



**ÄLYKKÄÄN SÄHKÖVERKON DATAN FASILITOINTI IOT:N JA BIG DATAN  
AVULLA**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2022

Leevi-Kalle Väisänen

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Mehar Ullah

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Leevi-Kalle Väisänen

### **Älykkään sähköverkon datan fasilointi IoT:n ja Big Datan avulla**

Sähkötekniikan kandidaatintyö

35 sivua ja 6 kuvaa

Tarkastaja: Nuorempi tutkija Mehar Ullah

Avainsanat: Älykäs sähköverkko, IoT, Esineiden Internet, Big Data

Älykkäät sähköverkot yleistyvät maailmalla ja toimiakseen tämä järjestelmä tarvitsee sähköverkon lisäksi paljon tieto- ja viestintätekniikkaa. Älykäs sähköverkko tuottaa valtavia määriä dataa, joka saadaan hyödynnettyä esineiden Internetin ja Big Datan ja näiden sovelluksien avulla. Tämän työn tarkoituksena on fasiloida tämän järjestelmän kokonaisuus, datan kulku ja käyttö, järjestelmän komponentit ja laitteistot sekä esittää miten järjestelmän eri osiot toimivat keskenään.

Tämä työ on kirjallisuuskatsaus, jossa pääaineistoina on käytetty tieteellisiä artikkeleita ja julkaisuja. Työssä avataan järjestelmän käsitteitä, käytettyjä komponentteja, toimintatapoja, sovelluksia, tekniikoita sekä esitetään kuvien avulla monimutkaista rakennetta.

Selvityksen perusteella älykäs sähköverkko on laaja ja monimutkainen järjestelmä, joka saadaan toimimaan nykyaikaisin tekniikoiden kuten, esineiden Internetin, Big Data -analytiikan, reunalaskennan sekä useiden toimijoiden avulla. Järjestelmä sisältää useita osioita, joiden on välttämätöntä toimia keskenään jatkuvassa vuorovaikutuksessa. Kokonaisuus on pitkälle toteutettu, mutta tulevaisuuden tekniikat paranevat jatkuvasti ja uusia tuotteita tulee markkinoille, jolloin järjestelmää on mahdollista parantaa.

## ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Leevi-Kalle Väisänen

### **Facilitating Smart Grid data using IoT and Big Data**

Bachelor's thesis

2022

35 pages and 6 figures

Examiner: Junior Researcher Mehar Ullah

Keywords: Smart Grid, Internet of Things, Big Data

Smart grids are becoming more common around the world, and in order to operate, this system needs a lot of information and communications technology in addition to the electricity grid. The smart grid generates massive amounts of data that can be utilized through the Internet of Things and Big Data and their applications. The purpose of this work is to facilitate the overall operation of this system, the flow and use of the data, the system components and hardware and to present how the different partitions of the system operate with each other.

This thesis is a literature review in which scientific articles and publications have been used as main material. In the thesis, the concepts of the system, the components used, the modes of operation, applications, techniques are opened, as well as the complex structure is presented with the help of images.

According to the study, the smart grid is an extensive and complex system that can be made to work with the help of modern technologies such as the Internet of Things, Big Data analytics, edge computing and several other actors. The system includes several sections that are necessary to work with each other in constant interaction. The whole system is well implemented, but future technologies are constantly improving, and new products are appearing on the market, making it possible to improve the system.

## Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto.....	5
2	Älykäs sähköverkko .....	7
3	Internet of Things .....	9
3.1	IoT:n komponentit.....	9
3.2	IoT-tekniikat sähköverkossa .....	10
3.3	IoT-alustat .....	12
3.3.1	Älykkäässä sähköverkossa .....	13
3.3.2	IoT-alustan avaintekijät .....	14
4	Reunalaskenta.....	19
5	Big Data.....	21
5.1	Big Data älykkäässä sähköverkossa.....	21
5.2	Järjestelmän vaatimukset .....	26
6	Korkeatasoisen järjestelmän arkkitehtuuri .....	27
7	Johtopäätökset .....	31
	Lähteet.....	32

## 1 Johdanto

Älykäs sähköverkko on perinteisen sähköverkon sekä tieto- ja viestintäteknikkaa yhdistävä järjestelmä. Älykäs sähköverkko mahdollistaa sähkön tehokkaan tuotannon ja käytön esimerkiksi optimoinnin, kaksisuuntaisuuden ja joustavuuden avulla. Uuden järjestelmän ansiosta sähköverkkoon on yhä helpompi liittää uusia tuotantolaitoksia, joka on lisännyt uusiutuvan energian käyttöä niin, voimalaitoksilla, kuin kotitalouksissakin. (Al-Ali ja Aburukba 2015.) Älykäs sähköverkko on myös entistä järjestelmää luotettavampian vianpaikannuksen ja -ennustuksen sekä huollettavuuden ansiosta, jolloin viat voidaan paikantaa ja eristää nopeasti (Andresen et al. 2018).

Älykkään sähköverkon pitää kommunikoida paljon keskenään, jotta informaatiokulku kaikille osapuolille ja laitteille on mahdollista. Näitä suuria ja monimutkaisia datamassoja kutsutaan Big Dataksi, joka on vaikeasti jalostettavissa ja siirrettävissä perinteisillä ohjelmilla. Esineiden internet eli Internet of things (IoT) mahdollistaa tiedonsiirron laitteiston välillä, minkä avulla suuret datajoukot eli Big Data saadaan kerättyä, varastoitua ja analysoitua (Ullah et al. 2021b).

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan, miten älykkään sähköverkon data syntyy ja liikkuu, mitä komponentteja ja laitteistoja rakenteeseen kuuluu sekä miten suunnitellaan korkeatasoista älykästä sähköverkkoa käyttäen IoT:ta ja Big Dataa. Tämän kandidaatintyön päätavoitteena on esittää älykkään sähköverkon datan käyttöä ja sen rakennetta. IoT-alustat ja suuret datajoukot voivat muodostaa monimutkaisen kokonaisuuden ja tavoitteena on kirjallisuuskatsauksen avulla fasilitoida tämä kokonaisuus. Työ voi esimerkiksi helpottaa IoT-alustan valintaa, Smart Gridin komponenttien valintaa, datan käyttöä ja järjestelmän struktuurin kuvaamista.

Työ koostuu seitsemästä luvusta. Ensimmäinen luku on johdanto. Toisessa luvussa käsitellään älykästä sähköverkkoa. Kolmannessa luvussa käsitellään IoT:tä. Neljäs luku

käsittelee reunalaskentaa. Viidennessä luvussa käsitellään Big Dataa. Kuudes luku käsittelee korkeatasoisen järjestelmän arkkitehtuuria. Seitsemäs luku on työn johtopäätökset.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

- Mitä on IoT ja Big Data, ja miten ja miksi niitä käytetään älykkäissä sähköverkoissa?
- Mikä on IoT:n ja Big Datan välinen suhde ja miten ne toimivat yhdessä, erityisesti älykkään sähköverkon hyödyksi?
- Mitkä ovat viimeisimmät teknologiat näissä sovelluksissa? Millainen arkkitehtuuri kokonaisuudella on?

Työ tehdään kvalitatiivisena tutkimuksena kirjallisuuskatsauksena, jonka aineisto kerätään eri tietokannoista saaduista artikkeleista, verkkosivuista, kirjoista ja tutkimuksista. Aineisto rajataan tähänhetkisiin sekä tulevaisuuden sähköverkkojärjestelmiin. Kerätty aineisto pidetään mahdollisimman uutena hakemalla aineistoa 1.1.2010-1.4.2022 väliseltä ajalta. Tiedonhaku rajataan suomen- tai englanninkielisiin, ensisijaisesti vertaisarvioituihin julkaisuihin.

## 2 Älykäs sähköverkko

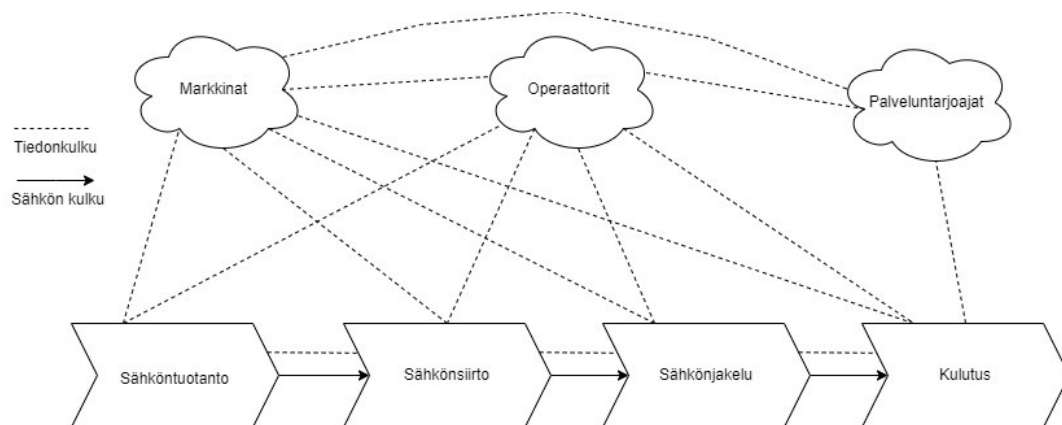
Viime vuosikymmenten kasvava energiantarve aiheutti tarpeen uudelle sähköverkkojärjestelmälle. Uuden sukupolven älykäs sähköverkko on sähköverkkojärjestelmä, jonka tavoitteena on tehdä verkosta tehokkaampi, luotettavampi, turvallisempi ja ympäristöystävällisempi. Uusi järjestelmä perustuu niin sanottuun kaksisuuntaisuuteen, jolloin sähkö ja tieto kulkevat molempiin suuntiin. Niiden ansiosta myös kuluttajien on mahdollista tuottaa omaan käyttöön energiaa ja myydä ylijäämäenergia takaisin verkkoon (Vantaan Energia 2018). Älykäs sähköverkko mahdollistaa myös uusien tuotantolaitosten lisäämisen verkkoon helpommin sekä tarjoaa uusiutuvaan energiaan perustuvan hajautetun tuotannon lisäämistä. Hajautettu tuotanto täydentää keskitettyä tuotantoa, jolloin verkon valvonnan ja ohjauksen rooli kasvaa. (ABB 2021a, 2021b; Fang et al. 2012.)

