



Petri Rantala

# OL1/OL2 -laitosten uusien tietokonehuoneiden ilmastoinnin periaateratkaisujen vertailu ja määrittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma (LVI)

Insinöörityö

23.03.2023

# Tiivistelmä

Tekijä:	Petri Rantala
Otsikko:	OL1/OL2- laitosten uusien tietokonehuoneiden ilmastointin periaateratkaisujen vertailu ja määrittely
Sivumäärä:	54 sivua
Aika:	23.03.2023
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	LVI
Ohjaajat:	Aki Valkeapää, yliopettaja (Metropolia) Antti Rinne, vanhempi voimalaitosinsinööri (TVO)

---

OL1 ja OL2 -ydinvoimalaitoksilla tehdään lähitulevaisuudessa järjestelmäuusintoja, joissa laitousyksiköille asennetaan useita uusia palvelimia. Projektin esiselvitysvaiheessa on käynyt ilmi, että nykyiset palvelintilat eivät sovellu uusintojen jälkeen uuteen käyttötarkoitukseen, vaan tilat on sijoitettava muualle.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uusien tietokonehuoneiden vaatimia olosuhteita ja niiden hallitsemisessa vaadittuja ilmanvaihto- ja jäähdytysratkaisuja. Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen toteutukseen oli olemassa useita mahdollisia vaihtoehtoja. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin vertailemaan eri periaateratkaisuja ja niiden soveltuvuutta kohteelle. Opinnäytetyö tehtiin Teollisuuden Voima Oyj:n toimeksiannosta.

Opinnäytetyön lopputuloksena määritettiin käyttötarkoitukseen parhaiten soveltuva periaateratkaisu, jolla edettiin lopulta varsinaiseen toteutussuunnitteluvaiheeseen. Suunnittelutyön valmistuttua projekti jää odottamaan sopivaa toteutusajankohtaa.

Avainsanat: konesali, serveritila, palvelintila, jäähdytys, ilmastointi

## Abstract

Author:	Petri Rantala
Title:	Comparison and Selection of Air-conditioning Process for Data Centres in Nuclear Power Plant
Number of Pages:	54 pages
Date:	23 March 2023
Degree:	Master of Engineering
Degree Programme:	Building Services Engineering
Supervisors:	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Antti Rinne, Senior Plant Engineer

---

The aim of the thesis was to identify the required ambient conditions for new server rooms for the nuclear power plants Olkiluoto 1 and 2, about to undergo system upgrades that involve installing several new servers, as the current server rooms were revealed to not meet the necessary requirements. Furthermore, the aim was to compare various air-conditioning and cooling processes that are necessary to regulate these conditions in the new location of the rooms. Although there are multiple methods available to achieve the desired conditions, it was necessary to select the best process for this project, which would take into account all the unique requirements of the nuclear industry.

Following the comparison, the most suitable processes were selected for the project, as outlined in the thesis. The thesis will be of great use once the renovation is conducted.

Keywords: server room, data centre, cooling, air-conditioning

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Toimeksiantajan tiedot	1
1.2	Tausta	1
2	Yleistä tietokonehuoneista	2
3	Nykytilanne	4
3.1	Pohjaratkaisu	5
3.2	Olosuhteet	7
4	Sopivien huonetilojen katselmointi ja vertailu	9
4.1	Yleistä	10
4.2	Huonetilavaihtoehto 1	11
4.3	Huonetilavaihtoehto 2	13
5	Uusien tietokonehuoneiden valinta ja vallitsevat olosuhteet	15
5.1	Pohjaratkaisu	16
5.2	Olosuhteet	18
6	Ilmanvaihto	20
6.1	Ilmankierto tilassa	21
6.2	Ilmavirran mitoitus	24
6.2.1	Perusilmanvaihto erillisellä jäähdytyksellä	24
6.2.2	Täysi ilmajäähdytys keskusilmanvaihtolaitteistolla	26
6.2.3	Ilmajäähdytys erillisjäähdytyksellä	27
6.2.4	Ilmajäähdytys vakioilmastointikoneella	28
6.3	Ilman puhtaus	30
6.4	Kosteustason hallinta	31
6.5	Varmennukset	31

7	Jäähdytys	31
7.1	Vakioilmastointikoneet	32
7.1.1	Ilmalauhdutteinen (CRAC)	32
7.1.2	Nestelauhdutteinen (CRAH)	33
7.2	Nestejäähdytys	34
7.2.1	Jäähdytetty puhallinseinä	36
7.2.2	Rivijäähdytys	38
7.2.3	Takaovijäähdytys	39
7.3	Vapaajäähdytys	41
7.4	Varmennukset	41
8	Periaateratkaisujen vertailu	42
8.1	Ilmanvaihto	42
8.2	Jäähdytys	45
9	Johtopäätös	46
9.1	Periaateratkaisun valinta	46
9.1.1	Ilmanvaihto	47
9.1.2	Jäähdytys	48
9.2	Opinnäytetyön tavoitteiden täyttyminen	50
	Lähteet	52

## Lyhenteet

523	OL1/OL2 järjestelmännumero (hälytyksien rekisteröintijärjestelmä).
726	OL1/OL2 järjestelmännumero (ilmastoinnin jäähdytys).
746	OL1/OL2 järjestelmännumero (ilmastointijärjestelmä).
ASHRAE	Yhdysvaltalainen LVI-alan järjestö, lyhenne sanoista <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> .
BWR	Kiehutusvesireaktori, joka on yksi ydinvoimaloissa käytetty reaktori-tyyppi. Kiehutusvesireaktorissa vesi kiehutetaan paineastiassa, josta muodostuva höyry kulkeutuu turbiinille, joka pyörittää generaattoria.
CAC	<i>Cold-aisle containment</i> , eriytetty kylmäkäytävä.
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i> , virtausanalyysi.
CRAC	<i>Computer room air conditioner</i> , ilmalauhdutteinen vakioilmastointikone.
CRAH	<i>Computer room air handling</i> , nestelauhdutteinen vakioilmastointikone.
CWS	<i>Chilled water supply</i> , kylmävesiasema.
DX	<i>Direct expansion</i> , suorahöyrystys.
EPR	Eurooppalainen painevesireaktori on uusi versio tavallisesta painevesireaktorista eli PWR:stä.
HAC	<i>Hot-aisle containment</i> , eriytetty kuumakäytävä.

IT	<i>Information Technology</i> , tietotekniikka.
IVKH	Ilmanvaihtokonehuone.
LVI	Lämpö, vesi ja ilmastointi.
PDU	<i>Power distribution unit</i> , virranjakoyksikkö.
PWR	Painevesireaktorissa vesi lämmitetään niin korkeaan paineeseen, ettei se höyrysty. Ensiöpiirissä kiertävä korkeassa paineessa oleva vesi lämmittää toisiopiirin vettä, joka höyrystyessään kulkeutuu turbiinille ja saa aikaan generaattorin pyörimisen.
RH	<i>Relative humidity</i> , suhteellinen kosteus.
TVO	Teollisuuden Voima Oyj.
UPS	<i>Uninterruptible power supply</i> , keskeytymätön virransyöttö.

# 1 Johdanto

## 1.1 Toimeksiantajan tiedot

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Teollisuuden Voima Oyj, joka on ydinvoimaa tuottava listaamaton suomalainen julkinen osakeyhtiö. TVO on perustettu vuonna 1969, ja sen suurimmat omistajat ovat suomalaisia teollisuus- ja voimayhtiöitä, kuten Pohjolan Voima Oyj, Kemira Oyj ja Fortum Power and Heat Oy, joille TVO:n hallinnassa olevat ydinvoimalaitokset tuottavat sähköä omakustannusperiaatteella. Omakustannusperiaate mahdollistaa eri kokoluokan sähkönkäyttäjien ja energiayhtiöiden osallistumisen ydinvoiman kaltaisiin suuriin investointeihin ja sitä kautta saavutettaviin hyötyihin. Voimalaitosyhtiön omistajat vastaavat kaikista sähköntuotannon kustannuksista ja saavat sähköä vastineeksi suhteessa omistusosuuteensa. Omistajat joko myyvät sähkön eteenpäin tai käyttävät sen itse. [1]

Ydinvoimalaitokset sijaitsevat Eurajoella Olkiluodon saarella, jossa BWR-laitosyksiköt Olkiluoto 1 (OL1) ja Olkiluoto 2 (OL2) ovat tuottaneet sähköä jo 1980-luvun vaihteesta lähtien. Laitosalueelle on valmistunut myös uusi EPR-laitosyksikkö Olkiluoto 3 (OL3), jonka säännöllinen sähköntuotanto alkoi keväällä 2023. Ydinvoimatuotannon lisäksi Olkiluodossa aloitetaan 2020-luvun aikana loppusijoittamaan käytettyä ydinpolttoainetta Posiva Oy:n toimesta. Hanke on ensimmäinen laatuaan koko maailmassa, ja tarkoituksena on loppusijoittaa Teollisuuden Voiman (Olkiluoto 1, 2 ja 3) sekä Fortumin (Loviisa 1 ja 2) laitosyksiköiden käytetty ydinpolttoaine Suomen kallioperään. [1][2]

## 1.2 Tausta

Laitosyksiköille OL1 ja OL2 on tarkoitus tuoda tulevaisuudessa järjestelmäusuinnoissa useita palvelimia. Nykyiset palvelintilat sopivat tähän tarkoitukseen huonosti, sillä järjestelmäusuintojen jälkeen tilat eivät täyttäisi ydinvoimaympäristössä vaadittuja erotteluvaatimuksia. Laitosten kannalta parempi ratkaisu on muokata



joistain muussa käytössä olevista tiloista uudet palvelinhuoneet, jolloin järjestelmäusinnat voidaan tehdä käynnissä olevien järjestelmien rinnalle. Tämä mahdollistaisi uusien palvelinten käyttöönoton ja tiloihin liittyvien muutostöiden tekemisen pääasiassa laitosten tehoajojaksolla ilman käyttökatkoksia. Huone-tilojen muutoksessa tehdään vaadittavat rakennustekniset muutokset sekä palvelinkaappien ja niihin liittyvien kaapelien asennukset. Lisäksi tilojen ilmanvaihto ja jäähdytys uusitaan palvelintilojen vaatimalle tasolle. [3, s. 5]

## **2 Yleistä tietokonehuoneista**

Tietokonehuoneella (muita nimityksiä muun muassa konesali tai palvelintila) tarkoitetaan rakennusta tai rakennuksen erillistä osaa, joka muodostuu varsinaisesta palvelinhuoneesta sekä palvelinhuonetta tukevista teknisistä tiloista. Teknisissä tiloissa sijaitsee esimerkiksi palvelintilan ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen liittyviä laitteistoja. Varsinaisissa palvelintiloissa sijaitsee IT-laitteistoa ja niiden ylläpitoon liittyviä suojaus- ja varajärjestelmiä. [4, s. 5] Konesaleista käytettävät nimitykset hieman vaihtelevat kokoluokan mukaan. Pienempiä konesaleja kutsutaan yleisesti palvelintiloiksi (englanniksi server room) ja suurempia datakeskuksiksi (englanniksi data center). [5, s. 5]

Palvelintiloissa käytetty laitteisto voidaan jakaa karkeasti neljään eri kategoriaan. Virransyöttölaitteisto muodostaa ensimmäisen laitekokonaisuuden, joka sisältää virranjakoyksiköt (PDU), keskeytymättömän virransyötön järjestelmät (UPS), akustot, generaattorit sekä kytkinlaitteiston. Toinen kokonaisuus sisältää tilan olosuhteiden hallintaan vaadittavia laitteistoja, kuten jäähdytyslaitteita ja niihin liittyviä automaatiokomponentteja. Kolmanteen kokonaisuuteen kuuluvat varsinaiset IT-laitteet, kuten palvelimet, verkkolaitteistot ja kovalevyt. Myös palvelinlaitteiden käyttöön ja valvontaan tarkoitetut oheislaitteet, kuten näytöt, näppäimistöt ja työasemat sisältyvät tähän kategoriaan. Neljänteen kategoriaan kuuluvat muut palvelintilaan liittyvät järjestelmät, kuten valaistus ja palonesto-laitteistot. [6, s. 9]

Palvelintilat ja datakeskukset muodostavat tietojenhallinnan ja -käsittelyn selkärangan lähes jokaisella talouden sektorilla [6, s. 9]. Dataliikenteen määrän jatkuvan kasvun vuoksi palvelinkapasiteetin tarve on viime vuosina kasvanut valtavasti. Yritykset siirtävät jatkuvasti lisääntyvällä tahdilla toimintojaan ja palvelujaan pilveen, mikä lisää suurten konesalien tarvetta tulevaisuudessa. Tietojen siirtyessä yhä kasvavissa määrin verkossa toimivien pilvipalveluiden alle, korostuu palvelintiloihin liittyvän tekniikan luotettava, vakaa, varmennettu ja turvallinen toiminta. [4, s. 5]

Jotta voidaan taata tietojärjestelmien käynnissä pysyminen kaikissa mahdollisissa olosuhteissa, tietokonehuoneiden palvelimien ja jäähdytyksen toiminta varmennetaan usein kahdennetuilla järjestelmillä. Jäähdytyksen- ja sähkönjakelu voidaan kahdentaa, esimerkiksi erilaisella jakelujärjestelmällä. Yleensä myös virtalähteet kahdennetaan. Jäähdytykseen ja sähkönsyöttöön liittyvät järjestelmät voidaan myös mitoittaa ylisuuriksi, jolloin yli tarpeen mitoitettu kapasiteetti suojaa tilanteessa, jossa jokin yksittäinen sähkönsyöttöön tai jäähdytykseen liittyvä komponentti menee epäkuntoon. [4, s. 6]

Tietokonehuoneiden varmennusastetta eli redundanssisuutta voidaan kuvata Tier-luokittelun mukaisilla luokituksilla (I – IV). Tier-luokittelussa suurempi luokka tarkoittaa parempaa varmennuksen tasoa, eli taso IV takaa palvelinten toiminnan suurissakin sähkönjakelun tai virtalähteiden vikatilanteissa. [5, s. 10] Vikasietoisuuksien luokittelussa käytetään termiä N (need), jonka eteen sijoitettu numero kuvaa järjestelmän aktiivisten komponenttien ja jakeluteiden määrää, kun taas N-kirjaimen jälkeen sijoitettu numero kuvaa vaihtoehtoisten komponenttien ja jakeluteiden määrää. [4, s. 6-7] Tier-luokittelussa käytetyt oleelliset vaatimukset on esitetty alla taulukossa 1 [7, s. 9].

Taulukko 1. Kooste Tier-luokituksesta, muokattu lähteestä. [7, s. 9]

	Tier I	Tier II	Tier III	Tier IV
Minimum capacity components to support the IT load	N	N+1	N+1	N, after any failure
Distribution paths – electrical power backbone	1	1	1 active, 1 alternate	2, simultaneously active
Critical power distribution	1	1	2, simultaneously active	2, simultaneously active
Concurrently maintainable	No	No	Yes	Yes
Fault tolerance	No	No	No	Yes
Compartmentalization	No	No	No	Yes
Continuous cooling	No	No	No	Yes

Sähkönjakelulla, varavoimalla ja jäähdytyksellä voi olla eri tasolle luokiteltu varmennusaste [5, s. 11]. Tier-luokitusta käytettäessä on huomioitava, että parempaa varmennusastetta käytettäessä järjestelmän kokonaisinvestointikustannukset voivat kasvaa huomattavan suuriksi. Kahdennuksia varten rinnakkain asennettavat järjestelmät lisäävät myös vaadittavan tilan tarvetta. Tästä syystä on hyvin tärkeää arvioida kohteen vaatimukset aina tapauskohtaisesti. [4, s. 6]

### 3 Nykytilanne

Yleisellä tasolla OL1 ja OL2 -laitosyksiköiden turvallisuusjärjestelmät on jaettu neljään rinnakkaiseen osajärjestelmään (A, B, C ja D). Nämä neljä osajärjestelmää ovat toisistaan riippumattomia joko yksittäin tai pareittain (AC ja BD). Laitoksen yksittäisvikaantumisen varalle osajärjestelmät (tai parit) on yleensä eroteltu fyysisesti eri huoneisiin, jolloin ne ovat toisistaan riippumattomia. Edellä mainittua järjestelyä, jossa on kytketty rinnan useampia samanlaisia laitteita hoitamaan samaa tehtävää, kutsutaan redundanssiksi. Samaa osajärjestelmiin jakoa sovelletaan myös esimerkiksi tilojen sähkönsyötölle, ilmastoinnille ja jäähdytykselle, eli näille on omat osajärjestelmäkohtaiset laitteistonsa. [8, s. 52]

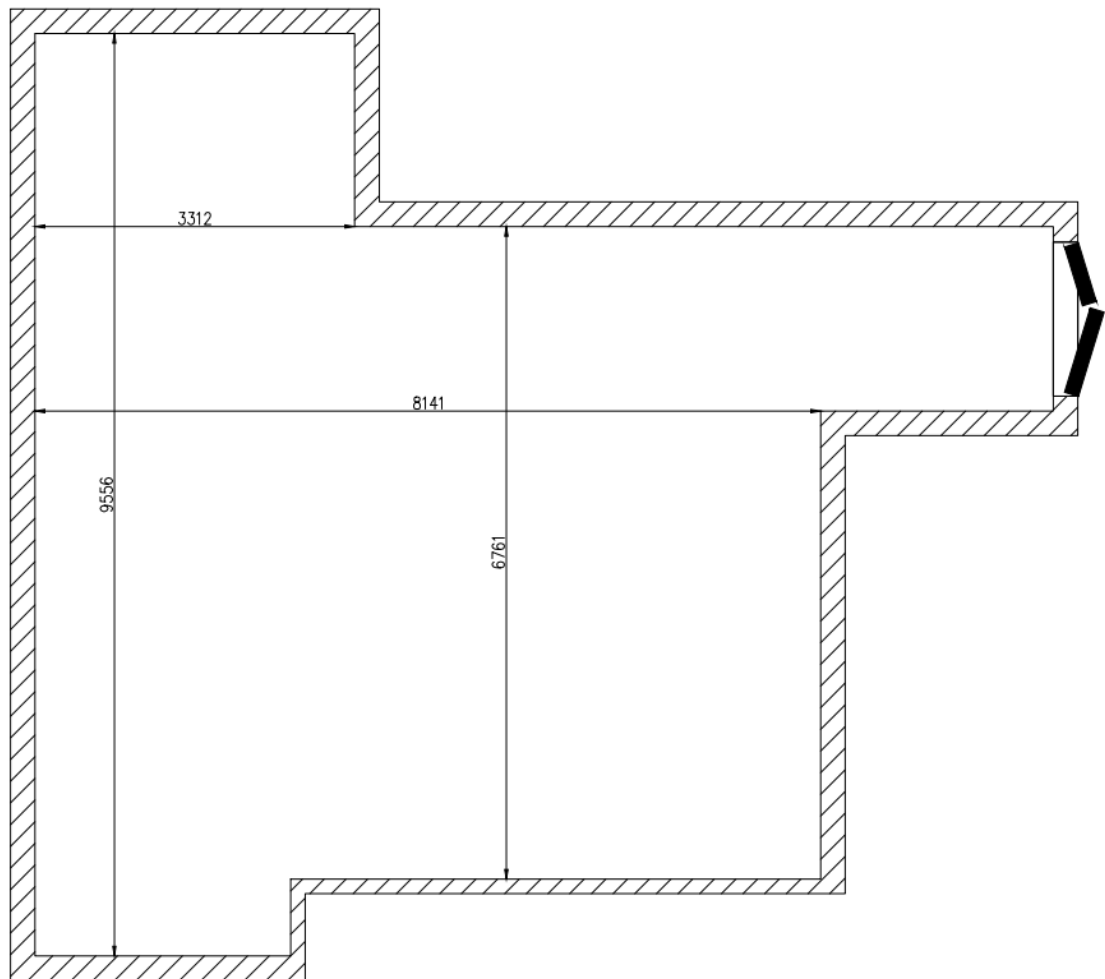
Nykyiset tietokonehuoneet ovat alun perin suunniteltu ja rakennettu sisältämään C- ja D-osajärjestelmien laitteet. Laitosyksiköille OL1 ja OL2 on tarkoitus tuoda tulevaisuudessa järjestelmäuusinnoissa useita palvelimia. Järjestelmäuusinnoissa laitosten järjestelmiä päivitetään digitaaliseen muotoon, eikä muutosten tarve tulevaisuudessa tule ainakaan vähenemään. Järjestelmäuusintojen alustavassa suunnittelussa on lisäksi tunnistettu tarve päivittää tietokonehuoneiden osajärjestelmien erotukset vastaamaan ydinvoimalaympäristön vaatimuksia siten, että C- ja D-osajärjestelmät erotetaan toisistaan.

