

Roadmap 2025

Sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & Roadmap 2025

Lauri Kumpulainen, Jukka Rinta-Luoma, Sampo Voima, Kimmo Kauhaniemi, Katja Sirviö
Vaasan yliopisto

Raija Koivisto-Rasmussen, Anna-Kaisa Valkama
Oy Merinova Ab

Samuli Honkapuro, Jarmo Partanen, Jukka Lassila, Tero Kaipia, Juha Haakana, Salla Annala
Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Pertti Järventausta, Seppo Valkealahti, Sami Repo, Pekka Verho, Teuvo Suntio, Antti Rautiainen, Ari Nikander, Pertti Pakonen
Tampereen teknillinen yliopisto

Tiivistelmä

Hankkeen tavoitteena oli luoda vuoteen 2035 ulottuva sähköverkko- ja sähkömarkkinavisio sekä pää-tavoitteena tuottaa vuoteen 2025 ulottuva kehityspolku. Tarkastelun näkökulmia olivat sähköverkot, sähkökauppa, valmistava teollisuus ja palveluliiketoiminta, ja se painottui kotimaahan vientimarkkinoita unohtamatta. Tavoitteena oli myös lisätä toimialan kehitystä palvelevaa sisäistä vuorovaikutusta.

Toteuttamisen rungon muodostivat työpajat, joita edelsivät taustaselvitykset ja heräteaineiston kokoaminen. Neljässä työpajassa, joiden aiheina olivat toimintaympäristö, teknologia, sähkömarkkinat sekä visio ja roadmap, laajasti edustetun toimialan aktiiviset asiantuntijat tuottivat runsaan aineiston tutkimusosapuolten jalostettavaksi.

Toimiala on voimakkaassa murroksessa. Lainsäädännön edellyttämä verkkojen luotettavuuden parantaminen jatkuu ja edellyttää muutoksia primääriverkoissa käytettävään teknologiaan. Fossiilisista polttoaineista luopuminen puolestaan vaikuttaa energian tuotantoon. Erittäin suuri vaikutus koko järjestelmään aiheutuu sääriippuvan sähköntuotannon, tuuli- ja aurinkovoiman tuetusta lisääntymisestä sähkömarkkinoilla. Ohjaamaton tuotanto aiheuttaa haasteita sähkön markkinahinnan kehitykseen ja sitä kautta muiden voimalaitosten kannattavuuteen, mikä voi johtaa ohjattavan tuotantokapasiteetin riittämättömyyteen. Toinen merkittävä haaste syntyy tehotasapainon hallintaan ohjaamattoman tuotannon vaihdellessa voimakkaasti.

Edellä mainitut haasteet ovat ratkaistavissa teknologisen kehityksen tarjoamien vaihtoehtojen ja sähkömarkkinoiden suunnittelun avulla. Liiketoimintamallien ja regulaation kehittäminen mahdollistaa järjestelmän osapuolten tehokkaan ja kannattavan toiminnan. Toimintavarma, kilpailukykyinen ja kestävä kehitystä palveleva järjestelmä saavutetaan vahvan siirtoverkon, ulkomaanyhteyksien, automaation, kaapeloinnin, ohjattavan kulutuksen, energiavarastojen ja uusiutuvan energian avulla. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää sekä primääriverkon teknologian kehityksen että ICT:n soveltamisen tukemista yhteistyöllä, rahoitusohjelmilla ja lainsäädännöllä. Joustavan järjestelmän pilotoinnit kotimaassa luovat edellytyksiä suomalaisen teknologiateollisuuden kilpailukykyyn paranemiselle.

Hankkeessa kehitetty tiekartta joustavaan järjestelmään muodostuu neljästä kehityksen pääalueesta, jotka kaikki tukevat aktiivisten resurssien hallintaa älykkäässä järjestelmässä ja ottavat huomioon myös kriisivalmiuden. Nämä alueet ovat seuraavat:

- Markkina- ja liiketoimintamallit, palvelut ja regulaatio
- Pientuotanto, kysynnänjousto, energian varastointi ja asiakasrajapinta
- Verkkoteknologiset järjestelmäratkaisut
- Digitalisaatio, automaatio ja tiedonhallinta

Koordinoitua kehitystoimintaa varten hanke kehitti suuren joukon tutkimus- ja kehityshankkeiden aihioita, joista monet koskevat useampaa kuin yhtä yllä mainituista kehityksen pääalueista. Hanke tuotti myös vaihtoehtoisia skenaarioita ja luettelon tulevaisuuteen liittyvistä epävarmuustekijöistä sekä moniulotteisen vaikutusanalyysin muutostekijöiden vaikutuksesta talouteen, käyttövarmuuteen ja yhteiskuntaan.

Alkusanat

Sähkö tutkimuspooli katsoi aiheelliseksi kirkastaa toimialan tulevaisuudenkuvaa, suunnata tutkimus- ja kehitystoimintaa ja parantaa kehitystoiminnan koordinaatiota toimialan yhteisen hankkeen avulla. Pooli rahoitti hankkeesta valtaosan 150 k€:n panostuksellaan, jota täydensivät Sähköturvallisuuden edistämiskeskus (STEK) 25 k€:n ja yritykset yhteensä 25,5 k€:n osuuksilla. Hankkeen johtoryhmä on esitetty alla olevassa taulukossa.

Rahoittaja	Edustaja johtoryhmässä
Sähköturvallisuuden edistämiskeskus	Timo Kekkonen
ABB Oy	Heikki Uusitalo
Fingrid Oyj	Jussi Matilainen (Sähkö tutkimuspoolin nimeämä edustaja)
Helen Sähköverkko Oy	Markku Hyvärinen, puheenjohtaja (ST-poolin nimeämä)
Elenia Oy	Jouni Pylvänäinen
VEO Oy	Visa Yliluoma
Vaasan Sähkö Oy	Olli Arola
Wapice Oy	Pasi Tuominen
Tampereen Vera Oy	Pekka Hyvönen
Energiateollisuus / ST-pooli	Sirpa Leino (ST-poolin nimeämä)
HeadPower Oy	Antti Jukarainen
Rejlers Oy	Veijo Pitkäniemi
Satapirkkan Sähkö Oy	Kimmo Kivikko
	Erkki Antila, Vaasan yliopisto
	Pertti Järventausta, Tampereen teknillinen yliopisto
	Jarmo Partanen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
	Raija Koivisto-Rasmussen, (Anna-Kaisa Valkama), Merinova

Projektia rahoittivat myös seuraavat yritykset ilman edustajaa johtoryhmässä: Vaasan Sähköverkko Oy, UTU Oy, Gaia Consulting Oy, Netstra Oy, VNT Management Oy, Enease Oy, PowerQ Oy, Arcteq Oy, Ampner Oy, Maviko Oy, Vaspec Oy ja Sähköastek Oy.

Projektin käytännön toteuttamisesta vastasivat Merinova Oy (koordinaattori), Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja Vaasan yliopisto. Projektipäällikkönä toimi aluksi Anna-Kaisa Valkama, sitten Raija Koivisto-Rasmussen.

Työpajat muodostivat erittäin keskeisen osa hankkeesta ja lisäsivät samalla toimialan sisäistä ja ulkopuolista vuorovaikutusta. Jarno Poskela ja Veikko Mantere Innotiimi Oy:stä organisoivat ammattitaitoisesti pajojen ryhmätyöosuudet. Työpajoissa alustuksia esittivät Jarmo Partanen, Riku Huttunen, Matti Lehtonen, Hannu Katajamäki, Lauri Kumpulainen, Seppo Valkealahti, Pasi Tuominen, Tommi Lähdeaho, Sami Repo, Pertti Järventausta, Tero Kaipia, Jukka Lassila, Joni Markkula, Samuli Honkapuro, Risto Lindroos, Timo Liiri, Jan Segerstam, Osmo Auvinen, Jarkko Piirto ja Erkki Lakervi. Kiitämme alustajia, ryhmätöiden vetäjiä ja työpajojen aktiivisia osallistujia arvokkaasta panoksesta.

