



# Esivalmistettu pääsähkönjake- luyksikkö datakeskushankkei- siin

Jonne Närhi

OPINNÄYTETYÖ  
Joulukuu 2025

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähköinen talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
Sähköinen talotekniikka

NÄRHI, JONNE:

Esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö datakeskushankkeisiin

Opinnäytetyö 35 sivua, joista liitteitä 1 sivua  
Joulukuu 2025

---

Tiedon määrän kasvu ja digitalisaation nopea kehitys kasvattavat datakeskuksien rakentamisen tarvetta sekä nykyisten laajentamista. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia datakeskuksien pääsähkönjakeluyksikön esivalmistamista. Tutkimuksessa selvitettiin datakeskuksien rakennetta, teknisiä järjestelmiä ja syvennyttiin esivalmistetun jakeluyksikön rakenteeseen ja vaikutuksiin rakennushankkeissa. Työn toimeksiantajana toimi SRV Rakennus oy, jolle tavoitteena oli luoda näkemys esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön ja paikan päällä rakentamisen vaikutuksista tiukan aikataulun datakeskuksien rakennushankkeissa.

Opinnäytetyössä käsitellään datakeskuksen yleistietoa, teknisiä järjestelmiä sekä Tier-luokituksia. Lisäksi käsitellään esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön rakennetta ja mitä kaikkea kuuluu prosessiin, ennen yksikön toimitusta. Teoriaosuudessa lähteinä käytettiin ulko- sekä kotimaisia verkkosivuja, teoksia ja haastatteluita. Tutkimusosuudessa käsitellään esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön vaikuttavia tekijöitä, kuten suunnittelu-, rakennusaika ja kustannusvaikutuksia. Vaikuttavia tekijöitä verrataan paikan päällä järjestelmän rakentamiseen.

Tutkimus osoitti, että esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö lyhensi merkittävästi rakennusaikaa ja käyttöönottoa sekä parantaa laadunhallintaa ja kustannustehokkuutta. Tutkimuksessa havaittiin, että esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö kaipaava tulevaisuudessa tutkimista muun muassa hukkalämmön hyödyntämisestä sekä palvelinsalien modularisoinnista.

---

Asiasanat: datakeskus, esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö, vertailu

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
Electrical Building Services

NÄRHI, JONNE:  
Prefabricated Main Electrical Distribution Unit for Datacenter Projects

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 1 pages  
December 2025

---

The purpose of this thesis was to examine the prefabrication of the main electrical distribution unit for data centers. The study explored the structure and technical systems of data centers, with particular focus on the design of a prefabricated distribution unit. The thesis was commissioned by SRV Rakennus Oy, and the aim was to provide an understanding of the differences between on-site construction and prefabrication.

The theoretical part of the thesis presents general information about data centers, technical systems, and tier levels. The prefabricated main electrical distribution unit is discussed in terms of its structure and the preparations required before delivery.

The research section analyzes the factors affecting the prefabricated main electrical distribution unit, including design, construction time and cost implications. These factors were compared with those of systems constructed on-site.

The results showed that the prefabricated main electrical distribution unit offered clear advantages in construction time, cost, and project management. Prefabrication reduced on-site work and improved quality control compared with traditional implementation.

It was concluded that prefabricated modular solutions are an efficient and reliable option for data center projects, supporting faster deployment and better cost predictability.

---

Key words: data center, prefabricated main electrical distribution unit, comparison

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	DATAKESKUKSET .....	7
	2.1 Tilat ja tekniset järjestelmät.....	7
	2.2 TIER-luokitukset.....	9
	2.2.1 TIER 1 .....	10
	2.2.2 TIER 2 .....	11
	2.2.3 TIER 3 .....	11
	2.2.4 TIER 4 .....	12
	2.3 Tilaaajat .....	13
3	ESIVALMISTETTU PÄÄSÄHKÖNJAKELUYKSIKKÖ .....	14
	3.1 Rakenne.....	14
	3.1.1 Sähkötekniset laitteet ja liitännät .....	15
	3.1.2 Häätäsammutus .....	17
	3.1.3 Jäähdytys .....	18
	3.2 Rakennusaika ja toimitus .....	19
	3.3 Tehdastestaukset.....	21
	3.3.1 Taso 1 .....	22
	3.3.2 Taso 2 .....	22
	3.3.3 Taso 3 .....	23
	3.3.4 Taso 4 .....	23
	3.3.5 Taso 5 .....	24
4	PAIKAN PÄÄLLÄ RAKENTAMISEN JA MODUULI RATKAISUN VERTAILU .....	25
	4.1 Rakennusaika ja aikatauluvaikutus .....	25
	4.2 Suunnitteluvaikutukset .....	26
	4.3 Kustannusvaikutus .....	27
	4.3.1 Suunnitteluvaihe .....	27
	4.3.2 Rakennusvaihe.....	28
	4.3.3 Käyttöönotto vaihe.....	29
5	POHDINTA .....	30
	LÄHTEET .....	32
	LIITTEET .....	35
	Liite 1. Haastattelukysymykset moduuli valmistajalle.....	35

**ERITYISSANASTO**

SRV	SRV Rakennus oy
UPS	(Uninterrupted Power Supply) Järjestelmä, jonka tarkoituksena taata katkeamaton virransyöttö laitteistolle
CRAC	(Computer Room Air Conditioner) Datakeskuksissa konesalien jäähdytyslaite
CRAH	(Computer Room Air Handler) Datakeskuksissa konesalien jäähdytyslaite
NOC	(Network Operations Center) Datakeskuksen valvomo tila
ATS	(Automatic Transfer Switch) Automaattinen vaihtokytkin
MMR	(Meet Me Room) Verkko-operaattorien kaapelien ristikenttä piste
CGI	IT- ja liiketoimintakonsultoinnin palvelut
VRLA	Venttiilisäädetty lyijyakku
FAT	(Factory Acceptance Test) Tehtaalla tehtävä käyttöönotto testi
SAT	(Site Acceptance Test) Asennuspaikalla tehtävä käyttöönotto testi

## 1 JOHDANTO

Digitalisaation nopea kehitys ja tiedon jatkuva kasvu ovat kasvattaneet datakeskusten merkitystä yhteiskunnan toiminnassa. Datakeskukset muodostavat perustan päivittäin käyttämillemme palveluille, kuten sähköposti, verkkokaupat, sosiaalinen media ja viranomaisjärjestelmät. Käytettävän datan tallentaminen tietokoneiden kovalevyille ja muistitikuille on vähentynyt huomattavasti ja suurin osa tallennetaan verkkoon pilvipalveluihin, kuten OneDriveen.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia datakeskuksen rakennetta, toimintaa ja teknisiä järjestelmiä, kuten esivalmistettua pääsähkönjakeluyksikköä. Työssä syvennytään tutkimaan esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön ja paikan päällä rakentamisen eroja, kuten suunnittelu-, aikataulu- ja kustannusvaikutuksia SRV Rakennus oy:lle.

SRV on suomalainen rakennusalan kehittäjä ja uudistaja, joka keskittyy projekti- ja allianssijohdantoihin ja allianssiprojekteihin. Vuonna 1987 perustettu yhtiö toimii erityisesti toimitila-, asunto- ja infrarakentamisen parissa, noin 800 työntekijän voimin. SRV vahvuuksiin kuuluu tiiviissä yhteistyössä asiakkaiden ja sidosryhmien kanssa toimiminen (SRV Rakennus oy).

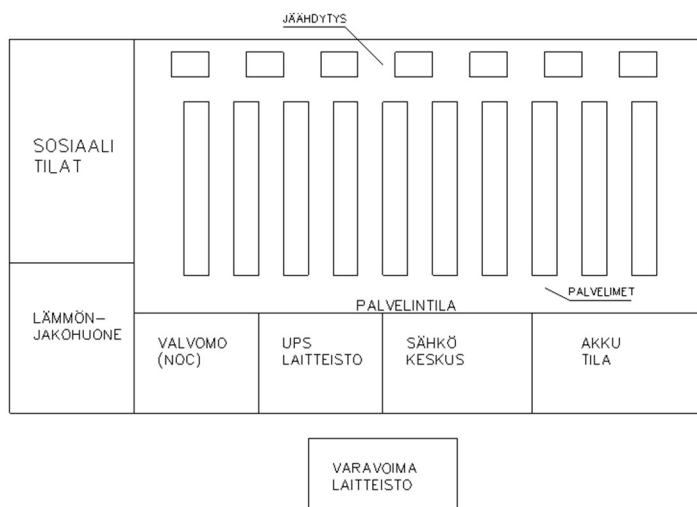
## 2 DATAKESKUKSET

Datakeskus on keskeinen osa nykyaikaista IT-infrastruktuuria. Rakenteeltaan se on fyysinen tila tai rakennus ja sen infrastruktuuri koostuu palvelimista, tallennusjärjestelmistä, verkkolaitteista sekä tukijärjestelmistä. Datakeskusten tehtävä on turvata tietojen tallennus, käsittely ja jakelu sekä varmistaa, että kriittiset palvelut sekä sovellukset toimivat keskeytyksettä (Cisco).

Datakeskus hankkeissa suureen painoarvoon nousee käyttöönottoprosessi, jossa käytetään useimmiten ASHRAE Guideline 1.6 menetelmää. Datakeskuksen käyttöönottoprosessia on tutkittu kappaleessa 3.3.

