



Miko Peltola

Datakeskuksen varmennettu sähköjakelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

28.10.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Miko Peltola
Otsikko: Datakeskuksen varmennettu sähköjakelu
Sivumäärä: 41 sivua
Aika: 28.10.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine: Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat: Ryhmäpäällikkö Ville Oksanen
Lehtori Jarno Nurmio

Tämä insinöörityö käsittelee datakeskuksen varmennettua sähköjakelua. Insinöörityössä tarkastellaan datakeskuksen yleisiä suunnittelun vaatimuksia ja sähköjakelun topologiaa. Tarkastelun tavoitteena on tutkia datakeskuksen sähköjakeluun liittyviä standardeja ja redundanttisuuden eri menetelmiä. Tarkastelun lisäksi tavoitteena on luoda sisäinen ohje Granlund Oy:lle, joka jakaa tietoisuutta sekä Datakeskusosaston uusille työntekijöille, että ulkopuolisille datakeskusprojekteja tekeville henkilöille.

Teoriaosuudessa avataan datakeskusten terminologiaa ja selvitetään perusperiaatteita yleisistä ohjeista ja käytännöistä. Teoreettisen osuuden loppupuolella avataan standardien ja sertifikaattien käsitteitä, jotka liittyvät sähköjakeluun.

Työn viimeisissä luvuissa käsitellään datakeskusten käytännön puolta, ja esitellään käytännön esimerkkejä redundanttisuudesta ja samanaikaisen sähköjakelun ylläpidettävyydestä. Esitellään myös, miten käytännössä samanaikainen sähköjakelun ylläpidettävyys näkyy datakeskuksen suunnittelussa.

Insinöörityön avulla lukija saa laajan käsityksen datakeskuksen varmennetusta sähköjakelusta kuin myös siihen liittyvistä standardeista, mikä edesauttaa lukijaa oma-toimisessa työskentelyssä. Myös työn tilaaja Granlund Oy saa sisäisen ohjeen tulevaisuutta varten.

Avainsanat: datakeskus, jakeluverkko, redundanttisuus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Miko Peltola
Title: Redundant Electrical Distribution of Data Center
Number of Pages: 41 pages
Date: 28 October 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electric Power Engineering
Supervisors: Ville Oksanen, Group Manager
Jarno Nurmio, Senior Lecturer

This engineering thesis deals with redundant electrical distribution in data centers. The thesis examines the general design requirements and electrical distribution topology of data centers. The aim of the study was to investigate the standards and different methods of redundancy in electrical distribution in data centers. In addition, the goal of this work was to create an internal guide for Granlund Oy, which will increase awareness for new employees in the data center department and for external individuals working on data center projects.

The theoretical part of the thesis covers the terminology of data centers and explains the basic principles of general guidelines and practices. Towards the end of the theoretical part, the concepts of standards and certifications related to power distribution are explained.

The practical side of data centers is covered in the final chapters, where practical examples of redundancy and maintainability of concurrent electrical distribution are presented. The thesis also presents how the maintainability of concurrent electrical distribution is reflected in the design of data centers.

From this engineering thesis, the reader gains a broad understanding of redundant electrical distribution in data centers as well as the related standards, which will facilitate independent work. The thesis also provides Granlund Oy with an internal guide for future use.

Keywords: datacenter, electrical distribution, redundancy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Datakeskuksen suunnittelun periaatteet	2
3	Datakeskuksen yleisimmät lyhenteet ja terminologiat	3
4	Datakeskuksen varmennukseen liittyvät yleiset vaatimukset	4
4.1	Uptime Instituten TIER-luokitusjärjestelmä	4
4.1.1	Tier 1 -luokitustaso	5
4.1.2	Tier 2 -luokitustaso	7
4.1.3	Tier 3 -luokitustaso	8
4.1.4	Tier 4 -luokitustaso	10
4.2	Standardi EN 50600 datakeskusten suunnittelussa	12
4.2.1	Standardi EN 50600-2-2 datakeskuksissa	13
4.2.2	Standardi EN 50600–2–2 Sähkösyöttö ja sähkönjakelu datakeskuksissa	14
4.2.3	Standardin EN 50600–2–2 käytettävyyssluokat	16
4.3	IT-turvallisuuden testauspalveluiden tarjoaja TÜVIT ja kriteeristöluettelo	20
4.4	Sähkönjakelun arviontiosio	22
5	Redundanttisuuksien topologiat	25
5.1	Redundanttisuuden termit N+1, N+2 ja 2N	27
5.1.1	N+1	27
5.1.2	N+2	28
5.1.3	2N	29
5.2	Hajautettu redundanttinen sähkönjakelu	30
5.3	Lohkoredundanttinen sähkönjakelu	31
6	Käytännön esimerkit eri sähkönjakelutopologioiden vikatiloista	32
6.1	Samanaikaisesti ylläpidettävän termi	33
6.1.1	Normaalitilanne	33
6.1.2	Vikatilanne	34
6.2	Tier 3 -tason viivapiirroskaaviot	35

6.3 Yleiset virheet	37
7 Yhteenveto	40
Lähteet	41

Lyhenteet

- CRAH: *Computer Room Air Handler*. Erittäin tehokas jäähdytyslaite, joka jäähdyttää konesaleja.
- IT: *Information Technology*. Tietotekniikka, mikä sisältää kaiken ja kaikki, jossa on tietoa.
- MDB: *Main Distribution Board*. Pääsähkökeskustila, joka valvoo ja ohjaa kaiken sähkönjakelun.
- MMR: *Meet Mee Room*. Fyysinen paikka, joka mahdollistaa yhteyden eri teleyrityksien kanssa.
- PDU: *Power Distribution Unit*. Virranjakoyksikkö, joka jakaa virtaa pääsyötöstä useisiin pistorasioihin esimerkiksi konesalin rakkikaappeihin.
- STS: *Static Transfer Switch*: Automaattinen staattinen vaihtokytkin, joka siirtää kriittisiä kuormia kahden riippumattoman AC-virtalähteen välillä alle 20 ms ilman katkoksia tai siirtymisaikaa.
- UPS: *Uninterruptible Power Supply*. Keskeytymättömän tehonsyötön teholaähde, joka antaa virransyötön valitulle laitteelle lyhyeksi ajaksi.

1 Johdanto

Globaalisti levittäytyneet datakeskukset ovat merkittävässä asemassa digitalou-
dessa. Ulkoa päin katsottuna nämä datakeskukset eivät herätä juurikaan hu-
miota, vaan ne näyttävät tavanomaisilta rakennuksilta. Datakeskusten kone-
saleihin on taltioituna digitaalinen data erilaisiin kiintolevyihin, ja siksi ne ovat
tarkoin vartioituja. Tämä näkyy muun muassa aitauksina, kulunvalvontana ja
valvontalaitteina.

Rajoittamattoman tiedon kysyntä yhteiskunnissa on johtanut äärimmäiseen kas-
vuun tietoliikenteen ja tiedon taltioinnin osalta. Datakeskukset sisältävät tilat tie-
toteknikka- ja verkkotietoliikennelaitteille, joiden toiminta perustuu tietojen käsit-
telyyn, tallentamiseen ja siirtoon.

Nämä datakeskukset kuluttavat huomattavan määrän energiaa, koska palveli-
met pyörivät vuoden jokaisena päivänä ilman keskeytyksiä. Nämä palvelimet ei-
vät saa missään nimessä kaatua, koska ovat osa kriittistä infrastruktuuria. Data-
keskuksen tärkeyttä voidaan verrata esimerkiksi sairaalaan, jonka sähköjakelu
ei saa kaatua, koska seurauksena potilasturvallisuus heikkenee.

Jotta varmistetaan datakeskusten keskeytymätön toiminta, sähköjakelu on
kahdennettua tai jopa kolminkertaistettua. Ajatellaan, että jos yksi laite vikaan-
tuu, niin toinen ottaa sen paikan ja alkaa toimimaan. Tätä kutsutaan redundans-
siksi eli varmennukseksi.

Tämä työ on tehty Granlund Oy:lle. Granlund Oy on suomalainen talotekniikan
suunnittelu- ja konsultointiyritys, jossa työskentelee yhteensä yli 1400 työnteki-
jää ympäri Suomen sekä lisäksi Ruotsin ja Iso-Britannian toimipisteissä [1].

2 Datakeskuksen suunnittelun periaatteet

Datakeskuksen suunnittelu on äärimmäisen tärkeää, koska se määrittää tilan kapasiteetin, tehokkuuden, luotettavuuden ja rakentamisen sekä käytön kustannukset. Useita vaatimuksia on otettava huomioon uuden datakeskuksen suunnittelussa. Näitä voivat olla esimerkiksi IT-vaatimukset, paikallisten kuntien vaatimukset ja tilan vaatimukset. [2.]

Datakeskusten on yleensä tarjottava modulaarisia, skaalautuvia ja joustavia infrastruktuureja, koska tietotekniikka ja IT-arkkitehtuurit jatkavat kehittymistään ja suunnittelun näkökohdat voivat olla erityisen haastavia. Esimerkiksi IT-kehitykset voivat johtaa muutoksiin sähkö- ja jäähdytysjärjestelmien vaatimuksissa. Tulevaisuuden vaatimusten täyttämiseksi on tärkeää suunnitella datakeskus tulevaisuutta varten. Tässä luvussa käsitellään keskeisiä periaatteita, jotka on pidettävä mielessä uuden datakeskuksen varmennetun sähkönjakelun suunnittelua varten. [2.]

Skaalautuvan datakeskuksen luominen tarkoittaa sen mahdollistamista tulevaisuuden laajentumiselle. Tämä skaalautuvuus koskee kykyä laajentaa datakeskuksen laitteistoa ja kapasiteettia, mikä on tunnistettava jo suunnitteluvaiheessa. Siksi tulevaisuudessa lisättävien rakkien, palvelimien ja muiden komponenttien määrän harkitseminen johtaa vaativampaa suunnitteluun. Lisäksi kyky lisätä enemmän sähkö- ja jäähdytysyksiköitä tulisi ottaa huomioon. [2.]

Joustavuus on avainasemassa onnistuneessa datakeskuksen suunnittelussa, koska IT-laitteiston ja käyttäjien tarpeet voivat muuttua ajan myötä. Kyky muokata tai uudelleen konfiguroida tilaa vastaamaan uusia vaatimuksia voi olla hyödyllistä sisällyttää datakeskuksen suunnitteluun. Tarvittaessa siis täytyy olla kyky lisätä tai uudelleen konfiguroida sähkö-, jäähdytys- ja verkkokomponentteja. [2.]

Datakeskuksen *luotettavuus* on kriittinen tekijä sen toiminnalle. Siksi datakeskuksen suunnittelun tulisi varmistaa saatavuus ja toimivuus kaikkina aikoina, jopa sähkökatkoksen sattuessa. Tämä tarkoittaa moninaisten redundanssi- ja

varmistusjärjestelmien sisällyttämistä tilaan, mikä varmistaa kaikkien komponenttien toimivuuden, kuten sähkö- ja jäähdytysredundanssikomponentteja. [2.]

Datakeskuksen infrastruktuurin kokonaiskäytettävyys riippuu sen osainfrastruktuurien käytettävyyksistä, joista ohjeistetaan muun muassa sähkönsyöttöä ja -jakelua käsittelevä EN 50600-2-2. *Käytettävyydellä* tarkoitetaan kykyä toimia vaaditulla tavalla tietyissä olosuhteissa tietyinä hetkenä tai tietyllä aikavälillä olettaen, että tarvittavat ulkoiset resurssit ovat järjestelmän käytössä. [3.]

3 Datakeskuksen yleisimmät lyhenteet ja terminologiat

Kun kyseessä on datakeskukset, sen tekniikan tieteenalaan on olemassa oma kokonaan oma kieli, johon on perehdyttävä. Koska lyhenteitä ja termejä on erittäin paljon, käydään läpi yleisimpiä termejä, jotka auttavat lukijaan ymmärtämään aihetta paremmin. Tässä luvussa on hyvin perustermejä ja lyhenteitä, jotka koskevat monikäyttäjäisiä datakeskusprojekteja:

- Cabinet: suljettu rakenne, joka sisältää yleensä metallisia palvelimia, joissa on kiskot, maadoitusnastat ja sisäiset hyllyt tai muuta sellaista [4].
- Mantrap: Turvallisen tilan sisäänkäynnin kohdalla sijaitseva fyysinen turvallisuusominaisuus, jonka tarkoituksena on pysäyttää henkilön eteneminen ilman kulkulupaa. Yleensä henkilöllä on oltava turvallisuusskannaus päästäkseen pieneen eteiseen. Kun henkilö on sisällä, hän ei voi poistua, ellei hän läpäise toista turvallisuusskannausta. [4.]
- Meet Me Room (MMR): On tila datakeskuksessa, jossa suuria määriä digitaalista liikennettä käsittelevät yritykset voivat yhdistää toisiinsa ja vaihtaa tietoja. Yhdistämällä dataverkostonsa toisiinsa MMR:ssa yritykset voivat jakaa suuria määriä liikennettä alhaisin kustannuksin ja ohjata liikennettään välttääkseen niin sanottujen paikallisten silmukoiden käytöstä aiheutuvia maksuja. [5.]

- Main Distribution Board (MDB): On pääsähkökeskustila, joka valvoo ja ohjaa kaiken sähkönjakelun. Jos MDB havaitsee jännitteen laskun, se siirtää kuorman automaattisesti akkuvarmennukseen ja lopulta generaattoreihin, jotta sähkökatkokset voidaan välttää. [6.]
- Redundancy: Tarkoittaa kriittisten infrastruktuuri komponenttien kahdentamista varmistamalla keskeytyksettömän toiminnan sähkökatkojen aikana. Esimerkkejä ovat generaattorit ja katkottomat virtalähteet (UPS-järjestelmät). [7.]
- Ring Main Unit (RMU): On täysin suljettu kytkinlaitteisto keskijännite sähköjakelussa, joka on helposti vaihdettavissa. Vaatii vähän huoltoa ja on erittäin suojattu.
- Remote Power Panel (RPP): on Modulaarinen sähkökeskus, joka syöttää konesalin rakkikaappeja.

