



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tuomo Ulvila

DATACENTERKOHTEEN SÄHKÖNJAKELU

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Tuomo Ulvila
Opinnäytetyön nimi	Datacenterkohteen sähkönjakelu
Vuosi	2019
Kieli	Suomi
Sivumäärä	44 + 6 liitettä
Ohjaaja	Mikko Västi

Tämä opinnäytetyö tehtiin VEO Oy:lle. Tarkoituksena oli kartoittaa, miten datacenterin sähkönjakelujärjestelmä voitaisiin rakentaa VEO:n omia tuotteita hyödyntämällä. Datacenterit kuluttavat valtavan paljon sähköä, joten niiden sähkönjakelujärjestelmän täytyy olla luotettava ja erittäin joustava kokonaisuus. Datacentereiden sähkönjakelujärjestelmän voi toteuttaa monella eri tavalla. 10 vuotta sitten hyväksi todettu sähkönjakelujärjestelmä ei täytä enää nykypäivän vaatimuksia. Tässä opinnäytetyössä esitellään muutama eri jakelutapa ja suunnitellaan mallisähkönjakelujärjestelmä.

Tämä opinnäytetyö perustuu erilaisiin julkaisuihin ja asiakirjoihin, joissa esitellään datacentereiden ongelmia ja ratkaisuja. Lisäksi laitevalmistajilla on omia vaatimuksia ja toteutustapoja. Näitä kaikkia tietolähteitä on yhdistelty kokonaiskuvan saamiseksi hyvästä datacenterin sähkönjakelujärjestelmästä.

Opinnäytetyötä tehdessä tuli varsin selkeästi esille, miten nopeasti datacentereiden sähkönjakelujärjestelmät ovat kehittyneet viimeisen 10 vuoden sisällä. Lisäksi alalla on todella paljon eri tapoja ja mittareita erilaisten asioiden kuvaamiselle. Näille on kuitenkin olemassa vain vähän standardeja, jotka kuvaisivat yhtenäisellä tavalla datacenteriä.

Työn tuloksena oli mallisähkönjakelujärjestelmä datacenterkohteelle.

ABSTRACT

Author	Tuomo Ulvila
Title	Power Distribution for a Datacenter
Year	2019
Language	Finnish
Pages	44 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Mikko Västi

This thesis was done for VEO Oy. The purpose was to explore how the datacenter power distribution systems could be done by using VEO's own products. Datacenters consume a huge amount of electricity these days, so their power distribution system must be reliable and highly flexible. There are many ways to execute the power distribution system for datacenters. The electricity distribution system, which was approved 10 years ago, no longer meets today's requirements. This thesis introduces a few different distribution methods and builds a model power distribution system.

This thesis is based on various publications and documents in which different parties report on data center problems and solutions. In addition, device manufacturers have their own requirements and implementation methods. All these sources of information have been combined to provide a complete picture

During the thesis, it became quite clear how fast data center power distribution systems have evolved over the last 10 years. In addition, there are many different ways and metrics in the industry to describe different things. However, few standards have been defined for these to describe the datacenter in a uniform manner.

The result of this thesis was power distribution system for a datacenter.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOLUETTELO

LIITELUETTELO

LYHENTEET

1	JOHDANTO	9
2	VEO OY	10
3	DATACENTERKOHTEIDEN SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT	11
	3.1 Ryhmäkeskusjakelu	12
	3.2 Perinteinen PDU- jakelu	14
	3.3 Modulaarinen PDU- jakelu	14
4	VAATIMUSMÄÄRITTELY	17
	4.1 20kV jakelujärjestelmä	18
	4.2 400/690 V jakelujärjestelmä	19
	4.3 Varmennetun syötön laitteisto	21
	4.3.1 Varavoimakoneet	21
	4.3.2 UPS- laitteisto	22
	4.4 Mittaukset ja valvonta.....	24
	4.4.1 PUE ja ERE.....	24
	4.5 Maadoitusjärjestelmä	26
5	MALLIJAKELUJÄRJESTELMÄ	27
	5.1 Palvelinkaapit.....	27
	5.2 PDU- yksiköt ja palvelinhuoneet	27
	5.3 UPS- laitteisto	30
	5.4 Pienjännitekojeistot.....	31
	5.5 Varavoima.....	33
	5.6 Muuntajat	34
	5.7 Keskijännitekojeisto.....	35
6	MALLIJAKELUJÄRJESTELMÄN TOIMINTA VIKATILANTEESSA....	37
	6.1 Vikatilanne 1	38

6.2	Vikatilanne 2.....	39
6.3	Vikatilanne 3.....	40
6.4	Vikatilanne 4.....	41
7	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET	

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Datacenterin sähkönkuluttajat.	12
Kuvio 2. Esimerkki ryhmäkeskusjakelusta.	13
Kuvio 3. Modulaarinen 277kW:n PDU- yksikkö sekä kolmivaiheinen 20A lähtö- /liitosadapteri palvelinkaapeille.	15
Kuvio 4. Modulaarisessa jakelussa käytetään pikaliitoksia.	16
Kuvio 5. Rittalin valmistama palvelinkaappi.	20
Kuvio 6. CAT 3516E- (50Hz) diesel- käyttöinen varavoimakone.	22
Kuvio 7. Eaton Power Xpert 9395 UPS.	23
Kuvio 8. Googlen käyttämä PUE- luvun laskentapa.	25
Kuvio 9. Yksi PDU- yksikkö jakaa sähköä kahdelle palvelinkaappiryhmälle.	28
Kuvio 10. Yhdessä palvelinhuoneessa on neljä PDU- yksikköä.	29
Kuvio 11. Varasyöttö kahdelle palvelinhuoneelle.	30
Kuvio 12. UPS- jakelu palvelinhuoneille.	31
Kuvio 13. LV1- ja -LV2 kojeistojen lähdöt.	32
Kuvio 14. CoolIT Rack DCLC CHx 750 jäähdytysnesteen jakeluyksikkö.	32
Kuvio 15. Pienjännitekojeistoja voidaan syöttää varavoimakoneilla G1 ja G2.	34
Kuvio 16. Kolmella eri muuntajalla voidaan syöttää LV-kojeistoja.	35
Kuvio 17. Yksi 20kV sähköliittymä syöttää keskijännitekojeistoa.	36
Kuvio 18. Sähkönjakelujärjestelmä normaalissa tilassa.	37
Kuvio 19. Vikatilanne 1.	38
Kuvio 20. Vikatilanne 2.	39
Kuvio 21. Vikatilanne 3.	40
Kuvio 22. Vikatilanne 4.	41

LIITELUETTELO

LIITE 1 VEBA- kiskosiltajärjestelmän tekniset tiedot

LIITE 2 3150kVA muuntajan tekniset tiedot

LIITE 3 VEDA- pienjännitekojeiston tekniset tiedot

LIITE 4 VECTOR- keskijännitekojeiston tekniset tiedot

LIITE 5 Jäähdytysnesteen jakeluyksikön tekniset tiedot

LIITE 6 CAT 3516E- (50HZ) diesel varavoimakone

LYHENTEET

PDU	Power distribution unit, tehonjakeluyksikkö
PUE	Power Usage Effectiveness, energiatehokkuus
IT	Informaatioteknologia, tietotekniikka
ERE	Energy Reusage efficiency, energian uudelleenkäyttötehokkuus
UPS	Uninterruptible power supply, keskeytymätön virransyöttö
kW	Kilowatti, tehon yksikkö
A	Ampeeri, sähkövirran yksikkö
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition, valvomo-ohjelmisto
SRG	Signal reference grid, signaalin maadoitusverkko
V	Voltti, jännitteen yksikkö
kV	Kilovoltti (1000V), jännitteen yksikkö
kVA	Kilovolttiampeeri, näennäisteho
Sn	Näennäisteho
MV	Keskijännite
LV	Pienjännite
SLD	Single line diagram, yksiviivakaavio
MVA	Megavoltiampeeri, näennäisteho

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin VEO Oy:lle, teollisuusosastolle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia datacenterin sähkönjakelujärjestelmää ja sen erilaisia häiriötilanteita. Lopuksi määritellään mallijakelujärjestelmä ja analysoidaan sen toimintaa. Työ tehtiin ns. tapaustutkimuksena.

Datacenter eli palvelinkeskus on tila, jossa on tietokoneita ja servereitä. Kyseiset laitteet käsittelevät ja tallentavat dataa. Datacenter voi olla huoneen tai suuren teollisuushallin kokoinen tila. Datacenterit kuluttavat valtavan paljon sähköä ja on arvioitu, että vuoteen 2025 mennessä ne kuluttavat viidesosan maapallon sähköenergiasta.

Tässä työssä esitellään aluksi yritystä, jolle tämä opinnäytetyö tehtiin. Tämän jälkeen käydään järjestyksessä läpi datacenterin AC- sähkönjakelu sähköliittymän syöttäessä jakelumuuntajia ja millaisilla ratkaisuilla sähkönsyöttö on toteutettu itse datacenterille. Jakelumuuntajilta sähköenergia pitää jakaa eteenpäin datacenterin kuluttajille erilaisilla ratkaisuilla. Tässä työssä käydään läpi muutamia tyypillisimpiä käytössä olevia tapoja.

Datacenterien sähköenergian kulutusta mitataan ja valvotaan tarkasti, jotta datacenterit olisivat mahdollisimman energiatehokkaita ja sähköenergia saataisiin käytettyä tehokkaasti. Lopuksi määritellään yksinkertainen esimerkki, miten datacenterin sähkönjakelu voitaisiin toteuttaa. Tämän lisäksi sähkönjakelujärjestelmän toiminta analysoidaan erilaisissa käyttö- ja häiriötilanteissa. /1/

2 VEO OY

VEO tarjoaa erilaisia automaatio- ja sähköistysratkaisuja energian tuotantoon, -siirtoon ja -jakeluun. Projekteja tehdään Suomeen sekä ympäri maailmaa. VEOlla on omia tuotteita, joita hyödynnetään projekteissa, keskijännitekojeisto VECTOR, pienjännitekojeisto VEDA sekä kiskosiltajärjestelmä VEBA.

Yritys on perustettu joulukuussa 1989. Pääkonttori sijaitsee Suomessa, Vaasassa. Pääkonttorin yhteydessä on myös Pohjoismaiden suurin kojeistotehdas, jossa valmistuu eri projekteihin sähkökeskuksia ja kojeistoja. Yrityksellä on konttorit myös Ruotsissa, Norjassa ja Englannissa. Lisäksi Englannissa on tuotantotiloja. VEO Oy:ssä työskentelee n. 450 henkilöä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2018 n. 100 miljoonaa euroa.

VEO on osa Vaasan kuuluisaa energiaklusteria, ja tekee paljon yhteistyötä eri yritysten kanssa, esimerkiksi Danfossin kanssa. VEO on myös mukana marine eli meriteollisuustoiminnassa. 2016 se sai historiansa suurimman tilauksen, kun saksalainen varustamo Meyer Werft tilasi neljän loistoristeilijän sähköistykset. /16-18/

3 DATACENTERKOORTEIDEN SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT

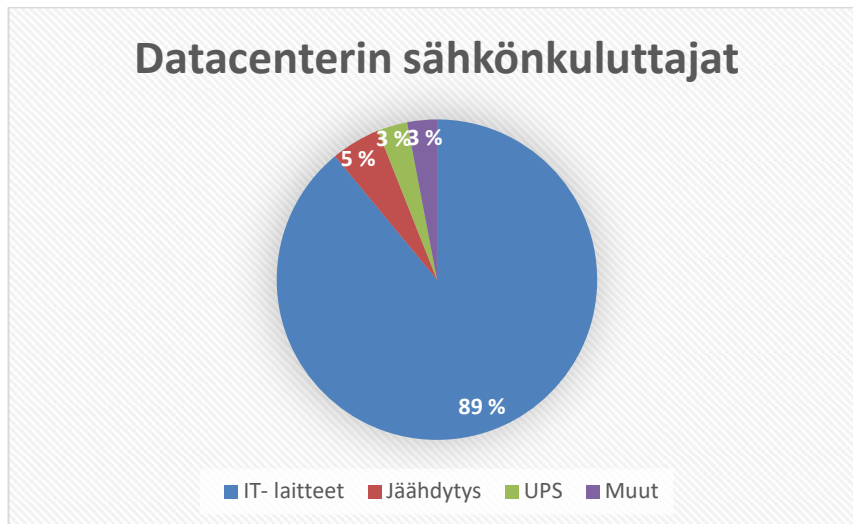
Jakelutavan valinta on tärkeä osa datacenteriä suunniteltaessa. Pienessä kohteessa prioriteetti on helppous ja yksinkertaisuus. Isossa datacenterissä halutaan hyvä käyttövarmuus, sekä mahdollisuus siirtää suuria tehoja. Nykypäivänä on paljon datacentereitä, joiden IT- laitteiden sähkönjakelun arkkitehtuuri on kehitetty n. 40 vuotta sitten. Tämä tapa ei vastaa enää nykypäivän vaatimuksia. IT- laitteita lisätään ja poistetaan jatkuvalla tahdilla, jota vanha jakelutapa ei tue. Uudella kehittyneemmällä tavalla voidaan yhdellä joustavalla syötöllä jakaa jopa 30 kW tehoa ja siinä samalla saadaan kaikki mittarointiin ja valvontaan tarvittavat työkalut.

