

Markus Salonen

# SUOMI OSANA EUROOPAN LAAJUISTA SÄHKÖMARKKINAA

Skenaariotarkastelua energiamurroksen ratkaisuvisiosta

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Henrik Tolvanen  
Tammikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Markus Salonen: Suomi osana Euroopan laajuista sähkömarkkinaa  
Tampereen yliopisto  
Ympäristö- ja energiatekniikka  
Kandidaatintyö  
Tammikuu 2021

---

EU on asettanut intohimoisen tavoitteen luoda Euroopasta ensimmäinen ilmastoneutraali maanosa vuoteen 2050 mennessä. Jotta tavoite voidaan saavuttaa, tulee EU:n jäsenmaiden lisätä uusiutuvaa sähköntuotantoa huomattavasti. Sähkön tuotantomäärän on kuitenkin jatkuvasti vastattava kulutusta, ja tämän vaihtelun tasaamiseksi on luotu erilaisia, alueellisia sähkömarkkinajärjestelmiä. EU:n ilmastotavoitteet sekä vallitseva energiamurros haastavat kuitenkin nykyisen eurooppalaisen sähkömarkkinatoiminnan kokonaisrakenteen.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on perehtyä EU:n kaavailemaan Euroopan laajuiseen sähkömarkkinavision, jossa Euroopan hajanaiset sähkömarkkinat yhdistetään yhdeksi markkinaksi. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, mitä hyötyjä markkinauudistus toisi, mitä esteitä projektiin tiellä on, ja mitä toimia tavoitteen saavuttaminen vaatisi. Lisäksi työssä tarkastellaan Suomen sähköteollisuuden tulevaisuudenskenaarioita, ja pohditaan niiden ja Euroopan laajuisen sähkömarkkinan synergiaa. Pääaihetta tarkastellaan erityisesti energiamurroksen näkökulmasta, ja tekstin alkupäässä tutustutaan myös markkinamuotoisen sähkökaupan perusteluihin.

Tutkimuksen johtopäätöksiin on kerätty markkinavision haasteet ja hyödyt. Euroopan laajuisen sähkömarkkina voi helpottaa eurooppalaisen sähkötaseen tasapainottamisen lisäksi myös hintojen tasaamisessa. Muutos yhtenäiseen sähkömarkkinaan on kallis, mutta säästöpotentiaali on arvioitu huomattavasti investointikuluja suuremmaksi. Sähkömarkkinauudistuksen suurimpia esteitä ovat nykyisten markkinajärjestelmien erot, sekä tämänhetkisten siirtoyhteyksien pullonkaulat. Projektin etenemisestä saatujen säästöjen ohjaaminen kehitys- ja yhtenäistämistyön edistäjätahoille nähdään tärkeänä markkinoiden yhdentymisen vauhdittajana.

Fingridin julkaiseman verkkovisioyöhaahmotelman tulevaisuudenskenaariot ovat keskenään hyvin erilaisia. Markkinauudistus toisi huomattavia etuja skenaarioihin, joissa tuonnilla tai viennillä on erityistä painoarvoa. Hyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin Suomen nykyisten ulkosiirtoyhteyksien pullonkaulaongelmien pienentämistä. Skenaarioista kaksi houkuttelee Suomeen teollisuutta uusiutuvalla sähköllä, ja toteutuessaan nämä skenaariot voisivat jopa hyötyä Euroopan laajuisen sähkömarkkinan poissaolosta tai epäonnistumisesta. Skenaarioista yksikään ei kuitenkaan perustele Euroopan laajuisen sähkömarkkinan vastustamista.

Tämän kandidaatintyö suoritettiin kirjallisuustutkimuksena. Tarkasteltavan aiheen luonteen vuoksi tutkimuksessa hyödynnettiin erityisesti ulkomaalaista ja kansainvälistä lähdemateriaalia. Tieteellisiä ja vertaisarvioituja lähteitä täydennettiin EU:n ja sen eri virastojen ja toimijoiden julkaisemilla teksteillä. Suomen sähköteollisuuden tulevaisuudenskenaarioiksi puolestaan valittiin Fingrid Oy:n julkaiseman verkkovisiohaahmotelman neljä skenaariota, jotka on luotu kansainvälisiä tutkimuksia ja alan toimijoiden luovuttamia tietoja hyödyntäen. Erityisesti skenaarioiden eroja havainnollistetaan erilaisten taulukoiden ja kuvaajien avulla.

**Avainsanat:** sähkömarkkinat, energiatalous, energiamurros, energiatalous, eurooppalaisten sähkömarkkinoiden yhdentyminen, Euroopan laajuisen sähkömarkkina-alue, uusiutuva sähköntuotanto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. EUROOPAN SÄHKÖMARKKINAT TÄNÄÄN .....	3
2.1 Kysyntä, tarjonta ja markkinahinnan muodostuminen.....	3
2.2 Tämänhetkiset sähkömarkkinat.....	5
2.3 Energiateollisuuden murrosaikakausi .....	7
3. EUROOPAN LAAJUINEN SÄHKÖMARKKINA .....	9
3.1 Sähkömarkkinoiden yhdentymisen hyödyt .....	9
3.1.1 Kysyntäjoustop uudet ulottuvuudet .....	9
3.1.2 Säästöjä, toimintavarmuutta ja yhtenäisyyttä .....	10
3.1.3 Energiamurrokselle sopivampi järjestelmäympäristö .....	11
3.2 Yhdentymisen esteet, haasteet ja ongelmat.....	11
3.2.1 Nykyisten sähkömarkkinoiden erilaisuus .....	11
3.2.2 Fyysisen sähköjärjestelmän riittämättömyys .....	12
3.2.3 Muutoksen tuomat ongelmat .....	13
3.3 Euroopan Unionin tähänastiset toimenpiteet .....	14
4. SKENAARIOT SUOMEN TULEVAISUUDESTA .....	15
4.1 Suomen nykytilanne ja skenaariot tulevaisuudesta .....	15
4.1.1 Skenaario A: Sähköä vientiin .....	16
4.1.2 Skenaario B: Ilmastoneutraali kasvu .....	17
4.1.3 Skenaario C: Merellä tuulee .....	18
4.1.4 Skenaario D: Aurinkoa ja akkuja .....	19
4.2 Tulevaisuuden skenaarioiden vertailu .....	20
4.3 Vertailutulosten yhteenveto, tarkastelu ja analyysi .....	23
5. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	25
6. LÄHDELUETTELO.....	27

# 1. JOHDANTO

Globaali energiankulutus nousee koko ajan. [1] 25 % kaikesta maailman energiantuotannosta tapahtuu fossiilisilla polttoaineilla. [2] Fossiilisiin polttoaineisiin perustuvassa energiataloudessa on kuitenkin kaksi merkittävää ongelmaa, joista ensimmäiseksi mainittakoon fossiilisten polttoaineiden varantojen rajallisuus. Toinen, enemmän nykyhetkeen sijoittuva ongelma liittyy fossiilisten polttoaineiden polttamisesta aiheutuviin päästöihin, ja näiden päästöjen aiheuttamiin ympäristö- ja terveysvaikutuksiin. [3] Yli 75 % Euroopan Unionin (EU) jäsenmaiden kasvihuonepäästöistä syntyy energiantuotannossa ja -kulutuksessa. [4]

EU on asettanut tavoitteen tehdä Euroopasta uusiutuvan energian edelläkävijämaan osan. [5] Energiateollisuus voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen; sähköteollisuus, lämpöteollisuus, ja liikenne. Näistä ensimmäinen on mahdollista ja tulee sähköistäää mahdollisimman pian ilmastonmuutoksen kiihtymisen välttämiseksi. [6]

Uusiutuvan sähköntuotannon lisääminen aiheuttaa ei ole haasteetonta. Sähkön suuremman mittakaavan varastointi on tällä hetkellä käytännössä mahdotonta, joten sähkön tuotannon ja kulutuksen on oltava jatkuvassa tasapainossa. Suurin osa uusiutuvista sähköntuotantomuodoista on riippuvainen tietynlaisista sääolosuhteista. [6]

Euroopan alueellisten sähkömarkkinoiden yhdentäminen nähdään hyödyllisenä hankkeena uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisäämisen haasteiden voittamiseksi. Euroopan alueellisten sähkömarkkinoiden yhdistäminen on projektina kuitenkin todella haastava, ja sen onnistunut toteutuminen vaatii monipuolista selvitys-, tutkimus- ja skenaariotyötä. EU-tason lisäksi tarkastelu myös kansallisesta näkökulmasta on todella tärkeää. [6]

Tässä kandidaatintyössä pureudutaan EU:n kaavailemaan Euroopan laajuiseen sähkömarkkinavision, sekä sen tuomiin hyötyihin ja siihen liittyviin haasteisiin. Erityistä huomiota kiinnitetään sähkömarkkinauudistuksen hyödyllisyyteen uusiutuvan energiantuotannon lisäämisessä. Toinen erityinen kiinnostuksen kohde liittyy Euroopan laajuisen sähkömarkkina-alueen toteutumisen mahdollisuuteen. Tekstissä tarkastellaan esimerkiksi millaisia teknisiä ja poliittisoperatiivisia haasteita yhtenäistämiprojekti joutuu kohtaamaan. Myös kansallinen näkökulma nousee esiin kandidaatintyön loppupäässä.

Tutkimuksen tutkimusmenetelmä on hyvin kirjallisuuspainotteinen. Koska tutkimus käsittelee Euroopan laajuista aihetta, on saatavilla oleva lähdekirjallisuus enimmäkseen kansainvälistä ja täten myös vieraskielistä. Koska tutkimuksessa tarkasteltu teknologinen kehitysaskel on toistaiseksi vasta alustusvaiheessa, on tieteellisten ja vertaisarvioitujen lähteiden määrä rajallinen. Tätä lähdepuutetta pystytään kuitenkin korvaamaan kansallisten ja kansainvälisten virastojen, organisaatioiden ja yritysten julkaisuiden kriittisellä hyödyntämisellä.

Tässä tekstissä Euroopan laajuinen sähkömarkkina koostuu taloudellisen ympäristön lisäksi sen vaatimasta fyysisestä järjestelmäkokonaisuudesta, sisältäen kaikki osapuolet ja sidosryhmät sähköntuotannosta kuluttajiin. Aihetta käsitellään yleisellä tasolla, eikä esimerkiksi yksittäisten järjestelmäkomponenttien teknisiin ominaisuusvaatimuksiin perehdytä. Tarkastelua tehdään vaihtelevasti Euroopan ja EU:n välillä käytössä olevien lähteiden mukaan.

Tutkimuskysymykset muodostuvat seuraavasti:

1. Mitkä ovat Euroopan laajuisen sähkömarkkinan edut verrattuna nykyiseen järjestelmäkokonaisuuteen?
2. Miten Euroopan laajuinen sähkömarkkina käytännössä luodaan, ja mitä haasteita yhdyntämisprojekti kohtaa?
3. Onko Euroopan laajuinen sähkömarkkina Suomen sähkösektorille uhka vai mahdollisuus?

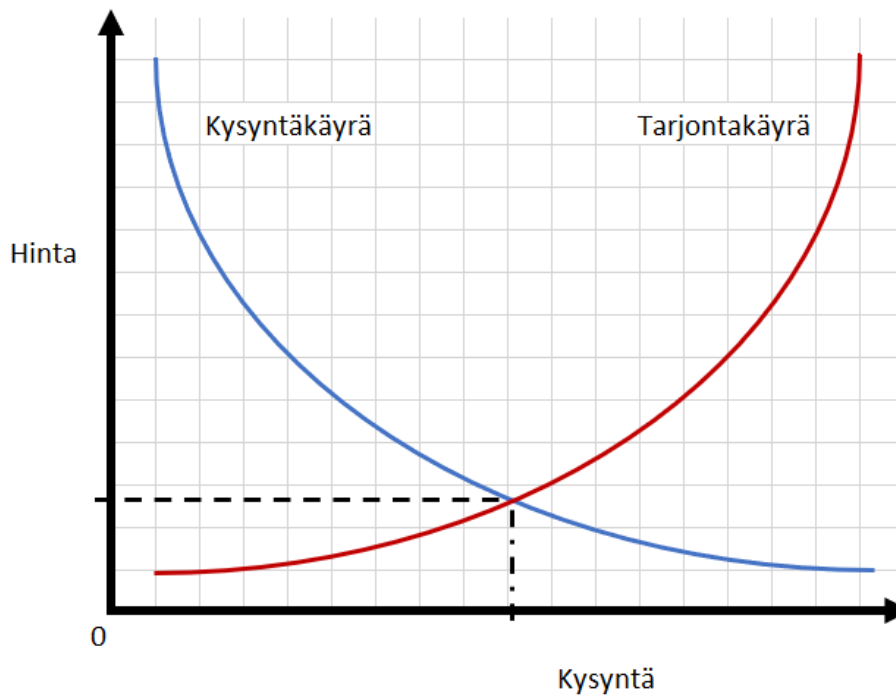
Luvussa 2 esitellään nykyinen sähkömarkkinajärjestelmä, vallitseva energiasektorin muutossuunta, sekä sen aiheuttama nykyisen markkinaympäristön kehitystarve. Luvussa 3 perehdytään Euroopan laajuisen sähkömarkkinan hyötyihin, haasteisiin sekä haasteiden ratkaisuihin. Myös tähänastisia toimenpiteitä tavoitejärjestelmään pääsemiseksi tarkastellaan. Neljännessä luvussa esitetään, tutkitaan ja analysoidaan Fingrid Oyj:n rakentamia skenaarioita Suomen energiasektorin tulevaisuudennäkymistä. Näiden skenaarioiden pohjalta luodaan tarkastelua siitä, miten Suomi voisi hyötyä Euroopan laajuisesta sähkömarkkinasta – voi hyötyisikö ollenkaan.