### 2.1 Tilat ja tekniset järjestelmät

Datakeskuksen suljettujen ovien takana piilee hyvin suunniteltu ja vartioitu tarkka maailma, joka on suojattu useilla fyysisillä suojaustoimenpiteillä. Rakennuksen ulkoalue on yleensä suojattu porteilla, aidoilla ja valvotuilla sisäänpääsypisteillä luvattoman kulun estämiseksi. Kiinteistön sisällä huolehditaan, että vain valtuutettu henkilöstö pääsee kriittisille alueille, kuten palvelintiloihin. Sisällä liikkumista valvotaan ja rajoitetaan esimerkiksi kulun- ja kameravalvonnan, biometrisien tunnistuksien ja rikosilmoitinjärjestelmän avulla. Datakeskuksen tyypilliset tilat esitetty alapuolella (Kuva 1) (Datacenteruniversity).



KUVA 1. Datakeskuksen tyypilliset tilat.

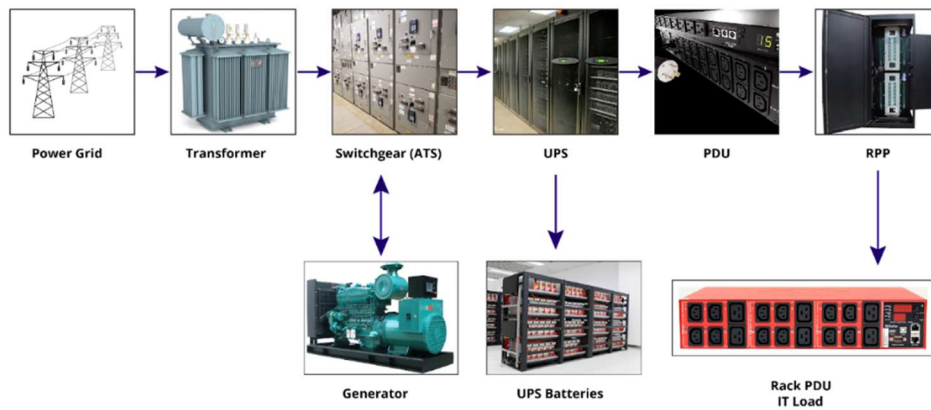
Datakeskuksen ydin on palvelintila, jossa sijaitsevat palvelimet, jäähdytyslaitteistot, tehonsyöttöjärjestelmät sekä valvontajärjestelmät. Palvelimet ovat sijoitettu rakkikaappeihin ja rakkien tyypillinen koko on 600x1200x2100 mm (EIA-310).

Valvomo tilasta (NOC) valvotaan datapisteitä, jotta kaikki toimii odotetusti. Valvonta kattaa lämpötilan, kosteuden, virransyötön ja kaikkien kriittisten järjestelmien tilan. Valvomolla on keskeinen rooli keskeytymättömän toiminnan takaamiseksi havaitsemalla ongelmat ennakoitavasti ja aikatauluttamalla ennaltaehkäiseviä huolto toimenpiteitä (Datacenteruniversity).

Meet me room (MMR) on keskeinen ja turvallinen tila kaikille datakeskuksen yhteyksille, jonka avulla organisaatiot voivat olla yhteydessä yhteen tai useampaan operaattoriin. MMR mahdollistaa samassa datakeskuksessa toimivien palveluntarjoajien ja organisaatioiden yhteydenpidon. Tilassa tehdään ristiin kytkennät asiakkaiden rakkikaappeihin (Volico). Esimerkiksi Telian datakeskuksissa muiden operaattorien valokuitukaapelit ovat päätetty MMR tilan ristikytkentätelineisiin (Telia).

Pääsähkönjakelu kiinteistöön syötetään valtakunnanverkosta keskijänniteliittymänä ja syötetään ensin muuntajille ja niiden avulla keskijännite (20kV) muutetaan kiinteistölle sopivaksi (400V). Muuntajilta sähkö syötetään ATS (Automatic Transfer Switch) keskukselle, josta jakelu tapahtuu eteenpäin (Device24). Sähkönjakelun reitti esitetty (Kuva 2). Automaattiset siirtokytkimet (ATS) mahdollistavat verkon vaihdon sähköverkosta varavoimageneraattorin tuottamaan sähkön vikatilanteessa. Sähköverkko toimii ensisijaisena sähkönjakeluna ja varavoima toissijaisena (Eaton).

Datakeskuksien on pystyttävä toimimaan vuorokauden ympäri vikasietoisesti ja keskeytymättömällä sähkönjakelulla. Vikasietoisuuteen syvennytään Tier-luokitukset kappaleessa. UPS laitteisto takaa sähkönjakelun katketessa akustoista välitöntä varavirtaa laitteistoille varavoimageneraattorien aktivoitumiseen saakka. UPS laitteisto voivat yleensä syöttää virtaa noin puoli tuntia ja tämä riittää täyttämään varavoimakoneen ja sähkökatkon välisen ajan. Varavoimakoneet ovat tyypillisesti dieselgeneraattoreita (Datacenteruniversity).

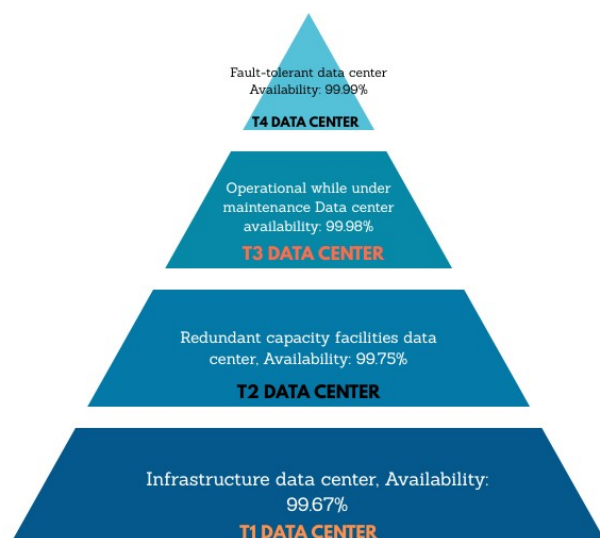


KUVA 2. Datakeskuksen sähkönjakelureitti (Device24).

## 2.2 TIER-luokitukset

Uptime Institute kehitti Tier-luokitusjärjestelmän yli 25 vuotta sitten ja nykyään se on kansainvälinen standardi datakeskusten suorituskyvyn arvioinnissa. Tier-määritelmät asettavat tietyt kriteerit, mutta eivät määritä tiettyjä teknologioita tai suunnitteluratkaisuja.

Tier-luokitukset jaetaan neljään eri kategoriaan, jotka vastaavat eri liiketoimintatarpeita ja määrittelevät kriteerit jäähdytykselle, viansietokyvylle ja huollolle. Tier-luokituksen kasvaessa rakennushankkeen hinta myös moninkertaistuu. Luokitukset ovat portaittaisia, eli jokainen seuraava taso sisältää alemman tason vaatimukset. Tier-luokituksista korkein vikasietoisuudeltaan on luokitus 4. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että Tier 4 datakeskus olisi aina parempi kuin Tier 3. Kyse on eri liiketoimintojen tarpeisiin soveltuvista ratkaisuista (Uptime institute).



KUVA 3. Datakeskuksien Tier-luokitukset Uptime instituten mukaan (Onechassis).

### 2.2.1 TIER 1

Tier 1-luokituksen datakeskukset tarjoavat perusinfrastruktuurin rajoitetulla redundanssilla, jossa on oma erillistilansa IT-järjestelmille. Nämä tilat sopivat esimerkiksi aloittaville tai pienille yrityksille, joilla on minimaaliset IT-vaatimukset ja sopeutuvat useammin esiintyviin käyttökatkoksiin. Tämä vaihtoehto on myös edullisin tier-luokituksista.

IT-järjestelmille suunniteltu erillistila sisältää UPS:n, joka parantaa tulevan sähkön laatua jännitteen notkahduksien ja virtapiikkien osalta. UPS tarjoaa varavoi-  
maa hetkellisille katkoille generaattorin käynnistymiseen saakka (Eaton, 2020). Erillistilassa on jatkuvatoiminen jäähdytysjärjestelmä (CRAH), joka toimii vuorokauden ympäri (Uptime institute).

Tier 1-luokituksen datakeskuksissa on yksi reitti jäähdytyksen ja sähkön jakelulle, joka tarkoittaa, että kyseisissä järjestelmissä ei ole redundanssia. Tämän takia huolto/ vika sähkön tai jäähdytyksen infrastruktuurissa voi johtaa käyttökatkoksiin. Nämä datakeskukset on suunniteltu tarjoamaan 99.671 % käyttöaika, mikä tarkoittaa vuosi tasolla 28.8 tunnin katkos aikaa (Onechassis).

