

Ville Tuomaala

LVI-LABORATORION KOE- JA PAKKASHUONEEN  
SUUNNITTELU

Rakennustekniikan koulutusohjelma  
2017

## LVI-LABORATORION KOE-JA PAKKASHUONEEN SUUNNITTELU

Tuomaala, Ville  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Tammikuu 2017  
Sivumäärä:44  
Liitteitä:

Asiasanat: lvi, laboratorio, suunnitelma, ilmanvaihto, kylmäteknikka

---

Työn tilaajana oli Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella uuteen kampukseen tuleva koe- ja pakkashuone laitteistoinen. Laitteisto piti sisällään seinäelementit; kylmälaitteet; ilmanvaihtokoneen, -kanaviston, ja päätelaitteet; kaksi kanavapuhallinta sekä höyrykostuttimen.

Tavoitteena oli laatia laitteiden mitoitukset, miettiä laitesijoittelu ja laskea kustannukset. Työ on jaettu teemoittain niin että teoria ja käytännönsuudet vuorottelevat.

Mitoitukset on suoritettu lähdekirjallisuudesta saaduilla kaavoilla ja rakennusmääräyskokoelmassa annettavilla raja-arvoilla. kaksikulotteiset kuvat on luotu Draftsight-suunnitteluohjelmalla ja kolmiulotteiset luonnostelmat tilasta SketchUp Make-mallinnusohjelmalla. Äänenvaimentimien mitoitus tehtiin DIMsilencer-ohjelman avulla. Uudet tilat suunniteltiin niin että niissä voitaisiin toteuttaa mahdollisimman paljon eri laboratoriotöitä.

Laitekustannukset on saatu selville pyytämällä sähköpostitse tarjouksia valmistajilta ja käymällä ilmanvaihtolaitteita myyvässä liikkeessä. Kaikkien osien yhteishinnaksi muodostui noin 41 150 €.

# DESIGNING TEST ROOM AND COLD STORE FOR HVAC-LABORATORY

Tuomaala, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in construction engineering

January 2017

Number of pages:44

Appendices:

Keywords: HVAC, laboratory, plan, air conditioning, refrigeration

---

This thesis was made for the Satakunta University of Applied Sciences. The subject of this thesis was to design their upcoming new campus test room and cold store and its hardware. The equipment included in this thesis were: the wall elements; refrigeration equipment; ventilation machine, ductwork, and the different types of air valves; two duct fans and the humidifier.

The objective was to dimension the equipment, think about the placement of the devices and to calculate the costs. The work is divided into topics so that the theory and practical sections alternate.

Dimensioning was done by using formulas found in the source literature and using boundary values from Finnish construction norms. Two-dimensional images were created in DraftSight design program and three-dimensional sketches of the room were crafted with SketchUp Make modeling software. Sizing of silencers was done with DIMsilencer program. The new facilities were designed so that they could be used as much as possible for the different laboratory work.

Equipment cost information was gathered by asking the manufacturers via e-mail and by visiting establishments that sell ventilation equipment. The total price of all parts was approximately 41 150 €.

# SISÄLLYS

## SYMBOLI JA TERMILUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
2	ILMANVAIHTOLAITTEISTO.....	2
2.1	Pienet ilmanvaihtokoneet.....	2
2.2	Ilmanvaihtokoneen mitoitus .....	4
2.3	Äänenvaimentimet .....	5
2.4	Kanavisto .....	5
2.5	Huonelaitteet .....	7
2.6	Koehuoneen ilmanvaihtolaitteisto .....	9
2.7	Sähköjärjestelmä.....	11
2.8	Rakennusautomaatiojärjestelmä .....	11
2.9	Jäähdytysjärjestelmä .....	12
2.10	Lämmitysjärjestelmä.....	12
2.11	Ilmanvaihtolaitteiston hinnat .....	13
3	KYLMÄLAITTEISTO .....	15
3.1	Kylmäkierto .....	15
3.2	Kylmäaine .....	17
3.2.1	F-Kaasuasetus.....	19
3.3	Kylmäaineen valinta .....	20
3.4	Jäähdytystehontarve.....	20
3.4.1	Johtuminen .....	20
3.4.2	Ilmanvaihdon aiheuttama jäähdytystarve.....	24
3.4.3	Säteily .....	24
3.4.4	Kylmätehontarve yhteensä .....	25
3.5	Kylmlaitoksen sähköasennukset .....	25
3.6	Kylmäelementtien ja laitteiden investointikustannukset .....	27
4	ERILLINEN HÖYRYKOSTUTIN.....	28
5	LUONNOSTELMA TILASTA .....	29
6	LABORATORIOTYÖ IDEOITA.....	32
	LÄHTEET.....	33
	LIITTEET	

## SYMBOLI JA TERMILUETTELO

Entalpia: Energiaa ilmaiseva suure termodynamiikassa. Entalpian muutos on yhtä suuri kuin siirtyvä lämpöenergia useimmissa vakioaineissa tapahtuvissa prosesseissa. Yksikkö kJ/kg.

Alikriittinen kiertoprosessi: Kriittistä painetta alhaisemmassa paineessa tapahtuva prosessi.

Ylikriittinenkiertoprosessi: Kriittistä painetta korkeammassa paineessa tapahtuva prosessi.

Yksikomponentinen kylmäaine: Kylmäaine koostuu ainoastaan yhdestä kylmäaineesta; lauhtuminen ja höyrystyminen tapahtuvat vakioämpötilassa.

Atseotrooppinen kylmäaine: Kahden tai useamman yksikomponenttisen kylmäaineen seos; lauhtuminen ja höyrystyminen tapahtuvat vakioämpötilassa.

Tseotrooppinen kylmäaine: Kahden tai useamman yksikomponenttisen kylmäaineen seos; lauhtumisen ja höyrystymisen yhteydessä tapahtuu lämpötilan muutos.

GWP: (Global Warming Potential) Ilmaisee kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden, hiilidioksidin vertailu lukuun nähden. ( $\text{CO}_2 = 1,0$ )

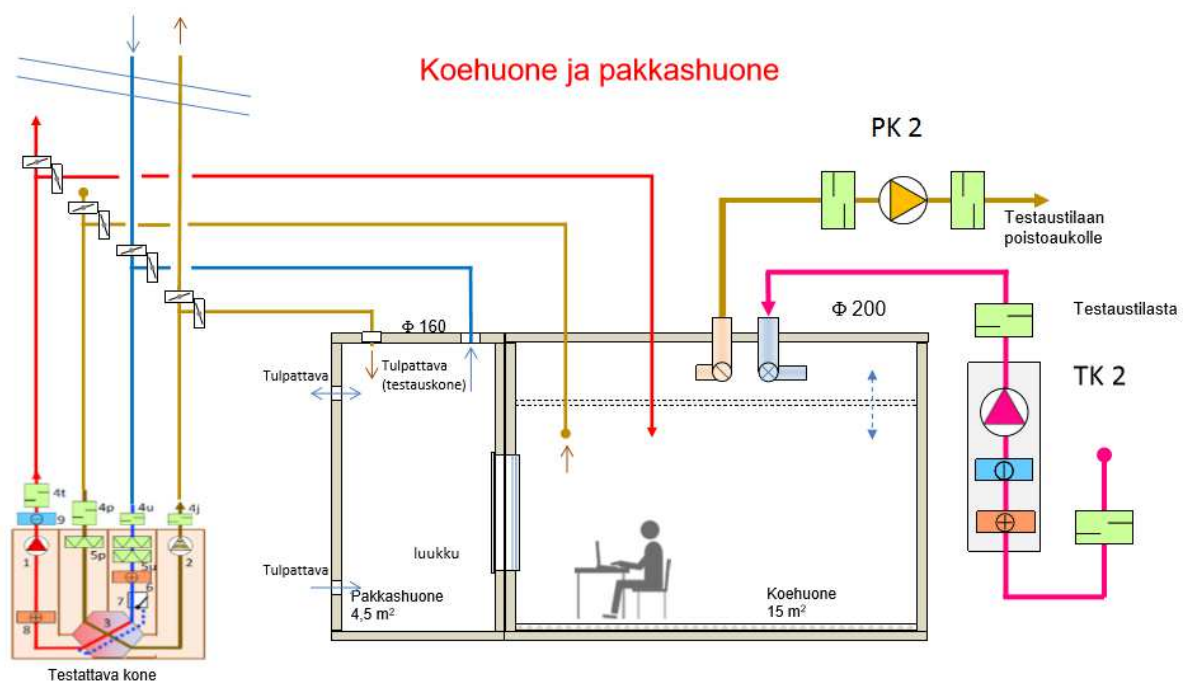
ODP: (Ozone Depletion Potential) Ilmaisee kylmäaineen otsonihaitallisuuden, kylmäaine R11:n vertailu lukuun nähden. ( $\text{R11} = 1,0$ )

EC-moottori: (Electronically commutated) Elektronisesti kommutoitu moottori.

Rekuperatiivinen: (Recuperative) Palauttava

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä olevien suunnitelmien tarve syntyi, kun Satakunnan ammattikorkeakoulu oli siirtymässä vanhoista Vähä-Raumalla olevista tiloistaan uusiin keskustassa sijaitseviin tiloihin. Samalla tietenkin myös kaikki laboratoriotilat joudutaan rakentamaan uudelleen. Koe- ja pakkashuone laitteistoinen ovat kaksi muista erillistä LVI-laboratorioon tulevaa tilaa ja niiden seinien tulee olla hyvin eristetyt, jotta muualla sisätiloissa vallitsevat olosuhteet eivät pääse vaikuttamaan näissä tiloissa tehtäviin mittauksiin. Koehuoneen tarkoitus on olla simuloitu toimistohuone, jonka ilmasto-olosuhteita tulee voida säätää tuloilmakoneen ja ilmankostuttimen avulla. Pakkashuone taas vastaa olosuhteiltaan ulkoilmaa ja huoneen lämpötila on saatava laskemaan talvi- ulkoilmalämpötilaan huolimatta vallitsevasta lämpötilasta.



Kuva 1. Koe- ja pakkashuoneen toimintaperiaate.

## 2 ILMANVAIHTOLAITTEISTO

Ilmanvaihdon teoriaosuudessa keskitytään tavanomaiseen ilmastointijärjestelmään, koska se kuvaa toimiston ilmanvaihtojärjestelmää, jota opinnäytetyön koehuoneella on tarkoitus jäljitellä.

Tavanomaisella ilmastointijärjestelmällä tarkoitetaan edellä mainitun toimiston lisäksi koulun tai liikerakennuksen tyypillistä järjestelmää. Sisäilmaston tavoitteet tavanomaisissa rakennuksissa asetetaan ihmisten turvallisuuden, terveellisyyden ja viihtyisyyden perusteella. (Sandberg & Railio 2014, 21)

Tavanomaisen ilmastointijärjestelmä on yhden keskuskoneen palvelualueen kokonaisuus kaikkine osineen joka koostuu keskusilmastointikoneesta, kanavistosta, huonelaitteista, erillispuhaltimista, sähköjärjestelmästä, rakennusautomaatiojärjestelmästä, jäähdytysjärjestelmästä ja lämmitysjärjestelmästä. (Sandberg & Railio 2014, 22)

Poiketen edellisestä kuvauksesta, tässä kohteessa keskusilmastointikoneen sijaan käytetään pientä ilmanvaihtokonetta, johtuen pienestä ilmanvaihtotarpeesta. Seuraavaksi kerrotaan tarkemmin kustakin osa-alueesta.

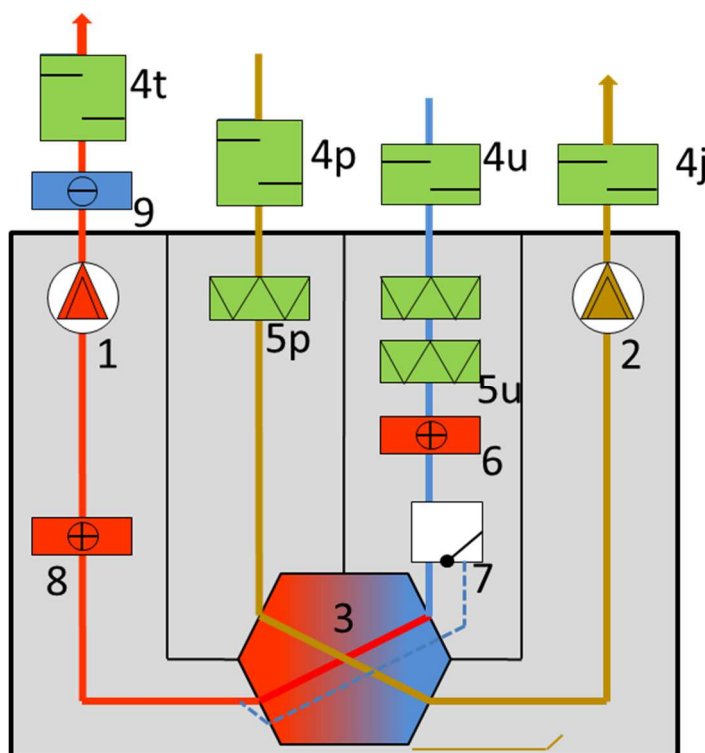
### 2.1 Pienet ilmanvaihtokoneet

Pienet ilmanvaihtokoneet soveltuvat rivitaloihin ja pientaloihin sekä hajautetun järjestelmän kerrostaloihin. Kyseisiä koneita käytetään myös yksittäisissä pienehköissä myymälöissä ja toimistotiloissa. Pienet ilmanvaihtokoneet ovat standardituotteita, jolloin niiden toimitusaika on tavallisesti lyhyt. Laitteiden nimellisvirta-alue on välillä 50-500 l/s. Asuntoihin asennettavien laitteiden ilmavirrat ovat yleensä välillä 20-200 l/s ja muissa kohteissa koko alueelta. (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2014, 157)

Pienet ilmanvaihtokoneet ovat rakenteeltaan tavallisimmin kaappimallisia, ulkokuoreltaan ja osittain väliseiniltään lämpöeristettyjä. Laitteen kuoret ovat yleensä sinkittyä

peltiä tai maalattuja, riippuen aiheuttaako asennuspaikka ulkonäöllisiä vaatimuksia. Kaappimallisen laitteen yläosasta löytyy yleensä kanava-, putki- ja kaapeliliitännät, koneen alla on kondenssivesiliitäntä. (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2014, 157)

Periaatteiltaan erilaisia konemalleja on olemassa tavattoman paljon. Selkein erottelu on poistoilman lämmöntalteenoton mukaan, jolloin lämmönsiirtiminä toimivat mm. levylämmönsiirtimet, ristivirta; levylämmönsiirtimet, kaksi ristivirtasiirrintä sarjassa; levylämmönsiirtimet, vastavirta sekä pyörivä roottorilämmönsiirrin. (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2014, 157)



Kuva 2. Tavanomainen ilmanvaihtokone, jossa vastavirtalämmönsiirrin varustettuna ohituksella. Osat: 1. tuloilmapuhallin, 2. poistoilmapuhallin, 3. lämmönsiirrin, 4. äänenvaimennin, 5. suodattimet, 6. etulämmityspatteri (ja/tai jäähdytyspatteri), 7. siirtimen ohituspelti, 8. jälkilämmityspatteri, 9. jäähdytyspatterikanavassa (vaihtoehto). (Mäkinen, Tammivaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2014, 157)

## 2.2 Ilmanvaihtokoneen mitoitus

Ilmavirraksi valittiin neliötä kohden  $10 \text{ (l/s) / m}^2$ , koska tällöin päästään laitteiden kokuokkaan, jossa useilla laitevalmistajille löytyy malleja, muutoin missään ei ole tarkemmin määritelty testaustiloille sopivia ilmamääriä.