Osajärjestelmien erotukset nykyisissä tiloissa edellyttäisivät tiloihin suuria rakennusteknisiä muutoksia sekä uusia asennuksia tehtäessä väliaikaisia ratkaisuja (esimerkiksi 523-järjestelmän ristikytkennät). Tilamuutostöiden tekeminen edellyttäisi myös prosessitietokonejärjestelmään aiheutuvia käyttökatkoksia, joita ei voida tehdä laitosten käytön aikana (=tehoajoajaksolla). Käytännössä työt pitäisi suorittaa laitosten vuosihuoltojen aikana, mikä tarkoittaisi todennäköisesti pidennettyjä vuosihuoltoja muutostöiden laajuuden vuoksi. [3, s. 5]

Edellä mainitut muutokset ja niiden suorittamiseen vaaditut väliaikaisratkaisut ovat erittäin kalliita ja suuritöisiä, sillä laitosten sähköntuotanto pysähtyisi töiden ajaksi. Kustannussyistä on huomattavasti järkevämpää sijoittaa laitteet toiseen tilaan ja suorittaa muutostyö siten, että olemassa olevat järjestelmät toimivat koko ajan rinnalla. [3, s. 5]

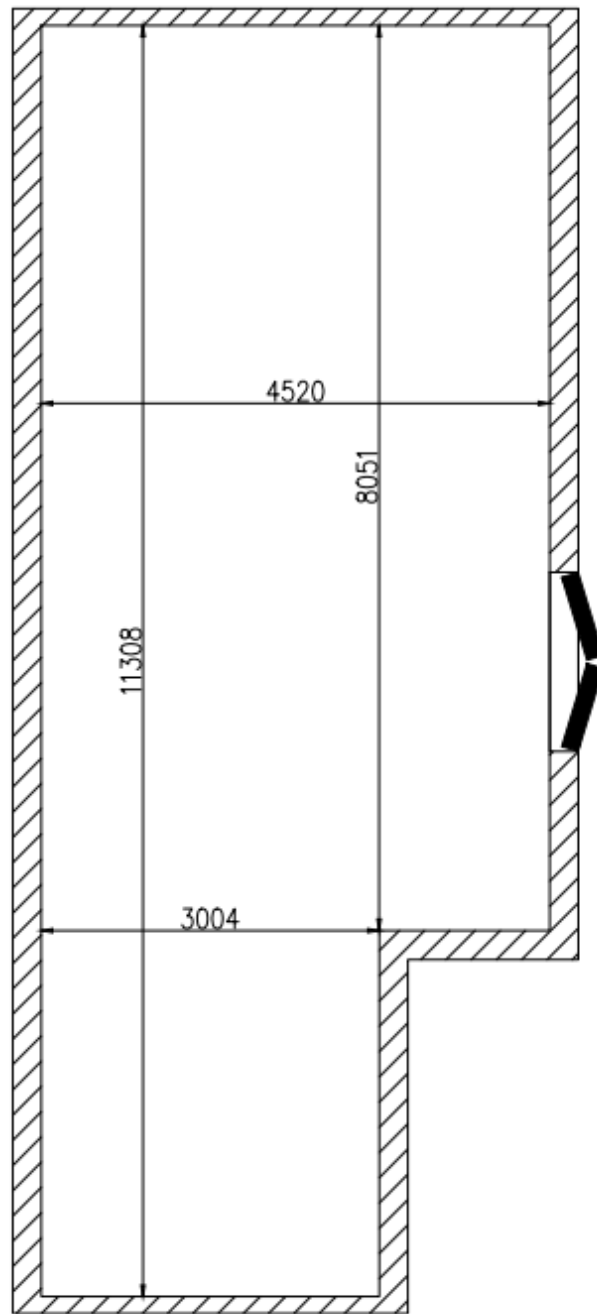
### 3.1 Pohjaratkaisu

Nykyiset tietokonehuoneet sijaitsevat Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 kiehutusvesilaitosten valvomorakennuksessa. Kummassakin laitoksessa palvelinlaitteistolle on varattu yksi huonetila, jonka pinta-ala on noin 68 m<sup>2</sup>. Huoneessa sijaitsevat C- ja D-osajärjestelmien palvelinlaitteet. Nykyisen palvelintilan pohjapiirustus mittoineen on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Nykyinen palvelintila mittatietoineen, pinta-ala noin 68 m<sup>2</sup>.

Palvelinkaapit on asennettu tilaan asennetun korotetun lattian päälle. Jäähdytetty ilma tuodaan tilaan läheisestä ilmanvaihtokonehuoneesta ja jaetaan tietokonehuoneessa korotetun lattian alapuolella. Lämmennyt ilma poistetaan katon rajasta. Kuvassa 2 on kuvattu palvelintiloja palvelevan ilmanvaihtokonehuoneen pohjapiirustus mittoineen. Ilmanvaihtokonehuone sijaitsee tietokonehuoneen välittömässä läheisyydessä, ja sen pinta-ala on noin 46 m<sup>2</sup>. Huoneessa sijaitsevat ilmanvaihtokoneen lisäksi ilman käsittelyyn liittyvät jäähdytys- ja kostutuslaitteistot.



Kuva 2. Nykyistä tietokonehuonetta palveleva ilmanvaihtokonehuone, pinta-ala noin 46 m<sup>2</sup>.

### 3.2 Olosuhteet

Olkiluodon voimalaitosten sähkötilojen olosuhteille on määritelty tilakohtaisia olosuhdevaatimuksia. Nykyisille tietokonehuoneille määritellyt olosuhteet on esitetty taulukossa 2 [9, s. 4].

Taulukko 2. Olosuhdevaatimukset palvelintilalle, muokattu lähteestä. [9, s. 4]

Olosuhdevaatimus	Arvo	Arvon selite
Lämpötila	19–21 °C <sup>(1)</sup>	
Kosteus	RH 40–60 % <sup>(1)</sup>	
Säteilytaso	0 (< 3 µSv/h)	Vapaa alue, ei rajoituksia
Pintakäsittely	D I	Valvomaton alue
Lämpökuorma	H III (7–9 kW)	Huonetilassa merkittäviä lämpökuormia (≥ 5 kW)
Palokuorma <sup>(2)</sup>	F III	< 600 MJ/m <sup>2</sup>
Melutaso	N III	Normaalit prosessitilat (< 85 dB)
Paine-ero	P II <sup>(3)</sup>	ylipaineinen
Valaistuksen voimakkuus	LV	Keskimääräinen voimakkuus 450...600 lx (valvomotilat)
Sähkötilaluokka	E II	Elektroniikka-, tai valvomotila
Kotelointiluokka	IP20	

Alla lueteltu taulukossa 2 esitetyt numeroviittaukset:

1. Sähkö- ja automaatiokomponenttien sekä laitteiden valinnassa noudatetaan soveltuvin osin ohjetta Te-Be-1e rev. 4. [10]
2. Taulukossa 1 esitetty palokuormaluokka F III vastaa 848/2017 ”Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta” taulukko 6:ssa esitettyä palokuormaa alle 600 MJ/m<sup>2</sup>.
3. Paine-ero 30 Pa erikseen määritettyyn suuntaan.

Vaikka taulukossa 2 esitettyyn lämpötilavaatimukseen on määritetty laitosten suunnitteluperusteissa tarkat rajat, pitää palvelinlaitteiston toimittajan omat vaatimukset ottaa myös huomioon olosuhteita määritettäessä.

OL1- ja OL2-laitosten sähkötiloja palvelevan 746-ilmastointijärjestelmän ilman virtausmäärät määräytyvät pääasiassa palveltavan tilan lämmitys- ja jäähdytys-tehontarpeen mukaan. Järjestelmän 746 perustehtävänä on ylläpitää laitteiden, rakennusten ja henkilöstön oleskelulle asetetut vaatimukset.

Lisäksi tulee ottaa huomioon vaatimus tietokonehuoneiden minimi-ilmanvaihdosta, joka on vähintään 6 m<sup>3</sup> per lattianeliö tunnissa. Ulkolämpötilojen suunnittelulämpötilat on esitetty taulukossa 3. [11, s. 39]

Taulukko 3. Ulkoilman suunnittelulämpötilat, muokattu lähteestä. [11, s. 39]

Ulkoilman suunnittelu- lämpötila, minimi	Pitkäaikainen: -29 °C, kesto yli 7 päivää Lyhytaikainen: -32 °C, kesto 6 tuntia - 7 päivää Hetkellinen: -36 °C, kuuden tunnin ajan
Ulkoilman suunnittelu- lämpötila, maksimi	Lyhytaikainen: 27 °C, kesto 6 tuntia - 7 päivää Pitkäaikainen: 23 °C, kesto yli 7 päivää Hetkellinen: 33 °C, kuuden tunnin ajan

Nykyisten tietokonehuoneiden ilmanvaihto ja jäähdytys toimivat kiertoilma-periaatteella. Ilmanvaihtokone on varustettu kahdella rinnan kytketyllä puhaltimella. Järjestelmä on mitoitettu siten, että käyttötilanteessa yhden puhaltimen toiminta riittää poistamaan tiloissa syntyvän lämpökuorman. Kiertävä ilma suodatetaan, jäähdytetään 726-järjestelmän avulla ja puhalletaan takaisin tilaan korotetun lattiataason alle. [11, s. 17]

Ilman lämpötiloja palvelintiloissa ei voida ylläpitää hyväksyttävällä tasolla ilman erillistä jäähdytystä. Suurin osa ilman virtauksesta kulkee tietokonekaappien läpi kaapeissa olevien puhaltimien kautta, mutta osa virtauksesta siirtyy suoraan huoneeseen lattiassa olevan aukkojen kautta. Tietokonehuoneiden ilman kosteuspitoisuutta ylläpidetään erillisellä höyrykostuttimella, jota säätää huone-tilan suhteellinen kosteus. [11, s. 17]

## 4 Sopivien huonetilojen katselmointi ja vertailu

Olkiluodon ydinvoimalaitosten laitosalueen rakennuksille ja rakennusten sisällä oleville huonetiloille on määritetty yksilöivät tunnuksat. Tässä opinnäytetyössä näitä tunnuksia ei kuitenkaan käytetä, vaan huonetiloista puhutaan yleisellä tasolla käyttämällä niiden nykyistä tai tulevaa käyttötarkoitusta.



## 4.1 Yleistä

Uudet palvelintilat olisi tarkoitus jakaa kahteen osajärjestelmäkohtaiseen (C- ja D-osajärjestelmät) huoneeseen, jolloin saavutetaan ydinvoimaympäristössä vaadittavat sijainti- ja erotteluvaatimukset. Kumpaankin palvelintilaan oltaisiin sijoittamassa viisi kappaletta palvelinkaappeja sekä yksi ristiinkytkentäkaappi. Ensisijaisesti palvelintilan tulisi sijaita valvomorakennuksessa. Palvelinkaapit tulisi asentaa siten, että laitosten käyttöluvan jatkosta ja/tai teknologian kehityksestä johtuvat muutokset on mahdollista toteuttaa tarpeen niin vaatiessa, eli tilojen tulisi olla muuntojoustavat. [3, s. 8]

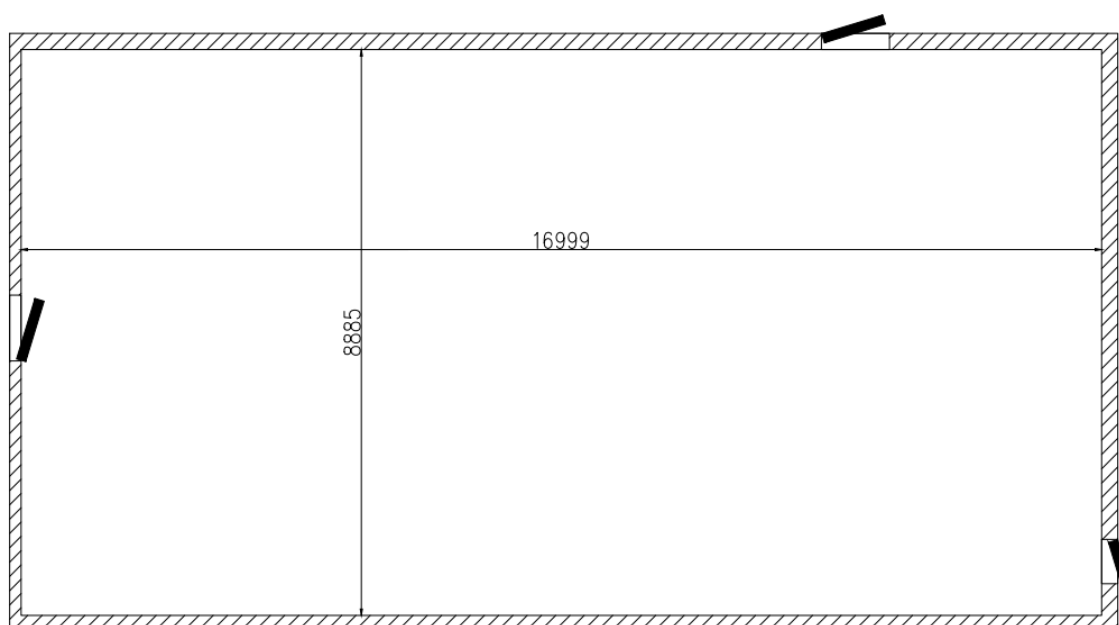
Laitokselta ei löydy suoraan ylimääräisiä huoneita, jotka soveltuisivat palvelinkäyttöön. Palvelintilojen vaatimia olosuhteita ei pystytä takaamaan missään jo käytössä olevissa tiloissa tekemättä suuria muutoksia tilojen sähkö- ja LVI-tekniikkaan. Myös rakennusteknisiä töitä joudutaan tekemään, sillä palvelinkaappien painoja ei ole huomioitu olemassa olevien huonetilojen lattialaattojen kantavuuksien mitoituksissa. Laitosten käytön kannalta on silti parempi rakentaa huoneet siten, että olemassa olevat tilat ovat samanaikaisesti käytössä, joten tilamuutoksia pitäisi joka tapauksessa tehdä. [3, s. 10]

Esiselvityksen perusteella uusien tietokonehuoneiden sijainniksi on kaksi vaihtoehtoa. Molemmat vaihtoehdot sisältävät kaksi erillistä huonetilaa, jossa toiseen huoneeseen sijoitetaan C-osajärjestelmän laitteet ja toiseen D-osajärjestelmän laitteet. Opinnäytetyössä ei käytetä näistä huonetiloista oikeita huonetilatunnuksia, vaan käytetään termejä vaihtoehto 1 tai vaihtoehto 2.

Edellä mainittujen tilojen valintaa puoltaa erityisesti se, että molempia vaihtoehtoja palvelee oma ilmanvaihtokonehuoneensa, jolloin LVI-tekniikkaan (toisin sanoen ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen) tehtävät muutokset voitaisiin toteuttaa olemassa olevissa huonetiloissa [3, s. 10].

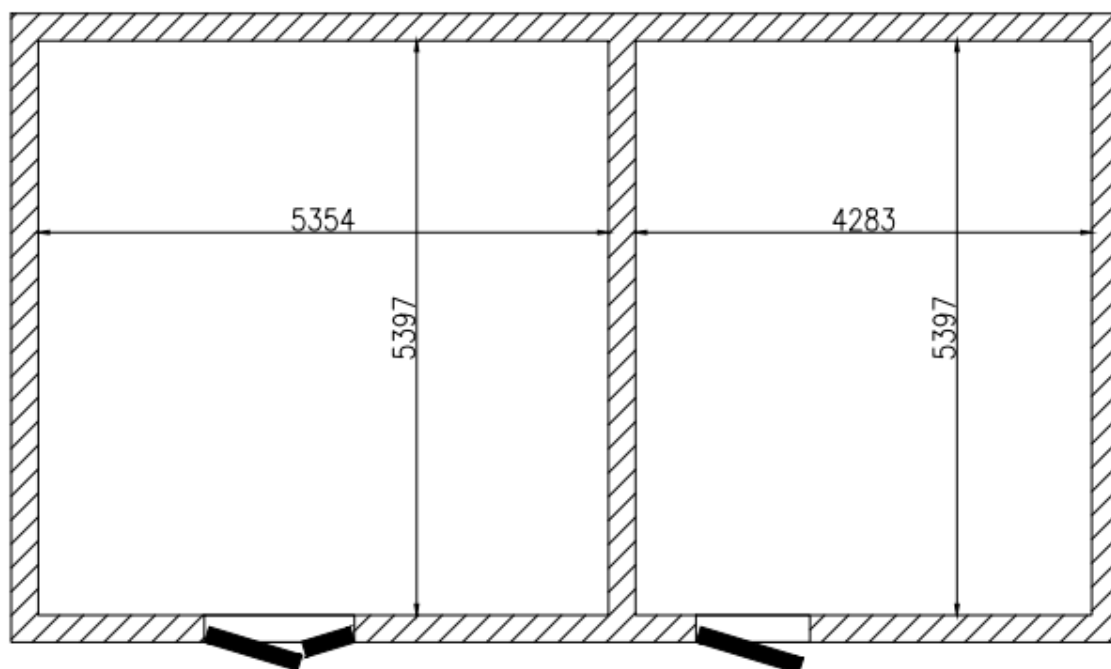
## 4.2 Huonetilavaihtoehto 1

Ensimmäisenä vaihtoehtona uusiksi tietokonehuoneiksi ovat huonetilat, jotka ovat nykyiseltä käytöltään kaapelireititystiloja. Tiloissa kulkee nykyisellään suuri määrä kaapelihyllyjä, joista kaapelit jakautuvat eri nousukuiluihin. Molemmissa tiloissa on kaapelihyllyjen välillä suurehko tyhjä tila, joka olisi käytettävissä palvelinkaappiasennuksia varten. Mahdollisia tulevia kaapelivetoja varten tila olisi ideaali, sillä kaapelikiskoja on nykytoteutuksessa jo asennettu ympäri huonetta, ja läpivientejä on lähes jokaiseen suuntaan. Tilojen pohjapiirustus on esitetty kuvassa 3. Pinta-alaa huonetilassa on runsaasti (noin 151 m<sup>2</sup>), mutta läheskään kaikkea tilaa ei ole mahdollista käyttää uuden tietokonehuoneen tarkoituksiin.