Tässä luvussa vertaillaan viittä eri tapaa toteuttaa sähkönjakelu IT- laitteille datacentereissä nykypäivänä. Jokaisessa viidessä jakelutavassa on hyvät ja huonot puolensa. Esimerkiksi jokin yritys voi haluta datacenterin vain omiin tarpeisiinsa ja silloin yksinkertaisin tapa toteuttaa datacenterin sähkönjakelu on varmasti tärkeässä osassa. Kun taas yritys, joka tarjoaa datacenterpalveluita, tarvitsee todella hyvin mukautuvan jakelujärjestelmän, jossa on mahdollista lisätä ja vähentää IT-laitteistoa nopealla syklillä. Tällainen mukautuva järjestelmä on kalliimpi investointi mutta energiatehokkuus, ja sitä kautta optimaalinen määrä laskentatehoa säästävät rahaa.

Datacenterin suurin sähkönkuluttaja on IT-laitteisto, joka tuottaa laskentatehoa ja säilöö dataa. Laitteisto kuluttaa noin 80 - 90 % koko datacenterissä kuluvasta sähköenergiasta. Seuraavaksi eniten sähköä kuluu jäähdytykseen. IT- laitteet kuumelevat paljon ja ne täytyy saada jäähdytettyä, jotta IT-laitteisto pysyy toimintakuntoisena. Vaikka IT-laitteistolle onkin oma jäähdytys, ne myös lämmittävät ympäristöä.

Rakennuksen ilmanvaihdon pitää olla kunnossa, jotta lämmin ilma saadaan poistettua rakennuksesta. Ennen puhuttiin lämmön ”hävittämisestä”, miten lämmin ilma saadaan rakennuksesta mahdollisimman halvalla ja tehokkaasti pois. Nykyään yhä enemmän tätä ns. hukkalämpöä käytetään hyväksi muiden rakennusten

lämmittämiseen ja sillä voidaan saavuttaa taloudellista hyötyä. Kuviossa 1 on esitetty mihin sähköenergiaa datacenterissä kuluu. Jäähdytyksellä tarkoitetaan IT-laitteiston kohdennettua vesikiertoista jäähdytysjärjestelmää sekä ilmanvaihtojärjestelmää. /2/



Kuvio 1. Datacenterin sähkönkuluttajat.

3.1 Ryhmäkeskusjakelu

Ryhmäkeskusjakelu on halvin ja kaikkein yksinkertaisin tapa toteuttaa datacenterin sähkönjakelu. Se on hyvä valinta jakelutavaksi, jos IT-laitteisto pysyy vakiona.

Pääsähkönjakelu on toteutettu ryhmäkeskuksille, jotka on asennettu ympäri datacenteriä. Ryhmäkeskukseen tuodaan syöttökaapeli pääkytkimelle, jonka jälkeen sähkö jaetaan lähtöryhmille, joilta jakelu tapahtuu yksittäisille palvelinkaapeille. Ryhmäkeskuksille tuleva syöttökaapeli tuodaan joko katonrajassa kaapelihyllyjä pitkin tai nostetun lattian alla. Toisinaan nostetun lattian alle on tehty kaapeille vielä omat kuilut, jota pitkin ne kulkevat. Kolmas tapa on vetää kaapelit vapaasti rakennuksen lattialla.

Tällainen jakelutapa on nopeasti rakennettavissa pienellä investoinnilla. Lisäksi käytettävät komponentit ovat halpoja ja helposti saatavilla, kun niitä käytetään

myös tavallisessa rakennussähköistyksessä. Komponentin hajotessa sähköasentaja pystyy helposti ja nopeasti vaihtamaan uuden komponentin. /2/



Kuvio 2. Esimerkki ryhmäkeskusjakelestä.

Ryhmäkeskusjakelelun ongelmat alkavat, kun halutaan muokata jakelujärjestelmää tai tehontarve lisääntyy huomattavasti. Ryhmäkeskukset ovat tyypillisesti mitoitettu 1,5kVA- 75kVA teholle. Suunnittelija tietää etukäteen paljonko ryhmäkeskuksen takana on IT- laitteita. Tästä voidaan laskea tehot ja virrat, jonka ryhmäkeskuksen pitää kestää. Jos IT- laitteiston teho halutaan esim. kaksinkertaistaa, ei se ole mahdollista ilman suuria muutostöitä.

Ryhmäkeskusjakelellä tehtävän asennustyön määrä on iso. Kytkevävirheiden mahdollisuus on suuri, kun kytkettäviä kaapeleita on paljon. Ryhmäkeskuksessa saattaa olla vain yksi energiamittari, joka kertoo keskuksen sähkön kulutuksen. Tämä ei kerro yksittäisen lähdön sähkönkulutusta. Tällaisessa jakelutavassa ei ole etäohjausmahdollisuutta ja usein myös valvonta on yksinkertaista. Käytännössä tarkastetaan onko sulake lauennut tai jokin serverikaappi on ilman sähköä. /2/

3.2 Perinteinen PDU- jakelu

Perinteinen PDU- jakelutapa on suuremmalle, 50kVA- 500kVA teholle tarkoitettu. Tämä jakelutapa on saman tyylinen kuin ryhmäkeskusjakelu, asennuksen ollessa jossain määrin kiinteä asennus. PDU- yksiköt sijoitetaan datacenterissä lähelle palvelinkaappeja. PDU- yksiköiden sähkönsyöttö on toteutettu pienjännitekojeistosta tulevalla kaapeloinnilla tai kiskostojärjestelmällä.

PDU- yksiköiltä jakelu serverikaapeille on toteutettu kahdella tapaa. Ensimmäinen tapa on samantyylinen kuin ryhmäkeskusjakelussa. Sähköasentaja vetää kaapelit joko katossa kaapelihyllyillä tai lattian alla. Tässä on myös riskinä asentajan tekemät virheet, kun johdotus- ja kytkentätyö tehdään työmaalla.

Toinen tapa on käyttää valmiiksi tehtaalla johdotettuja PDU- yksikköjä. Kaapelit on valmiiksi kytketty PDU- yksikköön ja vain toinen pää pitää kytkeä työmaalla. Tällä tavoin työmaalla ei tarvitse tehdä johdotus- ja kytkentätyötä niin paljoa ja mahdollisten virheiden määrä vähenee. Valmiiksi johdotetut PDU- yksiköt ovat kalliimpi investointi, mutta aikaa ja rahaa säästyy työmaalla tehtävien töiden vähentyessä.

PDU- yksiköillä toteutettu jakelu on paljon paremmin valvottavissa ja energiankulutus pystytään mittaamaan paljon tarkemmin. Tämän jakelutavan etuina on, että ei tarvitse tietää tarkkaa IT- laitteiston tehoa tai määrää etukäteen, koska pelivaraa on enemmän. Toisaalta tämä jakelutapa vaatii enemmän kuluttajia, jotta kyseistä jakelutapaa kannattaa käyttää. /2/

3.3 Modulaarinen PDU- jakelu

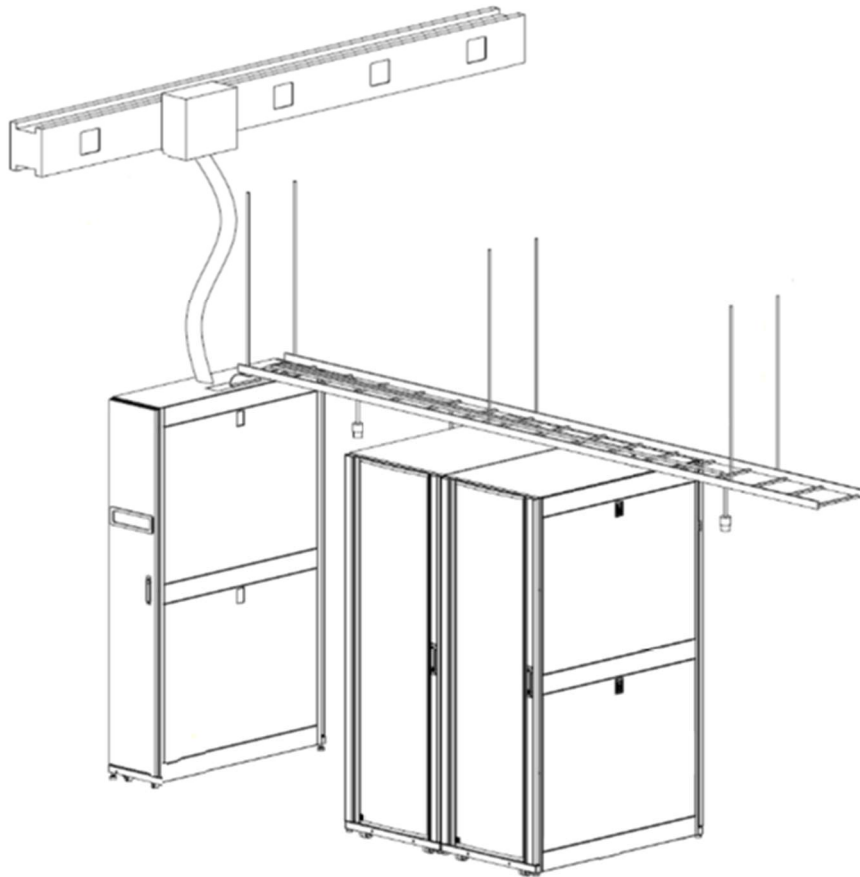
Modulaarinen jakelu, jota voisi kuvata plug-and play- (suom. ”kytke ja käytä”) jakeluksi, vastaa parhaiten nykypäivän datacentereiden vaatimuksia. Nykyään datacentereiden sähkönjakelujärjestelmän pitää pystyä mukautumaan tuotettavan serveritehon mukaan. Tämä seikka on tärkeä osa ajateltaessa nykypäivän vaatimuksia ja pyrkimystä toimia energiatehokkaasti.

Modulaaristen PDU- yksiköiden sähkönsyöttö tapahtuu samalla lailla kuin perinteisten PDU- yksiköiden sähkönsyöttö. Suurin ero jakelutapojen välillä on ”kytke ja käytä” idea. Modulaarinen PDU- yksikkö liitetään kiskostoon pikaliitoksen avulla. Lisäyksen voi tehdä, vaikka kiskosto olisi jännitteinen. Tämä on suurin yksittäinen ero muihin edellä mainittuihin jakelutapoihin verrattuna. PDU- yksiköstä lähdöt palvelinkaapeille on toteutettu niin ikään pikaliitintekniikan avulla. Lähtö voidaan lisätä PDU- yksikköön, yksikön ollessa jännitteinen ja täydessä toiminnassa.



Kuvio 3. Modulaarinen 277kW:n PDU- yksikkö sekä kolmivaiheinen 20A lähtö/liitosadapteri palvelinkaapeille.

Kuviossa 3 modulaarinen 277kW:n PDU- yksikkö, jossa 24 kappaletta 20A:n kolmivaiheisia lähtöjä palvelinkaapeille. PDU- yksikön ovesta olevasta näytöstä voi seurata yksikön tilaa ja jokaisen lähdön virrankulutusta sekä tehoja paikallisesti. Tiedot kulkeutuvat myös datacenterin valvomoon väylällä.



Kuvio 4. Modulaarisessa jakelussa käytetään pikaliitoksia.

Kuviossa 4 esimerkki modulaarisesta PDU- jakelusta. PDU- yksiköiden sähkönsyöttö on toteutettu virtakiskostolla, johon yksikkö liitetään pikaliittimellä. Yksiköstä lähdöt serverikaapeille on toteutettu kaapelilla, jonka molemmissa päissä on pikaliitin. Pikaliittimien ansiosta muokattavuus on helppoa, kun kaikki muutokset voidaan tehdä jännitteisenä. /2/

4 VAATIMUSMÄÄRITTELY

Tässä luvussa kerrotaan erilaisista vaatimuksista ja määrittelyistä, joita datacentereille on. Tämän opinnäytetyön datacenterin mallisähkönjakelujärjestelmä on suunniteltu laatutason 2 mukaan.