Eurooppa-neuvoston mukaan (2011) Eurooppaan tulee rakentaa yhteinen älykäs sähköverkko, jonka rakentaminen aloitettiin maakohtaisesti lisäämällä etäluettavia sähkömittareita, eli älymittareita, sekä korkeatasoisten SmartGrid(SG)-palveluiden ja toimintojen käyttöönottoa. Vuoteen 2020 mennessä Euroopan Unionissa oli 407 SG-projektia, joihin investoitiin yhteensä 3 miljardia euroa (Covrig et al. 2021).

Älykkään sähköverkon laitteisto koostuu älymittareista ja -sensoreista, älylaitteista, älykkäistä sähköasemista, hajautetusta tuotannosta, PMUsta (Phasor Measurement unit) ja integroidusta viestinnästä (Khan, Getachew ja Alhelou 2021). Tämä laitteisto yhdistettynä sähköverkon perusrunkoon, eli sähkön tuotantoon, siirtoon, jakeluun, kulutukseen ja varastoihin, luo älykkään sähköverkon kokonaisuuden.

Tämä uusi järjestelmä antaa sähkön tuotantoketjulle uusia toimintoja ja mahdollisuuksia. Sähköntuotantoon voidaan lisätä hajautettua tuotantoa keskitetyn tuotannon lisäksi. SG-järjestelmässä sähkönsiirtoon lisätään älykkäitä ohjauskeskuksia, siirtoverkkoja sekä

sähköasemia, jotka mahdollistavat paremman käytön ja laadun sekä parantavat verkon luotettavuutta ja turvallisuutta esimerkiksi nopean vianpaikannuksen ja huollettavuuden avulla. Kuluttajille SG-järjestelmä tekee sähkön kulutuksesta hallittavaa ja seurattavaa. Kuluttajien onkin mahdollista ohjata, ajastaa ja seurata laitteiden käyttöä esimerkiksi puhelinapplikaatioilla, älypistokkeilla ja älymittareilla. Energiavarastot ovat myös tärkeässä roolissa, sillä kotitaloudet ja hajautetun tuotannon itsenäiset verkot pystyvät varastoimaan ylimääräisen tai edullisesti ostetun sähkön. (Ullah et al. 2021b)



Kuva 1. Älykkään sähköverkon rakenne. Muokattu lähteestä (Ullah et al. 2021b)

Älykkään sähköverkon rakenteen ansiosta sähköverkko on ohjattavissa. Tämän avulla loppukäyttäjien ja palveluntarjoajien onkin mahdollista hallita sähkön kulutustaan. Järjestelmän älymittarit, -laitteet, -kodit tuottavat dataa, joka lähetetään yrityksille analysoitavaksi (Ullah et al. 2021a). Dataa kerätään sähköntuotannosta, -siirrosta, -jakelusta ja -kulutuksesta. Kerättävät datajoukot ovat erittäin suuria ja monimutkaisia, sillä dataa kerätään reaaliaikaisesti. Reaaliaikaisuus toteutetaan keräämällä data 15 minuutin välein (Zhang, Huang ja Bompard 2018).



## 3 Internet of Things

Internet of Things (IoT) eli esineiden Internet on tietoteknisten järjestelmien verkosto, jossa laitteet vuorovaikuttavat keskenään. IoT:n tehtävä on yhdistää laitteita Internetiin ja kerätä tietoa laitteista. Yhteydessä olevat laitteet kykenevät tiedonsiirtoon, etäohjaukseen sekä etäseurantaan. (Lee ja Lee 2015.) Älykkään sähköverkon tuottamia suuria ja monimutkaisia datajoukkoja ei voida siirtää tai käsitellä perinteisillä järjestelmillä, vaan IoT-järjestelmät ovat välttämättömyys. IoT:n avulla laitteiden keräämä monimutkainen data saadaan siirrettyä nopeasti käsiteltäväksi operaattoreille. Analysoidun datan avulla voidaan tehdä johtopäätöksiä sekä vaikuttaa tulevaisuuden päätöksiin. (Ullah et al. 2021a.)

### 3.1 IoT:n komponentit

Älykkäässä sähköverkossa IoT:n tärkeimpiä komponentteja ovat yhdistettävyyden, datan varastointi, palveluiden laatu, reaaliaikainen analytiikka ja vertailuanalyysi (Ullah et al. 2021b). Tässä alaluvussa käsitellään näitä tarkemmin.

**Yhdistettävyyden:** IoT:n tärkein ominaisuus on sen luotettava yhdistettävyyden. Esineiden internet yhdistää laitteet Internetiin esimerkiksi sensorien avulla. Korkeatasoisten langattomien verkkojen välityksellä laitteet voidaan yhdistää tietojenkäsittelyohjelmistoon, joiden avulla voidaan fasilitoida laitteilta tulevaa informaatiota. (Ullah et al. 2021b.)

**Datan varastointi:** Reaaliaikainen datan kerääminen on lisännyt datan varastoinnin tarvetta. IoT-palveluiden vaatimuksena onkin hallita ja varastoida suuret määrät jäsentämätöntä dataa, tarjoten analytiikalle alhaista latenssia eli tiedonsiirtoon kuluvaan aikaan (Ullah et al. 2021b).

**Palvelun laatu (Quality of Services, QoS):** IoT-palveluiden pitää taata tietovirran jatkuva suoritustaso. Palveluiden laatu tarjoaa luotettavan ja tehokkaan tiedonsiirron esimerkiksi priorisoimalla ja luokittelemalla dataa (Sarang et al. 2018).

**Reaaliaikainen analytiikka:** IoT:hen yhdistetyt laitteet tuottavat informaatiota ja kommunikoivat jatkuvasti. IoT-palveluiden tulee analysoida reaaliaikaisesti tätä, jotta voidaan saada kerätä hyödyllistä tietoa ja vaikuttaa laitteiden toimintaan.

**Vertailuanalyysi (Benchmarking):** IoT:n tuottaman informaation määrä aiheuttaa vaikeuksia datan analysointiin ja varastointiin, joten yritykset ja operaattorit vertailevat data-analyysien laatuja ja ratkaisuja datan käyttöön. (Shukla, Chaturvedi ja Simmhan 2017; Ullah et al. 2021b)

### 3.2 IoT-tekniikat sähköverkossa

Esineiden Internet käyttää erilaisia tekniikoita toiminnassaan. Tässä luvussa esitellään viisi yleisintä IoT-tekniikka sähköverkossa.

#### **Langaton sensoriverkosto (WSN)**

Langaton sensoriverkosto eli WSN (Wireless Sensor Network) sisältää useita edullisia pienitehoisia noodeja. WSN-noodi koostuu sensoryksiköstä, vastaanottomoduulista, prosessorista, aktuaattorista ja tehollähteestä. Noodien avulla voidaan kommunikoida tuotanto-, siirto- ja jakeluyksiköiden välillä, jolloin tärkeä tieto tulee saataville. Noodit keräävät tietoa esimerkiksi toiminnasta, viestinnästä ja verkon tilasta. Tämän tiedon avulla verkkoa voidaan etävalvoa, kontrolloida sekä analysoida. WSN:n avulla voidaan tarkasti seurata sähkön tuotantoa, siirtoa, jakelua ja kulutusta. Langaton sensoriverkosto onkin tärkeä osa älykästä sähköverkkoa. (Chhaya et al. 2017; Liu 2012.)

### **Radiotaajuinen etätunnistus (RFID)**

Radiotaajuista etätunnistusta eli RFID:iä (Radio Frequency IDentification) käytetään älykkäässä sähköverkossa eniten etäluettavuuteen esimerkiksi reaaliaikaiseen datan saantiin, kuluttajan energianhallintaan, sähkökatkojen paikannukseen, ennakkomaksuun sekä energiayhtiöiden varainhoitoon. RFID-järjestelmä koostuu RFID-tunnisteesta, RFID-lukijasta ja taustapalvelimesta. Taustapalvelimelle data siirtyy langattomasti. RFID-järjestelmä mahdollistaa älylaitteiden etäältä luettavan automaattisen identifioinnin ja tiedonkeruun. (Vaidya, Makrakis ja Mouftah 2014.)