## 2. EUROOPAN SÄHKÖMARKKINAT TÄNÄÄN

Järjestelyä, jossa osapuolet kohtaavat tiettyjen hyödykkeiden vaihtamiseksi, kutsutaan markkinaksi. Markkinaympäristölle on tyypillistä, että sekä myyjiä että ostajia on useita, ja että molempien markkinaosapuolten sisäiset markkinaosuudet ovat suunnilleen samaa kokoluokkaa. Tämän lisäksi kyseisen markkinan hyödyke on myyjästä riippumatta yhdenmukaista, eikä ostajalle ole käytännön merkitystä miltä myyjältä se hyödykkeensä hankkii. [1] Organisoitu markkinaympäristö pitää myös huolen siitä, että kaupankäynti on reilua, ja että sen kulut pysyvät mahdollisimman pieninä. [7]

### 2.1 Kysyntä, tarjonta ja markkinahinnan muodostuminen

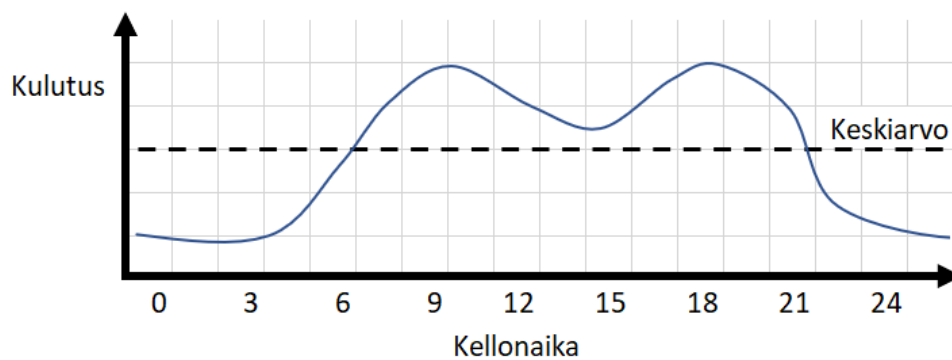
Markkinoilla kumpikaan markkinaosapuoli ei määrittele kaupattavan hyödykkeen tarkkaa hintaa, vaan hinnanmuodostus perustuu kysynnän ja tarjonnan väliseen suhteeseen. [7] Mikäli hyödykkeen hinta on korkea, hankkii ostaja sitä pienimmän tarvitsemansa määrän. Jos taas kysyntää on paljon, myyjä nostaa hintaa voittojensa maksimoimiseksi. Sekä kysynnästä että tarjonnasta voidaan luoda kuvan 1 tapaan käyrät, joiden risteyskohta määrää hyödykkeen hinnan kyseisellä ajanhetkellä. Tässä pisteessä vallitsee markkinatasapaino, joka on tietynlainen kompromissi hyödykkeen kappalehinnasta. [1]



**Kuva 1:** Havainnekuva markkinahyödykkeen hinnan muodostumisesta.

Sähköä myydään pääasiassa markkinamuotoisesti, perustuen vahvasti sen perusominaisuuksiin. Yksittäinen kilowattitunti ei siirry suoraviivaisesti voimalaitokselta kuluttajalle, vaan sähkön ostaja saa sähköverkon kokonaisvarannosta ostamansa määrän sähköä. Tuottaja puolestaan lisää verkkoon vastaavan määrän sähköä saman aikamäärän sisällä. Koska suurten sähkömäärien varastointi tehokkaasti ja taloudellisesti on toistaiseksi lähes mahdotonta, kulutuksen ja tuotannon on oltava jatkuvassa tasapainossa; jopa pienellä ja hetkellisellä epätasapainolla voi olla tuhoisia seurauksia. [2]

Sähkön varastointihaasteen lisäksi verkossa hallittavan energiamäärän suuruusluokka on valtava. Koska sähköverkkojärjestelmiä ei pystytä samalla tavalla ohjelmoimaan kuin esimerkiksi puhelinverkkoja, ovat sähköverkon ohjaamiseen käytettävät laitteistot raskaita, suurikokoisia ja hitaita. Tämän takia sähköverkon laitteistoja ei voida vaihtaa tai ohjata ketterien puhelin- ja internet-verkkolaitteiden tapaan. Sähkön hallintaa ei helpota myöskään se, että sen kulutus vaihtelee vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan hyvinkin paljon. Kuvassa 2 on esitetty sähkönkulutuksen vaihtelua vuorokauden aikana.



**Kuva 2:** Havainnekuva sähkön kulutuksen vaihteluista vuorokauden aikana. [2]

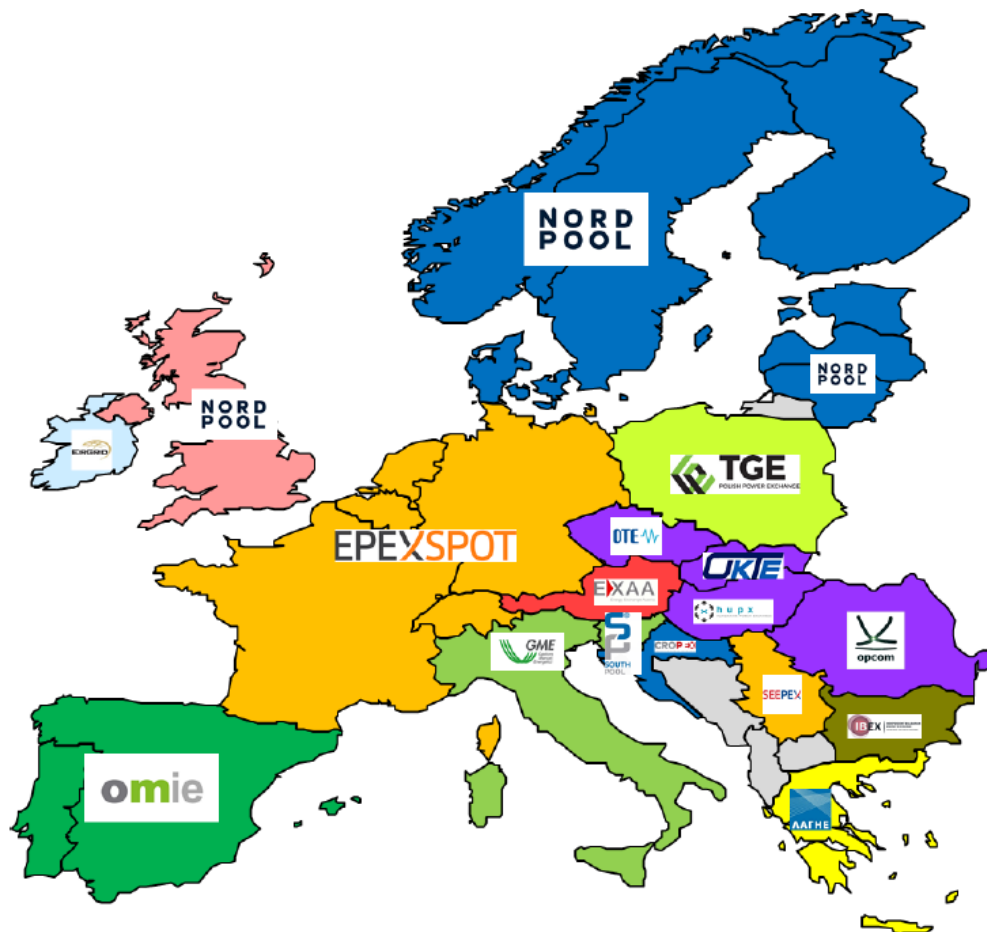
Yllä olevasta kuvasta nähdään, että vuorokauden aikana esiintyy kaksi kulutushuippua: ensimmäinen aamupäivällä ja toinen illalla. Tämä selittyy sillä, että aamuisi kuluttajat, palvelut ja teollisuus heräävät uuteen päivään, ja iltaisin kuluttajat palaavat töistä kotiin ruuanlaiton, viihdykkeiden ja kodinhoidon pariin. Öisin kulutus on matalampaa. [2]

Sähköntuotannon on riitettävä kattamaan myös kulutushuippujen sähkönkulutus. Intuitiivisesti tämä ongelma voitaisiin ratkaista lisäämällä sähkön tuotantoa, mutta tähän ratkaisuun liittyy kuitenkin oma ongelmansa. Kulutushuippujen kysyntään vastaavan tuotannon investointi- ja ylläpitokulut ovat keskivertokäytössä kannattamattomat. On taloudellisempaa hankkia kulutushuippujen sähkö naapurilaitoksilta, ja vastaavasti myydä yli-tuotantoa kulutuksen ollessa pienempää. Tällainen kaupankäynti vaatii toimivan sähkömarkkinajärjestelmän sekä fyysisiä siirtoyhteyksiä. [2]

## 2.2 Tämänhetkiset sähkömarkkinat

1900-luvulla sähkötekniikan yleistyessä kansainvälisesti lähes jokainen valtio alkoi rakentaa omiin tarpeisiinsa sopivaa sähköverkkojärjestelmää. Sähköntuotanto riippui vahvasti fossiilisista polttoaineista, ja kansalliset sähköverkot ilman vahvoja kansainvälisiä yhteyksiä nähtiin luotettavana ja riittävänä ratkaisuna. Myös energia- ja talouspolitiikalla oli omat vaikutuksensa sähköjärjestelmien kansallistumiselle. [8]

Tällä hetkellä Eurooppa on jaettu lähes kahteenkymmeneen sähkömarkkina-alueeseen. Näistä sähkömarkkinoista kansainvälisimpiä ovat Pohjoismaat ja Baltian maat kattava Nordpool, sekä Benelux-maat, Sveitsin, Ranskan ja Saksan kattava EpeX Spot. Monella valtiolla, kuten Irlannilla, Italialla, Itävalloilla ja Puolalla on omat sähkömarkkinansa. [9] Sähkökauppaa käydään siis tällä hetkellä Euroopan mittakaavassa hyvin pirstaleisesti. Euroopan tämän päivän merkittävimmät sähkömarkkinat on esitetty alla olevassa kuvassa 3.



**Kuva 3:** Euroopan merkityksellisimmät sähkömarkkinat maittain. [9]



Vaikka sähkön tuotannon ja siirron tarpeet ja toimintaympäristö ovat reilusti muuttuneet vuosikymmenten vaihtuessa, aiheuttavat historian aatteet ja ratkaisut haasteita energiamurroksen vaatimille muutoksille. Esimerkiksi 1990-luvulla havaitut sähkönsiirron pullonkaulat haittaavat Euroopan sähkömarkkinoita edelleen. Erityisesti kansainvälisten siirtoyhteyksien kapasiteetit jäävät usein vaadittua matalammiksi. [8] Lisäksi Euroopan maanpinnanmuodot kuten meret, kapeat niemet ja vuoristot aiheuttavat omat haasteensa siirtoinfrastruktuurin kehittymiselle. Vedenalaisten sähkölinjojen rakentaminen on edelleen kallista ja hidasta, jolloin esimerkiksi Pohjoismaiden ja manner-Euroopan väliset siirtoyhteydet ovat hyvin vähäiset.

Alla olevaan taulukkoon 1 on kerätty EU:n dataportaalista esimerkkejä sähkön kotitalous- ja teollisuushintojen keskiarvoja EU:ssa, Nordpoolissa, sekä muutamassa esimerkiksi [10] [11] [12] [13] Hinnat on poimittu jokaisen vuoden toisesta kvartaalista. Nordpoolin keskiarvossa ei ole huomioitu EU:hun kuulumattoman Norjan hintoja. Eri asiakaskuntien maksama hintaero selittyy volyyymi-ilmiöllä, jossa suurien erien tilaajat pystyvät kilpailuttamaan sähköntoimittajilta edullisemman yksikköhinnan.

