käyntiajan valintaan vaikuttaa lähinnä se, kuinka tasainen jäähdytettävän kohteen kuormitus on ja kuinka höyrystimien sulatus toteutetaan. (1, s. 40.) Taulukossa 7 on esitetty yleisiä vuorokautisia käyntiaikoja.

Taulukko 7. Vuorokautisia käyntiaikoja kylmä- ja pakastetiloille (1, s. 40).

Huonelämpötila 2…6°C, sulatus ilmalla	Käyntiaika h/vrk
Luonnollisen ilmankierron höyrystimet	14-16 h/vrk
Puhallinhöyrystimet	16 h/vrk
Huonelämpötila alle 2°C, sulatus sähköllä tai kuumakaasulla	
Kylmävarastot (sähkösulatus)	16-18 h/vrk
Kylmävarastot (kuumakaasusulatus)	18-20 h/vrk
Pakastevarastot (sähkösulatus)	18-20 h/vrk
Pakastevarastot (kuumakaasusulatus)	20-22 h/vrk

Kylmäkoneiston yhteenlaskettu jäähdytystehontarve voidaan laskea kaavalla 9 (1, s. 40).

$$\phi = Q_{\mathrm{kok}} * k * t_{\mathrm{k}} \tag{9}$$

jossa

ϕ on jäähdytystehontarve (kW)
Q_{kok} on varaston/kylmiöiden lämpökuorma (kWh/d)
k on varmuuskerroin (yleensä 1,1-1,3)
t_k on koneiston käyntiaika (h/d)

Taulukossa 8 esitetään laskentapohja, jota hyödynnettiin vainajakylmiöiden kylmätehon määrittämiseen. Laskentapohjassa on mukana myös vainajien pakkastila. Laskentapohja perustuu edellä mainittuihin laskentakaavoihin. Vainajakylmiöiden laskentapohja on tämän työn liitteenä 1.

Taulukko 8. Kylmätehon laskentapohja vainajakylmiöistä (1, s. 41).

Seinämien lämpövuodot				**Valaistus**															
Seinän U-arvo		W/m²°C		Valaistusteho		W/m²		**Seinämien lämpövuoto**		Q1=U*A*(Tu-Ts)*24h/vrk/1000									
Tu seinämän ulkopuolinen lämpötila		°C		Valaistuksen käyttöaika		h/vrk													
Ts tavoitelämpötila		°C							Q1=	Seinämien kautta tapahtuva lämpöhäviö									
Seinäosan pituus		m		**Laitekuorma (trukki tai pinoamisvaunu)**					U=	Rakenteen u-arvo									
Huonekorkeus		m		Laitteiden yhteisteho		kW			A=	Seinämän pinta-ala									
Seinien pinta-ala		m²		Käyttöaika		h/vrk			Tu=	Ulkolämpötila									
Katon ala		m²							Ts=	Sisälämpötila									
Lattian ala		m²		**Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä**															
Tilavuus		m³		Varastoitava kokonaistuotemäärä		kg													
Rakenteiden kautta tuleva lämpökuorma		kWh/vrk		Tuotteen hengityslämpö		kJ/kg/vrk													
Oven kautta tuleva lämpökuorma				**Puhaltimet**															
Oven avaamiskerrat		krt		Puhaltimien yhteisteho		kW													
Korjauskerroin (kokemusperäinen 1-3)				Puhaltimien käyntiaika		h/vrk			**Paksuu**	**Polyureta**	**Polystyree**	**Vuorivilla**							
Kylmiön sisäilman tiheys		kg/m³							**50 mm**	0,45	0,6	0,8	**W/m2°C**						
Kylmiön sisäilman entalpia		kJ/kg		**Sulatusvastuksien lämpökuorma**					**75 mm**	0,3	0,4	0,6	**W/m2°C**						
Ilman entalpia kylmiö oven ulkopuolella		kJ/kg		Sulatusvastuksien teho		kW			**100 mm**	0,25	0,3	0,5	**W/m2°C**						
Ilman ominaislämpökapasiteetti		kJ/kgK		Sulatusaika		h/vrk			**150 mm**	0,2	0,2	0,35	**W/m2°C**						
Oven kautta tuleva lämpökuorma		kWh																	
				Koneiston kylmätarve															
Koneellisen ilmanvaihdon kuormitus				Varmuuskerroin (1,1-1,3)															
Ilmanvaihdon ilmavirta l/s/m²		m³/s		Koneiston käyntiaika		h/vrk													
Vainajavaihto				**Tiedot yhteenveto**					Yhden lohkon tiedot (3m korkeus)										
Vainajanvaihto		kg/vrk								1		lohko							
Vainajan ominaislämpö		kJ/kg°C		Kylmäpaneelien kokonais ala		m²				0,83	m	leveys							
Vainajan tulolämpö		°C		Kylmävaraston tilavuus		m³				3	m	korkeus							
Vainajan säilytyslämpötila		°C		Seinämien lämpövuoto		kWh/vrk				2,4	m	syvyys							
				Lattian lämpövuoto		kWh/vrk				6,0	m²	Tilavuus							
Henkilöiden aiheuttama kuormitus				Oven kautta tuleva lämpökuorma		kWh/vrk													
Henkilömäärä		kpl		Koneellisen ilmanvaihdon kuormitus		kWh/vrk													
Lämmönluovutus		kW/hlö	(+4°C)	Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä		kWh/vrk			Yhden lohkon tiedot (2m korkeus)										
Työskentely aika		h/vrk		Tuotevaihto		kWh/vrk				1		lohko							
				Henkilöiden aiheuttama kuormitus		kWh/vrk				0,83	m	leveys							
				Valaistus		kWh/vrk				2	m	korkeus							
				Puhaltimet		kWh/vrk				2,4	m	syvyys							
				Laitekuormitus		kWh/vrk				3,98	m²	Tilavuus							
				Sulatusvastusten lämpökuorma		kWh/vrk													
				YHT		kWh/vrk													
				Kylmätehontarve		kW													
				Kylmäkoneiston kokonaistehontarve		kW													

3 Kylmäsuunnittelun lähtökohdat

3.1 Suora ja välillinen järjestelmä

Jäähdytys- ja kylmäjärjestelmät jaetaan yleensä suoriin ja välillisiin järjestelmiin. Suorassa jäähdytysjärjestelmässä lämpöä siirretään höyrystimen kautta suoraan kylmäaineeseen, kun taas välillisessä järjestelmässä lämpö siirretään lämmönsiirtimen kautta väliaineeseen ja sen jälkeen väliaineesta höyrystimen kautta kylmäaineeseen. Suorat jäähdytysjärjestelmät jaetaan yleisesti ottaen kuiva- ja märkähöyrysteisiin järjestelmiin. Märkähöyrystysjärjestelmä voidaan vielä jakaa painovoima- ja pumppukiertoiseen höyrystykseen. Lauhdutusjärjestelmät voivat myös olla joko suoria tai välillisiä. Järjestelmää valittaessa otetaan hankinta- ja käyttökustannusten lisäksi huomioon eri järjestelmien edut ja haitat. Taulukoissa 9 ja 10 on eritelty suorien ja välillisten järjestelmien yleisesti tunnetut hyödyt ja haitat.

Taulukko 9. Suoran jäähdytysjärjestelmän hyödyt ja haitat (5, s. 8).

Suora jäähdytysjärjestelmä	
Edut	**Haitat**
Korkea höyrystymislämpötila Pienet putkikoot Usein halvempi hankintahinta välilliseen järjestelmään verrattuna Höyrystimien sulatus on helppoa Höyrystin- ja huonekohtainen säätömahdollisuus Hyötysuhde on usein parempi kuin välillisessä järjestelmässä, koska korkeampi höyrystymislämpötila	Kylmäainetäytös on suuri Kylmäaineen vuotoriski suurempi kuin välillisessä järjestelmässä Öljynpalautusongelmat Korkeat käyttöpaineet putkistoissa esim., jos kylmäaineena on hiilidioksidi

Taulukko 10. Välillisen jäähdytysjärjestelmän hyödyt ja haitat (5, s. 10).

Välillinen jäähdytysjärjestelmä	
Edut	**Haitat**
Helppo huollettavuus Pieni kylmäainetäytös ja vuotoriski Ei öljynpalautusongelmia Helppo laajennettavuus ja muunneltavuus Voidaan hyödyntää vapaajäähdytystä Matalat liuosverkoston käyttöpaineet Kaikki kylmäaineen kanssa tekemisiin joutuvat laitteet sijaitsevat konehuoneessa Ei teknisiä rajoituksia jäähdytettävien kohteiden etäisyydelle konehuoneesta	Ylimääräinen lämpötilaero Suuret liuosvirrat Usein kalliimpi hankintahinta suoraan järjestelmään verrattuna Hitaampi sulatus suoraan järjestelmään verrattuna Suuret pumput ja putket eristyksineen Huonompi hyötysuhde kuin suorassa järjestelmässä eli suurempi energiankulutus

Suoran ja välillisen järjestelmän valinnan lisäksi on hyvä myös ottaa huomioon kylmäaineiden ympäristövaikutukset. F-kaasuasetuksen (EU 517/2014) seuraava vaihe astui voimaan 1.1.2020. Asetus kieltää pistotulppaliitännäisissä sekä erilliskoneistollisissa ammattikylmälaitteissa HFC-kylmäaineet, joiden GWP-arvo ylittää 2 500. Esimerkki tällaisesta kylmäaineesta on R404A, jonka GWP-arvo on 3 922. (6, s. 15.)