### **Pilvilaskenta**

Pilvilaskenta (Cloud computing) mahdollistaa SG-järjestelmässä kerättyjen suurten datamassojen käsittelyn lyhyessä ajassa. Pilvilaskentajärjestelmä älykkäässä sähköverkossa yhdistää sähköverkon kaikkien tasojen verkostot ja niitä voidaan käyttää hyödyksi erilaisilla ohjelmistoilla ja niiden käyttöliittymillä.



Kuva 2. Pilvilaskennan yhteys älykkäaseen sähköverkkoon. Muokattu lähteestä (Mishra, Kumar & Bhardwaj 2019)

Pilvilaskenta-alustojen avulla järjestelmä pystyy jakamaan ja toimimaan yhteistyössä paremmin. SG-järjestelmässä pilvilaskennan avulla voidaan saada erilaisia älykkäitä toimintoja, kuten älykäs ohjaus, markkinointi, sähkönjakelu, suojaus, käyttö ja ajoittaminen. (Mishra, Kumar, and Bhardwaj 2019.)

## **Väliohjelmisto**

Väliohjelmisto (Middleware) toimii nimensä mukaisesti ohjelmiston välissä rajapintana. Älykkäässä sähköverkossa väliohjelmisto ryhmittelee ja yksinkertaistaa SG-järjestelmän rakenteen sekä sen monimutkaisia alempia komponentteja. Väliohjelmistojen ansiosta älykäs sähköverkko ja sen ohjelmistot kykenevät turvallisempaan ja luotettavampaan tiedonsiirtoon, käyttökokemuksen parantamiseen ja joustavampaan käyttöön. (Lee ja Lee 2015; Martínez et al. 2013.)

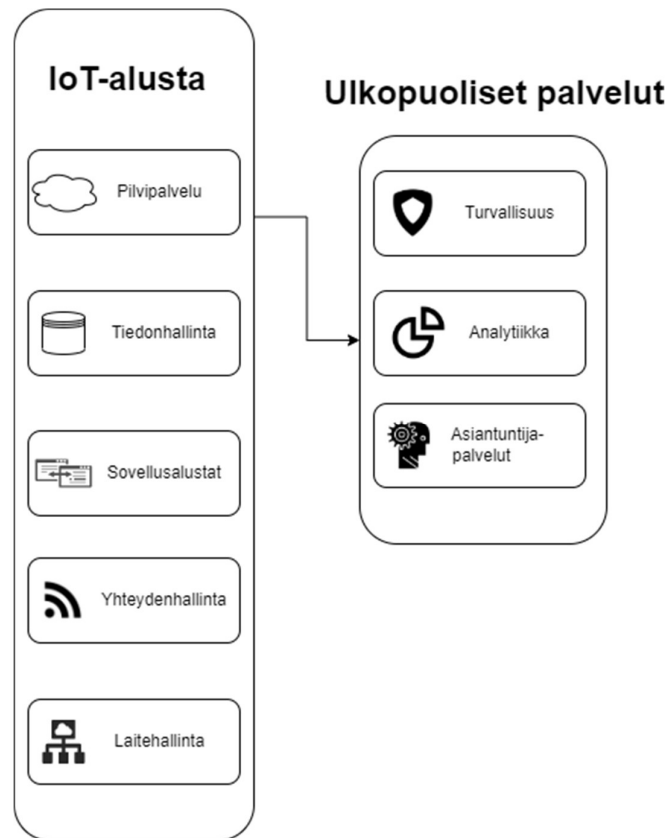
## **IoT-sovellukset**

IoT-sovellukset toimivat laitteiden välillä (M2M, machine-to-machine) ja laitteen ja ihmisen välillä (H2M, M2H). IoT-sovelluksien avulla voidaan kommunikoida laitteiston kanssa luotettavasti ja vakaasti sekä varmistaa, että järjestelmä toimii asianmukaisesti. IoT-sovellukset tarjoavat ihmiskeskeisissä sovelluksissa loppukäyttäjilleen myös datan visualisointia ja mahdollisuutta vuorovaikuttaa järjestelmän kanssa, tekien IoT-sovelluksista helpokäyttöisiä myös maallikoille esimerkiksi kotitalouksissa. (Lee ja Lee 2015.)

### 3.3 IoT-alustat

IoT-alustan avulla IoT:hen kytketyt älylaitteet sekä IoT-sovellukset ja -palvelut saadaan otettua käyttöön. Nämä alustat mahdollistavat älylaitteiden yhdistämisen ja ohjaamisen päätelaitteilta. IoT-alustan välityksellä käsitellään ja analysoidaan älylaitteiden dataa, suoritetaan verkonhallintaa ja sovelluskehitystä, valvotaan tiedonkulkua ja -käsittelyä sekä pidetään yllä järjestelmän tietoteknistä turvallisuutta (Ullah ja Smolander 2019). IoT Analyticsin (2021) mukaan vuonna 2019 markkinoilla oli yli 600 IoT-alustayritystä, joista yli 400 jatkaa toimintaansa vuonna 2021. Suosituimpia IoT-alustoja ovat esimerkiksi Microsoft Azure, Oracle, Google Cloud ja AWS (Amazon Web Service).

IoT-alustojen suuren tarjonnan myötä alustojen toiminnot ja komponentit vaihtelevat tarkoituksen mukaan, mutta suurin osa alustoista noudattaa kuvan 3 mukaista rakennetta.



Kuva 3. IoT-alustan perusrakenne. Muokattu lähteestä (Lucero 2016)

IoT-alustan perusrakenteen lisäksi alusta tarvitsee toimiakseen usein ulkopuolisia palveluita, jotta saadaan kaikki hyöty. Näitä palveluita voivat olla esimerkiksi turvallisuus-, analytiikka- sekä asiantuntijapalvelut. IoT-alustat helpottavat ja nopeuttavat IoT:en toteutusta ja toimintaa sekä kehittäjiä ja palveluntarjoajia. (Lucero 2016.)

### 3.3.1 Älykkäässä sähköverkossa

Älykkäässä sähköverkossa IoT-alustat ovat välttämättömyys. SG-järjestelmässä IoT-alustat ovat monikerroksisia sisältäen datavarastoja, analytiikka-alustan ja laitehallinnan. Alustan tärkeimpiä ominaisuuksia ovat datan vastaanotto ja tallentaminen sähköverkkokomponenteista jalostusta ja analysointia varten (Elenia 2020). Älykkäässä sähköverkossa IoT-alustan rakenne usein jaetaan osittain ulkopuolisille palveluille kuten

kuvassa 3. Tämä tekee alustasta hallittavamman sekä kokonaisuudesta edullisemmän, kun kerrokset on jaettu pienempiin osiin (Elenia 2020).

Suomen sähköverkkoyhtiöt käyttävät usein IoT-alustoissaan Amazonin AWS-pilvipalvelua tai Microsoftin Azure -alustaa sekä erilaisia IoT-palveluntarjoajia, kuten Esrin ArcGIS-paikkatietoalustaa ja Digitan IoT-verkkoa (Digita 2021; Elenia 2020; Esri Finland 2021b; Webscale Oy 2019). Esimerkiksi sähkönjakeluyhtiö Caruna yhdistää AWS-pilvipalvelut ja Webscalen analytiikan palveluita ja puolestaan kantaverkkoyhtiö Fingrid käyttää Microsoft Azurea ja Esrin ArcGIS-paikkatietoalustaa omassa ELVIS-järjestelmässään (Esri Finland 2021a; Webscale Oy 2019).

### 3.3.2 IoT-alustan avaintekijät

IoT-alustoja on markkinoilla satoja erilaisia, erilaisilla toiminnoilla ja tarkoituksilla, joten sen valinta pitää tehdä harkitusti. Ullahin, Nardellin, Wolffin ja Smolanderin (2020) mukaan IoT-alustan valintaan on erilaisia avaintekijöitä, joiden merkitys avataan seuraavaksi.

#### **Stabiilisuus:**

Alustan tulee olla vankka ja luotettava palveluiltaan, jotta se kykenee kilpailemaan muuttuvilla markkinoilla sekä tarjoamaan palveluaan pitkäaikaisesti asiakkailleen.

#### **Skaalautuvuus ja joustavuus:**

Teknologia ja sen markkinat muuttuvat nopeasti ja yllättäen. Yritykset pyrkivät jatkuvaan kasvuun niin taloudellisesti kuin alueellisesti. IoT-alustan tulee olla skaalautuva ja joustava, jotta se pystyy tarjoamaan yritykselle tarvitsemat palvelut kehityksen myötä.

**Hinnoittelumalli ja liiketoimintatapa:**

Suuren tarjonnan takia myös alustojen hintatasot vaihtelevat. Hintatasojen mukaan alustayrityksien tarjoamat palvelut ja alustojen ominaisuudet vaihtelevat. Alustaa valitessa asiakkaan pitääkin olla tarkka, että alusta tarjoaa kaikki halutut palvelut ja ominaisuudet budjettiin sopivalla hinnalla.

