



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Jaakko Jokinen

Datakeskusten sähkönjakelu- ja tietoverkkojen rakentaminen

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö
Sähkötekniikan diplomi-insinööri
Energia- ja informaatiotekniikka

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö**

Tekijä:	Jaakko Jokinen		
Tutkielman nimi:	Datakeskusten sähkönjakelu- ja tietoverkkojen rakentaminen		
Tutkinto:	Diplomi-insinööri		
Koulutusohjelma:	Energia- ja informaatiotekniikka		
Opintosuunta:	Sähkötekniikka		
Työn valvoja:	Kimmo Kauhaniemi		
Työn tarkastaja:	Hannu Laaksonen		
Työn ohjaajat:	Sami Impiö & Jani Penttinen		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	97

TIIVISTELMÄ:

Suomessa datakeskusten rakentaminen on merkittävästi kasvava markkina. Useat kansainväliset ja suomalaiset yritykset tarkastelevat mahdollisuuksia rakentaa datakeskuksensa Suomeen, sillä Suomi on houkutteleva maa vakaan sähköverkon, sähkön hintatason ja viileän ilmaston vuoksi. Datakeskusoperaattorit suosivat juuri näitä kriteerejä ylläpidon ja kustannusten kannalta.

ARE Oy on tiedostanut tilanteen ja antanut toimeksiannon tälle diplomityölle. Työn tavoitteena on selvittää datakeskuksen rakentamiseen liittyviä asioita ja seikkoja sähkönjakeluinfrastruktuuriin sekä tietoverkkoihin liittyen. ARE Oy on erityisen kiinnostunut sähkönjakeluinfrastruktuurissa kiskosiltojen ja jakelukiskostojen rakentamisesta sekä suojausmenetelmistä. Erityisen tutkinnan alla on myös verkkotopologian periaatteet ja kaapelointi. Työssä annetaan tarkempien tutkimusaiheiden lisäksi yleistietoutta datakeskuksen sisällöstä ja sähköisten järjestelmien toimintaperiaatteista.

Tämä työ on selvitystyyppinen tutkimus. Tutkimuksessa käytetään tiettyjen valmistajien tuotteita havainnollistamaan todellisia asennustilanteita, jotka voivat auttaa tulevaisuudessa kohdeyrityksessä. Työssä annetaan havainnollistavia esimerkkejä sekä laskelmia todellisista tilanteista, jotka antavat lukijalle todellisen käsityksen asioista.

Työn lopussa pohditaan datakeskusten rakentamista Suomessa ja vastataan tutkimuskysymyksiin. Sähköliittymien osalta todetaan, että toteutus muistuttaa tavanomaista keskijänniteliittymää, mutta datakeskuksissa on usein useita liittymispisteitä ja korkeamman jännitetason käyttö on suositeltavaa energiatehokkuuden vuoksi. Sähkönjakelussa kiskosillat ja jakelukiskot parantavat sähkönjakelun tehokkuutta, muunneltavuutta ja kustannustehokkuutta. Todetaan myös, että tietoverkko toteutetaan moniasteisena tähtiverkkona optisilla valokuitukaapeleilla. Kokonaisuudessaan datakeskuksessa laitteistovalinnat sekä vaatimustenmukaisuus vaikuttavat merkittävästi datakeskuksen kustannuksiin ja käyttövarmuuteen.

AVAINSANAT: Datakeskus, Sähköjakelu, Sähköverkko, Tietoverkko

University of Vaasa**School of Technology and Innovations**

Author:	Jaakko Jokinen		
Title of the thesis:	Construction of the data center power distribution and network		
Degree:	Master of Science		
Specialization:	Electrical Engineering		
Supervisor:	Kimmo Kauhaniemi		
Evaluator:	Hannu Laaksonen		
Instructors:	Sami Impiö & Jani Penttinen		
Year:	2026	Sivumäärä:	97

ABSTRACT:

In Finland, the construction of data centers is a significantly growing market. Several international and Finnish companies are exploring opportunities to build their data centers in Finland. Country is attractive due to its stable power grid, electricity price level, and cool climate. Data center operators favor these criteria in terms of maintenance and cost efficiency.

ARE Oy has recognized this situation and has commissioned this master's thesis. The aim of the thesis is to investigate matters related to the construction of a data center, particularly concerning electrical distribution infrastructure and data networks. ARE Oy is especially interested in the construction of busbar bridges and distribution busbar systems within the electrical distribution infrastructure, as well as protection methods. Network topology principles and cabling are also under detailed examination. In addition to the more specific research topics, the thesis provides general knowledge about the contents of a data center and the operating principles of electrical systems.

This work is an exploratory study. The research uses products from specific manufacturers to illustrate real installation scenarios that may be beneficial for the commissioning company in the future. The thesis includes illustrative examples as well as calculations based on real-life situations, providing the reader with a practical understanding of the subject.

In the end of thesis discusses the construction of data centers in Finland and answers the research questions. Regarding electrical connections, it is stated that the implementation resembles a conventional medium-voltage connection, but data centers often have multiple connection points and the use of a higher voltage level is recommended for energy efficiency. In power distribution, busbars and busway systems improve efficiency, flexibility, and cost-effectiveness. It is also noted that the data network is implemented as a multi-tier star topology using optical fiber cables. Overall, equipment choices and compliance with requirements significantly affect the costs and reliability of a data center.

KEYWORDS: Data Center, Power Distribution, Power Grid, Network

Sisällys

1	Johdanto	9
1.1	Tutkimuksen aihe ja taustatieto	9
1.2	Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset	9
1.3	Tutkimusmenetelmä ja rakenne	10
2	Datakeskus	11
2.1	Mihin datakeskuksia tarvitaan?	11
2.2	Datakeskusten toiminta	11
2.3	Datakeskusten luokitukset	12
2.3.1	Yritysdatakeskus	13
2.3.2	Konesalidatakeskukset	14
2.3.3	Hyperscale-datakeskukset	14
2.3.4	Reunadatakeskukset	15
2.3.5	Tier -luokitukset	15
2.4	Datakeskustyyppit	16
2.4.1	Perinteinen ja segmentoitu datakeskus	16
2.4.2	Kontti ja esivalmistettu datakeskus	18
2.4.3	Itsenäinen datakeskus	20
2.5	Energiankulutus	21
3	Järjestelmät	24
3.1	Sähköjärjestelmät	24
3.1.1	Sähkönjakelu	25
3.1.2	Varavoima	29
3.1.3	UPS	30
3.1.4	PDU & RPP	33
3.1.5	Sähkönjakelukiskostot	35
3.1.6	AC / DC	37
3.2	IT-järjestelmät	38
3.2.1	Verkkotopologia	38

3.2.2	Palvelinteline	40
3.2.3	Automaatio	41
3.3	Muut järjestelmät	42
3.3.1	Jäähdytys	43
3.3.2	Turva- ja palonhallintajärjestelmä	45
4	Sähkönjakelu	48
4.1	Sähköverkkoliittymä	48
4.2	Suurjänniteliittymä	50
4.3	Keskijänniteliittymä	53
4.3.1	Kojeisto	54
4.3.2	Suoja- ja mittalaitteet	54
4.3.3	Muuntaja	57
4.4	Kiskosilta ja jakelukisko	58
4.4.1	Kiinteärakenteinen kiskosilta	60
4.4.2	Taipuisa kiskosilta	62
4.4.3	Jakelukiskosto	66
4.4.4	Kaapeli- ja kiskosiltatoteutuksen vertailu	68
4.5	Pienjännite sähkönjakelu	70
5	Verkkotopologian toteutus	75
5.1	Verkkorakenne	75
5.2	Kaapeloinnin rakenne	79
5.2.1	Kaapelireitti	82
5.2.2	Telineiden rakenne	84
5.3	Varmentaminen	87
6	Johtopäätökset ja yhteenveto	89
	Lähteet	91

Kuvat

Kuva 1. Perinteinen modulaarinen datakeskus (Hwaiyu G, 2015).....	17
Kuva 2. Perinteinen segmentoitu datakeskus (Hwaiyu G, 2015).....	18
Kuva 3. Konttidatasalit (Hwaiyu G, 2015).	19
Kuva 4. Esivalmistetut datasalit datakeskuksessa (Hwaiyu G, 2015).....	20
Kuva 5. Itsenäinen datakeskus (Hwaiyu G, 2015).....	21
Kuva 6. Energiankulutuksen jakauma datakeskuksessa (Device42, 2025).....	22
Kuva 7. Rinnakkais- UPS varmennettu N jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).	27
Kuva 8. Jaetusti varmennettu N+1 jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).	28
Kuva 9. 2N jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).....	29
Kuva 10. Yksimuunnosjärjestelmä (Single-Conversion System) (Eaton, 2015).....	31
Kuva 11. Kaksoismuunnosjärjestelmä (Double-Conversion System) (Eaton, 2015).....	32
Kuva 12. Monitila järjestelmä (Multi-Mode System) (Eaton, 2015).....	33
Kuva 13. Sähkönjakelu kaavio esimerkki UPS:lta palvelintelineille (mukailen Testguy, 2022).....	34
Kuva 14. Sähkönjakelun toteutus yksi- tai kaksitasoisena PDU/RPP-laitteistoilla (Vertiv, 2018).....	35
Kuva 15. Vaihtoehtoinen tapa toteuttaa sähköjakelu UPS:lta palvelintelineille jakelukiskosto menetelmällä.	36
Kuva 16. Kolmitasoinen verkon rakenne datakeskuksessa (Network Academy, 2025)..	39
Kuva 17. DCIM-järjestelmään liitettävyyys datakeskuksessa (Delta Power Solutions, 2024).	42
Kuva 18. Ilmajäähdytys periaate datakeskuksessa (Bluewave Network Technologies, 2025).....	43
Kuva 19. Nestejäähdytys periaate datakeskuksessa (Siemens Liquid Cooling Solutions, 2025).....	44
Kuva 20. Datakeskuksen turvallisuus asteet (mukailen SpaceDC, 2021).....	46
Kuva 21. Palontorjuntajärjestelmä datakeskuksessa (Wagner, 2025).	47
Kuva 22. 110 kV verkonhaltijan kytkinasemaan liityntä (Fingrid liittyjänopas, 2022)....	51

Kuva 23. 110 kV voimajohtoliityntä (Fingrid liittyjänopas, 2022).....	52
Kuva 24. Keskijännitekojeiston pääkaavio esimerkki (Helen, 2025).....	56
Kuva 25. Esimerkki öljyeristeisen jakelumuuntajan kytkennästä muuntamossa.	58
Kuva 26. MDY kiskosiltajärjestelmä, ABB Oy (ABB Oy, 2011).	59
Kuva 27. Legrand Zucchini kiskosilta (bticino XCP catalogue, 2025).	60
Kuva 28. Legrand Zucchini XCP -kiskosiltojen kuormitustaulukko (bticino XCP brochure, s. 19, 2025).....	61
Kuva 29. Legrand Zucchini kiskosilta, käänös- ja keskusliitoskomponentit (bticino XCP, 2025).....	62
Kuva 30. Taipuisalla kiskosillalla toteutettu kaapelointiperiaate muuntajan ja keskuksen välillä (nVent Flexbus, s. 51, 2024).	63
Kuva 31. Flexbus johtimien liittäminen muuntajan toisiopuolen napoihin (nVent Flexbus, s. 25, 2024).	64
Kuva 32. Periaatekuva johtimien taivuttamisesta (NVert, Flexbus, 2024).	65
Kuva 33. Jakelukiskojen asennus palvelintelineiden yläpuolelle (Vertiv PowerBar, s.2, 2025).....	67
Kuva 34. Tap-off yksikön asentaminen jakelukiskoon (Vertiv PowerBar, s.3, 2025).....	68
Kuva 35. Tyypillinen pääkeskuksen kaavio (Uptime Institute, 2014).....	71
Kuva 36. Tier 4 -luokan periaatekuva siirtokytkimien käytöstä datakeskuksessa (Green Data Center, 2020).....	72
Kuva 37. Eaton ATS käyttöpaneeli ja keskuksen kytkentäkuva (Eaton ATS Guide, s. 1 ja 45, 2024).....	73
Kuva 38. ATS tiedonsiirtoväylän periaatekaavio (Eaton ATS Guide, s.40, 2024).	74
Kuva 39. Verkon rakenne datakeskuksessa (Huber+Suhner, 2022).	76
Kuva 40. Datakeskuksen verkkotopologia havainnekuva (Huber+Suhner, 2022).....	77
Kuva 41. Telinemoduulin kaapelointiperiaate (Huber+Suhner, s.24, 2022).	78
Kuva 42. IT-laitteiden välillä fyysisen yhteyden rakenne (Huber+Suhner, s.6, 2022).	79
Kuva 43. Kuitukaapeli menetelmät palvelintelineiden välillä (Huber+Suhner, s.31, 2022).	80

Kuva 44. MTP/MPO – LC/SN kytkentäkaapeli ja periaatekytkentä palvelintelineen siirtymämoduulissa (Naficon, 2026).....	81
Kuva 45. ZDA, ODF ja MDF keskusten välinen kaapelointi (Huber+Suhner, s.33, 2022). 82	
Kuva 46. Kuitukaapelikanavan toteuttamisperiaate (CommScope, 2016).....	83
Kuva 47. Kuitukanavan rakennusperiaate, CommScope (CommScope, 2016).....	84
Kuva 48. CommScope FACT-ristikytöntäteline, ODF (Commscope FACT, 2024).	85
Kuva 49. CommScope jakolaatikko kuitukaapelille (CommScope CO-CUB-M, 2026). ...	86
Kuva 50. Palvelintelineen kaapelointi esimerkki (CommScope, 2025).....	87
Kuva 51. Kahdennusperiaate datakeskuksessa (Huber+Suhner, s.40, 2022).	88

Taulukot

Taulukko 1. Pääsuojareleen asetteluarvot Helen sähköverkko (Helen, 2025).	55
--	----

Lyhenteet ja merkinnät

ISO	Kansainvälinen standardisointijärjestö (International Organization for Standardization)
IT	Tietotekniikka (Information technology)
MMR	Meet-Me-Room
UPS	Keskeytymätön sähkösyöttö (Uninterrupted Power Supply)
NOC	Tietoverkkovalvomo (Network operations center)
PUE	Energiankäytön tehokkuus (Power Usage Effectiveness)
AC	Vaihtovirta (Alternating current)
DC	Tasavirta (Direct current)
A	Ampeeri (Amper)
<i>P</i>	Päätöteho
<i>I_n</i>	Nimellisvirta
<i>U_n</i>	Nimellisjännite
<i>I_k</i>	Oikosulkuvirta
<i>U_k</i>	Oikosulkujännite
<i>U</i>	Jännite
<i>I</i>	Virta
φ	Vaihe-ero, vaihesiirtymä
<i>r</i>	Resistanssi
<i>x</i>	Reaktanssi

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen aihe ja taustatieto

Tämä on selvitystyyppinen diplomityö datakeskuksista. Aihe on valittu ajankohtaisuutta ja Suomessa kasvavaa markkinaa ajatellen. Työn toimeksiantajana toimii ARE Oy, joka on suomalainen talotekniikka-alan urakointiyritys. Työssä tutkitaan yritykselle relevantteja asioita datakeskusten sähköistyksen toteuttamiseen liittyen. Lisäksi selvitetään kokonaisvaltaisesti mitä sähköjärjestelmiä datakeskus sisältää ja tutkitaan useampia vaihtoehtoja toteutukseen liittyen.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tavoitteena on tuoda ja lisätä tietotaitoa yritykselle datakeskusten sähköistyksestä ja järjestelmistä. Tutkimuksessa selvitetään toteutukseen liittyviä asioita, joita tulisi ottaa huomioon datakeskusprojekteissa. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Miten datakeskusten keski- ja suurjänniteliittymä toteutetaan?
2. Mitä etuja kiskosilloilla ja jakelukiskoilla voidaan saavuttaa datakeskuksessa?
3. Millainen on datakeskusten verkkotopologia ja miten se toteutetaan?

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä selvitetään, kuinka keski- ja suurjänniteliittymän rakentaminen ja suojaus toteutetaan sekä mitä huomioitavia asioita siihen liittyy. Kiskosiltojen ja jakelukiskostojen osalta halutaan selvittää rakentamisessa huomioitavia asioita sekä verrata ja laskea niiden etuja perinteiseen kaapelointiin nähden. Viimeisessä osiossa verkkotopologiasta halutaan selvittää minkä tyyppinen se on ja miten tietoverkkokaapelointi ja kytkennät toteutetaan datakeskuksissa.

1.3 Tutkimusmenetelmä ja rakenne

Työssä käsitellään aluksi yleisellä tasolla asioita datakeskuksesta; mikä se on ja miksi sellaisia tarvitaan. Seuraavassa luvussa kerrotaan datakeskustyypeistä ja omistajuusluokituksista sekä avataan hieman asiaan liittyviä arvoja. Tämän jälkeen on taustatieto-osuus, joka käsittelee datakeskuksen sähköistämistä ja sen sisältämiä järjestelmiä syvällisemmin. Toteutus -kappaleessa vastataan tutkimuskysymyksiin. Työn lopussa on pohdintaosuus ja yhteenveto.

2 Dakeskus

Dakeskus on erittäin suojattu ja tietoverkkolaitteisiin erikoistunut yhden tai useamman rakennuksen kokonaisuus. Se sisältää tietoverkkolaitteita ja muuta kriittistä infrastruktuuria, jotka toimivat yhdessä tukeakseen kaikkea toimintaa pilvipalveluista reaaliaikaiseen viestintään. Voidaankin sanoa, että dakeskukset muodostavat nykypäivän digitaalisen maailman selkärangan (Data Center University, 2026).

2.1 Mihin dakeskuksia tarvitaan?

Ihmisten päivittäinen toiminta käyttää dataa ja digitaalista teknologiaa. Data tarkoittaa digitaalisesti tallennettua, koneellisesti luettavissa olevaa tietoa, jota voidaan kehittää informaatioksi ja edelleen tiedoksi ja ymmärrykseksi ihmiselle. Digitaalinen teknologia sisältää datan siirtämiseen ja tallentamiseen tarvittavat IT-laitteet. Selailu sosiaalisessa mediassa, Teams- tapaaminen tai vaikka videopelien pelaaminen ovat esimerkkejä asioista, jotka käyttävät dataa. Yritystasolla dataa tarvitaan usein enemmän kuin yksityisellä tasolla, kuten esimerkiksi verkkokauppojen, lääketieteellisten tutkimusten tai rahoituslaitosten tarvitsemat tiedot internetistä tai pilvitallennus -palvelusta. Kaiken datan maailmassa täytyy siirtyä, käsitellä ja tallentaa jossain. Nämä asiat tapahtuvat dakeskuksissa (Haskoning, blog, 2023).

2.2 Dakeskusten toiminta

Avainasiat dakeskusten toiminnassa ovat keskeytymätön käytettävyys, turvallisuus, yhteydet ja tiedonsiirtonopeus. Näiden asioiden toiminnassa häiriö voi tuoda ongelmia operaattorille eli dakeskuksen ylläpitäjälle tai asiakkaille, joiden dataa dakeskuksessa käsitellään.

Datakeskus ei voi koskaan sammua. Keskeytymätön toiminnallisuus on yksi avainasioista, joka varmistaa yritysten ja palveluiden käytettävyyden. Sähkökatkos tai muu ongelma datakeskuksessa saattaisi keskeyttää esimerkiksi Teams -verkkotapaamisen yhteyden kadotessa, yrityksen verkkosivuston käytettävyyden tai pankeissa tilisiirtosuoritukset. Jotta näin ei pääse käymään, on datakeskuksissa varauduttu tähän esimerkiksi sähkönsyötön varavoimajärjestelmillä.

Datakeskuksen turvallisuus on kriittistä. Tällä voidaan tarkoittaa rakennuksen fyysistä tai digitaalista turvallisuutta. Koska datakeskuksissa käsitellään ja tallennetaan suuria määriä yksityisyydensuojaa koskevia arkaluontoisia tietoja, voi turvallisen datan käsittelyn puute tuoda ongelmia operaattorille tai asiakkaille. Näitä voivat olla esimerkiksi yritysten tapahtumatiedot tai sen henkilöstön terveystiedot.

Viimeinen avainasia on kasvavat yhteydet ja tiedonsiirto. Mitä nopeampaa datan käsitteleminen ja tiedonsiirtonopeus ovat, sitä parempi kokemus käyttäjällä on. Esimerkkinä, jos verkkokaupan sivustojen lataus kestää kauan, käyttäjän mielenkiinto voi lopahtaa ja hän siirtyy toiselle sivustolle. Tämä on yksi syy siihen, miksi nopeus datansiirrossa on tärkeää (Haskoning, blog, 2023).

2.3 Datakeskusten luokitukset

Datakeskukset voidaan luokitella Nlyte (2025) mukaan neljään eri päätyyppiin. Luokituksia ovat yritys-, konesali-, hyperscale- ja reunadatakeskus. Nämä määritellään omistajuuden, koon ja sijainnin mukaan. Sijainnilla on suuri merkitys niin rakennus- kuin käyttövaiheessa ja sitä on syytä puntaroida huolellisesti monelta kantilta.

Datakeskuksella viiveen aika ja yhteyksien luotettavuus ovat ratkaisevia tekijöitä, jotta datakeskus pystyy vastaamaan asiakkaan tarpeisiin. Datakeskuksen oleminen lähellä loppukäyttäjää tarkoittaa vähemmän viivettä ja parempaa yhteyttä. Yhteyksissä on tärkeää alueellinen teleinfrastruktuurin saatavuus, jossa alueen teleoperaattorien on

pystyttävä vastaamaan kaistanleveysvaatimuksiin. On varmistettava myös, että tarjolla on useampia operaattoreita ja varajärjestelmiä varmistamaan luotettavuutta.

Saavutettavuus datakeskuksessa on tärkeä huomioitava asia, kuten lentokenttien sijainti ja maantieteyhteydet. Rakentamisen ja ylläpidon kannalta datakeskus vaatii raskaita kuljetuksia, joiden vuoksi on varmistettava helppo saavutettavuus laitteiden toimitusten ja huoltojen kannalta. Datakeskuksen saavutettavuudessa tulee huomioida myös huollon ja ylläpidon työvoima saatavuus. Osaajien riittävyys kannattaa varmistaa, jotta datakeskuksen ylläpitäminen onnistuu. Vaikka alueella työvoima olisi edullista, voi osaamisen puute tulla ongelmaksi.

Maantieteellisesti datakeskuksen rakentamista on syytä myös harkita luonnonilmiöiden ja sään vaihteluiden varalta. Sään vaihtelu, kosteus ja ääri-ilmiöt rasittavat ja voivat aiheuttaa häiriöitä datakeskuksen tai sen ympäristössä oleville järjestelmille. Esimerkiksi maanjäristykset, tulvat, lumimyrskyt tai tornadot voivat lamaannuttaa toiminnan pitkäksi aikaa. Ääriolosuhteet saattavat usein aiheuttaa häiriöitä esimerkiksi sähköverkossa, jonka vakaus on yksi tärkeimmistä asioista datakeskukselle.

Datakeskuksen sijaintia päätettäessä voidaan vaikuttaa suoraan kustannuksiin rakennus- ja käyttövaiheissa. Joillain harvaan asutuilla alueilla saattaa olla esimerkiksi taloudellisia kannustimia, kuten tukia ja etuja alueelle investoiville yrityksille. Vaihtoehtoisesti tiheästi asutulla alueella saattaa olla enemmän sääntelyä sekä veroasteet korkeampia. Kiinteisiin kustannuksiin vaikuttava asia on sähkön hinta alueella, joka kannattaa huomioida sijaintia päätettäessä. Mahdollisia vaihtoehtoisia energianlähteitä on myös suotavaa puntaroida ja tutkia, joissain maissa näiden käyttö on myös pakollista.

2.3.1 Yritysdatakeskus

Yritysdatakeskus on yrityksen itse hallinnoima datakeskus, joka sijaitsee usein organisaation omissa tiloissa tai kampuksella, jossa yritys sijaitsee. Yritysdatakeskuksen koko vaihtelee paljon riippuen siitä, millaisia palveluja yritys tai organisaatio tarjoaa.

Pienimmillään tämä voi olla laitekaapin tai huoneen kokoinen, kun taas vaihtoehtoisesti suurta datanmäärää tarvitsevalla yrityksellä voi olla valtava, yksityisesti ylläpidetty datakeskus erillisessä rakennuksessa. Yritysdatakeskuksen koko luokitellaan usein kuitenkin pieneksi datakeskukseksi, jonka pinta-ala on noin 10–200 neliömetrin luokkaa. Tällöin arvioitu kulutus olisi arviolta 10–50 kilowattia (kWh) vuodessa (Data Center Asia, 2025).

2.3.2 Konesalidatakeskukset

Datakeskusten rakentaminen ja niiden ylläpitäminen voi tuoda yritykselle suuria kustannuksia koon mukaan. Tämän vuoksi konesali tai toisinsanottuna datasali datakeskustyyppinä on varteenotettava vaihtoehto. Konesalissa on oma erikoistunut yritys omistajana, joka vuokraa sitä muille yrityksille. Konesalin omistaja ylläpitää kiinteistöä ja järjestelmiä, joihin kuuluu esimerkiksi kulunvalvonta, jäähdytys, laitepaikat, sähkönsyöttö, palosuojaus ja tietoliikenneyhteydet (DNA, 2025). Yhdessä konesalissa voi olla useiden yritysten tai organisaatioiden laitteistoja. Usein keskikokoiseksi luokitellun datakeskuksen pinta-ala on noin 1000–5000 neliömetriä ja kulutus voi olla noin 0,5–2 megawattiatuntia (MWh). Tämä tarkoittaa vuosittaisella kulutuksella jopa 9000 MWh vuodessa (Data Center Asia, 2025).

2.3.3 Hyperscale-datakeskukset

Edelliset datakeskustyyppit keskittyivät erityisesti omistajuuteen kun taas hyperscale-datakeskukset määritellään DCA:n (Data Center Asia, 2025) mukaan kokonsa perusteella. Datakeskus voidaan määritellä hyperscale-datakeskukseksi riittävän laitteiston lukumäärän, neliöiden ja datankäsittelyn perusteella. Hyperscale- viittaa tietoteknilliseen kuormaan, jota datakeskus kykenee käsittelemään.

Hyperscale-datakeskus on usein huomattavasti suurempi pinta-alaltaan ja palvelinmäärältään kuin konesali, jonka vuoksi ne voivat hyödyntää mittakaavaetuja ja räätälöityä asiakasteknologiaa. Nämä palvelevat usein suuria yrityksiä, jotka toimivat

teknologia-alalla tai internet-pohjaisesti. Suureksi luokitellun hyperscale-datakeskuksen pinta-ala on 5000 neliömetristä ylöspäin. DCA:n (2025) mukaan yli 10 megawatin (MW) tehoiset laitokset voivat kuluttaa jopa 87,6 gigawattituntia (GWh) vuodessa.

2.3.4 Reunadatakeskukset

Reunadatakeskukset määrittyvät sijaintinsa perusteella, mikä on usein lähellä loppukäyttäjiä. Datakeskuksen sijainti vaikuttaa tiedonsiirtoviiveeseen; mitä lähempänä loppukäyttäjää, sitä vähemmän viivettä. Reunadatakeskuksia hyödynnetään kriittisiin toimintoihin, joissa tarvitaan taattuja vasteaikoja. Nämä voivat olla esimerkiksi lääketieteen laitteet ja liikenne- tai turvallisuussovellukset. Tyypillisesti reunadatakeskukset ovat pienempiä kuin perinteiset datakeskukset. Ne ovat yhteydessä suurempiin datakeskuksiin tai muihin reunadatakeskuksiin. Vähemmän kriittinen data voidaan siirtää kauemmas keskitettyyn datakeskukseen käsiteltäväksi (Haskoning, blog, 2023).

2.3.5 Tier -luokitukset

Datakeskukset voidaan määritellä käyttöajan mukaan standardoiduilla Tier -luokituksilla. Tier -luokitukset ovat asteikolla 1–4, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi mitattaessa tehokkuutta, investointeja tai sijoitetun pääoman tuottoa.

Tier 4 tarjoaa noin 99,995 % käyttöajan ja sallii enintään 26,3 minuutin seisokkijan vuodessa. Tier 4 edustaa korkeinta datakeskustasoa. Se tarjoaa täydellisen vikasietoisuuden yksittäisistä vikaantumispisteistä ja on ilmoitettu termillä 2N+1, joka ilmaisee varmennettua infrastruktuuria. Datakeskuksella on oltava vähintään 96 tunnin täysin itsenäinen varmennettu sähkönsyöttö. Tier 4 on usein yritystason ratkaisu ja sen infrastruktuuri on kaksinkertainen verrattuna Tier 3 -datakeskukseen.

Tier 3 tarjoaa noin 99,982 % käyttöajan ja sallii enintään 1,6 tunnin seisokkijan vuodessa. Se perustuu N+1 varmennukseen, joka mahdollistaa rutiinihuollot ilman käyttökatkoja.

Tässä kuitenkin odottamattomat viat tai hätätilanteet voivat vaikuttaa palveluihin. Datakeskuksella on oltava vähintään 72 tunnin itsenäinen varmennettu sähkönsyöttö.

Tier 2 tarjoaa noin 99,741 % käyttöajan ja sallii enintään 22 tunnin seisokkiaan vuodessa. Tässä on osittainen varmennus, joka keskittyy sähkön- ja jäähdytyksen jakeluun. Tier 2 soveltuu organisaatioille, jotka tarvitsevat osittaista varmennusta, mutta eivät edellytä korkeaa käyttövarmuutta.

Tier 1 on perustason ratkaisu, joka tarjoaa noin 99,671 % käyttöajan ja sallii enintään 28,8 tunnin seisokkiaan vuodessa. Tässä ei ole lainkaan varmennuksia infrastruktuurissa. Käytössä on yksi verkkoyhteys ja yksi virtareitti. Tier 1 on kustannustehokkain vaihtoehto ja soveltuu yrityksille, joilla on perustarve konesalipalveluille ilman korkeita käyttövarmuusvaatimuksia (ProCern, 2025).