Kirjoittajat

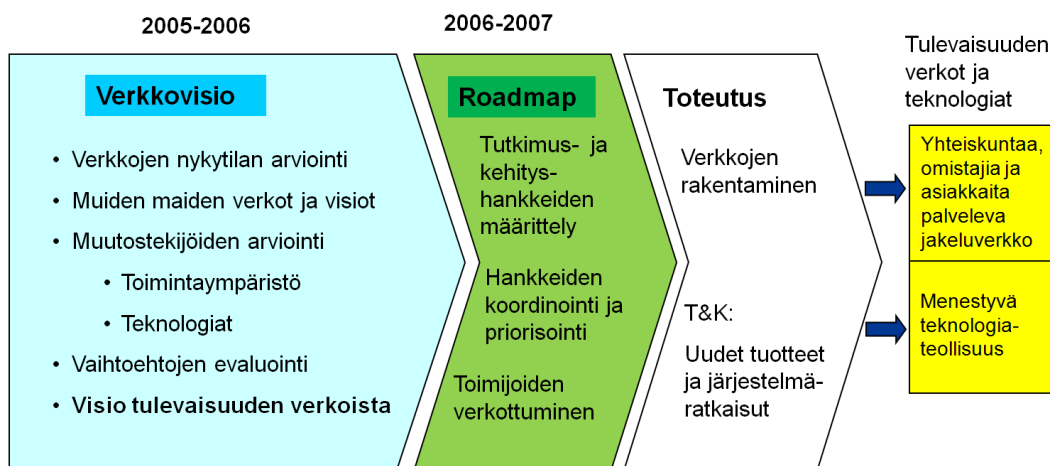
Sisällys

1	Hankkeen tausta ja tavoitteet.....	1
1.1	Vuosina 2005–2007 toteutetut Verkkovisio 2030 ja Roadmap 2015 -hankkeet.....	1
1.2	Roadmap 2025 –hankkeen valmistelu.....	1
1.3	Roadmap 2025 -hankkeen tavoitteet	2
2	Hankkeen toteutus.....	2
3	Tulokset.....	3
3.1	Nykytilan analyysi ja toimintaympäristön muutokset	3
3.1.1	Energiamarkkinoiden yleinen kehitys.....	3
3.1.2	Sähkön vähittäismarkkinat ja verkkoliiketoiminnan regulaatio.....	5
3.1.3	Kuormitusprofiilien muutos.....	5
3.1.4	Yleisiä toimintaympäristön muutosilmiöitä.....	6
3.2	Tekniikan kehittyminen ja kehittämistarpeet.....	7
3.2.1	Yleiskuva.....	7
3.2.2	Sääriippuva tuotanto ja jakeluverkon jännitteen hallinta	8
3.2.3	Energian varastointi	8
3.2.4	Sähköinen liikenne	9
3.2.5	Joustomarkkinat, kysynnänjousto ja AMR-teknologia.....	9
3.2.6	Pienjännitteinen tasasähköjakelu, LVDC.....	11
3.2.7	Mikrosähköverkot	11
3.2.8	Kaapeliverkot, niiden kunnonvalvonta ja vianpaikannus	11
3.2.9	Tieto- ja tietoliikennetekniikka	12
3.3	Uudet palvelut sähkömarkkinoilla	12
3.4	Sähkömarkkinat ja toimijoiden roolit	14
4	Visio 2035.....	15
4.1	Järjestelmävisio.....	15
4.2	Voimajärjestelmä	16
4.3	Kaupungit.....	17
4.4	Maaseutu	18
4.5	Aktiivinen asiakas.....	19
4.6	Sähkömarkkinat	20
5	Vaihtoehtoisia skenaarioita ja epävarmuustekijöitä	21
6	Roadmap 2025	23
7	Vaikutusanalyysi.....	24

1 Hankkeen tausta ja tavoitteet

1.1 Vuosina 2005–2007 toteutetut [Verkkovisio 2030](#) ja [Roadmap 2015](#) -hankkeet

Lähes 10 vuotta sitten toimiala toteutti laajan osallistujajoukon voimin kansalliset hankkeet verkkojen teknologiavision ja T&K-toiminnan roadmapin laatimiseksi (Kuva 1). Projektin rahoittivat Tekes (päärahoittaja), yritykset ja VTT.



Kuva 1. Suunnitelmakaavio vuosien 2005–2007 hankkeista

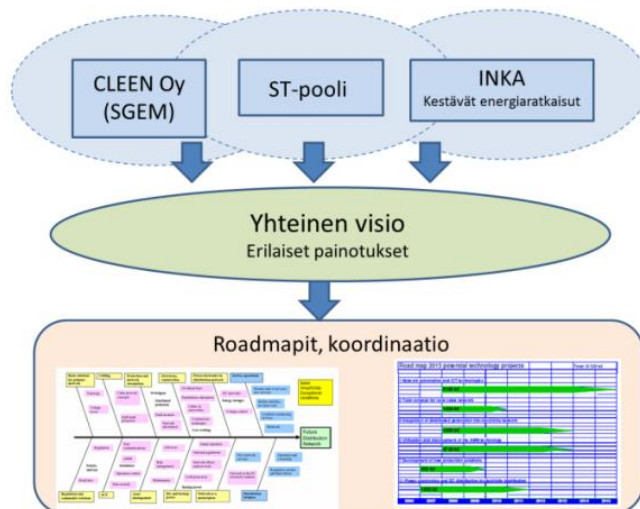
Toteutetut hankkeet kokosivat verkkojen kehitystarpeista toimialan yhteisen näkemyksen, jota sittemmin hyödynnettiin mm. Sähkö tutkimuspoolin toiminnassa, Osaamiskeskusohjelman energiaklusterissa ja erillisissä tutkimus- ja kehityshankkeissa. Hankkeet paransivat toimialan tutkimuksen koordinaatiota.

Vuosien 2005-2007 hankkeiden vaikutukseltaan suurin merkitys oli niiden tulosten hyödyntäminen CLEEN Oy:n [SGEM-ohjelman](#) (Smart Grids and Energy Markets) suunnittelussa. Tulokset palvelivat myös Energiateollisuus ry:n toimintaa alan edunvalvonnassa ja yhteiskuntasuhteiden hoitamisessa. Yleisesti hankkeet lisäsivät toimialan sisäistä keskustelua ja levittivät tietoa käytettävissä olevista ratkaisuista.

1.2 Roadmap 2025 –hankkeen valmistelu

Koska Roadmap ulottui vain vuoteen 2015, vision päivityksen ja uuden tiekartan tarve tunnistettiin jo vuoden 2011 syksyllä järjestetyssä Sähkö tutkimuspoolin seminaarissa. Käytännön aloite hankkeen käynnistämiseksi tehtiin poolin kokouksessa keväällä 2013. Marraskuussa 2013 saavutettiin yhteinen ymmärrys tutkimus- ja kehitystoiminnan koordinaatiota parantavan hankkeen tarpeellisuudesta, ja hankesuunnitelman laadinta käynnistettiin. Syksyllä 2014 Sähkö tutkimuspooli päätti ottaa päävastuun hankkeen

rahoittamisesta. Poolikauden vaihtumisen ja tutkimusresurssien sidonnaisuuksien vuoksi hankkeen aloittaminen siirtyi vuoden 2015 puolelle. Kuvassa 2 on hankkeen valmisteluvaiheessa esitetty kaavio tutkimusrahoituksen ja -toiminnan koordinoinnin kehittämiseksi. Vuoden 2013 lopulla INKA-toiminta oli vasta käynnistymässä ja SHOK-rahoituksen uskottiin jatkuvan entisellään.



Kuva 2. Kaavio tutkimusrahoituksen ja -toiminnan koordinoinnin kehittämisestä yhteisen vision ja tiekarttojen avulla