**Turvallisuus:**

Internetiin yhdistäminen aiheuttaa turvallisuusriskejä, joten turvallisuus IoT:n ja IoT-alustojen yksi tärkeimmistä ominaisuuksista, johon pitäisi panostaa alustan jokaisessa tasossa ja komponentissa. Ilman suojausta yritys ja asiakkaat ovat haavoittuvaisia hakkeroinnille sekä tietovuodoille. Turvallisuutta voidaan toteuttaa esimerkiksi tiedonsalauksella, tiedonsuojauksella ja erilaisilla todennuksilla.

**Markkinoilletuontiaika (time-to-market):**

IoT-alustan käyttöönotto tarvitsee usein kartoituksen ominaisuuksien tarpeesta. Kun valitaan IoT-alustaa pitää selvittää kauanko IoT-alustayrityksellä kestää saada tuote valmiiksi asiakkaan järjestelmän tarpeita varten ja kuinka alustaa tarjoava yritys osallistuu prosessiin.

**Data-analytiikka ja visualisointityökalut:**

IoT-alustojen toiminta erilaisten datankäsittelyohjelmien välillä vaihtelee. Kun valitaan IoT-alustaa, sen käyttäjien tulisi huomioida millaista dataa kerätään, miten data halutaan analysoida ja millainen visualisointi datalle halutaan tehdä.

**Tietojen omistajuus:**

Tietojen eli datan omistajuus on ongelma niin Internetissä kuin IoT:ssa ja IoT-alustoilla. Tiedon omistajuuteen on erilaisia kansainvälisiä lainsäädäntöjä, esimerkiksi EU:n sisäisiä, ja kansallisia lainsäädäntöjä sekä ohjelmistokohtaisia käyttöehtoja. IoT-alustaa valitessa on välttämätöntä tiedostaa tiedon omistajuuteen liittyvät lainsäädännöt.

**Pilvi-infrastruktuurin omistajuus:**

IoT-alusta koostuu useasta eri ohjelmistokerroksesta, jolloin järjestelmä on kokonaisuudessaan kallis. Osa palveluntarjoajista tarjoaa vain tiettyä osaa tästä kokonaisuudesta. IoT-alustan valinnassa tuleekin ottaa huomioon eri kerroksien omistajuus ja ovatko kerrokset yhteensopivia keskenään.

**Vanhan laitteiston laajuus:**

IoT-laitteet ovat yhteydessä useisiin eri järjestelmiin ja niiden eri tasoihin, jolloin niiden yhdistyneisyys voi olla vaikeaa paikantaa. Ennen IoT-alustan valintaa tulee selvittää voiko uutta IoT-teknologiaa yhdistää jo yrityksen olemassa olevaan IoT-teknologiaan.

**Protokolla:**

IoT-alustat käyttävät useita eri protokollia ja uusia protokollia syntyy jatkuvasti teknologian kehittyessä. IoT-alustoissa suosituimmat protokollat ovat HTTP, AMQP, MQTT ja CoAP (Viswanath et al. 2016). Valinnassa pitää varmistaa, että alusta tukee suosituimpia protokollia sekä mahdollistaa uusiin protokollisiin siirtymisen.

**Järjestelmän suorituskyky:**

IoT-alustaan on yhdistyneenä useita laitteita samaan aikaan. IoT-alustan pitää pystyä käsittelemään useita samanaikaisia tapahtumia ja tiedonkulkua näiltä laitteilta, joka vaatii paljon suorituskykyä. Palveluntarjoajalta tuleekin varmistaa millä keinoin järjestelmän suorituskyky pidetään korkeana.

**Yhteentoimivuus:**

On tärkeää, että IoT-alustalla on hyvä yhteentoimivuus, sillä järjestelmä kuuluu väliohjelmistoon eli se kerää tietoa useasta paikasta ja siirtää sitä useaan eri sovellukseen, jolloin data ei ole aina saatavilla alustalta. Tällaisessa tilanteessa alustan tulee pystyä integraatioon avoimen lähdekoodin ekosysteemin kanssa.



**Redundanssi ja toipumissuunnitelma:**

IoT-alustan valinnassa tulee ottaa huomioon, millaisin keinoin palveluntarjoaja on valmistautunut ongelmatilanteisiin IoT-järjestelmässä. Tärkeitä huomioon otettavia asioita on esimerkiksi IoT-alustan tietojen varmuuskopiointi ja sen aikataulu sekä tarjoaako palveluntarjoajan IoT-alusta viansietoisia klustereita.

**Houkutteleva käyttöliittymä:**

Jotta asiakkaiden olisi helppoa ja nopeaa käyttää IoT-alustaa, sen käyttöliittymän tulisi olla yksinkertainen, käyttäjäystävällinen ja helposti käyttäjien saatavilla.

**Sovellusympäristö:**

Ennen IoT-alustan valintaa sen sovellusympäristöstä pitää ottaa huomioon mitkä sovellukset ovat käytettävissä heti, mitkä ovat sovellusympäristön yleiset rajapinnat, sekä millaiset ovat sovelluskehitysympäristön ominaisuudet.

**Hybridipilvi:**

Kun IoT-alustaa valitaan, niin kannattaa ottaa huomioon mahdollisuus hybridipilvestä eli tilanteesta, jossa yrityksellä on mahdollisuus paikallisesti käsitellä kriittinen data ja IoT-alustan kautta vähemmän kriittinen, julkinen data.

**Alustan siirto:**

Yrityksen kasvaessa tai muuttuessa voi syntyä tarve monipuolisemmalle tai isommalle IoT-alustalle, jolloin aikaisemman alustan ominaisuudet eivät enää riitä. Alustaa valittaessa onkin tärkeää varmistaa, että alkuperäisen IoT-alustan ohjelmointirajapinta, käyttöliittymä ja skeema eli sisäinen malli ovat dokumentoitu tarkasti ja selkeästi, jotta mahdollinen alustan siirto on helppo toteuttaa.

**Aiempi kokemus:**

IoT-alustan valinnassa kannattaa ottaa huomioon IoT-alustaa tarjoavan yrityksen kokemus samantlaisissa projekteissa ja järjestelmissä. Tämä voi nopeuttaa alustan käyttöönottoa sekä mahdollisten ongelmatilanteiden ratkaisua.

**Kaistanleveys:**

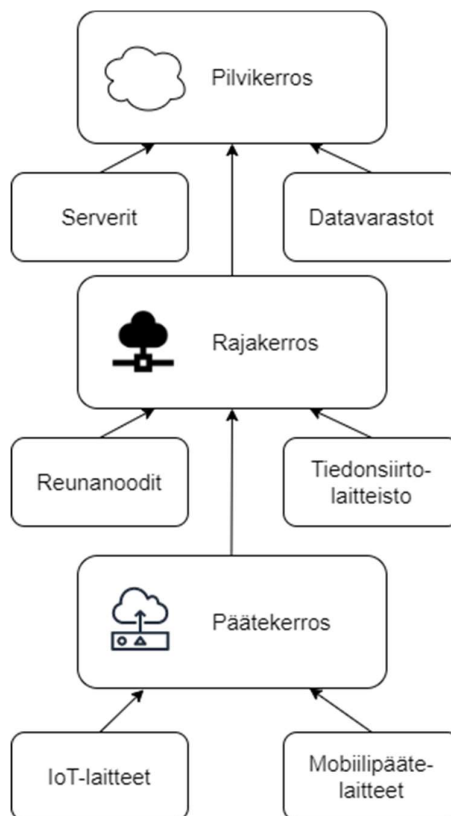
IoT-alusta tarvitsee toimiakseen korkean kaistanleveyden ja matalan latenssin, jotta järjestelmässä syntyvä suuri tiedon määrä ja kommunikaatio voisi toimia reaaliaikaisesti ja tehokkaasti. Valintaa tehdessä pitää varmistaa, että palveluntarjoajalla on huomioituna tämä sekä mahdollisuus kasvattaa kaistanleveyttä tarvittaessa.

**Reunaäly ja hallinta:**

IoT:n ja IoT-alustojen tiedon käsittely ja käyttö alkaa yhä enemmän siirtymään kohti reunaälyä, jossa data prosessoidaan mahdollisimman lähellä laitteita. IoT-alustaa valittaessa pitää ottaa huomioon alustan mahdollisuudet käyttää reunaälyä.

## 4 Reunalaskenta

Älykkäässä maailmassa syntyvä valtava datan määrä nostaa järjestelmän vaatimuksien tasoa ja datan käsittelyssä ja liikkeessä ei riitä enää pelkkä pilvilaskenta suurten kuormien vuoksi. Reunalaskenta (edge computing) tarjoaa järjestelmälle lisää nopeutta ja vakautta. Reunalaskennassa reunanoodit sijoitetaan nimensä mukaisesti verkon reunalle. Reunalla reunanoodit ovat lähellä datalähteitä, tiedonkeruuta sekä loppukäyttäjiä, jolloin tärkeä, matala latenssinen ja pienimuotoinen data saadaan nopeasti käsiteltyä ja suodatettua. Tämän ansiosta latenssi madaltuu, datasiirron tarve pilvivarastoihin vähenee, kustannukset pienenevät sekä kaistanleveys kasvaa. Reunalaskennan tarkoitus on toimia yhteistyössä pilvilaskennan kanssa, jolloin ne jakavat datakuormaa edellä mainituin vaatimuksin. Reunalaskentaa voidaankin pitää laajenuksena pilvilaskennalle. (Cao et al. 2020; Misra et al. 2022; Ullah et al. 2021b.)



