

Datakeskuksen suunnittelu

Mikko Viilos

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2018

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Viilos, Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 74	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Datakeskuksen suunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Tieto- ja viestintätekniikka, Tietoverkkotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Sampo Kotikoski, Mika Rantonen		
Toimeksiantaja(t) Keski-Suomen Valokuituverkot Oy, Janne Paunonen		
Tiivistelmä <p>Datakeskuksen rakentaminen on monimutkainen hanke, joka vaatii osaamista monelta osa-alueelta. Nykypäivänä yritysten on helppoa ja suhteellisen edullista sijoittaa IT-laitteistonsa datakeskuspalveluita vuokraavien yritysten tiloihin. On kuitenkin epäselvää, missä vaiheessa oman datakeskuksen rakentaminen muuttuu kannattavaksi.</p> <p>Suurimpana, muttei suinkaan ainoana, vaikuttavana tekijänä datakeskuksen rakentamisen kannattavuuteen on IT-infrastruktuurin määrä, jota datakeskuksen tulisi tukea päivästä yksi alkaen. Asiaa voidaan kartoittaa kustannusarvioiden kautta, jossa otetaan huomioon rakennuskustannuksien lisäksi myös oman datakeskuksen käyttökustannukset vähintään viiden vuoden aikavälillä.</p> <p>Tavoitteena on selvittää oman datakeskuksen rakentamisen kannattavuus taloudellisesta näkökulmasta, ottaen huomioon suhteellisen pieni IT-laitteiston määrä, jota datakeskuksen on tarkoitus tukea ensimmäisestä päivästä lähtien. Tämän lisäksi työssä vertaillaan energiatehokkaita datakeskumalleja vähemmän energiatehokkaisiin malleihin, ja vertailla näiden mallien kannattavuutta 10-vuoden aikavälillä.</p> <p>Työntuloksena selvisi, ettei oman datakeskuksen rakennushankkeeseen kannata lähteä pienellä IT-infrastruktuurin määrällä. Tämän lisäksi työn perusteella voidaan todeta, että energiatehokkuuteen investoiminen on taloudellisesti kannattavaa yllättävän nopeasti IT-laitteiston määrän kasvaessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) datakeskus, konehuone, pienyritys, energiatehokkuus, redundanttisuus, tietoverkko		
Muut tiedot		

Author(s) Viilos, Mikko	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication: Finnish
	Number of pages 74	Permission for web publication: x
Title of publication Designin a Data Center		
Degree programme Information Networks, ICT-engineer		
Supervisor(s) Sampo Kotikoski, Mika Rantonen		
Assigned by Keski-Suomen Valokuituverkot Oy, Janne Paunonen		
Abstract <p>Data center construction project is a very complex one, since it requires expertise from many different fields. In the present day, it is easy and cost-efficient for enterprises to rent the capacity to host their IT-equipment from Colocation centers. However, it is often unclear for enterprises, when it would be more cost-efficient to build your own data center to host their IT-equipment at.</p> <p>The most important, but not the only factor to determine this, is the amount of IT-equipment the data center is supposed to be hosting from day one. The question can be answered by doing cost estimates from the building process and estimates about the operational costs of the data center. The operational costs should be evaluated for at least 5-year timeline.</p> <p>The objective of the work is to determine the profitability of hosting your own Data Center equipment, while considering the relatively small volume of IT-equipment the Data Center is supposed to host from day one. The objective also includes comparing the cost of energy efficient but more costly designs to less costly designs with worse energy efficiency. The comparison of the designs is done on a 10-year timeline.</p> <p>From results of the work it is possible to determine, that it is not feasible from the financial standpoint to consider building your own data center with small amount of IT-equipment. The results also show that investing to energy efficiency becomes worth it fairly quickly as the amount of IT-equipment increases.</p>		
Keywords/tags (subjects) data center, server room, energy efficiency, small business, network, redundancy		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Työn lähtökohdat	7
1.1	Toimeksiantaja	7
1.2	Tavoitteet	7
1.3	Tutkimusmenetelmä ja tutkimuskysymykset.....	8
2	Datakeskuksen suunnittelussa huomioon otettavat asiat.....	9
2.1	Suunnittelijoiden yhteistyö ja sen tärkeys	9
2.2	Datakeskuksen energiatehokkuus.....	10
2.2.1	Yleistynyt mielenkiinto datakeskusten energiatehokkuuteen.....	10
2.2.2	Power Usage Efficiency.....	11
2.2.3	Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät	12
2.3	Tietoverkkojen perusteet	18
2.3.1	OSI-mallin ensimmäiset kolme tasoa	19
2.3.2	L2-tason menetelmät lähiverkossa	21
2.3.3	Operaattorin ja asiakkaan reunareitittimet	22
2.3.4	Address Resolution Protocol	22
2.3.5	Border Gateway Protocol	23
2.3.6	Hot Standby Router Protocol.....	25
2.4	Datakeskuksen fyysiseen topologiaan vaikuttavat tekijät	26
2.4.1	Sisäverkon kaapelointi.....	26
2.4.2	KytKentäpaneelit.....	27
2.4.3	Datakeskuksen jäähdytysratkaisut	27
2.4.4	Paloturvallisuus.....	30
2.5	Viestintäviraston lait ja määräykset viestintäverkoille	31
2.5.1	Viestintäviraston tärkeysluokat.....	31
2.5.2	Tehonsyötön varmistaminen.....	33

	2
2.5.3 Laitetilojen fyysinen suojaaminen.....	36
2.6 Saatavuus	37
2.6.1 Datakeskuksen saatavuuteen vaikuttavat tekijät.....	37
2.6.2 Varavirta	37
2.6.3 Tietoverkon saatavuus.....	39
3 Suunnittelu	40
3.1 Suunnittelun lähtökohdat	40
3.2 Suunnittelun tavoitteet	41
3.3 Jäähdytysratkaisut.....	41
3.3.1 Vertailukohteina olevat jäähdytysjärjestelmät	41
3.3.2 Vapaajäähdytteinen jäähdytysjärjestelmä	41
3.3.3 Vakioilmastointikone	44
3.3.4 Ilmalämpöpumppu pienkiinteistöihin	45
3.3.5 Jäähdytysratkaisujen vertailu	46
3.4 Varavirta	51
3.5 Tietoverkon redundanttisuus.....	52
3.5.1 Ulkoverkon redundanttisuus.....	52
3.5.2 Reitityksen redundanttisuus.....	54
3.5.3 Sisäverkon redundanttisuus	57
3.6 Kaapelointi.....	59
3.7 Palvelinkaapit, PDU ja ristikytkentäpaneelit	61
3.8 Kustannuksien yhteenveto.....	62
3.9 Kriittinen piste IT-kuorman suhteen	63
4 Pohdinta	66
4.1 Työn tulokset.....	66
4.2 Tuloksien luotettavuus	67

4.3	Jatkotutkimukset energiatehokkuuden kannattavuudesta	68
	Lähteet.....	69
	Liitteet.....	72
	Liite 1. Anixter Standards Reference Guide, Sivu 75 - Taulukko 45.....	72
	Liite 2. RXYQ-T Outdoor Unit – Cooling Capacity	73
	Liite 3. RXYQ-T Outdoor Unit – Heating Capacity	74

Kuviot

	Kuvio 1. Datakeskuksen PUE kuukausittain, Helsinki.....	13
	Kuvio 2. IT-kuorman vaikutus energiatehokkuuteen	15
	Kuvio 3. Palvelimien virrankulutus lämpötilaan nähden	17
	Kuvio 4. OSI-malli	19
	Kuvio 5. Kuuma- ja kylmäkäytävä.....	28
	Kuvio 6. Sähkönhinta kuvaaja	46
	Kuvio 7. Jäähdytyksen kustannukset 6,5 kW kuormalla	48
	Kuvio 8. Jäähdytyksen kustannukset 52 kW kuormalla	49
	Kuvio 9. Looginen verkkotopologia operaattorin verkkoon	53
	Kuvio 10. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 1.....	55
	Kuvio 11. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 2.....	56
	Kuvio 12. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 3.....	57
	Kuvio 13. Sisäverkon kaapelointi.....	60
	Kuvio 14. Oma datakeskus Vs. Co-location	65

Taulukot

Taulukko 1. Viestintäviraston määrittelemät tärkeysluokat.....	32
Taulukko 2. Datakeskuksen energiatiheys	40
Taulukko 3. RXYQ12-P7 – jäähdytysjärjestelmä.....	43
Taulukko 4. Sisäyksikkö FXFQ-125A	44
Taulukko 5. Vakioilmastointikone – Stulz Cyber Air II.....	45
Taulukko 6. Pienkiinteistön ilmalämpöpumppu	45
Taulukko 7. Eaton 9155-10I-N UPS	52
Taulukko 8. Palvelinkaappi, PDU ja ristikytkentäpaneeli	61
Taulukko 9. Kustannukset	62
Taulukko 10. Arvioimatta jääneet kustannukset	63
Taulukko 11. Kustannukset viiden vuoden aikajaksolla.....	64

Lyhenteet

ARP	Address Resolution Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AS	Autonomous System
BGP	Border Gateway Protocol
CE	Customer Edge
DSL	Digital Subscriber Line
eBGP	external Border Gateway Protocol
HSRP	Hot Standby Router Protocol
iBGP	Internal Border Gateway Protocol
IGP	Interior Gateway Protocol
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
KSVV	Keski-Suomen Valokuituverkot
LAN	Local Area Network
MPLS-VPN	Multiprotocol Label Switching-Virtual Private Network
NLRI	Network Layer Reachability Information
OSPF	Open Shortest Path First
PDU	Power Distribution Unit
PE	Provider Edge
PPP	Point-to-Point

PUE	Power Usage Effectiveness
STP	Spanning Tree Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
UPS	Uninterruptible Power Supply
VC	Virtual Chassis
VPLS	Virtual Private LAN Service
VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol
WAN	Wide Area Network

1 Työn lähtökohdat

1.1 Toimeksiantaja

Keski-Suomen Valokuituverkot Oy (KSVV) on Keski-Suomen alueella vaikuttava operaattori, joka tarjoaa asiakkailleen tietoliikenneyhteyksiä hyödyntäen valokuituteknologiaa. KSVV Oy aloitti toimintansa vuonna 2014 ja sen omistaa Keski-Suomen Verkkoholding Oy. Yhtiö saa rakentamiseen julkista tukea Nopea laajakaista -hankkeesta. (Keski-Suomen Valokuituverkot Oy. N.d.)

1.2 Tavoitteet

KSVV vuokraa tällä hetkellä konesalitiilansa erilliseltä yritykseltä. Työn tavoitteena oli tutkia, onko konehuoneen rakentaminen olemassa olevaan varastotilaan mahdollista, joka on pinta-alaltaan n. 17 m². Tämän lisäksi arviotiin datakeskuksen toteuttamis- ja ylläpitokustannukset. Kustannusarvion pohjalta oli tarkoitus tehdä päätös, onko muuttaminen yrityksen nykyisestä vuokratusta konesalitilasta omiin tiloihin taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi tutkittiin energiatehokkuuteen panostamisen taloudellista kannattavuutta, jonka perusteella valittiin jäähdytysjärjestelmä datakeskukselle.

Yrityksen palvelinympäristö on jo toteutettu nykyisessä konesalitilassa, joten työssä ei juurikaan oteta kantaa, kuinka datakeskuksen palvelimet tulisi toteuttaa. Työn suunnitteluosuudessa ei myöskään otettu mukaan palvelinten ja tietoliikennelaitteiden kustannuksia, koska kyseiset laitteet ovat jo käytössä yrityksellä nykyisissä tiloissa. Tarkoituksena oli myös suunnitella datakeskus siten, että se täyttää viestintäviraston määritelmät viestintäverkoille. Jos projekti päätetään toteuttaa, työn tulisi toimia suunnittelupohjana projektille.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyö suoritetaan tapaustutkimuksena, jossa käytetään olemassa olevaa tietoa datakeskusten energiatehokkuuden vaikutteista datakeskuksen taloudelliseen kannattavuuteen. Tämän lisäksi verrataan KSVV Oy:n tämän hetkisiä operatiivisia kustannuksia itse rakennetun datakeskuksen rakennuskustannuksiin ja operatiivisiin kustannuksiin.

Tältä pohjalta muodostetaan kaksi tutkimuskysymystä, joihin etsitään vastausta:

1. Onko taloudellista rakentaa oma datakeskus esitetyssä tapauksessa?
2. Mistä IT-laitteiston kuorman määrästä alkaen oman datakeskuksen rakentaminen olisi todennäköisesti kannattavaa esitetyssä tapauksessa?

2 Datakeskuksen suunnittelussa huomioon otettavat asiat

2.1 Suunnittelijoiden yhteistyö ja sen tärkeys

Datakeskuksen rakennus on yksi monimutkaisimmista rakennushankkeista nykyaikaisilla standardeilla, sillä se tarvitsee osaamista monelta eri osaamisalueelta. Nykyaikaisilla standardeilla viitataan siihen, että nykypäivänä palvelujen saatavuuden oletetaan olevan 100 % ja jatkuvasti lisääntyvät energiakustannukset tuottavat yhdessä merkittäviä tarpeita datakeskuksille. Nämä tarpeet täytyy ottaa huomioon projektia suunniteltaessa.

Hyvin harva ihminen, jos kukaan, on kuitenkaan kykeneväinen toteuttamaan arkkitehtuurista, LVI-, sähkö-, tietoverkko-, paloturvallisuus- ja tietoturvasuunnittelua yksinään. Näin ollen suunnittelijoiden yhteistyö alusta alkaen on äärimmäisen tärkeää, koska lähestulkoon kaikilla osa-alueilla tehtävät ratkaisut vaikuttavat jollain tavalla vähintään yhteen toisella osa-alueella tehtävään ratkaisuun. Yksinkertaistettuna esimerkkinä: Mikäli LVI-insinööri on tietoinen, että kohteeseen tulisi asentaa vesijäähdytystä hyödyntävä jäähdytysjärjestelmä, hänelle optimaalinen ratkaisu olisi mahdollisesti korotetun lattian hyväksi käyttäminen. Korotetun lattian alla voitaisiin viedä vesiputket, joita jäähdytysjärjestelmä käyttää. Mikäli arkkitehti ei kuitenkaan ole korotettua lattiaa suunnitellut kohteeseen, LVI-insinööri joutuu hyödyntämään tilaa muualta. LVI-insinöörin käyttämä tila syö vuorostaan tilaa verkko- ja sähkökomponenteilta. Lisäksi, kun vesiputket eivät mene lattian alla, ne aiheuttavat ylimääräisen tarpeettoman riskin katastrofille. Nimittäin mikäli yksi putkista alkaisi tässä tilanteessa vuotamaan, nyt putket ovat IT-laitteiden kanssa samalla tasolla, mikä aiheuttaa välittömän riskin IT-laitteille. Näin ollen se vaikuttaa myös datakeskuksen saatavuuteen negatiivisesti, koska riskejä on yksi enemmän. (Geng. 2015.)

2.2 Datakeskuksen energiatehokkuus

2.2.1 Yleistynyt mielenkiinto datakeskuksien energiatehokkuuteen

Datakeskuksien yleistyessä 1990-luvulla oli erittäin yleistä, että suunnittelu keskittyi maksimoimaan kapasiteetin IT-laitteistolle. Tuohon aikaan ei ollut juurikaan kertynyt dataa, jota tutkia energiatehokkuuden vaikutteista liikevaihtoon. Tästä vielä suurempana tekijänä oli myös se, ettei IT-laitteisto ollut niin kehittynyttä, kuin se on nykypäivänä. Vanhemmat tietokoneet söivät virtaa melko tasaiseen tahtiin riippumatta hetkellisestä IT-kuormasta. Nykypäivänä prosessorienkin perusominaisuuksiin kuuluu alikellottaminen kuorman ollessa pieni. Puhumattakaan kaikista mahdollisista palvelimien virtuaalitoteutuksista, joiden avulla IT-kuormaa saadaan jaoteltua siten, ettei yksittäiset palvelimet ole joutilaina juuri koskaan. (Geng. 2015.)

Nykypäivänä on huomattu, että datakeskuksen energiatehokkuus on yksi vaikuttavimmista tekijöistä datakeskuksen liiketuottavuutta ajatellen. Suurista datakeskuksista puhuttaessa 70-80 % vuosittaisista kustannuksista tulee mekaanisten ja elektronisten laitteiden sähkökustannuksista (Geng. 2015). Tästä syystä Power Usage Effectiveness (PUE) määritelmästä on tullut erittäin yleinen mittari, jota alalla käytetään. Kyseistä mittaria käsitellään tarkemmin luvussa 2.2.2.

Kaikkien projektien suunnitteluvaiheessa on hyvin tärkeää ottaa huomioon myös ylläpitokustannukset, eikä ainoastaan projektin toteutuksen kustannuksia. Datakeskuksen tapauksessa tämä on erityisen tärkeää, koska energiakustannukset ovat massiiviset. Ylläpitokustannuksiin kuuluu toki paljon muutakin energiakustannuksien lisäksi, kuten työvoima, elektronisten ja mekaanisten laitteiden vaihdot yms. Datakeskuksien tapauksessa näistä kustannuksista suurin on kuitenkin energiakustannukset. Näin ollen datakeskuksen komponentteja ja systeemejä valittaessa, täytyy aina verrata ostoa ja toteutushintoja myös vuosittaisiin ylläpitokustannuksiin. Ajatellaan esimerkiksi skenaariota, jossa komponentti maksaa puolet vähemmän kuin toinen vaihtoehto ja komponentin käyttöikä on arvioitu viisi vuotta. Tässä tapauksessa on silti mahdollista, että halvemman komponentin ylläpitokustannukset ylittävät halvemman hinnan tuomat säästöt verrattaessa kalliimpaan komponenttiin. (Kosik. 2015.)

2.2.2 Power Usage Efficiency

Mittari kuvastaa datakeskuksen energiatehokkuutta sen liiketoiminnallisesti tuottavan osan näkökulmasta, joka datakeskuksen tapauksessa on IT-laitteisto, eli yleisesti ottaen palvelimet. Kaavasta 1. voidaan todeta, että mittari on hyvin yksinkertainen tapa mitata datakeskuksen energiatehokkuutta.

$$\frac{\textit{Energian kulutus}}{\textit{IT-laitteiston energian kulutus}} \quad (1)$$

Kaavassa siis otetaan datakeskuksen kokonaisenergiankulutus, joka jaetaan IT-laitteiston käyttämällä energialla. Mitä lähempänä PUE:n tuottama arvo on ykköstä, sitä energiatehokkaampi datakeskus on. Mittarille ei pöe luotu tiukkoja määritteitä. Tämän vuoksi on käyttäjän päätettävissä, haluaako ottaa huomioon koko rakennuksen käyttämän energian vaiko vain välttämättömät IT-laitteiston pyörittämiseen vaatimien systeemien käyttämän energian. Riippuen datakeskuksen toteutuksesta ja siihen asennetuista mittauslaitteista voi olla helpompaa vain laskea energiayhtiön sähkölaskusta saatu energiankäyttö ja jakaa se Uninterruptible Power Supply (UPS):n näyttämällä energian käytöllä. Tällöin toki oletetaan, että kyseisen tai mahdollisesti kyseisten UPS-laitteiden läpi kulkee ainoastaan IT-laitteistolle syötettävä virta. Tällöin UPS-laitteiston läpi ei saa kulkea virtaa esimerkiksi jäähdytysjärjestelmälle, sillä se vääristäisi PUE:n arvoa merkittävästi. Mikäli datakeskus halutaan optimoida, tulisi sinne olla asennettuna sähkömittareita useaan paikkaan. Näin pystytään eliminoimaan kaikki energiakustannukset, jotka eivät liity suoraan IT-laitteistoon, kuten toimistotilojen käyttämä energia.

On helposti nähtävissä, että PUE on mittarina kaukana täydellisyydestä. Syy PUE:n pysymiseen ehkäpä alan merkittävimpänä mittarina on sen yksinkertaisuus. Se on jopa niin yksinkertainen, että kuka tahansa pystyy ymmärtämään sen merkityksen, joten sitä pystytään käyttämään myös markkinoinnissa hyväksi. Nykyään ei ole lainkaan tavatonta, että vihreitä arvoja ylläpitävät yritykset suosivat energiatehokkaita

datakeskuksia muustakin kuin taloudellisesta näkökulmasta. Datakeskuksista ei ehkä ensimmäisenä tule mieleen, että ne pelaisivat suurta roolia ilmaston lämpenemisessä. Datan määrä on kuitenkin niin suuressa nousussa, että tulevaisuudessa niillä saattaa olla merkittäväkin rooli. Alla on suora lainaus kirjasta Data Center Handbook, jossa arvioidaan servereiden kymmenkertaistuvan puhuttaessa ajanjaksosta vuosien 2010 ja 2020 välillä. (Geng. 2015.)

Electricity used in global data centers during 2010 likely accounted for between 1.1 and 1.5 % of total electricity use, respectively. For the U.S., that number was between 1.7 and 2.2 %. IDC IVIEW, sponsored by EMC Corporation, stated as follows: "Over the next decade, the number of servers (virtual and physical) worldwide will grow by a factor of 10, the amount of information managed by enterprise data centers will grow by a factor of 50, and the number of files the data center will have to deal with will grow by a factor of 75, at least". (Geng, H. 2015.)

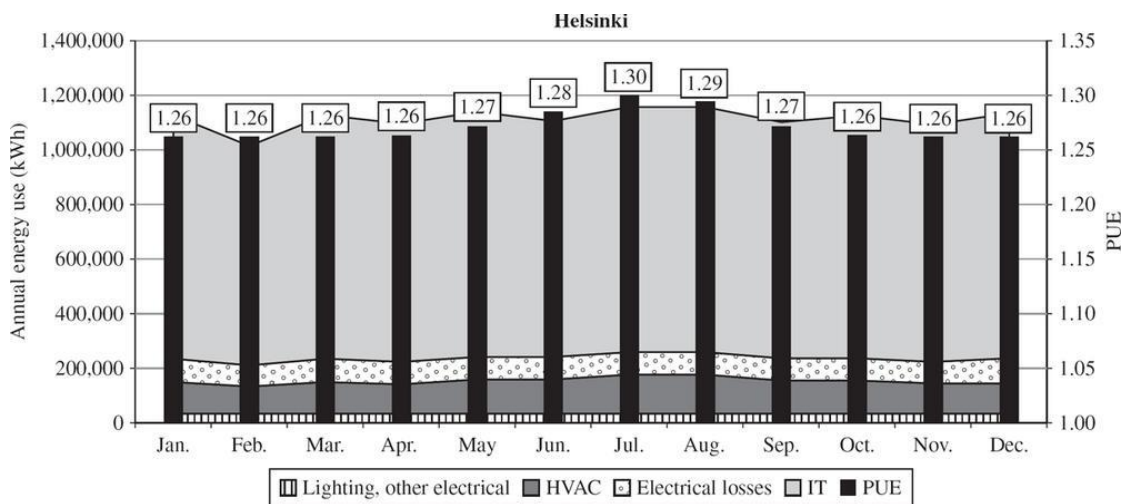
PUE:sta voidaan myös todeta, ettei se ota kantaa itse IT-laitteiston energiatehokkuuteen, vaan ainoastaan IT-laitteistoa ylläpitäviin tekijöihin. Ylläpitävistä tekijöistä suurimpina lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät. Energiatehokkuuden suunnittelua avustavia yrityksiä on myös markkinoilla. Kyseiset yritykset tarjoavat ohjeistusta ja työkaluja suunnittelijoille. Isoissa datakeskuksen rakennusprojekteissa erilaisten työkalujen käyttö ja PUE:n lisäksi monimutkaisempien mittareiden hyödyntäminen ovat erittäin suotavia.