Kuva 3. Tasopiirustus nykyisestä kaapelireititystilasta, pinta-ala noin 151 m<sup>2</sup>. Toisen osajärjestelmän huonetila peilikuvana.

Kaapelireititystiloja palvelevat ilmanvaihtolaitteet sijaitsevat kahdessa erillisessä ilmanvaihtokonehuoneessa. Konehuonetilat sijaitsevat eri kerroksessa, mutta kuitenkin hyvin lähellä kaapelitiloja. Konehuoneiden tasopiirustus on esitetty kuvassa 4. Pohjapinta-alaltaan konehuoneet ovat noin 29 m<sup>2</sup> ja 23 m<sup>2</sup>.



Kuva 4. Tasopiirustus kaapelireititystiloja palvelevista ilmanvaihtokonehuoneista. Pinta-alat ovat noin 29 m<sup>2</sup> (vasemmalla) ja noin 23 m<sup>2</sup> (oikealla). Toisen osajärjestelmän huonetilat ovat näiden suhteen peilikuvana.

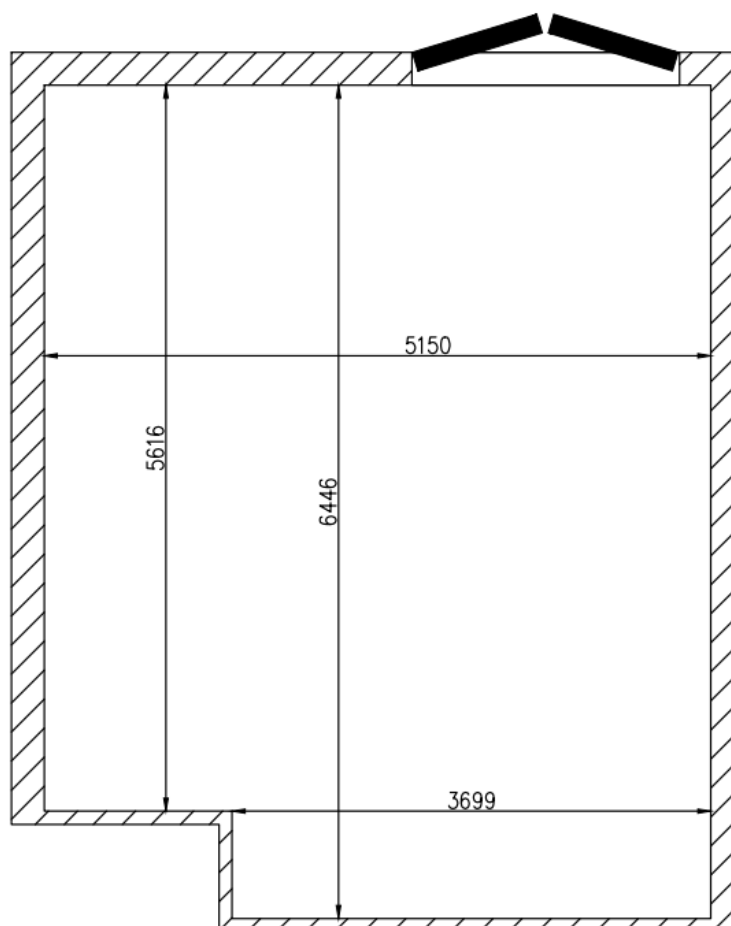
Kaapelitiloissa yhdeksi suureksi ongelmaksi muodostuvat palotekniset haasteet, sillä huonetilojen palokuorma halutaan pitää mahdollisimman pienenä. Käytännössä palokuorma voidaan hallita ainoastaan siten, että kaapelitilaan sijoitetaan erillinen datakontti. Tällöin palvelimiin liittyvä laitteisto on erotettu tilan muusta tekniikasta, ja palokuormista syntynyt ongelma voidaan hallita. Datakontin hyvänä puolena on niiden räätälöitävyys ja kontin asennukset voitaisiin suureksi osaksi tehdä laitosten ulkopuolella. [3, s. 19]

Vaikka datakontti olisi periaatteelliselta ratkaisultaan soveltuva näihin huone-tiloihin ja vapaata tilaa olisi riittävästi, toiseksi suureksi ongelmaksi muodostuu valvomorakennuksen kyseisen lattiatason kestävyys. Lattialaatta on mitoitettu huomattavasti kevyemmälle kuormalle kuin vertailun kohteena olevan huonetilavaihtoehto 2:n lattialaatta. Kaapelireititystilojen alapuolisten tilojen erityisestä luonteesta johtuen tiloissa on todennäköisesti mahdotonta työskennellä tehoajojaksolla laitosten ollessa käynnissä. [3, s. 18]

Kolmantena haasteena kaapelitilojen valinnalle muodostuu LVI-tekniikan jakaantuminen kahteen erilliseen tilaan teknisissä tiloissa. Ilmanvaihtoon ja jäähdytykseen tulossa olevat muutokset olisivat hankalasti toteutettavia kantavan seinärakenteen sijaitessa konehuoneiden välissä.

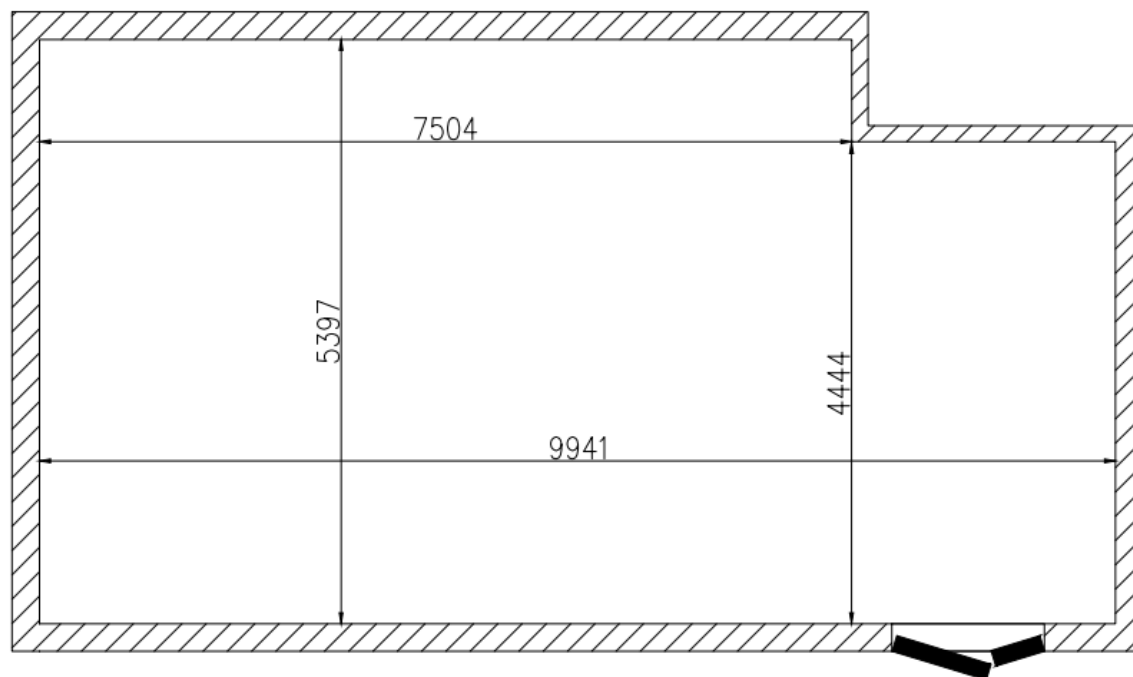
### 4.3 Huonetilavaihtoehto 2

Toisena vaihtoehtona uusiksi tietokonehuoneiksi on huonetilat, joissa sijaitsee nykyisellään voimalaitoksen kunnossapito-organisaatioiden varastotiloja. Huonetilan pinta-ala on noin 32 m<sup>2</sup>, ja sen pohjapiirustus on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Nykyinen kunnossapidon varasto, pinta-ala on noin 32 m<sup>2</sup>. Toisen osajärjestelmän huonetilat ovat näiden suhteen peilikuvana.

Huonetilojen suurimpana etuna uusien palvelintilojen suhteen on niiden sijainti ilmanvaihtokonehuoneiden välittömässä läheisyydessä. Tämä helpottaisi konehuoneiden ja palvelintilojen välisen talotekniikan rakentamista huomattavasti. Konehuoneiden tasopiirustus on esitetty kuvassa 6. Konehuone on pinta-alaltaan noin 51 m<sup>2</sup>.



Kuva 6. Tasopiirustus kunnossapidon varastotiloja palvelevista ilmanvaihtokonehuoneista, pinta-ala noin 51 m<sup>2</sup>. Toisen osajärjestelmän huonetilat ovat näiden suhteen peilikuvana.

Palvelintilamuutos edellyttää nykyisissä ilmanvaihtokonehuoneissa ilmastointiin ja jäähdytykseen tehtäviä parannuksia. Nykyisessä toteutuksessa varastotiloja palvelevissa ilmanvaihtokoneissa ei ole lämmitys- tai jäähdytyspatteria, vaan koneet toimivat kiertoilmaperiaatteella. Varastotiloissa ei myöskään ole erillistä jäähdytystä. Vaaditut muutokset eivät silti ole liian suuria muutostyön kokonaisuuteen nähden, sillä konehuoneiden sijainti on ihanteellinen uusiin palvelintiloihin nähden, ja nykyisten ilmanvaihtolaitteiden uusinta olisi muutenkin ajankohtaista lähitulevaisuudessa.

Tässä vaihtoehdossa vältetään myös pitkiltä kanava- ja putkivedoilta, jotka jo valmiiksi ahtaissa voimalaitostiloissa saattavat osoittautua mahdottomaksi. Varastotilojen muuttuessa palvelintiloiksi pitää varastoidulle tavaralle löytää korvaavat tilat. Lähtökohtaisesti varastotilan löytäminen on kuitenkin helpompaa verrattuna palvelinkäyttöön soveltuvien tilojen löytämiseen.

Muita uusissa palvelintiloissa huomioitavia asioita ovat muun muassa sähkönsyöttöihin, runkovalokuitukaapelointeihin, kulunvalvontaan ja hälytyksiin liittyvät toimenpiteet. Edellä mainitut asiat huomioiden entiset varastotilat sopivat uuteen käyttötarkoitukseen hyvin johtuen niiden keskeisestä sijainnista. Lattialaatan kestävyys on ongelmana myös huonetilavaihtoehdossa 2, mutta betonilaatta todettiin alkuperäisiä rakennesuunnitelmia katselmoimalla vahvemmaksi kuin huonetilavaihtoehdossa 1. [3, s. 18]

## **5 Uusien tietokonehuoneiden valinta ja vallitsevat olosuhteet**

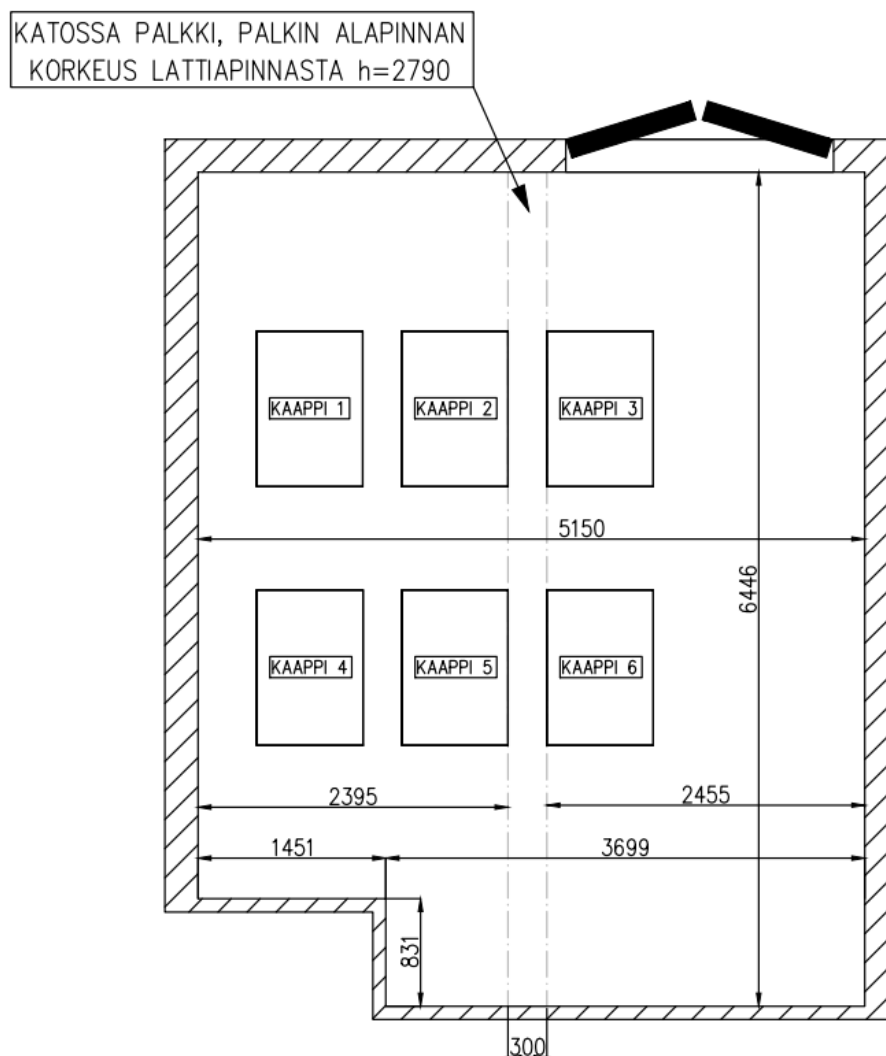
Tehtyjen selvitysten perusteella huonetilavaihtoehdon 2 ilmanvaihtokonehuoneet ja kunnossapidon varastotilat soveltuvat tulevaan palvelintilakäyttöön paremmin. Eniten päätökseen vaikuttivat rakennusteknisten töiden määrä sekä tilojen paloturvallisuus. Vaihtoehdossa 2 lattialaatta on verrokkiaan kestävämpi, mikä mahdollistaa laatan vahvistuksen suorittamisen vähemmällä työllä. Lisäksi laatan vahvistaminen alemmassa kerroksessa on mahdollista suorittaa laitosten ollessa käyntitilassa, sillä huonetiloissa ei ole käyttörajoituksia. Valintaa puolsi myös ilmanvaihtokonehuoneen sijainti samassa kerroksessa viereisessä tilassa, jolloin vältetään pitkiltä kanava- ja putkivedoilta.

Lattialäpivientien tekemiseen olemassa olevissa tiloissa liittyi pienehkö riski, sillä läpivientien määrä on asennettavasta tekniikasta johtuen poikkeuksellisen suuri. Yleensä läpivientien määrä pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, mutta tässä tapauksessa muutostyön laajuus aiheuttaa tarpeen poikkeukselliselle määrälle läpivientejä. Lattian kestävyys kannalta on parempi, että läpäisy tehdään useammalla pienemmällä aukolla kuin yhdellä suurella. Tällä ratkaisulla vältetään lattian kestävyydelle tärkeiden betoniraudoitusten katkeaminen.

Alemmassa kerroksessa olevan tilan hyvistä asennusolosuhteista johtuen kaapeloinnit pyritään ohjaamaan lähelle lopullista sijoituspaikkaansa huonetilan katossa, jolloin vältetään turhilta kaapelointivedoilta varsinaisessa palvelintilassa. Läpivientien teossa pyritään huomioimaan tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvat laajennukset jättämällä läpivienteihin ylimääräisiä varauksia. Tällöin vältetään rakenneteknisiltä töiltä käytössä olevissa palvelintiloissa. [3, s. 7]

## 5.1 Pohjaratkaisu

Alla kuvassa 7 on esitetty alustava tilasuunnitelma mittatietoineen.



Kuva 7. Alustava mittapiirustus uudesta tietokonehuoneesta ja palvelimista, pinta-ala noin 32 m<sup>2</sup>. Toisen osajärjestelmän huonetila peilikuvana.

Alustavan tilasuunnitelman mukaan kuhunkin tietokonehuoneeseen on tulossa kuusi kappaletta 1200 mm syviä, 800 mm leveitä ja 2000 mm korkeita laitekaappeja, jotka sijoitetaan kahteen vastakkaiseen riviin. Yksi kaappi on tarkoitettu jättää ristikytkentäkaapiksi. [3, s. 7]

Kuvassa 8 on valokuva kohteesta. Huonetilassa vapaata korkeutta on käytettävissä noin 3250 mm. Tilaa lävistää katossa rakennepalkki, jonka alapuolella on vapaata korkeutta noin 2790 mm. Pohjapinta-alaa on käytettävissä 32 m<sup>2</sup>, ja huonetilan tilavuus on noin 104 m<sup>3</sup>.



Kuva 8. Valokuva nykyisestä kunnossapidon varastotilasta.