Kuva 4. Reunalaskennan strukturi

Kuvasta 4 nähdään, että reunalaskennan struktuuri koostuu pääte-, raja- ja pilvikerroksista. **Päätekerros** koostuu mobiilipäätelaitteista sekä IoT-laitteista, kuten sensoreista ja muista älylaitteista. Valtava laitteiden määrä kerää massoittain dataa, joka siirretään seuraavaan vaiheeseen. **Rajakerros** pitää sisällään varsinaiset reunanoodit sekä useita tiedonsiirron laitteita, kuten reitittäjiä ja tukiasemia. Rajakerros kerää ja laskee päätekerrokselta saapuvaa dataa. Rajakerrosta voidaan pitää struktuurin ytimenä. **Pilvikerros** koostuu korkeatasoisista servereistä ja datavarastoista. Pilvikerros varastoi dataa ja tarvittaessa analysoi dataa, jota rajakerros ei kyennyt analysoimaan. (Cao et al. 2020.)

## 5 Big Data

Big Data eli massadata on laitteiden ja järjestelmien keräämää dataa eli tietoa, jota kerätään jatkuvasti. Jatkuva tiedon kerääminen ja useat eri tiedon lähteet tekevät datan määrästä niin suurta, ettei perinteiset dataohjelmat kykene prosessoimaan sitä. Big Data jaetaan usein kolmeen eri ominaisuuteen, jotka ovat määrä (volume), valikoima (variety) ja nopeus (velocity). **Määrä** on luodun ja kerätyn datan valtava määrä. **Nopeus** on nopea, reaaliaikainen datan luominen, kerääminen ja jakaminen. **Valikoima** on tarkoittaa datan tyyppiä ja muotoa. (Lu et al. 2014.) Massadata voi olla rakenteellista, rakenteetonta, näennäisrakenteellista ja osarakenteellista. **Rakenteellinen data** on dataa, jolla on selkeä ennalta määritelty rakenne ja dataformaatti, mikä tekee datasta helposti haettavaa ja analysoitavaa. Rakenteista dataa älykkäässä sähköverkossa on esimerkiksi älymittarien data, kuormanhallinnan ja jakelunhallinnan data. **Rakenteeton data** on dataa, jolla ei ole mitään ennalta määriteltyä rakennetta tai skeemaa, jolloin dataa on vaikea jäsenellä ja analysoida. Älykkäässä sähköverkossa rakenteetonta dataa on esimerkiksi asiakaspalautteet ja säätiedot. **Näennäisrakenteellinen data** on dataa, joka on epäsäännöllistä tekstimuotoista dataa, jolloin se on vaativaa analysoitavaa ja jäseneltävää. Näennäisrakenteellista dataa on esimerkiksi hakukonetulokset ja klikkaustiedot. **Osarakenteellinen data** on dataa, josta osassa havaitaan rakennetta, jolloin sitä voidaan jäsenellä ja analysoida. Älykkäässä sähköverkossa tällaista voi olla esimerkiksi data kuorman valvonnasta tai sähkön laadusta. (Syed et al. 2021.)

### 5.1 Big Data älykkäässä sähköverkossa

Älykkään sähköverkkojärjestelmän tärkeimpiä komponentteja ovat niiden tietojärjestelmät. Tietojärjestelmien avulla sähköverkko saadaan kommunikoidaan keskenään, joka luo pohjan joustavalle ja tehokkaalle verkolle. Tietojärjestelmät keräävät ja ohjaavat sähköasemilta sekä sähkökuluttajilta tulevaa dataa, josta saadaan tieto esimerkiksi sähkölinjojen ja -laitteiden tilasta, energiankulutuksesta, huipputehosta jne. Älykkäässä sähköverkossa käytetyt tietojärjestelmät ovat SCADA (Supervisory Control and Data

Acquisition) eli valvomo-ohjelmisto, CIS (Customer Information System) eli asiakastietojärjestelmä, GIS (Geographic Information System) eli paikkatietojärjestelmä, AMI (Advanced Metering Infrastructure) eli mittausinfrastruktuuri, MDMS (Meter Data Management System) eli mittaustietojärjestelmä, DRMS (Demand Response Management System) eli kysynnänohjausjärjestelmä ja OMS (Outage Management System) eli sähkökatkosten hallintajärjestelmä. (Daki et al. 2017.)

SCADA eli valvomo-ohjelmisto:

SCADA kerää dataa kaikkialta järjestelmästä ja nimensä mukaisesti sillä valvotaan älykkään sähköverkon ohjausta, kuten tuotantoa/siirtoa/jakelua, kuormaa, verkon aikataulutusta, huipputehoa, kuormanjako, suojausta jne. SCADAn tehtävä on tiedonkeruu ja -siirto, datan esittäminen ja ohjaus. Tämän avulla SG-järjestelmää saadaan optimoitua enemmän automaation, tehokkuuden ja kustannuksien kannalta. (Daki et al. 2017; Sayed ja Gabbar 2017.)

CIS eli asiakastietojärjestelmä:

Asiakastietojärjestelmän avulla parannetaan yrityksen ja asiakkaan välistä vuorovaikutusta. CIS kerää asiakasdataa, kuten asiakkaiden määrää sekä heidän tarpeitaan, joiden avulla sähköverkkoyritykset voivat parantaa palvelujaan. (Daki et al. 2017; Norfazlina et al. 2016.)

GIS eli paikkatietojärjestelmä:

Paikkatietojärjestelmän avulla voidaan hallinnoida ja visualisoida paikkatiedot, seurata muuttuvia sää-, kulutus- ja vikatietoja sekä nähdä verkon tilanteet kokonaisvaltaisesti alueellisesti. GISin avulla saadaan tehostettua verkon ylläpitoa ja toimintavarmuutta, kun saadaan reaaliaikaista tietoa säästä, kunnossapito- ja huoltotöistä sekä mahdollisista riskialueista. (Esri Finland 2021c.)

AMI eli mittausinfrastruktuuri:

AMI kerää dataa kaikista älymittareista ja -laitteista, joka mahdollistaa tiedon energiankulutuksesta ja -tuotannosta. AMIn kerätyn tiedon avulla voidaan hallita energiantuotantoa ja tekemään järjestelmästä kustannus- sekä aikatehokkaamman. Mittausinfrastruktuuriin kuuluu myös aikaisemmin mainittu MDMS eli mittaustietojärjestelmä, jonka avulla esimerkiksi tarkistetaan ja analysoidaan mittausinfrastruktuurilta saatu data. (Daki et al. 2017; Siano 2014.)

DRMS eli kysynnänohjausjärjestelmä

Kysynnänohjausjärjestelmän antaa työkalut, joilla sähköverkkoyhtiöt voivat hallita kysyntäjoustoja ja tehdä järjestelmästä joustavan ja automaattisen tehden siitä tehokkaamman. Kysynnänohjausjärjestelmän avulla voidaan ennen kaikkea vastata kysyntäjoustoja, mutta myös pienentää kustannuksia, parantaa järjestelmän stabiilisuutta sekä turvallisuutta. (Daki et al. 2017.)

OMS eli sähkökatkosten hallintajärjestelmä

Sähkökatkosten hallintajärjestelmä kerää reaaliaikaista dataa verkon tilasta sekä hyödyntää ennusteita mahdollisista sähkökatkoksista. OMS:n avulla pystytään nopeammin reagoida katkoksiin ja sen vaikutusalueeseen, jolloin pystytään priorisoimaan alueita ja kohdentaa työntekijöitä tehokkaammin. Järjestelmän ansiosta korjausajat lyhentyvät, turvallisuus paranee ja käyttökatkoksiin voidaan reagoida nopeammin. (Daki et al. 2017; Schneider Electric 2021.)

Nämä tietojärjestelmät keräävät jatkuvasti reaaliaikaista dataa, osa kerää sekuntitasolla, osa minuuttitasolla tai varttitasolla (Daki et al. 2017). Tämä valtava data määrä tarvitsee big data -analytiikkaa ja -teknologiaa. Seuraavaksi käydään läpi datan elinkaari. Älykkäässä sähköverkossa big datan elinkaari alkaa datan lähteistä ja päättyy data-analytiikkaan.

## **Datalähteet**

Datalähteinä SG-järjestelmässä toimivat lukuisat mittarit, laitteet, sensorit, sähköasemat, jne., jotka keräävät dataa tuotantolaitoksilta ja kuluttajilta (Ullah et al. 2021a). Älykkäässä sähköverkossa data voidaan jakaa viiteen eri luokkaan, jotka ovat operatiivinen data, ei-operatiivinen data, mittareiden käyttödata, tapahtuma data ja metadata. Operatiivinen data on sähköverkosta itsestään kerättyä dataa esimerkiksi jännitteestä ja tehoista. Ei-operatiivinen data puolestaan on dataa, jota ei liitetä suoraan sähköverkon sähköisiin ominaisuuksiin, vaan liittyy ydintietoihin, sähkön laatuun ja verkon luotettavuuteen. Mittareiden käyttödata on dataa esimerkiksi virrankäytöstä, huippujännitteistä ja -tehoista, keskiarvokulutuksesta ja yhdistää nämä kellonaikaan. Tapahtumadata on dataa sähköverkon tapahtumista, kuten vianhavainnointi, jännitehäviöt ja käyttökatkot. Metadata on puolestaan tietoa kaikesta muusta datasta. (Daki et al. 2017.)

