

Kasper Pekkarinen

ÄLYKKÄÄT SÄHKÖJÄRJESTELMÄT

ÄLYKKÄÄT SÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Kasper Pekkarinen
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Kasper Pekkarinen
Opinnäytetyön nimi: Älykkäät sähköjärjestelmät
Työn ohjaaja: Esa Silomaa
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024 Sivumäärä: 50

Tässä opinnäytetyössä tutustutaan älykkäisiin sähköverkkoihin ja niissä käytettäviin teknologioihin, siihen miten ne toimivat ja mistä ne muodostuvat sekä miksi niitä on tärkeää hyödyntää. Työ käsittelee älysähköjärjestelmiä yleisesti sekä kertoo esimerkkinä Oulun ammattikorkeakoulun hybridi-laboratoriotilojen älykkästä sähköjärjestelmästä ja antaa yleiskuvan mitä teknologioita ja komponentteja älysähköjärjestelmä voi sisältää. Työ sisältää ohjeet älysähköjärjestelmän käyttöönottoa varten. Työn tavoitteena on luoda yleiskuva älysähköjärjestelmistä.

Työn tuloksena saavutettiin kattava yleiskuva älysähköjärjestelmistä ja niissä hyödynnettävistä komponenteista sekä ohjeet käyttöönotossa huomioitavista asioista.

Asiasanat: älysähköjärjestelmä, yleiskuvaus, mikroverkkojen älykkäät ohjausjärjestelmät

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Kasper Pekkarinen
Title of thesis: Smart electrical systems
Supervisor: Esa Silomaa
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024.
Number of pages: 50

This thesis explores smart electrical networks and technologies, delving into their functioning, composition, and the reasons for their crucial utilization. The study provides a general overview of smart electrical systems and smart grids and exemplifies Oulu University of Applied Sciences' hybrid laboratory facilities as a case study. This example offers a glimpse into the technologies and components that a smart electrical system may encompass. The thesis includes guidelines for implementing a smart electrical system, aiming to create a comprehensive understanding of these systems.

As a result of the study, a comprehensive overview of smart electrical systems and the components utilized in them was achieved, along with considerations for their implementation.

Keywords: smart grids, overview, microgrid smart control systems

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	6
2	ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT	7
2.1	Kiinteistöjen älykkäät sähköverkot.....	9
2.2	Älykäs sähköjakeluverkko	9
2.3	Älykkäissä sähköverkoissa käytettävät komponentit	10
3	SÄHKÖVERKOT SUOMESSA	13
3.1	Suomen älykäs sähköverkko.....	14
3.2	SCADA.....	14
3.3	Kommunikaatioprotokollat	16
3.4	NIS ja DMS.....	17
3.5	AMR-järjestelmät.....	18
4	EUROOPAN ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT JA NIIDEN TAVOITTEET	20
5	MIKROVERKOT	23
6	OULUN AMMATTIKORKEAKOULUN ÄLYKÄS MIKROVERKKO	27
6.1	UPS ja UPSG	28
6.2	Akkuvarasto.....	29
6.3	Aurinkovoimala.....	31
6.4	Älyvalojärjestelmä	33
7	ÄLYKKÄÄN SÄHKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO	37
8	POHDINTAA.....	46
	LÄHTEET.....	47

1 JOHDANTO

Puhtaaseen energiaan siirtyminen on globaali muutos, joka asettaa sähköverkoille uusia vaatimuksia. Uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, käytön tarve kasvaa jatkuvasti ja tämä lisää haasteita sähköverkoille. Älykkäät sähköjärjestelmät ja verkkoteknologiat voivat toimia avaintekijänä siirtymisessä kohti kestävämpää ja ympäristöystävällisempää sähköjärjestelmää. Teknologisen kehityksen myötä voidaan odottaa, että sähköjärjestelmät tulevat muuttumaan entistä innovatiivisemmiksi ja älykkäiden sovellusten käyttöaste kasvaa.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan älynsähköjärjestelmiä yleisesti sekä selvitetään älynsähköjärjestelmien rooli sähköverkoissa ja miten ne voivat vastata nykyisiin haasteisiin. Työ pyrkii luomaan ymmärrystä älynsähköjärjestelmien perusteista, niiden toimintaperiaatteista sekä niissä käytetyistä komponenteista. Lisäksi työssä tutustutaan Suomen sähköverkkoon ja työssä esitellään yleisesti SCADA-järjestelmät, NIS ja DMS-järjestelmät sekä AMR-teknologiat. Euroopan laajuisesti pohditaan älykkäiden sähköverkkojen tavoitteita. Työ käsittelee esimerkkinä Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratoriotiloissa sijaitsevaa älykstä sähköjärjestelmää. Esimerkki antaa yleiskuvan tällaisen järjestelmän komponenteista ja toiminnan tavoitteista. Työssä kuvataan myös älynsähköjärjestelmän käyttöönottoa.

2 ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT

Älykkäät sähköverkot -käsite yleensä viittaa sähköverkkoon, joka on varustettu älykkäillä järjestelmillä ja teknologioilla. Varustuksen tarkoituksena on parantaa verkon tehokkuutta, luotettavuutta ja edistää kestävästä kulutuksesta. Älykkäät sähköverkot käyttävät reaaliaikaista tietoa sähkönkulutuksesta. Älykkäillä sähköjärjestelmillä pyritään vastaamaan nykypäivän sähköverkkojen haasteisiin, kuten lisääntyvään kulutukseen, kasvavaan uusiutuvan energian integrointiin, energiatehokkuuteen, ilmastomuutokseen ja sähköverkon hallinnan monimutkaisuuteen. (International Energy Agency 2024.) Älykkäät sähköverkot voidaan jakaa kahteen osaan: älykkäisiin yleisiin jakeluverkkoihin ja älykkäisiin kiinteistöjen verkkoihin. Älykkäällä jakeluverkolla ja älykkäällä kiinteistön verkolla on eroja sen suhteen, mihin ne keskittyvät ja miten ne toimivat. Vaikka nämä kaksi verkkoa eroavat toisistaan tarkoituksensa, kokonsa ja sovellusalueensa suhteen, ne voivat myös liittyä toisiinsa osana laajempaa älykkäiden energiaratkaisujen kokonaisuutta. Esimerkiksi älykkäällä kiinteistön verkolla voi olla liitäntäpiste älykkäeseen jakeluverkkoon, mikä mahdollistaa paremman vuorovaikutuksen laajemman sähköverkon kanssa. Älykkäeseen sähköjärjestelmään voi liittyä paljon erilaisia osia. Keskeistä on, että älysähköjärjestelmä mahdollistaa eri laitteiden keskinäisen kommunikoinnin. Älykkään sähköjärjestelmän yleisiä piirteitä ovat:

Etäohjaus ja automaatio

Älykkäät järjestelmät voivat automatisoida erilaisia toimintoja, kuten sähkönjakelua ja verkon kuormituksen hallintaa. Tietokonejärjestelmät voivat valvoa ja hallita sähköverkkoa ilman manuaalista väliintuloa. Etäohjaus mahdollistaa myös nopean reagoinnin häiriötilanteisiin, mikä auttaa optimoimaan sähköverkon suorituskykyä ja sähkönjakelun tehokkuutta. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Joustavuus ja skaalautuvuus

Älykkäät sähköjärjestelmät on suunniteltu olemaan joustavia, skaalautuvia ja vastaamaan erilaisten energiantuotantojärjestelmien ja kulutustarpeiden muutoksiin. Älykkäät sähköjärjestelmät pystyvät mukautumaan kasvavaan uusiutuvan energian käyttöön ja muihin sähköverkkoon vaikuttaviin muutoksiin. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Kaksisuuntainen tiedonsiirto

Älykkäät sähköverkot mahdollistavat tiedonsiirron kaksisuuntaisesti, mikä tarkoittaa tiedon liikumista sähköverkon toimijoilta kuluttajille ja myös kuluttajilta sähköverkon toimijoille. Tämä luo vuorovaikutteisempaa ja tehokkaampaa energianhallintaa, mikä auttaa vikojen nopeampaan tunnistamiseen ja korjaamiseen sekä kestävämpään energiankäyttöön. Kaksisuuntainen tiedonsiirto luo myös perustan älykkäille sovelluksille ja palveluille, jotka hyödyntävät sähköverkon ja kuluttajien välisiä tietovirtoja. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Kuluttajien osallistuminen

Älysähköjärjestelmät tarjoavat kuluttajille mahdollisuuden aktiivisesti osallistua sähköverkon hallintaan esimerkiksi ajastamalla laitteiden käyttöä silloin, kun sähkö on edullisempaa tai ympäristöystävällisempää. Älyverkot tarjoavat kuluttajille reaaliaikaista tietoa sähkön hinnoista ja kulutuksesta, mikä auttaa heitä tekemään tietoisempia päätöksiä energiankulutuksesta. Tämä joustavuus auttaa tasaamaan sähkönkulutusta ja vähentämään huippukuormitusta. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Häiriöiden valvonta ja hallinta

Älysähköjärjestelmät voivat havaita sähkökatkoja ja muita häiriöitä nopeasti ja ohjata automaattisesti virtaa toisiin reitteihin tai käynnistää varajärjestelmiä, jotta sähkökatkojen ja häiriöiden vaikutukset minimoituvat. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Reaaliaikainen tiedonkeruu ja seuranta

Älykkäät sähköjärjestelmät mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonkeruun, jossa sähköverkon tilaa seurataan jatkuvasti. Reaaliaikaiset tiedot auttavat optimoimaan resurssien käyttöä, tunnistamaan vikoja ja varmistamaan tehokkaan energianjakelun. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Uusiutuvan energian integrointi

Älysähköjärjestelmät voivat helpottaa uusiutuvan energian, kuten aurinko- ja tuulivoiman, integrointia sähköverkkoon. Ne voivat optimoida sähkön tuotantoa ja jakelua vaihtelevien uusiutuvien energialähteiden mukaan. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

2.1 Kiinteistöjen älykkäät sähköverkot

Kiinteistöjen älykkäät sähköverkot (englanniksi "Smart Building Grids") ovat sähköjärjestelmiä, jotka on suunniteltu parantamaan kiinteistöjen sähkönjakelun tehokkuutta, energiatehokkuutta, turvallisuutta ja hallittavuutta. Älykäs kiinteistön verkko kohdistuu yksittäiseen kiinteistöön, kuten asuinrakennukseen, toimistoon tai teollisuuslaitokseen ja se on räätälöity kyseiselle kiinteistölle. Älykkääseen kiinteistön verkkoon osallistuvat kiinteistön omistajat, hallinnoijat ja käyttäjät, kuten asukkaat tai yrityksen henkilöstö. (SmartGrid.gov 2024.)

Älykäs kiinteistön verkko voi integroida automaatiojärjestelmiä, jotka ohjaavat esimerkiksi valaistusta, lämmitystä, ilmanvaihtoa ja muita kiinteistön toimintoja. Ohjaus voi perustua esimerkiksi liiketunnistimiin, aikataulutukseen ja älykkäisiin ohjausjärjestelmiin. Nämä älykkäät verkkoratkaisut voivat olla osa laajempaa älykkään rakennuksen (englanniksi "Smart Building") konseptia, joka pyrkii hyödyntämään älykästä teknologiaa ja automaatiota kiinteistöjen sähkönkulutuksen hallinnassa. Kiinteistöjen älykkäät sähköverkot auttavat parantamaan asumismukavuutta, vähentämään energiakustannuksia, vähentämään ympäristövaikutuksia ja lisäämään kiinteistöjen turvallisuutta. (SmartGrid.gov 2024.)

2.2 Älykäs sähkönjakeluverkko

Älykäs sähkönjakeluverkko on sähkönsiirtojärjestelmä, joka hyödyntää edistynyttä tieto- ja viestintäteknologiaa sekä automaatiojärjestelmiä sähkönjakelun tehokkuuden, luotettavuuden ja kestävyiden parantamiseksi. Tämä konsepti kattaa sähkön tuotannon, siirron ja jakelun laajalla alueella, usein koko sähköverkon tasolla. Älykkäät jakeluverkot pyrkivät optimoimaan energian siirtoa, vähentämään häiriöitä, integroimaan uusiutuvaa energiaa ja tarjoamaan älykkään sähköhallinnan asiakkaille, kuten kotitalouksille ja yrityksille. (International Energy Agency 2024.)

Älykkäät sähkönjakeluverkot kattavat laajoja maantieteellisiä alueita, kuten kaupunkeja, kuntia tai kokonaisia maita ja edellyttävät laajamittaista yhteistyötä esimerkiksi sähköntuottajien, jakeluyhtiöiden ja kuluttajien välillä. Älykäs sähkönjakeluverkko pyrkii vastamaan yhteiskuntien ja energiamarkkinoiden haasteisiin, kuten kasvavaan energiankysyntään, uusiutuvan energian integrointiin,

energiatehokkuuteen ja ympäristöystävällisyyteen. Älykkäät jakeluverkot myös pyrkivät parantamaan sähkönjakelun hallintaa, vähentämään sähkökatkojen kestoa ja taajuutta ja tukemaan uusiutuvan energian käyttöä. Älykkäät sähkönjakeluverkot tarjoavat myös kuluttajille parempaa tietoa heidän sähkönkulutuksestaan ja mahdollistavat aktiivisen osallistumisen energianhallintaan. (SmartGrid.gov 2024.)

2.3 Älykkäissä sähköverkoissa käytettävät komponentit

Älykkäissä sähköverkoissa käytetään useita eri komponentteja, joiden tarkoitus on parantaa järjestelmän toimintaa ja sen luotettavuutta. Älykkäissä sähköverkoissa käytettävät komponentit muodostavat kokonaisuuden, jonka avulla sähköverkko voidaan optimoida vastaamaan muuttuviin energiatarpeisiin. (SmartGrid.gov 2024.) Keskeisiä älykkään sähköverkon komponentteja ja piirteitä ovat:

Älykkäät mittarit

Älykkäät mittarit ovat elektronisia mittauslaitteita, jotka mahdollistavat reaaliaikaisen sähkönkulutuksen seurannan ja etäluennan. Ne tarjoavat tietoa sähkönkäyttäjille ja sähköyhtiöille kulutuksen optimointia varten.