2.4 Datakeskustyypit

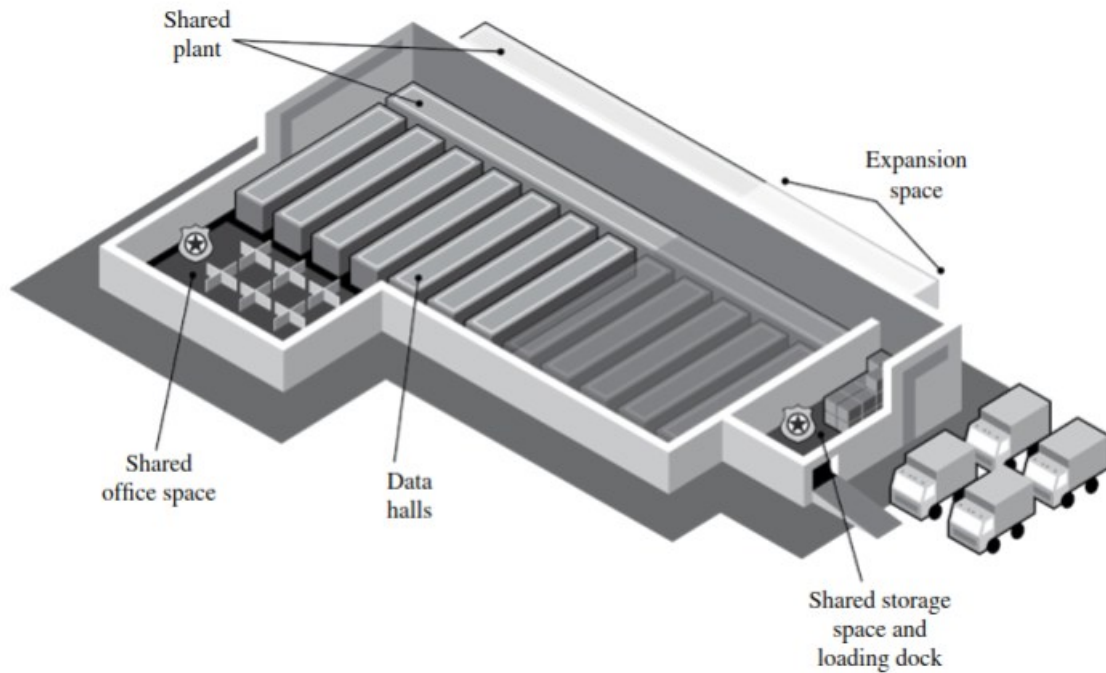
Viime vuosina datakeskushankkeisiin keskittyvät palveluntarjoajat ovat havainneet rakentamisen vaiheistuksen olevan kustannus- ja energiatehokasta. Tämän seurauksena monet ovat alkaneet kehittää niin sanottuja ”modulaarisia” ratkaisuja. Termi on laajasti käytössä, mutta sille ei ole olemassa yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Tällä hetkellä markkinoilla on kuitenkin viisi datakeskustyyppiä, joita pidetään yleisesti modulaarisina (Hwaiyu, 2015, s. 48).

2.4.1 Perinteinen ja segmentoitu datakeskus

Perinteiset modulaariset datakeskukset ovat rakennusperusteisia ratkaisuja, joissa käytetään jaettuja yhteisiä taustatasoja tai aluetta (ks. kuva 1). Perinteiset datakeskukset rakennetaan kerralla valmiiksi tai kuten nykyään yleisemmin, laajennetaan lisäämällä uusia datasaleja nykyiseen rakennukseen. Yhteisellä taustatasolla tarkoitetaan, että koko alueen järjestelmät kulminoituvat yhteiseen taustatekniikkaan, jonka vuoksi

rakennusperusteisten datakeskusten häiriöiden riskit kasvavat. Jos taustatasolla tapahtuu häiriö, voi se laajentua ketjureaktiona koko alueen järjestelmiin. Useimmiten taustatasolla tarkoitetaan keskijänniteverkko liittymää, joka palvelee koko rakennusta tai aluetta.

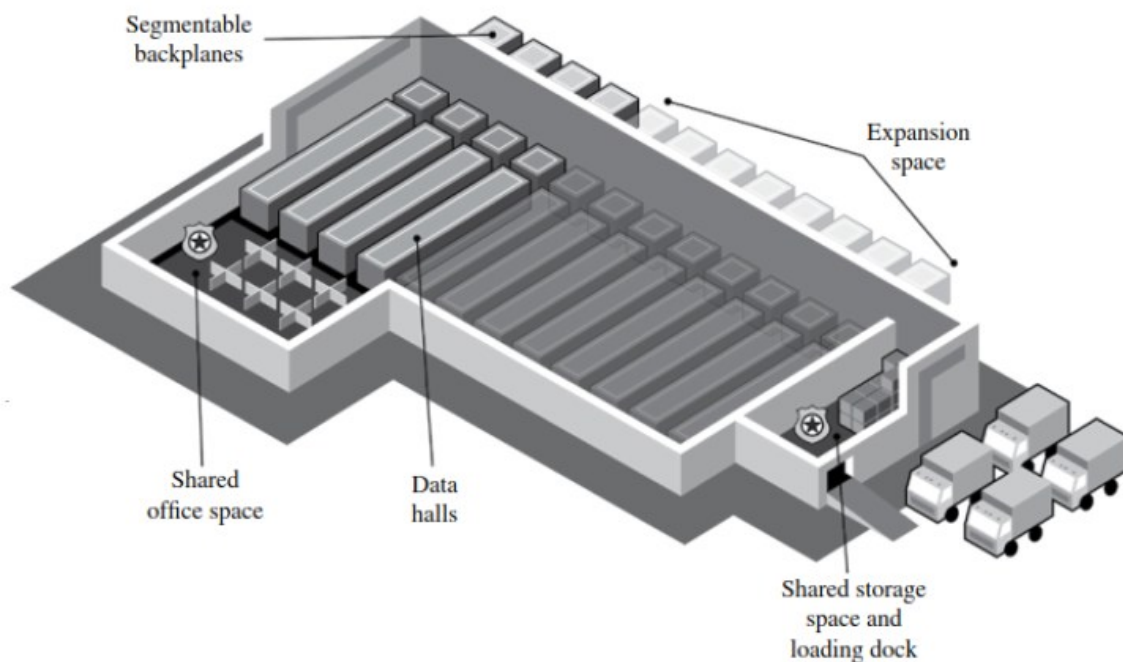
Yhteisellä taustatasolla on myös käyttöönotossa haittapuolensa. Kun datasaleja lisätään ajan myötä, ei käyttöönottoa voida toteuttaa tason 5 integroidun järjestelmätason mukaisesti. Tason 5 käyttöönotossa järjestelmät testataan täydellä kuormituksella, jossa varmistetaan järjestelmien toimivuus yhdessä sekä erikseen. Tason 5 käyttöönotossa on tarkoituksena ottaa datakeskus kerralla käyttöön ensimmäisestä päivästä lähtien.



Kuva 1. Perinteinen modulaarinen datakeskus (Hwaiyu G, 2015).

Perinteiseen datakeskusmalliin verrattuna kehittyneemmässä ja modulaarisemmassa versiossa datasalit toteutetaan segmentoidusti (ks. kuva 2). Segmentoinnilla tarkoitetaan taustatason tai alueen segmentoitua järjestelmää, joka on riskittämpi kuin perinteinen jaettu malli. Tässä datalin taustajärjestelmä on pilkottu pienempiin osiin, jotta häiriön vaikutus rajautuu pieneen osaan. Segmentoidussa ratkaisussa voidaan

toteuttaa tason 5 käyttöönottoprotokolla. Näin ollen voidaan käyttöönotto suorittaa mahdolliselle laajennukselle täysin ennen asiakkaan pääsyä tiloihin. Laajentaminen datasalissa on myös helpompaa ja turvallisempaa (Hwaiyu, 2015, s. 48–50).

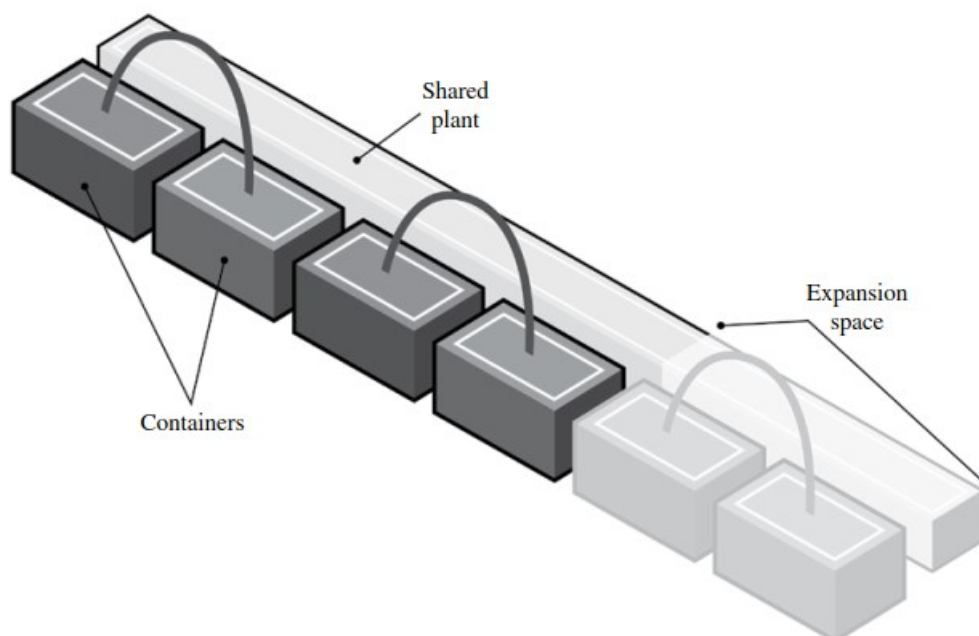


Kuva 2. Perinteinen segmentoitu datakeskus (Hwaiyu G, 2015).

2.4.2 Kontti ja esivalmistettu datakeskus

Modulaarinen datakeskus voi olla myös niin sanottu konttimainen ratkaisu. Konttimaisella tarkoitetaan ISO-standardoituja merikontteja, jotka usein ovat myös esivalmistettuja datasaleja (ks. kuva 3). Konttiratkaisun etuna on nopea toimitus usein välittömään laajennustarpeeseen. Asiakkaan täytyy perehtyä tämän tapaiseen palveluun huolellisesti, sillä on huomattu, että nopeuden mainonta saattaa olla harhaanjohtava. Asiakas voi joutua hankkimaan ulkoisen tason laitteistoa, kuten esimerkiksi generaattorit tai kytkinlaitteet erikseen itse, joiden käyttöönottaminen saattaa viedä kuukausia. Tämän seurauksena nopean toimituksen hyöty katoaa.

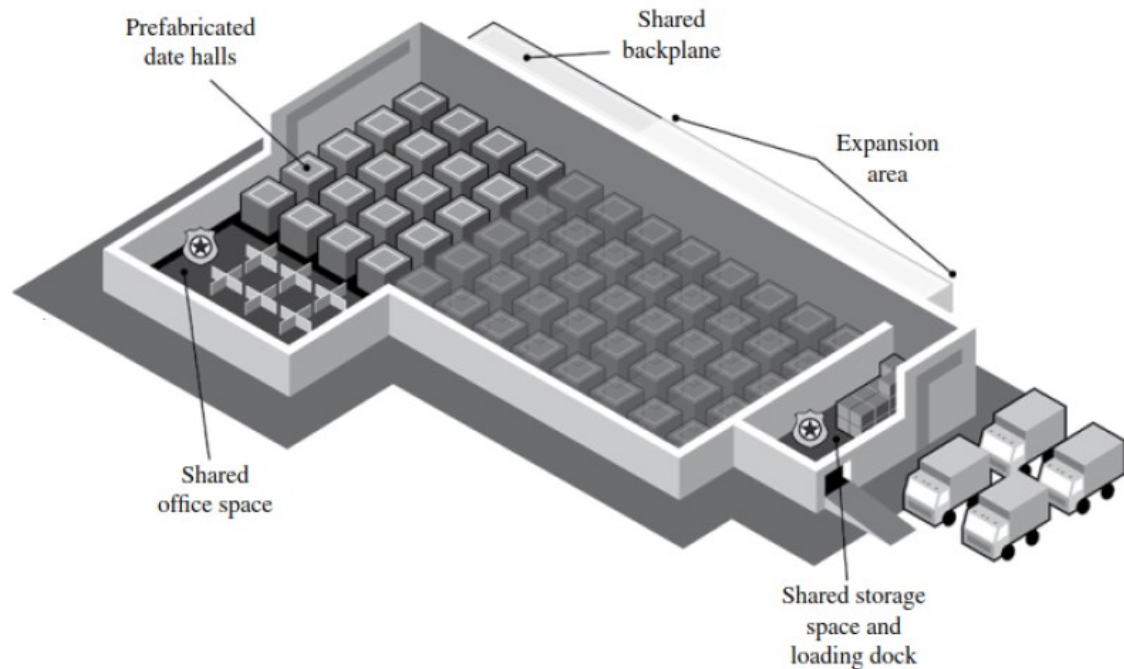
On huomioitava, että pitkäkestoisen ajan ratkaisuna konttidatasalit saattavat tuoda ongelmia, sillä konttiin mahtuu tietty määrä laitteistoa eikä yksittäistä konttia voida laajentaa, vaan on investoitava uusi kontti. Myös rakenteen vuoksi ongelmia saattaa muodostua ympäristötekijöistä, etenkin Suomessa, jossa on ympärivuoden vaihteleva ilmasto. Lumi, ruoste, tuuli ja mahdollinen vedentunkeutuminen konttiin lyhentää laitteiston elinikää ja saattaa aiheuttaa häiriöitä herkemmin kuin perinteisessä rakennuksessa. On huomioitava myös, että esimerkiksi lastaustila tai valvontakeskus jää asiakkaan hoidettavaksi.



Kuva 3. Konttidatasalit (Hwaiyu G, 2015).

Datasalit voivat olla myös esivalmistettuja ratkaisuja, jossa datakeskukseen tai rakennukseen toimitetaan palveluntarjoajien valmiiksi rakennettuja datasaleja (ks. kuva 4). Nämä edellyttävä käyttäjältä tarkkaa sovellusten hallintaa. Jokainen sovelluskokonaisuus tulisi sijoittaa omaan rajattuun telinetilaansa, joka on mitoitettu sen suunnitellun kuormituksen mukaan, jotta IT-kapasiteetti ei ylikuormitu. Esimerkiksi vähemmän kuormittuvat ryhmät voidaan sijoittaa yhteen valmiiseen datasaliin ja paljon kuormittuvat toiseen. Näissä voidaan käyttää joko jaettua tai eriytettyä taustalevyrakennetta, jotta yksittäiset vikatilanteet eivät vaikuttaisi koko järjestelmään

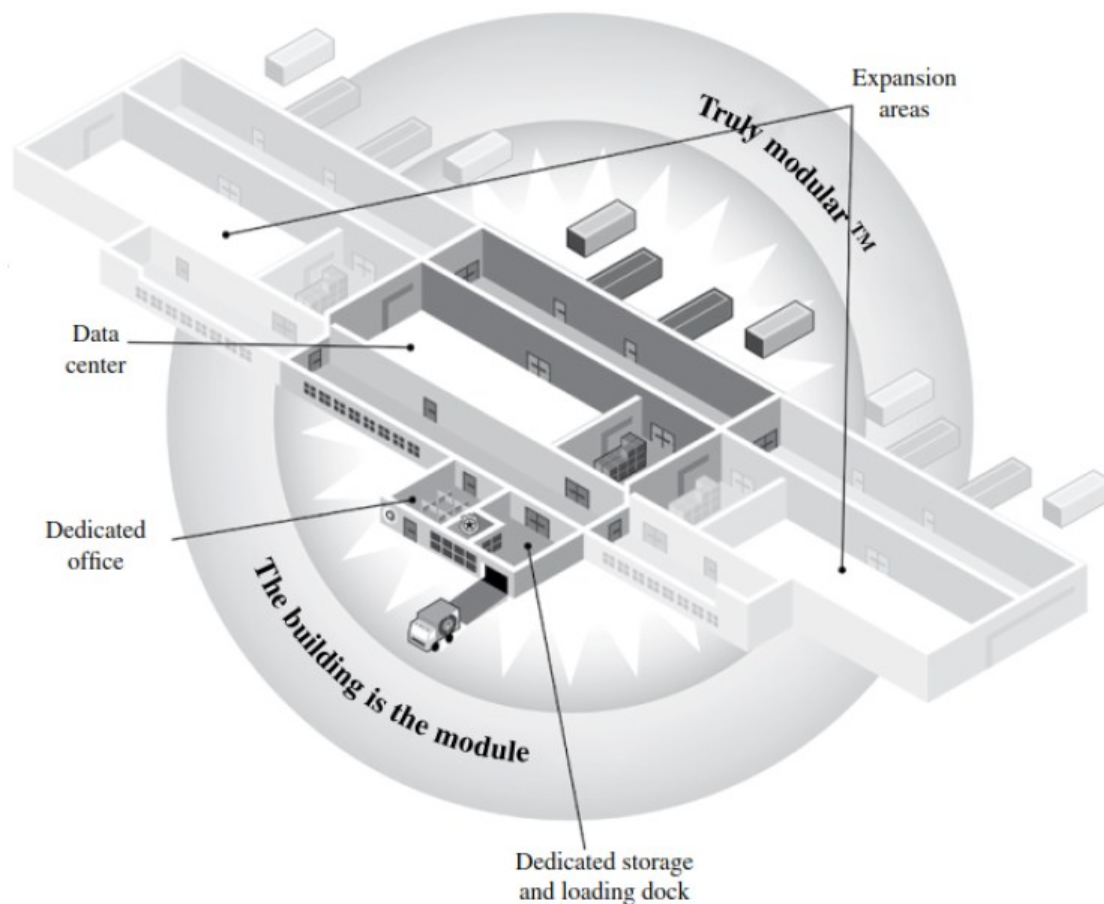
ja jotta jokainen yksikkö voidaan ottaa käyttöön tason 5 vaatimusten mukaisesti (Hwaiyu, 2015, s. 50–51).



Kuva 4. Esivalmistetut datasalit datakeskuksessa (Hwaiyu G, 2015).

2.4.3 Itsenäinen datakeskus

Itsenäiset datakeskukset ovat tarkoitettu usein isoille yrityksille, joille datakeskus tulee omaan käyttöön. Itsenäiset datakeskukset on kehitetty tarjoamaan maantieteellisesti riippumattomia vaihtoehtoja, joissa datakeskus rakennetaan sinne missä sitä tarvitaan. Maantieteellisen sijainnin mukaan voidaan kehittää datakeskus kestämään äärimmäisiä olosuhteita sekä huomioidaan muita itsenäisiä ratkaisuja. Verrattuna perinteiseen, esivalmistettuun tai konttipohjaiseen ratkaisuun, itsenäiseen datakeskukseen on yksinkertaisempi kartoittaa kapasiteetin tarve sekä huomioida laajennusmahdollisuudet. Tässä ratkaisussa asiakkaalla on kaikki tilat yksin käytettävänä. Itsenäinen datakeskus sisältää kaikkien datakeskustyyppien vahvuudet, jossa itse rakennus on moduuli (ks. kuva 5) (Hwaiyu, 2015, s. 53).

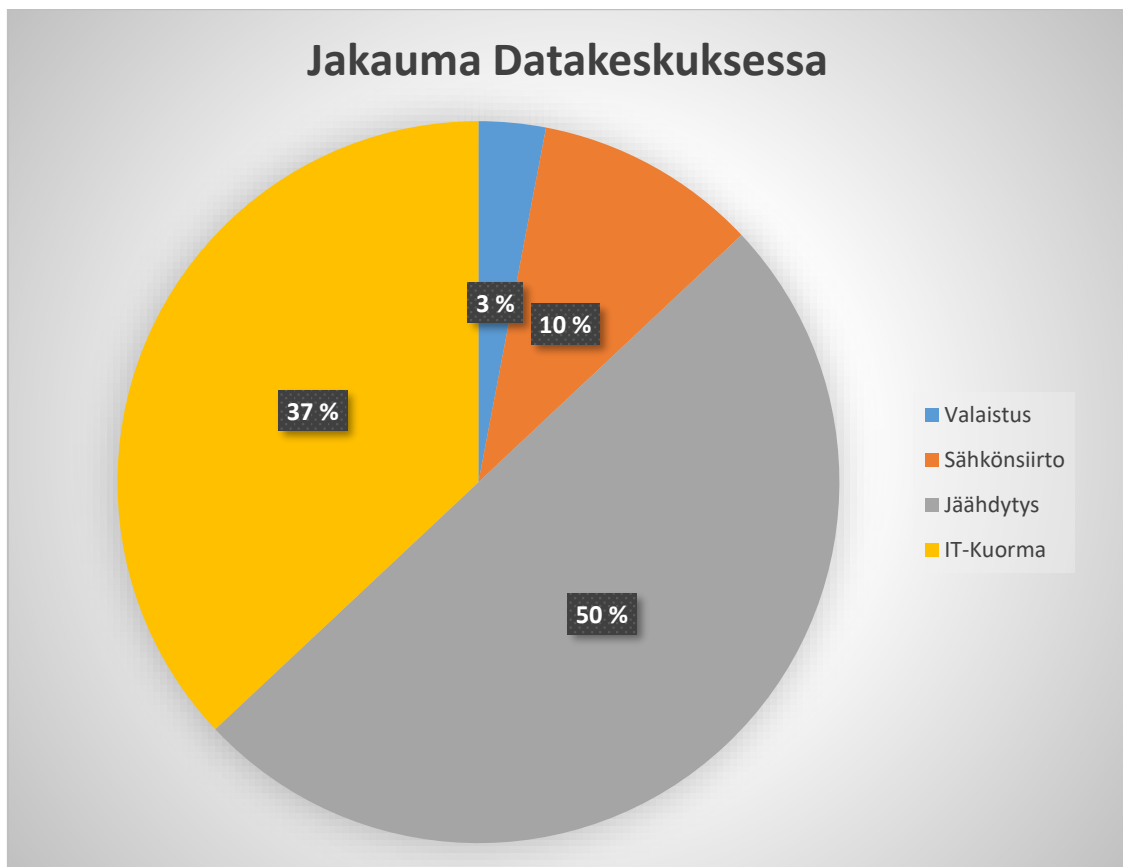


Kuva 5. Itsenäinen datakeskus (Hwaiyu G, 2015).

2.5 Energiankulutus

Datakeskuksen kehittäjät ja käyttäjät tarvitsevat sähköenergiaa verkosta enemmän kuin koskaan, jonka vuoksi on aloitettu etsimään ratkaisuja niin sanotusti sähkömittarin jälkeen paikallisella sähköntuotannolla. Sähköverkon kapasiteetti voi nykyään usein rajoittaa energiantarvetta, joten sähköenergian tuotanto datakeskuksen välittömässä läheisyydessä on tulevaisuudessa yleistävä asia (Data Center Knowledge, 2025). Bill Kleyman (AFCOM 2025, State of the Data Center report) mukaan globaalisti 62 % datakeskuksista etsii paikallista energiantuotantomahdollisuutta sekä 19 % näistä raportin mukaan on toteuttanut paikallisen energiantuotannon vuoden 2024 loppuun mennessä. Data Center Knowledge (2025) mukaan kasvava energian tarve datakeskuksilla johtuu tekoälyn yleistymisestä, jossa palvelinten energian tarve on huomattavasti suurempi kuin perinteisessä käytössä.

Device42 (2025) kerrotaan, että suunnitellussa datakeskusta on välttämätöntä tehdä alkutilanteessa tehon tarpeen kartoittaminen sekä huomioida tulevaisuuden laajennusmahdollisuus. Alla kuvassa 6 on esimerkki energiankulutuksen jakaumasta suuremmissa datakeskuksissa. Energian jakaumaan vaikuttaa moni asia, kuten käytetyt laitteet, infrastruktuuri ja sijainti.



Kuva 6. Energiankulutuksen jakauma datakeskuksessa (Device42, 2025).

Kaaviosta voidaan todeta jäähdytyksen olevan yksi suurimmista energiankuluttajista IT-laitteiston kanssa. Tehonjakauman kuvaajasta saamme myös osviittaa kuinka suuri hyötysuhde (PUE) datakeskuksella on. Tässä esimerkissä datakeskus sijaitsee todennäköisesti lämpimässä maassa, sillä hyötysuhde ei ole kovinkaan hyvä, koska suurin osa energiankulutuksesta tapahtuu muissa kuin itse IT-laitteissa.

Energiatehokkuutta datakeskuksissa mitataan virrankulutuksen tehokkuusmittarilla (PUE, Power Usage Effectiveness). PUE-luku kertoo datakeskuksen kokonaiskulutuksen verrattuna IT-laitteiden käyttämään sähkötehoon, jos PUE-luku on pieni, esimerkiksi 1, tarkoittaa tämä energiatehokasta datakeskusta. Suuri PUE-luku, enemmän kuin 1,5 tarkoittaa huonoa hyötysuhdetta, tällöin energiaa kuluu datakeskuksessa muuhun kuin IT-laitteiden toimintaan suhteellisen paljon, kuten jäähdytykseen tai sähköjakeluun (Data Center Asia, 2025). PUE-luku voidaan laskea alla olevalla kaavalla:

$$PUE = \frac{\text{Kiinteistön kokonaisenergiankulutus}}{\text{IT-laitteiden energiankulutus}} \quad (1)$$

Kiinteistön kokonaisenergiankulutus sisältää kaiken energiankulutuksen IT-laitteista taustajärjestelmiin ja valaistukseen. IT-laitteiden energiankulutus sisältää vain datasaleissa sijaitsevien IT-laitteiden ja verkon energiankulutuksen (Nlyte, PUE, 2025).

3 Järjestelmät

Datakeskukset ovat korkeasti suojattuja moderneja rakennuksia, joissa on kriittisiä ja varmennettuja järjestelmiä (DCU, 2025). Suunnittelemisessa oleellista on kokonaisuuden ymmärtäminen, tarpeen tiedostaminen, sekä ymmärtäminen miksi datakeskus rakennetaan ja mitä se vaatii järjestelmiltä. Datakeskuksen ydintehtävä on luoda edellytykset IT-laitteiston keskeytymättömälle toiminnalle. Keskeytymätön toiminta edellyttää luotettavaa infrastruktuuria ja tukevia järjestelmiä datakeskuksessa, joihin tässä luvussa perehdytään (Device42, 2025).

3.1 Sähköjärjestelmät

Data Center University (2025) artikkelissa kirjoitetaan modernin datakeskuksen sisällöstä. Kuvailtaan, että datakeskus on yhteen liitetty laitos, jonka ydinarvo on yhteyksissä eli kyvyssä siirtää ja käyttää dataa maailmanlaajuisesti valokuituverkkojen kautta. Valokuituverkot saapuvat rakennukseen useita fyysisesti erillisiä reittejä pitkin ja yhdistyvät niin sanotussa "meet-me-room" tilassa (MMR). Nämä huoneet toimivat keskeisinä solmukohtina, joissa teleoperaattorit, palveluntarjoajat ja asiakkaat voivat kytkeytyä suoraan toisiinsa.

Fyysinen turvallisuus datakeskuksissa varmistetaan monitasoisilla suojausmenetelmillä, kuten aitaamisella, kulunvalvonnalla, biometrisillä tunnistusjärjestelmillä ja ympäri vuorokauden toimivalla vartioinnilla. Näiden suojattujen alueiden sisällä sijaitsevat palvelinhuoneet, joissa on usein tuhansia palvelimia datan tallentamiseen ja käsittelyyn. Kunkin asiakkaan järjestelmät ovat eristettyjä ja vain valtuutetun henkilöstön käytettävissä.

Luotettava sähkönjakeluinfrastruktuuri pitää toiminnan keskeytyksettömänä. Ulkoisesta sähköverkosta tuleva virta johdetaan muuntajien ja keskeytymättömän sähkönsyötön (UPS) kautta. Sähkönjakeluinfrastruktuuriin sisältyy usein myös varavoimageneraattorit,

jotka käynnistyvät automaattisesti, varmistaen toiminnan myös pidempien häiriöiden aikana.

IT-laitteiston ylikuumenemisen estämiseksi datakeskuksessa on oltava erinomaiset jäähdytysjärjestelmät, jotka säätelevät lämpötilaa ja ilmavirtaa. Koska pyritään mahdollisimman energiatehokkaaseen ratkaisuun, monet datakeskukset hyödyntävät nykyään vapaajäähdytystä, uusiutuvia energialähteitä ja vettä säästäviä teknologioita ympäristövaikutusten pienentämiseksi.

Palvelimien jatkuvaa toimintaa turvaa myös paloilmaisin- ja sammutusjärjestelmät. Data Center Universityn (2025) mukaan datakeskuksessa ei voida käyttää perinteisiä sammutusjärjestelmiä, kuten vesi- tai vaahtosammutusta, koska ne voivat vahingoittaa datasaleissa elektronisia laitteita. Näin ollen veden sijasta käytetään inerttejä kaasuja, joiden toiminta perustuu happipitoisuuden vähentämiseen.

Kaikkien toimintojen valvonnasta vastaa tietoverkkovalvomo (NOC, Network Operation Center), joka toimii datakeskuksen komentokeskuksena. Se seuraa jatkuvasti sähkönsyöttöä, jäähdytystä, yhteyksiä ja turvallisuutta. Havaitsemalla ongelmat ajoissa ja koordinoimalla nopeat toimenpiteet varmistutaan, että datakeskus pysyy vakaana, tehokkaana ja jatkuvasti toiminnassa.

Jokaisten edellä mainittujen asioiden ydintehtävä on palvella IT-laitteita, jotka sijaitsevat datasaleissa. IT-laitteet ovat asennettuna telineisiin, joihin myös datakeskuksen varmennettu infrastruktuuri kulminoituu. IT-laitteiden elinikä on noin 2–3 vuotta, joka tarkoittaa sitä, että datakeskuksessa huoltotoimenpiteitä tehdään aktiivisesti.

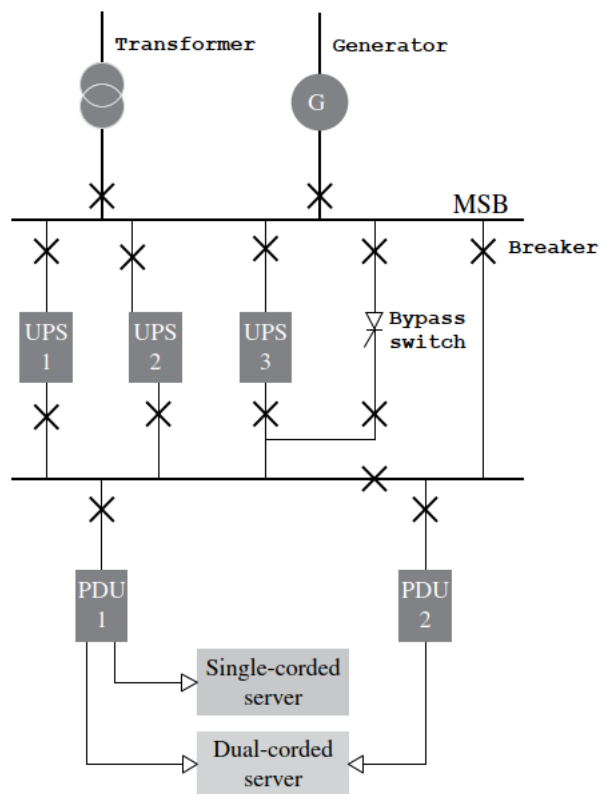
3.1.1 Sähkönjakelu

Datakeskusten pääsähkönsyöttö tapahtuu useimmiten valtakunnallisen verkon kautta. Isompiin kymmenien tai satojen megawattien hyperscale-datakeskuksiin Carunan (2022) mukaan tuodaan oma suurjänniteliittymä 110 kilovolttia (kV) tai hieman pienempiin,

kuitenkin yli 1 megawatin datakeskuksiin 20 kV keskijänniteliittymä. Suur- tai keskijänniteliittymästä muunnetaan muuntajien ja katkaisijoiden kautta jännite ja virta tarpeen mukaiseksi (GBC, 2025). Suomessa pienjännitetaso on 400 volttia 3-vaiheista vaihtovirtaa.