## **Datan siirto**

Datalähteistä saatu data saadaan käyttöön IoT-laitteiden ja dataintegraation avulla analysoitavaksi. Data siirtoon käytetään IoT-laitteiden osalta 4G/5G-verkkoa, wifiä, Bluetoothia jne. ja dataintegraation osalta erilaisia tekniikoita, kuten palvelukeskeistä arkkitehtuuria (Service Oriented Architecture, SOA), palveluväylää (Enterprise Service Bus, ESB) sekä yhteisiä tietomalleja (Common Information Models, CIM). (Daki et al. 2017; Mehar Ullah et al. 2021b.) Osa kerätystä datasta voidaan käsitellä reunalaskennan avulla, jossa reunanoodit käsittelevät tärkeän ja nopeasti käsiteltävissä olevan datan lähes reaaliaikaisesti (Ullah et al. 2021b). Tämä nopeuttaa järjestelmää ja vähentää välivaiheiden määrää.

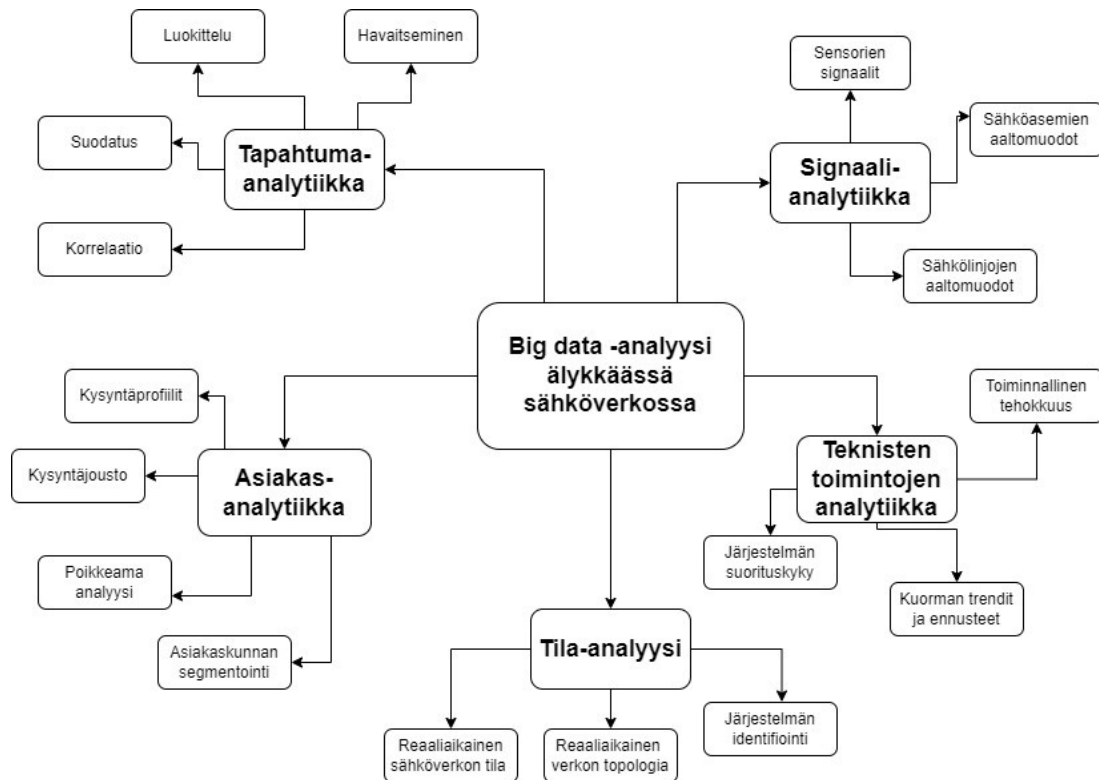
## **Datan varastointi**

Ennen datan analysointia data, jota ei käsitellä reunanooodeissa, siirtyy datavarastoihin. Datavarastot ovat pilvipalveluun varastoitua dataa, jossa dataa voidaan säilyttää alhaisin kustannuksin (Ullah et al. 2021b). Datavarastoista data siirtyy analysoitavaksi.



## Datan analysointi

Datan analysoinnin avulla sähköverkosta saadaan tehtyä tehokkaampi ja älykkäämpi. Älykkään sähköverkon Big data -analytiikassa käytetään erilaisia työkaluja, jotka on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Älykkään sähköverkon datasta käytettävät big data -analyysit. Muokattu lähteestä (Daki et al. 2017)

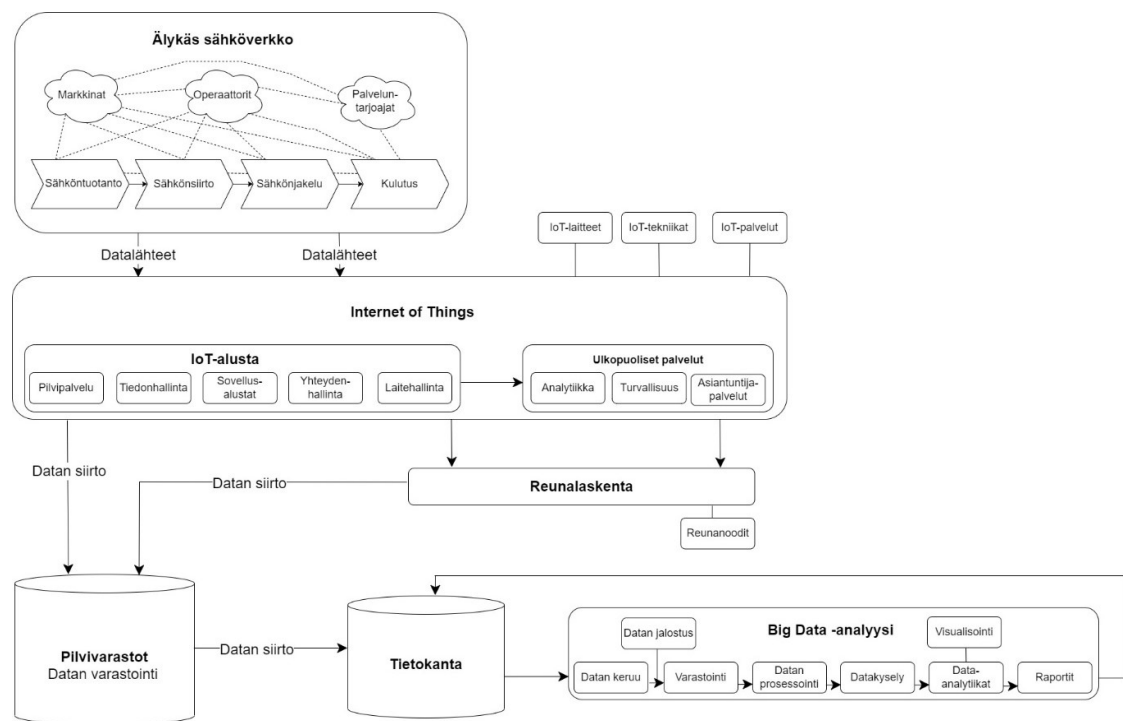
Useista eri lähteistä kerätty data voi olla kuitenkin eri tietomuodoissa, joten usein tarvitaan esikäsittelyä. Esikäsittelyssä käsitellään ja suodatetaan puuttuvaa ja virheellistä dataa. Lopulta data analysoidaan hyödyntäen edellä mainittuja analyysseja sekä tietomalleja, kuten diagnostiikkaa, ennustamista ja kuvailevaa analytiikkaa. (Daki et al. 2017.) Datan analysointiin kuuluu usein myös datavisualisointia, joka parantaa SG-järjestelmän arvioitavuutta ja ymmärrettävyyttä. Älykästä sähköverkkoa visualisoidaan esimerkiksi aiemmin mainituilla tietojärjestelmillä (SCADA, GIS, CIS, jne).

## 5.2 Järjestelmän vaatimukset

Älykkään sähköverkon monimutkaisen rakenteen ja datan valtavan määrän takia massadataratkaisut tarvitsevat järjestelmältä vaatimuksia toimiakseen. Massadataratkaisut toimivat IoT-teknologioiden kanssa yhteistyössä ja järjestelmältä vaaditaankin luvussa 3.1 mainitut vaatimukset eli yhdistettävyyys, varastot, palvelun laatu, reaaliaikainen analytiikka ja vertailuanalyysi (benchmarking). Näiden toimintavaatimuksien lisäksi big data -ratkaisuissa on laitteistovaatimuksia. Massadatajärjestelmän laitteistoon täytyy panostaa, jotta se toimisi vaatimusten mukaisesti eli reaaliaikaisesti ja virheettömästi. Laitteistovaatimuksissa pitää ottaa huomioon erityisesti big data -järjestelmän vaadittava nopeus ja suorituskyky. Laitteistolla tulee olla tarpeeksi hyvät prosessorit, RAM (Random Access Memory) eli hajasaantimuisti, internetyhteys sekä kiintolevyt (Daki et al. 2017).