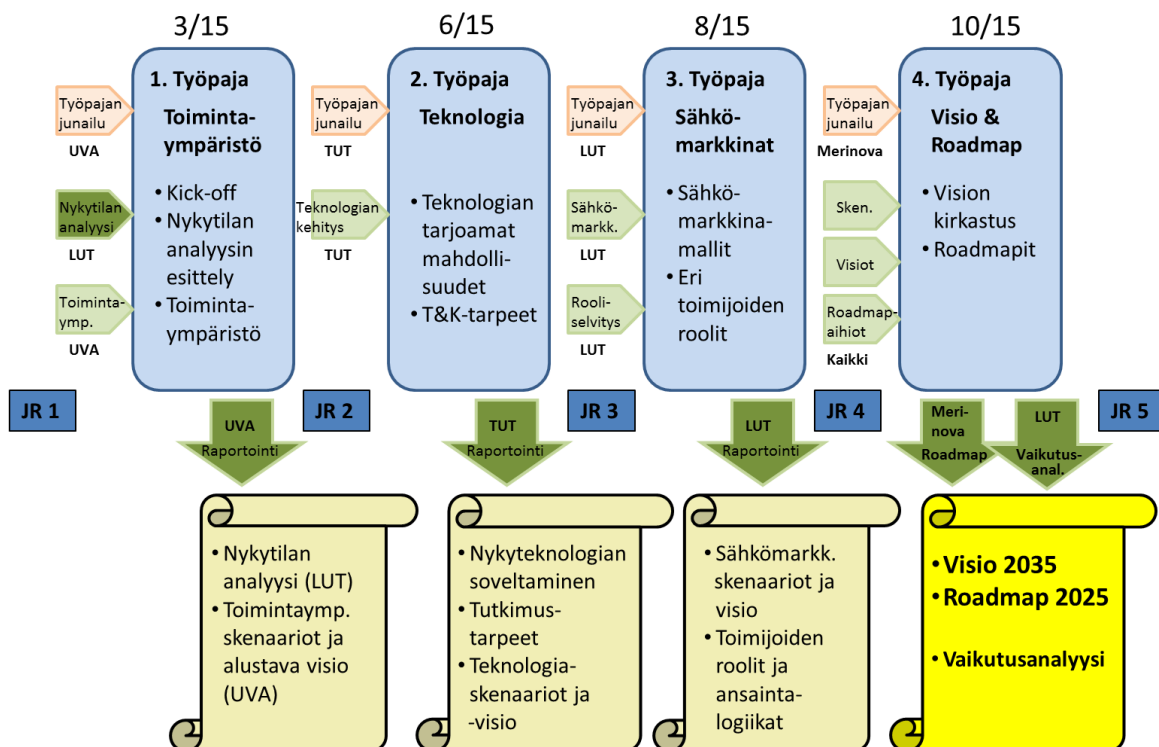
1.3 Roadmap 2025 -hankkeen tavoitteet

Hankkeen tavoitteena oli luoda vuoteen 2035 ulottuva sähköverkko- ja sähkömarkkinavisio sekä päätavoitteena tuottaa vuoteen 2025 ulottuva kehityspolku. Tarkastelun näkökulmia olivat sähköverkot, sähkökauppa, valmistava teollisuus ja palveluliiketoiminta, ja se painottui kotimaahan vientimarkkinoita unohtamatta.

2 Hankkeen toteutus

Hankkeen koordinoinnista vastasi Oy Merinova Ab aluksi Anna-Kaisa Valkaman voimin, sittemmin Raija Koivisto-Rasmussenin johdolla. Hankkeen toteutuksesta vastasivat Oy Merinova Ab, Lappeenrannan ja Tampereen teknilliset yliopistot sekä Vaasan yliopisto.

Hankkeen toteutuksen rungon muodostivat työpajat ennakoaineistoinen, alustuksineen ja raportointeineen. Työpajoja järjestettiin neljä kuvan 3 kaavion mukaisesti. Jokainen työpaja kokosi noin 70 osallistujaa. Työpajojen ryhmätyöosuuksien toteutuksesta vastasi Innotiimi Oy.



Kuva 3. Työpajat hankkeen toteutuksen runkona ja toteutuksen vastuutahot

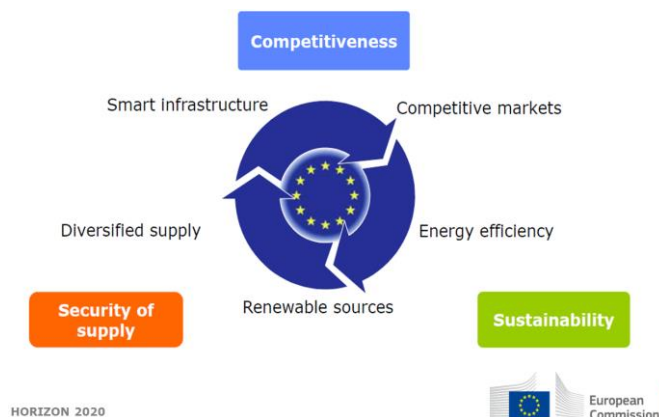
3 Tulokset

3.1 Nykytilan analyysi ja toimintaympäristön muutokset

3.1.1 Energiamarkkinoiden yleinen kehitys

Energiajärjestelmissä on käynnissä merkittävin murros vuosikymmeniin. Monta suurta muutostekijää muuttaa energiajärjestelmien systeemijättelua, tekniikkaa, merkitystä ja liiketoimintamalleja. Muutoksilla on vahva keskinäinen vuorovaikutus, mikä tekee tulevan kehityksen ennustamisen erityisen vaikeaksi, mutta samalla tarjoaa ennakkoluulottomille innovatiivisille toimijoille merkittäviä uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Kuvassa 4 on esitetty EU:n energiapolitiikan kolme päätavoitetta (kestävyys, käyttövarmuus, kilpailukyky) ja niitä tukevat osatavoitteet.

Energiajärjestelmillä on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä ja kestäväen kehityksen mukaisessa toiminnassa. Poliittisilla päätöksillä on ohjattu puhtaiden energiantuotantoteknologioiden kehitystä ja kilpailukykyä. Sääriippuvan vaihtelevan tuotannon lisääntyessä sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpito vaikeutuu. Nykyteknikalla toteutettuna aurinko- ja tuulisähkö eivät tarjoa järjestelmään perinteisiä tuotantokoneistoja vastaavaa inertiaa. Tarve tuotannon ja kulutuksen joustolle on ilmeinen. Myös alueellisen energiaomavaraisuuden merkitys lisääntyy poliittisen epävakauden lisääntymisen myötä.



Kuva 4. EU:n energiapolitiikan 3 pääpilaria (kestävyys, käyttövarmuus, kilpailukyky) ja viisi muuta pilaria

Voimakkaasti kasvava ohjaamaton ja syöttötariffeilla tuettu uusiutuviin energialähteisiin perustuva sähköntuotanto aiheuttaa merkittäviä haasteita olemassa olevalle liiketoiminnalle ja energiajärjestelmän stabiilille toiminnalle.

Suomen oma ohjattava sähköntuotantokapasiteetti ei riitä vastaamaan huippukulutukseen. Huomattava määrä, yli 2000 MW, lauhdevoimalatehoa on jo purettu tai otettu pois käytöstä. Tuonnin varaan laskevista eivät helpota Ruotsin suunnitelmat sulkea ydinvoimaloita.

Ei ole odotettavissa, että jokin yksittäinen teknologia olisi ylivoimainen ja ainoa ratkaisu todettuihin ongelmiin. Päinvastoin on odotettavissa tiukka markkinataloutteen perustuva kilpailu esim. olemassa olevaan tuotantojärjestelmään kehitettävien uusien joustojen ja energian varastoinnin kesken. Energian varastointitekniikoiden kehitystä vauhdittavat kasvava tarve energiajärjestelmissä sekä sähköistyvän liikenteen ja työkonien nähtävissä oleva vahva kasvu. Kasvavan kysynnän myötä varastointitekniikat kehittyvät ja niiden kustannukset alenevat. Jos aurinkosähköjärjestelmien mukainen oppimiskäyrä toteutuu akkujen kustannuskehityksessä, on varastoinnin kustannustaso 1-2 snt/kWh realistista saavuttaa tarkastelujaksolla.

Kysynnänjouston keskeiset kysymykset liittyvät liiketoimintamalleihin, asiakaskäyttötymisen ymmärtämiseen ja teknologisiin ratkaisuihin. Kysynnänjouston merkittävä erityispiirre on sen nopeus; jousto on toteutettavissa nopeimmillaan millisekunneissa. Tällä on erityisen suuri arvo energiajärjestelmässä, jossa on vain vähän inertiaa. Joustotarpeiden lisääntyessä ohjattavan eli joustavan tuotannon arvo kasvaa.

Energiamarkkinamallit ovat keskeisessä roolissa edellä olevien haasteiden ja kehitystarpeiden ratkaisemisessa. Markkinoille on tullut viime vuosina energiamarkkinan (Spot-kauppa) rinnalle myös uusia joustomarkkinatuotteita (taajuuden säätö, säätösähkö, reservimarkkinat), joilla on keskeinen vaikutus energiavarastojen, kysynnän jouston ja ohjattavan tuotannon liiketoimintamalleihin. Markkinamallit kiihdyttävät joustoon kykenevien tekniikoiden käyttöönottoa, ja uudet tekniset ratkaisut luovat mahdollisuuksia uusille joustotuotteille.

Sähkö-, lämpö- ja kaasuverkot yhdistävät eri markkinoilla olevat tuotanto- ja kulutusresurssit, ja verkot toimivat markkinapaikkana aktiivisille resursseille vuorovaikutuksessa keskenään. Verkkojen merkitys energian kokonaishinnassa on merkittävä, etenkin jakeluverkkojen rooli investoinneissa on suuri. Luotettavuus ja energiajärjestelmän kokonaistilanteen seuranta, hallinta ja automaatio ovat verkkojen käytössä tärkeitä.