IoT-laitteet (Internet of Things)

Älykkäissä sähköverkoissa on lukuisia älykkäitä laitteita, kuten antureita ja ohjaimia, jotka keräävät tietoa sähköverkon tilasta, energiankulutuksesta ja häiriöistä. Näitä laitteita voidaan ohjata etänä ja ne voivat kommunikoida keskenään.

Kommunikaatioverkko

Tieto älykkäiden mittareiden ja muiden laitteiden välillä välitetään langattoman tai langallisen kommunikaatioverkon avulla. Tämä voi olla esimerkiksi langaton verkko, joka mahdollistaa tietojen siirtämisen mittareista sähköyhtiön tietojärjestelmiin. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Häiriöiden valvonta ja hallinta

Häiriöiden havaitsemiseen ja hallintaan käytetään erilaisia antureita ja järjestelmiä. Näitä ovat esimerkiksi vikavirtasuojaus, sähkönlaadun valvonta ja häiriöiden paikannusjärjestelmät.

Automaatiojärjestelmät

Automaatiojärjestelmät, kuten älykkäät katkaisijat ja kuormanhallintalaitteet mahdollistavat verkon komponenttien kauko-ohjauksen ja automaattisen toiminnan. Ne auttavat optimoimaan sähkönjakelua ja häiriöiden hallintaa.

Jännitteenhallinta

Älykäs jännitteenhallinta varmistaa, että sähköverkon jännite pysyy tasaisena ja optimaalisena sähkön laadun varmistamiseksi.

Sähköntuotanto ja varastointi

Älykkäissä sähköverkoissa voi olla integroituja järjestelmiä uusiutuvan energian, kuten aurinko- ja tuulivoiman integrointiin sekä sähkön varastointiratkaisuja. Varastointiratkaisuna voidaan käyttää esimerkiksi akkujärjestelmiä.

Tietoanalytiikka ja ohjelmistot

Tietoja, joita kerätään älykkäistä mittareista ja muista lähteistä, analysoidaan edistyneiden tietoanalytiikan ja ohjelmistojen avulla. Tämä auttaa sähköyhtiöitä tekemään parempia päätöksiä ja ennustamaan sähkönkulutusta.

Kuluttajien liitännäispisteet

Älykkäissä sähköverkoissa kuluttajilla voi olla pääsy käyttöliittymiin ja sovelluksiin, jotka mahdollistavat sähkönkulutuksen seurannan ja hallinnan sekä tarjoavat tietoa energiatehokkuudesta ja energian käytöstä. (Blackridge Research and Consulting 2022.)

Kyberturvallisuusjärjestelmät

Älykkäissä sähköverkoissa kiinnitetään erityistä huomiota kyberturvallisuuteen, jotta verkko ja siihen liittyvät järjestelmät ovat suojattuja mahdollisilta tietoturvariskeiltä.

Energiatehokkaat muuntajat

Älykkäissä sähköverkoissa voidaan käyttää energiatehokkaita muuntajia, jotka vähentävät häviöitä sähkönsiirrossa.

Etäohjattavat sähköverkon komponentit

Älykkäät sähköverkot hyödyntävät etäohjattavia komponentteja, kuten kytkimiä ja reitittimiä, joiden avulla voidaan hallita ja ohjata verkon eri osia etänä.

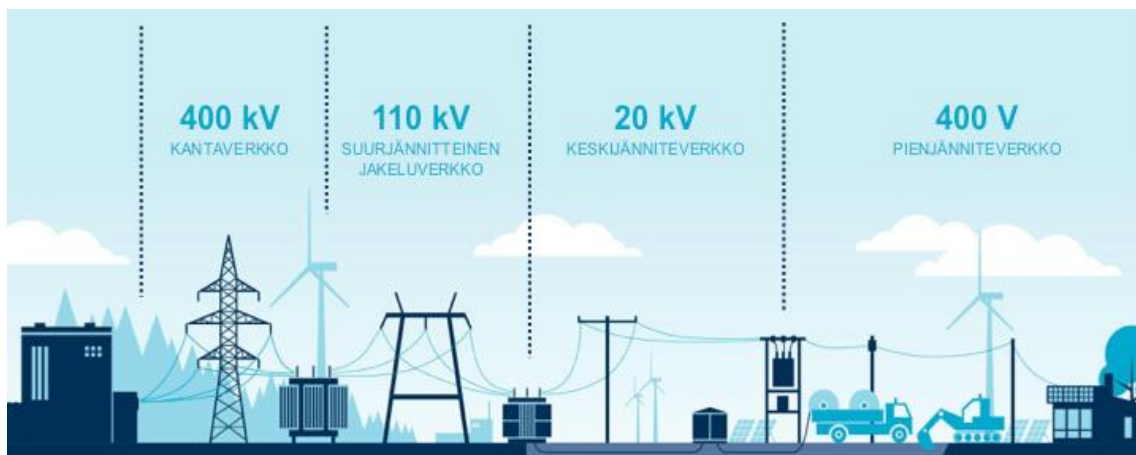
Sähköautot ja latausinfrastruktuuri

Älykkäissä sähköverkoissa otetaan huomioon sähköautojen integrointi ja niiden latausinfrastruktuuri. Tämä edellyttää älykästä latausta, joka voidaan optimoida sähköverkon kuormituksen mukaan. (SmartGrid.gov 2024.)

3 SÄHKÖVERKOT SUOMESSA

Suomen nykyinen sähköjärjestelmä koostuu olennaisilta osin voimalaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisestä jakeluverkosta, keski- ja pienjänniteverkoista sekä kuluttajista. Voimalaitokset vastaavat pääasiassa sähkön tuotannosta eri energialähteitä käyttäen, kuten ydinvoima, vesivoima, aurinkoenergia, tuulivoima, bioenergia ja fossiiliset polttoaineet. Kantaverkko toimii sähkön siirrossa pitkiä etäisyyksiä varten. Siirtoverkot, joiden jännitteet ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV, muodostavat valtakunnallisen kantaverkon yhdessä sähköasemien kanssa. Suomen kantaverkoon kuuluu noin 5400 km 400 kV:n voimajohtoja, 1000 km 220 kV:n voimajohtoja, 7600 km 110 kV:n voimajohtoja, 320 km HVDC-kaapeleita ja yli 120 sähköasemaa. (Fingrid 2023.)

Suurjännitteiset jakeluverkot tuovat sähköä kantaverkosta lähemmäs suuria sähkökuluttajia, kuten teollisuutta. Suurjännitteiset jakeluverkot toimivat käytännössä nivelkohtana kantaverkon ja paikallisen jakeluverkon välillä. Jakeluverkot voivat käyttää kantaverkkoa suurjännitteisen jakeluverkon kautta tai liittyä suoraan kantaverkkoon. Tämä mahdollistaa sähkön tehokkaan siirtämisen kantaverkosta lähemmäs suuria sähkökuluttajia. Joissain tapauksissa jakeluverkot voivat liittyä kantaverkkoon suoraan. Tämä voi olla käytännöllistä esimerkiksi harvaan asutuilla alueilla, joissa suurjännitteisen jakeluverkon rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa tai teknisesti mahdollista. Jakeluverkot ovat paikallisia verkkoja, jotka toimittavat sähköä suoraan kuluttajille. Ne koostuvat keskijänniteverkosta (yleensä 20 kV) ja pienjänniteverkoista (yleensä 0,4 kV). Jakeluverkosta vastaavat paikalliset jakeluverkkoyhtiöt. Kuluttajat muodostavat loppupisteen sähköjakelujärjestelmässä. (Fingrid 2023.) Sähköjakelujärjestelmän rakennekuva on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Sähkövoimajärjestelmän rakennekuva (Lähienergia 2019)

3.1 Suomen älykäs sähköverkko

Suomessa sähkönjakeluolosuhteet ovat haastavat johtuen laajoista metsäalueista, pitkistä etäisyyksistä ja ankarista talvikausista. Tämä on edellyttänyt automaatiojärjestelmien kehitystä ja käyttöönottoa. Suomen sähköverkko on monipuolinen ja nykyaikainen. Älyverkkotoiminnot, kuten kuormituksen profilointi, reaaliaikainen laskutus ja hajautettu sähköntuotanto ovat jo laajasti käytössä Suomessa. Suomalaisissa sähkönjakeluyhtiöissä automaation ja ICT-järjestelmien käyttötaso on korkea. Kehittynyt tietoliikenneinfrastruktuuri mahdollistaa älykkään tiedonsiirron ja reaaliaikaisen datan käytön sähköverkon hallinnassa ja optimoinnissa. Ensimmäinen jakelutason valvomo-ohjelmisto SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), otettiin käyttöön jo 1970-luvulla. Ensimmäiset maantieteelliset verkkotiedot (NIS) otettiin käyttöön 1980-luvulla. (Järventausta ym. 2011.)

Suomessa kulutetaan paljon sähköä, mikä on myös edistänyt älykkään sähköverkon kehitystä. Tilastokeskuksen mukaan sähkön kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2021 oli 87,1 TWh, mikä tarkoittaa 15,7 MWh asukasta kohden (Motiva 2023). Keskiporto sähkönkulutus vuonna 2021 Euroopassa oli 6,21 MWh asukasta kohden (Statista 2023). Suomen sähköverkko on jatkuvasti kehittyvä ja nykyaikaistuva, ja automaatiojärjestelmät ovat edelleen keskeisessä roolissa varmistamassa sähköntoimituksen haastavissa ympäristöolosuhteissa. (Järventausta ym. 2011.)

3.2 SCADA

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) on valvomo-ohjelmisto, joka mahdollistaa teollisten prosessien valvonnan ja ohjauksen visuaalisen käyttöliittymän avulla. SCADA-järjestelmät ovat erityisen tärkeitä sähköverkkojen hallinnassa, koska ne mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonkeruun, analyysin ja ohjauksen eri sähköverkon komponenteista, voimalaitoksista, jakeluverkoista ja älykkäistä mittauslaitteista. Käyttämällä SCADA-järjestelmää sähköverkon hallinnassa voidaan tarkkailla ja ohjata eri prosesseja yhdestä keskitetystä käyttöliittymästä. Tämä voi sisältää voimalaitosten suorituskyvyn valvonnan, sähkönjakeluverkon tilan seurannan ja älykkäiden mittauslaitteiden data-analyysin. SCADA-käyttöliittymät voivat sisältää graafisia esityksiä, kuten karttoja, kaavioita ja mittareita. SCADA-järjestelmät mahdollistavat myös sähköverkon eri komponenttien automaattisen tai manuaalisen ohjauksen. Tämä lisää järjestelmän joustavuutta ja auttaa optimoimaan

suorituskykyä. SCADA järjestelmät koostuvat useista eri osista. (Loshin 2024; Scada International 2024.) Keskeisimpinä osina SCADA:ssa voidaan pitää:

Kontrolliyksikkö (Control Unit)

Kontrolliyksikkö toimii SCADA-järjestelmän "aivoina", vastaanottaen, analysoimalla ja tallentamalla tiedot valvotusta prosessista. Kontrolliyksikkö voi sisältää ohjelmistokomponentteja ja tietokantoja, jotka mahdollistavat tietojen käsittelyn ja tallentamisen. (Scada International 2024.)

Kommunikaatioprotokollat

SCADA-järjestelmät käyttävät erilaisia kommunikaatioprotokollia, kuten Modbus, DNP3 ja OPC, kerätäkseen reaaliaikaista tietoa kenttälaitteista ja prosesseista. Käytössä on myös muita kommunikointiprotokollia. Kommunikaatiolinkkien avulla tieto siirretään valvomosta valvottaviin kohteisiin ja päinvastoin. (Scada International 2024.)

Käyttöliittymä (HMI - Human-Machine Interface)

Käyttöliittymä tarjoaa visuaalisen tavan valvoa ja hallita prosesseja. Graafiset elementit, kuten kartat, kaaviot ja mittarit, esittävät reaaliaikaista tietoa selkeällä tavalla. (Loshin 2024.)

Tietokannat

SCADA-järjestelmät tallentavat keräämänsä tiedon tietokantoihin. Tämä mahdollistaa pitkäaikaisen historiatietojen säilyttämisen ja analysoinnin, mikä on tärkeää prosessien optimoinnissa ja viiväntuomisen välttämiseksi. Tietokantojen valinta riippuu SCADA-sovelluksen vaatimuksista, kuten tietoturva, suorituskyky, skaalautuvuus ja tietomallista. Yleisimpiä tietokantatyyppejä SCADA-sovelluksissa ovat relaatiotietokannat, aikasarjatietokannat ja NoSQL-tietokannat. (Loshin 2024; Scada International 2024.)

Ohjausjärjestelmät

SCADA voi integroida ohjausjärjestelmiä, jotka mahdollistavat valvottavien prosessien automaattisen tai manuaalisen ohjauksen, mikä lisää järjestelmän joustavuutta ja reagoitokykyä muuttuviin olosuhteisiin. (Scada International 2024.)

Hälytysjärjestelmä

SCADA tarjoaa hälytysominaisuuksia, jotka ilmoittavat operaattoreille poikkeavista tilanteista tai häiriöistä (Loshin 2024).

3.3 Kommunikaatioprotokollat

Älysähköverkoissa on käytössä useita eri kommunikaatioprotokollia, mitkä mahdollistavat tiedonsiirron sähköverkon eri osien välillä. Kommunikaatioprotokolla on käytännössä joukko määrittäviä sääntöjä, jotka määrittävät sen, miten tietoa vaihdetaan laitteiden ja järjestelmien välillä. Kommunikaatioprotokollat tarjoavat standardoidun rajapinnan laitteiden väliselle viestinnälle, joka on välttämätöntä niiden keskinäiselle kommunikoinnille. Alla on esitetty esimerkkejä kommunikaatioprotokollista.