Ympäristösyistä haitallisten kylmäaineiden vähentäminen on ollut tärkeässä roolissa jo monta vuotta. Tämän lisäksi on kehitetty uusia kylmäaineita korvaamaan ympäristölle haitallisia kylmäaineita, esimerkiksi R1234ze. Jatkossa välillisten jäähdytysjärjestelmien

määrän odotetaan kasvavan entisestään kiristyvän kylmäainemääräysten sekä uusien kylmäaineiden palavuuden takia. (5, s. 2)

3.2 Koneikon sijoittaminen

Kompressorin tehtävänä laitoksessa on kylmäaineen paineen korottaminen höyrystymispaineesta lauhtumispaineeseen. Tämän paine-eron takia kylmäaine siirtyy lauhduttimesta höyrystimeen. Kompressorit voidaan jakaa rakenteen mukaan kolmeen eri malliin: hermeettinen, puolihermeettinen ja avokompressori. (16, s. 51)

Kylmä- ja pakkastiloja varten palvelemaan asennetaan yleensä omat kompressorit tai jos käytetään useampaa kompressoria, kompressorit ovat yleensä rinnankytkettynä. Yhden ja saman kompressorin perään ei tule laittaa liian monta kylmätilaa; käytännön kokemusten mukaan hyvä määrä on kolmesta neljään tilaan. Kompressorien lukumäärään vaikuttaa teho, kilpailutilanne sekä haluttu käyttövarmuus. Kompressorikoneikko sijoitetaan yleensä kohteesta ja mallista riippuen joko jalustaan, kylmiöiden päälle, konehuoneeseen tai ulkotilaan. Tehdasvalmisteiset ilmalauhdutteiset kompressorikoneikot ovat tyypillisimpiä. Ne sisältävät kompressorin, ilmalauhduttimen ja nestevaraajan. Ulos sijoittamisessa tulee huomioida ulkoilman lämpötila, talvella sekä kesällä. Kovalla pakkasella ilmalauhdutteiseen koneikkoon saattaa tulla käynnistysvaikeuksia. Kompressorin käyttöikä ulkona on yleensä aina lyhyempi kuin sisällä. Ulkona kylmissä olosuhteissa oleva ilmalauhdutteinen kompressorikoneikko on hyvä varustaa lauhdutinpaineen talviautomatiikalla, jotta varaajapaine saadaan kylmäkäynnistyksessä nousemaan riittävän nopeasti. Tällaisia varusteita ovat lauhdutinpaineen ja varaajapaineen säätöventtiilit. Kesän ongelmana taas on se, että auringon porottaessa suoraan koneistoon paineet voivat kasvaa paljon ja tämä voi aiheuttaa ongelmia lauhtumisen kanssa.

Kompressi voidaan myös eristää, jotta kampikammiossa oleva voiteluöljy ei kylmene liikaa talvella. Nestevaraaja varustetaan usein itsesäätyvällä lämmitysvastuksella ja se eristetään. Jos ilmalauhdutteinen kompressorikoneikko sijoitetaan sisätiloihin, tilan pitää olla riittävän suuri, jotta lauhdutusteho ei lämmitä tilaa liikaa. Tila pitää varustaa riittävällä ilmanvaihdolla. Yleisesti ottaen koneikon lauhdutinpuhaltimen ilmamäärän suuruinen ilmanvaihto riittää siirtämään koneikon lauhdutustehon ulos. Kylmäkonehuoneen kattoa kannattaa harkita sijoituspaikkana vain, jos hermeettisen kompressorikoneikon

moottorin nimellisteho on alle 0,55 kW. Tällöin koneikon päällä pitää olla vapaata tilaa vähintään 0,5 metriä. Lauhduttimen pitää myös varmasti saada riittävästi viileää ilmaa. Suuremmat koneikot täristävät liikaa koko huonetta ja hyllyjä. (4, s. 26)

Kuva 2. Ilmalauhdutteisia kompressorikoneikkoja (4, s. 25).

Sijoituspaikan suunnittelussa on otettava huomioon haalausreitti ja nostomahdollisuudet myös huollossa tapahtuvaa kompressorin vaihtoa tai laajennusten vaatimien lisäkoneistojen asennusta varten. Putkiston pituus vaikuttaa laitoksen hankintahintaa ja käyttövarmuuteen. Sen takia putkistot pitäisikin saada mahdollisimman lyhyiksi. Suunnitteluvaiheessa on hyvä myös varata riittävän suuri huoltotila. Kylmäkoneistojen aiheuttama äänen painetaso on kolmen metrin päästä mitattuna yleensä 70–85 dB, mikä pitää ottaa huomioon, jos ollaan suunnittelemassa konehuonetta ja sen äänieristystä. (1, s. 180)

3.3 Höyrystimen ja liuospatteri sijoitus ja valinta

Ennen ilmaa jäähdyttävän höyrystimen tai liuospatterin valintaa ja mitoitusta on valittava, käytetäänkö luonnollisen ilmankierron höyrystintä, puhallinhöyrystintä vai jäähdytyspatteria. Höyrystimen jäähdytystehoa arvioidaan kaavalla 10 (8, s. 6).

$$\phi_h = U * A * \Delta T_{ln} \qquad (10)$$

jossa

ϕ_h on jäähdytysteho (W)

U on lämmönläpäisykerroin (W/m²K)

A on lämmönsiirtopinta-ala (m²)

ΔT_{ln} on logaritminen lämpötilaero (K)

Erityyppisten höyrystimien U-arvoja on esitetty taulukossa 11.

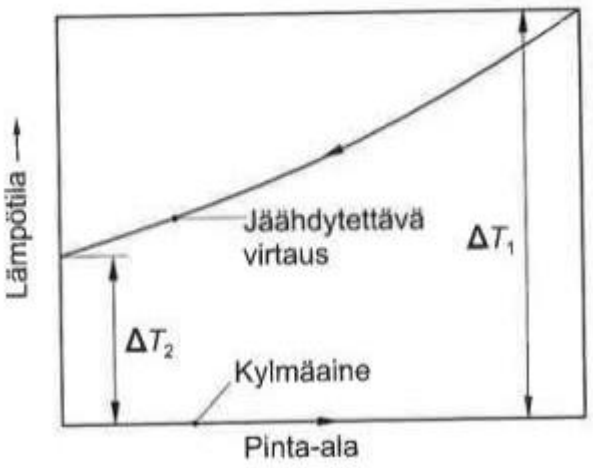
Taulukko 11. Erityyppisten höyrystimien lämmönläpäisykertoimia (9, s. 177).

Rakenne	Jäähdytettävä väliaine	U W/Km²
Levylämmönsiirrin	Vesi	800-2000
	Liuos	500-1500
Moniputkihöyrystin, sileät putket, kylmäaine vaipassa	Vesi	300-800
	Suolaliuos	250-600
Moniputkihöyrystin, rivoitetut putket, kylmäaine vaipassa	Vesi	500-1000
	Suolaliuos	400-800
Moniputkihöyrystin, sileät putket, kylmäaine sisäputkissa	Vesi	250-700
	Suolaliuos	200-500
Moniputkihöyrystin, rivoitetut putket, kylmäaine sisäputkissa	Vesi	500-1400
Pystyputkihöyrystin, sileät putket	Vesi	250-400
	Suolaliuos	200-300

Logaritminen lämpötila ΔT_{ln} voidaan laskea kaavalla 11(8, s. 6).

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \tag{11}$$

Lämpötilaerot ΔT_1 ja ΔT_2 on esitetty kuvassa 3 (8, s. 7).



Kuva 3. Yksinkertainen höyrystimen lämpötilakaavio, jossa on esitetty lämpötilaerot ΔT_1 ja ΔT_2 (8, s. 7).

Höyrystimet mitoitetaan yleisesti ottaen laitevalmistajien valinta- ja mitoitusohjelmilla, sillä höyrystimien lämmönläpäisykertoimet ovat varjeltuja liikesalaisuuksia (7, s. 104). Tästä huolimatta on yleisesti tiedossa höyrystimen mitoitusohjelmien tarvitsemia lähtöarvoja, joita ovat

- tulevan ilman lämpötila ja kosteus
- lämpötilaero ΔT_1
- lamellijako
- koko
- puhaltimet; lukumäärä, heittopituus, äänitaso, ilman jako
- sulatustapa
- kylmäaine
- vaadittava kylmäteho
- kylmäaineen kiertoluku pumppukiertoisessa höyrystimessä (1, s. 86).

Puhallinhöyrystimen valinnassa on tärkeää valita sellainen laite, jolla on riittävä ilmavirta ja ilman heittopituus sekä kohtuulliset energiakustannukset. Näiden lisäksi tavoitteena ovat käyttökohteeseen soveltuva äänitaso sekä kohtuullinen hankintahinta. Valmistajat yleensä ilmoittavat teknisissä tiedoissaan ilman heittopituutena etäisyyden, jolla höyrystimen puhaltamalla ilmalla on vielä tietty nopeus (yleensä 0,5–1 m/s). Jos ilmavirralla ei

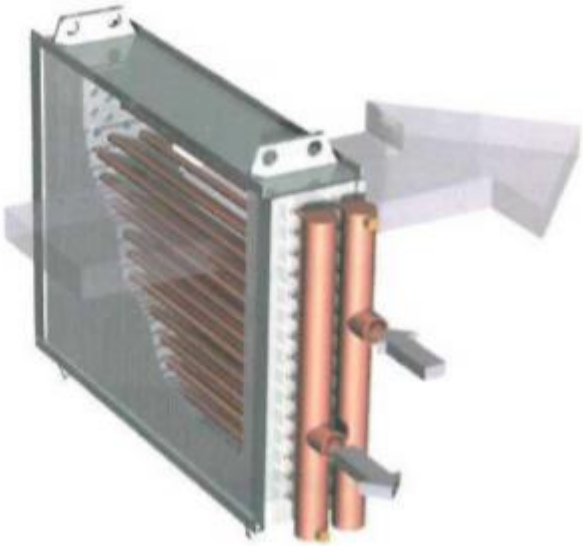
ole esteitä, voidaan olettaa, että kylmä ilma jäähdyttää riittävästi myös kylmätilan takaosaa ja haluttu lämpötila voidaan saavuttaa koko tilassa. Puhallinhöyrystintä ei saa sijoittaa suoraan oven päälle, koska puhallin imee tällöin ovesta tulevan kosteuden, joka jäätyy lämmönsiirto-osan pinnalle ja aiheuttaa lisää sulatustarvetta. Paras sijoituspaikka on vastakkaisella seinällä tai sivuseinällä siten, että höyrystimen ja seinän väliin jää vapaata tilaa vähintään 60 % höyrystimen korkeudesta. Kuvassa 7 on vainajakylmiön takaseinälle sijoitettu puhallinhöyrystin. (1, s. 181)

Kuva 4. Puhallinhöyrystin (4, s. 41).

Luonnollisen ilmankierron höyrystintä valittaessa pitää muistaa, että höyrystimen korkeus on 300–500 mm. On myös huomioitava kylmähuoneen vapaa sisäkorkeus, jonka pitää olla vähintään 2 400 mm, jotta höyrystimen ja katon väliin sekä höyrystimen alle jää riittävästi vapaata tilaa. Näin on siksi, että kylmä ilma ehtii sekoittua alapuoliseen lämpimämpään ilmaan. Staattisen ilmankierron ansiosta ilman lähtönopeus höyrystimen alapuolella on noin 0,15–0,25 m/s. Tämä myös aiheuttaa vedon tunnetta, koska pienestä ilmavirran nopeudesta johtuen lähtevän ilman alilämpöisyys on ympäristöön verrattuna suuri. Lämmönsiirtyminen staattisissa höyrystimissä on heikkoa, joten riittävän jäähdytystehon aikaansaamiseksi tarvitaan suuren alilämpöisyyden lisäksi suuri pinta-ala eli tarvitaan paljon kattotilaa. (1, s. 90)

Kuva 5. Luonnollisen ilmankierron höyrystin (4, s. 41).