Energiajärjestelmien toiminnan kokonaisymmärryksen merkitys korostuu perinteisen kolminaisuuden (tuotanto, siirto ja jakelu sekä kulutus) ja niihin liittyvien markkinamallien keskinäisvaikutusten lisääntyessä merkittävästi.

EU:n sekä kansallisen tason määräykset korostavat energiatehokkuuden, pientuotannon sekä kysyntäjouston roolia energia- ja ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Näiden toteuttamisessa loppukuluttajalla on keskeisin rooli, ja sähkömarkkinaosapuolet ovat toiminnassa lähinnä mahdollistajia, eivät niinkään toteuttajia. Markkinaosapuolille asetetaan tyyppillisesti velvoitteita verkkoon liittämiseen ja markkinoillepääsyyn liittyen.

3.1.2 Sähkön vähittäismarkkinat ja verkkoliiketoiminnan regulaatio

Pohjoismaissa on työskennelty noin 10 vuoden ajan edellytysten luomiseksi yhteispohjoismaiselle sähkön vähittäismarkkinalle. On kuitenkin vielä epäselvää, miten asiassa edetään. Euroopan tasolla mahdollinen integraatio toteutuu kuitenkin todennäköisesti hitaammin, sillä erot Euroopan markkinoiden välillä ovat suurempia kuin Pohjoismaissa.

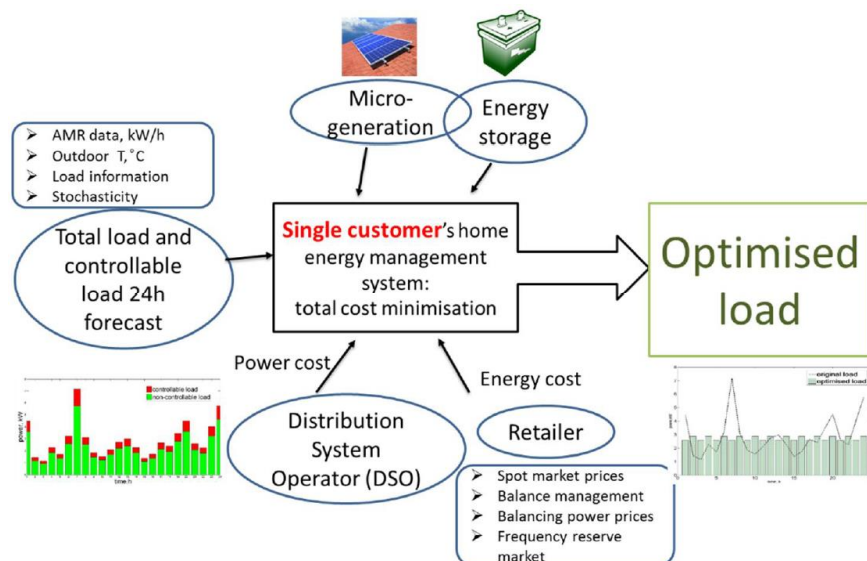
Suomessa valtaosalla asiakkaista on jo nyt etäluettavat ja tuntirekisteröivät mittarit. Tuntitason mittaus-tieto mahdollistaa sopimustyyppit, joissa hinta vaihtelee käyttöajan mukaan nykyistä päiväaika/yöaika - jaottelua monipuolisemmin. Asiakkaiden kiinnostus uusien tuotetyyppien valintaa kohtaan lienee jatkossakin haasteellista (vrt. nykyinen vähäinen myyjänvaihtoaktiivisuus). Ajan suhteen muuttuvat tariffirakenteet ovat osittain ristiriidassa asiakkaiden toivoman helppouden ja hintojen ennustettavuuden kanssa. Uusilla tuoterakenteilla (ajan suhteen muuttuvat tariffit, etäohjaus) tuotteen tarjoajan maine ja luotettavuus lisäävät merkitystään. Rahallisten kannustimien lisäksi asenteet ja arvot vaikuttavat siihen, miten kuluttajat suhtautuvat erilaisiin tariffirakenteisiin, kulutuksen ohjaukseen ja sähkön pientuotantoon. Taloudelliset motiivit vaikuttavat kuitenkin tärkeimmiltä laajassa mittakaavassa, joten pientuotannon tekniikkojen hinnan lasku lisää sähköä itse tuottavien kotitalouksien määrää.

Regulaattori on määrittänyt uuden valvontamallin vuoteen 2023 asti. Taloudellisen regulaation lisäksi Sähkömarkkinalaki (588/2013) on asettanut toimitusvarmuuden vähimmäisvaatimukset (6 h / 36 h) sähköverkkoyhtiöille. Nykyinen vuoden 2028 loppuun ulottuva siirtymäaika on haasteellinen suurelle osalle verkkoyhtiöistä suuren investointitarpeen vuoksi.

3.1.3 Kuormitusprofiilien muutos

Sähkön käytössä ja tuotannossa on tapahtumassa merkittäviä muutoksia, jotka vaikuttavat sähköenergian loppukäyttöön, jakeluverkon kautta siirretyn ja myyntiyhtiöiden myymän energian määrään sekä verkon huipputehoihin ja kuormitusprofiileihin. Muutoksia tulee myös kuormituksen ennustettavuuteen ja ohjattavuuteen. Merkittäviä muutoksia tuovat mm. sähköautot, lämpöpumput ja uusiutuvan energian tuotanto.

Kuvassa 5 on esitetty sähkökäyttäjän kuormitusprofiiliin vaikuttavat tekijät. Asiakkaan tai sähkökauppiaan toteuttama kuorman tai varaston ohjaus vaikuttaa energian käytön ajoittumiseen. Ennen kysynnäjouston laajamittaista käyttöönottoa on ratkaistava, kuka päättää joustavien resurssien ohjauksista: asiakas, sähkökauppias vai joku kolmas osapuoli.



Kuva 5. Sähkönkäyttäjän kuormitusprofiiliin vaikuttavat tekijät

3.1.4 Yleisiä toimintaympäristön muutosilmiöitä

Työpajoja edeltävä kirjallisuustutkimus ja työpajojen ryhmätyöt nostivat esille seuraavia yleisiä toimintaympäristön muutosilmiöitä:

- Kaupungistuminen jatkuu, maaseudulla vahvat kyläyhteisöt voimistuvat, heikot kuihtuvat
- Väestö ikääntyy

