

Tuomas Ali-Löytty

TEHOPULAN RISKI ENERGIAMUR- ROKSEN TRANSITIOVAIHEESSA

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Pertti Järventausta
Syyskuu 2024

TIIVISTELMÄ

Tuomas Ali-Löytty: Tehopulan riski energiamurroksen transitiivaiheessa
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatintutkinto-ohjelma, sähkötekniikka
Syyskuu 2024

Yhteiskunta on muutoksessa, sillä fossiilisista polttoaineista pyritään pääsemään eroon ja korvaamaan ne uusiutuvilla energialähteillä. Muutos tapahtuu nopeasti ja sillä on merkittäviä vaikutuksia energijärjestelmäämme. Uusiutuvat energialähteet eivät pysty tuottamaan sähköä tasaisesti kuin fossiiliset polttoaineet. Jotta ongelma saataisiin ratkaistua, tarvitaan uusia teknologisia ratkaisuja tasapainottamaan tilannetta. Osana energiamurrosta maailma sähköistyy ja sähköenergian tarve on kasvussa. Suuressa muutoksessa ovat asuntojen lämmitysratkaisut sekä liikenne. Samalla kun sähköistyminen jatkuu, maaseutu tyhjenee ja sähkön kuluttajat keskittyvät kaupunkiin. Tämän lisäksi sähköverkon ja sähköyhtiöiden tulisi mukautua vaihtelevaan sähkönkulutukseen. Tämä luo kasvaneen riskin tehopulalle ja vikatilanteille sähköverkossa.

Ilmastonmuutoksesta johtuen energiamurrosta halutaan nopeuttaa. Olettaessa käyttöön uusiutuvia energialähteitä ilmenee ongelmatilanteita. Keskeisimpänä ongelmana on, miten turvata energian tasainen tuotanto. Sähköenergian varastointi on merkittävä asia tehopulan hallinnassa, sillä sen avulla voitaisiin tasapainottaa sähkön tuotannossa ilmenevää vaihtelua. Koska energiamurros vaikuttaa moniin yksilöihin ja toimijoihin, aiheuttaa se välttämättä kysymysmerkkejä sekä ongelmia. Työssä pyritään tuomaan esille keskeisimpiä haasteita energiamurroksessa sekä käymään läpi ratkaisuja niihin.

Energiamurroksesta sekä sähköistymisestä johtuen tehopulan riski on kasvanut. Kasvaneeseen riskiin liittyy myös muita tekijöitä, joita tarkastellaan tässä työssä. Jotta tehopulasta ja sen riskistä saataisiin mahdollisimman selkeä kuva, käsitellään aihetta eri näkökulmista. Tärkeää on analysoida miten sitä voidaan ehkäistä ja miten siihen voidaan varautua. Tehopulaa voidaan hillitä sekä ehkäistä monilla tavoilla. Tärkeää on muun muassa kysyntäjousto sekä sähköenergian järkevä käyttö. Lisäksi varastoitu sähköenergia ja sen kuljettaminen muualta ovat tehokas tapa vaikuttaa tehopulaan. Tehopulaa ja siihen varautumista käsitellään niin sähkön kuluttajan kuin myös sähkön tuottajan näkökulmasta. Lisäksi käydään läpi miten minimoida tehopulan negatiivisia vaikutuksia.

Kun tehopulaan liittyvät riskit ja ratkaisut ovat tiedossa, tarjotaan lukijalle katsaus innovatiivisista teknologioista. Innovatiiviset teknologiat ovat suunnitteilla olevia ratkaisuja tehopulan hallintaan, joita voitaisiin mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa. Osa läpikäytävistä innovatiivisista teknologioista on jo käytössä pienessä mittakaavassa. Kuitenkin näiden lisäksi on olemassa teknologisia ratkaisuja, joita ei vielä ole saatu käyttöön merkittävässä mittakaavassa. Lainsäädännöllä on suuri merkitys energiapolitiikkaan sekä tehtäviin ratkaisuihin. Työn lopussa käydään läpi nykyisiä säädöksiä ja tarkastellaan niiden kautta eri toimijoille tulleita velvoitteita.

Avainsanat: Tehopula, Energiamurros, Fossiiliset Polttoaineet, Uusiutuvat Energialähteet, Kysyntäjousto, Energian Varastointi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ENERGIASEKTORIN MURROS	3
2.1 Energiamurroksen haasteet	4
2.2 Lyhytaikaisen tehopulan käsitteet ja määrittelyminen	6
3. TEHOPULAN RISKI ENERGIAMURROKSESSA	7
3.1 Riskienhallinta ja tunnistaminen sähköjakeluverkossa	7
3.2 Energiantuotannon- ja kulutuksen epävarmuudet	9
4. ENERGIAMURROKSEN ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET	12
4.1 Nykyiset ratkaisut tehopulan hallintaan	12
4.1.1 Energian varastointi ja joustavat kulutusratkaisut	13
4.1.2 Sähkökäyttäjän varautuminen sähköpulaan	14
5. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	16
5.1 Maailmanlaajuiset trendit	16
5.2 Innovatiiviset teknologiat ja strategiat	17
5.3 Lainsäädäntö	19
6. YHTEENVETO	21
LÄHTEET	22

1. JOHDANTO

Maailma sähköistyy nopeasti ja sähköenergian tarve kasvaa. Samaan aikaan fossiilisista polttoaineista pyritään pääsemään eroon ja korvaamaan ne uusiutuvilla energialähteillä. Kyseinen muutos luo kasvaneen riskin tehopulalle. Joudumme kohtaamaan muutoksen myötä uusia tilanteita, joita voi olla vaikea ennakoida ja huomioida.

Ilmastonmuutoksesta johtuen fossiilisista polttoaineista pyritään pääsemään eroon ja korvaamaan ne uusiutuvilla energialähteillä. Fossiilisilla polttoaineilla tarkoitetaan eloperäisistä materiaaleista syntyneitä polttoaineita, jotka ovat pitkän ajan kuluessa muovaantuneet ja varastoituneet maaperään. Fossiiliset polttoaineet eivät uusiudu, joten ne ovat katoava luonnonvara [6]. Fossiilisia polttoaineita ovat muun muassa turve, maakaasu ja öljy. Uusiutuvilla energialähteillä tarkoitetaan puolestaan energialähteitä, jotka uusiutuvat yhtä nopeasti tai nopeammin kuin niitä käytetään [7]. Uusiutuviin energialähteisiin luetaan esimerkiksi tuuli-, vesi- ja aurinkoenergia. Ne eivät kuitenkaan pysty tuottamaan sähköä yhtä tasaisesti kuin fossiiliset polttoaineet. Siksi uusiutuvien energialähteiden käyttö lisää tehopulan riskiä. Puhtaan energian suosion kasvaessa uusiutuvat energialähteet ovat suosittuja vaihtoehtoja. Uusiutuvia energialähteitä halutaan hyödyntää niin rakennettaessa uutta teknologiaa kuin sähköä kuluttavaa infrastruktuuria.

Maailma on jatkuvassa muutoksessa, josta kertoo osaltaan myös sähköistyminen. Sähköistyminen tarkoittaa jonkun laitteen tai prosessin muuttamista sähköllä toimivaksi muiden energiamuotojen hyödyntämisen sijasta [8]. Sähköistymisen suurimpina etuina voidaan pitää energiatehokkuutta, alhaisempia energiakustannuksia sekä halua siirtyä puhtaampaan energiaan [8]. Halu siirtyä puhtaampaan energiaan kertoo myös ilmastonmuutoksen vaikutuksesta sähköistymisen nopeaan etenemiseen. Sähköistyminen on edennyt nopealla tahdilla, johon vaikuttavat ilmastonmuutoksen lisäksi myös väestönkasvu ja kaupungistuminen.

Väestön määrä maapallolla kasvaa jatkuvasti, joka tarkoittaa enemmän sähkön käyttäjiä. Väestönkasvun lisäksi kaupungistuminen etenee nopeasti, joka keskittää sähkön tarvetta ja kulutusta tietyille alueille. Sähkön kulutus kertoo nimensä mukaisesti, paljonko sähköä kuluu jollain ajanjaksolla esimerkiksi omakotitalossa tai teollisuudessa. Sähkön kulutuksen keskittyessä tietyille alueille ja ollessa kasvussa, saattaa ilmetä haasteita

energian siirrossa. Sähköverkot ovat osittain vanhaa infrastruktuuria, joita ei ole suunniteltu kestävästi kasvavaa sähkönkulutusta. Sähköverkon vanhaan infrastruktuuriin ja muuttuvaan maailman tilanteeseen tulee pystyä reagoimaan sen vaatimalla tavalla, ja toimintaa kehittämällä.