## 6 Korkeatasoisen järjestelmän arkkitehtuuri

Korkeatasoinen järjestelmä älykkäässä sähköverkossa tarkoittaa järjestelmää, jossa IoT:n, IoT-alustojen ja Big Data -analytiikan osiot ja niiden vaatimukset yhdistyvät sähköverkkoon luoden verkon, jota voidaan seurata, ohjata, hallita, optimoida ja hyödyntää. Kuvassa 5 esitetään korkeatasoisen järjestelmän arkkitehtuuria pääpiirteittäin.



Kuva 6. Korkeatasoisen järjestelmän arkkitehtuuri. Muokattu lähteestä (Ullah et al. 2021b)

Kuvasta 6 nähdään miten sähköverkko, IoT-ratkaisut, Big Data ja reunalaskenta ovat yhteydessä toisiinsa ja miten niiden luoma korkeatasoinen järjestelmä toimii yhdessä. Sähköverkko kerää jatkuvasti dataa tuotannosta, siirrosta, jakelusta ja kulutuksesta ja kommunikoi sisäisten toimijoiden kanssa. IoT yhdistää laitteita sähköverkkoon ja kerää saatua dataa erilaisten edellä mainittujen tekniikoiden ja laitteistojen avulla. Kerätty data eli Big Data saadaan suodatettua, varastoitua ja analysoitua hyödyksi data-analyysien ja -tekniikoiden avulla, jonka jälkeen on mahdollista käyttää dataa hyödyksi esimerkiksi

järjestelmän optimointiin, tulevaisuuden suunnitelmiin ja investointeihin. Järjestelmän jokainen osa on tärkeä ja niiden valintaan tulee huomioida työssä mainitut vaatimukset.

Jotta tämä korkeatasoinen sähköverkkojärjestelmä saadaan toimimaan ja sen potentiaaliset ominaisuudet käyttöön tarvitaan yrityksiä ja niiden sisäistä johtamisstruktuuria. Tällainen kokonaisuus tarvitsee toimintaansa varten seuraavat avaintekijät:

### **Strategia**

Strategiassa on kolme osa-aluetta, jotka ovat

- (i) pitkän aikavälin energiapolitiikka
- (ii) energiasuunnittelu ja tavoitteiden asettaminen
- (iii) riskienhallinta

Näiden avulla yritys voi luoda strategisen pohjan ja sitoutua toimintasuunnitelmaan, joka huomioi tulevaisuuden käyttötavoitteet sekä mahdolliset riskit, tiedostaen määrätyt taloudelliset tavoitteet. (Ullah et al. 2021a.)

### **Käyttö/toteutus**

Käyttö/toteutus koostuu kolmesta osa-alueesta, jotka ovat

- (i) Energiakatselmus
- (ii) Energiatehokkuuden investoinnit
- (iii) Energiatehokkuuden toteutus

Tämän avaintekijän avulla energiasektori analysoi energiankäyttöä, selvittää energiansäästämahdollisuuksia käytön sekä taloudelliselta näkökannalta ja keksii kustannustehokkaita tapoja parantaakseen energiategokkuutta. (Energiavirasto 2021; Ullah et al. 2021a.)

## **Hallinta**

Myös hallintaan kuuluu kolme osa-aluetta,

- (i) Energialaskenta
- (ii) Suorituskyvyn mittaaminen
- (iii) Vertailuanalyysi (Benchmarking)

Hallinnan avulla analysoidaan ja verrataan energiankulutusta ja -tarvetta, energiatehokkuutta sekä järjestelmän suorituskykyä. (Ullah et al. 2021a.)

## **Organisaatio**

Korkeatasoisen järjestelmän toiminnan kannalta organisaatio tarvitsee kaksi avainosaa, jotka ovat

- (i) Energiajohtaja
- (ii) Integraatio ja standardointi

Näiden avulla yritykselle saadaan kokenut ja modernit arvot omistava johtajuus sekä integraation ja standardoinnin avulla tehokas järjestelmä ja läpinäkyvää yritystoimintaa. (Ullah et al. 2021a.)

## **Yrityskulttuuri**

Yrityskulttuuriin liittyy kaksi päätekijää, jotka ovat

- (i) koulutus ja harjoittelu
- (ii) henkilöstön motivointi

Näiden päätekijöiden avulla pidetään yllä yrityksen ja työntekijöiden vaatimustasoa ja uutta osaamista sekä motivoidaan työntekijöitä oppimaan uutta ja parantamaan tuloksia. (Ullah et al. 2021a.)

Kun yhdistetään toimiva korkeatasoinen järjestelmä ja osioiden vaatimukset sekä niin sanotut korkeatasoisen järjestelmän avaintekijät, luodaan ratkaisu, jolla on paljon mahdollisia hyötyjä. Hyötyjä voidaan tarkastella energian, talouden sekä energiayrityksien kannalta. Näitä ovat esimerkiksi energiansäästö, hiilidioksidipäästöjen vähentyminen, uusiutuvan energian tehokkaampi hyödyntäminen, ympäristöystävällisyys, sähkön varastointi, energiatavoitteiden luonti ja asettaminen, riskien ehkäisy (järjestelmän kannalta), laitteiston iän pidentäminen, työpaikkojen määrän kasvaminen ja kustannuksien aleneminen (Elenia 2021; Ullah et al. 2021a).

## 7 Johtopäätökset

Tässä kandidaatin työssä fasilitoitiin älykkään sähköverkon rakennetta datan näkökulmasta IoT:n ja Big Datan avulla. Työn tavoitteena oli määritellä IoT:n ja Big Datan käsitteet, niiden käyttöä älykkäässä sähköverkossa ja niiden välistä relaatiota sekä niiden avulla toimivaa SG-järjestelmää. Älykäs sähköverkko kokonaisuutena luo monimutkaisen ja laajan järjestelmän, joka tarvitsee useita komponentteja, alustoja, sisäisiä järjestelmiä sekä monen alan osajia (esimerkiksi sähkö- ja tietotekniikkaa ja tietojohdamista) toimiakseen. Tässä työssä esitetään tämä monimutkainen kokonaisuus, avataan eri komponentteja sekä niiden tarkoitus järjestelmässä. Kokonaisuus on tiivistetty kuvaan 6.

Kokonaisuus muodostuu älykkästä sähköverkosta, IoT-tekniikoista ja Big Data -analytiikasta sekä tästä syntyvän datan elinkaaresta. Työn tutkimustuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tulevan järjestelmän komponenttien valinnassa, käsitteistön selkeyttämisessä ja SG-järjestelmän kokonaisuuden ymmärtämisessä. Tämä kokonaisuus on pitkälle kehitetty ja suunniteltu ja saatu toimimaan energiamurrosta, yrityksiä ja yhteiskuntaa palvelevaksi. Sähkö- ja tietotekniikan ratkaisut paranevat kuitenkin jatkuvasti ja uusia parempia, nopeampia, kustannustehokkaampia innovaatioita tulee markkinoille tulevaisuudessa. Kokonaisuus saattaa elää ja muuttua hyvinkin nopeasti.

Työn jatkotutkimusaiheita voisi olla esimerkiksi järjestelmän tietoteknisiin osioihin perehtyminen (4G, 5G, reunalaskenta), yksittäisten IoT-alustoihin tai Big Data -analytiikkatyökaluihin syventyminen tai benchmarking alan yritysten järjestelmien alustoihin ja työkaluihin.

## Lähteet

- ABB. 2021a. “Älyä Ja Luotettavuutta Sähköjakeluun.” Saatavissa: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/distribution-solutions> (Viitattu 15.1.2022).
- . 2021b. “Mikä on Älykäs Sähköverkko?” Saatavissa: <https://new.abb.com/fi/alykas-sahkoverkko/mika-on-alykas-sahkoverkko> (Viitattu 15.1.2022).
- Al-Ali, A. R., and Raafat Aburukba. 2015. “Role of Internet of Things in the Smart Grid Technology.” *Journal of Computer and Communications* 3(5): 229–33. Saatavissa: <https://doi.org/10.4236/JCC.2015.35029>.
- Andresen, Christian Andre, Bendik Nybakk Torsaeter, Hallvar Haugdal, and Kjetil Uhlen. 2018. “Fault Detection and Prediction in Smart Grids.” *9th IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems, AMPS 2018 - Proceedings*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/AMPS.2018.8494849>.
- Cao, Keyan, Yefan Liu, Gongjie Meng, and Qimeng Sun. 2020. “An Overview on Edge Computing Research.” *IEEE Access* 8: 85714–28. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734>.
- Chhaya, Lipi, Paawan Sharma, Govind Bhagwatikar, and Adesh Kumar. 2017. “Wireless Sensor Network Based Smart Grid Communications: Cyber Attacks, Intrusion Detection System and Topology Control.” *Electronics 2017, Vol. 6, Page 5* 6(1): 5. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS6010005>.
- Covrig, Laura. et al. “Smart Grids and Beyond – An EU Research and Innovation Perspective.” Saatavissa: <https://doi.org/10.2760/705655>.
- Daki, Houda et al. 2017. “Big Data Management in Smart Grid: Concepts, Requirements and Implementation.” *Journal of Big Data* 4(1): 1–19. Saatavissa: <https://doi.org/10.1186/S40537-017-0070-Y/TABLES/2>.
- Digita. 2021. “Digitan IoT-Verkko on Tehnyt Ennakoivan Kunnonvalvonnan Visioista Totta Sähköyhtiöiden Arjessa.” Saatavissa: <https://www.digita.fi/asiakastarinat/lorawan-on-tehnyt-ennakoivan-kunnonvalvonnan-visioista-totta-sahkoyhtioiden-arjessa/> (Viitattu 22.2.2022).
- Elenia. 2020. “IoT-Sensoridatan Tallennus Ja Hallintajärjestelmän Konseptointi Ja Kehitys.” Saatavissa: <https://www.elenia.fi/files/08e2369d0f8ad73bc1d443f2bf824d2bda83432e/ryhti-loppuraportti-iot-sensoridatan-tallennus-ja-hallintaja-rjestelma-n-konseptointi-ja-kehitys-julkinen-0.pdf> (Viitattu 22.2.2022).