Modbus

Modbus on sarjapohjainen viestintäprotokolla, jota käytetään laajasti teollisuudessa. Modbus on suunniteltu helpottamaan laitteiden välistä viestintää, kuten mittauslaitteiden, antureiden, moottorien, ohjainten ja muiden laitteiden välillä. Modbus on avoin standardi, mikä mahdollistaa, että sen määrittelyt ovat vapaasti saatavilla ja sitä voivat käyttää eri valmistajat. (Wago 2024.)

DNP3

DNP3 eli "Distributed Network Protocol 3" on protokolla, joka on suunniteltu erityisesti käytettäväksi sähköntuotannossa ja jakelussa. DNP3 tarjoaa luotettavan tavan hallita sähköverkon komponentteja, kuten mittareita ja antureita etänä. DNP3-protokollaa käytetään laajasti sähköntuotanto- ja jakelujärjestelmissä sekä SCADA-sovelluksissa. (1815–2012 2012.)

OPC

OPC eli "Open Platform Communications" on standardoitu ohjelmointirajapintasarja, joka mahdollistaa tietojen vaihdon teollisuuden automaatiojärjestelmien välillä. OPC-teknologiaa käytetään laajasti teollisuuden automaatiojärjestelmissä, kuten prosessiautomaatiossa ja SCADA-sovelluksissa. OPC mahdollistaa yhteyden erilaisten laitteiden ja ohjelmistojen välille ja helpottaa tietojen vaihtoa ja integraatiota eri valmistajien järjestelmien kesken. (OPC Foundation 2024.)

IEC

IEC (International Electrotechnical Commission) on kansainvälinen standardointiorganisaatio, joka kehittää ja julkaisee standardeja sähkötekniikan ja elektroniikan aloilla. IEC:n tarkoituksena on edistää sähkötekniikan ja elektroniikan standardointia maailmanlaajuisesti ja helpottaa laitteiden yhteensopivuutta ja teknistä yhtenäisyyttä eri maiden välillä. IEC:n standardit kattavat monenlaisia aloja, kuten sähköenergian tuotanto, jakelu, elektroniikka, tietoliikenne ja teollisuusautomaatio. IEC:n luomia standardeja on laajasti käytössä kommunikointiprotokollissa. Tällaisia standardeja on esimerkiksi IEC-60870-5, IEC-61850, IEC-104 ja IEC-101. (International Energy Agency 2024.)

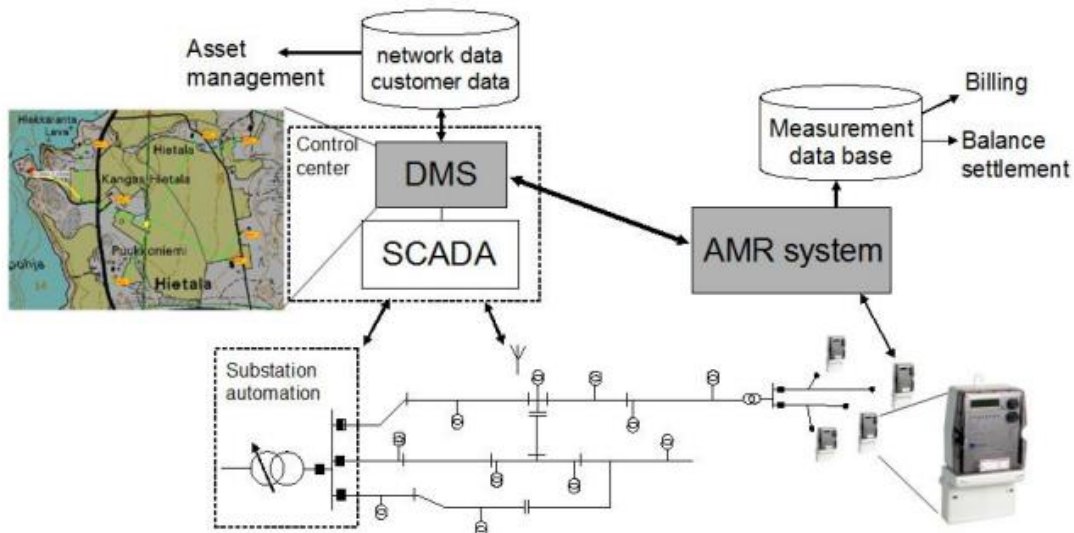
3.4 NIS ja DMS

Tietojärjestelmä NIS on järjestelmä, joka sisältää sovelluksia monipuoliseen verkkojen suunnitteluun ja laskentaan sekä verkkojen dokumentointiin ja karttojen laatimiseen. Kaikki asiakkaat asiakkastietojärjestelmästä ovat yhteydessä verkkoaineistoon ja asiakkaiden kuormat mallinnetaan tunnikuormakäyrillä verkkolaskennassa. Tietojärjestelmät ovat kuitenkin kehittyneet huomattavasti teknologian edistymisen myötä ja 1980-luvulla käytetyt tietojärjestelmät eroavat merkittävästi nykypäivän järjestelmistä. Tietojärjestelmät 1980-luvulla olivat usein rajoitetumpia ominaisuuksiltaan ja toiminnallisuuksiltaan verrattuna nykypäivän monimutkaisiin ja integroituihin järjestelmiin. Jo 1980-luvulla useissa jakeluverkkoyhtiöissä otettiin käyttöön älykkäitä automaatiojärjestelmiä. (Järventausta ym. 2011.)

Tällaisiin automaatiojärjestelmiin sisältyi esimerkiksi kauko-ohjattavia katkaisuasemia, mikroprosessoripohjaisia suojareleitä päämuuntamoissa (110/20 kV) ja reaaliaikaisia jakelunhallintajärjestelmiä (DMS eli Distribution Management System). Jakelunhallintajärjestelmiin kuuluivat esimerkiksi automaattiset vianpaikannus-, vianeristys- ja verkoston palautustoiminnot keskijännitejakelujohdoille. Nämä varhaiset älykkäät automaatiojärjestelmät suunniteltiin parantamaan sähköverkon suorituskykyä ja vikatilanteiden hallintaa erityisesti haastavissa ympäristöolosuhteissa. Ne mahdollistivat etäohjattavuuden ja nopean reagoinnin vikatilanteisiin. (Järventausta ym. 2011.)

3.5 AMR-järjestelmät

Ensimmäiset AMR-järjestelmät (Advanced Meter Reading) otettiin käyttöön jo 1990-luvulla. AMR-järjestelmät ovat muuttaneet perinteisen energiamittarin käyttötarkoituksen älykkääksi pääteyksiköksi, joka mahdollistaa reaaliaikaisen kaksisuuntaisen kommunikaation asiakkaiden ja energiayhtiöiden välillä. Kehittyneet mittarit mahdollistivat esimerkiksi hälytykset energiayhtiölle poikkeuksellisessa tilanteessa, kuten verkkovian ilmetessä tai jännitteiden muuttuessa. AMR-järjestelmän käyttö on monipuolista jakeluverkkoyhtiön eri toiminnoissa. AMR-järjestelmä tukee verkkotoimintaa esimerkiksi tarjoamalla automaattisen matalajännitevilkailmoituksen mahdollistaen eristyksen ja paikannuksen sekä tarjoten tarkat jännite- ja kuormitusarvot. Lisäksi AMR-järjestelmä on hyödyllinen verkkosuunnittelussa ja omaisuudenhallinnassa tarjoten tarkkoja kuormaprofiileja verkkolasentaa varten. Sähkön laadun seurannassa AMR-järjestelmä mahdollistaa katkosten ja jänniteominaisuuksien tarkkailun. AMR-järjestelmä on käyttökelpoinen perinteisen käytön lisäksi laskutuksessa ja kuormanjakelussa. Näin ollen järjestelmä toimii monipuolisena työkaluna, joka parantaa jakeluverkon tehokkuutta, luotettavuutta ja palvelutasoa eri osa-alueilla. AMR-järjestelmän käyttö ja integrointi verkkotoimintaan voidaan ajatella SCADAn laajenuksena, kuten on esitetty kuvassa 2. (Järventausta ym. 2011.)



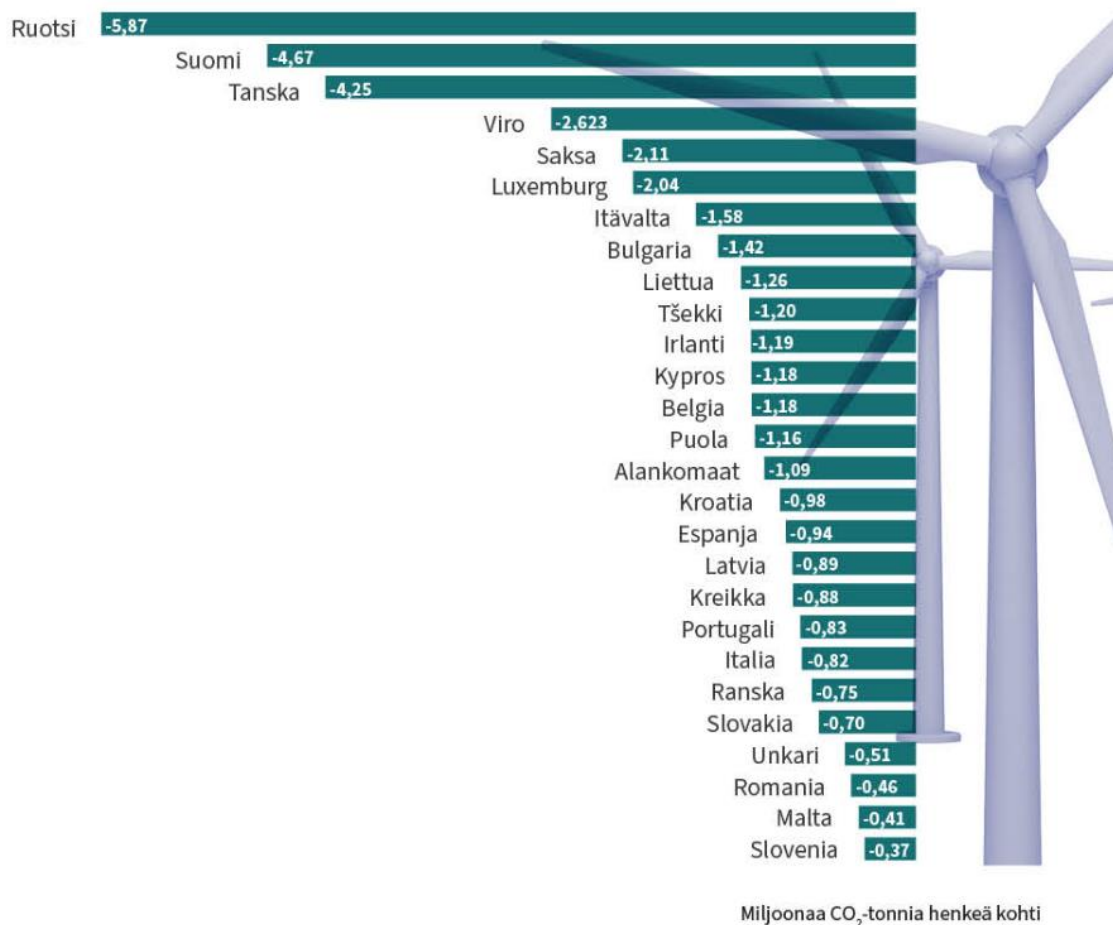
KUVA 2. Suomen Jakeluverkon hallinta AMR:n avulla (Järventausta ym. 2011)

Suomi oli ensimmäisiä maita maailmassa, missä sähkömittareiden etäluenta otettiin laajamittaisesti käyttöön. Tuntimittauksessa ja tuntitasaselvityksessä Suomi on edelläkävijä maailmassa. Tuntimitausvelvoite säädettiin maaliskuussa 2009 voimaan tulleessa Valtioneuvoston asetuksessa sähkötoimitusten selvityksestä ja mittauksesta (66/2009)¹. Asetuksen mukaan 80 % sähkökäyttöpaikoista tuli olla tuntimittauksessa 1.1.2014 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017.)

4 EUROOPAN ÄLYKKÄÄT SÄHKÖVERKOT JA NIIDEN TAVOITTEET

Euroopan sähköverkot ovat monimutkaisia verkostoja, jotka kattavat laajan maantieteellisen alueen eri maissa ja niiden välillä. Euroopan sähköverkot koostuu eri jännite- ja siirtotasojen verkko-yhteyksistä. Nämä verkot mahdollistavat sähkön siirron tuotantolaitoksista kuluttajille ja yrityksille Euroopassa. Viime vuosikymmeninä on noussut esiin tarve modernisoida perinteisiä sähköverkkoja vastaamaan nykyajan haasteisiin, ja tämä on johtanut älykkäiden sähköverkkojen, eli älyverkkojen, kehittämiseen Euroopassa. Euroopan älykkäiden sähköverkkojen kehityksen tavoitteet liittyvät laajempaan strategiaan kohti kestävämpää, älykkäämpää ja tehokkaampaa energiainfrastruktuuria. Näitä tavoitteita ohjaa Euroopan unionin energia- ja ilmastopoliittinen kehys, joka asettaa tavoitteita kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi ja uusiutuvan energian osuuden lisäämiseksi energiantuotannossa. Nykyinen energiajärjestelmä on edelleen vahvasti riippuvainen fossiilisista polttoaineista. Vuoteen 2050 mennessä sähkön osuus energian loppukysynnästä nousee 53 %, ja yli 80 % sähköstä tuotetaan uusiutuvista energialähteistä. (Prettico ym. 2022.)

Yksi keskeinen haaste, johon älyverkot pyrkivät vastaamaan, on EU:n ilmastotavoitteet. Eurooppalaisessa ilmastolaissa asetetaan sitova EU:n ilmastotavoite, jonka mukaan kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähennetään vuoteen 2030 mennessä vähintään 55 % vuoden 1990 tasosta (Eurooppa-neuvosto 2022). Erityisesti aurinko- ja tuulivoimaloiden vaihteleva tuotanto edellyttää älykkäitä ratkaisuja verkon tasapainottamiseksi. Euroopan älykkään sähköverkon kehittäminen on vastaus kasvavaan tarpeeseen tehdä perinteisistä sähköverkoista kestävämpiä ja joustavampia, siten ne mahdollistavat uusiutuvan energian tehokkaan integroinnin ja vähentävät riippuvuutta fossiilisista energialähteistä. Uusiutuvan energian ansioista on vältetty huomattavasti päästöjä esimerkiksi vuonna 2017 (kuva 3).