## 5.2 Olosuhteet

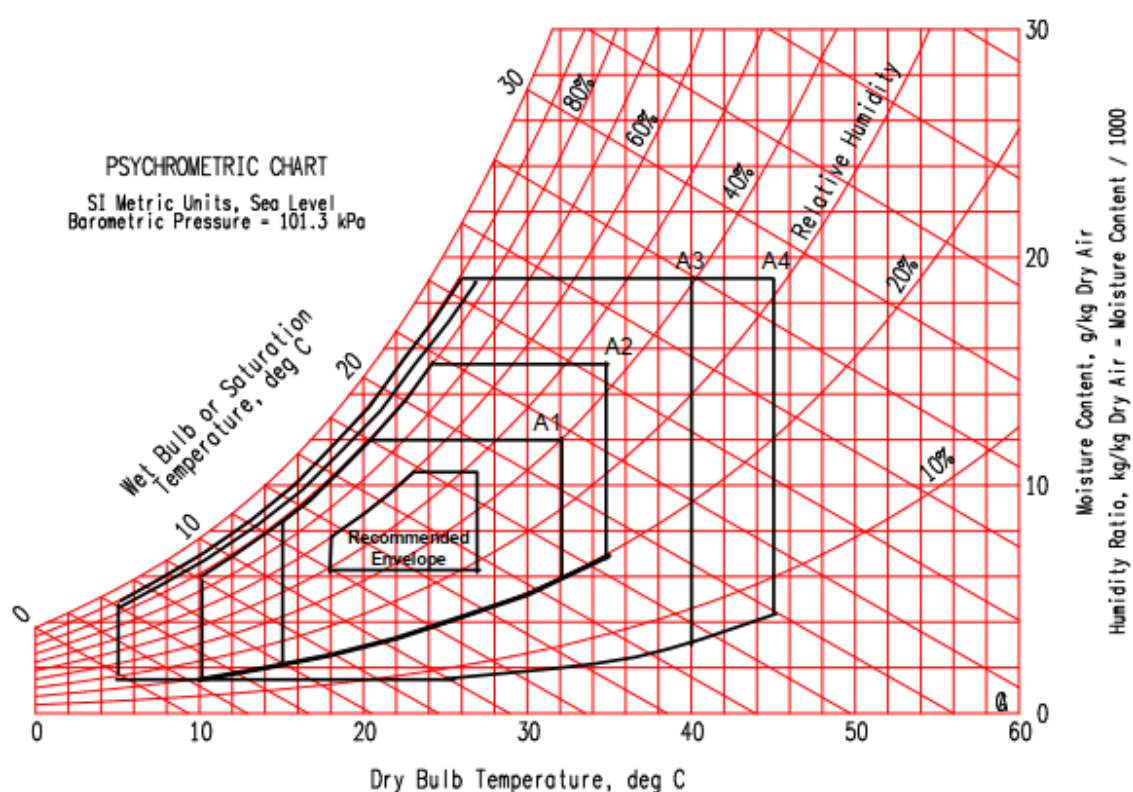
Uusien palvelintilojen olosuhteiden määrittämiseen on olemassa useita eri ohjearvoja. Yhtenä yleisenä ohjeena käytetään yhdysvaltaisen ASHRAE-järjestön ohjeistusta, joka on nähtävissä taulukossa 4 [12, s. 8]. ASHRAE jakaa tietokonehuoneet neljään eri luokkaan (A1 – A4) riippuen niiden vaatimista sisäilmaolosuhteista sekä varustetasosta. Luokan A1 tietokonehuoneessa olosuhteet (kastepiste, suhteellinen kosteus ja lämpötilarajat) ovat erittäin tarkasti kontrolloidut. Luokkaan A1 kuuluvat muun muassa yritysten tallennustilapalvelimet sekä kaupalliset serverit. Luokkiin A2 – A4 kuuluvat esimerkiksi henkilökohtaiset tallennustilat ja työasemat. Luokissa A2 – A4 hallitaan samoja olosuhteita kuin luokassa A1, mutta, hallinta on vähemmän kontrolloidumpaa. [12, s. 7]

Taulukko 4. ASHRAE:n ohjearvot lämpötilalle ja kosteudelle, muokattu lähteestä. [12, s. 8]

SUOSITELLUT ARVOT			
Luokka	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus	Kastepiste, max. (°C)
A1 – A4	18 – 27	5,5°C DP – 60% RH 15°C DP	15
SALLITUT ARVOT			
Luokka	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus	Kastepiste, max. (°C)
A1	15 – 32	20% - 80% RH	17
A2	10 – 35	20% - 80% RH	21
A3	5 – 40	-12°C DP & 8% RH – 85% RH	24
A4	5 – 45	-12°C DP & 8% RH – 90% RH	24

Taulukosta 2 (sivu 8) voidaan huomata, että ASHRAE:n raja-arvot sallivat varsin väljän mitoituksen sekä kosteudelle että lämpötilalle. Lisäksi nähdään, että ASHRAE:n taulukossa 4 (sivu 18) esitetyt arvot vastaavat OL1 ja OL2 -voimalaitosten nykyisten tietokonehuoneiden olosuhdevaatimustasoja, jotka on esitetty kappaleessa 3.2 taulukossa 2 (sivu 8).

Kuvassa 9 ASHRAE:n käyttämät viitearvot on sijoitettu kaaviokuvaan, josta näkee eri luokkien (A1 – A4) sijoittumisen lämpötila- ja kosteuskäyrästä [12, s. 9].



Kuva 9. Luokat A1 - A4 kaaviossa. [12, s. 9]

Sähkötieto Ry:n ohjekortissa ST 53.61 (Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys) on myös annettu viitearvoja lämpötila- ja kosteusarvoihin. Ne ovat nähtävissä taulukossa 5.

Taulukko 5. Palvelintilojen olosuhteet, muokattu lähteestä. [13, s. 3]

Maksimi-lämpötila	Minimi-lämpötila	Käyttö-lämpötila	Huomautuksia	Yli-paine	Suodatustarve
27 °C	20 °C	22 °C	toleranssi 1 °C <sup>(1)</sup> suositeltava kosteus 45 % - 55 %	20 Pa <sup>(2)</sup>	Mekaaninen tai kemiallinen suodatus <sup>(3)</sup>

Alla lueteltu taulukossa 5 esitetyt numeroviittaukset [13, s. 3]:

1. Energiansäästön takia voidaan käyttää korkeampia lämpötiloja, mikäli tilassa olevien laitteiden käyttölämpötilat sen sallivat.
2. Tarvittaessa pieni ylipaineistus ympäristöön nähden, 20 Pa arvo annettu suosituksena.
3. Kemiallinen suodatus vain tarvittaessa.

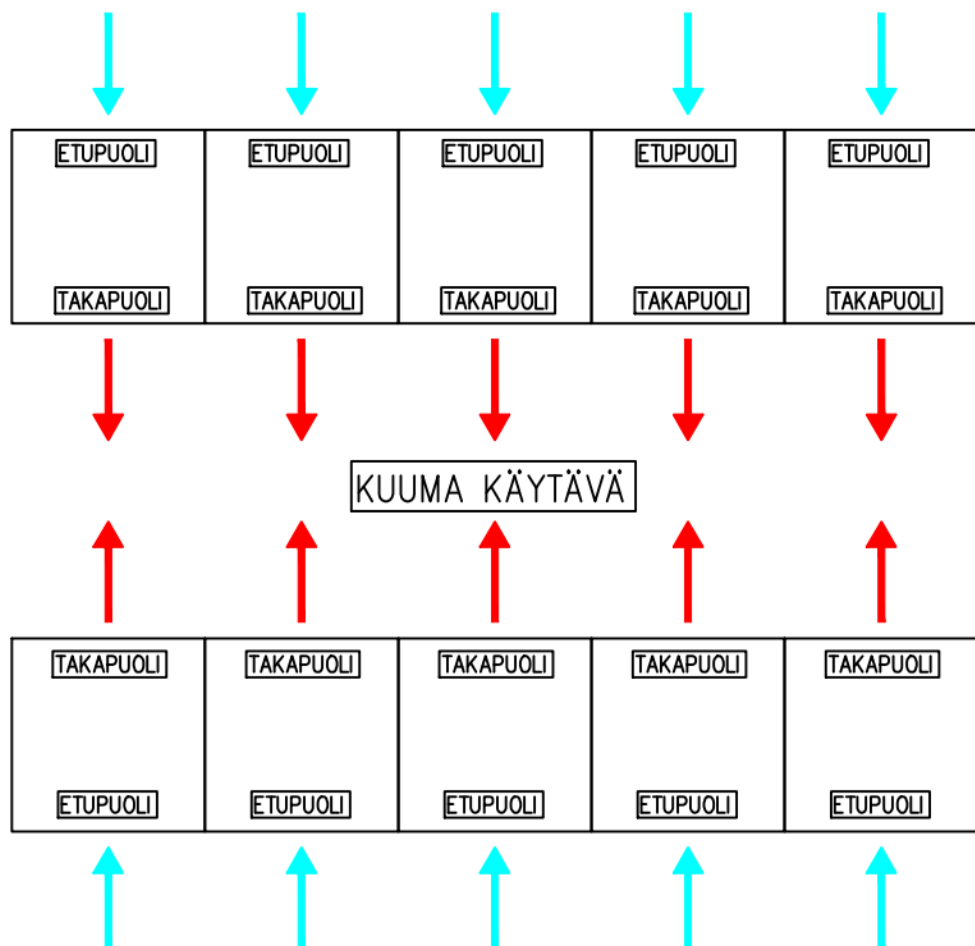
Palvelintilojen olosuhteiden hallintaan käytettävillä ilmanvaihto- ja jäähdytysratkaisuilla luodaan edellytyksiä palvelinlaitteiden ja kojeiden häiriöttömälle toiminnalle. Yhtenä ilmastointi- ja/ jäähdytysjärjestelmän päätehtävänä on ylimääräisen lämmön poistaminen palvelintiloista. Tilan lämmityksestä on kuitenkin myös huolehdittava, mikäli lämpötila tippuu liian alas. Lämpötilahallinnan lisäksi ilmanvaihtolaitteiston tulee ylläpitää tiloissa sopivaa kosteustasoa sekä huolehtia ilman laadun pysymisestä käyttötarkoitukseen sopivana. [13, s. 2]

## 6 Ilmanvaihto

Tietokonehuoneiden olosuhteiden ylläpidossa ilmanvaihto ja jäähdytys toimivat aina yhdessä. Ilmanvaihto vaatii jäähdytystä, jotta järjestelmällä voidaan hallita palvelintilan olosuhteita. Jäähdytyksestä taas ei ole hyötyä, jos jäähdytyslaitteen tuottamaa kylmää ei saada liikkumaan. Tässä kappaleessa käydään läpi tarkemmin ilmanvaihdon eri järjestelmätason ratkaisuja ja ilman käsittelyyn liittyviä muita asioita, mutta ilman liikkuminen on oleellisena osana myös kappaleessa 7, joka keskittyy eri jäähdytysratkaisuihin.

## 6.1 Ilmankierto tilassa

Tietokonehuoneiden ilmankierto toimii tyypillisesti niin, että tilaan muodostetaan palvelinkaappien väliin niin sanotut kylmä- ja kuumakäytävät. Käytävien muodostus tapahtuu siten, että vierekkäisten palvelinkaappirivien etu- ja takapuolet osoittavat vastakkaisiin suuntiin, jolloin kaappirivien väliin muodostuu kylmä- tai lämmin vyöhyke. Kaappien väliin jäävä käytävä toimii myös tilavarauksena kaappien huollolle. [14, s. 8] Kuvassa 10 on esitetty yksinkertaistettu kuva kuumakäytävän muodostumisesta.



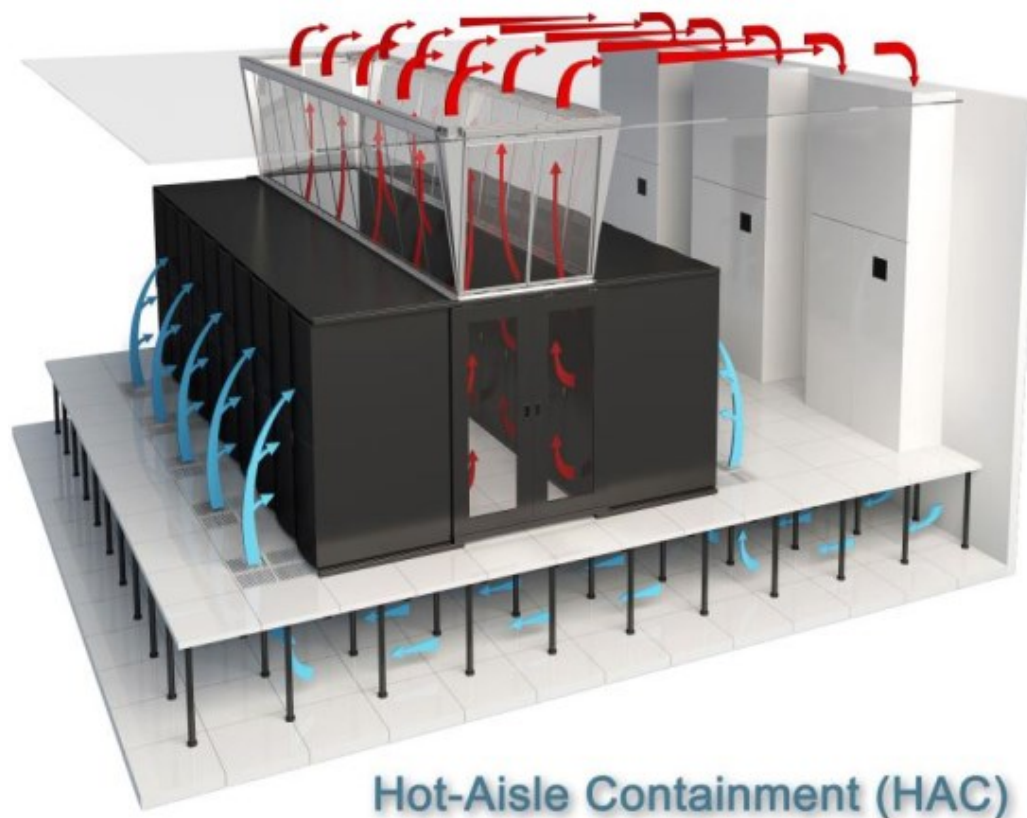
Kuva 10. Yksinkertainen kuumakäytävä.

Palvelinkaapeissa olevat tuulettimet imevät kylmäkäytävältä jäähdytettyä ilmaa laitteeseen, jossa palvelimissa muodostunut lämpö siirtyy pakotetun konvektion

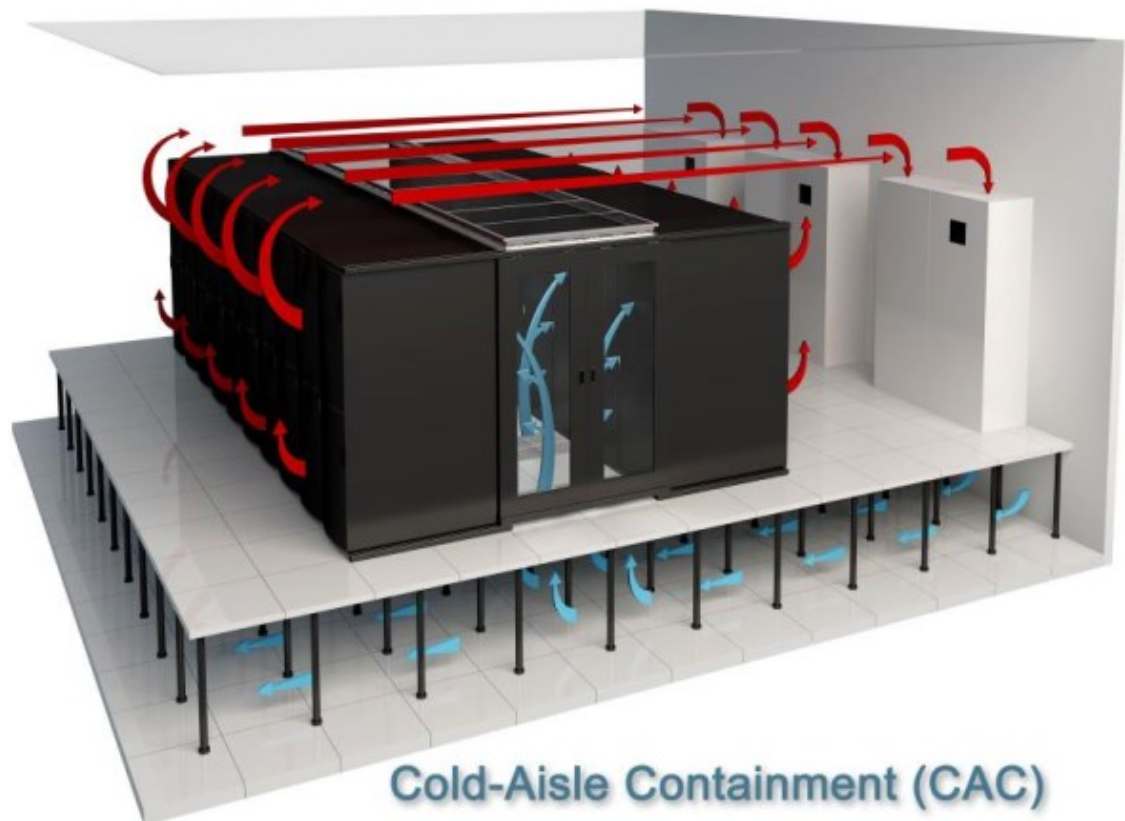
avulla kaappien läpi kulkevaan ilmavirtaan. Palvelinten läpi kulkenut ilmavirta siirtyy kuumakäytävälle, josta se kulkeutuu takaisin jäähdytyslaitteen käsiteltäväksi. [14, s. 8]

Kylmä- ja kuumakäytävän muodostaminen tehostaa jäähdytetyn ilman jakautumista palvelimille samalla vähentäen eri lämpötiloissa olevien ilmavirtojen sekoittumista. Ilmavirtojen sekoittumisella ja kuuman ilman kulkeutumisella "väärään" suuntaan on negatiivisia vaikutuksia järjestelmän energiatehokkuuteen sekä jäähdytysjärjestelmän toimintaan, minkä takia niistä tulisi pyrkiä eroon mahdollisimman tehokkaasti. [14, s. 8-9]

Ilmavirtojen sekoittumista on mahdollista tehostaa useilla eri ratkaisulla. Kylmä- ja kuumakäytävä voidaan erottaa kokonaan omiksi osastoikseen (HAC ja CAC) käyttämällä rakenteellista erotusta. Kuvissa 11 ja 12 (sivu 23) on esitetty esimerkkitapaukset käytävien rajauksista. [14, s. 11]



Kuva 11. Rakenteellisesti erotettu kuumakäytävä. [14, s. 11]



Kuva 12. Rakenteellisesti erotettu kylmäkäytävä. [14, s. 11]

Muita ilmanjakoon vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa palvelinkaappien tyhjien laitepaikkojen täyttäminen peitelevyillä, millä estetään kylmän ilman ”turha” kulkeutuminen palvelinlaitteiden läpi. Ilmavirtausten tieltä on myös poistaa kaikki ylimääräiset esteet. Ilmavirtojen jakaantumista on myös mahdollista tarkastella niin sanotuilla CFD-analyyseillä, joilla voidaan simulointien avulla löytää prosessissa muodostuvat epäsuotuisat olosuhteet ja niiden sijainnit. [14, s. 10]

Optimaalisessa tilanteessa kaikki palvelintelineet on sijoitettu yhtenäisiin riveihin, telineet ovat kauttaaltaan yhtä korkeita eikä niissä ole turhia aukkoja. Palvelinlaitteiden sijoittelun optimointi kannattaa, sillä jopa puolet potentiaalisesta jäähdytystehosta saattaa mennä hukkaan, mikäli tarkoituksenmukainen ilmankierto estyy jostakin syystä. [5, s. 8]

## 6.2 Ilmavirran mitoitus

Kumpaakin uutta tietokonehuonetta palvelee oma erillinen ilmanvaihtokone, joka palvelee lisäksi muitakin tiloja. Ilmanvaihtokonehuone sijaitsee omassa huone-tilassaan hyvin lähellä varsinaista palvelintilaa. Kanavien reitti tietokonehuoneeseen kulkee yhden tilan läpi. Tämä huonetila ei liity suoranaisesti uusiin palvelintiloihin, mutta tiloja palveleva ilmanvaihto tulee samalta ilmanvaihtolaitteistolta. TVO:n suunnitteluperuste tietokonehuoneiden perusilmanvaihdon ilmavirralla on  $6 \text{ m}^3$  per lattianeliö tunnissa ( $\sim 1,66 \text{ l/s/m}^2$ ). [11, s. 40]

Laskennalliseksi sähkötehontarpeeksi on esiselvityksessä saatu arvo 15 kW per kaappi, jolloin kokonaisjäähdytystehontarpeeksi saadaan 75 kW (viisi palvelinkaappia per huone) [3, s. 8]. Uusien palvelinhuoneiden kokonaisilmavirran mitoitukseen on tässä tapauksessa kolme vaihtoehtoa, jotka on esitetty alapuolella omissa kappaleissaan. Kappaleissa käydään mitoituksen lisäksi läpi eri ilmanvaihtoratkaisuja yleisellä tasolla, eikä niissä oteta järjestelmätasolla kantaa lopulliseen laitevalintaan. Lähtötietona on kuitenkin oletus siitä, että kohteessa on keskusilmanvaihtojärjestelmä.

