



Tekoälyn mahdollisuudet sähkön kysyntäjoustossa

Timo Kivelä

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)

Kivelä Timo

Tekoälyn mahdollisuudet sähkön kysyntäjoustossa.

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 34 sivua.

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Tekoäly on ratkaisevan tärkeää älykkäiden sähköverkkojen kehittämisessä, sillä se mahdollistaa tarkat kysynnän ja tarjonnan ennusteet, laitteiden ylläpidon ja uudet liiketoimintamallit. Tekoäly parantaa tehokkuutta, vähentää virheellistä tuotantoa ja ympäristövaikutuksia. Se ennustaa ja korjaa vikoja, havaitsee poikkeamia ja optimoi huoltoa, mikä takaa turvallisen energiahuollon ja työturvallisuuden. Tekoälyä on tutkittu jatkuvasti, ja se on tärkeä työkalu monilla teollisuudenaloilla parantaa tehokkuutta ja automaatiota.

Etämittausjärjestelmät parantavat prosessien tehokkuutta ja vähentävät huoltoa, ja niitä käytetään laajalti teollisuudessa ja sähköntuotannossa. Älykkäät mittarit ja älykkäät ohjausjärjestelmät mahdollistavat joustavan energiankäytön erityisesti kotitalouksissa, joissa on sähkölämmitys. Hajautettu energiantuotanto ja älykkäät sähköverkot optimoivat lämmityksen ja kulutuksen, mikä parantaa energiatehokkuutta ja kestävyyttä.

Älykkäät kunnossapitojärjestelmät hyödyntävät IoT- ja pilvipohjaisia alustoja tietojen keräämiseksi tarkkaa ennustamista ja aikataulutusta varten. Digitalisaatio ja automaatio mahdollistavat reaaliaikaisen seurannan ja ennakoivat toimenpiteet laitetietojen perusteella. Kysyntäjoustoon integroitu ennakoiva kunnossapito lisää tehokkuutta, vähentää kustannuksia ja seisokkiaikoja sekä edistää ympäristöystävällisiä käytäntöjä. Kysyntäjousto mukauttaa sähkönkäyttöä markkinoiden tarpeisiin, kun taas kulutusjousto muuttaa kulutusta hinnan perusteella.

Tekoäly voi ennustaa energiankulutusta/tuotantoa, mikä mahdollistaa paremman päätöksenteon ja aikataulutuksen, vähentää kustannuksia ja maksimoi tehokkuutta. Tekoälyyn perustuvat järjestelmät voivat säätää ilmastointi- ja lämmitysjärjestelmiä automaattisesti energiankulutuspiikkien vähentämiseksi ja energiankäytön optimoimiseksi. Reaaliaikainen seuranta ja hallinta parantavat energiatehokkuutta. Kysyntäjoustoa voidaan käyttää ilman tekoälyä, esimerkiksi säätämällä kulutusta hinnan mukaan tai siirtämällä kulutusta halvemmille ajanjaksoille.

Avainsanat (asiasanat)

Tekoäly, kysyntäjousto, sähkönlaatu

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

-

Kivelä Timo

The potential of artificial intelligence in electricity demand response.

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 34 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Artificial intelligence is crucial for the development of smart power grids as it enables precise demand and supply forecasts, equipment maintenance, and new business models. AI improves efficiency, reduces faulty production, and minimizes environmental impact. It predicts and repairs faults, detects anomalies, and optimizes maintenance, ensuring safe energy supply and workplace safety. AI has been continuously researched and is an essential tool in many industries, enhancing efficiency and automation.

Remote sensing systems improve process efficiency and reduce maintenance, and are widely used in industry and power generation. Smart meters and control systems enable flexible energy use, especially in households with electric heating. Decentralized power generation and smart grids optimize heating and consumption, improving energy efficiency and sustainability.

Smart maintenance systems utilize IoT and cloud-based platforms for data collection, enabling precise forecasting and scheduling. Digitalization and automation allow real-time monitoring and proactive measures based on equipment data. Demand response integrated into predictive maintenance enhances efficiency, reduces costs and downtime, and promotes environmentally friendly practices. Demand response adjusts electricity usage according to market needs, while consumption flexibility changes consumption based on price.

AI can predict energy consumption/production, facilitating better decision-making and scheduling, reducing costs, and maximizing efficiency. AI-based systems can automatically adjust air conditioning and heating systems to reduce peak energy consumption and optimize energy use. Real-time monitoring and management improve energy efficiency. Demand flexibility can be used without AI, for example, by adjusting consumption based on price or shifting consumption to cheaper time periods.

Keywords/tags (subjects)

artificial intelligence, demand response, quality of electricity

Miscellaneous (Confidential information)

-

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Kirjallisuuskatsauksen menetelmät ja tavoitteet	8
2.1	Kirjallisuuskatsaus menetelmänä.....	8
2.2	Kirjallisuuskatsauksen tavoitteet	9
3	Tekoäly.....	9
3.1	Määritelmä.....	9
3.2	Tekoäly sähköntuotannossa.....	10
3.3	Tekoälyn ohjelmointikielet.....	11
3.4	Tekoälyn vaatima sensoriteknologia ja komponentit.....	11
3.4.1	Mittarit.....	14
3.4.2	Älykkäät Ohjausjärjestelmät.....	16
3.4.3	Ennakoiva huolto	17
4	Sähkön tuotannon ja kulutuksen jousto	18
4.1	Kysyntäjousto	18
4.2	Kulutusjousto	19
5	Tekoälyn hyödyntäminen kysyntäjoustopissa	20
5.1	Kulutuksen arviointi	20
5.2	Tekoälyn hyödyntäminen kysyntäjoustopissa	21
5.3	Kysyntäjoustopin hyödyntäminen tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä	22
6	Yhteenveto ja pohdinta	24
6.1	Yhteenveto	24
6.2	Rajoitteet.....	26
6.3	Aihe-ehdotuksia jatkotutkimuksiin	27
	Lähteet:	29
	Liitteet	32
	Liite 1. Lyhenteet ja selitteet.....	32
	Lyhenteet:	32
	Selitteet:.....	32
	Kuviot:	
	Kuvio 1 Helsingin kaupunki pilotoi manuaalisesti säätämällä sähkön kysyntäjoustopia Nuuka Solutions Oy:n kanssa	7
	Kuvio 2 EM-82-50B Värähtelyanturi	11

Kuvio 3 Sähkönlaatusensorit: Näiden sensorien avulla mitataan ja analysoidaan sähkön laatua, kuten jännitettä, taajuutta ja harmonisia. Ne ovat tärkeitä, jotta voidaan varmistaa sähkönjakelun luotettavuus ja tehokkuus.	12
Kuvio 4 Älykkäät sähkömittarit	13
Kuvio 5 Aidon 6550 Älykäs sähkönmittaus	15
Kuvio 6 Älymittareiden sijoituskohteita.....	16
Kuvio 7 säädettävän kapasiteetin tarve esimerkki	17
Kuvio 8 Kysyntäjoustop tyyppi	19
Kuvio 9 Osa jätteistä päätyy sähköksi	21
Kuvio 10 Kulutusjoustop määrä Suomessa	23

1 Johdanto

Tekoälyn nopea kehitys on tuonut merkittäviä muutoksia sähköntuotantoon, lisäten toimialan tehokkuutta, luotettavuutta ja kestävyyttä. Tekoälyllä on tärkeä rooli älykkäiden sähköverkkojen kehittämisessä, mikä auttaa käsittelemään valtavia datamääriä reaaliajassa ja optimoimaan sähköntuotantoa ja -jakelua. Tekoälyn avulla voidaan ennustaa kysyntää ja tarjontaa tarkemmin, mikä on elintärkeää erityisesti uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, integroinnissa sähköverkkoon. Google ja sen tekoälytytäryhtiö DeepMind kehittivät esimerkiksi tekoälymallin, joka ennustaa tuulivoimaloiden tuotantoa 36 tuntia etukäteen suurella tarkkuudella, parantaen tuulivoiman taloudellista arvoa 20 %. (Why AI and energy are the new power couple 2023.)

Tekoälyä hyödynnetään myös laitteiston kunnossapidossa, ennakoivassa huollossa, jossa energiaomaisuuden suorituskykyä seurataan ja analysoidaan jatkuvasti potentiaalisten vikojen tunnistamiseksi ennen niiden ilmenemistä. Esimerkiksi E.ON on kehittänyt koneoppimisalgoritmin, joka ennustaa, milloin keskijännitekaapeleita tulee vaihtaa, vähentäen sähkökatkoksia verkossa jopa 30 % (Why AI and energy are the new power couple 2023.)

Tekoäly edistää myös uusien liiketoimintamallien kehittämistä ja tukee vihreämpää energiantuotantoa. Esimerkiksi Deloitteen mukaan generatiivinen tekoäly voi parantaa sähkö- ja energiasektorin luotettavuutta, tehokkuutta, kestävyyttä sekä terveys- ja turvallisuusnäkökohtia. Tämä teknologia mahdollistaa uudenlaisten sisältöjen, kuten tekstien, koodien, puheen, kuvien, videoiden ja prosessien luomisen, mikä avaa ovia innovaatioille sähköntuotannossa ja -jakelussa. (Power and utilities industry outlook 2023.)