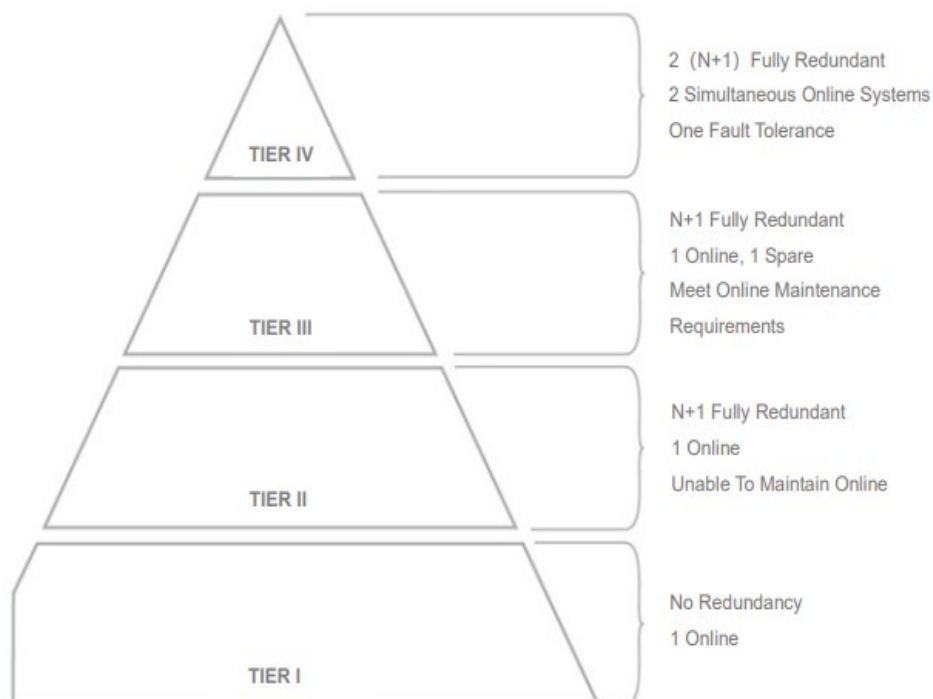
4 Datakeskuksen varmennukseen liittyvät yleiset vaatimukset

Tässä luvussa käydään läpi eri vaatimuksia, joita datakeskushankkeissa käytetään. Tarkastelussa on kolme vaatimusta, Tier-luokitusjärjestelmä, standardi EN50600 ja TÜVIT, joihin syvennyttään tarkemmin omissa alaluvuissaan.

4.1 Uptime Instituten TIER-luokitusjärjestelmä

Uptime Institute on puolueeton organisaatio, joka on kehittänyt Tier-luokitusjärjestelmän (kuva 1). Sen liiketoiminta keskittyy kriittisen infrastruktuurin suorituskyvyn, tehokkuuden ja luotettavuuden parantamiseen innovaation, yhteistyön ja

riippumattomien suorituskyvyn todistusten avulla. [8.]



Kuva 1. Datakeskusten Tier-luokitusjärjestelmän eri tasot Uptime Institutun mukaan [9].

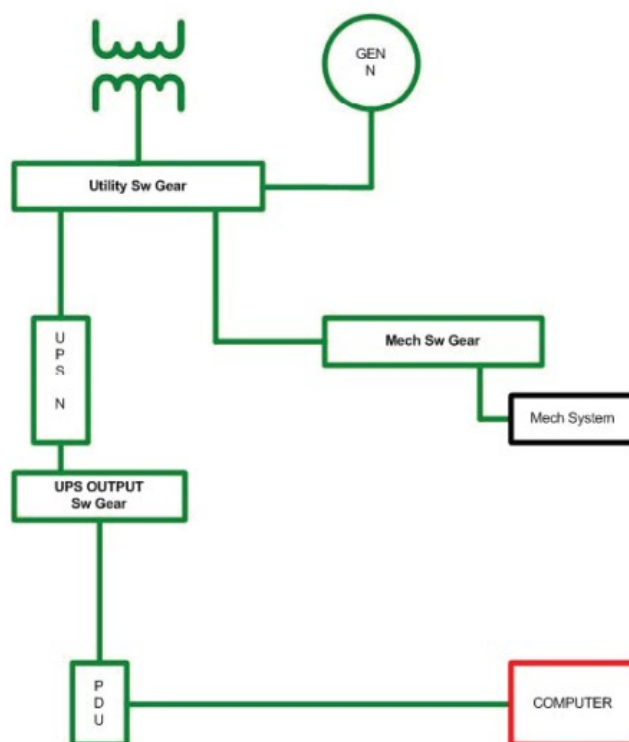
Datakeskukset jaetaan neljään luokitustasoon (Tier 1–4), jotka vastaavat tiettyä sähkönjakelumallia ja määrittelevät kriteerit ylläpidolle, kokonaisteholle, jäähdytykselle ja viansietokyvyille. Tier-luokitustasot ovat progressiivisia, joten jokainen Tier-taso sisältää alempien luokitustasojen vaatimukset. Käytännössä luokitustasot perustuvat kasvavaan määrään redundanssikapasiteettikomponentteja ja sähkönjakelun eri toimintamalliin. Tier-luokitustasojen määritelmät ja edut on esitetty alaluvuissa, ja keskittyvät datakeskuksen infrastruktuuriin. [10.]

4.1.1 Tier 1 -luokitustaso

Tier 1 -luokitustaso tarjoaa parannetun ympäristön verrattuna tavalliseen toimistoympäristöön, joka sisältää oman erillistilan IT-järjestelmille (kuva 2). Erillistila sisältää varavirtageneraattorin, joka suojaa IT-toimintoja pitkittyneiltä

virtakatkoilta ja UPS:n, joka suodattaa virtahäiriöitä, jännitepiikkejä ja hetkellisiä katkoksia. Erillistilassa on myös jäähdytysjärjestelmä (CRAH), joka toimii jatkuvasti eikä sammu normaalien toimistotuntien päättyessä. [11.]

Nämä datakeskukset sopivat parhaiten pienille ja aloittaville yrityksille, jotka etsivät edullisinta ratkaisua. Nämä yritykset, joilla ei ole monimutkaisia IT-vaatimuksia tai ympärivuorokautista toimintaa, kykenevät sietämään useammin esiintyviä käyttökatkoksia vuoden aikana. [11.]



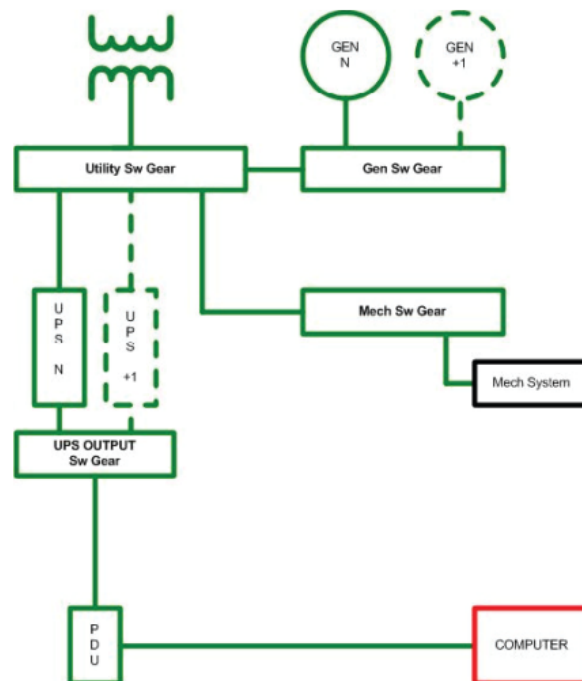
Kuva 2. Tier 1 -tason topologia [9].

Kuten kuvasta 2 huomataan, Tier 1 -tason sähkönjakelumallissa datakeskustilaan on vain yksi jakelureitti sähkön, jäähdytyksen ja tietoliikenteen infrastruktuurille eikä kriittisillä järjestelmillä ole redundanssia. Tällöin säännöllisen huollon tai hätäkorjausten suorittamiseksi datakeskuksen toiminta on tilapäisesti keskeytettävä toimenpiteiden ajaksi. Huolto- ja suunnittelemattomien katkosten

vuotuinen vaikutus on 28,8 tuntia vuodessa, eli vastaa noin 99,671 %:n käytettävyyttä. [11.]

4.1.2 Tier 2 -luokitustaso

Tier 2 -luokitustaso sisältää redundanssin kriittisille virta- ja jäähdytyskapasiteetikomponenteille, mikä tarjoaa suuremman turvamarginaalin IT-prosessien häiriöiltä, jotka johtuvat laitteistovikojen aiheuttamista ongelmista (kuva 3). Redundanttiset komponentit ovat yleensä ylimääräisiä UPS-moduuleja, jäähdytysyksiköitä, jäähdyttimiä, pumppuja ja moottorigeneraattoreita. Toiminnallisen komponentin menetys voi johtua toimintahäiriöstä tai normaalista huollosta. Sekä Tier 1- että Tier 2 -luokitustasot ovat niin sanottuja taktisia ratkaisuja, joita ohjaavat usein ensimmäiset kustannukset ja markkinoille pääsyn nopeus enemmän kuin elinkaaren kustannukset ja käytettävyyksivaatimukset. [11.]



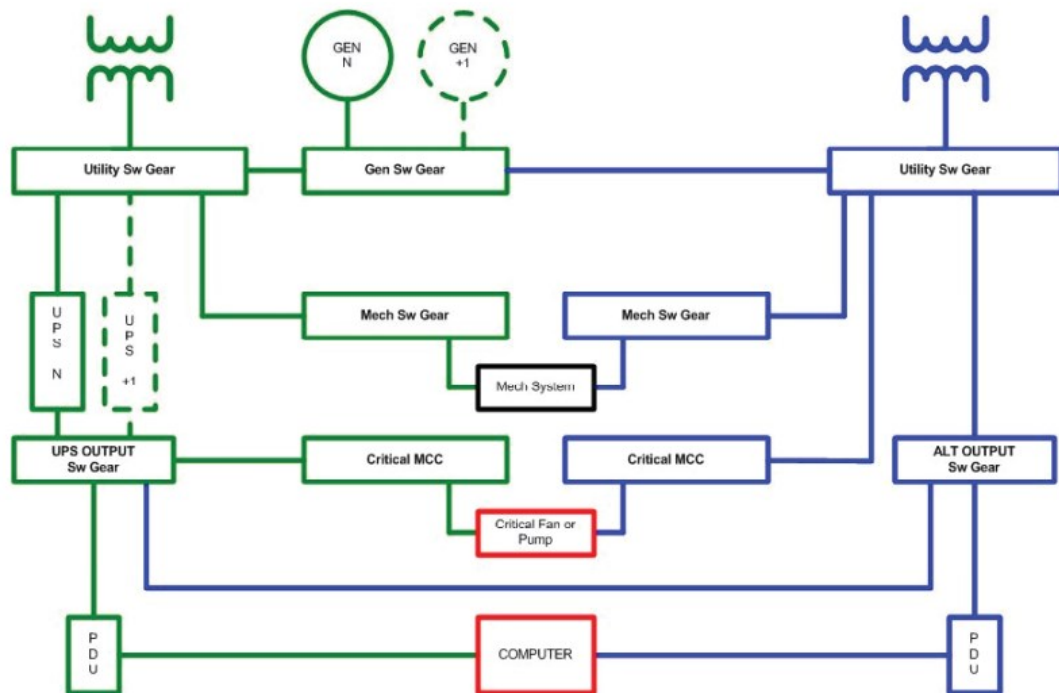
Kuva 3. Tier 2 -tason topologia [9].

Kuten kuvasta 3 huomataan Tier 1- ja Tier 2 -tason sähköjakelumalleissa datakeskukset luottavat yhteen jakelupolkuun virtaa ja jäähdytystä varten, joten nämä tilat ovat edelleen alttiita odottamattomille häiriöille. Tässä sähköjakelumallissa kuitenkin redundanssikomponentit tarjoavat jonkin verran huoltomahdollisuuksia ja vähentävät laitteistovikojen määrää, mitkä vaikuttavat IT-toimintaympäristöön.

Käyttöaika on kuitenkin parempi kuin alemman tason datakeskuksissa, joten Tier 2 -tasoa käyttävät kokevat vähemmän käyttökatkoja. Huolto- ja suunnittelemattomien katkosten vuotuinen vaikutus on 22 tuntia vuodessa, eli vastaa 99,741 %:n käytettävyyttä [11].

4.1.3 Tier 3 -luokitustaso

Tier 3 -luokitustaso lisää samanaikaisen ylläpidon periaatteen Tier 1 ja Tier 2 nähden ratkaisumalleihin (kuva 4). Tämän tason datakeskukset sopivat kriittiseen infrastruktuuriin, kuten reaaliaikaisiin sähköisiin kaupankäyntialustoihin, koska ne tarjoavat korkean käytettävyyden tason. Ratkaisumalliltaan tämä on myös yleisin tyyppi datakeskusten tasoista. Tier 3 -luokitustason datakeskuksen käyttö varmistaa, että organisaatio voi ylläpitää toimintaansa ilman häiriöitä, jopa järjestelmän huoltotoimenpiteiden aikana. [11.]



Kuva 4. Tier 3 -tason topologia [9].

Tier 3 -tason samanaikaisesti ylläpidettävä sähköjaketumalli sisältää Tier 2 -tason kriittisten komponenttien redundanssireitin, johon lisätään toinen sähköjaketureitti virtaa ja jäähdytystä varten. Tällöin kaikki IT-toimintojen tukemiseen tarvittavat komponentit voidaan sulkea ja ylläpitää ilman vaikutusta IT-laitteisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että IT-laitteissa on kaksi eri muuntopiirissä olevaa virransyöttölähdettä. Tämä mahdollistaa yksittäisen UPS-laitteen huoltamisen aiheuttamatta palvelimien kaatumista. Myös jäähdytysjärjestelmät voidaan huoltaa saman periaatteen mukaan, eli vian sattuessa toinen jäähdytysyksikkö käynnistyy ja jatkaa kriittisten komponenttien ilman lämpötila- ja kosteuserojen säätelyä.