### 6.2.1 Perusilmanvaihto erillisellä jäähdytyksellä

Tiloja palvelemaan asennetaan pelkkä perusilmanvaihto, ja jäähdytys tuotetaan kokonaan omalla järjestelmällä. Tällöin tilan pohjapinta-ala kerrotaan mitoitusilmavirralla, jolloin tässä kyseisessä tapauksessa ilmavirraksi saadaan kaavaa 1 käyttämällä noin  $0,053 \text{ m}^3/\text{s}$  (53 l/s).

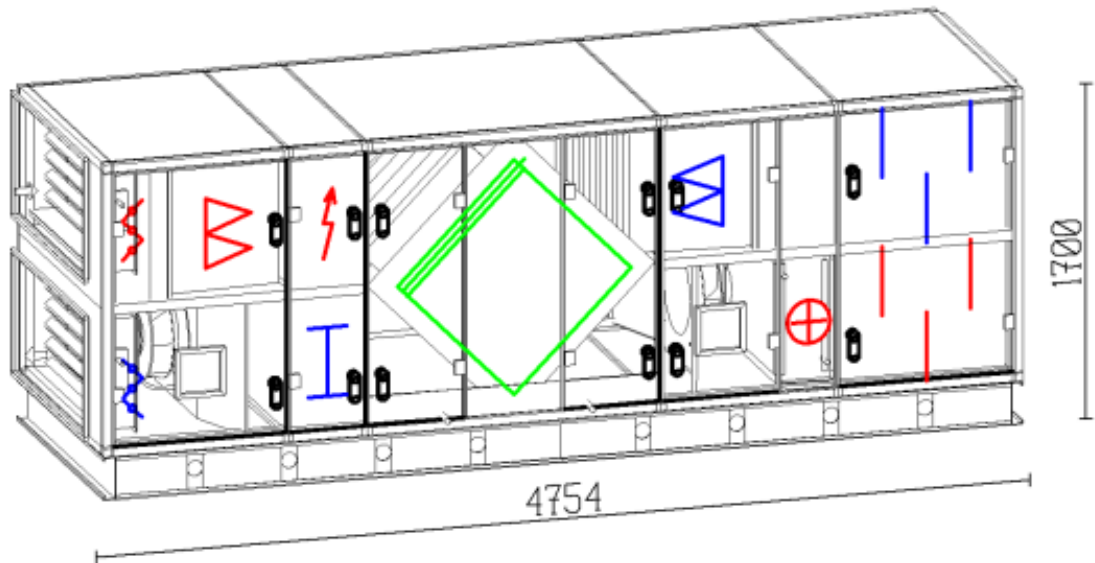
$$q_{\text{palvelintila}} = q_{\text{mitoitus}} \cdot A_{\text{palvelintila}} \quad (1)$$

$q_{\text{palvelintila}}$  on tuloilmamäärä, l/s

$q_{\text{mitoitus}}$  on mitoitusilmavirta, l/s/m<sup>2</sup>

$A_{\text{palvelintila}}$  on tilan pinta-ala, m<sup>2</sup>

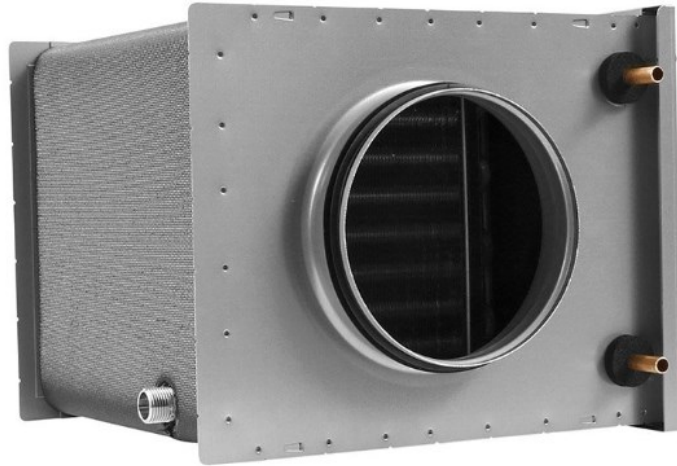
Perusilmanvaihdossa tilaa palvelee keskusilmanvaihtolaitteisto, josta tilaan on kanavoitu tulo- ja poistoilmakanavat. Keskusilmanvaihtokoneessa on tarvittavat komponentit (puhaltimet, suodattimet, lämmöntalteenottolaitteisto, lämmityspatteri) ilmanvaihdon järjestämiseksi. Kuvassa 13 on esitetty tyypillinen kone-ratkaisu.



Kuva 13. Keskusilmanvaihtokone vastavirtalämmöntalteenottokennolla (kuva Systemair Geniox-ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelmasta).

Perusilmanvaihdon mitoituksella tietokonehuoneiden ilmavirta on hyvin pieni verrattuna laitteiston kokonaisilmamäärään. Ilmavirran pienuudesta huolimatta tietokonehuoneita palvelevan tuloilman olosuhteet saattaisivat vaihdella ilman erillistä kanavajäähdytintä. Tällainen tilanne voi tulla vastaan kesätilanteessa, jossa ilmanvaihtokoneelle saapuva ulkoilma saattaisi nousta jopa 30 °C:n tasolle. Tästä syystä kanavaan pitää asentaa pienitehoinen kanavajäähdytyspatteri, jotta tietokonehuoneen tuloilman lämpötila saadaan pysymään vakiona. Esimerkki kanavajäähdytyspatterista on nähtävillä kuvassa 14 (sivu 26).





Kuva 14. Esimerkkikuva kanava-asenteisesta jäähdytyspatterista. [15]

Kanavapatteri jäähdytetään samalla järjestelmällä kuin muu tietokonehuone. Jäähdytyslaitteistoja käsitellään erikseen kappaleessa 7.

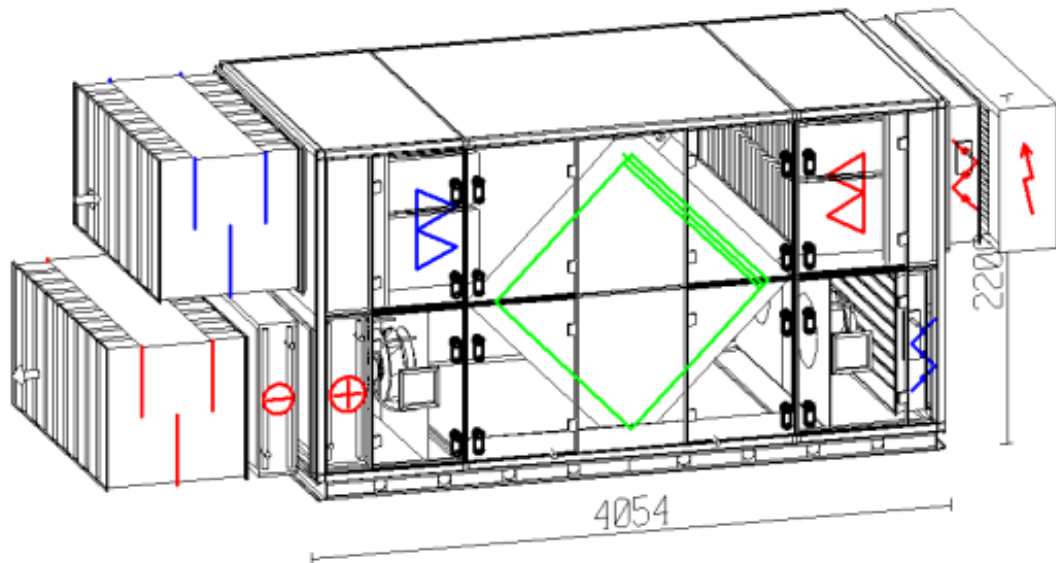
#### 6.2.2 Täysi ilmajäähdytys keskusilmanvaihtolaitteistolla

Tilojen jäähdytystehontarve 75 kW [3, s. 8] katetaan kokonaan ilmanvaihdolla. Tällöin ilmanvaihtokoneeseen liitetty jäähdytyspatteri ja sen läpäisevä, riittävän suuri ilmavirta, poistavat ylimääräisen lämmön tilasta. Karkea ilmavirran määrä voidaan laskea kaavalla 2 [16, s. 3], kun tiedetään jäähdytystehontarve, arvioidaan tuloilman lämpötilaksi olosuhdemäärittymisen mukaan 20 °C (väliltä 19 °C – 21 °C), ja huoneesta poistuvan ilman lämpötilaksi 27 °C. Ilman tiheytenä (kaavassa  $\rho$ ) voidaan käyttää normaaliarvoa 1,2 kg/m<sup>3</sup>. Laskukaavalla 2 ilmavirran määräksi saadaan noin 8,9 m<sup>3</sup>/s (8900 l/s).

$$q_{\text{palvelintila}} = \frac{l_k}{(T_h - T_{sp}) \cdot \rho} \quad (2)$$

$q_{\text{palvelintila}}$	on tuloilmamäärä, m <sup>3</sup> /s
$l_k$	on jäähdytystehontarve, kW
$T_{sp}$	on tuloilman lämpötila, °C
$T_h$	on poistoilman lämpötila, °C

Ilmajäähdetyksessä keskusilmanvaihtolaitteistoon on asennettu lämmityspatterin jälkeen jäähdytyspatteri. Tällöin kaikki koneen läpi kulkeva ilma jäähdytetään, ja vastaan voi tulla vastaan tilanne, jossa ilmanvaihtokone palvelee myös tiloja, jossa jäähdytystarvetta ei ole. Kuvassa 15 on esitetty 3D-malli jäähdytyspatterin sisältävästä keskusilmanvaihtokoneesta.



Kuva 15. Keskusilmanvaihtokone vastavirtalämmöntalteenotolla ja jäähdytyspatterilla (kuva Systemair Geniox-ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelmasta).

Ilmajäähdetyksen tärkein tarkoitus on tehokkaasti siirtää kuuma ilma pois lämpöä tuottavasta kohteesta sekä jäähdyttää samalla lämmönlähdettä. Jäähdytyksen hyötysuhde on parhaimmillaan, kun kuuma ilma saadaan poistettua mahdollisimman läheltä sen lähdettä. Mikäli jäähtynyt ilma ehtii sekoittumaan tilan muuhun ilmaan ennen sen vaikutusta lämmönlähteeseen, hyötysuhde kärsii. [4, s. 16]

### 6.2.3 Ilmajäähditys erillisjäähdytyksellä

Edellä kappaleissa 6.2.1 ja 6.2.2 mainitut ilmanvaihtoratkaisut voidaan yhdistää siten, että osa kokonaisjäähdytystehontarpeesta katetaan erillisellä jäähdytysjärjestelmällä ja osa ilmanvaihdolla. Ratkaisu on hyvä varsinkin silloin, kun tilaa

palveleva ilmanvaihtokone palvelee muitakin tiloja. Tällaisissa tapauksissa keskusilmanvaihtolaitteisto varustetaan täyden ilmajäähdytyksen tapaan jäähdytyspatterilla, mutta pienemmän tehontarpeen vuoksi patterikoko on maltillisempi.

Yhdistämällä erillinen jäähdytysjärjestelmä suuremmalle ilmapirrille, saadaan toimiva ratkaisu erityisesti sellaiseen tarpeeseen, jossa palvelintiloissa pitää oleskella pitkiä aikoja. Suuremmalla perusilmanvaihdolla taataan riittävän hyvät olosuhteet ihmisten läsnäololle.

Ilmajäähdytyksen tehokkaassa toteutuksessa ilmanjako on erittäin tärkeässä roolissa. Jotta palvelinkaappien välille saadaan muodostettua kylmä- ja kuuma-käytävät, kylmä ilma pitää saada johdettua kohteelle mahdollisimman suoraviivaisesti. Hyvin yleinen ratkaisu ilmanjakoon on korotettu lattia, jossa ilmapirta kulkee lattian alla kaappiväleihin.

#### 6.2.4 Ilmajäähdytys vakioilmastointikoneella

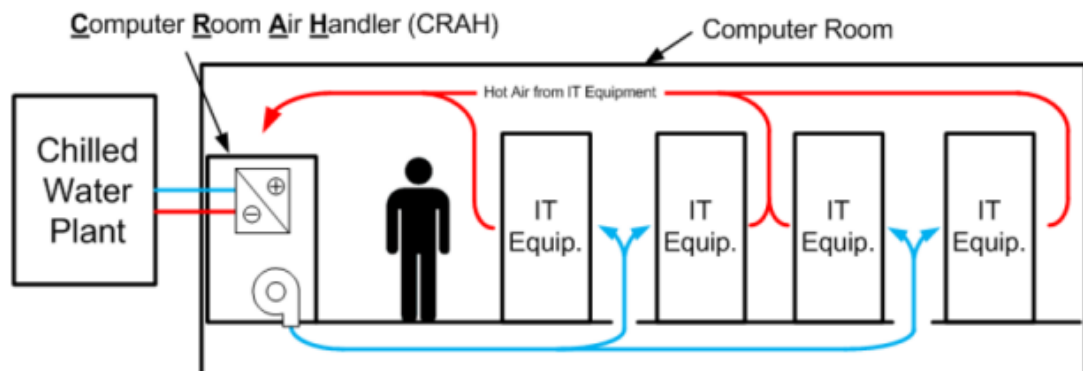
Erillisten tilojen (tässä tapauksessa palvelinhuoneiden) jäähdytystä voidaan tehostaa käyttämällä vakioilmastointikoneita, jotka kierrättävät yksittäisen tilan ilmaa samalla jäähdyttäen sitä. Tällöin vältytään muiden palveltavien tilojen ylijäähdyttämiseltä.

Vakioilmastointikoneet ovat jäähdytystoiminnoltaan joko ilma- (CRAC) tai neste-lauhdutteisia (CRAH). Kuvassa 16 on esitetty Carrierin ilmalauhdutteisen vakioilmastointikoneen sisä- ja ulkoyksikkö [17]. Vakioilmastointikoneiden eri jäähdytystapoja on käsitelty tarkemmin kappaleessa 7 (sivu 31).



Kuva 16. Carrier 50CJ-vakioilmastointikoneen sisä- ja ulkoyksikkö. [17]

Vakioilmastointikoneet ovat hyvin yleinen toteuttaa palvelintilojen ilmanvaihto joko osittain tai kokonaan. Vakioilmastointikone ylläpitää palveltavan tilan olosuhteita yhdellä ainoalla laitteella. Laite sisältää kaikki tarvittavat komponentit (jäähdytyspatteri, puhallin, jälkilämmityspatteri, ilmansuodatin, ilmakestutin), jotta tilan olosuhteet saadaan pidettyä haluttujen muutosrajojen sisällä. [18, s. 2] Esimerkkejä vakioilmastointikoneella toteutetusta ilmanjaosta on nähtävillä kuvista 11 (sivu 22), 12 (sivu 23) ja kuvasta 17, jossa on esitetty neste-lauhdutteen vakioilmastointikoneen ilmavirtojen kulkusuunnat.



Kuva 17. Tilajäähdytys vakioilmastointikoneen avulla. [14, s. 17]

### 6.3 Ilman puhtaus

Ilman jäähdytyksen ja lämmityksen lisäksi palvelintilan ilmaa pitää käsitellä myös muilla tavoilla, kuten suodattamalla. Palvelintilaan kulkeutuvan ilman pitää olla riittävän puhdasta, jotta taataan laitteiden luotettava toiminta. Ilmavirran mukana kulkeutuvien epäpuhtauksien vaikutukset voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan [19, s. 3]:

1. Mekaaniset vaikutukset, jossa jäähdytetyn ilman kulkeutuminen estyy syystä taikka toisesta. Myös liikkuvien tai optisten osien häiriöt ja pinnoille muodostuvat epäpuhtaudet kuuluvat tähän luokkaan.
2. Kemiaalliset vaikutukset, jotka voivat johtaa sähkökomponenttien korroosioon. Esimerkiksi rikki- ja klooripitoisia suoloja sisältävä pöly saattaa aiheuttaa häiriöitä palvelinlaitteistoissa.
3. Sähköiset vaikutukset, esimerkiksi impedanssimuutokset.

Palvelintiloille kaikkein haitallisimmat partikkelit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: karkeaan luokkaan (2,5–15  $\mu\text{m}$ ) ja hienoon luokkaan (0,1–2,5  $\mu\text{m}$ ). Karkeat partikkelit ovat yleensä peräisin mineraali- tai biologisista lähteistä, ja ne laskeutuvat pinnoille yleensä muutamassa päivässä. Hienommat partikkelit voivat pysyä ilmassa ääritapauksissa jopa vuosia. [19, s. 3]

Hienojen pölyhiukkasten lähteenä on yleensä fossiilisten polttoaineiden poltto, metsäpalot tai meren yllä leijuva suolasumu [19, s. 3]. Edellä mainituista lähteistä varsinkin meren läheisyydestä johtuva suolapitoinen ilma on yksi oleellinen vaikuttava tekijä ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien valinnassa.

Ydinvoimalaitosalueella on myös useita suuria dieselmoottoreita. Moottoreita on tarkoitus käyttää varavoimana tilanteessa, jossa ulkopuolista sähköä ei ole saatavilla. Moottoreita koekäytetään säännöllisesti, jolloin laitosalueen ilmassa liikkuu fossiilisten polttoaineiden polttamisesta johtuvia hiukkasia. Moottorien käytöstä aiheutuvat pienhiukkaspäästöt on täten myös otettava huomioon suodattimia määriteltäessä.

## 6.4 Kosteustason hallinta

Tilaan tuotavan ilman puhtauden lisäksi ilmankosteuden hallinta palvelintiloissa on tärkeässä roolissa. Ilmankosteuden sopivaksi tasoksi Olkiluodon ydinvoimalaitosten sähkötilojen olosuhdevaatimuksissa (katso taulukko 2, sivu 8) määritelty RH 40–60 %. Liian suuri kosteus tilassa saattaa aiheuttaa pintojen kondensoitumista. Ilma ei myöskään saa olla liian kuivaa, sillä se saattaa aiheuttaa tilassa staattista sähkövarausta. Liian kostea tai kuiva ilma voivat teoriassa aiheuttaa toimintahäiriöitä palvelimissa, joten palvelintilojen ilmanvaihtojärjestelmään on yleensä lisätty laitteet ilman kostutukseen ja kuivaukseen. Laitteiden käytössä tärkeintä on huolehtia siitä, että niitä ei käytetä samaan aikaan. [5, s. 15]

## 6.5 Varmennukset

Mahdollisia vikatilanteita varten ilmanvaihto pitää varmentaa, jotta ilmanvaihto palvelintiloissa ei pysähdy missään tilanteessa. Varmennukset pitää tällöin tehdä sekä ilmanvaihdon puhaltimiin sekä niiden sähkönsyöttöön. Myös jäähdytyksen toiminta tulee varmistaa vikatilanteessa.