Datacentereitä luokittelee Uptime Institute, neljään eri laatutasoon (Tier 1-4). Luokituksella määritellään datacenterin käytettävyytaso ja miten sen jakelujärjestelmä on rakennettu. Tason noustessa, vaatimuksetkin kasvavat. Tason 4 datacenter on varmistettu kahdella eri sähköliittymällä sekä kaikki sähkönjakelussa on kahdennettu. Tason 4 datacenteri on käytännössä yritys, joka myy palvelinpalveluita. Seuraavassa on listattu eri laatutasot ja niiden vaatimukset: /21/

Laatutaso 1 (Tier 1):

- 99,671 % käytettävyys, max. 28,8 h häiriöaikaa vuodessa
- ei varmennusta

Laatutaso 2 (Tier 2):

- 99,749 % käytettävyys, max. 22 h häiriöaikaa vuodessa
- osittainen varmennus syötöille ja jäähdytykselle

Laatutaso 3 (Tier 3):

- 99,982 % käytettävyys, max. 1,6 h häiriöaikaa vuodessa
- N+1 varmennus,
- 72 h toiminta-aika sähkökatkon aikana

Laatutaso 4 (Tier 4):

- 99,995 % käytettävyys, max. 26,3 minuuttia häiriöaika vuodessa
- 2N+1 varmennus, kaikki on kahdennettu
- 96 h toiminta-aika sähkökatkon aikana

Nykyisin ympäristöasioiden tullessa yhä tärkeämmäksi on joitakin datacentereitä luokiteltu myös LEED- luokituksen mukaan. LEED- lyhenne tulee sanoista,

Leadership in Energy and Environmental Design. Luokituksen on kehittänyt US Green Building Council. Luokitus kuvaa kuinka rakennus on suunniteltu, rakennettu, operoitu ja huollettu, eli kuinka ympäristöystävällinen tai kestävä kehityksen mukainen rakennus on. Luokituksella on kolme tasoa: hopea, kulta ja korkeimpana tasona platina. Luokitus on sinällään harvinainen datacenterille, Yhdysvalloissa alle 5 % datacentereistä on LEED- luokitus, mutta luokitus tulee varmasti tärkeämmäksi tulevaisuudessa. Suomessa Telia Helsinki- datacenterillä on LEED gold eli kultatason luokitus. /22/

4.1 20kV jakelujärjestelmä

Tässä kappaleessa kerrotaan, miten datacenter kytketään sähköverkkoon. Datacenterin sähkönsyöttö voidaan toteuttaa yhdellä tai useammalla sähköliittymällä. Tapoja on monenlaisia, joista tässä kappaleessa esitellään muutamia ja pohditaan miten ne eroavat toisistaan.

Ensimmäisessä esimerkissä datacenterkokonaisuus liitetään sähköverkkoon yhdellä sähköliittymällä, joka kytkeytyy keskijännitekojeistoon. Keskijännitekojeisto syöttää yhtä muuntajaa. Yhdellä muuntajalla toteutettu jakelu on yksinkertainen suunnitella ja rakentaa. Huonona puolena voidaan pitää vain yhtä jakelumuuntajaa. Muuntajan vikaantuessa koko datacenterkokonaisuus menee sähköttömäksi.

Toisessa esimerkissä keskijännitekojeistolta sähkö jaetaan kahdelle tai useammalle muuntajalle. Muuntajat voidaan mitoittaa siten että ne hoitavat jakelun puoliksi tai kattavat yksin koko kuorman. Useamman muuntajan käyttö lisää kuitenkin kustannuksia.

Kolmas ja luetettavin tapa toteuttaa jakelu on käyttää kahta tai useampaa sähköliittymää. Jokaiselle sähköliittymälle on oma keskijännitekojeisto. Keskijännitekojeistot syöttävät eri jakelumuuntajia. Huonoja puolia ovat useamman sähköliittymän, keskijännitekojeiston sekä muuntajan aiheuttama kustannusten nousu ja tilan tarve. /21,23/

4.2 400/690 V jakelujärjestelmä

Palvelinkaapit ovat datacenterin pääsähkönkuluttajat. Palvelinkaappeihin asennetaan erilaisia IT-laitteita, jotka kuluttavat paljon sähköä. Jakelujärjestelmän pitää olla järeä ja sen tulee kestää isoja virtoja sekä tehoja.

Palvelinkaapit sijoitellaan ryhmittäin palvelinhuoneisiin. Täten palvelinkaapeille on helpompi rakentaa isoja virtoja kestävä jakelujärjestelmä. Ongelmana on kuitenkin satojen eri IT-laitteiden aiheuttama lämpeneminen. IT-laitteet vikaantuvat nopeammin lämpenemisen johdosta. Tämä seikka on huomioitu kaappien sijoittelulla palvelinhuoneessa, jotta ilma saadaan kiertämään palvelinkaappien ympärillä.

Palvelinhuonejaottelulla palvelinkaapit saadaan jäädytyksen näkökulmasta pienempään tilaan. Täten jäähditys saadaan kohdennettua tehokkaammin IT-laitteille. Huoneen sisällä palvelinkaapit ovat kymmenen kaapin ryhmissä, jotta niiden välille saadaan hyvä ilmankierto. Tarvittava jäähdytysteho voidaan määritellä lisäämällä IT-laitteiden kokonaistehoon 30 %. Tällainen määritelmä on karkea arvio vaaditusta jäähdytyslaitteiston tehosta, mutta on kuitenkin suuntaa antava.



Kuvio 5. Rittalin valmistama palvelinkaappi.

Yhden palvelinkaapin teho, kolmivaiheisella 400V, 16A syötöllä on 11,1kVA ja 32A:n syötöllä 22,2kVA. Tämän opinnäytetyön palvelinkaappien sähkönsyöttö on toteutettu 20A takaa.

13,85kVA on maksimiteho yhdelle palvelinkaapille tämän opinnäytetyön näkökulmasta. Yhdessä palvelinkaappiryhmässä on kymmenen palvelinkaappia, jolloin palvelinkaappiryhmän yhteistehoksi tulee 138,5kVA. Kun yhdessä palvelinhuoneessa on kahdeksan palvelinkaappiryhmää, yhden palvelinhuoneen tehoksi muodostuu 1108kVA. Lasketaan palvelinhuoneen virta I_H ja sen tarvitsema syöttökaisijan koko kaavalla:

$$I_H = \frac{P_{H1}}{U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{1108kVA}{0,4kV \cdot \sqrt{3}} = 1600A, \text{ jossa } P_{H1} = \text{yhden huoneen teho} \quad (1)$$

U_n = pääjännite

4.3 Varmennetun syötön laitteisto

Datacenterin pitää olla toimintakykyinen mahdollisen sähkökatkon aikana. Lyhyitä ja vähän pidempiä sähkökatkoja tapahtuu sähköverkossa silloin tällöin. Energiategiateollisuus ry:n mukaan koko Suomessa vuonna 2018 keskijänniteverkon keskeytysaika oli keskimäärin 1,39 h/a asiakasta kohden. Kun tarkastellaan pelkästään asemakaava-aluetta, keskeytysaika oli 0,40 h/a asiakasta kohden.

U.S Energy Information Administration mukaan, Yhdysvalloissa keskeytysaika oli 4 h/a asiakasta kohden. Luvussa on otettu huomioon koko Yhdysvaltojen sähköjakelu. Tilastoista voidaan todeta, että Suomessa on kohtuullisen varma sähköverkko. Varmennetun syötön laitteiston pitää toimia sähkökatkon tapahtuessa.

World's Top Data Centers nettisivusto on listannut maailman suurimpien datacenterien listalle NSA- Bumblehive datacenterin. Tämä datacenter on 65 MW:n suurinen kokonaisuus, jonka varavoiman tuotantoon kuuluu 60 diesel- käyttöistä varavoimakonetta. Varavoimakoneiden avulla kyseinen datacenter pystyy operoimaan kolme päivää täydellä teholla. /19/

Toinen esimerkki on Amsterdamissa sijaitseva EdgeConneX Data Centeristä, jonka varavoimakoneet tuottavat 57 MW:n tehon. Varavoimakoneet tuottavat varavoimaa 48 h ajan sähkökatkon aikana. /20/

4.3.1 Varavoimakoneet

Varavoimakoneet mitoitetaan varmennettavan sähkökuorman perusteella. Eaton suosittelee diesel varavoimakoneiden mitoituksessa kerrointa 1,25 ja 1,5 väliltä. Kertoimella kerrotaan UPS- laitteiston teho. Tulos kertoo suositellun tehon, jonka varavoimakoneiden olisi hyvä tuottaa. Pitää kuitenkin huomioida laitteisto, joka on UPS- järjestelmän takana. Esimerkiksi jäähdytyslaitteisto ei useinkaan ole UPS- laitteiston takana, jolloin mitoitusperuste muuttuu. Kun varavoimakoneet mitoitetaan UPS- tehon mukaan, vain välttämättömimmät kuluttajat ovat vara-

voiman takana. Kuviossa 6 esimerkki diesel- käyttöisestä varavoimakoneesta. Varavoimakoneen varustukseen kuuluu akusto ja erillinen käynnistysmoottori. /15/



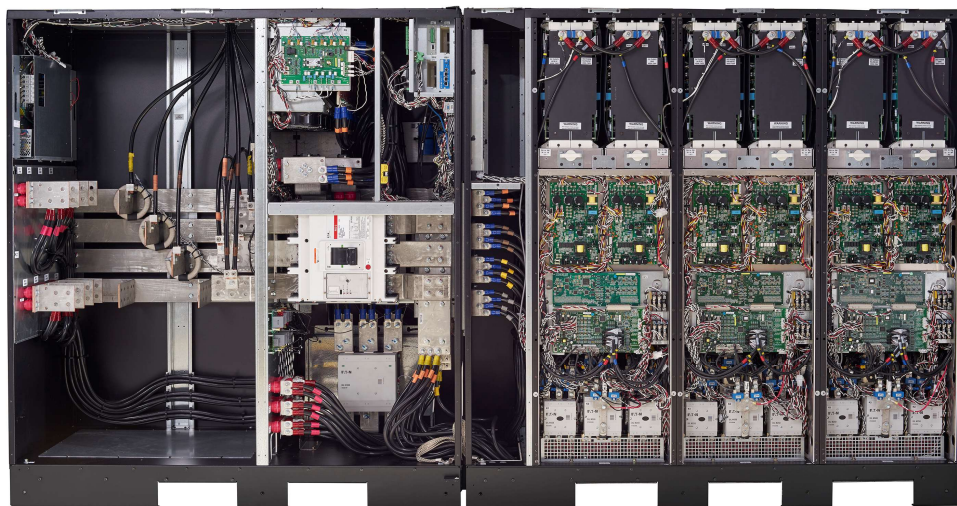
Kuvio 6. CAT 3516E- (50Hz) diesel- käyttöinen varavoimakone.

4.3.2 UPS- laitteisto

Sähkökatkon tapahtuessa diesel- käyttöiset varavoimakoneet käynnistyvät ja hoitavat varasähkönsyötön datacenterille. Sähkökatkotilanteessa huomioitava asia on varavoimakoneiden käynnistysaika, joka voi olla jopa minuutteja. Tänä aikana koko datacenter on ilman sähköä. Tätä varten datacentereissä on UPS- järjestelmät, jotka pitävät huolen kriittisten kuormien syötöstä. UPS- järjestelmiä on kahta perustyyppiä, offline ja online eli passiivinen ja aktiivinen järjestelmä.

Passiivinen UPS- järjestelmä havahtuu jännitteen laskiessa liian alhaiseksi, ja aktivoituu/menee päälle. Tällainen yksinkertainen ja halpa järjestelmä on varsin riittävä pieneen datacenteriin.

Toinen tyyppi UPS- järjestelmästä on online, eli aktiivinen UPS- järjestelmä. Sähkönjakelu tapahtuu koko ajan järjestelmän läpi, jolloin sähkö on suodatettua erilaisista häiriöistä.



Kuvio 7. Eaton Power Xpert 9395 UPS.

UPS- laitteisto tarvitsee huoltaa vuosittain. Pelkästään ylläpitohuollon takia järjestelmä on vuosittain 2-4 h pois käytöstä. Tämä tarkoittaa, että laitteisto pitää pystyä ohittamaan tarvittaessa. Järjestelmä voidaan myös mitoittaa siten, että se on huollettavissa laite kerrallaan. Huollon aikana muut laitteet hoitavat huollettavan laitteen osuuden. Yleensä UPS- laitteisto sisältää bypass eli ohituskytkimen. Kytkimellä voidaan ohittaa järjestelmä huollon ajaksi. UPS- laitteiston rinnalle rakennetaan isoissa datacentereissä varasyöttö suoraan pienjännitekojeistolta. Jos UPS- järjestelmä vikaantuu, voidaan varasyötön kautta hoitaa sähkönjakelu kuluttajille.