2.2.3 Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Datakeskuksien energiatehokkuutta tarkastellessa on hyvin tärkeää pitää mielessä, että jokainen datakeskus on uniikki. Tästä johtuen johtopäätöksen tekeminen yksittäisten tekijöiden perusteella datakeskuksen energiatehokkuudesta on turhaa. Yksittäisiä tekijöitä ovat esimerkiksi maantieteellinen sijainti ja käytetty jäähdytysjärjestelmä. Lopullinen datakeskuksen energiatehokkuus koostuu niin monesta komponentista, ettei mikään yksittäinen asia vaikuta siihen suuressa määrin. (Kosik. 2015)

Maantieteellinen sijainti ja ilmasto

Konesalin maantieteellisen sijainnin huomioonottaminen suunnittelussa on hyvin tärkeää, sillä se vaikuttaa olennaisesti konesalin lämpötilaan, sekä käytettävissä oleviin ilmastointiratkaisuihin. Suomi on maantieteelliseltä sijainniltaan suotuisa datakeskuksille, koska Suomessa on suhteellisen kylmä ja tasainen ilmasto. Kuvio 1 nähdään PUE-arvot kuukausittain erästä datakeskuksesta, joka sijaitsee Helsingissä. Kuviosta voidaan todeta, että energiankulutus on hyvin tasainen vuoden jokaisella kuukaudella. Ainoat lievät kasvut ovat Suomen kesäaikana, eli kesäkuu – elokuuakselilla. (Kosik. 2015.)



Kuvio 1. Datakeskuksen PUE kuukausittain, Helsinki

Suomessa on myös yleisesti ottaen melko kuivaa, mikä vaikuttaa lähinnä positiivisesti konesalin ilmastointia ajatellessa. Konesalin kannalta on tärkeää, että ilmankosteus pysyy 40 % – 55 % paikkeilla. Tällöin vältetään mahdollisilta staattisilta sähköiskuilta, joita tapahtuu kuivassa ilmassa, sekä kostean ilman kondensoitumiselta vedeksi. Vesi on tunnetusti erittäin epämiellyttävä asia elektroniikasta puhuttaessa, sillä se vähentää elektronisten komponenttien elinikää ja aiheuttaa turvallisuus riskejä henkilöstölle. (Kosik. 2015.)

Suomessa on myös läpivuoden suhteellisen kylmää, mikä on positiivinen asia moneltaakin kannalta. Ensinnäkin konesalin lämpötila on lähtökohtaisesti matalampi kuin useassa muussa maassa, sekä se mahdollistaa vapaajähdytteisten

jäähdytysjärjestelmien käyttämisen. Vapaajäähdytteinen jäähdytysjärjestelmä on systeemi, jonka lämmönvaihto väliaineen kylmentämiseen ei käytetä ylimääräistä energiaa esimerkiksi kompressorin muodossa. Vapaalla jäähdytyksellä tarkoitetaan juurikin sitä, että väliaine kylmennetään olosuhteita hyväksi käyttäen. Vesijäähdytyksen tapauksessa, katolla voi sijaita jäähdytystorni, jossa kylmennetty neste sijaitsee. Lämpimän nesteen takaisin kytkentä voi olla maanalla menevä putkisto, jossa neste jäähtyy kulkiessaan ennen kuin saapuu takaisin jäähdytystorniin. Mikäli väliaineena käytetään vain ilmaa, tällöin palvelimille syötetty ilma on suurimmaksi osaksi ulkoilmaa. Kompressorien käytöltä halutaan välttyä, koska ne vievät runsaasti energiaa. Datakeskusta ajatellen on myös tärkeää, ettei ilmastossa ole runsasta määrää saasteita tai muita hiukkasia, kuten pölyä. Nykypäivän suodattimilla saadaan kyllä hyvin eliminoitua edellä mainittujen asioiden tuomat haitat. Kuitenkin optimaalista ratkaisua ajatellen, suodattimia halutaan vaihtaa mieluummin harvoin kuin useasti. (Kosik. 2015.)

Maantieteelliseltä sijainniltaan Suomi on suotuisa myös muilla osa-alueilla. Suomessa ei nimittäin ole voimakkaita luonnonkatastrofeja, kuten maanjäristyksiä, tulvia, tsunamineja, hiekkamyrskyjä, tornadoja eikä hurrikaaneja. Riippuen katastrofin todennäköisyydestä, infrastruktuurin määrästä ja halutusta palvelun saatavuudesta, joudutaan kohteissa myös varautumaan luonnonkatastrofeihin. Tämä puolestaan vaikuttaa suunnittelu- ja rakennuskustannuksiin. (Bonneville & Pekelnicky. 2015.)

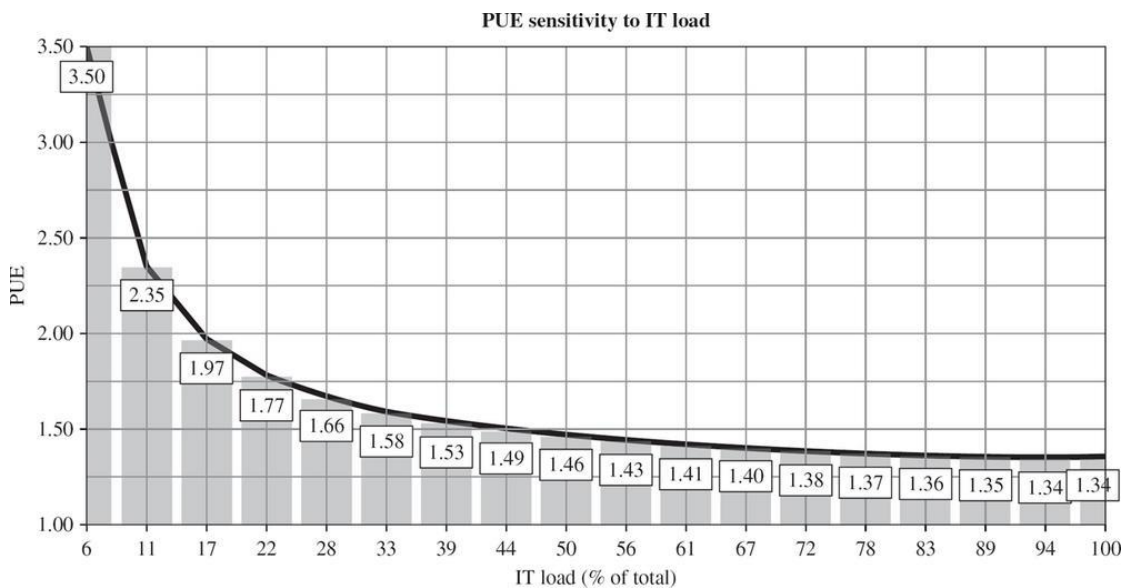
Komponenttien laatu

Datakeskuksen komponentteja valittaessa ei tule ainoastaan tarkastella komponenttien soveltuvuutta suunniteltuun ratkaisuun, vaan myös niiden käyttöikä ja energiatehokkuutta. Mikäli esimerkiksi servereiden virtalähteiksi valitaan kuluttajamalleja, joiden virrankäytön hyötysuhde on useasti lähempänä 80 % kuin 90 %, niin 8760 h / vuosi käytöllä serverit syövät huomattavan määrän enemmän virtaa. Tämän lisäksi serverit tuottavat tällöin ylimääräistä lämpöä, joka aiheuttaa lisätyötä ilmastoinnille. Komponenttien laadun tarkkailu energiakäytön ja eliniän perusteella tuleekin olla

mukana suunnittelun jokaisella osa-alueella, koska huonosti valitut komponentit saattavat koitua merkittävän suuriksi ja tarpeettomiksi kustannuksiksi. (Kosik. 2015.)

Datakeskuksen kapasiteetin käyttöaste

IT-laitteiston kuorma vaikuttaa olennaisesti energiatehokkuuteen. Mikäli IT-laitteiston kuorma on alle 10 %, datakeskuksen PUE-arvo saattaa nousta jopa kaksinkertaiseksi, kuten Kuvio 2 voidaan todeta. Tästä syystä IT-laitteiston kapasiteetin määrää suunniteltaessa, on erittäin suotavaa tähdätä jatkuvaan 20-50 % kuormaan. Huomioitavaa luvuissa on se, että siihen olennaisesti vaikuttaa toteutuksen topologia. Täysin kahdennetun IT-laitteiston tapauksessa, vaikka IT-laitteiston kuorma olisi 100 %, todellisuudessa IT-laitteisto käyttää kuitenkin vain 50 % kapasiteetistaan. Sillä tässä tapauksessa 50 % kapasiteetista on varautunut siihen, että toinen puolisko lakkaa toimimasta. (Kosik. 2015.)



Kuvio 2. IT-kuorman vaikutus energiatehokkuuteen (Kosik. 2015)

Syy IT-kuorman käyttöasteen vaikutuksille energiatehokkuuteen on melko yksinkertainen. Nimittäin vaikka kuormaa ei ole, on ilmastoinnin ja muiden IT-laitteistoa tukevien sistemien oltava päällä. PUE ei myöskään mittarina näytä sitä tuhlettua energiaa, jonka tietokoneet itsessään syövät, kun ne ovat lähestulkoon toimettomina.

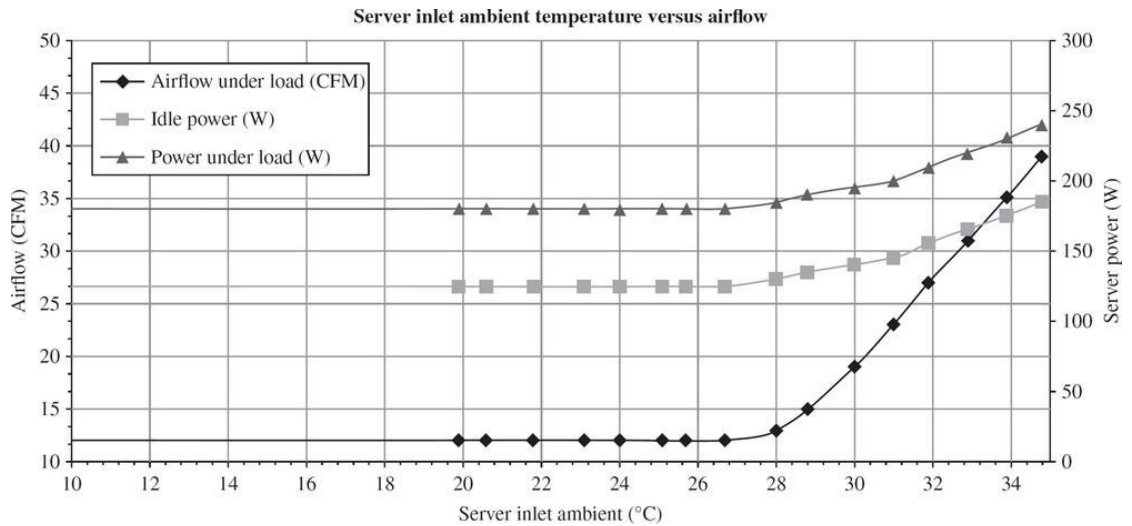
Nimittäin tietokoneet yleisesti ottaenkin vievät merkittävän paljon energiaa, vaikka ne olisivat toimitettomina. Energian kulutusta tietokoneen toimitettomana ollessa on nykyteknologialla saatu pienennettyä, mutta ei läheskään poistettua. Palvelimien virtualisointi auttaa kuorman optimoinnissa erinomaisesti, koska virtualisoinnin kautta pystytään optimoimaan monellakin eri tapaa palvelimien käyttöastetta. (Kosik. 2015.)

IT-kuorma vaikuttaa myös akuston omaavien virtalähteiden valitsemisessa, joita yleisimmin kutsutaan englannin kielellä ”Unintterruptable Power Supply” (UPS). Olettaen, että datakeskuksen varavoimana aiotaan käyttää UPS-laitteistoa. UPS-laitteita nimittäin löytyy erilaisia, joiden energiatehokkuus määräytyy käyttöasteen mukaisesti. Esimerkiksi, jotkin UPS-laitteet on suunniteltu toimimaan tehokkaasti sähkökuorman ollessa vähäistä. Yleisesti kuitenkin pätee, että mitä enemmän UPS-laitteistolla on kuormaa, sen energiatehokkaammin se myös operoi. (Kosik. 2015.)

Tietokonehuoneen lämpötila

Yleiskäsitys siitä, että datakeskusten lämpötila tulisi olla hyvin matala, on edelleen voimakkaasti läsnä nykypäivänä. Yleinen harhaluulo on, että koneiden sijaitessa matalassa lämpötilassa antaisi runsaasti enemmän aikaa korjata jäähdytysjärjestelmän vika. Nykyään tiedetään, että konehuoneen lämpötila tiheästi pakatussa konehuoneessa voi nousta jopa yhden asteen minuutissa. Eli ajallisesti lämpötilan pitäminen matalana, esimerkiksi 17 °C, antaa ainoastaan minuutteja lisää aikaa korjata jäähdytysjärjestelmänvika. Tätä saatua lisää aikaa verrattaessa siihen energiamäärään, jonka konehuoneen lämpötilan pitäminen 17 °C vie on mitätön. (Kosik. 2015.)

Konehuoneen lämpötilaksi suositellaankin 24-27 °C, joka johtuu lähinnä siitä, että tietokonehuoneen lämpötilan pitäminen kyseisissä luvuissa on ilmastoinnille paljon kevyempää. Tämän lisäksi on myös huomattu, ettei lämpötilan pitäminen alle 27 °C juurikaan säästä energiaa (Kosik. 2015). Suositellun lämpötilan yläraja on 27 °C, koska tietokoneiden on huomattu syövän huomattavasti enemmän energiaa lämpötilan ylittäessä 27 °C, kuten Kuvio 3 voidaan todeta (Kosik. 2015).



Kuvio 3. Palvelimien virrankulutus lämpötilaan nähden

Energiankulutuksen merkittävä kasvu sisäänottoilman noustessa yli 27 °C, johtuu lähinnä siitä, että palvelimien omat tuulettimet joutuvat työskentelemään enemmän pitäkseen komponenttiensa lämpötilat suotuisissa lämpötiloissa. Tämä voidaan havaita yllä olevan kuvion käyrästä "Airflow under load", joka kuvastaa servereiden ilmanottoa.

Datakeskuksen jäähdytys

Datakeskuksen jäähdytys ratkaisuja on monenlaisia, mutta useasti jokin tietty ratkaisu osoittautuu optimaaliseksi. Ilmastointiratkaisun lopulliseen valintaan vaikuttaa lukuisat seikat, kuten maantieteellinen sijainti, datakeskuksen koko ja datakeskuksen ajateltu käyttöikä. Maantieteellinen sijainti lähinnä rajoittaa mahdollisia ilmastointi ratkaisuja, kuten aiemmassa kappaleessa "Maantieteellinen sijainti ja ilmasto" jo käsiteltiin. Suuret datakeskukset vaativat luonnollisesti myös suuria määriä jäähdytystehoa. Vesijäähdytteiset systeemit ovat jäähdytys- ja energiatehokkuudeltaan tehokkaampia jäähdytysjärjestelmiä sen takia, että vesi on parempi väliaine lämmönsiirrossa kuin ilma. Tämän vuoksi vesijäähdytteiset systeemit ovat suurissa toteutuksissa melko yleisiä. Vesijäähdytteiset järjestelmät ovat kuitenkin kalliimpia toteuttaa ja ne lisäävät myös muita huomioon otettavia seikkoja projektille. Esimerkiksi: Mikäli

ulkona on talvella pakkasta, onko mahdollista, että vesijäähdytteisen systeemin komponentit jäätyvät? Tähän mahdolliseen ongelmaan täytyy rakentaa jonkin tyyppinen ratkaisu, joka lisää kustannuksia. (Weale. 2015.)

Palvelimien toteutus

Kuten aikaisemmassa kappaleessa ”Datakeskuksen kapasiteetin käyttöaste” jo käsiteltiin, saadaan palvelimien virtualisoinnilla huomattavia määriä säästöjä aikaan. Ajatellaan palvelimia joita ei ole virtualisoitu, jolloin yksi fyysinen palvelin palvelee todennäköisesti vain yhtä käyttötarkoitusta. Tällöin palvelimen käyttötarkoituksesta riippuen, on melko suuri riski, että palvelin on jossain vaiheessa toimeton. Virtualisointi ratkaisee tämän ongelman, koska yhdelle fyysiselle palvelimelle voidaan toteuttaa kymmeniä, ellei jopa satoja virtualisoituja palvelimia. Tämä nostaa fyysisten palvelimien käyttöastetta, jolloin energiaa ei mene hukkaan hetkellisesti käyttämättömien palvelimien päällä pitämiseen.

Hukkalämmön hyväksi käyttäminen

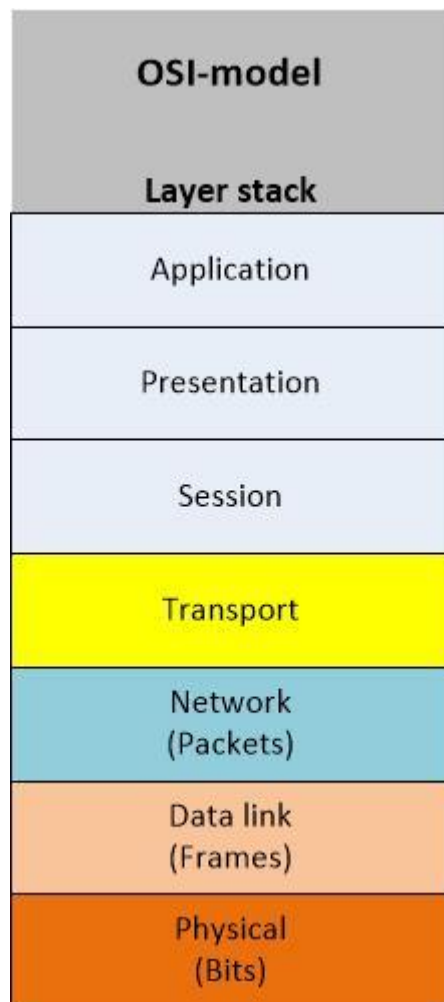
Datakeskukset tuottavat suuren määrän lämmintä ilmaa, joka perinteisesti vain puhalletaan ulos datakeskuksesta. Nykyään lämpöä on kuitenkin alettu hyödyntämään erilaisin menetelmin. Yksinkertaisimmillaan hukkalämmöllä voidaan lämmittää datakeskuksen läheisyydessä olevia henkilöstötiloja. Todella suurikokoiset toteutukset ovat myös alkaneet hyödyntämään hukkalämpöä syöttämällä lämmön paikallisten energiayritysten kaukolämpöverkkoon. (Energiatehokas konesali. N.d.)

2.3 Tietoverkkojen perusteet

Tietoverkkoratkaisuja on nykypäivänäkin käytössä lukuisia, mutta tietyn tyyppiset ratkaisut ovat selvästi alkaneet vakiintumaan. Luvussa käydään läpi tietoverkkoihin liittyviä käsitteitä, malleja, ratkaisuja, protokollia ja menetelmiä, joita tarvitaan datakeskuksen saatavuudesta puhuttaessa.

2.3.1 OSI-mallin ensimmäiset kolme tasoa

OSI-malli, eli englanniksi Open Systems Interconnection (OSI) model on käsitteellinen malli kuvastamaan ja määrittämään tietoliikenne systeemien sisäistä kommunikaatiota. Toisin sanoen, OSI-malli on luotu yksinkertaistamaan ja mukauttamaan tietoverkon laitteita toimimaan samalla periaatteella, jottei syntyisi yhteensopivuus ongelmia, eikä turhaa monimutkaisuutta komponenttien suunnittelussa. Yhteiset periaatteet tekevät myös vikatilanteiden selvittämisestä helpompaa. OSI-mallissa on seitsemän tasoa, joista käydään lyhyesti läpi ensimmäiset kolme tässä luvussa. Kuvio 4 on esitetty OSI-mallin pino kokonaisuudessaan.



Kuvio 4. OSI-malli

Taso 1 – Layer1 – L1

OSI-mallin L1 taso on Fyysinen kerros (englanniksi Physical Layer) ja se kuvastaa fyysistä mediaa, jonka välityksellä L2 tason laitteet keskustelevat. Tasosta yksi puhuttaessa siis käytännössä puhutaan kupari- ja valokaapeleista, sekä mahdollisista vahvistimista, jatkoista ja jakamoista. L1 taso sisältää myös rajapinnat L1 ja L2 tason välille, jotka siis käytännössä ovat esimerkiksi kytkinten portteja Ethernet ympäristössä. Näin ollen L1 tasolla myös määritellään signaalin tyyppi mikä mediassa kulkee.

Yhtenä esimerkkinä L1-tason signaloinnista on TDM (Time Division Multiplexing). Kyseistä menetelmää käyttävät E1- ja T1-protokollat, joilla ensimmäiset modeemiyhteydet toimivat.

Taso 2 – Layer 2 – L2

Tasolle kaksi mentäessä puhutaan signaalin sijaan kehysistä ja se on OSI-mallissa nimeltään siirtokerros (englanniksi Data link Layer). L2 tasolla keskitytään pitkälti median kontrollointiin, jossa määritetään mitä, miten ja kenelle mediassa kulkevaa informaatiota viedään eteenpäin. Käytännössä siis puhutaan laitteista, jotka käyttävät menetelmiä kuten Asynchronous Transfer Mode (ATM) ja Ethernet informaation välittämiseen.

Yrityksien lähiverkoista puhuttaessa (eng. Local Area Network (LAN)) ja viitattaessa L2 tasoon, niin lähestulkoon aina tarkoitetaan yrityksen käytössä olevia kytkimiä, jotka käyttävät Ethernettiä. Operaattoreiden maailmassa törmää useammin ATM-protokollaan, jota käytetään esimerkiksi Digital Subscriber Line (DSL) yhteyksissä. L2 tason protokollat useasti määritelläänkin lähiverkon protokolliksi, koska mikäli halutaan liikennöidä kahden lähiverkon välillä, tällöin tarvitaan reititin.

Toisaalta kuitenkin kytkimet eivät juurikaan eroa L3 tason laitteista, eli reitittimistä. Erot ovat lähinnä loogisia eroja, koska reitittimille on rakennettu ohjelmistollisesti loogikka hallita L3 tason protokollia. OSI-mallin yksi perus toimintaperiaatteista onkin, että kaikki ylemmillä kerroksilla toimivat laitteet tarvitsevat myös kaikki alempana olevien kerroksien laitteet, jotta informaatio pysty kulkemaan kahden laitteen välillä.

Taso 3 – Layer 3 – L3

Tasolle kolme mentäessä siirrytään kehyksistä paketteihin, ja se on OSI-mallissa nimeltään verkkokerros (englanniksi Network Layer). Tällä tasolla puhutaan lähinnä Internet Protocol version 4 (IPv4) ja Internet Protocol version 6 (IPv6) protokollista ja siitä, kuinka näiden protokollien määrittelemiä IP-osoitteita reititetään. Internettiä voidaan yksinkertaistetusti ajatella suurena määränä yksittäisiä lähiverkkoja, jotka on yhdistetty toisiinsa reititystä hyväksikäyttäen. Reititys protokollista L3-tasolla yleisimmin käytössä oleva on Open Shortest Path First (OSPF)-protokolla, joka lukeutuu Interior Gateway Protocol (IGP) protokolliin. IGP-protokollat on tarkoitettu pienempi skaalaiseen reititykseen, eli reititykseen, jolloin ei tarvitse liikkua autonomisten systeemien (eng. Autonomous System (AS)) välillä.

Autonomiset systeemit ovat IP-maailmassa alueita, jotka omistavat itsenäisen päätösvallan reiteistä, joita mainostetaan sisään ja ulos autonomiselta alueelta. Nykypäivänä autonomisten systeemien väliseen reititykseen käytetään lähinnä Border Gateway Protokollaa (BGP), joka on OSI-mallin L4 tason protokolla. Esimerkiksi teleoperaattorit omistavat omat AS-alueensa, joiden sisällä kukin teleoperaattori päättää vastaan hallita verkkoa ja sen reittejä.