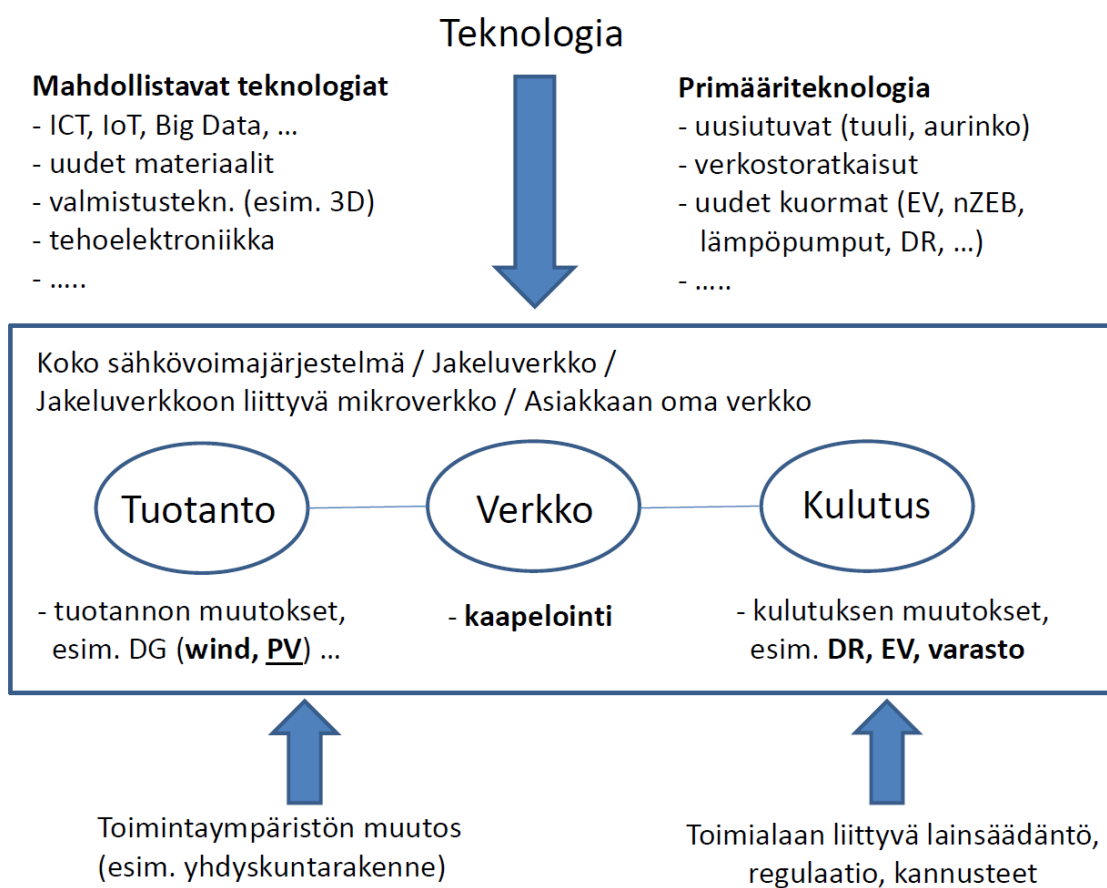
- Pakolaisvirrat vaikuttavat myös Suomeen
- Taloudellinen eriarvoistuminen lisääntyy
- Sähkön kulutus ei Suomessa enää kasva tai kasvaa maltillisesti teollisen tuotannon palatessa Suomeen
- Yhteisöllisyys, lähituotanto ja paikallisuus lisääntyvät
- Ympäristöarvot, ilmastomuutoksen vaikutukset ja sitä vastaan toimiminen korostuvat:
 - Suomi on sitoutunut EU:n asettamaan tavoitteeseen vähentää kasvihuonepäästöjä 80-95 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä
 - Sään ääri-ilmiöt yleistyvät
 - Ekologisuus tuo alkuperätakuut tuotteille, myös sähkölle
 - Fossiilisten polttoaineiden käyttö loppuu
- Energiaomavaraisuutta arvostetaan sekä valtakunnan tasolla että pienemmässä mittakaavassa
- Asiakkaasta tulee aktiivinen toimija sähkömarkkinoilla (automaatio huolehtii aktiivisuudesta)
- EU:n sääntely lisääntyy
- Energiatohokkuusvaatimukset voimistuvat, nollaenergiarakentaminen tulee vaatimukseksi, äly tulee kiinteistöihin
- Palvelumarkkinat kehittyvät ja monipuolistuvat, halutaan helppokäyttöisyyttä ja kokonaispalveluja. Uusiutuvan energian ja toimintavarmuusvaatimusten ympärille kehittyä uusia palveluja ja liiketoimintamahdollisuuksia
- Syntyä uusia kansainvälisiä liiketoimintamahdollisuuksia

- Kyberturvallisuuden merkitys korostuu
- Riippuvuus sähköstä lisääntyy
- Turvallisuus korostuu kaikilla sähkönjakelun osa-alueilla
- Kriisivalmiusvaatimukset ja huoltovarmuus korostuvat
- Liikenteen käyttövoima muuttuu: sähköinen liikenne ja biopolttoaineet yleistyvät
- Digitalisaatio etenee, tekniikka integroituu arkeen, IoT on arkipäivää
- Energiavarastot yleistyvät ja tulevat taloudellisesti kannattaviksi
- Uusiutuva energia tuo energiavallankumouksen

3.2 Tekniikan kehittyminen ja kehittämistarpeet

3.2.1 Yleiskuva

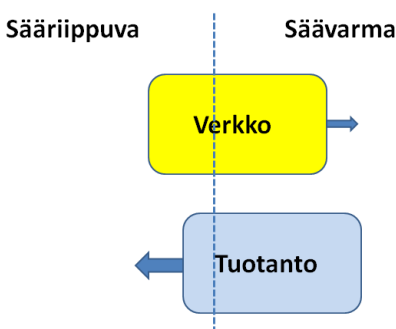
Koko sähkövoimajärjestelmää koskevassa murroksessa teknologian kehittymisellä on suuri merkitys, kuten kuvasta 6 ilmenee. Samalla syntyy tarpeita kehittää uusia ratkaisuja.



Kuva 6. Sähkövoimajärjestelmään kohdistuvia muutospaineita

3.2.2 Säariippuva tuotanto ja jakeluverkon jännitteen hallinta

Sähkönjakeluverkkoja kehitetään säävarmoiksi, mutta hiilineutraalia sähköntuotantoa kohti kuljettaessa säariippuva tuotanto, erityisesti tuuli- ja aurinkovoima, lisääntyy voimakkaasti (kuva 7). Aurinkosähköjärjestelmien eli käytännössä aurinkokennovoiman osuus globaalista sähköenergian tuotantokapasiteetista on kasvanut eksponentiaalisesti tämän vuosituhannen aikana, ja asennettu tuotantokapasiteetti on keskimäärin kaksinkertaistunut joka toinen vuosi. Aurinkokennovoimaloilla tuotetaan jo useissa maissa, kuten Saksa, Italia ja Kreikka, lähes 10 % prosenttia vuotuisesta sähköenergian kulutuksesta. Näissä maissa etsitään kuumeisesti ratkaisuja tämän voimakkaasti säariippuvan ja hajautetun sähköntuotannon aiheuttamiin järjestelmätason sähkön laadun ja tehotasopainon ongelmiin. Suomalaiset sähkön tuottajat ja verkkoyhtiöt kohtaavat samat ongelmat ja haasteet, kun aurinkosähköjärjestelmien rakentaminen kasvaa Suomessa globaalista kehitystä noudattaen.



Kuva 7. Verkkojen muuttuminen säavarmemmiksi ja säariippuvan tuotannon lisääntyminen

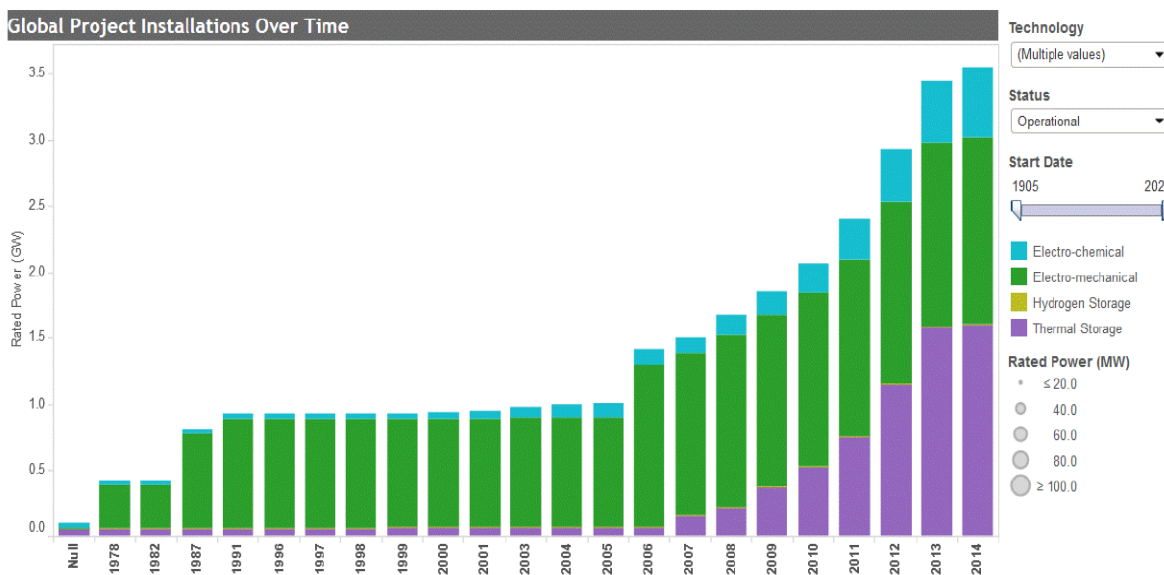
Aurinkokennovoiman säariippuvuus vaikuttaa myös voimakkaasti koko sähköjärjestelmän toimintaan ja tarve tuotannon nykyistä tarkempaan ennustamiseen kasvaa. Tulevaisuudessa aurinkokennovoiman tuottaja myös pääsääntöisesti kuluttaa itse valtaosan tuottamastaan sähköstä energiavarastoja hyödyntäen, mikä aiheuttaa tarpeen uudistaa sähköverkkoyhtiöiden ansaintalogiikkaa.