Välillisen jäähdytyksen patterit ovat ulkomuodoltaan ja rakenteeltaan samanlaisia kuin luonnollisen ilmankierron höyrystimet tai puhallinhöyrystimet. Lamellilohkoissa ei ole lainkaan nesteenjakajaa, ja aina käytetään huomattavasti lyhyempiä putkireittejä, jotta painehäviö pysyisi kohtuullisena. Patterin sijoittamisessa on tärkeää, että ilma pääsee kiertämään kunnolla. Kattopalkit, hyllyt ja varastoitavat tuotteet eivät saa häiritä puhaltimen ilmavirtaa. Aivan kuten puhallinhöyrystin, ei patteriakaan saa sijoittaa suoraan oven päälle. Paras paikka on vastakkaisella seinällä tai sivuseinillä. Näin vältytään turhalta sulatuksen lisääntymiseltä. (1, s. 96) Jäähdytysjärjestelmissä halutaan yleensä päästä alle 0 °C:n lämpötilan. Tämä tarkoittaa sitä, että välillisissä jäähdytysjärjestelmässä vettä ei voida käyttää lämmönsiirtonesteenä jäätymisriskin vuoksi. Välillisissä jäähdytysjärjestelmissä käytetään kylmäliuoksena erilaisia orgaanisia nesteitä, orgaanisten vesiliuoksia ja orgaanisten suolojen vesiliuoksia. Esimerkkejä kylmäliuoksista on kalsiumkloridi, propyleeniglykoli ja freezium. (5, s. 9)



Kuva 6. Liuospatteri (4, s. 42).

Patterin sekä höyrystimen sijoittamisessa on tärkeää, että niitä voidaan korjata ja huoltaa. Tarvittaessa rakennetaan huoltotasot. Patterin ja höyrystimen päässä pitää olla niin paljon tilaa, että esimerkiksi sulatusvastukset voidaan vaihtaa ilman, että irrotetaan patteria tai höyrystintä. (1, s. 96)

Vainajakylmiöt tehdään pääsääntöisesti valmiista elementeistä, jotka on helppo koota ja asentaa paikan päällä. Eristeenä on yleensä polyuretaanilevy, jonka paksuus on 80. Pintamateriaalina eristeissä on yleensä kuumasinkitty, pulveripolttomaalattu tai ruostumaton teräslevy. Yhdistelemällä elementtejä kylmiöistä saadaan rakennettua isompia kokonaisuuksia. Perinteisissä vainajakylmiöissä puhallinhöyrystin on sijoitettu takaseinään ja kompressorikoneikko konehuoneeseen, ulkotilaan tai kylmiöiden päälle. Kylmiöissä vainajat on sijoitettu kerroksittain omille lavereille, jotka liikkuvat kiskoja pitkin pyörillä. Pienemmät vainajakylmiöt voidaan tehtaalla jo rakentaa valmiiksi ja tuoda paikan päälle valmiina kokonaisuutena. (10, s. 2)

Kuva 7. Vainajakylmiö, jossa on seinämallin puhallinhöyrystin (10, s. 3).

3.4 Putkistot ja asennus

Kylmäkoneiston putkistoissa käytetään aina puhtaita ja kuivia jäähdytyslaadun putkia. Vesijohtolaadun putkia ei saa käyttää kylmäkoneistoissa epäpuhtauksien ja pienempien seinämävahvuuksien takia. Jäähdytyslaadun putket on valmistuksen jälkeen puhdistettu ja tulpattu, jotta voidaan varmistaa, että kylmäkoneistoon ei pääse epäpuhtauksia. Tästä syystä myös putkien asennuksessa on käytettävä kuivaa typpeä suojakaasuna juottamisen yhteydessä, jos käytetään jäähdytyslaadun kupariputkea (3, s. 21).

Kylmäkoneiston putkistoa suunniteltaessa on erityisen tärkeää huomioida öljyn kierto. Öljynerottimesta huolimatta kompressorin voiteluöljyä lähtee aina jonkin verran (0,5–3 % kylmäaineen määrästä) putkistoon kylmäaineen mukana. Mikäli öljy ei palaa takaisin kompressorille sitä voi ruveta kertymään muualle laitokseen, mikä voi pahimmissa tapauksissa aiheuttaa kompressorin hajoamisen. Tästä syystä onkin tärkeää varmistaa, että öljy palaa takaisin kompressorille kylmäaineen kanssa. (3, s. 21)

Yleisimmät ja tärkeimmät asiat putkistoa suunniteltaessa ovat

- kohtuulliset painehäviöt
- putkiston kohtuullinen hinta
- öljyn palautuminen osateholla
- kylmäaineen sopiva virtausnopeus eri putkiston osissa
- riittävä virtausnopeus öljyn kuljettamiseen (1, s. 55).

Kylmäkoneiston putkistot koostuvat neljästä eri putkiston osasta: imu-, paine-, lauhde- ja nesteputkesta.

Imuputkessa matalapainenen kylmäainehöyry palaa höyrystimeltä kompressorille, jossa kompressori puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäainehöyryn lämpötila kohoaa. Tämän jälkeen kylmäainehöyry kulkeutuu lauhduttimeen, jossa se nesteytyy. Näissä kaasuputkiosuuksissa on tärkeää tarkastella öljyn kulkeutumista ja varmistaa sen palautuminen kompressorille. Öljy ei sitoudu kylmäainehöyryyn, joten sen liikkuminen varmistetaan riittävän suurella virtausnopeudella. Imuputkessa virtausnopeuden tulee olla 10–25 m/s ja paineputkessa 5–15 m/s. Tämän lisäksi öljyn kulkua edistetään kallistamalla vaakaputkistoa virtaussuuntaan päin 0,2–0,5 cm/m ja tekemällä putkinousujen kohdalle öljymutkia. Tarpeen vaatiessa tehdään kaksoisputkinousu. (1, s. 55)

Lauhdeputkessa nestemäinen kylmäaine kulkeutuu lauhduttimelta nestevaraajalle. Nestevaraajalta nestemäinen kylmäaine kulkeutuu nesteputkea pitkin paisuntaventtiilille. Kylmäaineen ollessa nestemäisessä muodossa öljy on osin sitoutunut siihen, joten näissä putkissa öljyn kulkeutuminen ei ole yleensä ongelma. (3, s. 21)

Välillisen jäähdytysjärjestelmän putkistossa on tärkeää huomioida puhtaus. Verkostoon jäävät epäpuhtaudet heikentävät kylmäliuoksen lämmönsiirtokykyä, lisäävät putkiston korroosiota ja aiheuttavat mahdollisesti vuotoja tiivistepinnoille. Liuosputkiston valmistuksessa on siis syytä kiinnittää erityistä huomiota puhtauteen. Liuosputkistossa voidaan käyttää useaa eri putkimateriaalia toisin kuin kylmäputkistossa, koska paine-, lauhde- ja nesteputkissa on paljon suurempi paine kuin liuosputkissa. Liuosputkien materiaalina voi olla kupari, teräs, ruostumaton teräs, valurauta, alumiini tai muovi. (5, s. 75)

Kylmä- ja liuosputkiston asennuksessa on huomioitava oikeanlainen eristäminen ja kannakointi. Putkistovarusteet, kuten venttiilit, säiliöt ja pumput tulee myös eristää. Kylmäeristämisessä on tärkeää, ottaa huomioon seuraavat asiat:

- kylmäeristyksessä tulee aina olla höyrysulku
- eristettävien pintojen tulee olla kuivia ja puhtaita
- kylmäeristeen saumakohtiin ei saa jäädä rakoa
- päällysteen läpivientien ja saumakohtien tulee olla tiivistettyjä ja höyrytiiviitä
- eristeen tulee olla kauttaaltaan kiinni eristettävässä pinnassa
- kylmäsiltoja tulee välttää. (5, s. 83)

4 Vainajakylmiön suunnittelu

4.1 Vainajakylmiön suunnittelun lähtökohdat

Kylmiöiden suunnittelun lähtökohtana on niiden vainajien määrän selvittäminen, jotka on tuotu THL:n kylmäsäilytykseen odottamaan ruumiinavausta tai väliaikaiseen säilytykseen. Toisena lähtökohtana on höyrystimien huoltamisen vaikeus. Höyrystimien ollessa samassa tilassa jäähdytettävien vainajien kanssa joudutaan huollon aikana vainajat ottamaan pois kylmiöstä ja pesemään kylmiö ennen huoltoa. Peseminen joudutaan tekemään hygieniasyistä, koska vainajakylmiöistä on mahdollista saada tartuntoja kontaminaation takia. (12, s. 1) Tämä on aikaa vievää. Samalla kylmiön ilman lämpötila nousee, mikä taas vaikuttaa aikaan, jolla saadaan kylmiö haluttuun lämpötilaan huollon jälkeen. Tämän lisäksi on ollut vaikeuksia saada huoltohenkilö- tai kylmäasentajaa huoltamaan höyrystimiä vainajista lähtevän kalman hajun takia. Pelkästään tieto siitä, että kyseessä on vainajakylmiö, on riittänyt huoltohenkilölle tai kylmäasentajalle kieltäytymään höyrystimen huollosta.

Vainajakylmiöt koostuvat kaapeista. Yhden kaapin leveys on perinteisesti ollut 830 mm. Koska kuitenkin ihmisten koko on kasvanut ja liikalihavuus yleistynyt viimeisten vuosikymmenten aikana, on jouduttu suunnittelemaan myös muutamia isompia kaappeja osaan vainajakylmiöitä. Näiden isompien kaappien leveys on 1 030 mm. Ihmisten koon kasvaminen ja liikalihavuus vaikuttavat kumminkin enemmän korkeussuunnassa kuin leveyssuunnassa pääsääntöisesti. Eli leveämmät kaapit on tarkoitettu todella isoille vainajille. Kaappien korkeudet ovat perinteisesti olleet 2 000 mm, mutta suunnittelulähtökohtana on optimoida vainajien säilytys, joten kaappien korkeudeksi on valittu 3 000 mm.