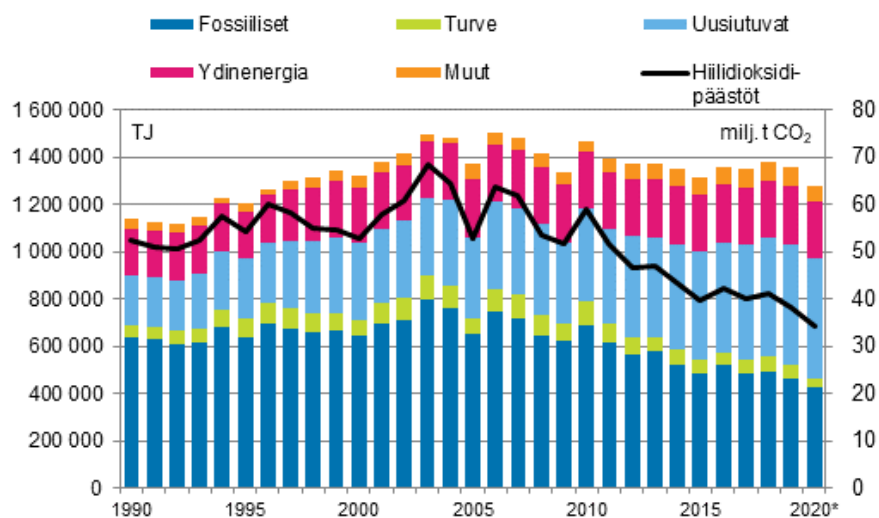
Tämän työn tavoitteena on perehtyä energiamurrokseen, tehopulan riskiin sekä keinoihin, joilla voidaan vähentää tehopulan riskiä sekä energia-alalla vallitseviin trendeihin. Lisäksi työ käsittelee energia-alan tulevaisuudennäkymiä. Työ alkaa energiamurroksen käsittelemisellä, jonka jälkeen perehdytään tehopulaan ja sen riskiin energiamurroksessa. Tehopulan riskin käsittelemisen jälkeen perehdytään, miten tehopulatilanteita voidaan hallita ja miten niihin voidaan varautua. Lopuksi vuorossa on katsaus tulevaisuudennäkymiin sekä innovatiivisiin teknologioihin.

2. ENERGIASEKTORIN MURROS

Energiasektori on muutoksessa, koska fossiilisia polttoaineita pyritään korvaamaan uusiutuvalla energialla. Muutoksesta käytetään termiä energiamurros. Termi energiamurros viittaa siirtymään fossiilisista polttoaineista kohti ympäristöystävällisempiä energiamuotoja [1]. Energiamurroksen tavoitteena on korvata fossiilisia polttoaineita lisäämällä esimerkiksi aurinkovoimaa, tuulienergiaa ja biopolttoaineita [1]. Muuttuvien energiamuotojen lisäksi energiamurros käsittelee kulutuksellisia valintoja, materiaaleja ja näiden kestävyttä. Koska ilmasto lämpenee ja hiilidioksidipäästöjä halutaan vähentää, on kehitettävä kestävämpiä ratkaisuja uusiin innovaatioihin ja arkipäivän toimintoihin.

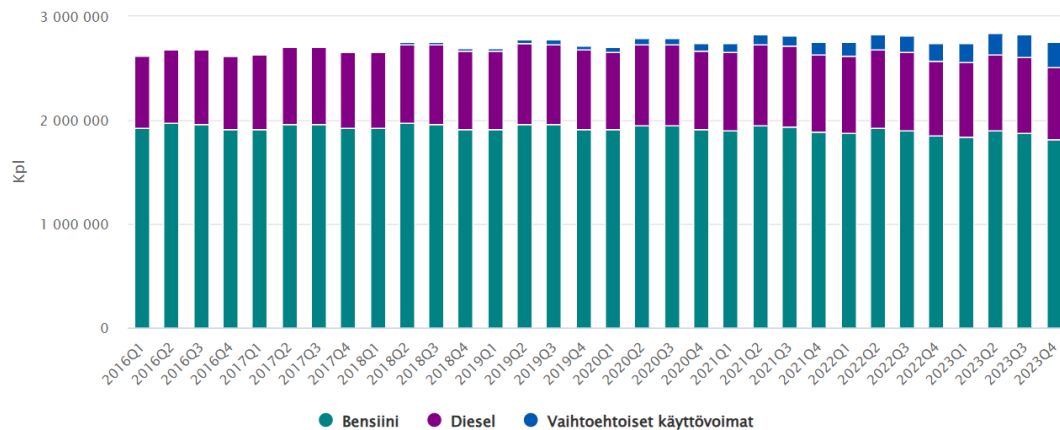
Suuressa murroksessa ovat talojen lämmitysratkaisut sekä liikenteen sähköistyminen. Suomella on tavoitteena luopua fossiilisen öljyn käytöstä rakennuksien lämmityksessä vuoteen 2030 mennessä [2]. Kun luovutaan rakennusten öljylämmityksestä, suositaan jatkossa lisää muita lämmitysmuotoja. Niitä ovat esimerkiksi sähkö, pelletti, maalämpö tai hake. Liikenteen sähköistyminen lisää myös osaltaan sähkönkulutusta. Kun autot sähköistyvät, tarvitaan lisää latauspaikkoja. Kun moni arkipäiväinen asia sähköistyy, luo tämä kasvavan riskin tehopolulle. Tehopula saattaa ilmetä uusissa yhteyksissä, joita ei välttämättä olla ennen ajateltu. Koska moni arkipäiväinen asia toimii sähköllä, on energiamurroksella vaikutusta lähes kaikkiin ihmisiin sekä toimintoihin.

Kuva 1 esittää energian kokonaiskulutuksen sekä hiilidioksidipäästöt Suomessa vuosina 1990-2020. Vasemmalta pystyakselilta löytyy energiankokonaiskulutus ja oikealta pystyakselilta hiilidioksidipäästöt. Vaaka-akselilla tarkastellaan vuotta.



Kuva 1. Energian kokonaiskulutus ja hiilidioksidipäästöt Suomessa 1990–2020 [18].

Kuvasta 1 voidaan havaita uusiutuvan energian kasvanut osuus energiankulutuksessa, kun taas fossiilisen energian kulutus on laskenut. Lisäksi kuvasta voidaan havaita hiilidioksidipäästöjen lähes puolittuneen vuodesta 2003 vuoteen 2020. Kuva havainnollistaa kuinka Suomi on pystynyt vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä sekä tuomaan niille vaihtoehtoisia energiamuotoja. Kuvasta voidaan myös päätellä energiamurroksen olevan käynnissä ja etenevän. Tästä kertoo tasainen energian kokonaiskulutus viime vuosina ja uusiutuvien energianlähteiden kasvanut osuus kokonaisenergian kulutuksesta. Kuva 2 kertoo vaihtoehtoisten käyttövoimien osuuden liikennekäytössä olevista henkilöautoista. Pystyakselilla kerrotaan autojen kappalemäärä ja vaaka-akselilla vuosi. Pylvään väri kertoo onko kyseessä bensiini, diesel vai vaihtoehtoinen käyttövoima.



Kuva 2. Vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus liikennekäytössä olevista henkilöautoista [19].

Kuvassa 2 esitetty vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus liikennekäytössä olevista henkilöautoista havainnollistaa Suomen liikenteen sähköistymisen tilaa. Kuvasta voidaan todeta vaihtoehtoisten käyttövoimien kasvanut suosio viime vuosina, vaikka suurin osa tieliikennekäytössä olevista autoista on edelleen bensiinillä käyviä. Kuvasta voidaan myös havaita dieselautojen vähentynyt osuus tieliikennekäytössä.

2.1 Energiamurroksen haasteet

Energiamurros on laaja sekä kokonaisvaltainen tapahtuma, kuten ovat myös sen vaikutukset. Jotta energiamurros onnistuisi, sen haasteita täytyy miettiä laajasti sekä pyrkiä ratkaisemaan ne parhaansa mukaan. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi energiamurroksen on tapahduttava nopeasti ja sille onkin asetettu määrätietoiset tavoitteet, niin EU:ssa kuin Suomessa.

Energiamurroksen hidasteena voidaan pitää teknologisia haasteita. Teknologiset haasteita ovat muun muassa nykyisen verkon infrastruktuuri, sekä energian varastointi. Uuteen, kestävämpään ja parempaan verkkoinfrastruktuuriin tulisi panostaa Suomessa, sekä maailmalla. Vuonna 2019 Maailmanpankki teetti tutkimuksen, jonka mukaan tulisi maailmanlaajuisesti investoida 90 biljoonaa dollaria infrastruktuuriin, jotta saavutettaisiin asetetut ilmastotavoitteet vuoteen 2030 mennessä [1]. Kuten tutkimuksesta voidaan päätellä, energiamurroksen haasteena on myös investoinnit yleensä. Tutkimuksessa huomioitiin vain infrastruktuuriset investoinnit, mutta todellinen investointien määrä olisi todennäköisesti suurempi.

Verkon infrastruktuurin ja investointien lisäksi sähköenergian varastointi on suuri haaste energiamurroksessa. Sähköenergian varastoinnin merkitys on nousussa, koska yhä enemmän tuotetaan sähköä muun muassa tuulivoimalla ja aurinkovoimalla. Nämä tuotantomuodot ovat sääolosuhteista riippuvaisia. Koska sähköä ei ole jatkuvasti saatavilla näistä tuotantomuodoista, tulisi sähköenergian varastointiin panostaa. Sähköä voidaan varastoida käyttämällä akkuja tai muuntamalla se johonkin muuhun energianmuotoon. Akkujen käyttöä suurena energiavarastona saattaa kuitenkin rajoittaa niiden heikentyvä varastointikapasiteetti ikääntyessä. Samalla se vaikuttaa akkujen taloudelliseen kannattavuuteen. [3]

Energiamurros tuo mukanaan monia pohdittavia asioita, joista yksi merkittävimmistä on poliittiset- ja sosiaaliset haasteet. Monet arkipäivän toiminnot on vahvasti sidottu fossiilisten polttoaineiden ympärille. Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentyessä monien ihmisten työpaikat ovat vaarassa. Vuonna 2022 öljyteollisuuden parissa työskenteli maailmanlaajuisesti noin 7,6 miljoonaa ihmistä [4]. Energiamurroksen myötä tulee myös uusia työpaikkoja. Tällöin täytyy pohtia, pystytäänkö olemassa olevista öljyteollisuuden työpaikoista kehittämään ja kouluttamaan uusia osaajia energiamurroksen tueksi. Energiamurroksella on suuri vaikutus maaseudulla asuviin henkilöihin. Monien talojen lämmitysjärjestelmä turvautuu öljylämmitykseen sekä välimatkat ovat pidempiä kuin kaupungissa. Välimatkojen pituuden vuoksi monet turvautuvat bensakäyttöisiin ajoneuvoihin vaihtoehtoisten käyttövoimien sijasta. Edistäessä energiamurrosta tulee siis huomioida eri ryhmien tarpeet ja realiteetit parhaansa mukaan sekä pyrkiä tasoittamaan energiamurroksesta syntyviä vaikutuksia eri ryhmien välillä.