Nämä kehityskulut osoittavat, että tekoälyllä on merkittävä rooli sähköntuotannon ja -jakelun tulevaisuudessa, auttaen vastaamaan kasvavaan sähkönkysyntään ja tukemaan siirtymistä kohti kestävämpää energiantuotantoa.

Kysyntäjouaston ajankohtaisuus korostuu nykyisessä energiamarkkinatilanteessa, missä sähkönkulutuksen ohjaaminen korkean hinnan tunneilta edullisempiin hetkiin voi tuoda merkittäviä säästöjä ja vaikuttaa sähkön markkinahintaan. Kysyntäjouaston kautta sähkönkäyttäjät voivat reagoida markkinahintoihin rajoittamalla tai siirtämällä sähkönkulutustaan, mikä tukee energiantuotannon ympäristökuormituksen vähenemistä, sähköjärjestelmän tehokkaampaa käyttöä ja uusien

laitosten investointitarpeen vähentämistä. (Kysyntäjousto n.d.). Kuviossa 1 esimerkki Helsingin kaupungin pilottihankkeesta.



Kuvio 1 Helsingin kaupunki pilotoi manuaalisesti säättävien sähkön kysyntäjousto Nuuka Solutions Oy:n kanssa (Sähkön kysyntäjousto manuaalinen pilotointi Helsingissä 2019.)

Kysyntäjousto hyödyt sähkökäyttäjille voivat olla välittömiä, kuten alemmina spot- ja tasesähkökustannuksina. Esimerkiksi siirtämällä 2 MW:n sähkökäytön korkean hinnan ajankohdasta edullisempaan voi tuoda merkittäviä säästöjä. Tämä ei ainoastaan alenna sähkökäyttäjän kustannuksia, vaan myös edistää kaikkien sähkökäyttäjien etua tarjoamalla alhaisempia sähkön hintoja. (Sähkökäytön kysyntäjousto n.d.)

Kysyntäjousto toteutetaan aktiivisesti markkinapaikoilla, kuten Nord Poolin Elspot -markkinalla ja Fingridin säätösähkömarkkinalle, jotta sillä voidaan vaikuttaa markkinahinnan muodostukseen. Kysyntäjousto varten sähkökäyttäjän on ensin määriteltävä oma joustopotentialinsa, mukaan lukien kysyntäjousto soveltuvan tehon määrä, joustoajan pituus, hintataso, jolla jousto on mahdollista, ja kuinka paljon ennen jousto tarvetta siitä tulee ilmoittaa.

Kysyntäjousto merkitys korostuu entisestään, kun energiantuotanto muuttuu hajautetummaksi ja uusiutuviin energialähteisiin perustuvaksi ilmastotavoitteiden myötä. Tämä murros edellyttää

joustavampaa sähköjärjestelmää, jossa aktiivisen sähkökäyttäjän rooli kasvaa. (Kysyntäjousto n.d.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tekoälyn mahdollisuuksia kysyntäjoustopuolella. Tekoäly tuo mukanaan mahdollisuuksia tehostaa kysyntäjoustopuolella sähköntuotannossa. Tekoäly on tullut merkittäväksi osaksi ihmisten elämää, joten on tärkeää tarkastella älyteknologian tuomia mahdollisuuksia myös sähkötekniikan alalla. Parhaimmillaan tekoäly tehostaa ja auttaa vähentämään virheellistä ali-/ylituotantoa ja tällä on myös merkittäviä taloudellisia vaikutuksia. Oikein mitoitettu sähköntuotanto ja -kulutus ovat myös ympäristön kannalta optimaalisia.

2 Kirjallisuuskatsauksen menetelmät ja tavoitteet

2.1 Kirjallisuuskatsaus menetelmänä

Kirjallisuuskatsauksen teko alkaa tutkimuskysymyksen määrittelyllä, jonka pohjalta luodaan hakusuunnitelma. Prosessi sisältää alustavat haut, joiden perusteella tehdään varsinaiset haut ja taulukoidaan hakutulokset. Artikkelien valinnan jälkeen seuraa analyysi ja synteesi, jonka päätteeksi kirjoitetaan raportti. Tiedonhankinnan ohjauksessa keskeistä on ohjaushaastattelu, jossa keskitytään tutkimuskysymykseen ja hakusuunnitelmaan. Erilaiset kirjallisuuskatsaukset vaativat erilaisia lähestymistapoja, kuten kuvaileva, narratiivinen, integroiva, tai systemaattinen katsaus. (Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjaushaastattelu 2022.)

Opinnäytetyön lähteiden etsinnässä olen käyttänyt perustermien ja sanojen yhdistelmiä. Lähteiden valinta on ollut vertailevaa ja lähteiden valinta perustuu useisiin kriteereihin, jotka takaavat tiedon laadun ja luotettavuuden.

Tässä on joitakin keskeisiä tekijöitä, jotka ohjaavat lähteiden valintaa:

- **Luotettavuus:** Pyrin valitsemaan lähteitä, jotka ovat tunnettuja ja arvostettuja alallaan. Tämä voi tarkoittaa suurten uutisorganisaatioiden, tunnettujen akateemisten julkaisujen tai virallisten organisaatioiden tarjoamaa tietoa.
- **Ajankohtaisuus:** Varmistan, että lähteet ovat mahdollisimman ajankohtaisia, erityisesti nopeasti muuttuvissa aiheissa kuten uutisissa tai teknologisissa innovaatioissa.

- Monipuolisuus: Yritän saada monipuolisia näkökulmia esille valitsemalla lähteitä, jotka edustavat eri näkemyksiä tai joilla on erilaiset taustat. Tämä auttaa tarjoamaan kattavamman kuvan aiheesta.
- Tieteellinen pätevyys: Eritoten tieteellisissä ja teknisissä kysymyksissä suosin lähteitä, jotka perustuvat vahvaan tutkimusnäyttöön ja joilla on hyvä maine tieteellisessä yhteisössä.

Käyttäessäni selainta tietojen hakemiseen, pyrin valitsemaan useita lähteitä, jotka täyttävät nämä kriteerit, jotta voin tarjota mahdollisimman tarkan ja luotettavan vastauksen.

2.2 Kirjallisuuskatsauksen tavoitteet

Kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymykset valikoituivat rajauksen yhteydessä. Tutkimuskysymykset keskittyvät aiheen perustaviin kiinnekohtiin ja vastaukset pyrkivät avaamaan sähköntuotannon kannalta oleellisia asioita. Tässä opinnäytetyössä tutkimuskysymykset ovat:

- Miten tekoälyä voidaan hyödyntää kulutuksen arvioinnissa?
- Kuinka tekoälyä voidaan hyödyntää kysyntäjoustossa?
- Miten kysyntäjoustoa voidaan hyödyntää tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä?

Kulutuksen arviointiin liittyvät tekijät esitellään luvussa 5.1. Tekoälyn hyödyntämisen mahdollisuudet kysyntäjoustossa käsitellään luvussa 5.2. Kysyntäjoustopon hyödyntäminen tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä, käsitellään luvussa 5.3. Tutkimuskysymykset valikoituivat rajauksen yhteydessä. Tutkimuskysymykset keskittyvät aiheen perustaviin kiinnekohtiin ja vastaukset pyrkivät avaamaan sähköntuotannon kannalta oleellisia asioita.

3 Tekoäly

3.1 Määritelmä

Tekoäly, lyhennettynä AI (Englannin kielestä: artificial intelligence), on teknologia, joka mahdollistaa koneiden suorittaa tehtäviä, jotka tyypillisesti vaativat ihmisen älykkyyttä. Se sisältää

oppimisen, päättelyn ja ongelmanratkaisun. Lyhyesti sanottuna, tekoäly on koneiden kykyä jäljitellä ihmisen älykkäitä toimintoja. (Merilehto 2018; Siukkonen & Neittaanmäki 2019.)

3.2 Tekoäly sähköntuotannossa

Tekoälyllä on merkittävä rooli sähköntuotannossa ja energiateollisuudessa, tarjoten uusia keinoja tehostaa sekä tuotantoa että kulutusta. Eräässä hankkeessa, jota toteuttavat yhdessä VTT, Vaasan yliopisto ja alan yritykset (Fleximar), tutkitaan mahdollisuuksia säädellä energiankulutusta sähkön pörssihintojen vaihtelun mukaan. Tekoälysovellukset voivat esimerkiksi auttaa kuluttajia optimoimaan sähkönkulutustaan edullisimpien hintojen aikaan. Lisäksi tekoälyn avulla voidaan yhdistää voimalaitosdataa ja ennakoivaa säädataa, jotta saadaan aikaan tarkempia energiankulutusennusteita ja parannetaan uusiutuvan energian, kuten tuuli- ja aurinkoenergian, integrointia valtakunnanverkkoon. (Tekoäly uudistaa energia-alaa 2024.)