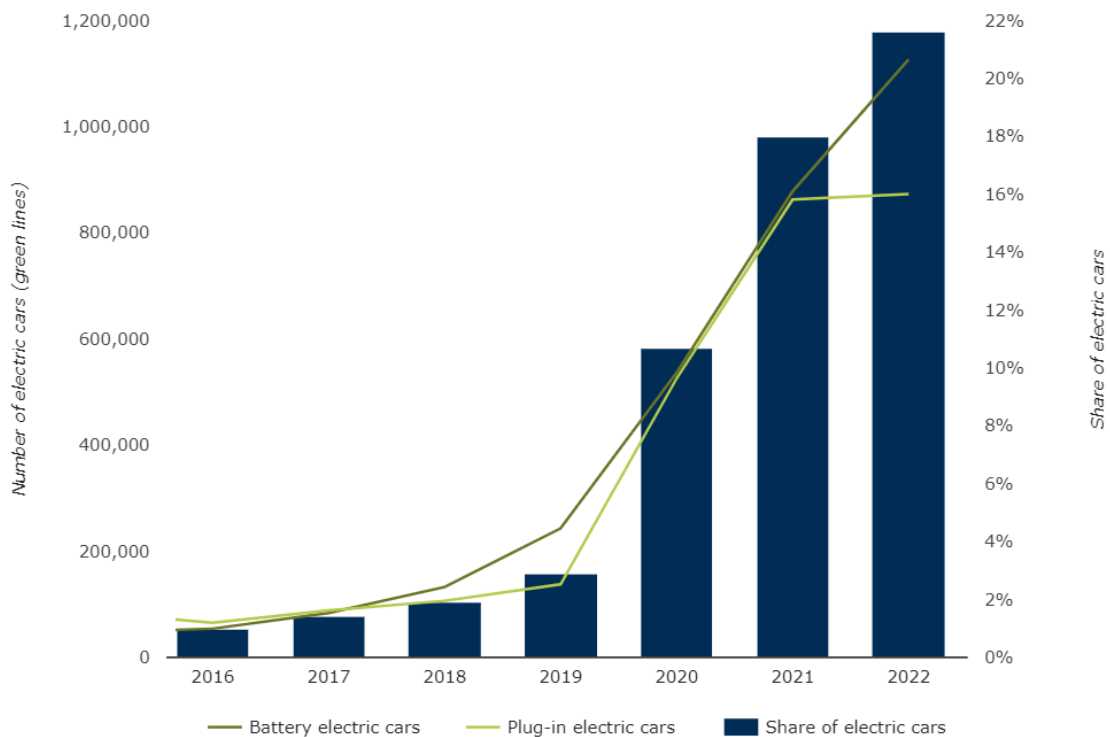


KUVA 3. Uusiutuvan energian ansiosta vältetyt päästöt vuonna 2017 (European Environment Agency 2023)

Siirtoverkon innovaatioilla, kuten korkean kapasiteetin laajennuksilla, pyritään integroimaan suurempia määriä uusiutuvaa energiaa Euroopan energiantuotantoon. Tämä edellyttää myös älykkäitä ratkaisuja. Älykkäät sähköverkot tukevat myös suurten energiavarastojen integrointia, mikä mahdollistaa energian tasaamisen huippukulutusajoina ja lisää verkon luotettavuutta. Älykkäiden varastojen kasvulle ennustetaan voimakasta nousua seuraavan vuosikymmenen aikana, ja Euroopassa panostetaan erityisesti tähän teknologiaan. (Prettico ym. 2022.)

Sähköajoneuvojen yleistyminen on myös merkittävä haaste sähköverkoille Euroopan alueella. Vuonna 2022 Euroopan unionissa tapahtui merkittävää edistystä sähköautojen ja -pakettiautojen käytön lisäämisessä, kun sähköajoneuvojen osuus uusista rekisteröinneistä oli 21,6 %. Kokonaisuudessaan lähes kaksi miljoonaa sähköautorekisteröintiä vuodessa, mikä oli kasvua edellisvuode-

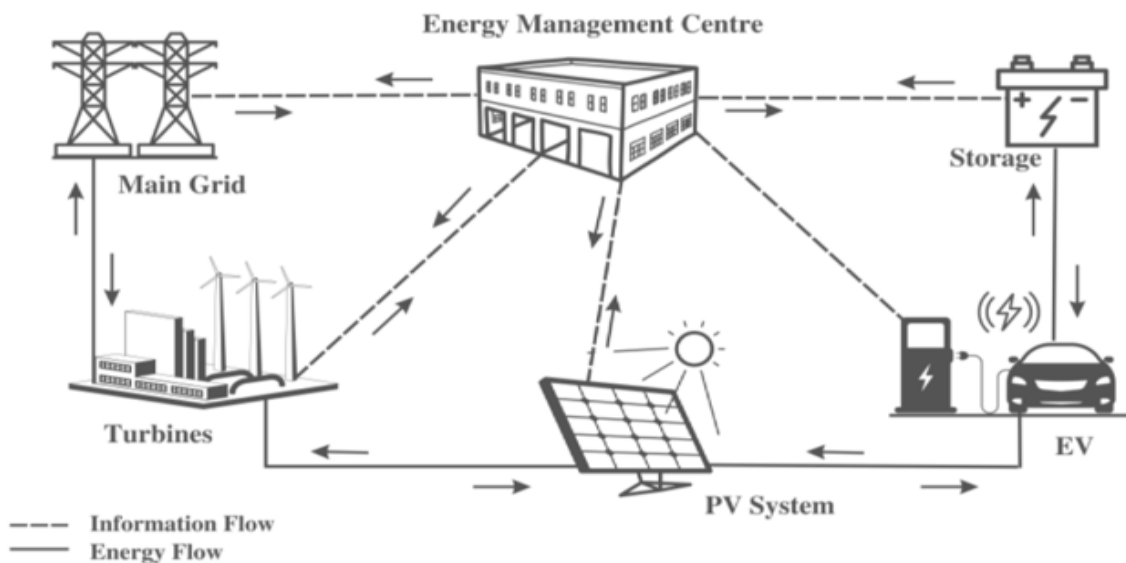
desta (1,74 miljoonaa vuonna 2021). Sähköpakettiautojen määrä Euroopan teillä jatkoi myös kasvua, saavuttaen 5,5 % osuuden uusista rekisteröinneistä vuonna 2022. Viimeisen vuoden aikana uusien rekisteröityjen täyssähköautojen määrä kasvoi 25 %, kun taas ladattavien hybridiautojen määrä pysyi samana. Täyssähköautot muodostivat valtaosan sähköpakettiautojen rekisteröinneistä vuonna 2022. Älykkäät latausjärjestelmät, jotka mahdollistavat esimerkiksi ajastetun latauksen ja sähköverkon tilan huomioimisen, ovat välttämättömiä. Älykkäät latausratkaisut voivat myös auttaa tasapainottamaan verkon kuormitusta ja edesauttamaan kysyntäjoustoa. Kuvassa 4 on esitetty sähköajoneuvojen yleistymistä vuosittain Euroopassa. (European Environment Agency 2023.)



KUVA 4. Sähköajoneuvojen yleistyminen Euroopassa (European Environment Agency 2023)

5 MIKROVERKOT

Mikroverkot (englanniksi microgrid) ovat olennainen osa äly sähköjärjestelmiä. Mikroverkko on energiaverkko, joka koostuu pienemmistä, itsenäisistä sähköntuotanto- ja jakelualueista. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi yksittäisen rakennuksen, teollisuusalueen tai kaupunginosan omaa energiainfrastruktuuria. Mikroverkot voivat toimia sekä osana suurempaa pääverkkoa tai täysin itsenäisenä järjestelmänä. Mikroverkkojen merkitys korostuu erityisesti hajautetun energiantuotannon edistämiseksi ja sähköverkon resilienssin parantamiseksi. Mikroverkot hyödyntävät usein uusiutuvia energialähteitä, kuten aurinko- ja tuulivoimaa, edistäen siten kestäväää energiantuotantoa. Mikroverkoissa on myös usein sisäänrakennettuja energian varastointijärjestelmiä, kuten akustoja, mikä mahdollistaa energian varastoinnin ja käytön tarpeen mukaan. Mikroverkot ovat myös resilienssejä lähteitä sähkökatkojen aikana, sillä ne voivat jatkaa toimintaansa itsenäisesti tai toimia varavirtalähteenä pääverkon katkoksen aikana. Kaksisuuntainen energianvaihto pääverkon kanssa mahdollistaa sen, että mikroverkot voivat ottaa vastaan sähköä pääverkosta tai syöttää sitä takaisin verkostoon tarpeen mukaan. Tämä tekee mikroverkoista monikäyttöisiä ja soveltuvia erilaisiin käyttötarkoituksiin erityisesti alueilla, joilla halutaan lisätä energiatehokkuutta ja hyödyntää uusiutuvia energialähteitä paikallisesti. Tyypillinen mikroverkon rakenne ja toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5. (Vipin ym. 2023; MicrogridKnowledge 2023; Yoldaş ym. 2017.)



KUVA 5. Tyypillinen mikrogrid-järjestelmä (Vipin ym. 2023)

hallintaan. DERMS optimoi näiden resurssien käyttöä ja integraatiota mikroverkkoon. DERMS stabiloi sähköverkkoa optimoimalla hajautettujen energianlähteiden käyttöä. DERMS vastaa nopeasti taajuusvaihteluihin, hallitsee jännitettä, reagoi häiriöihin ja koordinoi hajautettua energiantuotantoa. Älykkäät ohjausjärjestelmät mahdollistavat DERMSn reaaliaikaisen sopeutumisen muuttuviin olosuhteisiin, mikä varmistaa sähköverkon vakauden ja tehokkuuden. (CGI 2024.)

Virtuaalivoimalaitosjärjestelmä (Virtual Power Plant, VPP)

Virtuaalivoimalaitosjärjestelmä on älykäs ja integroitu energiaratkaisu, joka yhdistää hajautettuja energiantuotantolähteitä yhdeksi järjestelmäksi. Virtuaalivoimalaitos perustuu pilvipalveluihin. Virtuaalinen voimalaitos koostuu useista hajautetuista energiantuotanto- ja varastointiyksiköistä, kuten aurinkopaneeleista, tuuliturbiineista, akkujärjestelmistä ja useista muista resursseista. Yhteensä nämä muodostavat joustavan ja älykkään kokonaisuuden, joka voi vastata dynaamisesti sähköntarpeeseen ja markkinaolosuhteisiin. Virtuaalivoimalaitosjärjestelmä mahdollistaa joustavan energiantuotannon ja -jakelun tarpeen mukaan. Virtuaalivoimalaitosjärjestelmän toimintaa ohjaa älykäs ohjausjärjestelmä. Tämä järjestelmä hyödyntää edistyneitä algoritmeja ja ennustemalleja optimoidakseen energiankulutusta ja -tuotantoa. (Sympower 2024.)

Hajautetut ohjausjärjestelmät (Distributed Control System)

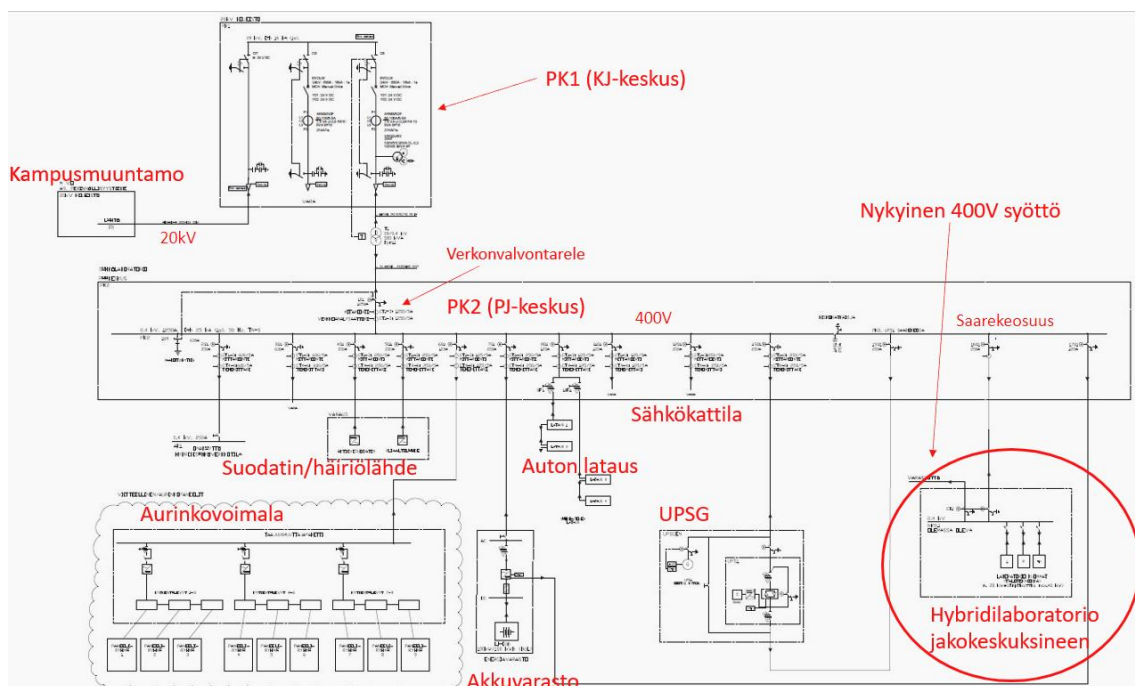
Hajautetut ohjausjärjestelmät ovat tietokonepohjaisia automaation ohjausjärjestelmiä prosesseille, tuotantolaitoksille tai voimaloille. Hajautetussa ohjausjärjestelmässä on yleensä suuri määrä autonomisten ohjainten ohjaamia säätöpiirejä ympäri koko järjestelmää, mutta keskusyksikkö suorittaa valvonnan. Mikroverkoissa hajautetut ohjausjärjestelmät voivat optimoida energiantuotantoa, jakelua ja varastointia paikallisesti. Jokainen mikroverkon komponentti, kuten aurinkopaneelit, tuuliturbiinit ja energiavarastot, voi olla varustettu omalla älykkäällä ohjauksellaan. Tämä mahdollistaa mikroverkon itsenäisen toiminnan ja optimoinnin paikallisesti, mikä on erityisen hyödyllistä muuttuvissa olosuhteissa tai häiriötilanteissa. Nämä järjestelmät tarjoavat paremman tietoturvan ja luotettavuuden jakamalla päätöksentekoa useille paikallisille yksiköille. Lisäksi hajautetut ohjausjärjestelmät ovat helppoja laajentaa. (Electrical Technology 2024.)