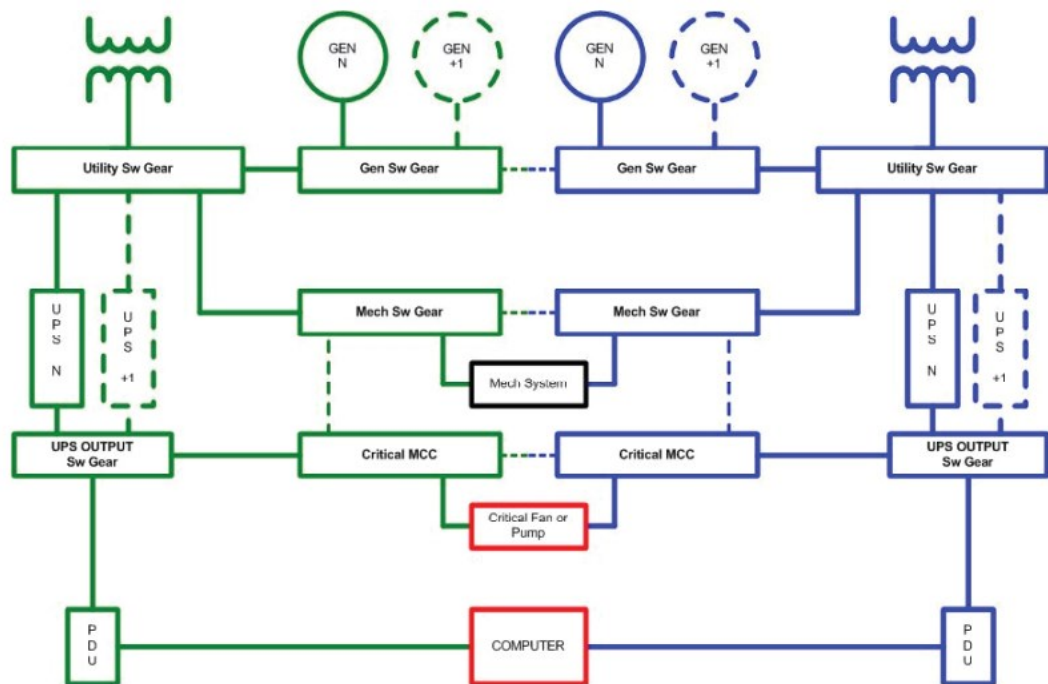
Samanaikaisesti ylläpidettävä ratkaisu Tier 3 siis mahdollistaa laitteiston ja jakelureittien uudelleen huoltamisen tai korjaamisen uuden kaltaiseen kuntoon tiheämmällä tahdilla ja säännöllisesti. Näin järjestelmä toimii luotettavasti alkuperäisen suunnitelman mukaisesti. Vaikka Tier 3 -taso onkin vikasietoisempi Tier

1- ja 2 -tasoihin nähden, ei se ole täysin vikasietoinen. Tier 3 -tason datakeskuk-
sissa voidaan suorittaa rutiininomainen huolto vaikuttamatta palveluun, mutta
katkoksen riski kasvaa huoltokatkoksen aikana, koska varakomponentti on jo
käytössä.

Tier 3 -luokitustason sähköjakelumallissa ei tarvita vuosittaisia huoltokatkok-
sia, mikä mahdollistaa tiheän huolto-ohjelman. Tämä parantaa kokonaisvaltai-
sesti laitteiston suorituskykyä. Huolto- ja suunnittelemattomien katkosten vuotui-
nen vaikutus on 1,6 tuntia vuodessa eli vastaa 99,98 %:n käytettävyyttä.

4.1.4 Tier 4 -luokitustaso

Tier 4 -luokitustason datakeskukset ovat Uptime-instituutin sertifioiduista tasoista
kaikkein vikasietoisimpia, ja tämän luokan datakeskukset edellyttävät, että yksit-
täistä vikakohtaa ei ole (kuva 5). Tier 4 -tason datakeskuksessa on useita fyysi-
sesti eristettyjä ja riippumattomia järjestelmiä, jotka sisältävät redundanssikom-
ponentteja. Lisäksi niissä on useita riippumattomia ja erilaisia sähköjakelureit-
tejä, jotka palvelevat samanaikaisesti kriittisiä komponentteja. Perusperiaate on,
että Tier 4 -tason sähköjakelumallissa on redundanssi jokaiselle komponentille
verrattuna Tier 3 -tason ratkaisuun.



Kuva 5. Tier 4 -tason topologia [9].

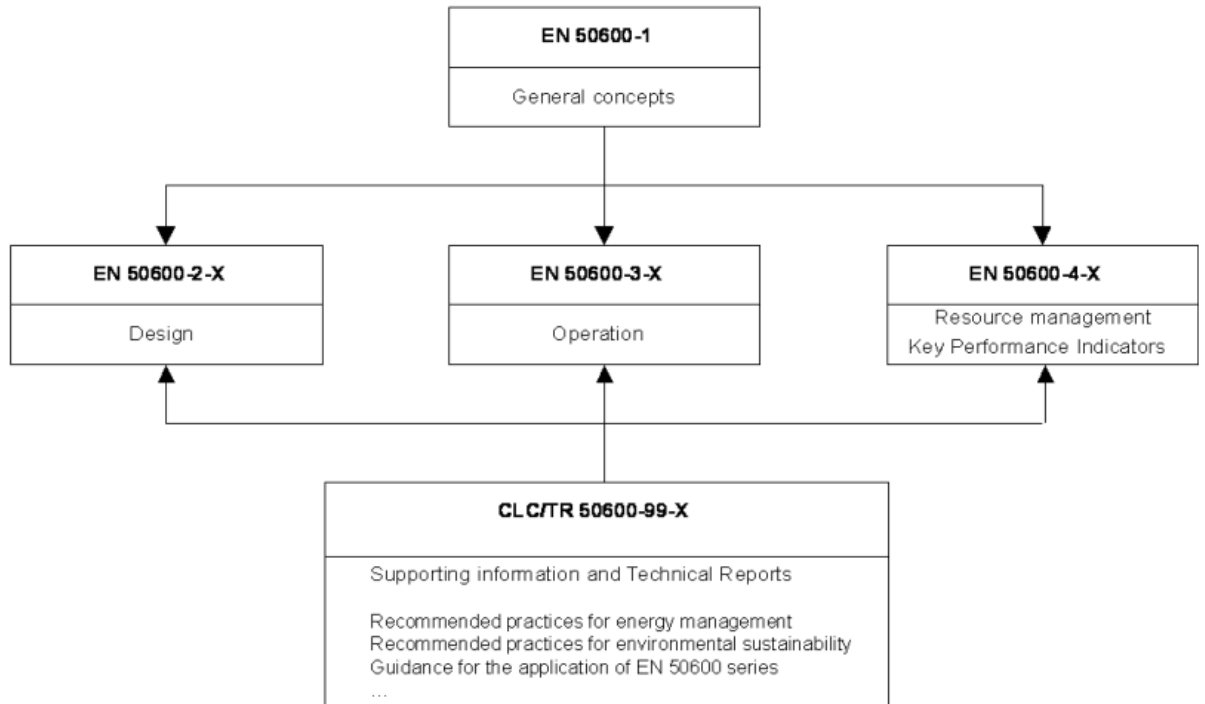
Tier 4 -tason vikakestoisuus ulottuu kaikkiin järjestelmiin tai komponentteihin, jotka tukevat IT-toimintoja. Tier 4 -taso ottaa siis huomioon, että mikä tahansa näistä järjestelmistä tai komponenteista voi vikaantua tai kokea suunnittelemattoman katkoksen milloin tahansa. Koska Tier 4 -määritelmä rajoittuu yhden järjestelmän vikatilanteen huomioon ottamiseen, siltä edellytetään, että tällaisen vian vaikutus muihin laitoksen infrastruktuurin järjestelmiin ja komponentteihin otetaan huomioon. Esimerkiksi yhden sähköpääkeskuksen menetys vaikuttaa kaikkien sähköpääkeskuksesta syötettyjen laitteiden toimintaan, kuten UPS-järjestelmät, konesalin jäähdytyslaitteet (CRAH) ja ohjausjärjestelmät.

Tier 4 -tason datakeskus on ainoa datakeskus, joka vaatii jatkuvaa jäähdytystä. Tämä vähentää myös katkojen ja häiriöiden mahdollisuutta. Huolto- ja suunnittelemattomien katkosten vuotuinen vaikutus on noin 2,4 minuuttia vuodessa, eli vastaa 99,995 %:n käytettävyyttä. [11.]

4.2 Standardi EN 50600 datakeskusten suunnittelussa

Eurooppalainen EN 50600 -standardisarja on suunniteltu standardien ja teknisten raporttien kehykseksi, joka kattaa kokonaisuudessaan datakeskuksen suunnittelun, käytön ja hallinnan sekä keskeiset suorituskykymittarit energiatehokkaalle toiminnalle [12, s. 5]. Tässä luvussa lähinnä käydään läpi EN 50600–2–2 -standardisarjaa, josta kootaan kaikki olennainen tieto sähköjakeluun liittyen. Alla lyhyesti selostettuna, mitä standardi EN 50600 -sarja pitää sisällään (kuva 6).

- Standardi EN 50600–1 sarja määrittelee yleiset vaatimukset kaikenlaisille datakeskuksille riippumatta niiden koosta ja fyysisestä rakenteesta. Standardi esittelee myös luokittelujärjestelmän käytettävyydelle, fyysiselle turvallisuudelle ja energiatehokkuudelle.
- Standardi EN 50600–2-X määrittelee vaatimukset ja suositukset sähkönsyöttöön ja -jakeluun datakeskuksissa, jotka vastaavat EN 50600-1:stä valittuihin kriteereihin ja luokituksiin, kuten käytettävyys, fyysinen turvallisuus ja energiatehokkuus.
- Standardi EN 50600-3-X-sarja määrittelee vaatimukset ja suositukset datakeskusten toiminnoille, prosesseille ja hallinnalle.
- EN 50600-4-X-sarja määrittelee vaatimukset ja suositukset keskeisille suorituskykymittareille, joita käytetään arvioimaan ja parantamaan resurssien käytön tehokkuutta ja vaikuttavuutta datakeskuksessa. [12, s. 5.]



Kuva 6. Koko EN 50600 -standardisarjan väliset vuorovaikutukset [12].

4.2.1 Standardi EN 50600-2-2 datakeskuksissa

Datakeskusten sähköjakelu on yksi tärkeimmistä osa-alueista sen infrastruktuurissa. Sähköjakelun jännitteen, virran ja taajuuden häiriöt ovat suoraan vaikutuksessa datakeskusten toiminnalliseen turvallisuuteen ja käytettävyyteen [13, s. 14.]. Sähkönsyötön ja -jakelun toiminnalliset elementit on havainnollistettu taulukon 1 avulla.

Taulukko 1. Sähkön syötön ja -jakelun toiminnalliset elementit [13].

Lähde	Toiminallinen elementti	Tyypillinen sijoittuminen
Sähkön- syöttö	Ensisijainen sähkönjakelu Toissijainen sähkönjakelu	Muuntajatila
	Sähkön syötön siirtolaitteisto (jossa on useita syöttöjä)	Sähkötila
	Redundanttinen syötönlähde (esim. generaattori tai UPS)	Generaattoritila Sähkötila
Sähkön- jakelu	Ensisijainen jakelulaitteisto	Sähkönjakelutila tai muuntajatila
	UPS	Sähkötila (tai konesalitila)
	Toissijainen jakelulaitteisto	Sähkötila (mutta voidaan sijoittaa moneen muuhunkin tilaan)
	Tertiäärinen jakelulaitteisto	Konesalin tilat tai tilat, jotka vaativat suojattuja sähkösyöttöjä.

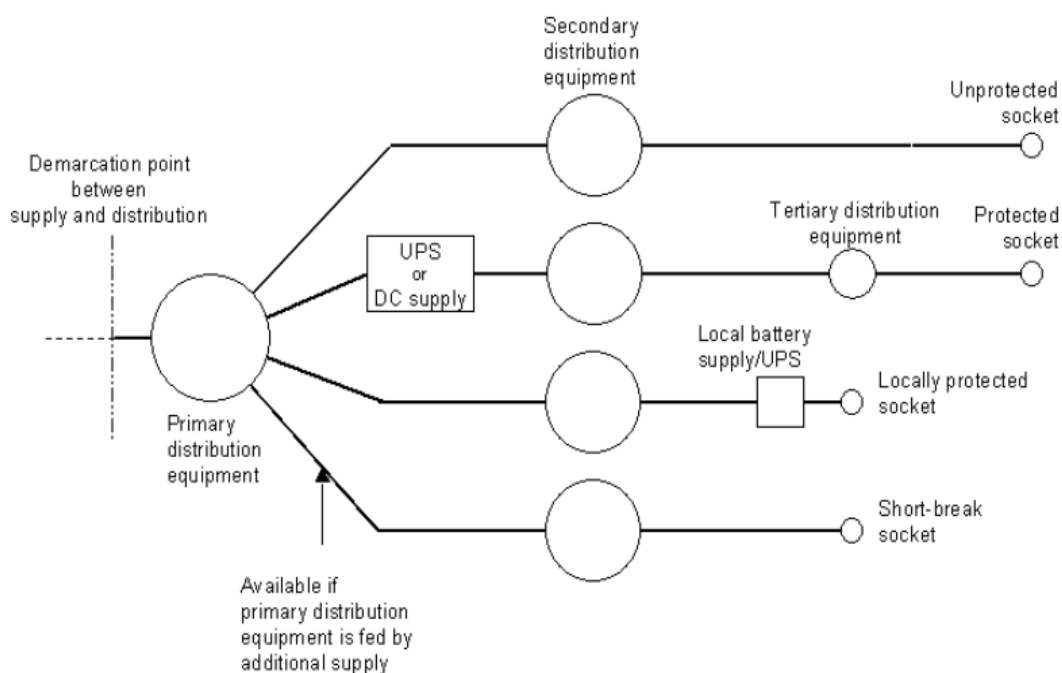
Pienissä datakeskuksissa toiminnalliset elementit voivat olla vain jakelualueella. Siellä ensisijainen jakelulaitteisto sijaitsee muualla kiinteistössä ja palvelee sähkönjakelua muualla kiinteistössä. Suurissa datakeskuksissa ensisijainen jakelulaitteisto voi olla omistettu itse datakeskuksen tarpeisiin. [13, s. 15.]

4.2.2 Standardi EN 50600–2–2 Sähkön syöttö ja sähkönjakelu datakeskuksissa

Datakeskuksen ensi- ja toissijainen sähkösyöttö tarjotaan yleensä muuntajista, jotka voivat olla joko kiinteistössä, jossa datakeskus sijaitsee, tai ulkoisia ja sähköyhtiön omistamia. Ensisijainen jakelulaitteisto tarjoaa rajapinnan syöttö- ja jakelualueiden välillä. Ensisijaisen jakelulaitteiston sähkönjakelujännite voi olla LV- tai MV-tasoa. LV-taso ja MV-taso tarkoittaa pienjännite- ja

keskijännitetasoa. Tyypillisesti pienjännitetaso on nimelliseltä tehollisarvoltaan alle 1 kV ja keskijännitetaso on 1–36 kV:n välillä. Mahdollinen UPS -järjestelmä on asennettu ensisijaisen ja toissijaisen jakelulaitteiston välille. [13.]