2.3.2 L2-tason menetelmät lähiverkossa

Nykypäivänä lähestulkoon kaikki lähiverkot on rakennettu Ethernetin avulla. Ethernet liikennöi lähiverkossa Media Access Control (MAC)-osoitteita hyväksikäyttäen ja sen peruslaitteistoon lukeutuu päätelaitteiden kannalta Ethernet Adapterit. Ethernet Adaptereita kutsutaan myös verkkokortteiksi. Jokainen verkkokortti omistaa oman MAC-osoitteen ja päätelaitteet hyväksyvät oletuksena ainoastaan omalle MAC-osoitteelle osoitetut kehykset. Lähiverkon verkkolaitteet ovat yleensä Ethernet-kytkimiä.

Jokainen kytkin omistaa MAC-osoite taulukon, jota kautta kehykset välitetään eteenpäin. Kytkimet hyväksyvät oletusarvoisesti kaikki kehykset välittämättä kohde MAC-osoitteesta. (Spurgeon & Zimmerman. N.d.)

2.3.3 Operaattorin ja asiakkaan reunareitittimet

Tietoverkoista puhuttaessa on erittäin tärkeää osata erottaa asiakkaan ja operaattoreiden osuudet. Termejä erottamaan nämä kaksi verkon osa-aluetta on useita, mutta tässä dokumentissa jatkossa viitataan asiakkaan reunaan määritteellä Customer Edge (CE), joka viittaa asiakkaan reitittimiin joihin operaattorin osuus loppuu. Operaattorin reunaan viitataan määritteellä Provider Edge (PE), joka kuvastaa operaattorin laitteita, joihin asiakkaan yhteys on terminoitu L3 tasolla.

Yleinen hyvä tietää termi on myös paikallinen looppi, eli englanniksi Local Loop. Amerikkalaisittain samaa tarkoittava termi on viimeinen maili, eli englanniksi Last Mile. Tällä termillä viitataan operaattorin ja asiakkaan väliseen viimeiseen fyysiseen osioon, eli käytännössä yhteyteen asiakkaan ensimmäisen reitittimen ja operaattorin liityntäverkon laitteen välillä. Asiakkaan ensimmäisellä reitittimellä tarkoitetaan reitintä, joka on lähimpänä operaattoria. Tässä vaiheessa on hyvä huomioida, että operaattori maailmassa on hyvin harvinaista, että paikallinen looppi sijaitsisi CE:n ja PE:n välillä. Operaattori maailmassa on hyvin yleistä, että operaattorin näkökulmasta toisessa päässä on liityntäverkonlaite. Esimerkiksi Ethernetin tapauksessa kytkin, tai ATM:än tapauksessa Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM).

2.3.4 Address Resolution Protocol

Media Access Control (MAC)-osoitteita kutsutaan useasti laitteiden fyysisiksi osoitteiksi, ja näillä osoitteilla pystyy Ethernet-verkossa keskustelemaan ainoastaan lähiverkon sisällä. Periaatteessa laitteet pystyvät keskustelemaan keskenään pelkillä MAC-osoitteilla ilman muita protokollia tukemaan, mutta ulkoverkon palveluita käytäessä tarvitaan kuitenkin L3-tasoa, joten ohjelmistot jotka käyttävät pelkästään L2-tasoa kommunikointiin on melko harvinaista. Tämän takia lähestulkoon kaikki lähiverkot toimivatkin Internet Protokollan (IP) päällä, eivätkä ainoastaan MAC-osoitteiden varassa. L2- ja L3-tasojen välille on luotu protokollan nimeltään Address Resolution Protocol (ARP), jolla saadaan ns. tulkattua looginen IP-osoite laitetta kuvastavaksi fyysiseksi MAC-osoitteeksi. Protokollaa useasti kutsutaankin OSI-mallin 2.5 tason protokollaksi ja sen tavoitteena on luoda IP-osoite → MAC-osoite kartoitus,

josta muodostuu ARP-taulukko. ARP-taulukko muistuttaa hyvin paljon MAC-taulukkoa. MAC-taulukossa sidotaan MAC-osoitteita fyysisiin rajapintoihin, kun taas ARP-taulukossa sidotaan MAC-osoitteita loogisiin IP-osoitteisiin. ARP-taulukko on pakollinen liikenteen kulkemisen kannalta, kun liikennöidään Ethernet verkossa IP-osoitteiden avulla.

Toimintaperiaatteeltaan ARP on melko yksinkertainen. Lähiverkossa oleva laite, joka haluaa kommunikoida jonkun tietyn IP-osoitteen omaavan laitteen kanssa samassa aliverkossa, lähettää yleislähetyksenä kysymyksen verkkoon (eng. broadcast). Kysymys on yksinkertaistettuna ”kuka omistaa tämän IP-osoitteen”? Tähän kysymykseen ainoastaan kyseisen IP-osoitteen omaava laite vastaa. L2-tason toimintatapojen ansiosta, tällöin myös kytkimet saavat täytettyä MAC-taulunsa ja end-to-end yhteys saadaan muodostettua.

2.3.5 Border Gateway Protocol

Operaattoriverkot muodostuvat nykypäivänä lähinnä Autonomous System (AS) -alueista. Näiden alueiden väliseen liikennöintiin käytetään Border Gateway Protokollaa (BGP). Internetin näkökulmasta autonominen systeemi on alue, joka päättää itse omista reititystiedoista ja protokollista. Toisin sanoen, AS päättää omista Interior Gateway Protocol (IGP) -menetelmistään, sekä mitä, miten ja mihin reittejä mainostetaan.

BGP-protokolla jakautuu kahteen eri osaan. BGP-protokollaa pystyy käyttämään AS-alueen sisäiseen reititykseen Interior Border Gateway Protocol (iBGP)-muodossa. Exterior Border Gateway Protocol (eBGP) on vastuussa siitä, mitä IGP:n hallitsemista reiteistä AS-alueiden sisällä tuodaan yleiseen tietoon, eli mitä reittitietoja mainostetaan muille AS-alueille BGP-naapureiden kautta. BGP-naapurit ovat reitittäjiä, jotka käyttävät BGP:tä ja ovat hyväksyneet sallivansa toistensa reittipäivitykset.

Kuten edellä on mainittu, BGP-protokollaa voidaan käyttää sisäiseen ja ulkoiseen reititykseen AS-alueiden näkökulmasta. Tästä huolimatta on melko harvinaista yrityksissä, että iBGP olisi ainoa IGP-protokolla. Syy tähän on BGP-protokollan hitaus

muodostaa reitityspolkunsa. Tämä aiheuttaa vikatilanteen sattuessa sen, että palautuminen on hidasta, vaikka redundanttinen reitti olisi mahdollista muodostaa. Siispä iBGP:tä käytetäänkin lähinnä auttamaan muita Interior Gateway Protokollia hallitsemaan suuria määriä reittejä, lisäksi iBGP:n ominaisuuksia käytetään signaalointiprotokollana monille muille protokollille. Näitä protokollia ovat mm. Multiprotocol Label Switching-Virtual Private Network (MPLS-VPN) ja Virtual Private LAN Service (VPLS). MPLS-VPN ja VPLS protokollia ei käsitellä tässä dokumentissa.

Border Gateway Protokollan toiminta

Toimintatavaltaan BGP lukeutuu polkuvektoriprotokollaksi. Kun polkuvektoriprotokolla ottaa vastaan reittimainostuksen, ensimmäisenä polku analysoidaan. Mikäli reititin löytää itsensä polkumainostuksesta, tällöin mainostus hylätään eikä sitä lisätä tietokantaan. Tämän prosessin avulla varmistetaan, ettei synny reitityssilmukoita. Mainostettaessa reittiä eteenpäin muille verkon toimijoille, jokainen reititin lisää aluksi oman AS-numeronsa mainostukseen, ennen mainostuksen lähettämistä eteenpäin. (McPherson, Sangli & White. 2004.)

Autonomiset alueet erotetaan toisistaan numeroilla, englanniksi Autonomous System Numbers (ASN). Alkuperäinen alue oli 16-bittinen, eli numeroita oli väliltä 0-65535. Uusi määritelty alue on 32-bittinen, ja se esitetään "x.y"-muodossa, eli alue on kokonaisuudessaan väliltä 0.0 – 65535.65535. (Piispanen. 2016.)

ASN alueista on tärkeintä muistaa julkisen internetin alue, joka on 1-64495, sekä privaatin käytön alue, joka on 64512-65534. Privaattia aluetta operaattorit käyttävät useasti liittämään asiakkaat omaan BGP-prosessiinsa. Privaatti alueeseen kuuluvia numeroita ei tuoda julkiseen internettiin vietäväksi AS-alueiksi eBGP prosesseille (Mitchell, J. 2013). Näin ollen niiden käyttö muistuttaa pitkälti lähiverkon privaattien IP-osoitteiden käyttöä, mutta hieman isommassa skaalassa.

2.3.6 Hot Standby Router Protocol

Suurin osa käytössä olevista päätelaitteista, jotka käyttävät Internet Protokollaa versio 4 (IPv4), kuten tietokoneet joiden käyttöjärjestelminä on esimerkiksi Windows tai Linux, kommunikoivat oman lähiverkkonsa ulkopuolelle oletusyhdyskäytävän (eng. Default Gateway) kautta. Käyttöjärjestelmiin eikä IPv4-protokollaan ole oletuksena integroitu menetelmiä dynaamiseen oletusyhdyskäytävän vaihtamiseen virhetilanteiden yhteydessä. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli yhteys reitittimeen joka toimii laitteen oletusyhdyskäytävän kaatuu, tällöin päätelaitteen yhteys oman lähiverkkonsa ulkopuolelle katkeaa kokonaan. Tämän skenaarion estämiseksi on tehty protokolla Hot Standby Router Protocol (HSRP), jota myös kutsutaan ensimmäisen hypyn redundanttisuus protokollaksi. Ensimmäinen hyppy tässä tapauksessa tarkoittaa oletusyhdyskäytävää päätelaitteen näkökulmasta. HSRP on Ciscon kehittämä versio protokollasta ja Virtual Router Redundancy Protocol (VRRP) on puolestaan Internet Engineer Taskforce:n (IETF) tekemä. Protokollat ovat toiminnallisuuksiltaan lähestulkoon identtiset.

Protokollan toimintaperiaatteena on maskeerata useampi reititin vaikuttamaan samalta reitittimeltä päätelaitteiden näkökulmasta. Tämä saavutetaan virtuaalisten IP- ja MAC-osoitteiden avulla, sekä erilaisilla tiloilla joita reitittimet keskenään käyttävät. Tiloja on kuusi erilaista ja ne ovat englannin kielisiltä nimiltään seuraavat: Initial, Learn, Listen, Speak, Standby ja Active. Tiloista on oleellista tietää, että Active tilainen reititin on se reititin, joka mainostaa itseään lähiverkolle virtuaalisilla osoitteilla ja Standby-tilassa oleva reititin on valmiudessa tarpeen tullen kaappaamaan kyseiset virtuaaliosoitteet omaan käyttöönsä. Tällöin reititys saadaan käännettyä, vaikkei päätelaitteen näkökulmasta mitään tapahtunutkaan. Reitityksen kääntyminen päätelaitteille tapahtuu Address Resolution protokollan (ARP) avulla, eli ARP-taulun muutoksilla. (Cole, Li, Li & Morton. 1998.)

2.4 Datakeskuksen fyysiseen topologiaan vaikuttavat tekijät

2.4.1 Sisäverkon kaapelointi

Hutiloitu sisäverkon kaapelointi pystyy aiheuttamaan monenlaisia ongelmia, joita mm. ovat signaalin deformaatio, muutos- ja huoltotöiden vaikeuttaminen sekä paloturvallisuusmääräyksien laiminlyöminen. Valokaapelien tapauksessa saatetaan huolimattomalla suunnitellulla myös aiheuttaa liian jyrkkiä kulmia kaapeleihin, minkä takia valo saattaa läpäistä kaapelin, jolloin valo ei pääse perille ehjänä tai ollenkaan. Liiallisilla johtojen kulmilla saatetaan myös rikkoa kaapeli, jolloin kaapeli täytyy vaihtaa. Kaapelien oikeainlainen sijoittaminen pidentää niiden käyttöikä muullakin tavoin. Esimerkiksi tällöin vältetään ihmisten aiheuttamilta vahingoilta ihmisten liikkuessa tiloissa, kuten kompastumisilta yms. Paloturvallisuutta ajatellen kaapelihyllyköt eivät koskaan saisi sijaita suoraan esimerkiksi sprinklereiden alla, vaan niiden sivussa siten, etteivät ne suoraan vaikuta sprinklereiden haluttuun kastelualueeseen (Donohue. 2015).

On erittäin suositeltavaa, että telekaapelit vedetään omilla kaapelihyllyköillä sähkökaapeleihin nähden ja riittävän kaukana toisistaan. Kaapelihyllyköillä viitataan kaiken tyyppisiin kaapelialustoihin, joita ovat mm. tikasmalliset ja suljetut kaapelihyllyköt. ”Riittävän kaukana”-käsitteen määrittelevät seuraavat asiat: sähkö- ja telekaapelien suojaukset, minkä tyyppisessä kaapelihyllykössä kaapelit kulkevat ja sähkökaapeleissa kulkevan virran suuruusluokka. Mikäli tele- ja sähkökaapelit ovat kummatkin suojaamattomia tyyppisiä ja ne kulkevat omissa avoimissa kaapelihyllyköissä, ja sähköjohtoja kulkee hyllykössä alle kaksikymmentä, tällöin 200 mm:n erotus tele- ja sähköhyllyköiden välillä on riittävä (Anixter Standards Reference Guide. 2017). Tarkemmat määritykset asiasta löytyvät Liite 1. Myös valokaapelit kannattaa vetää erillisillä kaapelihyllyköillä, sillä muut kaapelit saattavat rikkoa painollaan valokaapeleita, jos ne asennetaan samalle hyllykölle.

2.4.2 KytKentäpaneelit

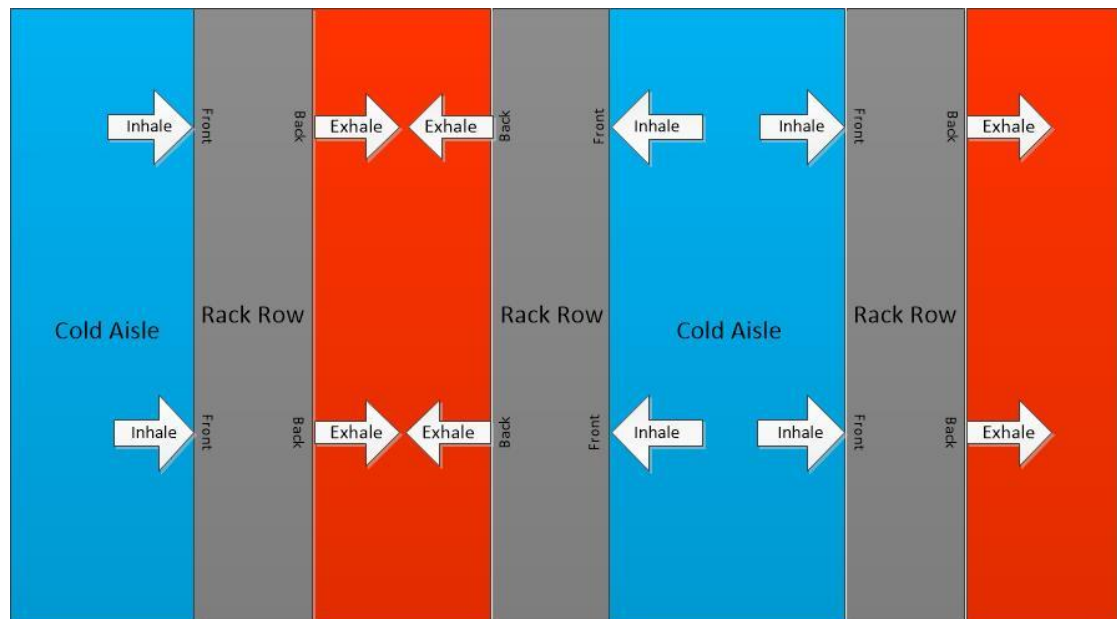
Datakeskuksen hallittavuuden vuoksi kannattaa käyttää hyväkseen kytkentäpaneelleja (eng. Patch Panel). KytKentäpaneelit koostuvat lukuisista porteista, eli Ethernet-kytkentäpaneelin tapauksessa luonnollisesti Ethernet-porteista. Paneelin tarkoituksena on luoda fyysisiä terminointi pisteitä kaapelivedoille, joiden avulla vetojen pituuksia saadaan lyhennettyä, joka helpottaa kaapeleiden hallittavuutta. Esimerkiksi datakeskuksen tapauksessa voidaan asentaa jokaiselle palvelinkaapille oma kytkentäpaneeli, johonka johdot edeltäviltä lähiverkon laitteilta terminoidaan. Tästä pisteestä saadaan vedettyä jokaiselle palvelimelle oma johtonsa. Tällein tehtäessä johdoille saadaan järjestelmällisyyttä ja esimerkiksi virhetilanteen sattuessa, ongelmanpaikantaminen ja korjaaminen helpottuvat huomattavasti.

2.4.3 Datakeskuksen jäähdytysratkaisut

Yksi suurimmista vaikuttavista tekijöistä fyysistä topologiaa ajatellen ovat datakeskukselle valitut jäähdytys ratkaisut. Ilmajäähdytteiset ratkaisut ovat pitkään olleet suosituimpia tapoja, mutta nestejäähdytteiset menetelmät yleistyvät jatkuvasti. Nestejäähdytteisiäkään ratkaisuja on erilaisia. Esimerkiksi löytyy räkkikohtaisia nestejäähdytysjärjestelmiä ja systeemejä, joissa palvelimille puhallettava ilma jäähdytetään katolla sijaitsevien vesitornien avulla. Riippumatta siitä minkälainen jäähdytysjärjestelmä datakeskukselle valitaan, se vaikuttaa fyysiseen topologiaan jollain tavalla.

Palvelimet yleisesti ottaen ottavat ilmansa edestä ja puhaltavat käytetyn ilman takapäin ulos. Jäähdytyksen energiatehokkuuden kannalta on erittäin tärkeää, ettei palvelimille puhallettava viileä ilma pääse sekoittumaan kuuman ilman kanssa. Kuuman ja kylmän ilman sekoittuessa jäähdytysenergiasta voi mennä hukkaan jopa 50 % (Energiatehokas konesali. N.d). Tämän välttämiseksi palvelinkaapit useasti sijoitetaan siten, että saadaan muodostettua selkeät kuuma- ja kylmäkäytävät kuten Kuvio 5 on esitetty. Kylmäkäytävä on yleisesti palvelinten etupuolella, johon kylmäilma puhalletaan ja josta palvelimet ottavat sisääntuloilmansa. Kuumakäytävä on palvelinten takapuolella, jonne palvelimet puhaltavat käytetyn ottoilman. Käytävien tekemiseen on monenlaisia tapoja, jotka riippuvat täysin ilmastointiratkaisusta. Esimerkiksi

korotettua lattiaa hyväksikäytävissä ilmastointi järjestelmissä saadaan kylmäilma puhallettua rei'itetyistä lattialaatoista, jolloin kylmäilma saadaan tehokkaasti kondensnettua suoraan palvelimille. Samanaikaisesti kuumaa ilmaa imetään palvelimien takaosasta pois mahdollisimman tehokkaasti. Mikäli korotettua lattiaa ei ole, kylmä ilma on useasti helpointa tuoda palvelimien eteen yläkautta. Tällöin konehuoneella tulee olla riittävästi korkeutta, jotta tele- ja sähkökaapeloinnille sekä ilmastointiputkille löytyy riittävästi tilaa (Sorel. 2015.)



Kuvio 5. Kuuma- ja kylmäkäytävä

Suurimpina seinäminä käytäville toimivat palvelinkaapit ja niiden laitteet itse. Tapauksessa, jossa palvelinkaapit eivät ole täysiä, on tärkeää peittää kaappien tyhjät paikat jollain tavalla. Tämän lisäksi on myös kannattavaa poistaa tyhjät palvelinkaapit käytöstä kokonaan ja sulkea käytävät jollain muulla tavalla (Kosik. 2015).

Mikäli halutaan muodostaa täysin eristetyt käytävät, voidaan kattoina käytäville käyttää melko lailla mitä tahansa, mikä vain ratkaisuun sattuu istumaan. Helpoimmillaan palvelinkaappien ollessa saman korkuisia kaappien päälle voidaan asettaa levyt. Kattoja ei kuitenkaan aina ole mahdollista rakentaa käytäville, sillä ratkaisusta riippuen ne saattavat estää ilmantuonnin palvelimille tai mahdollisesti myös vaarantaa paloturvallisuuden. Tällöin kaappien yläosassa on riski, että siellä sijaitsevat laitteet

kaappaavat ilmansa kuumakäytäviltä (Sorel. 2015). Käytävien sivut voidaan sulkea esimerkiksi roikkuvilla muovisilla siivuilla, jotka mahdollistavat henkilöstön kulun käytäville.

Mikäli kuuma- ja kylmäkäytäviä ei päädytä täysin eristämään, on tärkeää pyrkiä eliminoimaan ilmojen sekoittuminen muilla menetelmillä. IT-laitteiston haukatessa ilmaa kuumakäytäviltä kutsutaan kierrätysilmavirraksi (eng. Recirculation Airflow) ja kuumakäytävän haukatessa ilmaa kylmäkäytävältä kutsutaan ohitusilmavirraksi (eng. Bybass Airflow). Kierrätysilmavirtausta syntyy, mikäli ottoilmaa ei syötetä tarpeeksi kylmäkäytävälle ja ohitusilmavirtausta taas tapauksessa, jossa ottoilmaa syötetään liian paljon tai liian suurella vauhdilla kylmäkäytävälle. Optimaalinen tilanne olisi, ettei kumpaakaan edellä mainituista ilmavirtauksista tapahtuisi lainkaan, mutta tämä ei ole käytännössä mahdollista. Tästä syystä ottoilmaa tulee syöttää kylmäkäytävälle palvelinten eteen 10-20 % enemmän, kuin mitä palautuvaa ilmaa (eng. Return Air) imetään pois kuumakäytävältä. Tämä aiheuttaa ohitusilman lisääntymistä, joka aiheuttaa energiahäviötä. Tämä energiahäviö on kuitenkin hyvin pieni verrattaessa kierrätysilmavirtauksen aiheuttamiin energiahäviöihin, jonka vuoksi se on kannattavaa. Syy siihen miksi kierrätysilmavirtaus aiheuttaa paljon enemmän energiahäviötä johtuu lähinnä siitä, että ottoilman lämpötila tulee määrittää räkkirivin heikoimman lenkin mukaan. Eli mikäli yksi laitteista haukkaa osan ilmansa kuumakäytävältä, tällöin ottoilman lämpötilaa tulee laskea kompensoimaan sen aiheuttamaa lämpötilan kasvamista kyseisellä laitteella. Ottoilman lämpötilan merkitystä energiatehokkuuteen käsiteltiin luvussa 2.2.3 Energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. (Sorel. 2015.)

Täysin eristetyt kuuma- ja kylmäkäytävät

Mikäli kuuma- ja kylmäkäytävät eristetään täysin, tällöin menettelytapa ilman tuonnille muuttuu merkityksettömäksi, koska kuuma- ja kylmäilma on fyysisesti eristetty toisistaan. Tällöin palvelinten ottoilman lämpötila on aina kylmäkäytävälle asetetun lämpötilan suuruinen. Menettelytavalla tarkoitetaan tapaa tuoda ilma palvelimille, kuten yläkautta ilman tuonti palvelinten eteen. Täysin eristetyssä tilanteessa ei ole myöskään tarpeen kohdistaa ottoilmaa suoraan palvelimille. (Sorel. 2015.)