ABB Ability Microgrid Plus

ABB Ability Microgrid Plus on ABB:n kehittämä älykäs mikroverkon ohjausjärjestelmä, joka integroi erilaisia energialähteitä, kuten aurinko- ja tuulivoimaa, varastointiratkaisuja ja perinteisiä voimalaitoksia. Järjestelmä käyttää älykkäitä ohjausalgoritmeja ja ennakoivaa analytiikkaa energian tehokkaaseen hallintaan, mikä mahdollistaa optimoidun energiantuotannon ja -jakelun. ABB Ability Microgrid Plus tukee myös häiriönhallintaa, markkinaosallistumista ja tarjoaa käyttäjille reaaliaikaista seuranta. ABB Ability Microgrid Plus järjestelmä auttaa parantamaan mikroverkon tehokkuutta ja joustavuutta. (ABB 2024.)

6 OULUN AMMATTIKORKEAKOULUN ÄLYKÄS MIKROVERKKO

Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa on kattava ja nykyaikainen mikroverkkojärjestelmä tutkimus- ja opetuskäyttöön. Laboratoriossa on integroitu älykäs sähköverkko, joka voidaan erottaa omaksi saarekeverkoksi. Tämä tarkoittaa, että se voi itsenäisesti hallita sähkön tuotantoa, jakelua ja kulutusta erillään ulkoisesta sähköverkosta. Laboratoriossa käytetään uusiutuvan energian ratkaisuja, joita ovat aurinkosähkövoimala ja akkuvarasto. Aurinkosähkövoimala hyödyntää aurinkoenergiaa ja akkuvarasto mahdollistaa ylimääräisen energian varastoinnin. Laboratorion tiloissa on myös generaattori, joka tarjoaa vaihtoehdoisen energianlähteen esimerkiksi sähkökatkon ajalle. Laboratorion yhteydestä on myös neljä sähköauton latauspistettä. Ylimääräinen tuotettu sähkö, joka ei ole tarpeen laboratoriossa, voidaan myös syöttää kampuksen laajempaan sähköverkkoon.



KUVA 6. Sähköjärjestelmän periaate (OAMK 2020)

6.1 UPS ja UPSG

UPS (Uninterruptible Power Supply) on laite, joka tarjoaa sähkönsyöttöä sähkökatkoksen aikana. Se toimii varmuuslaitteena, joka käyttää akkuja tai muita energiavarastoja varmistaakseen, että sähkölaitteet voivat jatkaa toimintaansa väliaikaisesti katkoksen aikana. UPS suojaa elektronisia laitteita sähkövaurioilta, kuten jännitepiikeiltä ja -laskuilta, ja antaa käyttäjille aikaa tallentaa työnsä ja sammuttaa laitteet turvallisesti. UPSG (Uninterruptible Power Supply System) viittaa kokonaiseen järjestelmään, joka sisältää useita UPS-laitteita ja niihin liittyviä komponentteja. Tämä voi sisältää UPS-laitteet, akustot, latauslaitteet, ohjausyksiköt ja muut tarvittavat osat. UPSG-järjestelmä on suunniteltu ylläpitämään sähkönjakelua keskeytyksettä ja tarjoamaan sähkön suojaa monimutkaisemmissa ympäristöissä, kuten teollisuuslaitoksissa, sairaaloissa tai tietokeskuksissa.

Oulun ammattikorkeakoulun järjestelmässä on 50 kVA:n dieselgeneraattori Eatonilta, joka integroi kondensaattori-UPS-järjestelmän. Tämä varmistaa katkeamattoman sähkön syötön. Normaalitylanteessa saarekeosan sähkönsyöttö kulkee UPSG:n kautta, ja sen UPS-osa hoitaa sähkönlaatuun liittyviä toimia, kuten transienttien leikkaamista ja loistehon kompensointia. Transiitioita kutsutaan myös "hetkellisiksi häiriöiksi" tai "piikeiksi", ja ne ovat lyhyitä aikavälejä kestäviä sähköjännitteen tai sähkövirran häiriöitä sähköjärjestelmässä. Transientit voivat aiheutua esimerkiksi sähkölaitteiden kytkemisestä tai irrottamisesta, salamoista tai ylijännitteistä johtuvista sähköhäiriöistä sekä moottorin käynnistymisestä tai pysähtymisestä. Transiitioilla voi olla haitallisia vaikutuksia sähkölaitteisiin, koska ne voivat aiheuttaa ylimääräistä stressiä ja vaurioita herkille elektronisille komponenteille. Siksi on tärkeää ottaa käyttöön toimenpiteitä, jotka auttavat suojaamaan laitteita näiltä hetkellisiltä häiriöiltä. UPS-laitteet voivat tarjota suojaa transientteja vastaan, sillä ne toimivat tehokkaina suodattimina ja tarjoavat lisäaikaa sähkönsyötön ylläpitämiseen.

Järjestelmä toimii itsenäisesti, ja kun sähkönsyöttö katkeaa, UPS-osa syöttää tehoa saarekeosaan. Generaattori käynnistyy tarvittaessa ja huolehtii sähkön syötöstä, kunnes tilanne normalisoituu. Kun normaali sähkönsyöttö palautuu, UPS-osa synkronoi itsensä siihen ja osaa pysäyttää generaattorin. Tämä siirtyminen tapahtuu katkeamattomasti saarekeosaan päin.

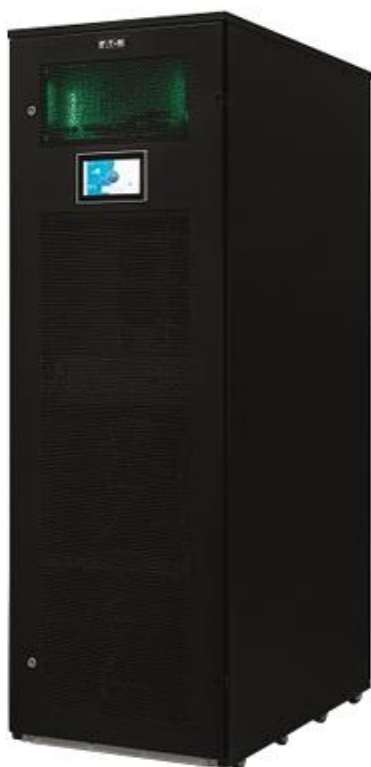
UPSG:ssä on kaksi erillistä ohjaus- ja käyttöliittymää. Generaattorin osalta käytössä on CompAP-ohjain web-käyttöliittymällä. CompAP-ohjain mahdollistaa generaattorin toiminnan valvomisen ja

ohjaamisen. Web-käyttöliittymä tarjoaa käyttäjille mahdollisuuden hallita generaattoria etäältä käyttäen web-selainta. Rajoituksena on, että vain yksi istunto on sallittu kerrallaan, mikä tarkoittaa, että vain yksi käyttäjä voi hallita sitä kerrallaan. Vaihtoehtoisesti on myös PC:lle ladattava LiteEdit-ohjelma. LiteEdit on ohjelmistotyökalu, joka mahdollistaa ComAp-ohjainten täysimittaisen konfiguroinnin ja valvonnan useiden tietoliikenneliitännöiden kautta. Eatonin UPS kondensaattorivarastoa hallitaan erillisellä ohjainlaitteella, joka on käytettävissä web-selaimen kautta.

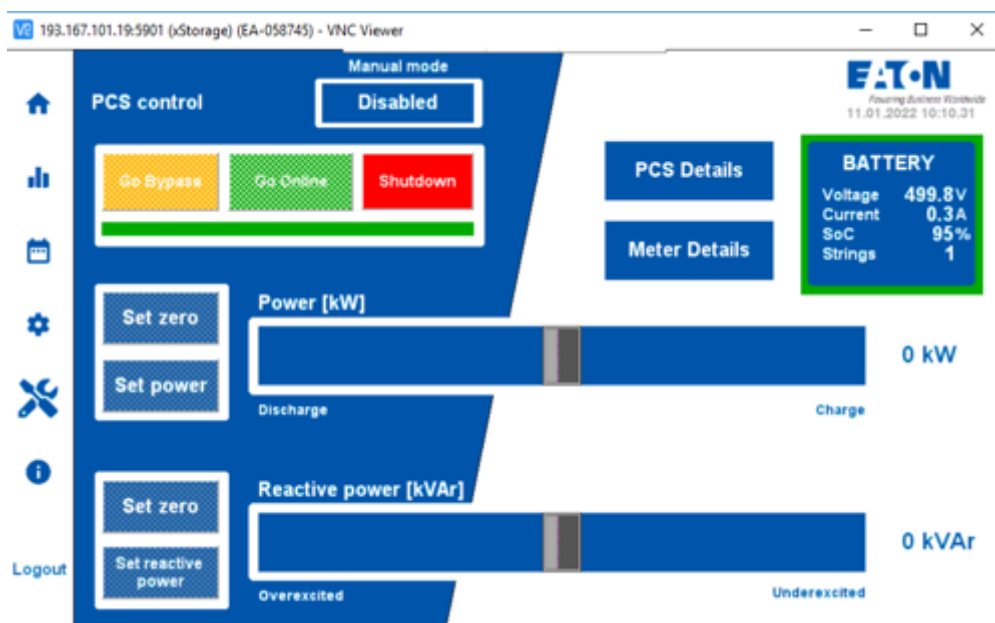
6.2 Akkuvarasto

Akkuvarasto toimii merkittävänä osana älykästä sähköjärjestelmää, ja sen päätehtävänä on toimia keskeytymättömän sähköjakelun (UPS) laitteena. Tämä tarkoittaa, että akkuvarasto on suunniteltu tarjoamaan sähköenergiaa tilanteissa, joissa jakeluverkon normaali sähkönsyöttö ei ole mahdollista tai siinä on lyhyitä katkoksia. Järjestelmä kykenee syöttämään välittömästi sähköä, kun normaali sähkösaanti katkeaa. Akkuvarastona toimii Eaton xStorage Compact -järjestelmä (kuva 7). Sen antoteho on 40 kVA ja akkujen kapasiteetti 50 kWh, josta hyötykäytävissä on noin 70–75 %. Loput 25–30 % järjestelmä varaa omaan käyttöönsä itsensä ylläpitoon ja varalle. Älykäs sähköjärjestelmä mittaa sähkökeskuksen PK2 kokonaistehoa.

Akkuvarasto voi tunnistaa huipputehotilanteet ja tarvittaessa antaa lisätehoa (peak shaving) tasamaan huippukuormitusta ja vähentämään sähköverkon raskautta. Akkuvarasto varaa 25–30 % kapasiteetistaan itsensä ylläpitoon. Tämä varmistaa, että järjestelmä pystyy ylläpitämään tehokasta toimintaansa pitkän aikaa ja on valmis vastaamaan äkillisiin energiantarpeisiin. Akkuvarasto on integroitu aurinkovoimalaan, jolloin se voi varastoida aurinkopaneeleilla tuotettua energiaa. Järjestelmä on tarkoitettu toimivaksi täysin itsenäisesti sille asetettujen toimintojen ja parametrien rajoissa. Akkuvaraston toimintaa voidaan ohjelmoida erilaisiin toimintomodeihin, kuten huipun leikkaamisiin, lisätehon antamiseen, akkujen lataukseen ja purkuun. Näitä toimintomodeja voidaan säätää ajastetuiksi sekvensseiksi tai ohjata manuaalisesti älykkään käyttöliittymän kautta.



KUVA 7. Eaton xStorage Compact (Eaton 2024)



KUVA 8. xStoragen hallintänäkömä, johon on muodostettu yhteys VNC-ohjelman avulla (OAMK 2020)

6.3 Aurinkovoimala

Oulun ammattikorkeakoulun hybridilaboratoriotilojen katolle sekä eteläseinille on sijoitettu aurinkovoimala (kuva 9), joka on osana hybridilaboratorioiden älykästä sähköverkkoa. Aurinkovoimalan ensisijainen käyttötarkoitus on toimia tutkimus- ja opetuskäytössä Oulun ammattikorkeakoululle. Aurinkopaneeleita on yhteensä 100 kappaletta. Niiden laskennallinen huipputeho on noin 35 kWp. Paneelien huipputeho on vakio-olosuhteissa mitattu paneelien teho. Todellinen teho vaihtelee auringon säteilytehon, paneelin asennuskulman ja ilmansuunnan sekä varjostusten ja ulkolämpötilan mukaan.



KUVA 9. Ilmakuva Oamkin hybridilaboratorioiden aurinkopaneeleista. Vasemmalla siipi 5A ja oikealla siipi 5B (OAMK 2020)

Pystyseinille asennetut aurinkopaneelit (kuva 9) ovat tarkoitettu tuotantotoimintaan niiden optimaalisen sijainnin takia. Pystyseinillä on käytössä seuraavat komponentit:

- 10 kW:n SMA Sunny Tripower invertteri
- 24 kpl Longi 440 Wp -aurinkopaneeleja.