Keskusilmanvaihtokoneessa yhtenä hyvänä keinona varmentaa ilmanvaihdon toiminta on asentaa kaksi puhallinta rinnakkain omilla sähkönsyöttöillään. Tällöin vikatilanteessa tai toisen puhaltimen ollessa huollossa, voidaan tilan ilmanvaihtoa pitää yllä. Vakioilmastointikoneilla tehtäessä varmennusten toteuttamiseen ainut vaihtoehto on käyttää rinnakkaisia laitteita.

# 7 Jäähdytys

Tietokonehuoneiden luotettavan toiminnan kannalta tilojen jäähdytys on yksi tärkeimmistä toiminnoista. Tilojen jäähdytystehontarve määräytyy tilaan tulevien palvelinkaappien sähkötehon mukaisesti, sillä lähes kaiken palvelimille saapuvan sähkötehon voidaan ajatella muuttuvan lämpöenergiaksi. [14, s. 6]

Esiselvityksessä tulevien palvelintilojen sähkötehtäjätarpeeksi on arvioitu 75 kW [3, s. 8], joka muodostuu viidestä 15 kW palvelinkaapista. Syntynyt lämpö pitää saada siirtymään tehokkaasti pois palvelimilta, jotta vältetään kriittisten palvelinkomponenttien ylikuumenemisilta ja sitä seuraavilta laitevicioilta [14, s. 6]. Palvelinkaappien ei kuitenkaan odoteta täyttyvän heti kokonaan, mutta jäähdytyslaitteiston suunnittelussa ja mitoituksessa on siitä huolimatta otettava huomioon tulevaisuudessa syntyvä kokonaisjäähdytystarve [3, s. 8].

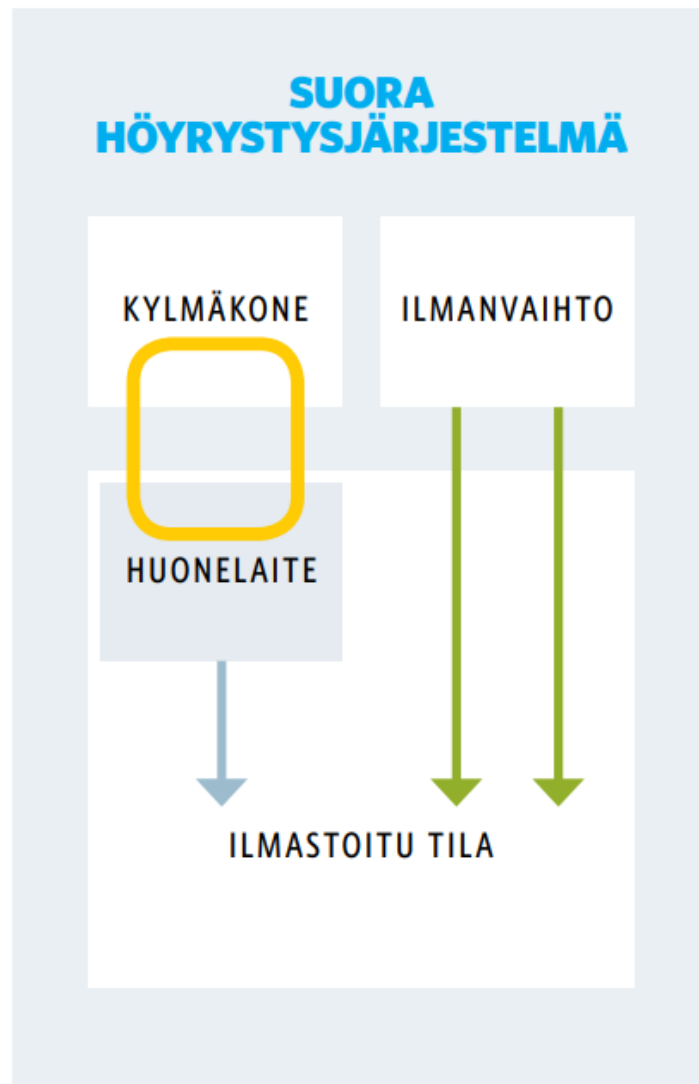
Uusien tietokonehuoneiden jäähdytys voidaan toteuttaa joko ilmanvaihdolla tai erillisellä jäähdytysjärjestelmällä. Tässä kohteessa ilmanvaihdon osalta vaihtoehdot rajautuvat vakioilmastointikoneeseen, joita on saatavilla joko neste- tai ilmalauhdutteisena. Erillisjäähdytyksen osalta tarkastellaan nestejäähdytyksen eri muotoja. Ilmanvaihdolla on silti roolinsa kaikissa jäähdytysmuodoissa.

## 7.1 Vakioilmastointikoneet

Vakioilmastointikoneet voivat olla joko neste- tai ilmalauhdutteisia. Alla on kerrottu niiden eroista omissa alakappaleissaan 7.1.1 ja 7.1.2.

### 7.1.1 Ilmalauhdutteinen (CRAC)

Ilmalauhdutteinen vakioilmastointikone on suorahöyrysteinen (DX), eli kone tuottaa omalla kompressorillaan tarvittavan jäähdytystehon ja lauhduttaa kylmäaineen ulkoilmaan lamellilauhduttimessa [18 s. 4]. Tällöin järjestelmä ei tarvitse ollenkaan kompressorin energiatehokkuutta huonontavaa lämmönsiirrintä. Oikein mitoitettut suorahöyrystysjärjestelmät ovat hyvin energiatehokkaita, ja ne ovat edullisesti rakennettavissa pienemmän putkiston vuoksi. [20, s. 8] Ison jäähdytystehontarpeen vuoksi ongelmia voi kuitenkin muodostua suuresta kylmäaineen tarpeesta. Suorahöyrysteisen jäähdytysjärjestelmän periaatekaavio on esitetty sivulla 33 kuvassa 18 [20, s. 8].



Kuva 18. Yksinkertaistettu kaavio järjestelmästä, jossa on erillinen ilmanvaihto ja suorahöyrystein jähdytyslaite. [20, s. 8]

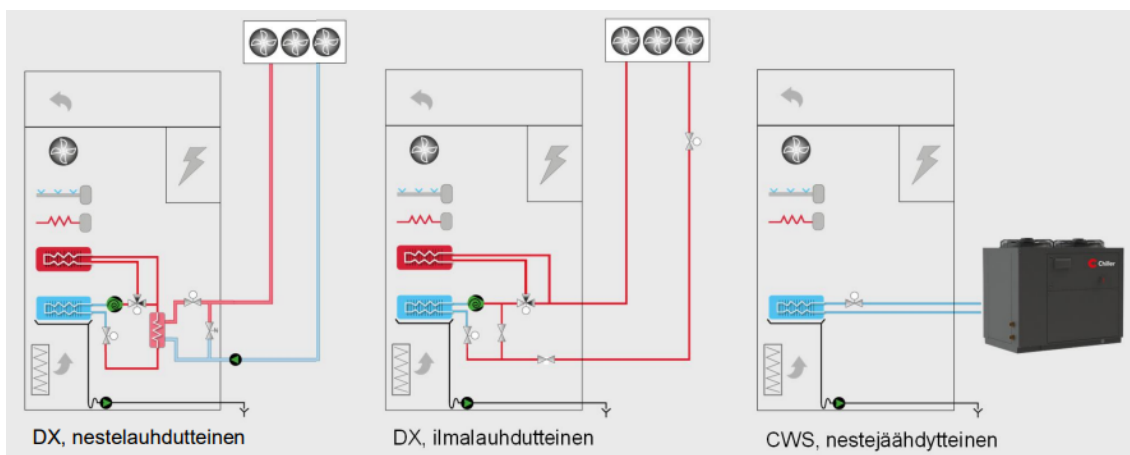
#### 7.1.2 Nestelauhdutteen (CRAH)

Nstelauhdutteen vakioilmastointikone voi olla joko suorahöyrystein (DX) tai nestejäähdytteen. Suorahöyrystein vakioilmastointikone tuottaa vaaditun jähdytystehon kompressorilla ja lauhduttaa kylmäaineen nesteeseen. Neste voi olla esimerkiksi kiinteistön jähdytysvesi- tai nestejäähdytysverkosto. [18, s. 4]

Nestejäähdytteen kone hyödyntää kylmäenergiaa, joka on tuotettu laitteen ulkopuolella. Nestejäähdytteisessä koneessa ei myöskään ole kompressoria.



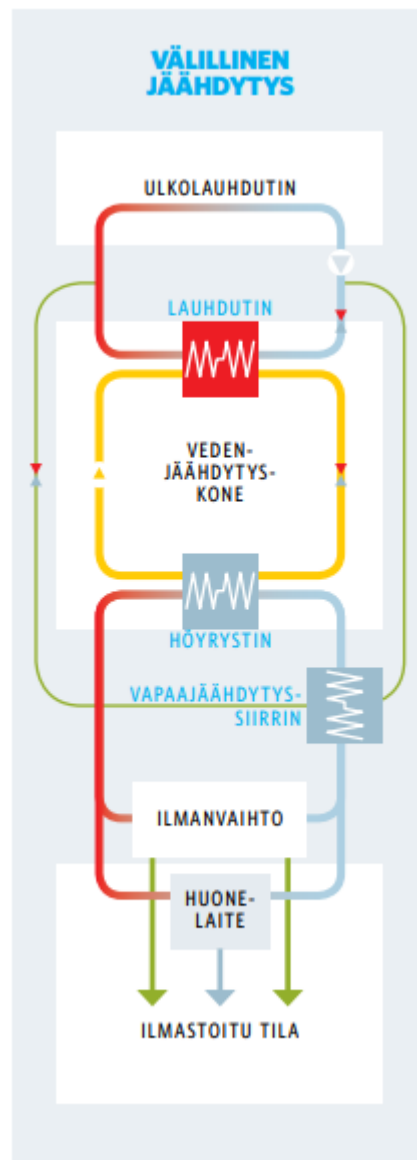
Koneen vaatima jäähdytysneste tuotetaan yleensä erillisellä vedenjäähdytyskoneella tai otetaan kaukokylmäverkosta. [18, s. 4] Nestejäähdytteisen järjestelmän toimintaa on kuvattu tarkemmin kappaleessa 7.2. Alla kuvassa 19 on esitetty yksinkertaiset kaaviot kaikista edellä mainituista tavoista.



Kuva 19. CWS- ja DX-koneikkojen kaaviot. [18, s. 4]

## 7.2 Nestejäähdytys

Nestejäähdytys (voidaan myös kutsua nimellä välillinen jäähdytys ) tarkoittaa sitä, että kohteessa muodostuva ylimääräinen lämpö poistetaan lämmönsiirtonesteinä toimivan veden välityksellä. Lämmennyt vesi jäähdytetään keskitetysti joko vedenjäähdytyskoneen höyrystimessä tai kaukojäähdytyksen lämmönsiirtimessä. Nestejäähdytysjärjestelmän etuja ovat muun muassa hyvät säätöominaisuudet sekä vähäinen kylmäainetäytös. [20, s. 8] Nestejäähdytyksen yksinkertaistettu toimintaperiaate on esitetty alla kuvassa 20.



Kuva 20. Yksinkertaistettu kaavio nestejäähdytysjärjestelmästä. [20, s. 8]

Nestejäähdytysverkossa verkoston meno- ja paluuveden lämpötilat ovat yleensä lämpötila-alueella 7-23 °C. Tarkat lämpötilat riippuvat hieman kohteesta, mutta usein meno- ja paluuveden lämpötilaero on 5-10 asteen tienoilla. Yleisesti konesalien jäähdytysverkoston menoveden lämpötilana on pidetty 7 °C ja paluuveden lämpötilana 12°C, mutta nykyään uudiskohteissa käytetään asetusarvoina usein noin kymmenen astetta korkeampia suunnittelulämpötiloja. Myös meno- ja paluuveden lämpötilaeroa pidetään suurempana. [4, s. 17]

Kiinteistökohtaiset vedenjäähdyttimet ovat tyypillisesti rakennuksen tekniseen tilaan, esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneeseen, asennettuja liuoslauhdutteisia malleja. Saatavilla on myös ulkotiloihin asennettavia vedenjäähdytyskonepaketteja, jotka sisältävät samaan yksikköön asennettuna kaikki tarpeelliset komponentit, kuten kylmäainepiirin höyrystimeen, lauhduttimeen ja kompressoreineen. Nestejäähdytyslaitteistoon voidaan lisäksi lisätä vapaajäähdytystoiminto, josta on kerrottu tarkemmin kappaleessa 7.3. [20, s. 8] Alla kuvassa 21 on esitetty nestejäähdytysjärjestelmässä käytettyjä komponentteja. Vasemmalla on ulkotilaan asennettava lauhdutinyksikkö [21]. Keskellä on sisäasenteinen kylmävesiasema [22] ja oikealla vakioilmastointikone [23].



Kuva 21. Nestejäähdytyksen eri komponentteja. [21][22][23]

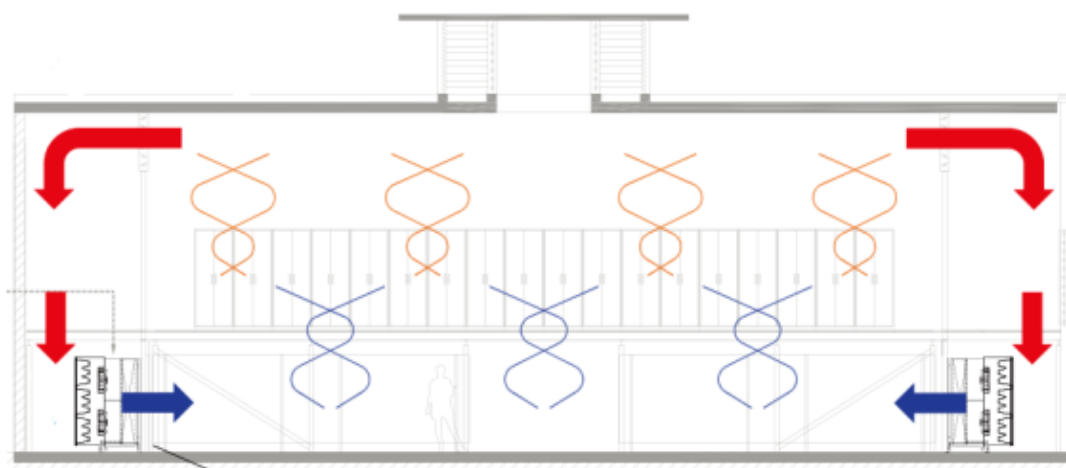
Nestejäähdytyksellä toteutettavia jäähdytysratkaisuja on käsitelty tarkemmin alla omassa alakappaleissaan.

### 7.2.1 Jäähdytetty puhallinseinä

Jäähdytetty puhallinseinä vastaa perustoiminnoiltaan ja -komponenteiltaan vakioilmastointikonetta. Puhallinseinää voidaan käyttää sekä horisontaalisessa että vertikaalisessa ilmanjaossa. Järjestelmä soveltuu erityisen hyvin suuriin palvelintiloihin, joissa on suuri jäähdytystehontarve, sillä sen energiatehokkuus

on korkea hitaasta ilman virtausnopeudesta ja suuresta jäähdytyspinta-alasta johtuen. Suuri jäähdytyspinta-ala saadaan aikaan laitteen sisältämällä isoilla jäähdytyspattereilla. Jäähdytyspatterien vesi tuotetaan joko kiinteistön omalla nestejäähdytysverkostolla tai kaukokylmällä. [14, s. 19]

Jäähdytetty puhallinseinä on mahdollista asentaa joko korotetulla lattialla tai ilman sitä. Korotetun lattian järjestelmässä puhallinseinä puhalttaa kylmän ilman sivulle palvelinkaappien alle, josta ilma nousee ylös kaappien läpi. Lämmennyt ilma johtuu takaisin puhallinseinäyksikölle. Kuvassa 22 on esitetty tällainen ratkaisu.



Kuva 22. Jäähdytetyn puhallinseinän toteutus korotetulla lattialla, jossa jäähdytetty ilma puhalletaan palvelinkaappien alle. [14, s. 19]

Korotetulla lattiat ovat yleensä kokoluokkaa 300 mm – 500 mm, mutta jäähdytetyn puhallinseinän tapauksessa palvelinkaappien alla pitää olla huomattavasti enemmän tilaa johtuen jäähdytyslaitteiden suuresta koosta. Edellä mainitulla tavalla toteutettu puhallinseinä on varsinkin saneerauskohteissa haastava toteuttaa, sillä tarvittavaa korkeutta ei yleensä ole saatavilla. Puhallinseinä on kuitenkin mahdollista asentaa myös ilman korotettua lattiaa. Tällöin puhallinyksikkö sijoitetaan siten, että laite puhalttaa kylmän ilman palvelinkaappien väleissä oleville käytäville. Kylmäkäytävältä ilma siirtyy palvelinkaappien läpi, josta ilma kulkeutuu yläjakoisesti kuumakäytävää pitkin takaisin puhallinyksikön imupuolelle. Tällainen toteutus on esitetty kuvassa 23.

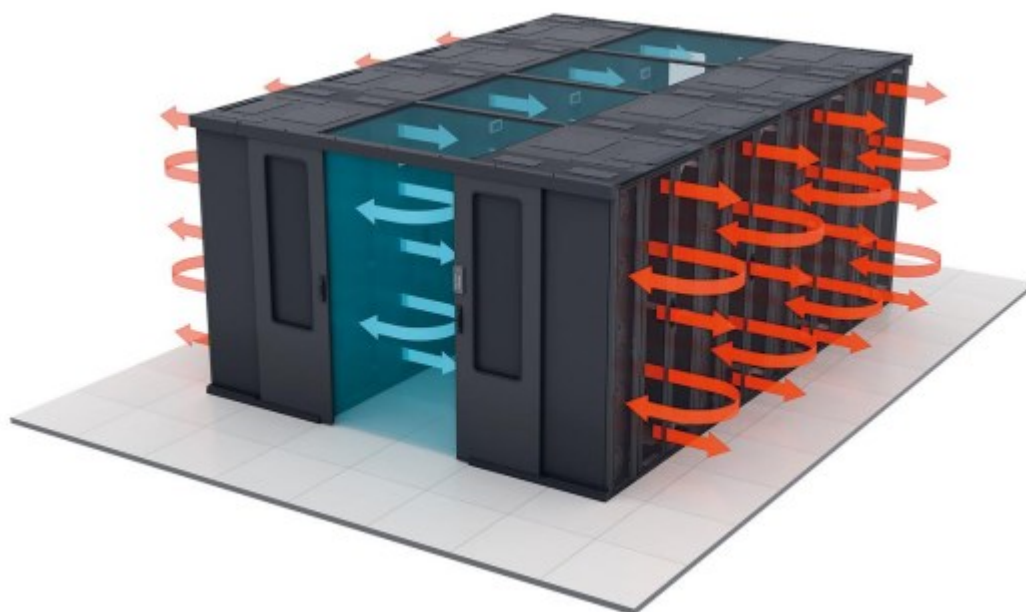


Kuva 23. Jäähdytetty puhallinseinä ilman korotettua lattiaa, jossa mustat laatikot ovat puhallinyksiköitä. Siniset aaltoviivat kuvaavat kylmän ilman liikettä kohti palvelinkaappeja, jossa lämmennyt ilma nousee huoneen yläosaan. [24]

Jäähdytetyn puhallinseinän asennuksessa suurin ongelma on laitteiden viemä tila. Mikäli puhallinlaitteisto ei mahdu palvelinkaappien kanssa samaan tilaan, puhallinseinä vaatii painepuolelle hyvin suuret aukot, jotta kylmä ilma saadaan vietyä palvelintilaan riittävän hitaasti. Tämä ei yleensä onnistu varsinkaan kantavissa rakenteissa ilman rakenteen vahvistamista. Puhallinlaitteiden sijoitus samaan tilaan palvelinkaappien kanssa saattaa onnistua, mikäli laitteille on riittävästi tilaa.