Tekoäly auttaa myös sähköverkon kunnossapidossa ennakoimalla ja korjaamalla vikoja automaattisesti, mikä vähentää laajojen sähkökatkojen riskiä. Tekoälyn avulla voidaan havaita poikkeamia sähkön tuotannossa, kulutuksessa tai siirrossa ja löytää korjaavia ratkaisuja nopeammin. Tämä parantaa huomattavasti sekä energian toimitusvarmuutta että verkon turvallisuutta. (Tekoäly uudistaa energia-alaa 2024.)

Kunnossapidon saralla tekoäly mahdollistaa laitteiden huoltotarpeiden ennustamisen, mikä auttaa optimoimaan huoltotoimenpiteitä ja vähentämään käyttökatkoja. Tekoälyä hyödyntämällä voidaan myös parantaa turvallisuutta työpaikoilla tunnistamalla vaarallisia tilanteita ennen niiden tapahtumista. Huoltotiedon hallinta tekoälyn avulla mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon, mikä varmistaa laitteiden optimaalisen toiminnan ja vähentää vikatilanteita. (Laine 2023.)

Yleisemmin tekoäly (AI) edustaa teknologiaa, jonka avulla koneet voivat oppia kokemuksen perusteella, mukautua uusiin tilanteisiin ja suorittaa inhimillisiä tehtäviä. Tekoälyyn liittyvä tutkimus ja kehitys ovat olleet käynnissä vuosikymmeniä, ja teknologia on nykyään välttämätön työkalu monilla toimialoilla, parantaen tehokkuutta, ennustettavuutta ja automaatiota. (SAS: Mitä on tekoäly (AI) ja miksi se on tärkeää? N.d.)

3.3 Tekoälyn ohjelmointikielet

Tekoäly koostuu useista keskeisistä komponenteista ja tyypeistä, jotka mahdollistavat sen monipuoliset sovellukset ja kehittymisen. Yksi keskeinen osa-alue on koneoppiminen, jossa kone oppii datasta ilman eksplisiittisesti ohjelmoituja sääntöjä. Tämä prosessi käyttää algoritmeja, jotka oppivat datasta askel askeleelta, kehittäen malleja, jotka ennustavat tiettyjä lopputuloksia. Tekoälyyn kuuluvat myös neuroverkot ja syväoppiminen, joissa neuroverkot — neuroneiden simulaatioita — kommunikoivat keskenään ja oppivat suurista datamääristä. Tekoälyyn liittyviä ohjelmointikieliä ovat muun muassa Python, Lisp, Prolog, Java ja C++. Näistä Python on erityisen suosittu koneoppimisen ja neuroverkkojen kehittämisessä. (Merilehto 2018, Siukkonen & Neittaanmäki 2019.)

3.4 Tekoälyn vaatima sensoriteknologia ja komponentit

Tekoäly (AI) sähköntuotannossa käyttää laajaa valikoimaa sensoriteknologiaa ja komponentteja datankeruuseen, prosessien automatisointiin ja optimointiin sekä ennakoivaan kunnossapitoon. Tässä on yleiskatsaus tyypillisistä teknologioista ja komponenteista, joita tekoäly hyödyntää sähköntuotannossa:

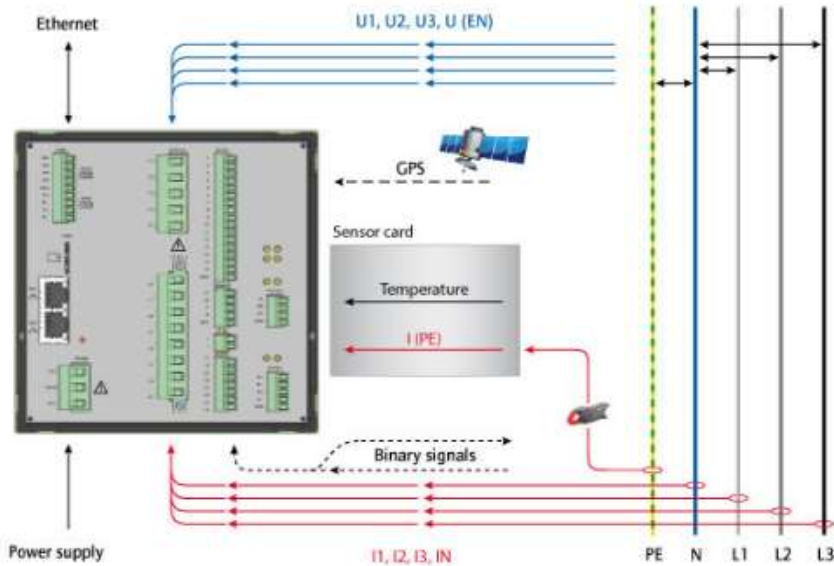
Värähtelyanturit (Kuvio 2): Kriittisten laitteiden, kuten turbiinien ja pumppujen, mekaaninen kunto on tärkeää. Värähtelyanturit auttavat seuraamaan laitteiston eheyttä ja ennustamaan mahdollisia vikoja ennen niiden ilmenemistä.



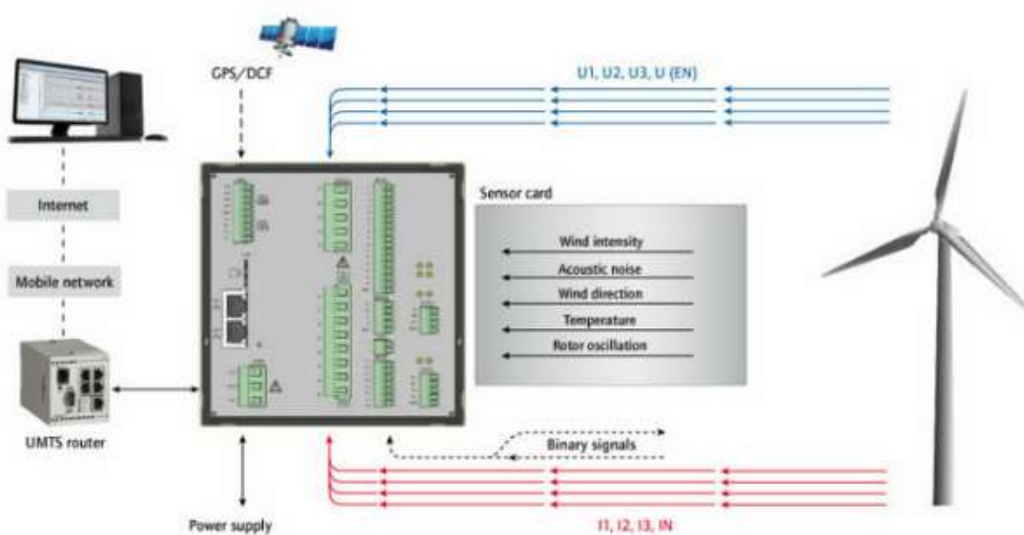
Kuvio 2 EM-82-50B Värähtelyanturi (EM-82-50B VÄRÄHTELYANTURI n.d.)

Lämpötila- ja paineanturit: Nämä anturit ovat välttämättömiä lämmöntuotannon seurannassa, erityisesti voimalaitoksissa, joissa höyryturbiinit ja generaattorit toimivat korkeissa lämpötiloissa ja paineissa. Kuviossa 3 esitetty laadunvalvonta sensoreiden käyttöä erityyppisissä sähköverkoissa.

Differentialivirran mittaus ml. jänniteanalyysi:



Tuulivoimala:



Kuvio 3 Sähkölaatusensorit: Näiden sensorien avulla mitataan ja analysoidaan sähkön laatua, kuten jännitettä, taajuutta ja harmonisia. Ne ovat tärkeitä, jotta voidaan varmistaa sähkönjakelun luotettavuus ja tehokkuus. (KoCos tarjoaa monipuolisia, kannettavia ja pysyvästi asennettavia, laadukkaita sähkönlaadun analyysointilaitteita n.d.)

Korroosio- ja eroosiosensorit: Nämä sensorit auttavat seuraamaan laitteiston materiaalien kuntoa, mikä on olennaista erityisesti vanhemmissa voimalaitoksissa.

Älykkäät mittarit (Kuviot 4 ja 5): Näitä käytetään sähkönkulutuksen mittaamiseen ja hallintaan. Ne ovat keskeisiä älyverkoissa (smart grids), jotka hyödyntävät tekoälyä energian kysynnän ennustamiseen ja sähköverkon tasapainottamiseen.

Kommunikaatiosensorit ja -laitteet: Tietoliikenneinfrastruktuuri on kriittinen osa älykästä voimailtosta, mahdollistaen tiedon nopean vaihdon laitteiden ja hallintajärjestelmien välillä.

Tehokkaat prosessorit ja datan käsittely yksiköt: Nämä ovat tarpeen suurten datamäärien käsittelyyn reaaliajassa, jotta tekoälyalgoritmit voivat tehdä nopeita ja tarkkoja päätöksiä.

Sensoreita käytetään laajasti sähköntuotannossa ja sähköverkkojen hallinnassa Suomessa. Esimerkiksi häviökerroin- ja osittaispurkausmittaukset ovat tärkeitä työkaluja maakaapeliverkkojen kunnossapidossa ja laadunvalvonnassa. Nämä mittaukset auttavat tunnistamaan kaapelivauriot ja asennusvirheet, mikä parantaa sähköverkon luotettavuutta ja pidentää kaapelien käyttöikää. Uudenaikaiset mittalaitteet mahdollistavat tarkemman datan keräämisen ja virheiden paikantamisen nopeammin, mikä on hyödyllistä erityisesti sähköverkkoyhtiöille ja urakoitsijoille. (Mononen n.d.)



