



Niklas Svahn

# Datacenterin järjestelmien toimivuuden varmistaminen

Uptime Instituten Tier -luokituksen mukaisesti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto -ja viestintätekniikka

Opinnäytetyö

11.04.2022

## Tiivistelmä

Tekijä(t): Niklas Svahn  
Otsikko: Datacenterin järjestelmien toimivuuden varmistaminen  
Sivumäärä: 45 sivua + 1 liite  
Aika: 11.04.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Tieto -ja viestintätekniikka  
Suuntautumisvaihtoehto: Tietoliikennetekniikka  
Ohjaaja(t): Timo Puroviita, Yksikönpäällikkö, Ramboll Oy

---

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ramboll Finland Oy:lle. Tarkoituksena oli kartoittaa, miten datacenterin (datakeskuksen) järjestelmien toimivuutta varmistetaan nykyisin ja miten voitaisiin rakentaa niihin tarkemmin kohdistuva toimivuuden arviointimenettely vastaan- ja käyttöönottovaiheessa.

Datakeskusten lukumäärä tulee seuraavina vuosina kasvamaan merkittävästi lisääntyneen tietoliikennemäärän takia. Suomessa on oivalliset mahdollisuudet toteuttaa energiatehokkaita hankkeita vakaassa toimintaympäristössä.

Tämä opinnäytetyö perustuu erilaisiin julkaisuihin, asiakirjoihin ja haastatteluihin, joissa esitellään datacentereissä käytettäviä järjestelmiä, datacentereiden sijoittumiseen vaikuttavia tekijöitä ja tarvittavaa infrastruktuuria. Lisäksi on selvitetty järjestelmien toimivuuden varmistamisessa huomioitavia seikkoja sekä selvitetty ToVa-prosessia datakeskusympäristössä. Näitä kaikkia tietolähteitä on yhdistelty kokonaiskuvan saamiseksi toimivuuden varmistusmenettelyn edellytyksistä datakeskus hankkeissa.

Avainsanat: Datacenter, datakeskus, konesali, toimivuuden varmistus, ToVa

## Abstract

Author(s):	Niklas Svahn
Title:	Commissioning of Data Center Systems
Number of Pages:	45 pages + 1 appendix
Date:	11 April 2022
Degree:	Bachelor of Science
Degree Programme:	Information and Communication Technology
Specialisation option:	Information and Communication Technology (ICTs)
Instructor(s):	Timo Puroviita, Head of Department, Ramboll Oy

---

This thesis was done for Ramboll Finland Oy. The purpose was to study how systems of Data Centers (DC) are commissioned today and what are possibilities and needs to build more accurate commissioning method in examination procedure of approval.

The number of DCs is growing significantly in future years due to vast grow of information technology and telecommunication services. In Finland we are able to carry out energy efficiency DCs in steady political and geographical environment.

This thesis is based on various publications, interviews and documents in which different parties report on systems used in Data Centers, facts that have influence when making decision of site location and infrastructure that is needed. In addition, it was found out facts to be considered when commissioning Data Center systems. All these sources of information have been combined to provide a picture of preconditions to commissioning processes in DC investments.

Keywords: Data Center, datahall, commissioning

## Sisällys

1	Johdanto	6
2	Datacenterit	7
2.1	Määritelmä	7
2.2	Luokitusjärjestelmät	7
2.3	Sijainti ja infrastruktuuri	10
2.3.1	Maantieteellinen sijainti ja ilmasto	10
2.3.2	Yhteiskunnan vakaus ja turvallisuus	11
2.3.3	Ammattitaitoisen henkilöstön saanti	12
2.3.4	Sähkön ja muun energian hinta	12
2.3.5	Sähkön ja muiden hyödykkeiden jakelun sekä tuotannon varmuus	13
2.3.6	Tietoliikenneyhteydet ja niiden etäisyydet asiakkaisiin	13
2.4	Datakeskuksen rakenne ja layout	14
3	Palvelintyypit ja ohjelmistot	19
3.1	Datakeskuksissa käytettäviä palvelintyyppejä	19
3.2	Palvelimien käyttöjärjestelmät	20
3.3	Virtuaalijärjestelmät	20
4	Tietoturva	20
4.1	Tietoverkon tietoturva	21
4.2	Laitteiden varmuuskopiointi	22
4.3	Dokumenttien tietoturva	22
5	Olosuhdehallinta ja energiatehokkuus	23
5.1	Tavoitearvot ja olosuhdehallinta	23
5.2	Energiatehokkuusvaatimukset	24
5.2.1	PUE-luku	24
5.2.2	NPUE-luku ja ERE	25
5.2.3	Vaatimukset Suomessa	25
5.3	Kestävä kehitys ja hiilijalanjälki	26
6	Toimivuuden varmistus datacenterin järjestelmissä	27
6.1	Toimivuuden varmistuksen perusteet	27

6.2	LVI-tekniset järjestelmät	29
6.3	Sähkötekniset järjestelmät	31
6.4	Varavoimajärjestelmät	33
6.5	Tietoturvajärjestelmät	35
6.6	Rakennusautomaatiojärjestelmät	36
6.7	Muut järjestelmät	37
6.8	Toimintakokeet, vastaan- ja käyttöönotto	38
7	Toimivuuden varmistus toteutuneissa kohteissa	42
7.1	Case 5 MW maan alla	42
7.2	Case 20 MW maan päällä	42
8	Yhteenveto	43

Lähteet

Liitteet

ToVa-prosessin tehtävät ja vastuuhenkilöt

# 1 Johdanto

Insinööritöni tarkoituksena oli selvittää, miten toiminnanvarmistus-prosessi voitaisiin ulottaa datakeskuksiin ja mikä on nykykäsitys vastaan- ja käyttöönottovaikkeen prosesseista.

Insinööritö käsittelee datakeskusjärjestelmiä keskittyen kokoluokassaan suunniteltuihin yli yhden IT-megawatin keskuksiin. Koska jäähdytyksen ja varavoimajärjestelmien merkitys on suuri datakeskuksen toiminnan varmistamisessa, on pääpaino näiden järjestelmien kriittisten osien kartoittamisessa.

Ongelmaksi työn aikana muodostui hankkeiden luottamuksellisuus (NDA), mikä rajoitti toteutuneiden hankkeiden osalta toiminnanvarmistusmenettelyn onnistumisen arviointia.

Työn ohjaaja Timo Puroviita työskentelee Ramboll Finland Oy:n Datakeskus ja kriittisten tilojen osaston osastopäällikkönä ja on kansainvälisesti tunnettu datakeskusjärjestelmien asiantuntija. Ramboll-konserni, johon Ramboll Finland Oy kuuluu maantieteellisenä yksikkönä, on monialainen konsultti- ja suunnittelupalveluja tarjoava yritys. Työntekijöitä on yli 16 000, 35 maassa ja yli 300 toimipisteessä. Suomessa on yli 2500 työntekijää, 28 toimipisteessä.

Ramboll-konserni suunnittelee ja konsultoi datakeskus-hankkeita ympärimaailmaa ja markkinanäkymät erittäin suotuisat. Ramboll Finland Oy:n Datakeskus ja kriittisten tilojen osasto toimii useissa kansainvälisissä hankkeissa mekaanisen suunnittelun asiantuntijana.

## 2 Datacenterit

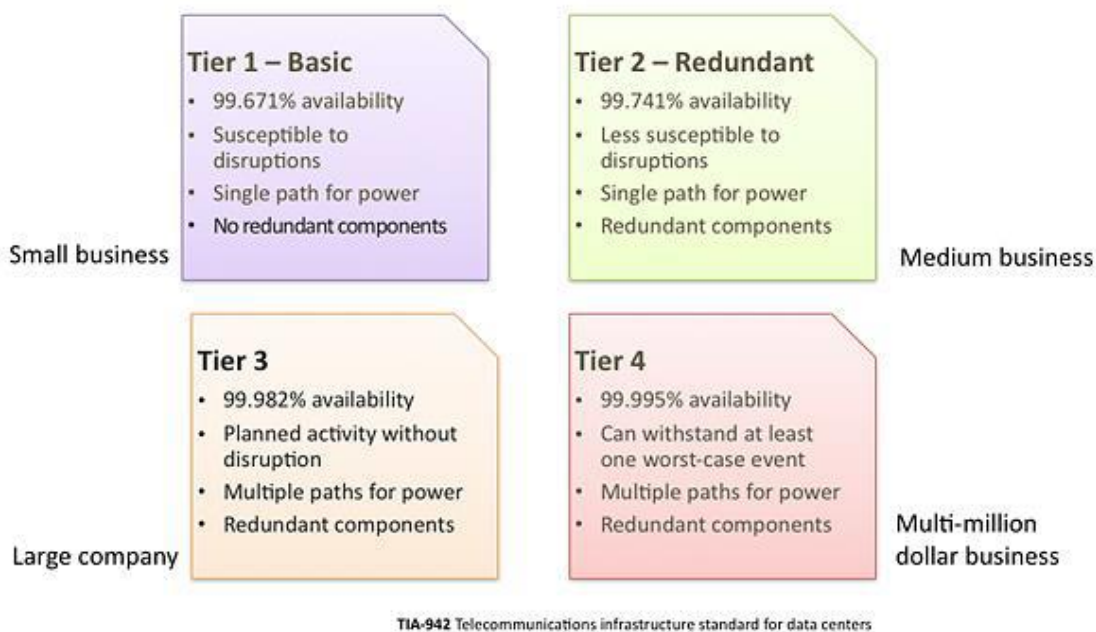
### 2.1 Määritelmä

Datacenter (datakeskus, konesali) on määritelmänsä mukaisesti tila, jossa on useita tietokoneita ja niiden oheisjärjestelmiä, jotka tallentavat ja käsittelevät suuria määriä dataa. Näissä saleissa voi olla parhaimmillaan useita satoja tuhansia yksittäisiä palvelimia, joiden sähkönkulutus voi olla useiden megawattien luokkaa.

Suomeen rakennettuja suuria palvelinkeskuksia ovat Googlen palvelinkeskus Haminassa, Yandexin palvelinkeskus Mäntsälässä ja saksalainen Hetznerin palvelinkeskus Tuusulassa. Microsoftilla on myös datakeskus Uudellamaalla. Luonteenomaista hankkeille on tietty luottamuksellisuus ja usein hankkeita kuvataan maininnalla ”Etelä-Suomessa oleva datakeskus” (Microsoft).

### 2.2 Luokitusjärjestelmät

Palvelimien varmennuksen tasoa (vikasietoisuutta) datakeskuksissa kuvataan Tier-luokituksella ja talotekniikan varmennuksen tasoa redundanssilla. Neliporraisella Tier-asteikolla vikasietoisuuden korkein (paras) luokka on Tier IV, joka takaa konesalin toiminnan laajojenkin sähkönjakelun ja virtalähteiden vikojen aikana. Redundanssilla tarkoitetaan talotekniikan varmennusastetta. Korkeampi Tier-arvo sisältää myös alempien arvojen ominaisuudet. Kuviossa 1 on erään standardin mukainen kuvaus Tier-luokituksen sisällöstä.



Kuvio 1. Tier-luokituksen eri tasot standardin TIA-942 mukaan /1/

### Tier I

- ei redundanttisuutta määritetty
- määrätty laitetila palvelimille
- jatkuvasti käytössä oleva jäähdytysjärjestelmä
- UPS-järjestelmä, ei varavoimajärjestelmää
- saatavuus 99,671 %
- vuosittainen sallittu alhaalla oloaika: 28,817 tuntia.

### Tier II

- redundanttisia järjestelmiä ovat sähkö-, varavirta-, tietoverkko- ja jäähdytysjärjestelmät
- saatavuus 99,741 %
- vuosittainen sallittu alhaalla oloaika: 22,688 tuntia.