Täysin eristettyjen käytävien tapauksessa saattaa olla järkevämpää toteuttaa kylmäkäytävä ns. koko konehuoneen kokoiseksi ja ainoastaan eristää kuumakäytävä, josta imetään lämminilma kohdennetusti pois. Tämän tyyllisen ratkaisun voi myös toteuttaa toiste päin, jolloin siis suurin osa konehuoneesta on kuumakäytävää, mutta se ei ole suositeltavaa, sillä suurimman osan konehuoneesta ollessa kylmäkäytävää löytyy "varailmaa" koko huoneen suuruudelta IT-laitteistolle käytettäväksi. Tämä varailma antaa hetken lisäaikaa jäähdytysjärjestelmän vikatilanteessa. (Moody. 2015.)

2.4.4 Paloturvallisuus

Datakeskuksen paloturvallisuus on mahdollista toteuttaa monella eri tavalla. Paloturvallisuuden ensisijaisena prioriteettina on aina suojata ihmisten turvallisuus ja vasta toisena prioriteettina suojata materiaalisilta vahingoilta. Suurissa datakeskuksissa, joissa tulipalon aiheuttamat materiaalivahingot voivat olla valtavia, saattaa olla viisainta päätyä automatisoituihin kaasusammutus ratkaisuihin. Kaasusammutus systeemit luovat kuitenkin erityistarpeita datakeskukselle, jotka täytyy ottaa huomioon. Huomioitavana seikkana on esimerkiksi henkilöstön turvallisuus, sillä nykypäivänä hyvin harva kaasusammutteinen systeemi käyttää kaasua, joka ei olisi ihmiselle vaarallinen. Tämän takia henkilöstö joilla on pääsy tiloihin, tulee kouluttaa asianmukaisesti ja tämä vuorostaan mahdollisesti estää alihankkijoiden tai vierailijoiden läsnäolon tiloissa. Toinen huomion arvoinen kohta on kaasusammutteisten systeemien kustannukset, jotka ovat huomattavasti kalliimpia verrattaessa perinteisiin vesisammuteisiin systeemeihin. (Donohue. 2015.)

Ei ole myöskään harvinaista, että rakennuksen haltija vaatii esimerkiksi sprinklereiden käytön kiinteistössään. Tällöin on mahdollisesti silti kannattavaa käyttää kaasusammutusjärjestelmää ns. ensimmäisenä ehkäisyinä. Esimerkiksi paksua savua havaitessa voidaan laukaista kaasusammutusjärjestelmä, joka tukahduttaa palon sen alkuvaiheeseen, jolloin sprinklerit eivät vielä kerkeä aktivoitua. Sprinklerit aktivoituvat oletuksena ainoastaan lämmöstä. Tämä tarkoittaa käytännössä tilannetta, jossa liekit ovat jo lämmittäneet tilan todella kuumaksi, tai liekit hipovat jo itse sprinklereitä. Poikkeuksena tähän toimintaan on tapaukset, joissa järjestelmä ollaan varta vasten

suunniteltu aktivoitumaan erillisestä herätteestä, kuten palohälytyksen yhteydessä. (Donohue. 2015.)

2.5 Viestintäviraston lait ja määräykset viestintäverkoille

2.5.1 Viestintäviraston tärkeysluokat

Viestintäverkoille annetut määräykset ovat datakeskuksien osalta oleellisia, koska datakeskuksessa mahdollisesti sijaitsee teleoperaattoreiden laitteita. Viestintäverkoiksi lukeutuvat kaikki kommunikoinnin mahdollistavat teknologiset ratkaisut. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Työn kannalta on oleellista keskittyä viestintäviraston määräykseen ”54 B/2014 M”, joka puolestaan keskittyy viestintäverkkojen laitteisto-, reittivarmistuksiin, sekä tehonsyötön ja jäähdytyksen varmentamiseen. Lisäksi määräyksessä määritellään laite-tilojen tarvitsemat fyysiset suojaukset. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Tämän työn kannalta on kuitenkin oleellista keskittyä vain pienen datakeskuksen kannalta oleellisiin määräyksiin, eli tärkeysluokaltaan 3 ja pienempiin luokkiin, eli alle 50 000 internetkäyttäjän tärkeysluokkaan. Viestintäviraston laitteistoihin, reitteihin ja jäähdytykseen liittyvät määräykset koskevat vain tärkeysluokkia 1 ja 2. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Kaikki määräykset, joissa viitataan laitetilan tärkeysluokkaan, viittaavat viestintäviraston laatimaan Taulukko 1 ja sen määrittelemiin tärkeysluokkiin. Mikäli tärkeysluokkaa ei erikseen mainita, tällöin määräys koskee kaikkia tärkeysluokkia. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Taulukko 1. Viestintäviraston määrittelemät tärkeysluokat (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Tärkeysluokka	Viestintäverkon tai -palvelun komponentti
1	<p>Komponentti, joka vaikuttaa viestintäpalveluihin yli 60 000 km² alueella tai komponentti, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 200 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • ≥ 200 000 käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • ≥ 200 000 käyttäjän internetyhteyspalveluun tai • ≥ 500 000 käyttäjän sähköpostipalveluun tai • ≥ 300 000 käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • ≥ 600 000 käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
2	<p>Komponentti, joka vaikuttaa viestintäpalveluihin yli 20 000 km² alueella tai komponentti, joka vaikuttaa suuruusluokaltaan</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 50 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • ≥ 50 000 käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • ≥ 50 000 käyttäjän internetyhteyspalveluun tai • ≥ 200 000 käyttäjän sähköpostipalveluun tai • ≥ 100 000 käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • ≥ 300 000 käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
3	<p>Komponentti, joka vaikuttaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 1000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • ≥ 20 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun, joka tarjotaan internet-yhteyspalvelun päällä tai • ≥ 10 000 käyttäjän tekstiviestipalveluun tai • ≥ 1200 käyttäjän internetyhteyspalveluun tai • ≥ 2500 käyttäjän internetyhteyspalveluun, joka on tuotettu koaksiaalikaapelipohjaisella kaapelitelevisioverkolla tai • ≥ 100 000 käyttäjän sähköpostipalveluun tai • ≥ 50 000 käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • ≥ 100 000 käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
4	<p>Komponentti, joka vaikuttaa</p> <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 250 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun tai • ≥ 10 000 käyttäjän yleiseen puhelinpalveluun, joka tarjotaan internet-yhteyspalvelun päällä tai • ≥ 250 käyttäjän internetyhteyspalveluun tai • ≥ 1500 käyttäjän internetyhteyspalveluun, joka on tuotettu koaksiaalikaapelipohjaisella kaapelitelevisioverkolla tai • ≥ 30 000 käyttäjän sähköpostipalveluun tai • ≥ 20 000 käyttäjän joukkoviestintäpalveluun tai • ≥ 50 000 käyttäjän muuhun viestintäpalveluun.
5	<p>• Kiinteän puhelinverkon keskitin tai</p> <ul style="list-style-type: none"> • kiinteän verkon internetyhteyspalvelun laajakaistakeskitin joka palvelee yli 100 käyttäjää tai • kiinteän langattoman internetyhteyspalvelun tukiasema tai • maanpäällisen joukkoviestintäverkon komponentti, joka palvelee

	yli 50 kotitaloutta tai <ul style="list-style-type: none"> • kuitukaapelipohjaisen kaapelitelevisioverkon komponentti, joka palvelee yli 50 kotitaloutta tai • koaksiaalikaapelipohjaisen kaapelitelevisioverkon komponentti, joka palvelee yli 4000 kotitaloutta tai • komponentti, joka vaikuttaa yleiseen puhelinpalveluun tai • komponentti, joka vaikuttaa yli 5 000 käyttäjän sähköpostipalveluun.
--	--

2.5.2 Tehonsyötön varmistaminen

Viestintävirasto on määrittänyt tärkeysluokalle 3 tehonsyötön varmistamisesta seuraavasti: Mikäli viestintäverkon komponenttia ei ole varmistettu kiinteällä varavoi- malaitteella ja viestintäverkon komponentti sijaitsee taajama-alueella, tällöin varate- holähteen varmistusajan tulee olla vähintään 6 tuntia. Varateholähteiksi lukeutuvat akustot, UPS-laitteet tai muulla luotettavalla keskeytymättömän tehonsyötön aikaan- saavalla laitteistolla toteutetut järjestelmät. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Valvonta ja dokumentaatio

Viestintävirasto määrää, että teleyrityksien on valvottava tehonsyöttöjärjestelmiään sekä dokumentoitava ja pidettävä ajan tasalla dokumentaatiota tehonsyöttöjärjestel- mästä ja tehonsyötön varmistuksesta. Dokumentaatiosta on käytävä ilmi tehon- syötön ja sen varmistuksen toteutus, laitteiden sijainti, tekniset ominaisuudet ja huoltojärjestelyt. Valvonta tehonsyötölle on tehtävä siten, että teleyritys saa tiedon tehonsyötön häiriötilanteista ja yleisen sähköverkon sähkökatkoksista. (Viestintävi- rasto. 54B/2014.)

UPS-laitteet

Mikäli UPS-laite toimii viestintäverkon tai -palvelunkomponentin ainoana tehonsyöt- tölaitteena tai varateholähteenä, tällöin UPS-laitteet tulee varmistaa vähintään N+1 redundanttisuudella. Tämän lisäksi UPS-laitteiden tulee täyttää vähintään 6 tunnin varmistusajan määrittäminen. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Topologiaan viittaava N+1 termi tarkoittaa redundanttisuuden asteikkoa, jossa N on laitteiden määrä. Tällöin N+1 tarkoittaa sitä, että välittämättä siitä montako laitetta

palvelee jotain tiettyä tarkoitusta, tällöin varalla täytyy olla vähintään yksi laite, joka palvelee samaa tarkoitusta. Näin saadaan aikaan redundanttisuus, joka kestää yhden laitteen menetyksen.

Tasa- ja vaihtosuuntaajat

Kiinteistön sähköverkossa käytettävät tasa- ja vaihtosuuntaajat on varmistettava N+1-varmistuksella, mikäli käyttäjien määrä joita suuntaajat palvelevat on yli 30. Tasa-suuntaajat tulee myös mitoittaa siten, että tasasuuntaajaa palvelevan laitteiston kuorman pystyy syöttämään akuston rinnalla ilman varasuuntaajaan käyttöä. Akuston täytyy myös kyetä varaamaan purettu akusto kuorman rinnalla vähintään 80 % nimellisestä kapasiteetista vuorokauden aikana. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Varavoimallaitokset

Varavoimallaitoksien täytyy kyetä ylläpitämään kaikkia viestintäverkon komponentin tai -palvelun tarvitsemia komponentteja (Viestintävirasto. 54B/2014). Datakeskuksen tapauksessa tähän kuuluu oleellisesti jäähdytys, koska ilman jäähdytysjärjestelmää ylikuumentumisen riski on liian suuri.

Mikäli varavoimalaitos halutaan lukea viestintäviraston määrittelemäksi ”kiinteäksi varavoimallaitokseksi”, tällöin varavoimallaitoksen tulee käynnistyä automaattisesti sähkökatkoksen yhteydessä. Tämän lisäksi sille varatun polttoaineen tulee kestää viikon. Mikäli syystä tai toisesta viikon polttoainereserviä ei ole mahdollista toteuttaa, teleyrityksen tulee järjestää polttoaineen saanti vähintään viikoksi jollain muulla tavalla. Tätä metodologia käytettäessä tulee menetelmä suunnitella ja dokumentoida ennalta. Mikäli tärkeysluokan 3 luokitellun viestintäverkon komponentti on kytketty tehonsyöttöjärjestelmään, joka on toteutettu kiinteällä varavoimallaitoksella, varateholähteen varmistusajaksi riittää 3 tuntia. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Siirrettävää varavoimallaitosta käytettäessä, tulee teleyrityksen varmistaa, että varavoimakoneen saa kytkettyä viestintäverkonlaitteelle ennen sen varateholähteen kapasiteetin loppumista. Käytännössä tarkoittaen sitä, että teleyrityksellä on varattu henkilöresursseja varavoimakoneiden siirtämiseksi ja varavoimakone on fyysisesti mahdollista ajan puitteissa siirtää kohteeseen. Myös siirrettävän varavoimallaitoksen

tapauksessa tulee polttoainetäydennyksien olla järjestetty vähintään kyseisen varateholähteen varmistusajan mittaiselle aikavälille, joka on tärkeysluokan 3 tapauksessa 12 tuntia. Lisä huomiona vielä se, ettei tärkeysluokan 3 tapauksessa ole välttämättömyyttä käyttää varavoimalaitosta, vaan laitteiston on tavalla tai toisella saatava virtaa 12 tunnin ajan yleisen sähkökatkoksen aikana. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Mikäli teleyritys käyttää siirrettäviä varavoimalaitoksia, niin tulee se olla suunniteltu seuraavan lainauksen mukaisesti:

Teleyrityksen on ylläpidettävä kirjallista suunnitelmaa varautumisesta yleisen sähköverkon sähkökatkoksiin siirrettävien varavoimalaitosten avulla. Suunnitelmassa on eriteltävä vähintään:

- *varavoimalaitosten määrä (perusteet määrän riittävyydelle) ja tehonsyöttökapasiteetti,*
- *maantieteellinen varastointi,*
- *huolto ja kunnossapito varastoinnin aikana,*
- *jakelu käyttökohteisiin sekä*
- *toiminnasta huolehtiminen käyttökohteissa. (Viestintävirasto. 54B/2014.)*

2.5.3 Laitetilojen fyysinen suojaaminen

Viestintävirasto on määritellyt vaatimukset kolmelle kategorialle laitetilojen fyysiseen suojaamiseen liittyen. Nämä kategoriat ovat kulunvalvonta, laitetilojen rakenne ja olosuhdehälytykset. Tässä luvussa käydään läpi tärkeysluokalle 3 asetetut vaatimukset.

Kulunvalvonta

Viestintäviraston määräykset kulunvalvontaan liittyen tärkeysluokalle 3 ovat seuraavan lainauksen mukaiset:

Kaikki tilaan johtavat ovet on lukittava avaimen perustuvalla mekaanisella tai sähkömekaanisella lukolla.

Henkilökunnan ja alihankkijoiden tunnistettavuus on järjestettävä kuvallisella henkilökortilla tai kulkuluvalla ja virallisella henkilötodistuksella. Vierailijoiden kulku tilassa tulee olla valvottua.

Tilaan tapahtuneesta tunkeutumisesta on järjestettävä hälytys valvontahenkilökunnalle. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Laitetilojen rakenne

Viestintäviraston määräykset laitetilojen rakenteille tärkeysluokalle 3 ovat seuraavan lainauksen mukaiset:

Tilan katon, lattian ja seinien tulee olla betonista, tiilestä, vahvasta puuaineesta tai muusta vastaavasta aineesta ja siten rakennettu, ettei seinäelementtejä voida kokonaisuina irrottaa tilan ulkopuolelta.

Tilaan johtavien ovien rakenteen, asennuksen ja lukituksen on oltava tavanomaisilla käsityökaluilla tapahtuvan murron kestäviä.

Alle 4 m maanpinnan yläpuolella olevien laitetilojen ikkunat on oltava fyysisesti suojattuja. Lisäksi alle 4 m maanpinnan yläpuolella olevien tilojen, joista on pääsy laitetilaan, ikkunat on oltava fyysisesti suojattuja. Taajama-alueiden ulkopuolella sijaitsevilla rakennuksissa, joissa ei

vakituisesti työskennellä, ei saa olla laitetiloihin johtavia ulkoikkunoita.

Tilojen suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava huomioon vesivahinkojen ehkäisy. (Viestintävirasto. 54B/2014.)

Olosuhdehälytykset

Viestintävirasto vaatii tärkeysluokan 3 tiloille, että lämpötiloille asetettujen rajojen ylityksistä ja alituksista järjestetään hälytys valvontahenkilökunnalle (Viestintävirasto. 54B/2014).

2.6 Saatavuus

2.6.1 Datakeskuksen saatavuuteen vaikuttavat tekijät

Datakeskuksen tarjoama saatavuus sen ylläpitämille palveluille on yksi tärkeimmistä suunnittelukohteista. Saatavuutta suunniteltaessa on tärkeää muistaa, että koko systeemin saatavuus määräytyy aina sen heikoimman lenkin mukaan. Tästä esimerkkinä seuraavaa tilanne: tietoliikenteen komponentit ja palvelimet ovat täysin kahdennettuja, mutta virransyöttö ainoastaan yhden sähkölinjan takana. Tilaa ei ole myöskään varmistettu varateholähteellä. Kyseissä tilanteessa palvelinten saatavuus on maksimissaan yhtä suuri kuin datakeskuksen sähköverkon palveluntarjoajan lupaama saatavuus. Sama skenaario pätee myös ilmastointiin ja kaikkiin muihin IT-laitteistoa tukeviin komponentteihin, olettaen komponenttien olevan kriittisiä IT-laitteistolle.

2.6.2 Varavirta

UPS-laitteet ovat erittäin yleisiä datakeskusten toteutuksissa. UPS-laitteita on olemassa monenlaisilla ominaisuuksilla ja kapasiteeteilla, joten suunnittelijoiden on tärkeää tehdä perusteellinen taustatutkimus UPS-laitteistoa valittaessa. UPS-laitteet ovat myös taloudellisesti suuria investointeja. Heikosti valittu UPS-laitteisto saattaa heikentää palvelun saatavuutta, sillä ei ole lainkaan harvinaista, että UPS-laitteisto

jumiutuu tai hajoaa estäen koko sähkönsyötön. UPS-laitteet tarvitsevat myös säännöllistä huoltoa. Näiden asioiden vuoksi on tärkeää, että UPS-laitteet pystytään tarpeen vaatiessa ohittamaan helposti.

Ohittamisella tarkoitetaan tilannetta, jossa koko UPS-laitteiston läpi menevä sähkökuorma viedään päätelaitteille täysin erillistä reittiä. Laadukkaissa UPS-laitteissa on useasti integroitu automatisoitu ohitusjärjestelmä. Näissä laitteissa UPS-laitteen sisälle on rakennettu erillinen reitti, jota kontrolloidaan ohituskytkimellä. Ei niin laadukkaat UPS-laitteet joudutaan useasti ohittamaan täysin manuaalisesti. (Loeffler & Spears. 2015.)

UPS-tyyppejä on useita, mutta näistä yleisimpiä ovat On-line tyyppiset ratkaisut datakeskuksissa. On-line UPS-laitteet muuttavat aina vaihtovirran tasavirraksi ja tämän jälkeen takaisin vaihtovirraksi. Tämän metodin avulla saadaan poistettua huonolaatuisenkin sähköverkon jännitteen säröily, koska UPS-laitteisto määrittää AC-virran jännitteen, joka IT-laitteistolle viedään. Tämän lisäksi, On-line tyyppiset ratkaisut takaavat puhtaasti keskeytymättömän virransyötön. Puhtaasti keskeytymättömällä virransyötöllä tarkoitetaan tilannetta, jossa virransyötön katkoksen yhteydessä on ainoastaan millisekunteja kestävä katkos sähkökuormalle, jonka jälkeen sähkökuorma on siirtynyt täysin akuston varaan. (Loeffler & Spears. 2015.)

Varavirralle on toki muitakin vaihtoehtoja kalliiden suuri kapasiteettisten UPS-laitteiden lisäksi. Esimerkiksi, on mahdollista käyttää pienen kapasiteetin omaavaa UPS-laitteistoa yhdessä polttomoottorin kanssa. Tällöin virtakatkoksen yhteydessä UPS-laitteiston tarkoituksena on taata jatkuvavirransyöttö datakeskukselle sen aikaa, että ehditään laittaa sähköenergian tuotantoon tarkoitettu polttomoottori käyntiin. Kohteen sijainnista riippuen, voidaan myös käyttää kahta erillistä reittiä kulkevaa sähkölinjaa kiinteistöön, jolloin UPS-laitetta ei välttämättä tarvita. Tässäkin tapauksessa on suotavaa käyttää edes pienen akustokapasiteetin UPS-laitteistoa sen tuomien muiden etujen vuoksi.

2.6.3 Tietoverkon saatavuus

Tietotekniikan laitteet ovat kehittyneet huimasti tehoiltaan ja ominaisuuksiltaan viimeisen 30 vuoden aikana. Kehityksestä huolimatta, tietotekniikan laitteiden jumiutuminen ja kaatuminen ovat edelleen arkipäivää. Tietoverkkotekniikan laitteet eivät välttämättä ole kovin kompleksisia, mutta ne ovat erittäin herkkiä jännitteen vaihtelulle. Pienetkin erot jännitteessä aiheuttavat tietoliikenneyhteyksissä käytettävien signaalien vääristymistä, eli deformaatiota, joka aiheuttaa katkoksia yhteyksille. Yksinkertaistettuna signaalien vääristymistä voidaan ajatella kahden ihmisen näkökulmasta, jotka ovat sopineet, että he kommunikoiivat puheen välityksellä. Tässä yhteydessä jännitteen laskeminen tarkoittaisi sitä, että henkilöt puhuvat liian hiljaa ymmärtääkseen toisiaan. Vuorostaan tapauksessa jossa jännite nousisi, henkilöt puhuisivat liian lujaa. Jännitteen vaihtelua vastaan taistellaan mm. kaapeleiden suojausmenetelmien avulla, sekä sijoittaen tietoliikennelaitteet ja kaapelit siten, etteivät ne oleskele suurien jännitelähteiden välittömässä läheisyydessä.

Ehkä suurimpana syynä tietoliikenne katkoksille on kuitenkin inhimilliset virheet, joita väkisinkin tapahtuu. Esimerkiksi kaivuutöitä tehdessä on erittäin yleistä, että vahingossa katkaistaan operaattoreiden kaapeleita. Toisena esimerkkinä on tietoverkon laitteille suoritettavat muutostyöt, joissa tapahtuu herkästi konfiguraatio ja kytkentä virheitä. Edellä mainittuja esimerkkejä pystytään ennalta ehkäisemään hyvällä dokumentaatiolla ja suunnittelulla, mutta inhimillisiä virheitä tulee aina tapahtumaan, joten niihin tulee myös varautua.

3 Suunnittelu

3.1 Suunnittelun lähtökohdat

Datakeskuksen energiatiheys riippuu pitkälti laitteistosta, jota datakeskuksessa pidetään. Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:n tietoliikennelaitteiden maksimi energiakulutus on 150 W:a. Palvelimien keskimääräinen energiakulutus arvioidaan nyrkkisäänöllä, joka ohjeistaa kertomaan virtalähteen tehoarvon 70 %:lla (Barielle. 2011). Palvelimien oletetaan käyttävän teholtaan 600 W:n virtalähdettä.

Palvelimet ja tietoliikennelaitteet sijoitetaan useasti 42U-palvelinkaappeihin tai räkkeihin, ja näistä tämänhetkiset palvelimet vievät tilaa 2 U:n verran ja tietoliikennelaitteet 1 U:n. Yksi palvelinkaappi tai räkki, joka on kooltaan 42 U:ia, vie yleensä tilaa 0,6 m². Tietoliikennelaitteita tämänhetkisessä tilanteessa on 2:1 palvelimiin nähden. Näiden arvojen pohjalta lasketaan oletusarvoinen energiatiheys datakeskukselle.

Mikäli datakeskus toteutettaisiin, todellisuudessa on kuitenkin todennäköisempää, että datakeskukseen tulisi enemmän palvelimia kuin tietoliikennelaitteita, mutta tämä jätetään tarkoituksenmukaisesti huomioimatta tässä työssä.