**Taulukko 1:** Sähköenergian hintoja verojen ja maksujen jälkeen (snt/kWh).

Kotitaloudet	Suomi	Tanska	Nordpool*	EU	Ranska	Saksa	Puola
2020	18,09	28,55	21,78	21,27	19,82	29,83	15,37
2019	18,27	29,46	18,16	21,62	19	31,04	13,16
2018	16,19	31	18,19	20,86	17,94	30,81	14,51
2017	16,26	30,17	17,69	20,95	17,05	30,18	13,82
Teollisuus	Suomi	Tanska	Nordpool*	EU	Ranska	Saksa	Puola
2020	7,24	6,65	6,71	11,55	8,58	16,4	9,25
2019	7,61	7,43	8,74	11,75	9,39	15,69	8,33
2018	6,84	10,07	8,75	11,42	9,4	15,3	8,62
2017	7,3	9,16	8,59	11,63	8,9	15,13	8,33

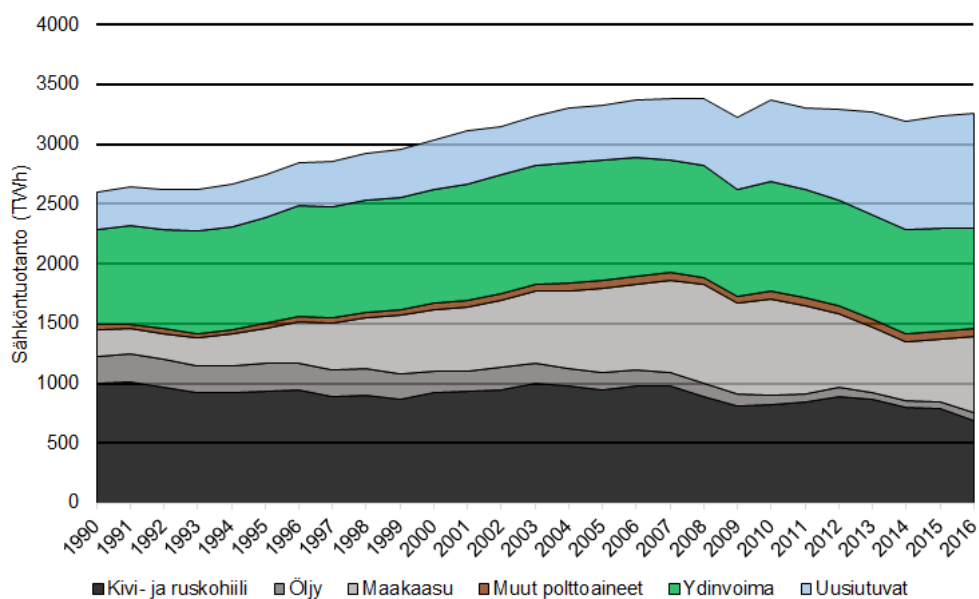
Siirtoyhteyksien riittämättömyyden lisäksi energiapolitiikka, sekä verotus- ja hinnoittelusäädäntö vaikuttavat sähkön loppuhintoihin suuresti, muodostaen huomattavia alueellisia eroja sähkön loppuhintoihin. Esimerkiksi Saksassa sähkö on pääsääntöisesti Euroopan kalleinta, kun taas sen naapurivaltioissa maksetaan sähköstä pääsääntöisesti puolta pienempää hintaa. Tanskalainen sähköhinnoittelu on myös siinä mielessä mielenkiintoista, että kotitaloussähkön hinta on suurimmillaan yli 4 kertaa kalliimpaa kuin teollisuussähkön. Jopa samalla sähkömarkkina-alueella sijaitsevassa Suomessa maksetaan noin puolta vähemmän kotitaloussähköstä kuin Tanskassa.

## 2.3 Energiateollisuuden murrosaikakausi

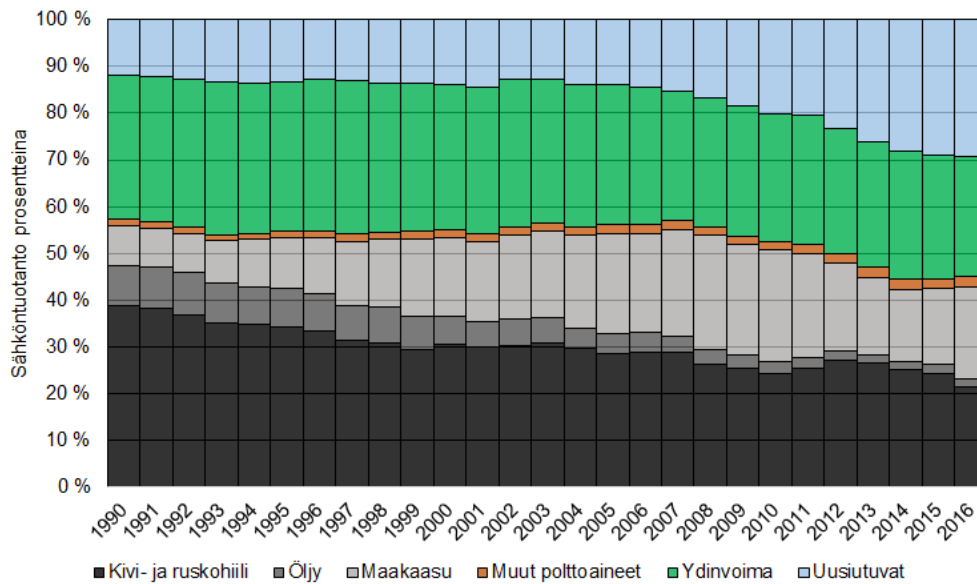
Siirtoyhteysien lisäksi myös tämän päivän tuotantoprofilissa näkyy vahvoja jäänteitä sähköteollisuuden alkuajoista. Varsinkin manner-Euroopassa suuri osa sähköstä tuotetaan edelleen polttamalla fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiihtä, ruskohiiltä, öljyä tai maakaasua. Koska nykyiset sähköjärjestelmät rakennettiin fossiilisten polttoaineiden ympärille, on tämä energiantuotantomuoto järjestelmätasapainon kannalta edelleen edullinen ratkaisu. Fyysistä polttoainetta on helppo varastoida, jolloin sitä polttamalla tuotetun sähkön määrää on yksinkertaista säädellä tarpeen mukaan. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden hinnat ovat edelleen hyvin matalat. [8]

Fossiilisessa energiantuotannossa on kuitenkin kaksi merkittävää ongelmaa; polttoainetarantojen rajallisuus, sekä niiden polttamisesta syntyvät päästöt. [3] Fossiiliset polttoaineet uusiutuvat äärimmäisen hitaasti, ja niiden käyttäminen vapauttaa hiilikierrosta poistuneen hiilidioksidin lisäksi muita saasteita ympäristöön ja ilmakehään. Nämä saasteet ovat eri elämänmuodoille haitallisia ja kiihdyttävät ilmastonmuutosta. [14]

Fossiilisten polttoaineiden käyttäminen energiantuotannossa ei ole kestävä ratkaisu, ja vähäpäästöiset, uusiutuvat energiantuotantotavat kuten vesi-, aurinko- ja tuulivoima ovat alkaneet nosta suosiotaan. Alla olevissa kuvissa 4 ja 5 on esitetty EU:n energiantuotantopaletin kehitys vuosien 1990 ja 2016 välillä. Sähkön kysyntä on kasvanut tässä ajassa noin 750 TWh, johon on käytännössä vastattu lisäämällä uusiutuvaa energiantuotantoa. Ydinvoimat tuotannon pysyessä tasaisena on raskaasti saastuttavia hiili- ja öljypolttoaineita korvattu vähemmän haitallisella maakaasulla. [15]



**Kuva 4:** EU:n Kumulatiivinen sähköntuotanto vuosittain ja energialähteittäin. [15]



**Kuva 5:** EU:n suhteellinen sähköntuotanto vuosittain ja energialähteittäin. [15]

Koska uusiutuva sähköntuotanto on hyvin sääriippuvaista, on sen tuotannon ennustaminen todella haasteellista. Tällöin sähkön vaatima kysynnän ja tarjonnan jatkuva yhteensovittaminen on nykyisellä järjestelmällä mahdotonta. [3] Vaikka uusiutuva sähköntuotanto on yleistynyt, tuotetaan edelleen noin puolet EU:n sähköstä fossiililla polttoaineilla. [15] Väestönkasvun ja vaurastumisen, sekä fyysisten suoritteiden, liikenteen ja lämpöteollisuuden sähköistymisen nostaessa sähkönkulutusta entisestään, ovat uusiutuvat ja vähäpäästöiset energialähteet ainoa sähköntuotannon vaihtoehto ilmastomuutoksen kiihtymisen välttämiseksi. [6]

Energiamurroksessa sähkön tuotantoa hajautetaan, ja tuodaan lähemmäs kulutusta. Myös kuluttajien rooli osana sähköjärjestelmää tulee monipuolistumaan. Erityisesti aurinkovoima on viimeisen 20 vuoden aikana noussut kuluttajien suosioon yksityisten, kuluttajien itsensä omistamien voimaloiden muodossa. Nämä kaikki osatekijät kasvattavat entisestään tarvetta siirtyä pois nykyisestä, yksisuuntaisesta sähköjärjestelmästä kohti joustavampaa järjestelmäkokonaisuutta. [6]

Koska nykyiset sähköjärjestelmät eivät voi vastata energiamurroksen tuomiin vaatimuksiin, on niiden muututtava. Seuraavassa luvussa esitetään ratkaisua, jonka tarkoitus on helpottaa EU:ta saavuttamaan ilmastotavoitteensa, sekä tuoda ratkaisuja energiamurroksen haasteiden selättämiseen.

## 3. EUROOPAN LAAJUINEN SÄHKÖMARKKINA

EU on asettanut kunnianhimoisen tavoitteen tehdä Euroopasta maailman ensimmäinen ilmastoneutraali maanosa, ja aikoo saavuttaa tämän tavoitteen vuoteen 2050 mennessä. [16] Euroopan sisäisen sähkömarkkinan luominen kuuluukin Euroopan komission pitkän aikavälin tavoitteisiin. [17] Tasapainoisen ja yhtenäisen sähkömarkkinan on tarkoitus luoda jäsenvaltioilleen merkittäviä parannuksia aina palvelustandardeista, loppukäyttäjän sähköhinnan kautta toimituksen luotettavuuteen ja kestävyYTEEN. [17]

Vaikka sähkömarkkinoiden yhdentymisen tuo mukanaan monia ratkaisuja ja parannuksia nykyisiin sähköjärjestelmiin, on vision tiellä monia esteitä ja haasteita. Vision toteuttamisen lisäksi sen valmistuminen tuo mukanaan omia ongelmiaan. Seuraavissa alaluissa tarkastellaan vaikeuksien lisäksi ratkaisuehdotuksia, sekä EU:n tähänastisia toimenpiteitä vision saavuttamiseksi.

### 3.1 Sähkömarkkinoiden yhdentymisen hyödyt

Euroopan laajuisen sähkömarkkinan huomattavimmat hyödyt on kiteytettävissä kolmeen aihealueeseen. Nämä ovat energiamurroksen vaatiman uusiutuvan energian tuotannon ja kulutuksen tukeminen, laajemman sähköverkkojärjestelmän tuomat kysyntäjouston ja toimitusvarmuuden uudet ulottuvuudet, sekä hintojen, standardien ja toiminnan yhdentymisen. Seuraavissa alaluissa perehdytään näihin etuihin tarkemmin.

#### 3.1.1 Kysyntäjouston uudet ulottuvuudet

Jotta sähköntoimitus pysyy tasaisena ja katkeilemattomana, tulee kulutuksen ja tuotannon olla hyvin vahvassa tasapainossa. [2] Euroopan laajuinen sähkömarkkinavisio edellyttää eri valtioiden välisten siirtoyhteyksien vahvistamista, joka nostaa sähkönsiirron eri alueiden, maiden ja nykyisten markkina-alueiden välillä uudelle tasolle. [17] Tällaisten laajempien sähköjärjestelmäalueiden huomattavimpia hyötyjä ovat kysyntäjouston kehittyminen ja kulutusvaihteluiden pieneminen, tehden sähköntoimituksesta kokonaisuudessaan tasaisempaa ja luotettavampaa. [18] On simuloitu, että Euroopan laajuinen sähkömarkkina-alue mahdollistaisi nykyistä järjestelmää paremmin sähköntuotannon ja -kulutuksen epätasaisuuksien tasapainottamista. [17]

Nykyisten siirtojärjestelmien heikkouksien ratkaisemisen lisäksi Euroopan laajuinen sähkömarkkina-alue tuo mukanaan etuja, jotka jäävät nykyiseltä markkinaekosysteemiltä täysin tai jopa osittain hyödyntämättä. Esimerkiksi vuorokausikulutus elää eri tahdissa eri aikavyöhykkeillä. Tämän ansiosta Euroopan kulutuspiikit esiintyvät aikavyöhykkeittäin vuorotellen sen sijaan, että kaikkien Euroopan maiden kulutuspiikit kasaantuisivat samalle tunnille. [2] Sähkön siirtämisen helpottuminen eri aikavyöhykkeiden välillä helpottaisi kulutuspiikkien kysyntätarpeeseen vastaamista.

Itä-länsisuuntaisen tuotanto-kulutustasauksen lisäksi Euroopan laajuinen sähkömarkkina tuo samantapaisen hyödyn etelä-pohjoissuuntaiselle tasaamiselle; talvella sähkönkulutus painottuu pimeään ja kylmään pohjoiseen Eurooppaan, kun taas kesällä jäähdytysjärjestelmät nostavat eteläisen Euroopan kulutusta. Euroopan laajuinen sähkömarkkina vastaisi nykyistä markkinaekosysteemiä paremmin vuosittaisessa syklissä toistuviin kulutuspiikkeihin. [2] Lisäksi kesäajan käyttö tai käyttämättömyys eri alueilla tuo oman elementtinsä kysyntätaseeseen.