Kuvio 4 Älykkäät sähkömittarit (Landis+Gyr)

Langattomat sensorit, kuten Decentlabin LoRaWAN-sensorit, ovat myös käytössä eri ympäristöissä, mukaan lukien ulkoilma- ja ympäristön mittauksissa. Nämä sensorit ovat energiatehokkaita ja niiden paristot voivat kestää yli kymmenen vuotta, mikä tekee niistä kustannustehokkaita ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja älykkäiden kaupunkien ja maatalouden tarpeisiin. (Monipuoliset Decentlab sensorit/anturit n.d.)

Lisäksi etäluettavat mittausjärjestelmät, kuten SensorMonitor, tarjoavat tehokkaan tavan valvoa erilaisia parametreja langattomasti, mikä auttaa parantamaan prosessien tehokkuutta ja vähentämään kunnossapidon tarvetta. Näitä järjestelmiä hyödynnetään laajasti teollisuudessa, energiantuotannossa ja muissa sovelluksissa, missä tietojen reaaliaikainen seuranta on kriittistä. (Etäluettu ja yhteen paikkaan koostettu tieto luo tuottavuutta n.d.)

Nämä edistykset sensoriteknologiassa edistävät merkittävästi sähköntuotannon ja jakelun tehostamista ja luotettavuuden parantamista.

3.4.1 Mittarit

Aidon ja Landis+Gyr ovat molemmat tunnettuja toimijoita älysähkömittareiden (Kuviot 4 ja 5) ja älykkäiden sähköverkkoratkaisujen alalla. Molemmat yritykset tarjoavat teknologiaa, joka tukee energiayhtiöitä niiden siirtyessä kohti hiilineutraaleja energiaratkaisuja.

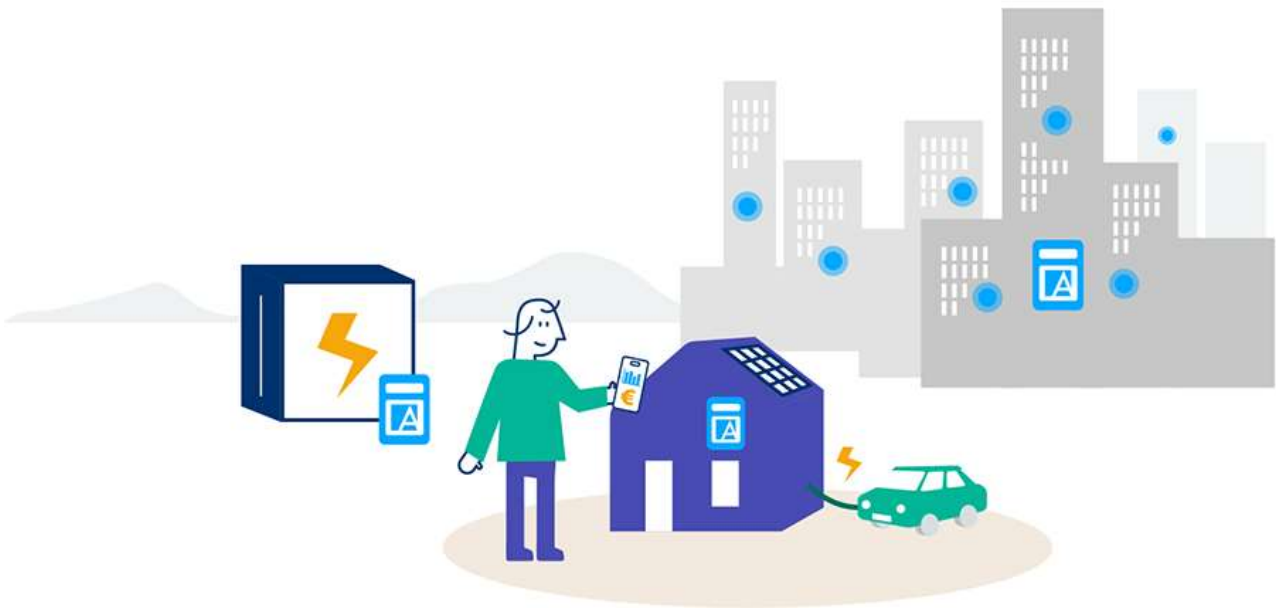
Aidon on suomalainen yritys, joka on erikoistunut älykkäiden mittaus- ja sähköverkkoratkaisujen kehittämiseen. Yritys tarjoaa muun muassa laajaa valikoimaa älymittareita kotitalous- ja teollisuuskäyttöön, joiden avulla voidaan seurata muun muassa muuntamoasemien kuntoa ja alhaisen jännitteen verkon tilaa. Aidonin ratkaisut mahdollistavat yksityiskohtaisten reaaliaikaisten tietojen keräämisen ja jakelun, mikä parantaa sähköverkon hallintaa ja mahdollistaa tehokkaamman kertyönsuunnittelun ja hallinnan. Aidon korostaa kestävästä kehityksestä ja ympäristöystävällisiä teknologioita kaikessa toiminnassaan. (Aidon: Älykkäät energia-palvelulaitteet 2024.)



Kuvio 5 Aidon 6550 Älykäs sähkömittaus (Aidon: Älykkäät energia-palvelulaitteet n.d.)

Landis+Gyr puolestaan tarjoaa älymittareita, jotka tukevat IoT-maailman vaatimuksia. Esimerkiksi heidän E360-malli on suunniteltu tarjoamaan luotettavaa viestintää LTE CAT M1 ja NB-IoT-protokollien kautta, ja se mahdollistaa laajamittaisen datan keräämisen ja käsittelyn. E360-mittareiden avulla sähköyhtiöt voivat seurata energiankulutusta reaaliajassa ja parantaa verkon tehokkuutta ja turvallisuutta. Landis+Gyrin älymittarit ovat tulevaisuudenkestäviä, ja niitä voidaan päivittää etänä uusimpien toimintojen ja teknologioiden mukaisesti. (E360: the smart residential meter for the IoT era 2024.) Kuviossa 6 esitetään havainnollisesti älymittareiden sijoituskohteita.

Molemmat yritykset edustavat älykkäiden sähkömittareiden kehityksen kärkeä ja tarjoavat ratkaisuja, jotka auttavat energiayhtiöitä vastaamaan nykypäivän haasteisiin älykkäiden ja kestävien energiaratkaisujen alalla.



Kuvio 6 Älymittareiden sijoituskohteita. (Aidon: Älykkäät energia-palvelulaitteet n.d.)

3.4.2 Älykkäät Ohjausjärjestelmät

Älykkäät ohjausjärjestelmät ovat merkittävä osa nykyaikaista sähköntuotantoa Suomessa, ja ne mahdollistavat joustavamman sekä tehokkaamman energiankäytön. Esimerkiksi Motivan mukaan kulutusjousto, jossa älykkäät ohjausjärjestelmät optimoivat sähkönkulutusta hinta- ja tuotantotietojen perusteella, auttaa säästämään energiaa ja rahaa. Tämä on erityisen tärkeää kotitalouksille, jotka käyttävät sähkölämmitystä, ilmanvaihtoa, ja muita suurta energiaa kuluttavia järjestelmiä. Kotiautomaatio mahdollistaa myös esimerkiksi lämmityksen ja sähköauton latauksen ohjaamisen sähkön hinnan mukaan. (Sähkön kulutusjousto – Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä n.d.)

Lisäksi Motivan raportti kuvaa älykkäiden sähköverkkojen (Smart Grid) roolia, jossa aurinkosähkö integroidaan osaksi sähköverkkoa. Tämä mahdollistaa sähkön kulutushuippujen tasaamisen ja energiantuotannon paremman hallinnan, mikä on tärkeää erityisesti sääriippuvaisen aurinko- ja tuulisähkön yleistyessä. (Sähkön kulutusjousto – Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä n.d.)

Katsauksessa mainitaan myös, että Suomessa hajautetun energiantuotannon ja älykkäiden energiaratkaisujen tarve korostuu kylmissä olosuhteissa, joissa esimerkiksi rakennusten lämmityksen optimointi on keskeistä. Tällöin älyverkot ja älymittarit mahdollistavat kysyntäjoustop, joka sopeuttaa kulutusta ja tuotantoa tehokkaasti. Kulutuksen ohjaus on kilpailtua liiketoimintaa, ja

jakeluverkkoyhtiöiden tulee sopeuttaa toimintaansa tämän mukaisesti. (Pönniö 2017.) Kuviossa 6 on esitetty esimerkki kapasiteetin tarpeen säätämisestä Rauli-myrskyn aikana vuonna 2016.



Kuvio 7 säädettävän kapasiteetin tarve esimerkki (Pönniö 2017)

Näin ollen älykkäät ohjausjärjestelmät edistävät energiatehokkuutta ja parantavat sekä yksittäisten kuluttajien että koko yhteiskunnan energiankäytön kestävyyttä.