/5-7, 10/

4.4 Mittaukset ja valvonta

Datacenteriä valvotaan SCADA- järjestelmillä niin kuin mitä tahansa laitosta. SCADA- järjestelmä eli valvomo-ohjelmisto on väylällä yhteydessä datacenterin sähköjakelujärjestelmään. Täten valvomosta voidaan ohjata sekä valvoa datacenterin toimintoja.

Yksi tärkeimmistä valvottavista asioista on kuitenkin sähkönkulutus eri laitteilla. Kun tiedetään sähkönkulutus, voidaan määritellä datacenterin energiatehokkuus. Sähkönkulutusta mitataan todella tarkasti, käytännössä melkein jokaiselta laitteelta ja sähkökaapilta erikseen. Syynä tähän on alalla käytössä oleva PUE- luku, jolla kuvataan datacenterin energiatehokkuutta. Suomessa on myös alettu käyttää ERE- lukua. ERE- luvun laskentakaava on muuten sama kuin PUE- luvulla, mutta siinä on otettu huomioon hukkalämmön talteenotto.

4.4.1 PUE ja ERE

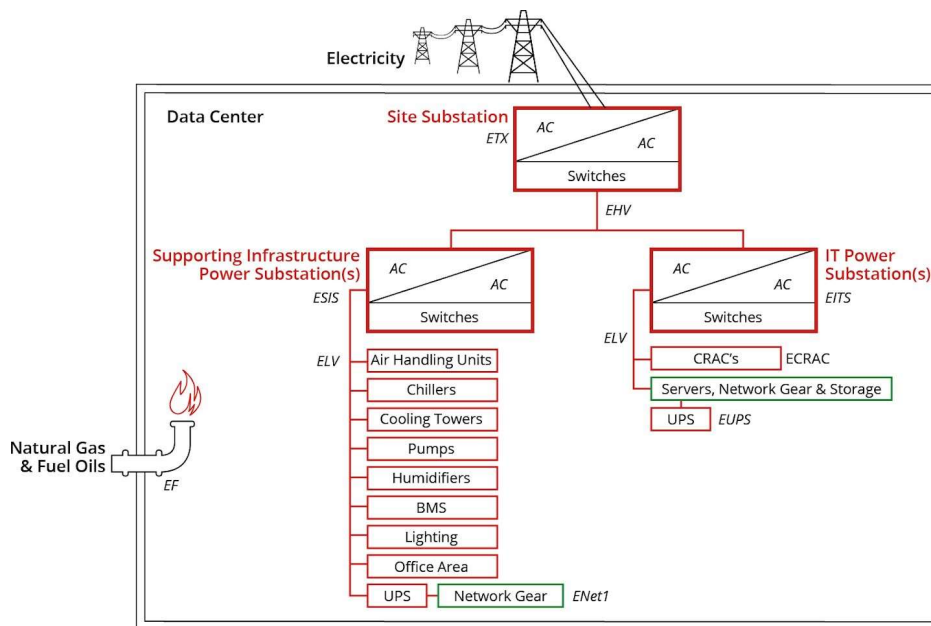
PUE- luku kertoo, kuinka energiatehokas datacenter on. Peruslaskukaava PUE- luvun laskentaan on jakaa datacenterin kokonaisteho IT-laitteiston teholla.

$$PUE = \frac{\text{Datacenterin kokonaisteho}}{\text{IT-laitteiston teho}} \quad (2)$$

Kaavasta 2 saadaan tulokseksi minimissään PUE- luku 1. Tämä tarkoittaisi että IT- laitteet kuluttaisivat kaiken sähkön datacenterissä. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Käytännössä luku on jotakin 1 ja 3 väliltä. Jos PUE- luku on alle 1,5, sitä pidetään jo todella hyvänä lukuna. Esimerkiksi IT- laitteiston teho on 100kW ja koko datacenterin teho on 150kW saadaan PUE- luvuksi 1,5 kaavalla:

$$PUE = \frac{150kW}{100kW} = 1,5 \quad (3)$$

PUE- luku on nykyään rakennettavissa datacentereissä alle 1,5. PUE- luvun tarkkuus riippuu merkittävästi siitä, kuinka tarkasti sähköenergian kulutusta mitataan ja minkälaisia häviöitä tähän otetaan huomioon. Kuviossa 8 on Googlen käyttämä tapa laskea PUE- luku. Kuten kuvioista 8 voi havaita, jopa kaapeleiden ja muuntajien häviöt on otettu huomioon.



Kuvio 8. Googlen käyttämä PUE- luvun laskentapa.

$$PUE = \frac{ESIS+EITS+ETX+EHV+ELV+EF}{EITS-ECRAC-EUPS-ELV-ENet1}, \text{ jossa} \quad (4)$$

EITS= IT- laitteiston sähköalajakokeskuksien virrankulutus

ENet1= Verkkolaitteiden energia

ESIS= Infrastruktuuria tukevien sähköalakeskuksien energiankulutus

ETX= Keski- ja suurjännitemuuntajien hävikki

EHV= Suurjännitelaitteiden kaapelihävikki

ELV= Pienjännitelaitteiden kaapelihävikki

EF= Fossiilisiin polttoaineisiin liittyvä energiankulutus

ECRAC= Tietokonesalien ilmastointilaitteiden energiankulutus

EUPS= IT-laitteiden tarpeisiin virtaa jakavien UPS- laitteiden energiahävikki

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

Datacentereiden on mahdollista saada taloudellista hyötyä hukkalämmön myymisestä. Tässä pitää kuitenkin huomioida datacenterin maantieteellinen sijainti ja sen myötä kyseisellä alueella vaikuttava ilmasto. Esimerkiksi Pohjoismaissa on kylmä ilmasto, hukkalämpö pitäisi ehdottomasti käyttää hyödyksi, kun lämmityksen tarve on muutenkin suuri talvisin. Toisaalta jossakin lämpimässä maassa ei tarvitse lämmittää kiinteistöjä ja hukkalämpö on haastavaa hävittää järkevästi. /14/

4.5 Maadoitusjärjestelmä

SRG:stä, eli signaalien maadoitusverkosta tuli käytäntö datacentereiden suunnittelussa 1983. Sen tarkoitus on poistaa häiriöitä IT-laitteista ja suojata komponentteja sekä ihmisiä. SRG tehtiin jokaiseen datacenteriin tuolloin, mutta ei ollut selkeää linjausta milloin oikeasti tarvittiin SRG.

SRG on yleensä kuparijohtimista tai kiskosta rakennettu verkko, korotetun lattian alla datacentereissä. Nykyään IT-laitteisto on paljon kehittyneempää ja IT-laite kytketään sähköverkkoon kaapelilla, joka sisältää nykyaikaisten standardien mukaan maadoitusjohtimen. IT-laite, esim. tietokone tai palvelin, on datacenterissä asennettu palvelinkaappiin ja kaapin runko on maadoitettu vielä erikseen maadoituskiskostoon, joka kiertää ympäri datacenteriä.

5 MALLIJAKELUJÄRJESTELMÄ

Tässä luvussa suunnitellaan kuvitteelliselle datacenterille sähköjakelujärjestelmä. Tämän opinnäytetyön datacenterin sähköjakelujärjestelmä on suunniteltu teoreettiselta pohjalta, kuitenkin realistisia lukuja ja toteutustapoja noudattaen. Tämän opinnäytetyön sähköjakelujärjestelmä on yksinkertaistettu versio todellisista sähköjakelujärjestelmistä.

5.1 Palvelinkaapit

Järjestelmän mitoittaminen aloitetaan loppukuluttajasta päin eli palvelinkaapeista. Kuten kappaleessa 4.2 esitetään, yhden palvelinkaapin syöttö on toteutettu kolmi-vaiheisen 400V, 20A takaa. Yhden palvelinkaapin tehoksi S_{PK} saadaan 13,85kVA kaavalla:

$$S_{PK} = \sqrt{3} * U * I = 13,85kVA, \text{ jossa } U = \text{pääjännite} \quad (5)$$

I= yhden syötön virta

Palvelinkaapit ovat kymmenen palvelinkaapin ryhmissä, jäähtytyksen sekä yksinkertaisen sähköjakelun varmistamiseksi. Yhden ryhmän tehoksi S_{R1} saadaan 138,5kVA, kaavalla:

$$S_{R1} = S_{PK} * n = 138,5kVA, \text{ jossa } n = 10 \text{ palvelinkaappia} \quad (6)$$

Lasketaan yhden palvelinkaappiryhmän virta I_{R1} kaavalla:

$$I_{R1} = \frac{S_{R1}}{\sqrt{3} * 0,4V} = \frac{138,5kVA}{\sqrt{3} * 0,4V} = 200A \quad (7)$$

5.2 PDU- yksiköt ja palvelinhuoneet

Kappaleessa 3.3 esitellään modulaarinen 277kW PDU- yksikkö. PDU- yksikössä on 24 kpl 20A:n lähtöjä. Jokainen PDU- yksikön lähdeistä on varustettu auto-

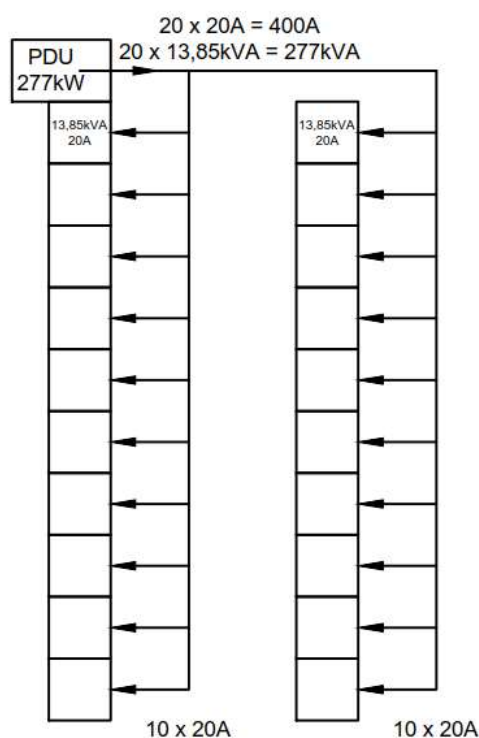
maattisulakkeella sekä jännite-, virta- ja tehomittauksella. Lähtöjen mittaukset kulkeutuvat väylällä SCADA- järjestelmään.

Yksi 277kW:n PDU- yksikkö hoitaa sähkönjakelun kahdelle palvelinkaappiryhmälle. Tämä tarkoittaa 20:tä palvelinkaappia, joiden yhteisteho S_{R12} on 277kVA, kaavalla:

$$S_{R12} = S_{R1} + S_{R2} = 277kVA \text{ jossa } S_{R1} = \text{ryhmän 1 teho} \quad (8)$$

$$S_{R2} = \text{ryhmän 2 teho}$$

PDU- yksikköön jää neljä tyhjää lähtöä. Lähdöt voidaan ottaa käyttöön, kunhan otetaan huomioon sähkönjakelujärjestelmän kuormittuneisuus. Mitoituksissa on lähtökohtaisesti jätetty hieman pelivaraa mahdollisia lisäyksiä varten.



Kuvio 9. Yksi PDU- yksikkö jakaa sähköä kahdelle palvelinkaappiryhmälle.

Palvelinkaapit sijaitsevat palvelinhuoneissa. Yhteen palvelinhuoneeseen mahtuu kahdeksan palvelinkaappiryhmää, joten yhdessä palvelinhuoneessa on 80 palvelinkaappia.