Koehuone

pituus 4,2 m

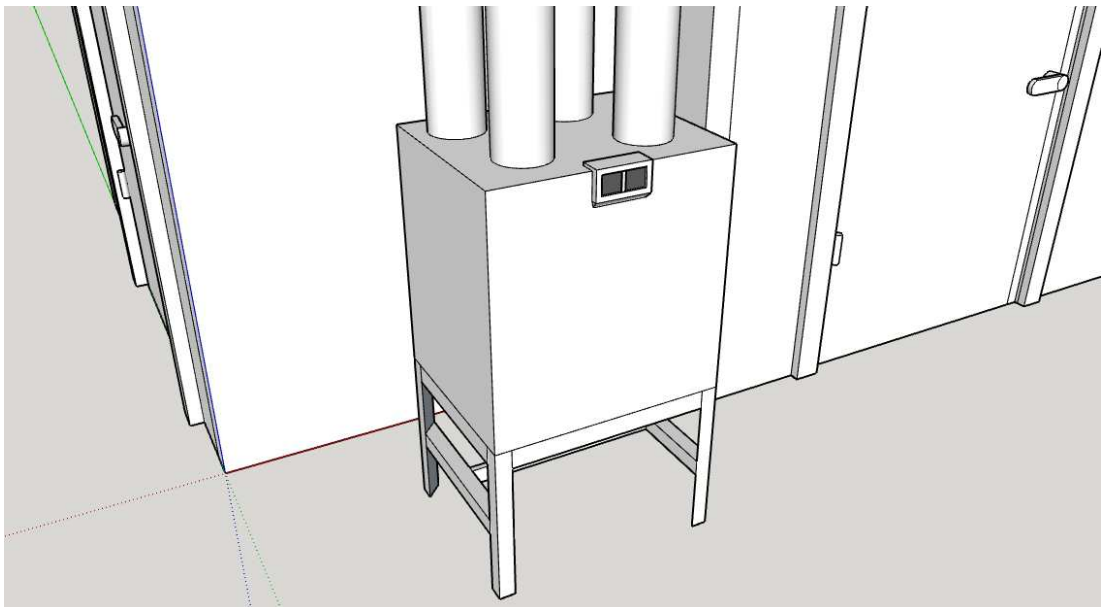
leveys 3,6 m

$$\text{Ala} = \text{Pituus} * \text{Leveys}$$

$$4,2\text{m} * 3,6\text{m} = 15,12\text{m}^2$$

$$\text{Ilmavirta} = \text{Ala} * \text{ilmavirta neliötä kohden}$$

$$15,12\text{m}^2 * 10 \text{ (l/s)/m}^2 = 150,12 \text{ l/s} \approx 150\text{l/s}$$



Kuva 3. Luonnostelma ilmanvaihtokoneesta koe- ja pakkahuoneen sivulla.

### 2.3 Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimet ovat yleensä asennetaan kanaviin, mutta myös koneita, joihin voidaan asentaa erillinen äänenvaimennusyksikkö. Tällöin se sijoittuu koneen päälle. Koneen ja huoneiston välille sijoittuvat äänenvaimentimet tulevat olla ääntä voimakkaammin vaimentavat kuin koneen ja ulkoilman välillä. Äänitekniinen mitoitus on tärkeä vaimentimia valittaessa, koska usein ihmiset käyttävät ilmanvaihtoa liian vähäisellä teholla laitteiden aiheuttaman melun takia. Rakennusmääräyskokoelman osan D2 äänitasovaatimukset tulisi alittaa merkittävästi. Yksi äänitasoon merkittävimmin vaikuttavista asioista on ilmanvaihtokoneen sijoittaminen, koska melua tulee koneen vaiipan ja liitäntäkanavien läpi. Rivi- ja pientaloissa se tavallisesti sijoitetaan kodinhoituhuoneeseen tai tekniseen tilaan ja kerrostaloissa pesuhuoneisiin. (Mäkinen, Tammi-vaara, Paasio, Sandberg & Lönnström 2014,158) Opetustilojen äänitasoksi rakennusmääräyskokoelma määrittää 33/38 LA,eq,T / LA,max dB. (Rakennusmääräyskokoelma D2 2012,26)

Äänenvaimentimiksi ilmanvaihtokoneen yhteyteen valikoitui mitoitusohjelman avulla pyöreä, 600 mm pitkä ja maksimi ulkomitaltaan 276mm leveä malli, jolla päästään painotettuun db(A) arvoon 28.

### 2.4 Kanavisto

Ilmastointikanavian käytetään johtamaan tuloilma huonetiloihin ja poistoilma pois huonetiloista. Ilman liiallisen lämpenemisen ennen huonetiloja estämiseksi kanavat lämpöeristetään. Tavallisesti käytetään pyöreitä kierresaumattuja tiiviitä kanavia, mutta tilan puutteesta johtuen, välillä joudutaan käyttämään suorakaidekanavia. Koneiden palvelualueiden ollessa valittuna oikein käyttötaparyhmän mukaan, konehuoneen kanavia ei tarvitse paloeristää. Järjestelmässä on oltava kiinteät mittalaitteet, jotta pääilmavirrat voidaan mitata. (Sandberg & Railio 2014,24)

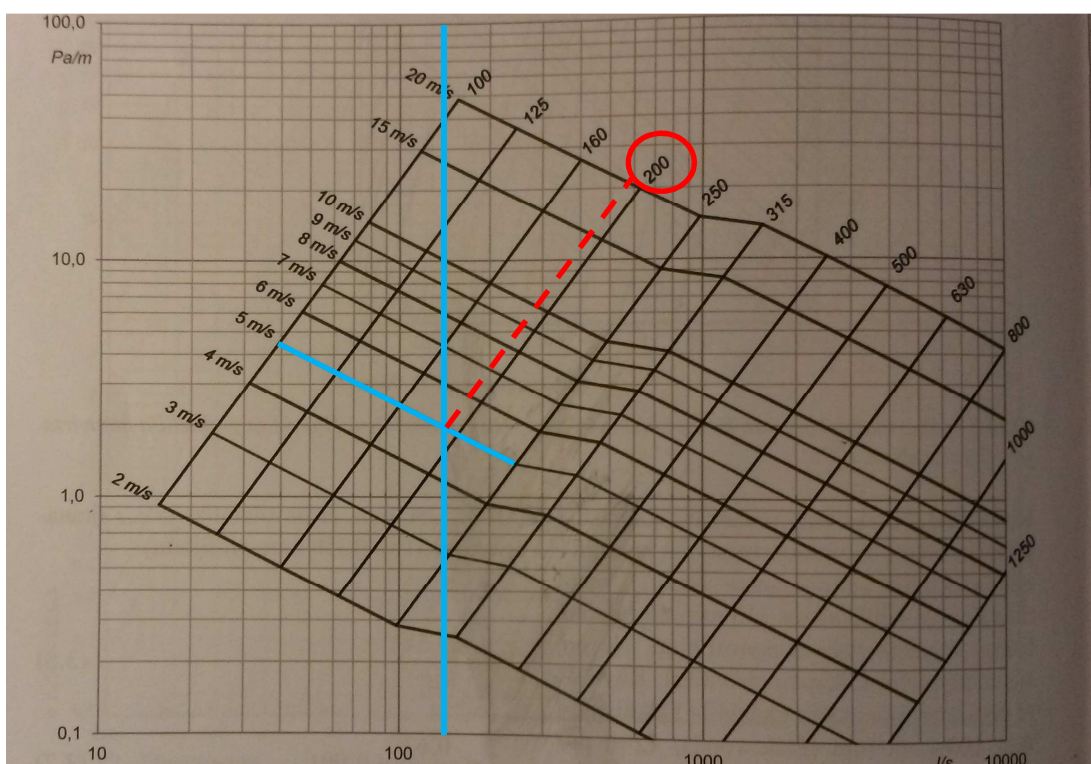
Paloeristystä ei myöskään tarvita kanavissa, jotka on sijoitettu roiloihin eli palonkestäviin kuiluihin. Tällaisia kanavia ovat vertikaaliset runkokanavat ja pystykanavat/runkokanavat, tästä säännöstä on kuitenkin paljon poikkeuksia ja onkin tarkoin mietittävä,

tapaus kohtaisesti, tuleeko kanavista eristettyjä vai eristämättömiä. Tarkastus ja huolto ovat yksinkertaisempia paloeristämättömissä kanavissa, tällöin kerrostasolle asennetaan huoltotasoja, joihin tulee kulku kerroksista. Haarakanavia johdettaessa kerroksiin roilossa, tulee seinämän kohdalle palorajoitin. (Sandberg & Railio 2014,24)

Tarvittaessa haarakanaviin asennetaan säätöpellit ja niille äänenvaimentimet ilmavirran mittaamista ja säätämistä varten ja lisäksi puhdistusluukut. (Sandberg & Railio 2014,24)

Kanavisto mitoitetaan väljäksi, jotta ilmannoisuus kanavassa ei pääse kasvamaan liian suureksi. Tällöin myös ilmavirran säätäminen ja melun vaimennus helpottuvat, järjestelmästä muodostuu energiatehokas ja SFP-luku pysyy matalana. (Sandberg & Railio 2014,24)

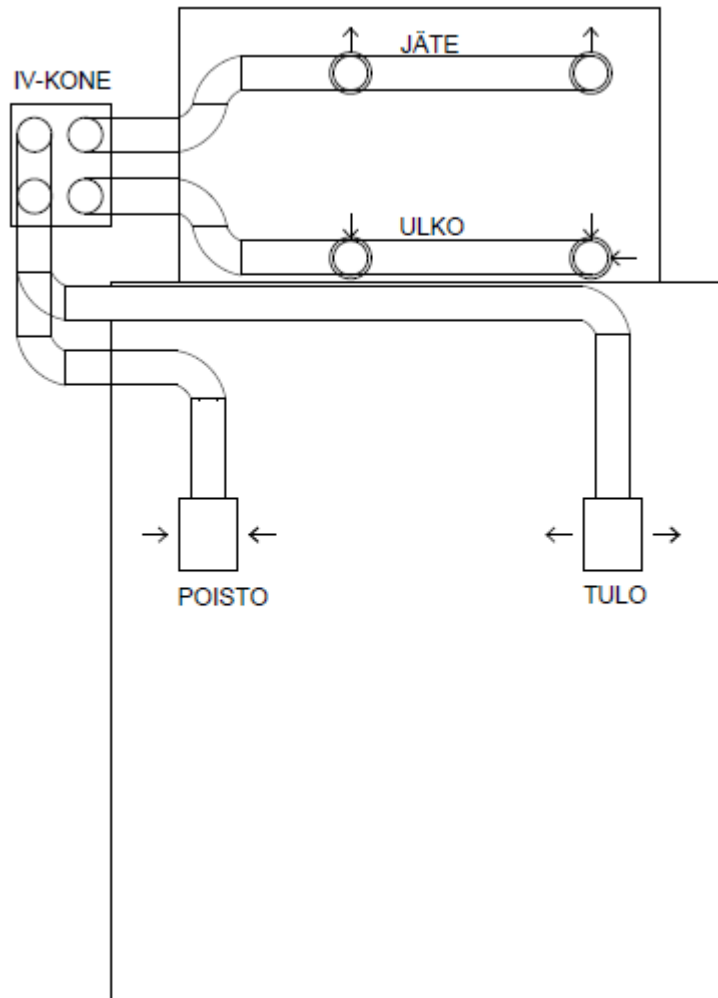
Kanavisto koko voidaan mitoittaa käyrästä avulla. Ilmavirta on 150l/s ja maksimi ilmannoisuus 5 m/s:



Kuva 4. Kanaviston mitoitus. (Sandberg 2014, 92)

DN-putkikoista valitaan 200, jolloin varsinaiseksi nopeudeksi tulee:

$$v = \frac{0,150 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,2\text{m})^2} = 4,8 \text{ m/s}$$



Kuva 5. Testattavan ilmanvaihtokoneen kanavisto.