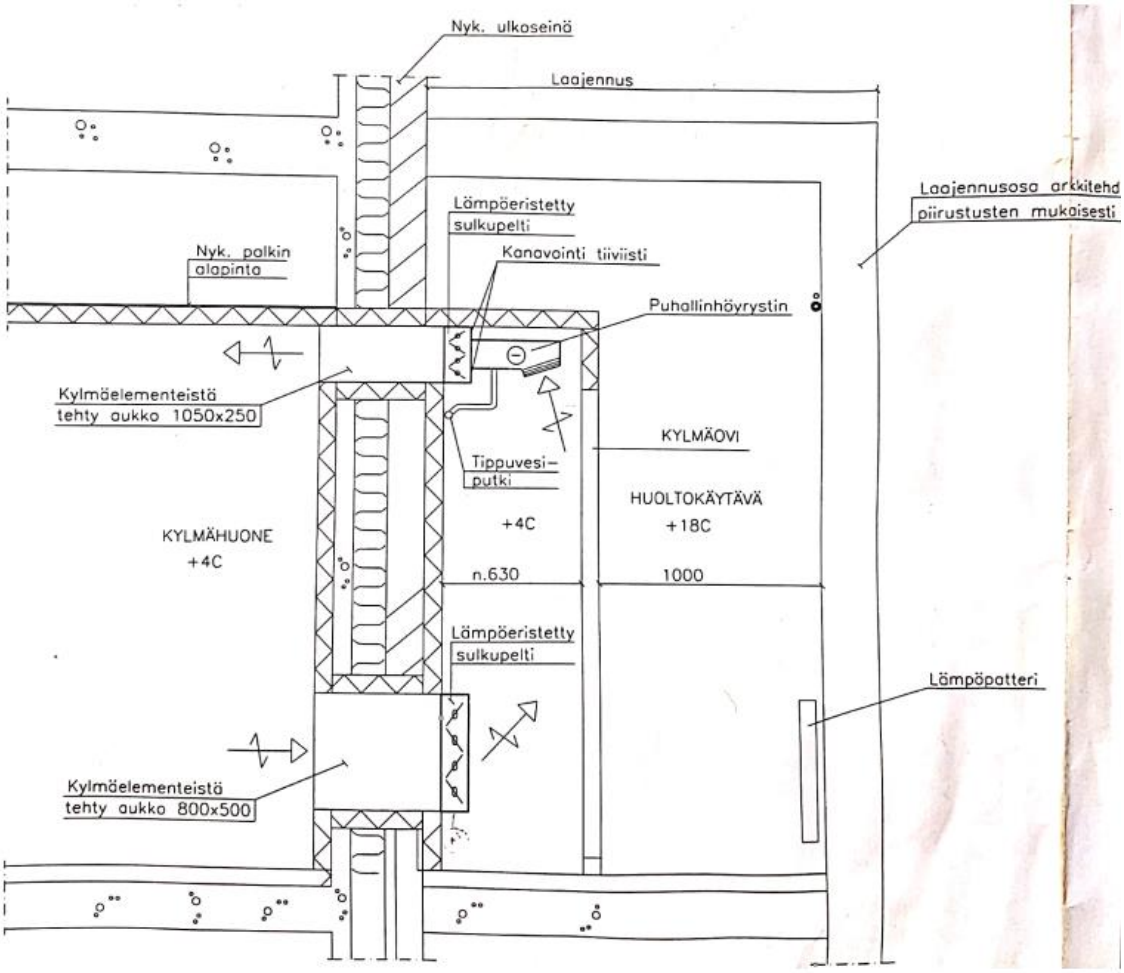
Tällöin saadaan kuusi vainajaa päällekkäin yhteen kaappiin ja tarkalla optimoinnilla saadaan jopa kahdeksan vainajaa päällekkäin. Lavereiden paikkaa korkeussuunnassa voidaan nimittäin muuttaa vainajien koon mukaan.

Vainajakylmiön suunnittelussa voidaan käyttää hyväksi kaupan kylmäjärjestelmän suunnittelua. On kuitenkin tiedostettava, että kyseessä ei ole elintarvikkeiden säilytys. Kylmätehon määrityksen kannalta on tärkeää tietää vainajien vaihtomäärät. Tämän lisäksi on huomioitava vainajien siirtelyt, ylimääräiset oven avaukset ja ovien auki pito isommissa vainajakylmiöissä muiden töiden takia. Tästä syystä tarkkaa määrää ovien avauskertoja on mahdotonta tietää. Vainajat on hyvä saada mahdollisimman nopeasti kylmäsäilytykseen lautuman takia. Tämä korostuu erityisesti, jos vainajalle ollaan tekemässä oikeuslääketieteellinen ruumiinavaus, koska kuoleman syyn selvittäminen vaikeutuu, jos vainajan ruumiiseen on ehtinyt tulla paljon muutoksia kuoleman jälkeen. Vainajakylmiöt tulee sijoittaa rakennukseen siten, että niiden sijainnit helpottavat vainajakuljetuksia ja logistiikkaa.

4.2 Höyrystimen ja liuospatterin sijoitus

Höyrystimen ja patterin sijoituksessa tulee ottaa huomioon huollettavuus, hygienia ja ilmankierto. Ilmankierrossa on hyvä ottaa huomioon vainajien sijoitus kylmiössä. Ilmankierron varmistamiseksi vainajia ei saa koskaan sijoittaa seinä- tai lattiapintaan kiinni. Seinien ja vainajien välissä on aina oltava ilmaväli, jotta kaikkien varastoitavien vainajien lämpötila pysyy samana kuin varastoilman lämpötila. (1, s. 182) Huollettavuudessa on hyvä pohtia sellaista ratkaisua, jossa huoltaminen voi tapahtua ilman, että tarvitsee mennä vainajien kanssa samaan tilaan. Tällöin vältytään vainajien siirroilta, kylmiön pesemiseltä ja kylmiön lämpenemiseltä. Myös hygienian kannalta on hyvä, jos ei tarvitsisi mennä samaan tilaan vainajien kanssa. Muutoin joudutaan vainajat siirtämään pois ja pesemään kylmiö sisältä ennen huoltoa, mikä aiheuttaa myös turhaa lämpökuormaa. Tämä johtuu siitä, että vainajista on teoriassa mahdollista saada tauteja ja tartuntoja kirjoittaa Forsius. (12, s. 1) Forsiuksen mukaan useimmat taudit menettävät tartuntakykynsä melko pian ihmisen kuoleman jälkeen, on kuitenkin joitakin taudinaiheuttajia, jotka voivat säilyä tartuntakykyisinä pitkään vainajissa. (12, s. 1) Oikeuslääketieteellistä ruumiinavausta odottavien vainajien kohdalla ei välttämättä edes tiedetä, mihin vainajat kuolivat, joten tästäkin syystä hygienia on todella tärkeää. (12, s. 39)

Esimerkkikohteessa on otettu huomioon kaikki yllä olevat asiat. Puhallinhöyrystintä varten on suunniteltu erillinen tila, jotta huoltaminen, hygienia ja ilmankierto toimisi. Huollon aikana sulkupellit suljetaan, jolloin vainajia ei tarvitse siirtää eikä kylmiötä pestä. Tästä huolimatta itse huoltotila tulee pestä ennen höyrystimen huoltoa, koska kylmiöstä on kulkeutunut ilmaa huoltotilaan ja sen pinnoille. Puhallus tapahtuu katon rajassa, jolloin saadaan ilmaa jaettua tehokkaasti ja vedottomasti. Ilman virratessa lähellä pintoja virtaus pysyy pinnan tuntumassa paine-eron vaikutuksesta, tätä ilmiötä kutsutaan Coanda-ilmiöksi. (15, s. 2) Kuvassa 8 on esitetty leikkauspiirustus esimerkkikohteen suunnitteluratkaisusta.



Kuva 8. Puhallinhöyrystimien huoltotila, periaateleikkaus. THL, oikeuslääketieteellinen laitos, Helsinki (13, s. 4).

Suunnitelmaan on merkitty, että huoltotilan sisäleveys olisi 630 mm. Tällöin myös huoltotila voidaan ottaa käyttöön, jos vainajia sattuisi tulemaan tavallista enemmän. Mahdollisen huollon yhteydessä ei tällaisessa huippukuormitustilanteessakaan tarvitse siirtää kuin muutama vainaja ja pestä huomattavasti pienempi tilakin. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty esimerkkikohteen toteutettu puhallinhöyrystimen huoltotila. Kondenssivedelle on tehty putkitus omaan kaivoon, joka sijaitsee huoltotilassa. (13, s. 10)

Kuva 9. Puhallinhöyrystin, joka on liitetty lämpöeristettyyn sulkupeltiin tiiviillä kanavoinnilla (13, s. 5).

Kuvassa 8 näkyy hyvin puhallin höyrystimen tiivis kanavointi, jotta kaikki kylmä ilma saadaan puhallettua kylmiöön. Kuvassa näkyy myös hyvin lämpöeristetty sulkupelti, jonka sulkeminen tapahtuu vain kahvaa kääntämällä. Leikkauspiirustuksesta poiketen kahdelle vainajalle on tehty varasäilytyspaikat huoltotilaan. Toisaalta mahdolliset vainajat, jotka tuotaisiin huoltotilaan säilytykseen, saattaisivat haitata ilmankiertoa, koska vainajat olisivat koko huoltotilan leveydellä olevilla omilla lavereillaan päällekkäin. Näin ollen

kylmiöstä tuleva ilma törmäisi laveriin. Takaseinällä näkyy huonetermostaatti, jolla ohjataan nestelinjan magneettiventtiilin toimintaa huone lämpötilan mukaan. Kuvassa 10 on esitetty huoltotilan lattia ja alapuolen sulkupelti.

Kuva 10. Lämpöeristetty sulkupelti, jonka kautta kylmiön ilma tulee höyrystimelle (13, s. 6).

Huoltotilan lattian rajassa näkyy kondenssivedelle tarkoitettu oma lattiakaivo. Kuvassa näkyy myös lämpöeristetty sulkupelti kylmiöstä palaavalle ilmalle. Huoltotilanteessa sulkupeltien sulkeminen tapahtuu vain kahvoja kääntämällä.

THL:n Turun toimipisteeseen höyrystimet on sijoitettu kylmiöiden kattoon. Kylmiöille on korkeutta 3,5 m. Kuvassa 11 on esitetty Turun toimipisteen höyrystimien sijoitusratkaisu.

Kuva 11. Höyrystimet katossa THL, oikeuslääketieteen laitos, Turku (2, s. 4).