Toissijaisen jakelulaitteiston lähtö on yleensä LV-tasoa. Lisätoissijainen jakelulaitteisto asennetaan silloin, kun virtakaapelin nykyistä kapasiteettia tarvitsee muuttaa [13.]. Kuvassa 7 on havainnollistettu pistorasioiden kautta, miten sähkönjakelun avulla eri toiminnallisia komponentteja varmennetaan tai ollaan varmentamatta.



Kuva 7. Sähkönjakelun palvelemat eri pistorasiatyypit [13].

Kuten kuvassa 7, pistorasiat on luokiteltu neljään eri suojausluokkaan, jotka ovat:

- Suojattomat pistorasiat: sopivat laitteille, jotka eivät ole kriittisiä datakeskuksen toiminnalle, esimerkiksi normaali valaistus [13].

- Suojatut pistorasiat: Tarkoitettu laitteille, jotka ovat kriittisiä datakeskuksen toiminnalle, esimerkiksi IT- ja verkkotelelaitteet tai turvajärjestelmät, eivätkä voi sietää sähkönsyötön häiriöitä. Nämä pistorasiat palvelevat ratkaisuja, jotka sisältävät UPS-laitteiston, joka on asennettu jakelujärjestelmän osana. [13.]
- Paikallisesti suojatut pistorasiat: Tarkoitettu laitteille, jotka palvelevat ratkaisuja, kuten hätävalaistusjärjestelmä. Ne myös sisältävät UPS-järjestelmän, joka on asennettu pistorasian lähelle. [13.]
- Lyhytaikaiset pistorasiat: Tarkoitettu laitteille, jotka palvelevat datakeskusta, ja ne voivat sietää sähkönsyötön häiriöitä määritellyn ajan ennen kuin varmennus, esimerkiksi generaattori otetaan käyttöön. [13.]

4.2.3 Standardin EN 50600–2–2 käytettävyyssluokat

Datakeskuksen sähköjakelujärjestelmät koostuvat monimutkaisesta toiminnallisten elementtien sarjasta hierarkkisessa rakenteessa. Sarjaan ja rinnakkain kytketyt järjestelmät muuntavat sähkönsyötön ensisijaisista, toissijaisista tai redundanttisista syötöistä. Redundantitiset järjestelmäratkaisut ylläpitävät ja parantavat sähköjakelun laatua sekä käytettävyyttä ja toimittavat sen lopullisille laitteille datakeskuksessa. [13.]

Datakeskuksen sähköjakelujärjestelmät on suunniteltava tai valittava siten, että ne tarjoavat vaaditun sähkönsyötön käytettäville laitteille. Suojatuissa pistorasioissa oleva sähkönsyöttö ei saa heikentyä minkään kuormitusaskeleen seurauksena, joka johtuu kytkentätoimista tai vioista. Jos sähköjakelujärjestelmät sisältävät useita jakelureittejä, sen yhden reitin toiminnallisten komponenttien vikaantuminen ei saa vaikuttaa negatiivisesti sähkönsyöttöön missään muussa reitissä. [13.] Sähköjakelujärjestelmien eri käytettävyyssluokat ja niiden sisältämien jakelureittien määrät on havainnollistettu taulukossa 2.

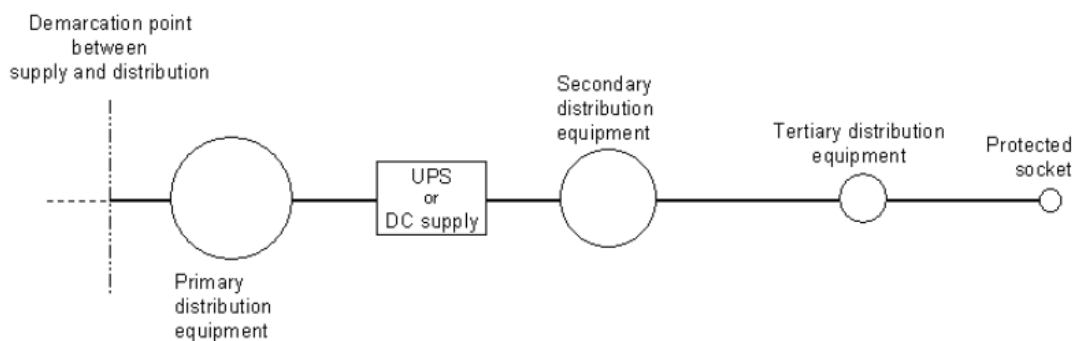
Taulukko 2. Käytettävyyssluokat [13].

	Käytettävyyssluokka 1	Käytettävyyssluokka 2	Käytettävyyssluokka 3	Käytettävyyssluokka 4
Infrastruktuurien kokonaisuuden käytettävyys.	Heikko	Keskinkertainen	Korkea	Erittäin korkea
Määritelmä sähkönsyötölle (EN 50600-2-2).	Yksittäinen reitti Ensisijaiseen jakelulaitteistoon yksi syöttölähte	Yksittäinen reitti Ensisijaiseen jakelulaitteistoon Varmistetut syöttölähteet	Useita reittejä Ensisijaiseen jakelulaitteistoon Varmistetut syöttölähteet	Useita reittejä Ensisijaiseen jakelulaitteistoon Useita syöttölähteitä
Määritelmä sähkönsyötön jakelulle (EN 50600-2-2).	Yksittäinen reitti	Varmistettu yksittäinen reitti	Useita reittejä Samanaikaisesti ylläpidettävä ratkaisu	Useita reittejä Vikasietoinen ratkaisu

Sähkönjakelujärjestelmien käytettävyyssluokan on oltava vähintään yhtä suuri kuin EN 50600-1 mukaisesti valittujen kokonaislaitteiden ja infrastruktuurin käytettävyyssluokka. Käytettävyyssluokat on määritelty neljään luokkaan, jotka ovat progressiivisia eli käytettävyys suurenee luokan myötä ja käsittää alemman tason käytettävyyden. [13.]

Luokka 1

Luokan 1 infrastruktuurit ovat sopivia vain datakeskuksille, jotka eivät luota suojaamattomiin päätelaitteisiin. Tässä ratkaisussa yhden toiminnallisen komponentin vika voi johtaa käyttökatkokseen (kuva 8). Suunniteltu huolto voi vaatia kuorman sammuttamisen. Suojatut pistorasiat syötetään yhden jakelureitin kautta. [13.]

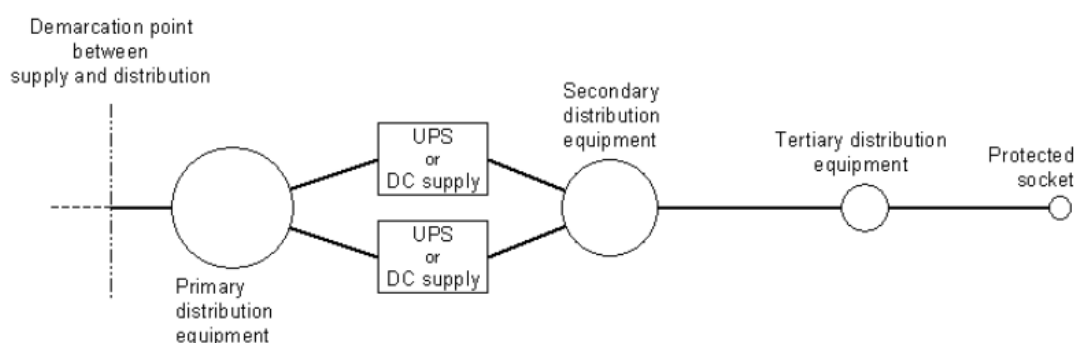


Kuva 8. Esimerkki yhden reitin sähkönsyöttöjärjestelmästä [13].

UPS:n on oltava suunniteltu tarjoamaan riittävä virtalähde, jotta hallittu sammutus on mahdollista. Hallitun sammutuksen tulee rajoittaa mahdollista vahinkoa, joka aiheutuu ensisijaisen jakelulaitteiston sähkönsyötön katkaisusta. [13.]

Luokka 2 – Redundanttinen

Luokan 2 infrastruktuurit ovat sopivia pienille datakeskuksille, joissa ei ole kriittistä infrastruktuuria. Tämä järjestelmä on hieman luotettavampi kuin yhden reitin järjestelmä, mutta se on edelleen altis yhden toiminnallisen komponentin vialle. Luokan 2 ratkaisussa yhden varmennuslähteen vika ei saa johtaa kyseisen reitin toiminnallisuuden menetykseen UPS-järjestelmän avulla (kuva 9). UPS-järjestelmän rutiininomainen suunniteltu huolto ei saa vaatia kuorman sammuttamista. [13.]

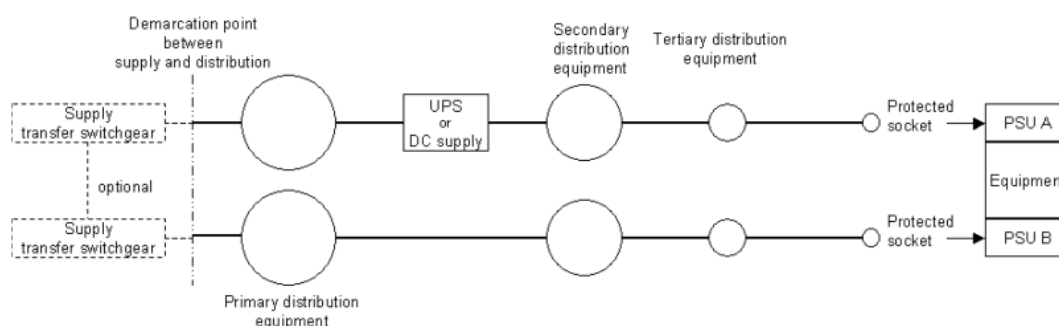


Kuva 9. Yhden reitin sähköjakelujärjestelmä, jossa on redundanssi [13].

Luokka 3 samanaikaisesti ylläpidettävä ratkaisu

Luokan 3 infrastruktuurit ovat sopivia suurille datakeskuksille, koska käytettävyyttä on korkea. Tämä sähköjakausratkaisu käsittää samanaikaisen ylläpidettävyyttä määritelmän (kuva 10). Kaikkien jakelureittien on oltava suunniteltu kestämään enimmäiskuormitus. [13.]

Suunnitellun huollon aikana kuorman sammumista ei saa vaatia eikä toiminnallisen elementin vika saa johtaa toiminnallisuuden menetykseen. Vaikka jakelureitin vika voi johtaa suunnittelelemattomaan kuorman sammuttamiseen, eivät huoltorutiinit saa vaatia suunniteltua kuorman sammuttamista. Koska varmennettu jakelureitti toimii samanaikaisen ylläpidon mahdollistajana, vähentää se palvelun palautumisaikaa jakelureitin vian jälkeen. Tällä pienennetään keskimääräistä käyttökatkoksen aikaa. [13.]



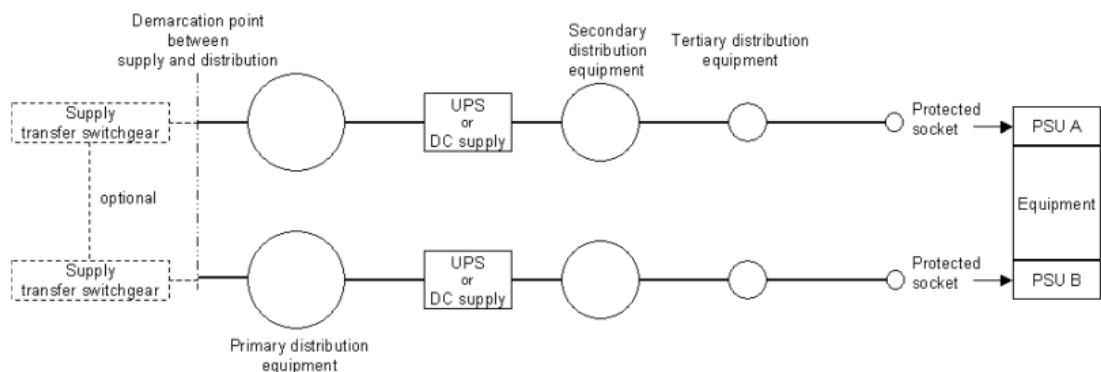
Kuva 10. Esimerkki monta reittiä sisältävästä sähköjakausratkaisusta [12].

On suositeltavaa tässä ratkaisussa käyttää ohituskeinoa yhdessä UPS-laitteiston kanssa, jossa virtakiskokatkaisijan avulla yhdistetään ensi- ja toissijaiset jakelulaitteistot (MDB:t). Mahdollinen vahinko voidaan rajoittaa ensisijaiseen jakelulaitteistoon sähkönsyötön katkaisun jälkeen. Ohitus ei saa sijaita samassa palo-osastossa kuin UPS-laitteisto. [13.]

Kun käytetään virtakiskokatkaisijaratkaisua, katkaisijoiden suositellaan olevan normaalisti auki ja lukittuina kummallakin puolella. Vain manuaalinen käyttö on sallittu ja yksityiskohtaiset käyttöohjeet on annettava. [13.]

Luokka 4 vikaisietoisin sähkönjakeluratkaisu

Luokan 4 käytettävyys käsittää korkeimman redundanttisuuden, jossa on useita kriittisiä komponentteja aktiivisesti palvelevia jakelureittejä (kuva 11). Tämäkin luokka mahdollistaa samanaikaisen ylläpidettävyyden eikä yksittäinen vikatila saa johtaa kuorman sammumiseen. Myös kaikkien jakelureittien on oltava suunniteltu kestävään enimmäiskuormitus. [13.]



Kuva 11. Esimerkki usean reitin sisältävästä vikaisietoisesta sähkönjakeluratkaisusta [13].