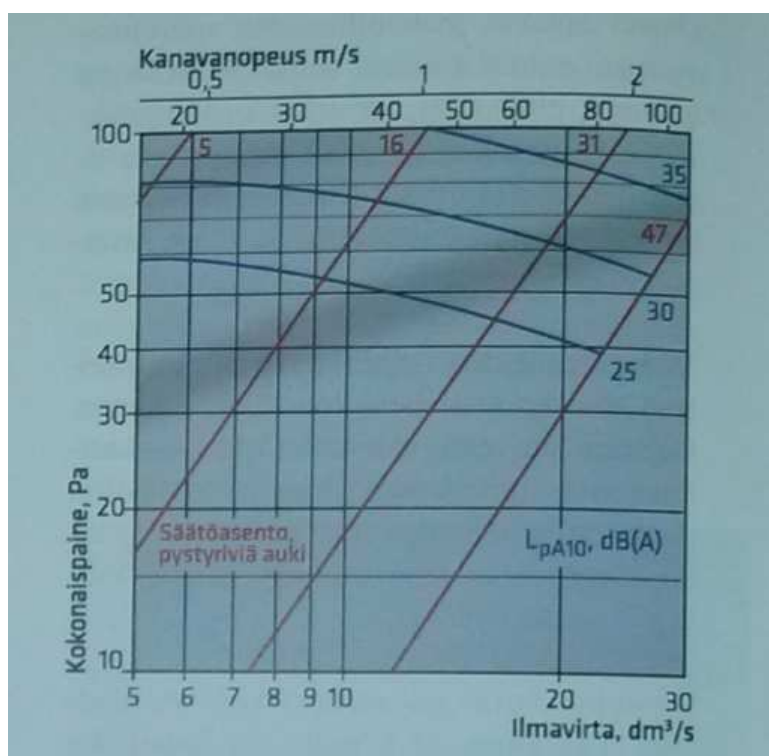
## 2.5 Huonelaitteet

Tuloilman jakamiseen huonetiloissa on lukuisia erilaisia päätelaitteita, kuten hajottajia, venttiileitä, säleikköjä, suuttimia ja piennopeuslaitteita. Vaihtoehtoisesti ilma voidaan tuoda ilmastointipalkkien kautta, jolloin vesijäähdytyspatteri on rakennettu samaan päätelaitteeseen huoneilman viilentämistä varten. Jäähdytyslaitteet voivat olla

myös erillään, muun muassa puhallinkonvektoreita ja jäähdytyskattoja käytettäessä. Laitteissa voi olla myös lämmitystoiminto. Ilmanjaon tavoite on vedottomuus, alhainen melutaso ja hyvät lämpöolot oleskeluvyöhykkeellä. (Sandberg & Railio 2014,24) Poistoilman poistamiseen päätelaitteina hyödynnetään säleikköjä, venttiileitä ja poistoilmaan tarkoitettuja suuttimia ja hajottajia. (Sandberg & Railio 2014,24)

Liitântälaatikoita, joihin on yhdistetty äänenvaimennus, säätöpellit ja ilmavirran mitaus käytetään tavallisesti, kun liitetään kanaviin tulo- ja poistopuolen päätelaitteet. (Sandberg & Railio 2014,24)

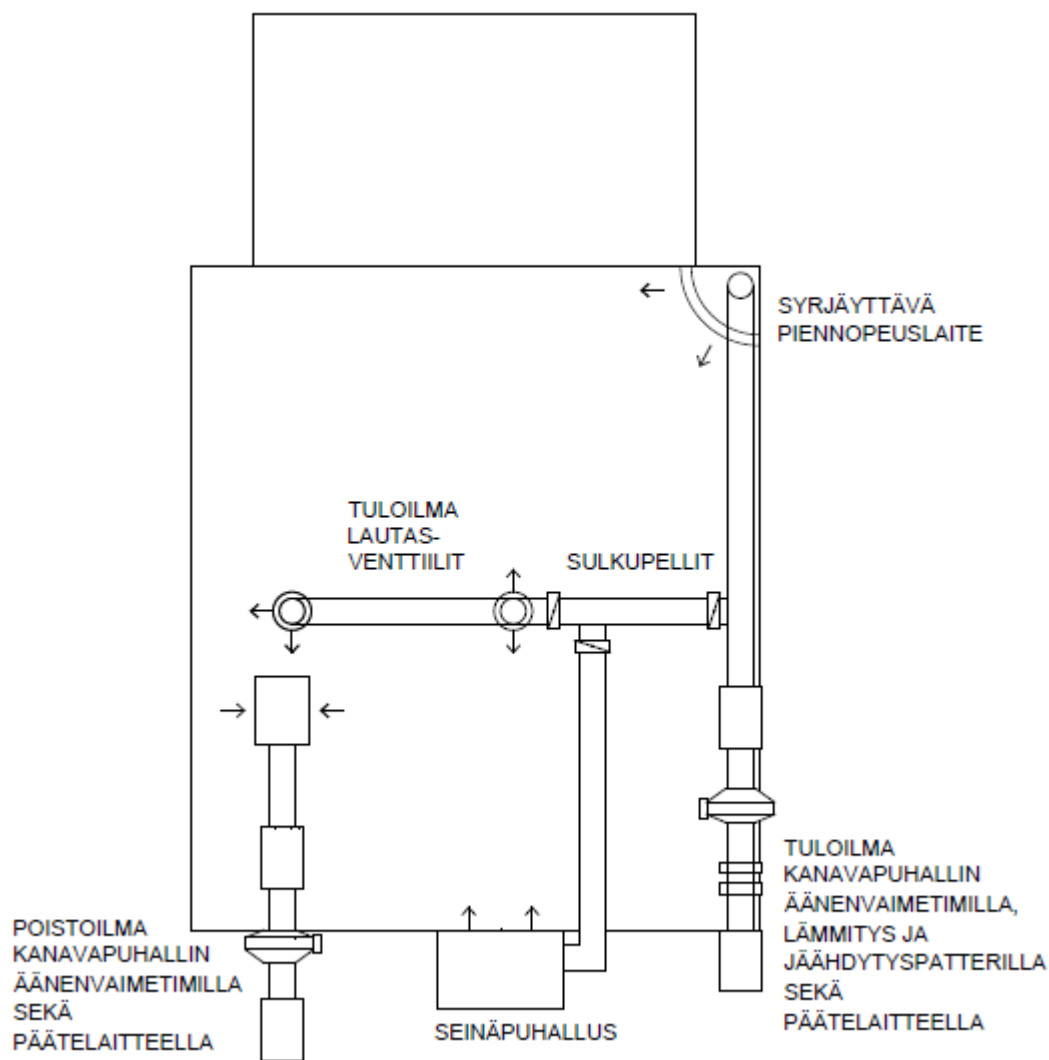
Tilaan valittiin 3 erilaista tuloilmapäätelaitetta, jotta ilman eri jakotapoja voidaan tutkia laboratoriotöissä. Tuloilmapäätelaitteet olivat seinään asennettava tuloilmasäleikkö, lattiatasoon asennettava syrjäyttävä tuloilmalaite, sekä kattoon asennettava tuloilmalautasventtiili. Jokainen laite mitoitettiin ilmavirran ja sen aiheuttaman äänitason perusteella. Maksimi äänentaso ilmavirralla saatiin rakennusmääräyskoelmasta. Mitoitus suoritettiin katsomalla laitevalmistajan valintataulukosta arvot.



Kuva 6. Esimerkki päätelaitteen mitoitustaulukosta. (Jokinen, Pessi & Laine 2014, 322)

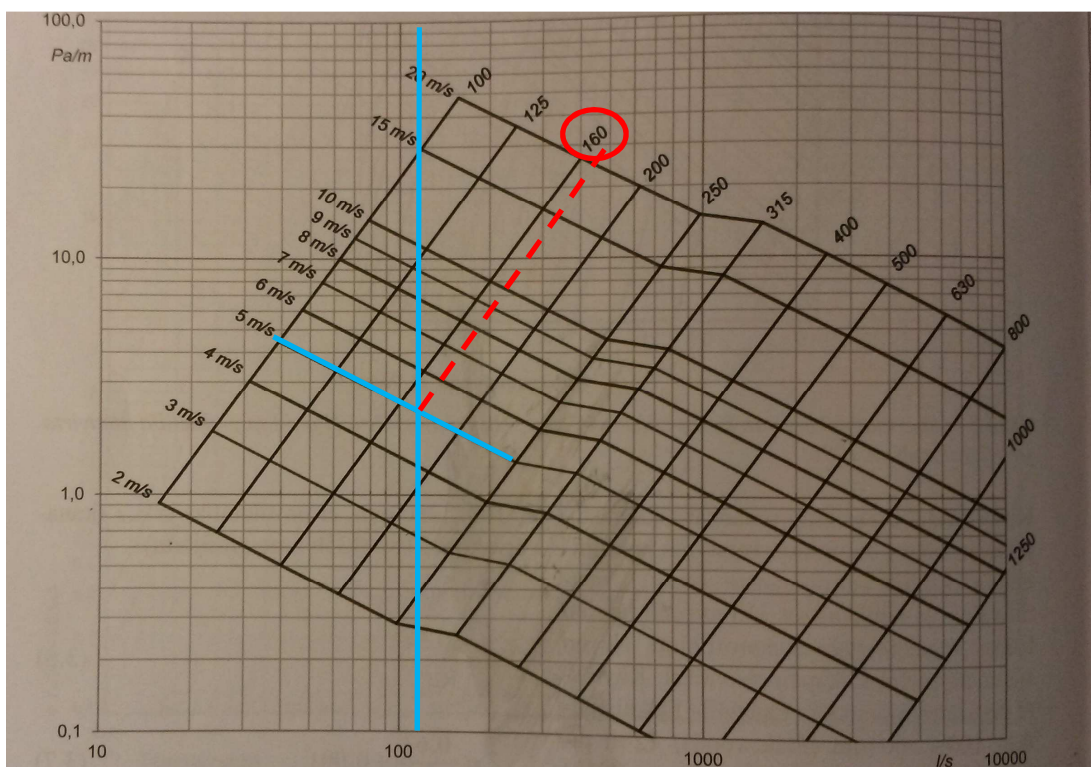
## 2.6 Koehuoneen ilmanvaihtolaitteisto

Koehuoneen yhteyteen tulee kaksi erillispuhallinta ilmanjaon ja ilmastointijärjestelmien tutkimista varten.



Kuva 7. Kanavapuhaltimet ja niiden kanavisto.

Kanavapuhaltimien kanaviston mitoitus suoritettiin käyrästön avulla. maksimi ilmanopeus 5 m/s ja ilmavirta 120 l/s



Kuva 8. TK2:n kanaviston mitoitus. (Sandberg 2014, 92)

DN-putkikoista valitaan 160, jolloin varsinaiseksi nopeudeksi tulee:

$$v = \frac{0,120 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4} * (0,16\text{m})^2} = 6,0 \text{ m/s}$$

Kanavapuhaltimille tuli omat äänenvaimentimet. Mitoitusohjelmalla valinta kohdistui 1000mm pitkään, 254mm korkeaan ja 328mm leveään malliin, jonka db(A) arvo oli 23.

Tulo- ja poistoilmalaitteen yhteyteen tulee tasauslaatikot.

## 2.7 Sähköjärjestelmä

Ilmastointilaitos ja –järjestelmät vaativat toimiakseen sähköjärjestelmän. Konehuoneessa on yleensä oma sähkökeskus, isoimmista mahdollisesti useampikin. Puhaltimien ja pumppujen ohjauskytkimet, kontaktorit, lämpöreleet ja niiden ohjauslogiikka ovat sähkökeskuksissa. Jäähdytyslaitteilla on tavallisesti erilliset sähkökeskukset. Rakennusautomaation valvonnan alakeskusten (VAK) ja sähkökeskusten välillä on iso määrä johtoja indikoiteja, ohjauksia ja hälytyksiä varten ja tästä syystä ne sijaitsevat liki toisiaan. Ilmastointilaitos on merkittävä osa rakennuksen sähköjärjestelmää. (Sandberg & Railio 2014,24-25)

## 2.8 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Sähköistyksen lisäksi ilmastointilaitos ja –järjestelmä tarvitsee toimiakseen automaatiota. Aikaohjaus määrittää tavanomaisesti koneen käyntitilan, lisäksi yleensä on mahdollisuus manuaalikäyttöön. (Sandberg & Railio 2014,25)

Ilmastointijärjestelmiin liittyy monia eri lämpötilojen, kosteuksien, paineiden ja pituuksien säätöjä, kuten kanavapaineiden ja ilman lämpötilan säätö, koneiden toiminnan säätö ja huonetilojen olosuhteiden säätö. (Sandberg & Railio 2014,25)

Antureita tarvitaan säätöjen toteutukseen. Antureilla mitataan säädettäviä olosuhteita ja saatujen tulosten perusteella alakeskusten säätimet ohjaavat edelleen toimilaitteita, kuten säätöventtiilien moottoreita ja peltimoottoreita. (Sandberg & Railio 2014,25)

Rakennusautomaation valvonnan alakeskukset yhdistetään samaan väylään kuin muutkin järjestelmät, vaikka ne toimivat itsenäisesti. Tämä tehdään siitä syystä, että niitä voidaan ohjata ja käyttää rakennuksen valvomosta. Järjestelmän ohjaus ja valvonta voidaan suorittaa myös etäkäyttönä. (Sandberg & Railio 2014,25)