Vasemmanpuoleisen siiven 5A (kuva 9) katolla olevia aurinkopaneeleja käytetään pääasiassa suuntatutkimuksiin. Siiven 5A katolla on useita erilaisia aurinkopaneeleja asetettuna erilaisiin kuluihin ja muodostelmiin. Käytössä on myös kahdenlaisia invertterejä. Käytössä olevat aurinkopaneelit ja niiden asennustavat sekä invertterit:

- Pohjois-eteläsuunnassa on 12 kpl Re-com 295-aurinkopaneelia, jotka on liitetty SMA Sunny Tripower 3.0 3 kW:n invertteriin
- Itä-länsisuunnassa 12 kpl Eurener 280 -paneelia, liitetty SMA Sunny Tripower 3.0 3 kW:n invertteriin
- Karusellin muotoinen aurinkopaneelijärjestelmä sisältää 16 kpl Solarwatt 270 -aurinkopaneelia, joista jokainen on kytketty Hoymiles MI-1200 mikroinvertteriin (yhteensä neljä mikroinvertteriä, joista jokaiseen voi liittää neljä aurinkopaneelia).

Oikeanpuoleisen siiven 5B (kuva 9) katolle asennettuja aurinkopaneeleja käytetään pääasiassa rivivälitutkimuksiin. Siiven 5B katolla olevat aurinkopaneelit ja käytössä oleva invertteri:

- 36 kpl Longi 370 -aurinkopaneelia, joiden kallistusta voidaan säätää
- Liitetty 15 kW:n SMA Sunny Tripower invertteriin.



KUVA 10. SMA Sunny Tripower invertterejä. Vasemmalta oikealle 15 kW, 10 kW, 3kW ja 3kW (OAMK 2020)

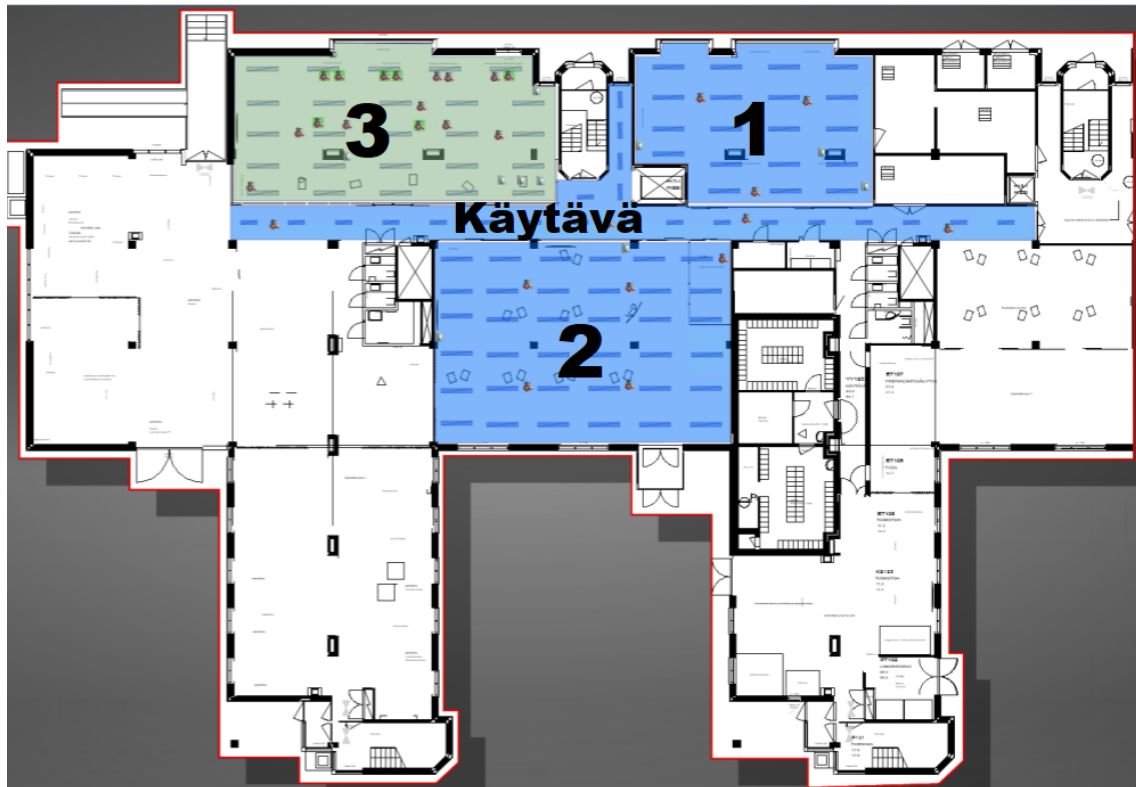
6.4 Älyvalojärjestelmä

Osassa laboratoriotiloja on käytössä älykäs Encelium-valaisujärjestelmä. Järjestelmä auttaa hillitsemään sähkönkulutusta ja parantaa tilojen käyttömukavuutta. Järjestelmää myös hyödynnetään opetuskäytössä. Väyläratkaisuna käytössä on DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Järjestelmää voidaan hallita Encelium Polaris 3D-ohjelmalla. Tilojen valaistus on jaoteltu neljään eri ryhmään (kuva 11).

Ryhmissä on yhteensä 102 kpl valaisimia, jotka sijaitsevat seuraavasti:

- Käytävä 22 kpl valaisimia
- Tila 1 19 kpl valaisimia
- Tila 2 36 kpl valaisimia
- Tila 3 25 kpl valaisimia

Kaikkia valaisinryhmiä ohjataan liiketunnistimilla. Tilojen 1, 2 ja 3 (kuva 11) valaisinryhmiä on mahdollista ohjata myös ohjauspainikkeilla. Käytävän valaisinryhmää voidaan ohjata myös kiinteistöautomaation kautta.

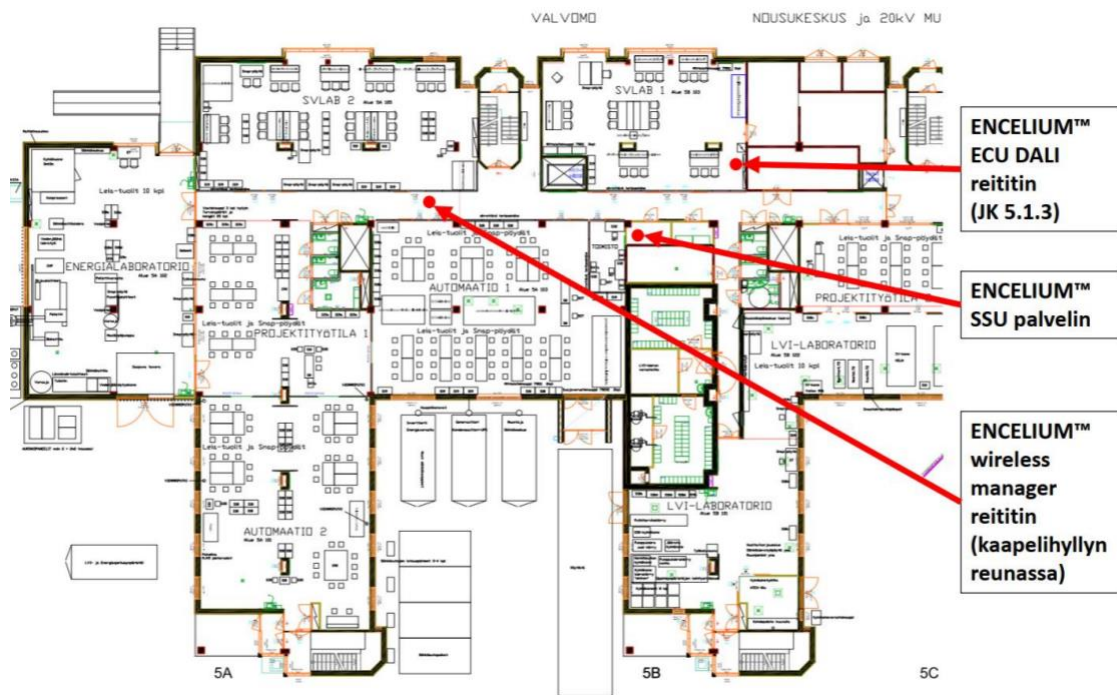


KUVA 11. Tilojen valaistus on jaoteltu neljään ryhmään (Greenled 2020)

Järjestelmään kuuluvat muut laitteet ja ohjelmat

Valaisimien lisäksi järjestelmään kuuluu muita laitteita ja kiinteistöautomaatitulo. Joidenkin laitteiden sijainnit näkyvät kuvassa 12. Järjestelmään kuuluvat muut laitteet:

- ENCELIUM SSU palvelin
- ECU DALI reititin
- Wireless manager reititin
- 29 kpl liiketunnistimia
- 9 kpl ohjauspainikkeita



KUVA 12. Järjestelmään kuuluvien laitteiden sijainnit (Greenled 2020)

ECU

ECU (Energy Control Unit) on nykyaikainen ohjain, joka tarjoaa yksilöllisen valaistuksen hallinnan DALI-tekniikalla. Se mahdollistaa päivänvaloon ja läsnäoloon perustuvan valaistuksen hallinnan, älykkään aikataulutuksen, tehtävään liittyvän valaistuksen, ja se pystyy jakamaan kuormaa muuttuvasti. ECU tarjoaa myös reaaliaikaista valvontaa, energiankulutuksen analysointia ja esimerkiksi lamppuvikojen ilmaisun. Ohjain on helppokäyttöinen ja se tukee etäkäyttöä web-liittymän kautta. Lisäksi se integroituu rakennusautomaatiojärjestelmiin. (Encelium 2024.)

DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on valaistusjärjestelmävalmistajien yhteistyössä kehittämä digitaalinen väyläratkaisu valaistuksenohjaukseen. Sen pääasiallinen tarkoitus on tarjota yksi yhteinen järjestelmästandardi valaistuksen ohjaukselle. DALI mahdollistaa valaistuksen hallinnan ja mukauttamisen yhteensopivilla laitteilla. Vaikka DALI on valmistajista riippumaton, se perustuu useisiin jatkuvasti kehitettyihin standardeihin. Standardit määrittelevät DALI-liitäntälaitteet ja ohjainlaitteet sekä väylälaitteiden ominaisuudet ja induktiivisten kuormien yhteensopivuudet, mutta

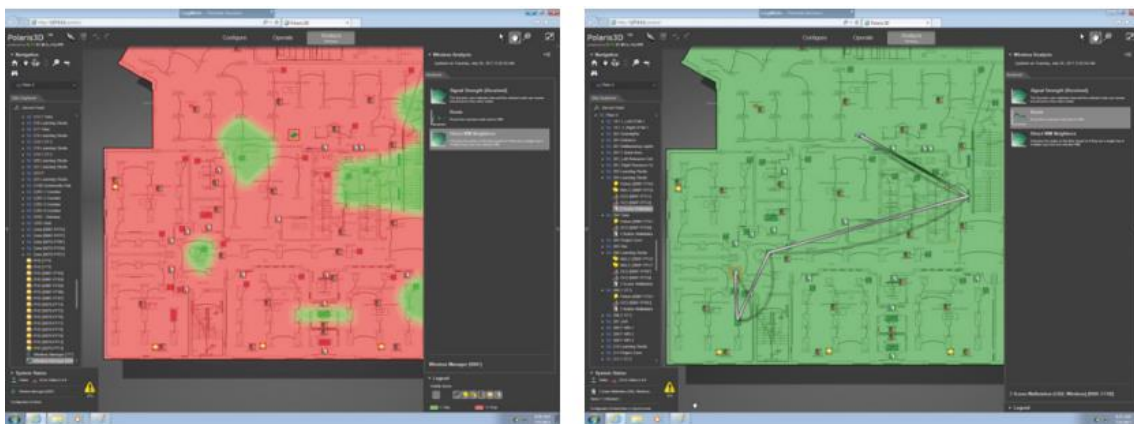
eivät määrittele tunnistimia ja ohjauslaitteita. DALI tarjoaa useita etuja, kuten erinomainen häiriönsietokyky analogiseen ohjaukseen verrattuna, sekä edulliset ja helppokäyttöiset liitäntälaitteet. Jokaisella laitteella on oma yksilöllinen osoite, mahdollistaen erillisen ohjauksen samassa väyläryhmässä. Väylä kestää tehonsyötön samassa kaapelissa ilman päätevastuksia. (Kuusinen 2017, 11.)

ENCELIUM SSU

ENCELIUM SSU (System Support Unit) on olennainen osa ENCELIUM-järjestelmää toimien tietokantapalvelimena. Se tallentaa ja hallinnoi kaikki järjestelmän asetukset, parametrit ja historiatiedot. SSU mahdollistaa monipuoliset asetuspisteet ja etäkäytön, sekä isännöi web-liittymää. Reitittimet kytketään palvelimeen IP-verkon kautta. Jokainen ENCELIUM-järjestelmä vaatii vähintään yhden SSU-yksikön varmistaakseen sen toiminnan. SSU-yksikkö sisältää Polaris3D-ohjelmiston ja tietokannan. (Encelium 2024.)