### Tier III

- kaikki jäähdytys- ja sähköjärjestelmät ovat redundanttisia
- jäähdytys- tai sähköjärjestelmiä voidaan korjata palvelinkeskuksen käytön aikana ja korjaus ei vaikuta keskuksen toimintaan
- saatavuus 99,982 %



- vuosittainen sallittu alhaalla oloaika: 1,5768 tuntia.

#### **Tier IV**

- kaikki verkkolaitteet, virtajärjestelmät ja tietoliikenneyhteydet kahdennettu (2N+1)
- saatavuus 99,995 %
- vuosittainen sallittu alhaalla oloaika 0,438 tuntia.
- tiukin kulunvalvonta määritetty
- kestää yhden suunnittelemattoman vikatilanteen

Muita käytettyjä luokitusjärjestelmiä ovat esim. Vahti, Katakri ja LEED.

#### **Vahti**

VAHTI on julkishallinnon digitaalisen turvallisuuden kehittämisestä ja kriittisten palveluiden tuotannosta vastaavien organisaatioiden yhteistyö-, valmistelu- ja koordinointielin. Organisaatiot voivat hyödyntää parhaita käytäntöjä ja VAHTI-ohjeita turvallisuuden eri näkökohtien kehittämiseen.

#### **Katakri**

Katakri on viranomaisten tarkastustyökalu, jonka avulla voidaan arvioida kohdeorganisaation kykyä suojata luottamuksellisia tietoja viranomaisilta.

#### **LEED**

Nykyään, kun ympäristöasiat korostuvat, jotkin palvelinkeskukset luokitellaan myös LEED-järjestelmän (Leadership in Energy and Environmental Design) mukaan. Tämän luokituksen on kehittänyt U.S. Green Building Council. Luokitus kuvaa, miten rakennus suunnitellaan, rakennetaan, käytetään ja ylläpidetään, eli kuinka ympäristöystävällinen tai kestävä rakennus on. Luokitus on jaettu kolmeen arvosanaan: hopea, kulta ja korkein, platina. LEED-luokitus it-

sessään on harvinainen palvelinkeskuksissa, sillä alle 5 prosentilla Yhdysvaltojen palvelinkeskuksista on LEED-luokitus, mutta siitä tulee varmasti entistä tärkeämpi tulevaisuudessa. Suomessa Telia Helsinki - datacenterillä on LEED gold eli kultatason luokitus. /2/.

Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan Tier-luokituksen vaatimia toimivuuden varmistustoimenpiteitä. Tier-luokituksia myöntää ja ylläpitää Uptime Institute. /3/.

## 2.3 Sijainti ja infrastruktuuri

Datakeskuksen sijoittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat mm /4/:

- maantieteellinen sijainti ja ilmasto
- yhteiskunnan vakaus ja turvallisuus
- ammattitaitoisen henkilöstön saanti
- sähkön ja muun energian hinta
- sähkönjakelun ja tuotannon varmuus
- tietoliikenneyhteydet ja niiden etäisyydet asiakkaisiin

### 2.3.1 Maantieteellinen sijainti ja ilmasto

Konsolin maantieteellinen sijainti on tärkeää huomioida suunnittelussa, sillä se voi vaikuttaa merkittävästi konesalin lämpötilaan ja käytettävissä oleviin ympäristönhallintaratkaisuihin. Suomi on maantieteellisesti suotuisa datakeskuksille suhteellisen viileän ilmastonsa ja alhaisten keskimääräisten ulkolämpötilojensa vuoksi.

Suomessa on myös yleisesti kuivaa, mikä on enimmäkseen positiivista konesalien ilmastoinnin kannalta. Palvelinkeskuksissa on tärkeää, että ilmankosteus pidetään 40–55 %:n välillä. Näin vältetään sähköstaattisilta iskuilta, joita voi esiintyä kuivassa ilmassa, ja toisaalta vältetään kostean ilman kondensoi-

tuminen veteen. Kosteuden tiedetään olevan erittäin epämiellyttävää elektronista puhuttaessa, koska se lyhentää elektronisten komponenttien käyttöikää ja aiheuttaa turvallisuusriskin henkilökunnalle.

Suomessa konesalin lämpötilaa voidaan helpommin pitää matalampana kuin useassa muussa maassa ja se mahdollistaa myös vapaajäähdytteisten jäähdytysjärjestelmien käyttämisen.

Maaperän geologiset ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi sijoituspaikan turvallisuuteen. Mannerlaattojen siirtokohdissa sijaitseva datakeskus on luonnollisesti riskialttiimpi luonnonkatastrofeille kuin esimerkiksi Suomeen turvalliselle graniittimaaperälle perustettu vastaava.

### 2.3.2 Yhteiskunnan vakaus ja turvallisuus

Konesalioperaattoreille on tärkeää myös sijoittajamaan poliittinen vakaus, mikä edistää liiketoiminnan ennustettavuutta. Avoimessa ja vakaassa yhteiskunnassa turvalliset kansainväliset viestintäyhteydet voidaan saavuttaa myös ilman erityistoimenpiteitä. Tässä suhteessa Suomella on etulyöntiasema Ruotsin kaltaisiin maihin nähden, joissa kansallisella sotilastiedustelulla on oikeutettu mahdollisuus seurata rajat ylittävää viestintää. /5/

Maan geopoliittinen asema vaikuttaa investointihalukkuuteen kansainvälisillä sijoitusmarkkinoilla ja voi viime kädessä ratkaista kisan kahden sijoitusvaihtoehdon välillä. Viime aikojen tapahtumat Venäjän suunnalta osoittavat, että lähialueiden tapahtumat voivat vaikuttaa merkittävästi jo päätettyjen hankkeidenkin etenemiseen.

Maanosien välillä aika ajoin tapahtuvat pakolaisaallot ja ennen kaikkea mahdollisuus hallitsemattomiin tapahtumiin yhteiskunnassa painavat myös päätöksenteossa.

### 2.3.3 Ammattitaitoisen henkilöstön saanti

Vaikka datakeskukset eivät ole työvoimavaltaisia, tarvitaan kuitenkin hankkeen eri vaiheissa vaihtelevasti eri ammattialojen asiantuntijoita. Työvoimavaltaisin vaihe on luonnollisesti rakentamisvaihe, varsinkin kun rakentaminen yleensä tapahtuu nopealla aikataululla prosessinomaisesti.

Työvoiman vapaa liikkuvuus mahdollistaa ammattitaitoisen henkilöstön saamisen riippumatta yhteiskunnan koulutustasosta. Kuitenkin paikallisen työvoiman käytöstä voi ymmärrettävästi saada merkittävääkin etua.

### 2.3.4 Sähkön ja muun energian hinta

Huhtikuussa 2014 Suomi aloitti datakeskusten sähköveron alentamisen. Muutosten myötä yli 5 megawatin palvelinkeskukset ovat nyt toisen tason veron alaisia, kuten muut raskaat teollisuudenalat.

Vuodesta 2022 alkaen konesalit, joiden palvelinlaitteiden teho on vähintään 0,5 MW ja täyttävät laissa säädetty energiankäyttö- tai energiatehokkuusstandardit, voivat nauttia konesaliverotyypin II sähköverosta. Uudet energiankäyttö- ja energiatehokkuusstandardit eivät koske konesaleja, jotka kuuluvat konesalin sähköveron hyvitykseen. 31.12.2021. /6/.

Veden ja esim. kaukolämmön hinta on suhteellisen edullista runsaan vesivaranon sekä keskitetyn sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP Combined Heat Production) ansiosta. /7/.

Datakeskusten ollessa merkittäviä sähkönkuluttajia valtioiden välinen verokilpailu sähkön hinnassa voi nopeastikin muuttaa päätöstä parhaasta sijoituspaikasta.

### 2.3.5 Sähkön ja muiden hyödykkeiden jakelun sekä tuotannon varmuus

Datacenterit ovat varsinkin sähkökäytön osalta erittäin energiantensiivisiä. Käyttökeskeytykset ovat kohtalokkaita toiminnalle ja niiden vaikutusten minimointi käydään lävitse tämän työn myöhemmissä osissa.

Datacenterissä tarvittavia hyödykkeitä, joita ulkopuoliset toimijat tuottavat ovat mm /7/:

- sähkö
- lämpö (tarvittaessa)
- vesi (käyttövesi ja palotorjunta)
- hulevesien käsittely
- jätevesien käsittely
- tietoliikenne

Vastaavasti ulkopuolelle toimitettavia hyödykkeitä on ainakin mahdollisuus hyödyntää datacenterin hukkalämpöä (esim. Yandex ja Mäntsälän kaukolämpöverkko).

Periaatteena kaikkien hyödykkeiden jakelun ja tuotannon osalta on varmistaa, että ulkopuoliset verkostot pystyvät tuottamaan tarvittavat hyödykkeet 24/7 datacenterin käyttöön. Varautumista mahdollisiin häiriötekijöihin ja niiden eliminointiin on käsitelty luvussa 6.

### 2.3.6 Tietoliikenneyhteydet ja niiden etäisyydet asiakkaisiin

Tiedonsiirtojen nopeus ja latenssi (siirtoviive) muihin datakeskuksiin ja tietoliikennekeskuksina toimiviin kaupunkeihin ovat keskeisiä tekijöitä datakeskusten asettelussa. Tietoliikenne Suomessa tapahtuu tällä hetkellä lähes yksinomaan Ruotsin kautta. Se vaikuttaa käytettävissä olevaan kaistanleveyteen ja tietoturvaan.

Vuonna 2016 Suomessa avattiin C-Lion 1 -merikaapeli, joka yhdistää Suomen suoraan Euroopan mantereeseen dataliikenteeseen ja lisäsi kaistanleveyttä. /8/.

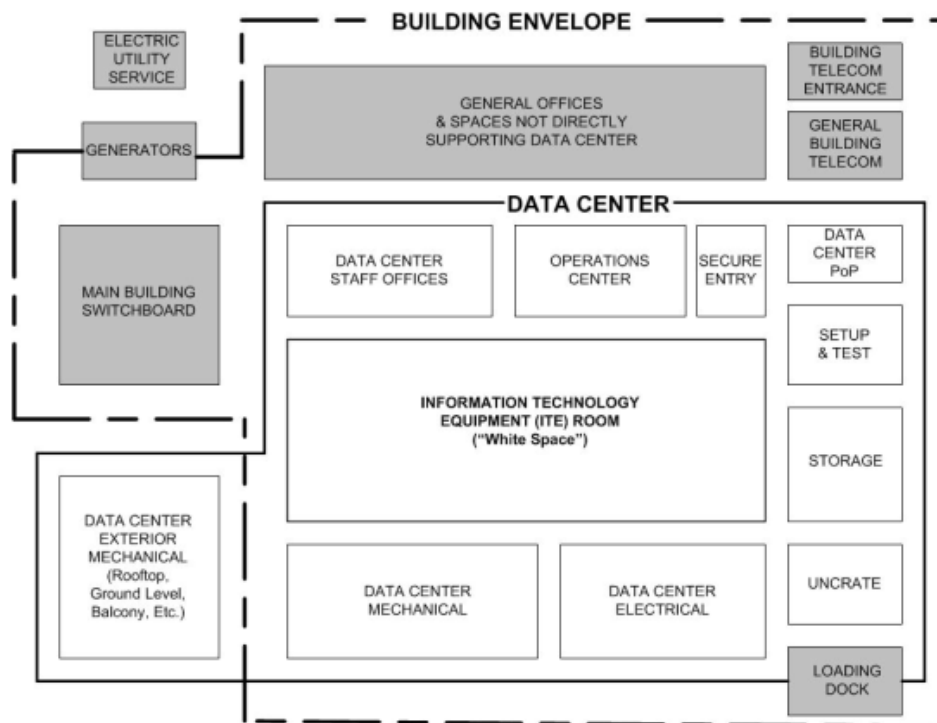
Lisäksi suunnitteilla on rakentaa Koillis-merenalainen kaapeli, joka yhdistää neljä maanosaa Japanista Suomen kautta Koillisväylän kautta Euroopan mantereelle. Suomen tarkoituksena on luoda maine konesalille "Sveitsi" aikana, jolloin lainsäädäntö ei ole vielä sallinut massiivisen dataliikenteen tallenteisiin perustuvaa tiedustelutoimintaa.