Taulukko 2 on laskettuna aiemmin selitetyillä arvoilla datakeskuksen energiatiheudeksi 12 kW/m² ylöspäin pyöristettynä. Energiatiheys pätee ainoastaan datakeskuksen räkki- ja palvelinkaappi riveihin eikä koko datakeskuksen laajuisesti.

Taulukko 2. Datakeskuksen energiatiheys

Energiatiheys, kaappikohtainen pinta-ala 0.6 m ²	Kulutus W	kpl	U	Yht. W	Suhteutettuna W/m ²
palvelinta	420	10	20	4200	
tietoliikennelaitetta	150	18	18	2700	
Power Distributor Unit (PDU)		2	2		
Ristikytkentäpaneeli		2	2		
Yhteensä		32	42	6900	11500

3.2 Suunnittelun tavoitteet

Jäähdytysjärjestelmät mitoitetaan tukemaan vähintään 6,5 kW:a, joka kattaa KSVV Oy:n tämän hetkisen IT-kuorman muutaman laitteen kasvuvaralla. Toiseksi ääripääksi valitaan 8-kertainen kasvu IT-kuormassa, eli tällöin IT-kuorma on 52 kW:a.

Suunnittelussa huomioidaan laitteiston ostokustannukset, lukuun ottamatta palvelimien ja tietoliikennelaitteiden ostokustannuksia. Suunnittelussa huomioidaan myös jäähdytysjärjestelmien käyttökustannukset edellä mainituille IT-kuormille.

Suunnittelussa ei oteta huomioon tietoliikennelaitteiden ja palvelinten hankintakustannuksia, koska nämä laitteet ovat jo tuotannossa KSVV Oy:llä. Suunnittelussa myös ainoastaan kankeasti arvioidaan rakentamiseen kuluvat kustannukset. Tarkempien rakennuskustannuksien arvioimiseksi tulisi konsultoida LVI- ja rakennuspuolelta erikseen.

3.3 Jäähdytysratkaisut

3.3.1 Vertailukohteina olevat jäähdytysjärjestelmät

Tässä luvussa vertaillaan kolmea erilaista jäähdytysratkaisua. Vertailussa otetaan huomioon jäähdytysteho, energiankulutus, toteutettavuus ja jäähdytyskapasiteetin kasvattamismahdollisuudet. Vertailukohteina ovat jäähdytysjärjestelmä, vakioilmastoitinkone ja ilmalämpöpumput pienkiinteistöihin. Jäähdytystehot on mitoitettu KSVV Oy:n nykyisen laitteiston mukaisesti, johon on tapauskohtaisesti lisätty runsaasti kasvuvaraa tulevien vuosien suunnitelmia varten.

3.3.2 Vapaajäähdytteinen jäähdytysjärjestelmä

Ilmalauhdutteisia jäähdytysjärjestelmiä kutsutaan useasti englanninkielessä Computer Room Air Conditioning (CRAC) yksiköksi ja vesikäyttöistä jäähdytysjärjestelmää Computer Room Air Handling (CRAH) yksiköksi. CRAC- ja CRAH-järjestelmät ovat suosittuja ratkaisuja datakeskuksissa, sillä ne ovat ominaisuuksiltaan rikkaita ja

automatisoituja. Kyseisistä järjestelmistä löytyy myös useasti integroituja vapaajähdytystekniikoita. Työssä keskitytään kuitenkin ainoastaan CRAC-järjestelmän ominaisuuksiin ja hintoihin.

Mainittakoon tässä vaiheessa, että kaikkien ilmalämpöpumppujen jäähdytystehot ja energiatehokkuudet vaihtelevat ulkoilman olosuhteiden perusteella.

Ulkoyksikkö Daikin RXYQ12-T7

Daikinin valmistama RXYQ12-T7 on RXYQ-T sarjaan kuuluvan jäähdytysjärjestelmän malli kevyemmästä päästä ja se toimii jäähdytysratkaisun ulkoyksikkönä. Malli tarjoaa huippuluokan energiatehokkuutta vapaajähdytyksen ansiosta. Taulukko 3 arvot on otettu kyseisen mallin teknisistä tiedoista, jolloin järjestelmä ajaa itseään täysin automatisoidusti, sekä 80 % käyttöasteessa kokonaiskapasiteettiinsa nähden (VRV IV heat pump. N.d). Jäähdytys- ja lämmitystehojen arvot löytyvät myös liitteistä 1 ja 2.

Mahdollista jäähdytystehoa pystytään parantamaan jopa 10 kW:a, mikäli järjestelmää optimoidaan manuaalisesti. Kapasiteetin lisääminen onnistuu helposti lisäämällä ulkoilmayksikköjen lukumäärää. Kapasiteetin lisääminen täytyy muistaa ottaa huomioon jo ilmastointikanavien tilavuutta päätettäessä. (VRV IV heat pump. N.d.)

Daikin RXYQ valitettavasti toimii ainoastaan lämpötilaan $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ asti, joten se ei sovellu ympärivuotiseen jäähdytykseen Suomessa. Daikin tarjoaa myös ilmajäähdytysratkaisuja $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ saakka sarjalla VRV III-C, mutta tämän sarjan tuotteista ei ollut vertailun kannalta yhtä hyvää dataa saatavilla. Verrattaessa saman jäähdytysteholuokan laitteita sarjan VRV III-C ja VRV IV sarjaan, niin tällöin VRV III-C oli noin 50 % kalliimpi.

Taulukko 3 esitetyt tehot, joiden perässä on $^{\circ}\text{C}$ esittävät ulkolämpötilaa. Kuten taulukosta voidaan todeta, niin energiahyötysuhteet vaihtelevat radikaalisti ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilan ollessa $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisäilman haluttu lämpötila on $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, tällöin jäähdytyksen energiatehokkuus on jopa parempi kuin 10. Mentäessä Suomen hellelukumien alueelle eli $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ rajapintaan, nähdään energiatehokkuuden tippuvan lähelle nimellistehojen arvoja, eli reilu 3 tehokkuuteen.

Taulukko 3. RXYQ12-P7 – jäähdytysjärjestelmä (VRV IV heat pump. N.d.), (Daikin Pricelist VRV. 2017.)

RXYQ12-P7	Nimellis kW	kW 10 °C	kW 31 °C	kW 5 °C	Kohdelämpötila
Jäähdytysteho	33.5	20.4	32.4		24 °C
J-Energiankulutus	9.62	1.57	7.07		24 °C
Lämmitysteho				30	20 °C
L-Energiankulutus				7.44	20 °C
Hinta					11 000~ €

Suomen keskilämpötila Jyväskylän alueella on noin 5 °C, mutta tähän lämpötilaan ei löytynyt arvoja suoraan teknisistä tiedoista. On kuitenkin oletettavaa, etteivät energiatehokkuuden arvot juurikaan laske ulkolämpötilan ollessa 5 °C. Taulukon sarake ”kW 5 °C” on kuitenkin esitetty kuvastamaan energiasuhdetta, joka kuluu ulkolämpötilan 5 °C lämmittämiseen sisälämpötilaksi 20 °C. Luvuista huomataan lämmityksen vievän enemmän energiaa kuin jäähdytys, koska lämmityksessä joudutaan aina käyttämään kompressoria. Tässä täytyy kuitenkin huomioida se, ettei ulkoilmaa tarvitse jatkuvasti lämmittää. Nimittäin ulkolämpötilan ollessa pienempi kuin haluttu sisälämpötila niin tällöin voidaan hyödyntää runsaasti kiertoilmaa. Tällöin ulkoilmaa tarvitsee lämmittää vain ajoittain, jotta ilma pysyy riittävän tuoreena ihmisille hengitettäväksi.

Sisäyksikkö FXFQ-125A

Käytännössä kaikissa ilmastointiratkaisuissa, jotka toteutetaan ilman vakioilmastointikonetta, tarvitaan ulkoyksikköjen lisäksi sisäyksiköt. Sisäyksiköt sijoitetaan kiinteistöön puhaltamaan kohdennetusti ulkoilmayksikön tuottamaa jäähdytystä. Datakeskuksen tapauksessa sisäyksiköt useasti sijoitetaan räkkiriveille. Sisäyksikkö FXFQ-125A valittiin jäähdytystehon perusteella, jonka tulisi riittää jäähdyttämään vähintään 2 m² alue lasketulla energiatiheydellä. Sisäyksikön FXFQ-125A arvot löytyvät Taulukko 4.

Taulukko 4. Sisäyksikkö FXFQ-125A (Daikin Pricelist VRV. 2017.), (FXFQ-P9. 2012.)

FXFQ-125A	Nimellis kW
Jäähdytysteho	14
Energiankulutus	0.258
Hinta	2 338 €

3.3.3 Vakioilmastointikone

Konehuoneita on jäähdytetty pitkään käyttämällä vakioilmastointikonetta. Vakioilmastointikone on yksinkertainen ratkaisu, joka useasti käyttää pelkästään kompressoreiden jäähdytystehoa hallitsemaan konehuoneen lämpötilaa. Energiatehokkuudeltaan vakioilmastointikoneet eivät kykene samoihin lukemiin kuin CRAC-järjestelmät, jonka vuoksi niiden käyttö on vähentynyt suurien datakeskusten jäähdytysratkaisuissa.

Stulz Cyber Air II DX 1-piirinen ASD 451 A (R407C)

Otsikon mukainen laite on yrityksen Recair myymä vakioilmastointikone. Taulukko 5. Vakioilmastointikone – Stulz Cyber Air II:nähdään kyseisen laitteen energiakulutuksen, jäähdytystehon ja energiaterokkuuden. Energiaterokkuudesta pystyy toteamaan, että se lähentelee aiemmassa luvussa käydyn jäähdytysjärjestelmän huonointa tilanetta. Energiaterokkuutta pystyy mahdollisesti parantamaan säätämällä vakioilmastointikone kytkeytymään päälle 27 °C ja kytkeytymään pois päältä lämpötilan saavuttaessa n. 21 °C. Tällöin konesalin kokonaisenergiankulutus vähenee, koska vakioilmastointikoneen kompressorin ei tarvitse työskennellä 8760 h/vuosi.

Laitteen Stulz Cyber Air II DX 1-piirinen ASD 451 A hinta kysyttiin Recairin myynnistä sähköpostitse.

Taulukko 5. Vakioilmastointikone – Stulz Cyber Air II (Stulz vakioilmastointikoneet. N.d.)

Stulz Cyber Air II DX 1-piirinen ASD 451 A	Nimellis kW	Energiatehokkuus
Jäähdytysteho	45.1	
Kompressorin-Energiankulutus	9.6	
Tuulettimien energiankulutus	2.5	
Energiankulutus yhteensä	12.1	3.73
Hinta		47 910 €

Vakioilmastointikoneen parhaimpana puolena on se, ettei sitä varten tarvitse tehdä juurikaan rakennustöitä. Vakioilmastointikoneen tapauksessa voidaan käyttää täysin sinetöityjä kuuma- ja kylmäkäytäviä, tai kohdennetulla ilmanviennillä eroteltuja käytäviä.

3.3.4 Ilmalämpöpumppu pienkiinteistöihin

Pienkiinteistöjen ilmalämpöpumpuilla tarkoitetaan tässä työssä ilmalämpöpumppuja, joita useasti käytetään mm. omakotitaloissa. Vertailukohteeksi ei ole valittu mitään tiettyä mallia, vaan ilmalämpöpumppu esitetään arvoilla, johon suurin osan pienkiinteistöjen ilmalämpöpumppujen tulisi soveltua. Kuluttajamallisten yksiköiden jäähdytystehot vaihtelevat 2 kW - 5 kW väliltä ja energiatehokkuudeltaan yksiköt ovat 2 - 3.5 välillä. (Ururu Sarara Heat pump. N.d.)

Yksiköiden energiatehokkuuden saa helposti selville yksikköön merkatusta Euroopan Unionin energiamerkistä. Energiamerkit vaihtelevat asteikolla A+++ ja D välillä, jossa A+++ kuvastaa parhainta energiatehokkuutta. (EPPF Label Type Page. 2011.)

Edellä esitettyjen tietojen pohjalta työn seuraavassa luvussa 3.3.5 käytetään Taulukko 6 mukaisia arvoja pienkiinteistöjen ilmalämpöpumpuille.

Taulukko 6. Pienkiinteistön ilmalämpöpumppu (Ururu Sarara Heat pump. N.d.)

Pienkiinteistön ilmalämpöpumppu	Nimellis kW	Energiatehokkuus
Jäähdytysteho	3	3
Lämmitysteho	3	3
Hinta		2 500 €

3.3.5 Jäähdytysratkaisujen vertailu

Kuvio 6 on sivuston sahkonhinta.fi työkalulla ”Hintavertailu” esitetty kuvaaja sähkön keskihinnasta Suomessa. Kuviosta voidaan arvioida sähkön ostohinnan olleen viimeisen vuoden aikana keskimäärin 12.8 snt/kWh.

Verolliset nimelliset kokonaishinnat (siirto- ja energiahinnat). Maatila 35 000 kWh/v, koko maan keskihinta 01.01.2017 - 22.03.2018



Kuvio 6. Sähkön hinta kuvaaja (Sähkön hintavertailu. 2018.)

Jäähdytyksen energiakustannukset 6,5 kW kuormalle

Arvioidessa energiakustannuksia 6,5 kW:n IT-kuormalla, vuosittainen IT-laitteiston energiankulutuksen summa on 56.16 MWh. Sähkön hinta 12.8 snt/kWh muutetaan yksiköksi snt/MWh, tällöin 1 MWh hinta on 128 €.

Näistä arvoista arvioidaan vuosittaiseksi IT-laitteiston energiakustannukseksi 6,5 kW:n kuormalla 7188 € / vuosi. Tätä lähtöarvoa jalostetaan kaavalla 2, jolla lasketaan kumuloitua hinta vuositasonisesti vertailluille jäähdytysjärjestelmille, kun sähkön ostohinnan arvioidaan nousevan vuosittain 2 %.

n = vuodet (ensimmäinen vuosi on 0, seuraava 1, toinen 2 jne.)

a = vuosittainen IT-laitteiston energiakustannus

h = hankintakustannus

j = jäähdytysjärjestelmän energiatehokkuus

i = vuosittainen energiakustannusten nousu %

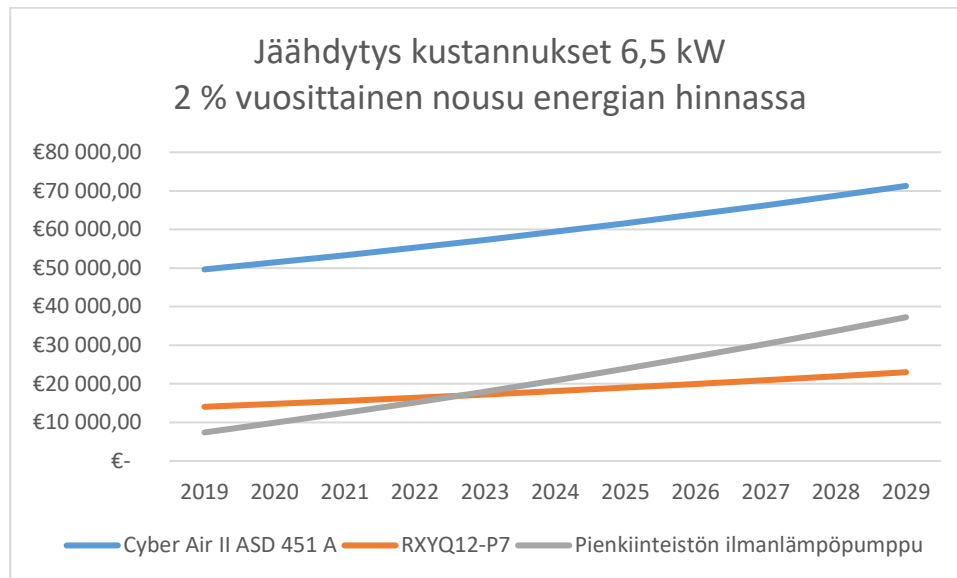
P = vuosittainen jäähdytyksen kuluttaman energian hinta

$$P = h + \frac{\frac{a}{j}}{(1-i)^n} \quad (2)$$

Kaavan tuottamien arvojen perusteella on luotu Kuvio 7, josta nähdään vuositason kustannusarviot 10 vuoden aikavälillä aiemmin esitetyillä jäähdytysratkaisuilla. Kaikkiin jäähdytysratkaisuihin on myös lisätty laitteistojen hankintakustannukset.

Huomioitavaa kaavan tuottamissa luvuissa ovat seuraavat asiat:

1. Jäähdytysjärjestelmän RXYQ12-P7 tapauksessa sisäyksiköiden kuluttama energia jätettiin huomioimatta, koska niiden kuluttama energia on niin pieni, etteivät ne vaikuta laskettuihin arvoihin merkittävästi.
2. Jäähdytysjärjestelmän RXYQ12-P7 Energiahyötysuhteeksi on varovasti arvioitu olevan 10, poiketen taulukossa esitetystä 12.99, joka on turhan optimistinen, koska energiahyötysuhteet vaihtelevat radikaalisti vapaajäähdytteissä ratkaisuissa olosuhteiden mukaisesti.
3. Jäähdytysjärjestelmän Cyber Air II ASD 451 A tapauksessa on arvioitu, että kompressorilla jäähdytettyä ilmaa tulisi tuottaa n. 5/6 ajasta, mutta yksikön tuulettimien tulee pyöriä jatkuvasti, joten yksikön energiakustannuksista vuositason perusteilla pudotettu 10 %.
4. Luvut on tarkoitettu suuntaa antaviksi, sillä realistisempien arvojen laskemiseksi tulisi myös ottaa huomioon valuutan inflaatio. Tämän lisäksi, täytyisi arvioida tarkemmin IT-kuorman vaihtelevuutta vuorokauden kellonaikoina. Tätä kautta voitaisiin vaikuttaa sähkötuotteen valintaan, jonka kautta energian ostohinta saataisiin mahdollisesti pienemmäksi.

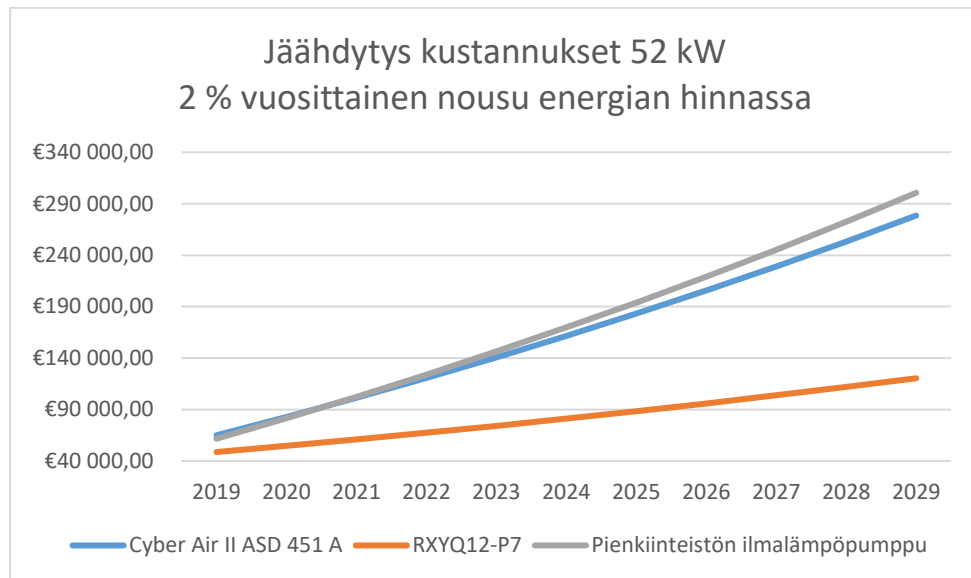


Kuvio 7. Jäähdytyksen kustannukset 6,5 kW kuormalla

Jäähdytyksen energiakustannukset 52 kW kuormalle

Jäähdytyskustannusarvio tilanteelle, jossa datakeskuksen kapasiteetti on kahdeksan-kertainen alkuperäiseen kuormaan nähden, eli IT-laitteiston kuorma on 52 kW:a. Tästä saadaan vuosittaiseksi IT-laitteiston energiankulutukseksi 449 MWh ja energiakustannukseksi 57 507 € / vuosi.

Jäähdytysjärjestelmän RXYQ12-P7 ulkoyksiköiden hankintakustannukset on kerrottu kolmella ja sisäyksiköt neljällä, jotta saavutetaan 52 kW:n jäähdytysteho. Saavuttaaksemme saman jäähdytystehon kuluttajamallisilla ilmalämpöpumpuilla, tulisi näitä pumppuja olla 27 kappaletta, joten alkuperäinen hinta on kerrottu kyseisellä luvulla. Luonnollisesti 27 ilmalämpöpumpun asentaminen samaan huoneeseen on täysin epärealistista, mutta kyseinen ratkaisu on pidetty mukana vertailun vuoksi. Muutoin täsmälleen samoja periaatteita käyttämällä verrattaessa aiemmin esitettyyn 6,5 kW:n kuormaa, luodaan Kuvio 8.



Kuvio 8. Jäähdytyksen kustannukset 52 kW kuormalla

Yhteenveto jäähdytysratkaisuista

Vakioilmastointikoneen jäähdytyskapasiteettia mitoittaessa päädyttiin valitsemaan suoraan kone, joka kykenee jäähdyttämään konehuoneen myös sen maksimi kapasiteetissaan. Tämä oli virhe, sillä siinä mittaluokassa olevat vakioilmastointikoneet ovat hyvin kalliita. Näin ollen voisi todeta, että vakioilmastointikoneenkin tapauksessa olisi järkevää valita kone, jolla on riittävästi jäähdytystehoja maksimissaan puoleen arvioidusta maksimi kapasiteetista. Tällöin jäähdytystehon tarpeen lisääntyessä voitaisiin investoida uuteen koneeseen.

Vakioilmastointikoneella on käytännössä ainoastaan yksi etu muihin järjestelmiin verrattaessa, ja se etu on yksinkertaisuus. Koneen pystyy sijoittamaan lähestulkoon mihinkä vain, eikä sen vuoksi tarvitse tehdä juurikaan rakennus ja ilmastointitöitä, jotta se saadaan palvelemaan tilan jäähdytysratkaisuna. Riippuen tilasta johonka konehuonetta suunnitellaan, vakioilmastointikoneella mahdollisesti säästetään kymmeniätuhansia euroja suunnittelu- ja rakennuskustannuksissa. Tämän vuoksi ei ole lainkaan yllättävää, että konehuoneet jotka toteutetaan olemassa oleviin tiloihin, päädytäänkin useasti jäähdyttämään vakioilmastointikoneilla.

Tarkastellessa **Kuvio 7**. Jäähdytyksen kustannukset 6,5 kW kuormalla voidaan todeta, että mikäli kuorma pysyisi 6,5 kW:n laitamilla viiden vuoden ajanjaksolla, tällöin ilmalämpöpumppu olisi järkevin ratkaisu. Sillä tällöin säästöjä ei juurikaan kertyisi verrattaessa muita järjestelmiä ilmalämpöpumppuihin. Kuviossa ei ole myöskään otettu huomioon jäähdytysjärjestelmän RXYQ12-P7 asennuskustannuksia, jotka tapauksesta riippuen voivat olla todella suuret.

Puolestaan **Kuvio 8** tarkasteltaessa voidaan todeta, että energiatehokkuus merkitsee jo huomattavasti enemmän kyseisellä kuormalla. Tarkasteltaessa viiden vuoden ajanjaksoa kyseisellä kuormalla, nähdään RXYQ12-P7 mahdollistavan lähemmäksi 80 000 € säästöt. Tässä tapauksessa on jo hyvin kannattavaa perehtyä tarkemmin vapaajäähdytteisiin järjestelmiin. Tällöin tulee myös tehdä realistiset arviot vapaajäähdytteisen järjestelmän energiatehokkuudesta ja asennuskustannuksista.