Tier-luokitus 1 tiivistettynä

- Saatavuus 99.671 %
- Katkos aika vuosi tasolla 28.8 tuntia
- Koko ajan toiminnassa oleva jäähdytysjärjestelmä
- Katkeamaton sähkönsyöttö (UPS) sähkökatkosten varalle
- IT-järjestelmille määritetty alue

### **2.2.2 TIER 2**

Tier 2-datakeskukset tarjoavat luotettavamman ja paremman redundanssin verrattuna tier 1-datakeskuksiin ja ne sisältävät redundantteja komponentteja sähkö- ja jäähdytysjärjestelmille. Redundantteja komponentteja ovat varavoimageraattorit, pumpput, lisä jäähdytysyksiköt ja UPS moduulit. Tämä vähentää laitevikojen aiheuttamaa katkos aikaa. Tier 2-tyyppi sopii esimerkiksi keskisuurille yrityksille, jotka vaativat kohtuullista luotettavuutta.

Tier 2-luokituksessa on myös yksi reitti sähkön ja jäähdytyksen jakelulle, joten nämä tilat ovat tier 1 mukaan myös alttiita käyttökatkoksille huolto tai vikatilanteissa. Redundantit komponentit kuitenkin tarjoavat paremman vikasietoisuuden ja luotettavuuden IT-järjestelmille. Huolto- ja suunnittelemattomien katkoksien vuosittainen vaikutus aika on 22 tuntia, eli saatavuus on 99.741 % (Onechassis).

Tier-luokitus 2 tiivistettynä

- Saatavuus 99.741 %
- Katkos aika vuosi tasolla 22 tuntia
- Redundanttisia sähkö-, tietoverkko-, varavoima- ja jäähdytysjärjestelmiä

### **2.2.3 TIER 3**

Tier 3 on suunniteltu korkeaa käytettävyyttä varten ja sopii yrityksille, joilla on kriittisiä toimintoja ja eivät kestä pitkiä käyttökatkoksia. Huolto toimenpiteet sähkö- ja jäähdytysjärjestelmille eivät vaadi järjestelmien alasajoa, joten yritykset voivat ylläpitää liiketoimintaansa ilman häiriöitä. Tämä luokitus sopii esimerkiksi rahoituslaitoksille ja verkkokauppa yrityksille.

Tier 3-luokituksessa on kaksi jakelu reittiä sähkö- ja jäähdytysjärjestelmille, mutta vain toinen on kerrallaan aktiivinen. Tämä toteutustapa takaa katkeamattoman jakelutavan, vaikka yksi reitti vioittuisi tai vaatisi huoltoa. Näiden datakeskusten saatavuus on 99.982 % ja se tarkoittaa vuodessa 1.6 tunnin katkos aikaa. Tier 3 ei ole kuitenkaan täysin vikasietoinen, koska vika- tai huoltotilanteessa toinen reitti on jo käytössä (Onechassis).

Tier-luokitus 3 tiivistettynä

- Saatavuus 99.982 %
- Katkos aika vuosi tasolla 1.6 tuntia
- Sähkö- tai jäähdytysjärjestelmiä voidaan huoltaa käytön aikana vaikuttamatta toimintaan.

#### **2.2.4 TIER 4**

Tier 4-luokituksen datakeskukset tarjoavat korkeimman vikasietoisuus-, luotettavuus- ja käytettävyys tason, mutta ovat myös kallein toteuttaa ja käyttää. Tämä ratkaisu sopii esimerkiksi terveydenhuollolle, julkiselle sektorille tai globaaleille yrityksille, joilla on merkittäviä resursseja sekä tiukat käyttöaikavaatimukset (Onechassis).

Tier 4-luokituksessa on useita aktiivisia sähkö- ja jäähdytysjärjestelmien jakelu-reittejä ja tämä varmistaa, että ei ole yksittäisiä vikaantumispisteitä. Tier 4:ssä on toisistaan fyysisesti eristettyjä järjestelmiä, jotka toimivat redundantteina kapasiteetti- ja jakelukomponentteina (Uptime institute). Korkein luokitus pystyy tarjoamaan saatavuudeksi 99.995 %, joka vastaa vuosi tasolla 26.3 minuutin katkos aikaa (Onechassis).

Tier-luokitus 4 tiivistettynä

- Saatavuus 99.995 %
- Katkos aika vuosi tasolla 26.3 minuuttia
- Kaikki sähkö-, tietoverkkojärjestelmät kahdennettu

## 2.3 Tilaajat

Viileä ilmasto, edullinen ja puhdas energia sekä erinomainen digitaalinen infrastruktuuri houkuttelee yrityksiä rakennuttamaan datakeskuksensa suomeen.

Google avasi ensimmäisen datakeskuksen suomeen vuonna 2011 Haminaan vanhaan paperitehtaaseen.

Yksi merkittävimmistä datakeskushankkeiden tilaajista on suuret kansainväliset teknologiayritykset, joita kutsutaan hyperscalereiksi. Kyseisiin teknologiayrityksiin kuuluu muun muassa Google, Amazon Web Services (AWS) ja Meta. Suuret teknologiayritykset rakennuttavat datakeskuksia pääsääntöisesti omiin tarpeisiin, koska yrityksen toiminta perustuu pilvipalveluihin sekä tekoälyyn (Businessfinland, 2025).

Merkittävän tilaajaryhmän Suomessa muodostavat kotimaiset ja alueelliset teleoperaattorit sekä palveluntarjoajat kuten Telia, DNA, Elisa sekä pienemmät hosting ja co-location yritykset. Operaattoreiden ja palveluntarjoajien datakeskusliiketoiminta perustuu kapasiteetin vuokraamiseen asiakkaille. Telian colocation-tilaratkaisu tarjoaa asiakkaille muutaman palvelimen laitekaapista yksityiseen konesaliin asti (Telia).

Kiinteistösijoittajat ja kansainväliset datakeskusoperaattorit muodostavat yhden tilaajaryhmän, joiden liiketoimintamalli pohjautuu myös tilojen ja kapasiteetin vuokraamiseen. Esimerkiksi Equinix:illa on Helsingissä viisi kappaletta datakeskuksia asiakkaiden käyttöä varten (Equinix). Equinix tuotti CGI:lle suomeen julkista sektoria palvelevan datakeskuksen. Equinixin ja CGI:n datakeskuspalvelua muun muassa käyttävät ministeriöt, virastot ja muut julkisenhallinnon toimijat (Rakennuslehti).

### 3 ESIVALMISTETTU PÄÄSÄHKÖNJAKELUYKSIKKÖ

Esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö tarkoittaa tehtaalla valmistettua modulaarista ratkaisua, joka kokoaa sähkönsyötön kannalta keskeiset laitteet yhdeksi kokonaisuudeksi. Moduulit ovat täysin muokattavissa ja räätälöitävissä erityyppisiin kohteisiin sopiviksi. Järjestelmä tarjoaa rakennushankkeisiin joustavuutta, nopeuttaa käyttöönottoa ja virtaviivaistaa rakennusprosessia. Pääsähkönjakeluyksiköiden määrä rakennushankkeessa riippuu datakeskuksen MW (Mega Watti) koko luokasta.

#### 3.1 Rakenne

Moduulit ovat yleensä kontti- tai skid rakenteisia, jotka voidaan kuljettaa valmiina työmaalle. Moduulit koostuvat sähköteknisistä järjestelmistä, jäähdytyksestä ja palosammutus järjestelmästä. Moduulin koko vaihtelee kohteeseen räätälöityjen ratkaisujen takia, kuten pääkeskuksen, jäähdytyksen, muuntajien ja akustojen koiden mukaan. Mitä suuremman kapasiteetin moduuli, sitä tilaa vievempiä laitteita se sisältää. Esimerkiksi Schneiderin 1250kW Power Skid on pituudeltaan 12,8 m, korkeudeltaan 3,05 m ja leveydeltään 2,9 m (Schneider). Eatonin ja NordicEPOD 2MW moduuli on pituudeltaan 17,3 m, korkeudeltaan 3,9 m ja leveydeltään 3,7 m ja painoa on 48 tuhatta kiloa (Eaton).

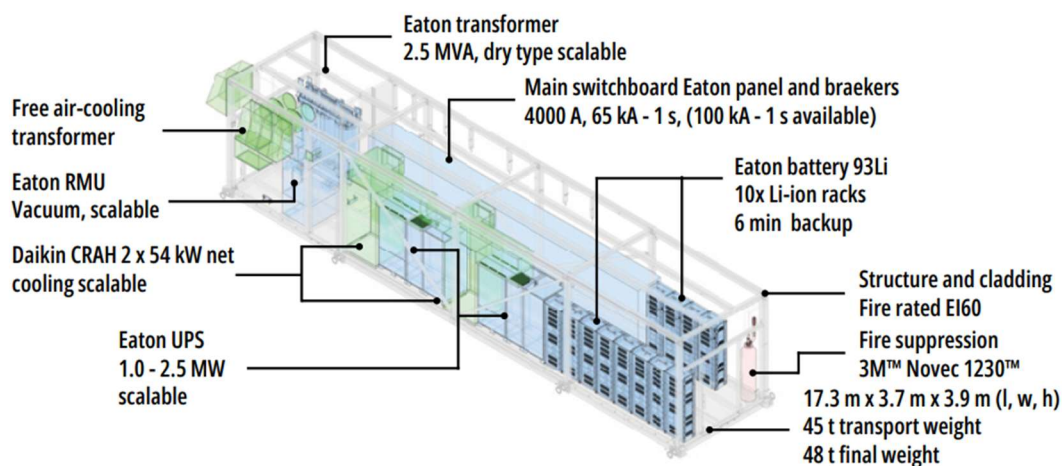


KUVA 4. Eatonin e-house kuljetuksessa (Eaton).