## 2.4 Datakeskuksen rakenne ja layout

Datakeskuksen perusrakenne on samanlainen riippumatta siitä, onko kyseessä olemassa olevaan rakennukseen tai uudisrakennukseen toteutettava hanke. Olemassa olevan rakennuksen runkorakenne voi kuitenkin aiheuttaa hankaluuksia tilojen sijoitteluun sekä puutteita toiminnallisuuteen, jolloin uudisrakennus on yleensä ensisijainen ja kustannustehokkain ratkaisu.

Mikäli datakeskuksen toimintaa ei tarvetta suojata kriisitilanteen (esim. sotatila) varalta, tilat sijoitetaan yleensä maan päälle. Rakenteiden ja tilojen sijoittaminen lähelle pohjaveden tasoa, aiheuttaa merkittäviä ja turhia kustannuksia ilman vastaavaa hyötyä.

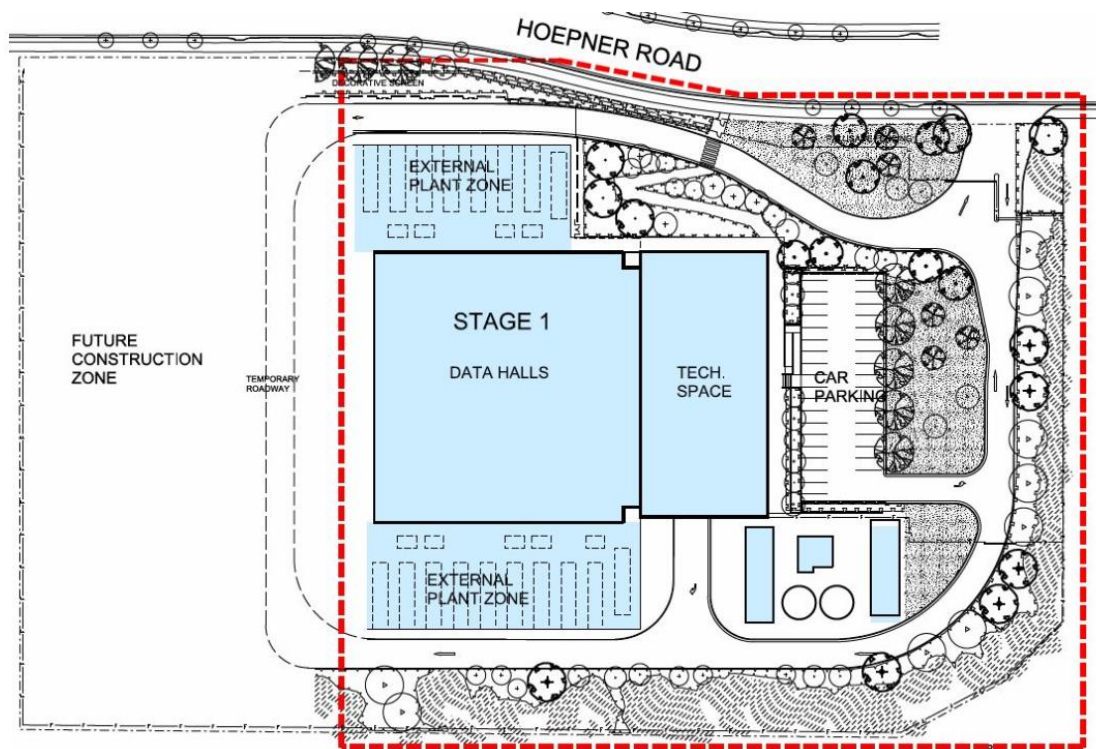
Perusratkaisuna on yleensä rakennus, jossa osa on varattuna varsinaiseen toimintaan ja toiminnan varmistamiseen, huoltoyhteyksiin ja tukitoimintoihin. Ydin toiminnoista erotettuna on toiminnan kannalta sekundaarista tilaa (toimisto-, sosiaali- ja taukotilat, keittiö, ruokailu jne.). Vesikatolle voidaan myös sijoittaa tarvittaessa varavoimaan ja jäähdytykseen liittyviä laitteita. ASHRAE standardin 90.4–2019 mukaiset perustoiminnot on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. ASHRAE standardin 90.4–2019 mukainen datacenter /10/

Rakennuksen ja toimintojen sijoittelussa tontille on aina otettava huomioon myöhemmin tehtävien laajennusten mahdollistaminen joustavasti ilman toimintaan aiheutuvia häiriöitä.

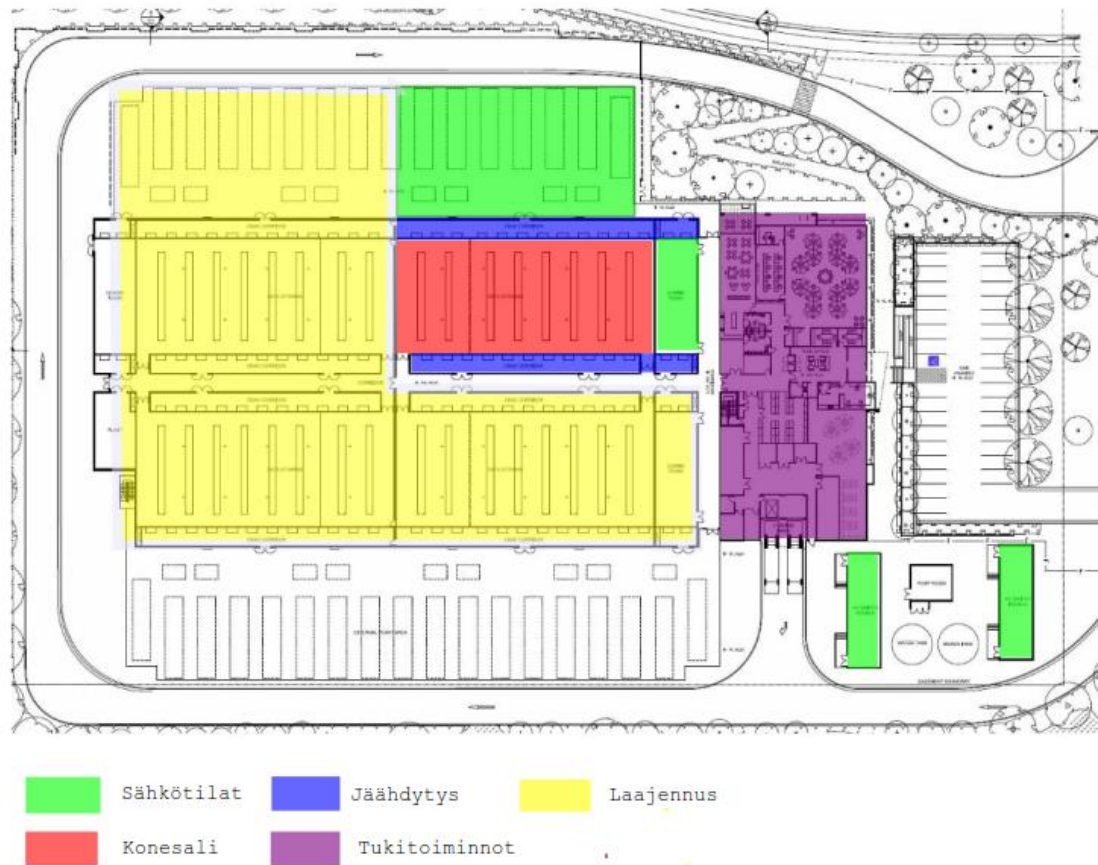
Kuviossa 3 on esitetty erään datakeskuskäytössä olevan rakennuksen pohjapiirustus ja sijoittuminen tontilla.



Kuvio 3. Erään datakeskuksen tilojen sijoittuminen tontilla /11/.

Datakeskukselle on ominaista toimintojen muodostuminen ja tilantarpeen määrittäminen toistamalla tiettyä perusratkaisua rakennusrungossa ja/tai tontilla (modulaarisuus). Toiminnan aloittaminen tapahtuu yleisesti perusyksiköllä (esim. 1–10 MW laitetehoa) ja tontilla varaudutaan laajentamaan toimintaa vaikka viisinkertaiseksi toistamalla perusyksikköä. Kuviossa 4 on esitetty erään datakeskuksen perusmodulaarisuus.





Kuvio 4. Modulaarisuus laitetehton kasvaessa /11/.

Perusyksikkö käsittää ei-skaalautuvia tukitoimintoja (toimisto- ja sosiaalitilat) sekä skaalautuvat toiminnot:

- konesali XX MW
- varavoima konesaliteholle
- jäähdytysjärjestelmä konesaliteholle
- sähkötilat konesaliteholle

Sähköliittymän kokoa ja teknisiä tiloja voidaan tietysti rakentaa valmiiksi etukäteen, mutta liiketaloudelliset faktat kuitenkin rajoittavat investoinnin laajuutta.

Ympäröivän infrastruktuurin vaikutus sijoituspäätökseen on luonnollisesti merkittävä. Omaa sähkö tai lämmöntuotantoa ei yleensä ole kannattavaa rakentaa, vaan järkevintä on hyödyntää olemassa olevaa infrastruktuuria tontin ulkopuolella.

### 3 Palvelintyypit ja ohjelmistot

#### 3.1 Datakeskuksissa käytettäviä palvelintyyppejä

Varsinaisessa laitetilassa käytetään useita palvelintyyppejä, yleisin /12/ on seuraava:

- Tiedostopalvelin: Laitteisto, joka vie eniten tilaa palvelimelta. Muut palvelimet voivat käyttää tämän palvelimen tarjoamaa levytilaa
- Sähköpostipalvelin: luultavasti kriittisin palvelin, joka täytyy replikoida ja varmuuskopioida • Nimi- ja osoitepalvelimet (DNS ja DHCP): tarvitaan eniten suuria verkkoja ylläpidettäessä, kuten koulun opiskelijaverkossa, jossa koneille annetaan IP-osoitteet määrätystä osoiteavaruudesta.
- WWW-palvelin: Internet-sivujen jakelupalvelin. Tämä toimenpide on toistettava • Ohjelmistopalvelin: Verkossa toimii myös erilaisia ohjelmistoja, jotka tarvitsevat omat tehokkaat palvelimet. Ohjelmisto vaatii myös levytilaa, jota voidaan käyttää tiedostopalvelimelta tai omasta levypinosta.
- Virtuaalinen ympäristö: Virtuaalipalvelimen taustalla on yleensä jonkinlainen palvelin (ja ohjelmisto), jonka suorituskykyä ja muistia riittää isännöimään kymmeniä tai jopa satoja virtuaalipalvelimia. Virtuaalipalvelin voi olla pieni WWW-palvelu tai suuri laskentajärjestelmä, joka vaatii paljon palvelintehoa.
- Palvelimien asentaminen: Koko koulun kattavat tietokoneet voidaan helposti asentaa uudelleen esimerkiksi keskuspalvelimelta. Asennusprosessi kuormittaa tietoverkkoa paljon, joten palvelimelta lähtevä verkko tulee suunnitella 10 Gb/s yhteydellä mahdollisimman lähelle asennuskohdetta.
- Tietokantapalvelin: Palvelin vaatii nopean ja virheettömän verkon. Tietokantapalvelimen kautta kulkeva liikenne on priorisoitava ja toimivuus on taattava aina. Järjestelmätiedot on kopioitava eri paloalueille.