## 2.9 Jäähdytysjärjestelmä

Vedenjäähdytin ja siihen liittyvä vapaajäähdytystä hyödyntävä liuosjäähdytin on yleisin ilmastointilaitoksen jäähdytysjärjestelmän toteutus tapa. Vedenjäähdyttimen verkostoon omana piirinään on liitettynä, sekä ilmastointikoneiden jäähdytyspatterit, että huonetilojen jäähdytyslaitteet. Laitteen sähkötehtarve on merkittävä suhteutettuna muuhun ilmastointilaitokseen. (Sandberg & Railio 2014,25)

## 2.10 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitys ilmastointilaitoksessa kyetään tekemään usealla eri tapaa, mutta lämpö jaetaan useimmin vesiputkiverkoston kautta. Ilmastointikoneiden lämmityspatterit ja huonetilojen lämmityslaitteet ovat liitettynä putkiverkostoon omana piirinään. (Sandberg & Railio 2014,25)

## 2.11 Ilmanvaihtolaitteiston hinnat

Taulukko 1. Kanaviston hinnat

nimi	halkaisija (mm)	materiaali	pituus (m)	hinta (veroton, €)
kanava KG-3-160	160	galvanoitu teräs	3	20,97
kanava KG-3-200	200	galvanoitu teräs	3	24,99
Käyrä 90°/160	160	galvanoitu teräs	-	8,79
T-yhde 160-160	160	galvanoitu teräs	-	12,77
Käyrä 90°/200	200	galvanoitu teräs	-	13,17
T-yhde 200-200	200	galvanoitu teräs	-	18,28
Kanavien tarvittava kappale määrä:				
	kanaviston pituus (m)	yksikkö pituus (m)	Kanaviston pituus/yksikkö pituus	kpl määrä
160mm kanava	9,63	3	3,21	3
200mm kanava	17,06	3	5,69	6
	kpl	hinta (veroton, €)		
160mm kanava	3	67,28		
200mm kanava	6	142,15		
160mm käyrä	4	35,16		
160mm t-yhde	2	25,54		
200mm käyrä	13	171,21		
200mm t-yhde	2	36,56		
yhteensä		477,90		

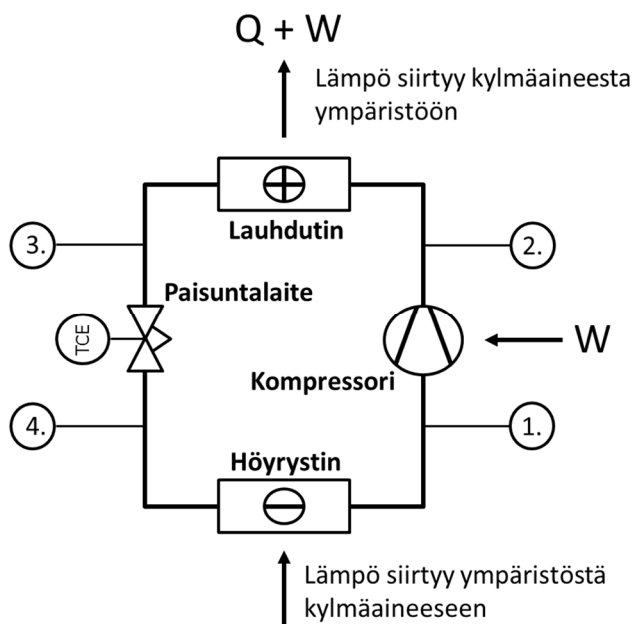
Taulukko 2. Laitteen ja siihen tulevien kanavisto-osien hinnat.

laite ja siihen tulevat kanavisto-osat:	määrä (kpl)	nimi	yksikköhinta (veroton)	hinta (veroton, €)
iv-kone	1	Vallox 1V	2136,29	2136,29
sulkupeltti	3	KRTS-4 200	67,20	201,60
äänenvaimennin 200mm	2	Lindab LRCB $\phi$ 200	169,00	338,00
poistoilmaventtiili 200mm	2	Fläkt woods KSO200	18,99	37,98
tuloilmaventtiili 200mm	2	Fläkt woods KT1200	69,98	139,96
tasauslaatikko	2	Fläkt woods ATTC 200-200	116,07	232,14
tuloilmahajotin	1	Fläkt woods RHKH-200-2-6	349,12	349,12
poistoilmahajotin	1	Fläkt woods HPKB 200-3-7	281,52	281,52
			yht	3716,61
laite ja siihen tulevat kanavisto-osat:	määrä (kpl)	nimi	yksikköhinta (veroton, €)	hinta (veroton, €)
kanavapuhallin	2	Östberg CK 160	90,44	180,88
äänenvaimennin 160mm	4	NRF 50 160-600	43,52	174,08
lämmityspatteri	1	iloxair kanavapatteri	544,30	544,30
jäähdytyspatteri	1	iloxair kanavapatteri	544,30	544,30
tasauslaatikko	1	Fläkt woods ATTC 160-160	90,90	90,90
poistoilmahajotin	1	Fläkt woods HPKB 160-2-4	205,93	205,93
tuloilmaventtiili 160mm	2	Fläkt woods KTS160	21,72	43,44
syryttävä piennopeuslaite	1	Fläkt woods DVQA-200	421,11	421,11
tuloilmasäleikkö	1	Fläkt woods AVS-150	40,52	40,52
tasauslaatikko	1	Fläkt woods TGE	147,61	147,61
			yht	2393,06
laite ja siihen tulevat kanavisto-osat:	määrä (kpl)	nimi	yksikköhinta (veroton, €)	hinta (veroton, €)
kanava tulppa	2	Tulppa $\phi$ 125	3,16	6,32

Laitteet, kanavat ja kanavavarusteet yhteensä tulevat maksamaan noin 6600 €

### 3 KYLMÄLAITTEISTO

#### 3.1 Kylmäkierto

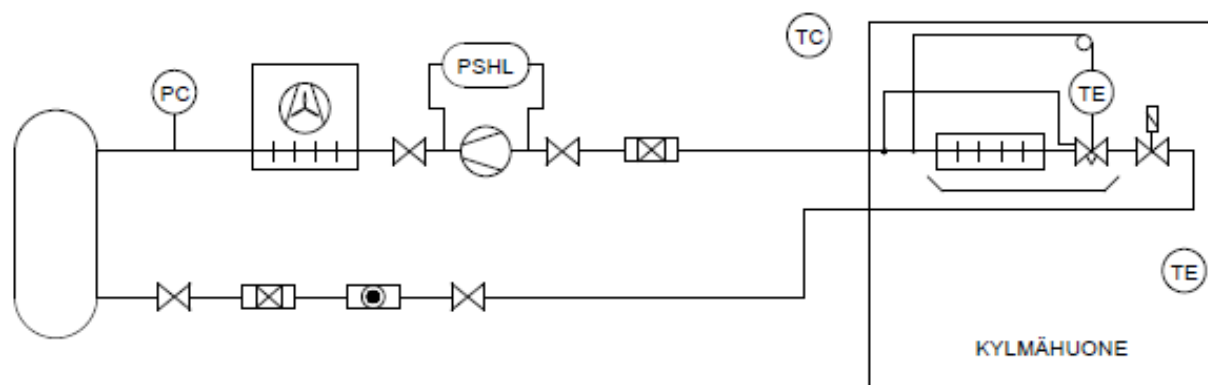


Kuva 9. Kylmätekninen kiertoprosessi (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 17)

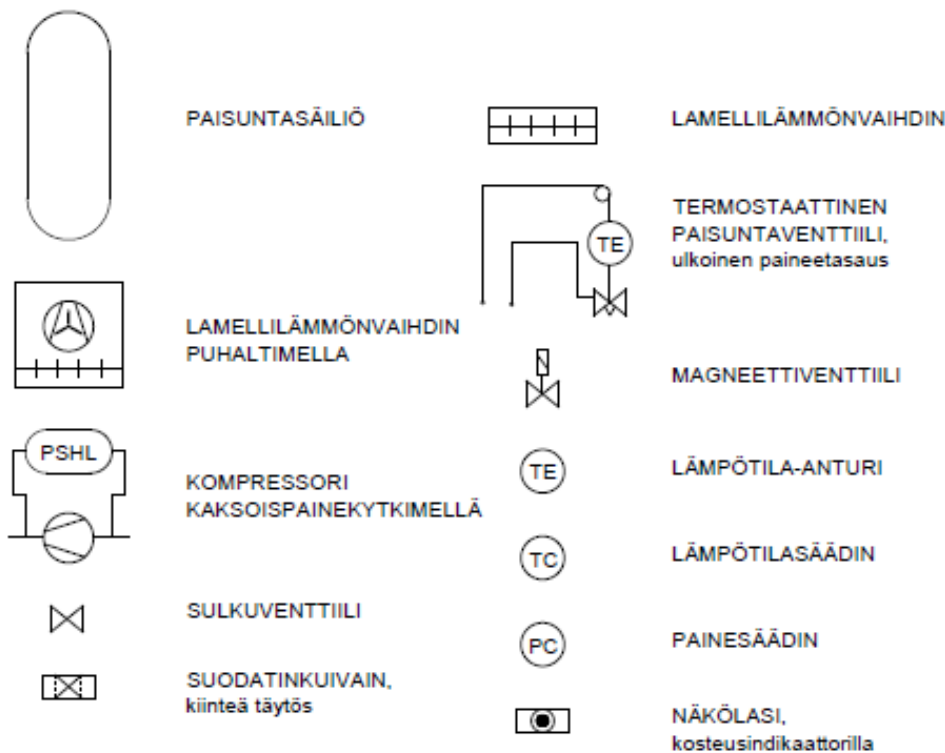
Kylmäteknisessä kiertoprosessissa lämpöä siirretään matalammasta lämpötilasta korkeampaan prosessiin tehdyn työn avulla. Koko kiertoprosessin perusta on kylmäaineen höyrystäminen ja lauhduttaminen eri painetasoilla. Kuva 2. havainnollistaa kylmäteknisen kiertoprosessin perusajatuksen. Numeroiduissa kohdissa kylmäaine on eri olomuodoissa seuraavasti: 1. matalapaineinen höyry 2. korkeapaineinen höyry 3. korkeapaineinen neste 4. osittain höyrystynyt matalapaineinen neste. Kompressori puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen, jolloin se tulistuu ja sen lämpötila kasvaa huomattavasti. Tästä kylmäaine johdetaan putkistoa pitkin lauhduttimeen, jossa se lauhtuu luovuttaen lämpöä ja tiivistyy jälleen nesteeksi. Seuraavaksi kylmäaine tulee paisuntalaiteelle, jossa lämpötila ja paine laskevat ja osa nestemäisestä kylmäaineesta höyrystyy. Tämän jälkeen kierto jatkuu höyrystimeen, jossa nimen mukaisesti kylmäaine

höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöön, sitten kylmäaine imetään kompressoriin ja kiertoprosessi alkaa uudelleen. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 17-18)

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpöenergia siirtyy korkeammasta lämpötilasta matalampaan, tästä seuraa, että käänteisen siirtymäsuunnan aikaansaamiseksi on järjestelmään tehtävä työtä. Tässä tapauksessa työ on kompressorin tekemä paineenkorotus sähköenergian avulla. Paineenkorotuksesta aiheutuu kylmäaineen lämpötilan kasvu. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 18)



PIIRROSMERKIT:



Kuva 10. Kylmlaitteiston putkikaavio selitteinen.

### 3.2 Kylmäaine

Kylmäaineita käytetään väliaineena lämmönsiirtämiseen kylmäkoneistossa. Niiden käyttö perustuu kykyyn muuttaa olomuotoa kaasumaisesta nestemäiseksi luovuttaessa lämpöä tai nestemäisestä kaasumaiseksi vastaanottaessa lämpöenergiaa. Näin pieneläkin kylmäaineen massavirralla saadaan suuriakin lämpökuormia siirrettyä. Paineella ja lämpötilalla on suuri merkitys kylmäaineen ominaisuuksiin. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 31)

Termodynaamisilta ominaisuuksiltaan hyvän kylmäaineen tulisi olla: korkea höyrystymislämmöltään, pieni kompressorin painesuhteeltaan (korkeapaine/matalapaine), pieni viskositeetiltään, hyvä lämmönsiirto-ominaisuksiltaan, suuri tilavuustuotoltaan sekä höyrystymispaineen tulisi olla yli 1 baari. Suurella höyrystymislämmöllä saavutetaan pieni massavirta, kompressorinkoko ja putkikoko. Pieni kompressorin painesuhte johtaa vähäiseen puristustyöhön, sekä minimaaliseen tulistumiseen puristuksessa. Pieni viskositeetti pitää painehäviöt putkistoissa sekä venttiileissä pieninä. Hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet johtavat pieneen lämmönsiirtopinta-alan tarpeeseen. Suuren tilavuustuoton avulla kompressorin koko pysyy pienenä ja yli yhden baarin höyrystymispaine avulla mahdolliset vuodot tapahtuvat putkistosta ulospäin estäen kosteuden ja ilman pääsyn kylmälaitokseen. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 31)

Kemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvän kylmäaineen tulisi olla: stabiili, jolloin käyttölämpötila-alue on laaja; muiden materiaalien kanssa erittäin heikosti reagoiva; palamaton käytön turvallisuuden takaamiseksi; ja liukeneva käytettävään öljyyn, jolloin öljyn palautuminen kompressorille on korkea. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 32)

Taulukko 3. Kylmäaineiden luokitus. (Hannula 2014, 9)

**Kylmäaineiden luokitukset käyttöturvallisuuden perusteella:**

Palavuusluokka		Myrkyllisyysluokka	
		A (terveydelle haitaton)	B (terveydelle haitallinen)
1	Palamaton	A1	B1
(2L)**	Pienempi syttymisherkkyys	(A2L)*	(B2L)*
2	Syttymisherkkä	A2	B2
3	Suuri syttymisherkkyys	A3	B3