### **3.1.2 Säästöjä, toimintavarmuutta ja yhtenäisyyttä**

On arvioitu, että eurooppalaisten sähkömarkkinoiden yhdistäminen samaan sähkömarkkinaan toisi sähkön vuorokausimarkkinoille yhteensä noin miljardin euron vuosittaiset säästöt. Päivän sisäisille markkinoille sekä säätösähkö- ja reservimarkkinoille säästöjä kertyisi enemmän; noin 1,3 miljardia euroa vuodessa. Vuosittaisiksi kokonaissäästöiksi on arvioitu yhteensä 3,4–3,9 miljardia euroa. Euroopan laajuisen sähkömarkkina-alueen lyhyen aikavälin taloudelliset säästöt ovat täten noin 2,6 % nykyisen kokonaiskysynnän arvosta, mutta tuplasti enemmän kuin nykyisten markkina-alueiden välisten sähkönsiirtojen tuotot. [18]

Vuonna 2015 EU:ssa käytetystä energiasta yli puolet oli tuontienergiaa, yhteisarvoltaan noin 400 miljardia euroa. Energiasektorin tuontiriippuvuus vaihtelee eri maiden välillä; esimerkiksi Italia ja Irlanti käyttävät yli 80-prosenttisesti tuontienergiaa, kun taas Suomen lisäksi viisi jäsenmaata ovat riippuvaisia saman, EU:n ulkopuolisen valtion maakaasutuotannosta. Nämä molemmat esimerkkitapaukset ovat hyvin riskialttiita varsinkin hintavaihteluille ja toimitushäiriöille. [5]

Tällä hetkellä eurooppalaisten sähkön kuluttajien edunvalvonta on hankalaa pirstaleisin energiemarkkinaekosysteemin takia. Yhtenäinen sähkömarkkina pakottaisi eri sähköalan toimijat samojen sääntöjen, standardien ja periaatteiden ääreen. Tällöin myös kuluttajataso edunvalvonta helpottuu. [17]

### 3.1.3 Energiamurrokselle sopivampi järjestelmäympäristö

Energiasektori elää parhaillaan murrosaikaa, muuttuen koko ajan päästöttömämmäksi, lähituotetuimmaksi ja hajautetuimmaksi. [6] Uusiutuvat energialähteet koetaan nousuvissa määrin perinteisiä energiantuotantotapoja paremmiksi vaihtoehtoiksi. [2] Valitettavasti valtaosa uusiutuvasta energiantuotannosta on hyvin sääriippuvaista, jolloin tuotannon ennustaminen ja kohdistaminen senhetkiseen kulutukseen vaikeutuu. [6] Yhtenäisempi sähkömarkkina vähentää tasaustarvetta luomalla lisää joustavuutta. [19]

Sähkön uusiutuvan tuotannon lisäksi energiamurroksen odotetaan kehittävän sähkön varastointitekologioita ja niiden kapasiteettimääriä. Tällä hetkellä teollisen mittakaavan sähkövarastoja ei pumppuvoimalaitosten lisäksi juurikaan ole, mutta Euroopan laajuisen sähkömarkkinan odotetaan lisäävän suurten varastointiyksiköiden kehitystyötä. [3]

Suuren energiajärjestelmän joustavuutta voidaan lisätä esimerkiksi hajautetulla energiantuotannolla, kuluttajien oman tuotannon tukemisella, kaksisuuntaisilla siirtoyhteyksillä, automatisoiduilla ohjaus- ja valvontajärjestelmillä, energiareserveillä sekä biopolttoaine- ja vetyteollisuuksilla. Useampaa edellä mainittua komponenttia sisältävää sähköjärjestelmää kutsutaan älykkääksi sähköverkoksi (*smart grid*). [2]

## 3.2 Yhdentymisen esteet, haasteet ja ongelmat

Kuten lähes kaikkiin muutosprojekteihin, myös Euroopan laajuiseen sähkömarkkinan muodostamiseen liittyy esteitä ja haasteita. Kehitystyötä on tehty vähän, ja tätä voidaan selittää taloudellisten syiden lisäksi myös poliittisilla ja teknologisilla haasteilla. Muita syitä ovat esimerkiksi kuluttajien, toimijoiden ja päättäjien asenteet. [20]

Suurimmat projektikonaisuuden haasteet ja esteet liittyvät nykyisiin siirtoyhteyksiin, sekä eri sähkömarkkinajärjestelmien eroavaisuuksiin. Seuraavissa alaluvuissa perehdytään sähkömarkkinoiden yhdentämisen esteisiin ja haasteisiin, yhdentymisen tuomiin ongelmiin, sekä joihinkin, yksittäisiin ratkaisuehdotuksiin.

### 3.2.1 Nykyisten sähkömarkkinoiden erilaisuus

Nykyisten eurooppalaisten sähkömarkkinasidosryhmien toiminta on hyvin kansallisia ilman kansainvälistä yhteistyötä. [19] Nykyisen sähkömarkkinaekosysteemin eri sidosryhmien, kuten verkkoyhtiöiden, sähkönmyyjien, sekä energiaviranomaisten ja -poliitikkojen hyödyntämät toimintamallit, -tavat ja -standardit ovat myös hyvin erilaisia. [17] Tämä vaikeuttaa toiminnan yhtenäistämistä entisestään.

Eri markkinoiden välillä käydään jonkin verran kysynnän ja tuotannon tasaamiseen liittyvää kauppaa. Sähkömarkkinajärjestelmien, -toimintojen ja -standardien yhdentämisen vauhdittamiseksi sääntelyviranomaiset voisivat suunnata sähkömarkkinoiden välisestä toiminnasta saatuja säästöjä nykyisiä sähkömarkkina-alueita yhdistävien toimijoiden tuotoiksi. Tämä vauhdittaisi sähkömarkkina-alueita yhdistävien projektien toteutumista, ja nopeuttaen Euroopan laajuiseen sähkömarkkinaan pääsemistä. [18]

Energiajärjestelmien integraatiota hidastavien haasteiden vähentämisessä on kiinnitettävä erityistä huomiota uusien säännösten ja menettelytapojen luomiseen ja käyttöönottoon. Ohjeiden, lakien ja sääntöjen on ehdottomasti muututtava ja kehityttävä varsinkin EU-tasolla niin, että sähköalan toimijat hyötyvät toimintansa ohjaamisesta haluttuun suuntaan. Myös kuluttajien roolia ja mahdollisuuksia osana uutta järjestelmää tulee korostaa nykyistä enemmän. [20]

Olemassa olevien markkinoiden kehityssuunnan ohjaaminen on tärkeä työkalu yhtenäiseen sähkömarkkinaan pääsemiseksi. Euroopan energiapolitiikassa tulisi tehdä olemassa olevien markkinoiden yhteenkytkennästä olennainen, jäsenvaltioiden yhteinen tavoite. Tähän tavoitteeseen päästäisiin luomalla olemassa olevien alueellisten markkinoiden yhdistämiselle vakaa ja avoin säätelykehys, selkeyttämällä tavoitetta ja tukemalla tavoitteenmukaista kansallista energiapolitiikkaa. [17]

### **3.2.2 Fyysisen sähköjärjestelmän riittämättömyys**

Toiminnallisten elementtien lisäksi muutostyötä on tehtävä myös fyysisen siirtoverkoston parissa. Erityisesti rajayhteyksien kapasiteettivaatimukset ovat korkeat, ja jo nykyisellä sähkömarkkinaekosysteemillä sähköverkostojen välisten siirtoyhteyksien vahvistamiselle, lisäämiselle ja kehittämiselle olisi tarvetta. [18] [17] Kehitystyö on kuitenkin todella kallista, ja varsinkin kansainvälisten siirtoyhteysprojektien hintakuorman jakautuminen voi aiheuttaa erimielisyyksiä osapuolten välillä. On oletettavaa, että moni valtio priorisoi kansallisen siirtoverkoston kehittämisen kansainvälisten projektien edelle.

Kansainvälisten siirtoyhteyksien parantaminen on tärkeä osa Euroopan laajuisen sähkömarkkinan ja energiamurroksen onnistumista. [8] Siirtoyhteyksien kehittämisen taloudellinen hyöty näkyy varsinkin nykyisissä pullonkaulakohdissa. Kuten sähkömarkkinoiden toiminnallisuudelle, myös fyysiselle siirtoyhteyskehitykselle on ohjattava taloudellisia kannusteita. Nykyisten markkina-alueiden välisistä siirroista muodostuvia säästöjä voitaisiin ohjata nykyisiä sähkömarkkina-alueita yhdistäville toimijoille. [18]

Laajat sähkötalousalueet ovat suppeampia versioitaan monimutkaisempia, ja vaativat järjestelmäkehitystä. Esimerkiksi laitteistojen suorituskykyyn, valvottavuuteen ja ohjattavuuteen, sekä turvallisuuteen ja turvattavuuteen liittyvät kehitysvaatimukset ovat merkittävät. [2] Laitteistokehityksen kokonaishinnan arvioitu suuruusluokka on vähintään kymmenissä miljoonissa euroissa jokaiselle järjestelmään liittyvälle valtiolle. [18]

Kehitystyössä on tärkeää huomioida energiamurroksen eri puolia. Esimerkiksi suurten siirtoyhteyksien tarvetta voitaisiin pienentää hajauttamalla tuotantoa lähelle kulutusta. [2] Myös tasaisemman jännitteen verkkoalueiden odotetaan yleistyvän, korvaten tämän hetken runko- ja jakeluverkoista muodostuvia järjestelmiä. [8] Nämä seikat yhdessä *smart grid* -trendin kanssa muuttavat vahvasti tulevaisuuden siirtoverkkovaatimuksia.

### 3.2.3 Muutoksen tuomat ongelmat

Euroopan laajuisen sähkömarkkinan muodostamiseen liittyvien esteiden lisäksi uudistus tuo omia haasteitaan. Laajan järjestelmän luodessa varmuutta sähköntoimituksen tasaisuuteen ja laatuun kasvattaa se samalla mahdollisten suuronnettomuuksien vaikutusalueita. [2] Esimerkiksi laitos- ja järjestelmäonnettomuuksien haittavaikutusten riskit ovat suurempia yhtenäisessä järjestelmässä. Nämä uhat lisäävät laaja-alaisen ja jatkuvan tiedon keräämisen, jakamisen ja analysoimisen tärkeyttä.

Suuronnettomuuksien riskiä voidaan pienentää muun muassa valvonnalla, direktiiveillä sekä turvalaitteilla. On todennäköistä, että useamman osapuolen järjestelmässä ongelmien havaitseminen ja niihin reagoiminen on nopeampaa. Laajempi järjestelmä on myös kestävämpi sietämään erilaisia ongelmia. Tapaturmien ja onnettomuuksien vaikutuksia voidaan minimoida myös esimerkiksi monipuolistamalla energiantuotantoa. [19]

On toistaiseksi epävarmaa, minkä tasapainottavien markkinoiden tärkeyttä uusiutuvien energialähteiden yleistymisen nostaa. Koska sääolosuhteita, tuotantoa tai kulutusta ei voida täydellisesti ennustaa, aiheuttaa todellisuuden ja ennusteiden ero tasaustarvetta. Siirtojärjestelmäoperaattorit tosin koordinoivat omia toimiaan näiden epätasaisuuksien tasapainottamiseksi jo nyt, joten ratkaisu voi piillä nykyisissä toimintatavoissa. [19]

Uusiutuvaa energiantuotantoa pystytään tällä hetkellä arvioimaan ennustamalla maa- ja merituulivoiman sekä aurinkovoimaloiden tuotantoa. Tämä tapahtuu yhdistämällä arviot todelliseen, mitattuun tuotantodataan ennustevirheiden minimoimiseksi. Koska sähkönkulutus on Euroopan mittakaavassa hyvin tasaista ja ennustettavaa, myös sähkön tasaustarvetta voidaan mallintaa ja täten myös ennustaa hyvinkin tarkasti pelkän uusiutuvan energiantuotannon ennusteiden pohjalta. [19]



### 3.3 Euroopan Unionin tähänastiset toimenpiteet

EU olen luonut monia ohjelmia ja elimiä hiilineutraaliustavoitteensa saavuttamiseksi. Tavoitteen lippulaivahanke on vuonna 2019 Euroopan komission julkaisema EU:n vihreän kehityksen ohjelma (*EU Green Deal*). [4] Ohjelma hyödyntää monia vanhempia toimia, kuten vuonna 2011 voimaan tullutta sähköjärjestelmän tavoitemallia (*Target Electricity Model*). Tämä tavoitemalli pyrkii osana vuonna 2009 alkanutta kolmatta energiapaketiohjelmia (*Third Energy Package*) yhdistämään EU:n sähkömarkkinat. [18]

Euroopan komissio on huomionut energiamurroksen vuonna 2015 julkaistussa Energiaunionipaketissaan. Tämän energiapoliittisen toimenpideohjelman pohjalta komissio on kehittänyt EU:n tuoreimman energiastrategian. Se painottaa viittä osa-aluetta; energiaturvallisuutta, energiasisämarkkinoita, energiatehokkuutta, vähähiilistä taloutta, sekä tutkimus-, innovaatio- ja kilpailukykykehitystä. Osa-alueita pyritään kehittämään niin, että sähkön, lämmön ja polttoaineiden hinnat kuluttajatasolla madaltuisivat. [5]

Edellä mainittujen ohjelmien lisäksi Euroopan komissio julkaisi marraskuussa 2016 Energiaunionin konseptiin liittyvän Puhtaan energian säännöspaketin (*Clean Energy For All Europeans*). Paketissa esitetään uudelleenmuotoiluja olemassa oleviin sähkömarkkinoihin liittyviin direktiiveihin ja suuntaviivoihin. Komissio on myös luonut monia tutkimuksia siitä, mitkä eri sähkömarkkinamallien ominaisuuksista hyödyttäisivät Euroopan laajuista sähkömarkkinaa parhaiten. [19]