### 3.1.1 Sähkötekniset laitteet ja liitännät

Verkkoliityntä yksikölle saapuu alueellisesta keskijänniteverkostosta keskijännitekojeistolle RMU (Ring Main Unit) ja ne toimivat aina 24kV asti (Eaton). Keskijännitekojeistolla voidaan hallita jakeluverkon osia katkaisemalla sähkönsyöttö jakeluverkosta. Keskijännitekojeistolta sähkönjakelu kulkee eteenpäin muuntajalle. Muuntajalla sähkö muunnetaan kiinteistön käyttöön sopivaksi (400V). Keskijännitekojeisto ja muuntaja sijoitetaan moduulissa erilleen muista järjestelmistä esimerkiksi väliseinällä.

Moduulin pääkeskus sijoitetaan yksikköön esimerkiksi (Kuva 5) kohdille huomioiden huoltoetäisyydet. Standardin mukaan käytävän leveys kytkinkahvojen ja erotusasennossa olevan katkaisijan tai kytkinkahvan ja seinän välillä oltava 600 mm. Lisäksi laitteiden ovet tai saranoidut kannet pitää aueta vähintään 90° (SFS 6000-7-729). Pääkeskus varustetaan ATS (Automatic Transfer Switch) kytkimellä, johon liitetään kohteen varavoimalaitteisto. Varavoima generaattori suositellaan olevan kVA luokitukseltaan 1,5 tai 3 kertainen UPS verrattuna.



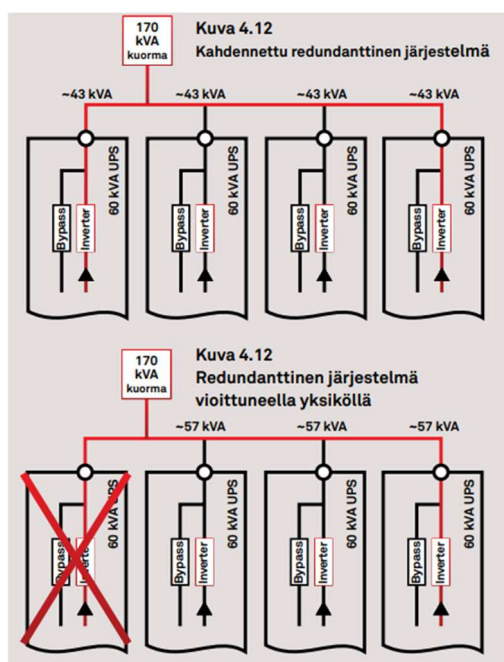
KUVA 5. Esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön rakenne (Eaton).

Moduulin UPS-laitteistolla varmistetaan kriittisten järjestelmien sähkönjakelu, jossa ei synny katkoksia ja pyritään varmistamaan häiriötön sähkönsyöttö. Laitteisto ei sovellu pitkienkatkoksien varalle vaan pystyy syöttämään sähköä hetkelisästi, joka on noin 5–10 minuuttia.

UPS järjestelmiä on kolmea tyyppiä, On-line UPS (Double conversion), Line interactive ja Off-line UPS (Stand-by). Datakeskuksissa käytetään pääsääntöisesti On-line järjestelmää, joka takaa katkottoman siirtymän akkusyötölle.

UPS valintaan yksikköön vaikuttaa tehon tarve ja valinnassa kannattaa ennakoita tulevaisuuden tehon tarvetta. Järjestelmä voidaan rakentaa rinnakkain, esimerkiksi tehon tarve on 100kVA, voit valita yhden UPS sijaan 2x60kVA. Rinnakkaisilla ratkaisuilla lisätään redundanttisuutta tai n+1 ratkaisua.

UPS laitteisto toimii 0–40 °C asteen lämpötilassa. Järjestelmä tuottaa itsessään lämpöä 3–10 % UPS:n VA-arvosta täydellä kuormalla (Coromatic).



KUVA 6. Redundanttinen UPS järjestelmä (Coromatic).

UPS järjestelmien energiavarastona toimivat akustot ja ne ovat tyypillisesti lyijy-akkuja (VRLA) tai litium-ioniakkuja. Akustot sijoitetaan yksikössä akkutelineisiin, jotka ovat käytännöllisiä asennuksessa ja huolloissa. Venttiilisäädetyt lyijyakut ovat olleet yleisempi valinta, niiden edullisuuden ja luotettavuuden vuoksi.

Litium-ioniakustot yleistyvät hankkeissa nopean latauskykynsä, pidemmän elinkaaren ja paremman lämpötilansietonsa ansiosta. Litium-ioniakulla on myös suurempi energiatiheys (Wh/kg) ja suurempi lähtöteho tiheys (W/kg). Samalla energianvarastointikapasiteetilla varustettu litium-ioniakku painaa noin kolme kertaa vähemmän kuin lyijyakku.

Moduulin tilan tehokas käyttäminen on avainasemassa tilan säästämisen kannalta, joka heijastuu moduulin kokoon ja myös painoon. Kompaktit litiumioniakut vähentävät tilaa 50–80 %. Lyijyakkujen käyttö ikä on noin 3–6 vuotta, puolestaan litiumioniakkujen on noin 10 vuotta (Deltapowersolutions).

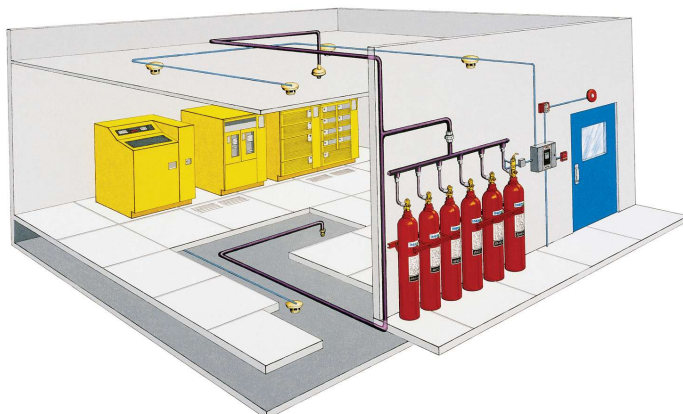
Moduulin akustoja valvotaan akun hallintajärjestelmä BMS (Battery Management System) avulla. Järjestelmää käytetään etenkin litium- pohjaisille akustoille, koska ovat herkkiä yllilatauksen aiheuttamille virroille. Järjestelmä estää yllilatauksen ja syväpurkautumisen sekä valvoo lämpötilaa. Yllilataus akustoille voi aiheuttaa oikosulun ja johtaa pahimmillaan tulipaloon (Energiateuote).

### **3.1.2 Häätäsammutus**

Yksiköt on suunniteltu kriittisten sähkölaitteiden sijoittamiseen ja tulipalon syttyessä voi aiheuttaa laajoja vaurioita laitteille. Sammutusjärjestelmän tarkoituksena on suojata kriittiset sähkölaitteet, kuten UPS, muuntajat ja kytkinlaitteet ja estää peruuttamattomat vahingot sekä seisokkiaan välttäminen (FSI-systems). Nordi- cEPOD:in sähkönjakeluyksiköt ovat esimerkiksi paloluokitukseltaan EI60, mikä tarkoittaa rakenteen kyvyn vastustaa tulta ja säilyttää eristävyytensä 60 minuutin ajan palo-olosuhteissa (Eaton).

Kaikissa tiloissa ei voi käyttää yleisimpiä sammutusaineita, kuten vettä tai vaahtoa. Ne voivat aiheuttaa lisävahinkoja laitteistoille sekä toimivat hieman liian hitaasti. Kaasusammutusjärjestelmää käytetään suojaamaan tiloja, joissa on tärkeitä järjestelmiä ja se ei myöskään johda sähköä. Moderneissa kaasusammutusjärjestelmissä käytettävä kemiallinen kaasu on myös ympäristöystävällistä sekä turvallista ihmisille. Kaasusammutusjärjestelmä, kuten Novec 1230 sopii esimerkiksi datakeskuksiin, museoihin, palvelintiloihin ja UPS tiloihin (Caverion).

Novec 1230 järjestelmät purkavat sammutteen 10 sekunnin kuluessa, jolloin A, B, C luokkien tulipalot sammuvat välittömästi. Nopealla sammutuksella vahingot jäävät vähäiseksi, käyttökatkoset lyhyemmiksi ja korjauskustannukset pienemmiksi (Novec). Aiemman kappaleen kuvassa (Kuva 5) nähtävissä myös sammutinpullon sijoitus moduulissa.



KUVA 7. Novec 1230 sammutusjärjestelmä (Novec).

### 3.1.3 Jäähdytys

Yksikön jäähdytys on keskeinen osa toimintavarmuutta ja sähkölaitteiden elinkaarta. Laitteet kuten muuntaja, UPS akustoineen ja pääkeskus tuottavat käytön aikana huomattavan määrän lämpöä, joka täytyy poistaa laitteiden optimaalisten toiminta olosuhteiden vuoksi.