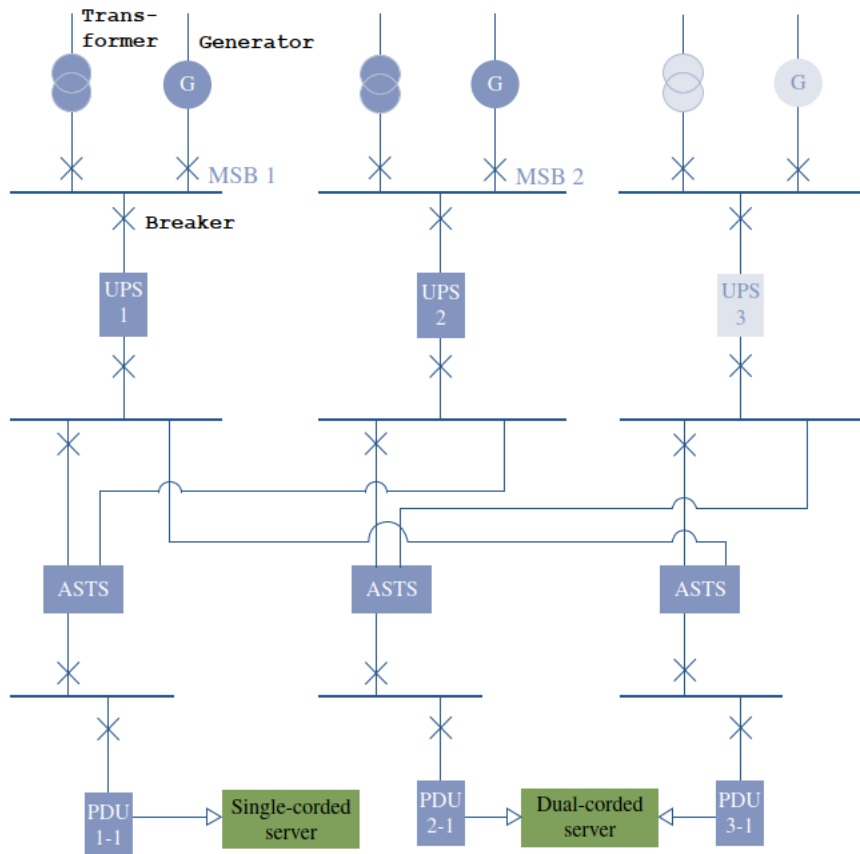
Datakeskuksen sähkönjakelu perustuu redundanttiseen ja modulaariseen arkkitehtuuriin, jossa KJ-liittymästä syötetty energia jaetaan muuntajien, UPS-järjestelmien ja varavoimaratkaisujen kautta IT-kuormille ja taustajärjestelmille. Sähkönjakelutopologia voidaan toteuttaa usealla tavalla, joita ovat rinnakkain kytketyt UPS:it (N), jaettu varmennus (N+1) sekä kaikista korkeimmin varmennettu (2N) eli toteutetaan kaksi identtistä jakeluverkkoa (Hwaiyu, 2015, s. 217–220). Edellä mainitut eroavat suuresti myös kustannuksiltaan.

Rinnakkais- UPS varmennetussa verkossa (ks. kuva 7.) valtakunnan keskijänniteverkko liitetään muuntajalla datakeskuksen jakeluverkkoon, josta pääkytkinpaneelin kautta jännite ohjataan rinnakkain kytkettyihin UPS-yksiköihin. UPS-yksiköt sisältävät usein ohitus mahdollisuuden huoltotoimenpiteiden varalta, jolloin sähkö voidaan ohjata suoraan PDU-yksiköille. Datakeskuksessa on useita kuormansiirtokytkimiä, joilla kytketään pois vikaantuneita alueita sekä otetaan käyttöön vaihtoehtoisia sähkönjakelureittejä.



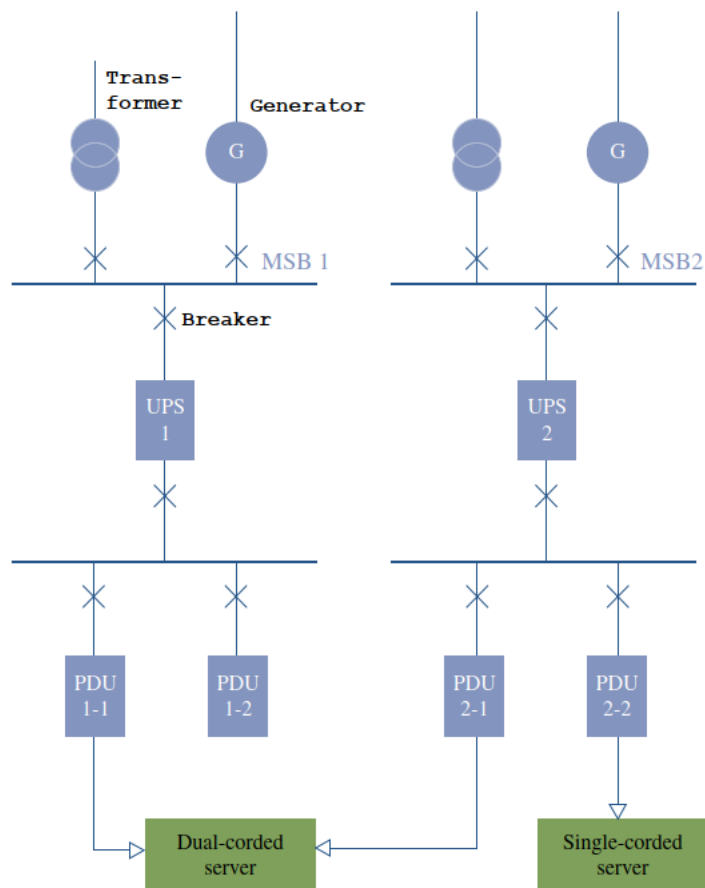
Kuva 7. Rinnakkais-UPS varmennettu N jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).

Pykälän varmennetumpi jakeluverkko on N+1 tason ratkaisu, jossa datakeskus liitetään useammalla muuntajalla valtakunnan sähköverkkoon. UPS-yksiköiden kautta sähkö johdetaan automaattisille siirtokytkimille (ks. kuva 8), joilla voidaan ohjata UPS-yksikön häiriötilanteessa eri jakelulinjan kautta sähköä palvelintelineille. Näin voidaan siirtää palvelintelineille varmennettu sähkönsyöttö useamman verkko liittynnän ja generaattorin taakse.



Kuva 8. Jaetusti varmennettu N+1 jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).

Korkein varmennettu jakeluverkko datakeskuksessa on N2 tason ratkaisu, jossa jakeluverkot ovat täysin erillisiä. Tässä erona N ja N+1 verkkoon on se, että jokainen sähköjakelu taso on kahdennettu (ks. kuva 9.) (Hwaiyu, 2015, s. 217–220).



Kuva 9. 2N jakeluverkko datakeskuksessa (Hwaiyu, 2015).

3.1.2 Varavoima

Luotettava sähkönsyöttö on edellytys kaikille Tier -standardin vaatimusten mukaisille datakeskuksille. Hitachin (2024) mukaan sähköverkon katkosta ei pidetä vikana, vaan ennakoitavana tilanteena, johon datakeskuksen on varauduttava. Sähkökatkoksista johtuvat keskeytykset ovat datakeskuksissa vähentyneet viime vuosina varavoima- ja varmennettujen järjestelmien ansiosta, mutta seisokkiaan kustannukset ovat nousussa. Nämä voivat nousta satoihin tuhansiin tai jopa miljooniin euroihin. Ottaen tämän huomioon, datakeskusten omistajat luottavat edelleen perinteiseen teknologiaan, kuten dieselgeneraattoreihin varavoiman lähteenä. Dieselgeneraattoreiden käytössä voi olla kuitenkin alueen mukaan ongelmia päästömääräysten ja äänisaasteen vuoksi. Vaikka katkoksia ei ilmene, testataan generaattorit viikoittain toiminnan varmistamiseksi.

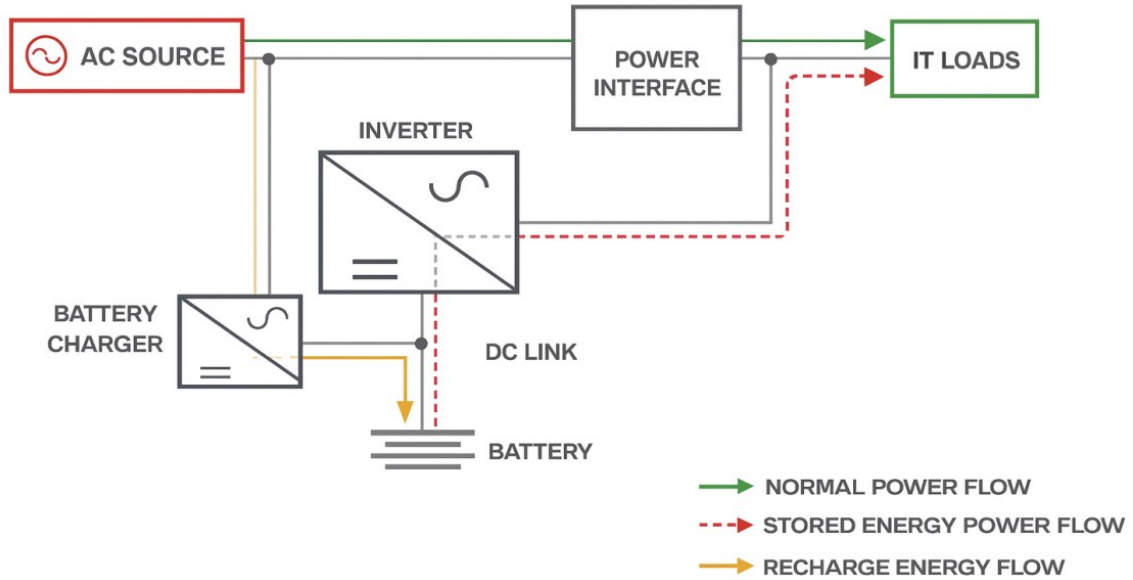
Akustot ovat kriittisiä varmennetulle sähkösyötölle, mutta ne eivät sovellu pitkäaikaisten sähkökatkosten varalle, sillä akustot pitäisivät olla todella suuria. Dieselgeneraattorit sen sijaan ovat usein modulaarinen ratkaisu, missä dieselgeneraattori, polttoainesäiliö, katkaisijat ja liitäntäpisteet tulevat yhdessä kontissa. Modulaarisuutensa vuoksi näitä voidaan helposti lisätä tarpeen mukaan. Dieselgeneraattoreita valmistavan yrityksen, KW-set (2024), mukaan yhdestä dieselgeneraattorista voidaan saada tehoa 2000–3750 kVA ja yhdellä polttoainetankillisella voidaan sitä käyttää jopa 48 tuntia yhtäjaksoisesti. Dieselgeneraattoreille Hitachin (2024) mukaan voi tulevaisuudessa olla vaihtoehtona vetygeneraattori, joka tuottaa hiilidioksidipäästöjen sijasta vain vettä ja lämpöä ja on näin ympäristöystävällisempi ratkaisu.

3.1.3 UPS

UPS-järjestelmä turvaa kriittisten kuormien keskeytymättömän sähkösyötön sähköverkon häiriö- ja katkotilanteissa. Sillä voidaan myös tasoittaa verkkojännitteen ja taajuuden vaihteluita, joka suojaa IT-laitteita vaurioitumiselta. Ylijännitteitä ja äkillisiä jännitepiikkejä vastaan UPS tarjoaa myös erillistä suojaa. Yleensä UPS-laitteet ovat datakeskuksessa pienjännitetasolla pääkeskuksen (MSB, Main Switch Board) jälkeen ja ennen PDU-yksikköä. Nämä voivat olla yksi- tai kolmevaihejärjestelmiin soveltuvia (Scu, 2022). Olemassa on myös keskijänniteverkkoon liitettäviä UPS-laitteita, joita esim. ABB:llä on tarjolla. Tällä tavoin voidaan varmistaa koko datakeskuksen sähkösyöttö ennen sisäistä jakeluverkostoa. Korkean jännitetaso ansiosta myös jännitehäviöt pienentyvät. Keskijännite UPS:t voidaan asentaa datakeskuksen ulkopuolelle (ABB, 2025).

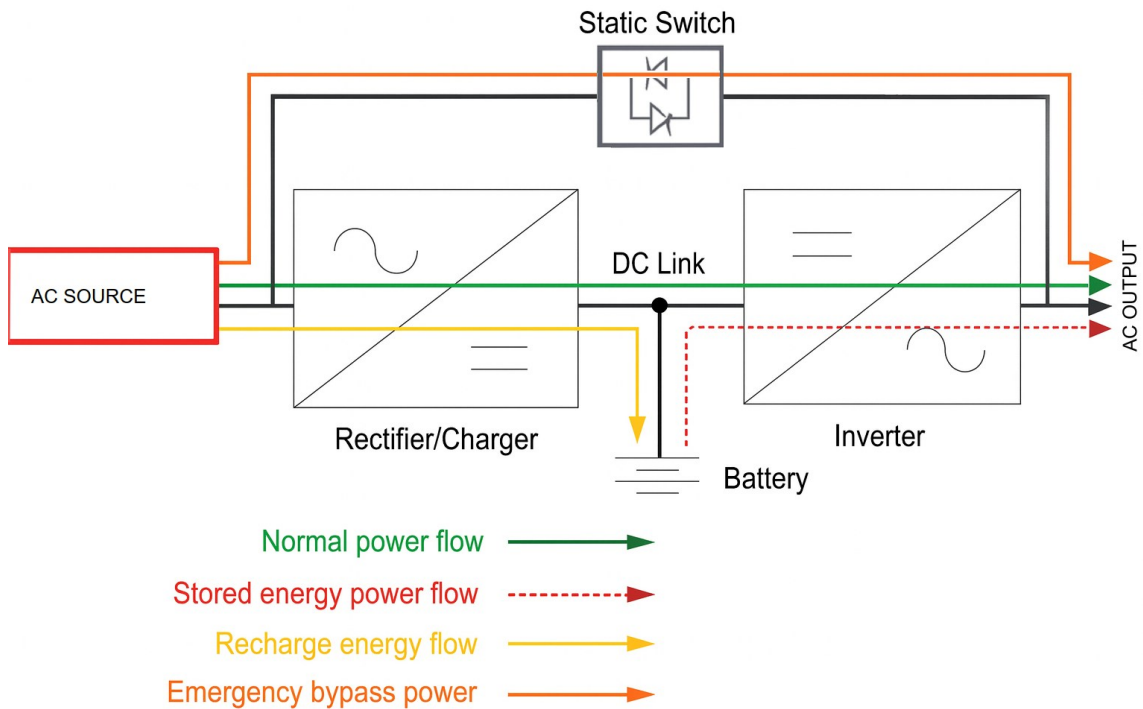
Käyttökohteen mukaan voidaan käyttää eri UPS-tyyppejä; yksi-, kaksi- tai monimuunnosjärjestelmää. Yksimuunnosjärjestelmä (Offline-UPS) on energiatehokkaampi kuin monimuunnosjärjestelmät. Tässä UPS puuttuu pelin vain jos se havaitsee selkeän ongelman sähkösyötössä. Yksimuunnosjärjestelmässä vaihtovirta (AC) syötetään UPS-yksikölle, jossa se muunnetaan tasasuuntaajalla akustolle sopivaksi tasavirraksi (DC) (ks. kuva 10.). Normaali tilanteessa akusto sekä invertteri ohitetaan ja

vikatilanteessa syöttö siirtyy akustolle. Häiriön sattuessa, laitteet pysyvät sähköistettynä niin kauan kuin akustossa riittää virtaa.



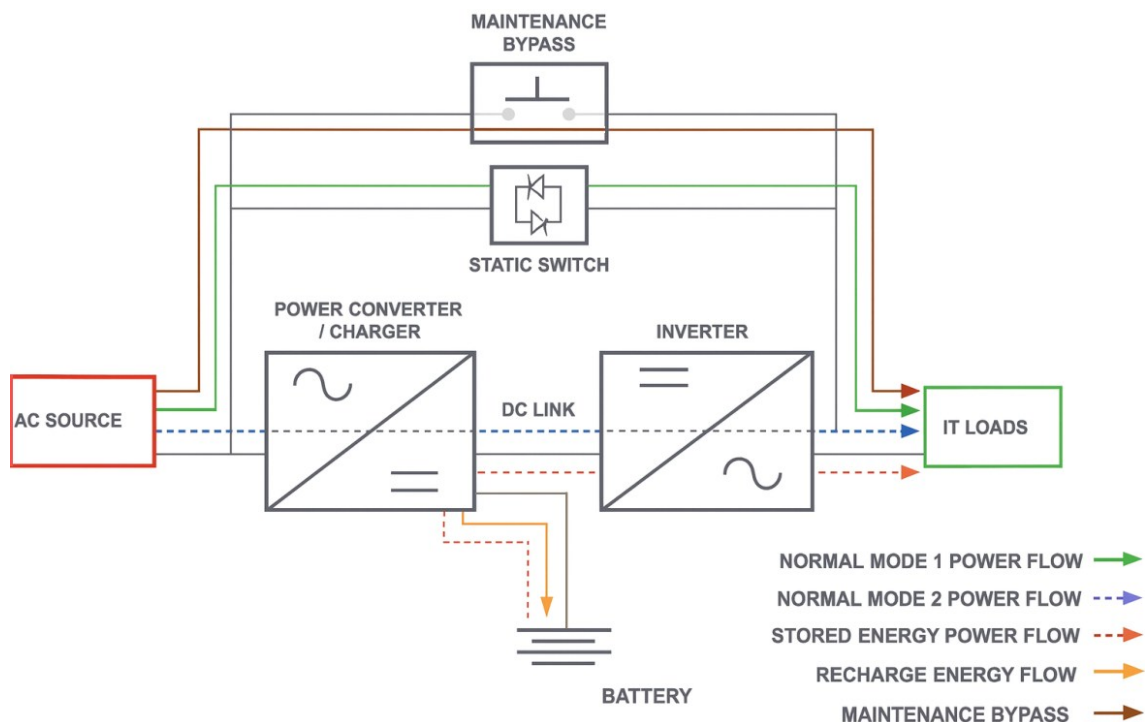
Kuva 10. Yksimuunnosjärjestelmä (Single-Conversion System) (Eaton, 2015).

Kaksimuunnosjärjestelmä (Online-UPS) poikkeaa edellä mainitusta siten, että normaali tilanteessa kuormaa syötetään jatkuvasti akuston kautta (ks. kuva 11.). Koska akku ja invertteri ovat aina osana virran kulkureittiä, siirtoaikaa akkukäyttöön ei ole sähkökatkon sattuessa. Tämän vuoksi online-UPS on ensisijainen valinta kohteisiin, joissa ei hyväksytä pieniäkään virta häiriöitä.



Kuva 11. Kaksoismuunnosjärjestelmä (Double-Conversion System) (Eaton, 2015).

On myös monitilajärjestelmä, joka on kuten kaksimuunnos, mutta kuorma ei ole invertterin kautta jatkuvasti (ks. kuva 12.). Tässä UPS vaihtaa automaattisesti kuorman suoralle sähköverkkosyötölle tai akustolle. Monitilajärjestelmässä hyötysuhde on 98–99 % jatkuvasti ajasta, kun taas kaksimuunnos järjestelmässä 92–96 % (Eaton, 2015).



Kuva 12. Monitila järjestelmä (Multi-Mode System) (Eaton, 2015).

Kaksi- tai monitilajärjestelmissä UPS:ien huolto- tai vikatilanteissa verkosta syötetty sähkövirta johdetaan suoraan kuormalle ohituskatkaisijalla (Bypass). Mikäli invertterissä ilmenee vika tai ylikuormitus, on olemassa staattinen kytkin, joka aktivoituu välittömästi ohittaen invertterin ja reitittäen virran verkosta pitääkseen järjestelmät käynnissä (Eaton, 2015).

3.1.4 PDU & RPP

Energianjakelun seuraava vaihe UPS-laitteiston jälkeen on sähkönjakeluyksikkö PDU (Power Distribution Unit) ja etävirtapaneeli RPP (Remote Power Panel) (ks. kuva 13). Chint (2023) mukaan PDU-yksiköllä jaetaan sähköä tehokkaasti ja älykkäästi yhdestä lähteestä, kuten verkkovirtalähteestä, generaattorista tai UPS-laitteistosta. PDU jakaa, valvoo ja ohjaa virtaa jäähdytyspuhaltimille sekä IT-laitteille telineessä.

Tyypillinen PDU sisältää päävirtakatkaisijan, haaroituspiirilevyt, muuntajat sekä valvonta- ja tiedonsiirtomoduulit. Jännite voidaan muuntaa Suomessa 400V/230V AC,

tyypilliset tehomitoitukset ovat 50–500 kW:n luokkaa. Pienempiä PDU-yksiköitä voidaan asentaa suoraan palvelintelineisiin, jotka jakavat sähköä yhden telineen tarpeisiin. Isommissa kokonaisuuksissa, jossa on useita palvelintelineitä, nämä ovat lattialle asennettavia omalla telineellään. Lattialle asennettavat pystyvät käsittelemään huomattavasti suurempia energiamääriä. Samoin myös RPP, jotka datakeskuksissa ovat usein omissa telineessään.

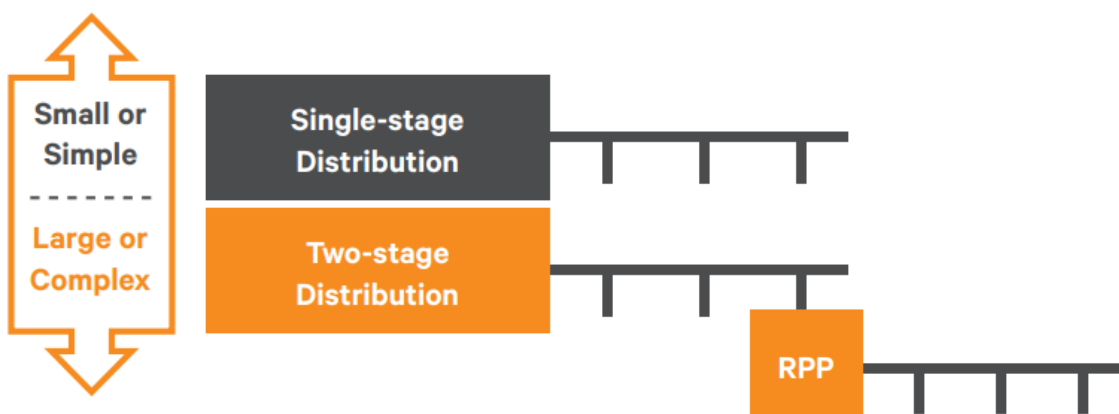


Kuva 13. Sähkönjakelu kaavio esimerkki UPS:ta palvelintelineille (mukaillen Testguy, 2022).

PDU-tyyppejä on useita, joista perinteiset yksinkertaisesti toimittavat virtaa. Mittari-PDU näyttää reaaliaikaista kuormitustietoa ja hallitut, kytkimelliset mahdollistavat etävalvonnan ja -ohjauksen. On myös valvontamalleja, jotka tarjoavat yksityiskohtaista tehoanalytiikkaa. PDU-yksiköitä ei yhdistetä dataverkkoon vaan ne käyttävät vakioviestintäprotokollaa (SNMP, Simple Network Management Protocol). Vakioviestintäprotokollaa käytetään yleisesti verkkolaitteiden valvontaan ja hallintaan teollisuudessa (Fiberroad, 2023).

Isoissa kokonaisuuksissa käytetään niin sanottua kahden tason jakelua (ks. kuva 14.), jossa PDU-yksiköiden lisäksi käytetään RPP-laitteistoa. Nämä sijaitsevat jakeluverkossa PDU:n jälkeen ja tarjoavat mahdollisuuden laajentaa virtalähteitä suoraan palvelinräkkeihin. Näin saadaan lisää jakelukapasiteettia siinä tapauksessa, että PDU-laitteistossa on runsaasti virtakapasiteettia, mutta ei ylimääräistä katkaisijaa tai keskusyksikköä lisälaitteille. RPP-laitteita voidaan ajatella PDU-laitteiston alapaneeleina, ja ne käyttävät Modbus-tiedonsiirtoyhteysprotokollaa Vertiv (2018). SNMP-protokollaan

verrattuna Modbus-protokollaa käytetään useimmiten reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon ja -lukemiseen. RPP-yksiköt mahdollistavat joustavamman datatilan suunnittelun, koska ne voidaan sijoittaa käytännössä mihin tahansa ja tarjoavat keinon paikallisempiin huoltokatkoksiin (Testguy, 2022).



Kuva 14. Sähkönjakelun toteutus yksi- tai kaksitasoisena PDU/RPP-laitteistoilla (Vertiv, 2018).

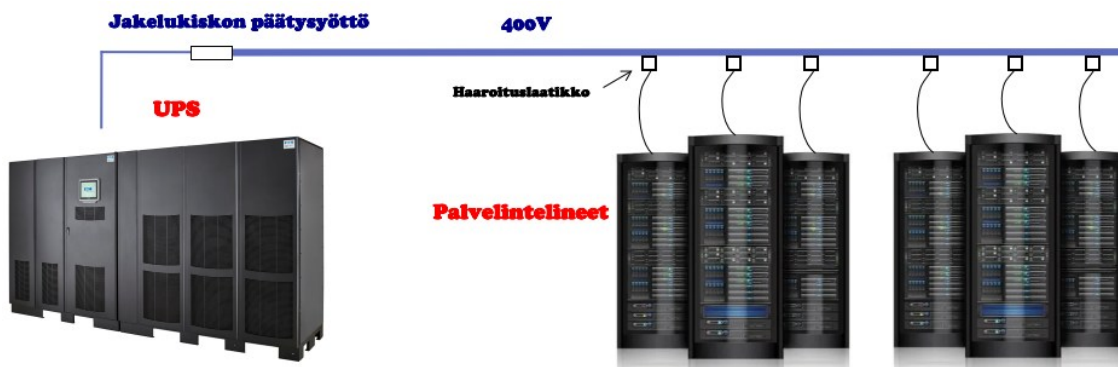
PDU ja RPP käyttö tuo merkittäviä etuja, koska niiden avulla voidaan hallita virtaa paikallisesti tai etänä, sekä seurata esimerkiksi energiankulutusta tai virtapiirin vaihteluita ja täten tunnistaa sekä reagoida ongelmiin. PDU-laitteistot voivat myös itsenäisesti käynnistää uudelleen kaatuneet järjestelmät, jolloin asiantuntijoiden työkuorma vähenee. Ne parantavat tehokkuutta sammuttamalla käyttämättömät laitteet ja tasapainottamalla kuormia, mikä säästää kustannuksissa ja vähentää päästöjä. Lyhyesti sanottuna PDU-laitteet mahdollistavat tehokkaan, joustavan virranjakelun ja ylikuormitussuojauksen ja täten tekevät datakeskuksista turvallisempia, älykkäämpiä ja energiatehokkaampia (Chint, 2023).

3.1.5 Sähkönjakelukiskostot

Datasaleissa kaapeloinnit toteutetaan useimmiten telineiden yläpuolella tai alapuolella korotetun lattian alla. Jäähdytysilmavirran vuoksi sähkönjakelu on tarkoin suunniteltava, jotta ilmavirta pääsee mahdollisimman hyvin kiertämään ja jäähdyttämään IT-laitteita. Perinteisen kaapeloinnin sijasta, jossa PDU- ja RPP-laitteilta tuodaan kaapeleilla telineille

omat syötöt, voidaan vaihtoehtoisesti käyttää modulaarista 3-vaiheista jakelukiskostoa (Busbar). Jakelukisko on modulaarinen sähkösiirtoratkaisu, jota käytetään suurten virtojen turvalliseen ja tehokkaaseen jakeluun datakeskuksissa ja teollisuudessa. Kun sähköjakelussa kuormia on useita, virtakiskot yksinkertaistavat kaapelointia ja vähentävät riskiä ihmisen aiheuttamalle häiriölle. Tällä ratkaisulla vähennetään myös asennusaikaa ja väärin kaapeloinnin riskiä. Uusien telineiden lisääminen on huomattavasti nopeampaa jakelukiskostojärjestelmällä, jossa uusia telineitä voidaan liittää virranottimilla, eli Tap-off boxilla (ks. kuva 15) (Schneider Electric, 2025).

Suojakoteloitujen jakelukiskostojen johtimet ovat alumiinia tai kuparia. Kiskostot asennetaan yleensä telineiden yläpuolelle, sillä yläpuolella tilaa on useimmiten enemmän kuin lattian alla sekä jäähdytys toimii tehokkaammin, kun suuret kiskostot eivät rajoita ilmavirtaa asennuslattian alla. Virtakiskostossa jännite pyritään pitämään mahdollisimman korkeana, jotta muunnoksia ja katkaisijoita tulisi mahdollisimman vähän. Jokainen liitos sähköjakelussa kasvattaa jännitehäviöitä (Wesco, 2025).



Kuva 15. Vaihtoehtoinen tapa toteuttaa sähköjakelu UPS:lta palvelintelineille jakelukiskosto menetelmällä.

Jakelukiskosto voidaan asentaa telinerivien mukaisesti, ristiin tai esimerkiksi kulkukäytävän päälle, jolloin myös muutosten toteuttaminen on vaivattomampaa. Virtakiskoston hankinta sekä asennus saattavat olla kustannuksiltaan suurempia kuin perinteinen kaapelointi toteutus, mutta Wescon (2025) mukaan ajan myötä nämä maksavat itsensä takaisin skaalautuvuuden ja muutosten vaivattomuuden ansiosta.

Haaroituslaatikot sisältävät usein kytkimet, johdonsuojakatkaisijat ja pistokeliitännän. Näin häiriötilanteessa vaikutus jää mahdollisimman pienelle alueelle, esimerkiksi yhteen telineeseen.

3.1.6 AC / DC

AC (vaihtovirta) tai DC (tasavirta) järjestelmän toteutuksessa on useita eroavaisuuksia datakeskuksessa, mitkä on hyvä huomioida suunnitteluvaiheessa. Ydinero on virran suunta. Vaihtovirrassa virran suunta muuttuu edestakaisin, Euroopassa 50 kertaa sekunnissa eli 50 hertsin (Hz) taajuudella. Kun taas tasavirralla virta on yhteen suuntaan kulkeva. Laitteet on valittava käytettävän jännitteen mukaan.

Jännitetason muuntaminen AC toteutuksessa tehdään muuntajilla, joita on yleensä useita datakeskuksessa. DC verkossa muuntajia käytetään usein huomattavasti vähemmän. Muuntamisessa syntyy aina jännitehäviöitä, joten tämän takia jännitehäviöt ovat suurempia AC järjestelmissä. Sähkönsyötön osalta AC järjestelmä on UPS laitteilla varmennettu, jossa usein vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi akustoille sopivaksi ja tämän jälkeen takaisin vaihtovirraksi, kun taas DC toteutuksessa käytetään akuilla varustettuja varavoimaloita eikä muuntamista tarvita.

Nykyisin standardi on pääasiassa AC-jänniteelle ja liitännöille, eikä DC järjestelmällä ole yhtenäistä standardia, tämän vuoksi DC-laitteille on tarjolla vähemmän vaihtoehtoja ja ne ovat usein kalliimpia. DC laitteissa huomion arvioista on, että ne ovat yksinkertaisempia ja vaativat vähemmän tilaa kuin AC laitteet, sekä DC järjestelmät ovat modulaarisempia ja niitä voidaan helpommin skaalata akustoilla kuin AC järjestelmissä. DC järjestelmän etuna on myös akustojen käyttöaika, joka on pidempi kuin AC toteutuksessa vaikka UPS:n takana on sama kuorma. Lisäksi AC toteutuksessa kuormitusta voidaan joutua tasapainottamaan kolmivaihejärjestelmässä, toisin kuin tasavirralla. Tasavirtajärjestelmän etuna on myös aurinkopaneelien tai polttokennojen suora liitettävyyys järjestelmään ilman invertterejä (Sunbird, 2021).