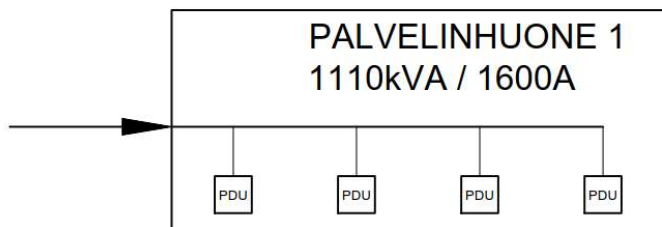
Neljä PDU- yksikköä, jotka jakavat sähköä palvelinkaapeille on sijoitettu siten, että kiskosiltajärjestelmä kulkee niiden ylitse. Täten PDU- yksiköt on helppo kaapeloida kiskosiltajärjestelmään. Kiskosilta on helposti rakennettavissa suorien linjojen ansiosta. Kiskosiltajärjestelmä voidaan toteuttaa VEOn omalla VEBA kiskosiltajärjestelmällä. Liitteessä 1 VEBA kiskosillan tekniset tiedot. Lasketaan palvelinhuone 1:n teho S_{PH1} kaavalla:

$$S_{PH1} = S_{R1} * 8 = 1110kVA, \text{ jossa } S_{R1} = \text{yhden ryhmän teho} \quad (9)$$

8= ryhmien lukumäärä

Lasketaan myös palvelinhuone 1 nimellisvirta I_{PH1} kaavalla:

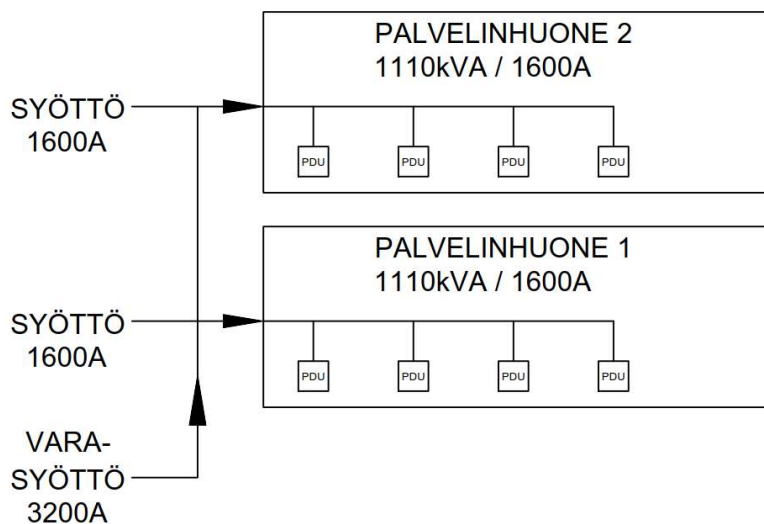
$$I_{PH1} = \frac{S_{PH1}}{\sqrt{3} * U} = \frac{1110kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 1600A \quad (10)$$



Kuvio 10. Yhdessä palvelinhuoneessa on neljä PDU- yksikköä.

PDU- yksiköitä voidaan syöttää myös varasyötön kautta. Laskemalla palvelinhuone 1:n ja -2:n virrat yhteen, tiedetään virran suuruus kahdelle palvelinhuoneelle. Varasyötön pitää pystyä jakamaan 3200A virtaa palvelinhuone 1:n ja -2:n

PDU- yksiköille. Samojen arvojen perusteella määritellään myös VEBA- kiskosil-
tjärjestelmän varasyöttökatkaisijalta palvelinhuoneisiin liitteen 1 avulla.



Kuvio 11. Varasyöttö kahdelle palvelinhuoneelle.

5.3 UPS- laitteisto

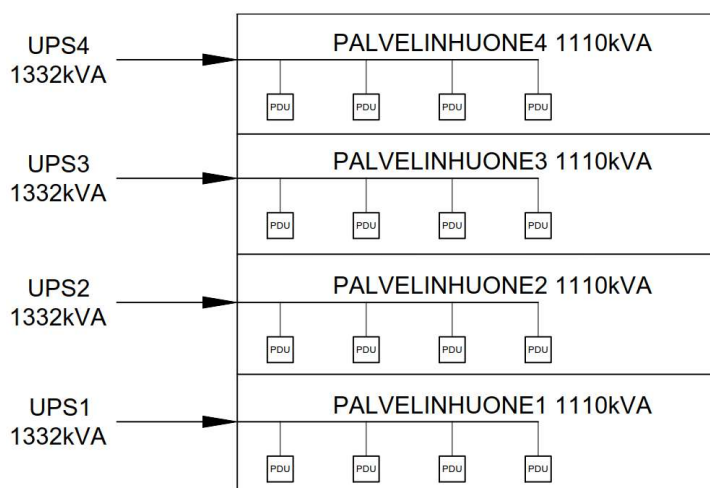
UPS- laitteisto jakaa suodatettua ja varmennettua sähköä PDU- yksiköille. UPS- laitteiston akusto pystyy ylläpitämään sähköjakelua yleensä 5-15 minuutin ajan totaalisen sähkökatkon aikana. Jos tarvitaan pidempi toiminta-aika, akuston kokoa kasvattamalla saadaan jopa muutamien tuntien toiminta-aika. Toiminta-ajan määrittäminen tehdään varavoimakoneiden käynnistysajan pohjalta.

UPS- laitteiston teho määräytyy sen mukaan, mikä varmennettavan IT- laitteiston yhteisteho on. UPS- laitteiston perusmitoituksessa voidaan käyttää 1,2 kerrointa. Tämä tarkoittaa, että UPS- laitteisto on teholtaan 20 % suurempi kuin IT- laitteisto. Kertoimella kerrotaan varmennettavan IT- laitteiston teho. Jos UPS- laitteisto mitoitetaan kattamaan varmennettavan IT- laitteiston tehon, voidaan UPS- laitteistoa kuvata N- kirjaimella.

Datacenterissä on neljä palvelinhuonetta kukin teholtaan 1110kVA. Jokaiselle palvelinhuoneelle on oma UPS- järjestelmä. Tässä opinnäytetyössä UPS- järjes-

telmät on nimetty UPS1- UPS4. Kerrotaan yhden palvelinhuoneen teho kertoimella 1,2. Tulokseksi saadaan vaadittava UPS- laitteiston teho S_{UPS1} yhdelle palvelinhuoneelle kaavalla: /10, 12/

$$S_{UPS} = S_{PH1} * 1,2 = 1332kVA \quad (11)$$

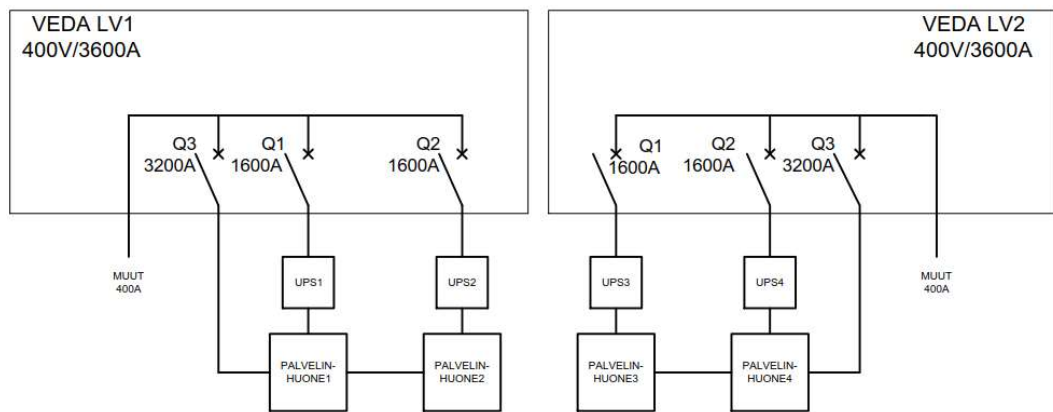


Kuvio 12. UPS- jakelu palvelinhuoneille.

5.4 Pienjännitekojeistot

Yhden palvelinhuoneen virran ollessa 1600A, pienjännitekojeistoon tarvitaan neljä 1600A katkaisijaa. Nämä neljä katkaisijaa ovat päälähtöjä palvelinhuoneille. Yksi 1600A katkaisija hoitaa sähkönjakelun yhdelle UPS- laitteistolle, joka puolestaan jakaa sähköenergiaa yhdelle palvelinhuoneelle.

Neljän päälähdön yhteenlaskettu virta on 6400A sekä teho 4440kVA. Tiedetään IT- laitteiden kuluttavan n. 88 % datacenterin sähköstä, joten lisätään IT- laitteiston kuluttamaan virtaan 12 %. Tulos kertoo koko datacenterin virraksi I_D n. 7200A. VEDA- pienjännitekojeiston maksimi nimellisvirta on 5000A, joten yksi pienjännitekojeisto ei riitä hoitamaan sähkönjakelua. Ongelma ratkaistaan jakamalla kuorma kahdelle pienjännitekojeistolle. Täten yhden pienjännitekojeiston virraksi saadaan 3600A.



Kuvio 13. LV1- ja LV2- kojeistojen lähdöt.

Pienjännitekojeistot jakavat sähköä myös jäähdytysnesteen jakeluyksiköille. Kap-paleen 4.2 mukaan, IT-laitteiston tehoon P_{IT} (4440kVA) lisätään 30 %, jolloin tiedetään vaadittava jäähdytysteho $P_{JÄÄHD}$, kaavalla:

$$P_{JÄÄHD} = P_{IT} * 1,3 = 4440\text{kVA} * 1,3 = 5772\text{kVA} \quad (12)$$



Kuvio 14. CoolIT Rack DCLC CHx 750 jäähdytysnesteen jakeluyksikkö.

Tämän jäähdytysnesteen jakeluyksikön jäähdytysteho on 750kW sekä ottoteho vain 4,5kW. Tarvittava kokonaisjäähdytysteho $P_{JÄÄHD}$ jaetaan yhden jäähdytys-

nesteen jakeluyksikön jäädytysteholla. Tulos kertoo tarvittavien jäädytysnesteen jakeluyksiköiden määrän, kaavalla: /13/

$$\frac{P_{JÄÄHD}}{750kW} = \frac{5772kVA}{750kW} = 7,7 \approx 8 \quad (13)$$

Lasketaan kahdeksan jäädytysnesteen jakeluyksikön ottoteho P ja virta I kaavoilla:

$$P = 4,5kVA * 8 \text{ laitetta} = 36kVA, \quad (14)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U} = \frac{36kVA}{\sqrt{3} * 0,4kV} = 52A \quad (15)$$

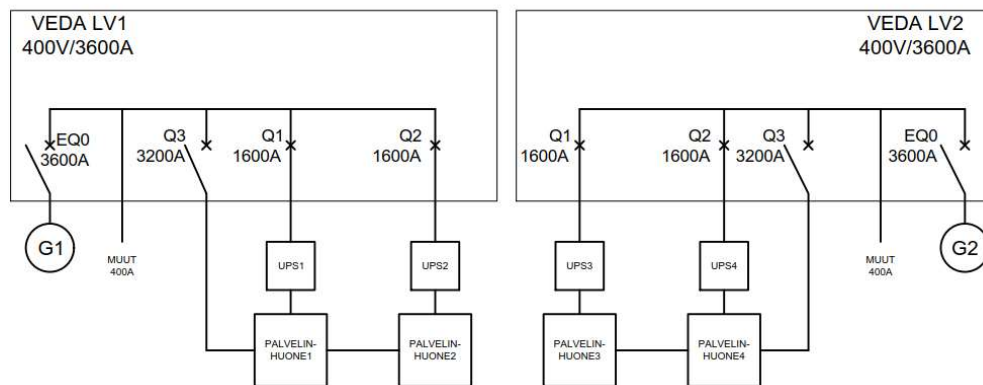
Kuviossa 13 ”muut 400A” tarkoittaa jäädytysnesteenjakeluyksiköiden sekä muiden mainitsemattomien kuluttajien kuormaa datacenterissä.

5.5 Varavoima

Kahdella varavoimakoneella pystytään syöttämään molempia pienjännitekojeistoja sähkökatkon aikana. Kappaleen 4.3.1 mukaan varavoimakone mitoitetaan 1.25 kertaa suuremmiksi kuin UPS- laitteisto kaavalla:

$$(S_{UPS1} + S_{UPS2}) * 1,25 = 3330kVA \quad (16)$$

Varavoimakoneet tarvitsevat käyntiinlähtöohjauksen sähkökatkon tapahtuessa. Jos pienjännitekojeiston syöttökatkaisija avautuu jostakin syystä tai katkaisijaa syöttävän kiskoston jännite laskee liian alhaiseksi, varavoimakoneet lähtevät käyntiin. Varavoimakoneet lähtevät aina käyntiin kun pienjännitekojeiston syöttökatkaisija Q0 tai jokin muu katkaisija ennen Q0 katkaisijaa avautuu.



Kuvio 15. Pienjännitekojeistoja voidaan syöttää varavoimakoneilla G1 ja G2.

5.6 Muuntajat

LV1- ja LV2- kojeistot tarvitsevat 400V sähkön syötön. Molemmille LV1- ja LV2- kojeistoille on oma muuntaja. Lisäksi yhdellä varamuuntajalla voidaan varalinnan mukaan syöttää toista LV1- tai LV2- kojeistoja, ei tosin yhtäaikaaisesti molempia. Kolmella eri muuntajalla toteutettu sähköjakelu on varmempi kuin kahdella muuntajalla toteutettu sähköjakelu. Liitteessä 2 on esitetty tarkemmat muuntajan tekniset tiedot.