Akustot ovat riippuvaisia moduulin lämpötilasta, optimaalinen käyttölämpötila on 5–25 celsiusta. VRLA akuilla kymmenen asteen kasvu tarkoittaa akun iän puolittumista. Litiumioni akku sietää korkeampia lämpötiloja kuin VRLA akku, mutta optimaalinen lämpötila on +25 °C. UPS tuottama lämpö on karkeasti 3–10 % VA-arvosta täydellä kuormalla, joten niitä ei saa sijoittaa suljettuun tilaan ilman ilmastointia (Coromatic).

Kuiva muuntajat tuottavat hukka lämpöä enemmän, kuin öljymuuntajat. Kuivamuuntajat yli 2500 kVA tuottavat lämpöhäviöitä noin 15W/ kVA, joten 2MVA muuntaja tuottaisi noin 37,5 kW.

Datakeskuksien yleisin jäähdytysmuoto on ilmajäähdytys, jota voidaan soveltaa myös moduuliin. CRAH (Computer Room Air Handler) jäähdytysyksikön tehtävä vastaa rakennusten kylmävesi-ilmastointilaitteita. Yksikössä käytetään puhalti-

mia, jotka puhaltavat jäähdytyspattereiden yli. Jäähdytyspatterit on täytetty jäähdytysvedellä kylmäaineen sijasta. CRAH mahdollistaa puhaltimien nopeuden säätämisen, joka varmistaa moduulin vakaan kosteus ja lämpötilatason (Dataspan).

CRAC (Computer Room Air Conditioner) käyttävät suoraohjauksella jäähdytyskiertoa. Ilma jäähdytetään puhaltamalla jäähdytyspatterin yli, joka on täytetty kylmäaineella (Dataspan).

Jäähdytysyksiköiden suurimpana erona on, että CRAC käyttää kylmäaineita sekä kompressoreita ja CRAH yksikkö kylmäväettä sekä säätöventtiileitä. CRAC on toiminnaltaan yksinkertaisempi kuin CRAH, mutta sisältää enemmän osia ja komponentteja. CRAC yksiköt sopivat, jos käytettävyyksivaatimukset ovat alhaisemmat ja jäähdytystarve alle 200kW. CRAH yksiköt ovat kustannustehokkaampia tehokkaamman jäähdytyskierron takia ja niillä on suurempi lämmönpoistokyky (Dataspan)

### **3.2 Rakennusaika ja toimitus**

Rakennusaika kappale suoritettiin haastattelu kysymyksen muodossa moduuli valmistajalle (Liite 1). Esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön rakennusaika muodostuu useasta rinnakkaisesta ja toisiinsa kytkeytyvistä vaiheista ja jokainen osa-alue vaikuttaa kokonaisuikatauluun, laatuun sekä toimintavarmuuteen. Moduulin rakennusaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat tekninen laajuus järjestelmä tasolla, komponenttien saatavuus sekä testaus ja hyväksyntäprosessin laajuus.

Näistä erityisesti komponenttien toimitusajat korostuvat, sillä ne muodostavat usein merkittävimmän yksittäisen aikatauluriskin. Poikkeuksellisen pitkän toimitusajan omaavat tuotteet, kuten keskijännitekojeistot ja jakelumuuntajat, voivat pidentää hankintaa huomattavasti markkinatilanteesta ja toimittajasta riippuen. Tämän vuoksi moduulit pyritään suunnittelemaan siten, että ne käyttävät mahdollisimman hyvin saatavilla olevia komponentteja ja järjestelmiä.



KUVA 8. NordicEPOD moduulien tuotanto linja (NordicEPOD).

Moduulin rakennusprosessi käynnistyy tilauksen jälkeen tehtävällä lopullisella valmistussuunnittelulla ja mallinnuksella, joka hyväksytetään tilaajalla. Suunnittelu- ja hyväksyttämisvaihe kestää kokonaisuudessaan noin 5–6 viikkoa.

Suunnitteluvaiheen vaiheen jälkeen käynnistetään runkorakenteiden tuotanto sekä tarvittavien komponenttien hankinta. Pitkän toimitusajan pääkomponentit pyritään kuitenkin hyväksyttämään ja tilaamaan jo mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta niiden toimitus ei muodostuisi kriittiseksi osa-alueeksi.

Moduulin fyysinen rakennusaika koostuu useista rinnakkaisista työvaiheista. Rungon ja laitteistojen valmistus kestää noin 5–8 viikkoa ja nämä toteutetaan samanaikaisesti tuotannon tehostamiseksi. Kun runkorakenne ja laitteistot ovat valmiit, siirrytään moduulin kalustamiseen ja tarvittaviin taloteknisiin asennuksiin. Lämmitys-, ilmanvaihto- ja sähköasennuksiin kuluu noin 2–3 viikkoa. Lopuksi moduuli käy läpi käyttöönottovaiheen, mikä kestää tyypillisesti noin viikon. Kokonaisuudessaan ensimmäisen moduulin läpimenoaika on noin 13–18 viikkoa. Seuraavien moduulien toimitusaika lyhenee huomattavasti, sillä suunnittelu- ja hyväksyntäprosesseja ei tarvitse toistaa ja tuotantoa voidaan toteuttaa useamman moduulin osalta rinnakkain.

Rakennusprosessin keskeiset riskitekijät liittyvät hyväksyttämisen viivästyminen sekä komponenttien saatavuuteen. Hyväksyntäprosessi voi pitkittyä useiden sidosryhmien ja hyväksymisportaiden vuoksi. Mikäli hyväksyntä viivästyy, myös komponenttien hankinta siirtyy ja hidastaa tuotantoa. Komponenttien

saatavuus muodostaa nykytilanteessa merkittävän riskin erityisesti keskijännite-tuotteissa. Keskijännitekojeistojen ja jakelumuuntajien toimitusaika voi olla yli 20 viikkoa.

Näiden tuotteiden hankinta tulisi kyetä varmistamaan hyvissä ajoin ennen muun tuotannon käynnistämistä. Lisäksi globaali markkina- ja raaka-ainetilanne voi tuoda ennakoimattomia viiveitä toimitusketjuun.

Toimitus kohteessa on tärkeää varmistaa, että nostokalusto voidaan sijoittaa riittävän lähelle moduulin lopullista asennuspaikkaa. Maaperän kantavuus, työmaa-alueen tilankäyttö ja esteettömyys vaikuttavat nostotyön sujuvuuteen ja turvallisuuteen. Lisäksi moduulit tulee asentaa suunnitellussa järjestyksessä, jotta vältetään tarpeettomat lisänostot tai tilanteet, joissa jouduttaisiin nostamaan valmiita yksiköitä toistensa yli.

Ulkomailla valmistetut moduulit edellyttävät pidempää logistista suunnittelua ja ovat herkempiä kansainvälisille viiveille. Suomessa valmistetut moduulit, kuten KW-setin tuotanto, hyötyvät lyhyemmästä toimitusketjusta ja paremmasta reagoitakyvystä muutoksiin, mikä parantaa kokonaisuudessaan toimitusvarmuutta.

### **3.3 Tehdastestaukset**

Esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön testaus ja käyttöönotto on keskeinen osuus projektin laadunvarmistuksesta sekä turvallisuudesta. Käyttöönotto-ohjelmat noudattavat kansainvälisiä standardeja, kuten IEC 61439 ja IEC 62271, jotka määrittelevät vaatimukset pien- ja keskijännitekojeistojen sekä suljettujen kytkinlaitteiden sähköturvallisuudelle ja testaukselle.

Käyttöönotto jakautuu datakeskushankkeissa useaan eri tasoon, jotka muodostavat loogisen etenemisen järjestelmän testauksesta lopulliseen hyväksyntään. Käyttöönottoprosessissa päätarkoituksena on löytää mahdolliset ongelmat mahdollisimman varhaisessa vaiheessa prosessia. Tyypillinen käyttöönottoprosessi sisältää tasot 1–5 (Cxplanner). Käyttöönottoprosessissa hyödynnetään väritunnisteita osoittamaan käyttöönoton tilaa. Datakeskuksissa käytetyin testausmene-

telmä on ASHRAE Guideline 1.6. Tyypillisissä rakennushankkeissa pääurakoitsija vastaa tasojen 0–3 tasoista ja asiakas nimeää ulkopuolisen Commissioning Agentin (CxA), joka vastaa käyttöönotosta tasoilla 4 ja 5.

### **3.3.1 Taso 1**

Käyttöönoton ensimmäisen taso keskittyy laitteiden ja järjestelmien valmisteluun sekä niiden testaamiseen tehtaalla. FAT (Factory Acceptance Test) eli tehtaan hyväksyntä testaus suoritetaan ennen toimitusta asiakkaalle varmistaakseen, että tuote täyttää määritellyt vaatimukset, toiminnallisuuden sekä suunnittelukriteerit. Fat:n tavoitteena on todentaa, että moduulin kaikki järjestelmät toimivat yhtenä kokonaisuutena. Kyseinen testaus menetelmä mahdollistaa ennen asiakkaalle luovutusta virheiden havaitsemisen ja korjaamisen, mikä vähentää käyttöönoton aikaisia viiveitä ja kustannuksia. Moduulin FAT testaus suoritetaan valmistajan tiloissa urakoitsijan ja laitetoimittajan yhteistyönä (DXP). Kun kaikki testit on suoritettu hyväksytysti, laitteet merkitään punaisella tunnisteella, joka osoittaa testauksen läpäisyn (Cxplanner).