4.3 IT-turvallisuuden testauspalveluiden tarjoaja TÜVIT ja kriteeristöluettelo

TÜVIT on yksi johtavista IT-turvallisuuden testauspalveluiden tarjoajista. Yritys keskittyy esimerkiksi kriittiseen infrastruktuureihin, tietoturvaan ja tiedonhallintajärjestelmien arviointiin ISO/IEC 27001 -standardin mukaisesti. Lisäksi TÜVIT tarkastaa ja sertifioida datakeskukset niiden fyysisen turvallisuuden ja käytettävyyden osalta. Vuodesta 2001 lähtien TÜVIT on erikoistunut fyysisesti turvallisten ja korkeasti käytettävien datakeskusinfrastruktuurien arviointiin ja sertifiointiin. TSI on lyhenne sanoista Trusted Site Infrastructure, joka on todistettu alan tunnustamana testausmenetelmänä. Se perustuu TÜVIT:n omaan kriteeristöluetteloon, eli TSI-standardiin, jota on jatkuvasti kehitetty markkinoille lanseeraukseen lähtien vastaamaan alan uusimpia vaatimuksia. [14.]

Kriteeristöluettelo on jaettu kymmeneen erilliseen arviontiosioon, joista tässä luvussa on tarkastelussa yksi arviontiosio eli sähkönjakelu. TSI-standardin arviontitekriitit kattavat jo suuren osan EN 50600 -vaatimuksista. [14.]

Arviointitasot

Jokaisessa osiossa on arviointivaatimuksia kriteerien muodossa, jotka määrittelevät, miten kriteeri toteutetaan arviointitasoissa. Arviontiosiot on jaettu neljään eri tasoon käytettävyyden mukaan:

Taso 1 käsittää keskinkertaisen käytettävyyden. Toiminnallinen perusjärjestelmä varmistaa palvelintilojen käyttöolosuhteet ottaen huomioon pääsynvalvonnan ja paloturvallisuuden. [14.]

- Taso 2 käsittää laajennetun käytettävyyden, eli turvaa syöttövarmuuden redundanssien avulla ja ottaen huomioon ympäristökatastrofit IT-järjestelmälle, kulunvalvonnasta ja paloturvallisuudesta [14].
- Taso 3 käsittää korkean käytettävyyden, eli yksittäisiä vikakohtia toimituksessa ei ole ja suojattuja jakelureittejä [14].
- Taso 4 käsittää erittäin korkean käytettävyyden. Tarkoittaa datakeskusta, joka on viansietokykyinen huoltotilanteessa ja käsittää aitasuojauksen koko laitosalueella. [14.]

Vaatimusluokat

Jokaiselle arviointitekriitille on määritelty kolme vaatimusten luokkaa, jotka kuvaavat vaatimusten toteutuksen astetta ja laatua neljässä arviointitasossa. Vaatimusluokat ovat luokat A–C:

- Luokka A: arviointitekriitit on otettava huomioon toteutustoimenpiteissä, ja vaaditut ominaisuudet ja toiminta on toteutettava kuvauksen mukaisesti [14].

- Luokka B: Arviointikriteeri on otettava huomioon toteutustoimenpiteissä. Toimenpiteiden on oltava tehokkaita ja vaaditut ominaisuudet ja toiminta on toteutettava avoimesti. [14.]
- Luokka C: Arviointikriteeri on otettava huomioon toteutustoimenpiteissä. Toimenpiteiden on oltava riittävän tehokkaita saatavuuden, viikaantumisen torjumisen ja toimenpiteiden täytäntöönpanon suhteen. Vaaditut ominaisuudet ja toiminta on toteutettava katalogin kuvauksen mukaisesti. [14.]

4.4 Sähkönjakelun arviontiosio

Niin kuin aiemmassa arviontiosiossa kerrotaan arviontitasojen olevan tasot 1–4, niitä kuvataan tässä L1–4. Jos tekstissä ei ole kerrottu arviointitasoa erikseen, kyseinen taso ei vaadi kriteeriä. Alkuun kerrotaan, mistä on kyse ja mihin vaatimusluokkaan arviointitaso kuuluu. Näiden jälkeen selostetaan, mikä kyseiseen vaatimus on ja luettelon kohdassa kuvataan vaatimusten toteutus.

TN-S jakelujärjestelmä, perustuu 5-johdinjärjestelmään. Vaatimustasoltaan L1 on B-luokkaa ja muut L2–L4 ovat C-luokassa. [14.]

PE ja N ovat erillisiä johtimia. Nollajohto on eristetty ja se on yhdistetty vain keskitettyyn maadoituspisteeseen PE:llä. N-johto on suunniteltu ilman pienennettyä poikkileikkausta. Keskusmaadoitus käsittää konseptin, jossa otetaan huomioon kaikenlaiset toiminnot. [14.]

- Luokka B: vähintään IT-alue sisältyy TN-S-jakelujärjestelmään, ja toimenpiteitä on toteutettu tasaavien virtausten välttämiseksi [14].
- Luokka C: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].

Virta syötetään ensisijaisista ja toissijaisista syöttölähteistä. Vaatimustasoltaan L2 on B-luokka ja muut L3–L4 ovat C-luokassa. [14.]

Julkisen sähköverkon ja varmuuskäyttöön tarkoitetuista varavoimajärjestelmistä, esimerkiksi generaattorit ovat hyväksyttäviä syöttölähteitä. EN 50160:n sähköverkon vaatimuksia on noudatettava. Ensisijaisen ja toissijaisen syötön linjat ohjataan erillisille jakelureiteille yhteiseen sisääntulohuoneeseen tai erityisuojaan ulkoisia vaikutuksia vastaan. Toissijainen syöttö on riippumaton ensisijaisesta syötöstä. [14.]

- Luokka B: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].
- Luokka C: toissijainen syöttö perustuu erilaiseen teknologiaan kuin ensisijainen syöttö [14].

Ensisijainen syöttö on toteutettu kahden erillisen jakelureitin kautta. Vaatimustasoltaan L3 on B-luokassa ja L4 on C-luokassa. [14.]

Syöttöjärjestelmä voidaan toteuttaa kahden haaran linjoilla tai yhdellä rengastopologialla. Linjat ohjataan erillisille poluille yhteiseen sisääntulohuoneeseen tai erityisuojaan ulkoisia vaikutuksia vastaan. [14.]

- Luokka B: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].
- Luokka C: jakelureitit kulkevat erikseen kytkentäpisteeseen asti [14].

Toissijainen virtalähde on vaatimustasoltaan L2 on B-luokassa ja L3–L4 ovat C-luokassa [14].

Toissijainen syöttö ottaa kuorman automaattisesti haltuunsa ensisijaisen syötön vikaantuessa, ja palauttaa sen automaattisesti ja katkeamattomasti ensisijaiseen syöttöön, kun vikatila on korjattu [14].

- Luokka B: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].
- Luokka C: toissijainen syöttö on käytettävissä ilman aikarajoituksia [14].

Toissijaisen syötön liittäminen eli toissijainen syöttö voi ottaa haltuunsa kuormituksesta 100 % milloin tahansa, ja se on käytettävissä A- ja B-poluilla. Vaatimustasoltaan L3 on B-luokka ja L4 on C-luokka. [14.]

- Luokka B: Toisen datasyötön liittäminen tapahtuu sen oman jakelun kautta tai se syöttää suoraan A-reittiin sekä B-reittiin. Toinen polku ei saa olla kytketty toisen polun kytkentälaitteeseen. [14.]
- Luokka C: Jokaisella A- tai B-syöttöreitillä on oma toissijainen syöttö erillisessä palo-osastossa. Toissijaisten syöttöjen ohjaukset on asennettu riippumattomasti toisistaan. [14.]

A- tai B-jakelureitit IT-sähkölaitteille ovat vaatimustasoltaan L3 on B-luokka ja L4 on C-luokka [14].

Kumpikin jakelureitti pystyy syöttämään IT-laitteita jopa 100 %:n tasolle. Kuormitus jaetaan mahdollisimman symmetrisesti molemmille jakelureiteille, jotta kummallakin polulla on noin 50 % kuormituksesta normaalikäytössä. [14.]

- Luokka B: vain yhdessä keskijänniteohjaamossa on toteutettu lisätoimenpiteitä toissijaisen syötön varalta, esimerkiksi redundanssi n+1 [14].
- Luokka C: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].

IT-sähkölakeluyksiköillä on oma jakelulinja ilman haaroitusta. IT-alue saa oman syöttönsä esimerkiksi UPS:n kautta. Vaatimustasoltaan L2 on B-luokkaa ja L3–L4 ovat C-luokassa. [14.]

- Luokka B: yksi haara on sallittu, jos se on datakeskuksen operaattorin hallinnassa [14].
- Luokka C: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].

UPS-järjestelmän ulkoinen ohitus eli järjestelmässä tulee olla ulkoinen ohituskatkaisija huoltotoimenpiteitä varten. Vaatimustasoltaan L1 ja L3-L4 ovat B-luokka ja L2 on C-luokkaa. [14.]

- Luokka B: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].
- Luokka C: ulkoinen ohitus kulkee UPS-tilan ulkopuolella [14].

UPS-varmennusjärjestelmän täydellinen vikaantuminen ei johda jakelun pullonkaulailmiöön. Vaatimustasoltaan L2 on B-luokkaa ja L3–L4 ovat C-luokassa. [14.]

- Luokka B: komponenttien redundanssi on N+1 tai toinen jakelujärjestelmä on käytettävissä [14].
- Luokka C: järjestelmän redundanssi on 2N. Jokaisella A- tai B-syöttöpölyllä on oma UPS-järjestelmä, joka kattaa vähintään 100 % IT-virrasta. [14.]

UPS-järjestelmä ja varageneraattorit varavoimajärjestelmänä eli näillä tulee olla riittävä määrä tehoreserviä. Vaatimustasoltaan L1–L4 ovat C-luokassa. [14.]

- Luokka C: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].

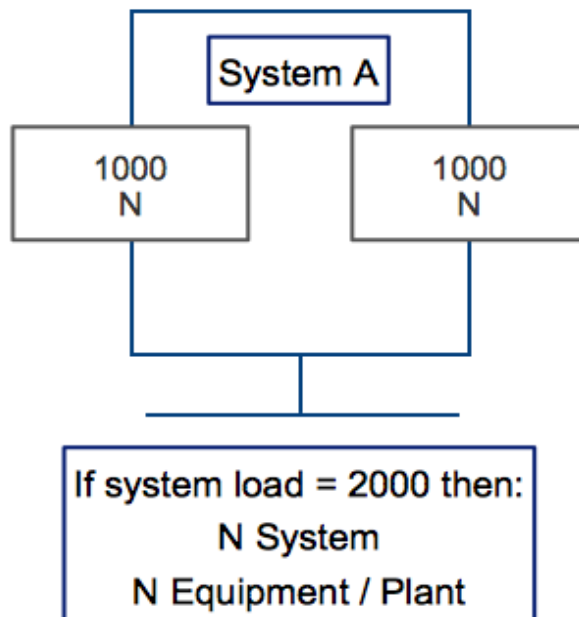
Varageneraattorit ja sen kytkentälaitteistot asennetaan turvallisesti. Kytkentälaitteistot asennetaan siten, että käyttömahdollisuus on taattu. Jos ensisijainen syöttö vikaantuu, niin toissijainen syöttö on varmistettu. [14.]

- Luokka C: toteutus suoritetaan kuvatun tekstin mukaisesti [14].

5 Redundanttisuuksien topologiat

Kuten luvussa 3 on esitetty, että datakeskuksen toimintakykyä voidaan toteuttaa monella eri sähköjakelumallilla. Suurin eroavaisuus normaaliin jakeluun on,

ettei itse kiinteistössä ole mitään varmuksia. Tällä tarkoitetaan, että jakokeskuksesta tulee vain yksi sähköjakelureitti kiinteistöön. Sähköverkkoyhtiöt kuitenkin pyrkivät käyttämään rengastopologiaa syöttävään jakokeskukseen, joten kiinteistöä syöttävä jakokeskus saa vähintään kahdesta eri muuntopiiristä syötön. Tällöin vian ilmaantuessa jakokeskus pysyy toiminnallisena ja kiinteistö välttyy käyttökatkokselta. Kuvassa 12 on yksinkertaistettu tyypillinen verkkotopologia, jota voidaan käyttää tavallisessa sähköjakeluverkossa.

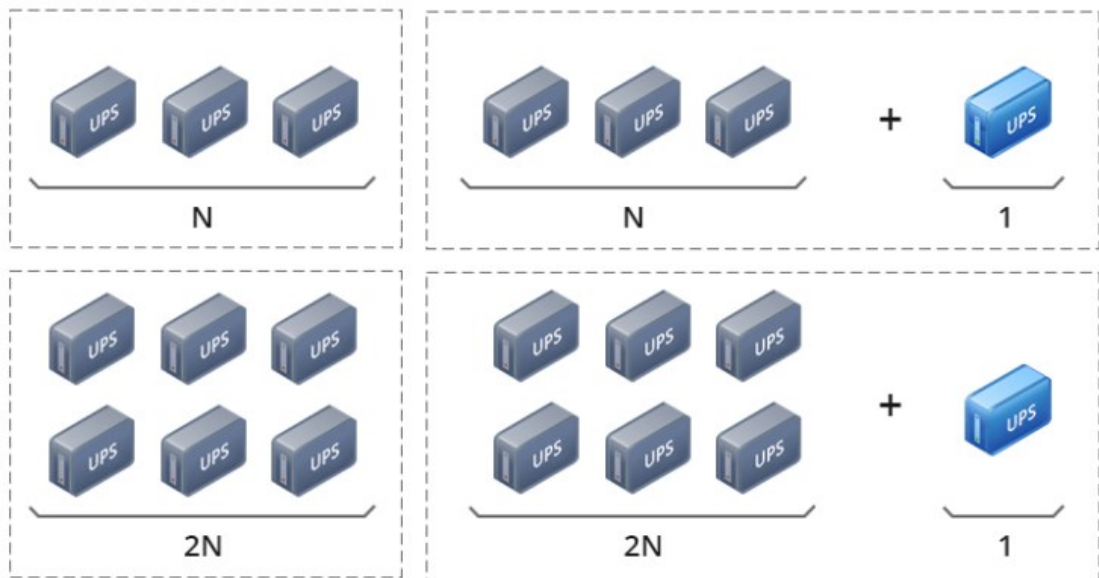


Kuva 12. Termi N eli normaalitopologia ilman varmuksia [15].

Datakeskuksen redundanttius yksinkertaisesti tarkoittaa sitä, että pyritään toteuttamaan monitasoinen jakelumalli, jossa jokaisella kriittisellä järjestelmällä on luotettava varmuksia. Varmentamalla lisätään luotettavuutta ja käytettävyyttä, mikä kulkevat käsi kädessä. Tietysti päätavoite olisi saada käytettävyys 100 %:n tasolle, jolloin katkosten vuotuinen vaikutus olisi 0 minuuttia. Tätä on periaatteessa mahdoton toteuttaa, sillä suunnittelemattomiin tapahtumiin on vaikea varautua.