Vainajakylmiöstä on tehty todella korkeita, jotta saataisiin mahdollisimman monta vainajaa säilytetty korkeussuunnassa. Höyrystimien huollon kannalta ratkaisu ei ole hyvä. Höyrystimen huoltaminen vaatii kylmiön tyhjennyksen vainajista ja kylmiön pesemisen. Yläkautta höyrystimien huoltaminen on todella vaikeaa ja hankalaa, joten huollettavuus ei ole ollut tärkeimmässä roolissa höyrystimen sijoituksessa.

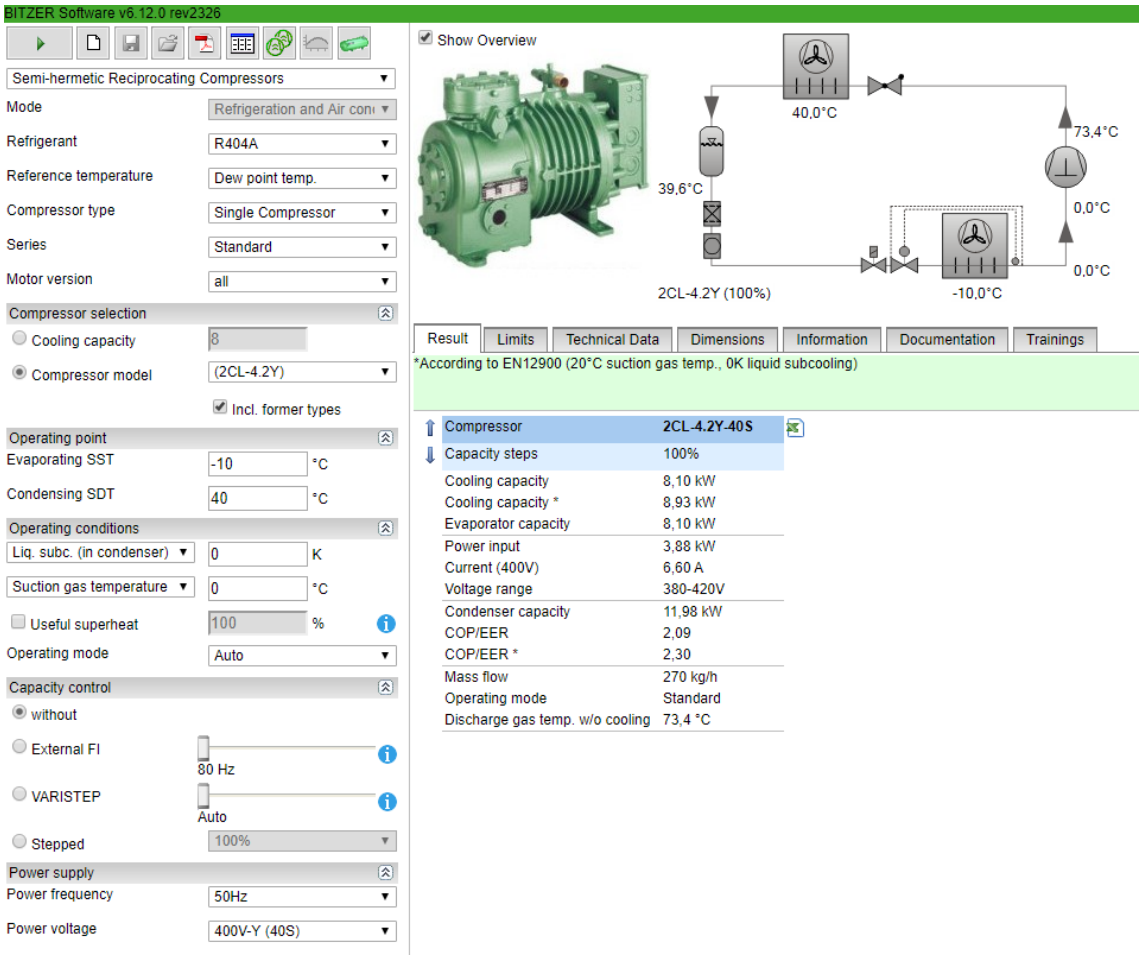
4.3 Kompressori

Kylmäkoneikko on toteutettu kahdella ristiin kytketyllä puolihermeettisellä kompressorikoneikolla. Kompressorin ohjaus toteutetaan pump-down-menetelmällä, jossa ylipainesuojauksella varustettua kompressoria ohjataan matalapainekytkimellä ja kylmäainevirtausta termostaatilla. (9, s. 384) Lämpökuormalaskennasta saadun kylmätehon

perusteella valittiin Bitzerin kompressorimitoitusohjelmalla. Aluksi haluttu kompressorityyppi. Kuvassa 11 mitoitusohjelman aloitusnäkymä. Esimerkkikohdetta voidaan verrata kaupan kylmäjärjestelmään, joissa yleensä käytetään puolihermeettisiä mäntäkompressoreja. (8, s. 39)

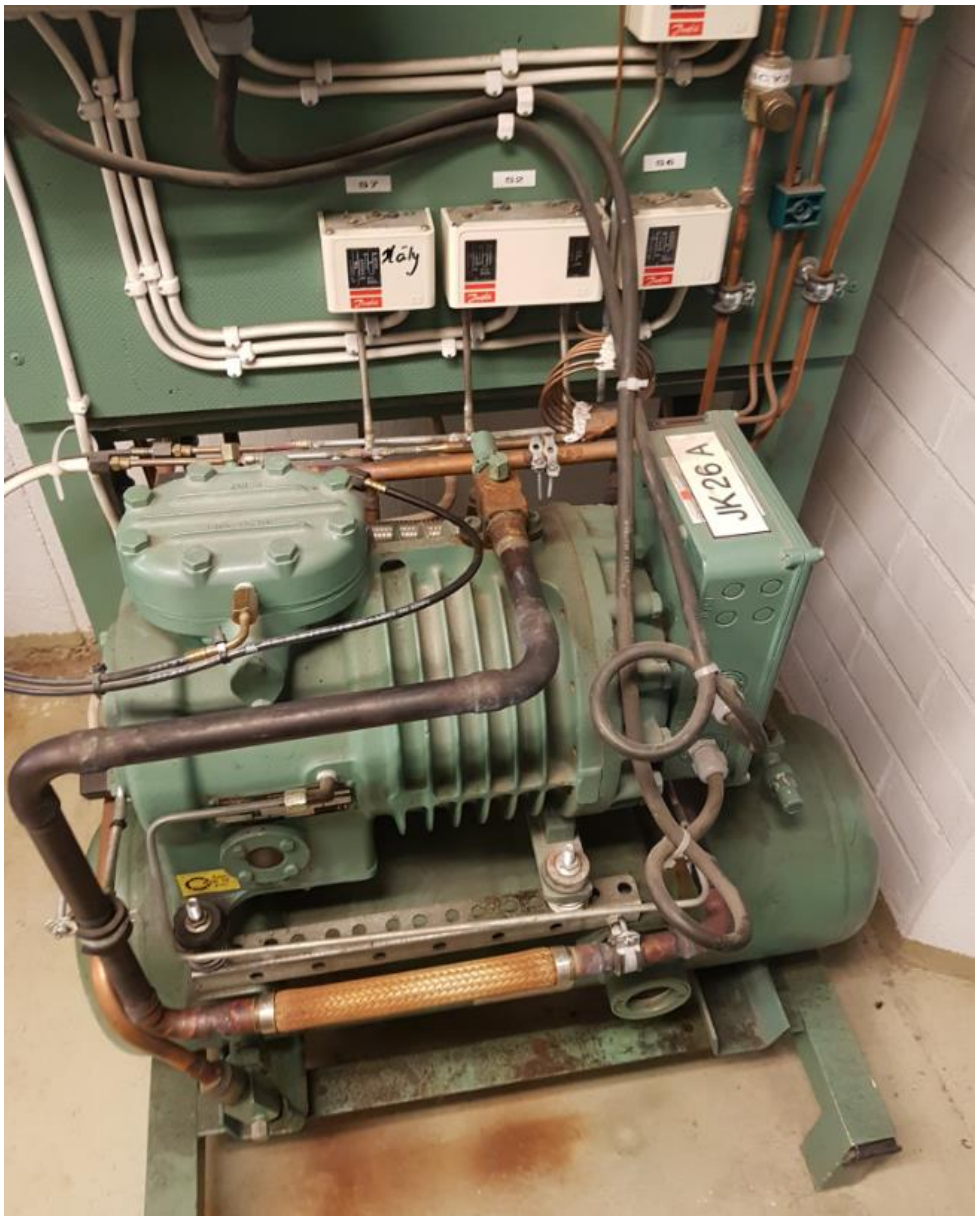
Kuva 12. Mitoitusohjelmiston aloitusnäkymä (17).

Kompressorityypin valinnan jälkeen kompressori mitoitettiin kuvan 12 mukaisesti. Mitoitus aloitetaan syöttämällä ohjelmistoon haluttu kylmäaine, kylmäteho sekä höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat. Näiden lisäksi voi ohjelmistoon syöttää myös halutun alijäähtymisen lauhduttimessa ja kylmäaineen tulistumisen ennen kompressoria. (8, s. 40).



Kuva 13. Mitoituksen lähtötiedot ja ohjelmiston ehdottama kompressorityyppi (17).

Ohjelman ehdotettu kompressori pystyy kattamaan puolet tarvittavasta kylmätehontarpeesta, joten valitaan kaksi kompressoria, joilla voidaan kattaa kylmätehontarve. Ristiin kytkennällä halutaan toimintavarmuutta mahdollisessa kompressorin vaihto/huoltotöissä. Alijäähdytystä ei pystytty kunnolla hyödyntämään esimerkkikohteessa, joten sen takia mitoitusohjelmaan laitettiin 0 K alijäähtymiseksi. Tulistukseksi sen sijaan valittiin 10 K, jotta kompressorille tuleva kylmäaine on täysin kaasumaisessa olomuodossa. Kuvassa 13 on esitetty kompressorikoneikko, joka valittiin ohjelman perusteella (8, s. 40).