Muuntajan valintaan vaikuttaa se, kuinka paljon tehoa muuntajasta pitää saada ulos. Lasketaan tarvittava muuntajan nimellisteho S_n kaavalla: /12/

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_n = \sqrt{3} * 0,4kV * 7216A = 5000kVA \quad (17)$$

Tulos jaetaan kahdella, joten yhden muuntajan nimellistehoksi tulee 2500kVA.

Lasketaan yhden muuntajan nimellisvirta I_n kaavalla: (18)

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U} = \frac{2500kVA}{\sqrt{3} * 0,4k} = 3608A$$

Muuntajan oikosulkuteho S_k lasketaan nimellistehon S_n ja oikosulkuimpedanssin Z_k avulla, kaavalla:

$$S_k = \frac{S_n}{z_k} = \frac{2500kVA}{0,06} = 41,66MVA, \text{ jossa } Z_k=6\% \quad (19)$$

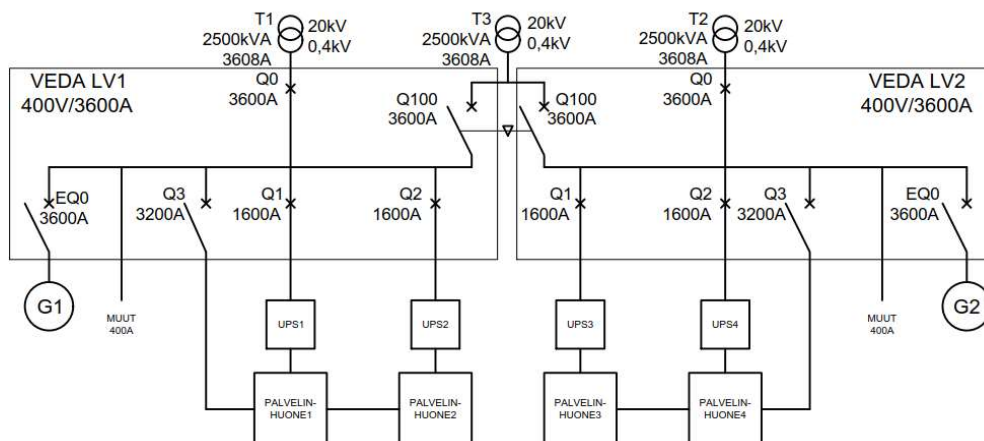
Lasketaan myös oikosulkuvirta I_k , kaavalla:

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{41,66MVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV} = 60,1kA \quad (20)$$

sekä sysäysoikosulkuvirta I_{pk} , kaavalla:

$$I_{pk} = 2 \cdot I_k = 2 \cdot 60,1kA = 120,2kA \quad (21)$$

Liitteen 3 mukaan, VEDA- pienjännitekojeiston kokoojakiskoston maksimi oikosulkukestoisuus on 100/220kA. Haarakiskoston maksimi oikosulkukestoisuus on 80/176kA.



Kuvio 16. Kolmella eri muuntajalla voidaan syöttää LV-kojeistoja.

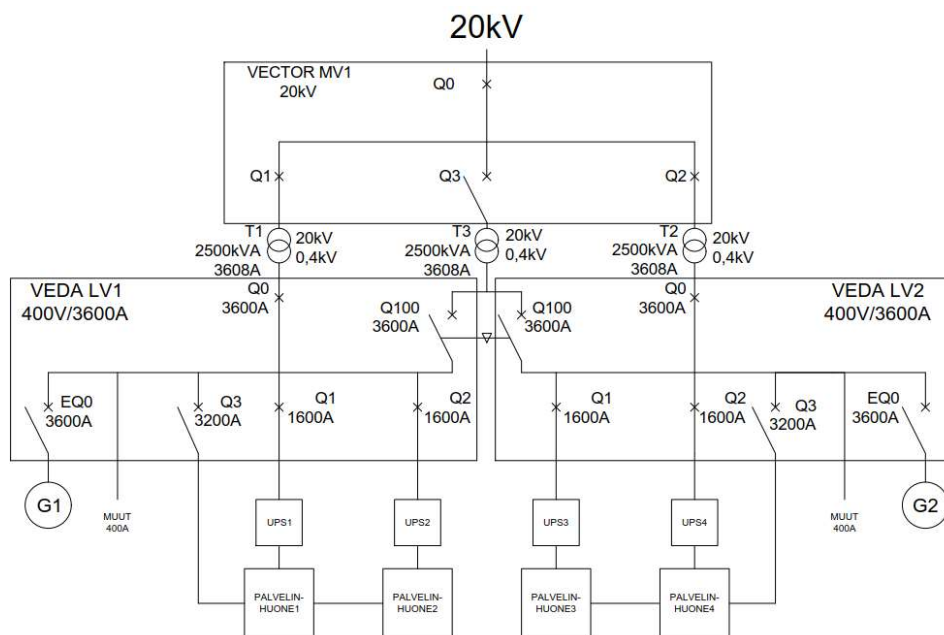
5.7 Keskijännitekojeisto

MV1- keskijännitekojeistossa on kaksi lähtöä Q1 ja Q2, kahdelle 2500kVA muuntajalle T1 ja T2. Nämä lähdöt ovat päälähtöjä. Molempien syöttöjen takana on muuntaja T1 ja T2 sekä LV1- ja LV2- kojeistot. Lisäksi MV1- kojeistossa on vielä kolmas lähtö Q3, jonka perässä on kolmas 2500kVA muuntaja T3. Tällä kolmannella lähdöllä voidaan tarvittaessa syöttää molempia LV1- tai LV2- kojeis-

toja, ei tosin yhtäaikaaisesti. Kuviossa 17 on esitetty keskijänniteverkko osana muuta sähkönjakelujärjestelmää.

Datacenterkokonaisuus on teholtaan 5MVA. 5MVA:n teho on niin suuri, että rakennus liitetään sähköverkkoon 20kV liittymällä. Jos sähkönjakelu olisi toteutettu kokonaan 400V pääjännitteellä, kokonaisvirta I_{KOK} olisi laskennallisesti yli 7200A, kaavalla:

$$I_{KOK} = \frac{P_{KOK}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5000kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV} = 7216,9A, \text{ jossa } P_{KOK} = \text{kokonaisteho} \quad (22)$$



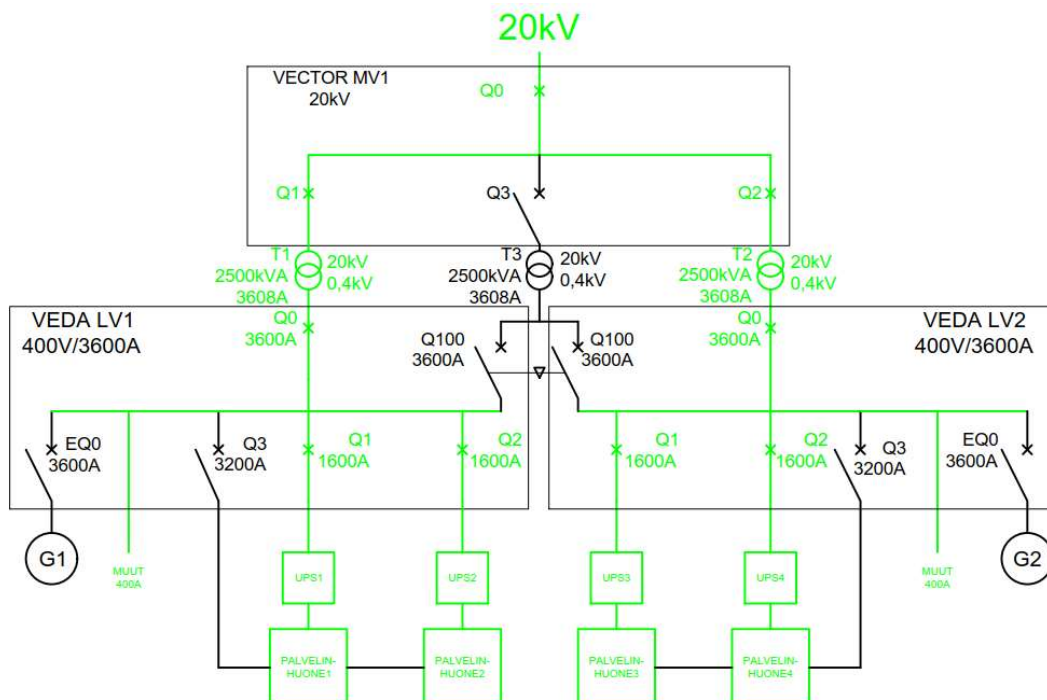
Kuvio 17. Yksi 20kV sähköliittymä syöttää keskijännitekojeistoa.

MV1- kojeiston varalähtökatkaisija Q3 on normaalissa tilanteessa auki- asennossa. LV1- ja LV2- kojeistoissa oleva jännitteen valvontarele havahtuu, jos muuntajalta tulevan kiskoston jännite laskee liian alhaiseksi tai katoaa kokonaan. Tällaisessa tilanteessa syötönvaihtoautomaatiikka hoitaa syötönvaihdon automaattisesti MV1- kojeistossa. Q1 katkaisija avautuu, varalähtökatkaisija Q3 ohjautuu kiinni- tilaan ja jakelu hoituu varalähdön kautta. Varalähdön toimintaan liittyy muitakin ehtoja LV1- ja LV2- kojeistoissa. Luvussa 6 kerrotaan vikatilanne-esimerkkien avulla järjestelmän kokonaisvaltainen toiminta.

6 MALLIJAKELUJÄRJESTELMÄN TOIMINTA VIKATILANTEESSA

Tässä luvussa tarkastellaan neljää erilaista vikatilannetta, sekä miten sähkönjakelujärjestelmä mukautuu niihin. Sähkönjakelujärjestelmä on esitetty kuvioissa 18 - 22. Kuvioissa vihreä väri tarkoittaa sähkönjakelujärjestelmän osaa, joka osallistuu sähkönjakeluun. Sinisellä värillä kuvataan, miten sähkönjakelujärjestelmä on mukautunut vikatilanteeseen. Mustalla värillä on merkitty sähkönjakelujärjestelmän osat, jotka eivät osallistu jakeluun. Vikakohta on merkitty punaisella raksilla kuvioihin. Katkaisijat on piirretty kiinni-tilaan, katkaisijan osallistuessa sähkönjakeluun.

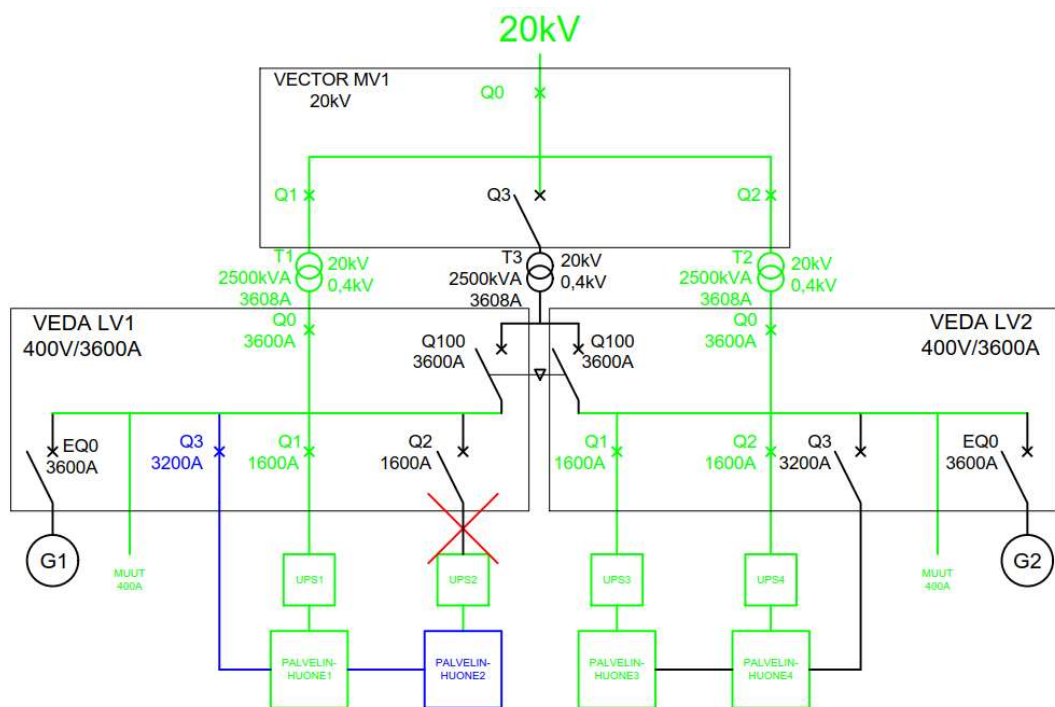
Kuvaukset sähkönjakelujärjestelmän toiminnasta vian aikana ovat yksinkertaistettuja esimerkkejä. Todellisuudessa sähkönjakelujärjestelmässä on useita erilaisia ohjauspiirejä, mittauksia, ehtoja sekä valvontaa, jotka ohjaavat sähkönjakelujärjestelmää. Kuviossa 18 on esitetty sähkönjakelujärjestelmä normaalissa tilassa.