POLARIS-3D

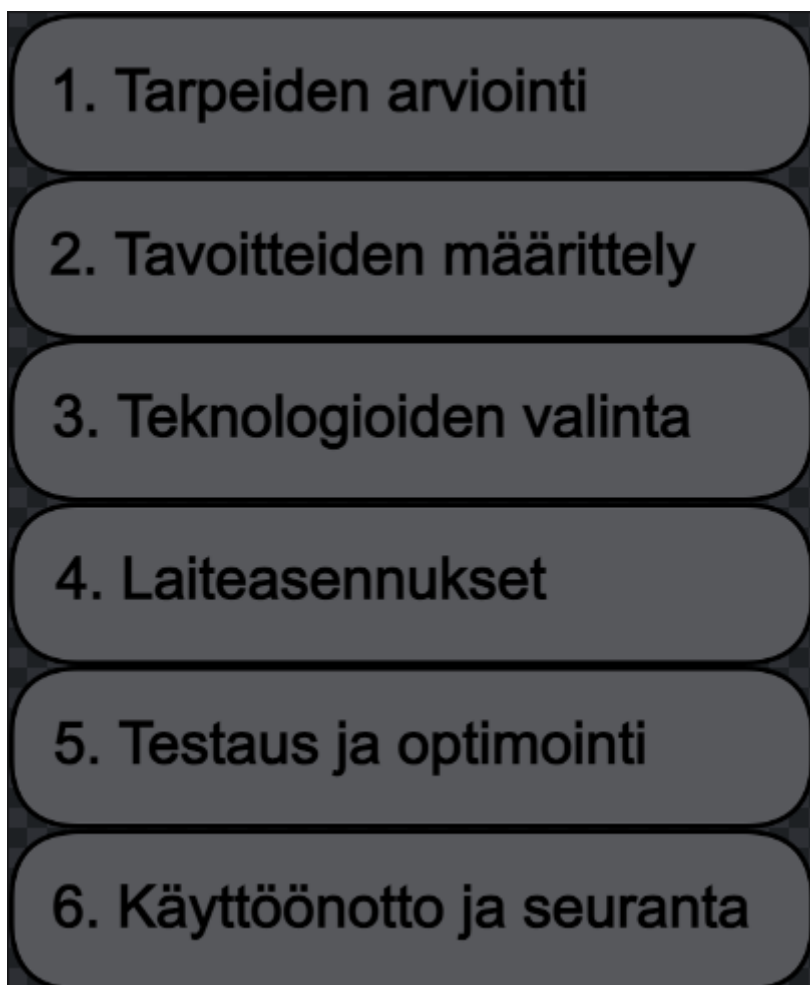
Encelium Polaris-3D on valaistuksen hallintaohjelmisto, joka tarjoaa monipuolisia ominaisuuksia valaistusjärjestelmien hallintaan ja optimointiin. Ohjelmiston avulla käyttäjä voi ohjata ja aikatauluttaa valaistusta eri alueilla, hyödyntää liiketunnistusta ja päivänvaloa energian säästämiseksi, seurata tarkasti energiankulutusta ja analysoida järjestelmän suorituskykyä. Polaris 3D-ohjelmisto mahdollistaa etähallinnan ja tarjoaa kattavat raportointityökalut. (Greenled 2017.)



KUVA 13. Polaris 3D-ohjelman näkymä (Greenled 2017)

7 ÄLYKKÄÄN SÄHKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

Älykkään sähköjärjestelmän käyttöönotto on monivaiheinen prosessi, joka vaatii tarkkaa suunnittelua. Älykkään sähköjärjestelmän käyttöönotto vaatii tiivistä yhteistyötä eri sidosryhmien, kuten suunnittelijoiden, energiayhtiöiden, teknologiatoimittajien ja paikallisten viranomaisten välillä. Tarkka suunnittelu ja systemaattinen lähestymistapa ovat avainasemassa onnistuneen käyttöönoton varmistamiseksi. Seuraavassa listassa kuvataan suuntaa antavasti älysähköjärjestelmän käyttöönottoa vaiheittain ja mitä vaiheet voivat sisältää ja mitä niissä on hyvä huomioida. Kuvassa 14 on esitetty vaiheet tiivistetysti pääpiirteittäin. Käyttöönottoon liittyvät vaiheet kuitenkin vaihtelevat projektikohtaisesti.



KUVA 14. Älykkään sähköjärjestelmän käyttöönoton vaiheet pääpiirteittäin

1. Tarpeiden arviointi

Alueen energiantarpeen kartoitus ja sähköinfrastruktuurin analysointi ovat keskeisiä vaiheita älykkään sähköjärjestelmän suunnittelussa. Näiden vaiheiden tarkoituksena on saada kattava käsitys alueen nykyisestä energiantarpeesta, käytetyistä voimajärjestelmistä ja sähköverkon tilasta.

Energiantarpeen kartoitus

- Tarkastellaan alueen nykyistä energiankulutusta eri ajanjaksoina, kuten päivittäin, viikoittain ja vuosittain.
- Identifioidaan suurimmat energiankulutuksen piikit ja mahdolliset trendit.
- Analysoidaan eri käyttäjäryhmien energiankulutusta, kuten teollisuuden, asumisen ja kaupallisten toimintojen osuudet.

Sähköinfrastruktuurin analysointi

- Kerätään tietoa olemassa olevista voimajärjestelmistä, sähköverkon komponenteista ja niiden ikä- ja käyttöhistoriasta.
- Arvioidaan sähköverkon kapasiteettia ja tunnistetaan mahdolliset pullonkaulat, jotka voivat rajoittaa energian jakelua tai aiheuttaa häiriöitä.
- Tutkitaan nykyisten mittaus- ja valvontajärjestelmien toimintaa ja kattavuutta.

Energiatehokkuuden arviointi

- Arvioidaan nykyisen sähköinfrastruktuurin energiatehokkuutta ja mahdollisia hävikkejä.
- Tarkastellaan sähköverkon tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, kuten siirtohäviöitä ja jännitetasoja.

Vianhallinnan tarpeiden määrittely

- Analysoidaan nykyisen sähköverkon vianhallintajärjestelmiä ja määritellään tarpeet parannuksille.
- Tunnistetaan kriittiset alueet, joilla vikojen hallinta voi olla haastavaa tai hidasta.

Uusiutuvan energian integraation mahdollisuudet

- Arvioidaan alueen potentiaalia uusiutuvan energian tuotantoon, kuten aurinko- ja tuulivoima.
- Tutkitaan mahdollisuudet integroida uusiutuvaa energiaa sähköverkkoon ja selvitetään tarvittavat infrastruktuurimuutokset.

2. Tavoitteiden määrittely

Tavoitteiden määrittely on kriittinen vaihe älykkään sähköjärjestelmän suunnittelussa. Tavoitteet asetetaan ohjaamaan suunnitteluprosessia ja varmistamaan, että lopputulos vastaa alueen tarpeita sekä yhteiskunnallisia ja ympäristöllisiä vaatimuksia.

Energiatehokkuus

- Asetetaan tavoitteet energiatehokkuudelle, mikä voi kattaa esimerkiksi sähköverkon tehokkaamman käytön, vähentyneet siirtohäviöt ja älykkään energianhallinnan.

Vianhallinta

- Määritellään tavoitteet vianhallinnalle, kuten vikojen nopea havaitseminen, automaattinen viankorjaus ja sähköverkon jatkuvuuden varmistaminen.

Uusiutuvan energian integraatio

- Asetetaan tavoitteet uusiutuvan energian integraatiolle, kuten aurinko- ja tuulivoiman tehokas liittäminen sähköverkkoon.

Kestävyys

- Määritellään kestävyteen liittyvät tavoitteet, kuten ympäristöystävällisyys, resurssitehokkuus ja pitkäikäiset ratkaisut.

Älykkyys ja automaatio

- Asetetaan tavoitteet älykkäiden ja automaattisten järjestelmien käyttöönotolle, jotta sähköverkko voi reagoida dynaamisesti muuttuviin olosuhteisiin.

Asiakastyytyväisyys

- Tavoitellaan asiakastyytyvää esimerkiksi tarjoamalla läpinäkyvämpiä sähköhinnoittelumalleja, vähentämällä sähkökatkojen kestoja tai tarjoamalla parempaa palvelua.

Innovatiiviset teknologiat

- Asetetaan tavoitteet innovatiivisten teknologioiden käytölle, kuten tekoälyn, koneoppimisen ja IoT-ratkaisujen hyödyntämiselle sähköverkon hallinnassa.

Kustannustehokkuus

- Määritellään tavoitteet kustannustehokkuudelle, jotta investoinnit älykkääseen sähköjärjestelmään ovat perusteltuja ja tuottavat taloudellisia etuja pitkällä aikavälillä.

Joustavuus ja skaalautuvuus

- Tavoitellaan järjestelmän joustavuutta ja skaalautuvuutta, jotta se voi sopeutua muuttuviin tarpeisiin ja laajentua tulevaisuudessa.

Turvallisuus

- Määritellään turvallisuustavoitteet, kuten tietoturvallisuus sekä suojaus mahdollisia hyökkäyksiä vastaan sekä varmistetaan henkilöstön turvallinen toiminta.

3. Tarvittavien teknologioiden valinta

Tässä vaiheessa on päätettävä, mitä laitteita, järjestelmiä ja teknologioita käytetään saavuttamaan asetetut tavoitteet. Teknologiavalintojen tulee tukea asetettuja tavoitteita ja niiden on oltava yhteensopivia keskenään varmistaakseen järjestelmän kokonaisvaltaisen ja tehokkaan toiminnan.

Älykkäät mittauslaitteet

- Valitaan älykkäät sähkömittarit, jotka mahdollistavat tarkemman ja reaaliaikaisen sähkönkulutuksen seurannan.
- Harkitaan etäluettavuutta ja kaksisuuntaista viestintää, jotta mittarit voivat myös vastaanottaa ohjeita sähköverkolta.

Automaatiojärjestelmät

- Valitaan automaatiojärjestelmiä, jotka voivat hallita sähköverkkoa automaattisesti.
- Esimerkkinä viankorjausjärjestelmät, jotka reagoivat välittömästi sähkökatkoihin, ja älykkäät katkaisijat, jotka voivat ohjata sähkövirtaa tarvittaessa.

Tietoliikenneinfrastruktuuri

- Valitaan tietoliikenneinfrastruktuuri, joka tukee nopeaa ja luotettavaa tiedonsiirtoa sähköverkon eri osien välillä.
- Langattomat sekä langalliset tekniikat voivat olla osa tietoliikenneinfrastruktuuri.

Anturit ja IoT-laitteet

- Käytetään antureita ja Internet of Things (IoT) -laitteita, jotka keräävät tietoa sähköverkon tilasta ja ympäristötekijöistä.
- Näitä tietoja voidaan käyttää älykkään päätöksenteon ja vianhallinnan tueksi.

Energiavarastointijärjestelmät

- Otetaan käyttöön energiavarastointijärjestelmiä, kuten akkuja, jotka voivat varastoida ylimääräistä energiaa ja hyödyntää sitä tarvittaessa.

Älykkäät ohjausjärjestelmät

- Valitaan älykkäät ohjausjärjestelmät, jotka voivat optimoida sähkönjakelua ja reagoida dynaamisesti muuttuviin olosuhteisiin.
- Tämä voi sisältää algoritmeja ja esimerkiksi tekoälypohjaisia järjestelmiä.

Turvallisuusjärjestelmät

- Otetaan käyttöön tietoturvateknologiat ja -protokollat, jotka suojaavat sähköjärjestelmän mahdollisilta kyberuhkilta.

Käyttöliittymät ja visualisointijärjestelmät

- Valitaan käyttöliittymät ja visualisointijärjestelmät, jotka mahdollistavat helpon sähköverkon tilan seurannan ja hallinnan.

Liitettävyyden ja standardien mukaisuus

- Varmistetaan, että valitut teknologiat noudattavat standardeja, jotta integrointi muiden järjestelmien kanssa on sujuvaa.

Skaalautuvuus ja tulevaisuuden huomioiminen

- Valitaan teknologioita, jotka ovat skaalautuvia ja mahdollistavat tulevaisuudessa laajennukset ja päivittämisen.

4. Laitteiden sekä tietoliikenne- ja ohjausjärjestelmien asennukset

Asennetaan älykkäät mittauslaitteet, anturit ja muut tarvittavat laitteistot. Rakennetaan tietoliikenneverkko reaaliaikaisen tiedonsiirron mahdollistamiseksi. Implementoidaan älykkäät ohjausjärjestelmät verkon automatisointiin ja optimointiin. Laitteasennusten tarkkuus ja laatu ovat ratkaisevia tekijöitä varmistettaessa, että sähköjärjestelmän komponentit toimivat yhdessä saumattomasti ja täyttävät suunnitellut tavoitteet.

Älykkäät mittauslaitteet

- Suoritetaan älykkäiden mittauslaitteiden asennukset.
- Varmistetaan, että mittarit ovat oikein kalibroituja ja liitetty tietoliikenneinfrastruktuuriin tiedonsiirtoa varten.
- Asennetaan antureita eri kohtiin sähköverkkoa, kuten voimalaitoksiin, jakelulinjoille ja sähköasemille suunnitelmien mukaisesti.
- Sijoitetaan anturit paikkoihin, joissa ne voivat tehokkaasti havaita ja kerätä tietoa sähköverkon tilasta ja toiminnasta.

Energiavarastointijärjestelmät

- Asennetaan energiavarastointijärjestelmiä, kuten akustoja. Akut voidaan integroida esimerkiksi aurinkopaneeli- tai tuuliturbiinijärjestelmiin.

Automatisoidut komponentit

- Asennetaan automatisoituja komponentteja, kuten älykkäitä katkaisijoita ja muuntajia, jotka voivat reagoida automaattisesti sähköverkon muutoksiin.
- Huolehditaan oikeasta konfiguraatiosta ja integraatiosta mahdollisesti jo olemassa olevaan infrastruktuuriin.

Tietoliikenneverkon rakentaminen

- Asennetaan tietoliikenneinfrastruktuuri, joka voi olla langallinen tai langaton verkko mahdollistamaan reaaliaikaisen tiedonsiirron älykkäiden laitteiden välillä.
- Tarkistetaan signaalien luotettavuus ja kattavuus sähköverkon eri osissa.

Älykkäät ohjausjärjestelmät

- Implementoidaan älykkäät ohjausjärjestelmät, jotka voivat hallita sähköverkon komponentteja ja tehdä päätöksiä automaattisesti.
- Ohjelmoidaan ohjausjärjestelmät optimoimaan energianjakelua, huomioimaan vianhallintatoimenpiteet ja vastaamaan muuttuviin kulutustarpeisiin.

Liitettävyys ja protokollat

- Asennetaan liitettävyyteen liittyvät teknologiat ja protokollat varmistamaan älykkäiden laitteiden sujuva kommunikointi keskenään.
- Varmistetaan, että kaikki laitteet noudattavat yhteisiä standardeja, jotta ne voivat toimia yhdessä.

Käyttöliittymät ja visualisointijärjestelmät

- Asennetaan käyttöliittymät ja visualisointijärjestelmät, jotka mahdollistavat käyttäjille sähköverkon tilan seurannan ja hallinnan.
- Tarjotaan käyttäjille mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen näkymä järjestelmän toiminnasta.