2.2 Lyhytaikaisen tehopulan käsitteet ja määritteleminen

Tehopulalla viitataan tilanteeseen, jossa sähkön tuotanto sekä tuonti eivät riitä kattamaan sähkön kulutusta [5]. Tehopula on harvinainen ilmiö Suomessa, mutta sen saama huomion määrä on kasvanut. Tähän on vaikuttanut energiantuotannon muutokset fossiilista polttoaineista uusiutuviin energianlähteisiin sekä kasvava sähkönkulutus ja sähköistyminen. Sähkön tuotannon ja kulutuksen määrien tulisi aina olla yhtä suuria. Jos ne poikkeavat toisistaan, voi syntyä vikatilanteita tai tehopulaa.

Mikäli sähkön tuotannon ja kulutuksen määrä poikkeavat toisistaan ja syntyy tehopulaa, voidaan tilannetta auttaa reservikapasiteetilla. Sillä tarkoitetaan tuotantolaitoksia, kulukskohteita ja energiavarastoja, jotka pystyvät muuttamaan tehoaan tarpeen mukaan [38]. Reservikapasiteetin lisäksi tehopulaan ja sen hallintaan liittyy vahvasti reservimarkkinat. Reservimarkkinapaikkoja ovat muun muassa taajuusohjattu käyttöreservi, nopea taajuusreservi (FFR) ja automaattinen taajuudenhallinnanreservi (aFRR) [38]. Taajuusohjattua käyttöreserviä käytetään verkon normaalitilan taajuuden säätöön. Nopeaa taajuusreserviä ja automaattista taajuudenhallintareserviä käytetään puolestaan tiettyjen kulutustuntien tasapainottamiseksi ja sen määrä vaihtelee. [38]

Reservimarkkinoilla sähkömarkkinaosapuolet laativat etukäteen suunnitelman, jolla tasapainotetaan sähkön kulutus ja tuotanto. Koska sähkön kulutusta sekä tuotantoa ei voi täysin ennustaa, käytetään ilmenevien poikkeamien tasapainottamiseen reservimarkkinoita. [20] Reservimarkkinoilla tehdään sopimus sähkönmyyjän ja markkinoiden ylläpitäjän välillä, joka on Suomessa Fingrid. Mikäli sähköenergiaa joudutaan käyttämään sähkön kulutuksen ja tuotannon tasapainottamiseen, sähkönmyyjä saa sähköstään sopimuksen mukaisen korvauksen.

Tehopulan hallintaan liittyy voimakkaasti myös huipputehon tarve. Huipputehon tarve kuvastaa ajankohtaa, jolloin energian tarve on suurimmillaan [39]. Ajanjakso on yleensä lyhyt. Se kuitenkin kertoo milloin vuorokaudesta energian tarve on suurimmillaan. Jos huipputehon tarve tiedetään, voidaan ennalta varautua mahdollisiin vikatilanteisiin tai tehopulaan.

3. TEHOPULAN RISKI ENERGIAMURROKSESSA

Tehopulan riski on nousussa, mikä johtuu nopeasta energiamurroksesta. Liikenne sähköistyy vauhdilla sekä talojen lämmitysratkaisut nojaavat entistä enemmän sähkөөn. Energian tuotannon tulisi olla yhtä suuri kuin energian kulutuksen, mutta näin ei aina ole. Kun energian tuotanto poikkeaa energian kulutuksesta, voi syntyä vikatiloja tai sähköpu-
laa. Energiamurros luo uusia tilanteita, joihin voi olla vaikea varautua. Varautumiseen auttaa, kun tiedostaa olemassa olevat riskit sekä pystyy tunnistamaan ne. Riskejä voi tosin olla vaikea tunnistaa, koska niitä voi ilmetä monissa paikoissa ja eri muodoissa. Jotta riskit ja niiden vaikutukset jäisivät mahdollisimman vähäisiksi, täytyy ne tunnistaa aikaisessa vaiheessa.

3.1 Riskienhallinta ja tunnistaminen sähkönjakeluverkossa

Puhuttaessa riskienhallinnasta energijärjestelmissä voidaan se määritellä olevan riskien tunnistamista, arviointia, käsittelyä ja hallintaa [9]. Energijärjestelmissä tapahtuva riskienhallinta ja tunnistaminen voidaan luokitella kuuluvan operatiivisiin riskeihin [9]. Operatiivisiin riskeihin luetaan muun muassa toimintahäiriöt verkossa tai tuotantolaitoksissa sekä osaamisen puute [9].

Erilaisia toimintahäiriöitä sähkön jakeluverkossa ovat muun muassa maasulku, oikosulku ja johdinkatkeamat [10]. Toimintahäiriöillä sähkönjakelussa on vaikutusta asiakkaisiin sekä yhteiskunnan toimintoihin. Kuitenkin toimintahäiriöt jakeluverkossa aiheuttavat yleensä ongelmia sähkön saantiin paikallisesti, eivätkä niinkään valtakunnallisesti. Vikoihin energijärjestelmissä voi kuitenkin olla vaikea varautua, koska osa vikojen aiheuttajista ovat täysin ulkopuolisia. Sähkön jakeluverkon johtojen päälle kaatuva puu on esimerkki ulkoisesta vian aiheuttajasta. Vikoja saattaa aiheutua myös ihmisten huolimattomuudesta rakennustöissä, tai eläinten takia. Häiriöitä voi ilmetä myös verkossa käytetävissä laitteistossa, kuten muuntajissa. Vioista aiheutuvat haitat voidaan jakaa vikojen keston perusteella niin sanottuihin pysyviin vikoihin ja ohimeneviin vikoihin. [10] Kuten sähkön jakeluverkossa, niin tuotantolaitoksissa ilmenevät viat voivat myös johtua käytössä olevista laitteista. Lisäksi tuotantolaitoksissa ja sähkön jakeluverkoissa vikatilanteen voi laukaista osaamattomuuden puute erilaisissa tilanteissa. Monesti tuotantolaitoksissa tapahtuvissa vikatilanteilla on laajempi vaikutus eri yhteisöihin sekä sähkönkuluttajiin, kuin sähkönjakeluverkossa tapahtuvilla häiriöillä.

Kun tiedostetaan mahdolliset riskit sähkön jakeluverkossa ja energiajärjestelmissä, on näihin tällöin helpompi varautua. Energiajärjestelmissä mahdollisesti esiintyviä riskejä pyritään vähentämään ennaltaehkäisevällä toiminnalla. Tärkeä vikoja ennaltaehkäisevä toimenpide on sähköverkon ja tuotantolaitoksen kunnossapito ja kunnonvalvonta [10]. Sähkönjakeluverkon kunnonvalvontaa voidaan tehdä kävelytarkastuksin, tarkkailemalla helikopterista tai dronen tuottaman kuvan avulla [11]. Pitämällä säännöllisiä tarkastuksia ja valvomalla toimintaa saadaan ennaltaehkäistyä tehokkaasti mahdollisia häiriötilanteita. Esimerkiksi sähköverkon muuntajille voidaan pitää kuntomittauksia, joita ovat DGA (dissolved gas analysis) ja FRA (frequency response analysis) [11].

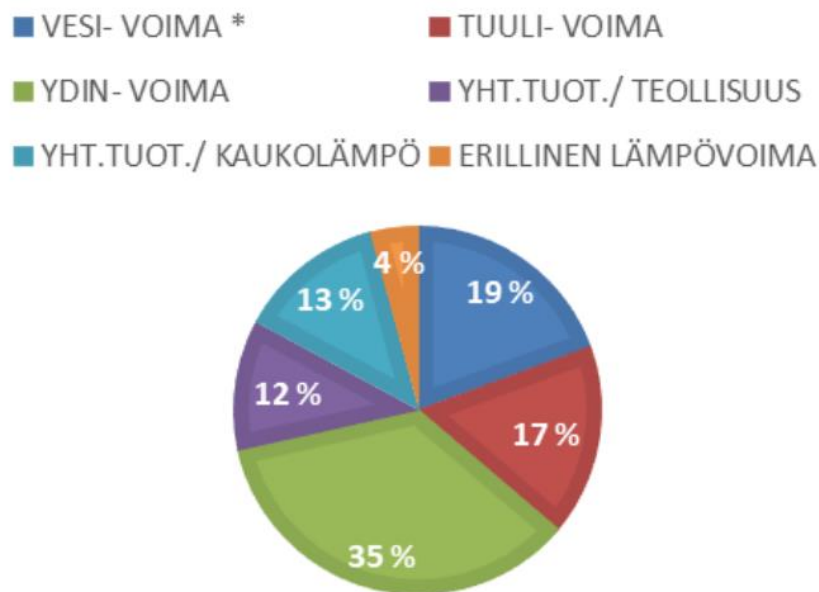
Sähköverkossa ilmeneviä ulkoisia vikoja pystytään vähentämään kasvattamalla johtokadun suuruutta tai kaapeloidamalla [10]. Johtokadun suuruuden kasvattaminen tarkoittaa puiden sekä muiden kasvien raivaamista sähköverkon vierestä, joista voisi mahdollisesti olla vaaraa sähköverkolle. Suomessa sähköverkkoa kaapeloidaan jatkuvasti, jotta saavutettaisiin säävarma verkko. Kaapelointi on tehokas tapa vähentää sääolosuhteista aiheutuvia häiriötilanteita sähkön jakeluverkossa. Kaapeloinnilla on kuitenkin haittoja, joita ovat kalliit rakentamiskustannukset ja vikojen vaikea korjaaminen [12].