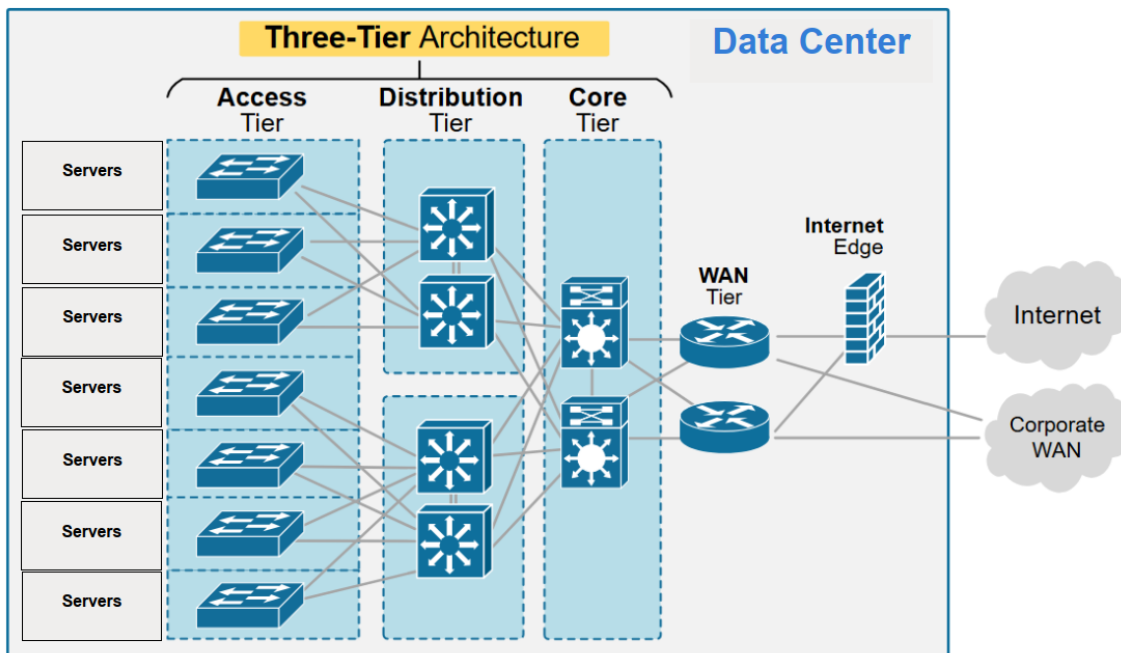
Yleensä datakeskuksissa AC (vaihtovirta) on sähköverkon ja datakeskuksen pääjakelun käyttämä virta, kun taas DC (tasavirta) on akustojen ja IT-laitteiden käyttämä virta, jota UPS-järjestelmä muuntaa AC- ja DC-muotojen välillä.

3.2 IT-järjestelmät

Datakeskuksessa tietoverkkojärjestelmän rakenne on keskeinen asia tiedonsiirron nopeuden, luotettavuuden, turvallisuuden ja laajentamisen kannalta. Näiden ehtojen mukaan valitaan sopiva verkon rakenne datakeskukseen. Verkon rakenne määrittelee datakeskuksen sisäisen verkon, eli palvelimien ja ulkomaailman verkon välisen yhteyden (DataCenter Knowledge, 2025).

3.2.1 Verkkotopologia

Kolmitasoinen verkkotopologia on perinteinen ja useimmin käytetty rakenne (ks. kuva 17). Tätä käytetään kun datakeskuksessa ei ole tarkoituksena tehdä usein muutoksia kytkentä- ja reititysominaisuuksiin. Lisäksi verkkoliikennemäärät ovat suositeltavaa olla ennakoituja ja yhdenmukaisia. Kolmitasoisessa topologiassa reitittimet ja kytkimet ovat usein arvokkaita, sillä tässä yhteen kytkimeen kytketään useampia palvelintelineitä, joten tiedonsiirtokapasiteetti on oltava suuri.



Kuva 16. Kolmitasoinen verkon rakenne datakeskuksessa (Network Academy, 2025).

Suojatuin taso, eli käyttöoikeustaso (Access Tier) on suoraan yhteydessä käyttäjän laitteisiin. Seuraavassa, jakelutasossa (Distribution Tier) verkko toimii välittäjänä kokoamalla tietoliikennettä käyttöoikeuskytkimistä ja valvomalla reitityksen ja tietoturvan hallintakäytäntöjä. Viimeisessä, ydintasossa (Core Tier) varmistetaan nopea ja luotettava yhteen liittäminen sisäisen ja ulkoisten verkon välillä. Tietoverkkotasojen määrä riippuu datakeskuksen koosta ja asiakkaiden tarpeista (DataCenter Knowledge, 2025).

Toinen tyypillisistä rakenteista on Data Center Knowledge 2025, mukaan palvelintelinekohtainen (Top-of-rack) verkkotopologia, jossa jokaisella telineellä on omat verkkokytkimet. Tämä rakenne soveltuu datakeskuksille, joissa tehdään usein muutoksia sekä tietoliikennemäärät vaihtelevat. Omien verkkokytkimien ansiosta kapasiteetin lisääminen on nopeaa ja kustannustehokasta, mutta haittapuolena tässä rakenteessa on huoltotarpeen lisääntyminen, koska laitteita on enemmän.

Kolmas tyyppi on kytkinverkko (Switched Fabric) topologia, joka on kuten kolmitaso- ja palvelintelinekohtainen verkko yhdistettynä. Kytkinverkossa periaatteena on kytkimien

suuri määrä. Tällöin kytkimet eivät ole osoitettu tietyille palvelintelineille, vaan niitä voidaan siirrellä kytkimeltä toiselle. Tässä voidaan käyttää edullisempia kytkimiä. Haittapuolena kytkinverkossa on monimutkaisuus ja kytkentäverkkojen välisiä linkkejä joudutaan usein uudelleen järjestelemään.

3.2.2 Palvelinteline

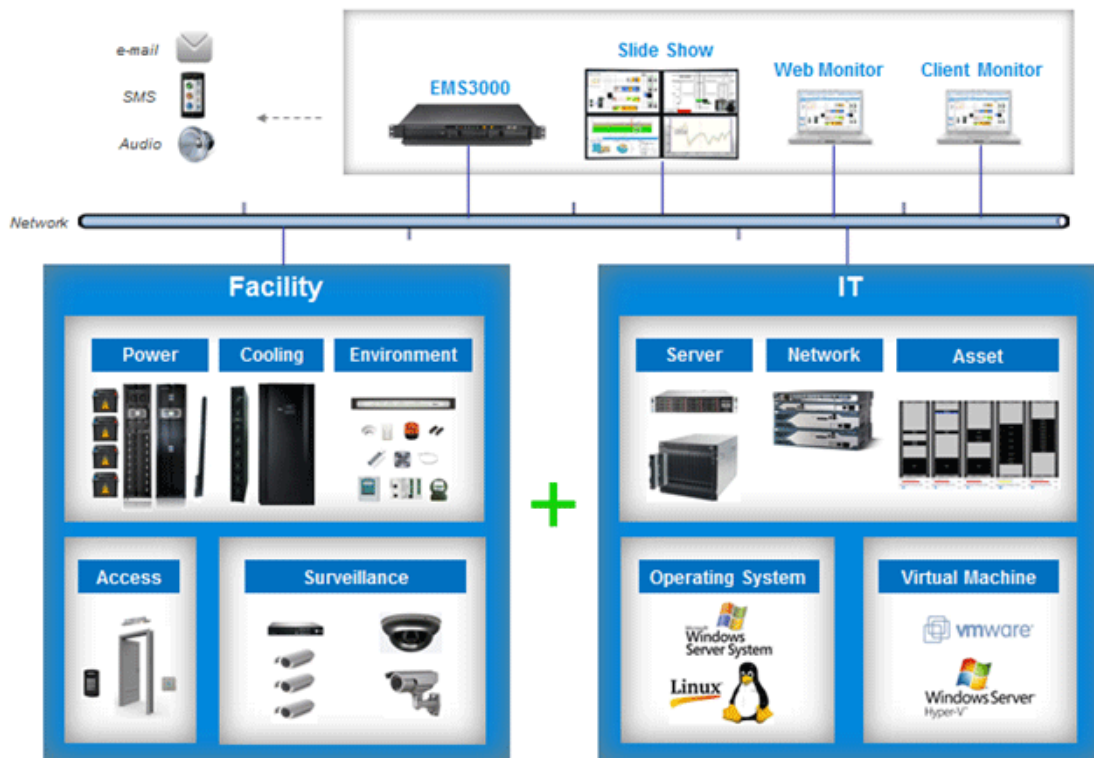
Datakeskuksen ydin on palvelintelineet, jotka ovat toisin sanottuna viimeinen määränpää datakeskuksen sähköjakeluverkostossa. Palvelinteline tai puhekielessä useimmin käytetty sana räkki (Rack) on kaappi, jossa IT-laitteet sijaitsevat. Telineet ovat modulaarisia, joissa IT-laitteita on useita ja virran kulutus voi heitellä suurestikin. Telineet voivat olla eri kokoisia, avoimia tai suljettuja. Avoimessa ratkaisussa etuna on helppo käytettävyys ja pienempi jäähdytys tarve, mutta kolikon kääntöpuolena ovat turvallisuus ulkopuolisilta tekijöiltä, kuten pölyisyys tai ihmisen aiheuttama häiriö. Suljetussa telineessä tarvitaan vastaavasti tehokkaampaa telinekohtaista jäähdytystä, mutta turvallisuus ja ympäristön haittatekijäriskit pienenevät (Device 42, 2025).

Palvelintelineille voidaan tuoda (Suomessa) 230V tai 400V jännite. Energiatehokkaampi ratkaisu on tuoda 400V jännite, sillä jännitteen alenema ja kaapelointi RPP- tai UPS-yksiköiltä välillä jää vähäisemmäksi. Kaapeli 400V jännitteellä liitetään telineessä omaan rPDU-yksikköön (Rack PDU). RPDU virta-arvot ovat 10–120 ampeeria (A) ja se voi muuntaa jännitetason telineessä 230 volttiin (Device42, 2025). IT-laitteiden valmistajat ovat halukkaita myymään laitteita globaalisti, jonka vuoksi Raritan (2025) mukaan lähes kaikki laitteet on suunniteltu virtalähteillä, jotka säätävät automaattisesti aina 240 V jännitteeseen asti. Pohjois-Amerikassa 1-vaiheinen jännitetaso on 120V, Japanissa 100V, Australiassa 240V ja Euroopassa 230V. Palvelintelineen laitteet kuluttavat tyypillisesti 200-300W ja perinteisen telineen kokonaiskulutus voi olla 4-15kW luokkaa (Raritan, 2025).

3.2.3 Automaatio

Nykyiset datakeskukset ovat monimutkaisia ja hajautettuja sekä niiden hallinta käsin on hidasta, työlästä ja altista virheille. Tämä voi aiheuttaa viiveitä palveluiden käyttöönotossa ja kalliita katkoksia, jonka vuoksi alan toimijat siirtyvät malliin, jossa automaatio toteutetaan järjestelmien integroinnin avulla. Datakeskusten automatisointi on prosessi, jossa datakeskusten toiminnan rutiinitehtävät suoritetaan lähes täysin ilman manuaalista työtä, kuten uusien laitteiden käyttöönotto, auditointi, valvonta ja automatisointi (Sunbird, 2025).

Käyttämällä DCIM-ohjelmistoja (DCIM, Data Center Infrastructure Management) tiedot siirtyvät automaattisesti oikeisiin järjestelmiin (Sunbird, 2025). DCIM on kokonaisuus, johon liitetään kiinteistön ja sähkönjakelun valvonta- ja hallintajärjestelmiä, BMS (Building management system, PMS (Power Management system) tai EMS (Energy Management System). Nämä eri järjestelmät liitetään DCIM- järjestelmään, jonka kautta valvonta ja ohjaukset voidaan keskitetysti toteuttaa (ks. kuva 16) (Graphical networks, 2022).



Kuva 17. DCIM-järjestelmään liitettävyyden datakeskuksessa (Delta Power Solutions, 2024).

DCIM-järjestelmien työkaluiksi luokitellaan siihen liitetyt laitteet, jotka valvovat, mittaavat, hallitsevat ja ohjaavat datakeskuksen käyttöä ja energiankulutusta. Näiden avulla saadaan reaaliaikaista tietoa, jota voidaan hyödyntää ennakoinnissa, häiriöiden havainnoinnissa, resurssien käytettävyydessä.

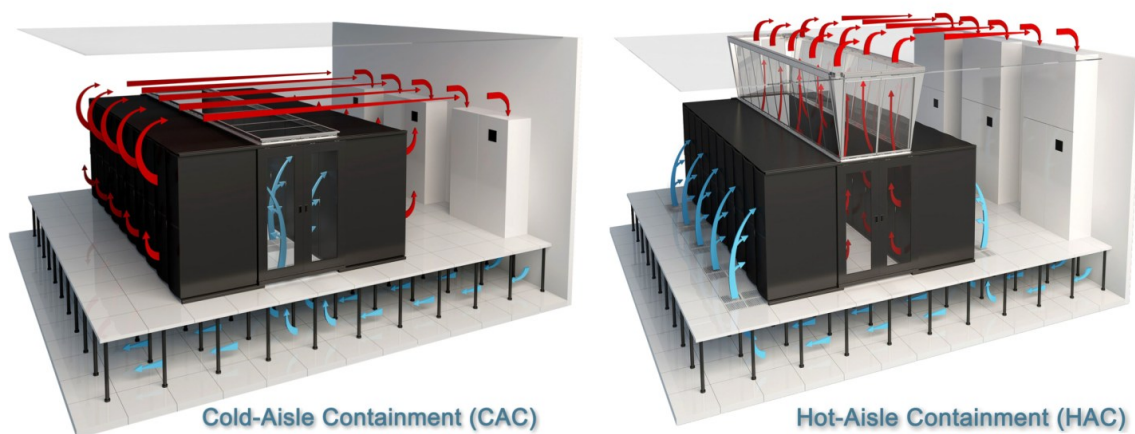
3.3 Muut järjestelmät

Datakeskuksissa muita kriittisiä järjestelmiä ovat esimerkiksi jäähdytys, palonhallinta ja turvajärjestelmät. Nämä ovat kriittisiä datakeskuksen toiminnalle ja yksityisyydelle. Tässä luvussa käydään näiden järjestelmien avain-asioita ja toteuttamisperiaatetta.

3.3.1 Jäähdytys

Jokainen sähköllä toimiva IT-laite muuntaa lähes kaiken saamansa energian lämmöksi, joka täytyy poistaa, jotta laitteen käyttöikä ja toimintavarmuus säilyisivät. Lämmön poistaminen tapahtuu erilaisilla jäähdytysratkaisuilla, jotka valitaan sen mukaan, kuinka paljon lämpötehoa yksittäisen palvelintelineen laitteet tuottavat. Nykyiset konesalit käsittelevät usein jopa 10–40 kW kuormia tai enemmän, mikä vaatii tarkkaa ja tehokasta lämmönhallintaa (Device42, DC Racks, 2025). Datakeskuksen koosta ja käyttötarkoituksesta riippuen, voidaan käyttää erilaisia jäähdytysmenetelmiä.

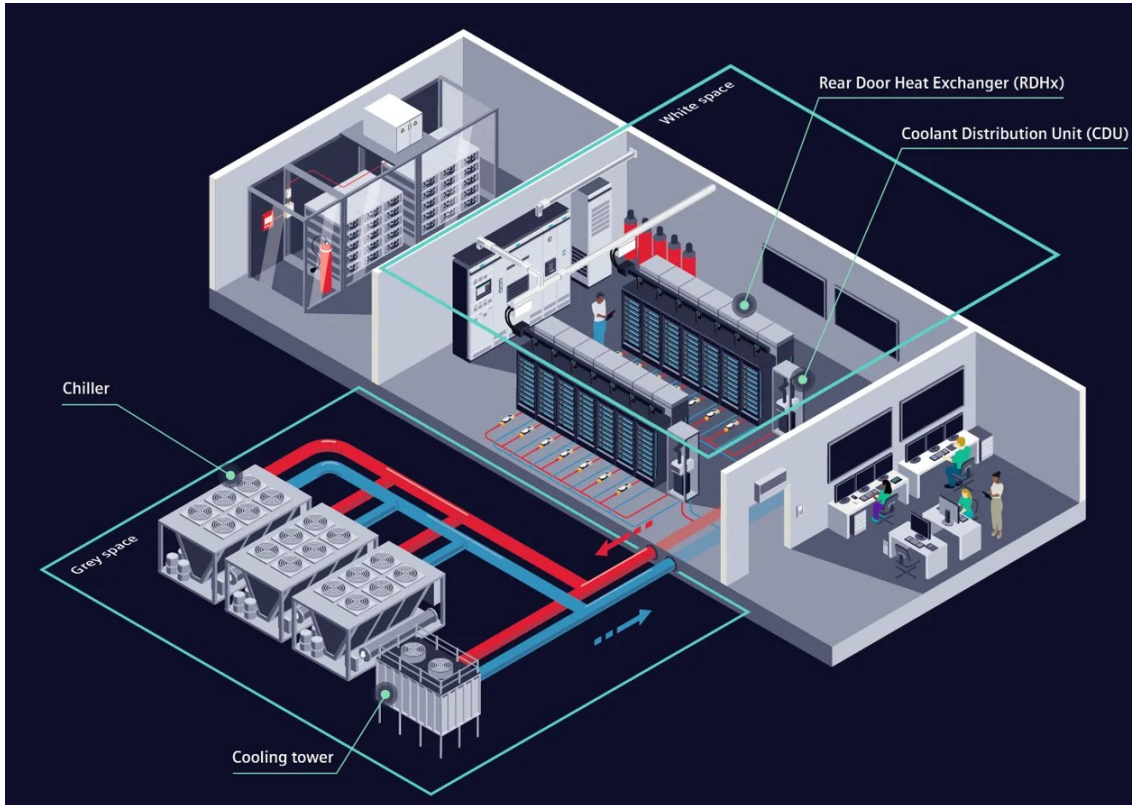
Perinteisin menetelmä on ilmajäähdytys, jossa käytetään ilmastointia, tuulettimia ja tuuletusaukkoja ilman kierrättämiseen, IT-laitteiden sekä kaapeleiden tuottaman kuumen ilman poistamiseen. Ilmajäähdytystä suositellaan Digital Realtyn (2025) mukaan käytettäväksi vähemmän tehoa käyttäviin datakeskuksiin. Näissä jäähdytystä käytetään tyyppillisesti alle 20kW teholla telinettä kohden. Ilmajäähdytystä voidaan kierrättää eri tavoin, jossa viileä tai lämmin ilma johdetaan eristetyn tilan kautta telineille tai ulos (ks. kuva 18).



Kuva 18. Ilmajäähdytys periaate datakeskuksessa (Bluewave Network Technologies, 2025).

Enemmän tehoa vaativimmille palvelimille voidaan käyttää nestejäähdytystä, jossa usein suurelta jäähdytyskoneelta jäähdytysnestettä kierrätetään jäähdytysputkistoverkostossa

jäähdytysjakajayksikölle (CDU, Cooling Distribution Unit) ja aina edelleen palvelintelineiden lämmönvaihtimille (ks. kuva 19).



Kuva 19. Nestejäähdytys periaate datakeskuksessa (Siemens Liquid Cooling Solutions, 2025).

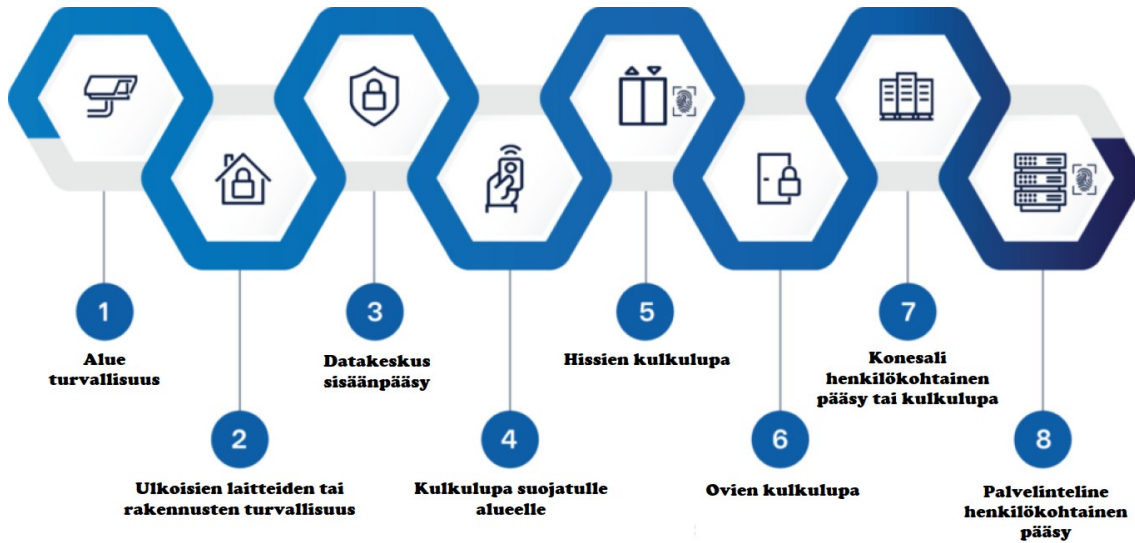
Suuritehoisimpiin ja tiheimpiin laitekoonpanoihin voidaan käyttää upotusjäähdytystekniikkaa, jossa IT-laitteet upotetaan suoraan sähköä johtamattomaan nesteeseen. Neste siirtää lämpöä pois komponenteista ja näin laitteet pysyvät tehokkaasti viileinä. Suurin etu tässä tekniikassa on, että se voidaan lisätä konesaleihin, jotka on suunniteltu matalalle tai keskiraskaalle jäähdytysteholle.

Hybridi-jäähdytys yhdistää useita eri jäähdytystekniikoita, jotta lämpötilanhallinta voidaan optimoida IT-laitteiden tarpeiden mukaan. Esimerkiksi konesalissa voidaan käyttää perinteistä ilmastointia yhdessä takaluukun lämmönvaihtimien kanssa. Lämmönvaihtimet asennetaan suoraan palvelinrakkien taakse ja ne imevät itseensä palvelimista poistuvan lämmön. Tällöin ympäröivä ilma huolehtii yleisestä

jäähdytyksestä ja telineen takaluukun lämmönvaihdin poistaa tehokkaasti tiheiden, paljon lämpöä tuottavien laitteiden ylijäämälämmön nesteen avulla. Tällainen yhdistelmästrategia parantaa energiatehokkuutta ja kohdennettua jäähdytystä sekä lisää toimintajoustavuutta. Hybridiratkaisu vastaa nykyisiin jäähdytysaasteisiin ja skaalautuu tulevaisuuden suorituskykytarpeisiin (Digital Realty, 2025).

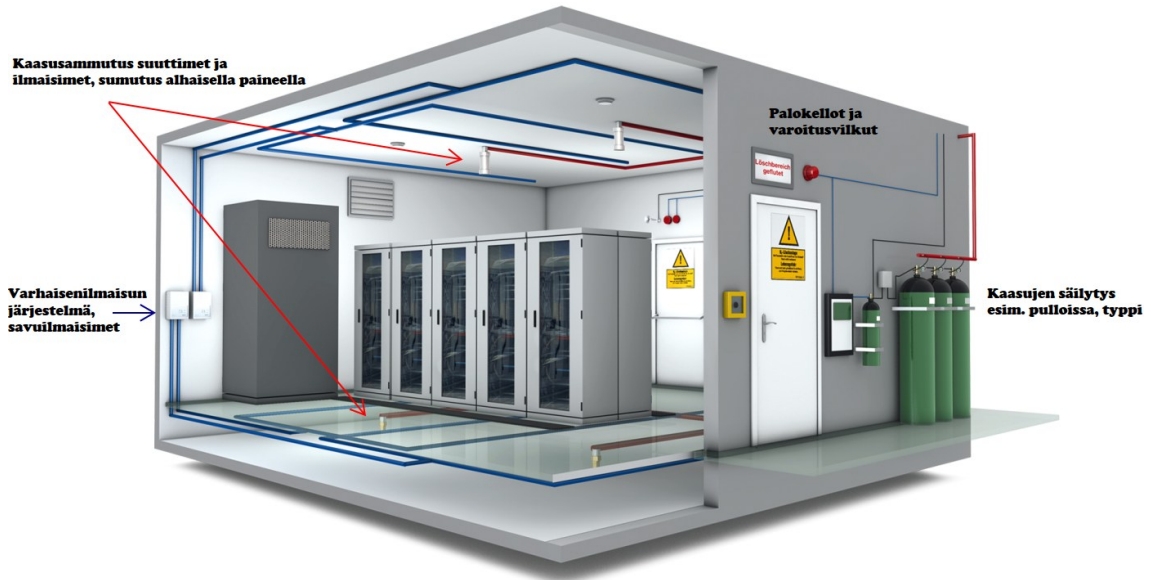
3.3.2 Turva- ja palonhallintajärjestelmä

Datakeskuksille kriittistä ovat turva- ja palojärjestelmät. Turvajärjestelmät voidaan jakaa fyysiseen ja kyber- turvallisuusjärjestelmiin. Fyysinen turvallisuus perustuu kerroksittain rakennettuun malliin, jossa jokainen taso suojaa erilaisilta uhilta (ks. kuva 20). Ympäristötason turva keskittyy datakeskuksen ulkorajan suojaamiseen, joka toteutetaan fyysisillä esteillä, valvotuilla kulkureiteillä, turvallisuushenkilöstöllä ja kehittyneillä skannereilla. Datakeskusrakennuksen turvajärjestelmät perustuvat lukittuihin tiloihin, joihin on rajattu tai henkilökohtainen pääsy. Tätä voidaan valvoa metallinilmaisin- ja punnitsemislaitteilla, biometrisillä skannereilla, kulkukorteilla ja avaimilla. Tavoitteena on estää luvattomien pääsy tiloihin sekä havaita haitalliset tai luvattomat esineet. Kyber- turvallisuudessa suojataan digitaalista sisältöä verkon kautta tulevilta uhilta (SpaceDC, 2021).



Kuva 20. Datakeskuksen turvallisuus asteet (mukaillen SpaceDC, 2021).

Datakeskuksissa on tiukat palontorjuntavaatimukset, sillä paloriskit ovat suuret elektroniikkakomponenttien, kaapelointien tiheyden ja lämpenemisen vuoksi. Usein käytetään varhaisen havaitsemisen järjestelmiä, kuten savu- tai lämpöilmaisu, yhdistettynä kaasusammutus- ja aktiiviseen palontorjuntajärjestelmään (ks. kuva 21). Kaasusammutusjärjestelmässä käytetään inerttejä kaasuja esim. tyyppiä tai hiilidioksidia, jotka eivät muodosta kemiallisia yhdisteitä. Tämä takaa jäämättöisen ja rikkoutumattoman sammutuksen sekä se on turvallista myös ihmiselle. Vesipohjaisia järjestelmiä ei voida käyttää, sillä se vahingoittaisi sähkö- ja elektroniikkakomponentteja (Wagner, 2025).



Kuva 21. Palontorjuntajärjestelmä datakeskuksessa (Wagner, 2025).

Wagnerin (2025) mukaan on myös järjestelmiä, joilla voidaan sammutuksen jälkeen estää palon uudelleensyttyminen ylläpitämällä matalaa happipitoisuutta pitkään. Tämä poistaa tarpeen katkaista sähköjä. Järjestelmä tuottaa typpeä ympäröivästä ilmasta ja johtaa sen suojattuun tilaan, missä hapen määrä pidetään jatkuvasti paloa estävällä tasolla. Noin 15,9 % happipitoisuus on IT-laite materiaalien syttymisrajan alapuolella, mikä ehkäisee palojen kehittymisen.

4 Sähkönjakelu

Sähkönjakeluinfrastruktuuri on suuri investointi datakeskusta rakentaessa, minkä odotettu elinikä on minimissään 10 vuotta. Vertailuna, IT-laitteiden eliniän odotetaan olevan noin 2–3 vuotta. Kun IT-laitteita vaihdetaan uusiin, ovat ne myös teknisesti kehittyneempiä ja sähkönjakeluinfrastruktuurin on pystyttävä vastaamaan tähän vuosienkin päästä. Näiden seikkojen vuoksi sähkönjakeluinfrastruktuuri on oltava helposti muunneltava ja kapasiteetti mitoitettu tulevaisuutta ajatellen (Vertiv, s. 2, 2023).

4.1 Sähköverkkoliittymä

Suomessa datakeskus liitetään usein 10 kV tai 20 kV keskijänniteverkkoon sekä isoimmat 110 kV suurjänniteverkkoon. Jännitetaso halutaan pitää korkeana, jotta virrat pysyvät maltillisena ja jännitehäviöitä syntyy mahdollisimman vähän. Tehdään jännitetason muutoksesta esimerkkilaskelma, jossa käytetään yhtä syöttöä, kuorman oletetaan olevan vakio sekä tehokeroin oletetaan olevan 1,0. Valitaan datakeskuksen tehoksi 15 MW. Laskenta aloitetaan laskemalla ensin nimellisvirta 11 kV verkossa, jonka saamme muokkaamalla pätötehon kaavaa:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (2)$$

Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$\frac{15\,000\,000\text{ W}}{\sqrt{3} \times 11\,000\text{ V} \times \cos(1)} = 787,3\text{ A}$$

Nimellisvirran arvoksi saamme noin 787 A. Seuraavaksi toistetaan laskelma 20kV jännitteellä:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (3)$$

Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$\frac{15\,000\,000\text{ W}}{\sqrt{3} \times 20\,000\text{ V} \times \cos(1)} = 433,0\text{ A}$$

20 kV jännitteellä nimellisvirran arvoksi saadaan noin 433 A. Tämä tarkoittaa noin 45 % pienempää virtaa suuremmalla jännitteellä. Pienempien virtojen vuoksi kaapelointi voidaan toteuttaa pienemmillä kaapeleilla, mikä on kustannustehokkaampaa. Johtimissa jännitteenalenema on myös pienempi suurella jännitetasolla. Jännitteenaleneman laskentakaava on määritetty SFS käsikirjan 6000-5-52 liitteessä 52G (2022), joka lasketaan alla olevalla kaavalla 4. Laskelmassa käytetään Prysmian Groupin XMK 1x300 mm² kuparikaapelia ja kaapelin pituutena käytetään 20 m.

$$\Delta U = b \left(p_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_b \quad (4)$$

Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$1 \times \left(0,0225\Omega \times \frac{20\text{m}}{300\text{mm}^2} \times \cos 0,8 + 0,08\text{m}\Omega/\text{m} \times 20\text{m} \times \sin 0,6 \right) \times 787 = 38,7\text{V}$$

missä:

ΔU	On absoluuttinen jännitteenalenema (V).
b	On kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille piireille.
p_1	On johdinmateriaalin resistiivisyys normaalikäytössä ja 20 °C käyttölämpötilassa. Kuparilla 0,0225 Ωmm ² /m ja alumiinilla 0,036 Ωmm ² /m.
L	On johtojärjestelmän pituus (m).
S	On johtimen poikkipinta-ala (mm ²).
$\cos \varphi$	On tehokerroin. Jos tehokertoimen tarkkoja arvoja ei ole saatavilla, sen oletetaan olevan 0,8 (oletusarvo on 0,6).

λ On johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden. Jos ei ole tiedossa tarkkoja arvoja, reaktanssin oletetaan olevan 0,08 mΩ/m.

I_b On suunniteltu virta (A).