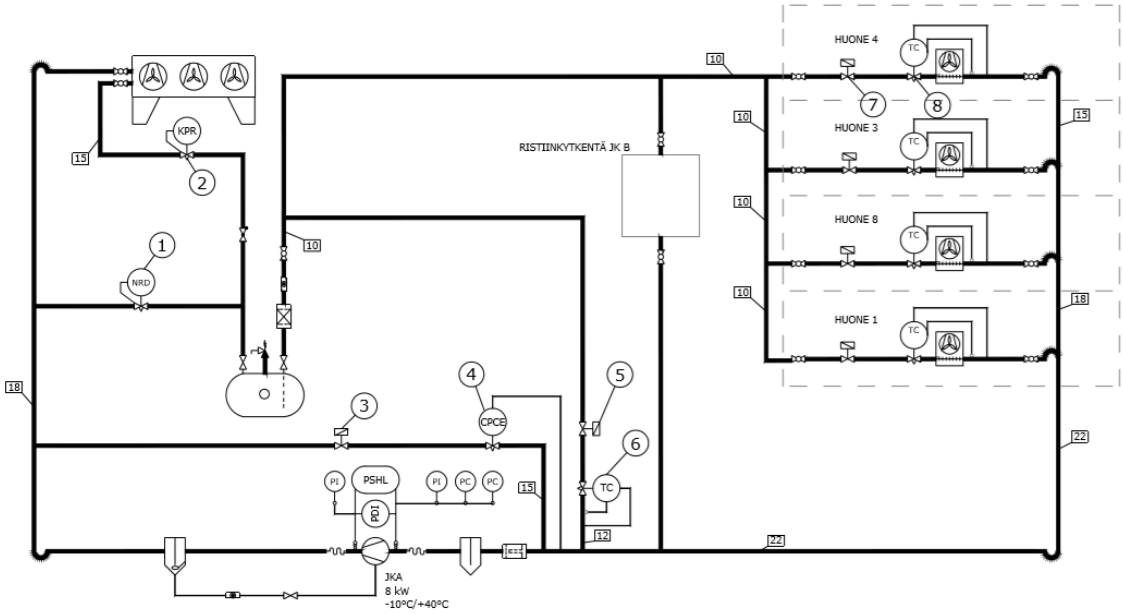


Kuva 14. Puolihermeettinen kompressorikoneikko JK A, THL, oikeuslääketieteellinen laitos (13, s. 8).

4.4 Järjestelmän kuvaus ja kytkennät

Kylmähuoneiden ja huoltotilojen jäähdytys on toteutettu siten, että neljälle huoltotilalle on yksi kylmäkoneisto, jotta voitiin säästää kuluissa. Ristiin kytkennällä haluttiin toimintavarmuutta. Jäähdytys tapahtuu suorahöyrystyksellä huoltotilojen höyrystimiin ja lauhdutus vesikatolla olevaan ilmalauhduttimeen. Esimerkkikohteeseen on toteutettu myös

pakkastila, jos vainaja tarvitaan pakastaa. Kuitenkin vainajia harvemmin pakastetaan. (3, s. 42) Jokaisessa huoltotilassa on oma höyrystin sekä termostaattinen paisuntaventtiili (8 ja 6) ja magneettiventtiili (7, 3 ja 5). Lisäksi järjestelmään tuli lauhdutinpaineen (2) ja varaajapaineen (1) säätöventtiilit, joiden avulla ylläpidetään riittävän korkeaa lauhtumis- ja varaajanpainetta läpi vuoden. (16, s. 70) Järjestelmään tuli myös kuumakaasuntehonsäätöventtiili (4), jonka avulla voidaan säätää tehontarvetta paremmin, koska tehon tarve vaihtelee vainajien lukumääräin mukaan (16, s. 71). Putkien ja venttiilien mitoituksessa on käytetty Danfoss Oy:n komponentti- ja putkimitoitusohjelmistoa CoolSelector® 2. Kuva 13 on periaatekuva kytkennöistä ja järjestelmästä. Loput neljä huoltotilaa (2, 5, 6 ja 7) ovat kylmäkoneikko JK B:n takana. Sen kytkennät ovat identtiset JK A:n kanssa.



Kuva 15. Periaatekuva kytkennöistä, THL, oikeuslääketieteellinen laitos (13, s. 7)

4.5 Höyrystin

Kompressorin valinnan ja mitoituksen jälkeen saadaan tieto, kuinka paljon kylmätehoa on käytettävissä. Saadun kylmätehon perusteella jäähdytettävät tilat on jaettu neljään eri tilaan, joita palvelevat omat höyrystimet. Höyrystimien tehoksi on valittu 2 kW. (1, s. 89.) Kuvassa 16 on esitetty mitoitusohjelmaan syötetyt lähtötiedot sekä laskennan tulokset.

Mitoitusohjelmaan annetut lähtötiedot:		
Höyrystinteho	2	kW
Tulevan ilman lämpötila	4	°C
Höyrystymislämpötla	-6	°C
Kylmäaine	R404A	
Puhallinmoottorit	1-vaihe	
Sähkösulatus	sähkösulatus lohkossa	
Tulistus	5	K
Alijäähtyminen	0	K
Laskennan tulos:		
Laitemalli	GASC RX 031.1/1-70-A-1821068M	
Laskettu teho	2,304	kW
Marginaali	15,2	%
Kylmäaine	R404A	
Ilma sisään	4	°C
Ilma ulos	0,4	°C
Ilmavirta	1130	m³/h
Höyrystymislämpötila	-6	°C

Kuva 16. Mitoitusohjelmaan syötetyt lähtötiedot sekä laskennasta saadut tulokset (13, s. 3).

4.6 Lauhdutin

Lauhduttimen mitoituksessa on tärkeää huomioida, että lauhduttimen tehontarve koostuu sekä kompressorin jäähdytystehosta että kompressorin ottamasta sähkötehosta. Lisäksi lauhduttimen mitoituksessa on otettava huomioon lauhduttimen aiheuttama äänenpainetaso, joka saa esimerkiksi asuntoalueilla ikkunoiden ulkopuolella olla korkeintaan 45 dB(A). (1, s. 81.) Kuvassa 17 on esitetty mitoitusohjelmaan syötetyt lähtötiedot sekä laskennan tulokset.

Mitoitusohjelmaan annetut lähtötiedot:		
Lauhdutustehontarve	12	kW
Tulevan ilman lämpötila	32	°C
Lauhtumislämpötila	40	°C
Kylmäaine	R404A	
Kuumakaasun lämpötila	70	°C
Äänenpainetaso	40	dB(A)
Laskennan tulos:		
Laitemalli	GCHC RD 050.2/11-36-4240470M	
Laskettu teho	12,624	kW
Marginaali	5,2	%
Kylmäaine	R404A	
Ilma sisään	32	°C
Ilma ulos	40,6	°C
Äänenpainetaso	36	dB(A)
Kuumakaasuvirta	2,92	m³/h
Kylmäaineneste ulos	39,1	°C

Kuva 17. Mitoitusohjelmaan syötetyt lähtötiedot sekä laskennasta saadut tulokset (13, s. 3).

5 Muita suunnittelunäkökohtia

5.1 Tiedon kulku

Informaation katkokset ovat olleet myös ongelmakohtana vainajasäilytyksessä. Vainajille, joille suoritetaan oikeuslääketieteellinen ruumiinavaus, on jätettävä ”samaan tilaan”, joissa tämä oli kuolinhetkellä. Tällöin suosituksen mukaan oikeuslääketieteen laitos vastaa vainajista ennen pois luovuttamista. Laitos on vastuussa vainajista, joita sen tiloissa säilytetään riippumatta siitä, onko vainajat määrätty ruumiinavaukseen vai ei. (11, s. 1) Kokemuksien mukaan laitoksessa ei olla aina tietoisia tästä. Tieto työn jakautumisesta laitoksen henkilökunnan, ulkopuolisten ja kuljetuksesta huolehtivien kesken ei ole yleisesti tiedossa (12, s. 2).

Säilytyskäytännöissä on eroavaisuuksia paikkakuntien ja yksiköiden välillä. Vainajien saapumisen kirjaamisissa on ollut eroja eri yksiköiden välillä. Joka toisessa yksikössä oli

kirjattu sähköiseen ”vainajakirjaan” vainajan saapuminen. Neljänneksessä oli sähköinen potilastietojärjestelmä kirjausta varten. Muissa yksiköissä oli vaihtelevia menetelmiä vainajan kirjaamiselle, kuten vihkoon, potilaskertomukseen tai kylmiön oveen. Muutamissa yksiköissä ei kirjata lainkaan vainajien saapumista. Perusteluina oli, että vainajien määrät ovat niin pieniä, että yksi kylmiöpaikka ja lukittu tila riittävät. Vainajien merkitseminen tapahtui yleensä joko nimilapulla nilkkaan, varpaaseen tai lakanaan tai ranneke nilkkaan. Muutamissa tapauksissa ei merkitty lainkaan tietoja vainajasta. Epämääräisiin kirjaamisiin ja merkintöihin oli perusteluina tietämättömyys, ohjeistuksen puute ja käsitys, että tällainen toiminta ei kuulu laitoshenkilökunnan tehtäviin. (18, s. 17)

5.2 Säilytyshäkki, laveri ja nostin

Vainajakylmiössä vainajat on sijoitettu päällekkäin lavereille tai säilytyskouruihin, joissa on pyörät. Pyörien avulla lavereita ja kouruja on helpompi vetää kylmiöstä tai työntää kylmiöön. Laverit ja kourut ovat vainajakylmiössä joko säilytyshäkissä tai kiskojen päällä. Kuvassa 18 on esitetty vainajien säilytyshäkki ja kuvassa 19 on esitetty laveri kiskojen päällä. Tästä syystä esimerkiksi staattisen höyrystimen käyttäminen on hankalaa vainajakylmiöissä. Staattisen höyrystimen on oltava samassa tilassa jäähdytettävien vainajien kanssa. Staattisen höyrystimen suurimpana ongelma on kondenssivesi, jota varten yleensä rakennetaan erillinen kondenssivesiallas, josta vesi johdetaan kaivoon. Korkeussuunnassa jouduttaisiin varaamaan enemmän tilaa staattiselle höyrystimelle, jotta kondenssivesiallas mahtuisi höyrystimen alle. Tämä vähentäisi säilytettävien vainajien määrää. Lisäksi staattiselle höyrystimelle on varattava riittävän paljon vapaata sisäkorkeutta, jotta riittävästi vapaata ilmatilaa jää höyrystimen ja katon väliin sekä höyrystimen alle, jotta kylmä ilma ehtii sekoittua alapuoliseen lämpimään ilmaan.

Kuva 18. Säilytyshäkki, THL, oikeuslääketieteen laitos, Helsinki (2, s. 4).

Kuva 19. Laverit kiskojen päällä (10, s. 4).