Energiajärjestelmässä esiintyviä riskejä on monia ja niiden hallinta on hyvin tärkeää verkkoyhtiölle sekä tuotantolaitokselle. Riskejä voidaan hallita jatkuvien mittausten ja tarkkailun avulla. Esimerkiksi muuntajille tehtävät mittaukset DGA ja FRA antavat tietoa muuntajien toiminnasta. Sähköverkolle voidaan myös suorittaa off-line-mittauksia, kun ne ovat kytkettynä pois päältä, ja on-line-mittauksia verkon ollessa toiminnassa [11]. Mittaustulosten ollessa hälyttävät voidaan ryhtyä välittömiin jatkotoimenpiteisiin, ilman vikatilanteen syntymistä. Kuluttajien käyttämälle sähkövirralle on myös asetettu standardit, joita tuotantolaitoksen ja verkkoyhtiön on noudatettava. Mikäli arvoissa havaitaan poikkeamia, voidaan näihin reagoida ja selvittää syy ennen vikatilaa. Riskienhallintaa on myös lisätyöntekijöiden palkkaaminen töihin sääolosuhteiden ollessa epävarmat. Näin voidaan ennakoida mahdollisia vikatilanteita ja reagoida niihin nopeammin.

Vaikka energiajärjestelmien mahdollisiin vikoihin varauduttaisiin ja mahdolliset riskit olisivat hallinnassa, aina vikatilanteita ei voi välttää. Tehopulan riskin ollessa kasvussa jatkuvasta sähköistymisestä johtuen, on tärkeää tiedostaa olemassa olevat riskit. Kun riskit ovat tiedossa täytyy hallita niiden ehkäiseminen sekä osata niiden korjaaminen. Mikäli sähkönjakelussa on häiriö, kuormittaa se resursseja ja mahdollisesti jotain muuta osaa verkosta. Sähköenergian tarpeen ollessa jatkuva sähkökatkoksista on yhä enemmän haittaa ihmisille sekä yhteiskunnalle.

3.2 Energiantuotannon- ja kulutuksen epävarmuudet

Koska energiaa tuotetaan monesta eri lähteestä, on tuotannossa monia epävarmuuksia. Esimerkiksi tuulivoiman tuottaman energian osuus on kasvanut Suomessa tasaisesti [13]. Tuulivoimatuotantoon liittyvä epävarmuustekijä on tuulen voimakkuus. Tuulen voimakkuus luo vaihtelua tuotantomääriin ja tarvitsee tasaiseen tuotantoon muita energialähteitä tuekseen tai sähkön varastointia [14]. Aurinkovoima on myös yleistynyt energiantuotantomuoto ja on riippuvainen auringosta, kuten tuulivoima tuulesta. Kuvassa 3 on esitettyä Suomen sähköntuotanto lähteittäin vuonna 2022.

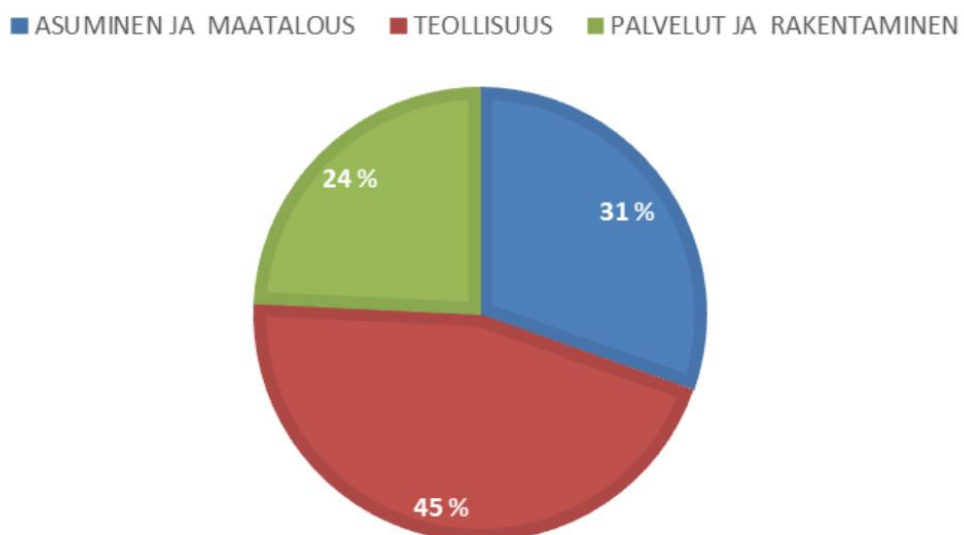


Kuva 3. Suomen sähköntuotanto lähteittäin 2022 [42].

Kuvasta 3 voidaan havaita ydinvoiman olleen suurin yksittäinen sähkön tuotantomuoto Suomessa vuonna 2022. Seuraavina tulevat vesivoima ja tuulivoima. Kuvasta 3 huomataan, että uusiutuvien energialähteiden osuus vuoden 2022 sähkön tuotannosta on huomattavan suuri. Energiantuotannon lähteet ovat monipuolistumassa sekä samaan aikaan uusiutuvien energiamuotojen osuus sähköntuotannosta kasvaa.

Tulevaisuudessa sähköenergiaa voidaan tuottaa vedyn avulla yhä enemmän. Vedyllä voidaan tuottaa energiaa esimerkiksi liikenteeseen ja lämmitykseen. Puhuttaessa vedystä energiamuotona, on olemassa sinistä vetyä ja vihreää vetyä. Sininen vety viittaa tilanteeseen, jossa vetyä tuotetaan fossiilisesta lähteestä. Vihreän vedyn tuotanto puolestaan perustuu uusiutuvalla energialla toteutettavaan veden elektrolyysiprosessiin. [43] Ilmastonmuutoksesta johtuen tulevaisuudessa vihreä vety olisi suositumpi vaihtoehto. Vaikka vedystä saadaan paljon sähköenergiaa, sen hyödyntämisessä on ristiriita. Vihreän vedyn tuottamiseen tarvitaan paljon energiaa. Sen lisäksi uusiutuvan energian tuotanto on epätasaista, joka lisää tehopulan riskiä hetkittäin.

Energiankulutuksessa on monia epävarmuustekijöitä. Tämä johtuu muun muassa laajasta asiakaskunnasta, vaihtelevista olosuhteista sekä ulkoisista tekijöistä. Kuva 4 havainnollistaa sähkön kulutusta sektoreittain Suomessa vuonna 2022.



Kuva 4. Sähkön kulutus sektoreittain Suomessa vuonna 2022 [41].

Kuten kuvasta 4 huomataan, niin sähkö kulutetaan laajalla rintamalla. Kuvasta nähdään, että merkittävin sähkönkuluttaja on teollisuus. Tämän jälkeen suurimpana on asuminen ja maatalous. Viimeisenä on palvelut ja rakentaminen. Kuva 4 esittää vuositason energiakäytön jakaumaa. Pitää huomioida että yksittäisen huipputunnin kulutus voi jakaantua hyvinkin eri tavalla. Esimerkiksi kovilla talvipakkasilla lämmityksen sekä asumisen sähkön kulutus nousee ja vastaavasti teollisuuden laskee. Kuten kuvasta 3 nähdään, asiakaskunta on laaja ja niiden tarpeet ovat erilaiset. Tämä aiheuttaa paljon erilaisia vaatimuksia niin verkkoyhtiöille, kuin tuotantolaitoksille.

Sähkön kulutuksessa on useita epävarmuustekijöitä, jotka vaikuttavat tarvittavan energian määrään. Sähkön hinnassa on viime vuosina ollut suuria vaihteluja, jotka heijastuvat sähköenergian kulutukseen. Vuonna 2023 Suomessa suurin yksittäisen tunnin hinta sähkölle oli 96,37 snt/kWh 21.11.2023 kello 16:00 ja alimmillaan -62,00 snt/kWh 24.11.2023 kello 15:00 [15]. Suuret sähkön hinnan vaihtelut saavat kuluttajat epävarmoiksi ja säästämään omasta sähkön kulutuksestaan. Pörssisähkösopimuksen tehneet kuluttajat ovatkin vähentäneet omaa sähkönkulutustansa kalliiden tuntien aikana ja täten pystyneet säästämään [16]. Kun säästäminen tapahtuu odottamattomasti voi syntyä yli- tuotantoa, koska kulutus ei ole yhtä suurta kuin tuotanto.

Suomessa vuodenajalla on suuri merkitys sähköenergian tarpeeseen. Talojen sähköistyvät lämmitysratkaisut lisäävät sähköntarvetta talvisin ja sähköenergiaa saatetaan tarvita jopa tuplasti kesään verrattuna [16]. Kulutuksen kasvaessa radikaalisti, pyrkivät tuotantolaitokset ennustamaan kysyntää energian tarpeelle. Sähköenergian kulutusta voi olla vaikea ennustaa, mutta keskeinen apuväline sen arvioimiseen on sääennuste [16]. Pitkät ja kylmät ajanjaksot kuitenkin altistavat yhteiskuntaa sähköpulan riskille [16]. Valitseviin sääolosuhteisiin ei voida vaikuttaa vaan niiden kanssa on pyrittävä elämään.