Kolmannen energiapaketin pohjalta on luotu myös Energia-alan sääntelyviranomaisten yhteistyövirasto ACER (*Agency for the Cooperation of Energy Regulators*). ACER perustettiin maaliskuussa 2011 Euroopan sisäisen maakaasu- ja sähkömarkkinan edistämiseksi. ACER tukee kansallisten sääntelyviranomaisten yhteistyötä ja yhdistymistä, valvoen ja vahvistaen EU:n energiapoliittisten tavoitteiden toteutumista. Virasto tukee kuluttajaystävällistä sähkömarkkinaa, kansainvälistä ja varmaa sähkönsiirtoinfrastruktuuria, sekä reiluja kuluttajahintoja. [21] Lisäksi energiasektoriin liittyen vuoden 2021 kesäkuulle on odotettavissa päästökauppaa uudistava ja laajentava suunnitelma. [16]

Tähän asti kansalliset sähkömarkkinat ovat muovautuneet kansallisten tasaustarpeiden mukaisesti. ACERin luomien ohjesääntöjen pohjalta Sähkön siirtoverkkohaltijoiden eurooppalainen verkosto ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*) on luonut kahdeksan direktiivistatuksellista sähköverkkosääntöä yhtenäistääkseen näitä hyvin erilaisia lyhyen aikavälin sähkömarkkinajärjestelmiä. Näiden ohjesääntöjen ja puhtaan energian tarjonnan paketin implementointi ja vaikutukset jäsenvaltioitasolla ovat kuitenkin vielä epäselvät, sillä nämä säädökset ovat hyvin tuoreita. [19]

## 4. SKENAARIOT SUOMEN TULEVAISUUDESTA

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj julkaisee talvella 2021 verkkovisiotyön, jonka skenaariot tarkastelevat sähköteollisuuden kehityssuuntia painottaen vuosia 2035 ja 2045. Skenaariot on luotu kevään 2020 teollisuuden vähähiilitiekarttojen, ENTSO-E:n ja ENT-SOG:n tekemien yhteiseurooppalaisten skenaarioiden, sekä Itämeren alueen kantaverkkoalueiden luovuttamien tietojen pohjalta. Vaikka varsinaista julkaisua ei ole vielä saatavilla, skenaarioiden alustavat versiot on julkaistu elokuussa 2020. [22]

Tässä luvussa tutustutaan Fingridin verkkovisiotyön skenaarioihin ja vertaillaan niitä keskenään, sekä pohditaan niiden toteutumisen vaikutuksia Suomen sisäiseen sähkömarkkinaan. Tämän lisäksi tarkastellaan, miten Euroopan laajuinen sähkömarkkinavisio on huomioitu skenaarioissa, ja miten sen onnistuminen tai epäonnistuminen voisi vaikuttaa Suomen sähköteollisuuteen.

### 4.1 Suomen nykytilanne ja skenaariot tulevaisuudesta

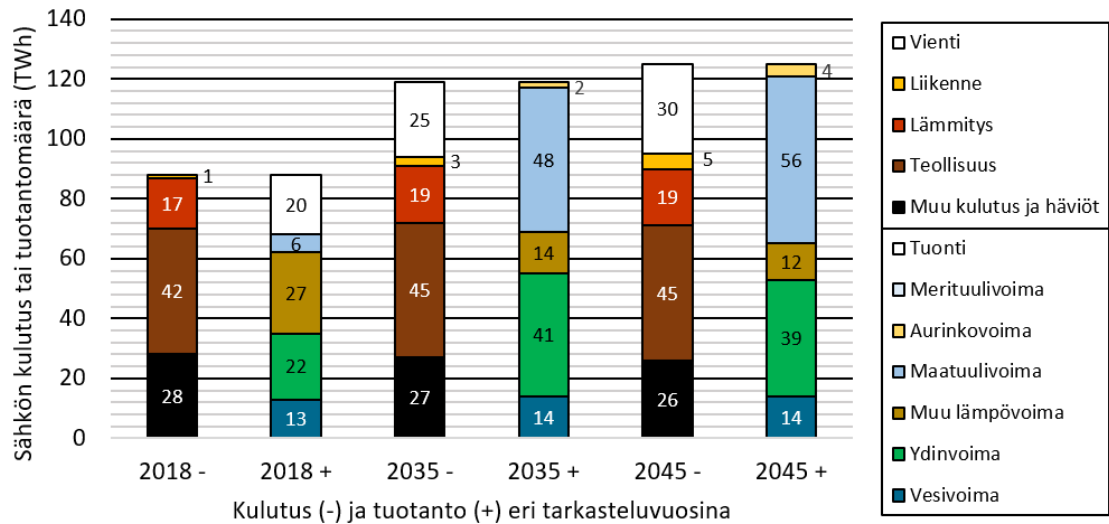
EU:lla on tavoite olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä, mutta Suomen oma tavoitevuosi 2035 on huomattavasti aikaisempi. [16] Vaikka Suomen tämänhetkinen sähköntuotantopaletti on hyvin fossiilivapaa, on Suomen sähköntuotanto todella epäomanvaraista. [23] Ilmastoneutraaliustavoite on kunnianhimoinen myös siksi, että hiilidioksidittoman energiantuotannon lisääminen Suomeen on hyvin haasteellista. Esimerkiksi suurin osa Suomen vesivoiman lisäyspotentiaalista sijaitsee suojelluilla alueilla. [24]

Helppoja ratkaisuja ei löydy myöskään uusiutuvasta sähköntuotannosta. Tuulivoimaloiden mahdolliset ympäristö- ja terveysvaikutusriskit aiheuttavat negatiivista suhtautumista uusien voimalaprojekteja kohtaan. Muut vaihtoehdot, kuten merituulivoimalat ovat vielä hyvin nuoria teknologioita. Aurinkovoimapien tuotannon määrä on jatkuvassa nousussa, mutta tämän vaihtoehdon tuotanto keskittyy kesään. [25] Jos Suomen sähköntuotantoa lisätään uusiutuvilla, on rakenteellista kehitystyötä tehtävä paljon.

Suomen kansallinen siirtoverkosto on Euroopan mittakaavassa huippuluokkaa. Sähkön siirto on niin sujuvaa, että koko maassa on käytössä yksi hinta-alue. Esimerkiksi Ruotsissa on neljä ja Norjassa viisi hinta-aluetta tarvetta heikompien siirtoyhteyksien takia. Suomella on kansainvälisiä siirtoyhteyksiä Venäjälle, Viroon, Ruotsiin ja Norjaan. Koska Suomen sähköomavaraisuus on heikkoa, löytyvät pahimmat pullonkaulat Norjan ja Ruotsin vesivoimasähköä tuovista ulkosiirtoyhteyksistä.

### 4.1.1 Skenaario A: Sähköä vientiin

Ensimmäisessä skenaariossa luotetaan siihen, ettei Suomi muun Euroopan tavoin saavuta ilmasto- tai hiilineutraaliustavoitteitaan vuoteen 2035 mennessä. Liikenteen ja lämmityksen sähköistyminen on maltillista, ja teollisuuden kasvu lähes olematonta. [22] Kuvassa 6 esitetään sähkön kulutuksen sekä tuotannon ennusteet vuosille 2035 ja 2045.



**Kuva 6:** Skenaarion A sähkönkulutus ja -tuotanto vuosina 2035 ja 2045.

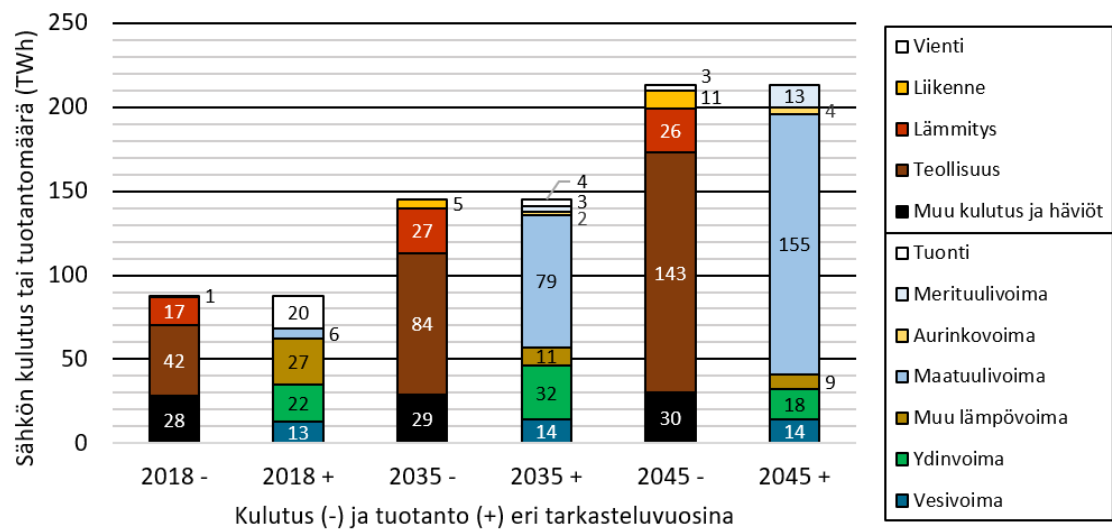
Koska tässä skenaariossa muu Eurooppa vähentää fossiilisperäisen sähköntuotannon määrää reippaasti, on ilmastoneutraalille sähkölle markkinarakoa. Suomen sähkönkulutuksen kasvun ollessa hyvin pientä sähkön vienti ohjaa erityisesti ydin- ja maatuulivoimatuotannon kasvua. Olkiluoto 3 ja Hanhikivi 1 –yksiköt lisäävät ydinvoimasähköntuotantoa, ja ydinvoimasähkön tuotantokapasiteetti tuplaantuu vuoteen 2035 mennessä. Maatuulivoiman tuotantokapasiteetti puolestaan kasvaa 7-kertaiseksi, tuotannon noustessa 8-kertaiseksi.

Loviisan sekä Olkiluodon vanhojen ydinvoimalayksiköiden käyttöiät saadaan pidennettyä vuoteen 2045 asti. Tämä pitää ydinvoimatuotannon vuoden 2035 arvoissa. Vuoteen 2045 mennessä maatuulivoiman sähköntuotanto on 9-kertaistunut vuoden 2018 tasosta. Yhteistuotantolaitoksissa fossiiliset polttoaineet korvataan kokonaan biopolttoaineilla. Vaikka lämpövoiman sähköntuotanto puolittuu, laskee se maltillisemmin kuin muissa skenaarioissa. Tasaustarve on vahvasti ydinvoimaan perustuvan tuotannon sekä matalamman kulutuksen ansiosta matala, ja siihen vastataan hieman yleistyneillä sähköau-toilla. Sähkönvienti on 25 terawattituntia jo vuonna 2035, ja 30 vuonna 2045. [22]

Kansainvälisesti Suomi alkaa nojautua itään. Ruotsi luopuu ydinvoimasta vasta vuoteen 2045 mennessä, ja Viipurin tasasähköyhteys uusitaan. Eurooppa saavuttaa päästötavoitteensa aikataulussa, luoden Suomen uusiutuvalle sähkölle markkinarakoa. [22]

#### 4.1.2 Skenaario B: Ilmastoneutraali kasvu

Toisessa skenaariossa Suomi saavuttaa hiilineutraaliustavoitteensa panostamalla vahvasti maatuulivoimaan, sekä liikenteen, lämmityksen ja teollisuusprosessien vahvaan sähköistymiseen. Tällä hetkellä tärkeät ydin- ja lämpövoima menettävät merkitystään. Puhtaan energian tarjonta muodostaa Suomesta runsaasti sähköä käyttäville teollisuudenaloille houkuttelevan toimintaympäristön, ja sähkönkulutus kasvaa yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2045 mennessä. Kuvassa 7 esitetään sähkön kulutuksen ja tuotannon ennusteet sopusuhtaisesta kasvusta vuosina 2035 ja 2045. [22]



**Kuva 7:** Skenaarion A sähkönkulutus ja -tuotanto vuosina 2035 ja 2045.

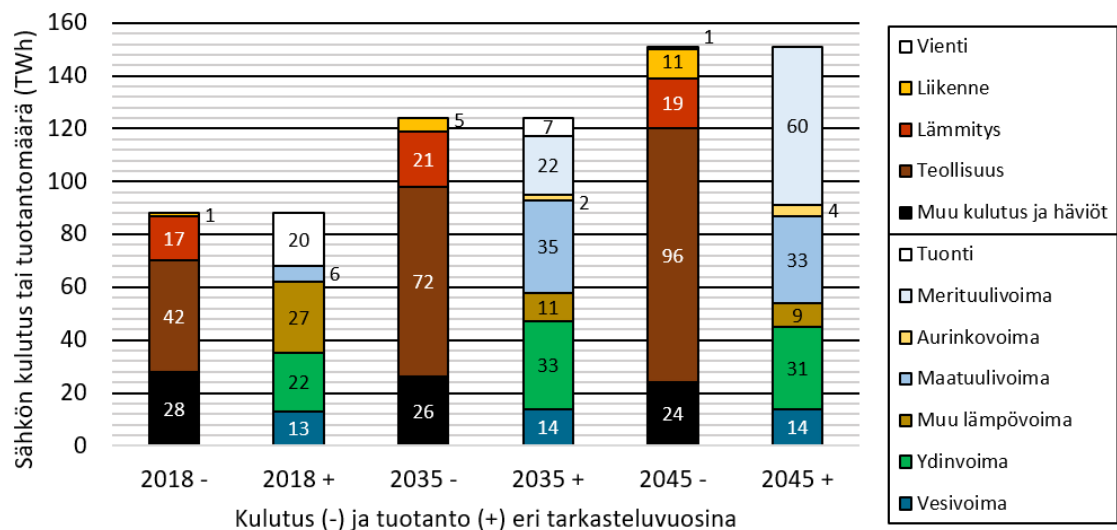
Suomen sähköntuotantopaletti muovautuu rajusti. Rakenteilla olevat ydinvoimalat otetaan käyttöön, mutta vanhojen elinikää ei pidennetä. Aurinko- ja merituulivoimatuotannot saavuttavat terawattituntitason, joista jälkimmäisen tuotanto ylittää vesivoiman tasolle vuonna 2045. Maatuulivoimasektori kasvaa kuitenkin enemmän; vuoteen 2035 mennessä kapasiteetti ja tuotanto kasvavat 11- ja 13-kertaisiksi. Nämä kertoimet tuplaantuvat vuoteen 2045 mennessä, jolloin maatuulivoima tuottaa yli 155 terawattituntia, kattaen yli 70 % Suomen sähköntuotannosta. Tämän avulla lämpövoimaperusteinen sähköntuotanto laskee kolmannekseen vuoden 2018 vertailuarvosta. [22]