\* The American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers  
 \*\*ASHRAE:n jo vahvistama ja ISO 817-standardiin maaliskuussa 2013 hyväksytty, mutta eurooppalaisesta EN 378-standardista vielä toistaiseksi puuttuva luokka 2L (mildly flammable)

Fysiologisilta ominaisuuksiltaan hyvän kylmäaineen tulisi olla: Käyttöturvallisuuden takia myrkytön ja heikosti ärsyttävä iholla ja limakalvoilla; haitaton jäähdytettävälle tavaralle, jotta tuotehävikki ei muodostu suureksi vuotojen yhteydessä; ja vuotojen tulisi olla helposti havaittavissa, jolloin huoltotoimenpiteisiin voidaan ryhtyä ripeästi viikatilanteessa. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 32)

Näiden ominaisuuksien lisäksi kylmäaineiden tulisi vielä olla ympäristöystävällisiä ja halpoja. Ympäristöystävällisyydellä tarkoitetaan tässä yhteydessä mahdollisimman vähäistä kasvihuoneilmiötä lisäävää vaikutusta ja harmittomuutta ilmakehän otsonikerrokselle. Otsoni haitattomuus edellyttää, ettei kylmäaineessa ole bromi- tai klooriyhdisteitä. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 32)

Kylmäaineiden ympäristövaikutuksia kuvataan ODP (Otzone Depletion Potential) ja GWP (Global Warming Potential) luvuilla. ODP ilmoittaa kylmäaineen suhteellisen haitallisuuden verrattuna kylmäaine R11:sta, jonka referenssiluku on 1,0. GWP kuvaa kylmäaineen kasvihuonehaitallisuuden, verrattuna hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) haitallisuusluokkuun, jolle myös on annettu referenssi arvo 1,0. GWP-luvut ilmoitetaan tavanomaisesti sadan vuoden ajalle laskettuina arvoina. Mitä isommat kylmäaineen GWP- ja ODP-luvut ovat sen haitallisempaa se on päästessään ilmakehään.

Taulukko 4. Kylmäaineiden luokituksia. (Hannula 2014, 9)

Eri kylmäaineiden lämmitysvaikutuksia ja turvallisuusluokituksia			
ASHRAE-nimitys	Luokitus/nimi	GWP	turvallisuusluokka
R12*	CFC	10900	A1
R22*	HCFC	1 810	A1
R32	HFC	675	A2 (A2L)
R134A	HFC	1 430	A1
R404A	HFC-seos	3 922	A1
R407A	HFC-seos	2 107	A1
R407C	HFC-seos	1 777	A1
R407F	HFC-seos	1 825	A1
R410A	HFC-seos	2 088	A1
R507A	HFC-seos	3 985	A1
R1234yf	HFC (HFO)	4	A2 (A2L)
R1234ze	HFC (HFO)	7	A2 (A2L)
R290	Propaani	3	A3
R600a	Isobutaani	3	A4
R1270	Propyleeni	2	A5
R717	Ammoniakki	0	B2 (B2L)
R744	Hiilidioksidi	1	A1

\*R12 ja R22 ovat poistuneet käytöstä otsonihaitallisuuden vuoksi. Muut taulukossa mainitut aineet ovat otsonikerrokselle haitattomia.

Kylmäaineen valinta kohteeseen on aina kompromissi; koska kuten edellisestä ilmeni, kylmäaineella tulisi olla valtava määrä erilaisia hyviä ominaisuuksia. Yksi aine ei voi olla kaikilta osa-alueiltaan yksiselitteisesti paras. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 32)

### 3.2.1 F-Kaasuasetus

Ensimmäinen tammikuuta 2015 soveltamaan aletussa asetuksessa on lukusia kasvi-huoneilmiötä rajoittamaan pyrkiviä kohtia, kuten F-kaasujen markkinoille luovuttamisen pienentäminen, vuototarkastusrajojen muutokset, korkea lämmitysvaikutteisten kylmäaineiden huoltokielto ja uusi laitteita koskevia kieltoja. Näistä opinnäytetyön suunnitelmien kannalta merkittävimpänä asetus kieltää (Hannula 2014,7-9):

”Kiinteät jäähdytyslaitteet, jotka sisältävät fluorihilivetyjä tai joiden toiminta perustuu niihin ja, joiden GWP on vähintään 2 500, lukuun ottamatta laitteita, jotka on tarkoitettu sovelluksiin, joita käytetään tuotteiden jäähdyttämiseen alle –50 celsiusasteen lämpötiloihin 1. tammikuuta 2020 alkaen.”

(Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) N:o 517/2014, liite 3)

Samana päivämääränä voimaan tulee myös näiden laitteiden huoltokielto. Kyseessä olevien kylmäaineiden (R404A yms.) käyttö uusissa laitteistoissa kannattaa lopettaa aikaisella aineella, kun se vain on mahdollista. (Hannula 2014,7-9)

### 3.3 Kylmäaineen valinta

Kylmäaineeksi valitaan R407F, koska sen ominaisuudet vastaavat R404A:ta, mutta sen lämmitysvaikutus suhteessa hiilidioksidiin on sallituissa rajoissa. R407F voi suoraan käyttää R404:lle tarkoitetuissa pakastekoneistoissa.

### 3.4 Jäähdytystehontarve

Lämpötilaerot pyrkivät aina tasoittumaan. Tämä tapahtuu siten että lämpö siirtyy korkeammasta matalampaan lämpötilaan. Siirtymätapoja on kolme: johtuminen, konvektio ja säteily. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14) Jäähdytystehon tarpeen laskentaan käytettiin kylmälaiteiston mitoitukseen.

#### 3.4.1 Johtuminen

Johtuminen tarkoittaa aineen sisäistä lämmön siirtymistä. Johtumista voi tapahtua myös kahden aineen välillä, jos ne ovat kosketuksissa toisiinsa. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

Lämpötilaerot kappaleen tai aineen sisällä pyrkivät tasoittumaan johtumalla. Jokaisella aineella on sille ominainen lämmönjohtavuus  $\lambda$  (W/(K\*m)), joka löytyy taulukoista.

Eristeeksi kutsutaan ainetta, jolla lämmönjohtavuus on huono. Kylmäkalusteet ja -huoneet eristetään tavanomaisesti polyuretaanivaahdolla, koska kyseisen aineen lämmönjohtavuus on erittäin pieni. Kylmäaineputkien eristämiseen käytetään usein solukummieristettä, tosin putkista kaikkia ei eristetä ollenkaan. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

Johteeksi kutsutaan ainetta, jonka lämmönjohtavuus on korkea. Tällaisia aineita ovat muun muassa monet metallit, kuten rauta, kupari jne. Kylmässä nämä aineet tuntuvat kylmiltä ja vastaavasti lämpimässä kuumilta. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

#### Pakkahuone

leveys	2,8 m
pituus	1,6 m
tilavuus	3 m <sup>3</sup>
pohjan-ala	4,48 m <sup>2</sup>
oven ala	2,255 m <sup>2</sup>
ikkunan ala	2,25 m <sup>2</sup>

#### Polyuretaanielementti

paksuus	0,1 m
lämmönjohtavuus	0,03 W/m K

Taulukko 5. Rakenneosan sisä- ja ulkopuolen pintavastukset. (C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma, 22)

pintavastus m <sup>2</sup> K/W	lämpövirran suunta		
	ylös	vaaka	alas
sisäpuolen pintavastus R <sub>si</sub>	0,1	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus R <sub>se</sub>	0,04	0,04	0,04

Johtumisteho, seinä

$$R_{T,seinät} = R_1 + R_{si} + R_{se}$$

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{si}=0,13 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_1=d/\lambda_u=0,1 \text{ m}/0,03 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})=3,33 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{t,seinät} = 3,33 \text{ m}^2/\text{W} + 0,13 \text{ m}^2/\text{W} + 0,04 \text{ m}^2/\text{W} = 3,5 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$U_{seinät} = 1/R_{T,seinät}$$

$$U_{seinät} = \frac{1}{3,5} = 0,285 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$\Phi_{\text{johtumisteho,seinät}} = U_{seinät} * A_{seinät} * \Delta T$$

$$\Phi_{\text{johtumisteho,seinät}} = 0,285 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * ((2 * 1,6 \text{ m} * 3 \text{ m} + 2 * 2,8 \text{ m} * 3 \text{ m}) - (2,25 \text{ m}^2 + 2,25 \text{ m}^2)) * 50^\circ\text{C} = 312,49 \text{ W}$$

Johtumisteho, katto

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{si}=0,1 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_1=d/\lambda_u=0,1 \text{ m}/0,03 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})=3,33 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{t,katto} = 3,33 \text{ m}^2/\text{W} + 0,1 \text{ m}^2/\text{W} + 0,04 \text{ m}^2/\text{W} = 3,47 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$U_{katto} = \frac{1}{3,47} = 0,288 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$\Phi_{\text{johtumisteho,katto}} = 0,288 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 4,48 \text{ m}^2 * 50^\circ\text{C} = 64,49 \text{ W}$$

Johtumisteho, lattia

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{si}=0,17 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_1=d/\lambda_u=0,1\text{m}/0,03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})=3,33 \text{ m}^2/\text{W}$$

$$R_{t,lattia} = 3,33\text{m}^2/\text{W} + 0,17\text{m}^2/\text{W} + 0,04\text{m}^2/\text{W} = 3,54\text{m}^2/\text{W}$$

$$U_{lattia} = \frac{1}{3,54} = 0,282 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

$$\Phi_{johtumisteho,lattia} = 0,282\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 4,48 \text{ m}^2 * 50^\circ\text{C} = 63,22 \text{ W}$$

Johtumisteho, ikkuna

$$\Phi_{johtumisteho,ikkuna} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 2,25 \text{ m}^2 * 50^\circ\text{C} = 56,25 \text{ W}$$

Johtumisteho, ovi

$$\Phi_{johtumisteho,ikkuna} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}) * 2,225 \text{ m}^2 * 50^\circ\text{C} = 56,375 \text{ W}$$

Johtumisteho, yhteensä

$$\Phi_{johtumisteho,yhteensä} = \Phi_{johtumisteho,seinät} + \Phi_{johtumisteho,katto} +$$

$$\Phi_{johtumisteho,lattia} + \Phi_{johtumisteho,ikkuna} + \Phi_{johtumisteho,seinä}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{johtumisteho,yhteensä} &= 312,49 \text{ W} + 64,49 \text{ W} + 63,22 \text{ W} + 56,25 \text{ W} + 56,375 \text{ W} \\ &= 552,82 \text{ W} = 0,553 \text{ kW} \end{aligned}$$

### 3.4.2 Ilmanvaihdon aiheuttama jäädytystarve

Lämmön siirtoa nesteessä tai kaasussa lämmön aiheuttamien virtausten mukana kutsutaan luonnolliseksi konvektioksi. Virtaukset aiheutuvat nosteesta, joka puolestaan syntyy lämpötilaeroista johtuvasta tiheyseroista. Kuuma aine pyrkii nousemaan ylöspäin ja vastaavasti kylmä painuu alas. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

Pakotetussa konvektiossa aineen virtaus synnytetään pumpun tai puhaltimen avulla. Aineen virratessa paikasta toiseen siirtyy myös siihen sitoutunut lämpöenergia. Pakotettu konvektio on tärkein kylmäteknikassa tärkein lämmönsiirto tapa. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

$$\dot{\Phi}_{ilma} = \rho_{ilma} * q_{v,ilma} * c_{p,ilma} * \Delta T_{ilma}$$

$$c_{p, ilma} = 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} * \text{K})$$

$$q_{v, ilma} = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{ilma} = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ (NTP olosuhteessa)}$$

$$T_{ilma, sisä} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ilma, ulko} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{ilma} = T_{ilma, sisä} - T_{ilma, ulko} = 25^\circ\text{C} - (-25^\circ\text{C}) = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{\Phi}_{ilma} = 1,293 \text{ kg}/\text{m}^3 * 0,15 \text{ m}^3/\text{s} * 1,0 \text{ kJ}/(\text{kg} * \text{K}) * 50 \text{ }^\circ\text{C} = 9,6975 \text{ kW}$$

### 3.4.3 Säteily

Fysiikassa säteily tarkoittaa energian tai hiukkasten siirtymistä säteilylähteestä ympäristöön tai kohteeseen. Kylmäteknikan lämmönsiirrossa säteilyllä ei ole isoa merkitystä. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 14)

### 3.4.4 Kylmätehontarve yhteensä

$$\Phi_{yhteensä} = \Phi_{pakotettukonvektio} + \Phi_{johtuminen}$$

$$\Phi_{yhteensä} = 9,6975 \text{ kW} + 0,553 \text{ kW} = 10,25 \text{ kW}$$

$$\text{Ilmanvaihdon osuus} = \frac{9,6975 \text{ kW}}{10,25 \text{ kW}} = 94,6\%$$

$$\text{Johtumisen osuus} = \frac{0,553 \text{ kW}}{10,25 \text{ kW}} = 5,39\%$$

### 3.5 Kylmälaitoksen sähköasennukset

Ryhmäkeskus tulee mitoittaa huippukuormituksen mukaan ja laitoksen mahdollinen laajennusvara tulee ottaa huomioon. Ohjaukset ja kytkennät on järjestettävä niin, että huipputehon saadaan mahdollisimman pieneksi, kuten yleisesti on periaatteena. Huipputehoa voidaan vähentää merkittävästi, kun sähkösulatukset on ryhmitelty ja ajoitettu oikein. Tämä johtuu siitä, että sulatusten liittymä teho on useimmiten kompressorien vastaavaa tehoa suurempi. Vain harvoissa tapauksissa voidaan käyttää muun kuormituksen mukaan ohjautuvaa huipun pienentämistä. (Aittomäki 2008, 373)