Uusiutuvan sähköenergian tuotanto heikossa jakeluverkossa aiheuttaa jännitteenousuongelman sekä keski- että pienjänniteverkossa. Hajautettu tuotanto sijoittuu usein verkon kannalta epäedullisiin paikkoihin, jolloin olemassa olevan verkon siirtokyky on rajallinen, ja etäisyys sähköasemalle saattaa olla hyvin pitkä. Lisäksi lämpöpumput, hintaohjattu kulutus ja tulevaisuudessa sähköautot voivat ylikuormittaa pienjänniteverkkoa ja jakelumuuntajaa tai aiheuttaa jännitteenalenemaa pienjänniteverkossa.

3.2.3 Energian varastointi

Kehittyvä energian varastointitekniikka tarjoaa ratkaisuja moniin ohjaamattoman, säariippuvan tuotannon aiheuttamiin ongelmiin. Pumppuvoimalaitokset ovat perinteistä tekniikkaa, mutta viime vuosina lämpövarastot ovat yleistyneet voimakkaasti. Kuvassa 8 on esitetty energiavarastojen maailmanlaajuisen tehon kehittyminen viime vuosina. Sähköverkkojen näkökulmasta erityisen mielenkiintoiselta näyttää akkujen (sähkökemiallinen varastointi) tekninen ja kustannuskehitys. Odotettavissa on sähkön akkuvastoinnin hinnan olennainen lasku ja akkujen yleistymisen esim. aurinkosähköjärjestelmien yhteyteen.

Last Updated 3/2/2015 4:08:33 PM



Kuva 8. Energiavarastojen tehon globaali kehittyminen

http://www.energystorageexchange.org/projects/data_visualization

Jakeluverkkoon liitetyt energiavarastot ovat vielä hyvin harvinaisia. Jakeluverkon teholuokka myös rajoittaa soveltuvat teknologiat akkuenergiavarastoihin. Nykyinen akkujen kustannustaso on niin korkea, etteivät kannustimet ole vielä olleet riittävät energiavarastojen asennuksiin. Tilastot näyttävät, että mm. sähköautojen akkujen hinnat ovat laskeneet 40 % vuodesta 2010. Mikäli energiavarastojen yksikköhinta kehittyy samalla polulla kuin tähän asti, ei mene montaa vuotta, kun taloudelliset perusteet energiavarastojen verkkoon kytkentään ovat olemassa useille eri toimijoille, kuten loppukäyttäjät, verkkoyhtiöt, sähkönmyyjät tai jotkin muut markkinatoimijat.

Nykyisin verkkoyhtiön ei ole mahdollista omistaa energiavarastoa, vaikka monesta näkökulmasta yhtiöt voisivat hyötyä merkittävästi energiavarastojen liittämisestä jakeluverkkoon (esim. huipputehon leikkaus ja keskeytysten hallinta) ja täten jopa pienentää verkon kokonaiskustannuksia. Asiaa koskevaa regulaatiota on perusteltua muuttaa.

3.2.4 Sähköinen liikenne

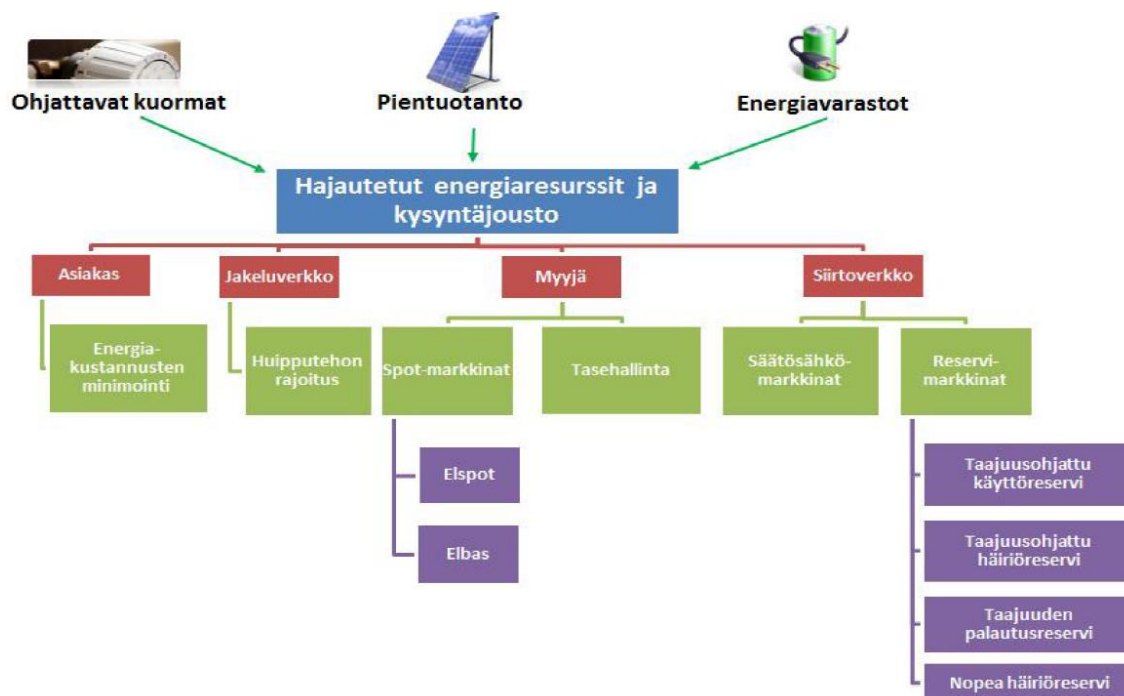
Päästöjen vähennystarve, halu vähentää öljyriippuvuutta sekä biopolttoaineiden ja akkuteknologian kehittyminen johtavat liikenteen käyttövoiman muutoksiin. Biopolttoaineet ovat Suomessa todennäköisesti vähintään merkittävä välivaihe, mutta pitkällä aikavälillä on odotettavissa ainakin kaupunkiliikenteen voimakas sähköistyminen.

Sähköverkoille ja sähkön käyttäjille sähköverkosta ladattavat autot tarjoavat yleistyessään kapasiteettihaasteita lataukseen liittyen ja mielenkiintoisen energiavarastopotentialin. Lataus- ja varastointiteknikoita ja niiden älykästä ohjausta kehitetään edelleen.

3.2.5 Joustomarkkinat, kysynnänjousto ja AMR-teknologia

Kysynnänjousto on laaja termi sisältäen kuormien lisäksi myös paikallisen tuotannon ja energian varastoinnin. Kysynnänjouston merkitys, tarve ja ansaintalogiikka vaihtelevat toimijan näkökulmasta, yleisesti

ottaen tarve kysynnänjoustolle tulee kasvamaan ohjaamattoman tuotannon lisääntyessä. Kysynnänjouston keskeiset kysymykset liittyvät liiketoimintamalleihin, asiakaskäyttäytymisen ymmärtämiseen ja teknologisiin ratkaisuihin. Sen merkittävä erityispiirre on nopeus, jousto on toteutettavissa nopeimmillaan millisekunneissa. Kuvassa 9 on havainnollistettu kysynnänjouston hyödyntämistä eri osapuolten (asiakas, jakeluverkkoyhtiö, sähkönmyyjä, siirtoverkkoyhtiö) kannalta.



Kuva 9. Kysynnänjouston hyödyntämismahdollisuudet

Merkittävän kysynnänjoustopotentialin Suomessa muodostaa sähkölämmitys (tilojen ja käyttöveden lämmitys). Asennettua sähkölämmitystehoa pientaloissa on noin 4500 MW, josta AMR-mittareiden ohjauksella on valmius ohjata lähes puolta. Myös lämpöpumput omaavat kuormanohjauksipotentialia, mutta hyödyntäminen edellyttäisi, että kuormanohjauksen tarpeet otettaisiin pumppuja asennettaessa huomioon. Muita mahdollisia ohjattavia kuormia ovat toimistorakennusten ja liikekiinteistöjen ilmanvaihto, jäähdytys ja valaistus. Lisäksi suuret sähkönkäyttökohteet, kuten pakastamot ja kasvihuoneet ovat potentiaalisia kysyntäjoustokohteita, ja näistä onkin jo käytännön pilotteja meneillään. Kun sähköautot yleistyvät, niistä muodostuu merkittävä ohjattavan kuorman potentialiaali.