Näistä vertailuista voidaan tehdä seuraava johtopäätelmä: puhuttaessa alle 20 kW:n arvioidusta maksimi kuormasta ja datakeskuksesta, jonka jäähdytystehon kapasiteetin tarve kasvaa hitaasti, tällöin on todennäköisesti kustannustehokkainta päätyä helposti toteutettavaan ja kasvatettavaan jäähdytys ratkaisuun. Helposti kasvatettavalla jäähdytysratkaisulla tarkoittaen perinteisempiä ilmalämpöpumppu-tuotteita pienkiinteistöihin. Tällein tehtäessä saataisiin myös helposti redundanttisuutta jäähdytysjärjestelmälle ilman suurempia investointeja. Ei ole myöskään poissuljettua käyttää ilmalämpöpumppujen ja vakioilmastointikoneiden kombinaatiota, mikä onkin hyvin mahdollisesti järkevin ratkaisu konehuoneille, joiden tulevaisuuden energiakuorma on tuntematon.

Ratkaisusta riippumatta, konehuone tulee aina optimoida kylmä- ja kuumakäytävien avulla siten, ettei jäähdytysteho mene hukkaan. Mikäli jäähdytys toteutetaan perinteisillä ilmalämpöpumpuilla, ainoaksi vaihtoehdoksi jää täysin eristetyt kylmä- ja kuumakäytävät. Pienempi tehoisia vakioilmastointikoneita käytettäessä voidaan helposti kohdentaa jäähdytysteho kylmäkäytävälle, jolloin täysin eristetyn ratkaisun käyttäminen ei ole välttämätöntä.

Huomioitavaa esitetyssä väitteessä on toki se, että kuvioiden 7 ja 8 laskelmat on tehty ainoastaan 2 % sähkön ostohinnan lisääntymisellä, joka on mahdollisesti paljon suurempi todellisuudessa.

3.4 Varavirta

Viestintävirasto on määrännyt, että mikäli UPS-laite on ainoa viestintäverkon komponentin varateholähde, tällöin varavirran tulee olla varmistettu vähintään N+1 topologialla. Tämä määrittäminen tekee varateholähteen toteuttamisesta puhtaasti UPS-laitteilla melko kannattomaksi, sillä UPS-laitteet joiden akunkesto on yli 6 tuntia ovat todella suuria investointeja. Mikäli kuitenkin syystä tai toisesta halutaan toteuttaa varatehonsyöttö pelkästään UPS-laitteilla, voidaan harkita omistautuneiden UPS-laitteiden implementoimista viestintäverkon laitteille, eli datakeskusten tapauksessa useasti kytkimille ja reitittimille. Tällöin energiakulutuksen saisi riittävän pieneksi, jolloin massiivisen kokoisia ja kalliita UPS-laitteita ei tarvitse hankkia. Haitta puolestaan tässä metodissa on toki se, että datakeskuksen muut laitteet tulee kuitenkin varmistaa edes pienen kapasiteetin omaavalla UPS-laitteella, joten kustannukset nousevat joka tapauksessa.

Budjetti ratkaisuna viestintäviraston määräyksien täyttämiseksi voisi harkita yhden ylimitoitettun UPS-laitteiston käyttämistä tietoliikennelaitteille sekä aggregaatin käyttämistä varavoimalähteenä. Ylimitoitettulla UPS-laitteella tarkoittaen sitä, että vaikka tietoliikennelaitteiden osuus lähtökuormassamme on 1500 W:a, hankitaan UPS-laite, joka on kapasiteetiltaan 9 kW:a ja akkukapasiteetiltaan 288 Ah. Kyseiset ominaisuudet omaava laite on esitetty Taulukko 7. Eaton 9155-10I-N UPS. Tällöin pystytään ajamaan koko IT-laitteiston sähkökuorma UPS-laitteen läpi ja täten hyödynnämme myös sen muista eduista, kuten virranlaadun paranemisesta sekä yllättävien katkojen aiheuttamien haittojen eliminoimiselta. Virtakatkoksen sattuessa voidaan ohjata palvelimet sammuttamaan itsensä, jolloin suurin osa akkukapasiteetista jää tietoliikennelaitteille. Tämän lisäksi paikalla olisi aggregaatti, jonka teholuokan voi päättää 2000kW:n ja 10000 kW:n väliltä, riippuen siitä, että haluaako varata kapasiteetin

myös palvelimien ylläpitämiseen. Hinnoiltaan tuon teholuokan aggregaatit liikkuvat 1000 € ja 4000 € välillä.

Taulukko 7. Eaton 9155-10I-N UPS (Kärkkäinen, 2018.)

Eaton 9155-10I-N UPS – On-line UPS	
Tulojännite AC	200-240V
Lähtöjännite	100-240 V
Virtakapasiteetti	9 kW / 10000 VA
Tehon hyötysuhde	0.9
Akkukapasiteetti	288 Ah
Akun kesto max load	10 min
Tärkeimmät ominaisuudet	Sisäänrakennettu ohikytkös huoltoon ja sisäänrakennettu ohikytkös vikatilanteissa
Hinta	5255 €

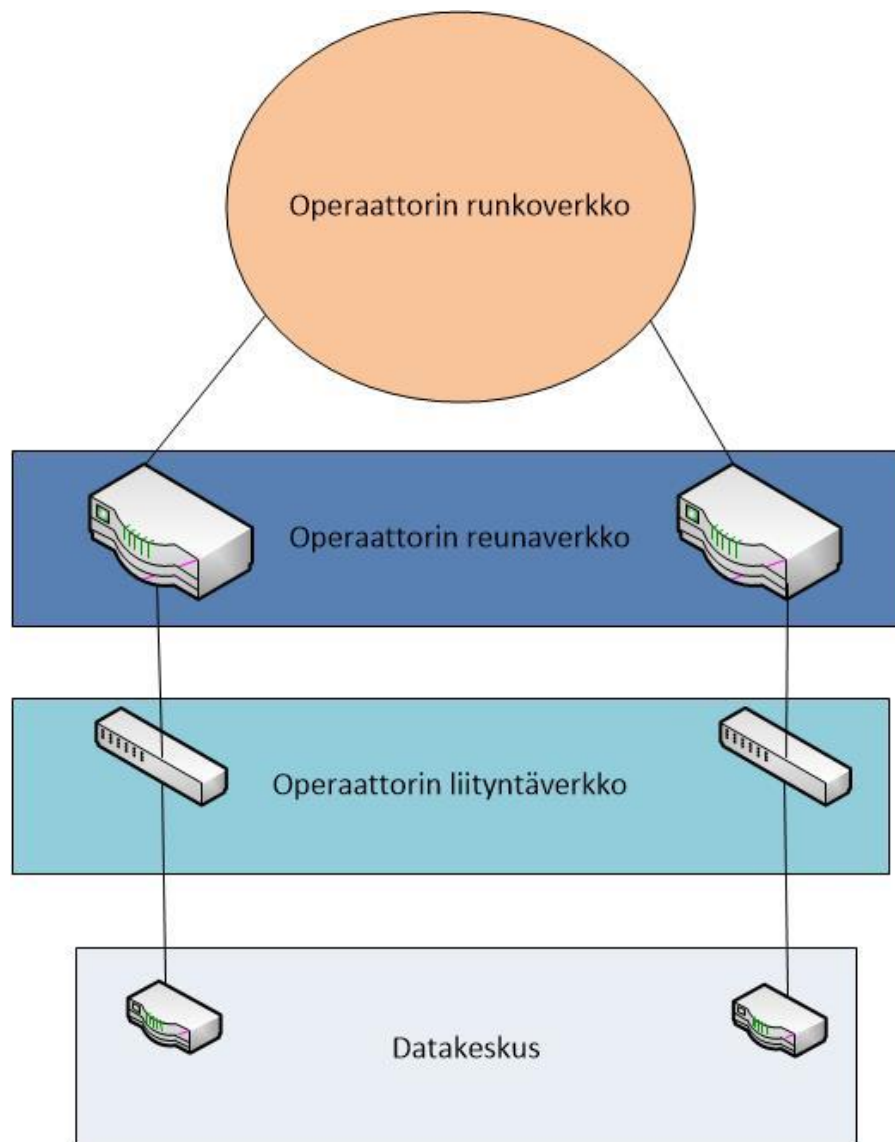
Aggregaatit toki aiheuttavat omat ongelmansa datakeskuksen suunnittelulle, joita ovat meluhaitat, paloturvallisuus ja pakokaasu. Kaikki nämä tulee ottaa huomioon aggregaattia harkittaessa. Kiinteistöstä riippuen aggregaatin asentamisen kokonaiskustannukset voivat nousta turhankin korkealle toteutettavaksi, jolloin ainoaksi vaihtoehdoksi jää kahdennetun UPS-järjestelmän hankkiminen. Tästä syystä luvussa 3.8 on päädytty käyttämään kahdennettua UPS-järjestelmää.

3.5 Tietoverkon redundanttisuus

3.5.1 Ulkoverkon redundanttisuus

Palvelujen saatavuuden vuoksi on hyvin tärkeää suunnitella tietoverkko redundanttiseksi sen kummallakin osa-alueella, eli lähiverkon ja ulkoverkon suhteen. Lähes 100 %:n palvelun saatavuutta haviteltaessa, on erittäin yleistä käyttää kahta eri teleoperaattoria WAN (Wide Area Network) -yhteyttä suunniteltaessa. Nimittäin laajemmissa teleoperaattoreiden runkoverkon häiriöissä on mahdollista, että samalta teleoperaattorilta tilatut täysin kahdennetut yhteydet ovat kummatkin poikki. Täysin

kahdennetulla yhteydellä tarkoitetaan sitä, että kaapeleiden tulee kulkea täysin eri reittiä kiinteistöön. Tarkoittaen sitä, etteivät kaapelit kulje samassa kaapelikourussa, eivätkä myöskään kulje samoille operaattorin laitteille. Reittien tulee myös olla erilliset syvemmilläkin operaattorin verkossa, mielellään operaattorin reunaverkolle asti, kuten Kuvio 9 on esitetty. Kuviossa oletetaan operaattorin käyttävän kuvion mallintamaa topologiaa, mutta kyseinen topologia ei ole millään tapaa ainoa, eikä kiveen kirjoitettu tapa toteuttaa operaattoriverkkoa.



Kuvio 9. Looginen verkkotopologia operaattorin verkkoon

Reunaverkolle asti yhteyden vieminen erillistä reittiä pitkin on useimpien operaattoreiden tapauksessa riittävä, sillä useimpien teleoperaattoreiden runkoverkot ovat

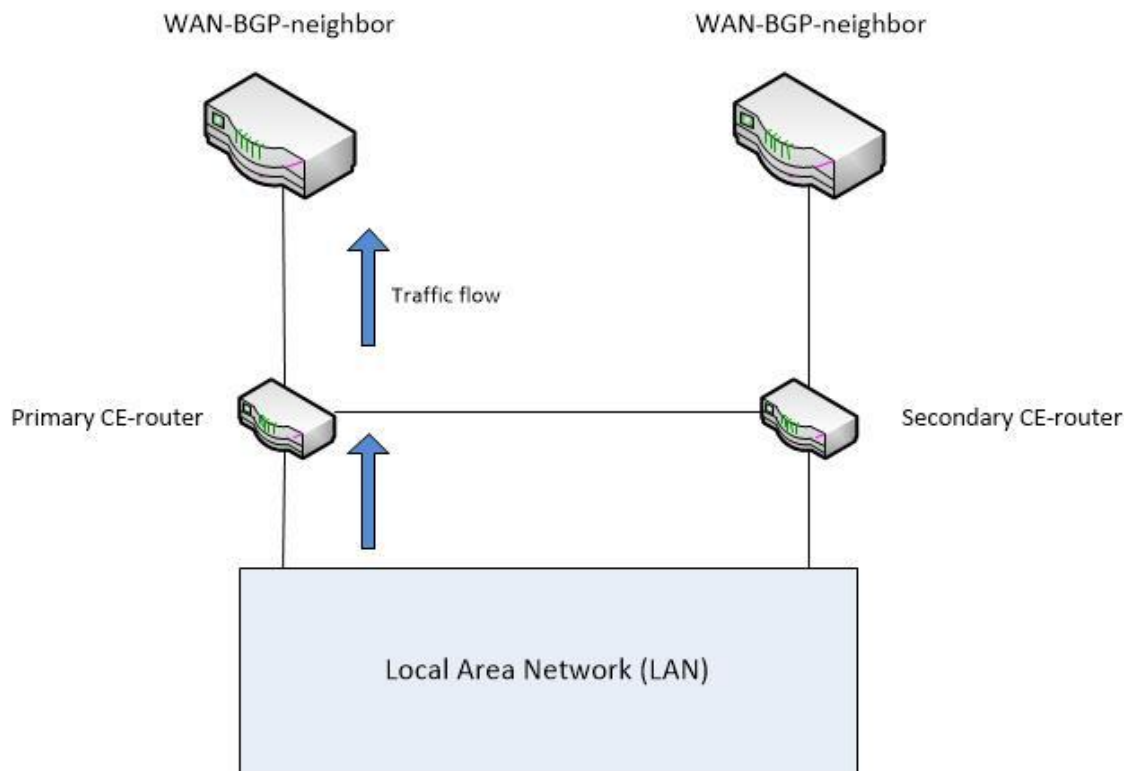
redundanttisesti suunniteltuja, eivätkä näin ollen tarvitse erillistä suunnittelua operaattorin asiakkaan näkökulmasta.

3.5.2 Reitityksen redundanttisuus

Suurin osa reitityksen redundanttisuudesta tapahtuu operaattorin osuudessa, mutta on kuitenkin muutamia asioita, mitkä tulee huomioida myös sisäverkon reitityksessä. Reitittimen kaatumisen tai WAN-linkin tippumisen yhteydessä Hot Standby Router Protocol (HSRP) käytännössä hoitaa liikenteen kääntymisen yksinään kahdennetussa ympäristössä. Mikäli kuitenkin reititin ja sen WAN-linkki pysyvät kummatkin pystyssä, mutta esimerkiksi yhteys BGP-naapuriin kadotetaan, tällöin reititys täytyy saada kiertämään varalle olevan reitittimen kautta ilman HSRP-protokollan avustusta. Tällainen tapaus voi sattua esimerkiksi tilanteessa, jossa BGP-naapurin TCP-portit on vahingossa suljettu.

Kyseisen skenaarion sattuessa täytyy liikenne reitittää uudelleen ilman, että varalla oleva reititin muuttaa HSRP-tilansa aktiiviseksi ja kaappaisi oletusyhdyksikäytävänä toimivan reitittimen roolin. Reittien kääntämisen voi tehdä monella eri tavalla, kuten staattisilla reiteillä, jotka osoittavat varareitittimelle. Varareitit vain merkataan arvoiltaan huonommiksi kuin WAN-BGP:lta saadut reitit. Tällöin reittejä käytetään ainoastaan siinä tapauksessa, jos WAN-BGP naapurilta saadut reitit eivät ole käytettävissä. Suositeltavaa on kuitenkin käyttää dynaamista tapaa varareiteille, kuten OSPF tai BGP. Dynaamisen tavan käyttö on suotavaa, sillä tietoverkon kasvaessa staattiset reitit ovat epäkäytännöllisiä, koska niihin on työlästä tehdä muutoksia. Logiikka dynaamisten protokollien kanssa on sama, eli reittien arvot ovat heikommat kuin WAN-BGP-naapurilta saatujen reittien. BGP:n käyttäminen varareittien hallitsemiseen onnistuu yksinkertaisesti luomalla privaatti AS naapurisuus pääreitittimen ja varareitittimen välille.

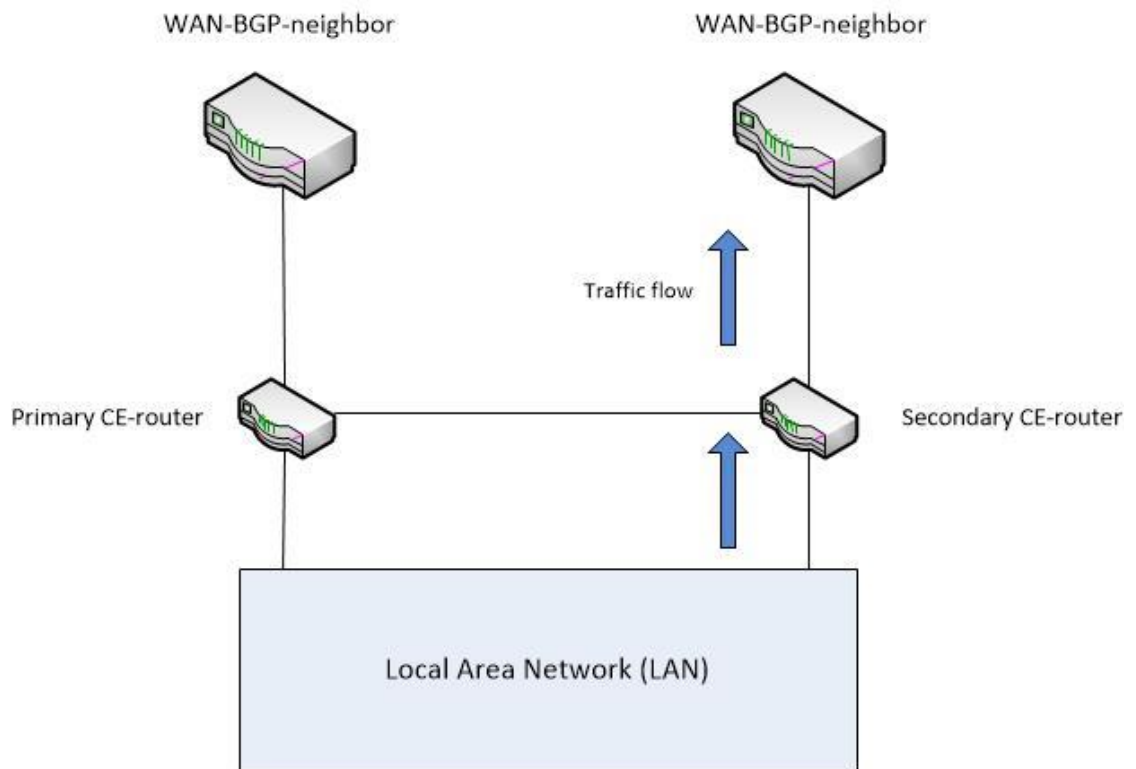
Kuvio 10 nähdään liikenteen kulku normaaleissa olosuhteissa kahdennetussa ympäristössä L3-tason näkökulmasta, eli jolloin kaikki toimii kuten pitääkin.

Scenario 1 – Normal state

Kuvio 10. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 1

Mikäli pääreititin kaatuu, tällöin varareititin ottaa HSRP:n avulla hallinnan kaikesta liikenteestä. Tällöin liikenteen virtaus on Kuvio 11 mukainen.

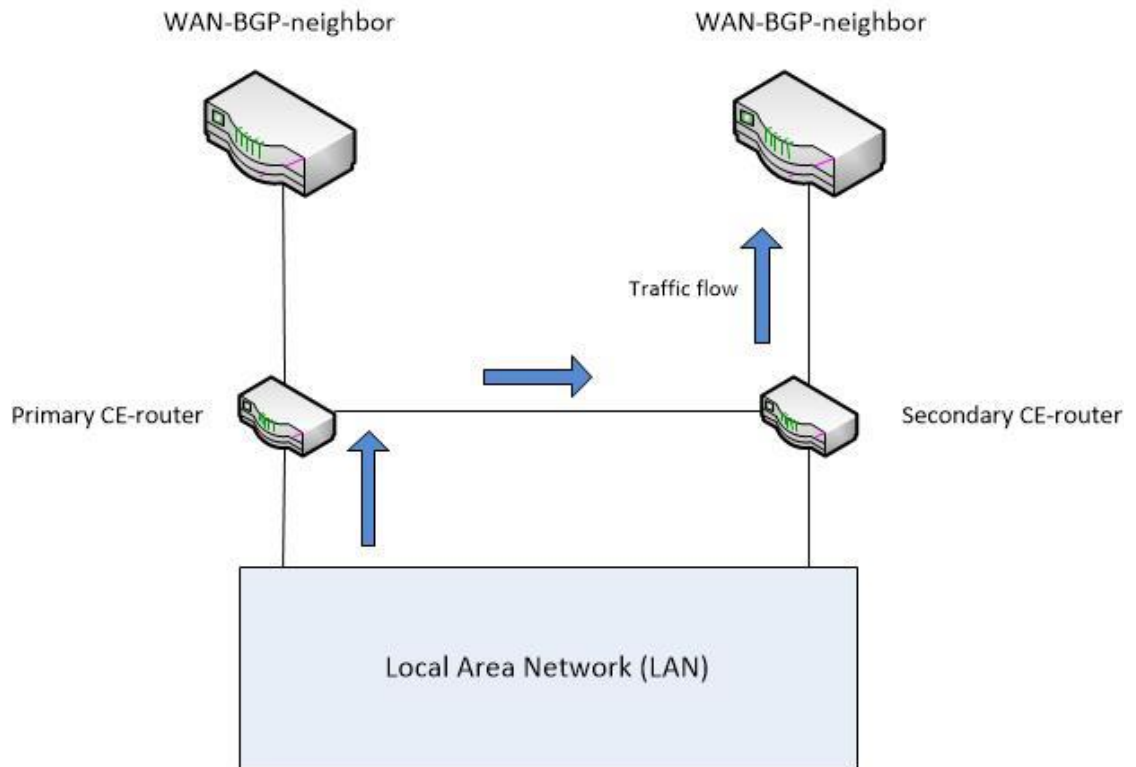
Scenario 2 – Router / link-failure state



Kuvio 11. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 2

Viimeisenä skenaariona on yhteyden katoaminen BGP-naapuriin, jolloin HSRP ei reagoi vikatilanteeseen millään tavalla, vaan liikenne ainoastaan reititetään uudelleen. Tällöin liikenteen virtaus on Kuvio 12 mukainen. Huomioitavaa tässä tilanteessa liikenteen virtauksen kannalta on se, että reitittimien välillä ei tarvitse olla toimivuuden kannalta omaa linkkiä, mutta se on suotavaa. Ilman omaa linkkiä L2-tason laitteet joutuvat käsittelemään liikenteen kahdesti, koska tällöin liikenne saapuisi pääreitittimelle, jonka jälkeen liikenne lähetettäisiin takaisin lähiverkkoon ja sitä kautta varareitittimelle.

Scenario 3 – BGP-neighbor error state



Kuvio 12. Reititys virhetilanteissa – Skenaario 3

3.5.3 Sisäverkon redundanttisuus

Pieni kokoisen datakeskuksen kannalta, kannattaa L2-tason redundanttisuutta läheteä toteuttamaan kytkinpinolla. Kytkinpinuille (eng. switch stack, stacked switches) ei ole tällä hetkellä universaalisesti standardoitua protokollaa, vaan laitevalmistajat käyttävät omia protokolliaan kytkinpinojen toteuttamiseksi. Esimerkiksi Juniper viittaa kytkinpinon protokollaan Virtual Chassis (VC) nimellä ja Cisco nimellä StackWise. Protokollat ovat toimintaperiaatteeltaan melko samanlaiset. Kytkimet kytketään toisiinsa halutulla kaapeloinnilla ja niistä muodostetaan loogisesti sama kytkin. Yksi kytkimistä toimii isännöitsijänä (eng. Master), joka toimii ns. aivoina kytkinpinolle. Pinot ei pysty toimimaan ilman isännöitsijää. Masterille on myös määriteltä varalla oleva kytkin, mikäli Primary Master kaatuu syystä tai toisesta. Tällöin saadaan taattua yhden Masterin läsnäolo virhetilanteissakin, ja kytkinpino pysyy redundanttisuudeltaan lähellä kahta erillisen kytkimen toteutusta. Yleisesti protokollat tukevat vähintään

neljän kytkimen pinoja. Juniperin tapauksessa, mikäli käyttää sarjaa EX3400 tai uudempaa, tuki ylittää jopa kymmeneen kytkimeen asti (Understanding EX Series Virtual Chassis Components. 2017). Ciscon tapauksessa, mikäli käytetään sarjaa Catalyst 3850, niin pystytään pinoamaan maksimissaan 9 kytkintä (Cisco Catalyst 3850 Series Switches FAQ. 2016).