Kuvio 18. Sähkönjakelujärjestelmä normaalissa tilassa.

6.1 Vikatilanne 1

UPS2- järjestelmän syöttö vikaantuu, jolloin LV1- keskuksen Q2 katkaisija laukeaa. Palvelinhuone 2 on hetken UPS2- järjestelmän varassa, kunnes LV1- kojeiston varasyöttökatkaisija Q3 menee kiinni ja hoitaa sähkönjakelun palvelinhuone 2:lle. Tällaisessa vikatilanteessa varavoimakone ei vielä käynnisty. MV1- kojeistossa- kaan ei tapahdu minkäänlaisia muutoksia lähtöjen suhteen. LV1- ja LV2- kojeis- tojen syöttökatkaisijat (Q0) pysyvät kiinni- tilassa. MV1- kojeiston Q3 katkaisija pysyy auki- tilassa eikä osallistu jakeluun.

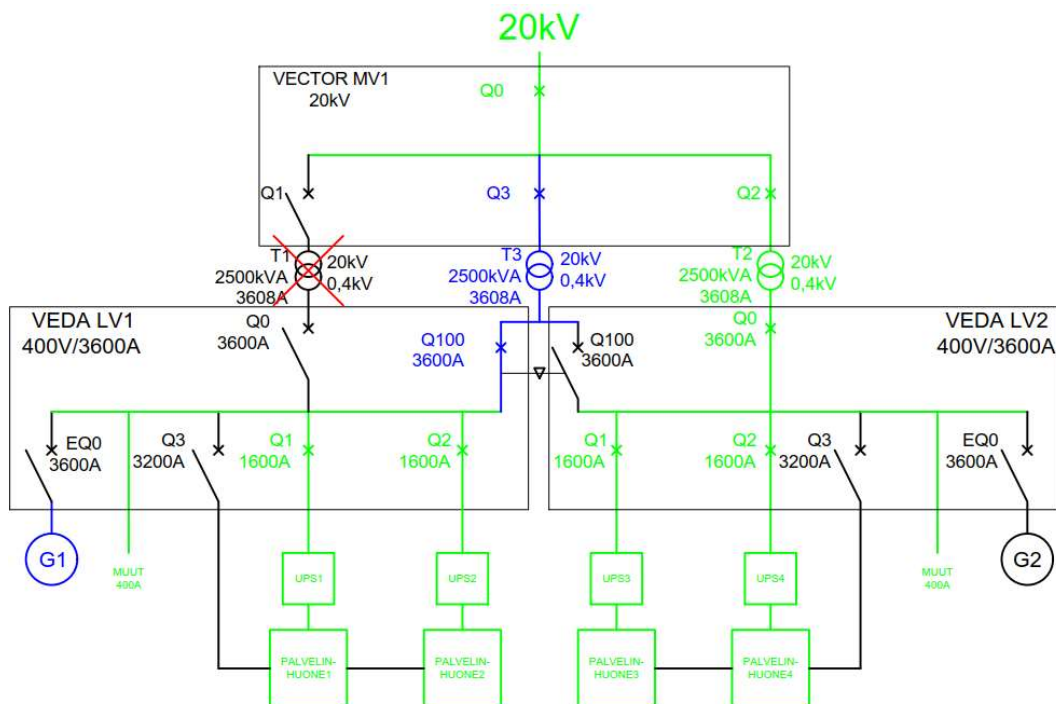


Kuvio 19. Vikatilanne 1.

6.2 Vikatilanne 2

Muuntaja T1 hajoaa. LV1- kojeiston jännitteenvälvonta huomaa tämän. LV1- kojeiston Q0 syöttökatkaisija ja MV1 kojeiston Q1 lähtökatkaisija laukeavat. MV1 kojeiston Q3 lähtökatkaisija ohjautuu kiinni ja varamuuntaja T3 käynnistyy. Tällaisessa tilanteessa, jossa toinen LV- kojeisto on kokonaan ilman sähköä, varavoimakone saa aina käynnistys käskyn.

Kun MV1- kojeiston varalähtökatkaisijan Q3 menee kiinni, muuntaja T3 sähköistyy. LV1- ja LV2- kojeistojen Q100 varasyöttökatkaisijat on varustettu ristiinlukituksella. Esimerkiksi LV1- kojeiston syöttö hoituu LV1- varasyöttökatkaisijan Q100 kautta, ei LV2- kojeiston varasyöttökatkaisijaa Q100 pysty ajamaan kiinni. Sama toimii myös toisinpäin.

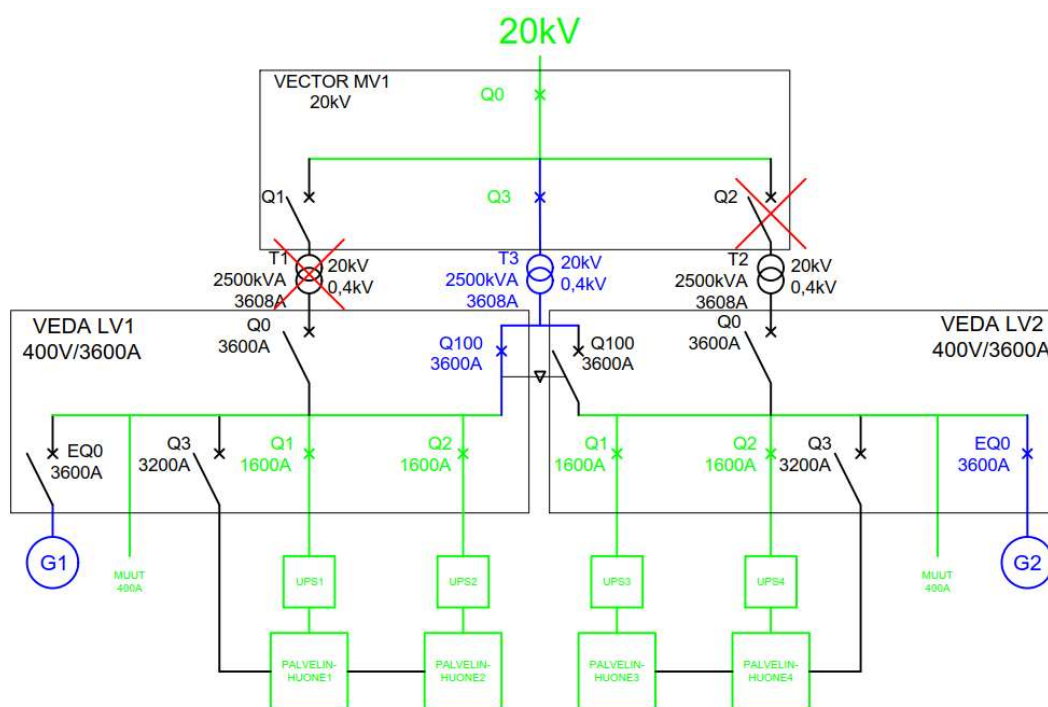


Kuvio 20. Vikatilanne 2.

6.3 Vikatilanne 3

Vikatilanne 3 jatkuu siitä mihin vikatilanne 2 jäi. Muuntaja T1 on hajonnut kokonaan. MV1- kojeiston varalähtökatkaisija Q3 syöttää varamuuntajaa T3, joka syöttää LV1- kojeistoa Q100 varasyötön kautta. MV1- kojeiston lähtökatkaisija Q2 hajoaa. LV2- kojeiston jännitteenvälvonta huomaa tämän ja LV2- kojeiston syöttökatkaisija Q0 avautuu. Samalla varavoimakone 2 saa käyntiinlähtökäskyn.

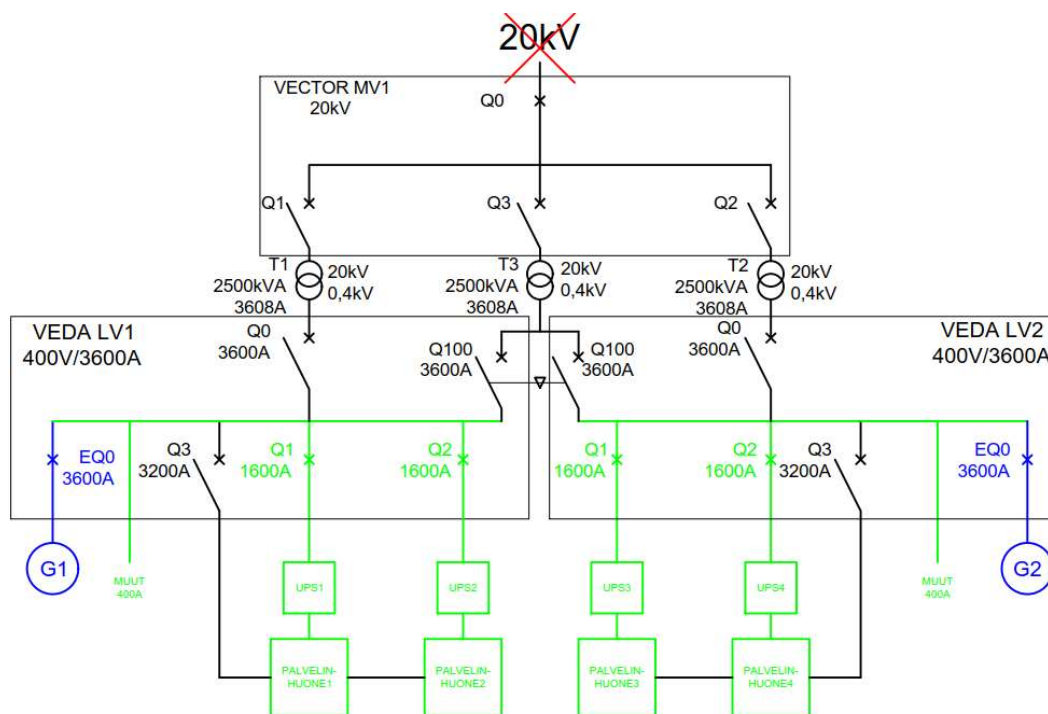
LV2- kojeiston varasyöttökatkaisija Q100 ei voi mennä kiinni- tilaan, koska MV1- kojeiston varalähtökatkaisija syöttää varamuuntaja T3 kautta LV1- kojeistoa. LV1- kojeiston varasyöttökatkaisija Q100 on kiinni tilassa ja samalla estää LV2- kojeiston varasyöttökatkaisija Q100 kiinni- tilaan ajamisen. Tällaisessa tilanteessa hätäsyöttökatkaisija EQ0 ohjautuu kiinni- tilaan, jolloin varavoimakone G2 hoitaa sähkönsyötön LV2- kojeistolle.



Kuvio 21. Vikatilanne 3.

6.4 Vikatilanne 4

Vikatilanteessa 4 tapahtuu sähkökatko. Varavoimakoneet saavat heti käyntikäynnin. Tällaisessa tilanteessa vain UPS- järjestelmän takana oleva laitteisto pysyy toimintakuntoisena. Kun varavoimakoneet ovat saavuttaneet oikean nopeuden, hätäsyötönkatkaisija EQ0 sulkeutuu. Tämän jälkeen datacenter toimii normaalisti. Datacenter pysyy toiminnassa niin kauan kun diesel- varastoissa riittää polttoainetta.



Kuvio 22. Vikatilanne 4.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön teoreettinen näkökulma datacenterin sähköjakelujärjestelmään oli iso haaste tekijälle. Datacenterin sähköjakelujärjestelmän ymmärtäminen ja kokonaiskuvan muodostuminen otti paljon aikaa. Datacenterin sähköjakelujärjestelmistä löytyy paljon julkista tietoa, mutta tieto on usein vanhentunutta. Yksityiskohtaista tietoa löytyy vähän koska tarkat suunnitelmat sähköjakelujärjestelmistä halutaan pitää salassa. Nykypäivän datacenterit ovat paljon kehittyneempiä kuin vanhat. Tapoja toteuttaa datacenterin sähköjakelujärjestelmä on hyvin paljon. Hyvän ja kustannusten näkökulmasta oikean jakelujärjestelmän valintaan vaikuttavat datacenterin koko ja mihin tarkoitukseen datacenter tulee.