Johdotukset kylmälaitoksen ryhmäkeskuksen ja kojeiden ohjauslaitteiden välillä tehdään yleisesti pinta-asennuksena kaapelihyllylle ja tarpeen vaatiessa putkiin sijoituilla muovikaapeleilla. Asuinrakennuksen tiloissa on joissain tapauksissa käytössä uppoasennukset. Kovia asennuskaapeleita (MMJ, MCMK) käytetään ryhmäjohtoina kompressorien kiinteässä asennustavassa. Taipuisia ohutsäikeisiä liitäntäkaapeleita (MSK ja VSK) hyödynnetään puolestaan vaimennuskumeilla tai jousilla toteutetussa tärinältä vaimennetussa asennustavassa. Jakorasian tärinättömässä asennusympäristössä, taipuisat kaapelit voidaan tarvittaessa vaihtaa kiinteän asennuksen kaapeleiksi. (Aittomäki 2008, 374)

Ohjauskaapeleita (MMO) ja kiinteän asennuksen kaapeleita (MMI) käytetään ryhmäjohtoina ohjaus- ja suojalaitteille. Kiinteästi tärinävaimennettuun kompressoriin asennetut suoja- ja ohjauslaitteet kaapeloidaan samoin kuin kompressori. Moottorikaapeloinnit taajuusmuuttajan jälkeen tulee tehdä kiinteään asennukseen tarkoitetuilla suojuilla asennuskaapeleilla (MCCMK). Kaapelien kytkennässä ja liitännässä on noudatettava taajuusmuuttajan valmistajan ohjeita. (Aittomäki 2008, 374-375)

Hermeettisellä kompressorilla ja staattisella tai puhallinlauhduttimella varustettuja yksivaihekoneistoja käytetään muun muassa kerrostalojen talouskellarien, kotitalouden kylmä- ja pakastekalusteiden ja pienten huonejäähdytyskojeiden koneistoina. Yleensä kompressori tarvitsee ainoastaan oikosulkusuojauksen, koska tavallisesti kaikissa on kaksoismetallireleellä toteutettu ylikuormitussuoja päävirtapiirissä. Tavanomaisesti 16 ampeerin nimellisvirtaan saakka pienet yksivaihekoneistot rakennetaan pistotulppaliitäntäisiksi. (Aittomäki 2008, 376)

Moottorikytkintä tai lämpörelettä käytetään kompressorin ylikuormitussuojaukseen. Ennen suojausta puhallinmoottori on haaroitettava. Tämän lisäksi käynnistys tulee suorittaa apukoskettimen kautta, koska muuten aiheutuisi niin suuri vaihe-epäsymmetria, että lämpörele laukeaa. (Aittomäki 2008, 377)

Pienet hermeettiset kompressorit käynnistyvät tavallisesti lämpötilaa ohjaavan termostaatin avulla. Termostaatin eroalue takaa pysähtymisen ja käynnistymisen väliin riittävän ajan jäähtymisen moottorikämmitykselle. Yli- ja alipainekyllänsuojauks on määritetty kylmäaineryhmä- ja täyttökohtaisesti standardissa SFS-EN 378-2. (Aittomäki 2008, 383)

Pump-down -ohjaus on toiseksi tavallisin tapa yksittäisen kompressorin ohjaukseen. Tällöin ylipainesuojauksella varustettua kompressoria ohjataan painekyllänsella ja kylmäainevirtausta termostaatilla. (Aittomäki 2008, 384)

Termostaatti on yleisin jäähtymisen ohjauslaite. Se kaapeloidaan asennuskaapeleilla ja jäähtymiskohteessa magneettiventtiilin vuoksi rasioidaan. Rasiointi suoritetaan sen takia, että termostaatilla on tavanomaisesti vain yksi kaapeliliitäntä. Joissain huonetermostaateissa on nollaliitin ja kaksi kaapeliliitäntää, jolloin on mahdollista suorittaa

haaroitus termostaatin kytkentätilassa. Kotelointiluokka huonetermostaatille on oltava IP34 tai parempi. (Aittomäki 2008, 386)

Koneiston ryhmäkeskukseen sijoitettu kytkinkello on tavallisin sulatuksen ohjauslaite. Kytkinkellolla voidaan ohjata sulatusta kahdella tapaa; kytkemällä tehostettu kuuma-kaasu- tai sähkösulatus tai pysäyttämällä tietyksi ajaksi jäädytyksen ohjaus sulatettaviin höyrystymiin. Ensimmäisessä tilanteessa sulatus-signaali tulee suojatermostaattilta tai säätimen sulatusanturilta, jotka tulee olla sijoitettu höyrystimen herkimmin jäätyvään kohtaan. Tavallisella kytkinkellolla tarvittava sulatusjakson pituus saadaan aikaan kaksipiirisellä kytkennällä. Tällöin sulatuksen ajoitus on aina sama. (Aittomäki 2008, 387)

### 3.6 Kylmäelementtien ja laitteiden investointikustannukset

Investointikustannukset saatu tarjouksen mukaan. Tarjouksessa ei ollut eriteltyä yksikköhintoja. Pakkaskoneisto sisältää kompressorin, lauhduttimen sekä paisuntaventtiilin.

HINTA: 32.000,00 € Alv 0%

Toimitus sisältö

1 kpl ulkoasenteinen pakastekoneisto

Friga-Bohn Mega Sn N155A

1 kpl puhallinhöyrystin sähkösulatuksella

ECO-Luvata CTE-353 A8ED

1 elektroninen huonesäädin Danfoss Optima control

1 kpl pakastehuone 3,6m x 2,4m x 3,2m (ulkomitat)

- Elementti 100 mm

- Pakastehuoneen ovi PTO-11 1100x2050

1 kpl testaushuone 3,6m x 4,2m x 3,2 m

- Elementti 100 mm

- Kylmähuoneen ovi KTO-11 1100x2050

#### 4 ERILLINEN HÖYRYKOSTUTIN

Höyrykostuttimessa itsessään yleensä on automatiikka, jolla pystytään säätämään ilmankosteutta halutuksi. Höyrykostutin voidaan asentaa ilmanvaihtokanavistoon tai kuten suunnitelmassa se voi olla suoraa huoneessa. Laitteiden höyryntuotto ilmoitetaan yksikössä kilogrammaa tunnissa. Koje voidaan mitoittaa kaavalla:

$$m_d = \frac{V * \rho}{1000} * (x_2 - x_1)$$

$m_d$  = höyryn enimmäisterve, kg/h

$V$  = tuloilman enimmäismäärä,  $m^3/h$

$\rho$  = ilman tiheys,  $kg/m^3$

$x_2$  = haluttu huoneilman absoluuttinen kosteus, g/kg

$x_1$  = syöttöilman absoluuttinen vähimmäiskosteus, g/kg

testattavan koneen mukaan

$V = 150 \text{ l/s} = 540 \text{ m}^3/h$

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$x_2 = 0 \text{ g/kg}$  (ulkoilma)

$x_1 = \text{noin } 7\text{-}8 \text{ g/kg}$  (huoneilman max testattava kosteus)

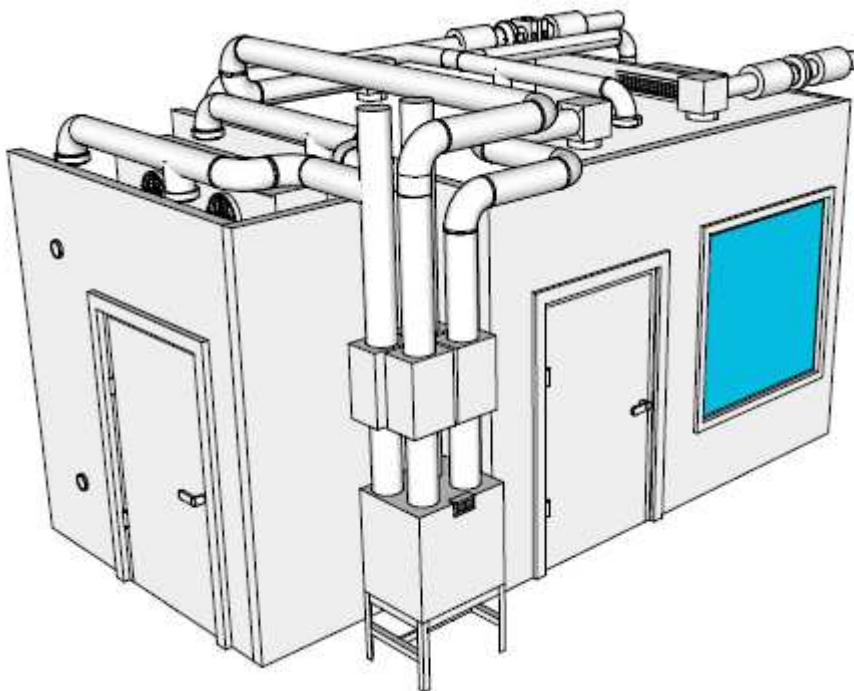
$$m_d = \frac{540 \text{ m}^3/h * 1,2 \text{ kg/m}^3}{1000} * (8 \text{ g/kg} - 0 \text{ g/kg}) = 4,5 \text{ kg/h}$$

Taulukko 6. Valitun höyrykostuttimen tekniset tiedot.

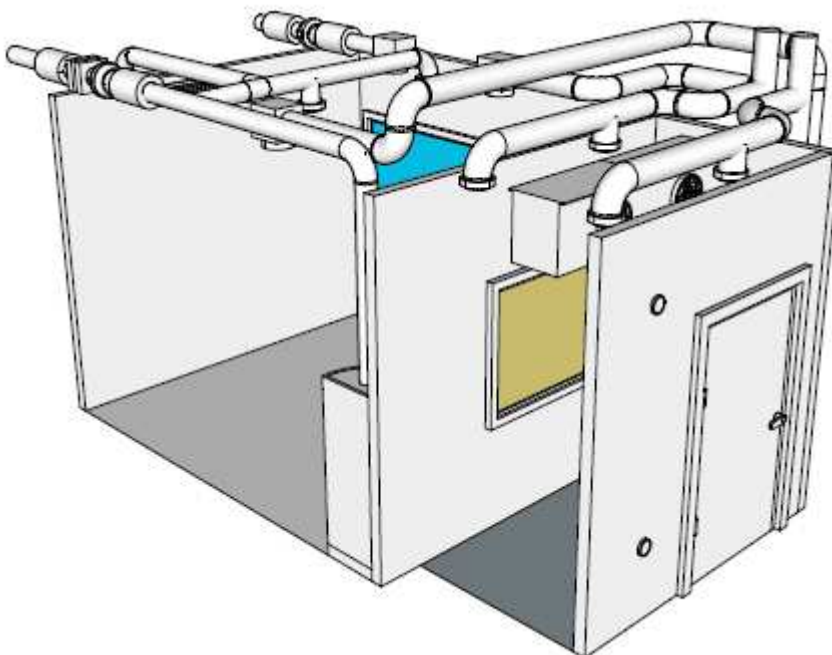
VAPAC HÖYRYKOSTUTTIMET MICROVAP-YKSIKÖT	
Malli	LE05P+N
Max. höyryn tuotto	5 kg/h
Säätö	Portaaton
Nimellissähköteho	3,8 kW
Jännite	400 V
Sylinterikoodi	CD 1/2N-2WA
Jakotukki lkm/halk.	1/35 mm
svh. EUR/ kpl	2551

## 5 LUONNOSTELMA TILASTA

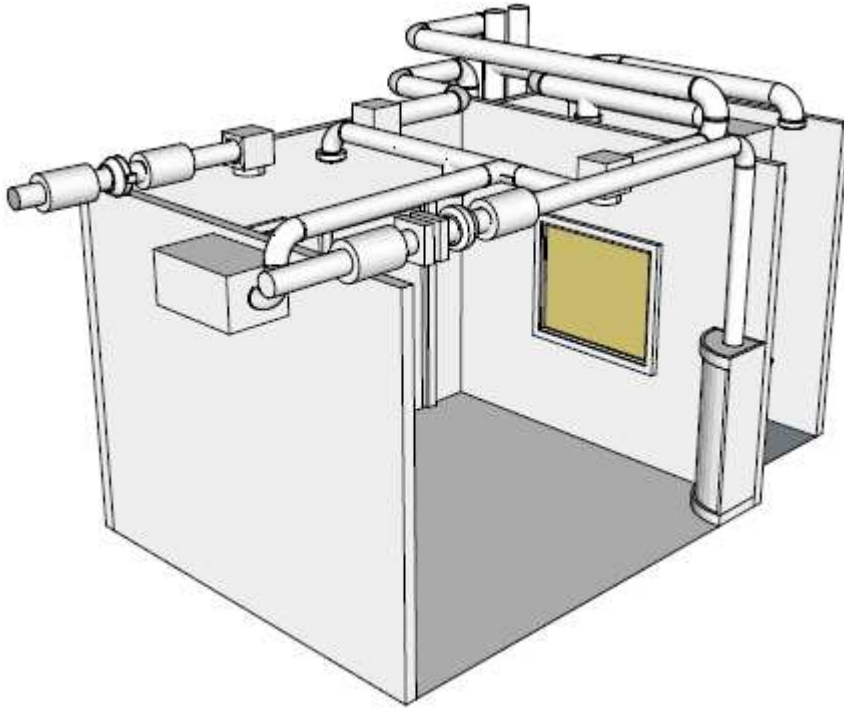
Luonnostelman selkeyttämiseksi katto, takaseinä ja höyrystimen suojapelti poistettu, ja ilmanvaihtokoneelta ulos menevät kanavat ja kanavapuhaltimien kanavat lyhennetty.