Etuja kytkinpinossa kahden erillisen kytkimen toteutukseen nähden löytyy muutamia. Ensinnäkin, useaa kytkintä pystyy tällöin hallitsemaan yhden kytkimen kautta, joten kytkinten ylläpito on helpompaa. Toisena etuna ainakin pienen lähiverkon tapauksessa, jolloin tarvitaan vain yksi kytkinpino, on Spanning Tree protokollan (STP) tarpeen eliminoiminen. STP on yleisesti tunnettu vikatilanteiden aiheuttaja. STP-protokolla kuuluu kytkinten perusominaisuuksiin ja se on tarpeellinen kytkin ympäristöissä, joissa on useampi kytkin. Sen tarkoitus on eliminoida kytkentä loopit, joita syntyy käytännössä väkisin ympäristöihin, joihin halutaan redundanttisuutta. Spanning Tree protokollalle löytyy myös vaihtoehtoisia protokollia, kuten Extreme Networksin tekemä protokolla Ethernet Automatic Protection Switching (EAPS). Protokollan toimintavarmuus on paljon korkeampi kuin STP:lla. EAPS:in menetelmänä on luoda ringi-topologia looppien estämiseksi. Kyseistä menetelmää ei ole tällä hetkellä luotu universaaliksi standardiksi, joten sen käyttö on laitevalmistajien yhteensopivuusongelmien takia vähäistä.

Tapauksessa, jossa päätelaitteiden halutaan omistavan täysin kahdennettu tietoliikenneyhteys, tulee päätelaitteet kytkeä kahteen kytkimeen. Jos näin ei toimita, joudutaan kytkimen vikatilanteessa tekemään manuaalinen kaapelinvaihtaminen viallisesta kytkimestä toiseen. Tästä syystä palvelimien tulisi olla varustettu kahdella verkkokortilla ja sisäänrakennetuilla ”fail-over” ominaisuuksilla.

Fail-over ominaisuudella tarkoitetaan menettelytapaa, jossa virhetilanteen sattuessa ensisijainen verkkokortti poistetaan käytöstä automatisoidusti, ja kytketään varalla oleva verkkokortti päälle. Varalla oleva verkkokortti on konfiguroitu samalla IP-osoitteella kuin ensisijainenkin. Ethernet verkossa on hyvin vaikeaa saada palvelimia toimimaan logiikalla, jossa palvelimella on käytössä kaksi erillistä IP-osoitetta, joten

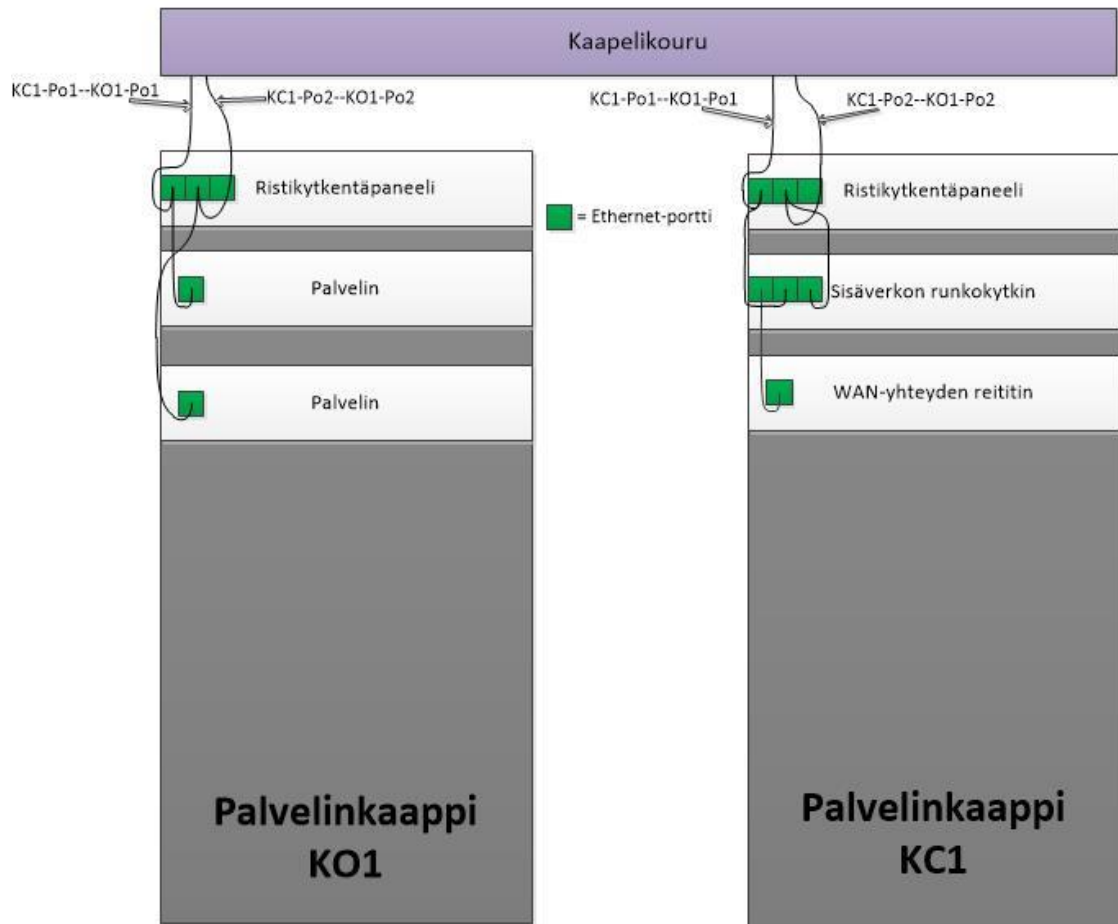
yksittäisen IP-osoitteen käyttäminen palvelimilla on suotavaa. (How multiple adapters on the same network are expected to behave. 2017.)

3.6 Kaapelointi

Ensimmäinen 10 Gbit/s nopeuksia tukeva Ethernet-kaapeli on Cat6A, joka on nykyinen suositeltu kaapeli uudisrakennuksille. Cat6A-kaapelia saa 300 metriä 190 € hinnalla. Kaapeli tulee kelassa, joten kaapeli täytyy jakaa haluttuihin pituuksiin leikkaamalla. Sisäverkon topologia tulee suunnitella siten, että kytkentöjen vaihtaminen on helppoa. Tällöin voidaan käyttää esimerkiksi topologiaa, joka on esitetty Kuvio 13.

Tapauskohtaisesti kuviosta poiketen voidaan myös asentaa jokaiselle palvelinkaapille oma kytkin, jolloin runkolaitteille tarvitsee kytkeä huomattavasti vähemmän kaapeleita. Esimerkiksi 10 palvelinta jotka kaikki tarvitsevat 1 Gbit/s suuruisen kaistan voidaan viedä yksittäistä 10 Gbit/s linkkiä pitkin runkokytkimelle.

Sisäverkon kaapelointi



Kuvio 13. Sisäverkon kaapelointi

Datakeskuksen sisäverkon runkolaitteet kannattaa sijoittaa samaan kaappiin. Tällöin runkoverkon vikatilanteessa on helppo tehdä muutoksia kytkentöihin, koska kaikki muutokset voidaan tehdä saman kaapin sisällä. Runkokytkimistä kaapelit menevät ristikytentäpaneelleille ja paneeleilta kaapelit nousevat kaappien päälle kaapelikouruihin, joiden avulla kaapelit viedään muille palvelinkaapeille ja räkeille. Kaapelikourussa kulkevat kaapelit menevät oletusarvoisesti aina ristikytentäpaneeliltä ristikytentään, joten niiden kaapelivedot eivät tarvitse Ethernet-liitäntää, vaan kyseiset kaapelit kytketään ristikytentäpaneelien taakse johto kerrallaan. Tällöin Cat-6A-kaapeli jonka sisällä on 8 johtoa edustavat aina yhtä porttia ristikytentäpaneelissa. On myös erittäin tärkeää nimetä kaapelit niiden päätepisteissä loogisella tavalla.

Kuvio 13 on esitetty merkitsemistapa, jonka lyhenteet purettaessa auki pystyy lukemaan seuraavasti: ”KaappiCore1, portti 1 → KaappiOma1, portti 1”.

Suuria määriä kaapeleita vedettäessä on paljon nopeampaa vetää ja kytkeä kaapelit, ja vasta tämän jälkeen tunnistaa kaapelit ”kaiuttamalla”. Kaiuttamisen perusteella voidaan tehdä kaapelimerkinnät kaapeleiden päihin. Kaiutus on menetelmä, joka perustuu signaalin tunnistukseen, mutta tätä menetelmää ei käsitellä tämän enempää tässä dokumentissa.

3.7 Palvelinkaapit, PDU ja ristikytkentäpaneelit

Jos datakeskukseen sallitaan pääsy myös ulkoisilta toimijoilta, tulee kaikki laitteet asentaa palvelinkaappeihin, jotta laitteet saadaan lukittujen ovien taakse. Jokaisessa palvelinkaapissa tulee myös olla vähintään yksi virranjakajapaneeli ja ristikytkentäpaneeli. Kyseiset laitteet on listattu Taulukko 8.

Taulukko 8. Palvelinkaappi, PDU ja ristikytkentäpaneeli

Tyyppi	Tuotenimi	Hinta	Myyjä
Palvelinkaappi	TS IT T1 RAL7035 WHD 600X2000X1000 42U	1 400.00 €	Rittal
Ristikytkentäpaneeli	Elite 10G 24 Port Cat6A 10Gigabit Patch Panel	130.00 €	LANshack
PDU	PDU international, basic version	250.00 €	Rittal

Rei'itettyjen palvelinkaappien hinnat vaihtelevat hintahaarukassa 800 € - 1400 €. Rittal valittiin, koska se on täysin modulaarinen kaappi. Tällöin voidaan olla varmoja, että se saadaan palvelemaan juuri sitä tarkoitusta kuin halutaan. Kaappien tulee olla rei'itetty valitun jäähdytysratkaisun vuoksi.

Palvelinkaappeja valittaessa, saattaa olla järkevää harkita esimerkiksi viiden kaapin ostamista tukkuna. Tällöin säästetään hinnassa, taataan kaappien yhteensopivuus ja saadaan yksi valmis räkkirivi, jonka avulla saadaan helpommin luotua kuuma- ja kylmäkäytävät. Tällöin tulee toki varmistaa, että tyhjät kaapit saadaan täytettyä esimerkiksi modulaarisesti asennettavilla seinämillä, jotta seinämästä saadaan kiinteä.

3.8 Kustannuksien yhteenveto

Osiassa 3.3.5 tehtyjen päätelmien perusteella valittiin datakeskuksen jäähdytysratkaisuksi kuluttajamalliset ilmalämpöpumput. Varateholähteeksi valittiin kahdennetun UPS-ratkaisun aggregaatin sijaan. Taulukko 9 on esitetty kyseisillä ratkaisuilla arvioitujen kokonaiskustannukset ensimmäiselle vuodelle.

Taulukko 9. Kustannukset

Kustannukset, 1. vuosi	kpl	Hinta	Yht. €
Edullisin käyttöönotto ratkaisu			
Tietoverkonlaitteet			
Cat6A, 300m	1	190.00 €	190.00 €
TS IT T1 RAL7035 WHD 600X2000X1000 42U	1	1 400.00 €	1 400.00 €
Elite 10G 24 Port Cat6A 10Gigabit Patch Panel	2	130.00 €	260.00 €
PDU international, basic version	2	250.00 €	500.00 €
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttaja ilmalämpöpumppu, 3 kW	2	2 500.00 €	5 000.00 €
Käyttökustannus vuosittain			
Energiakustannus 6,5 kW jäähdytykselle	1	2 400.00 €	2 400.00 €
Energiakustannus 6,5 kW IT-kuormalle	1	7 200.00 €	7 200.00 €
Varavoima			
Eaton 9155-10I-N UPS, 10000 VA, 288Ah	2	5 255.00 €	10 510.00 €
			27 460.00 €

Tämän lisäksi Taulukko 10 on listattuna arvioimatta jääneet kustannukset. Arvioimatta jääneitä ulkoisia kustannuksia kannattaa arvioida todennäköisesti tarjouspyyntöjen muodossa.

Taulukko 10. Arvioimatta jääneet kustannukset

Arvioimatta jääneet kustannukset
Ulkoiset kustannukset
Rakennustyöt
Sähkötyöt
Paloturvallisuustyöt (sprinkler, kaasu)
Ilmalämpöpumpun asennus
UPS huoltosopimus
Sisäiset kustannukset
Laitteiden asentaminen kaappeihin
Kaapelointi
Kylmä- ja kuumakäytävän erottelu

3.9 Kriittinen piste IT-kuorman suhteen

Ajatellaan oman datakeskuksen rakentamishankkeen ”break-even” -pistettä, eli kriittistä pistettä 6,5 kW kuorman lähtöpisteestä. Tarkoituksena on määrittää missä IT-kuorman määrässä on järkevää lähteä rakentamaan omaa datakeskusta, kun verrataan Co-location palveluihin.

Kyseisen pisteen määrittämiseksi joudutaan määrittelemään seuraavat asiat: Palvelinkaappien vuokra Co-location palvelun tarjoajalla, tuntemattomat kustannukset kuukausittain omalle datakeskukselle ja tuntemattomat rakennuskustannukset datakeskushankkeelle. Jäähdytysjärjestelmänä on käytetty pienkiinteistöjen ilmalämpöpumppuja arvoja laskettaessa.

Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:n palveluntarjoajan palvelinkaapin vuokra on 600 € kuukaudessa ja tähän lisätyt energiakustannukset n. 400 € kuukaudessa, joten yhteenlasketut kustannukset ovat 1000 € kuukaudessa. Verrataksemme oman datakeskuksen rakentamisen operatiivisia kustannuksia Co-location palveluihin nähden, joudumme arvioimaan kuukausittaiset tuntemattomat kustannukset omalle datakeskukselle. Arvioidaan, että tuntemattomat kustannukset ovat 400 € kuukausittain. Tämän lisäksi arvioimme, että tuntemattomat ulkoiset ja sisäiset rakennuskustannukset projektille ovat 15 000 €.

Datakeskus-hankkeita on tärkeää tarkkailla aina vähintään viiden vuoden aikajaksolla. Tästä johtuen edellä mainitut kustannukset esitetään sovitettuna viiden vuoden aikajaksolle. Palvelinkaappien vuokraan on lisätty arvioitu 2 %:n nousu hinnoissa. Arvot on esitetty Taulukko 11.

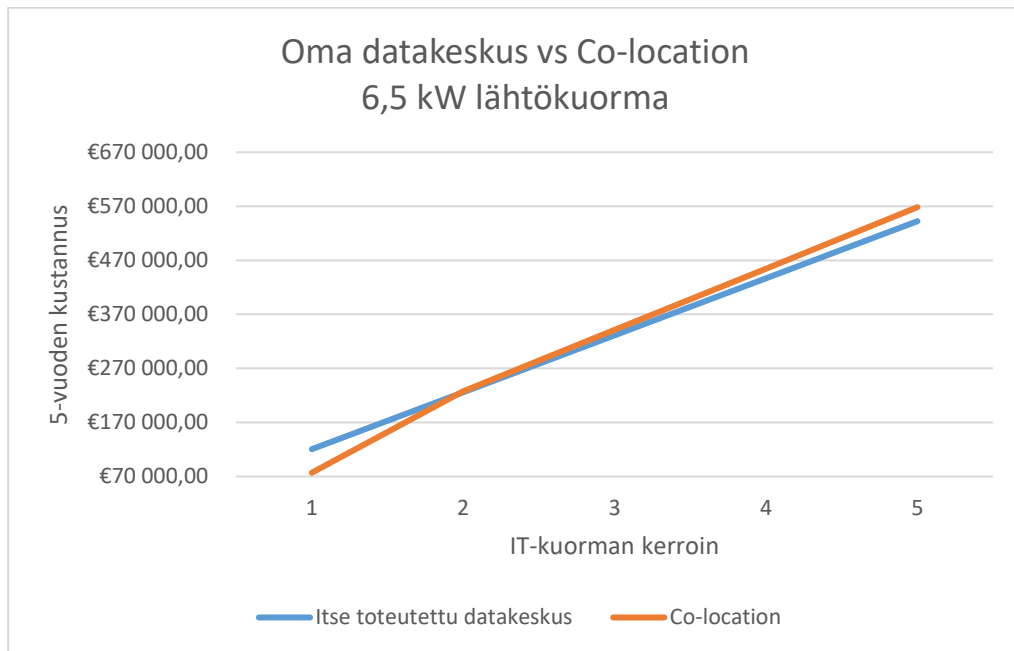
Taulukko 11. Kustannukset viiden vuoden aikajaksolla

Kustannukset viiden vuoden aikajaksolla	Kustannus
Tuntemattomat rakennuskustannukset	15 000.00 €
Palvelinkaappien vuokra 5 vuotta	36 720.00 €
Tuntemattomat kustannukset 5 vuotta	24 000.00 €

IT-kuorman ollessa 6,5 kW ja energiakustannusten noustessa 2 % vuosittain, itse toteutetun datakeskuksen energiakustannukset ovat 5 vuoden aikajaksolla 81 480 €. Itse toteutetun datakeskuksen energiakustannuksiin lisätään tuntemattomat rakennuskustannukset ja tuntemattomat kustannukset 5 vuoden aikana. Tästä saamme 6,5 kW kuorman kokonaiskustannukseksi 120 480 €.

Samoilla lähtöarvoilla tämän hetkisen Co-location palveluntarjoajan kustannukset ovat 76 950 €. IT-kuorman kertaistuessa tarvitaan aina yksi palvelinkaappi lisää, jolloin IT-kuorman kertaistuminen tarkoittaa aina yhden uuden palvelinkaapin vuokraamista, eli 36 720 € lisäkustannusta viiden vuoden aikajaksolla.

Edellä esitetyistä kustannuksista muodostetaan Kuvio 14, josta selviää IT-kuorman kasvamisen aiheuttamat kustannukset itse toteutetulle datakeskukselle ja Co-location palvelulle.



Kuvio 14. Oma datakeskus Vs. Co-location

Kuvio 14 tarkasteltaessa voidaan todeta, että käyrät leikkaavat n. 2 paikkeilla, joka tarkoittaa n. 13 kW IT-kuormaa. Tällöin tätä viiden vuoden aikajakso tarkasteltaessa voidaan todeta, että oman datakeskuksen rakentaminen olisi kannattavaa, jos IT-kuorma kaksinkertaistuisi. Tosin tästä tuloksesta on hyvä muistaa, että se saatiin muodostettua spekuloiduilla arvoilla. Kyseinen IT-kuorma ylittää myös luvussa 3.3.5 määritellyn raja-arvon IT-kuormalle, jolloin kannattaa vakavissaan tutkia vapaajäähdytteisiä tekniikoita.

4 Pohdinta

4.1 Työn tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä realistinen kustannusarvio projektista, jonka avulla pystyttäisiin tekemään päätös oman datakeskuksen rakentamisesta. Tähän tavoitteeseen ei täysin päästy, sillä kaikki rakentamiseen liittyvien kustannuksien arviointi tarvitsee osaamista mm. talotekniikan-insinöörin ja LVI-insinöörin alueelta. Näin jälkikäteen ajateltuna, työnaihe on lähimpänä talotekniikan aluetta. Sillä energiatehokkuudesta puhuttaessa suurin osa-alue, jossa ICT-insinööri pystyy vaikuttamaan, on palvelimien virtualisointi.

Tavoitteena oli myös tutkia energiatehokkuuteen panostamisen kannattavuutta taloudellista näkökulmasta. Näkisin, että onnistuimme tässä tavoitteessa riittävän hyvin tehdäksemme realistisen päätöksen jäähdytysratkaisusta Keski-Suomen Valokuituverkot Oy:lle yrityksen tämän hetkistä tilannetta ajatellen.

Työn edetessä ja tietämyksen kasvaessa aiheesta tuli jatkuvasti yhä selvemmäksi, että optimaalinen datakeskuksen toteutus on lähestulkoon mahdotonta suunnitella ilman laajamittaista kartoitusta datakeskuksen tulevaisuuden kapasiteetin tarpeesta. Tämän takia tilanteessa, jossa välitöntä kapasiteetin tarvetta ei juurikaan ole, eikä tulevaisuuden kapasiteetin tarpeesta ole tehty realistista kartoitusta, on järkevintä vuokrata tarvittu kapasiteetti toiselta yritykseltä. Vasta siinä vaiheessa, kun oman laitteiston kapasiteetin tarve on useita räkkeitä tai palvelinkaappeja, on ns. turvallista lähteä datakeskuksen rakennushankkeeseen. Sillä tällöin voidaan olla varmoja, ettei investointi mene hukkaan. Poikkeuksena tapaus, jossa on saatu tehtyä realistinen kysyntäkartoitus asiakkailta, jotka mahdollisesti haluaisivat vuokrata datakeskus tilansa datakeskuksen rakentajan tiloista. Kysyntäkartoituksen avulla saataisiin tehtyä tarkemmat arviot todellisesta tarpeesta.

Edellinen väitös voidaan perustella sillä, että konesalin kapasiteettiä vuokraavaa yritys veloittaa n. 1000 € kuussa tämän hetkisestä kapasiteetin tarpeesta, joka KSVV Oy:llä on. Kyseistä kustannusta verratessa toteutuskustannuksiin,

ylläpitokustannuksiin ja lisääntyneisiin riskeihin, voidaan todeta, ettei oman datakeskuksen rakentaminen ole kannattavaa tämän hetkiselällä IT-kuormalla.

Luvussa 3.9 laskettu kriittinen piste on mielenkiintoinen siinä mielessä, että kyseisessä IT-kuormassa tulee tehdä perusteellinen taustatutkimus vapaajäähdytteisistä ratkaisuisista. Kriittinen piste kuitenkin laskettiin pienkiinteistöjen ilmalämpöpumppuratkaisun arvoilla. Mikäli kuitenkin olettaisimme IT-kuorman nousevan kriittiseen pisteeseen eli 13 kW viiden vuoden aikajaksolla, olisi epätodennäköisestä, että datakeskus toteutettaisiin pienkiinteistöjen ilmalämpöpumpuilla. Näin ollen voidaan todeta, että tutkimista jäi vielä runsaasti suorittamatta.

4.2 Tuloksien luotettavuus

Vapaajäähdytteisen järjestelmän energiatehokkuutta arvioidessani jouduin tekemään olettamuksia, jotka saattavat todellisessa tilanteessa vääristyä huomattavasti. Vapaajäähdytteiset järjestelmät ovat monimutkaisia järjestelmiä, joiden syvempi ymmärtäminen vaatii runsaasti enemmän perehtymistä. Paremmalla tietämyksellä järjestelmistä voitaisiin tehdä realistinen arvio vapaajäähdytteisen järjestelmän energiatehokkuudesta. Työssä on oletettu, että järjestelmä pystyisi jäähdyttämään jokaisena vuodenaikana tehokkaasti vapaajäähdytystä hyväksikäyttäen. Tämä on kuitenkin todennäköisesti toiveajattelua. Muiden vertailtujen jäähdytysmenetelmien tapauksessa lukujen tulisi pitää paikkansa, sillä kompressorin käyttämä energia on tasaista.