AMR-mittarin kautta tapahtuvan kuormanohjauksen lisäksi keskeisessä roolissa kysynnänjouston hyödyntämisessä ovat erilaiset kotien ja kiinteistöjen energian hallinnan automaatiojärjestelmät (HEMS), jotka tarjoavat kehittyneitä toimintoja kysynnänjouston toteuttamiseen. Näihin järjestelmiin on mahdollista toteuttaa reaaliaikainen rajapinta AMR-mittarille. Osaltaan HEMS-järjestelmien kehittyminen ja yleistymisen vähentää tarvetta AMR-mittarin kautta tapahtuvan kysynnänjouston toimintojen kehittämiseksi. Toisaalta jakeluverkkoyhtiön tarjoama kuormanohjauksensuorituskehityskehittynen AMR-mittarin kautta loisi neutraalin markkinapaikan kaikille joustomarkkinoiden toimijoille sekä mahdollisuuden verkon tarpeista lähteville toiminnoille.

Kysynnänjouston infrastruktuurin näkökulmasta Suomi on edelläkävijämaa. Suomi on johtava maa paitsi etäluettavien mittareiden käyttöönotossa, myös joustomarkkinatuotteiden kehityksessä.

3.2.6 Pienjännitteinen tasasähköjakelu, LVDC

Pienjännitteinen tasasähkönjakelu (LVDC) on vielä kehittyvä tekniikka. Tällä hetkellä on käytössä joitakin pilottikohteita mm. Elenian ja Järvi-Suomen Energian verkoissa. Tekniikan käyttöpotentiaali on merkittävä, ja se on kustannuksiltaan kilpailukykyinen saneerattaessa nykyisiä keskijänniteverkon haarajohtoja. Elinkaarikustannusten arvioidaan jäävän perinteistä verkkoratkaisua edullisemmiksi.

LVDC tarjoaa vaihtosähköjärjestelmää yksinkertaisemman rajapinnan energiavarastojen ja hajautetun tuotannon liittämiseen verkkoon. Akustolla varustetun LVDC-järjestelmän saarekekäyttöominaisuus (mikrosähköverkko) on myös vaihtosähköjärjestelmää helpompi toteuttaa. Tämän hetkisen arvion mukaan LVDC-järjestelmät tai niiden eri osien käyttö yleistyvät 5–10 vuoden kuluessa. Myös keskijännitteistä tasasähkönjakelua tutkitaan.

3.2.7 Mikrosähköverkot

Verkosta tarvittaessa saarekkeeksi kytkeytyvät mikrosähköverkot ovat maailmanlaajuisesti voimakkaan tutkimuksen kohteena. Mikrosähköverkkoratkaisuilla uskotaan olevan tulevaisuudessa huomattava markkinapotentiaali. Haasteita ovat mm. saarekekäytössä yleensä tarvittavat energiavarastot, suojaustekniikka vikavirtojen jäädessä hyvin pieniksi ja toimijoiden roolien selventäminen. Vaikka Suomessakin on kiinnostusta erota yleisestä jakeluverkosta, täysin erilliset energijärjestelmät tuskin saavat merkittävää roolia, ennen kuin esim. energian kausivarastointiin on löydetty kustannustehokas ratkaisu.

3.2.8 Kaapeliverkot, niiden kunnonvalvonta ja vianpaikannus

On odotettavissa, että kaapeloidun verkon johtopituus moninkertaistuu, kun ilmajohtoja korvataan maakaapeleilla. Verkkoyhtiöt investoivat keskijännitekaapeleihin ja muuntamoihin Suomessa vuosittain noin 300 M€, ja summa tulee lähivuosina kasvamaan. Laajan haja-asutusalueen avojohtoverkon kaapelointi johtaa uudenlaiseen verkkotopologiaan ja sekaverkkoihin. Perinteistä maasulkuanalyysiä ei voida enää täysin sellaisenaan soveltaa, joten tarvitaan uusia suunnittelumenetelmiä. Uusiutuvan sähköenergian tuotannon liittyminen sähkönjakeluverkkoihin lisää omalta osaltaan kaapeliverkon pitkän aikavälin suunnittelun haasteita, jotta kaapeliverkosta tulee kapasiteetiltaan riittävän joustava tulevaisuuden erilaisia kuormitus- ja tuotantotilanteita silmälläpitäen.

Kaapeleiden uudisasennusten ja olemassa olevan verkon korjausten laatu tulisi varmistaa. On olemassa selvä tarve käyttöönottomittausten kehittämiseen niin, että niillä pystytään varmistumaan myös kaapelipäätteiden ja jatkosten laadusta ja mm. auringon asennettujen kaapeleiden eheydestä. Myös Online- tai off-line -tyyppisten kunnonvalvontamenetelmien tarve kasvaa kaapeloinnin yleistyessä ja kaapeliverkkojen vanhojen kaapeliverkkojen ikääntyessä.

Älykkään sähköverkon ominaisuuksiin kuuluu itsekorjautuvuus, millä tarkoitetaan vikapaikan automaattista tunnistusta, erottamista ja varasyötön kytkemistä. Käyttövarmuusvaatimusten kiristyessä tämän tekniikan kehittäminen on edelleen ajankohtaista. Myös vianpaikannusta tulee kehittää, sillä maasulun paikantamiseen eri tavoin maadoitetuissa kaapeli- ja ilmajohtoverkoissa ei edelleenkään ole vakiintuneita menetelmiä. Katkeilevat maasulut lisäävät haastetta.

3.2.9 Tieto- ja tietoliikennetekniikka

Tieto- ja tietoliikennetekniikan kehitys luo edellytykset nykyistä huomattavasti laajemmalle verkon hallinnalle ja uusille liiketoimintamahdollisuuksille. Jo nyt on nähtävissä Internet-verkon laajeneminen laitteisiin ja koneisiin (IoT). Kasvava kapasiteetti tekee mahdolliseksi myös tietojen jalostamisen suuresta aineistosta (Big Data). Tietotekniikan voimakkaasti lisääntyvä soveltaminen kriittisen infrastruktuurin hallinnassa edellyttää kyberturvallisuuden kehittämistä.

3.3 Uudet palvelut sähkömarkkinoilla

Tulevaisuuden palveluiden tarvetta selvitettiin matriisirakenteisen kyselyn avulla. Peruskysymyksenä oli, kuka tarjoaa milläkin aikajänteellä mitään palveluita kenelle, ja millä ansaintalogiikalla sekä miten palvelun voidaan odottaa muuttuvan. Lähtöoletuksia olivat pienimuotoisen sähköntuotannon ja sähkön akkuvastoinnin muuttuminen taloudellisesti kannattavaksi, järjestelmään kytkettävän ohjaamattoman tuotannon merkittävä kasvu, pieniasiakkaan verkosta ostaman energian olennainen vähentyminen huipputehon kuitenkin säilyessä ja kysynnän jouston edellyttämien tietojärjestelmien yleinen toimivuus.

Kokonaiskuva kyselyn perusteella palvelumarkkinoiden keskittymisalueista (hot spots) aukeaa, kun tarkastellaan, kuinka tärkeä kukin palvelun tuottaja on kullekin käyttäjälle (asiakkaalle) ja vastaavasti kuinka tärkeä asiakas tietty käyttäjä on kullekin palveluntuottajalle. Tämän selvittämiseksi laskettiin joukko indeksilukuja. Mitä suurempi luku, sitä riippuvaisempia molemmat ovat toisistaan. Kuvassa 10 on esitetty palvelumarkkinoiden kehittymisen kuumat pisteet aikajänteellä 1-10 vuotta.

Palvelun käyttäjä \ Palvelun tuottaja	Palvelun käyttäjä											
	DSO	TSO	Myyjä	Tuottaja	Tekninen jousto- operaattori	Kaupallinen jousto- operaattori	Tietoliikenne- ja palvelinoperaattorit	Urakoitsija (rakennus- ja ylläpito)	Laite- tai järjestelmätoimittaja	Kuluttaja-asiakas	Yritysasiakas	Uusi toimija
DSO			0.9							13.3	1.9	
TSO	2.9		9.5								2.2	
Myyjä		8.3								10.0	5.6	
Tuottaja		3.3	1.1	10.0	10.0					1.0		
Tekninen jousto- operaattori	7.1		5.9			6.3				0.6	1.4	
Kaupallinen jousto- operaattori	1.8	2.1	10.5							0.6	1.4	
Tietoliikenne- ja palvelinoperaattorit	4.8		1.8							1.7		
Urakoitsija (rakennus- ja ylläpito)	2.9		1.1		10.0					1.0	2.2	
Laite- tai järjestelmätoimittaja	1.2	1.4	3.9	4.2				8.3		6.7	0.9	
Kuluttaja-asiakas												
Yritysasiakas			5.3									
Uusi toimija		2.4	0.8			2.1				6.4	1.6	

Kuva 10. Palvelumarkkinoiden kehittymisen kuumat pisteet 10 vuoden aikajänteellä

Kuten kuvasta 10 nähdään, kuluttajasektori sekä sähkön myyntiin ja aggregointiin liittyvät palvelut nousivat korostuneesti esiin. Samoin korostuu teknisen jousto-operaattorin rooli palveluiden käyttäjänä, ei vain tarjoajana. DSO:n ja kuluttaja-asiakkaan suhde on molemminpuolisesti tärkeä. 2/3 DSO:n palveluita on suunnattu kuluttajille. DSO:n tuottamat palvelut kuluttaja-asiakkaalle edustavat viidennestä kokonaistarjonnasta.