- Pilvipalvelimet: IT-palvelut tarjotaan yleensä Internetin kautta tarvittaessa ja laskutetaan käytön mukaan. Palvelun käyttämä verkko voi olla julkinen pilvi, yksityinen pilvi tai luotettu pilvi.

### 3.2 Palvelimien käyttöjärjestelmät

Palvelimen käyttöjärjestelmänä käytetään ensisijaisesti Microsoft-tuoteperheen palvelinohjelmistoja. Käyttöjärjestelmiä on monia vaihtoehtoja, kuten Linux-järjestelmiä, mutta syy Microsoft-ohjelmistojen laajaan käyttöön on pätevien Linux-asiantuntijoiden puute. Linux-järjestelmät ovat halpoja käyttää, eikä järjestelmään yleensä tarvitse ostaa lisenssiä, kun taas Microsoft-järjestelmissä lisenssin hinta voi vaihdella muutamasta sadasta muutamaan tuhanteen euroon.

### 3.3 Virtuaalijärjestelmät

Virtuaalijärjestelmät perustuvat joko Linux-käynnistysytimen ympärille rakennettuihin järjestelmiin, kuten maksullisiin VMW ESXi- tai ilmaisiin XenServer-järjestelmiin, tai ne ovat osa asennettua käyttöjärjestelmää, kuten Microsoft Hyper-V ja Oraclen VirtualBox.

Hypervisor- tai VMM-järjestelmää (Virtual Machine Monitor) käytetään virtuaaliympäristön ylläpitämiseen, mikä mahdollistaa virtuaalipalvelimien luomisen, käytön ja hallinnan.

## 4 Tietoturva

Tietoturva kattaa kaiken ohjelmiston vaatimasta minimaalisesta portin avaamisesta kattavaan datakeskuksen tietoturvaan. Jokainen palvelintilan kanssa tekemisissä oleva allekirjoittaa yleensä salassapitosopimuksen, joka määrittelee kaiken tiedon ja tapahtumien turvallisuuden. Jos tiedot vuotavat, työntekijä

menettää pysyvästi työpaikkansa ja on velvollinen korvaamaan. Pitämällä laitteistosi toimintakunnossa voit välttää odottamattomia ongelmia. Esimerkiksi palvelinhäiriöt aiheuttavat lisätyötä ja kustannuksia. Katkoja vähennetään varmistamalla jatkuva virta ja suojaamalla laitteita ulkoisilta uhilta. Näitä ovat esimerkiksi veden ja lämpötilan vaihteluiden aiheuttamat ongelmat.

Yrityksen johdon tulee myös harkita laitteiden huolto- ja huoltosopimuksen tekemistä. Tavoitteena on säilyttää tietojen luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus ongelmatilanteissa. Jos huolto laiminlyödä, suuri osa yritykselle tärkeästä tiedosta voi kadota laitevaurioiden seurauksena. Kun laitteet epäonnistuvat, sinun on muistettava poistaa ne käytöstä asianmukaisella tavalla. Tätä tarkoitusta varten palvelinkeskuksissa on yleensä erillinen tila, jossa on tiukka pääsynvalvonta. /13/.

#### 4.1 Tietoverkon tietoturva

Tietoverkkoyhteydet on suojattu palomureilla, joissa erittäin tarkat säännöt määrittelevät liikenteen konesaliin ja sieltä pois. Esimerkkinä tästä voisi olla geologinen seuranta, jolla voidaan estää pääsy tietyille ulkomaisille yhteyksille, kuten Kiina, Taiwan, Venäjä ja Turkki, koska näissä maissa tehdään eniten palvelunestohyökkäyksiä ja hakkerointiyrityksiä.

Muita ratkaisuja Skenaario voisi olla sallia liikenne asiakkaan IP-osoitteesta ja estää muu liikenne. Palomuri estää kaiken saapuvan määrittelemättömän liikenteen. Asiakkaan toiveiden mukaan portti voidaan avata asiakkaan omistamalle IP-osoitteelle. Verkon kytkimet on määritetty olemaan käyttämättä tyhjiä portteja (sammutustila), ja vain yksi MAC-osoitteella tunnistettu laite voi muodostaa yhteyden käytössä olevaan porttiin.

Jos toinen laite, jolla on ulkoinen MAC-osoite, liitetään vahingossa porttiin, portti menee sammutustilaan ja portti on käyttökelvoton, kunnes järjestelmänvalvoja palauttaa portin verkkoon. Asiakaspalvelin luodaan omalla verkollaan,

joka on eristetty konesalin pääverkosta, esimerkiksi PVLAN-järjestelmällä (Private Virtual Local Area Network). Verkko käyttää edistyneempää liikenteen luokittelua ja ohjausta (QoS - Quality of Service), mikä takaa tasalaatuisen verkon kaikille käyttäjille. Tässä tapauksessa mikään palvelin ei voi käyttää 100 % verkon kapasiteetista /14/.

## 4.2 Laitteiden varmuuskopiointi

Kriittisten palvelimien tiedot monistuivat mahdollisen laitevian vuoksi. Esimerkkejä tällaisista palvelimista ovat sähköposti- ja käyttäjähallintapalvelimet. Palvelimen tiedot varmuuskopioidaan päivittäin varapalvelinjärjestelmään, joka sijaitsee yleensä toisessa palvelinkeskuksessa. Fyysisesti pääsy suojattuihin palvelinjärjestelmiin on tarkemmin rajoitettu kuin pääsy normaaleihin palvelinmalleihin.

## 4.3 Dokumenttien tietoturva

Fyysisiä ja digitaalisia asiakirjoja syntyy suuri määrä, ja niiden joutuminen väärin käsiin on estettävä mahdollisimman tehokkaasti. Luotu dokumentaatio sisältää esimerkiksi asennushistorian, verkkotopologiatiedot, käyttäjätiedot, asiakastiedot ja muut lokitiedostot palvelimen toiminnasta. Nämä kaikki on turvattava ja turvattava, jotta tieto ei joudu ulkopuolisten tai kyberrikollisten käsiin.

Fyysiset asiakirjat on säilytettävä tilassa, johon on erittäin rajoitettu pääsy, kuten palvelinhuoneen valvomossa. Tietyn ajan kuluttua fyysiset tiedostot tuhoetaan turvallisesti tarkastetun palveluntarjoajan avulla. Digitaaliset asiakirjat suojataan ja salataan vahvimmillä käytettävissä olevilla ratkaisulla, jotta ulkopuoliset eivät voi avata asiakirjoja palvelintilan elinkaaren aikana. /14/

## 5 Olosuhdehallinta ja energiatehokkuus

Palvelinkeskusten yleistyessä 1990-luvulla IT-laitteiden kapasiteetin maksimoimiseen keskittynyt suunnittelu oli yleistä aikana, jolloin energiatehokkuuden vaikutusten tutkimiseen ei kertynyt paljon tietoa.

Jopa prosessorin perustoimintoihin kuuluu nykyään kuristus, kun kuormitus on pieni. Puhumattakaan kaikista mahdollisista palvelinvirtualisointitoteutuksista, jotka auttavat jakamaan IT-kuormituksen siten, että yksittäiset palvelimet eivät ole lähes koskaan tyhjäkäynnillä. Minkä tahansa hankkeen suunnitteluvaiheessa on erittäin tärkeää ottaa huomioon hankkeen investointikustannusten lisäksi myös ylläpitokustannukset.

Tietenkin ylläpitokustannukset sisältävät paljon enemmän kuin energiakustannukset, kuten työvoiman, sähkö- ja mekaanisten laitteiden vaihdon ja paljon muuta. Kuitenkin mitä tulee datakeskuksiin, yksi suurimmista kustannuksista on energiakustannukset. Siksi konesalin komponentteja ja järjestelmiä valittaessa hankinta- ja toteutushintaa on aina verrattava vuosittaiseen ylläpitokustannuksiin /13/.

### 5.1 Tavoitearvot ja olosuhdehallinta

Datakeskuksen olosuhdehallinnalla pyritään ensisijaisesti turvaamaan palvelimien toiminta ja komponenttien kestoikä. Liian korkea lämpötila ja/tai tilan suhteellinen kosteus lisää komponenttien vikaantumismahdollisuutta ja sen takia olosuhteet pyritään vakiinnuttamaan tietylle perustasolle. Absoluuttisen tarkkoja raja-arvoja ei ole, mutta tavoitteena on tuottaa tasaiset ja muutosnopeudeltaan hitaat olosuhteet. Konesalien olosuhteet voidaan määrittää esim. ASHRAE standardin 90.4-2019 mukaan.

Yleisesti käytettyjä arvoja ja valvottavia suureita laitetilassa ovat:

- sisälämpötila +25...+30 °C

- suhteellinen kosteus  $30 \pm 10 \%RH$
- hiukkaspitoisuus  $\% PM_{xx}$

## 5.2 Energiatehokkuusvaatimukset

Kuten aikaisemmin on todettu, konesalin sähköveron huojennus vaatii syntyvän hukkalämmön hyödyntämistä ympäröivään infrastruktuuriin, kuten kauko- tai aluelämpöön.

Energiatehokkuutta kuvaavia suureita datakeskusten kohdalla on kuvattu kohdissa 5.2.1–5.2.4

### 5.2.1 PUE-luku

PUE-tunnusluvulla määritellään datakeskuksen energiatehokkuus kokonaisenergian ja datakeskuksen IT-laitteiden ottaman kuluttaman energian suhteena (ISO/IEC 30134-2:2016). Useimmiten määritelmä tarkennetaan koskemaan kokonaissähköenergiankulusta sekä IT-laitteiden sähköenergiankulutusta. Kokonaisenergiankulutukseen luetaan IT-laitteiden sähkönkulutus ja datakeskuksen toiminnan edellyttämien apujärjestelmien sähkönkulutus.

Ideaalisessa datakeskuksessa  $PUE = 1$ , jolloin kaikki sähköenergia on käytettävissä itse IT-laitteiden kulutukseen. Todellisuudessa PUE arvo on kuitenkin datakeskuksessa suurempi kuin yksi laitoksen fyysisen infrastruktuurin, erityisesti jäähdytykseen käytettyjen järjestelmien sähkölaitteiden energiankulutuksen sekä häviöiden takia. Erinomaisena kalenterivuoden energiankulutuksiin perustuvana PUE-arvona Suomen ilmastossa voidaan pitää, paljolti kohteesta riippuen noin 1,1...1,2. PUE määritellään seuraavasti /15/:

$$PUE = IT + Infrastrukturi / IT$$



### 5.2.2 NPUE-luku ja ERE

NPUE-arvo on kehittyneempi versio PUE-arvosta. Se ottaa huomioon myös energian, joka syötetään konesalista ulos. Yleensä se tarkoittaa hukkalämmön hyödyntämistä. /16/.

$$NPUE = E_{net} / E_{it} = (E_{irr} - E_{out}) / E_{it}$$

$E_{in}$ : Saliin syötetty energia.

$E_{out}$ : Salista ulos syötetty energia.

$E_{it}$ : Palvelimien sähkönkulutus.

Laskentakaava pätee saleissa, joissa ei ole kaukojäähdytystä. Jos kaukojäähdytys on käytössä, laskentakaava esitetään näin:

$$NPUE = E_{it} / (E_{irr} - E_{out})$$

NPUE-arvo kuvaa konesalin energiatehokkuutta paremmin kuin PUE-arvo silloin, kun hukkalämmön hyödyntäminen on toteutettu.