Toinen ihmisestä riippumaton haitta sähköenergian kulutukselle on ulkoiset riskit. Mikäli myrsky kaataa puita vahingoittaen verkon komponentteja, saattaa tämä keskeyttää sähkön jakelun ainakin hetkellisesti. Jotta energiantuotannon ja kulutuksen epävarmuutta saataisiin pienennettyä, tulee verkkoa päivittää sekä modernisoida. Sähköverkon komponentit, jotka käyttävät uutta teknologiaa ja pystyvät kommunikoimaan keskenään voi vähentää tehokkaasti sähkökatkoksia sekä niiden kestoa [17].

4. ENERGIAMURROKSEN ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET

Energiamurroksen onnistumiseksi on työskenneltävä määrätietoisesti. Lisäksi yhteiskunnan toimintaa on parannettava jatkuvasti. Tämä tarkoittaa, että on keksittävä uusia ratkaisuja tehopulatilanteiden hallintaan sekä sähkön siirtoon. On myös tärkeää huomioida käytettävät strategiat niin sähkön tuotannossa, kuin ongelmatilanteissa.

4.1 Nykyiset ratkaisut tehopulan hallintaan

Tehopulatilanteiden hallinta on tärkeää yhteiskunnan toimivuuden varmistamiseksi. Tehopulaa pystytään hallitsemaan sekä vähentämään sen negatiivisia vaikutuksia. Sähköenergiaa tarvitaan yhteiskunnassa laajalla alueella ja monien käyttäjien tarpeisiin. Täten tehokas tapa hallita tehopulaa on kuluttajien kysyntäjousto. Kysyntäjousto tarkoittaa sähkönkäytön hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä sähkön muuttuvan tuotantotilanteen mukaan [20]. Jos sähköenergiaa on saatavissa vähän johtuen häiriöstä tai on riski tehopulalle, kuluttajia voidaan ohjeistaa välttämään sähkön käyttöä. Näin sähköenergiaa säästyy yhteiskunnalle kriittisiin toimintoihin ja voidaan välttyä mahdolliselta tehopulalta.

Tehopulatilanteita voidaan hallita myös lisäämällä sähköntuotantoa. Sähköntuotantoa voidaan lisätä maksimoimalla sen hetkinen tuotantokapasiteetti. Mikäli tuotantokapasiteetin maksimoiminen ei riitä, Suomessa on varavoimalaitoksia. Varavoimalaitoksia voidaan kytkeä päälle tukemaan sähköntuotantoa. Fingridillä on varavoimalaitoksia eri puolilla Suomea, ja näiden kokonaiskapasiteetti on noin 1200 MW [21]. Osa varavoimalaitoksista voidaan kytkeä tuottamaan sähköä minuuteissa ja joidenkin kytkemisessä kestää kauemmin.

Koska sähköenergian kulutuksen tulee olla yhtä suuri kuin sen tuotannon, on tehopulatilanteiden hallitseminen tärkeää. Uusiutuvien energialähteiden tuottaman sähköenergian määrän ollessa kasvussa sähkön varastoinnin tärkeys korostuu. Sähköenergiaa voidaan varastoida, mutta uusia ja tehokkaita varastointimenetelmiä tarvitaan lisää. Varastoidun sähkön avulla voidaan kuitenkin lieventää tehopulan riskiä. Mikäli on ennakoitavissa kulutushuippuja, voidaan myös näitä tasoittaa käyttämällä varastoitua sähköenergiaa. Mikäli varastoidun sähköenergian käyttäminen ei ole riittävä ratkaisu tehopulan hallintaan, voidaan sähköä myös tuoda muualta siirtokapasiteetin mahdollistamissa rajoissa. Suomi tuo sähköä muun muassa muista pohjoismaista omaan käyttöönsä.

Mikäli sähköenergia ei tule riittämään voidaan tehopulaa hallita äärimmäisellä keinolla, eli ohjatuilla sähkökatkoilla. Ohjattu sähkökatko tarkoittaa tilannetta, jossa asiakkaalta katkaistaan sähkö tarkoituksellisesti tasapainottamaan sähköntuotantoa ja sähkönkulutusta [24]. Katkaisemalla sähkönjakelu asiakkaille saadaan tasapainotettua sähköverkon kuormitustilannetta. Mikäli verkon vakauttamiseksi ohjatun sähkökatkoksen pitää kestää kauan, pyritään sähkökatkoksesta olevaa aluetta vaihtelemaan. Sähköt kuitenkin pyritään pitämään päällä yhteiskunnalle kriittisissä kohteissa, kuten sairaaloissa [24]. Ohjattuja sähkökatkoja pyritään kuitenkin välttämään, sillä sähkön katkaiseminen ihmisiltä ei ole tarkoituksenmukaista. Tehopulan riskin kasvaessa tulee kuitenkin miettiä kaikkia mahdollisia keinoja sen hallitsemiseksi.

4.1.1 Energian varastointi ja joustavat kulutusratkaisut

Sähköenergiaa pystytään varastoimaan erilaisilla tekniikoilla, ja käyttämään myöhemmin tarvittaessa. Sähköenergian varastointiin voidaan käyttää muun muassa kemiallisia-, mekaanisia- sekä sähköisiä varastointimenetelmiä [22]. Suomessa on tehty investointeja energian varastointijärjestelmiin. Vuonna 2023 Taaleri Energia uutisoi rakentavansa Lempäälään 30 MW / 36 MWh energian varastointijärjestelmän. Järjestelmä perustuu akkuteknologiaan ja on yksi Suomen suurimmista taajuusreservimarkkinoilla toimivista energiavarastoista. [23] Kuvassa 5 on Lempäälän Energian rakentama aurinkovoimala.



Kuva 5. Lempäälän aurinkovoimala. Lainattu lähteestä [40].

Kuvassa 5 näkyvä aurinkovoimala nostattaa yritysalueen omavaraisuutta. Omavaraisuus on tärkeää huoltovarmuuden parantamiseksi, sillä yritykset saavat energiaa vaikei valtakunnan verkosta sitä tulisi [40]. Sähköenergian varastoinnin merkitys on kasvussa, sillä uusiutuvien energiamuotojen käyttöönotto vaatii sähköenergian varastointia.

Koska sähköenergian kulutuksen ja tuotannon pitää olla tasapainossa, on sähkökuluttajalla suuri mahdollisuus vaikuttaa tähän. Kysyntäjousto on tehokas tapa tuotannon ja kulutuksen suhteen tasapainottamiseen. Lisäksi tulee miettiä muitakin keinoja, jotka kannustavat kuluttajaa siirtämään omaa sähkökäyttöään huippuaikojen ulkopuolelle. Sähkön hinta on tehokas kannustin siirtämään omaa kulutusta huippuaikojen ulkopuolelle. Pörssisähkösopimuksen omaavat asiakkaat ovat saaneet säästettyä omasta sähkölaskustaan keskittämällä käyttönsä huippuaikojen ulkopuolelle [16]. Sähkön kulutuksesta puhuttaessa esiin nousee väistämättä sähkökäyttäjien mahdollisuus joustaa omasta kulutuksestaan. Sähköenergian järkevä käyttö on kaiken perusta [27]. Sähköenergian järkevällä käytöllä saadaan vähennettyä tehokkaasti kuormitusta. Sähkön järkevä käyttö sisältää energian säästämistä ja kulutuksen siirtämistä pois huipputunneilta [27]. Näin toimimalla saadaan tasoitettua kuormaa, jonka sähköntuotanto ja jakeluverkko kokee.

4.1.2 Sähkökäyttäjän varautuminen sähköpulaan

Tehopulan riskin ollessa kasvussa pitää sähkökäyttäjän miettiä omaa sähkökulutustaan ja varautua tehopulaan. Sähkökäyttäjä voi varautua tehopulaan henkisesti, fyysisesti ja kehittämällä omaa toimintaansa. Koska sähköenergiaa on jatkuvasti saatavilla, ihmiset ovat tottuneet ajatukseen sen loppumattomuudesta. Tulevaisuudessa näin ei kuitenkaan välttämättä ole, vaan olisi hyvä varautua sähkökatkoihin.

Sähkökäyttäjän varautuminen sähkökatkosiin riippuu viikonpäivästä, kellonajasta ja vuodenaikasta [26]. Mikäli on talvi kannattaa sähkökäyttäjän varautua sähkökatkoihin lämpimillä vaatteilla. Lisäksi mikäli on pakkasta täytyy sähkökäyttäjän pitää huoli, ettei mikään kriittinen toiminto jäädy [26]. Talvisin on myös pimeää, joten sähkökäyttäjän tulee miettiä valaistusratkaisuja. Sähkökäyttäjä voi esimerkiksi varata kynttilöitä sekä paristoilla toimivia valaisinlaitteita. Lisäksi kotitalouksissa tulisi olla aina ruokaa hätätilanteiden varalta. Sähkökatkon tapahtuessa pitäisi kotoa löytyä ruokaa, joka ei tarvitse sähköä sen valmistamiseen. Mikäli kotitalouksissa on lääkinnällisiä laitteita tarvitsevia ihmisiä, pitää heidän laitteidensa toiminnallisuus varmistaa. Sähkökatkon pitkeytyessä informaation ja viestinnän varmistaminen on myös tärkeää, jotta saadaan ajantasaista tietoa sähkökatkosta. Tiedonkulkua voi parantaa muun muassa pattereilla toimivalla radiolla tai pitämällä varavirtalähdettä ladattuna puhelimeen. Koska maailma sähköistyy, niin myös liikenne on muuttumassa. Autojen käyttäessä yhä enemmän vaihtoehtoisia virtalähteitä

kuten sähköä, pitää sähköauton omistajan varautua sähköpulaan. Autossa pitäisi aina pitää varausta yllä sähkökatkon varalta, jotta tarvittaessa autolla pääsee liikkeelle.