### 7.2.2 Rivijäähdytys

Rivijäähdytyksessä laitteisto sisältää nestekiertoisen jäähdytyspatterin ja useita puhaltimia. Rivijäähdyttimet asennetaan palvelinkaappien väliin siten, että puhaltimet imevät huonetilaan muodostetulta kuumakäytävältä kuumaa ilmaa laitteiden takaa, jäähdyttävät sen ja puhaltavat jäähdytetyn ilman takaisin kylmäkäytävälle. [4, s. 15] Ilmanjako on siis horisontaalinen. Ilman kulkusuunta on havainnollistettu kuvassa 24 (sivu 39).



Kuva 24. Rivijäähdyttimen ilmvirran kulkusuunnat. [14, s. 18]

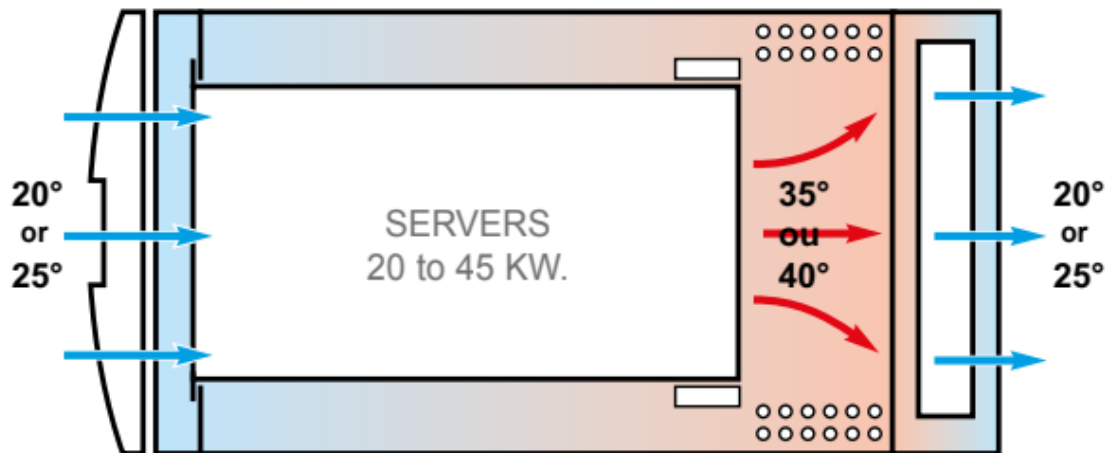
Rivijäähdyttimiä käyttämällä asennuslattialle ei välttämättä ole tarvetta, jolloin toteutus käy myös hieman matalammissa tiloissa. Toisaalta asennuslattiaa voidaan hyödyntää monissa muissa asioissa, kuten jäähdytysputkien ja kaapeliratojen kohteelle viennissä. Huonona puolena rivijäähdyttimin toteutetussa ratkaisussa on putkiliitosten suuri lukumäärä ja niiden sijainti lähellä kriittisiä palvelinkomponentteja. Tästä johtuen vuotojen ehkäisyyn on kiinnitettävä erityisen paljon huomiota. [4, s. 15]

### 7.2.3 Takaovijäähdytys

Takaovijäähdytyksessä palvelinkaapin takaovi korvataan erillisellä jäähdytysyksiköllä [25]. Jäähdytysyksiköjä voidaan valmistaa samoilla standardimitoilla, joita käytetään palvelinkaapeissa. Tällöin ne sopivat kaikkiin normaaleihin palvelinkaappeihin eikä erillisiä sovituskappaleita tarvita. [26]

Takaovijäähdytyksessä huoneessa oleva viileä ilma imeytyy palvelinkaappien läpi. Laitteiston läpi kulkenut lämmennyt ilma jäähdytetään palvelinkaapin takaosassa olevan vesi-ilmalämmönvaihtimen avulla. Jäähdytystoiminto voi olla aktiivinen, jolloin ilman liikettä tehostetaan jäähdytysyksikössä olevin puhaltimin. Passiivisessa ratkaisussa ilma siirtyy palvelinlaitteiden läpi paine-eron vaikutuksesta. [27, s. 11-12]

Takaovijäähdytyksen teho soveltuu siihen, että lämpö poistetaan hyvin lähellä sen lähdettä. Tällöin tilaan ei tarvitse rakentaa erillisiä kuuma- tai kylmäkäytäviä, koska palvelinkaappien läpi tullessaan ilma on jo jäähdytettyä. [14, s. 20] Kuvassa 25 on esitetty takaovijäähdytyksen periaate yhdessä palvelinkaapissa.



Kuva 25. Takaovijäähdytyksen periaate [27, s. 12]

Takaovijäähdytys soveltuu hyvin esimerkiksi mataliin tiloihin, koska erillisiä käytäväratkaisuja ei tarvitse asentaa [25]. Huonona puolena on rivijäähdyttimen tapaan jäähdytysputkistojen ja niiden välisten liitosten sijainti palvelinlaitteiden läheisyydessä [4, s. 15].

### 7.3 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksellä tarkoitetaan ilmiötä, jossa hyödynnetään kylmän ulkoilman jäähdytyspotentiaalia tilojen jäähdytyksessä. Vapaajäähdytyksessä jäähdytysverkostoon lisätään ylimääräinen lämmönsiirrin, jonka kautta ulos asennettu nestejäähdytin kierrättää ulkona viilennettyä nestettä. Vapaajäähdytys siirtimen sijainti järjestelmätasolla on esitetty kuvassa 20 (sivu 35). Kun ulkona on riittävän viileää, jäähdytysveden tuotossa kuluu sähköä pääasiassa ainoastaan jäähdytysveden kierrättämiseen verkostossa ja nestejäähdyttimien puhaltimien pyörittämiseen, eikä kompressoreja tarvitse käynnistää. [4, s. 12] Vapaajäähdytys voi olla myös osa-aikaista, jolloin kullakin ajanhetkellä puuttuva jäähdytyskapasiteetti tuotetaan käyttämällä vedenjäähdytyskoneiden kompressoreja osateholla [14, s. 27].

Jotta vapaajäähdytysjärjestelmä toimii halutulla tavalla, ulkoilman pitää olla useita asteita huonelämpötilaa alhaisempi. Liuospiiriin lisätty ylimääräinen lämmönsiirrin huonontaa järjestelmän kykyä hyödyntää lämpötilojen eroa täysimääräisesti [28, s. 33]. Jos rakennuksen tuloilmaa jäähdytetään ainoastaan kesällä, vapaajäähdytyksen hyödyt voivat jäädä pieneksi koska riittävää lämpötilaeroa ei pääse syntymään. Mikäli jäähdytystehoa tarvitaan ympäri vuoden, kuten konesaleissa, vapaajäähdytyksen käyttöä ja mahdollisuuksia kannattaa ehdottomasti selvittää.

### 7.4 Varmennukset

Ilmanvaihdon jatkuva toiminta on palvelinten toiminnan kannalta välttämätöntä. Sama pätee palvelintiloja palvelevaan jäähdytysjärjestelmään. Mikäli kyseessä on vakioilmastointikoneella palveltava tila, yksi mahdollinen vaihtoehto on asentaa rinnalle toinen vakioilmastointikone, joka saa sähkö- ja kylmänsyötön eri lähteestä. Tällöin koneet eivät ole toisistaan riippuvaisia, vaan molemmat voivat toimia itsenäisesti. Edellytyksenä on, että tilan jäähdytys- ja ilmanvaihtotarve on mitoitettu siten, että yksittäinen laite pystyy ylläpitämään tilassa vaaditut olosuhteet.



Joissain kohteissa teknisten tilojen sijoittumisella voidaan vaikuttaa jäähdytyksen varmennuksiin. Mikäli tekniset tilat sijaitsevat lähellä toisiaan, voidaan tiloja palvelevien jäähdytysjärjestelmien välille rakentaa yhdysputket. Tällä ratkaisulla voidaan varmentaa tilanne, jossa toista tilaa palvelevaan kylmäntuottolaitteistoon tulee häiriö. Tämä varmennusmuoto soveltuu erityisen hyvin opinnäytetyössä tarkasteltavaan tapaukseen, sillä uudet tietokonehuoneet ovat lähtökohtaisesti hyvin identtisiä niin jäähdytystehontarpeeltaan kuin pohjapiirustukseltaan.

Nestejäähdytysjärjestelmässä vedenjäähdytyskoneen tai nestejäähdyttimen vikoihin varautumisessa vaihtoehtona on liittää jäähdytysverkostoon hätäjäähdytyslämmönsiirrin, joka on liitetty kiinteistön käyttövesiverkostoon. Tällaisessa tilanteessa palvelintilojen vaatima jäähdytys saadaan tuotettua juoksuttamalla kiinteistön kylmää käyttövettä lämmönsiirtimen läpi.

## **8 Periaateratkaisujen vertailu**

Tässä kappaleessa käydään läpi kappaleissa 6 ja 7 esitetyt ratkaisuja. Toteutusratkaisuja vertaillaan muun muassa käytettävyydellä ja niiden soveltumisella uuteen huonetilaan. Opinnäytetyössä oli alun perin tarkoituksena pohtia sopivia ratkaisuja muidenkin tekijöiden suhteen, kuten toteutusten ympäristövaikutuksiin ja elinkaarikustannuksiin. Varsin nopeasti kävi kuitenkin ilmi, että käytettävissä olevat tilat asettavat niin tiukat raamit toteutukselle, että se kaventaa mahdollisten vaihtoehtojen määrää.

### **8.1 Ilmanvaihto**

Nykyiset ilmanvaihtokoneet, jotka palvelevat uusiksi tietokonehuoneiksi valittuja huonetiloja, toimivat kiertoilmaperiaatteella. Koneissa ei ole jäähdytyspatteria, eikä ilmaa käsitellä suodatusta lukuun ottamatta. Koneet palvelevat nykyisellään uusien palvelintilojen lisäksi muita tiloja, eikä muiden tilojen ilmanvaihtoon olla tekemässä muutoksia tässä projektissa. Tämän takia uusia tietokonehuoneita palvelevan ilmanvaihtolaitteiston mitoituksessa on otettava huomioon myös muut ilmanvaihtokoneen palvelualueen tilat.

Taulukossa 6 on esitetty toisen osajärjestelmän ilmanvaihtokonehuoneessa olevan ilmanvaihtokoneen koko palvelualue sekä tiloihin liittyvät ilmamäärät. Lisäksi taulukkoon on esitetty uuden palvelintilan mitoitettut ilmavirrat kappaleiden 6.2.1 ja 6.2.2 mukaan. Uusi tietokonehuone on esitetty taulukossa nimellä *varasto, taso 03*.

Taulukko 6. Uusittavan ilmanvaihtokoneen palvelualue.

IVKH	HUONETILA	ILMAMÄÄRÄ <sup>(1)</sup>	ILMAMÄÄRÄ <sup>(2)</sup>	ILMAMÄÄRÄ <sup>(3)</sup>
KONEHUONE 1	sähkötila 1, taso 04	0,4 m <sup>3</sup> /s	0,4 m <sup>3</sup> /s	0,4 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 2, taso 04	0,1 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 1, taso 03	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 2, taso 03	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 3, taso 03	0,1 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s
	varasto, taso 03	3,4 m <sup>3</sup> /s	0,1 m <sup>3</sup> /s	8,9 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 4, taso 03	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s	0,6 m <sup>3</sup> /s
	sähkötila 5, taso 03	0,3 m <sup>3</sup> /s	0,3 m <sup>3</sup> /s	0,3 m <sup>3</sup> /s
YHTEENSÄ, KOKONAISILMAVIRTA		6,1 m <sup>3</sup> /s	2,8 m <sup>3</sup> /s	11,6 m <sup>3</sup> /s

Alla lueteltu taulukossa 6 esitetyt numeroviittaukset:

1. Tilan nykyinen ilmamäärä
2. Uusi tilanne, mitoitus perusilmanvaihdolla (kappale 6.2.1)
3. Uusi tilanne, mitoitus täydellä ilmajäähdytyksellä (kappale 6.2.2)

Taulukosta voidaan varsin nopeasti tehdä päätelmä, että ilmanvaihdon toteutus pelkällä ilmajäähdytyksellä (taulukko 6, kohta 3) saattaisi olla haasteellista. Kokonaisilmavirran lähes kaksinkertaistuessa kasvavat myös vaadittavat kanava- ja konekoot. Kanavakoon mitoitus perustuu kanavassa virtaavan ilman nopeuteen. Ilmavirran nopeus saadaan käyttämällä kaavaa 3:

$$v_{ilmavirta} = \frac{q_{ilmamäärä}}{A_{kanava}} \quad (3)$$

$v_{ilmavirta}$  on ilman nopeus kanavassa, m/s

$q_{ilmamäärä}$  on kanavassa kulkeva ilmamäärä, l/s

$A_{palvelintila}$  on kanavakoon pinta-ala, m<sup>2</sup>

Tällaisessa niin sanotussa normaalilmanvaihdon mitoituksessa pääkanavan nopeutena voidaan käyttää arvoja väliltä 4-6 m/s, jossa jälkimmäinen arvo on suurin suositeltu nopeus [29, s. 102]. Kanavoinnin ollessa tässä tapauksessa hyvin lyhyt, voidaan käyttää arvoa 6 m/s. Valitulla nopeudella ja kaavaa 3 muokkaamalla saadaan kaava 4:

$$A_{kanava} = \frac{q_{ilmamäärä}}{v_{ilmavirta}} \quad (4)$$

Vilmavirta	on ilman nopeus kanavassa, m/s
q <sub>ilmamäärä</sub>	on kanavassa kulkeva ilmamäärä, l/s
A <sub>palvelintila</sub>	on kanavakoon pinta-ala, m <sup>2</sup>

Kaavasta 4 saadaan kanavan vaadituksi pinta-alaksi 1,92 m<sup>2</sup>, joka voidaan toteuttaa esimerkiksi 1600 mm x 1200 mm suorakaidekanavalla. Uusia ilmamääriä vastaavien ilmanvaihtokoneiden asennus ja haalaus olemassa oleviin, jo valmiiksi ahtaisiin tiloihin, sekä sopivien aukkojen tekeminen tiloja jakaviin rakenteisiin osoitetaan jo näillä alustavilla tiedoilla täysin mahdottomaksi.

Kanavia ei myöskään todennäköisesti ole mahdollista sijoittaa uuteen tietokonehuoneeseen siten, että ilmanjako saadaan järkevästi toteutettua. Tilassa oleva rakennekalkki (kuva 8, sivu 17) määrittelee vapaan korkeuden. Esiselvityksessä on mainittu kaappien tilavarauksen olevan korkeuden suhteen 2000 mm [3, s. 7], joten palkin alitukseen jäävä tila on hyvin pieni. Tilaan olisi myös tehokkaan ilmanjakovaatimuksen vuoksi tehtävä korotettu lattia, joten tila palkin ja lattiapinnan välillä pienenee entisestään.

Lisäksi ilmajäähdytys vaatii jäähdytyspatterin, jolla hallitaan olosuhteet, jossa lämpötila nousee yli asetusrajojen. Suuret ilmavirrat vaikuttavat jäähdytyspatteriin ja siihen liittyvään putkistoon siten, että ne ovat tässä kokoluokassa erittäin kookkaita. Käytännössä kaikki edellä mainitut asiat tarkoittavat sitä, että tilan ilmanvaihtoa ei voida järkevästi toteuttaa jäähdytetyllä keskusilmanvaihtolaitteistolla.

Toisena vaihtoehtona ilmajäähdytyksen toteuttamiselle olisivat vakioilmastointikoneet. Vakioilmastointikoneilla toteutettaessa haasteeksi muodostuu laitteiden ja niihin liittyvien kanavointien tilan tarve, samoin kuin keskusilmanvaihtolaitteistolla tehtäessä. Vakioilmastointikoneissa tilassa kiertävä ilmavirta on yleensä varsin suuri, minkä myötä koneelle kulkeutuvat kanavat vaativat runsaasti tilaa. Suuret kanavakoot ja niiden vaatimat läpiviennit saattavat myös vaikuttaa seinärakenteen kestävyYTEEN. Lisäksi tilaa palvelevat laitteistot pitää varmentaa, mikä vakioilmastointikoneella toteuttaessa tarkoittaa toisen laitteen hankkimista rinnalle.

## 8.2 Jäähdytys

Huonetilan koko ja rakenne kattopalkkeineen vaikuttaa myös jäähdytyslaitteiden valintaan. Huonetilaan on esiselvityksessä määritetty jäähdytystehontarpeeksi 75 kW, joka on varsin paljon tilan pinta-alaan nähden [3, s. 8]. Palvelinlaitteille määritetyn sähkötehon lisäksi tilassa on muutakin palvelinlaitteistoa, joten mitoituksen puolesta haastavimmassa tilanteessa kaikkien palvelinkaappien ollessa käytössä, jäähdytystehoa tarvitaan jopa hieman enemmän kuin 75 kW.

Huoneen suhteellisen pienen koon vuoksi jäähdytetty puhallinseinä olisi hyvin soveltuva ratkaisu laitteiden suuren jäähdytyskapasiteetin vuoksi. Laitteet kuitenkin vaativat runsaasti tilaa joko palvelintilasta tai viereisestä huoneesta. Palvelintilaan laitteita ei alustavan tilasuunnitelman mukaan (kuva 7, sivu 16) ole mahdollista sovittaa järkevästi. Laitteiden sijoituessa viereiseen huonetilaan, olisi huoneiden väliin puhkaistava riittävän iso aukko ilman liikuttamista varten. Tällaisen aukon tekeminen olemassa oleviin rakenteisiin on erittäin hankalaa, ellei jopa mahdotonta.

Vakioilmastointikoneiden tapauksessa nousevat esille samat ongelmat kuin edellä jäähdytetyllä puhallinseinällä tehdyllä toteutuksessa. Huonetilaa ympäröivät seinät ovat vahvasti raudoitettua betonia. Seiniin vältetään yleensä tekemästä suuria aukkoja, koska raudoitusteräksiä menee silloin poikki useita.

Vapaajäähdytyksen käyttäminen palvelintilojen jäähdytyksessä on järkevää, koska jäähdytystarve on ympärivuotinen. Vapaajäähdytyksessä käytetystä lisälämmönsiirtimestä ja siihen liittyvistä putkistoista tulee lisää kustannuksia, mutta Suomen olosuhteissa ilman lämpötilat ovat suuren osan vuodesta vapaajäähdytykselle sopivalla tasolla. Optimistisesti arvioituna vapaajäähdytysalue alkaa ulkolämpötilan alittaessa +10 °C. [30]

## 9 Johtopäätös

### 9.1 Periaateratkaisun valinta

Ilmanvaihdon ja jäähdytyksen toteuttamiseen on olemassa lukemattomia erilaisia yhdistelmiä. Mikäli kyseessä on uudiskohde, voidaan jäähdytyksen ja ilmanvaihdon toteutuksessa käyttää melko vapaasti mitä tahansa hyväksi todettua järjestelmää. Tällöin taloteknisten järjestelmien tilantarpeet voidaan ottaa huomioon muun rakennuksen suunnittelussa, jolloin palvelintilat voidaan rakentaa valittujen ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmän erityisehtojen mukaisesti.