ERE- luku on uusi käsite, joka on tullut PUE- luvun rinnalle. ERE- luku kuvaa samaa asiaa kuin PUE- luku, mutta siinä on otettu myös huomioon hukkalämmön talteenotto. /15/. Ennen hukkalämpö hävitettiin datacenteristä mahdollisimman tehokkaasti ja halvalla. Nykyään yhä enemmän hukkalämpö käytetään hyödyksi, vaikkapa kaukolämpöverkon yhdeksi lämmönlähteeksi.

### 5.2.3 Vaatimukset Suomessa

Yrityksen näkökulmasta energiatehokkuuden parantaminen on hyvää taloudenhoitoa, koska energiankulutuksen lasku heijastuu käyttökustannuksiin. Energiatehokkuus on siksi osa vastuullista yritysjohtamista.

Myös konesalissa on järkevää käyttää energiatehokkuutta lähtökohtana aina kun kehitetään palveluita, laaditaan käyttöohjeita, ohjataan uusia työntekijöitä tai päätetään hankkia laitteita.

Energiatehokkuuden parantaminen edistää myös kestävästä ilmastosta ja energiastrategioiden mukaisesti. Suomen päästövähennystavoitteiden saavuttaminen edellyttää yrityksiltä, julkiselta sektorilta ja kotitalouksilta määrätietoista toimintaa.

Vapaaehtoisilla toimilla pyritään lisäämään energiankäytön tehokkuutta elinkeinoelämän energiatehokkuussopimuksin energiapalveludirektiivin mukaisesti. /16/.

### 5.3 Kestävä kehitys ja hiilijalanjälki

Digitaaliset, kestävästä kehitystä edistävät palvelut helpottavat arkea ja parantavat maailmaa, mutta ratkaisujen ympäristövaikutuksiin ei toistaiseksi ole kiinnitetty paljoa huomiota. Digitaalisia ratkaisuja kehittäessä tulisi jatkossa huomioida myös digipalvelujen datansiirron ja infrastruktuurin ympäristöjalanjälki.

Rakennuksen hiilijalanjäljellä tarkoitetaan rakennuksen koko olemassaolonsa aikana syntyviä päästöjä rakennustuotteiden valmistuksesta rakennuksen purkamiseen asti. Nykyään suurin osa rakennusten hiilijalanjäljestä aiheutuu energiankulutuksesta. /7/.

## 6 Toimivuuden varmistus datacenterin järjestelmissä

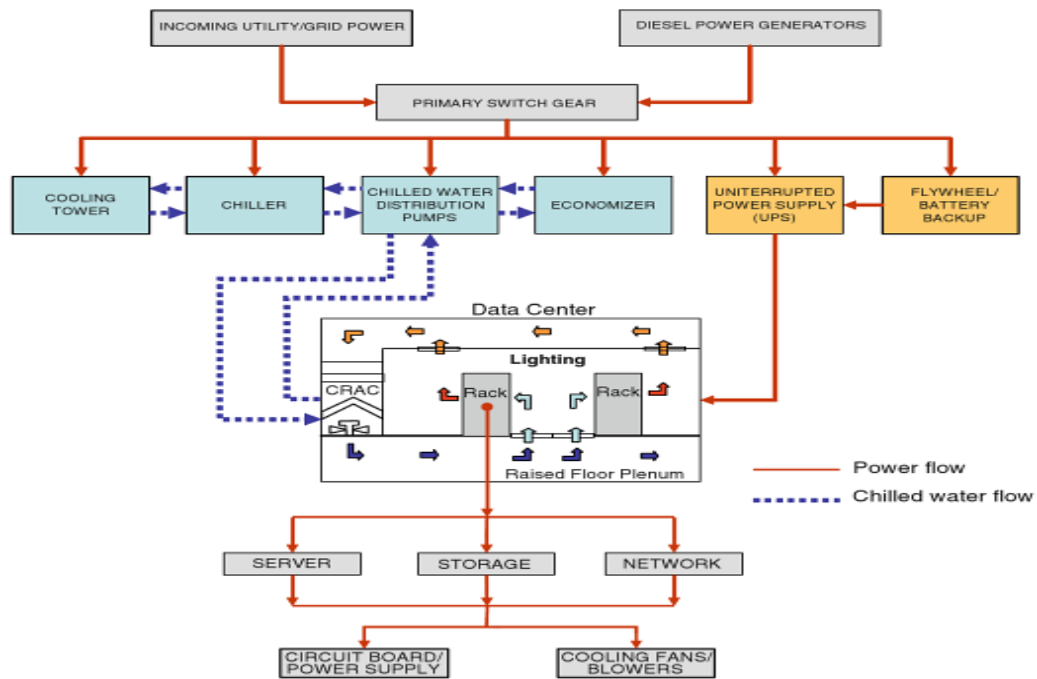
### 6.1 Toimivuuden varmistuksen perusteet

Datakeskusten sisältämä tekniikka voidaan jakaa viiteen osaan /13/:

- sähköjakelujärjestelmä
- jäähdytysjärjestelmä
- IT-järjestelmä
- turvajärjestelmä
- taloteknisten järjestelmien automatiikka

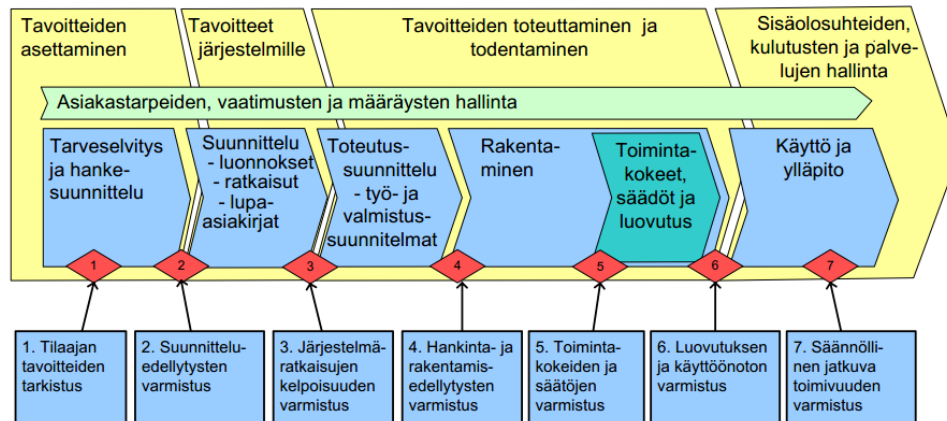
IT-järjestelmä on usein hyvin optimoitu ja näin ollen energiatehokas. Muut järjestelmät puolestaan ovat kohteita, joiden toimivuuden varmistaminen on ehdoton edellytys edellisen tavoitteen saavuttamiseen. Seuraavassa käydään lävitse pääperiaatteet toimivuuden varmistuksesta datakeskuksen järjestelmistä.

Kuviossa 5 on kuvattu datakeskuksen toimintaan liittyviä järjestelmiä, joiden toimivuuden varmistus on tehtävä tai jotka toimivat osana sitä. Punaiset nuolet kuvaavat sähköjärjestelmää ja siniset jäähdytysjärjestelmää.



Kuvio 5. Sähkön ja jäähdytyksen jakelun toteutus eräässä datakeskuksessa /17/.

**Toimivuuden Varmistaminen (ToVa)** on prosessi, jolla varmistetaan toimivuus ja energiatehokkuus. Toiminnanvarmistusprosessin aikana tarkastellaan tilatarpeiden ja käyttäjien tarpeiden kattavuutta, kiinteistöjärjestelmän toiminnallisia ja energiatehokkuusvaatimuksia sekä kaikkien osapuolten käyttämiä ratkaisuja ja toimenpiteitä toimintojen toteuttamiseksi, jotta varmistetaan, että rakennus täyttää asetetut vaatimukset. Energiatehokkuus ja toiminnalliset tavoitteet käytössä. Kuviossa 6 on esitetty ToVa-prosessi. Punaiset salmiakit ovat raportointipisteitä, jolloin arvioidaan prosessin tila ja tehdään tarvittavat korjaustoimenpiteet prosessin osalta.



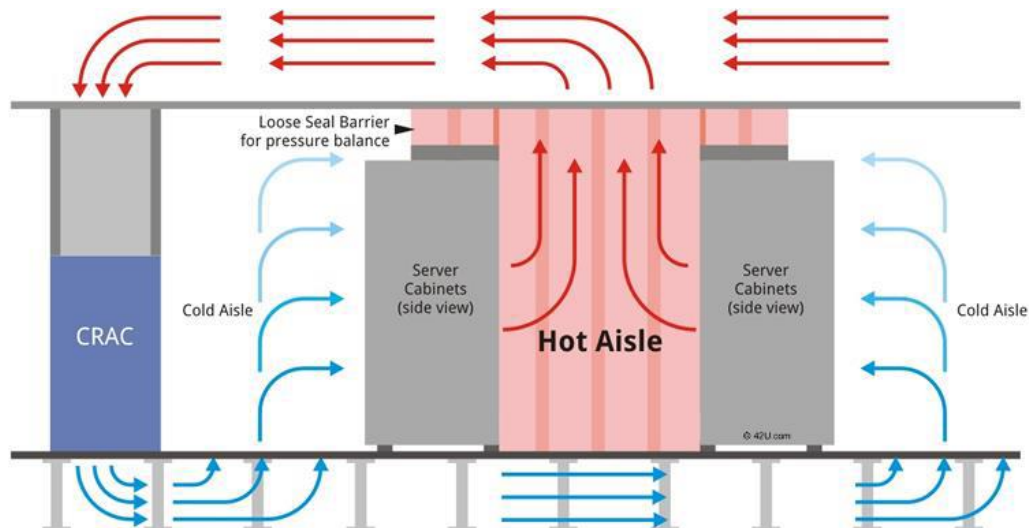
Kuvio 6. Toimivuuden varmistusprosessin kuvaus /18/.

Liitteessä 1 on kuvattu ToVa-prosessin vaiheet ja vastuut yksityiskohtaisemmin.

## 6.2 LVI-tekniset järjestelmät

Jäähdytysjärjestelmä on datakeskusten toiminnan kannalta sähkön syötön lisäksi kriittinen järjestelmä. Järjestelmän toiminta perustuu lämmönsiirtoketjuun, jossa konesalissa olevien servereiden tuottama lämpö siirretään joko ilmalla tai nesteellä pois.

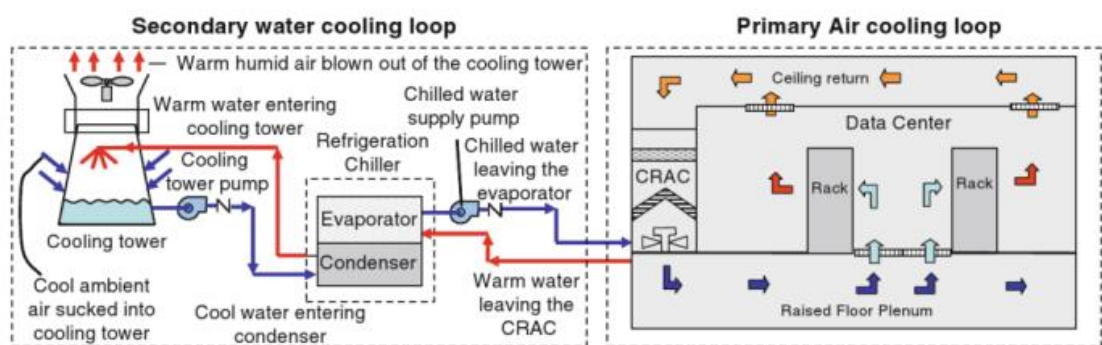
Yleisin tapa siirtää palvelimien tuottamaa lämpöä eteenpäin on ilmajäähdytys. Kuuma käytävä (Hot Aisle) on rakennettu palvelinkaapin takaosaan, jolloin kaapin etuosan kylmässä käytävässä (Cold Aisle) jäävä ylipaineinen kylmä ilma pääsee kulkemaan palvelimen läpi (kuvio 7).