5.1 Redundanttisuuden termit $N+1$, $N+2$ ja $2N$

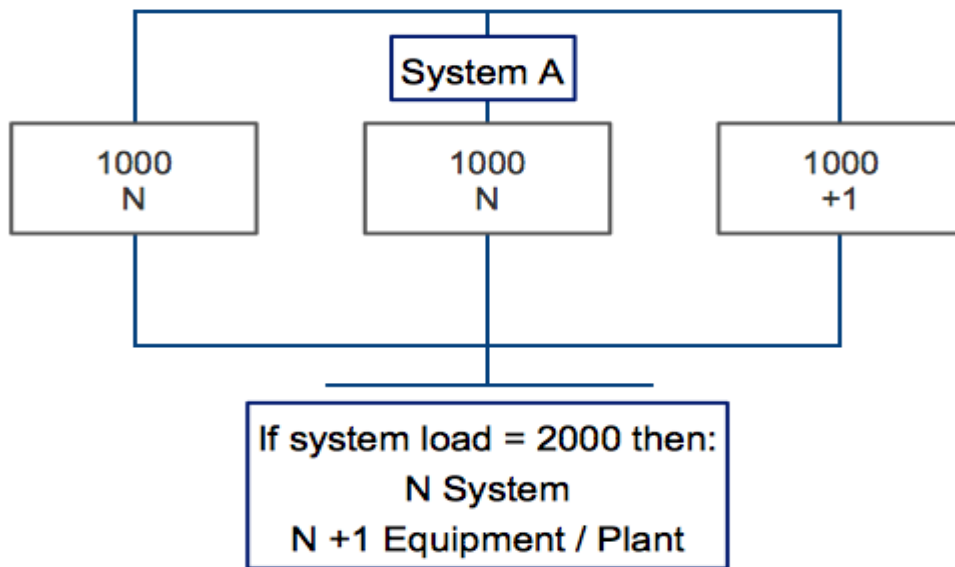
Sähköjaketun ja virtalähteiden monistaminen kuvataan esimerkiksi termeillä N , $N+1$, $2N$, $2N+1$ (kuva 13). Numeron edessä oleva kirjain N viittaa aktiivisesti käytettyjen sähköjaketun syöttöjen ja virtalähteiden määrään. Numeron jälkeen oleva kirjain N viittaa varasyöttöjen ja -laitteiden määrään. Jäähdytys, sähköjaku ja UPS-virtalähteet voivat kaikki olla eri tasoilla redundanssin suhteen. [16.]



Kuva 13. Redundanttisuuden termit [17].

5.1.1 $N+1$

Jos vertaillaan Tier 2 -ja 3 -tasojen sähkönjakelumalleja (luvun 4.1 kuvat 3–4), niin huomataan molempien sisältävän saman $N+1$ kapasiteetin redundanssin moottorigeneraattoreille ja UPS-laitteille. Mutta eroavuus tulee, kun Tier 3 -tasoon mallille on lisätty vaihtoehtoinen jakelupolku. Kuvassa 14 on $N+1$ sähkönjakelutopologia, johon on lisätty yksi varmennuslähde tukemaan N järjestelmän toimintaa.

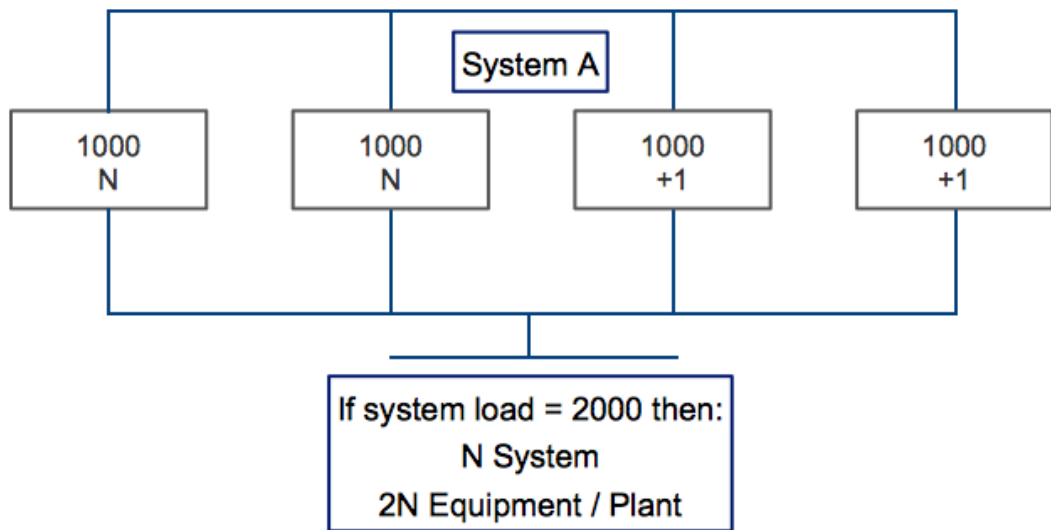


Kuva 14. Termi N+1 eli varmennettu topologia [15].

Termit N+1, N+2 ja N+3 ja niin edelleen, mallit edellyttävät UPS-järjestelmiä, jotka ovat saman kapasiteetin ja mallin mukaisia. Näissä rinnakkaisen varmuksen malleissa UPS-järjestelmät jakavat kriittisen kuorman tasaisesti normaaleissa käyttötilanteissa. Vikatilanteessa jäljelle jäävät UPS:t ottavat vioittuneiden UPS:ien kuorman.

5.1.2 N+2

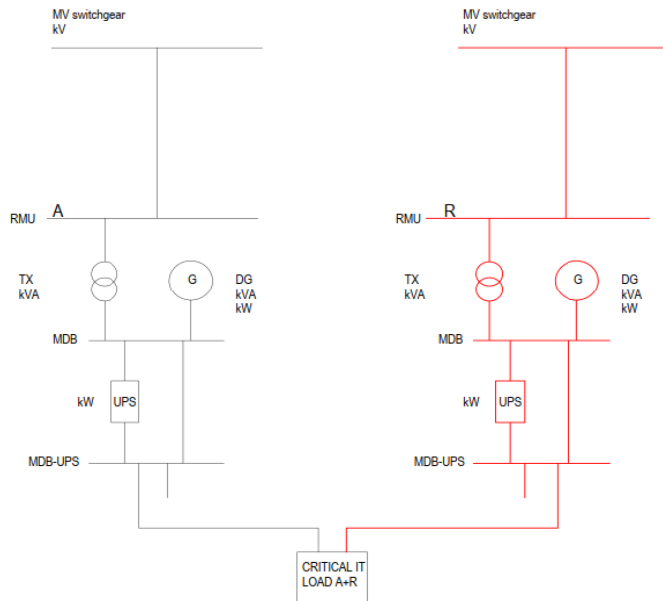
Termi N+2 käsittää korkeamman käytettävyyden kuin termit N ja N+1, jossa jokaiselle kriittiselle komponentille on kaksi erillistä varmennuslähdettä. Tämä lisää IT-järjestelmän redundanssia ja luotettavuutta loppukäyttäjälle. On myös epätodennäköisempää, että kaikki lakkaavat toimimasta, jos kaksi varmennuslähdettä vikaantuu. Kuvassa 15 on N+2 varmennettu topologia, johon on lisätty kaksi varmennuslähdettä tukemaan N järjestelmän toimintaa.



Kuva 15. Termi N+2 eli varmennettu topologia [15].

5.1.3 2N

Perusajatuksena 2N-termissä on, että kriittiselle IT-järjestelmille on kaksinkertainen määrä sähkökuormaa. Kyseessä siis on termin 2N mukainen sähköjake-lun kokonaisvaltainen varmennus, sillä toissijainen N-tason redundanssinen sähköjakelujärjestelmä ottaa toiminnan ensisijaisen jakelujärjestelmän vikaantu-essa. Lisäämällä lohkojen määrää saavutetaan suurempi hyötykäyttö. Kuvassa 16 on 2N sähköjakelutopologia, jossa on kaksi vastaavaa järjestelmää, ensisi-jainen ja redundanttinen topologia.

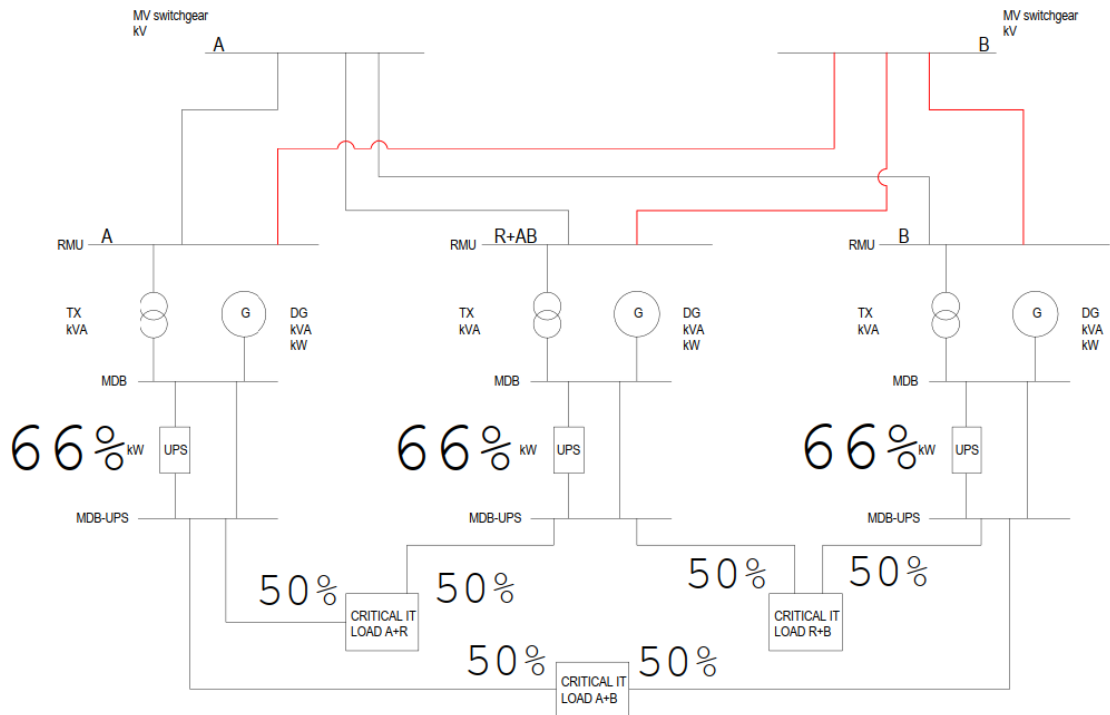


Kuva 16. Termi 2N topologia.

5.2 Hajautettu redundanttinen sähköjako

Hajautettu redundanttinen sähköjakelumalli sisältää useita itsenäisiä UPS-laitteita, joista jokainen kykenee kantamaan koko kriittisen sähkökuorman määrättyille katkaisijoille ja liitetyille laitteille (kuva 17). Olipa kyseessä suunnittelema- ton käyttökatko tai huoltotapaus, pitäisi sähköjako siirtyä automaattisesti jäl- jelle jääville järjestelmille. Normaali sähköjako voidaan palauttaa, kun kor- jaus- tai huoltotoimenpiteet on tehty. [18.]

Sähkökuorma on tasapainotettava oikein UPS-järjestelmien välillä, jotta kriitti- nen kuorma mitoitetaan asianmukaisesti ilman järjestelmien ylikuormittumista. Mitoitus on erittäin tärkeää suuremmille käyttöönotoille, sillä jos yhdenkin järjes- telmän teho on ylimitoitettu vikatilanteessa, se on merkittävä riski PDU:n tai UPS:n vikaantumisessa. Tämä voi aiheuttaa ketjureaktion, jossa useat UPS- laitteet vikaantuvat ja voivat vaikuttaa haitallisesti muihin konesalin asiakkaisiin. [18.]

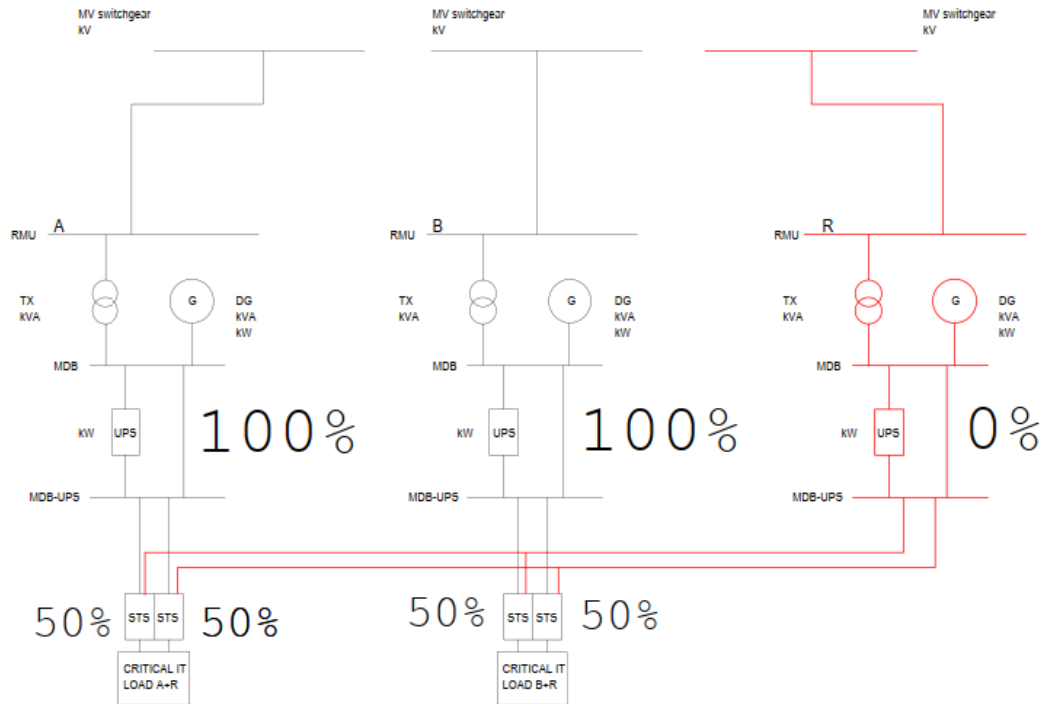


Kuva 17. Havainnollistava kuva hajautetusta redundanttisesta sähköjakelusta.