Tätä opinnäytetyötä tulisi jatkaa konkreettisella suunnitelmalla datacenter-rakennuksen fyysisestä koosta. Määrittelemällä todellinen tilan tarve tämän opinnäytetyön datacenter-esimerkille, antaisi jo paljon tarkemman kuvauksen rakennuksen todellisesta koosta. Samalla pystyisi määrittelemään tarkasti kiskosiltajärjestelmän pituuden. Myös koko rakennelman jäähdytystarvetta pystyisi tarkentamaan hyvän suunnitelman pohjalta. Tätä kautta saataisiin tarkemmat laskelmat järjestelmän toiminnasta.

LÄHTEET

- /1/ Mikä on datacenter, Kaleva, 2013. Viitattu 24.5.2019.
<https://www.kaleva.fi/uutiset/talous/mika-on-datacenter/640684/>
- /2/ Comparing data center power distribution architectures. Viitattu 24.5.2019
https://www.apc.com/salestools/WTOL-7ANTKY/WTOL-7ANTKY_R3_EN.pdf
- /3/ Palvelinkeskuksien resurssitehokkuuden standardisointi. Viitattu 24.6.2019.
https://www.sfs.fi/files/1766/3_-_Innanen.pdf
- /4/ Data Center Efficiency metrics. Viitattu 20.7.2019.
https://www.cloudfinder.ch/fileadmin/Dateien/PDF/Reports/Data_Center_Efficiency_Metrics_2011.pdf
- /5/ Energiteollisuus ry, keskeytystilasto 2018. Viitattu 20.7.2019.
https://energia.fi/files/3883/Keskeytystilasto_2018.pdf
- /6/ U.S Energy Information Administration, Average frequency and duration of electric distribution outages vary by states. Viitattu 30.7.2019.
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=35652#>
- /7/ World's Top Data Center. Viitattu 30.7.2019.
<http://worldstopdatacenters.com/nsa-bumblehive/>
- /8/ Inmics Incloud palvelu, konesalin turvallisuus ja asiakastietojen käsittely. Viitattu 30.7.2019.
<https://www.ediel.fi/sites/default/files/Liite%201.1%20Konesalin%20turvallisuus.pdf>
- /9/ The role of isolation transformers in data center UPS systems.
https://www.apc.com/salestools/NRAN-7NB2FG/NRAN-7NB2FG_R0_EN.pdf
- /10/ UPS basics. Viitattu 30.7.2019.
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/backup-power-ups-surge-it-power-distribution/backup-power-ups/eaton-ferrups-tower-ups/Eaton-UPS-basics-whitepaper-WP1530005EN.pdf>
- /11/ Smart tricks to improve power supply reliability. Viitattu 3.8.2019.
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/data-center/documents/3-and-4-pole-switching-wp.pdf>
- /12/ Oikosulkusuojaus. Viitattu 3.8.2019.
http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf

/13/ Cool IT Rack DCLC. Viitattu 3.8.2019. https://www.coolitsystems.com/wp-content/uploads/2018/11/771-00012-rev-a18_new-coolit-rack-dclc-product-guide.pdf

/14/ Hukkalämpö hyötykäyttöön. Viitattu 10.8.2019.
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/e60f38c751dcae1dc125782c002a745d.aspx>

/15/ Tackling the challenges of generator-UPS compatibility. Viitattu 10.8.2019.
<https://www.datacenterdynamics.com/opinions/tackling-challenges-generator-ups-compatibility/>

/16/ Runsorin ihme elää uutta kasvukautta. Viitattu 1.9.2019
<https://www.ostro.chamber.fi/runsorin-ihme-elaa-uutta-kasvukautta/>

/17/ VEO sai historiansa suurimman tilauksen. Viitattu 10.9.2019.
<https://yle.fi/uutiset/3-9079066>

/18/ Pohjoismaiden suurin energiateknologiakeskittymä kukoistaa Vaasassa. Viitattu 10.8.2019. <https://www.fingridlehti.fi/pohjoismaiden-suurin-energiateknologiakeskittyma-kukoistaa-vaasassa/%0c>

/19/ World's Top Data Centers. Viitattu 10.11.2019.
<http://worldstopdatacenters.com/biggest/>

/20/ EdgeConneX EDCAMS01 Data Center. Viitattu 10.11.2019
<https://marketplace.upstack.com/data-centers/edgeconnex-data-center-schiphol-rijk-edcams01>

/21/ Data Center Site Infrastructure Tier Standard. Viitattu 20.11.2019
<https://www.gpxglobal.net/wp-content/uploads/2018/11/Uptime-Tier-Standard-Topology.pdf>

/22/ LEED Telia Helsinki Datacenter. Viitattu 20.11.2019
<https://www.usgbc.org/projects/telia-helsinki-data-center>

/23/ Case study: Specialize co-location data center. Viitattu 20.11.2019
<https://www.csemag.com/articles/case-study-specialize-co-location-data-center/>

/24 Grounding and the Use of the Signal Reference Grid in Data Centers. Viitattu 1.12.2019 https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=NRAN-6C25ZY_R2_EN.pdf&p_Doc_Ref=SPD_NRAN-6C25ZY_EN

LIITE 1

VEO VEBA- kiskosiltajärjestelmän tekniset tiedot

Tekniset tiedot			
Nimellisjännite	1000 VAC, 1500 VDC		
Nimellisvirrat	1000...5500 A		
Terminen rajavirta, ICW (1s)	80 kA		
Dynaaminen rajavirta, IPK	176 kA		
Kotelointiluokka	IP20-IP54		
Vaihejaettu kosketussuojainen kiskosilta ilman kotelointia			
Mitat			
Nimike	1-kerros	2-kerros	3-kerros
Leveys, mm	585	585	585
Korkeus, mm	101	175	245
Virta A, Al	1000...2200	2500...3600	3600...4500
Virta A, Cu	1000...2650	3000...4600	4600...5500
Paino kg/m, Al	15...30	30...50	50...70
Paino kg/m, Cu	40...60	70...90	105...125
Ympäristön lämpötila	35 °C, IP31		
Kiskosillan vaatimat seinä-/katto-/lattia-aukon mitat			
Aukon koko			
Nimike	1-kerros	2-kerros	3-kerros
Leveys, mm	600	600	600
Korkeus, mm	300	300	370
Aukon koko, kun putki kaapelia varten			
Nimike	1-kerros	2-kerros	3-kerros
Leveys, mm	700	700	700
Korkeus, mm	300	300	370

LIITE 3

VEDA- pienjännitekojeiston tekniset tiedot

Standards

- IEC 60439-2 / IEC 61439 parts 1-2
- BS 5486, Part 2
- DIN, VDE 0660, TEIL 500
- PSK 1801

Rated insulation voltage

- 1000 VAC

Rated operational voltage

- ≤690 VAC, 50/60 Hz

Rated nominal current (max.)

- 5000 A

Rated impulse to withstand the voltage of main circuits

- 12 kV

Short-circuit withstand strength (max.)

- Main bus bars:
 - Thermal limit current I_{cw} (1 sec) 100 kA
 - Dynamic limiting current I_{pk} 220 kA
- Distribution bus bars:
 - Thermal limit current I_{cw} (1 sec) 80 kA
 - Dynamic limiting current I_{pk} 176 kA

Arcing withstand

- 50 kA, 300 ms

Degree of protection by enclosure

- IP21-IP55, EN 60529
- Against mechanical impact, EN 62262: IK10

Support and lead-through insulators

- Ball pressure test, EN 60439-3: 185°C
- Glow-wire test, EN 69439-3: 960°C
- Tracking test, IEC 112: > 400 V

Surface finish

- SFS 5225 SP 60/1 ZnFo
- Paint thickness 60 µm
- Colour shade RAL 7032
- Shockproof effect surface

Recommended environmental classification for switchgear room

- EN 721-3K3/372/374/3B1/3C1/3S1

Dimensions mm

- Height 2250
- Depth 600, 800
- Apparatus section widths mm 400, 600, 800 and 1000
- Cable section widths mm 200, 300 and 400

LIITE 4

VECTOR- keskijännitekojeiston tekniset tiedot

Standardised quality

- IEC Certified: IEC 62271-200 (2011-10)
- Arc Proof: IAC AFLR classification
- Optimal Service Continuity: LSC2B-PM
- Degrees of protection: IP4x and IK10

Warranty

- 2 years (extendable)

Compact dimensions

- Height 2200 mm
- Width 800 mm
- Depth 1527 mm

Safety Functions

- All operations can be executed from the front and with the doors closed
- Logical mechanical interlocking
- Individually operated automatic shutter
- Padlock locking possibilities
- Capacitive voltage detection
- SF₆ free

Rated Values

RATED VOLTAGE U_r	KV	12	24
Rated power frequency withstand voltage U _d	kV	28	50
Rated lightning impulse withstand voltage U _p	kV	75	125
Rated short-time withstand current I _k	kA (3s)	...40	...25
Rated peak withstand current I _p	kA	100	63
Internal arc withstand current (1s)	kA	40	25
RATED CURRENTS I_r			
Main busbar	A	...4000	...2000
Circuit breaker	A	630	630
		1250	1250
		1600	1600
		2000	2000
		2500	
		3150	
		4000	

LIITE 5

Jäähdytysnesteen jakeluyksikön tekniset tiedot

Rack DCLC™ CHx750

Row-based liquid-to-liquid CDU



CoolIT Systems Rack DCLC CHx750 CDU manages the distribution of clean, treated coolant to and from a network of IT cabinets. This stand-alone CHx accepts ASHRAE W4 warm facility water and can support 750kW of IT load.

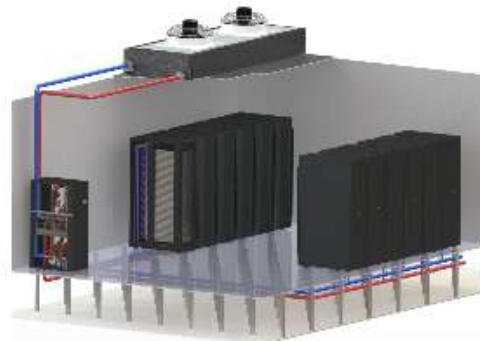
The CHx750 CDU is customizable to fit various data center environments. Standard equipment groups offer N+1 redundancy, and when deployed can provide tier 4 resiliency.

Key Features

- Manages 750kW of cooling capacity per network
- Supports up to 900 servers
- Compatible with ASHRAE W4 warm water cooling
- Redundant centralized pumps
- Intelligent Control System (Webserver, Modbus, SNMP)
- 7" LCD screen with touch functionality
- Internal leak detection system
- Stand-alone solution
- Integrated fill-pump
- 50 µm filtration to secondary loop
- All stainless steel pipe-work

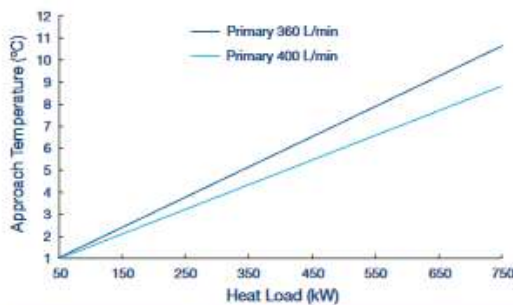
Key Benefits

- Warm water cooling reduces the need for chillers
- Quick and easy installation and service
- Significantly reduces OpEx
- Isolates high pressure facility water from racks
- Serviceable onsite - no down time for maintenance
- High temperature return water can be used for heat re-use



CHx750 Performance

ASHRAE W4 (45°C) Primary, 25% PG Secondary



Power Consumption	4.3kW
Servers Managed	900
Facility Liquid Integration	Yes

LIITE 6

CAT 3516E- (50HZ) diesel varavoimakone

PRODUCT SPECIFICATIONS FOR 3516E (50 HZ)

GENERATOR SET SPECIFICATIONS

Minimum Rating	3000 kVA
Maximum Rating	3500 kVA
Emissions/Fuel Strategy	Tier 2 Equivalent
Voltage	380 to 11000 volts
Frequency	50 Hz
Speed	1808 rpm
Duty Cycle	Standby

ENGINE SPECIFICATIONS

Engine Model	3516E, V-16, 4-Stroke Water-Cooled Diesel
Bore	170.0 mm
Stroke	215.0 mm
Displacement	78.1 l
Compression Ratio	14.7:1
Aspiration	ATAAC
Fuel System	Electronic Unit Injection
Governor Type	Adem™5