Kuvio 7. Tyypillinen konesalin lämpökuorman poisto /19/.

Kuumakäytävään tuleva kuuma ilma nousee luonnollisesti ylöspäin ja siirtyy paine-eron ansiosta CRAC-yksikköön (Computer Room Air Conditioning), jossa kuuma ilma jäähdytetään. Yksiköissä on omat puhaltimet, joilla avustetaan ilman liikettä.

Vesijärjestelmissä ensimmäisessä vaiheessa servereiden lämpö siirretään primäärijäähdytyskiertoon. Toisessa vaiheessa lämpöenergia siirretään toisella lämmönvaihtimella (yleensä vesi/vesi) lopulliseen lämpönieluun (kuvio 8).



Kuvio 8. Esimerkki konesalin lämpötilan hallinnasta /17/.

Ilmajäähdytysjärjestelmissä toinen vaihe on korvattu suodattimilla ja jäähdytyspattereilla varustetulla puhallinseinällä, jolloin konesalin sisäilmaa viileämpää ulkoilmaa imetään suoraan konesaliin ja lämmennyt ilma joko palautetaan ilman-kiertoon tai poistetaan ulos. Tässäkin järjestelmässä on käytettävä rinnalla nestekiertoista järjestelmää varmistamaan lämpötilanhallinta silloin kun ulkoilman lämpötila on liian korkea joko hukkalämpöä hyödyntävillä lämpöpumpuilla tai vedenjäähdyttimillä. /20/.

Varmistettavia tai kahdennettavia järjestelmiä sekä niiden osia ovat:

- jäähdytyksen tuotanto. Jäähdytyskoneet liitetään yhteiseen putkistoon (jakotukki / rengasputkisto) ja mitoitetaan siten, että yksittäisen koneen rikkoutuminen tai huoltotoimenpiteet eivät aiheuta katkosta tuotantoon (n+1). Lauhdutuksessa varmistus kuten jäähdytyksessä.
- jäähdytyksen ja lauhdutuksen jakelu. Järjestelmän kiertopumput kahdennetaan laitekohtaisesti, jolloin pumpun rikkoutuminen tai huolto ei vaikuta jäähdytystehon jakeluun.
- jäähdytyksen luovutus vesikiertoisessa järjestelmässä. Jäähdytysyksiköiden (CRAC) rikkoutumiseen tai huoltoon varaudutaan varaamalla x kpl varayksiköitä. Yksikön sisällä voi olla useita puhaltimia, joista 1 varalla.
- suora ilmajäähdytys. Käytettäessä ns. puhallinseinää, osa puhaltimista on varalla rikkoutumisen tai huoltotoimenpiteiden varalta.

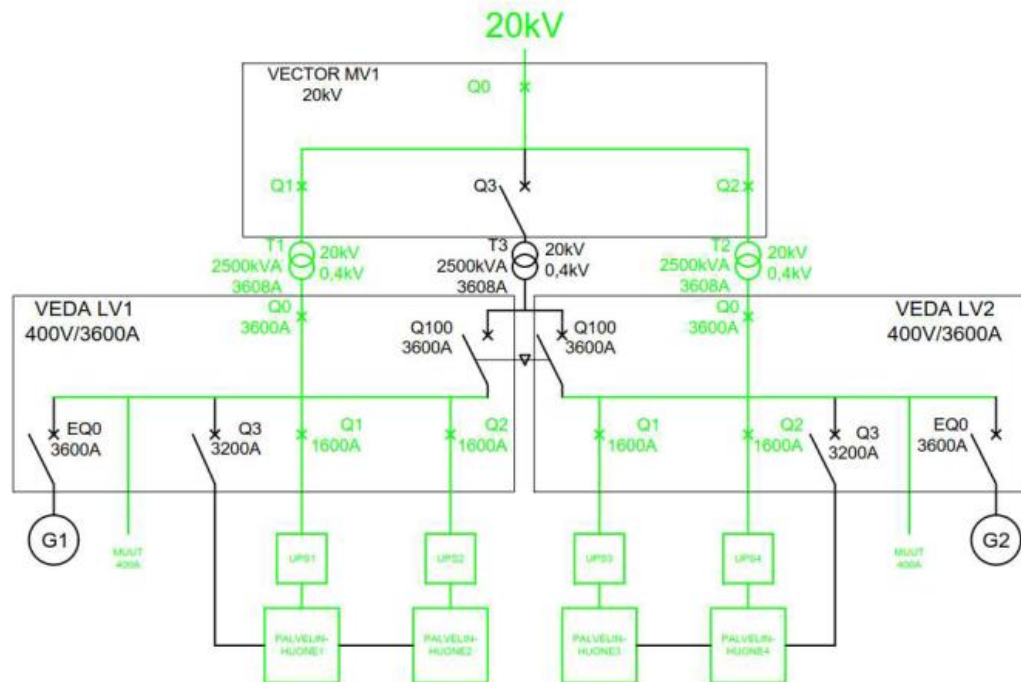
Sähkö- ja automaatiojärjestelmien osalta toimivuuden varmistusta on käsitelty luvuissa 6.3 ja 6.7.

### 6.3 Sähkötekniset järjestelmät

Sähkönjakelujärjestelmä koostuu eritehoisista muuntajista, varavoimajärjestelmistä, akuista ja generaattoreista. Valtakunnalliseen 110 kV siirtoverkkoon liitetään tyypillisesti suuret konesalit. Korkea jännite muunnetaan keskijännitteeksi (20 kV), joka on tyypillinen siirtojännite palvelinkeskuksissa.

Lopullinen IT-laitteita syöttävä jänniteväylä on yleensä kolmivaiheinen teho-  
väylä (400 V). Näissä keskuksissa on tyypillisesti kaksi erillistä virtalähdettä:  
päävirta kansallisesta verkosta ja varavirta varageneraattoreista. Jos päävir-  
ransyöttö jostain syystä katkeaa, generaattori kytkeytyy automaattisesti päälle.

Kuviossa 9 on esitetty kaaviotasolla datakeskuksen sähköjakelu normaalitilan-  
teessa.

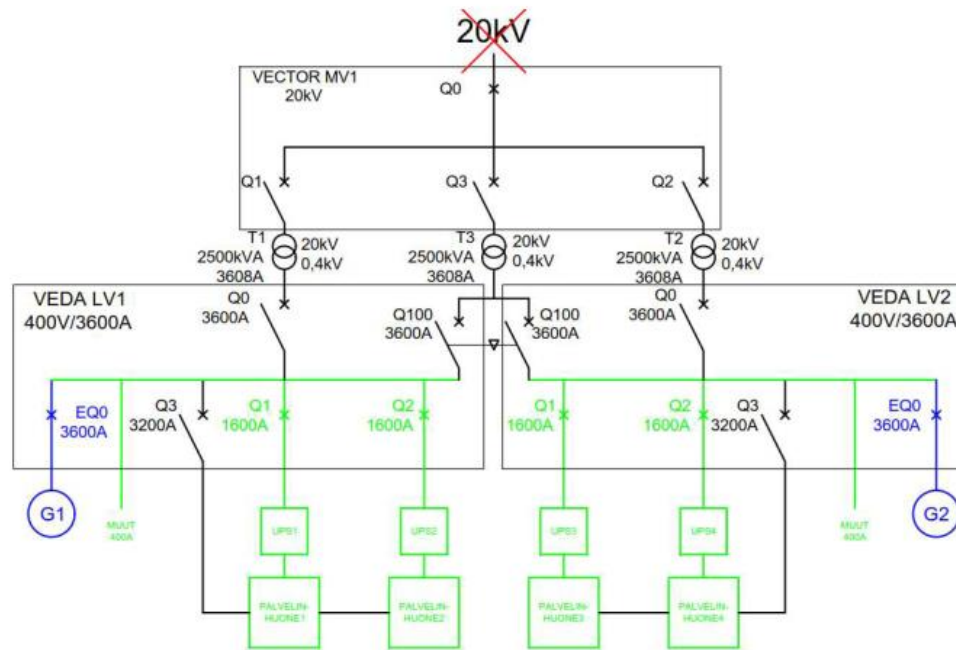


Kuvio 9. Datakeskuksen sähköjakelu normaalitilanteessa /21/.

Kuviossa vihreä väri tarkoittaa sähköjakelujärjestelmän osaa, joka osallistuu  
sähköjakeluun. Mustalla värillä on merkitty sähköjakelujärjestelmän osat,  
jotka eivät osallistu jakeluun. Katkaisijat on piirretty kiinnitilaan katkaisijan osal-  
listuessa sähköjakeluun.

Kuviossa 10 on kuvattu vikatilannetta. Sinisellä värillä kuvataan, miten sähkön-  
jakelujärjestelmä on mukautunut vikatilanteeseen. Vikakohta on merkitty punai-  
sella raksilla kuvioon.





Kuvio 10. Datakeskuksen sähköjakelu valtakunnan sähköverkon vikatilanteessa /21/.

Sähköjakelun varmistus ulottuu myös lämpötilanhallinnan kannalta kriittiseen jäähdytysjärjestelmään siten, että myös se varmennetaan ristikkäin syöttämällä kahdesta erillisestä verkosta.

## 6.4 Varavoimajärjestelmät

Datakeskuksen varavoimakoneet (generaattorit) voidaan toteuttaa joko diesel- tai kaasukäyttöisinä yksiköinä. Varavoimakone on yleensä tehdasvalmisteinen koneikko, joka sisältää generaattorin, sisäisen jäähdytysjärjestelmä lauhdutus-patterilla, pienen polttoainesäiliön sekä automatiikan toiminnan ohjausta varten.



Kuvio 11. Tyypillinen varavoimakoneikko /22/.

Pitempiaikaista käyttöä varten varavoimakoneita varten asennetaan polttoainesäiliöt, jotka mitoitetaan usean vuorokauden käyntiä varten.

Kaasukäyttöisiä varavoimakoneita voidaan käyttää datakeskuksissa, jotka ovat maakaasun jakeluverkoston lähettävillä. Kaasun (maa- ja biokaasu tai LNG) saannin varmistaminen ja mahdollinen varastointitarve sekä investoinnin kalleus diesel-varavoimaan verrattuna ovat seikkoja, jotka painavat valinnassa. Hyvänä puolena on vähäpäästöisyys ja korkeampi hyötysuhde.

Sähköjärjestelmien blackout-testissä varmennetaan varavoimajärjestelmän toimivuus. Datakeskuksen toiminnan aikana varavoimajärjestelmät koestetaan säännöllisesti ja varmistetaan mm. akkujen varaustila, polttoaineen syöttö ja jäähdytyksen toimivuus.

## 6.5 Tietoturvajärjestelmät

Tietoverkko koostuu useista verkkoalueista. Verkkoalue on jaettu palvelinalueen ja käyttötarkoituksen mukaan IP-osoitteen ja virtuaalisen lähiverkon avulla laaditun tietoverkkosuunnitelman perusteella.

Jokaisessa palvelintornissa tulee olemaan vähintään kaksi kytkintä, jotka yhdistävät palvelimet tietoverkkoon. Toista kahdesta kytkimestä käytetään redundanttina laitteena.

Palvelintornin kytkimet on yhdistetty konesalissa oleviin reitittäjiin, joista dataliikenne ohjataan palveluntarjoajalle. Asiakaspalvelimet eristetään julkisesta verkosta asettamalla jokaiselle palvelimelle oma yksityinen VLAN. Yksityisessä VLAN-verkossa palvelin ei voi muodostaa yhteyttä muihin laitteisiin palvelintilassa.