11 kV jännitteellä jännitteen alenema on noin 38,7V. Lasketaan seuraavaksi jännitteenalenema 20 kV jännitteellä:

$$\Delta U = b \left(p_1 \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_b \quad (5)$$

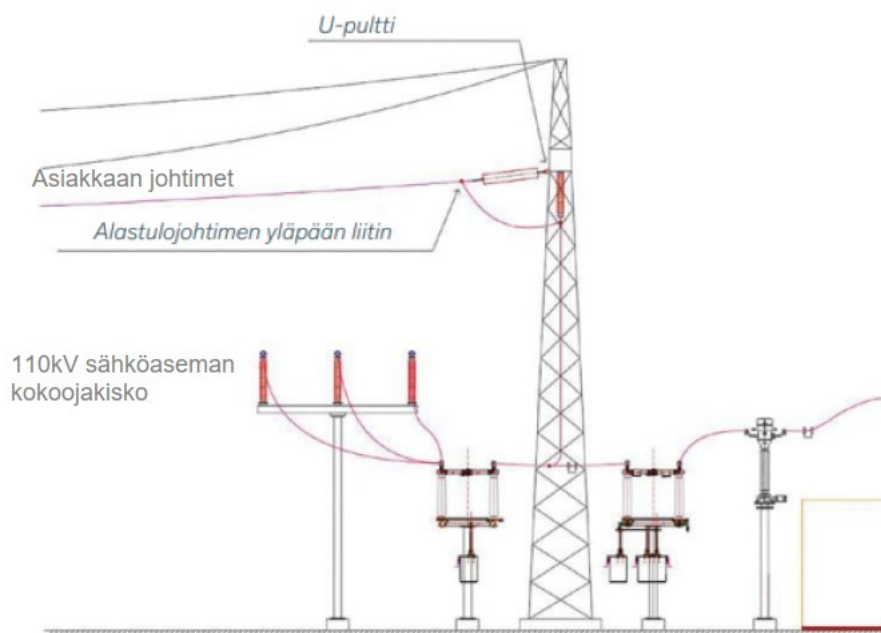
Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$1 \times \left(0,0225 \Omega \times \frac{20m}{300mm^2} \times \cos 0,8 + 0,08m\Omega/m \times 20m \times \sin 0,6 \right) \times 433 = 21,3V$$

Laskelman perusteella voidaan todeta myös jännitteenaleneman olevan noin 45 % pienempi 20 kV jännitteellä kuin 11 kV. Korkean jännitetasen pitäminen on tämän vuoksi hyvä ratkaisu datakeskuksissa, jossa sähköverkon laatu on kriittistä.

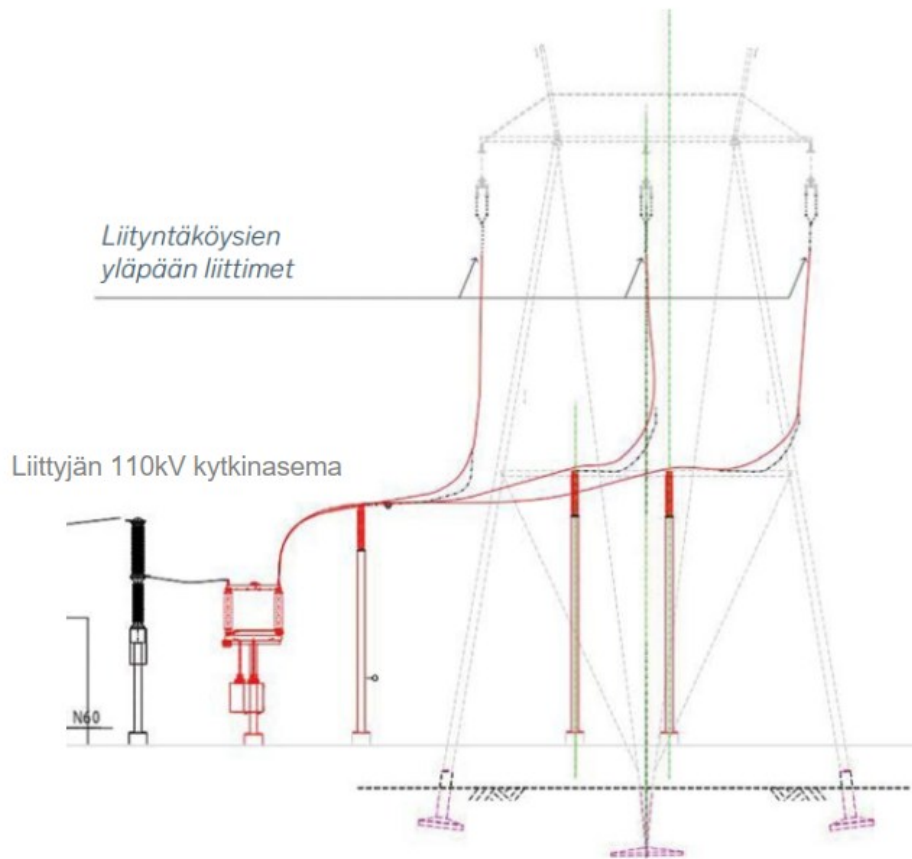
4.2 Suurjänniteliittyminen

Suurjänniteliittyminen rakennetaan Carunan (2025) mukaan kun tehontarve ylittää 15 MVA. Liittäminen suurjänniteliittymään voidaan toteuttaa kahdella tavalla, kytkinlaitos- tai voimajohtoliitännällä. Kytkinlaitosliitännällä tarkoitetaan liittyjän kaapelin liittämistä verkonhaltijan 110 kV kytkinlaitokseen (ks. kuva 37). Liittyjä vastaa avo- tai maakaapelin rakentamisesta kytkinlaitoksen ja liittyjän 110kV kytkinaseman välille. Kaapelointi sähköasema-alueella tehdään liittyjän ja verkonhaltijan yhteistyönä, jossa liittyjän kaapelit kytketään verkonhaltijan omassa kytkinkentässä. Liitäntä voidaan tehdä avo- tai kaasueristeiseen kytkinlaitokseen, jossa omistus- ja hallintarajana on kaapelipäätteet liitäntäpisteessä ja U-pultit. Verkonhaltijan ja liittyjän maadoitusjohtimet tulee yhdistää vähintään 70 mm² kupariköydellä avattavalla maadoitusliittimellä (Caruna Ohje, s.3–6, 2025).



Kuva 22. 110 kV verkonhaltijan kytkinasemaan liityntä (Fingrid liittyjänopas, 2022).

Voimajohtoliitynnällä tarkoitetaan liittymistä suoraan verkonhaltijan voimajohtoon, jossa hallintarajana toimii liityntäköysien yläpään liittimet, jotka omistaa liittyjä (ks. kuva 38). Liityntä on oltava irti kytkettävissä kauko-ohjattavalla katkaisijalla ja liityntäpisteen erotin on varustettava oikosulkukestoisella maadoituskytkimellä. Jos verkonhaltijan voimajohtoissa on 2 johdinta vaihetta kohden, täytyy liityntä tehdä molempiin osajohtimiin. Maadoitus hoidetaan vähintään kahdella erillisellä 50 mm² kuparijohtimella KJ-pylvään maadoituspisteisiin ja liittyjän aseman maadoitusruudun välillä. Tarkat liittymän vaatimukset on aina varmistettava sähköverkkoyhtiön ohjeista (Caruna Ohje, s.3–6, 2025).



Kuva 23. 110 kV voimajohtoliityntä (Fingrid liittyjänopas, 2022).

Liittyjän kytkinlaitoksessa jännite muutetaan 110 kilovoltista 20 kilovolttiin jännite- virta- ja tehomuuntajan avulla, josta eteenpäin keskijännitekaapeloinnilla kojeistolle ja 20 kV jakelumuuntajille.

Liittyjän suurjännitelaitteiston ja suojauksen tulee täyttää verkonhaltijan antamat vaatimukset. Kaikissa 110kV kantaverkon uusissa toteutuksissa käytetään kahdennettua suojausta (Fingrid relesuojaus, 2024). Pääsuoja, vähintään kaksiportainen suuntaamaton ylivirtasuoja sekä vähintään kaksiportainen suuntaamaton nollavirtasuoja. Lisäksi 25 MVA:n ja sitä suuremmilla muuntajilla vaaditaan differentiaalisuoja, joka voi sisältyä pääsuojaan. Pääsuojausten lisäksi on oltava varasuoja. Tämä sisältää vähintään kaksiportaisen suuntaamaton ylivirtasuojan (vakio- ja käänteisaika), sekä vähintään kaksiportaisen suuntaamaton nollavirtasuojan (vakioaika) (Caruna Ohje, s.7–8, 2025).

Muita vaadittuja suojauksia ovat liittymän jännitesuojaus, jolla varaudutaan esim. voimantuotannon aiheuttamiin jännitepoikkeamiin. 110 kV nollajännitesuojaus, mikäli muuntajan taakse liittyy yksittäinen yli 1 MW:n tuotantolaitos tai tuotanto ylittää 50 prosenttia kulutuksesta. Myös muuntajan lämpötilasuojat tai kaasurele, asiakkaan alajännitepuolen jännitteen- ja loistehonsäätö, ja lisäksi myös alitaajuussuojaus. Jos liittyjä tuottaa yli sallitun määrän loistehoa, on se kompensoitava liittyjän toimesta (Caruna Ohje, s.7–8, 2025). Tässä diplomityössä ei oteta kantaa 110 kV sähköaseman rakentamiseen.

4.3 Keskijänniteliittymä

Keskijänniteliittymässä asiakkaan laitteistolla tarkoitetaan liittyjän omistamaa liittymisjohtoa ja keskijänniteasemaa, joiden avulla liitytään sähkön käyttäjäksi tai tuotanto liitetään jakeluverkkoon. Alle 5–7 MVA:n keskijänniteasema sijaitsee usein erillisessä kopissa tai rakennuksen sisällä liittyjän kiinteistössä eli muuntamossa, kun taas tätä suuremmat voidaan liittää suoraan sähköasemalla 20kV kojeistoon. Liittyjä vastaa liittymisjohdon, laitteiston ja sen jälkeisen sähkönjakelun suunnittelusta, hankinnasta ja rakentamisesta. Sähköverkkoyhtiölle esitetään laitteistojen ja kaapelien tekniset tiedot, joiden on oltava standardin mukaisia.

Muuntamon kaapelointi jakautuu kahteen osaan: ennen muuntajaa oleva keskijänniteverkon kaapelointi (20 kV) ja muuntajan jälkeinen pienjänniteverkon kaapelointi (400 V). Keskijänniteverkon puolella sijaitsee liittyjän kojeisto, joka on useista kenoista koostuva kokonaisuus. Liittyjän tontilla kulkevat keskijännitekaapelit on suojattava maa-asennuksessa keltaisella suojaputkella ja asennettava vähintään 70 cm syvyyteen. Sisätiloissa, muualla kuin muuntamossa kulkevat kaapelit on toteutettava palosuojatulla reitillä (Caruna, 2024).

Liittymän maadoitukset liitetään lähtökohtaisesti jakeluverkon maadoitusjärjestelmään, sekä lisäksi liittyjän on lisäksi vastattava oman laitteistonsa maadoituksesta. Helenin

(2025) ohjeistuksen mukaan muuntamossa keski- ja pienjännitepuolelle rakennetaan omat maadoituskiskot ja ne liitetään toisiinsa. Muuntamossa liitetään myös maahan upotettu maadoituselektrodi, jonka on täytettävä maadoitusresistanssivaatimus.

4.3.1 Kojeisto

Datakeskukset liitetään rengasverkkoon, jolloin sähkön saanti varmennetaan kahdesta suunnasta sähköverkossa. Kojeistossa sähköverkkoyhtiön kennoissa liitetään rengasverkko ja liittäjän kaapelit, jossa rengasverkko voidaan erottaa omilla, usein moottoroiduilla 24VDC katkaisijoillaan (ks. Kuva 22). Moottoroidut katkaisijat liitetään akustolla ja etäkäyttömahdollisuudella varmennettuun apusähköjärjestelmään. Sähköyhtiö määrittää myös muuntamoautomaation toteutuksesta, jolla saadaan tilatietoja erottimilta ja katkaisijoilta, nämä kytketään kojeistossa sähköyhtiön kennossa riviliittimiin. Apusähköjärjestelmän akustolla varmistetaan sähkökatkon sattuessa releiden ja katkaisijoiden toiminta (Caruna, 2024).

Kojeiston kennojen välinen yhdistäminen toteutetaan pulttaamalla kennot kiinni toisiinsa ja sähkönsiirto hoidetaan kaapeleilla tai virtakiskoilla. Kojeistojen asennusohjeet saadaan aina kojeiston toimittajalta. Kojeistot varustetaan useimmiten kiinteillä maadoituserottimilla työnaikaista suojamaadoitusta varten. Aina kun kojeistossa tehdään kytkentöjä, on varmistettava sähköverkon puolella olevan erottimen asento, joka on oltava auki, sekä maadoituserotin, joka on oltava kiinni.

4.3.2 Suoja- ja mittalaitteet

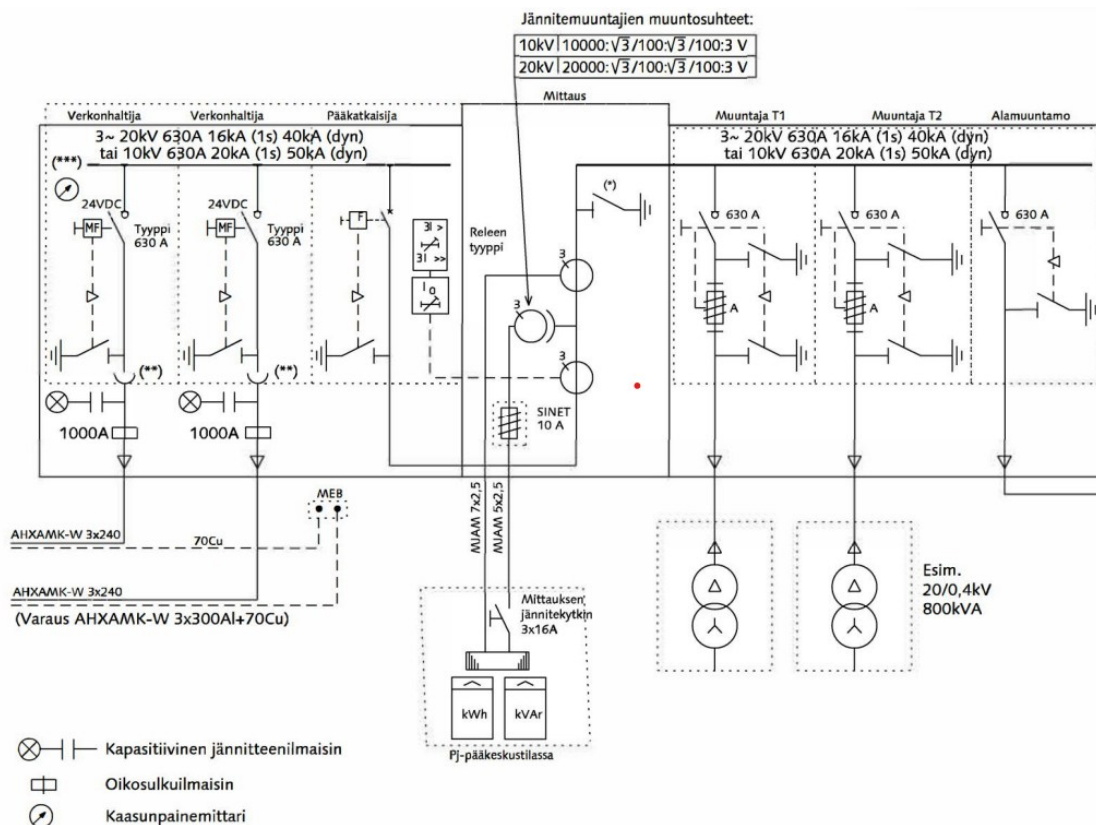
Liittäjän liittymiskojeiston pääkytkinlaitteena tulee Carunan (2024) mukaan olla ensisijaisesti suojareleohjattu katkaisija, joka sijaitsee liittymisjohdon tai sitä seuraavassa kojeiston kennossa. Tämän on täytettävä sähköverkkoyhtiön vaatimukset ja pystyttävä katkaisemaan kaikki laitteistossa ja sen jälkeisessä infrastruktuurissa olevat virrat. Suojarelekatkaisijan on Helenin (2025) mukaan asetettava verkkoyhtiön vaatimusten

mukaisesti. Helen sähköverkolla enimmäisarvot pääsuojarelekatkaisijalle ovat alla olevan taulukon 1 mukaiset.

Taulukko 1. Pääsuojareleen asetteluarvot Helen sähköverkko (Helen, 2025).

Nimellisjännite (kV)	20 kV	10 kV
Hidastettu laukaisu	750 A	1000 A
Pikalaukaisu	1800 A	2600 A
Suojauksen toiminta-aika (s)	Hidastettu laukaisu 0,4 s Pikalaukaisu 0,1 s	Hidastettu laukaisu 0,4 s Pikalaukaisu 0,1 s

Pääkytkinlaitteena voi olla myös varokekuormaerotin ehdoilla, että on yksi enintään 1000kVA muuntaja sekä pääsuoja enintään 40A. Katkaisijan ja muuntajien arvot esitetään useimmiten kojeiston pääkaaviossa (ks. Kuva 22). Alla olevassa pääkaaviossa on esitetty keskijännitekojeiston mitoitusarvoiksi seuraavat: nimellisjännite (U_n) 20kV, liittymiskennon kuormanerotin ja -kiskojen nimellisvirta (I_n) 630 A, terminen oikosulkukestoisuus (kA/s) 16 kA, dynaaminen oikosulkukestoisuus (kA) 40 kA ja verkon taajuus (Hz) 50Hz. Mikäli sähköverkon liittymispisteitä on enemmän kuin yksi, esitetään liittymiskojeistolle usein lisävaatimuksia (Helen, 2025).



Kuva 24. Keskijännitekojeiston pääkaavio esimerkki (Helen, 2025).

Pääkytkinlaitteen jälkeen on liittäjän jännite- ja virranmittauspisteet, joiden perusteella sähköyhtiö esimerkiksi laskuttaa asiakasta ja valvoo verkon toimintaa. Keskijännitemittaukset toteutetaan aina epäsuoralla mittauksella, kolmella jännite- ja virtamuuntajalla. Kojeistoissa jännitemuuntajien tulee sijaita tehon kulkusuunnassa ennen virtamuuntajia. Virtamuuntajia asennettaessa tulee huomioida oikea tehosuunta eli ensiöpuolelta toisiopuolelle (P1-P2). Muuntajia käytetään muuntamaan jännite- ja virtataso sähköverkkoyhtiön mittarille sopivaksi. Esimerkiksi 20kV verkossa yhteenlasketulla muuntajateholla 2600–3500 kVA muuntosuhde on 100A / 5A (Helen, 2025).

Mittausten jälkeen kojeistossa on muuntajien erottimet ja suojalaitteet. Mikäli muuntajia on useampia, tulee muuntajille asentaa muuntajakohtaiset suojalaitteet, esim. varokekuormaerotin tai suojarelekatkaisija. Suojalaitteiden on suositeltavaa toimia selektiivistesti. Mikäli muuntamossa on useita suojarelekatkaisijoita, on edellä olevan

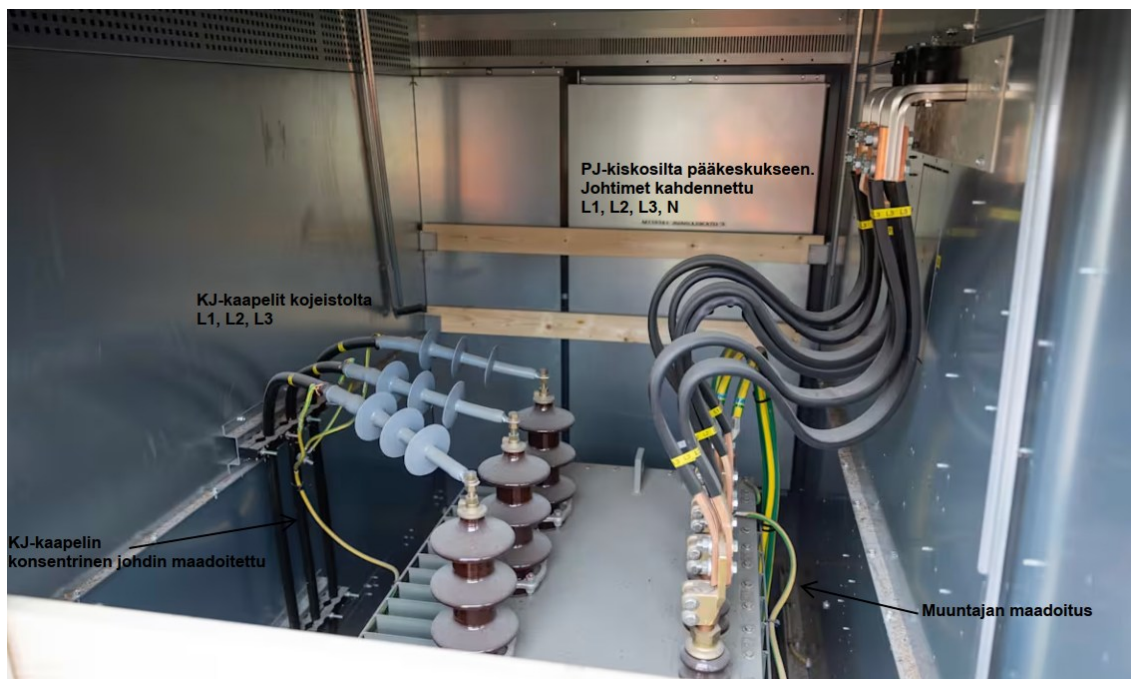
katkaisijan pikalaukaisuporras aseteltava seuraavan katkaisijan ylivirtahavahtumatiedolla. Selektiivisyys voidaan todeta oikosulkusuojiin toimintakäyristä.

Helenin 20 kV sähköverkko on kompensoitu ja 10 kV maasta erotettu. Maasulkusuojaus suositellaan toteutettavaksi laukaisevalla, suunnatulla maasulkusuojualla, mutta se voidaan myös toteuttaa hälyttävänä, jolloin edellytetään kahden tunnin reagointiaikaa. Maasulkusuojaus on pakollinen, jos liittyjällä on alamuuntamo tai vähintään 50 m pitkä keskijännitekaapeli (Helen, 2025). Maasulkusuojaus hoituu useimmiten liittyjän pääsuojareleellä, esim. ABB:n REF615A (ABB REF615, 2017). Kaikkein toimintaharkin ja varmin maasulkusuojaus saadaan suunnatulla maasulkusuojuuksella, kun maasulkureleelle tuodaan nollijännite jännitemittauksen avokolmiokäämistä. Avokolmiokytkennässä eri vaiheiden väliin kolmioon kytkettyjen jännitemuuntajien yksi kulma jätetään avoimeksi.

4.3.3 Muuntaja

Kojeiston ja muuntajan välinen yhteys voidaan toteuttaa kaapeleilla tai kiskosillalla. Kaapelit tai kiskosillat kytketään kojeistossa muuntajan suojalaitteen jälkeen liittimiin ja kaapelien toinen pää muuntajan ensiönapoihin erillisillä kaapelipäätteillä. Pienjännitepuolen kaapelit tai kiskosilta kytketään muuntajan toisionapoihin (ks. kuva 23). Kiskosillalla tehtäessä voidaan hyödyntää esivalmistettuja, valmiiksi koestettuja, mitoitettuja kiskosilloja, joita tarjoavat Suomessa ainakin Norelco, ABB ja kW-set. Muuntajan lämpötilan mittausta liitetään myös usein rakennusautomaatiojärjestelmään.

Kojeiston käyttöönotto tapahtuu vaihe vaiheelta, suunta on pääkatkaisijalta muuntajan suojalaitteille. Ennen kuin aloitetaan sähkön kytkentä liittyjän kuormanerottimelta, sähkönjakeluketjun on oltava valmis kojeistolta muuntajalle ja muuntajalta pääkeskukselle. Ennen sähköistämistä varmistetaan myös, että kaikki kojeiston katkaisijat ovat AUKI-asennossa.

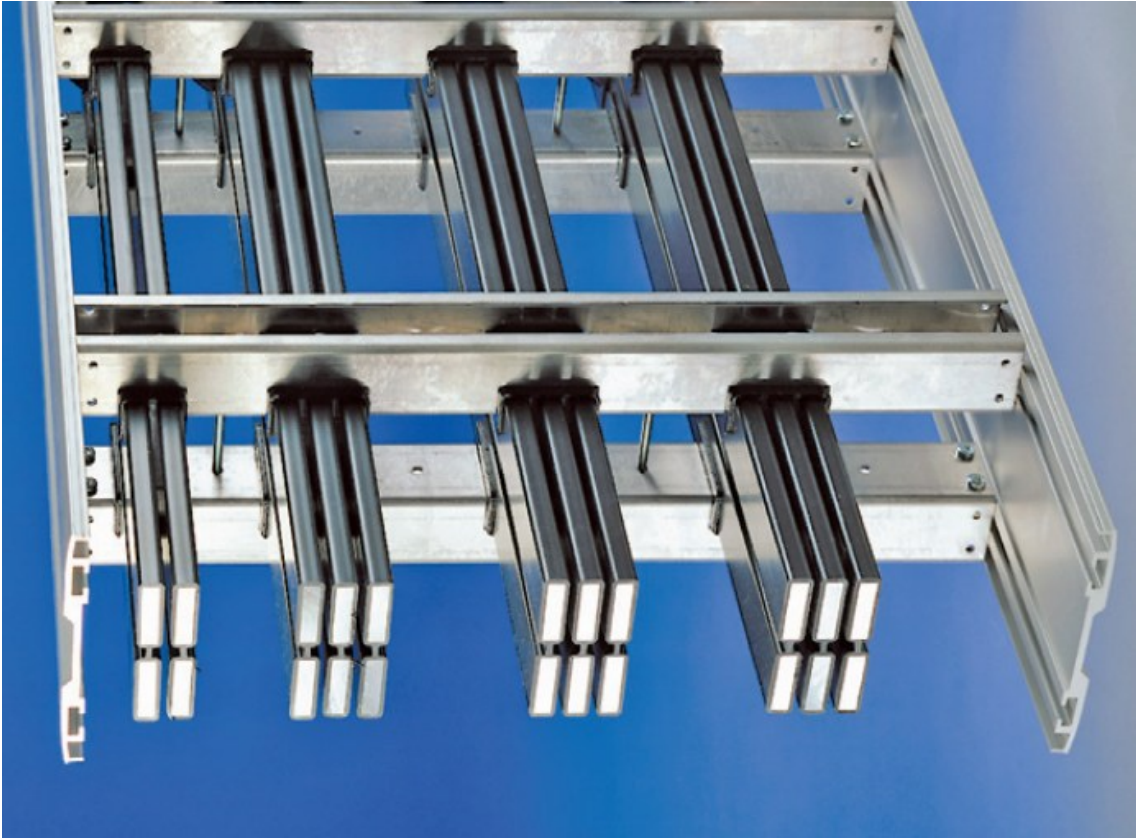


Kuva 25. Esimerkki öljyeristeisen jakelumuuntajan kytkennästä muuntamossa.

Yleisimmin käytettyjä ovat öljyeristeiset- tai kuivamuuntajat, jotka eroavat erityisesti eristysaineen vuoksi. Perinteisesti datakeskuksissa on käytetty öljymuuntajia, mutta nykyään edistyneet kuivamuuntajat ovat myös hyvä vaihtoehto. Kuivamuuntajassa käytetään kiinteää eristysainetta ja öljymuuntajassa öljyä eristeaineena. Kuivamuuntajien etuja ovat kompakti koko, pienet turva-alueet sekä vähäisempi palo- ja öljyvuotoriski. Kuivamuuntajat ovat myös huoltovapaampia kuin öljymuuntajat ja täten laskevat huoltokustannuksia (Eurolaite, 2026).

4.4 Kiskosilta ja jakelukisko

Kiskosilta on lattamainen eristetty alumiini- tai kuparikaapeli. Tyypillisesti kiskosiltoja käytetään muuntajan, pääkeskuksen ja keskusten välisissä siirroissa suurivirtaisessa infrastruktuurissa (kW-set, 2026). Kiskosillassa vaihe- ja nollajohtimia voi olla useita virran määrän mukaan, jotta saadaan kasvatettua johtavan materiaalin neliömäärää. Vaihe- ja nollajohtimet kiinnitetään kiskosillassa omiin kannatuspisteisiin (ks. kuva 24).

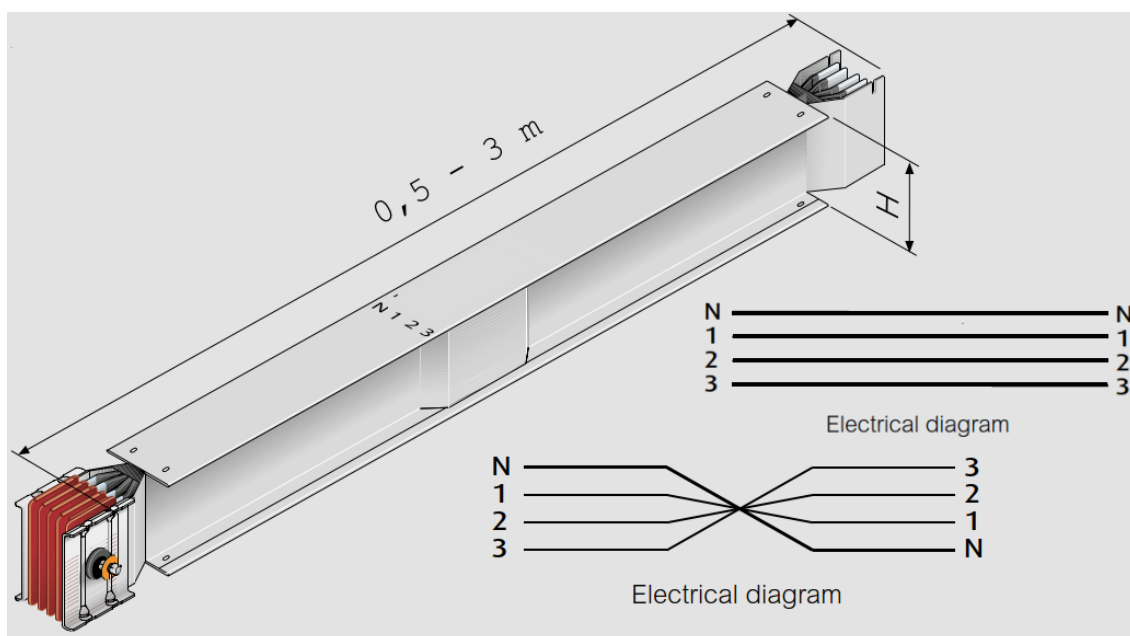


Kuva 26. MDY kiskosiltajärjestelmä, ABB Oy (ABB Oy, 2011).

Kiskostojen etuja ovat pääasiassa kompakti rakenne, joka vähentää kaapelointiin tarvittavaa tilaa. Ne myös kestävät kaapeleita paremmin oikosulkuvirtoja ja lämpökuormitusta. Kiskosilta on usein nopeampi ja siistimpi asennusprosessi perinteiseen kaapelointiin verrattuna, koska perinteisessä kaapeloinnissa joudutaan laittamaan lukumäärällisesti useimmiten enemmän johtimia sekä reitin rakenne perinteisessä kaapeloinnissa on massiivisempi (kW-set, 2026). Haittapuolena kiskosiltaratkaisussa on korkeampi alkuinvestointi sekä useat kiskosiltarakenteet ovat jäykkiä, eikä niitä pysty taivuttamaan helposti tai ne tarvitsevat erillisiä liitântäkomponentteja.