Turvallisuusjärjestelmät

- Asennetaan turvallisuusjärjestelmiä, kuten palomuurit ja salaukset, tietoturvan taakamiseksi älykkään sähköjärjestelmän osalta.
- Seurataan ja päivitetään säännöllisesti turvallisuusprotokollia vastaamaan mahdollisiin uhkiin.

5. Testaus ja optimointi

Testaus ja optimointi on keskeinen prosessi varmistaessa, että älykäs sähköjärjestelmä toimii suunnitellusti ja täyttää asetetut tavoitteet. Tässä vaiheessa tulee suorittaa kattava testaus eri osaluilla ja optimoida järjestelmää. Käyttöönoton alussa tapahtuva vaiheittainen käyttöönotto ja pilottitestaus antavat mahdollisuuden tarkastella järjestelmän toimivuutta käytännössä ja tehdä tarvittavia säätöjä ennen laajamittaista käyttöönottoa.

Toiminnallinen testaus

- Tarkistetaan, että kaikki älykkäät laitteet, mittauslaitteet ja ohjausjärjestelmät toimivat oikein ja tekevät niille määritellyt tehtävät.

Yhteensopivuustestaus

- Varmistetaan, että kaikki laitteet ja järjestelmät ovat yhteensopivia keskenään ja noudattaen sovittuja protokollia ja standardeja.

Vianhallintatestaus

- Simuloidaan erilaisia vikatilanteita ja varmistetaan, että järjestelmä reagoi oikein, tunnistaa vikapaikat ja ottaa käyttöön automaattisen viankorjauksen.

Kestävyydestestaus

- Suoritetaan pitkäkestoisia testejä, joilla varmistetaan järjestelmän luotettavuus ja suorituskkyky pitkällä aikavälillä.

Tehokkuuden optimointi

- Säädelään älykkäiden ohjausjärjestelmien algoritmeja ja parametreja optimoidakseen energiatehokkuutta ja sähkönjakelua.

Tietoliikenteen optimointi

- Optimoidaan tietoliikenneinfrastruktuuri ja varmistetaan, että reaaliaikainen tiedonsiirto toimii oikein.

Energiavarastojärjestelmän optimointi:

- Säädelään energiavarastojärjestelmän toimintaa ottaen huomioon energian kysyntäpiikit ja -laskut sekä uusiutuvien energialähteiden vaihtelut.

Ohjelmistopäivitykset

- Päivitetään ohjelmistot ja firmware säännöllisesti, jolla varmistetaan järjestelmän turvallisuus, suorituskyky ja yhteensopivuus.

Asiakaspalautteiden huomioiminen

- Otetaan huomioon asiakaspalautteet ja tarvittaessa tehdään muutoksia järjestelmään, joilla parannetaan käyttökokemusta sekä varmistetaan, että järjestelmä vastaa asiakkaiden tarpeita.

6. Käyttöönotto ja seuranta

Käyttöönotto ja seuranta ovat jatkuvia prosesseja, jotka muodostavat elintärkeän osan älykkään sähköjärjestelmän elinkaaresta. Järjestelmän säännöllinen arviointi ja sen päivittäminen takaa sen optimaalisen toiminnan ja kestävyuden.

Järjestelmän suorituskyvyn seuranta

- Käyttöönoton jälkeen jatketaan järjestelmän suorituskyvyn seurantaan varmistaen, että se täyttää asetetut tavoitteet ja halutulla tavalla.

Hälytykset ja vianhallinta

- Konfiguroidaan hälytysjärjestelmät ja vianhallintaohjelmistot tunnistamaan ja reagoimaan mahdollisiin poikkeamiin tai ongelmiin.

Käyttäjien koulutus ja opastaminen

- Koulutetaan ja opastetaan henkilöt, jotka vastaavat järjestelmän käytöstä.

7. Dokumentointi

Dokumentaatio on tärkeä osa älykkään sähköjärjestelmän suunnittelua ja toteutusta. Dokumentit muodostavat selkeän kuvauksen järjestelmän rakenteesta, toiminnasta ja ylläpidosta. Jokainen dokumentaatioon liittyvä osa-alue täydentää toisiaan, mikä varmistaa, että kaikki sidosryhmät, kuten suunnittelijat, ylläpitohenkilökunta ja käyttäjät voivat toimia älykkään sähköjärjestelmän kanssa turvallisesti. Ajantasainen ja hyvin dokumentoitu järjestelmä edistää suunnittelua ja varmistaa järjestelmän ylläpidettävyyden. Dokumentteja voivat olla esimerkiksi arkkitehtuuridokumentit, tekniset määritykset, asennusohjeet ja koulutusmateriaalit. On myös mahdollisesti paljon muita tärkeitä dokumentteja riippuen projektista ja miten se on toteutettu.

8 POHDINTAA

Tulevaisuuden näkymät älykkäille sähköjärjestelmille ja verkoille ovat lupaavia, kun pyritään rakentamaan kestävämpää ja älykkäämpää energiainfrastruktuuria. Tärkeä painopistealue on energiatehokkuus ja vähähiilisyys, joita edistävät älykkäät ohjausjärjestelmät ja optimointialgoritmit. Teknologian edistymisen myötä älykkäät mittauslaitteet ja käyttäjäystävälliset sovellukset mahdollistavat kuluttajille reaaliaikaisen tiedon energiankulutuksesta, parantaen kuluttajien tietoisuutta ja kannustaen kestävämpään energiakäyttöön. Paikallinen energiantuotanto saa tukea älykkäistä sähköjärjestelmistä, jotka edistävät hajautettua energiantuotantoa ja vähentävät riippuvuutta perinteisistä voimalaitoksista. Erityisesti maaseudun ja muiden harvaan asuttujen alueiden sähköverkot hyötyvät älykkästä kehityksestä. Tulevaisuuden älykkäissä sähköjärjestelmissä korostuu myös energian varastoinnin merkitys, kun pyritään tasapainottamaan vaihtelevaa uusiutuvan energian tuotantoa. Älykkäät kaupungit ovat osa tulevaisuuden visiota, missä älykkäät sähköjärjestelmät integroituvat saumattomasti muihin älykkäisiin ratkaisuihin, kuten liikennejärjestelmiin, rakennuksiin ja tietoliikenteeseen. Tällainen integraatio pyrkii luomaan kestäviä, energiatehokkaita ja käyttäjäystävällisiä kaupunkiympäristöjä.

Teknologiset innovaatiot, kuten kvanttietokoneiden potentiaalinen käyttö ja tekoälyn edistyminen, vaikuttavat positiivisesti älykkäiden sähköjärjestelmien kehitykseen. Nämä innovaatiot voivat merkittävästi parantaa sähköjärjestelmien suorituskykyä ja luoda uusia mahdollisuuksia, kuten älykkäämpiä energianhallintaratkaisuja, tarkempaa ennakoivaa vianhallintaa ja älykkäitä järjestelmiä, jotka voivat oppia ja sopeutua muuttuviin olosuhteisiin nykyistä paremmin. Kansainvälinen yhteistyö ja yhteenliittyminen globaaleilla energiaverkoilla voivat olla keskeisiä tekijöitä, erityisesti siirryttäessä kohti suurempaa uusiutuvan energian käyttöä. Tulevaisuudessa älykkäät sähköjärjestelmät tulevat olemaan avainasemassa kestävä ja vihreä energiainfrastruktuurin rakentamisessa ja käytössä, sekä ne voivat vastata kasvaviin energiantuotannon, jakelun ja kulutuksen haasteisiin.

LÄHTEET

1815–2012 2012. IEEE Standard for Electric Power Systems Communications-Distributed Network Protocol (DNP3). Hakupäivä 19.1.2024. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?pu-number=6327576>

ABB 2024. Innovative ABB solutions for microgrids. Hakupäivä 7.2.2024. <https://new.abb.com/power-generation/in-control/02-2014/innovative-abb-solutions-for-microgrids>.

Blackridge Research and Consulting 2022. What is a smart grid what are the major smart grid technologies. Hakupäivä 10.1.2024. <https://www.blackridgeresearch.com/blog/what-is-a-smart-grid-what-are-the-major-smart-grid-technologies>.

CGI 2024. What are distributed energy resource management systems (DERMS). Hakupäivä 19.12.2024. <https://www.cgi.com/us/en-us/article/derms-utilities>.

Dnp 2024. Overview Of DNP3 Protocol. Hakupäivä 7.2.2024. <https://www.dnp.org/About/Overview-of-DNP3-Protocol>.

Eaton 2024. xStorage Compact. Hakupäivä 8.2.2024. <https://www.eaton.com/fi/fi-fi/catalog/energy-storage/xstorage-compact.html>.

Electrical Technology 2024. What is Distributed Control System (DCS). Hakupäivä 18.1.2024. <https://www.electricaltechnology.org/2016/08/distributed-control-system-dcs.html>.

Encelium 2024. DALI ECU. Hakupäivä 8.2.2024. <https://encelium.com/products/eurasia/ecu-dali/>.

Encelium 2024. SSU System Support Unit. Hakupäivä 10.1.2024. <https://encelium.com/products/north-america/ssu/>.

European Environment Agency 2023. New registrations of electric vehicles in Europe. Hakupäivä 5.2.2024. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>.

Fingrid 2023. Suomen sähköjärjestelmä. Hakupäivä 3.11.2023. <https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>.

Greenled 2017. Light is the solution ENCELIUM. Hakupäivä 8.2.2024. <https://greenled.fi/wp-content/uploads/2017/12/encelium-esite-1v0.pdf>.

Greenled 2020. OAMK Encelium järjestelmän esittely. Sisäinen lähde.

GridX 2024. Energy Managment System. Hakupäivä 9.1.2024. <https://www.gridx.ai/knowledge/what-is-an-energy-management-system>.

International Electrotechnical Commission 2024. Smart grids. Hakupäivä 8.1.2024. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>.

International Electrotechnical Commission 2024. Who we are. Hakupäivä 18.1.2024. <https://www.iec.ch/who-we-are>.

Järventausta, Pertti, Verho, Pekka, Partanen, Jarmo & Kronman, Dick 2011. Finnish Smat Grids – A Migration From Version One To The Next Generation. Hakupäivä 15.11.2023. http://www.cired.net/publications/cired2011/part1/papers/CIRED2011_1000_final.pdf.

Kuusinen, Henri 2017. Osram Encelium – Valaistuksenohjausjärjestelmä ja rakennusautomaatio-integraatio. Tampereen ammattikorkeakoulu. Talotekniikan insinööri tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 10.1.2024. <https://www.theseus.fi/handle/10024/127899>.

Loshin, Peter 2024. SCADA (supervisory control and data acquisition). Hakupäivä 25.1.2024.

Lähienergia 2023. Suomen sähköverkko on hyvin valmistautunut energiamurroksen muutosvaatimukseen. Hakupäivä 1.11.2023. <https://lahienergia.org/suomen-sahkoverkko-on-hyvin-valmistautunut-energiaturroksen-muutosvaatimukseen/>.

Microgridknowledge 2023. What is a microgrid? Hakupäivä 5.2.2024. <https://www.microgridknowledge.com/about-microgrids/article/11429017/what-is-a-microgrid>.

Modbus 2024. Nopea tiedonsiirto automaatio- ja kentälaitteiden välillä: MODBUS. Hakupäivä 8.2.2024. <https://www.wago.com/fi/modbus>.

Motiva 2023. Sähkön hankinta ja kulutus. Hakupäivä 1.11.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ ja_kulutus.

OAMK 2020. Älysähköjärjestelmä. Sisäinen lähde.

OPC Foundation 2024. What is OPC? Hakupäivä 24.1.2024. <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>.

Prettico, G., De Paola, A., Thomas, D., Andreadou, N., Papaioannou, I. & Kotsakis, E. 2022. Clean Energy Technology Observatory, Smart grids in the European union: status report on technology development, trends, value chains and markets. European Commission, Joint Research Centre. Publications Office of the European Union. Hakupäivä 8.2.2024. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/276606>.

Scada International 2024. What is SCADA? Hakupäivä 7.2.2024. <https://scada-international.com/what-is-scada/>.

Smartgrid.gov 2024. What is the Smart Grid? Hakupäivä 29.1.2024. https://www.smart-grid.gov/the_smart_grid/.

Statista 2023. Per capita electricity consumption in Europe from 2000 to 2022. Hakupäivä 1.11.2023. <https://www.statista.com/statistics/1262471/per-capita-electricity-consumption-europe/>.

Suomen työ- ja elinkeinoministeriö 2017. Seuraavan sukupolven älykkäiden sähkömittareiden vähimmäistoiminnallisuudet. Hakupäivä 1.11.2023. <https://tem.fi/documents/1410877/3481825/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017/6a2df7e6-a963-40c0-b4d8-d2533fbca488/AMR+2.0+loppuraportti+15.12.2017.pdf>.

Sympower 2024. What is a Virtual Power Plant? VPP Explained. hakupäivä 7.2.2024. <https://sympower.net/what-is-a-virtual-power-plant-vpp-explained/>.

T. Logenthiran, R.T. Naayagi, W. L. Woo, V.T. Phan & K. Abidi 2015. Intelligent Control System for Microgrids Using Multi-Agent System. Hakupäivä 29.1.2024. https://www.researchgate.net/publication/278984079_Intelligent_Control_System_for_Microgrids_Using_Multi-Agent_System.

Vipin, Raj, Rajendran, Pillai, Rohit, Rajasekharan, Nair, Valsala, Veena, Raj, Muhammed, Is-kandar, Petra, Satheesh, Kumar, Krishnan, Nair & Sathyajith, Mathew 2023. Exploring the Potential of Microgrids in the Effective Utilisation of Renewable Energy: A Comprehensive Analysis of Evolving Themes and Future Priorities Using Main Path Analysis. Hakupäivä 22.1.2024. <https://www.mdpi.com/2411-9660/7/3/58>.

Yoldaş, Yelzi, Önen, Ahmet, Muyeen, S.M., V. Vasilakos, Athanasios & Alan, Irfan 2017. Enhancing Smart Grid with Microgrids: Challenges and Opportunities. Hakupäivä 26.1.2024. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.064>.