3.4.3 Ennakoiva huolto

Ennakoiva huolto kysyntäjoustopotentialissa mahdollistaa tehokkaamman ja sujuvamman tuotannon ylläpidon, mikä on erityisen tärkeää laitteiden luotettavuuden ja turvallisuuden kannalta. Ennakoivassa huollossa käytetään usein sensoridataa ja edistynyttä analytiikkaa koneiden kunnan tarkkailuun, jotta mahdolliset viat ja korjaustarpeet voidaan ennustaa ennen kuin ne aiheuttavat tuotantokatkoja tai muita ongelmia.

Esimerkiksi, ennakoivat huoltoratkaisut, joissa hyödynnetään koneoppimista ja IoT-sensoreita, tarjoavat kyvyn ennakoida laitteiston ongelmia jopa viikkoja ennen niiden ilmenemistä, mikä auttaa välttämään tuotannon seisokkeja ja maksimoimaan henkilöstön tehokkuuden. Tällaiset ratkaisut vaativat kuitenkin usein merkittäviä investointeja ja riittävää määrää laadukasta historiallista dataa toimiakseen tehokkaasti (Puustinen 2021.)

Lisäksi älykkäät kunnossapitojärjestelmät voivat hyödyntää esineiden internetiä (IoT) ja pilvipohjaisia alustoja datan keräämiseen ja analysointiin. Tämä mahdollistaa entistä tarkemmat ennusteet ja

huoltojen aikataulutuksen perustuen reaaliaikaiseen tietoon laitteiden kunnosta. (Manninen 2023.)

Kunnossapidon digitalisaatio ja automatisointi, kuten Rittal-yhtiön tarjoamat ratkaisut, mahdollistavat entistä tarkemman seurannan ja ennakoivat toimenpiteet, jotka perustuvat laitteiden keräämään dataan lämpötilasta, ilmankosteudesta ja muista kriittisistä tekijöistä. (Huollon inside-juttu: ennakoiva huolto n.d.)

Näin ollen, ennakoiva huolto integroituna osaksi kysyntäjoustoja voi merkittävästi lisätä tuotantoprosessien tehokkuutta ja luotettavuutta, sekä vähentää odottamattomia kustannuksia ja seisokkeja. Tämä edistää myös ympäristöystävällisempiä tuotantotapoja, vähentäen hukkaa ja energiankulutusta.

4 Sähkön tuotannon ja kulutuksen jousto

4.1 Kysyntäjousto

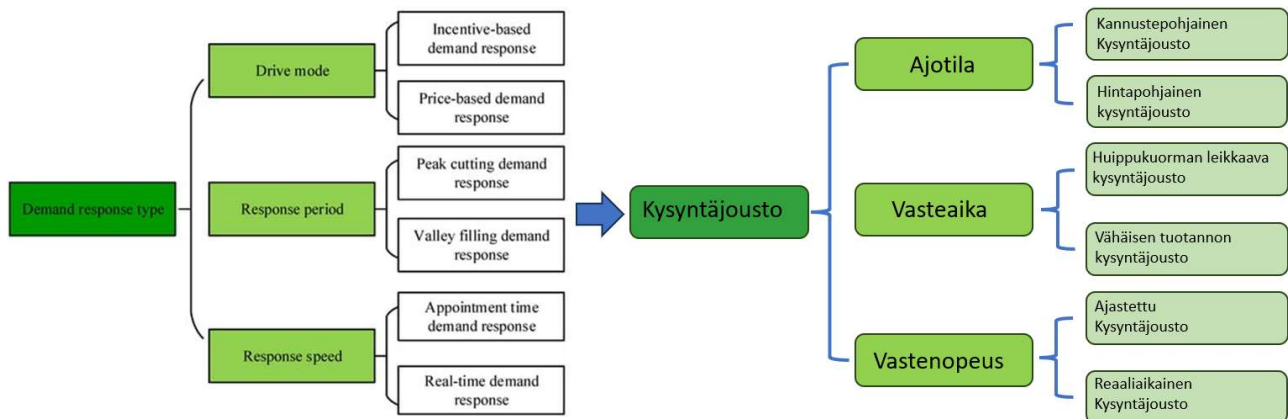
Kysyntäjousto tarkoittaa sähkökäytön muokkaamista vastaamaan sähkömarkkinoiden tarpeita, joko vähentämällä kulutusta tai siirtämällä sitä korkean hinnan tunneilta edullisempiin aikoihin. Tämä ei ainoastaan auta yksittäisiä sähkökäyttäjiä säästämään kustannuksissa vaan myös tukee sähköjärjestelmän tehokasta toimintaa ja vähentää tarvetta uusille sähköntuotantolaitoksille, mikä tuo säästöjä koko kansantaloudelle. (Kysyntäjousto n.d.)

Kysyntäjouston hyödyt sähkökäyttäjälle ovat merkittäviä, tarjoten välittömän vaikutuksen alhaisempina spot- ja tasesähkökustannuksina. Esimerkiksi sähkökäyttäjä, joka siirtää sähkökulutuksensa kalliilta tunnilta edullisempaan aikaan, voi kokea merkittävää säästöä kustannuksissa. Tämä ei ainoastaan paranna yksittäisen sähkökäyttäjän taloudellista tilannetta vaan myös edistää suomalaisen yhteiskunnan kilpailukykyä ja teollisuuden toimintaedellytyksiä. (Suomensähkökäyttäjät: Sähkökäytön kysyntäjousto n.d.)

Kulutusjoustolla on tärkeä rooli sähköjärjestelmän tasapainon ylläpidossa, erityisesti kun sähköntuotannossa siirrytään yhä enemmän joustamattomaan ja sääriippuaiseen tuotantoon, kuten ydin-, tuuli- ja aurinkovoimaan. Suomessa kulutusjousto on keskittynyt pääasiassa

suurteollisuuteen, mutta sillä on edelleen merkittävää potentiaalia laajemmin osallistua reservimarkkinoille ja siten tukea tehotasapainon ylläpitämistä. (Kulutusjousto 2023.)

Kuviossa 8 esitetään kysyntäjoustopyytyy. (Towards a Sustainable Power System: A Three-Stage Demand Response Potential Evaluation Model 2024.)



Kuvio 8 Kysyntäjoustopyytyy. (Towards a Sustainable Power System: A Three-Stage Demand Response Potential Evaluation Model 2024)

4.2 Kulutusjousto

Kulutusjousto viittaa sähkökulutuksen muuttamiseen hinnan perusteella, esimerkiksi siirtämällä kulutusta korkean hinnan tunneilta edullisempaan ajankohtaan. Kuluttajat voivat hyötyä kulutusjoustopista myös myymällä joustoaan sähkömarkkinoille. Kulutusjoustopin tarve kasvaa, kun joustamattoman ja sääriippuvaisen tuotannon, kuten ydinvoiman, tuulivoiman ja aurinkovoiman osuus sähköntuotannossa kasvaa, koska sähkökulutuksen ja tuotannon on pysyttävä joka hetki tasapainossa. Kulutusjousto auttaa ylläpitämään tätä tasapainoa kustannustehokkaasti. Aiemmin kulutusjoustopia on usein kutsuttu kysyntäjoustopiksi. (Kulutusjousto 2023.)

Suomessa kulutusjoustopia on käytetty tehotasapainon ylläpitämisessä reservimarkkinoilla, keskittyen erityisesti suurteollisuuteen, mutta sen potentiaalia lisätä tarjontaa reservimarkkinoilla on edelleen merkittävästi (Kulutusjousto 2023).

Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään kysyntäjoustopiin ja sen ympärillä oleviin asioihin. Kulutusjousto terminä ei ole käytössä tutkimuksessa.

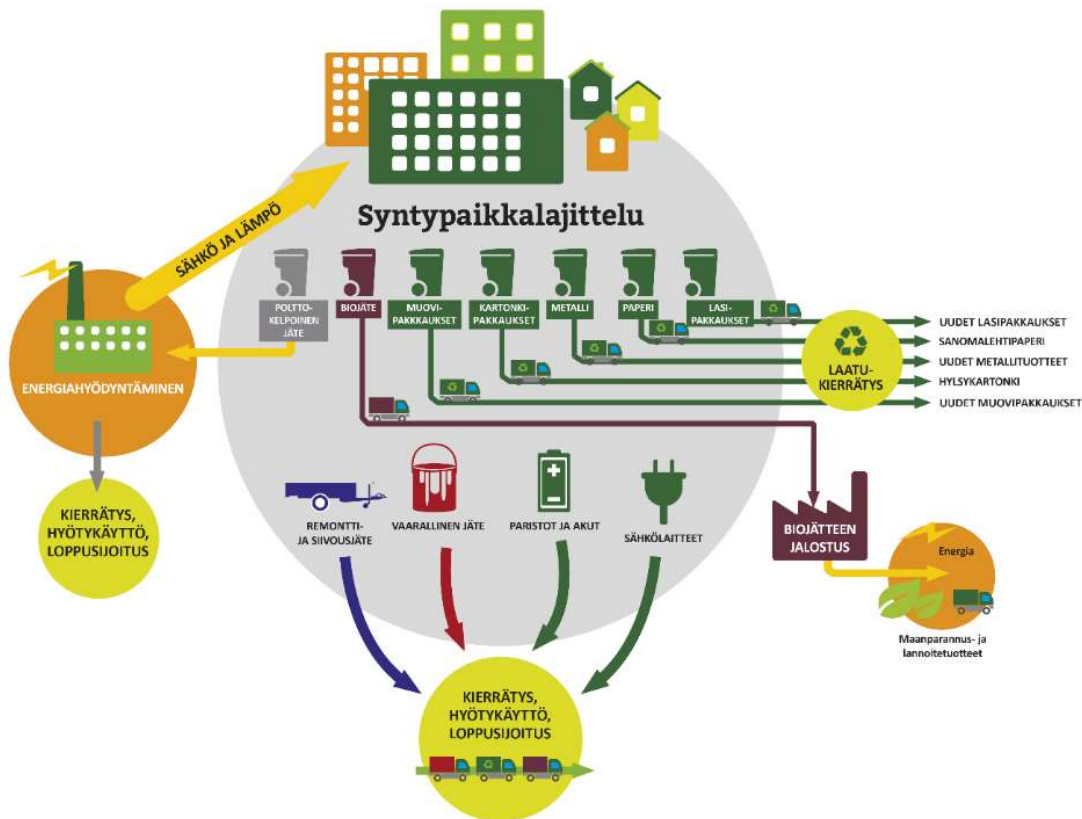
5 Tekoälyn hyödyntäminen kysyntäjoustossa