4.4.1 Kiinteärakenteinen kiskosilta

Kiskosiltoja voidaan rakentaa johtimet erikseen asennettuna tai täysin kiinteänä ratkaisuna. Kiinteässä ratkaisussa etu on, että erillistä kaapelihyllyä ei tarvitse tehdä, vaan johtimet toimitetaan valmiiksi koteloituna, jota kannatellaan omasta rakenteestaan (bticino user manual, s. 20–30, 2025). Haittapuolena on, että ne vaativat enemmän suunnittelua ja tarkan mitoituksen. Tässä luvussa käytetään esimerkkinä Legrand:n toimittamaa kiskosiltamallistoa, joka tarjoaa tuotteita erityisesti korkean tehon toteutuksiin, kuten datakeskukset.



Kuva 27. Legrand Zucchini kiskosilta (bticino XCP catalogue, 2025).

Korkeille virroille tarkoitettu Legrand Zucchini XCP -kiskosilta (ks. kuva 25) on hartsieristetty, jonka vuoksi se on kompaktin kokoinen. Toimittajalta löytyy kuormitukseltaan 630A - 6300A soveltuvia kiskosiltoja, joiden oikosulkuvirran kestoisuus on jopa 150 kA. Valmistajan ohjetaulukosta voidaan valita käyttötarkoitukseen sopiva kokoonpano kuormituksen mukaan (ks. kuva 26). Valittavissa on johtimen materiaali sekä kolme eri vaihtoehtoa johtimien määrälle, kiskosillan paino määräytyy materiaalin ja johtimien määrän mukaan. Havainnollistavana esimerkkinä; alumiininen, 630A

kuormitettava 3-vaiheinen kiskosilta painaa 14,5 kg/m, kun taas 5000A kuormitettava 79,7 kg/m. XCP-kiskosilta on tiiveysluokitukseltaan IP55 ja muokattavissa IP65 luokitukseen asti (bticino XCP brochure, s. 18–19, 2025).

Number of internal bars of XCP-S and XCP-HP

Rated current	630A	800A	1000A	1250A	1600A	2000A	2500A	3200A	4000A	5000A	6300A	
XCP-S Aluminium	Single bar configuration						Double bar configuration				*	-
XCP-S Copper	-	Single bar configuration						Double bar configuration				*
XCP-HP Aluminium	Single bar configuration						Double bar configuration				*	-
XCP-HP Copper	-	Single bar configuration						Double bar configuration				*

* Triple bar

Short circuit resistance (kA at 1s)

Type	Ambient temperature	630A	800A	1000A	1250A	1600A	2000A	2500A	3200A	4000A	5000A	6300A
XCP-S Aluminium	35°	25 (*)	25 (*)	36	42	42	50	65	80	100	120	-
XCP-S Copper	35°	-	25	36	42	42	50	65	80	100	120	150
XCP-HP Aluminium	50°	36	36	50	70	70	85	120	120	150	150	-
XCP-HP Copper	55°	-	36	50	70	70	85	120	120	150	150	150

Available in versions: | 3 phases | 3 phases + neutral | 3 phases + neutral + functional earth 100% | 3 phases + double neutral
For each version the casing (steel) acts as PE

Kuva 28. Legrand Zucchini XCP -kiskosiltojen kuormitustaulukko (bticino XCP brochure, s. 19, 2025).

Valittavissa on 0,5–3 m pituisia suoria kiskoja kupari- tai alumiinijohtimilla. Kiskosillan kannatukseen, yhdistämiseen keskuksessa, jatkoksiin, läpivienteihin, päättämiseen ja käännöksiin on jokaiseen valittavissa omat komponentit toimittajalta (ks. kuva 27).

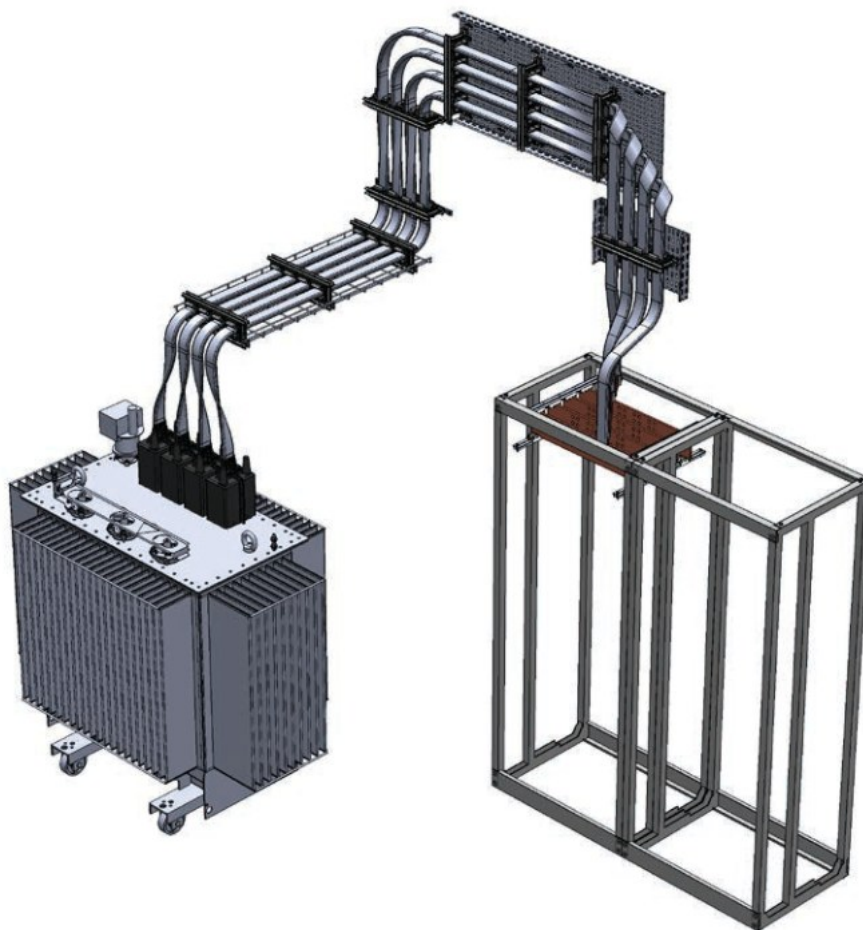


Kuva 29. Legrand Zucchini kiskosilta, käännös- ja keskusliitoskomponentit (bticino XCP, 2025).

Kiskosillan kokoaminen tapahtuu helposti valmiilla älypulttiliitoksilla toimittajan ohjeiden mukaisesti (bticino user manual, 2025). Älypulttia käytettäessä ei tarvita erillistä momenttiavainta, sillä pultti indikoi värillä automaattisesti oikean momentin. Älypulttien avulla kiskosillan ylläpitotarkistus riittää silmämääräisesti (bticino XCP catalogue, s. 12, 2025). Kiskosillan käyttöönotossa tehdään perinteiset käyttöönottomittaukset, mutta myös lisäksi lämpökuvat liitoksista.

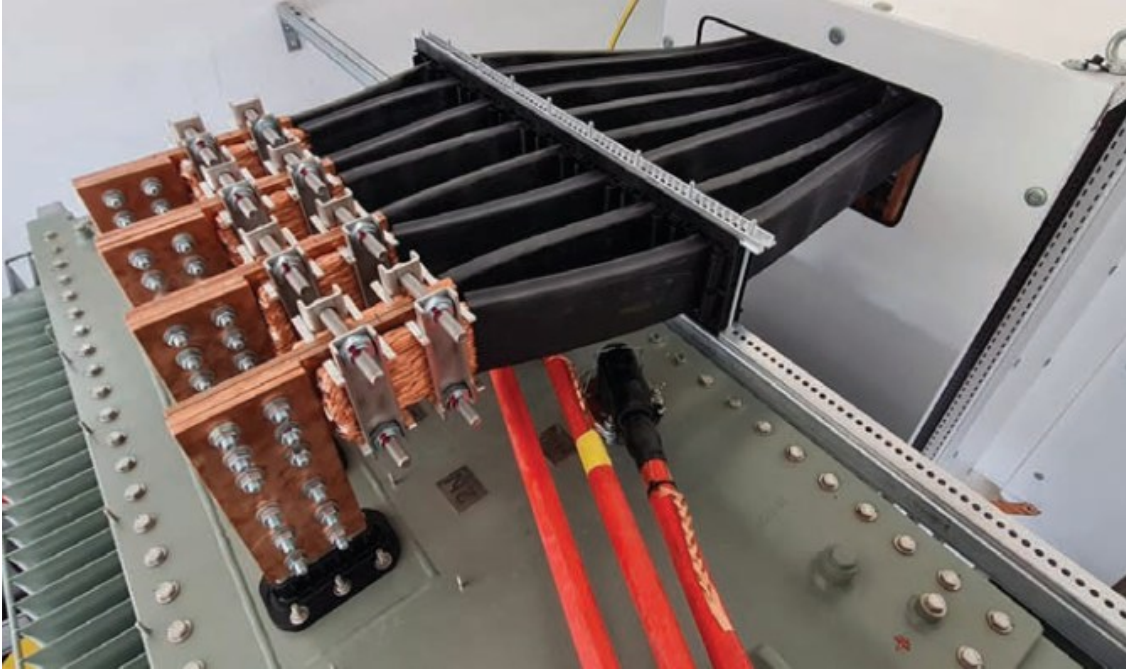
4.4.2 Taipuisa kiskosilta

Kiinteärakenteisen kiskosillan sijaan on saatavilla myös taipuisa kiskosiltajärjestelmä. Yksi valmistajista on nVent, jolla on Flexbus -kiskosiltajärjestelmä. Flexbus -järjestelmässä on taipuisat lattajohtimet, joilla voidaan saavuttaa huomattavaa etua asennus nopeuden ja mukautettavuuden vuoksi. Flexbus -johtimet ovat halogeenittomia, palonestoaineella suojattu ja korkeanlämpötilan kestäviä (nVent Flexbus, s. 6). Taipuisan johtimen ansiosta kaapelireitin käänöksissä ei tarvita erillisiä liitoskomponentteja, vaan ne voidaan toteuttaa yhdellä yhtenäisellä johtimella (ks. kuva 28).



Kuva 30. Taipuisalla kiskosillalla toteutettu kaapelointiperiaate muuntajan ja keskuksen välillä (nVent Flexbus, s. 51, 2024).

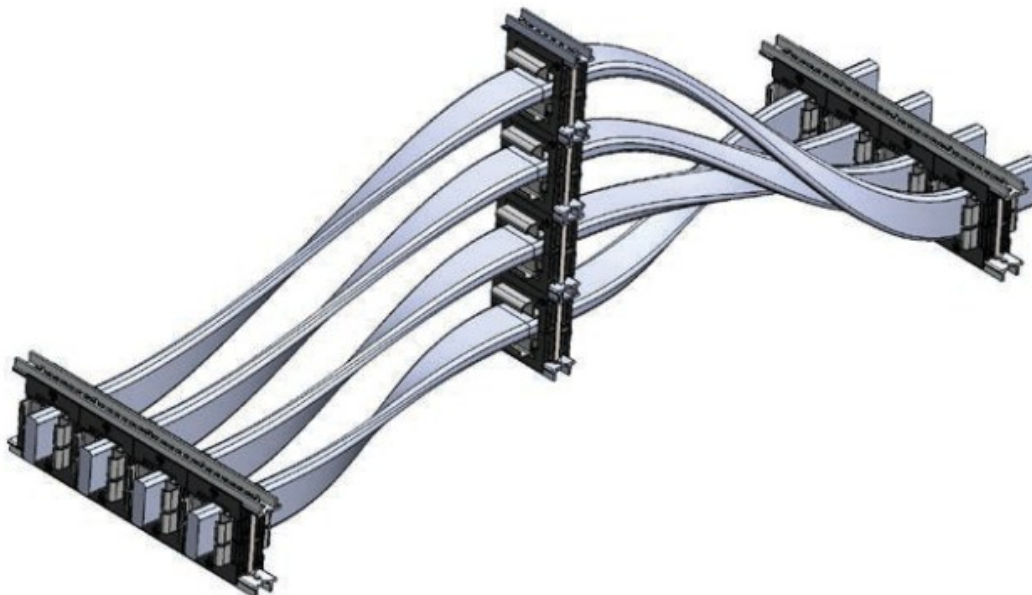
Johtimien päät kiinnitetään pulttamalla liitântälevyt johtimeen erillisillä kiinnityspannoilla muuntajassa tai keskuksessa (ks. kuva 29). Johtimien jatkokset toteutetaan myös liitântälevyillä ja pantaliitoksilla, jotka ovat suunniteltu joustaviksi lämpölaajenemista ajatellen. Kaapelien oikeanmukaiset liitokset ja kiinnittäminen on tehtävä valmistajien ohjeiden mukaisesti, sillä oikosulkutilanteissa kaapeleihin kohdistuvat voimat ovat huomattavia ja ilman asianmukaista kiinnitystä kaapelit voivat irrota tai vaurioitua (Eurolaite, 2026).



Kuva 31. Flexbus johtimien liittäminen muuntajan toisiopuolen napoihin (nVent Flexbus, s. 25, 2024).

Kiskosillan rakentaminen taipuisilla johtimilla on nopeampaa sekä työkaluja ja tarvikkeita tarvitaan vähemmän kuin perinteisessä kiinteärakenteisessa kiskosillassa. Suunnan

muutoksissa johdinta kierretään käsin 90-astetta, jolloin johdinta voidaan taivuttaa leveää sivua taivuttamalla (ks. kuva 30).



Kuva 32. Periaatekuva johtimien taivuttamisesta (NVert, Flexbus, 2024).

Johtimien kiinnikkeet voidaan asentaa usean alustaan kuten lanka-, tikas- tai levyhyllöyn ja niitä voidaan liittää yhteen eri kokoonpanoilla riippuen johtimien määrästä ja oikosulkuvirrasta (nVent Flexbus, s.16). Nvent Flexbus s. 92 (2024) ohjeessa annetaan maksimi kiinnitysetäisyydet tilanteesta riippuen. Esimerkkinä ohjetaulukossa kaapelointi 1600 kVA muuntajalta huippuoikosulkuvirran ollessa 75 kA, kahden 545 m² johtimen kannatusväliksi on määritelty 1000 mm. Mikäli oikosulkuvirta kasvaa, kiinnitysetäisyydet lyhenevät.

Johtimien läpivienneissä on tärkeä huomioida mahdollinen väliaine johtimien välissä, sillä johtimien väliin ei saa jäädä magneettista materiaalia, kuten terästä. Suurten virtojen kulku johtimissa aiheuttaa magneettisia vaikutuksia ympäröiviin metallimassoihin, mikä voi johtaa materiaalien ylikuumenemiseen. Magneettisissa silmukoissa syntyvän induktion minimoimiseksi on aina suositeltavaa järjestää kaikki saman piirin aktiiviset johtimet (vaihe ja nolla) samoihin metallirunkoihin. Koska virtojen

vektorisumma on nolla, myös syntyvien kenttien vektorisumma on nolla. Johtimille tehdään avonainen läpivientiaukko tai tilanteessa, jossa läpivienti halutaan tiivistää, voi väliaineena käyttää esimerkiksi alumiinia tai muovia (nVent Flexbus, s.67, 2024).

4.4.3 Jakelukiskosto

Sähkönjakeluinfrastruktuurista puhuessa huomioitavaa on jakelukiskon ja kiskosillan ero. Kiskosilta on tarkoitettu suurien virtojen kuljettamiseen kojeiston, muuntajan ja keskusten välillä ilman tarvetta muutoksille, kun taas jakelukiskosto on tarkoitettu sähkönjakeluinfrastruktuurissa asennettavaksi lähelle käyttölaitteita, kuten datakeskuksissa palvelintelineiden läheisyyteen (ks. kuva 31). Jakelukiskon tavoitteena on tarjota nopea ja helppo muunneltavuus datasaleissa ilman sähkökatkoksia sekä selkeyttää sähkönjakeluinfrastruktuuria.

Jakelukiskosto voidaan asentaa vaaka- tai pystytasoon palvelintelineiden ylä- tai alapuolelle. Tämä voi yksinään hoitaa jännitteenjakelun UPS:lta palvelintelineelle saakka ilman erillistä PDU-yksikköä. Jakelukiskon syöttöyksikkö sisältää usein omat sulakkeet, joten UPS:sta tai sähkökeskuksesta voidaan syöttää yhdellä johtolähdöllä usealle jakelukiskolle jännite, mikä vähentää kaapelointia (Vertiv white paper, s.5–8, 2023). Jakelukiskoja on kahta mallia: suljettu ja avoin. Suljetussa kiskossa on rajallinen määrä tap-off yksikön liitäntäpisteitä, joka voi olla rajoittava tekijä palvelintelineiden sijoittelussa ja muutoksissa. Nykyaikaiseen avoimeen kiskoon voidaan tap-off yksikköjä sijoittaa mihin vain ilman rajoitteita, joka parantaa joustavuutta huomattavasti.



Kuva 33. Jakelukiskojen asennus palvelintelineiden yläpuolelle (Vertiv PowerBar, s.2, 2025).

Palvelintelineiden virta otetaan tap-off yksiköllä jakelukiskosta, joka kytketään painamalla yksikkö kiskoon ja kääntämällä lukituskahvaa (ks. kuva 32). Huomattavana etuna on se, että kytkennän voi tehdä jakelukiskon ollessa jännitteisenä. Tässä luvussa valitun valmistajan tap-off yksiköitä voidaan valita 1- tai 3-vaiheisena, nolla- ja maadoitusjohtimilla, sekä enintään 5 pistorasiolla per yksikkö. Yksikön ulostulojen yhteenlaskettu kuormitus saa olla enintään 125A ja oikosulkuvirta 25 kA. Käyttöjännite enintään 600 VAC (Vertiv PowerBar, s.3, 2025).



Kuva 34. Tap-off yksikön asentaminen jakelukiskoon (Vertiv PowerBar, s.3, 2025).

Tap-off yksiköt sisältävät johtolähdöille omat johdonsuojakatkaisijat, jonka avulla mahdollinen vika rajautuu yhden pistorasiasyötön alueelle. Sähkötekniisiä- ja lämpötilatietoja voidaan saada liittämällä kiskon syöttö- ja/tai tap-off yksikkö modbus-väylään RJ-45 tiedonsiirtokaapelilla (Vertiv PowerBar, s.4, 2025). Tap-off yksiköt sopivat vain saman valmistajan kiskostoihin, joten ennen hankintaa kannattaa varmistaa mallien yhteensopivuus.

4.4.4 Kaapeli- ja kiskosiltatoteutuksen vertailu

Tehdään havainnollistava yksinkertainen vertailulaskelma suurvirtakaapelin ja nVent FleXbus kiskosillan ominaisuuksia. Käytetään laskennassa kaapelireitin pituutta muuntajalta pääkeskukselle 70 m ja oletetaan laskennassa johtoreitin olevan sisällä, 25°C lämpötilassa ilmaan asennettuna. Valitaan 1600 kVA muuntaja, jolle nimellisvirta pienjännitepuolella saadaan laskettua kaavalla:

$$\text{Nimellisvirta, } I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (6)$$

Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$\frac{1600 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 2,31 \text{ kA} \approx 2300 \text{ A}$$

Muuntajan nimellisenä oikosulkujännitteenä käytetään pienjänniteverkossa tavallisesti 6 %. Lasketaan seuraavaksi oikosulkuvirta kaavalla:

$$\text{Oikosulkuvirta, } I_k = \frac{I_n}{U_k} \quad (7)$$

Sijoitetaan kaavaan laskennassa käytettävät arvot:

$$\frac{2,31 \text{ kA}}{6\% \times 1000} = 38,5 \text{ kA} \approx 38500 \text{ A}$$

Kiskosiltana voidaan valmistajan taulukon mukaan käyttää 1x1810 mm² kuparilattajohdinta per vaihe, jonka kuormitettavuus on 2356 A ja oikosulkuvirran kestoisuus 103,2 kA. Tällaista johdinta saadaan maksimissaan 15 m pituisina, joka tarkoittaa 70 m matkalla 4 jatkosta per johdin (nVent, Flexbus, s.14–51, 2024)

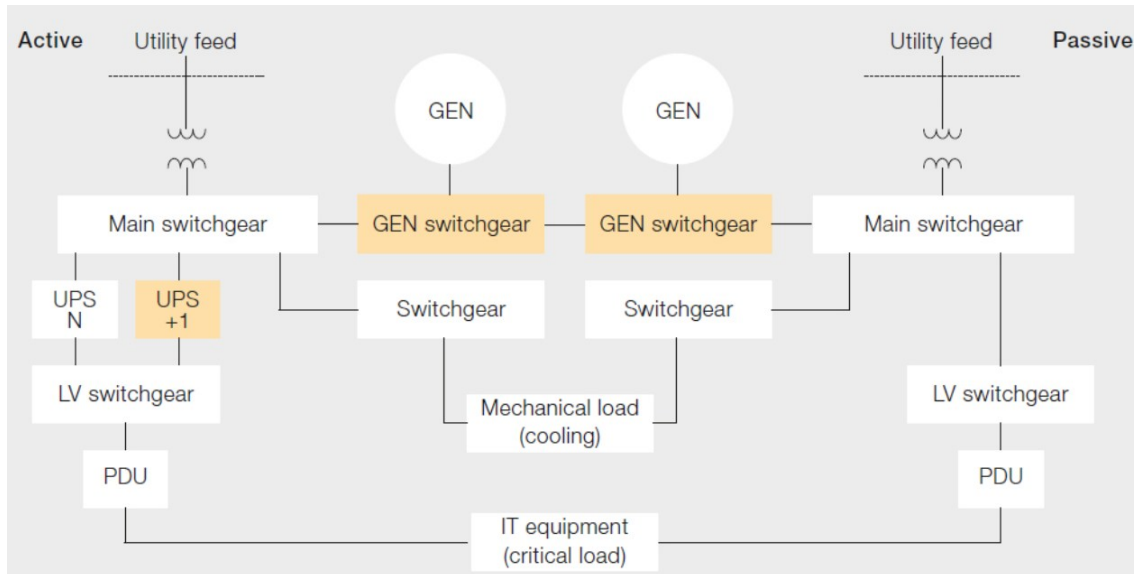
Kaapelina valitaan kuormituksen ja oikosulkukestoisuuden mukaan Prysmianin valmistamaa XMK-HF 1x400 kuparivoimakaapelia. Valmistajan katalogista saadaan kaapelin tekniset tiedot, jossa kuormitettavuus valitulle kaapelille vierekkäin asennettuna on 852 A ja suurin termien oikosulkuvirta 1 s aikana 57 kA. Tässä tapauksessa tarvitaan 3 kaapelia per vaihe ja nolla, ja näin ollen se tekee yhteensä 12 kaapelia. Mikäli kaapeleita asennetaan kolmioon nipulle, kuormitusvirrat laskevat (Prysmian datalehti, 2026). Yhteen vaiheeseen voidaan käyttää useampaa kaapelia nostattamaan vaiheen johdinmateriaalin neliömäärää ja täten kuormitusvirtoja.

Yhteenvetona voidaan todeta suurien virtojen siirtämisessä kiskosillan olevan hyvä ratkaisu suurien kuormituskestävyyksien ansiosta. Kiskosillan etuja ovat kaapeloinnin työmäärässä tehtävä säästö, vaikkakin jatkoksia joudutaan tekemää pitkällä reitillä useita. Todetaan myös, että reitti joudutaan todennäköisesti toteuttamaan useammalla kaapelihyllyllä perinteisessä kaapelointitoteutuksessa, kun taas kiskosillalle riittänee tässä tapauksessa 1 kaapelihylly. Huomioidaan myös kiinnitysten vähäisyys verrattuna

useamman kaapelin kiinnityksiin. Kiskosillassa etuna on myös paino, sillä Flexbus kiskosillan kaapelien (3-vaihe + N) paino on noin 31 kg/m, kun taas XMK kaapeleilla yhteensä 48 kg/m. Paino on aina huomioitava kaapelireitin rakentamisessa.

4.5 Pienjännite sähköjakelu

Datakeskuksen muuntajan jälkeisessä sähköjatelussa virta ohjataan pääkytkintauluun (Main Switch Board / Main Switch Gear) tai toisinaan pääkeskukseen. Pääkytkintaulu palvelee koko pienjännite sähköjatelua datakeskuksessa ja sijaitsee muuntajien ja varavoimakoneiden jälkeen. Pääkytkintaulu sisältää usein katkaisijat, releet, suojalaitteet, kondensaattorit sekä siirtokytkimet (Automatic Transfer Switch, ATS) (Vintec, 2026). Alla kuvassa (ks. kuva 33) on esimerkki kahden pääkytkinkeskuksen toteutuksesta. Yksi pääsähkönsyöttö palvelee molempia keskuksia, joiden sähkönsyöttö voidaan automaattisella siirtokytkimellä vaihtaa omille generaattoreilleen. Keskuksen sisällä virtakiskolla sähkö jaetaan muille kiinteistön sähkökeskuksille ja IT-laitteiden UPS:lle. Esimerkissä UPS-yksiköt sijaitsevat todennäköisesti pääkytkinkeskuksen vierellä, joten UPS:ien jälkeen sähkö jaetaan samassa kytkinkeskuksessa PDU-yksiköille eriytettyssä virtakiskossa. Pääasiassa kaikilla johtolähdöillä on omat katkaisijat ja suojalaitteensa, kuten suojareleet tai sulakkeet.



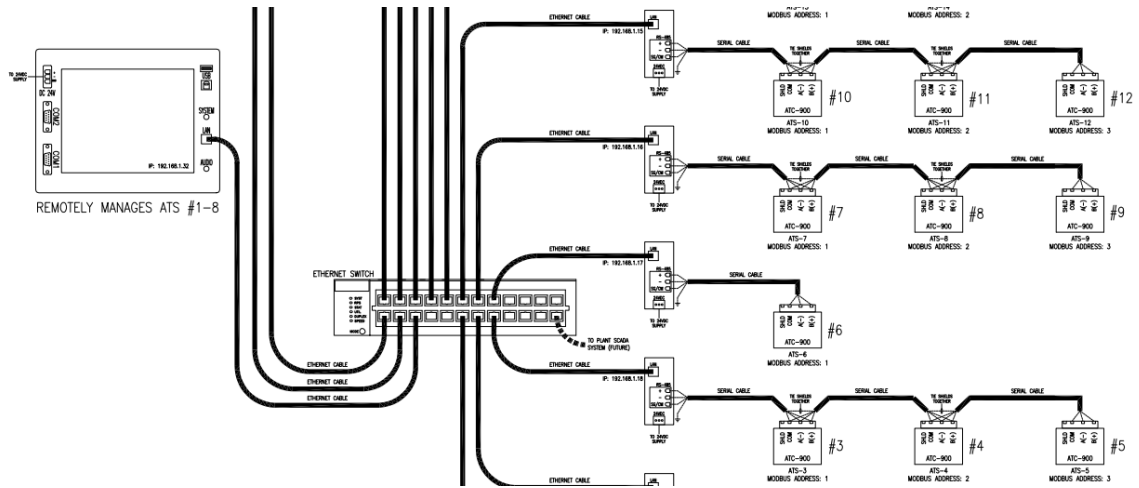
Kuva 36. Tier 4 -luokan periaatekuva siirtokytkimien käytöstä datakeskuksessa (Green Data Center, 2020).

Alla kuvassa (ks. kuva 35) on esitetty Eaton siirtokytkimen käyttöpaneeli ja kytkinkeskuksen kaapelointikuva. Käyttöpaneeli sijaitsee siirtokytkinkeskuksen kannessa, joka kaapeloidaan riviliittimiltä releille ja kontaktorimekanismille. Syöttävät ja kuormalle lähtevät kaapelit kytketään niille merkittyihin liitäntäpisteisiin pulttiliitoksella. Jos kytkimiä on useampi, tällöin kytkinkeskuksen kennojen määrä kasvaa. Siirtokytkimet voi sisältää myös ylivirtasuojauksen. Huoltoa varten kytkinkeskuksen voidaan rakentaa ohitus kytkin (Eaton contactor type, s. 1–7 2024).



Kuva 37. Eaton ATS käyttöpaneeli ja keskuksen kytkentäkuva (Eaton ATS Guide, s. 1 ja 45, 2024).

Siirtokytkimiä voidaan ohjata, automatisoida ja valvoa etänä ethernet-verkon ja Modbus-väylän avulla (ks. kuva 36). Kuten kaikkien sähköjakelukomponenttien, myös siirtokytkimiä valittaessa on varmistettava riittävän suuri kuormitusvirta (Eaton ATS Guide, s.31, 2024).



Kuva 38. ATS tiedonsiirtoväylän periaatekaavio (Eaton ATS Quide, s.40, 2024).

5 Verkkotopologian toteutus

Datakeskuksessa tietoverkolle käytetään strukturoitua kaapelointijärjestelmää (SCS, Structured Cabling Systems), joka tarkoittaa fyysisiä liitäntöjä verkko- ja tietojenkäsittelylaitteiden välillä datakeskuksessa. Pääyhteydet rakennetaan palvelimien, tallennuslaitteiden ja kytkinten välillä. Palvelimet käsittelevät, tallennuslaitteet varastoivat ja kytkimet jakavat dataa (Huber+Suhner, s.4-6, 2022).

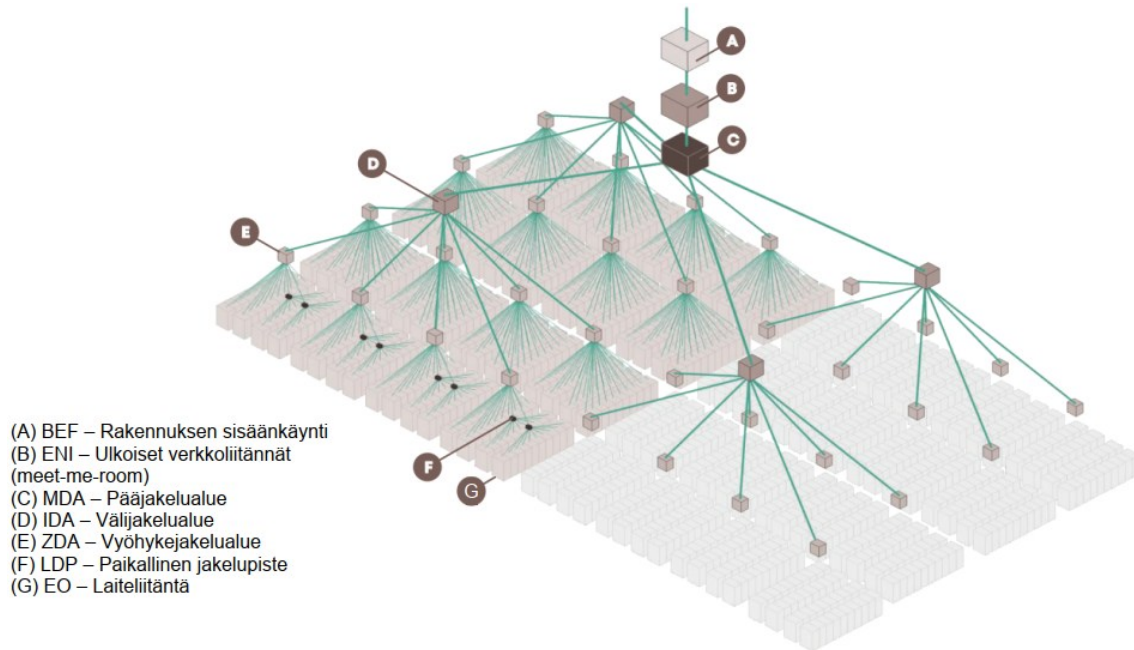
Termi ”strukturoitu” kuvaa määriteltyä, selkeää ja jäljitettävää suunnittelua, jossa rajat on ennalta määritelty. SCS:n perusta tulee kuitenkin aina olla tähtitopologia, joka helpottaa ja selkeyttää ristikytkentöjen tekemistä jakamalla. Strukturoitu kaapelointi perustuu kerrokselliseen ja hierarkkiseen periaatteeseen, jossa jakamoja on jokaisella hierarkiatasolla. Strukturointi on määritelty kansallisissa, alueellisissa ja kansainvälisissä standardeissa, joka mahdollistaa yhtenäisen lähestymistavan monialueellisille datakeskusoperaattoreille (Huber+Suhner, s.4–6, 2022).