Kotitaloudet voivat varautua sähkökatkoihin paremmin, mikäli he omistavat erilaisia varavirtalähteitä. Etenkin omakotitalossa asuvat henkilöt voivat muun muassa varautua sähkökatkoihin omistamalla aggregaatin. Aggregaatilla saadaan tuotettua sähkövirtaa koneen sallimissa rajoissa. Kone kuitenkin tarvitsee toimiakseen bensiiniä. Myös sen varastoimiseen on varauduttava. Maaseudulla ihmisten varautuminen sähkökatkosiin on keskimääräisesti parempaa kuin kaupungissa asuvilla ihmisillä. Maaseudulla monet talot ovat vielä vanhanaikaisia lämmitysjärjestelmiltään, ja täten monesta talosta löytyy tulisija. Sähkökatkon iskiessä polttamalla puuta ainakin osa talosta saadaan pidettyä lämpimänä.

Puun polttamisen lisäksi monilla maataloilla on oma varavirtalähde sekä polttoainetta tähän. Maaseudun Tulevaisuus uutisoi vuonna 2018 että suomalaisilla maataloilla on tyypillisesti 1000-5000 litraa polttoainetta käytettäväksi varavirtakoneisiin [25]. Maatiloiden varavirtakoneiden suuruusluokka on tyypillisesti niin suuri, että niillä voidaan tuottaa sähköä kaikkiin maatilan kriittisiin toimintoihin. Koska energiamurroksessa halutaan päästä eroon uusiutumattomista polttoaineista, voitaisiin omakotitaloissa ja maaseudulla tuottaa varavirtaa muun muassa aurinkopaneeleilla. Tämä olisi ilmastoystävällisempi ratkaisu sekä järkevämpi keino, mikäli sähkökatko tapahtuisi kesäaikaan. Jotta varavirran saaminen olisi varmaa myös talvella, voitaisiin aurinkopaneeleihin liittää akkujärjestelmä. Akkujärjestelmä pystyisi varastoimaan sähköenergiaa ja sähkökatkon tullessa saataisiin kriittiset toiminnot turvattua varastoidun energian avulla. Lisäksi aurinkopaneeleista jäävä ylimääräinen sähköenergia voitaisiin myydä suoraan verkkoyhtiölle. Uusiutuvan energian käyttö varavoimana tukisi myös energianmurrosta sekä sille asetettuja tavoitteita.

Maatiloiden varavirtakoneiden lisäksi monilla maataloilla on olemassa puusaunat sekä käsipumpulla toimiva kaivo. Näin maaseudulla on myös saatavilla juomavettä sekä peseytymismahdollisuus. Sähkökatkoihin varautuminen on tärkeä toimenpide kaikille yhteiskunnan eri toimijoille. Sähkökatkoksista ja sen aiheuttamista vaaroista on paljon tietoa saatavilla, mutta varautumista niihin voi aina parantaa.

5. TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Koska energiamurros on laaja ilmiö, on syytä miettiä tulevaisuuden trendejä sekä innovaatioita. Energiamurros vaikuttaa jokaisen ihmisen elämään, ja täten sen kauaskantoisen tarkastelu on tärkeää. Maailmassa on paljon alueita, joissa ei vielä ole kunnollista sähkönjakelua. Kun sähkönjakeluverkko laajenee ja kehittyy, on uusien innovaatioiden kehittäminen entistä tärkeämpää.

5.1 Maailmanlaajuiset trendit

Energiamurroksessa on monia maailmanlaajuisia trendejä, joilla on vaikutuksia tehopuolaan ja sen riskiin. Maailmanlaajuisen sähköistymisen johdosta energian kulutus on kasvussa. Sähköistyminen on laaja-alaista ja luo kasvavan tarpeen sähköenergialle. Uusiutuvien energialähteiden osuus sähköntuotannosta kasvaa maailmanlaajuisesti. Uusiutuvien energialähteiden käyttöönotossa maailmanlaajuisesti on kuitenkin mahdollisia pulonkaloja ja epävarmuustekijöitä. Näitä ovat materiaallinen saatavuus maailmanlaajuisen käyttöön, valmistuksen ja työvoiman saanti, infrastruktuuriset ongelmat sekä tarvittavat investoinnit. [28] Lisäksi pitää huomioida uusiutuvien energialähteiden vaihteleva sähköntuotanto. Sähkön varastointiteknologiaan tarvitaan suuria investointeja kestävien ja globaalien ratkaisujen tuottamiseksi, jotta uusiutuvien energialähteiden täysi tuotantokapasiteetti saadaan hyödynnettyä.

Koska kaupungistuminen lisääntyy vauhdikkaasti, tarvitaan tulevaisuudessa kestäviä ja luotettavia energiajärjestelmiä. Aiemmin perinteiset sähköverkot riittivät kattamaan kaupunkien energiakulutuksen. Energiatarpeiden ollessa muutoksessa tarvitaan nyt älyverkkoja kattamaan kaupunkien muuttuvat energiatarpeet. [29] Älyverkoilla on monia hyviä puolia, jotka pystyvät vastaamaan kaupungistumisen aiheuttamiin muuttuviin energiatarpeisiin. Älyverkot mahdollistavat reaaliaikaisen sähköverkon valvonnan, energian tehokkaan jakelun sekä kuormituksen tasapainottamisen [29]. Koska älykkäät sähköverkot pystyvät analysoimaan tarkemmin sähköverkkoa ja siinä tapahtuvaa energian siirtoa, saadaan niiden avulla parannettua energiatehokkuutta.

Energiapolitiikka sanelee pitkälti millaiset trendit vaikuttavat sähkön tuotannossa ja sähkön jakelussa. Ilmastonmuutoksen takia asetetut ilmastotavoitteet ja energiatavoitteet ohjaavat siis erityisesti sähköntuottajan ja verkkoyhtiön toimintaa. Koska hiilidioksidipäästöjä pitää vähentää, luo tämä väistämättä uudenlaisia trendejä energia-alalle. Lisäksi mahdolliset tuet erilaisiin hankkeisiin ohjaavat myös energiantuottajaa sekä energian kuluttajaa. Energiapolitiikan asettamat trendit pyrkivät vähentämään tehopulan riskiä ja huomioimaan asetetut ilmastotavoitteet. Energiapolitiikan lisäksi trendeihin vaikuttaa myös energian kauppapolitiikka. Kauppapolitiikan muutokset ovat pitkälti seurausta energiapolitiikan muutoksista, mutta kauppapolitiikkaan vaikuttavat myös muun muassa maailmanlaajuiset kriisit ja konfliktit. Arviolta jopa 75 miljoonaa ihmistä, jotka ovat hiljattain saaneet sähkön käyttöönsä menettää kyvyn maksaa siitä maailmanlaajuisen kriisin takia [30]. Luvun ollessa näin suuri, on sillä vaikutus myös maailmanlaajuisiin trendeihin.

5.2 Innovatiiviset teknologiat ja strategiat

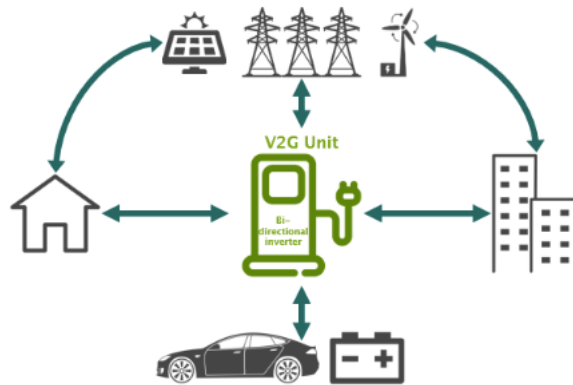
Tehopulan riskin hallitsemiseksi yhteiskunnalla on kasvava tarve kehittää uusia teknologioita ja strategioita. Teknologiaa on hyödynnetty muun muassa sähköenergian varastointiin, mutta kasvavan sähkönkulutuksen takia tarvitaan uusia innovaatioita. Tehopulan hallitsemiseksi on kehitetty erilaisia energianvarastointiteknologioita sekä älykkäitä sähköverkkoja. Sähköenergian kuluttajia on myös opastettu kysyntäjoustoon. Näiden keinojen lisäksi on suunniteltu myös muita teknologioita vastaamaan tehopulan riskiin. Yksi innovatiivinen strategia on desentralisoitu tuotanto. Se tarkoittaa nimensä mukaisesti hajautettua sähköntuotantoa. Desentralisoidun tuotannon ideana on tuottaa sähköä lähellä sen kuluttajaa. Yhteiskunnassa lisääntyvät nyt esimerkiksi aurinkopaneelit ja sähköautot, jotka muuttavat energiajärjestelmäämme [31]. Desentralisoitu tuotanto luo uusia tilanteita energiajärjestelmäämme. Kun sähköntuotantoa hajautetaan, ihmiset eivät ole enää niin riippuvaisia suurista tuottajista ja jälleenmyyjistä [31]. Koska desentralisoidussa tuotannossa kuluttajat voivat tuottaa itse sähköenergiaansa, luo tämä kaksisuuntaisia sähkövirtoja energiajärjestelmiimme [31].

Kun desentralisoidun tuotanto lisääntyy yhteiskunnassa, tarvitaan sen tuottaman sähköenergian siirtoon uusia ratkaisuja. Yksi ratkaisu siirtämään energiaa desentralisoidussa tuotannossa sekä vakauttamaan sähköjärjestelmää on mikroverkot. Mikroverkko tarkoittaa omaa paikallista energiajärjestelmää, jolla on oma energianlähde. Mikroverkko on siis pienoissähköverkko, joka voidaan tarvittaessa liittää suurempaan sähköverkkoon.