Suurin osa uudesta tuulivoimasta sijoitetaan Keski- ja Pohjois-Lappiin, sekä tutkaongelmien ratkaisemisen jälkeen Itä-Suomeen. Pohjoisen voimakasvolyyminen tuulivoimatuotanto ja Etelä-Suomessa sijaitsevat kuormakeskittymät vaativat Suomen pohjoisete-läsuuntaisten siirtoyhteyksien vahvistamista yhtenäisen hinta-alueen säilyttämiseksi. Skenaarion toteutuminen vaatii tuulivoiman tuotantokapasiteetin kasvamisen yli 1000 megawatin vuosivauhdilla. Tämä puolestaan edellyttää, että tuulivoiman tuotantokustan-nukset jatkavat laskuaan ja hallinnollispoliittiset esteet saadaan ratkaistua. [22]

Kysyntäjousto kasvaa sähköautojen älykkään lataamisen, sähköisten kaukolämpöjärjes-telmien sekä joustavien teollisuusprosessien avulla. Esimerkiksi elektrolyysilaitteistojen kaltaiset järjestelmät yleistyvät. Myös power-to-X-teknologioiden ja -teollisuus yleistyy koko Euroopassa. Suomi saavuttaa neutraalin sähkötaseen vuonna 2045, ja Eurooppa ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä. Euroopan energiaomavaraisuus para-nee, Ruotsin ydinvoima poistuu vuoteen 2045 mennessä, ja Viipurin linkki uusitaan. [22]

### 4.1.3 Skenaario C: Merellä tuulee

Skenaariossa C maatuulivoimaa rajoittavat sosiaalipoliittiset haasteet pysyvät, ja Suo-meen rakennetaan maatuulivoiman sijasta meritulivoimaa. Ilmastotavoitteet saavute-taan, mutta Suomen kilpailuetu ja uuden teollisuuden määrä ovat pienemmät kuin B-skenaariossa. Nykyiset, fossiilisia polttoaineita kuluttavat kemian- ja terästeollisuuden prosessit korvataan uusilla, sähköä kuluttavilla tekniikoilla. Kuvassa 8 esitetään sähkön kulutus ja tuotanto vuosille 2035 ja 2045. [22]



**Kuva 8:** Skenaarion A sähkönkulutus ja -tuotanto vuosina 2035 ja 2045.

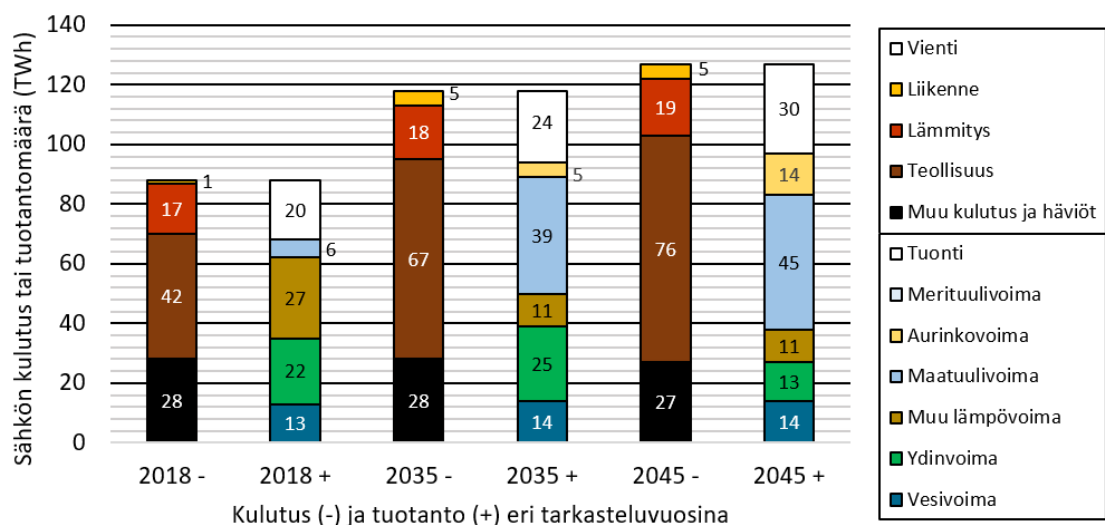
Vuoteen 2035 mennessä maatuulivoiman tuotantokapasiteetti viisinkertaistuu ja tuotanto lähes kuusinkertaistuu. Lämpövoiman määrä laskee alle puoleen, ja maa- ja merituulivoimien kapasiteetit ohittavat vesivoiman. Uudet ydinvoimalat otetaan käyttöön ja nykyisten ydinvoimaloiden käyttöikää jatketaan vuoteen 2045. Vuonna 2045 Merituulivoimat tuotanto on kaksinkertainen maatuulivoimaan verrattuna, ja vesi- ja aurinkovoimaa lukuun ottamatta muu sähköntuotanto vähenee vuoden 2035 tasoista. [22]

Liikenteen sähköistyminen yltää jopa rahtiliikenteeseen asti. Myös liikenteen ja lämmityksen sähköistyminen aiheuttaa nykyistä voimakkaampaa sähkönsiirtoa kaupunkeihin, joka haastaa siirtoverkostoa. Myös rannikoille keskittynyt sähköntuotanto tuo oman haasteensa sähkönsiirrolle. Kysyntäjousto toimii samoilla periaatteilla kuin skenaariossa B, ja Suomen sähkötase on positiivisen vuonna 2045. Euroopan ydinvoimapolitiikka on myönteisempää, ja ennenaikaisia laitossulkuja ei tehdä. Viipurin linkkiä ei uusita. [22]

#### 4.1.4 Skenaario D: Aurinkoa ja akkuja

Neljännessä skenaariossa erityisesti kuluttajat ja kotitaloudet kiinnostuvat aurinkovoimasta ja energiaomavaraisuudesta. Hajautettu, yksityinen aurinkovoima yleistyy ja ydinvoiman määrä laskee. Pienet yhteistuotantolaitokset yleistyvät. Hiilineutraaliustavoitteet saavutetaan, mutta Suomeen ei houkutella tuoretta teollisuutta. [22]

Vedyn yleistymisen liikenteen energialähteenä minimoi liikenteen sähköistymisen, mutta vetyteollisuus ja vedyn tuotanto vaativat paljon sähköä. Lämmitys sähköistyy ja fossiiliset energialähteet korvataan monipuolisesti geotermisellä energialla, hukkalämmön hyödyntämisellä sekä biopolttoaineilla. Energiatehokkuus paranee, joten sähkönkäyttö kasvaa hyvin maltillisesti. Kuvassa 9 esitetään tase-ennusteet vuosille 2035 ja 2045. [22]



**Kuva 9:** Skenaariossa A sähkönkulutus ja -tuotanto vuosina 2035 ja 2045.

Kysyntäjousto toteutetaan hajautetusti akkujen ja sähköautojen älykkäällä käytöllä. Maa-tuulivoimaa rakennetaan 6-kertainen määrä vuoteen 2018 verrattuna. Ydinvoimassa nähdään pieni nousu 2035, mutta se laskee vuoden 2018 tasoa matalammaksi vuoteen 2045 mennessä. Muu lämpövoima puolittuu, mutta lopettaa fossiilisten polttoaineiden käytön ja toimii täysin biopolttoaineilla. [22]

Suomen sähkösiirtoverkosto on luotu todella erilaiseen käyttöön mitä skenaariotulos vaatii. Kantaverkon taajuuden ylläpidosta tulee haasteellisempaa inertian pienentyessä. Järjestelmä on myös luotu sähkön kulkusuunnan kannalta yksisuuntaiseksi, mutta skenaariossa sähkösiirtoverkosta on kehitettävä sähkön varastoinnin ja hajautetun tuotannon tarpeisiin. [22]

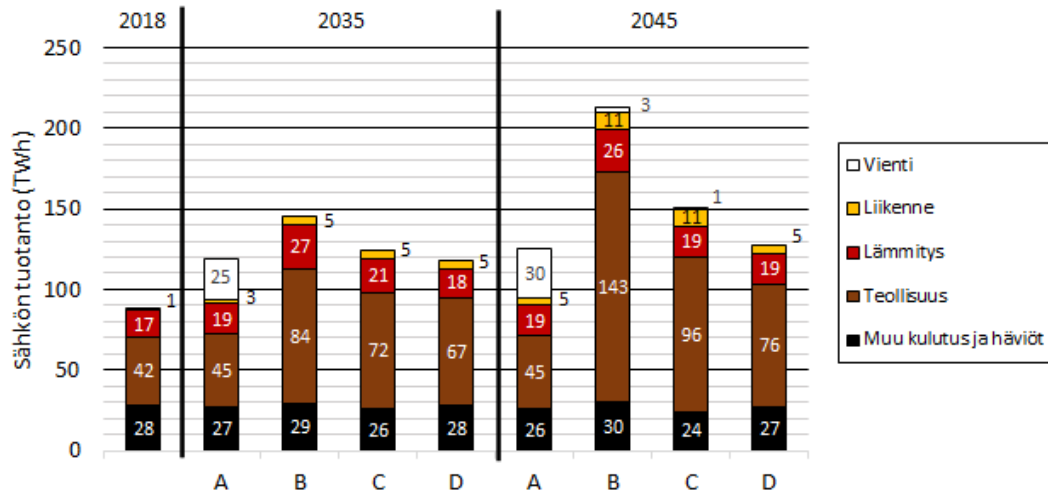
Euroopan energiaomavaraisuus paranee. Aurinkosähkö yleistyy, joka laskee järjestelmien hintoja huomattavasti. Myös varastointiteknologioiden vahvaa kehitystä on odotettavissa. Ruotsin ydinvoimalat sulkeutuvat vuoteen 2045 mennessä, ja Viipurin linkkiä ei uusita. [22]

## 4.2 Tulevaisuuden skenaarioiden vertailu

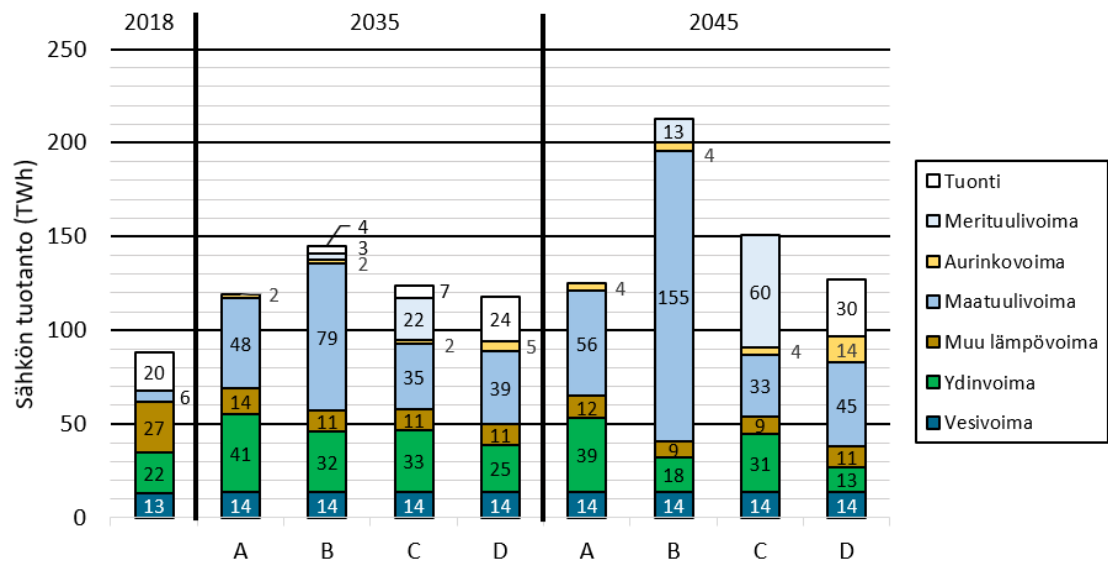
Skenaario A perustuu vahvasti siihen, ettei Suomi saavuta ilmastotavoitteitaan. C- ja D-skenaariot saavuttavat ilmastotavoitteet, ja B tekee vahvasta ilmastoneutraaliudesta toimintaympäristöbrändiä. Tämä houkuttelee Suomeen uutta teollisuutta. Myös C-skenaario kerää uutta teollisuutta Suomeen, kun taas A- ja D-skenaariot eivät sitä juurikaan tavoittele. Nämä skenaariot ovat myös heikoimpia lämmityksen, liikenteen ja teollisuuden sähköistäjiä, kun taas B ja C luottavat tähän vahvasti.