Tietoverkkokaapeloinnissa voidaan puhua LAN- ja SAN-verkkotopologioista, joille struktuurisessa kaapeloinnissa asennetaan omat yhteydet (Huber+Suhner, s.4–5, 2022). LAN (Local Area Networks) verkossa dataa siirretään palvelimien välillä lähiverkossa ja SAN (Storage Area Networks) verkko on suunniteltu muodostamaan yhteyksiä palvelimien ja tallennuslaitteiden välillä helpottaakseen tallennukseen liittyvien tietojen siirtoa (QSFTEK, 2023).

5.1 Verkkorakenne

Datakeskuksessa verkkokaapelointi voidaan jakaa Huber+Suhner (2022) mukaan kahteen alijärjestelmään, runko- ja tilakohtainenverkko. Runkoverkko yhdistää eri tasoja verkon hierarkiassa kerrosten, datasalien ja meet-me-room välillä. Tähän kuuluvat ulkoiset verkkoliitännät, pää- ja välijakelualueet sekä vyöhykejakelualueet. Tilakohtainenverkko taas yhdistää datasalissa paikalliset jakelupisteet ja laiteliitännät (ks.

kuva 39). Pienissä datakeskuksissa verkkotopologia voi olla supistettu, jolloin osa runkokaapeloinnista voi jäädä pois.



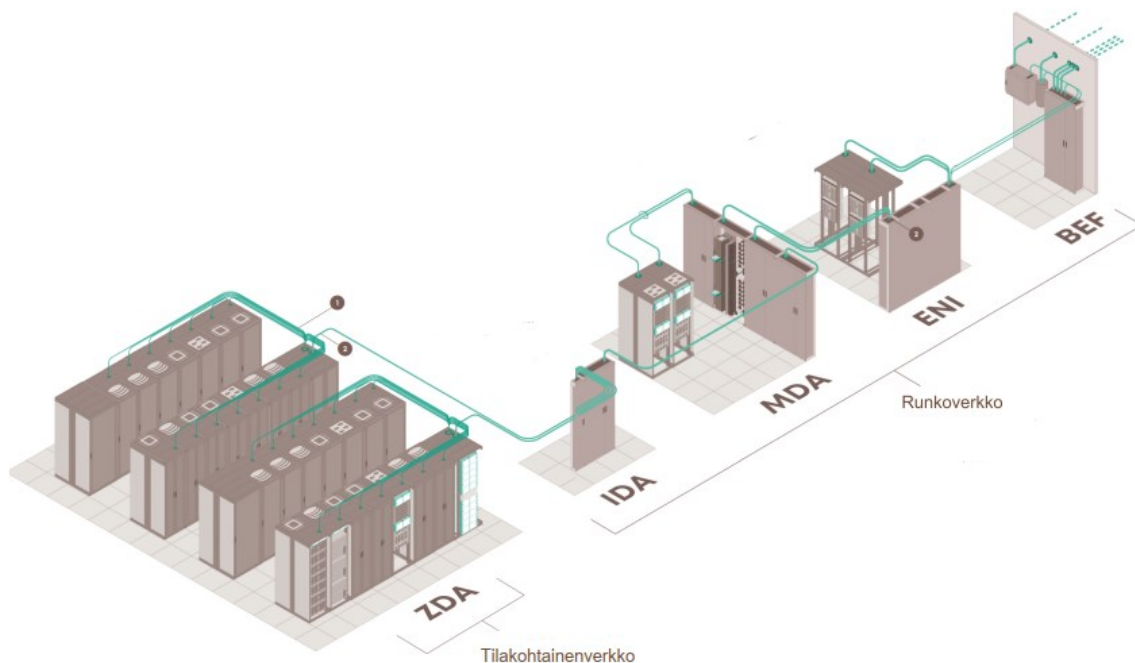
Kuva 39. Verkon rakenne datakeskuksessa (Huber+Suhner, 2022).

Datakeskukset tehdään aina asiakkaan tarpeen mukaan, joka määrittelee verkkotopologian. Kuitenkin tietyt elementit löytyvät aina tietoverkon rakenteessa.

BEF (Building Entrance Facility) on televerkkoyhtiöiden liityntäpistetilä, jossa ulkoa tulevat kaapelit liitetään kytkentäkotelossa tai telineessä sisätiloihin sopiviksi televerkkoyhtiönkaapeleiksi (ks. kuva 40). BEF-tiloja voi olla useampia hyperscale-datakeskuksessa (Huber+Suhner, s.17, 2022).

MMR (Meet-Me-Room) on yleisesti käytetty nimitys ENI (External Network Interfaces) järjestelmille. Täällä palveluntarjoajan laitteet ja ulkoinen kaapelointi BEF:stä liitetään datakeskuksen sisäiseen verkkokaapelointiin. MMR:n sisällä on raja, jossa palveluntarjoajien vastuu päättyy ja datakeskuksen vastuu signaalin toimittamisesta päätelaitteeseen alkaa. Palveluntarjoajien laitteet liitetään MMR tilassa ODF (Optical Distribution Plate) telineessä, joka toimii fyysisenä vaihtopisteenä palveluntarjoajien

välillä (ks. kuva 40). ODF telineessä yhdistetään BEF ja MDA (Main Distribution Area) tasot (Huber+Suhner, s.18–19, 2022).



Kuva 40. Datakeskuksen verkkotopologia havainnekuva (Huber+Suhner, 2022).

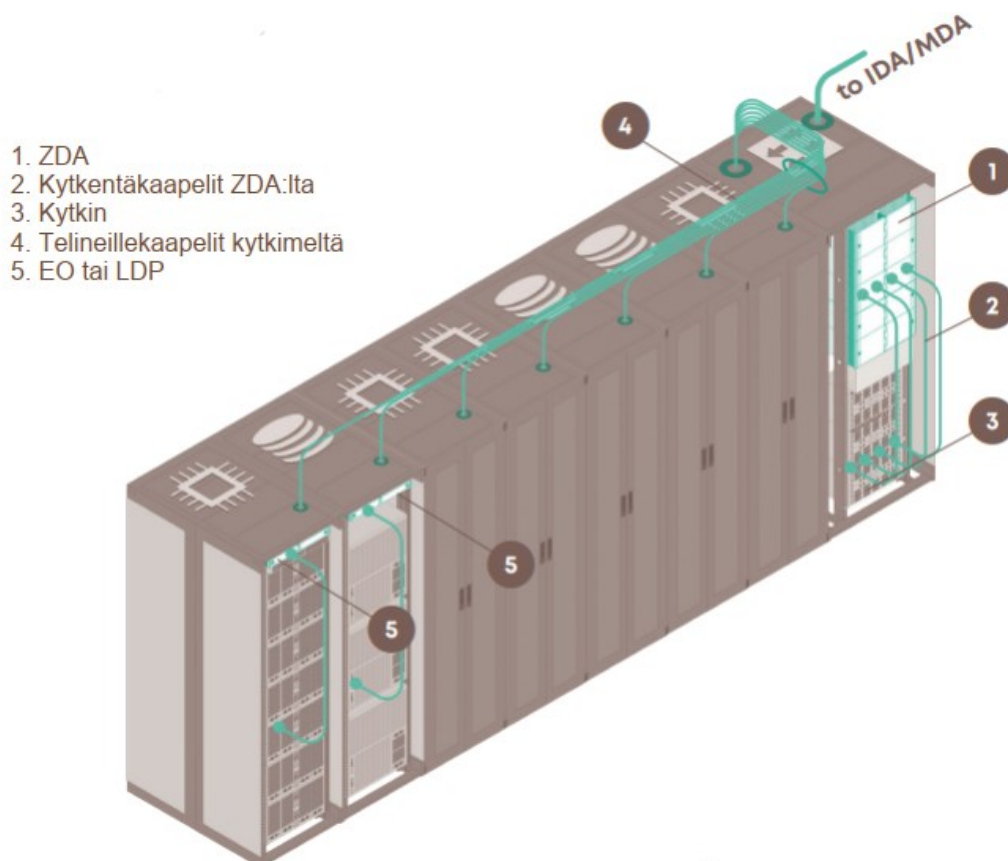
MDA on tila tai alue, joissa sijaitsevat kokorakennuksen pääkytkimet ja pääjakokeskus (MDF, Main Distribution Frame). MDF on strukturoidun kaapelointijärjestelmän ydin ja tähtihierarkian keskipiste, josta on mahdollista päästä kaikkiin muihin datakeskuksen alueisiin. Fyysisesti se voi olla erillinen huone, alue tai kokonainen datasali. MDA:ssa sijaitsevat laitteet ovat kriittisiä, koska ne palvelevat pääasiassa nopeita linkkejä, jotka koostuvat aggregoidusta liikenteestä (Huber+Suhner, s.20, 2022).

IDA (Intermediate Distribution Area) on keskus tai tila suurissa datakeskuksissa, jossa useita datasaleja yhdistetään (ks. kuva 40). Tällä saavutetaan taso, joka lisää joustavuutta ja selkeyttä suuressa datakeskuksesta (Huber+Suhner, s.21, 2022).

Tilakohtaisella verkolla tarkoitetaan datasalin sisäistä kaapelointia. ZDA (Zone Distribution Area) on strukturoidun kaapelointijärjestelmän solmu, joka sijaitsee datasalissa ja on telineissä sijaitsevien laitteiden kaapeloinnin yhdistämispiste (ks. kuva

40). Se on passiivinen, mikä tarkoittaa että sillä ei ole virta- tai jäähdytystarpeita. Yleensä on kaksi ZDA:ta redundanssin saavuttamiseksi, jotka yhdistetään datasalin sisällä.

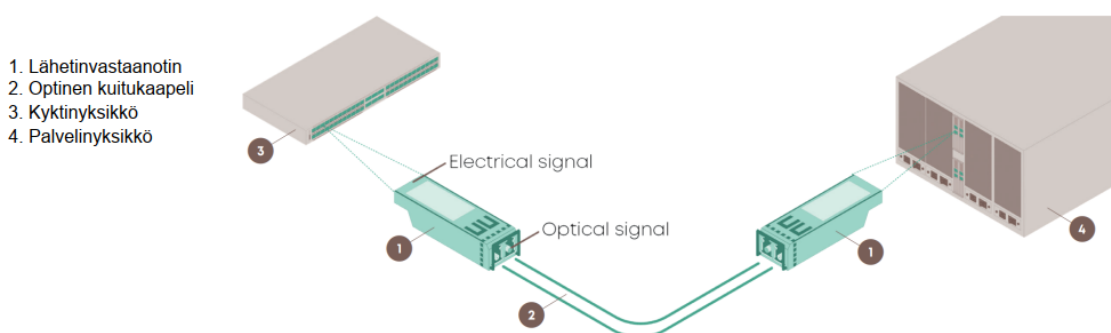
Datasaleissa palvelintelineet voivat olla osastoitu tai muilla kokoonpanoilla, jotka vaikuttavat tilakohtaiseen kaapelointiin. Osastoittain asennetaan omat ZDA telineet, jotka yhdistetään IDA/MDA tilan keskukselle. Telineissä EO (Equipment outlet) tai LDP (Local Distribution Point) ovat strukturoidun kaapeloinnin päätepiste. Nämä sijaitsevat palvelintelineissä ja yhdistävät tilakohtaisen kaapeloinnin ZDA:lta suoraan palvelin- ja tallennuslaitteisiin (ks. kuva 41). Alla on esimerkki yhdestä kaapelointi toteutustavasta ZDA:lta palvelintelineeseen. Jos datasalia ei ole osastoitu, voidaan ZDA:t sijoittaa keskitetysti datasaliin ja kaapeloida useampi telinemoduuli isommalta ZDA:lta (Huber+Suhner, s.23–24, 2022).



Kuva 41. Telinemoduulin kaapelointiperiaate (Huber+Suhner, s.24, 2022).

5.2 Kaapeloinnin rakenne

Optista kaapelointia suositaan datakeskuksissa pääasiassa suurempien siirtonopeuksien vuoksi, mutta sillä on myös muita etuja kupari parikaapeliin (esim. CAT6) verrattuna. Optiset kaapelit ovat kevyitä ja pienempiä kooltaan, joka säästää kaapelitilaa jopa 60 % verrattuna parikaapeleihin. Niissä esiintyy myös vähemmän häiriöitä ja optisien liitäntämoduulien tehonkulutus on jopa 80 % pienempi (Naficon, 2026). Optisen kuitukaapelin toiminta perustuu valopulssien siirtämiseen, jossa valopulssit IT-laitteen ja kaapelin välillä lähetetään ja vastaanotetaan lähetinvastaanotinyksikkö (ks. kuva 42). Lähetinvastaanottimen päätehtävä on muuntaa sähköiset signaalit optisiksi signaaleiksi kuitukaapeliin lähetettävien valopulssien muotoon. Palvelimilla voi olla kaksi tai useampi lähetinvastaanotinta, kun taas kytkimellä on usein satoja (Huber+Suhner, s.6, 2022).

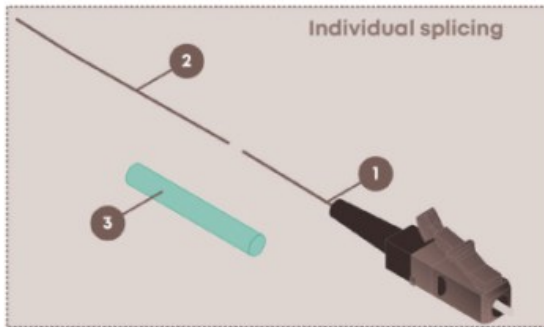


Kuva 42. IT-laitteiden välillä fyysisen yhteyden rakenne (Huber+Suhner, s.6, 2022).

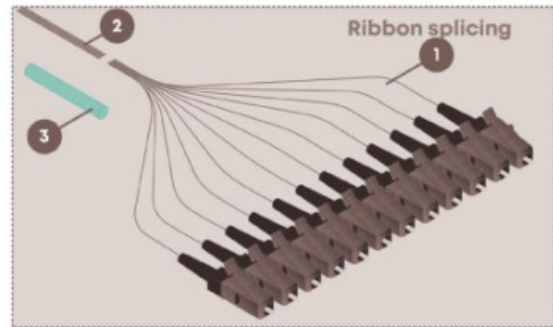
Vuonna 2022 suosituimmista kuitukaapelien liitäntämenetelmistä oli jatkosmenetelmä. Tässä valokuitukaapeli liitetään hitsaamalla liittimiin ”häntäkuituun” yksi tai useampi johtiminen kuitukaapeli kerrallaan (ks. kuva 43). Kuituhitsausmenetelmän haittapuolena on pidempi työaika kuin esikytketyillä liitäntäpäillä olevien liitoskaapeleiden kytkennöillä sekä se, että hitsaukseen tarvitaan erillinen hitsaustyökalu. Etuna taas on parempi yhteys ja suorituskyky (Huber+Suhner, s.30-31, 2022).

Nykyään, vuonna 2026 valmiit laitekaapelit ovat kuitenkin suosituimpia nopeiden kytkentöjen vuoksi sekä myös siksi, että datakeskuksen operaattorit eivät halua kuitukaapeli asentajien olevan pitkiä aikoja datasaleissa. Kuituhitsauksesta johtuva savu ja kaasu pakottavat myös palohälytysjärjestelmien poiskytkentää töitä tehdessä.

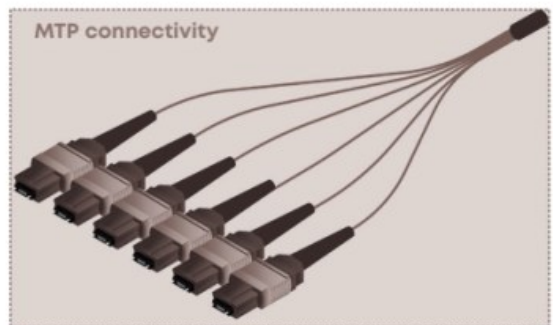
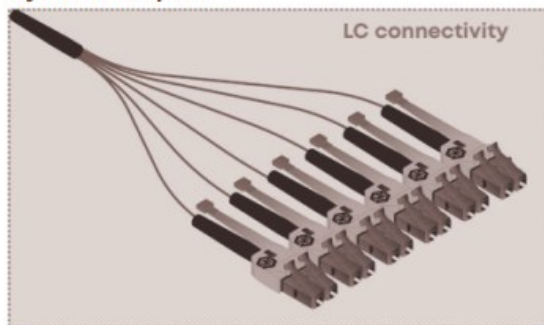
Kuitujatkosmenetelmä



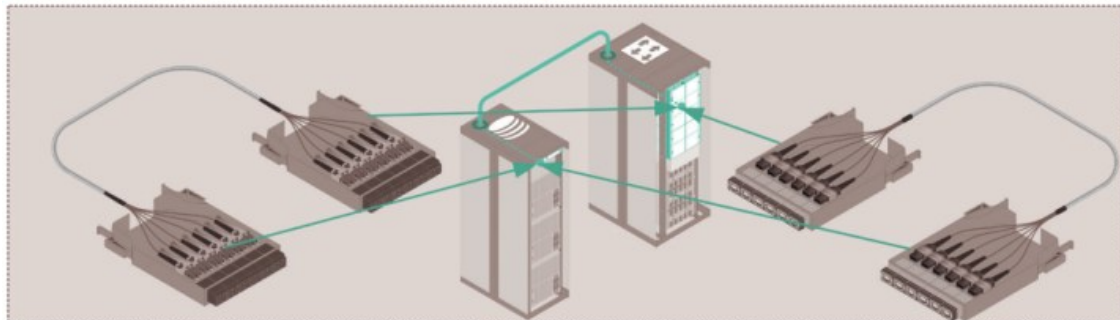
1. Liittimen johdin 2. Kuitukaapeli 3. Suojasukka



Kytchentäkaapelit



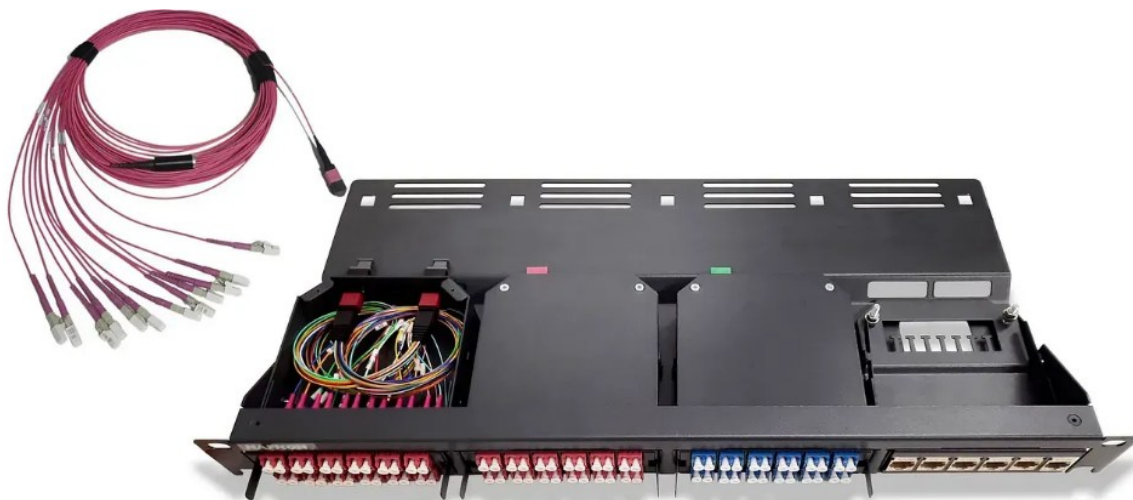
Palvelintelineen ja ZDA:n välinen yhteys siirtymämoduuleilla



Kuva 43. Kuitukaapeli menetelmät palvelintelineiden välillä (Huber+Suhner, s.31, 2022).

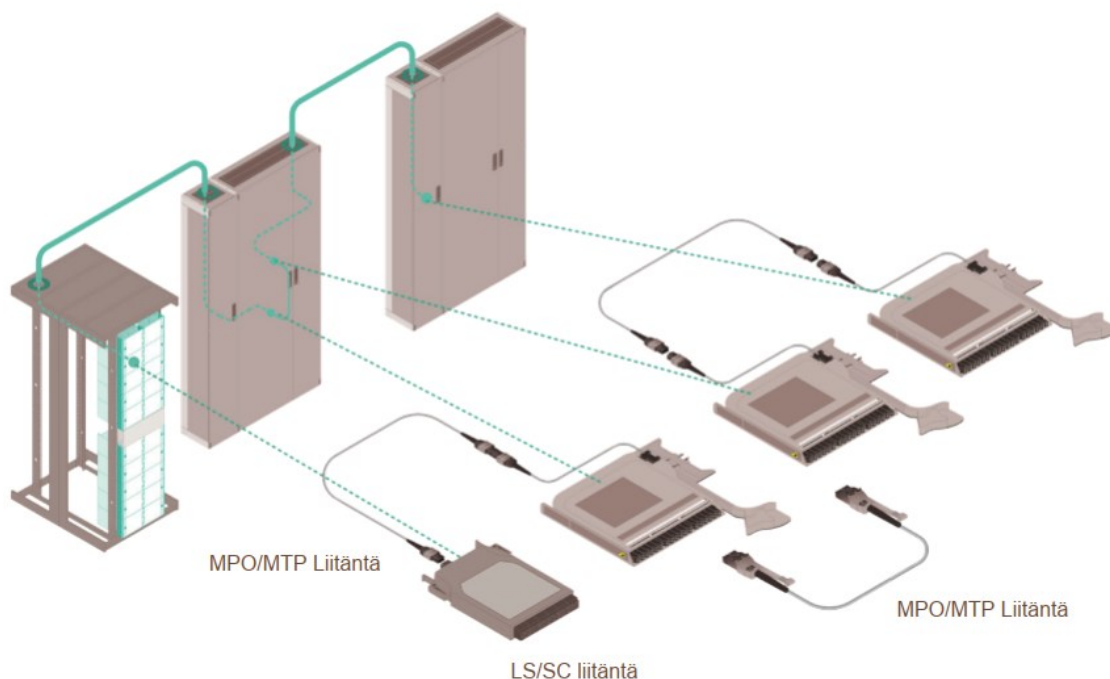
Siirtymämoduuleissa tapahtuu siirtymä yhdestä liitintyypistä (MPO/MTP) toiseen, yleensä LC- tai SN-liittimiin (Huber+Suhner, s.32, 2022). MTP on MPO:sta kehitetty laadukkaampi liitin, jota on kahta tyyppiä, uros ja naaras sekä usealla kuitumäärällä.

Kytkentäkaapeleiden molemmissa päissä voi olla MTP/MPO-liitin tai toinen pää voi olla varustettuna LC- tai SN- liittimellä. Siirtymämoduuleissa yleensä takana on MPO/MTP liitin ja edessä LC- tai SN- liittimet (ks. kuva 44). SN-liitin on kehitetty versio LC-liittimestä, joka on pienempi kokoinen ja suorituskykyisempi.



Kuva 44. MTP/MPO – LC/SN kytkentäkaapeli ja periaatekytkentä palvelintelineen siirtymämoduulissa (Naficon, 2026).

LC- ja SN-liittimiä käytetään valokuidun kytkennöissä telineen IT-laitteille maksimaalisen suorituskyvyn ansiosta. MTP/MPO liittimiä käytetään perinteisesti runkokaapeloinneissa (ks. kuva 45), jossa kaapelin molemmat päät ovat MTP/MPO, mutta yleistymässä on MPO-MPO valmiskytkentäkaapelien käyttö myös ristikytkentätelineen, palvelintelineen ja palvelimien välillä (Naficon, 2026).

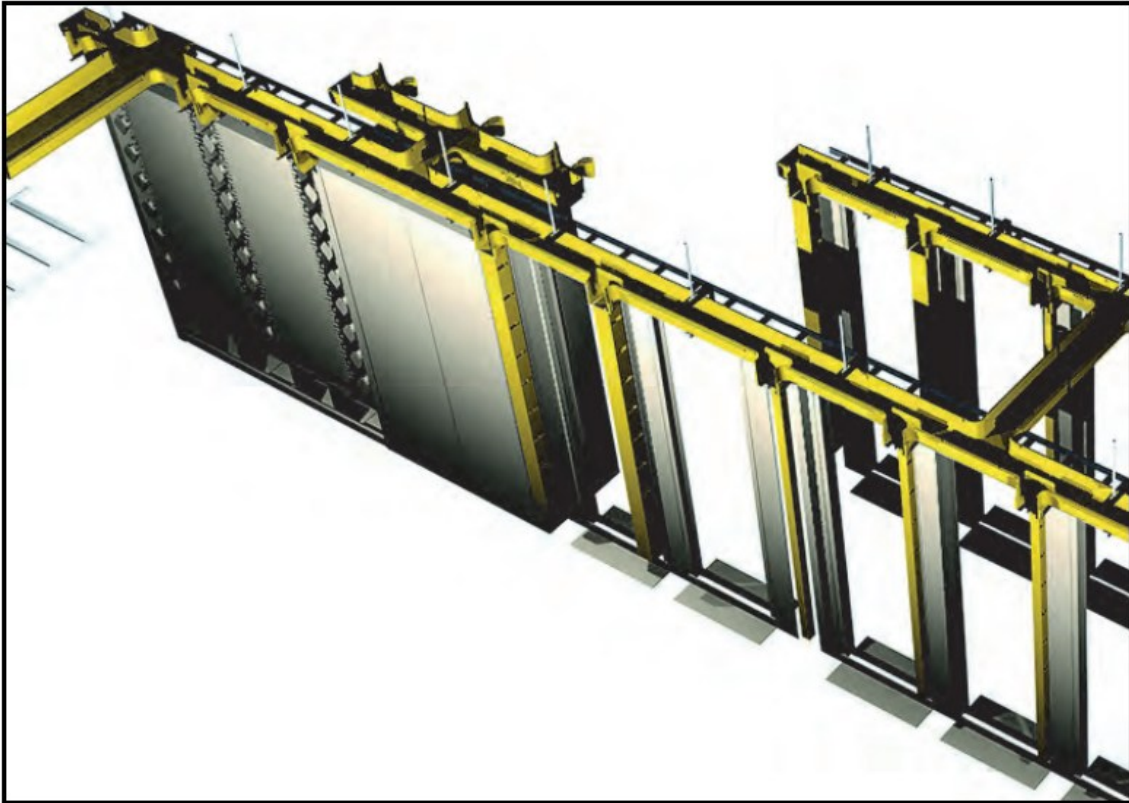


Kuva 45. ZDA, ODF ja MDF keskusten välinen kaapelointi (Huber+Suhner, s.33, 2022).

Kaapeli- ja IT-laitteiden toimittajilta voidaan myös ostaa valmiita paneeli/teline paketteja, jotka ovat ”plug and play” -tyyppisiä ratkaisuja. Valmiskaapeleiden etuna on muutoksia tehdessä se, että niitä voidaan myös uudelleen käyttää kytkentöjen vaihtuessa.

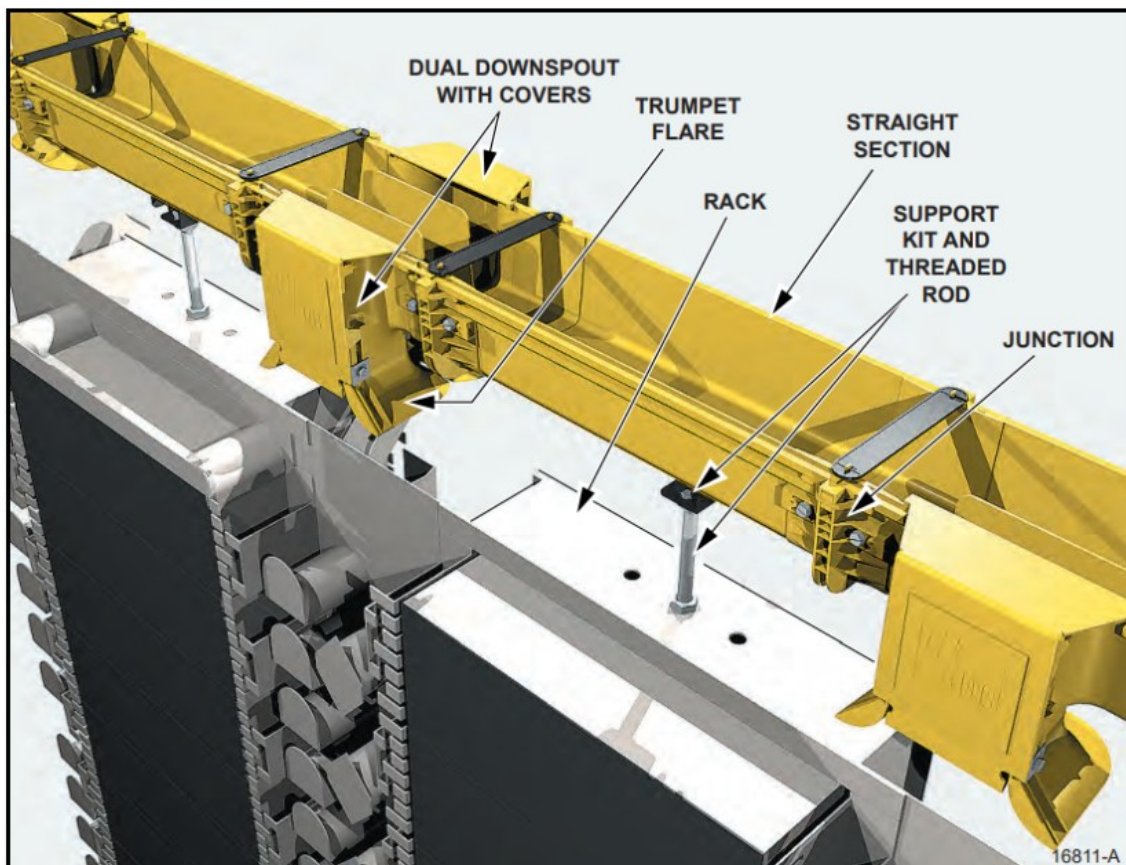
5.2.1 Kaapelireitti

Tietoverkkokaapelit sijoitetaan datakeskuksissa joko kaapelihyllyille tai nostetun lattian alle. Mikäli datakeskuksessa käytetään laitetelineiden väleillä sekä yksi- tai kaksikuituisia optisia kaapeleita että parikaapeleita, tulee nämä kaapelit sijoittaa toisistaan erilleen. Usein pelkille kuitukaapeleille käytetään omaa kuitukanavaa (ks. kuva 46) datasalissa. Parikaapelit kooltaan suurempina ja painavampina, voivat puristaa ja rikkoa optisia kaapeleita. Esimerkiksi lankahyllyillä kuituihin syntyy helposti puristumia ja taipumia aiheuttaen vaimennusta (Naficon, 2026). Useampi kuituiset runkokaapelit voidaan asentaa perinteiselle kaapelihyllylle.