Vainajakylmiön kiskot ja metallikehikot rajaavat kylmiön sisäpuolista tilaa pienemmäksi. Kiskot ja metallikehikot vaikuttavat myös ilman kiertoon, höyrystimeen sijoitukseen ja valintaan. Isommissa vainajakylmiöissä on hyvä tarkastella, miten höyrystimen puhallus suuntautuu kylmiössä. Ilma pitää saada kiertämään kylmiössä hyvin ilman, että puhaltimen edessä olisi vainaja, johon ilmasuihku törmäisi.

Vainajien siirtoa varten on oma nostin. Nostimen avulla pystytään nostamaan ja siirtämään vainajaa helpohkosti sisätiloissa. Kuitenkin nostin ei pysty nostamaan kuin maksimissaan 1,8 metriin. Nostimen alin nostokorkeus on noin 0,3 metriä, eli tästä syystä vainajakylmiöissä ensimmäinen vainaja on 0,3 metrin korkeudella, jotta sen siirtäminen onnistuu nostimella. Tämä myös vaikuttaa vapaana käytettävään tilaan kylmiön sisällä. Mikä kannattaa ottaa huomioon höyrystimien tai liuospatterin suunnittelussa ja sijoittamisessa. Kuvassa 20 on esitetty vainajanostin.

Kuva 20. Vainajanostin, jossa on päällä muovinen vainajakouru (2, s. 5).

5.3 Vainajatorni ja vainajakuljetus

Oikeuslääketieteellisten ruumiinavauksien keskittämisen takia Tampereelle on kehitetty ihan omanlainen vainajasäilytystapa. Vainajien säilytystä varten on rakennettu kaksi 15 metriä korkeaa hissitornia, joihin mahtuu yhteensä 110 vainajaa. Halutulla ratkaisulla on haluttu säästää tilaa ja helpottaa henkilökunnan työskentelyä. (14, s. 1) Keskittämisen takia vainajia joudutaan kuljettamaan edestakaisin pitkiäkin matkoja, joten poliisi on joutunut tilaamaan erikseen vainajakuljetuksia. Osassa näistä tilatuista kuljetuksista on ollut todella epäasiallista kohtelua vainajaa kohtaan. Vainajia on kuljetutettu esimerkiksi pakettiautossa muun tavaran keskellä. Vainajia saa kyllä kuljettaa pakettiautossakin, jos säilytystilat ovat kunnossa. Eettisyys on isossa roolissa. (20, s. 1.) Kuvassa 21 on esitetty vainajan kuljetusauto.

Kuva 21. Vainajan kuljetusauto, ilman jäähdytystä (2, s. 6).

Vainajatornissa jokainen vainaja saa oman tunnistusrannekkeen ja vainajalle näppäillään paikka vainajatornista. Tämän jälkeen vainajan tiedot skannataan. Modernista automaatiojärjestelmästä huolimatta vuonna 2018 vainajat vaihtuivat yhden kerran ja väärä vainaja tuhkattiin. (21, s. 1)

6 Yhteenveto

Insinöörityössä selvitettiin ja kerättiin tietoa vainajakylmiön suunnittelua varten. Oikeuslääketieteellisten ruumiinavauksien keskittäminen viiteen yliopistolliseen sairaalaan on johtanut näissä sairaaloissa vainajien määrän kasvamiseen vainajakylmiöissä. Perinteisissä vainajakylmiöratkaisuissa on todettu olevan ongelmia höyrystimien tai liuospattereiden huoltamisessa, tilan puutteessa ja hygieniassa. Vainajasäilytyksestä ja säilytyskäytännöistä oli vaikeaa löytää tietoa. Yhtenäinen lainsäädäntö vainajasäilytyksestä on

hiukan ympäripyöreää. Tätä onkin korvattu ohjeistuksilla, mutta ohjeistuksen noudattamisessa on eroavaisuuksia eri yksiköiden välillä.

Vainajakylmiön kylmätekninen suunnittelu etenee samaan tapaan kuin esimerkiksi kaupankylmäjärjestelmien suunnittelu ja siinä pystytään käyttämään hyödyksi samoja suunnitteluohjeita, varsinkin laitemitoituksessa ja kylmätehontarpeen laskennassa. Kylmäsäilytystilojen sisälämpötilaksi valittiin 4 °C ja pakkastilojen sisälämpötilaksi –22 °C. Laskennan kannalta oli tärkeää tietää vainajien vaihtomäärä päivässä, vainajien keskimääräinen massa sekä tulo- ja säilytyslämpötilat. Kuitenkin itse käytännön suunnittelussa oli otettava huomioon hygienia, huollettavuus ja höyrystimien tyyppi sekä sijoitus. Noudattamalla pelkästään kaupan alan suunnitteluohjeita ei olisi saatu järkevää vainajakylmiöratkaisua.

Työssä esitetään jäähdytystehontarpeen laskenta vaiheittain. Päälaitteiden valinta ja mitoitus perusteluineen sekä kylmäjärjestelmän kaavio toimintakuvauksineen. Erityisenä suunnitteluratkaisuna esimerkkikohteessa oli erillinen huoltotila kylmätilan ulkopuolelle. Höyrystin on sijoitettu tähän tilaan ja kanavoitu sulkupellillä varustettuun sisäänpuhallusaukkoon, josta jäähdytetty ilma puhalletaan kohti kylmähuoneen toista sivuseinää. Höyrystimen imuilmaa johdetaan kylmätilasta huoltotilaan väliseinän alaosassa olevasta sulkupellillä varustetusta aukosta. Ratkaisussa huoltamisen yhteydessä ei vainajia tarvitse siirtää kylmiöstä pois eikä pestä kylmiötä. Näin vältytään myös kylmiön turhalta lämpenemiseltä. Huoltotila täytyy kuitenkin pestä huollon yhteydessä, koska kylmiön ilmaa on myös huoltotilassa ja pinnoilla. Ratkaisulla kalman hajukaan ei vaikuta huoltotoimenpiteisiin. Näihin huoltotehtäviin on ollut erittäin vaikeata löytää huoltohenkilöä tai kylmäasentajaa. Erillisen huoltotilan ansiosta itse kylmiöihin mahtuu enemmän vainajia. Myös huoltotilaan on mahdollista sijoittaa muutama vainaja hätätilanteessa. Huoltotilan ansiosta puhallus kylmätilassa saadaan suunnattuna siten, että ilma kiertää koko kylmätilassa hyvin.

Lähteet

1 Hakala, Pertti., Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. painos. Helsinki: Opetushallitus.

2 Pulliainen, Jari. 2019. Laboratoriokoordinaattori, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Helsinki. Keskustelu 15.10.2019.

3 Hautala, Jami. 2018. Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen kylmätilojen jäähdytyksestä syntyvän lauhdelämmön hyödyntäminen. Insinöörityö. Seinäjoen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

4 Kaappola, Esko. 2019. Opetusmateriaali. LVI-suunnittelu, kylmätekniikka. Helsinki.

5 Suomen kylmäyhdistys ry. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät opas. Helsinki.

6 F-kaasuasetus. 2020. 517/16.04.2014

7 Aittomäki, Antero. 2001. Välilliset kylmälaitokset. 1. painos. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu.

8 Mikkola, Sakari. 2019. Ulkotekojään energiajärjestelmä: Lämmönpumppauksen mitoitus. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

9 Aittomäki, Antero. 2008. Kylmätekniikka. 3. painos. Jyväskylä: Suomen Kylmäyhdistys ry.

10 Vainajien säilytys- ja siirtoratkaisut. 2017. Verkkodokumentti. Hermetel Oy. < https://www.hermetel.fi/wp-content/uploads/2017/04/Hermetel_Esite_Mortem_FI_LowRes_pages_0417.pdf>. Luettu 11.10.2019.

11 Vainajien säilytyksessä ja käsittelyssä puutteita. 2010. Verkkoaineisto. Oikeusasiamies. < https://www.oikeusasiamies.fi/fi/-/vainajien-sailytyksessa-ja-kasittelyssa-puutteita>. Luettu 14.10.2019.

12 Forsius, Arno. 2014. Vainajista saatavat tartunnat ja niiden ehkäiseminen. Verkkoaineisto. <http://www.saunalahti.fi/arnoldus/vaintartB.htm>. Luettu 11.01.2020.

13 Tilkka vainajakylmiö. 2019. Tiedostokansiot. Ramboll Finland Oy.

14 Meriläinen, Ulla. 2013. Ainutlaatuiset vainajatornit säästävät tilaa. Verkkoaineisto. Uutiset. Yle. < https://yle.fi/uutiset/3-6674567>. Päivitetty 24.9.2013. Luettu 27.2.2020.

15 Innanen, Seppo. 2017. Talotekniikan perusjärjestelmät, sekoittavan ilmanjaon perusteet. Opetusmateriaali. Metropolia.

16 Kaappola, Esko; Hirvelä, Aulis; Jokela, Matti; Kianta, Jani. 2014. Kylmälaitoksen perusteet. 3. painos. Helsinki. Opetushallitus.

17 Bitzer Software v.6.12.0 rev2326. Verkkoaineisto. Bitzer Kühlmaschinebau Gmbh. < https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1583317975375&mod=HHK>. Luettu 03.11.2019.

18 Laitinen, Riikka; Haukilahti, Riikka-Liisa; Goebeler, Sirkka; Kauppila, Riikka. 2013. Kuoleman toteaminen ja vainajien säilytyskäytännöt. Työpaperi. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos.

19 Keränen, Tuomas. 2015. Opetuksessa käytettävistä ruumiista pulaa - vainajien viimeinen tahto jää usein toteutumatta omaisten takia. Verkkoaineisto. Uutiset. Yle. < https://yle.fi/uutiset/3-8145920>. Päivitetty 12.07.2015. Luettu 16.11.2019.

20 Vainajien kuljetuksiin yhtenäiset ohjeet. 2013. Sanomalehti Keskisuomalainen. Keskipohjanmaa. KP24. < https://www.keskipohjanmaa.fi/uutiset/350570/ksml-vainajien-kuljetuksiin-yhtenaiset-ohjeet>. Päivitetty 10.11.2013. Luettu 11.03.2020.

21 Pikkarainen Aleksanteri. 2018. Sairaalasta luovutettiin hautaustoimistolle väärä vainaja - ehdittiin tuhkata. Verkkoaineisto. Iltalehti. < https://www.iltalehti.fi/kotimaa/a/201805092200932811>. Päivitetty 09.05.2018. Luettu 11.03.2020.

22 Turunen Piia. 2013. Viimeisestä sydämen lyönnistä hautaan – mitä tapahtuu kuoleman jälkeen? Artikkeli. Studio55. <https://www.studio55.fi/hyvinvoignti/article/viimeisesta-sydamen-lyonnista-hautaan-mita-tapahtuu-kuoleman-jalkeen/133988#gs.1o52su>. Päivitetty 25.08.2015. Luettu 15.03.2020.