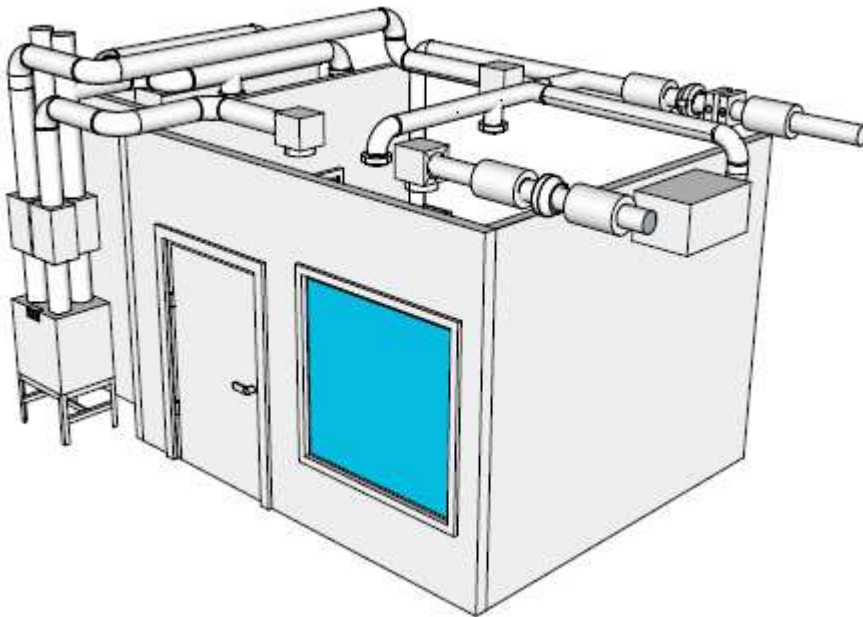
Kuva 11. Isometrinen näkymä edestä vasemmalta.



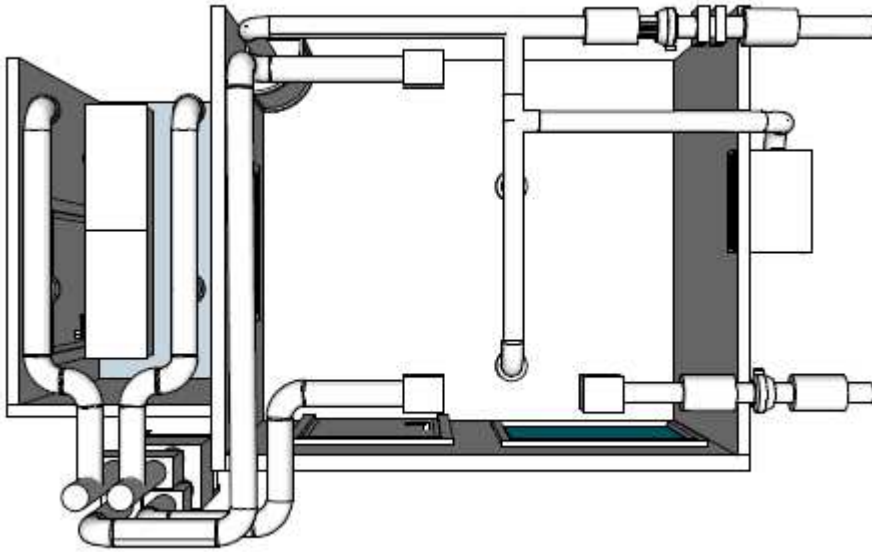
Kuva 12. Isometrinen näkymä takaa oikealta.



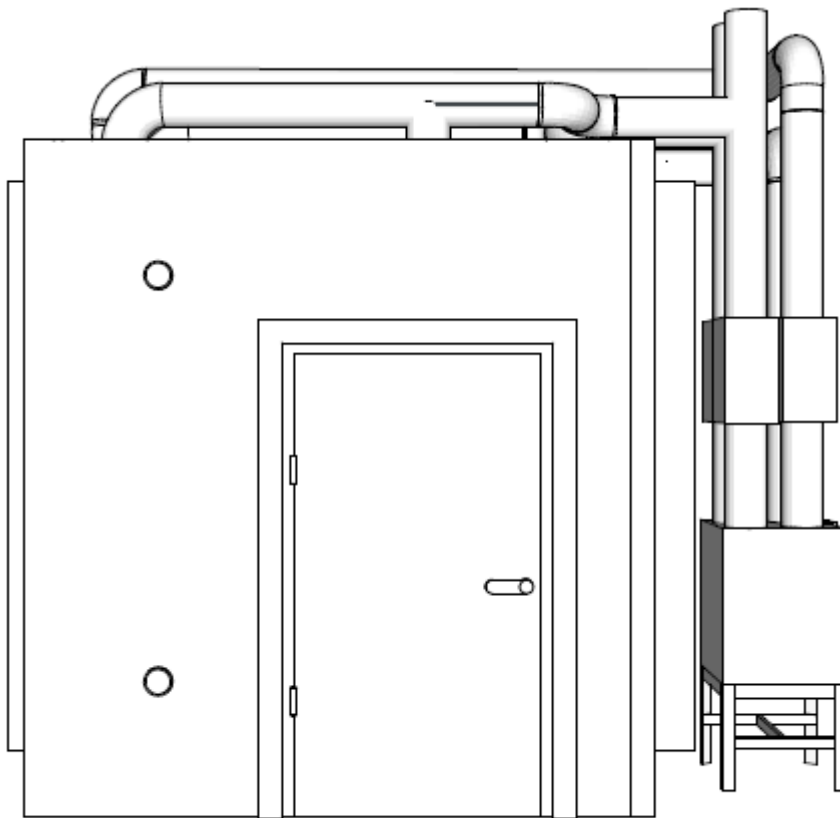
Kuva 13. Isometrinen näkymä takaa vasemmalta.



Kuva 14. Isometrinen näkymä edestä oikealta.



Kuva 15. Näkymä ylhäältä.



Kuva 16. Näkymä vasemmalta.

## 6 LABORATORIOTYÖ IDEOITA

Listaan koottuna ajatuksia tiloissa mahdollisesti suoritettavista laboratoriotöistä.

- Huoneen lämpö-, epäpuhtaus- ja kosteuskuormituksen mittaukset
- Ilmanjaon mittaukset
- Huonelaitteiden testaukset
- Huoneautomaation testaus
- Huoneen olosuhteiden aikariippuva testaus
- Kylmäkoneen suoritusarvot
- Rakenteiden fysiikan demonstraatiot ja testaukset
- Rakenteiden tiiviyyden mittaukset
- Ilmavuodot ja merkkiainemittaukset
- Lämmönsiirron laboratoriotyöt

## LÄHTEET

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.

Hannula, P. 2014. Uusi F-kaasuasetus. Kylmä extra 1. 7-9.

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) N:o 517/2014, annettu 16 päivänä huhtikuuta 2014, fluoratuista kasvihuonekaasuista ja asetuksen (EY) N:o 842/2006 kumoamisesta

Sandberg, E. & Railio, J. 2014. Ilmastointilaitoksen kuvaus ja säädökset. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 21-28.

Jokinen, L., Pessi, P. & Laine, T. 2014. Esimerkkejä tavanomaisten ilmastointilaitosten suunnittelusta. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 319-364.

Sandberg, E. & Ripatti, H. 2014. Kanaviston mitoitus, säätö ja mittaus. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 87-122.

Mäkinen, P., Tammivaara, H., Paasio, I., Sandberg, E. & Lönnström, J. 2014. Ilmastointikoneet ja -konehuoneet. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 155-205.

Sandberg, E. & Koskela, H. 2014. Ilmastointilaitoksen kuvaus ja säädökset. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 97-106.

Silvan, J., Kauppila, K. & Kaappola, E. 2014. Jäähdytysjärjestelmät. Teoksessa Sandberg, E. & ym. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Tampere. Talotekniikka-julkaisut Oy. 241-279.

Aittomäki, A. 2008. Kylmätekniiikka. Helsinki. Suomen Kylmäyhdistys r.y.

C4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys Ohjeet 2012. LUONNOS 16. maaliskuuta 2012.