Mikäli sähkönjakeluverkossa on häiriö, mikroverkko pystyy silti toimimaan itsenäisesti. [32] Mikroverkoilla on tärkeä rooli sähkönjakelussa alueilla, joissa sähköä on oltava saatavilla jatkuvasti. Koska mikroverkot pystyvät toimimaan itsenäisesti eivätkä riipu muista sähkönjakeluverkoista, mahdollistaa se energian jakelun ja tuotannon tehokkaan hallinnan [32].

Desentralisoidun tuotannon ja mikroverkkojen lisäksi tulevaisuudessa voi olla muitakin tapoja estää tehopulaa. Tekoäly avaa uusia mahdollisuuksia yhteiskunnalle, ja sen mahdolliset hyödyt energiasektorille voivat olla suuret. Koska energiasektori nojaa pitkälti dataan ja analytiikkaan, tekoälyn mahdollisuudet pitää tutkia [33]. Tekoälyn avulla voitaisiin saada tarkemmin optimoitua sähkön tuotantoa, siirtoa sekä analysoitua sähkön kulutusta. Näin saataisiin myös vähennettyä mahdollista sähköenergian hävikkiä. Tekoälyn avulla voitaisiin ennustaa tulevaisuuden tapahtumia sähkön jakeluverkossa ja tuotannossa. Ennen tekoälyn käyttöönottoa pitää kuitenkin selvittää sen riskit. Tekoälyn riskeinä pidetään muun muassa turvallisuutta sekä yksityisyyttä [33]. Mikäli riskit saataisiin poistettua ja tekoäly saataisiin toimimaan, olisi sillä suuri hyöty energiasektorille.

Koska liikenne sähköistyy, voidaan siitä saada apua tehopulan hallintaan. Sähkökäyttöiset autot mahdollistavat niin sanotun V2G-tekniikan, eli Vehicle to Grid-tekniikan. Eli sähköautojen akusta voitaisiin tehopulan riskin ollessa suuri luovuttaa sähköä energijärjestelmään. Tällöin verkkotoimijat voisivat hyötyä luotettavammasta järjestelmästä sekä alemmista käyttökustannuksista [34]. V2G-tekniikasta voitaisiin saada apua erityisesti verkon taajuussäätelyn hallintaan, joka on olennainen osa verkon luotettavuuden säilymiseksi [34]. Eli sähköautot toimisivat eräänlaisena liikkuvana energianlähteenä, joilla voitaisiin tasapainottaa verkkoa tehopulan riskin ollessa suuri. Kuvassa 6 on esitetty V2G-tekniikan toimintaperiaate.



Kuva 6. Periaatekuva V2G-tekniikan toiminnasta. Lainattu lähteestä [35].

Kuvassa 6 on esitetty energianlähde, jakeluverkosto, kuluttajat, sähköauton latauspiste sekä sähköauto. Kuvasta nähdään kaikkien komponenttien liittyvän ja siten vaikuttavan toisiinsa. V2G-tekniikka mahdollistaisi myös sähköauton omistajalle pienemmät käyttökustannukset. Autoa voisi ladata sähkön ollessa halpaa ja myydä verkkoon kalliimmalla tehonpuulan riskin ilmentyessä.

5.3 Lainsäädäntö

Lainsäädännöllä on suuri vaikutus energia-alaan sekä sen sidosryhmiin. Lainsäädännön avulla pyritään nopeuttamaan muutosta fossiilisten polttoaineiden käytöstä uusiutuvien energialähteiden käyttöön. Lisäksi lainsäädännöllä pyritään hallitsemaan tehonpuulan riskiä. Lakiin on kirjattu, että Suomen tulee olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä [35]. Lisäksi on kirjattu päästötavoitteita. Päästötavoitteiden toteutumista seurataan vuosittain niitä käsittelevissä raporteissa. Euroopan Unioni on puolestaan linjannut, että vuoteen 2030 päästöjen tulee olla pudonnut 55 prosenttia vuoden 1980 tasosta. Lisäksi EU:n tavoitteena on olla ensimmäinen hiilineutraali maanosana vuoteen 2050 mennessä. [35]

Ilmastolakien sekä päästötavoitteiden lisäksi Suomessa on sähköyhtiöitä koskevia lakeja. Näiden lakien tarkoituksena on parantaa huoltovarmuutta sekä tasapainottaa verkkoa. Vuonna 2013 päivitetty sähkömarkkinalaki asetti uudet toimitusvarmuusvaatimukset sähköyhtiöille. Lain mukaan jakeluverkko on rakennettava siten, ettei asemakaava-alueella aiheudu asiakkaille yli 6 tunnin kestoista sähkökatkoa [36]. Muilla alueilla ei saa olla yli 36 tuntia kestävää katkoa [36]. Verkko-yhtiöt ovat kaapeloineet omaa sähköverkkoaan lakiuudistuksen jälkeen paljon, jotta pääsisivät sen asettamiin tavoitteisiin.

Euroopan Unionilla on direktiivi 2019/944, joka käsittelee sähkömarkkinoiden yhteisiä sääntöjä. Direktiiviin on muun muassa kirjattu seuraavaa. ”Jäsenvaltioiden on varmistettava, että niiden kansallinen lainsäädäntö ei aiheettomasti haittaa sähkön kauppaa yli rajojen, kuluttajien osallistumista, myös kulutusjoustopuolelta, investointeja etenkin vaihtelevaan ja joustavaan energiantuotantoon, energian varastointia taikka sähköisen liikumisen tai uusien rajayhdysjohdojen käyttöönottoa jäsenvaltioiden välillä, ja niiden on varmistettava, että sähkön hinnat vastaavat tosiasiallista kysyntää ja tarjontaa.” [37] Direktiiviin kirjattu vaatimus pyrkii edistämään osaltaan tehokkaan varautumista. Euroopan unionin alueella tähän pyritään direktiivin mukaan kulutusjoustopuolelta sekä parantamalla yhteyksiä muihin jäsenmaihin. Lisäksi se ohjaa jäsenvaltioiden lainsäädäntöä suuntaan, jossa suositaan uusiutuvaa energiaa sekä energian varastointia.

6. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käsiteltiin tehopulan riskiä energianmurroksen transiiovaiheessa. Energiamurros tapahtuu nopeasti ja samanaikaisesti maailma sähköistyy. Suuressa muutoksessa ovat liikenteen sähköistyminen sekä rakennusten muuttuvat lämmitysratkaisut. Energiamurros sisältää haasteita, kuten uusiutuvien energialähteiden epätasaisen sähköntuotannon. Lisäksi haasteina ovat suuret investoinnit sekä sosiaaliset ja poliittiset haasteet. Energianmurroksen haasteisiin kehitetään kuitenkin jatkuvasti ratkaisuja, jotta se saataisiin onnistumaan. Tilastoista ja diagrammeista on havaittavissa, että energiamurros etenee ja on jo käynnissä. Tästä kertoo alentuneet hiilidioksidipäästöt sekä uusiutuvien energialähteiden kasvanut osuus sähkön tuotannosta.

Tehopulan riski on kasvanut yhteiskunnassa. Tehopulan riskiä pystytään kuitenkin ennakoidaan sekä ennustamaan perustuen säätiedotuksiin sekä dataan aikaisemmasta sähkön kulutuksesta. Tehopulan riskin ollessa kasvussa ihmisiä voidaan ohjata käyttämään vähemmän sähköenergiaa. Lisäksi sähköä voidaan tuottaa lisää tai tuoda sitä sieltä, missä sitä on saatavilla. Tehopulaa voidaan myös ehkäistä älyverkkojen käytöllä ja seuraamalla verkon käyttäytymistä. Aina tehopulaan ja sen riskiin ei pystytä varautumaan. Tehopulan yllättäessä on kuitenkin tiettyjä toimenpiteitä, joilla sen negatiivisia vaikutuksia pyritään minimoimaan. Varavoiman käyttö on tärkeässä roolissa tehopulatilanteen yllättäessä. Sähköenergiaa voidaan myös kuljettaa muualta tehopulan aikana tasapainottamaan sähkön kulutuksen ja tuotannon välisiä eroja siirtokapasiteetin asettamisissa rajoissa. Äärimmäisenä keinona tehopulatilanteen hallintaan voidaan käyttää myös hallittuja sähkökatkoja. Kasvaneesta tehopulan riskistä johtuen ihmisten tulisi myös olla varautuneita sähkökatkoihin ja tiedostaa niiden mahdolliset seuraamukset.

Jotta tehopulatilanteilta vältyttäisiin jatkossa ja niiden aiheuttamia riskejä saataisiin minimoitua, on kehitteillä monia innovatiivisia teknologioita. Näitä ovat muun muassa desentralisoitu tuotanto, mikroverkot, tekoäly sekä V2G-teknologia. Lisäksi tehopulan riskin varautumiseen sekä sen hoitamiseen pyritään vaikuttamaan positiivisesti lainsäädännön avulla. Asettamalla vaatimuksia energiayhtiöille ja valtioille, voidaan parantaa tehopulatilanteisiin varautuneisuutta. Lisäksi lainsäädännöllä pyritään nopeuttamaan siirtymää fossiilisten polttoaineiden käytöstä uusiutuviin energialähteisiin. Lopuksi voidaan todeta tehopulan riskin energianmurroksessa olevan varautumisen arvoinen asia. Varautumista tehopulaan tulee vielä parantaa, vaikka sen hallitsemiseen on olemassa jo tehokkaita keinoja.