Kuva 46. Kuitukaapelikanavan toteuttamisperiaate (CommScope, 2016).

Kaapelikanavia voidaan toteuttaa monilla eri ratkaisulla, joita toimittajat, esim. CommScope tarjoaa. Alla kuvassa 47 on CommScope (2016) kuitukaapelikanavan asennusohje. Kaapelireitti rakennetaan suorilla-, käänös-, liitäntä-, tuki- ja suojakomponenteilla.



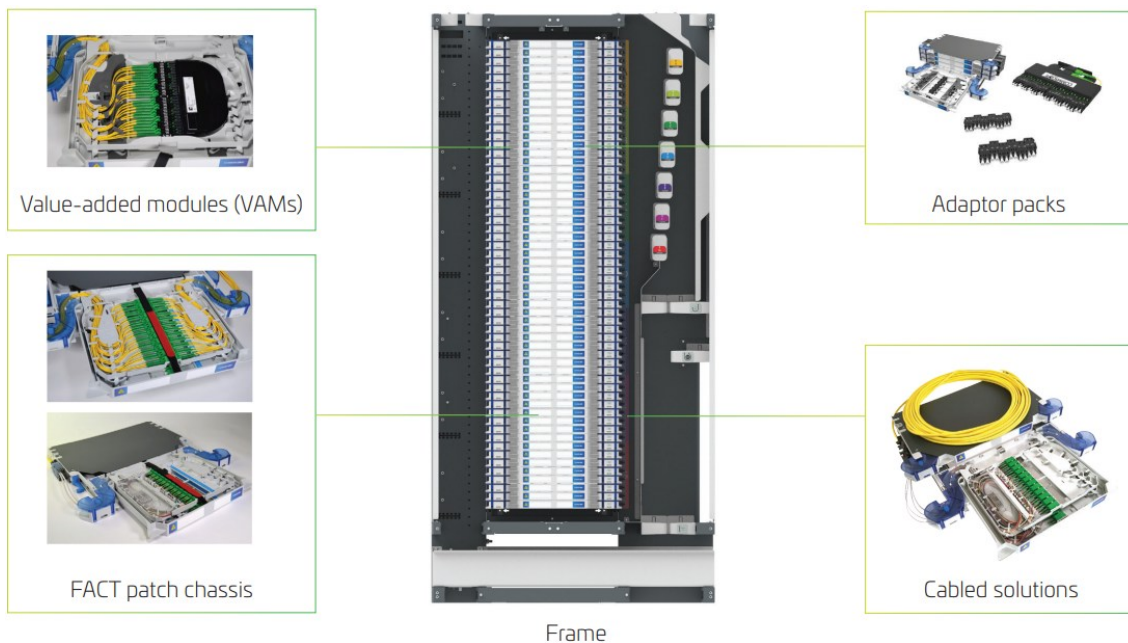
Kuva 47. Kuitukanavan rakennusperiaate, CommScope (CommScope, 2016).

5.2.2 Telineiden rakenne

Datakeskuksen tietoverkko rakennetaan käytännössä telineeltä telineelle. Se mitä telineet sisältävät, riippuu tietoverkon hierarkian tasosta. Datasalissa tietoverkon päätepisteen telineessä ovat palvelimet, tallennus laitteet ja kytkimet. Seuraavat telineet ovat ristikytkentätelineitä, jotka yhdistävät verkon tähtirakenteeksi.

Kuvassa 48 on CommScope:n valmistama modulaarinen ODF ristikytkentäteline, joka tarjoaa omat reitit kaapeleille, värikoodatun kuitujen hallinnan ja tukee jopa 2 880 LC-liitäntää. Se voidaan asentaa siten, että kaapelireititys on kummalla puolella telinettä tahansa ja se sisältää taustalevyn numeroinnin kuitujen helppoa seuranta varten. Yksi vakiomittainen kytkentäkaapeli yltyä mihin tahansa kohtaan selät vastakkain asennuksessa, mikä vähentää tarvittavien eri kaapelinpituuksien määrää. FACT

telineeseen sopivat sekä FACT-hyllyt että standardit 19 tuuman hyllyt, mikä mahdollistaa kapasiteetin kasvattamisen nykyisiä laitteita hyödyntäen (CommScope FACT, 2024).



Kuva 48. CommScope FACT-ristikytkentäteline, ODF (Commscope FACT, 2024).

Ristikytkentäteline voidaan hankkia valmiiksi rakennetulla sisäisellä kaapeloinnilla, jossa useampi teline on yhdistetty. Kuvan 48 telineen toiminta toimii samalla periaatteella myös MDF, MDA tai IDA telineessä. Telineen sisältö muuttuu käytettävien kuituliittimien myötä. Esimerkkinä; runkokaapeli valmiilla MPO-liittimellä tuodaan telineessä sijaitsevaan sovitinmoduuliin, jossa on LC/SC tai MPO-liittimet tähtipisteen seuraavaa tasoa varten ja sovitinmoduulin takaosassa pikaliitin MPO-liitännälle. Yhdellä MPO-liittimellä voidaan liittää jopa 24 kuitua kerralla ja MPO-liittimiä voi olla useita yhden valokuitukaapelin päissä liitettynä.

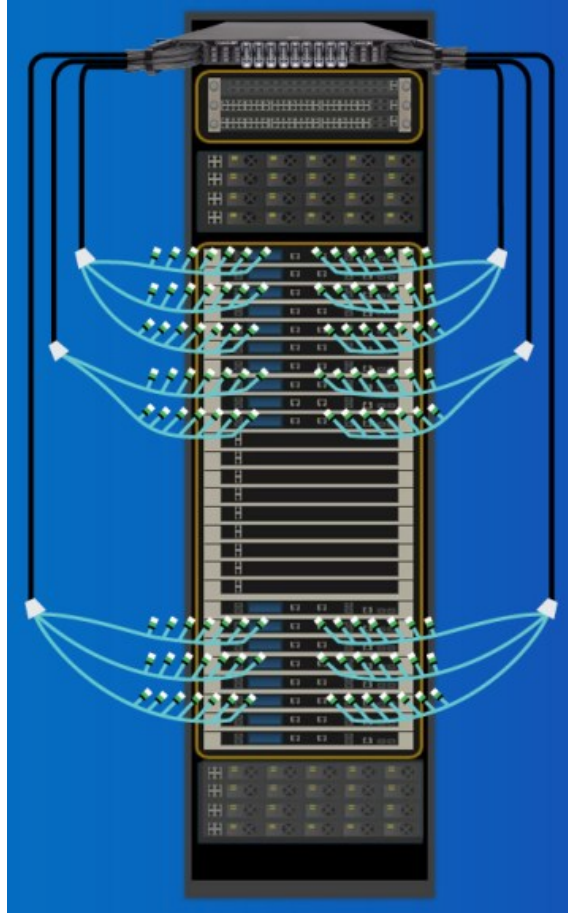
Isoissa, useita satoja kuituja sisältävissä kaapeleissa kaapelinrakenne on suojatumpi kuin pienissä kuitukaapeleissa, jonka vuoksi teleoperaattoreiden tai ristikytkentätelineiden väliset kaapelit täytyy niputtaa pienempiin nippuihin ennen ristikytkentä telinettä fyysisen tilan vuoksi. Isot kuitukaapelit tuodaan telineessä ensin jakolaatikkoon (ks. kuva 49).



Kuva 49. CommScope jakolaatikko kuitukaapelille (CommScope CO-CUB-M, 2026).

Jakolaatikko sijaitsee useimmiten telineen ylä- tai alareunassa josta kuitu tuodaan sisälle. Tässä kuidut jaotellaan useimmiten 12, 24 tai 48 kuidun nippuihin, jonka jälkeen ne voidaan viedä ristikytkentätelineen siirtymämoduuleille.

Palvelintelineeseen kaapelointi voidaan toteuttaa usealla tavalla, telinemuodulin ristikytkentätelineeltä suoraan palvelimille tai yksittäisen palvelintelineen kytkentäpaneelille. Alla kuvassa 50 on esimerkki palvelintelineestä. Yläosassa on kytkentäpaneeli, johon tuodaan isommasta ristikytkentätelineestä esim. MPO-MPO liitäntäkaapelilla yhteys. Kytkentäpaneelista MPO-liitännällä viedään palvelin- tai tallennuslaitteille yhteys, joka kytketään LC- tai SN-liitännällä laitteisiin.

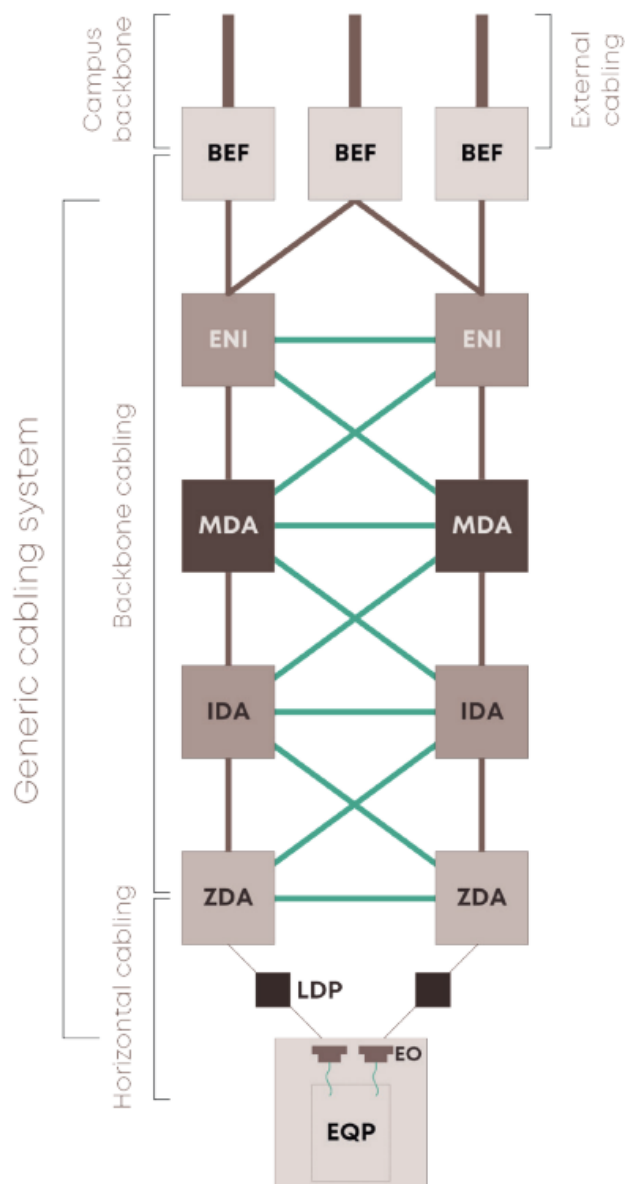


Kuva 50. Palvelintelineen kaapelointi esimerkki (CommScope, 2025).

Kytkentäpaneelin ja toimilaitteiden välissä sekä telineen alaosassa voi olla jäähdytinpaneeleja kuten kuvasta 50 nähdään.

5.3 Varmentaminen

Datakeskuksissa sijaitseva IT-infrastruktuuri on usein liiketoimintakriittistä suuryrityksille ja vaatii siksi täyden käytettävyyden. Yksi tapa saavuttaa maksimaalinen käyttöaika on datakeskus tilojen kahdentaminen, joka on vankka, mutta kallis menetelmä (ks. kuva 51). Toinen menetelmä sisältää redundanttien laitteiden lisäämisen ja yksittäisten vikaantumiskohtien välttämisen.



Kuva 51. Kahdennusperiaate datakeskuksessa (Huber+Suhner, s.40, 2022).

Varmentaminen yksittäisen datakeskuksen, ZDA:n tai jopa palvelinräkissä olevan toimijan kautta varmistaa, että kaikille datakeskuksen asiakkaille syötetään vähintään kaksi reittiä ulkomaailmaan tai kahden sisäisen sijainnin välillä. Kahdentaminen voidaan tehdä jokaisessa tai osassa tasossa hierarkiaa (Huber+Suhner, s.40, 2022).

6 Johtopäätökset ja yhteenveto

Datakeskukset toimivat maailmanlaajuisen tiedonsiirron perustana ja ilman niitä arkisten asioiden hoitaminen muuttuisi täysin. Suomalaisten ja kansainvälisten operaattoreiden suuret datakeskusinvestoinnit Suomeen tuovat merkittävän markkinan osuuden ja työllistävät monia yrityksiä Suomessa koko elinkaarensa aikana. Datakeskusten rakentamisessa pyritään useimmiten redundanttiin ja modulaariseen ratkaisuun. Näiden asioiden toteutuessa datakeskusten muunneltavuus ja laajennettavuus on kustannustehokasta ja nopeaa, nyt ja tulevaisuudessa.

Tämän diplomityön tarkoituksena on antaa yleistietoa ja vastauksia toimeksiantajayritykselle datakeskusten sähkö- ja tietoverkkojen rakentamisesta. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen; Miten datakeskusten keski- ja suurjänniteliittymä toteutetaan? vastauksena annetaan keskijänniteliittymän rakentamisen vaiheet verkkoyhtiön liityntä pisteestä KJ-muuntajalle saakka. Tämän voidaan todeta olevan samantapainen kuin minkä tahansa keskijänniteliittymän toteuttaminen, mutta usein datakeskuksessa on useampi liittymispiste ja näin myös useampi kojeisto ja muuntaja. Keski- ja suurjänniteliittymää rakentaessa on otettava alueellisen verkkoyhtiön vaatimukset huomioon. Työn laskelma osion perusteella todetaan korkeamman jännitetaso käyttäminen olevan sähkötekniisesti tehokkaampaa, sillä jännitteenalenema ja häviöt ovat pienempiä. Tämän vuoksi suuren datakeskuksen sähköliittymä on suositeltavaa toteuttaa mahdollisimman suurella jännitetasolla mikäli mahdollista.

Toinen tutkimuskysymys on; Mitä etuja kiskosilloilla ja jakelukiskoilla voidaan saavuttaa datakeskuksessa? Tähän työssä todetaan olevan monia etuja. Kiskosillat ja jakelukiskot ovat tarkoitettu suurien virtojen siirtoon, jota usein datakeskuksissa kohdataan. Näiden avulla selkeytetään, nopeutetaan ja tehostetaan sähkönjakeluverkon rakentamista ja muunneltavuutta perinteiseen kaapelointiin verrattuna. Rakennus- ja ylläpitokustannuksiltaan näiden käyttöä voidaan myös suositella. Kisko ratkaisulla voidaan kustannustehokkaammin varautua tulevaisuuden laajentamiseen nostamalla

johdinmateriaalin koko isommaksi yhdessä johtimessa, eikä kaapeleita tarvitse määrällisesti välttämättä lisätä sekä laajentaa kaapelireittejä.

Viimeisessä tutkimuskysymyksessä; Millainen on datakeskusten verkkotopologia ja miten se toteutetaan? selvitetään datakeskuksen tietoverkkokaapeloinnin rakennetta ja hierarkiaa. Verkkotopologia on moniasteinen tähtiverkko, joka jakautuu yhä useammin mitä isompi datakeskus on kyseessä sekä kuinka paljon IT-laitteita se sisältää. Verkko jakautuu runko- ja tilakohtaiseen verkkoon. Runkoverkossa käytetään useampi johtimisia optisia valokuitukaapeleita ja palvelintelineillä käytetään yleisimmin pienempiä kytkentäkaapeleita. Valokuitukaapeleita datakeskuksissa suositetaan paremman suorituskyvyn sekä kaapelin kevyen rakenteen vuoksi. Nykyisin kaikki kaapelit pyritään tekemään valmiiksi päätetyillä kuitukaapeleilla MPO- tai SN-liittimillä varustettuna. MPO-liitännät ovat nykyisin suosituimpia, koska yhdellä liitännällä voidaan yhdistää jopa 24 kuitua.

Työssä todetaan, että datakeskusten laitteistojen täytyy täyttää määrätyt vaatimukset datakeskuksen luokituksen mukaan, jonka perusteella myös sähkö- ja tietoverkon rakenne määräytyy. Todetaan myös että komponenttien, kuten kaapelien tai laitteistojen valinnoilla voidaan vaikuttaa suuresti kustannuksiin ja käyttövarmuuteen datakeskuksissa. Tämä diplomityö antaa lukijalle hyvän yleiskäsityksen siitä, mikä datakeskus ylipäätään on ja mitä se sisältää sähköteknisestä näkökulmasta katsottuna.

Lähteet

- ABB. (2017). *Syöttö- ja lähtökentän suojaus- ja ohjausrele REF615, Ostajan opas*. Noudettu 4.2.2026 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/f5dcf411ba594a388a7b8cc315ac01d3/REF615_pg_758316_Fla.pdf?x-sign=c+KNctXg/gshRAa7gB6YIhltqNpEJLZOeb3l6G49HZmXGmlsGdHx921KDnhxRrf8
- ABB. (2025). *Datakeskusten UPS-sovellukset-palvelinkeskuksen suojaus*. Noudettu 30.11.2025 osoitteesta <https://new.abb.com/ups/fi/ups-jarjestelmat-ja-varmennettu-sahkonsyotto/toimialat/datakeskukset/sovellukset>
- ABB. (2025). *Sähkösyöttöä ilman käyttökatkoksia*. Noudettu 30.11.2025 osoitteesta <https://new.abb.com/ups/fi/ups-jarjestelmat-ja-varmennettu-sahkonsyotto/toimialat/datakeskukset>
- Bticino. (2025). *XCP-S - Xtra Compact busbar, busbar brochure*. Noudettu 3.2.2026 osoitteesta <https://www.bticino.com/products/zucchini-busbar/high-power-busbar/xcp-s-xtra-compact-busbar/features-and-benefits>
- Bticino. (2025). *XCP-S - Xtra Compact busbar, installation and user manual*. Noudettu 3.2.2026 osoitteesta <https://www.bticino.com/products/zucchini-busbar/high-power-busbar/xcp-s-xtra-compact-busbar/features-and-benefits>
- Bticino. (2025). *XCP-S - Xtra Compact busbar, XCP catalogue*. Noudettu 3.2.2026 osoitteesta <https://www.bticino.com/products/zucchini-busbar/high-power-busbar/xcp-s-xtra-compact-busbar/features-and-benefits>
- Caruna. (2022). *Sähkörtäksuja täsmätarpeisiin: Datakeskus tarvitsee varman sähköliittymän*. Noudettu 19.10.2025 osoitteesta <https://caruna.fi/ajankohtaista/sahkoratkaisuja-tasmatarpeisiin-datakeskus-tarvitsee-varman-sahkoliittymän>
- Caruna. (2024). *Keskijänniteliittymien tekninen ohje*. Noudettu 25.1.2026 osoitteesta https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Keskij%C3%A4nniteliittymien_tekninen_ohje.pdf

- Caruna. (2025). *Suurjänniteliittymien tekninen ohje*. Noudettu 12.2.2026 osoitteesta [https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Suuri%C3%A4nniteliittymien tekninen_ohje.pdf](https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Suuri%C3%A4nniteliittymien_tekninen_ohje.pdf)
- Chint. (2023). *Why is PDU important in datacenters?* Noudettu 25.10.2025 osoitteesta <https://www.chintglobal.com/global/en/about-us/news-center/blog/why-is-pdu-important-in-data-centers.html>
- CommScope. (2016). *FiberQuide System Installation Manual*. Noudettu 10.2.2026 osoitteesta https://productresources.commscope.com/admin/ImageServer.php?ID=e142da67902@pjk349&class=Mamfile&rand=da2d84aeb257d086f37190436cd1f63d&omitPreview=true&downloadname=ADCP_95_005_pdf.pdf
- CommScope. (2024). *FACT Optical Distribution Frame (ODF) Solution*. Noudettu 6.3.2026 osoitteesta <https://webresources.commscope.com/download/assets/+Ordering+Guide%3A++FACT+Optical+Distribution+Frame+%28ODF%29+Solution/ebb05de43bd511f0aeaf3e67199c332c>
- CommScope. (2026). *Products CO-CUB-M*. Noudettu 19.3.2026 osoitteesta <https://www.commscope.com/product-type/frames-panels-cassettes-modules/frames-racks-hardware/accessories/item760258255/>
- Data Center Asia. (2025). *Understanding Data Center Power Consumption*. Noudettu 18.10.2025 osoitteesta <https://www.datacenter-asia.com/blog/how-much-power-does-a-data-center-use/>
- Data Center Dynamics. (2024). *Medium voltage power distribution on data centers*. Noudettu 24.1.2026 osoitteesta <https://www.datacenterdynamics.com/en/opinions/medium-voltage-power-distribution-in-data-centers/>
- Data Center Knowledge. (2025). *Data Center Network Topology: A Guide to optimizing performance*. Noudettu 6.1.2026 osoitteesta <https://www.datacenterknowledge.com/networking/data-center-network-topology-a-guide-to-optimizing-performance>

- Data Center Knowledge. (2025). *Data Centers Bypassing the grid to obtain the power they need*. Noudettu 25.11.2025 osoitteesta <https://www.datacenterknowledge.com/energy-power-supply/data-centers-bypassing-the-grid-to-obtain-the-power-they-need>
- Data Center University. (2025). *What's inside a data center?* Artikkelii. Noudettu 12.10.2025 osoitteesta <https://datacenteruniversity.be/whats-inside-a-data-center/>
- Delta Power Solutions. (2024). *Understanding the role of DCIM in modern data centers*. Noudettu 6.1.2026 osoitteesta <https://www.deltapowersolutions.com/en/mcis/technical-article-understanding-the-role-of-dcim-in-modern-data-centers.php>
- Device42. (2025). *A Free Guide to Data Center Racks*. Noudettu 8.11.2025 osoitteesta
- Device42. (2025). *Data Center Power, Chapter 5*. Noudettu 12.10.2025 osoitteesta <https://www.device42.com/data-center-infrastructure-management-guide/data-center-power/>
- DNA. (2025). *Yritysratkaisut, konosalipalvelut*. Noudettu 4.10.2025 osoitteesta https://www.dna.fi/yrityksille/palvelinkeskuspalvelut/konesalipalvelut?gad_source=1&gad_campaignid=15937453868&gbraid=0AAAAADtwbuh1V66KgON1axVc0S4XNPTyD&gclid=EAlaIQobChMIjcbDt8SKkAMVJEpBAh0dJiD1EAAYASAAEgL1F_D_BwE
- Eaton. (2015). *UPS Basics*. s. 2–3. Noudettu 30.11.2025 osoitteesta <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/data-center/documents/en-gb-ups-basics-white-paper.pdf>
- Eaton. (2024). *Automatic transfer switch (ATS) controllers and remote annunciators design guide*. Noudettu 6.2.2026 osoitteesta <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/design-guides---consultant-audience/eaton-ats-controller-design-guide-dg140004en.pdf>
- Eaton. (2024). *Contactoer type transfer switches*. Noudettu 6.2.2026 osoitteesta <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/design-guides---consultant-audience/eaton-ats-contactoer-design-guide-dg140001en.pdf>

- Eurolaite. (2026). *Kuinka uudet kuivamuuntajaratkaisut tehostavat datakeskusten energiankäyttöä.* Noudettu 2.2.2026 osoitteesta <https://eurolaite.fi/ajankohtaista/kuinka-uudet-kuivamuuntajaratkaisut-tehostavat-datakeskusten-energiankayttoa/>
- Fiberroad. (2023). *Mikä on SNMP ja kuinka se auttaa sinua valvomaan verkon suorituskykyä?* Noudettu 25.10.2025 osoitteesta <https://fiberroad.com/fi/resources/glossary/what-is-snmp/>
- Fingrid. (2022). *Kantaverkkoon liittyjän ohje.* Noudettu 12.2.2026 osoitteesta <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/kantaverkkoon-liittyjan-opas.pdf>
- GBC Engineers. (2025). *The basics on electrical data center design in 2025.* Noudettu 19.10.2025 osoitteesta <https://gbc-engineers.com/news/electrical-data-center-design>
- Graphical Networks. (2022). *DCIM vs BMS.* Noudettu 6.1.2026 osoitteesta <https://graphicalnetworks.com/blog-dcim-vs-bms/>
- Green Data Center. (2020). *Green Data Center Design and Management.* Blog. Noudettu 6.2.2026 osoitteesta <https://green-data.blogspot.com/2020/03/electrical-distribution-system-data-center.html>
- Haskoning. (2023). *What is a data centre and what different types of data centers exist?* Blog. Noudettu 4.10.2025 osoitteesta https://www.haskoning.com/en/newsroom/blogs/2023/what-is-a-data-centre-and-what-different-types-of-data-centres-exist?gad_source=1&gad_campaignid=23028448733&gbraid=0AAAAABwGKkRFkNd0kneQswhqCOH_9b9PO&gclid=EAlaIQobChMIk7qWkZeKkAMV3rKDBx1byCXoEAAAYASAAEgKuffD_BwE
- Heikkilaakso. (2011). *ABB:n TTT-käsikirja, luku 19.* Noudettu 2.2.2026 osoitteesta <https://heikkilaakso.com/opetus/abb/>
- Helen sähköverkko. (2025). *Keskijänniteliittymä 10-20kV.* Noudettu 1.2.2026 osoitteesta https://www.helensahkoverkko.fi/globalassets/hsv/dokumentit/hsv_su-ohje_keskijannite.pdf

- Hitachi. (2024). *Backup power for data centers of the future: the case for hydrogen fuel cells*. Noudettu 9.11.2025 osoitteesta <https://www.hitachienergy.com/news-and-events/blogs/2024/02/backup-power-for-data-centers-of-the-future-the-case-for-hydrogen-fuel-cells>
<https://www.device42.com/data-center-infrastructure-management-guide/data-center-racks/>
- Huber+Suhner. (2022). *Structured cabling in data centers*. Noudettu 9.2.2026 osoitteesta https://www.hubersuhner.com/Asset/eyJpZGVudGlmaWVyIjo0NzU4NCwidHlwZSI6ImFzc2V0In0%3D/MmP3-7WFjwdkRz5O/Structured_cabling_in_data_centers.pdf
- Hwaiyu, G. (2015). *Data Center Handbook*. Wiley.
- KW-set. (2024). *Backup power systems for data centers – Containerized solutions for Nordics*. Noudettu 9.11.2025 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=wIzGePsnmE>
- KW-set. (2026). *Virtakiskojärjestelmät*. Noudettu 2.2.2026 osoitteesta <https://www.kwset.fi/fi/legrand/virtakiskot/>
- NAFICON. (2022). *Datakeskusten optiset kaapeloinnit*. Noudettu 10.2.2026 osoitteesta <https://www.naficon.fi/b/datakeskusten-optiset-kaapeloinnit%E2%80%8B>
- Nlyte. (2025). *Choosin your datacenter location is crucial*. FAQ. Noudettu osoitteesta <https://www.nlyte.com/fags/what-is-a-data-center/>
- Nlyte. (2025). *What is PUE and how is it calculated?* Noudettu 23.2.2026 osoitteesta <https://www.nlyte.com/blog/data-center-energy-efficiency-pue-dcie/>
- nVent. (2024). *NVent ERIFLEX Flexbus Catalog and Technical Guide, 2nd Edition*. Noudettu 2.2.2026 osoitteesta <https://www.nvent.com/sites/default/files/acquiadam/assets/H87036-UKEN.pdf>
- ProCern. (2025). *Data Center Tier Requirements*. Noudettu 6.1.2026 osoitteesta <https://procern.com/data-center-tiers/>

- Prysmian. (2026). *XMK datasheet*. Noudettu 5.2.2026 osoitteesta https://datasheet.prysmian.com/pdf/datasheet/fiFI/304435/FI00_XMKHFCPRO_1X300AN1KV
- QSFPTek. (2023). *LAN Switch vs SAN Switch: What Is the Difference?* Noudettu 9.2.2026 osoitteesta https://www.qsfptek.com/qt-news/lan-switch-vs-san-switch-what-is-the-difference.html?srsIid=AfmBOopc0a_VIG3visCplfCd7EGNG8KZkNRTgG9V-Ovt7oHLzBD-H9zM
- Raritan. (2025). *Deploying High Power to IT Racks*. Noudettu 9.11.2025 osoitteesta <https://www.raritan.com/landing/high-power-white-paper/thanks>
- Schneider Electric. (2025). *DCIM-ohjelmisto datakeskuksen haasteisiin*. Noudettu 6.12.2025 osoitteesta <https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/data-centers-and-networks/dcim-software/>
- Schneider Electric. (2025). *iBusway for Data Center*. Tuotteet. Noudettu 28.10.2025 osoitteesta <https://www.se.com/fi/fi/product-range/62082-ibusway-for-data-center/-overview>
- SCU. (2022). *8 Functions of UPS Power Supply*. Noudettu 30.11.2025 osoitteesta <https://www.scupower.com/8-functions-of-ups-power-supply/>
- SpaceDC. (2021). *The 8 layers of security your data center must have*. Noudettu 6.12.2025 osoitteesta <https://spacedc.com/the-8-layers-of-security-your-data-center-must-have/>
- Sunbird. (2021). *Data Center Power Chains: AC vs. DC*. Noudettu 7.1.2026 osoitteesta <https://www.sunbirddcim.com/blog/data-center-power-chains-ac-vs-dc>
- Sunbird. (2025). *What is Data Center Automation?* Noudettu 6.12.2025 osoitteesta <https://www.sunbirddcim.com/what-data-center-automation>
- Testguy. (2022). *Data Center Power Distribution basics*. Noudettu 25.10.2025 osoitteesta <https://wiki.testguy.net/t/data-center-power-distribution-basics/241>
- Uptime Institute. (2014). *Data Center Facility Owners See Modules as Efficient Way to Deploy Capital*. Noudettu 6.2.2026 osoitteesta

<https://journal.uptimeinstitute.com/facility-owners-see-modular-data-centers-as-efficient-way-deploy-capital/>

- Vertiv. (2018). *Liebert PPC Power Distribution Unit 15-800 kVA*. Brochure. Noudettu 28.10.2025 osoitteesta <https://www.vertiv.com/495217/globalassets/products/critical-power/power-distribution/liebert-ppc-distribution-cabinet-new-large-ppc-400-750kva/liebert-ppc-pdu-family-data-sheet.pdf>
- Vertiv. (2023). *Optimizing data center power distribution through innovative busway design white paper*. Noudettu 8.11.2025 osoitteesta <https://www.vertiv.com/4aaddd/globalassets/products/critical-power/busway-and-busduct/vertiv-powerbar-impb/optimizing-data-center-power-distribution-through-innovative-busway-design-white-paper.pdf>
- Vertiv. (2025). *PowerBar iMPB IEC- Tap Off Units*. Noudettu 4.2.2026 osoitteesta <https://www.vertiv.com/48ff4a/globalassets/products/critical-power/busway-and-busduct/vertiv-powerbar-impb/vertiv-powerbar-impb-tap-off-units-brochure-sl-71368.pdf>
- Vintec. (2026). *Power Station Electrical Cabinets*. Noudettu osoitteesta <https://vintecgroup.vn/en/power-station-electrical-cabinets/>
- Wagner. (2025). *Fire protection ensures high availability in data centers*. Noudettu 6.12.2025 osoitteesta <https://www.wagnergroup.com/in/en/solutions/applications/data-centers>
- Wesco. (2025). *Is a busway power distribution system for your data center?* Noudettu 8.11.2025 osoitteesta https://www.anixter.com/en_us/resources/literature/techbriefs/is-a-busway-power-distribution-system-right-for-your-data-center.html