FAT testejä on mahdollista nykyään seurata myös menemättä paikan päälle. Esimerkiksi ABB:ltä online Factory Acceptance Test mahdollistaa sen, että asiakas voi seurata tehdas hyväksyntätestiä ilman, että hänen tarvitsee mennä toimipaikkaan.

### **3.3.2 Taso 2**

Tason kaksi käyttöönotto keskittyy laitteiden ja järjestelmien vastaanottoon, asennukseen sekä valmistelut ennen ensimmäistä käynnistystä. Prosessia hallinnoi pääurakoitsija. Tässä vaiheessa tarkastetaan, että laitteet vastaavat hyväksytyjä dokumentteja sekä niiden kuljetus, varastointi ja asennus on suoritettu asianmukaisesti. Tasolla suoritetaan jännitteettömiä mittauksia ja tarkastuksia, joiden avulla todetaan järjestelmien turvallisuus ennen jännitteellisiä mittauksia. Lisäksi varmistetaan, että kaikki dokumentit, käyttöohjeet ja hyväksyntäraportit

on toimitettu. Kun kaikki tarkastukset ja valmistelut on hyväksytysti suoritettu, laitteet merkitään keltaisella tunnisteella, joka osoittaa niiden valmiuden käynnistystä varten (Construct and commission).

### **3.3.3 Taso 3**

SAT (Site Acceptance Test) on kolmas vaihe moduulin testaus- ja käyttöönottoprosessissa, jossa varmistetaan laitteiden toimivuus oikein asennusympäristönsään. Tasossa järjestelmät käynnistetään ensimmäistä kertaa ja toiminta testataan. Käynnistuksen yhteydessä mitataan käyttöarvoja, kuten virtoja, jännitteitä, lämpötiloja sekä tarkastetaan ohjauslogiikan ja automaation toiminta. Testien aikana suoritetaan järjestelmien konfigurointi ja kalibrointi sekä kaikki tulokset dokumentoidaan hyväksytysti. Kun SAT-tasoiset testit on suoritettu hyväksytysti, laitteet saavat vihreän tunnisteen.

### **3.3.4 Taso 4**

Käyttöönottoprosessin neljäs taso keskittyy järjestelmien ja suorituskyvyn arviointiin ja testauksiin todellisissa käyttöolosuhteissa. Tässä vaiheessa testataan yksittäisten järjestelmien kyky täyttää suunnittelu- ja laatuvaatimukset sekä toimia kuormituksilla. Testausprosessi kattaa järjestelmien rajapinnat, hälytykset sekä varajärjestelmien toiminnan. Käyttöönottovaihe suoritetaan Commissioning Agentin johdolla ja niihin osallistuvat myös urakoitsijat, laitetoimittajat sekä asiakkaan tekninen henkilöstö. Mikäli testien tulokset vastaavat vaatimuksia, järjestelmät merkitään sinisellä tunnisteella. Tason 4 avulla varmistetaan, että jokainen järjestelmä toimii erillisenä kokonaisuutena odotetusti ja sen suorituskyky täyttää sekä suunnitteluvaatimukset että asiakkaan hyväksymiskriteerit (Construct and commission).

### 3.3.5 Taso 5

Käyttöönottoprosessin viides ja viimeinen vaihe taso viisi on integroitu järjestelmätestaus, jossa kaikki tekniset järjestelmät testataan oikeassa käyttöympäristössä. Tässä vaiheessa varmistetaan ohjauslogiikka ja automaattiset toiminnot, kuten normaali-, vika- ja varavoimatilanne. Esimerkiksi, pystyvätkö UPS-järjestelmät käsittelemään kuorman ja käynnistyvätkö generaattorit tarkoitetulla tavalla. Kaikki testit dokumentoidaan ja hyväksytään virallisesti ja tulokset muodostavat osan käyttöönottoraportista. Kun kaikki testit on suoritettu onnistuneesti ja vaatimukset täyttyvät, järjestelmät saavat valkoisen tunnistein, joka osoittaa käyttöönoton olevan täysin valmis. Viimeisen vaiheen päätyttyä moduuli luovutetaan tilaajalle ja sen ylläpito siirtyy tilaajan taholle (Construct and commission).

## 4 PAIKAN PÄÄLLÄ RAKENTAMISEN JA MODUULI RATKAISUN VERTAILU

Sähkönjakelujärjestelmien toteutustavat kehittyvät merkittävästi kohti teollista esivalmistamista sekä modulaarisuutta. Perinteinen tapa toteuttaa datakeskusten pääsähkönjakelujärjestelmät ovat rakentaa ja käyttöönottaa paikan päällä. Perinteisellä tavalla sähkö, akusto ja muut oheistilat rakennetaan kohteessa, mikä mahdollistaa kohdekohtaisen suunnittelun. Paikan päällä rakentaessa se edellyttää laajoja työmaatoimintoja, pidempiä aikatauluja ja useiden urakoitsijoiden yhteensovittamista. Tämä kasvattaa viiveiden ja kustannusylitysten riskiä, etenkin laajoissa projekteissa, joissa eri urakoitsijoiden työvaiheet limittyvät. Kahden eri toteutusmallin vertailu on keskeinen asia, kun arvioidaan projektin kokonaiskustannuksia ja aikataulua.

### 4.1 Rakennusaika ja aikatauluvaikutus

Siemens arvioi, että esivalmistetulla moduuli ratkaisulla voidaan lyhentää datakeskushankkeen sähkönjakelun kokonaisaikaa 50 %. Työmaalla suoritettavat toimenpiteet karsiutuvat perustus-, liitäntä- ja viimeistelyvaiheisiin (Siemens). Työmaan kriittiset työvaiheet vähenevät, koska moduuli ei ole juurikaan riippuvainen muiden urakoitsijoiden edistymisestä. Rakennuksen perustustyöt ja tilavaraukset moduulille voidaan toteuttaa rinnakkain moduulien valmistuksen kanssa, mikä nopeuttaa projektin etenemistä merkittävästi. Tämä tekee rakennusprosessista ennustettavamman, vähentää resurssiriippuvuutta ja pois sulkee mahdollisia logistiikkaviiveitä. Datakeskushanke on ainoastaan riippuvainen moduulin sovittamista toimitusajasta.

Sidottu toimitusaika vaikuttaa, voidaanko työmaalla suorittaa moduuliin liittyvät työvaiheet suunnitellun aikataulun mukaisesti. Myöhästynyt työmaan infrastruktuuri johtaa moduulin tilapäiseen varastointiin, joko tehtaalle tai työmaalle. Viivästys johtaa aikataulu muutoksiin sekä käyttöönoton myöhästymiseen.

Myöhästynyt toimitus moduulille verrattaen johtaa samoihin toimenpiteisiin, mutta saattaa aiheuttaa työmaalle myös joutokäyntiä. Toimituksen oikea ajoitus varmistaa myös sen, että moduuli voidaan liittää välittömästi paikalliseen sähköverkkoon ja aloittaa käyttöönoton testaukset ilman viiveitä.

DGTL infran mukaan modulaaristen datakeskus hankkeiden tyypillinen rakennusaika on 6–9 kuukautta ja perinteisen rakennustavan aikajänne on 12–18 kuukautta (DGTL). Wescon esittämässä julkaisussa esivalmistetut sähkö- ja IT moduulit voivat lyhentää rakennusaikaa jopa kolmanneksella (Wesco). Rakennusajan lyhentymisellä on suora vaikutus projektin hallinnallisiin tehtäviin rakennusaikana, resurssien käyttöön sekä aikataulunhallinta on sujuvampaa. Rakennuksesta jää pois yksittäisiä sähköjakelua palvelevia tukitiloja, kuten akusto-, UPS ja isoja sähkötiloja.

## 4.2 Suunnitteluvaikutukset

Suunnitteluvaihe on hankkeen kannalta hyvin keskeinen, koska sen onnistuminen vaikuttaa toteutukseen, aikatauluun, kustannuksiin sekä riskienhallintaan. Perinteisessä rakennusmallissa suunnitteluvaiheita on useampia konseptisuunnittelusta lähtien arkkitehti-, sähkö ja LVI suunnitteluun.

Suunnittelun keskeinen lähtökohta on moduulin standardointi. E-house-yksiköt perustuvat toistettaviin suunnitteluperiaatteisiin ja moduulikokoluokkiin, joita voidaan mukauttaa asiakaskohtaisesti komponentti tasolla. Näiden takia projekti-kohtaisia suunnitteluita ja räätälöintiä on vähemmän. Valvotussa ympäristössä tapahtuva kokoonpano on toistettavampaa ja paremmin aikataulutettavaa, mikä mahdollistaa tarkemman projektisuunnittelun ja toimitusvarmuuden. Tämä näkyy erityisesti suurissa datakeskushankkeissa, joissa rinnakkaisia toimituksia hallitaan useista eri sijainneista.