LÄHTEET

- [1] Kathleen M. Araujo, Routledge Handbook of Energy sources. Saatavissa: <https://www-taylorfrancis-com.libproxy.tuni.fi/books/edit/10.4324/9781003183020/routledge-handbook-energy-transitions-kathleen-ara%C3%BAjo> [Viitattu 25.6.2024]
- [2] Turun Sanomat. Fossiiliset polttoaineet-Hallitus linjasi: Fossiilisten polttoaineiden käytöstä luovutaan vuoden 2030 loppuun mennessä. Saatavissa: <https://www.ts.fi/uutiset/6297176> [Viitattu 1.7.2024]
- [3] Greening the Grid. Grid-Scale Battery Storage-Frequently asked questions. Saatavissa: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74426.pdf> [Viitattu 26.7.2024]
- [4] Statista. Fossil fuels-Number of employees in the oil and natural gas industry worldwide in 2022, by commodity type. Saatavissa: <https://www-statista.com/statistics/1448347/oil-and-gas-industry-employment-by-commodity/> [Viitattu 22.7.2024].
- [5] Caruna. Sähköpula – Mitä se tarkoittaa ja miten varaudun? Saatavissa: <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkko/tietoa-sahkopulasta> [Viitattu 11.6.2024]
- [6] Motiva. Ratkaisut-Bioenergiasanastoa. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/bio-energiasanastoa [Viitattu 18.6.2024]
- [7] ProQuest. Green and Renewable Energy Innovations. Introduction. Saatavissa: <https://www.proquest.com/docview/2774893099?sourcetype=Scholarly%20Journals> [Viitattu 18.6.2024]
- [8] Energy.Gov. Electricity industry insights. What is electrification? Saatavissa: <https://www.energy.gov/electricity-insights/what-electrification> [Viitattu 20.6.2024]
- [9] Vantaan Energia. Riskien hallinta-Riskien kuvaukset. Saatavissa: <https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2016/riskienhallinta/riskien-kuvaukset/> [Viitattu 26.7.2024]
- [10] Pekka Verho. Sähköverkko-omaisuudenhallinta-Luento 4. Saatavissa: https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/4102997/mod_resource/content/3/SVOH_Luento4.pdf [Viitattu 27.7.2024]
- [11] Pekka Verho. Sähköverkko-omaisuudenhallinta-Luento 9. Saatavissa: https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/4305429/mod_resource/content/1/SVOH_Luento9.pdf [Viitattu 29.7.2024]
- [12] Janne Ala-Kokko. Suurjänniteverkon maakaapelointi-Opinnäytetyö. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/143720/Ala-Kokko_Janne.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Viitattu 29.7.2024]

- [13] Tuulivoimayhdistys. Tuulivoima Suomessa. Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa> [Viitattu 1.8.2024]
- [14] The Renewables guy. What are the disadvantages of wind energy? Saatavissa: <https://therenewablesguy.com/what-are-the-disadvantages-of-wind-energy/> Viitattu [1.8.2024]
- [15] Sahkoa.io. Sähkön hinta vuonna 2023. Saatavissa: <https://www.sahkoa.io/blogi/sahkon-hinta-vuonna-2023/> [Viitattu 1.8.2024]
- [16] Yle. Näin paljon sähkönkulutus vaihtelee eri vuodenaikoina-talven kulutushuiput pahin ongelma sähkön riittävyydelle. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-12635933> [Viitattu 1.8.2024]
- [17] U.S. Department of energy – Grid modernization and Smart Grid. Saatavissa: <https://www.energy.gov/oe/grid-modernization-and-smart-grid> [Viitattu 6.8.2024]
- [18] Suomen virallinen tilasto (SVT): Energian hankinta ja kulutus [verkkójulkaisu]. ISSN=1799-795X. 4. Vuosineljännes 2020. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 10.7.2024]. Saantitapa: https://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_tie_001_fi.html
- [19] Traficom. Liikennekäytössä olevat henkilöautot, käyttövoimat, päästöt ja keski-ikä. Vaihtoehtoisten käyttövoimien osuus liikennekäytössä olevista ajoneuvoista. Traficom: viitattu [18.7.2024]. Saatavissa: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/liikennekaytossa-olevat-henkiloautot-kayttovoimat-paastot-ja-keski-ika>
- [20] Fingrid. Energia-alan sanasto. Viitattu [16.8.2024]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sivut/yhtio/sanastoa/#-l>
- [21] Pertti Järventausta. Sähkömarkkinat-Tasehallinta sekä säätö-, reservi- ja tasesähkömarkkinat luento 4. Viitattu [16.8.2024]. Saatavissa: https://moodle.tuni.fi/pluginfile.php/4127486/mod_resource/content/5/Tasehallinta%20sek%C3%A4%20s%C3%A4%C3%A4t%C3%B6-%20ja%20tases%C3%A4hk%C3%B6markkinat%202024%20-%20luento%20%20-%20verkkoon.pdf
- [22] Springer Link. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Viitattu [26.8.2024]. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-023-12831-9>
- [23] Taaleri Energia. Ajankohtaista. Taaleri Energia investoi ensimmäiseen energianvarastointijärjestelmään. Viitattu [26.8.2024]. Saatavissa: <https://www.taalerienergia.com/ajankohtaista/taaleri-energia-investoi-ensimmaiseen-energian-varastointijarjestelmaan>
- [24] ISO New England. What are controlled outages? Viitattu [26.8.2024]. Saatavissa: <https://www.iso-ne.com/about/what-we-do/in-depth/controlled-outages>
- [25] Maaseudun Tulevaisuus. Maatilat ovat varautuneet varsin hyvin sähkökatkoihin. Viitattu [27.8.2024]. Saatavissa: [Maatilat ovat varautuneet varsin hyvin sähkökatkoihin – varavoimaa on eniten broileritiloilla ja vähiten leipäviljailoilla - Maatalous - Maaseudun Tulevaisuus](https://www.maaseudun tulevaisuus.fi/maatilat-ovat-varautuneet-varsin-hyvin-sahkokatkoihin--varavoimaa-on-eniten-broileritiloilla-ja-vahiten-leipaviljailoilla--Maatalous-Maaseudun-Tulevaisuus)

- [26] Motiva. Fiksu varautuu ennalta sähkökatkoihin. Viitattu [28.8.2024]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/fiksu_varautuu_ennalta_sahkokatkoihin.19482.news
- [27] Uusi Suomi. Energiatohokkuus ensin – nyt ja tulevaisuudessa. Viitattu [28.8.2024]. Saatavissa: <https://www.uusisuomi.fi/kumppanisallot/motiva/energiatohokkuus-ensin-nyt-ja-tulevaisuudessa/>
- [28] McKinsey and Company. Global energy perspective 2023. Viitattu [29.8.2024]. Saatavissa: <https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/global-energy-perspective-2023-transition-bottlenecks-and-unlocks>
- [29] Tech Bullion. Smart Grid Engineering: Building Efficient Energy Systems For Cities. Viitattu [29.8.2024]. Saatavissa: <https://techbullion.com/smart-grid-engineering-building-efficient-energy-systems-for-cities/>
- [30] Global Sustainable Energy Hub. Three trends that will shape the energy sector in 2023. Viitattu [29.8.2024]. Saatavissa: <https://www.undp.org/energy/blog/three-trends-will-shape-energy-sector-2023>
- [31] IEA50. Unlocking the Potential of Distributer Energy Resources. Viitattu [1.9.2024]. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/unlocking-the-potential-of-distributed-energy-resources>
- [32] Perspective Power Infrastructure. Gried-tied Microgrids. Viitattu [2.9.2024]. Saatavissa: <https://perceptive-power.com/grid-tied-microgrids-the-best-of-both-worlds/>
- [33] McKinsey and company. Beyond the hype. New opportunities for gen AI in energy and materials. Viitattu [2.9.2024]. Saatavissa: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/beyond-the-hype-new-opportunities-for-gen-ai-in-energy-and-materials>
- [34] WEF. The hidden value of the battery in your next car. Viitattu [3.9.2024]. Saatavissa: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/the-hidden-value-of-the-battery-in-your-next-car/>
- [35] Ympäristöministeriö. Suomen Kansallinen Ilmastopolitiikka. Viitattu [3.9.2024]. Saatavissa: <https://ym.fi/suomen-kansallinen-ilmastopolitiikka>
- [36] Fingrid. Ajankohtaista. Uusi Sähkömarkkinalaki Muuttaa Pelisääntöjä. Viitattu [6.9.2024]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2013/uusi-sahkomarkkinalaki-muuttaa-pelisaantoja/>
- [37] European Union. Document 32019L0944. Toinen luku, kolmas artikla. Viitattu [10.9.2024]. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A32019L0944>
- [38] Fingrid. Reservimarkkinat. Ylläpidämme ja kehitämme reservi- ja säätösähkön markkinapaikkoja. Viitattu [16.9.2024]. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/reservit-ja-saatosahko/#reservivelvoitteet-ja-hankintakanavat>
- [39] Watchwire. Understanding Peak Load and Base Load Electricity. Viitattu [12.9.2024]. Saatavissa: <https://watchwire.ai/peak-load-base-load-electricity/>

- [40] Energiatehokkuussopimukset. Lempäälä: yritysalue näyttää tietä uusille energiaratkaisuille. Viitattu [17.9.2024]. Saatavissa: <https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/lempaala-yritysalue-nayttaa-tieta-uusille-energiaratkaisuille/>
- [41] Energiateollisuus. Sähkönkäyttö kunnittain 2007-2022, vuosi 2022. Viitattu [17.9.2024]. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/sahkonkaytto-kunnittain-2007-2022/>
- [42] Energiateollisuus. Sähköntuotanto maakunnittain 2007-2022, vuosi 2022. Viitattu [17.9.2024]. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/sahkontuotanto-maakunnittain-2007-2022/>
- [43] LUT-University. Mitä on vetytalous ja miten se vähentää hiilidioksidipäästöjä? Viitattu [26.9.2024]. Saatavissa: <https://www.lut.fi/fi/artikkelit/mita-vetytalous-ja-miten-se-vahentaa-hiilidioksidipaastoja>