5.1 Kulutuksen arviointi

Tekoälyä (AI) voidaan hyödyntää monin tavoin kulutuksen arvioinnissa ja ympäristöhaasteiden ratkaisemisessa. Sen kyky kerätä, analysoida ja hyödyntää suuria tietomääriä mahdollistaa monipuolisten sovellusten kehittämisen, jotka tukevat kestävästä kehitystä ja kulutuksen tehostamista. Seuraavassa on muutamia esimerkkejä siitä, miten tekoälyä voidaan käyttää:

1. Ympäristön seuranta ja analyysi: Tekoäly voi analysoida monimutkaisia tietoaaineistoja, kuten maan kattavia havainto- ja sensoridataa, tarjoten lähes reaaliaikaisia analyysejä ja ennusteita esimerkiksi CO₂-pitoisuuksista, jäätiköiden massan muutoksista ja merenpinnan noususta (How artificial intelligence is helping tackle environmental challenges 2022).
2. Sään ennustaminen ja ilmastonmuutoksen mallintaminen: Tekoälyä hyödynnetään parantamaan sääennusteiden ja ilmastonmuutoksen mallinnuksen tarkkuutta, mikä auttaa yhteisöjä ja viranomaisia suunnittelemaan tehokkaita sopeutumis- ja hillintästrategioita (Artificial intelligence (AI) is already making inroads worldwide in... 2023).
3. Päästöjen vähentäminen: Tutkimusten mukaan tekoälyn avulla on mahdollista saavuttaa jopa 5–10 %:n kokonaispäästövähennykset, mikä vastaa 2,6–5,3 gigatonnia CO₂-ekvivalenttia, jos tekoäly otetaan käyttöön kaikilla aloilla (Reduce Carbon and Costs with the Power of AI 2021.)
4. Resurssien optimointi: Tekoäly auttaa optimoimaan tuotantoprosesseja, liikennettä ja muita toimintoja, mikä vähentää hiilipäästöjä ja kustannuksia. Esimerkiksi eräässä tapauksessa terästuotaja onnistui vähentämään hiilidioksidipäästöjään 3 %, mikä vastaa noin 230 000 tonnia CO₂ vuodessa, samalla kun tuotantokustannukset alenivat 40 miljoonalla dollarilla vuodessa AI:n ansiosta. (Reduce Carbon and Costs with the Power of AI 2021.)
5. Kulutuksen ja jätteen vähentäminen: Tekoäly voi auttaa seuraamaan ja optimoimaan resurssien kulutusta sekä edistämään kestävämpiä valmistusprosesseja, esimerkiksi muodin ja nopean ruoan teollisuudessa, vähentäen jätettä ja parantaen resurssitehokkuutta (Artificial intelligence (AI) is

already making inroads worldwide in... 2023). Kuviossa 9 Lounais-Suomen jätehuollon kaavio, missä kuvataan osan jätteistä muuttumista sähköenergiaksi.



Kuvio 9 Osa jätteistä päätyy sähköksi (Lounais-Suomen jätehuolto 2023)

Nämä esimerkit osoittavat, että tekoäly tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia kulutuksen tehokkaammaksi hallinnaksi ja kestävien ratkaisujen kehittämiseksi. Tekoälyn avulla voidaan paitsi seurata ja vähentää hiilijalanjälkeä myös tehostaa resurssien käyttöä monilla eri aloilla, mikä tukee kestävästä kehitystä ja auttaa torjumaan ilmastonmuutosta. Kuinka tekoälyä voidaan hyödyntää kysyntäjoustopa? Kysyntäjoustopa hyödyntäminen tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä?

5.2 Tekoälyn hyödyntäminen kysyntäjoustopa

Tekoälyä voidaan hyödyntää kysyntäjoustopa monin tavoin, parantaen energianhallintaa ja tehostaen uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Tässä muutamia keskeisiä sovellusalueita:

Ennustaminen ja optimaalinen aikataulutus: Tekoäly voi ennustaa energian kulutusta ja tuotantoa tarkasti, mahdollistaen paremman päätöksenteon ja aikataulutuksen. Tämä on erityisen tärkeää,

kun pyritään minimoimaan kustannukset ja maksimoimaan energiantuotannon tehokkuus, etenkin uusiutuvan energian osalta, joka on luonteeltaan epävakaa ja ennustamaton. (How AI unlocks the full value of demand response 2018.)

Laitteiden älykäs ohjaus: Tekoälyyn perustuvat järjestelmät voivat automaattisesti säätää esimerkiksi ilmastointilaitteiden ja lämmitysjärjestelmien toimintaa, optimoiden energiankäyttöä ilman, että asumismukavuus kärsii. Tämä auttaa vähentämään energiankulutushuippuja ja levittämään kuormaa tasaisemmin. (How AI unlocks the full value of demand response 2018.)

Termisten mallien käyttö: Erityisesti älykodissa tekoäly voi oppia rakennuksen termiset ominaisuudet ja säätää lämmitys- ja viilennysjärjestelmiä ennakoivasti, mikä vähentää tarpeetonta energiankulutusta ja parantaa käyttömukavuutta. (Deep Learning for Intelligent Demand Response and Smart Grids: A Comprehensive Survey 2024.)

Stokastinen optimointi: Tekoäly pystyy käyttämään stokastista optimointia määrittämään parhaat mahdolliset laitteiden käynnistysaikataulut, jotka minimoivat energiankulutuksen ja maksimoivat säästöt. Tämä sisältää monimutkaisia laskelmia, joissa otetaan huomioon eri laitteiden toiminta ja niiden vaikutukset koko järjestelmään. (How AI unlocks the full value of demand response 2018.)

Kulutuksen reaaliaikainen seuranta ja hallinta: Tekoälyä hyödyntävät alustat voivat tarjota kuluttajille tietoa heidän energiankulutuksestaan reaaliajassa ja auttaa heitä optimoimaan energiankäyttöä esimerkiksi siirtämällä sitä vähemmän kuormitetuille tunneille. (In Demand Skill Sets n.d.)

Nämä teknologiat eivät ainoastaan paranna energiatehokkuutta, vaan edistävät myös uusiutuvien energialähteiden integrointia ja vähentävät ympäristön kuormitusta, tarjoten kestävämpiä ratkaisuja energianhallintaan.

5.3 Kysyntäjoustop hyödyntäminen tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä

Kysyntäjoustop voidaan hyödyntää tuotannossa ja kulutuksessa ilman tekoälyä monin eri tavoin. Esimerkiksi Suomessa sähkömarkkinoilla kulutusjoustop tarkoittaa sähkönkulutuksen mukauttamista hinnan mukaan, jolloin kulutusta siirretään kalliilta ajankohdilta halvemmille. Kulutusjoustop

käytetään erityisesti teollisuudessa, mutta myös pienkuluttajille on tarjolla tuntihinnoiteltuja pörs-
sisähkösopimuksia, jotka mahdollistavat kulutuksen optimoinnin. Lisäksi aggregaattorit yhdistävät
pieniä kulutus- ja tuotantokohteita suuremmiksi kokonaisuuksiksi, mikä mahdollistaa osallistumi-
sen eri sähkömarkkinapaikoille. (Kulutusjousto 2023.) Kuviossa 9 kuvataan kulutusjouston
osallisuutta erimarkkina paikoilla.



Kuvio 10 Kulutusjouston määrä Suomessa (Kulutusjousto 2023)

6 Yhteenveto ja pohdinta

6.1 Yhteenveto

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää tekoälyn käyttöä ja soveltamista sähköntuotannon kysyntäjoustopuolella. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella aiheesta kirjoitetun materiaalin näkökulmasta tutkimuksen kokonaisuutta ja nykytilaa. Tutkimuksessa on haluttu tuoda esiin myös kokonaisuuden kasvavan vaikutuksen ja tarpeellisuuden näkökulma. Anturiteknologian kehitys on mahdollistanut tarkempaa analysointia ja jopa tarkennusta ennusteisiin, jotka ovat olleet vaikeita tehdä ja toteuttaa. Tiedon määrän kasvaessa ja käytettäessä niitä yhdessä algoritmeissa, saadaan huomattavasti nopeampia ja luotettavampia ennusteita välittömään lähitulevaisuuteen.