Olemassa olevissa rakennuksissa huonetilan käyttötarkoituksen muuttaminen aiheuttaa yleensä aina haasteita. Opinnäytetyössä tarkastellussa tapauksessa tämä konkretisoitui vaikeimman kautta, sillä lähtökohtana oli muuttaa nykyisin varastotiloina toimivat huoneet palvelinkäyttöön sopiviksi, eli käyttötarkoituksen muutos oli varsin suuri.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa tavoitteena oli vertailla useita erilaisia jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmän periaateratkaisujen kombinaatioita eri näkökulmista, kuten ympäristömerkitysten, energiatehokkuuden ja käytettävyyden näkökulmista. Opinnäytetyön edetessä kävi kuitenkin hyvin nopeasti selväksi, että todellisuudessa mahdollisia vaihtoehtoja on vain rajatusti, eikä kaikkia haluttuja näkökohtia voitu ottaa huomioon lopullisen periaateratkaisun valinnassa.

Suurimmaksi merkittäväksi tekijäksi periaateratkaisujen valinnassa nousi uusiksi tietokonehuoneiksi valikoitujen tilojen asettamat rajoitteet huonetilojen pinta-alan ja rakenteiden suhteen. Ympäristömerkitysten ja energiatehokkuuden suhteen tehtiin kompromissi, jossa hyväksyttiin riittäväksi se, että laitteistot mitoitetaan, hankitaan, varustetaan ja asennetaan nykyaikaisten standardien mukaisesti. Näillä muutoksilla tullaan saavuttamaan huomattavasti nykyisiä laitteistoja energiatehokkaampi järjestelmä. Olosuhteina toteutussuunnittelussa käytetään olemassa olevia suunnitteluperusteita, sillä ne ovat tarkastelujen perusteella nykystandardien ja -käytäntöjen mukaiset.

### 9.1.1 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon osalta uusiin palvelintiloihin ehdotetaan rakennettavaksi ainoastaan perusilmanvaihto, jossa kanavistoon lisätään ilman käsittelyyn vaadittavat jäähdytys- ja lämmityspatterit sekä kostutin. Vakioilmastointikoneita käytetään hyvin yleisesti palvelintilojen ilmanvaihdossa ja jäähdytyksessä [30], mutta huonetilan suhteellisen suuren jäähdytystehontarpeen vuoksi jäähdytyslaitteisto päädyttiin sijoittamaan mahdollisimman lähelle varsinaista lämmönlähdettä. Vakioilmastointikoneiden sijoittaminen tietokonehuoneisiin olisi tilajaon puolesta haasteellista toteuttaa, sillä palvelinkaappien ja muiden palvelinlaitteiston tilavaraukset vievät tilasta suurimman osan. Muuhun huonetilaan sijoittuessaan vakioilmastointikoneiden ilmanakanavat olisivat vaatineet suurien aukkojen tekemistä olemassa oleviin seinärakenteisiin, ja sitä pyritään ydinvoimalaitoksen muutostöissä yleensä välttämään.

Samassa yhteydessä ehdotetaan uusittavaksi tiloja palveleva ilmanvaihtolaitteisto kokonaisuudessaan. Uusi ilmanvaihtokone voidaan varustaa hyvällä hyötysuhteella olevalla pyörivällä lämmöntalteenottolaitteistolla. Koneeseen tulee myös asentaa ilman käsittelyä varten lämmitys- ja jäähdytyspatterit. Ilmanvaihdon varmennus voidaan toteuttaa asentamalla ilmanvaihtokoneeseen kaksoispuhaltimet, jolloin yksittäisen puhaltimen vika- tai huoltotilanteessa ei menetetä ilmanvaihtoa.

### 9.1.2 Jäähdytys

Suuren jäähdytystarpeen vuoksi jäähdytyslaitteisto on järkevintä sijoittaa lähelle palvelinlaitteita, jossa lämpöä syntyy. Tällöin jäähdytyskapasiteetti saadaan hyödynnettyä tehokkaammin, koska suurin jäähdytysteho saadaan kohdistettua oikeaan paikkaan. Vaihtoehtoiksi jää jäähdytyksen toteuttaminen neste-jäähdytteisellä järjestelmällä joko takaovi- tai rivijäähdyttimillä. Valittavan periaateratkaisun toiminnan on oltava luotettavaa joka tilanteessa, mistä johtuen ydinvoimalaympäristössä on luontevaa käyttää mieluiten hyvin koeteltua ja tuttua tekniikkaa. Rivijäähdyttimillä on Suomessa toteutettu onnistuneesti lukuisia kohteita [30], minkä takia tilan jäähdytystä ehdotetaan toteutettavaksi rivijäähdyttimillä.

Rivijäähdyttimet ovat palvelintilan koon huomioon ottaen hyvä ratkaisu, sillä toteutustapa ei vaadi korotettua lattiaa tai suurta tilavarausta palvelinkaappien yläpuolella. Korotetun lattian käyttöä tulisi silti kohteessa harkita, sillä se helpottaisi LVI- ja sähköasennusten tekemistä, kun jäähdytysputket ja sähkökaapelit voitaisiin kuljettaa korotetussa lattiatilassa suoraan kohteelle. Tällä myös saadaan minimoitua tilassa näkyvissä olevan tekniikan määrä. Jäähdytysputkien kulkiessa samassa tilassa palvelinlaitteiden kanssa, korotetun lattian alle olisi syytä tässä tapauksessa asentaa jonkinlainen vuodonilmaisujärjestelmä, joka hälyttää vuodon ilmaantuessa.

Nestejäähdytteisen järjestelmän avulla voidaan hyödyntää myös vapaa-jäähdytystä, joka on ehdottomasti järkevää ympärivuotisesta jäähdytystarpeesta ja Suomen sääolosuhteista johtuen. Suomi on jaettu neljään lämpötilavyöhykkeeseen I – IV [31], ja vyöhyke I kuvastaa eteläistä Suomea. Ilmatieteen laitoksen energialaskennan testivuosien 2020 tuntiaineistoa [31] tulkitsemalla voidaan nähdä, että vyöhykkeellä I lämpötila on noin 64 % (~5600 tuntia) ajasta alle +10 °C, jota voidaan optimistisesti arvioituna pitää raja-arvona vapaa-jäähdytyksen hyödyntämiselle [30].

Vapaa-jäähdytyksen kustannushyötyä voidaan havainnollistaa karkealla laskelmalla, jossa lähtötietona oletetaan vapaa-jäähdytyksen riittävän 64 %

(~5600 tuntia) vuodesta. Muuna aikana, eli 36 % ajasta (~3160 tuntia) jäähdytys tuotetaan koneellisesti kompressorien avulla. Palvelintiloille on jäähdytystehontarpeeksi määritetty 75 kW [3, s. 8], ja ilmanvaihtokoneelle voidaan laskelmissa käyttää jäähdytystehontarpeena arvoa 45 kW. Laitteiston kylmäkertoimeksi oletetaan 3, eli 1 kW sähkötehoa tuottaa 3 kW jäähdytystehoa. Sähköenergian hinnaksi oletetaan 50 €/MWh. Taulukossa 7 on karkeasti esitetty kustannukset sähköenergian käytölle.

Taulukko 7. Kustannusvertailu vapaajäähdytyksellä tai ilman vapaajäähdytystä.

Järjestelmässä vapaajäähdytys	Jäähdytystehontarve [kW]	Kylmäkerroin	Käyttötunnit [h/a]	Sähköenergia, jäähdytys [kWh/a]	Käyttökustannukset [€/a]
kyllä	120	3	3160	126,4	6320
ei	120	3	8760	350,4	17520

Taulukossa 7 käyttötunneilla kuvataan koneellisen jäähdytyksen käyttöä. Ilman vapaajäähdytystä koneellista jäähdytystä käytetään ympäri vuoden 24 tuntia vuorokaudessa, mistä vuoden tuntimääräksi on saatu 8760 tuntia. Jäähdytysveden pumppaukseen käytettyä sähköenergiaa ei ole taulukossa huomioitu, sillä pumppaukseen kulutettu energia on molemmissa tapauksissa sama.

Saaduista tuloksista voidaan huomata, että käyttökustannukset vapaajäähdytyksellä ovat huomattavasti pienemmät kuin koneellisella jäähdytyksellä. Vapaajäähdytyksessä järjestelmän investointikustannukset ovat toisaalta hieman suuremmat ylimääräisestä lämmönsiirtimestä ja sen vaatimista putki-asennuksista johtuen, mutta lisäasennusten kustannusvaikutukset ovat koko järjestelmän hankintahintaan verrattuna varsin pieniä. Järjestelmän tarkemmat kustannukset määräytyvät tarkemmin toteutussuunnitteluvaiheessa, mutta jo karkeat laskelmat osoittavat vapaajäähdytyksen kannattavuuden.

Varmennusten osalta muutostyössä ehdotetaan käytettävän käyttövetä hätäjäähdytykseen. Hätäjäähdytystä varten ilmanvaihtokonehuoneeseen asennetaan oma siirrin, jonka läpi kylmä käyttövesi kulkee häiriötilanteessa. Siirtimen läpi virrannut vesi ohjataan viemäriin. Jäähdytysjärjestelmän muun toiminnan



kannalta kiertovesipumppujen, rivijäähdyttimien puhaltimien ja sähköisellä toimilaitteella olevien säätöventtiilien toiminta on ensiarvoisen tärkeää. Laitteiden toiminta voidaan varmistaa kahdennetulla sähkönsyötöllä. Lisäksi laitteiden sähkönsyötön varmentamisessa voidaan käyttää UPS-järjestelmää.

Vedenjäähdytyskoneet jäävät tässä tapauksessa ilman suoraa varmennusta, sillä varalaitteiden hankintaa tai sähkönsyötön kahdennusta ei voida toteuttaa järkevin kustannuksin. Jäähdytysveden tuotto ehdotetaan varmennettavaksi siten, että asennetaan eri ilmanvaihtokonehuoneissa sijaitsevien jäähdytysverkostojen välille yhdysputket. Tässä tapauksessa toisen osajärjestelmän vedenjäähdytyskoneen tekniikan pettäessä voidaan jäähdytystehoa syöttää rinnakkaisesta järjestelmästä. Ehdotettu toteutus soveltuu hyvin kohteeseen, sillä molemmat ilmanvaihtokonehuoneet sijaitsevat lähellä toisiaan.

## 9.2 Opinnäytetyön tavoitteiden täyttyminen

Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena oli selvittää OL1 ja OL2 -ydinvoimalaitoksille tulevien uusien tietokonehuoneiden vaatimia olosuhteita. Olosuhteiden määrittämisessä hyödynnettiin jo olemassa olevia suunnitteluperusteita sekä yleisesti käytössä olevia ohjeistuksia aiheesta. Olosuhteiden tutkiminen eri lähteistä osoitti sen, että OL1 ja OL2 -voimalaitosyksiköiden omat suunnitteluperusteet palvelintiloille ovat hyvin ajan tasalla ja vastaavat muualla käytössä olevia ohjeita. Olosuhdemäärittysten jälkeen tutkittiin eri ilmanvaihto- ja jäähdytysratkaisuja, joilla tietokonehuoneiden olosuhteita voidaan ylläpitää.

Uusien tietokonehuoneiden ilmanvaihdon ja jäähdytyksen toteutukseen oli olemassa muutamia luotettavaksi todettuja ratkaisuja, mutta osa mahdollisista vaihtoehtoista jouduttiin hylkäämään huonetilojen asettamista rajoituksista johtuen. Vaihtoehtojen karsiutumisesta huolimatta vertailun lopputuloksena saatiin valittua kohteeseen sopivat periaateratkaisut, jotka ottavat asennuskohteen haasteet ja vallitsevat olosuhteet huomioon. Valituilla ilmanvaihdon ja jäähdytyksen periaateratkaisuilla voidaan edetä projektin osalta toteutussuunnitteluvaiheeseen.

Periaateratkaisujen vertailuiden lisäksi opinnäytetyön yhtenä tavoitteena oli tutkia palvelintilan jäähdytyslaitteiden tuottaman lauhdelämmön hyödyntämistä. Kuitenkin jo opinnäytetyön alussa kävi ilmi, että kyseisessä tapauksessa lauhdelämmön hyödyntämisen tutkimista ei ole syytä jatkaa. Vaikka lauhdelämmön tuottamiseen on olemassa hyviä ja energiatehokkaita lämpöpumppuratkaisuja, ydinvoimalaitoksessa ylimääräistä lämpöä on runsaasti saatavilla. Ylimääräinen lämpö on seurausta prosessissa syntyvästä lauhdelämmöstä. Lisäksi lämpöpumppujen käyttämiseen kuluva energia on pois ydinvoimalaitoksen asiakkaille myytävästä energiasta.

## Lähteet

- 1 TVO:n verkkosivut, [www.tvo.fi](http://www.tvo.fi). Haettu 26.01.2023.
- 2 Posivan verkkosivut, [www.posiva.fi](http://www.posiva.fi). Haettu 26.01.2023.
- 3 Hyppölä, Aarne; Kääriälä, Eeva. 2020. OlkiDoc dokumenttitunnus 192196. Esiselvitys, OL1/OL2 uudet tietokonehuoneet.
- 4 Stenberg, Sven-Åke. 2015. Tietokonesalien hukkalämmön hyödyntämismahdollisuuksien teknis-taloudellinen optimointi, diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 5 Motiva Oy. 2011. Energiatehokas konesali. Haettu 14.02.2023. Saatavissa [https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas\\_konesali.pdf](https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf)
- 6 Dai, Jun; Ohadi, Michael; Das, Diganta; Pecht, Michael. 2014. Optimun cooling of data centers.
- 7 Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology. Uptime Institute. Haettu 16.02.2023. Saatavissa <https://www.gpxglobal.net/wp-content/uploads/2018/11/Uptime-Tier-Standard-Topology.pdf>
- 8 Teollisuuden Voima Oyj. 2013. Tekninen esite, laitospysiköt OL1 ja OL2. Haettu 16.03.2023. Saatavissa [https://www.tvo.fi/uploads/julkaisut/tiedostot/OL1\\_OL2\\_laitospysikot\\_tekninen\\_esite.pdf](https://www.tvo.fi/uploads/julkaisut/tiedostot/OL1_OL2_laitospysikot_tekninen_esite.pdf)
- 9 Paavilainen, Arto; Rautanen, Maria; Ståhlström, Pasi. 2019. OlkiDoc dokumenttitunnus 178451. 746: E- ja X-rakennusten huonekohtainen ympäristöolosuhteluokitus, osa 1.
- 10 Laaksonen, Rami. 2018. OlkiDoc dokumenttitunnus 107231. Environmental classes – Te-Be-1e.
- 11 Laitinen, Tanja; Rinne, Antti. 2022. OlkiDoc dokumenttitunnus, 116414. 746 – OL1/OL2 valvomo-, kytkinlaitos- ja apurakennusten sähkötilojen ilmastointijärjestelmä – lopullinen turvallisuusseloste.
- 12 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2011. Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes and Usage Guidance.
- 13 Sähkötieto Ry. 2017. ST 53.61 – Sähkötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys.

- 14 Hajanti, Petteri. 2016. Granlund, ryhmäpäällikkö/konsultti. Datakeskuksen talotekniikka ja energiatalous - jäähdytys, ilmanvaihto ja lämmitys. Luentokalvot 11.03.2016.
- 15 Kanava-asenteisen Systemair CWK-jäähdyttimen tuotesivu. Haettu 09.03.2023. Saatavissa <https://shop.systemair.com/fi-FI/cwk--200--3--25--kanavajaahdytin/p115347>
- 16 IV-Produkt AB. 2011. Kylmä-Aapinen ISBN 91-631-3972-3. Luettu 09.03.2023. Saatavissa <https://ivprodukt.docfactory.com/>
- 17 Carrier 50CJ-vakioilmastointikoneen tuotesivu. Haettu 09.03.2023 Saatavissa <https://www.carrier.com/commercial/en/eu/products/air-treatment/closed-control-units/50cj/>
- 18 Mentula, Jukka. 2020. Kostutuksen ja kuivauksen toteutus vakioilmastointikoneella. Haettu 10.03.2023. Saatavissa <https://ssty.fi/download/vakioilmastointi-pdf/>
- 19 DinAir/AAF. Airborne Contaminant Control for Data Center Environments. Haettu 10.03.2023. Saatavissa [https://dinair.fi/fileadmin/user\\_upload/20200131\\_AAF\\_Brochure\\_Data\\_Centers\\_EN.pdf](https://dinair.fi/fileadmin/user_upload/20200131_AAF_Brochure_Data_Centers_EN.pdf)
- 20 Motiva Oy. 2016. Viihtyisä työympäristö – Ilmastointi ja jäähdytys. Haettu 11.03.2023. Saatavissa [https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa\\_tyoymparisto\\_Ilmastointi\\_ja\\_jaahdytys\\_2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf)
- 21 Tuotesivu, Ekocoil-nestejäähdyttimet ja lauhduttimet. Haettu 11.03.2023. Saatavissa <https://www.ekocoil.fi/nestejaahdyttimetlauhduttimet>
- 22 Tuotesivu, Chiller kylmävesiasemat. Haettu 11.03.2023. Saatavissa <https://www.chiller.eu/fi/tuotteet/kylmavesiasemat/chillquick/>
- 23 Tuotesivu, Chiller Steady-vakioilmastointikoneet. Haettu 11.03.2023. Saatavissa <https://www.chiller.eu/fi/tuotteet/vakioilmastointikoneet/steady-tarkkuusilmastointilaite/>
- 24 Kuvankaappaus Youtube-videolta, AireWall jäähdytysseinäpuhallin. Haettu 16.03.2023. Saatavissa <https://youtu.be/ilc7u4a8Ofw>
- 25 Orbis Oy:n nettisivut, konesalien jäähdytys. Haettu 17.03.2023. Saatavissa <https://orbis.fi/ratkaisut/datakeskus/datakeskusten-infra/>
- 26 Motivair ChilledDoor. 2023. Product brochure. Haettu 17.03.2023. Saatavissa [https://www.motivaircorp.com/uploads/files/brochures/Chilled-Door%20brochure\\_2023.pdf](https://www.motivaircorp.com/uploads/files/brochures/Chilled-Door%20brochure_2023.pdf)

- 27 Atos. 2016. Data center catalogue. Haettu 17.03.2023. Saatavissa <https://en.atos-racks.com/cache/documents/content/atos-datacenteren-c-59.pdf>
- 28 VTT. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. Haettu 17.03.2023. Saatavissa [https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys\\_VTT\\_221216.pdf](https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf)
- 29 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Suomen LVI-yhdistysten Liitto.
- 30 Laine, Markus. 2023. A-Insinöörit, erikoissuunnittelija (kylmätekniikka ja lämpöpumput). Teams-haastattelu 23.02.2023.
- 31 Ilmatieteen laitos. Energialaskennan testivuodet 2020. Haettu 23.03.2023. Saatavissa <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/energialaskenta-try2020>