- . 2021. “Älykäs Sähköverkko, Osa 1: Mikä Ihmeen Älykäs Sähköverkko?” Saatavissa: <https://www.elenia.fi/artikkelit/alykas-sahkoverkko-osa-1-mika-ihmeen-alykas-sahkoverkko> (Viitattu 12.5.2022).
- Energiavirasto. 2021. “Energiakatselmukset.” Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset> (Viitattu 12.5.2022).
- Esri Finland. 2021a. “Fingrid Tekee Maailman Parasta Verkko-Omaisuuuden Hallintaa Esrin Ratkaisujen Avulla.” Saatavissa: <https://www.esri.fi/fi-fi/tietoa-meista/referenssit/fingrid-tekee-maailman-parasta-verkko-omaisuuden-hallintaa-esrin-ratkaisujen-avulla> (Viitattu 22.2.2022).
- . 2021b. “Paikkatiedolla Enemmän Irti IoT:Sta.” Saatavissa: [https://www.esri.fi/fi-fi/ratkaisut/liiketoiminnan-tarpeet/iot?utm\\_source=itewiki&utm\\_medium=webpage&utm\\_campaign=sip1&utm\\_content=tarjonta-iot](https://www.esri.fi/fi-fi/ratkaisut/liiketoiminnan-tarpeet/iot?utm_source=itewiki&utm_medium=webpage&utm_campaign=sip1&utm_content=tarjonta-iot) (Viitattu 22.2.2022).
- . 2021c. “Paikkatieto Sähköliiketoiminnan Tukena.” Saatavissa: <https://www.esri.fi/fi-fi/toimialat/sahko/intro> (Viitattu 22.2.2022).
- Fang, Xi, Satyajayant Misra, Guoliang Xue, and Dejun Yang. 2012. “Smart Grid - The New and Improved Power Grid: A Survey.” *IEEE Communications Surveys and Tutorials* 14(4): 944–80. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/SURV.2011.101911.00087>.
- IoT Analytics. 2021. “IoT Platform Companies Landscape 2021/2022.” Saatavissa: <https://iot-analytics.com/iot-platform-companies-landscape/> (Viitattu 21.2.2022).
- Khan, Baseem, Habtamu Getachew, and Hassan Haes Alhelou. 2021. “Components of the Smart-Grid System.” *Solving Urban Infrastructure Problems Using Smart City Technologies*: 385–97. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816816-5.00017-6>.
- Lee, In, and Kyoochun Lee. 2015. “The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises.” *Business Horizons* 58(4): 431–40. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/J.BUSHOR.2015.03.008>.
- Liu, Yide. 2012. “Wireless Sensor Network Applications in Smart Grid: Recent Trends and Challenges.” Saatavissa: <https://doi.org/10.1155/2012/492819>.
- Lu, Rongxing et al. 2014. “Toward Efficient and Privacy-Preserving Computing in Big Data Era.” *IEEE Network* 28(4): 46–50. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/MNET.2014.6863131>.
- Lucero, Sam. 2016. “IoT Platforms: Enabling the Internet of Things.” Saatavissa: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/enabling-IOT.pdf> (Viitattu 21.2.2022).
- Martínez, José Fernán, Jesús Rodríguez-Molina, Pedro Castillejo, and Rubén de Diego. 2013. “Middleware Architectures for the Smart Grid: Survey and Challenges in the Foreseeable Future.” *Energies* 2013, Vol. 6, Pages 3593-3621 6(7): 3593–3621. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/EN6073593>.

- Mishra, Nikhil, Vinay Kumar, and Garima Bhardwaj. 2019. "Role of Cloud Computing in Smart Grid." *2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management, ICACTM 2019*: 252–55. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ICACTM.2019.8776750>.
- Misra, Sanjay, Amit Kumar Tyagi, Vincenzo Piuru, and Lalit Garg. 2022. *Artificial Intelligence for Cloud and Edge Computing*. eds. Sanjay Misra, Amit Kumar Tyagi, Vincenzo Piuri, and Lalit Garg. Cham: Springer International Publishing. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80821-1>.
- Norfazlina, G., A.S. Sharidatul Akma, S. Nurul Adrina, and M.M. Noorizan. 2016. "Customer Information System Satisfaction and Task Productivity: The Moderating Effect of Training." *Procedia Economics and Finance* 37: 7–12. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(16\)30085-5](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(16)30085-5).
- Sarang, Sohail, Micheal Driberg, Azlan Awang, and Rizwan Ahmad. 2018. "A QoS MAC Protocol for Prioritized Data in Energy Harvesting Wireless Sensor Networks." *Computer Networks* 144: 141–53. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/J.COMNET.2018.07.022>.
- Sayed, K., and Hossam A. Gabbar. 2017. "SCADA and Smart Energy Grid Control Automation." *Smart Energy Grid Engineering*: 481–514. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805343-0.00018-8>.
- Schneider Electric. 2021. "Sähkökatkosten Hallintajärjestelmä (OMS)." Saatavissa: <https://www.se.com/fi/fi/work/solutions/for-business/electric-utilities/outage-management-system-oms/> (Viitattu 2.4.2022).
- Shukla, Anshu, Shilpa Chaturvedi, and Yogesh Simmhan. 2017. "RIoTBench: An IoT Benchmark for Distributed Stream Processing Systems." *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 29(21): e4257. Saatavissa: <https://doi.org/10.1002/CPE.4257>.
- Siano, Pierluigi. 2014. "Demand Response and Smart Grids—A Survey." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 461–78. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.10.022>.
- Syed, Dabeeruddin et al. 2021. "Smart Grid Big Data Analytics: Survey of Technologies, Techniques, and Applications." *IEEE Access* 9: 59564–85. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3041178>.
- Ullah, M., and K. Smolander. 2019. "Highlighting the Key Factors of an IoT Platform." *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2019 - Proceedings*: 901–6. Saatavissa: <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8756748>.
- Ullah, Mehar, Arun Narayanan, Annika Wolff, and Pedro Nardelli. 2021a. "Industrial Energy Management System: Design of a Conceptual Framework Using IoT and Big Data." Saatavissa: <https://doi.org/10.36227/TECHRXIV.17045891.V1>.

- . 2021b. “Smart Grid Information Processes Using IoT and Big Data with Cloud and Edge Computing.” *2021 44th International Convention on Information, Communication and Electronic Technology, MIPRO 2021 - Proceedings*: 956–61. Saatavissa: <https://doi.org/10.23919/MIPRO52101.2021.9596885>.
- Ullah, Mehar, Pedro H.J. Nardelli, Annika Wolff, and Kari Smolander. 2020. “Twenty-One Key Factors to Choose an IoT Platform: Theoretical Framework and Its Applications.” *IEEE Internet of Things Journal* 7(10): 10111–19. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3000056>.
- Vaidya, Binod, Dimitrios Makrakis, and Hussein T. Mouftah. 2014. “Authentication Mechanism for Mobile RFID Based Smart Grid Network.” *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/CCECE.2014.6901143>.
- Vantaan Energia. 2018. “Miten Kaksisuuntainen Sähköverkko Toimii?” Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/magazine/energiavirtaa-lehti-3-2018/miten-kaksisuuntainen-sahkoverkko-toimii/> (Viitattu 15.1.2022).
- Viswanath, Sanjana Kadaba et al. 2016. “System Design of the Internet of Things for Residential Smart Grid.” *IEEE Wireless Communications* 23(5): 90–98. Saatavissa: <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721747>.
- Webscale Oy. 2019. “Webscale Pyörittää Carunan AWS-Pilveä.” Saatavissa: <https://webscale.fi/asiakastarinat/caruna-aws-pilvi/> (Viitattu 22.2.2022).
- Zhang, Yang, Tao Huang, and Ettore Francesco Bompard. 2018. “Big Data Analytics in Smart Grids: A Review.” *Energy Informatics* 1(1): 1–24. Saatavissa: <https://doi.org/10.1186/S42162-018-0007-5/FIGURES/4>.