Tässä mallissa kokonaiskuorma jaetaan tasaisesti ja jokainen UPS-järjestelmä tukee vähintään kolmasosaa (33 %) kuormasta. Kuvassa 17 havainnollistetaan tätä kuorman hajautusta eli jokaiselle UPS-järjestelmälle tulee 66 %:n kuorma normaalin sähköjakelun aikana.

5.3 Lohkoredundanttinen sähköjakelu

Lohkoredundanttinen sähköjakelumalli käyttää staattista siirtokytkintä (STS) siirtämään kriittisen kuorman ensisijaisesta järjestelmästä varmennusjärjestelmään. Toiminnallinen UPS voidaan kuormittaa täyteen kapasiteettiin. [19.] Kuten kuvassa 18 nähdään, varajärjestelmässä ei ole kuormaa normaalissa toiminnassa.



Kuva 18. Havainnollistava kuva lohkor redundantisesta sähköjaka-
lusta.

Lohkor redundantisessa sähköjaka-
lussa IT-kuormituksen kaapelointi voidaan
toteuttaa yksittäis- tai tuplakaapelilla. Kun käytetään yksittäisellä johdotuksella
varustettuja IT-kuormituksia, on STS yksittäinen vikakohta (ks. kuva 24 luvussa
6.3). [19.]

6 Käytännön esimerkit eri sähköjaka- ltopologioiden vikati- loista

Tässä luvussa käsitellään esimerkkejä eri vikatilanteista. Havainnollistan erilaisia
tilanteita kuvilla ja samalla käydään läpi ongelmakohtia. Luvun 6.2 olevassa tau-
lukossa 3 on tiivistetty käytettyjen sähköjaka-
ltopologioiden tehosuhteet ja täy-
den kuorman prosentuaaliset suhdeluvut.

Taulukko 3. Eri sähköjakelutopologioiden suhdelukuja.

Topologia	Ryhmät (kuorma)	Tehosuhte	Täyden kuorman prosentuaalinen suhde
2N	1	200 %	50 %
Hajautettu 3N2	3	150 %	66 %
Lohko 2N+1	2	150 %	100 %

Taulukossa 3 on esitelty kolmea eri sähköjakelumallia, jota vertaillaan ryhmien, tehonsuhteen ja täyden kuorman mukaan. Termi 2N-topologia on kahdennettu, joten siksi tehosuhte on kaksinkertainen ja kaksi itsenäistä järjestelmää jakaa 100 % kokonaiskuorman. Hajautetussa 3N2-topologiassa tehosuhte on jaettuna kolmella itsenäiselle järjestelmälle niin kuin kokonaiskuorman. Lohko 2N+1 topologiassa taas keskeytyksettä 100 % teholla, koska eivät jaa kuormaa keskenään. Tehosuhte on myös jaettu kolmeen itsenäiseen järjestelmään eli 2N on 100 % ja +1 on 50 %.

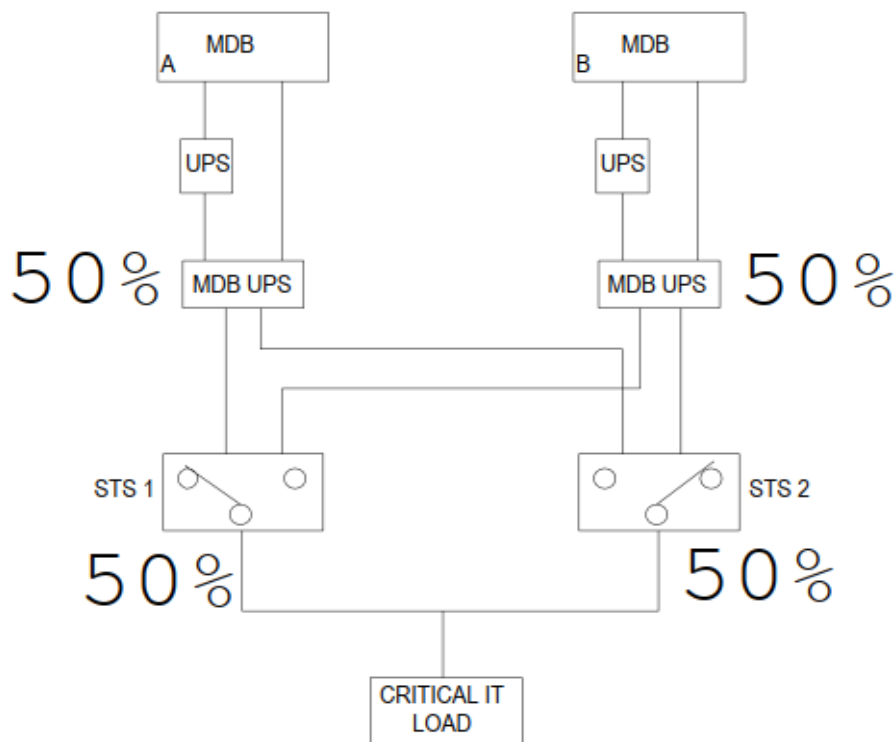
6.1 Samanaikaisesti ylläpidettävän termi

Määritelmänä samanaikaisesti ylläpidettävä on IT-termi, joka tarkoittaa koko laitos- tai rakennusalueen toiminnallisuutta, jonka avulla työ voidaan suorittaa suunnitellulla tavalla ilman vaikutusta loppukäyttäjään. Kun määritelmää sovelletaan sähköjakelun varmennukseen, tämä tarkoittaa, että jakeluelementin jokainen kapasiteettikomponentti voidaan korjata, vaihtaa, huoltaa ja testata suunnitellulla tavalla ilman vaikutusta kriittiseen IT-laitteistoon. [11.]

6.1.1 Normaalitilanne

Normaalitilanteessa kyseessä on rinnakkaisesti varmennettu N+1-ratkaisu, jossa molemmat UPS:t on suunniteltu takaamaan 50 % kuorman. Molemmissa järjestelmissä siis on varalla 50 % kuormaa, jotta ne voivat ottaa täyden toiminnallisuuden toisen järjestelmän vikaantuessa. Kuvassa 19 havainnollistetaan

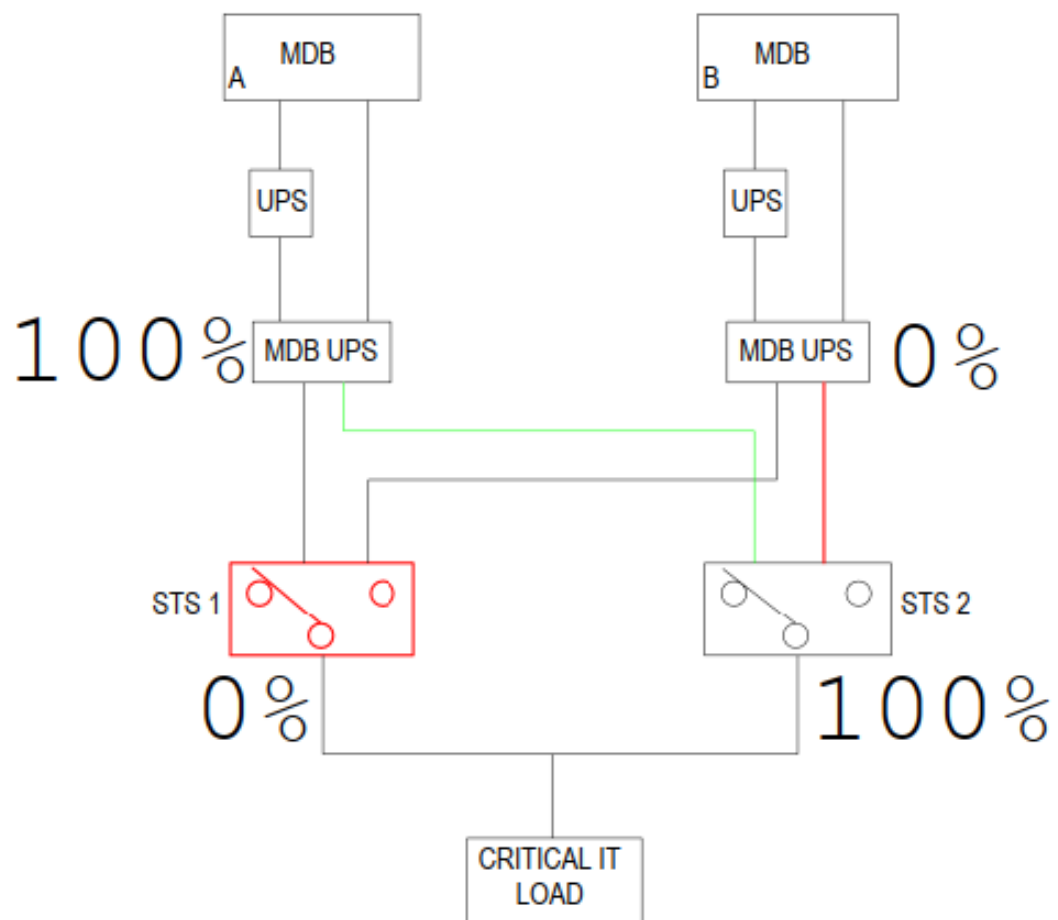
sähkönjakelun normaalitilanne ja sen suhdeluvut.



Kuva 19. Rinnakkaisesti varmennettu topologia.

6.1.2 Vikatilanne

Kuten kuvasta 20 huomataan, että A järjestelmän STS 1 ja myös B järjestelmän syöttökaapeli vikaantuu. Tilanteessa siis ainoa sähkönjakelureitti kriittiselle IT-laitteille on A järjestelmä. Tällöin STS 2 havaitsee vian ja kriittinen IT-laitteisto pysyy toiminnallisena kahdennettusta kaapeloinnin ansiosta.



Kuva 20. Rinnakkaisesti varmennettu topologia vikatilanteessa.

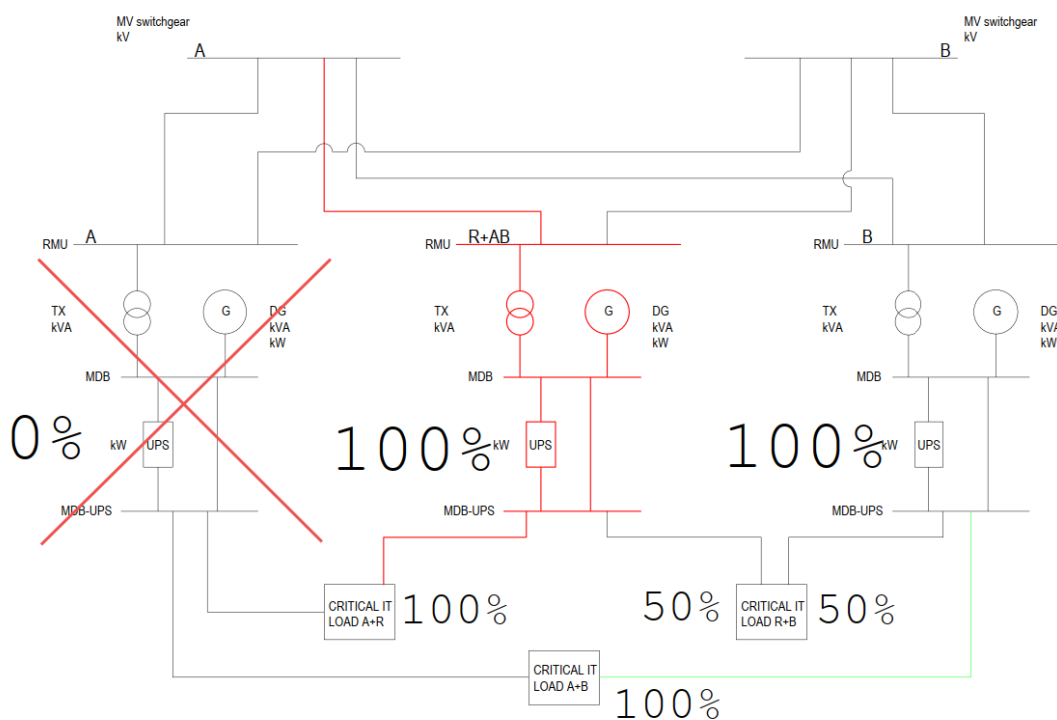
Tämä ratkaisu mahdollistaa, että kriittiset IT-laitteet saavat syötön UPS-järjestelmästä, omasta MDB:stä tai STS:n kautta. Toisin sanoen, minkä tahansa toiminnallisen laitteiston vikaantuessa sitä on mahdollisuus vaikka huoltaa.

6.2 Tier 3 -tason viivapiirroskaaviot

Hajautettu redundanttinen sähköjakelu

Kyseessä on 3N2 hajautettu redundanttinen sähköjakelumalli, ja käydään läpi vikatilannetta käytännössä. Luvun 5.2 olevasta kuvasta 17 nähdään

normaalitilanne, kun taas kuvassa 21 vikatilanne. Yksi kokonainen järjestelmä kaatui, ja vikaantuneesta järjestelmästä jakautuu kolmasosa jäljellä jääviin järjestelmiin. Tässä ei ole vikakohtaa, sillä kriittiset järjestelmät saavat kahdennuksen redundantiselta ja toiselta sähköjakelu järjestelmästä.