Turvallisuusriskejä ovat esimerkiksi /23/:

- Palvelimen hakkerointi tai käyttö epäilyttävissä tarkoituksiin. Esimerkiksi roskapostipalvelimet ovat suuri ongelma palvelinverkoissa. Niiden toimintaa voidaan rajoittaa tekemällä palomuurin asetuksia rajoittamaan yhteyksien ja mobiilidatapakettien määrää.
- Piratismi. BitTorrent, P2P ja muut tekniikat. Tämä toiminta ilmenee suurena piikkinä palvelinliikenteessä, ja sitä esiintyy tyypillisesti harvemmin käytetyissä porteissa (portti 1024 ja uudemmat). Ratkaisu näihin ongelmiin on yrittää tehdä palomuurista niin tehokas, ettei tällaisen palvelimen ylläpitäminen ole järkevää. Toinen lähestymistapa olisi esimerkiksi rajoittaa pakettien määrää, rajoittaa samanaikaiset yhteydet hyvin pienen arvoon jne.
- Palvelinohjelmiston päivitys epäonnistui. Käyttöjärjestelmästä löydetään jatkuvasti uusia tietoturvaongelmia ja päivitetään niitä korjaamaan. Jos uusia päivityksiä ei asenneta palvelimelle usein, seurauksena voi olla, että järjestelmään hakkeroidaan epäilyttävän käytön vuoksi ja omistajan

pääsy palvelimelle estyy. Näissä tapauksissa vain huolto voi auttaa asiakkaita.

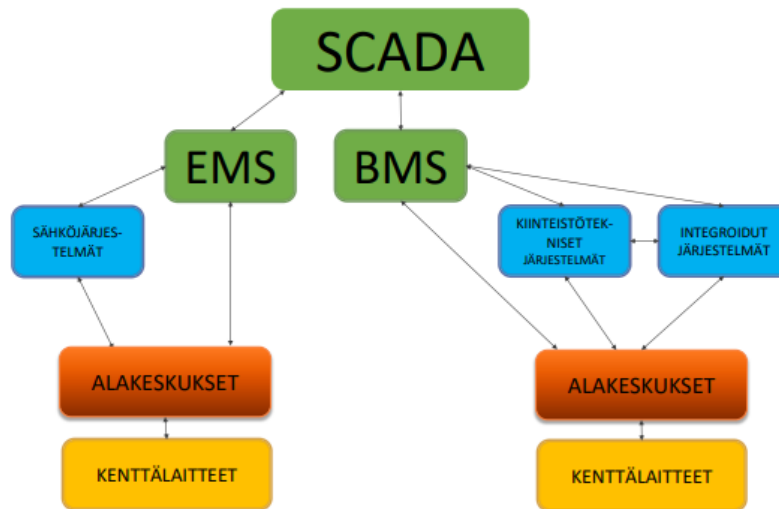
## 6.6 Rakennusautomaatiojärjestelmät

Rakennusautomaatiojärjestelmä ohjaa kaikkia konesalin ulkopuolisia tukijärjestelmiä ja valvoo konesalin kuntoa. Konesalijärjestelmien hierarkia koostuu kolmesta erillisestä tasosta: hallintataso, automaatiotaso ja kenttätaso. Hallintatasolle kuuluu koko järjestelmän valvonta ja ohjaus, mukaan lukien paikalliset ja keskusohjaimet, jolloin toteutetaan järjestelmän etäohjaus. Alakeskus, johon I/O-moduulit sijoitetaan, löytyy automaatiotasolta.

Alakeskukset suorittavat ohjelmoitua prosessiohjausta keskeytyksettä ja järjestelmän varsinaiset loogiset toiminnot tapahtuvat itsenäisesti automaatiotasolla. Kenttätaso sisältää kenttälaitteita, kuten antureita, toimilaitteita ja itsenäisiä ohjaimia sekä puhaltimia ja moottoreita.

Kuviossa 12 on esitetty esimerkki rakennusautomaation hierarkiasta. Valvomo-ohjelmistolla (SCADA) ohjataan ja valvotaan sekä kerätään historiatietoja. EMS (Energy Management System) ohjaa ja valvoo sähköisiä järjestelmiä, BMS (Building Management System) taas kiinteistötekniisiä järjestelmiä. Alakeskusten merkitys on suuri tiedonsiirrossa ja ne voivat toimia itsenäisesti liitettynä

väylään. Kriittiset kenttälaitteet kahdennetaan. /24/.



Kuvio 12. Rakennusautomaation hierarkia datakeskuksessa /24/.

Rakennusautomaatiojärjestelmä on liitetty varavoimaan, jolloin käyttökatos ei vaikuta kenttälaitteiden tai ohjelmistojen toimintaan. Lisävarmistuksena voidaan käyttää kentällä olevan toimilaitteen ohjaamista virrattomana prosessin kannalta vaarattomaan tilaan (esim. jäähdytysvesiverkoston säätöventtiili).

## 6.7 Muut järjestelmät

Datakeskuksen toiminnan kannalta merkittäviä järjestelmiä ovat paloturvallisuuden liittyvät järjestelmät. Yleisimmin käytetään tilasuojauksessa sähköisiä järjestelmiä (savu- ja lämpöilmaisimia) tai sammutusjärjestelmiä (kaasu- ja vesi-sammutusjärjestelmiä). /7/.

Kaasusammutusjärjestelmiä käytetään yleisimmin vain pienissä konesaleissa, koska tarvittavan sammutuskaasun määrä ja sitä kautta tarvittavien kaasupullojen tilantarve kasvaa suoraan verrannollisesti tilavuuden mukaan.

Vesisammutusjärjestelmissä mitoitus perustuu mitoittavaan suojausalaan (m<sup>2</sup>), jolloin luokituksesta riippuen sammutukseen tarvittava vesimäärä ei ole sidoksissa sammutusjärjestelmän laajuuteen.

Perinteisessä sprinklerijärjestelmässä sammutusveden saanti turvataan kahdesta suunnasta syötetyllä vesijohdolla ja varmennetaan pelastuslaitoksen mahdollisuudella pumpata lisävettä järjestelmään palotilanteessa.

Toisena yleisesti käytettynä järjestelmänä suojaus tehdään korkeapaineisella vesisumujärjestelmällä (high-fog), missä sammutus tapahtuu vähäisemmällä vesimäärällä. Sammutusveden saanti turvataan kuten sprinklerijärjestelmässä tai erillisellä painesäiliöllä.

Savunpoistojärjestelmä on suunniteltava rakennukseen, vaikka siellä työskentelevien henkilöiden määrä ei ole suuri verrattuna vaikkapa kokoontumisrakennuksiin. Mitoitus perustuu laadittuun savunpoistosuunnitelmaan ja sen toteutus voi tapahtua joko savunpoistoluukuilla mekaanisesti tai automatiikan ohjauksella savunpoiston ohjauskeskuksesta (SPOK).

Toisena vaihtoehtona on toteuttaa savunpoisto koneellisesti käyttämällä korkean lämpötilan keston omaavia savunpoistopuhaltimia. Savunpoistojärjestelmät liitetään varmistettuun sähköverkkoon ja kaapelointi tehdä palosuojaetuilla kaapeleilla. /7/.

## 6.8 Toimintakokeet, vastaan- ja käyttöönotto

Järjestelmien toimintakokeilla varmistetaan niiden suunnitelmien mukainen toiminta. Toimintakokeiden suoritus tehdään laadittujen toimintakoeohjelmien avulla ja mahdolliset puutteet dokumentoidaan ja korjataan. Kaikki järjestelmille tulee tehdä toiminta ja kuormituskokeet ja niiden jälkeen suoritetaan järjestelmien yhteiskoekäyttö. /7/.

Vikatilannetta tarkastellaan tekemällä ns. blackout-testi aiheuttamalla vikatilanne ja dokumentoimalla eri järjestelmien toiminta. Testin tarkoituksena on varmistaa:

- kiinteistön varavoimalaitteiden toiminta sähkökatkoksen aikana ja
- laitteiden palautuminen normaaliin käyttötilaan sähkökatkoksen jälkeen.

Testi suoritetaan katkaisemalla rakennuksen sähkönsyöttö pääkytkimestä. Varmistetaan varavoimalaitteistojen käynnistyminen ja varavoimasyöttöjen riittävyys. Varavoimaan kytkettyjen laitteistojen tulee toimia suunnitellulla tavalla. Testin jälkeen sähkölaitteiden tulee palata automaattisesti suunniteltuun toimintatilaan. Testin perusteella tehdään tarvittavat korjaukset ja uudistetaan testi. /7/.

Toiminta- ja yhteiskäyttökokeissa (vastaanottovaihe) käydään läpi mm /25/:

Automaatiojärjestelmiin liittyen:

- valvomo ja sen ohjelmistot
- energian mittaus- ja raportointijärjestelmä (sähköenergia, lämpöenergia, vesimäärä)
- IT-järjestelmät (serverit, tiedonsiirtolaitteet) ja tietoturva
- käyttöoikeudet eri käyttäjille
- etäkäyttö

LVI-järjestelmiin liittyen:

- ilmastointikojeet vyöhykkeineen ja jälkilämmityksineen
- käyttövesijärjestelmät (lämpötilat, kiertopiirit jne.)
- lämmitysjärjestelmät
- jäähdytysjärjestelmät
- säätö- ja valvontajärjestelmät
- verkostoautomaatiojärjestelmät
- jätevesi- ja hulevesipumppaamot
- vesivuotovalvonta
- varavoiman apujärjestelmät

#### Savunpoistojärjestelmiin liittyen

- järjestelmään liittyvät laitteet
- järjestelmään liittyvät savunpoistotilanteet

#### Sähköjärjestelmiin liittyen:

- valaistus
- valaistuksen ohjausjärjestelmät
- varavoimajärjestelmä
- sähkönjakelujärjestelmät (kompensointi, pääkeskus, muuntamo, UPS-laitteet)

#### Turvajärjestelmiin liittyen:

- turvavalot
- kameravalvontajärjestelmä
- kulunvalvonta
- rikosilmoitusjärjestelmä
- paloilmoitus
- hissit
- palonsammutusjärjestelmä
- hätäkuulutusjärjestelmä
- IT-järjestelmät ja tietoturva
- hätäpuhelin
- VIRVE

#### Henkilöstöön liittyen:

- valvomo-operaattori
- atk-tukihenkilö
- turvallisuuspäällikkö
- pelastuslaitos
- hissipäivystys
- tietoliikenneverkon hallinta



- eri järjestelmien ylläpitosopimukset

Kaikkiin järjestelmiin liittyen:

- mittauspöytäkirjojen läpikäyminen ja hyväksyminen
- säätölaitteiden virituspöytäkirjat
- luovutusdokumenttien läpikäynti ja hyväksyminen
- käyttöohjeiden läpikäynti ja hyväksyminen
- varaosat ja huoltovälineet

Kuormituskokeessa testataan ao. tilan olosuhteiden pysyvyyttä tuomalla tilaan järjestelmien tehomitoitusta vastaavat koekuormat (lämpöä, kosteutta, jäähdytystä, jne.).

Rakennustöiden ja taloteknisten järjestelmien takuu aika on yleisesti 2 vuotta. Takuu aikana urakoitsijat ja laitetoimittajat vastaavat laitteiden ja järjestelmien toimivuudesta urakkasopimuksen mukaisesti. Takuuajan jälkeen vastuut ja velvollisuudet lakkaavat.