Skenaariot ovat keskenään hyvin erilaiset, ja painottavat eri tavoitteita ja sähköntuotantotapoja. Mielenkiintoisimmat vertailuarvot ovat Suomen ilmastotavoitteiden saavuttaminen, omavaraisuusaste, sähköntuotantopaletin monipuolisuus, tuontisähkämähdollisyydet, energiasektorin sähköistyminen, teollisuuden kasvu, nykyisen siirtoverkoston sopivuus skenaarioympäristöön, sekä sähkön uusiutuvuusaste.

Koska skenaariot ovat visioita ja ennusteita, on niiden tarkka numeerinen vertailu hyvin ongelmallista. Suuruusluokat ja vertailu antavat kuitenkin hyvää osviittaa ja käsitystä siitä, mitä mikäkin skenaario toisi mukanaan. Kuvassa 10 on kooste eri skenaarioiden sähkön kulutusennusteista, ja kuvassa 11 kooste sähkön tuotantoennusteista eri tarkastelu vuosina.



**Kuva 10:** Kooste eri skenaarioiden sähkönkulutusennusteista.

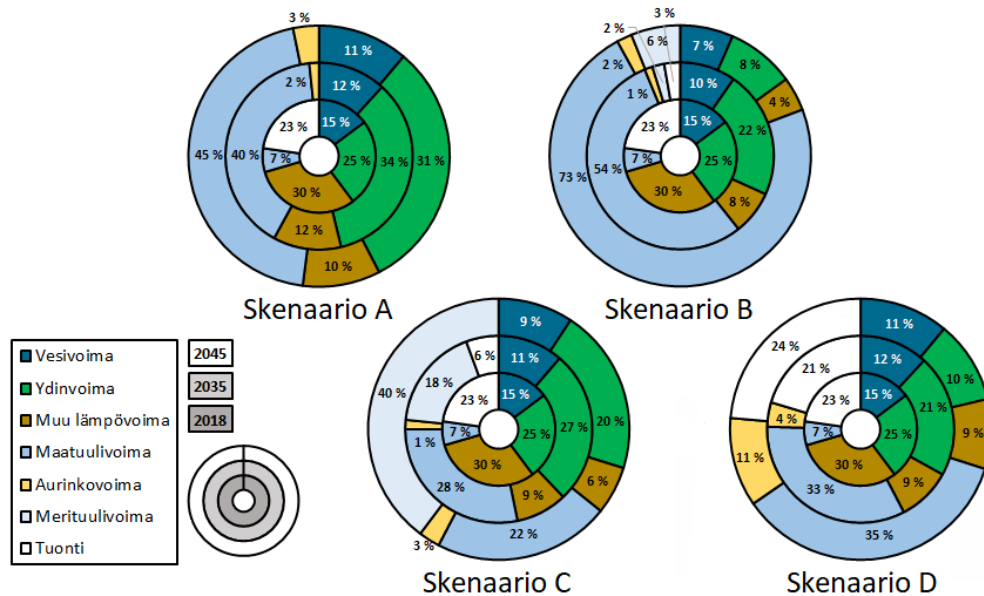


**Kuva 11:** Kooste eri skenaarioiden sähköntuotantoennusteista.

Erityisesti kuvasta 11 nähdään, että sähkön tuotannon omavaraisuusaste on heikointa skenaariossa D. Tässä skenaariossa Suomen tuontisähkön määrä vain kasvaa. Paras tilanne taas on selkeästi skenaariolla A, joka onnistuu tuottamaan sähköä vientiin yhtä paljon kuin D-skenaario joutuu tuomaan. B-skenaarioiden kulutus on lähes kaksi kertaa suurempi kuin A- ja D-skenaarioiden, mutta onnistuu silti viemään hieman sähköä. Myös C-skenaario saavuttaa omavaraisuuden vuoteen 2045 mennessä.

Kuvassa 12 on esitetty eri skenaarioiden sähkön tuotantopaletit vuosirengaskaavioina. Jokaisen kuvaajan sisin rengas kuvaa samaa, vuoden 2018 lähtötilannetta. Keskimmäinen rengas on vuoden 2035 tuotantopaletti, ja ulommainen vuoden 2045 tuotantopaletti. Myös tuonti on merkitty kuvaajiin.





**Kuva 12:** Eri skenaarioiden sähköntuotantopaletit vuosirengaskuvaajina.

Visiotyö tarkasteli naapurivaltioiden sähköntuotantoa lähinnä ydin- ja maakaasuvoiman näkökulmista. Koska tuontisähkön alkuperän ennustaminen on haastavaa, lasketaan se uusiutumattomaksi sähköksi. Kaikissa skenaariossa fossiiliset polttoaineet korvataan biopolttoaineilla, joten polttolämpövoima lasketaan uusiutuvaksi sähkön tuotannoksi.

Skenaariolla B on paras tuotannon uusiutuvuusaste; 75 % vuonna 2035 ja 92 % vuonna 2045. Seuraavaksi paras on C-skenaario, jonka tuotannosta 67 % tehdään uusiutuvilla vuonna 2035 ja 80 % vuonna 2045. Kolmanneksi yltää skenaario A; jopa 66 % vuonna 2035 ja 69 % vuonna 2045. Pienin kokonaissektori uusiutuvia energialähteitä on D-skenaariolla, jonka tuotannosta 58 % on uusiutuvaa vuonna 2035 ja 66 % vuonna 2045. Ero A-skenaarioon on kuitenkin pieni, ja jos D-skenaariossa tuontisähkөөn saa alkuperätaukuita, nousee se helposti A-skenaarion ohi.

Yksipuolisin tuotantopaletti on B-skenaariolla, joka tuottaa vain neljänneksen sähköstä muulla kuin maatuulivoimalla. Myös C-skenaario tuottaa yli puolet sähköstään tuulivoimalla. A-skenaariossa tuotanto perustuu vahvasti sekä ydin- että maatuulivoimaan. Myös D-skenaario luottaa vahvasti maatuulivoimaan.

Skenaariot A ja B luottavat siihen, että Ruotsin ydinvoimalat ja Viipurin tasasähkölinkki pysyvät toiminnassa vuoteen 2045 asti. C-skenaariossa Viipurin linkkiä ei uusita, mutta Ruotsin ydinvoimalat toimivat vuoteen 2045 asti. D-skenaariossa sekä linkki että ydinvoimalat poistuvat nopeasti käytöstä. Nykyinen siirtoverkosto vastaa parhaiten A-skenaarion tarpeita. B-skenaario vaatii pohjoiseteläsuuntaista kehitystyötä, C-skenaarion merituulivoimalat kalliita meriyhteyksiä ja itälänsisuuntaista kehitystyötä, ja D-skenaarion smart grid -järjestelmä kokonaisvaltaisen verkkouudistuksen.

### 4.3 Vertailutulosten yhteenveto, tarkastelu ja analyysi

Fingridin verkkovisioskenaariot eroavat toisistaan niin lähtökohdiltaan kuin lopputuloksiltaan, luoden monipuolisen koosteen erilaisia tulevaisuudennäkymiä. Ensimmäinen skenaario keskittyy sähkön vientiin ilman ilmastotavoitteita, toinen uusiutuvan sähköntuotannon houkuttelemaan teollisuuteen, kolmas tuo uuden lähestymistavan uusiutuvaan sähkön tuotantoon, ja neljäs keskittyy kuluttajatasen omavaraisuuteen. Taulukkoon 2 on kerätty yhteenvetona merkittävimpiä skenaarioiden välisiä eroja.

**Taulukko 2:** Yhteenveto eri muutostavoitteiden toteutumisesta skenaarioittain.

	Skenaario			
	A	B	C	D
Muutostavoite	Sähköä vientiin	Ilmastoneutraali kasvu	Merellä tuulee	Aurinkoa ja akkuja
Ilmastotavoite saavutetaan	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Uusiutuvat osana sähköntuotantoa	69,0 %	92,0 %	80,0 %	66,0 %
Monipuolinen tuotantopaletti	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Sähkön tuotannon omavaraisuusaste	124 %	101 %	100 %	76 %
Teollisuuskasvua ja uutta teollisuutta	Ei	Kyllä	Osin	Ei
Liikenne, lämmitys, teollisuus sähköistyy	Ei	Kyllä	Kyllä	Osin
Nykysiirotjärjestelmän sopivuus	Kyllä	Osin	Osin	Ei
Vahvat sähkön tuontimahdollisuudet	Kyllä	Kyllä	Osin	Ei

Selkeästi parhaiten muutostavoitteet saavuttaa Ilmastoneutraali kasvu, joka tukeutuu maatuulivoiman voimakkaaseen lisääntymiseen. Ensimmäistä skenaariota lukuun ottamatta kaikissa skenaarioissa hiilineutraaliustavoitteet saavutetaan liikenteen, lämmityksen sekä teollisuuden prosessien sähköistymisellä, sekä uusiutuvia sähköntuotantotapoja suosimalla. Jotta Suomi saavuttaa ilmastotavoitteensa sähköalalla, on sekä tuotannon että kulutuksen muututtava; ilmastoneutraaliuteen pääsemisellä ja energiasektorin sähköistymisellä on selkeä yhteys.

Skenaarioista kolme painottavat kansallista, ja yksi kuluttajakohtaista omavaraisuutta. Kansallinen omavaraisuus on hyvin tärkeä tavoite, sillä Suomen maantieteellinen sijainti luo haasteita sähkön tuontiin ja vientiin. Jos vihreän sähkön hintaa ei saada Venäjän omaa fossiilista tuotantoa halvemmaksi, löytyvät lähimmät Suomen ulkopuoliset vähäpäästöisen sähkön ostajat Baltiasta ja manner-Euroopasta. Vastaavasti lähimmät uusiutuvaa sähköä myyvät maat Norja ja Ruotsi sijaitsevat hankalien pullonkaulayhteyksien päässä.

Ulkoyhteyksiä tärkeämpi investointikohde on kansallisen siirtoverkoston kehitystyö. Skenaarioista kolme vaatii huomattavaa siirtoverkoston täydentämistä, parantamista tai päivittämistä; joko pohjoiseteläsuuntaisesti tai itälänsuuntaisesti. D-skenaario vaatisi siirtymistä älykkääseen verkostojärjestelmään, jopa poikkeaa nykyisestä verkostorakenteesta huomattavasti. Joustavuuden sekä tulevaisuuden näkymien huomioiminen verkostojärjestelmän kehitystyössä on kuitenkin tärkeää.

Suomen tulevaisuudenskenaarioista yksikään ei estä Euroopan laajuiseen sähkömarkkinaan liittymistä. Euroopan laajuiseen sähkömarkkinaan kuulumisen toisi etuja varsinkin suuren tuonnin tai viennin skenaarioihin. Nämä hyödyt ovat kuitenkin pullonkaulaongelmista kärsivien siirtoyhteyksien takana. Jos kansallinen siirtoverkkokehitys pysyy taloudellisesti maltillisena, kannattaa varoja ohjata ulkoyhteyksien kehittämiseen.

Ilmastoneutraali kasvu ja Merellä tuulee -skenaariot houkuttelevat Suomeen teollisuutta uusiutuvalla sähköllä. Toteutuessaan nämä skenaariot voisivat hyötyä Euroopan laajuisen sähkömarkkinan poissaolosta tai epäonnistumisesta. Uusiutuvan sähkön tuotannon saatavuusongelmat, korkeat hinnat tai toimintavarmuuttomuus muun Euroopan sähkömarkkinoilla ohjaisivat teollisuutta Suomeen tehokkaammin, kuin Euroopan laajuisen sähkömarkkinan onnistuminen. Lisäksi Suomi kuuluu olosuhteiden takia esimerkillisen hyvin toimivaan Nordpoolin sähkömarkkinaan, jonka valmistelematon yhdistyminen toimimattomampiin markkinoihin voi olla jopa haitallista.

Kaikki skenaariot asettavat kulutuksen ja tuotannon tasapainottamisen vahvasti sähköistyvän liikenteen, lämmityksen sekä teollisuuden varaan. Sähköntuotannon säätötehoa kaikissa skenaarioissa sen sijaan on todella vähän. Polttovoiman vähentyessä sähkön säätötehotuotanto jää hyvin minimaaliseksi, koska ydinvoimat tuotanto toimii heikosti säättösähkönä ja vesivoiman hyödyntäminen on jo nyt lähes täydessä potentiaalissaan. Mikäli säätöteho jätetään tulevaisuuden kehityksessä huomiotta, liikenteen, lämmityksen ja teollisuuden sähköistymisen on tapahduttava vähintään samassa tahdissa skenaarioiden etenemisen kanssa, tai ulkosiirtoyhteyksiä on kehitettävä huomattavasti.

Vaikka B- ja C-skenaarioiden perusideat ovat hyvin samanlaiset, ovat kaikki skenaariot lähtökohdiltaan hyvin erilaisia keskenään. Jokaiseen niistä liittyy omat vahvuutensa ja heikkoutensa, ja niiden yhdisteleminen voisi tuoda hyviä lopputuloksia. On esimerkiksi järkevää kehittää sähköntuotantoa monipuolisemmin kuin yhden teknologian tai tavoitteen varaan; uusiutuvan sähkön vienti, kuluttajien oma tuotanto sekä joustavan teollisuuden suosiminen luovat hyvän kokonaisuuden. Skenaarioiden yhdisteleminen ei pelkäätkään ratkaise niiden huonoja puolia, vaan myös hyvät ominaisuudet tukevat toisiaan.