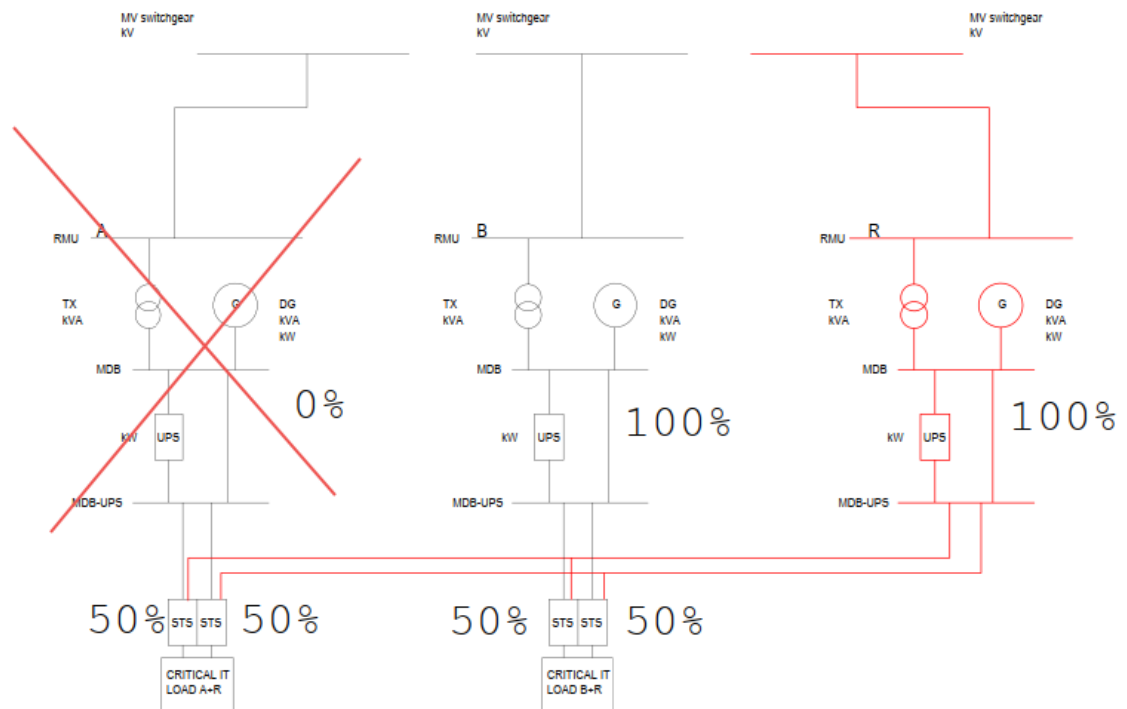
Kuva 21. 3N2-topologian vikatilanne.

Huomataan myös, miten kriittisten järjestelmien kuormatasapaino muuttuu vika-tilanteen myötä. Kuormantasapainon hallitsemisessa on kyse Swing load-menetelmästä, jolla voidaan optimoida virrankulutusta datakeskuksessa. Siinä kuormaa jaetaan tasaisesti eri laitteiden ja järjestelmien välillä, jotta yksittäiset laitteet eivät ylikuormitu ja kuluta liikaa virtaa. Tämä auttaa vähentämään energiankulutusta ja parantamaan laitteiden suorituskykyä samalla varmistuen, että kaikki järjestelmät toimivat tehokkaasti.

Lohkoredundanttiin sähköjakelu

Kyseessä on 2N+1 lohcoredundanttiin sähköjakelumalli, jonka vikatilanne on yksinkertaisempi ymmärtää. Kuvassa 22 havainnollistetaan sähköjakelun

vikatilanne. Niin kuin luvun 5.3 kuvasta 18 nähdään sähköjakelun normaalitilanne, vikaantuneen jakelun täydellisen toiminnallisuuden ottaa redundanttinen järjestelmä.



Kuva 22. Lohkoredundanttinen topologia vikatilanteessa.

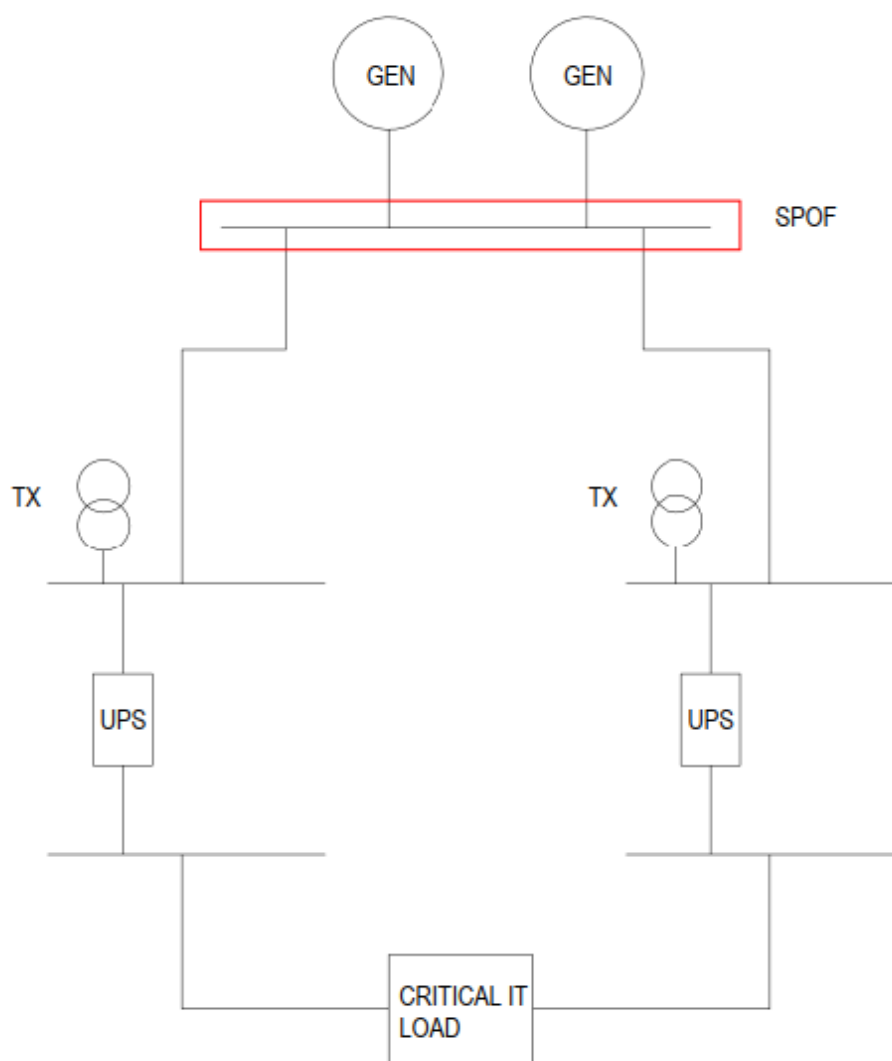
Tässä sähköjakelumallissa ei ole vikakohtaa, koska STS ja siihen tulevat kaapeloinnit on kahdennettu. Kun nämä STS:t havaitsevat sähkökatkoksen, ne alkavat siirtämään kuormaa kriittisiin järjestelmiin.

6.3 Yleiset virheet

Sähköjakelun varmentamien ei käytännössä aina tarkoita täydellistä käytettävyyttä, vaikka olisikin tehty suuria investointeja sen saavuttamiseksi. Joskus laajalle alueelle vaikuttavat virheet voivat olla vain yhden vikakohteen vaikutuksen alaisena joko inhimillisen erehdyksen takia tai väärin suunniteltuna. Yksinkertaisten esimerkkien avulla on havainnollistettu, mitä yksittäinen vikakohta

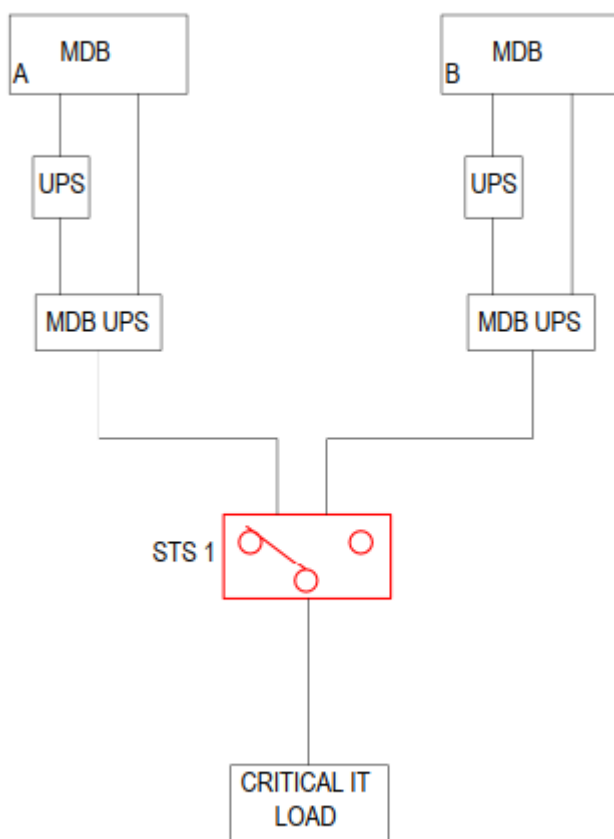
tarkoittaa. Määritelmänä SPOF tarkoittaa yksitöntä vikakohtaa, joka aiheuttaa vikaantuessa käyttökatkoksen eikä ohituskeinoa ole.

Kuvassa 23 on kaksi syöttölähdettä yhdessä MDB:ssä, vaikka ylimääräisiä olisi enemmän, silti yksittäinen MDB on vikakohta. Kun MDB vikaantuu, koko järjestelmä vaarantuu. Parannusehdotuksena olisi esimerkiksi luvun 6.2 kuva 22, jossa syöttölähteet ovat erotettu toisistaan.



Kuva 23. Vikakohtana MDB.

Kuvassa 24 on korostettuna yksittäinen STS, joka on vikakohta. Tästä huomataan, vaikka onkin yritetty saavuttaa hyvää käytettävyyttä, ei tämä täytä Tier 3 -luokitus-tason vaatimuksia. Jos STS vikaantuu, vaarantuu kriittisten IT-laitteiden toiminta. Parannusehdotuksena on luvun 5.3 kuva 18, jossa ensisijaset syöttölähteet ovat erotettu toisistaan.



Kuva 24. Vikakohtana STS.

7 Yhteenveto

Sähköjakelu on datakeskuksen selkäranka, koska se tarjoaa sähköistyksen kaikelle datakeskuksen järjestelmille. Vaikka valtakunnallinen sähköjakelujärjestelmä olisikin luotettava, eivät nykyiset järjestelmät riitä vastaamaan kriittisen infrastruktuurin tarpeisiin. Erilaisia vikatiloja on monia, joten vikatilojen ja eri sähköjakelumallien ymmärtäminen auttavat valitsemaan sopivan sähköjakeluratkaisun.

Tässä insinööriyössä käsiteltiin yleisiä vaatimuksia, jotka liittyvät eri sähköjakelumallien käytettävyyteen. Niitä tutkiessa kävi ilmi, että jokaisessa oli samankaltaisia elementtejä, kuten käytettävyyssluokat. Tarkasteltiin myös tapoja, jotka vaikuttavat käytettävyyteen. Havainnollistamalla piirustuksien kautta saatiin ymmärrys normaali- ja vikatilan eroavaisuudesta.

Datakeskuksien varmennettu sähköjakelu on laaja käsite, minkä takia tarvitsi lisätutkimusta eri ratkaisumalleista ja niiden toiminnallisista komponenteista. Insinööriyötä voisi jatkaa selvittämällä ja suunnittelemalla yksityiskohtaisemmin kuin käyttäen viivapiirrostapaa. Jatkossa tutkimus voisi syventyä eri katkaisimalleihin ja ohituskeinoihin.

Lähteet

- 1 Meistä. Verkkoaineisto. Granlund Oy. <<https://www.granlund.fi/meista/>>. Luettu 12.8.2024.
- 2 Key considerations for your data centre design. Verkkoaineisto. Royal HaskoningDHV. <<https://www.royalhaskoningdhv.com/en/newsroom/blogs/2023/key-considerations-for-your-data-centre-design/>>. Luettu 1.10.2024.
- 3 STUL ry. 2024. Kaapelointi on kivijalka. Sähkömaailma Extra 2/2024, s.14.
- 4 Poole, Jim. 2013. How to Speak Like a Data Center Geek. Verkkoaineisto. Equinix. <<https://blog.equinix.com/blog/2013/06/25/how-to-speak-like-a-data-center-geek/>>. 25.6.2013. Luettu 2.10.2024.
- 5 Poole, Jim. 2014. How to Speak Like a Data Center Geek. Part 8. Verkkoaineisto. Equinix. <<https://blog.equinix.com/blog/2014/05/28/how-to-speak-like-a-data-center-geek-part-8/>>. 28.5.2014. Luettu 2.10.2024.
- 6 Poole, Jim. 2013. How to Speak Like a Data Center Geek. Part 2. Verkkoaineisto. Equinix. <<https://blog.equinix.com/blog/2013/08/28/how-to-speak-like-a-data-center-geek-part-2/>>.28.8.2013. Luettu 2.10.2024.
- 7 Kostic, Nikola. 2024.Data Center Power Design Overview. Verkkoaineisto. phoenixNAP. <<https://phoenixnap.com/blog/data-center-power>>. 6.3.2024 Luettu 3.10.2024.
- 8 About Uptime Institute. Verkkoaineisto. Uptime Institute. <<https://uptimeinstitute.com/about-ui>>. Luettu 3.10.2024.
- 9 TIER Standard For Micro Data Centers. 2019.Verkkoaineisto. Attom technology. <<https://attom.tech/wp-content/uploads/2019/11/Tier-Standard-For-Micro-Data-Center.pdf>>. 11/2019. Luettu 4.10.2024.

- 10 Tier Classification System. Verkkoaineisto. Uptime Institute. <<https://uptimeinstitute.com/tiers/>>. Luettu 4.10.2024.
- 11 Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology. 2009. Uptime Institute.
- 12 SFS-EN 50600-1. 2019. Data centre facilities and infrastructures - Part 1: General concepts. SFS Suomen Standardit ry.
- 13 SFS-EN 50600-2-2. 2019. Data centre facilities and infrastructures - Part 2-2: Power supply and distribution. SFS Suomen Standardit ry.
- 14 TSI.Standard Criteria Catalog. 2019.Evaluation and Certification of Data Centers. TÜV Nord Group.
- 15 Two is One and One is None – Resilience. 2017. Verkkoaineisto. Bldwhisperer.com. <<https://bldwhisperer.com/two-is-one-and-one-is-none-resilience/>>. Päivitetty 3.2.2017. Luettu 19.10.2024.
- 16 Energy-efficiency Data Centre. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/5321/Energy-efficient_Data_Centre.pdf>. luettu 19.10.2024.
- 17 Understanding Data Center Redundancy. 2019. Verkkoaineisto. FS.com. <<https://community.fs.com/article/understanding-data-center-redundancy.html>>. Päivitetty 27.5.2019. Luettu 20.10.2024.
- 18 Weighing in on Block vs. Distributed Redundancy. Verkkoaineisto. Stack Infrastructure. <<https://www.stackinfra.com/resources/blog/weighing-in-on-block-vs-distributed-redundancy/>>. Luettu 21.10.2024.
- 19 Standardized and optimized system architectures for data center power distribution. 2020. Verkkoaineisto. ABB. <<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A3506&LanguageCode=en&DocumentPartId&Action=Launch>>. 21.10.2020. Luettu 24.10.2024.