## 7 Toimivuuden varmistus toteutuneissa kohteissa

### 7.1 Case 5 MW maan alla

Valtiolliset luottamukselliset tiedostot, pankkien luottamukselliset tiedostot ja kriittiset telecom palvelimet on säilytettävä huipputurvallisissa laitesuojissa. Kohteiden sijainti on yleisesti salattu. Kohteet ovat toteuttavat Katakryn korkeimmat luokat ja noudattavat Viestintäviraston Ficora määräyksiä verkkoturvallisuudessa.

Helsingin keskustan alueella sijaitsevan kohteen kapasiteettia lisättiin 5 MW, sähkösyöttö uusittiin ja konesalit varustettiin uusilla varavoimakoneilla 2N periaatteella. Jäähdytys toteutettiin yhdessä Helen Oy:n kanssa kaukokylmällä, varajäähdytysjärjestelmä toteutettiin sprinklerivesisyötöllä. Sprinklerivesisyöttö on kahdesta suunnasta syötetty vesilähde, jolloin mahdollinen putkirikko ei vaaranna sen toimivuutta. /13/.

### 7.2 Case 20 MW maan päällä

**Hypercare Data Center (HDC)** tarjoaa yrityksille paikkaa säilyttää ja operoida omaa toimintaansa turvallisessa ympäristössä varmistetun sähkösyötön ja jäähdytyksen avulla. Näitä datacentereitä kutsutaan myös Collocation datacenteriksi. Jäähdytys ja sähkön syöttö on suunniteltu N+1 periaatteella ja sähkön syöttö on varmistettu varavoimakoneilla. Datacenter jakautuu kahteen 10 MW osaan ja voidaan modulaarisesti rakentaa kahdessa vaiheessa. Modulaariset osat kytetään ristiin sähkön ja jäähdytyksen osalta. /13/.

## 8 Yhteenveto

Datakeskuksen järjestelmät ja erityisesti jäähdytys- ja varavoimajärjestelmät ovat avainasemassa, kun tarkastellaan edellytyksiä tuottaa häiriöttömät ja energiatehokkaat puitteet datakeskusten toiminalle. Nämä järjestelmät ovat useimmiten myös monimutkaisia, ja niihin liittyy laitteistojen redundanttisuutta johtuen datakeskusten kriittisestä asemasta. Yhden laitteen tai järjestelmän vikaantumiseen pyritään siis varautumaan vähintään kahdentamalla niitä.

Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää miten toimivuuden varmistusjärjestelmä (ToVa) voitaisiin käyttää datakeskusten vastaan- ja käyttöönottoaiheessa.

Työ toteutettiin selvittämällä kirjallisuuskatsauksella niitä perusteita, joilla datakeskuksen investointi- ja sijoituspäätös voidaan tehdä sekä kartoittamalla toiminnan kannalta kriittiset järjestelmät.

Työn aikana sain mahdollisuuden Ramboll Finland Oy:ssä tutustua toteutuneissa kohteissa käytettyjen Tier-luokitusten vaikutuksia suunnitteluratkaisuihin sekä vastaanottovaiheen ToVa-menettelyyn. Datakeskus hankkeet ovat aina NDA-menettelyn (Non-disclosure Agreement) alaisia, joten kaikkia yksityiskohtia en voinut selvittää.

Insinööriyön lopputuloksena on yleisesti käytössä olevan toiminnan varmistusmenettelyn (ToVa) ja datakeskuksissa käytettävien järjestelmien perusteiden esittely.

Insinööriyön pohjalta tullaan Ramboll Finland Oy:ssä kehittämään yksityiskohtaisempi toimivuuden varmistusohjelma yksityiskohtaisine tarkistuslistoineen ja ohjelmineen.

## Lähteet

- 1 TIA-942 2015. Telecommunication infrastructure Standards for Datacenter. Telecommunication Industries Association.
- 2 LEED Telia Helsinki Datacenter. Viitattu 20.11.2019 <https://www.usgbc.org/projects/telia-helsinki-data-center>
- 3 Uptime Institute. <https://uptimeinstitute.com/tier-certification>.
- 4 Datakeskukset kiinteistösijoitustuotteena Suomessa. Opinnäytetyö Pia-Sofia Lehtoniemi. Aalto-yliopisto 2019.
- 5 Verkkovalvonnasta 2015. EFFI. Saatavissa: <https://effi.org/blog/2015-01-19-verkkovalvonnasta.html>.
- 6 Verohallinto. <https://www.vero.fi/yritykset-ja-yhteisot/verot-ja-maksut/valmisteverotus/sahkovero/>
- 7 Haastattelu 5.1.2022. Timo Svahn, Ramboll Finland Oy.
- 8 Story of C -Lion1 2016. Cinia. Saatavissa: <https://www.cinia.fi/en/services/international-connectivity-services/c-lion1-submarine-cable.html>.
- 9 Rihard Romka. Opinnäytetyö OAMK 2018. Datakeskusten hukkalämmön hyödyntäminen Pohjois-Pohjanmaalla
- 10 ANSI/ASHRAE Standard 90.4-2019. Energy Standard for Data Centers. The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- 11 Baxtel Datacenter Resource. <https://baxtel.com/>
- 12 Laitinen, H. 2016. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108055/02-05-2016Oppari-Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 13 Haastattelu 12.3.2022. Timo Puroviita, Ramboll Finland Oy.
- 14 Matti Laakso. Opinnäytetyö Turun AMK 2010. PK-yrityksen tietoturvasuunnitelman laatiminen. Saatavissa [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20793/laakso\\_matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20793/laakso_matti.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 15 Konesalien energia- ja energiahyötykäytön tehokkuus energiaverotuksessa. Raportti valtiovarainministeriölle. Granlund Oy Data Centers 22.9.2021.
- 16 Energiatehokas konesali-opas. Motiva Oy. Saatavissa [https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas\\_konesali.pdf](https://www.motiva.fi/files/4828/Energiatehokas_konesali.pdf)

- 17 Joshi, Y. & Kumar, P. 2012. Energy Efficient Thermal Management of Data Centers.
- 18 ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. VTT tiedotteita 2413.
- 19 42U Data Center Solutions. 2009. Hot aisle containment strategies. Saatavissa: <http://www.42u.com/cooling/hot-aisle-containment.htm>
- 20 Kylmäextra 2/2018, Datacentereiden monipuoliset jäähdytysratkaisut /Timo Puroviita.
- 21 Tuomo Ulvila. Opinnäytetyö VAMK 2019. Datacenter kohteen sähkönjakelu.
- 22 KWset Oy. Valmistajan esite. Saatavissa: <https://www.kwset.fi/fi/varavoi-malaitteet/avokoneet/>
- 23 Ylinen, M. 2010. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24770/Ylinen\\_Marko.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24770/Ylinen_Marko.pdf?sequence=1)
- 24 Opinnäytetyö Riikka Merioja. Metropolia 2019. Vuokaavio RAU-suunnittelun työkaluna datakeskusjärjestelmissä.
- 25 Toimivuuden varmistussuunnitelma-malli. Ramboll Finland Oy

## Liitteet

### ToVa-prosessin tehtävät ja vastuuhenkilöt

TEHTÄVÄT	Laatimisvas- tuu	Tarkastusvastuu	Hyväksyntä	Tulosteet
<b>SUUNNITTELUN VALMISTELU</b>				
Nimetään ToVa-vas- tuuhenkilö	Omistaja			ToVa-vastuuhenkilön referenssit vastaavista hankkeista
Sisällytetään ToVa- vaatimukset suunnit- telutarjouspyyntöihin	Rakennuttaja- konsultti		Omistaja	Tarjouspyyntöaineisto, suunnittelusopimukset
Nimetään ToVa- ryhmä	Omistaja			Nimetty ToVa-ryhmä
Dokumentoidaan omistajan tavoitteet hankkeelle	Rakennuttaja- konsultti	ToVa-vastuuhen- kilö	Omistaja	Owner Project require- ments (OPR)
Laaditaan rakennus- tapaselostukset	Suunnittelijat	Rakennuttajakon- sultti, ToVa-vas- tuuhenkilö	Omistaja	Basis of design (BOD)
<b>SUUNNITTELU</b>				
Laaditaan alustava ToVa suunnitelma	ToVa-vastuu- henkilö	Rakennuttajakon- sultti, LEED-kon- sultti	Omistaja	Alustava Commissio- ning Plan
Sisällytetään ToVa- vaatimukset urakka- asiakirjoihin	Rakennuttaja- konsultti, ToVa-vastuu- henkilö		Omistaja	Urakka-asiakirjat
Suoritetaan suunni- telmien tarkastus	Suunnittelijat	Rakennuttajakon- sultti, ToVa-vas- tuuhenkilö	Omistaja	Suunnitelmakatselmuk- sien muistiot
<b>RAKENTAMINEN</b>	<b>Laatimisvas- tuu</b>	<b>Tarkastusvastuu</b>	<b>Hyväksyntä</b>	<b>Tulosteet</b>

Päivitetään ToVa-suunnitelma	ToVa-vastuuhenkilö	Rakennuttajakonsultti, LEED-konsultti	Omistaja	Commissioning Plan
Laitehankintojen hyväksyntä	Urakoitsijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Hyväksyntämuistiot, yhteenvetotaulukot, työmaakokouspöytäkirjat
Asennusten tarkastuslistojen laatiminen	Urakoitsijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Laadunvarmistus- ja valvontasuunnitelmat, tarkastuslistat
Asennustapatarkastukset	Urakoitsijat, valvojat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Tarkastusmuistiot, tarkastusasiakirja, työmaakokouspöytäkirjat
<b>VASTAAN- JA KÄYTTÖÖNOTTO</b>				
Vastaanoton aikataulun laatiminen	Pääurakoitsija	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Yksityiskohtainen aikataulu ja hyväksyntä
Toimintakokeiden tarkastuslistojen laatiminen	Urakoitsijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Rakennuttajakonsultti	Tarkastuslistat ja hyväksyntä
Toimintakokeet	Urakoitsijat, valvojat	Rakennuttajakonsultti, ToVa – vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Täytetyt tarkastuslistat, puuteluettelo
Mittaukset, säädöt ja viritykset	Urakoitsijat, valvojat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Mittauspöytäkirjat
Koekäytöt, taloteknisten järjestelmien yhteiskoekäytöt	Urakoitsijat, valvojat	Rakennuttajakonsultti, ToVa – vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Raportti, trendit

Luovutusasiakirjat, huoltokirja	Urakoitsijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa – vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Luovutusasiakirjat, huoltokirja, hyväksyntä
Käyttösuunnitelma / seurantakatselmusohje	Suunnittelijat	ToVa-vastuuhenkilö	Omistaja	Suunnitelmaraportti
Koulutussuunnitelma	ToVa-vastuuhenkilö	Kiinteistöjohto	Omistaja	Suunnitelmaraportti
Käytön opastus	Urakoitsijat, suunnittelijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa – vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Raportti suoritetusta käytön opastuksesta huoltohenkilökunnan allekirjoituksella
Toiminnanvarmistusraportti	ToVa-vastuuhenkilö	Rakennuttajakonsultti, LEED-konsultti	Omistaja	Yhteenvetoraportti
<b>TAKUUAIKA</b>				
Kausiluonteiset säädöt ja koekäytöt	Urakoitsijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Raportti
Takuuajan huollot	Urakoitsijat, suunnittelijat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Raportti suoritetusta takuuajan huolloista huoltohenkilökunnan allekirjoituksella
Takuuaikaiset toimintakokeet	Urakoitsijat, valvojat	Rakennuttajakonsultti, ToVa-vastuuhenkilö, valvojat	Omistaja	Täytetyt tarkastuslistat, puuteluettelo
Käytön opastus takuuajan lopussa	Urakoitsija, suunnittelijat	Rakennuttajakonsultti, valvojat	Omistaja	Raportti suoritetusta käytönopastuksesta huoltohenkilökunnan allekirjoituksella