Kappaleessa 4.1 käsiteltiin moduulin toimitusaikaa, joka on tärkeä projektin onnistumiselle. Koska yksiköt ovat suurikokoisia ja painavia, niiden kuljetus saattaa vaatia erikoiskuljetuksia ja usein viranomaisten hyväksymiä reittisuunnitelmia. Näiden hyväksyntöjen käsittelyyn kuluva aika voi vaihdella huomattavasti eri maiden ja alueiden välillä. Sääolosuhteet ja logistiikkaketjun häiriöt voivat myös vii-

västyttää toimitusta. Tästä syystä valmistajat suosittelevat, että logistiikka- ja reitit-suunnittelu aloitetaan jo suunnitteluvaiheessa ja toimitus sovitetaan projektin kokonaisaikatauluun tarkasti.

Siemens mukaan moduuli ratkaisun käyttö voi lyhentää suunnitteluvaihetta jopa 30–40 %, koska piirustukset, mitoitukset ja liitänäraajapinnat ovat vakioituja sekä voidaan hyödyntää myös aikaisempia projekteja (Siemens).

Valmiiksi hyväksytyjen moduulien käyttö vähentää tarvetta erillisille suunnittelukatselmuksille ja hyväksynnöille.

Suunnitteluvaikutus tiivistettynä

- Suunnitteluvaihe sähköjakelun osalta jopa -30–40 %
- Moduuli nopeuttaa hyväksyttämisen prosessia
- Suunnitteluprosessi ennustettavampi, kustannustehokkaampi ja riskittä-mämpi moduuli ratkaisulla

### **4.3 Kustannusvaikutus**

Moduuli ratkaisut tarjoavat merkittäviä aikataulu- ja kustannusetuja verrattuna paikan päällä rakentamiseen. Eaton, Siemens ja NordicEPOD mukaan suurimmat säästöt syntyvät projektien kokonaiskustannusten hallinnasta, työmaavaiheiden poistumisesta tai lyhenemisestä ja suunnittelukustannusten pienentymisestä. Moduulit rakennetaan tiivis tilankäyttö huomioiden, joten rakennuksen kokonaispinta-alan käyttö myös pienenee sähköjakelun osalta. Kustannusvaikutukset näkyvät sekä investointi-, rakentamis- ja koko elinkaaren aikana. Datakeskusten kysynnän kasvaessa projektien aikatauluvaatimuksista on tullut yhtä tiukempia, joten viivästykset voivat aiheuttaa merkittäviä taloudellisia seuraamuksia.

#### **4.3.1 Suunnitteluvaihe**

Moduuli ratkaisun kustannusvaikutukset alkavat näkyä jo hankkeen alkuvaiheessa. Paikan päällä rakennettaessa jokainen hanke suunnitellaan yksilöllisesti

ja eri urakoitsijoiden sekä toimittajien välinen koordinointi lisää kustannuksia ja työ kuormaa. Esimerkiksi rakennushankkeen suunnitteluvaiheessa yhteensovittaminen arkkitehtien ja rakennesuunnittelijoiden kanssa tuo haasteita verrattuna valmiiksi kehitettyyn moduuliin, jonka mitat tiedetään.

Eatonin mukaan yksi suurimmista kustannussäästöistä syntyy, kun tilaaja ja toimittaja voivat perustaa tarjouksen olemassa olevien ratkaisujen perusteella. Valmiiksi suunnitellut moduulit sisältävät määritetyt komponentit ja piirustukset, tarjousvaiheessa voidaan esittää tarkemmat kustannusarviot sekä toimitusajat. Ratkaisu vähentää epävarmuutta hinnoittelun riskeissä (Eaton, 2022).

Suunnitteluvaiheessa on muistettava logistiset kustannukset moduuli ratkaisussa. Näiden huomioiminen jo suunnitteluvaiheessa on kriittistä, sillä virheellisesti suunniteltu logistiikka voi aiheuttaa viivästyksiä asennusvaiheessa tai lisäkustannuksia erikoiskuljetusten ja nostojen muodossa.

#### **4.3.2 Rakennusvaihe**

Datakeskushankkeissa rakennusvaiheen kustannukset muodostavat suurimman osan kokonaiskuluista. Siemens arvioi, että moduuli ratkaisulla pystytään vähentämään 80 % työmaalla tehtävää työtä sähkönjakelun osalta. Tämä on erityisen merkittävää hankkeissa, jotka sijaitsevat kaukana taajama-alueista, minne on vaikea löytää tekijöitä (Siemens). Moduuli ratkaisu ei ole riippuvainen paikallisen työvoiman saatavuudesta, eikä logistiikka haasteista.

Eatonin mukaan moduuli ratkaisut voivat pienentää datakeskusten sähkönjakelun asennuskustannuksia 15–25 % (Eaton, 2022). Siemens korostaa moduuli ratkaisun vähentävän projektinhallinnan ja koordinoinnin kustannuksia, sillä koko moduuli toimitetaan yhden sopimuksen puitteissa. Tilaajan tai rakennuttajan ei tarvitse kilpailuttaa ja hallita useita aliurakoitsijoita, joka pienentää hallinnollisia kustannuksia ja sopimusten urakkarajoja (Siemens).

### 4.3.3 Käyttöönotto vaihe

Moduuli ratkaisussa käyttöönottoon liittyvät kustannukset pienenevät kahdesta syystä. Testaus suoritetaan toimittajan puolesta hallituissa tehdas olosuhteissa, jolloin käyttöönoton työmaa henkilöstöä tarvitaan pienemmissä määrin. Lisäksi työmaalle toimitettu moduuli sisältää vähemmän riskejä käyttöönottovaiheessa. Siemens mukaan käyttöönottoa voidaan nopeuttaa noin 30–40 %, mikä vähentää työmaaresursseja sekä projektin hallinta kustannuksia (Siemens).

Lisäksi toimittajan luovuttama digital passport sisältää kaikki moduulin komponenttien testaus ja dokumentaatio tiedot, mikä nopeuttaa hyväksyttämisen prosessia sekä hallinto työtä. Tämä johtaa käyttöönottovaiheen henkilöstökustannuksien ja matkakulujen pienentymiseen.

Kustannusvaikutus tiivistettynä

- Käyttöönotto nopeutuu 30–40 %
- Asennuskustannukset voivat pienentyä 15–25 %
- Sähkönjakelun työmäärä putoaa 80 %
- Suunnitteluvaiheen ajankäyttö vähenee 30–40 %

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella esivalmistetun pääsähkönjakeluyksikön soveltuvuutta datakeskushankkeisiin sekä vertailla sitä perinteiseen paikan päällä rakennettavaan toteutus muotoon. Työn keskeisenä lähtökohtana oli selvittää vaikutuksia rakennushankkeeseen aikataulun, kustannusten, laadun sekä rakennusajan muodossa. Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että moduuli ratkaisu tarjoaa merkittäviä etuja perinteiseen toteutustapaan verrattuna.

Rakennusajan lyheneminen osoittautui keskeiseksi hyödyksi, koska moduuli ratkaisu mahdollistaa rinnakkaiset työvaiheet. Moduulia voidaan rakentaa ja käyttöönottaa tehtaalla samalla, kuin työmaalla etenee perustustyöt, mikä lyhentää kokonaisprojektin kestoja. Työmaalla tehtävä työ kaventuu lähinnä moduulin osalta perustus, liitännä ja viimeistely vaiheisiin, mikä vähentää urakoitsijoiden välistä yhteensovittamista, riskejä sekä työmaan resurssi painetta. Tehtaalla suoritettavat käyttöönottotarkastukset parantavat yksikön laatua ja luotettavuutta, koska mahdolliset virheet voidaan havaita jo ennen toimitusta.

Kustannusvaikutusten osalta esivalmistettu pääsähkönjakeluyksikkö tuo selkeitä säästöjä ja vähentää kustannusriskejä etenkin rakennus ja projektinhallinnan vaiheissa. Rakennusaikaisia kustannuksia vähentää lyhyempi aikataulu sekä matalampi työvoiman tarve. Suunnitteluvaiheessa saavutetaan kustannuksellisia hyötyjä vakioitujen moduulien ansioista, sillä aiempien hankkeiden suunnitelmia sekä kustannuksia pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Ratkaisu parantaa kustannusten ennustettavuutta ja vähentää epävarmuuksia tarjous- ja suunnitteluprosessissa. Moduuli ratkaisu edellyttää tarkkaa logistiikan suunnittelua, sillä moduulien kuljetus ja asennus voivat lisätä kustannuksia, mikäli niitä ei huomioida riittävästi.

Laadunhallinnan näkökulmasta moduuli ratkaisu osoittautui hyödylliseksi, koska valmistus tehdasympäristössä mahdollistaa vakioituneen laadun sekä vähentää virhe herkkyyttä työmaalla. Valmiiksi testattu ja dokumentoitu moduuli helpottaa viranomaishyväksyntöjä sekä nopeuttaa käyttöönottoprosessia. Tämä tukee erityisesti datakeskushankkeiden korkeita laatu- sekä käytettävyyksivaatimuksia.

Tutkimuksen perusteella voidaan myös todeta, että esivalmistetut yksiköt tukevat rakentamisen teollistumisen ja digitalisaation suuntaa. Moduuli ratkaisu vastaa alan kasvaviin vaatimuksiin, koska hankkeissa korostuu aikataulun hallinta, toimitusvarmuus ja kestävä kehitys. Esivalmistetut ratkaisut mahdollistavat paremman suunnittelun toistettavuuden, skaalautuvuuden ja elinkaarikustannusten hallinnan.