Kaikki työn energiakulutuserviot on tehty käyttäen virtalähteiden tehonkulutuksen keskiarvoa. Tätä metodia kannattaa käyttää ainoastaan tapauksessa, kun tarkempaa dataa ei ole saatavilla. Huimasti paremmat arviot saataisiin tehtyä jo siten, että katsottaisiin sähkölaskusta, kuinka paljon tämän hetkinen IT-laitteisto käyttää energiaa kuukausittain. Tämän lisäksi kriittistä kuormaa arvioidessa luvussa 3.9 on otettu huomioon vain Co-location palveluntarjoajan palvelinkaappien vuokra. Todellisuudessa on melko yleistä, että Co-location palveluntarjoajat veloittavat energian käytön IT-laitteiston virtalähteiden koon perusteella, eikä IT-laitteiston tarkan energiakulutuksen suhteen. Tästä syystä optimoimattomien palvelimien tapauksessa, jolloin

palvelimien käyttöaste saattaa olla hyvinkin matala, energiasta voidaan maksaa reilustikin ylihintaa.

Energiakulutuksen suhteen työssä ei ole myöskään lisätty energiahävikkejä, jota tapahtuu käytännössä jokaisessa laitteen komponentissa riippuen niiden laadusta. Mikäli tapahtuvasta energiahäviöstä tulisi tehdä kankea arvio, laskettuihin energiakulutuksiin tulisi lisätä 15-20 %:a. Luku perustuu siihen, että UPS-laitteet joidenka läpi kaikki virta toteutuksessaamme menisi, toimivat keskimääräisesti 90 %:n energiatehokkuudella. Tähän lisättäessä kaikkien muidenkin komponenttien energiahäviöt, luku todennäköisesti asettuisi 15-20 %:n paikkeille.

4.3 Jatkotutkimukset energiatehokkuuden kannattavuudesta

Datakeskuksien energiatehokkuuden kehittäminen on erittäin polttava aihe tämän työn kirjoitushetkellä. Energiakustannuksien hinta voi nousta huomattavasti lähitulevaisuudessa ilmastonlämpenemisen ja fossiilisten polttoaineiden ehtymisen takia. Tämän takia päätökset, joita tehdään tänä päivänä energiatehokkuuksien suhteen voivat tulla hyvinkin kalliiksi, tai vaihtoehtoisesti pelastaviksi tekijöiksi tulevaisuudessa.

Työssä jäi käymättä läpi tyystin räkkikohtaiset jäähdytysmenetelmät, jotka ovat nykyään myös yleisiä ratkaisuja. Yhtenä aiheena jota voisi myös tutkia, on se energiakulutuksen piste, jossa vesijäähdytteiset ratkaisut muuttuvat taloudellisimmaksi ratkaisuksi viiden vuoden aikajaksolla. Näiden lisäksi jäi tyystin tutkimatta, kuinka datakeskuksen hukkaenergiaa pystyisi hyödyntämään pienempi kokoisessa datakeskuksessa.

Varavirtaa ajatellen olisi mielenkiintoista tietää, pystyykö "Fuel Cell" teknologiaa hyödyntämään nykypäivänä, vai onko se edelleen liian kallista. Varavoimasta on muutoinkin tehty innovatiivisia ratkaisuja lähivuosina, joista ensimmäisenä tulee mieleen Facebookin varavoiman toteutus. Nämä uudet menetelmät useasti pyrkivät toteuttamaan varavoiman tukeutumatta UPS-laitteistoon. Tulisi siis tutkia, että onko mahdollista ja taloudellisesti kannattavaa toteuttaa näitä uusia menetelmiä myös pienikokoisiin datakeskuksiin.

Lähteet

- Anixter Standards Reference Guide. 2017. Pathway Separation from EMI Sources Separation Between Telecommunications and Power Cables. Viitattu 18.12.2017 <https://www.anixter.com/content/dam/anixter/resources/guide/anixter-standard-reference-guide-en.pdf>
- Barielle, S. 2011. Calculating TCO for Energy, IBM Systems Magazine - nettijulkaisu. Viitattu 12.3.2018. http://ibmsystemsmag.com/mainframe/business-strategy/roi/energy_estimating/
- Bonneville, D. & Pekelnicky, R. 2015. Data Center Handbook – 13. Structural Design in Data Centers: Natural Disaster Resilience. WILEY.
- Chheda, R., Shookowsky, D., Stefanovich, S., Toscano, J. 2009. Profiling Energy Usage for Efficient Consumption, Microsoft library. Viitattu 12.3.2018 <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd393312.aspx>
- Cisco Catalyst 3850 Series Switches FAQ. 2016. Cisco. Viitattu 11.1.2018. https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-3850-series-switches/qa_c67-722110.html
- Cole, B. Li, D. Li, T., & Morton, P. 1998. Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP) – RFC2281. The Internet Society. Viitattu 9.1.2018. <https://www.ietf.org/rfc/rfc2281.txt>
- Daikin Pricelist VRV. 2017. Daikin Pricelist 2017-2018, VRV-sarjalle. Viitattu 2.3.2018. http://www.dampier.sk/File/daikin/Dakin_cennik_VRV_2017_2018.pdf
- Donohue, S. 2015. Data Center Handbook – 12. Fire Protection and Life Safety Design in Data Centers. WILEY.
- EEPF Label Type Page. 2011. European Commission. Viitattu 26.3.2018. <https://ec.europa.eu/energy/eepf-labels/label-type/air-conditioners>
- Energiatehokas konesali. N.d. Motiva. Viitattu 25.1.2018. https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf
- FXFQ-P9. 2012. Recairin tuotekuvasto, ilmastointitekniikka. Viitattu 2.3.2018. <http://www.e-julkaisu.fi/recair/ilmastointitekniikka/2012/?goto=10>
- Geng, H. 2015. Data Center Handbook – 1.1.3 Energy Consumption Trends. WILEY.
- Hares, S., Li, T., Rekhter, Y. 2006. A Border Gateway Protocol 4 – RFC 4271, Network Working Group. Viitattu 7.2.2017. <https://tools.ietf.org/html/rfc4271>
- How multiple adapters on the same network are expected to behave. 2017. Microsoft Support. Viitattu 11.1.2018. <https://support.microsoft.com/en-us/help/175767/how-multiple-adapters-on-the-same-network-are-expected-to-behave>
- Keski-Suomen Valokuituverkot Oy. N.d. Viitattu 11.4.2018. <https://ksvv.fi/ksvv-oy/>

Kosik, W. 2015. Data Center Handbook – 2. Energy and Sustainability in Data Centers. WILEY.

Kärkkäinen, 2018. Kärkkäisen verkkokauppa. Viitattu 9.3.2018.
<https://www.karkkainen.com/verkkokauppa/eaton-9155-10i-n-ups>

Loeffler, C. & Spears, E. 2015. Data Center Handbook – 27. Uninterruptible Power Supply System. Viitattu 27.3.2018.

McPherson, D., Sangli, S., White, R. 2004. Introduction to the Border Gateway Patrol. Viitattu 5.1.2018.
<http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=331613&seqNum=2>

Mitchell, J. 2013. RFC6996 – Autonomous System (AS) Reservation for Private Use, IETF. Viitattu 5.1.2018. <https://tools.ietf.org/html/rfc6996>

Moody, H. 2015. Data Center Handbook – 24. Hot Aisle versus Cold Aisle Containment. WILEY.

Piispanen, J. 2016. BGP – WAN-tekniikka kurssi, Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Piispanen, J. 2016. Verkkoprotokollat-kurssi. Jyväskylän ammattikorkeakoulun kurssimateriaali, Yhteystilaprotokollat.

Sorel, V. 2015. Data Center Handbook – 23. Raised Floor versus Overhead Cooling in Data Centers. WILEY.

Spurgeon, E. & Zimmerman, J. N.d. Ethernet Switches. Viitattu 9.1.2018.
<https://www.safaribooksonline.com/library/view/ethernet-switches/9781449367299/ch01.html>

Stulz vakioilmastointikoneet. N.d. Cyber Air II. Viitattu 2.3.2018.
http://www.recair.fi/pdf/tuote-esitteet/Stulz-vakioilmastointikoneet/stulz_cyber_air2_149-154.pdf

SWI Venture LLC. 2015. Average Power Use Per Server, nettijulkaisu. Viitattu 12.3.2018. <http://www.vertatique.com/average-power-use-server>

Sähkön hintavertailu. 2018. Energiaviraston hintatilastot työkalu. Viitattu 25.3.2018.
<https://www.sahkonhinta.fi/summariesandgraphs>

Understanding EX Series Virtual Chassis Components. 2017. Juniper Networks, TechLibrary. Viitattu 11.1.2018.
https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos/topics/concept/virtual-chassis-ex4200-components.html

Ururu Sarara Heat pump. N.d. Daikin Ururu Sarara RXR-E, Technical Data. Viitattu 26.3.2018. https://planetaklimata.com.ua/instr/Daikin/Daikin_RXR-E_Ururu_Sarara_Technical_Data_Eng.pdf

Viestintävirasto. 54B/2014. Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista. Viitattu 30.1.2018.
<https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54B2014M.pdf>

VRV IV heat pump. N.d. Daikin Europe, Air Conditioning Technical Data for VRV IV heat pump. Viitattu 22.2.2018. <http://www.recair.fi/pdf/tuote-esitteet/Daikin-VRV-III-jaahdytysjarjestelmat/tekniset-tiedot-RXYQ-T.pdf>

Weale, J. 2015. Data Center Handbook – 10. Mechanical Design in Data Centers. WILEY.

Liiteet

Liite 1. Anixter Standards Reference Guide, Sivu 75 - Taulukko 45. (Anixter Standards Reference Guide. 2017.)

Power circuit type (sinusoidal)	Number of radial power circuits	Minimum recommended separation, mm (in.) ¹				
		E1 (EFT/B = 500 V)		E2 (EFT/B = 500 V), E3 (EFT/B = 1,000 V)		
		Unscreened power cables	Armored or screened power cables ²	Unscreened power cables		Armored or screened power cables ²
				Unshielded cables	Shielded cables	
120/230 VAC, 20 A 1-phase	1	0 (0)	0 (0)	50 (2)	1 (0.04) ³	0 (0)
	2	0 (0)	0 (0)	50 (2)	5 (0.2) ³	2.5 (0.1)
	3	0 (0)	0 (0)	50 (2)	10 (0.4) ³	5 (0.2)
	4	0 (0)	0 (0)	50 (2)	12 (0.5) ³	6 (0.2)
	5-15	0 (0) ³	0 (0)	50 (2)	50 (2)	25 (1)
	16-30	100 (4)	50 (2)	100 (4)	100 (4)	50 (2)
	31-60	200 (8)	100 (4)	200 (8)	200 (8)	100 (4)
	61-90	300 (12)	150 (6)	300 (12)	300 (12)	150 (6)
	≥ 91	600 (24)	300 (12)	600 (24)	600 (24)	300 (12)
120/230 VAC, 32 A 1-phase	1	10 (0.4) ³	5 (0.2)	50 (2)	10 (0.4) ³	5 (0.2)
	2	20 (0.8) ³	10 (0.4)	50 (2)	20 (0.8) ³	10 (0.4)
	3	30 (1) ³	15 (0.6)	50 (2)	30 (1) ³	15 (0.6)
	4-5	50 (2)	25 (1)	50 (2)	50 (2)	25 (1)
	6-9	100 (4)	50 (2)	100 (4)	100 (4)	50 (2)
	10-19	200 (8)	100 (4)	200 (8)	200 (8)	100 (4)
	20-28	300 (12)	150 (6)	300 (12)	300 (12)	150 (6)
	≥ 29	600 (24)	300 (12)	600 (24)	600 (24)	300 (12)
120/230 VAC, 63 A 1-phase	1	50 (2)	25 (1)	50 (2)	50 (2)	25 (1)
	2-3	100 (4)	50 (2)	100 (4)	100 (4)	50 (2)
	4-8	200 (8)	100 (4)	200 (8)	200 (8)	100 (4)
	9-14	300 (12)	150 (6)	300 (12)	300 (12)	150 (6)
	≥ 15	600 (24)	300 (12)	600 (24)	600 (24)	300 (12)
120/230 VAC, 100 A 1-phase	1	100 (4)	50 (2)	100 (4)	100 (4)	50 (2)
	2	200 (8)	100 (4)	200 (8)	200 (8)	100 (4)
	3	300 (12)	150 (6)	300 (12)	300 (12)	150 (6)
	≥ 4	600 (24)	300 (12)	600 (24)	600 (24)	300 (12)
480 VAC, 100 A 3-phase	1	300 (12)	300 (12)	300 (12)	300 (12)	300 (12)
	≥ 2	600 (24)	600 (24)	600 (24)	600 (24)	600 (24)

Liite 2. RXYQ-T Outdoor Unit – Cooling Capacity (VRV IV heat pump. N.d.)

DAIKIN • Outdoor Unit • VRV IV heat pump • RXYQ-T

5 Capacity tables

5 - 4 Cooling capacity tables VRT

RXYQ12T

TC: Total capacity (kW); PI: Power Input (kW) (Comp. + Outdoor fan motor)

VRT / Automatic mode
Indoor air temp. °CWB

Combination (%) (Capacity index)	Outdoor air temp. (°CDB)	14.0		16.0		18.0		19.0		20.0		22.0		24.0	
		TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI
		KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW	KW
90%	10	10.6	1.49	10.4	1.19	6.45	0.699	9.10	0.839	12.0	1.01	17.3	1.35	22.9	1.77
	12	10.6	1.51	10.4	1.21	6.45	0.704	9.10	0.847	12.0	1.02	17.3	1.37	22.9	1.80
	14	10.6	1.52	10.4	1.22	6.45	0.710	9.10	0.855	12.0	1.03	17.3	1.39	22.9	1.83
	16	10.6	1.54	10.4	1.24	6.45	0.715	9.10	0.864	12.0	1.04	17.3	1.41	22.9	1.86
	18	10.6	1.56	10.4	1.25	6.45	0.721	9.10	0.874	12.0	1.06	17.3	1.43	22.9	1.89
	20	10.6	1.58	10.4	1.26	6.45	0.727	9.10	0.883	12.0	1.07	17.3	1.46	22.9	1.92
	21	10.6	1.59	10.4	1.27	6.45	0.731	9.10	0.888	12.0	1.08	17.3	1.47	22.9	1.94
	23	10.6	1.61	10.4	1.29	9.44	1.09	12.1	1.30	14.9	1.55	20.1	2.06	25.6	2.72
	25	10.6	1.63	10.8	1.39	12.5	1.55	15.1	1.82	17.8	2.14	23.0	2.90	28.3	3.78
	27	10.6	1.65	12.3	1.74	15.5	2.19	18.1	2.58	20.7	3.01	25.9	3.98	31.0	5.08
	29	10.9	1.80	14.2	2.29	18.6	3.06	21.1	3.55	23.7	4.09	28.7	5.29	33.7	6.62
	31	12.7	2.32	16.6	3.04	21.7	4.14	24.1	4.74	26.6	5.39	31.6	6.83	35.1	7.90
	33	15.3	3.05	19.6	4.04	24.7	5.42	27.1	6.14	29.5	6.90	34.2	8.50	35.1	8.58
	35	16.5	4.10	23.2	5.40	27.8	6.90	30.1	7.71	32.5	8.58	34.2	9.05	35.0	9.14
	37	18.5	4.34	23.2	5.73	27.8	7.33	30.1	8.21	32.5	9.14	33.6	9.37	34.5	9.46
39	18.5	4.60	23.2	6.08	27.8	7.79	30.1	8.73	32.2	9.60	33.1	9.69	34.0	9.79	
80%	10	9.43	1.38	9.28	1.11	5.73	0.664	8.08	0.784	10.6	0.927	15.3	1.22	20.4	1.57
	12	9.43	1.40	9.28	1.12	5.73	0.668	8.08	0.791	10.6	0.937	15.3	1.24	20.4	1.60
	14	9.43	1.41	9.28	1.13	5.73	0.673	8.08	0.798	10.6	0.947	15.3	1.25	20.4	1.62
	16	9.43	1.43	9.28	1.14	5.73	0.678	8.08	0.806	10.6	0.958	15.3	1.27	20.4	1.65
	18	9.43	1.44	9.28	1.16	5.73	0.683	8.08	0.814	10.6	0.970	15.3	1.29	20.4	1.68
	20	9.43	1.46	9.28	1.17	5.73	0.688	8.08	0.822	10.6	0.981	15.3	1.31	20.4	1.71
	21	9.43	1.47	9.28	1.17	5.73	0.691	8.08	0.826	10.6	0.988	15.3	1.32	20.4	1.72
	23	9.43	1.48	9.28	1.19	8.39	1.01	10.7	1.19	13.2	1.40	17.9	1.83	22.8	2.35
	25	9.43	1.50	9.62	1.28	11.1	1.42	13.4	1.65	15.8	1.90	20.4	2.51	25.2	3.24
	27	9.43	1.52	10.9	1.58	13.8	1.94	16.1	2.27	18.4	2.63	23.0	3.42	27.6	4.33
	29	9.69	1.64	12.6	2.05	16.5	2.68	18.8	3.09	21.0	3.54	25.5	4.52	30.0	5.61
	31	11.3	2.08	14.8	2.68	19.3	3.59	21.5	4.09	23.7	4.62	28.1	5.79	32.4	7.07
	33	13.6	2.71	17.4	3.53	22.0	4.66	24.1	5.24	26.3	5.87	30.5	7.23	34.3	8.51
	35	16.5	3.59	20.6	4.66	24.7	5.88	26.8	6.55	28.9	7.25	33.0	8.78	34.2	9.05
	37	16.5	3.79	20.6	4.94	24.7	6.24	26.8	6.96	28.9	7.72	32.9	9.29	33.6	9.37
39	16.5	4.01	20.6	5.23	24.7	6.63	26.8	7.39	28.9	8.20	32.3	9.61	33.1	9.69	

Liite 3. RXYQ-T Outdoor Unit – Heating Capacity (VRV IV heat pump. N.d.)

DAIKIN • Outdoor Unit • VRV IV heat pump • RXYQ-T

5 Capacity tables

5 - 5 Heating Capacity Tables

RXYQ12T

TC: Total capacity (kW); PI: Power Input (kW) (Comp. + Outdoor fan motor)

		T _c = 46°C															
		Indoor air temp. °CDB															
Combination (%) (Capacity index)	Outdoor air temp. (°CDB) (°CWB)	16.0		18.0		20.0		21.0		22.0		24.0					
		TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI				
90%	-19.8	-20.0	21.1	6.82	21.0	7.20	21.0	7.58	20.9	7.77	20.9	7.98	20.8	8.34			
	-18.8	-19.0	21.5	6.93	21.4	7.30	21.3	7.67	21.3	7.86	21.2	8.05	21.2	8.42			
	-16.7	-17.0	22.3	7.14	22.2	7.50	22.1	7.86	22.1	8.04	22.1	8.22	22.0	8.58			
	-13.7	-15.0	23.2	7.37	23.1	7.71	23.0	8.06	23.0	8.23	23.0	8.40	22.9	8.74			
	-11.8	-13.0	24.2	7.60	24.1	7.93	24.1	8.25	24.0	8.42	24.0	8.58	23.9	8.91			
	-9.8	-11.0	25.3	7.83	25.3	8.14	25.2	8.45	25.2	8.61	25.1	8.77	25.0	9.08			
	-9.5	-10.0	25.9	7.94	25.9	8.25	25.8	8.55	25.8	8.71	25.7	8.86	25.6	9.17			
	-8.5	-9.1	26.5	8.04	26.4	8.34	26.3	8.64	26.3	8.79	26.3	8.94	26.2	9.24			
	-7.0	-7.6	27.5	8.21	27.4	8.50	27.3	8.79	27.3	8.93	27.3	9.08	27.2	9.37			
	-5.0	-5.6	28.9	8.43	28.8	8.71	28.7	8.98	28.7	9.12	28.7	9.25	28.6	9.51			
	-3.0	-3.7	30.3	8.63	30.2	8.89	30.1	9.16	30.1	9.29	30.1	9.42	28.6	9.86			
	0.0	-0.7	32.7	8.94	32.7	9.18	32.6	9.42	32.5	9.50	31.2	9.04	28.6	8.16			
	3.0	2.2	35.3	9.21	35.2	9.44	33.8	9.07	32.5	8.65	31.2	8.25	28.6	7.46			
	5.0	4.1	37.1	9.38	36.3	9.32	33.8	8.53	32.5	8.15	31.2	7.77	28.6	7.04			
	7.0	6.0	38.9	9.52	36.3	8.77	33.8	8.04	32.5	7.68	31.2	7.33	28.6	6.64			
	9.0	7.9	38.9	8.96	36.3	8.26	33.8	7.58	32.5	7.24	31.2	6.92	28.6	6.28			
11.0	9.8	38.9	8.44	36.3	7.79	33.8	7.15	32.5	6.84	31.2	6.54	28.6	5.94				
13.0	11.8	38.9	7.93	36.3	7.33	33.8	6.74	32.5	6.45	31.2	6.17	28.6	5.61				
15.0	13.7	38.9	7.49	36.3	6.92	33.8	6.38	32.5	6.11	31.2	5.84	28.6	5.32				
80%	-19.8	-20.0	21.0	7.46	20.9	7.79	20.9	8.13	20.8	8.30	20.8	8.47	20.7	8.81			
	-18.8	-19.0	21.3	7.55	21.3	7.88	21.2	8.21	21.2	8.38	21.2	8.54	21.1	8.87			
	-16.7	-17.0	22.2	7.74	22.1	8.06	22.0	8.38	22.0	8.54	22.0	8.70	21.9	9.02			
	-13.7	-15.0	23.1	7.94	23.0	8.25	22.9	8.55	22.9	8.71	22.9	8.86	22.8	9.16			
	-11.8	-13.0	24.1	8.15	24.0	8.44	24.0	8.73	23.9	8.88	23.9	9.02	23.8	9.31			
	-9.8	-11.0	25.2	8.35	25.1	8.63	25.1	8.91	25.1	9.05	25.0	9.19	25.0	9.47			
	-9.5	-10.0	25.8	8.45	25.7	8.72	25.7	9.00	25.7	9.13	25.6	9.27	25.4	9.44			
	-8.5	-9.1	26.4	8.54	26.3	8.81	26.2	9.08	26.2	9.21	26.2	9.34	25.4	9.19			
	-7.0	-7.6	27.4	8.69	27.3	8.95	27.2	9.21	27.2	9.33	27.2	9.46	25.4	8.79			
	-5.0	-5.6	28.8	8.89	28.7	9.13	28.6	9.38	28.6	9.50	27.7	9.17	25.4	8.27			
	-3.0	-3.7	30.2	9.07	30.1	9.30	30.0	9.51	28.8	9.07	27.7	8.64	25.4	7.81			
	0.0	-0.7	32.6	9.34	32.3	9.44	30.0	8.64	28.8	8.26	27.7	7.87	25.4	7.12			
	3.0	2.2	34.6	9.34	32.3	8.61	30.0	7.89	28.8	7.54	27.7	7.20	25.4	6.53			
	5.0	4.1	34.6	8.79	32.3	8.11	30.0	7.44	28.8	7.12	27.7	6.80	25.4	6.17			
	7.0	6.0	34.6	8.28	32.3	7.64	30.0	7.02	28.8	6.72	27.7	6.42	25.4	5.84			
	9.0	7.9	34.6	7.80	32.3	7.21	30.0	6.63	28.8	6.35	27.7	6.07	25.4	5.53			
11.0	9.8	34.6	7.36	32.3	6.81	30.0	6.27	28.8	6.01	27.7	5.75	25.4	5.24				
13.0	11.8	34.6	6.93	32.3	6.42	30.0	5.92	28.8	5.67	27.7	5.43	25.4	4.96				
15.0	13.7	34.6	6.56	32.3	6.08	30.0	5.61	28.8	5.38	27.7	5.15	25.4	4.71				