## LIITTEET

LIITE 1. Kytentäkaavio TK2

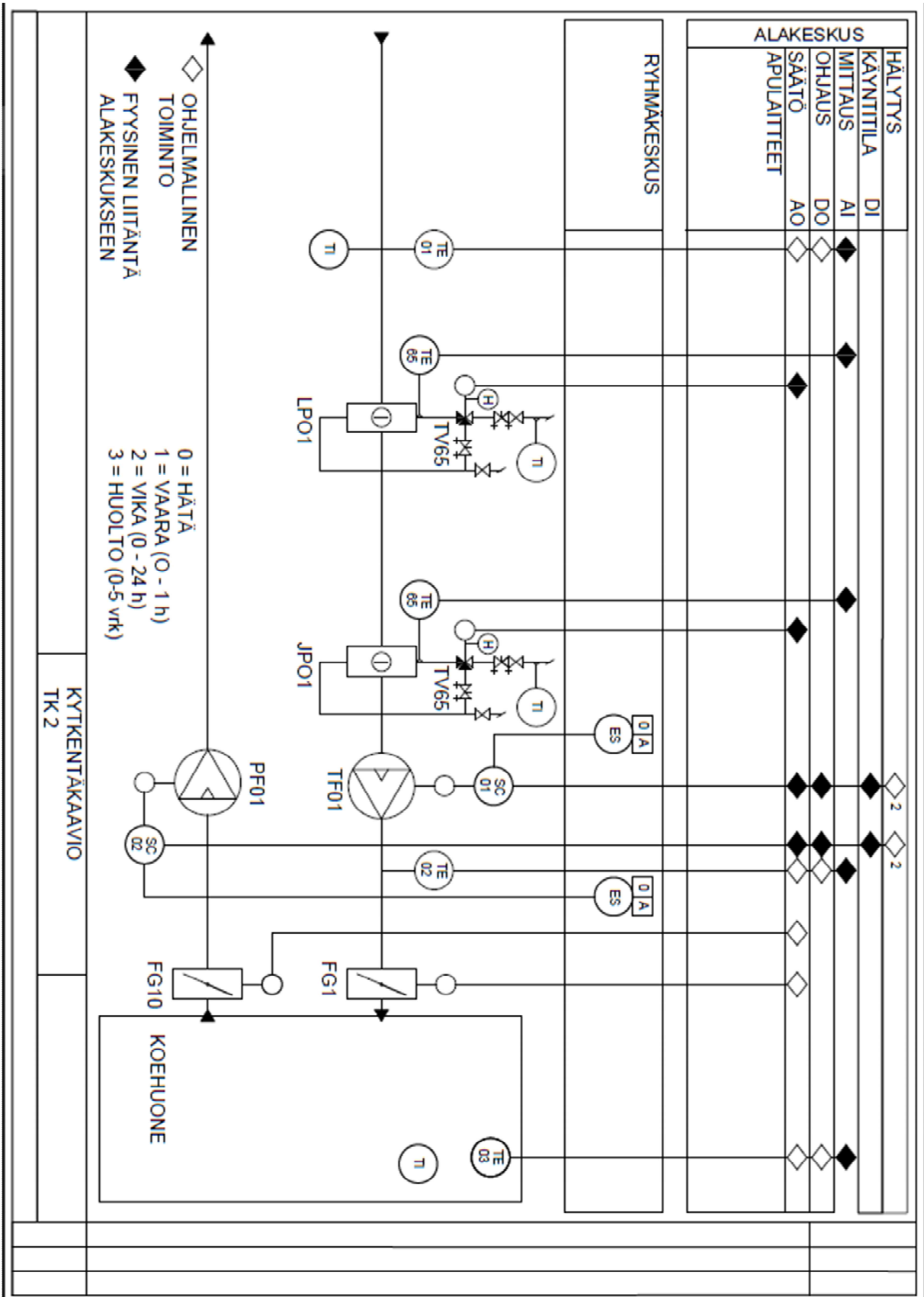
LIITE 2. Pohjakuva

LIITE 3. Höyrytimen suojapelti

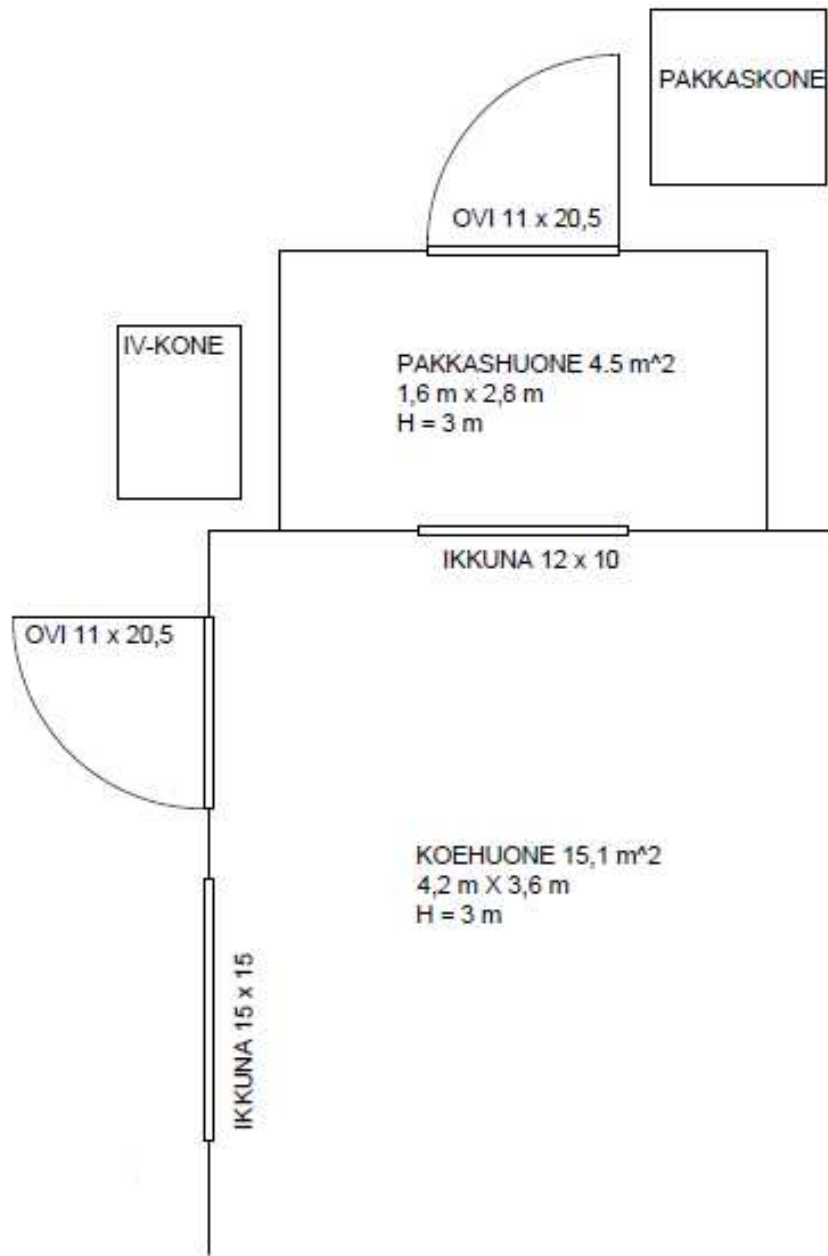
LIITE 4. Tuuletusaukkojen sijainti

LIITE 5. Testausikkuna

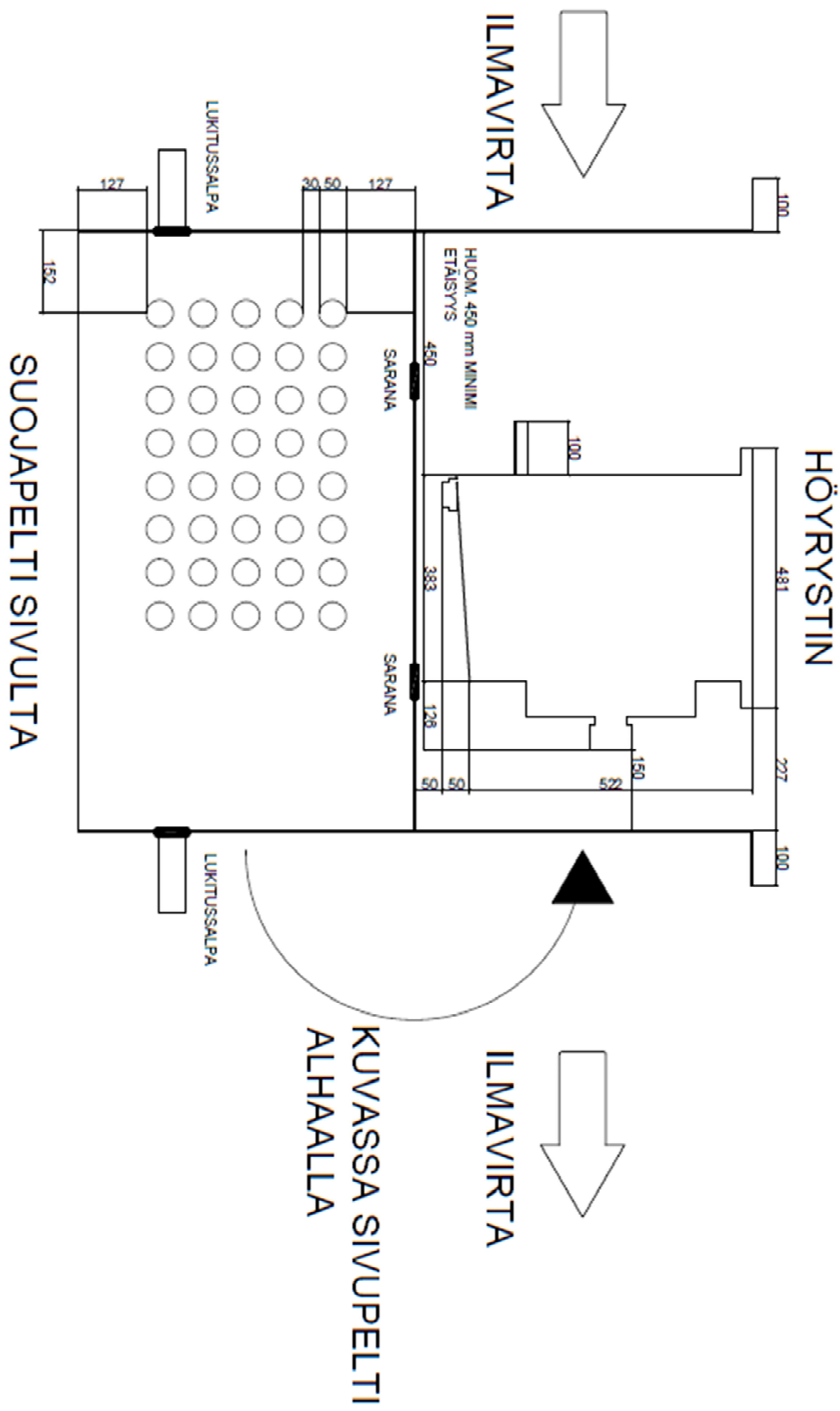
LIITE 1.

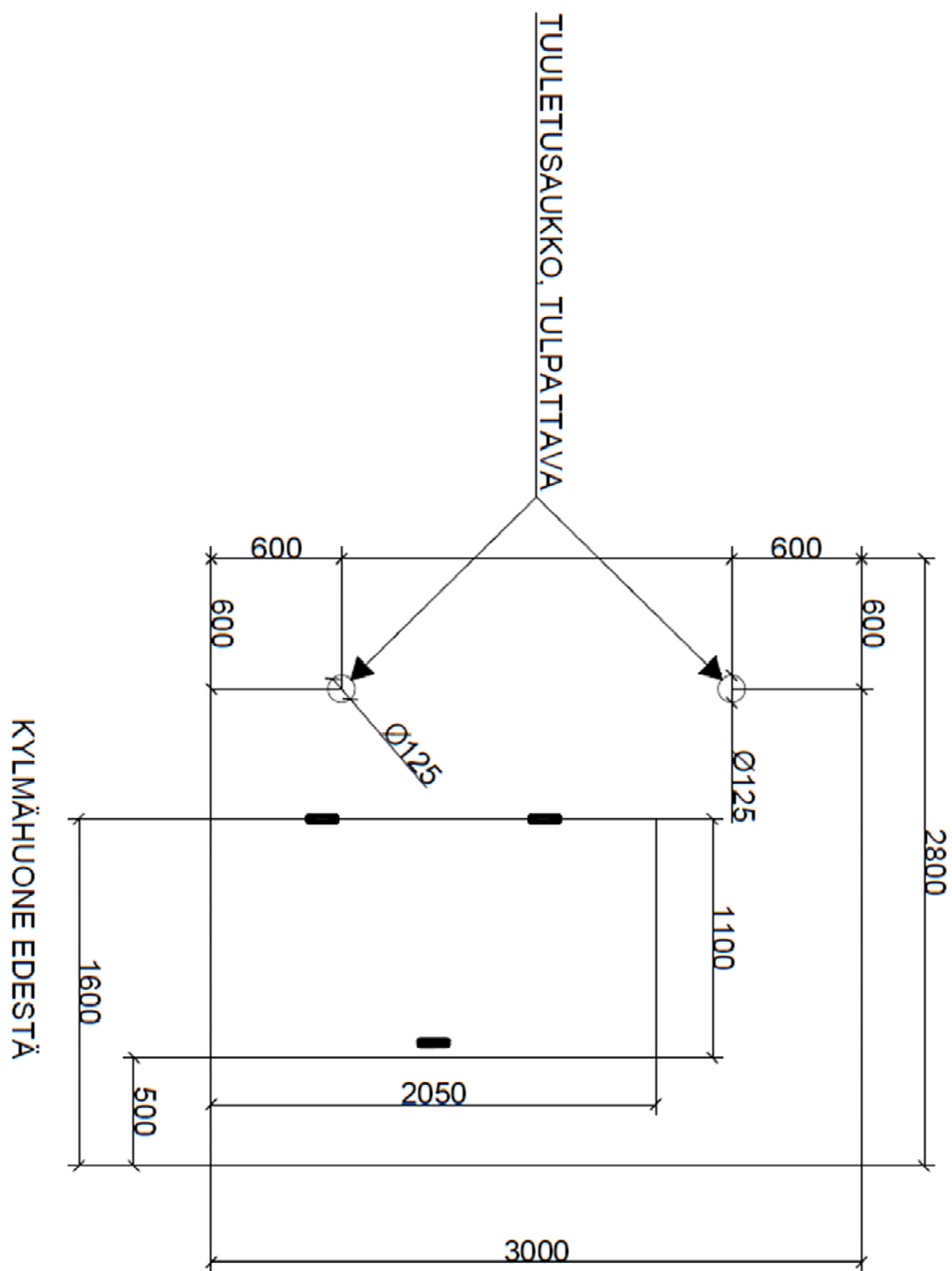


## LIITE 2.

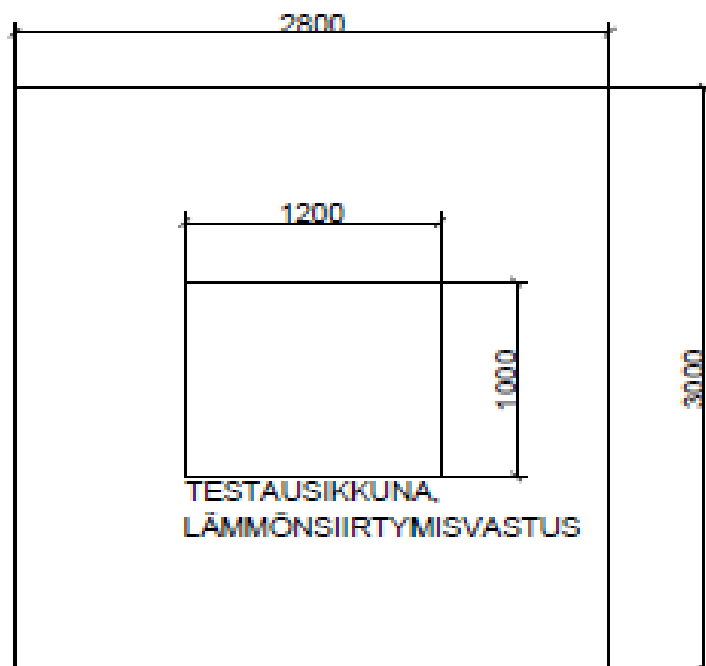


## LIITE 3.

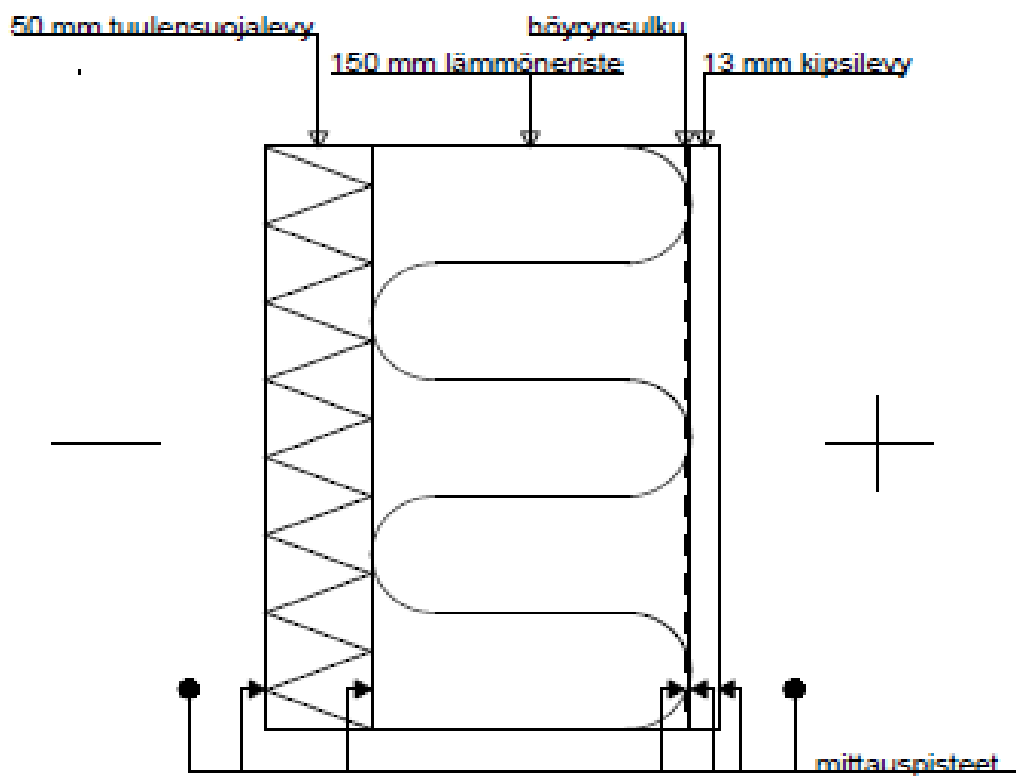




## LIITE 5.



KYLMÄHUONE SISÄLTÄ, KOEHUONEEN  
VASTAINEN SEINÄ



LEIKKAUSKUVA, TESTAUSIKKUNA