Vainajakylmiön laskentapohjan ensimmäinen osa

Vainajakylmiön tehontarpeen määritys

Kylmiön jäähdytystehon määritys

Seinämien lämpövuodot	**(5 lohkoa)**		
Seinän U-arvo	0,28	W/m²°C	
Tu seinämän ulkopuolinen lämpötila	21	°C	
Ts tavoitelämpötila	4	°C	
Seinäosan pituus	13,1	m	
Huonekorkeus	3	m	
Seinien pinta-ala	39,3	m²	
Katon ala	12	m²	
Lattian ala	12	m²	
Tilavuus	29,9	m³	
Rakenteiden kautta tuleva lämpökuorma	**7,1**	kWh/vrk	
Oven kautta tuleva lämpökuorma (korjauskerroin 3 arvioimaan ovien aukipitoja)			
Oven avaamiskerrat	10	krt	
Korjauskerroin (kokemusperäinen 1-3)	3		
Kylmiön sisäilman tiheys	1,2	kg/m³	
Kylmiön sisäilman entalpia	15	kJ/kg	
Ilman entalpia kylmiö oven ulkopuolella	30	kJ/kg	
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1	kJ/kgK	
Oven kautta tuleva lämpökuorma	4,5	kWh	
Tuotevaihto			
Vainajanvaihto	1000	kg/vrk	
Vainajan ominaislämpö	3,5	kJ/kg°C	
Vainajan tulolämpö	33	°C	
Vainajan varastointilämpötila	4	°C	
Henkilöiden aiheuttama kuormitus			
Henkilömäärä	1	kpl	
Lämmönluovutus	0,25	kW/hlö	(+4°C)
Työskentely aika	1	h/vrk	
Henkilöiden aiheuttama kuormitus			
Henkilömäärä	4	kpl	
Lämmönluovutus	0,25	kW/hlö	(+4°C)
Työskentely aika	1	h/vrk	

Kaavat

Seinämien lämpövuoto		Q=U*A*(Tu-Ts)*24h/vrk/1000
	Q=	Seinämien kautta tuleva lämpökuorma
	U=	Rakenteen U-arvo
	A=	Seinämän pinta-ala
	Tu=	Ulkolämpötila
	Ts=	Sisälämpötila

Taulukot

Paksuus	Polyureta	Polystyree	Vuorivilla	
50 mm	0,45	0,6	0,8	**W/m2°C**
75 mm	0,3	0,4	0,6	**W/m2°C**
100 mm	0,25	0,3	0,5	**W/m2°C**
150 mm	0,2	0,2	0,35	**W/m2°C**

Ruostumattomaan teräkseen sitoutunut energia		
Massa	10	kg
Ominaislämpökapasiteetti	0,46	kJ/kg°C
Alkulämpötila	21	°C
Loppulämpötila	4	°C
Sitoutunut energia	78,2	KJ
Sitoutunut teho	0,02	kW
Ei juuri vaikuta mitoitukseen, koska pieni ominaislämpökapasiteetti		

Vainajakylmiön laskentapohjan toinen osa

Valaistus		
Valaistusteho	0	W/m²
Valaistuksen käyttöaika	0	h/vrk
Laitekuorma (trukki tai pinoamisvaunu)		
Laitteiden yhteisteho	0	kW
Käyttöaika	0	h/vrk
Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä		
Varastoitava kokonaistuotemäärä	0	kg
Tuotteen hengityslämpö	0	kJ/kg/vrk
Puhaltimet		
Puhaltimien yhteisteho	2	kW
Puhaltimien käyntiaika	16	h/vrk
Sulatusvastuksien lämpökuorma		
Sulatusvastuksien teho	2,2	kW
Sulatusaika	1	h/vrk
Koneiston kylmätarve		
Varmuuskerroin (1,1-1,3)	1,1	
Koneiston käyntiaika	18	h/vrk

Yhden lohkon tiedot (3m korkeus)		
1		lohko
0,83	m	leveys
3	m	korkeus
2,4	m	syvyys
6,0	m³	Tilavuus

Yhden lohkon tiedot (2m korkeus)		
1		lohko
0,83	m	leveys
2	m	korkeus
2,4	m	syvyys
3,98	m³	Tilavuus

Tiedot yhteenveto	**(35 lohkoa 5 * 7)**	
Kylmäpaneelien kokonais ala	443,1	m²
Kylmävaraston tilavuus	209,2	m³
Seinämien lämpövuoto	49,72	kWh/vrk
Lattian lämpövuoto	10,8	kWh/vrk
Oven kautta tuleva lämpökuorma	31,4	kWh/vrk
Koneellisen ilmanvaihdon kuormitus	0	kWh/vrk
Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä	0	kWh/vrk
Tuotevaihto	197,4	kWh/vrk
Henkilöiden aiheuttama kuormitus	1,0	kWh/vrk
Valaistus	0	kWh/vrk
Puhaltimet	32	kWh/vrk
Laitekuormitus	0	kWh/vrk
Sulatusvastusten lämpökuorma	11	kWh/vrk
YHT	**333,2**	kWh/vrk
Kylmätehontarve	13,9	kW
Kylmäkoneiston kokonaistehontarve	**20,4**	kW

Vainajien pakkastilan laskentapohja

Vainajien pakkastilan tehontarpeen määritys

Seinämien lämpövuodot (2 lohkoa)			
Seinän u-arvo	0,275	W/m²°C	
Lattian u-arvo	0,275	W/m²°C	
Tu seinämän ulkopuolinen lämpötila	21	°C	
Ts tavoitelämpötila	-22	°C	
Seinäosan pituus	8,1	m	
Huonekorkeus	2	m	
Seinien pinta-ala	16,2	m²	
Katon ala	4,0	m²	
Lattian ala	4,0	m²	
Tilavuus	8,0	m³	
Rakenteiden kautta tapahtuva lämpöhäviö	**6,9**	kWh/vrk	
Oven kautta tuleva lämpökuorma			
Oven avaamiskerrat	2	krt	
Korjauskerroin (kokemusperäinen 1-3)	2		
Kylmiön sisäilman tiheys	1,4	kg/m³	
Kylmiön sisäilman entalpia	15	kJ/kgK	
Ilman entalpia kylmiö oven ulkopuolella	30	kJ/kgK	
Ilman ominaislämpökapasiteetti	1	kJ/kgK	
Oven kautta tuleva lämpökuorma	**0,19**	kWh	
Koneellisen ilmanvaihdon kuormitus			
Ilmanvaihdon ilmavirta l/s/m²	0	m³/s	
Tuotevaihto			
Vainajanvaihto	100	kg/vrk	
Vainajan ominaislämpö	3,5	kJ/kg°C	
Vainajan tulolämpö	33	°C	
Vainajan varastointilämpötila	-22	°C	
Henkilöiden aiheuttama kuormitus			
Henkilömäärä	4	kpl	
Lämmönluovutus	0,4	kW/hlö	(-20°C)
Työskentely aika	1	h/vrk	

Valaistus		
Valaistusteho	0	W/m²
Valaistuksen käyttöaika	0	h/vrk
Laitekuorma (trukki tai pinoamisvaunu)		
Laitteiden yhteisteho	5	kW
Käyttöaika	0	h/vrk
Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä		
Varastoitava kokonaistuotemäärä	0	kg
Tuotteen hengityslämpö	0	kJ/kg/vrk
Puhaltimet		
Puhaltimien yhteisteho	1,5	kW
Puhaltimien käyntiaika	16	h/vrk
Sulatusvastuksien lämpökuorma		
Sulatusvastuksien teho	2,2	kW
Sulatusaika	1	h/vrk
Koneiston kylmätarve		
Varmuuskerroin (1,1-1,3)	1,1	
Koneiston käyntiaika	18	h/vrk

Tiedot yhteenveto		
Kylmäpaneelien kokonais ala	24,2	m²
Kylmävaraston tilavuus	8,0	m³
Seinämien lämpövuoto	6,9	kWh/vrk
Lattian lämpövuoto	1,1	kWh/vrk
Oven kautta tuleva lämpökuorma	0,2	kWh/vrk
Koneellisen ilmanvaihdon kuormitus	0,0	kWh/vrk
Hengityslämmön kuormitus säilyttäessä	0,0	kWh/vrk
Tuotevaihto	5,3	kWh/vrk
Henkilöiden aiheuttama kuormitus	1,6	kWh/vrk
Valaistus	0,0	kWh/vrk
Puhaltimet	24,0	kWh/vrk
Laitekuormitus	0,0	kWh/vrk
Sulatusvastusten lämpökuorma	2,2	kWh/vrk
YHT	**41,3**	kWh/vrk
Kylmätehontarve	1,7	kW
Kylmäkoneiston kokonaistehontarve	**2,5**	kW

Yhteenveto jäähdytystehontarpeesta

Kaappien/lohkojen koot				Vainajien lukumäärä	Tilavuus m³	Seinäosan pituus	Korkeus	Katon ja lattian ala
1.	5*6	korko 3m	Kylmiö	30	29,9	13,1	3	19,9
2.	6*6	korko 3m	Kylmiö	36	35,9	14,8	3	23,9
3.	7*6	korko 3m	Kylmiö	42	41,8	16,4	3	27,9
4.	7*6	korko 3m	Kylmiö	42	41,8	16,4	3	27,9
5.	4*6	korko 3m	Kylmiö	24	23,9	11,4	3	15,9
6.	4*4	korko 2m	Kylmiö	16	15,9	11,4	2	15,9
7.	2*3	korko 2m	Pakastin	6	8,0	8,1	2	8,0

	Pinta-ala m²	Seinä+lattia kWh/vrk	Ovi kWh/vrk	Tuotevaihto kWh/vrk	Puhaltimet kWh/vrk	Sulatus kWh/vrk	Yht kWh/vrk	Teho kW
1.	59,2	6,6	4,5	28,2	16	2,2	57,5	2,6
2.	68,2	7,7	5,4	28,2	16	2,2	59,4	2,7
3.	77,1	8,7	6,3	28,2	16	2,2	61,3	2,8
4.	77,1	8,7	6,3	28,2	16	2,2	61,3	2,8
5.	50,3	5,6	3,6	28,2	16	2,2	55,6	2,5
6.	38,8	4,4	2,4	28,2	16	2,2	53,1	2,4
7.	24,2	6,9	1,2	10,7	24	2,2	45,0	1,9