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli perehtyä EU:n kaavailemaan Euroopan laajuisen sähkömarkkinavision, sen tarpeellisuuteen ja toteuttamiseen. Yhdentymisprojektiä tarkasteltiin erityisesti energiamurroksen näkökulmasta. Tekstissä pyrittiin tarkastelemaan markkinauudistusta myös Suomen kansallisesta näkökulmasta. Kandidaatintyön alkupäässä tutustuttiin myös markkinamuotoisen sähkökaupan perusteluihin.

EU tavoittelee Euroopasta ensimmäistä ilmastoneutraalia maanosaa. Energian kulutuksen ollessa jatkuvassa nousussa uusiutuvat energiantuotantotavat nostavat tärkeyttänsä. Suurin osa uusiutuvista sähköntuotantotavoista on valitettavasti hyvin riippuvaisia säätilasta, jonka suurimmat ongelmat liittyvät tuotannon ja kulutuksen jatkuvan tasapainon ylläpitämisen haasteellistumiseen. Euroopan laajuinen sähkömarkkina toimisi osaratkaisuna sähkön kulutuksen ja sääriippuvaisen tuotannon tasaamiseen.

Parhaillaan käynnissä olevan energiamurroksen tuomiin muutoksiin liittyy paljon muitakin ongelmia. Esimerkiksi liikenteen, teollisuuden ja lämmitysratkaisuiden sähköistyessä sähköntuotannon tarve on yhä kovemmassa nousussa. Lisäksi keskitetyn energiantuotannon hajauttaminen, yksisuuntaisten siirtoyhteyksien joustavoittaminen sekä kansainvälisten sähkömarkkinoiden keskinäinen yhdenmukaistaminen kuuluvat energiamurroksen muutoksiin.

Yhdentynyt eurooppalainen sähkömarkkina on nykyistä, hajautettua markkinaekosysteemiä parempi tasapainottamaan alueellisia kulutus- ja hintaeroja, tasaamaan uusiutuvien sähkön tuotantomuotojen tuotantovaihtelua, sekä kestävämmän erilaisia kansainvälisen tason ongelmia, uhkia ja riskejä. Uudistus myös yhdenmukaistaisi sähkön kuluttajahintoja, monipuolistaisi palveluntarjoajavaihtoehtoja, ja auttaisi Eurooppaa saavuttamaan yhteisen hiilineutraaliustavoitteen. Lisäksi tasausmarkkinoiden vuosittaisiksi kokonaissästöiksi on arvioitu yhteensä 3,4–3,9 miljardia euroa.

Suurimmat sähkömarkkinauudistuksen haasteet ja esteet liittyvät nykyisiin siirtoyhteyksiin, sekä eri sähkömarkkinajärjestelmien eroavaisuuksiin. Erityisesti rajayhteyksien kapasiteettivaatimukset ovat korkeat, ja jo nykyisellä sähkömarkkinaekosysteemillä sähköverkostojen välisten siirtoyhteyksien vahvistamiselle, lisäämiselle ja kehittämiseksi olisi tarvetta. Lisäksi sähkökauppaan ja taseisiin liittyvää laitteistokehityksen kokonaishinnan arvioitu suuruusluokka on vähintään kymmenissä miljoonissa euroissa jokaiselle järjestelmään liittyvälle valtiolle.

Sähkömarkkinajärjestelmien, -toimintojen ja -standardien yhdentämisen, sekä kansainvälisten siirtoverkkokehityksen vauhdittamiseksi sääntelyviranomaiset voisivat suunnata yhtenäistymisestä muodostuvia säästöjä markkinoita yhdentäville markkinatahoille ja verkkoyhtiöille. Markkinajärjestelmien integraatiota hidastavien haasteiden vähentämisessä on kiinnitettävä erityistä huomiota myös uusien säännösten ja menettelytapojen luomiseen ja käyttöönottoon.

Fingridin julkaisemassa verkkovisiotyöhahmotelmassa esitellään neljä erilaista Suomen sähköteollisuuden tulevaisuuden skenaariota. Skenaarioista yksikään ei estä Euroopan laajuiseen sähkömarkkinaan liittymistä. Sähkömarkkinuudistus toisi etuja skenaarioihin, joissa tuonnilla tai viennillä on painoarvoa. Hyötyjen saavuttaminen vaatii kuitenkin nykyisten ulkosiirtoyhteyksien pullonkaulaongelmien pienentämistä.

Skenaarioista kaksi houkuttelee Suomeen teollisuutta uusiutuvalla sähköllä. Toteutessaan nämä skenaariot voisivat hyötyä Euroopan laajuisen sähkömarkkinan poissaolosta tai epäonnistumisesta. Uusiutuvan sähkön tuotannon saatavuusongelmat, korkeat hinnat tai toimintavarmuuttomuus muun Euroopan sähkömarkkinoilla ohjaisivat teollisuutta Suomeen tehokkaammin, kuin sähkömarkkinuudistuksen onnistuminen.

Jatkotutkimusten kannalta olisi mielenkiintoista tarkastella eri skenaarioiden yhteenliittymisen mahdollisuuksia, tai vertailla varsinaisen julkaisun skenaarioita ja niiden johtopäätöksiä hahmotelmatyön skenaarioihin. Tutkimusaiheina Euroopan laajuiseen sähkömarkkinaan sekä energiamurrokseen kannattaa varmasti palata parin vuoden päästä, koska molemmat muuttuvat ja kehittyvät koko ajan. EU-politiikan luomat suuntaraamit määrittävät hyvin paljon, mihin skenaarioon Suomen kannattaa panostaa, ja niin sanottu ”selkein suunta” saattaa vaihdella huomattavasti vuosien saatossa.

## 6. LÄHDELUETTELO

- [1] **Jukka Pekkarinen & Pekka Sutela**, "Kansantaloustiede," WSOY, 2005, sivut 64 - 69
- [2] **Mohammed A. El-Sharkawi**, "Electric Energy - An Introduction, Second edition," CRC Press, 2008, sivut 419 - 446
- [3] **Nick Jenkins & Janaka Ekanayake**, "Renewable Energy Engineering," Cambridge University Press, 2017, sivut 11 - 16, 357, 36
- [4] **Euroopan komissio**, "An European Green Deal - Striving to be the first climate-neutral continent," saatavilla:  
[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)  
[Haettu 12.11.2020]
- [5] **Ulkoministeriö**, "Mikä energiaunioni?," Eurooppatiedotus.fi, 8.4.2015, saatavilla:  
<https://eurooppatiedotus.fi/2015/04/08/mika-energiaunioni/>  
[Haettu 12.11.2020]
- [6] **Manuel Welsch**, "Europe's Energy Transition," Academic Press, 2017, saatavilla:  
<https://learning.oreilly.com/library/view/europes-energy-transition/9780128099032/xhtml/chp001.xhtml#st0020>  
[Haettu 18.12.2020]
- [7] **András Kiss et al.**, "Introduction to Electricity Markets (ERRA - Energy Regulators Regional Association)", Tammikuu 2008, saatavilla:  
<https://erranet.org/download/textbook-introduction-electricity-markets/>  
[Haettu 4.11.2020]
- [8] **Daniel Dobbeni**, "Regulatory and technical challenges for the European electricity market," ETSO European Transmission System Operators, 2007, saatavilla:  
[https://eeinstitute.org/european-review-of-energy-market/EREM%204\\_Article%20Daniel%20Dobbeni.pdf](https://eeinstitute.org/european-review-of-energy-market/EREM%204_Article%20Daniel%20Dobbeni.pdf)  
[Haettu 17.12.2020]
- [9] **Karlo Peršolja et al.**, "MEPSO: Technical assistance to Macedonia to establish the Institutional Set-up for the Organised Day-ahead Market," 30.5.2018, saatavilla:  
[http://www.mepso.com.mk/CMS99/Content\\_Data/Dokumenti/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8/TA\\_MKD\\_Borzen\\_BSP\\_final\\_workshop\\_30\\_5\\_2018\\_Fin.pdf](http://www.mepso.com.mk/CMS99/Content_Data/Dokumenti/%D0%9F%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8/TA_MKD_Borzen_BSP_final_workshop_30_5_2018_Fin.pdf)  
[Haettu 17.12.2020]
- [10] **Euroopan komissio**, "Quarterly Report on European Electricity Markets," Volume 10, issue 2, second quarter of 2017, saatavilla:  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly\\_report\\_on\\_european\\_electricity\\_markets\\_q2\\_2017.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q2_2017.pdf)  
[Haettu 18.12.2020]
- [11] **Euroopan komissio**, "Quarterly report on European electricity markets," Volume 11, issue 2, second quarter of 2018, saatavilla:  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly\\_report\\_on\\_european\\_electricity\\_markets\\_q2\\_2018.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q2_2018.pdf)  
[Haettu 18. Joulukuu 2020]
- [12] **Euroopan komissio**, "Quarterly report on European electricity Markets," Volume 12, issue 2, second quarter of 2019, saatavilla:  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly\\_report\\_on\\_european\\_electricity\\_markets\\_q\\_2\\_2019\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q_2_2019_final.pdf)  
[Haettu 18.12.2020]
- [13] **Euroopan komissio**, "Quarterly Report on European electricity Markets," Volume 13, issue 2, second quarter of 2020, saatavilla:  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly\\_report\\_on\\_european\\_electricity\\_markets\\_q\\_2\\_2020.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/quarterly_report_on_european_electricity_markets_q_2_2020.pdf)  
[Haettu 18.12.2020]

- [14] **Simon Pironi**, "Burning Up - A Global History of Fossil Fuel Consumption," Pluto Press, 20.10.2018, sivut 193 - 197, saatavilla:  
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/25937>  
[Haettu 30.12.2020]
- [15] **EEA: European Environment Agency**, "Gross electricity production by fuel", saatavilla:  
[https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/gross-electricity-production-by-fuel-4#tab-chart\\_2](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/gross-electricity-production-by-fuel-4#tab-chart_2)  
[Haettu 18.12.2020]
- [16] **Ulkoministeriö**, "Mikä EU:n Green Deal?," eurooppatiedotus.fi, 4.3.2020. saatavilla:  
<https://eurooppatiedotus.fi/2020/03/04/mika-eun-green-deal/>  
[Haettu 12.11.2020]
- [17] **Philipp Ringler, Dogan Keles & Wolf Fichtner**, "Energy Policy - How to benefit from a common European electricity market design," Elsevier, helmikuu 2017, sivut 629 – 643, saatavilla:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421516306061>  
[Haettu 11.11.2020]
- [18] **David Newbery, Goran Strbac & Ivan Viehoff**, "Energy Policy - The benefits of integrating European electricity markets," Elsevier, heinäkuu 2016, sivut 253 – 263, saatavilla:  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.047>  
[Haettu 2.11.2020]
- [19] **André Ordner & Gerhard Totschnig**, "Energy Strategy Reviews - The future relevance of electricity balancing markets in Europe - A 2030 case study", Elsevier, huhtikuu 2014, painos 24, sivut 111 – 120, saatavilla:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300021>  
[Haettu 12.11.2020]
- [20] **Carlo Cambini, Raffaele Congiu, Tooraj Jamasb, Manuel Llorca & Golnoush Soroush**, "Energy Policy - Energy Systems Integration: Implications for public policy," Elsevier, elokuu 2020, painos 143, saatavilla:  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111609>  
[Haettu 2.11.2020]
- [21] **ACER - European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators**, "About ACER," saatavilla:  
[http://www.acer.europa.eu/en/The\\_agency/Pages/default.aspx](http://www.acer.europa.eu/en/The_agency/Pages/default.aspx)  
[Haettu 12.11.2020]
- [22] **Fingrid**, "Verkkovision Skenaarioluonnokset," 28.8.2020, saatavilla:  
[https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid\\_verkkovision\\_skenaarioluonnokset.pdf](https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/kantaverkko/kantaverkon-kehittaminen/fingrid_verkkovision_skenaarioluonnokset.pdf)  
[Haettu 19.11.2020]
- [23] **Tilastokeskus**, "Suomi lukuina - Energia," 28.4.2020, saatavilla:  
[https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk\\_energia.html](https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html)  
[Haettu 30.12.2020]
- [24] **Alireza Aslani, Marja Naaranoja, Petri Helo, Erkki Antila & Erkki Hiltunen**, "Energy diversification in Finland: achievements and potential of renewable energy development," International Journal of sustainable energy, marraskuu 2013, sivut 504 - 514, saatavilla:  
<https://www.tandfonline-com.libproxy.tuni.fi/doi/full/10.1080/14786451.2013.766612>  
[Haettu 18.11.2020]
- [25] **LUT-University**, "Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa," 27.2.2019, saatavilla:  
[https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa#:~:text=Kansainv%C3%A4lisen%20energiaj%C3%A4rjest%C3%B6n%20\(International%20Energy%20Agency,2018%20osalta%20on%20140%20MW](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa#:~:text=Kansainv%C3%A4lisen%20energiaj%C3%A4rjest%C3%B6n%20(International%20Energy%20Agency,2018%20osalta%20on%20140%20MW)  
[Haettu 18.11.2020]