Tekoälyn soveltaminen sähkön kysyntäjoustopuolelle tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia älykkäiden sähköverkkojen tehokkuuden ja vakauden parantamiseen. Kysyntäjoustopuolella kykyyn säädellä sähkön kulutusta vastaamaan dynaamisesti sähköntuotannon vaihteluja, mikä on erityisen tärkeää uusiutuvien energialähteiden yleistyessä. Tekoäly mahdollistaa kulutuksen ennustamisen, optimoinnin ja automatisoinnin reaaliajassa, mikä voi tehostaa energian käyttöä, vähentää kustannuksia ja edistää ympäristön kestävyttä.

Tekoäly parantaa ennustamisen tarkkuutta analysoimalla suuria datamääriä, kuten historiallista kulutusta ja sääolosuhteita. Tämä tarkkuus mahdollistaa energian kulutuksen optimoinnin esimerkiksi siirtämällä energian intensiiviset toiminnot ajankohtiin, jolloin energia on halvempaa tai ympäristöystävällisemmin tuotettua. Tekoälyn avulla voidaan myös automatisoida laitteiden ja järjestelmien toimintaa, kuten lämmitystä ja jäähdytystä, parantaen näin käyttömukavuutta ja tehokkuutta ilman ihmisen jatkuvaa puuttumista.

Vaikka tekoäly tarjoaa lukuisia etuja, sen käyttöönottoon liittyy myös haasteita, kuten yksityisyydensuojan, tietoturvan ja korkeat infrastruktuurikustannukset. Kuluttajien vastahakoisuus uusien teknologioiden omaksumiseen voi myös hidastaa laajempaa käyttöönottoa.

Tulevaisuuden tutkimus ja kehitys voivat keskittyä näiden esteiden voittamiseen ja tekoälyn integroimiseen yhä laajemmin erilaisiin energiantuotanto- ja kulutusjärjestelmiin. Jatkokehityksen

myötä tekoälyllä on potentiaalia muuttaa perusteellisesti tapaa, jolla energiamarkkinat toimivat, tuoden mukanaan merkittäviä hyötyjä sekä kuluttajille että ympäristölle.

Tekoälyn soveltaminen sähkön kysyntäjoustopuolella on ollut kasvava tutkimusalue viime vuosina, ja aiheesta on kirjoitettu laajasti. Useita tutkimuksia ja artikkeleita on julkaistu, jotka käsittelevät tekoälyn käyttöä ennustamaan ja hallitsemaan sähkön kulutusta reaaliajassa, mikä on keskeistä älykkäiden sähköverkkojen tehokkuudelle.

Tekoälyyn perustuvat ennustemallit ovat kehittyneet huomattavasti, ja ne kykenevät nyt tarjoamaan tarkempia ennusteita sähköntuotannon ja kulutuksen vaihteluista. Tämä mahdollistaa sähkön paremman integroinnin, erityisesti uusiutuvien energialähteiden, kuten tuuli- ja aurinkovoiman kanssa, joiden tuotanto voi vaihdella suuresti sääolosuhteiden mukaan. (Why AI and energy are the new power couple 2023.)

Monet tutkimukset keskittyvät myös sähkön kysyntäjoustopuolella olevien mallien arviointiin, jossa tekoälyä käytetään monimutkaisten datamäärien analysointiin ja kulutuksen joustavuuden lisäämiseen. Tällaiset mallit auttavat tunnistamaan teoreettiset ja toteutettavat potentiaalit eri teollisuudenalojen ja kulutuskuormien osalta.

Lisäksi sähkön kysyntäjoustopuolella olevien mallien ja ohjelmien kehittäminen on saanut huomiota eri maissa, kuten Euroopassa ja Yhdysvalloissa, missä on tutkittu erilaisia toimintamalleja ja niiden vaikutuksia sähköverkkoihin. Tämä sisältää myös tekoälyn käytön sähkömarkkinoiden dynamiikan ymmärtämiseksi ja ennustamiseksi. (Towards a Sustainable Power System: A Three-Stage Demand Response Potential Evaluation Model 2024.)

Näin ollen, tekoälyn mahdollisuudet sähkön kysyntäjoustopuolella ovat laajalti tutkittu ja dokumentoitu alue, joka kattaa laajan kirjon teknisiä, taloudellisia ja operatiivisia näkökulmia. Näiden tutkimusten tulokset ja jatkokehitys auttavat edelleen parantamaan ja optimoimaan älykkäiden sähköverkkojen toimintaa globaalisti.

6.2 Rajoitteet

Tekoälyn hyödyntäminen sähkön kysyntäjoustossa tarjoaa monia mahdollisuuksia, mutta samanaikaisesti se tuo esiin useita rajoitteita ja haasteita. Näitä rajoitteita tarkastellaan usein kolmesta näkökulmasta: tekniset rajoitteet, taloudelliset kysymykset ja sosiaaliset sekä sääntelyyn liittyvät haasteet.

1. Tekniset rajoitteet:

- Datan laatu ja saatavuus: Tehokas tekoäly vaatii laajoja, tarkkoja ja korkealaatuisia data-aineistoja. Sähkön kulutukseen liittyvän datan kerääminen voi olla haasteellista, erityisesti yksityisyydensuojan ja datan eheyden näkökulmasta.
- Laskentateho: Tekoälyn mallit, erityisesti syvät oppimismallit, vaativat merkittäviä laskentaresursseja, mikä voi olla esteenä niiden laajamittaiselle käyttöönotolle erityisesti pienemmissä ja vähemmän varakkaissa ympäristöissä (Why AI and energy are the new power couple 2023).

2. Taloudelliset rajoitteet:

- Alkuperäiset ja ylläpitokustannukset: Tekoälyn implementointi ja ylläpito vaativat investointeja laitteistoon, ohjelmistoon ja asiantuntijaosaamiseen. Tämä voi olla kallista, ja kustannushyötyanalyysi ei aina oikeuta investointeja, erityisesti lyhyellä aikavälillä. (Using Prices, Automation, and Data to Shape Electricity Demand and Integrate Renewables into the Grid 2022.)
- Skaalautuvuus ja integraatio: Järjestelmien integrointi olemassa oleviin sähköverkkoihin voi vaatia merkittäviä muutoksia infrastruktuuriin, mikä lisää kustannuksia ja teknistä monimutkaisuutta.

3. Sosiaaliset ja sääntelyyn liittyvät haasteet:

- Yksityisyys ja tietoturva: Kuluttajien energiankulutustiedot ovat arkaluonteisia, ja niiden asianmukainen käsittely vaatii kehittyneitä tietoturvaratkaisuja. Tekoölyyn liittyvät tietoturvauhat ja yksityisyyden loukkaukset voivat rajoittaa teknologian hyväksymistä. (Towards a Sustainable Power System: A Three-Stage Demand Response Potential Evaluation Model 2024.)
- Markkinoiden ja kuluttajien vastustus: Perinteiset toimijat energia-alalla ja kuluttajat saattavat vastustaa automaatiota ja tekoölyn käyttöönottoa, mikä voi hidastaa teknologian omaksumista ja laajempaa käyttöönottoa.

Näiden haasteiden huomioon ottaminen ja niiden ratkaisemiseen tähtäävien strategioiden kehittäminen on kriittistä, jos tekoölyn potentiaalia halutaan hyödyntää täysimääräisesti sähkön kysyntäjoustossa.

6.3 Aihe-ehtotuksia jatkotutkimuksiin

Tekoölyn mahdollisuudet sähkön kysyntäjoustossa ovat laajat, ja tästä aihealueesta voisi kehittää useita jatkotutkimusideoita. Tässä muutamia ehdotuksia:

1. Tekoölyn soveltaminen ennakoivaan kysyntäjousto: Tutkimus voisi keskittyä kehittämään algoritmeja, jotka ennustavat sähkön kulutusta tarkemmin hyödyntäen monipuolista dataa, kuten sääolosuhteita, kuluttajien käyttäytymistä ja historiallisia kulutustietoja. Tämä auttaisi optimoimaan kysyntäjousto erityisesti uusiutuvan energian osalta, jossa tuotanto voi olla epävakaa.
2. Integrointi eri energiamuotoihin: Tutkimuksessa voitaisiin selvittää, miten tekoölyä voidaan hyödyntää eri energiamuotojen, kuten aurinko- ja tuulienergian sekä sähkövarastojen, integroimisessa osaksi kysyntäjousto. Tämä sisältäisi keinoja parantaa energian varastointia ja vapauttamista vastaamaan kulutuksen huippuhetkiä.
3. Kuluttajakäyttäytymisen mallintaminen ja simulointi: Kehittää tekoölypohjaisia malleja, jotka simuloivat kuluttajakäyttäytymistä eri skenaarioissa ja kysyntäjoustopotentialissa.