Tulevaisuuden tutkimuksissa olisi hyödyllistä tarkastella moduuli ratkaisujen vaikutusta energiatehokkuuteen ja ympäristökuormitukseen, esimerkiksi hukkalämmön hyödyntämisen näkökulmasta. Jatkotutkimus voisi keskittyä moduulin kulu- rakenteiden muutoksiin rakennushankkeissa.

Moduuliratkaisua olisi hyvä tutkia, voidaanko moduuli ratkaisua hyödyntää muilla osa-alueilla, kuten palvelinsaleissa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että moduuli ratkaisu datakeskushankkeisiin on nykyaikainen ja kilpailukykyinen ratkaisu. Moduuli ratkaisu mahdollistaa tasaisen laadun, nopeamman toteutustavan sekä tukee teollistuneen rakentamisen kehitystä.

## LÄHTEET

Businessfinland. 20.1.2025. Cool, calm and connected: Why companies are placing their data centers in Finland. Verkkosivu. Viitattu 22.9.2025. <https://www.businessfinland.com/news/2025/cool-calm-and-connected-why-companies-are-placing-their-data-centers-in-finland/>

Caverion. n.d. Kaasusammutusjärjestelmä suojaa omaisuutta vaativissakin tiloissa. Verkkosivu. Viitattu 4.10.2025. <https://www.caverion.fi/katalogi/palvelut/kaasusammutusjarjestelma/>

Cisco. n.d. What is data center? Verkkosivu. Viitattu 14.9.2025. <https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/computing/what-is-a-data-center.html#tabs-75e6b10f0b-item-2243522fa5-tab>

Construct and commission. 4.11.2023. DATA CENTER | 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 Levels of Commissioning. Verkkosivu. Viitattu 26.10.2025. <https://constructandcommission.com/5-levels-of-commissioning-explained-data-center/>

Coromatic. n.d UPS opas. pdf-dokumentti. Viitattu 4.10.2025. [https://coromatic.fi/76786\\_wp-uploads/2017/03/ups-opas-web.pdf](https://coromatic.fi/76786_wp-uploads/2017/03/ups-opas-web.pdf)

Cxplanner. n.d. Commissioning testing of level 1-5 in data centers. Verkkosivu. Viitattu 26.10.2025.

Datacenteruniversity. n.d. What's inside a datacenter? Verkkosivu. Viitattu 16.9.2025. <https://datacenteruniversity.be/whats-inside-a-data-center/>

Dataspan. 10.12.2021. CRAC vs. CRAH Cooling Units: What's the Difference? Verkkosivu. Viitattu 8.10.2025. <https://dataspan.com/blog/crac-vs-crah-cooling-units-whats-the-difference/>

Delta power solutions. n.d. The Pros and Cons of Lithium-Ion Batteries for Data Centers. Verkkosivu. Viitattu 5.10.2025. <https://www.deltapowersolutions.com/en/mcis/technical-article-the-pros-and-cons-of-lithium-ion-batteries-for-data-centers.php>

Device24 a freshworks company. n.d. A Free Guide to Data Center Power. Verkkosivu. Viitattu 19.9.2025. <https://www.device42.com/data-center-infrastructure-management-guide/data-center-power/>

Dgtl. 5.12.2023. Modular Data Centers: Prefabricated Containers and Modules. Verkkosivu. Viitattu 19.10.2025. <https://dgtlinfra.com/modular-data-centers/>

Dxp. 21.12.2023. What Is Factory Acceptance Testing (FAT) & How Does It Work? Verkkosivu. Viitattu 14.10.2025. <https://www.dxpe.com/what-is-factory-acceptance-test-protocol-purpose/>

Eaton. 2020. UPS-järjestelmän perusteet. Pdf-dokumentti. Viitattu 14.9.2025. <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/buildings/critical-power/documents/eaton-ups-basics-whitepaper-WP153005EN-fi-fi.pdf>

Eaton. 2022. Integrated Power Assemblies. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.10.2025. <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/design-guides---consultant-audience/eaton-ipa-coordinated-e-houses-design-guide-dg143001en.pdf>

Eaton. n.d. Fundamentals of automatic transfer switches (ATS). Verkkosivu. Viitattu 19.9.2025. <https://www.eaton.com/us/en-us/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/automatic-transfer-switches/automatic-transfer-switch-fundamentals.html>

Eaton. n.d. Prefabricated electrical houses and electrical skids. Verkkosivu. Viitattu 2.10.2025. <https://www.eaton.com/us/en-us/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/integrated-power-systems-/prefabricated-electrical-houses-and-electrical-skids-fundamental.html#understand>

Equinix. n.d. Why choose Helsinki data centers? Verkkosivu. Viitattu 23.9.2025. <https://www.equinix.com/data-centers/europe-colocation/finland-colocation/helsinki-data-centers>

Energiatuote. 3.6.2025. Mikä on BMS ja miksi se on tärkeä osa akustoa? Verkkosivu. Viitattu 8.10.2025. <https://energiatuote.fi/mika-on-bms-ja-miksi-se-on-tarkea-osa-akustoa/>

FSI-systems. n.d. Integrated Fire Protection for Modular E-Houses. Verkkosivu. Viitattu 4.10.2025. <https://www.fsi-systems.com/post/integrated-fire-protection-for-modular-e-houses>

Kaizen. n.d. The Importance of Factory and Site Acceptance Tests in Capital Projects. Verkkosivu. Viitattu 14.10.2025. <https://kaizen.com/insights/factory-local-tests-capital-projects/>

Novec. n.d. Novec 1230 televiestintätilat ja tietokonekeskukset. Verkkosivu. Viitattu 4.10.2025. <http://fi.novecsystems.com/novec-1230-televiestintatilat-ja-tietokonekeskukset/>

NordicEPOD. n.d. Verkkosivu. Viitattu 24.10.2025. <https://nordicepod.com/>

OneChassis. n.d. Datakeskuksen tasojen selitys: Uptime instituten tasoluokittelu. Verkkosivu. Viitattu 14.9.2025. <https://gpuservercase.com/fi/blog/data-center-tiers-explained-uptime-institute-tier-classification/>

Racksolutions. 1.5.2018. EIA-310: What Does It Mean and is It Still Relevant? Verkkosivu. Viitattu 13.10.2025. [https://www.racksolutions.com/news/data-center-optimization/eia-310-definition/?srsltid=AfmBOooOd3h\\_9LE-SIWif2t5uwjqVmbv71zo72BUeCkYcsUTHitf-0h6Y](https://www.racksolutions.com/news/data-center-optimization/eia-310-definition/?srsltid=AfmBOooOd3h_9LE-SIWif2t5uwjqVmbv71zo72BUeCkYcsUTHitf-0h6Y)

Rakennuslehti. 6.6.2022. Suomeen tulee uusi julkista sektoria palveleva datakeskus. Verkkosivu. Viitattu 23.9.2025. <https://www.rakennuslehti.fi/2022/06/suomeen-tulee-uusi-julkista-sektoria-palveleva-datakeskus/>

Schneider. n.d. Prefabricated Power Skid 1250kW 480V/60Hz with Galaxy VX UPS. Verkkosivu. Viitattu 2.10.2025. <https://www.se.com/us/en/product/PFMPS1250NAVX/prefabricated-power-skid-1250kw-480v-60hz-with-galaxy-vx-ups/?range=62324-power-skid&parent-subcategory-id=7580&selectedNodeld=31785442968>

SFS 6000-7-729-2022. Pienjännitesähkösäennukset. Osa 7-729: Erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Sähkökeskusten asentaminen. Viitattu 4.10.2025

Siemens. n.d. Prefabricated electrification – ready when you are. Pdf-dokumentti. Viitattu 17.10.2025. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:11ea6f93-2aa7-4862-bb37-d6a00f636477/Siemens-E-House-Brochure.pdf>

SRV. nd. SRV yrityksenä. Verkkosivu. Viitattu 21.9.2025. <https://www.srv.fi/srv-yrityksena/>

Telia. nd. Telian datakeskukset. Verkkosivu. Viitattu 22.9.2025. <https://www.telia.fi/business/data-center-services/data-centers>

Uptime institute. n.d. Tier Classification System. Verkkosivu. Viitattu 13.9.2025. <https://uptimeinstitute.com/tiers>

Volico. 6.10.2022. What is a Meet-Me Room and Why Is It Crucial in a Data Center. Verkkosivu. Viitattu 22.9.2025. <https://www.volico.com/what-is-a-meet-me-room-and-why-is-it-crucial-in-a-data-center/>

Wesco. 12.5.2025. Modular Data Centers: The New Go-To Solution. Verkkosivu. Viitattu 19.10.2025. <https://www.wesco.com/us/en/knowledge-hub/articles/modular-data-centers-solution.html>

## LIITTEET

### Liite 1. Haastattelukysymykset moduuli valmistajalle

#### **Haastattelukysymykset:**

1. Kuinka kauan aikaa kuluu tilauksesta, että moduuli saadaan työlle tehtaalla?
2. Kuinka kauan kestää yhden moduulin rakentaminen ja miten tämä aika jaottuu eri vaiheisiin?
3. Onko moduulin toimitus logistiikassa huomioitavia asioita?
4. Onko riskitekijöitä moduulin myöhästymiselle aikataulusta, kuten komponenttien saatavuus ongelma?