Tämä auttaisi ymmärtämään paremmin, miten kuluttajat todennäköisesti reagoivat dynaamisiin hinnoittelumalleihin ja automaattiseen laitteiden ohjaukseen.

4. Kysyntäjousto ja sähkömarkkinat: Tutkimuksessa voitaisi tutkia, miten tekoäly voisi auttaa sähkömarkkinoiden toimijoita, kuten sähköyhtiöitä ja markkinaregulaattoreita, ymmärtämään paremmin kysyntäjouaston vaikutuksia sähkömarkkinoiden vakaudelle ja hinnoille.
5. Yksityisyyden ja tietoturvan parantaminen kysyntäjoustopuolella: Tutkimuksessa voitaisiin tarkastella, miten tekoälyä voidaan käyttää parantamaan kuluttajien yksityisyyden suoja ja tietoturvaa kysyntäjoustoalustoilla, jotka keräävät ja analysoivat suuria määriä henkilökohtaisia tietoja.

Näiden tutkimusaiheiden edistäminen voi tarjota syvällisempiä oivalluksia ja ratkaisuja, jotka auttavat maksimoimaan tekoälyn hyödyt sähkön kysyntäjoustopuolella ja edistävät kestävästä energijärjestelmien kehitystä.

Lähteet:

Aidon: Älykkäät energia-palvelulaitteet. N.d. WEB sivusto. Viitattu 17.4.2024 <https://aidon.com/fi/ratkaisut/alykkaat-energiapalvelulaitteet/>.

Artificial intelligence (AI) is already making inroads worldwide in health, education and industry, but how can this cutting-edge technology help the world combat and mitigate the effects of climate change? 2023. Verkkojulkaisu. Viitattu 29.3.2024. <https://news.un.org/en/story/2023/11/1143187>.

Deep Learning for Intelligent Demand Response and Smart Grids: A Comprehensive Survey. 2024. - Verkkojulkaisu. Viitattu 20.4.2024. <https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2101.08013>.

E360: the smart residential meter for the IoT era. 2024. WEB-sivusto. Viitattu 20.4.2024. <https://www.landisgyr.fi/product/landisgyr-e360/>.

EM-82-50B VÄRÄHTELYANTURI. N.d. Verkkosivu. Viitattu 2.5.2024. <https://electromen.com/fi/tuotteet/item/>.

Etäluettu ja yhteen paikkaan koostettu tieto luo tuottavuutta. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 17.4.2024. <https://sensormonitor.fi/home>.

How AI unlocks the full value of demand response. 2018. Verkkojulkaisu. Viitattu 20.4.2024. <https://www.energyhub.com/blog/demand-response-artificial-intelligence/>.

How artificial intelligence is helping tackle environmental challenges. 2022. Verkkojulkaisu. Viitattu 29.3.2024. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-artificial-intelligence-helping-tackle-environmental-challenges>.

Huollon inside-juttu: ennakoiva huolto. N.d. Viitattu 20.4.2024. <https://www.rittal.com/fi-fi/Ratkaisut/Technologiat-ja-trendit/Ennakoiva-huolto>.

In Demand Skill Sets. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 20.4.2024 <https://www.udacity.com/school/artificial-intelligence>.

Kirjallisuuskatsauksen ohjaus – perustana tutkimuskysymys ja ohjaushaastattelu. 2022. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.kreodi.fi/arkisto/artikkelit/kirjallisuuskatsauksen-ohjaus-perustana-tutkimuskysymys-ja-ohjaushaastattelu.html>.

KoCos tarjoaa monipuolisia, kannettavia ja pysyvästi asennettavia, laadukkaita sähkönlaadun analysointilaitteita. N.d. Viitattu 21.4.2024 <https://kvalitist.fi/anturit-ja-mittalaitteet/sahkonlaadun-analysointilaitteet/sahkonlaadun-analysointilaitteet-kocos/>.

Kulutusjousto. 2023. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>.

Kysyntäjousto. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.finnenergia.fi/energiatehokkuus/kysyntajousto/>.

Laine, M. 2023. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://blog.spotilla.com/fi/teko%C3%A4lynhy%C3%B6dynt%C3%A4minen-kunnossapidossa>.

Manninen, J. Julkaistu 2023. ANEO Software Oy: Mitä on ennakoiva kunnossapito? by J. Manninen Viitattu 20.4.2024. <https://www.aneo.fi/fi/kunnossapito/mita-on-ennakoiva-kunnossapito>.

Merilehto, A. 2018. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. https://www.merilehto.com/puhuja?utm_source=adwords&utm_medium=cpc&utm_campaign=152698884212&utm_term=merilehto%20antti&utm_content=b&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwoa2xBhACEiwA1sb1BJh_q07-PrbrjTeoltehVrnXunPaH-d263EuxyP8v1UVVpOnzdDyXxCvEcQAvD_BwE.

Monipuoliset Decentlab sensorit/anturit. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 17.4.2024. <https://www.effectio.fi/decentlab-tuotteet/decentlab-anturi-sensorituotteet>.

Mononen, A. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 17.4.2024. <https://www.enertec.fi/natiivi/2136/uusiamittalaitteita-maakaapelien-laadunvalvontaan>.

Power and utilities industry outlook. 2023. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/power-and-utilities-industry-outlook.html>.

Puustinen, J. Unohda ennakoiva huolto – kuntopohjaiset ratkaisut tarjoavat paremman tuoton investoinnillesi by J. Puustinen 2021. Viitattu 20.04.2024. <https://bluugo.fi/fi/blog/forget-predictive-maintenance-condition-based-solutions-provide-better-roi/>.

Pönniö, M. Nordic Growth Oy. Julkaisu 2017. WEB-Sivusto. Viitattu 20.4.2024. <https://nordic-growth.com/fi/katsaus-alykkaat-energiaratkaisut-sahkon-kysyntajouston-mahdollistajia/>.

Reduce Carbon and Costs with the Power of AI. 2021. Verkkojulkaisu. Viitattu 29.3.2024. <https://www.bcg.com/publications/2021/ai-to-reduce-carbon-emissions>.

SAS: Mitä on tekoäly (AI) ja miksi se on tärkeää? N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 29.3.2024. https://www.sas.com/fi_fi/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html.

Siukkonen, T. & Neittaanmäki, P.: Mitä tulisi tietää tekoälystä. 2019. Viitattu 28.3.2024. Docendo.

Suomensähkökäyttäjät: Sähkökäytön kysyntäjousto. N.d. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024 <https://www.elfi.fi/sahkomarkkinat/sahkonkayton-kysyntajousto/>.

Sähkön kulutusjousto – Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä. N.d. WEB sivusto. Viitattu 20.4.2024. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto.

Sähkön kysyntäjoustopilotointi Helsingissä. 2019. Verkkojulkaisu. Viitattu 21.4.2024. <https://energiaviisaat.fi/virtuaalivoimalaitos-hki-1/>.

Tekoäly uudistaa energia-alaa 2024. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024 <https://www.enertec.fi/natiivi/3056/tekoaly-uudistaa-energia-alaa>.

Towards a Sustainable Power System: A Three-Stage Demand Response Potential Evaluation Model. 2024. Verkkojulkaisu. Viitattu 2.5.2024. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/5/1975>.

Using Prices, Automation, and Data to Shape Electricity Demand and Integrate Renewables into the Grid. Julkaistu 2022. Verkkojulkaisu. Viitattu 2.5.2024. <https://www.rff.org/publications/reports/using-prices-automation-and-data-to-shape-electricity-demand-and-integrate-renewables-into-the-grid/>.

Why AI and energy are the new power couple. 2023. Verkkojulkaisu. Viitattu 28.3.2024. <https://www.iea.org/commentaries/why-ai-and-energy-are-the-new-power-couple>.

Liitteet

Liite 1. Lyhenteet ja selitteet

Lyhenteet:

AI	Tekoäly (Englannin kielestä: Artificial Intelligence)
CO2	Hiilidioksidi
IoT	Teollinen Internet (Enlannin kielestä: Internet of Things)
MW	Mega Watti
UN	Yhdistyneet Kansakunnat YK (Englannin kielestä: United Nations UN)
UNEP	Yhdistyneet Kansakunnat: Ympäristö Ohjelma (United Nations Environment Programme)
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos

Selitteet:

CO2-ekvivalentti	(Hiilidioksidiekvivalentti) Standardoitu mittayksikkö, jolla ilmaistaan eri kasvi-huonekaasujen aiheuttaman ilmaston lämpenemisen vaikutuksen suhteellista määrää verrattuna hiilidioksidiin
Eksplisiittisesti	selvästi, suoraan ja avoimesti ilmaistu tai selitetty.
Elspot -markkina	Pohjois-Euroopan suurimmat päivän edeltävät sähkömarkkinat.
Implementointi	suunnitelman, idean, järjestelmän, politiikan tai teknologian käytäntöön soveltamista tai toteuttamista
Nord Pool	Pohjois-Euroopassa toimiva sähköpörssi
Spot-sähkö ja tasesähkö	Termejä, jotka liittyvät sähkömarkkinoiden toimintaan ja sähkön kaupankäyntiin.