Tuottajasektorin sisäisten palveluiden tärkeys on yksi mielenkiintoinen löydös. Vaikka tuottajat tuottavat palveluita useille eri käyttäjille, he hankkivat palveluita myös toisilta tuottajilta. Tämän selitykseksi paljastuu kasvavan ohjaamattoman uusiutuvan energian tuottajien tai aggregaattoreiden tarve ostaa kapasiteettia (tuotantoa tai varastointia) oman tuotantonsa vaihtelun tasapainottamiseen. Siten myös tämä painopiste liittyy lopulta keskeisesti joustoresurssien tarjontaan ja operointiin. Pitemmän aikajänteen kehittymisen painopisteet erottuvat kuvasta 11.

Palvelun käyttäjä \ Palvelun tuottaja	DSO	TSO	Myyjä	Tuottaja	Tekninen jousto- operaattori	Kaupallinen jousto- operaattori	Tietoliikenne- ja palvelinoperaattorit	Urakoitsija (rakennus- ja ylläpito)	Laite- tai järjestelmätoimittaja	Kuluttaja-asiakas	Yritysasiakas	Uusi toimija
DSO						5.6				3.3	8.3	
TSO	2.8		5.0			4.2				2.5		
Myyjä						2.8				26.7	4.2	
Tuottaja		4.0	4.0		10.0	3.3				2.0		
Tekninen jousto-operaattori	1.9	3.3	13.3			11.1						
Kaupallinen jousto- operaattori	1.9	3.3	3.3	16.7						1.7	4.2	
Tietoliikenne- ja palvelinoperaattorit	5.6				25.0							
Urakoitsija (rakennus- ja ylläpito)	5.6									5.0		
Laite- tai järjestelmätoimittaja	16.7	3.3								1.7	4.2	
Kuluttaja-asiakas	11.1											
Yritysasiakas												
Uusi toimija		20.0										

Kuva 11. Palvelumarkkinoiden kuumat pisteet 10-20 vuoden aikajänteellä

3.4 Sähkömarkkinat ja toimijoiden roolit

Sähkömarkkinoilla on tunnistettu seuraavia yleisiä kehittämistarpeita:

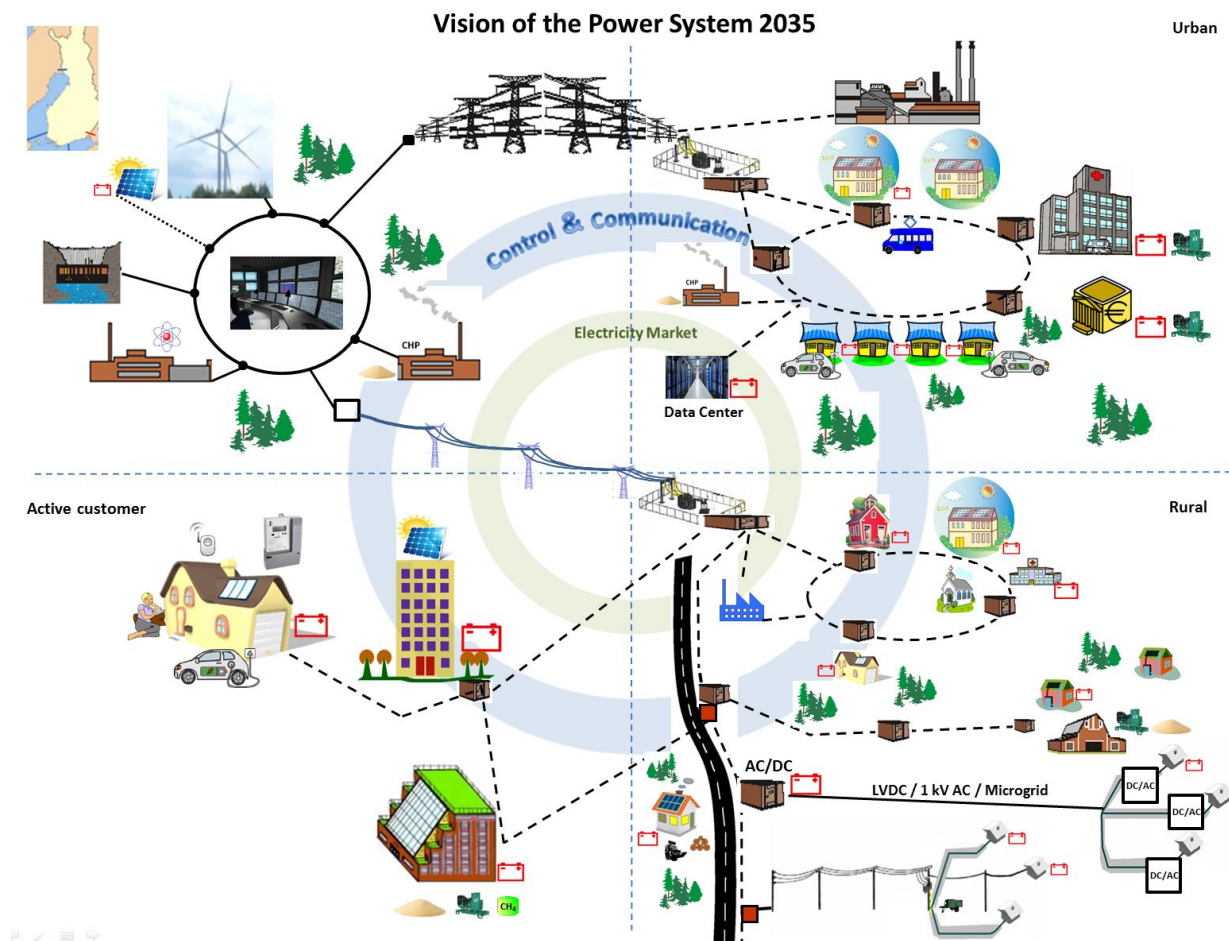
- Hinnoittelumallit
 - Kapasiteettipohjaiset hinnoittelumallit ja joustomarkkinoiden hinnoittelu
 - Miten saadaan tehopohjainen hinnoittelu verkoissa laajasti käyttöön?
- Regulaatio
 - Miten regulaatio pystyy vastaamaan nopeasti kehittyvään toimintaympäristön tarpeisiin?
 - Regulaation kannustettava kustannustehokkaimman ratkaisun valintaan (off-grid / on-grid)
 - Toimijoiden roolit; DSO/TSO työnjako
 - Energiavarastojen omistus ja käyttö
- Data
 - Datan saatavuus kaikille osapuolille
 - Datan määrä kasvaa, miten tästä tehdään liiketoimintaa, ja millaisia ovat ansaintamallit?
 - Datan omistajuus, tietosuoja ja tietoturva
 - Avoimet standardoidut rajapinnat ja tietorakenteet
- Kokonaisvaltainen energiapalvelu
 - Palveluprosessin ja ansaintalogiikan muodostaminen ja demonstrointi

Jakeluverkkoyhtiöiden toimintaa ajatellen on lyhyellä aikavälillä tarpeellista ryhtyä toimiin teho-/huipputehoperusteisen hinnoittelun hyväksyttävyyden saavuttamiseksi, yhteisten pientuotannon plug-in-liittymisohjeiden ja -käytäntöjen kehittämiseksi sekä kuormien ja energiavarastojen ohjauksen käytäntöjen luomiseksi. Pitemmällä aikavälillä valvontamallia tulee kehittää, koska kaapeloinnin aiheuttama siirtohintojen nousu uhkaa verkkoyhtiöiden kilpailukykyä off-grid -ratkaisujen kanssa.

4 Visio 2035

4.1 Järjestelmävisio

Kuvassa 12 on pyritty visualisoimaan Suomen sähköjärjestelmää vuonna 2035. Vision neljää lohkoa on selitetty seuraavissa kappaleissa.

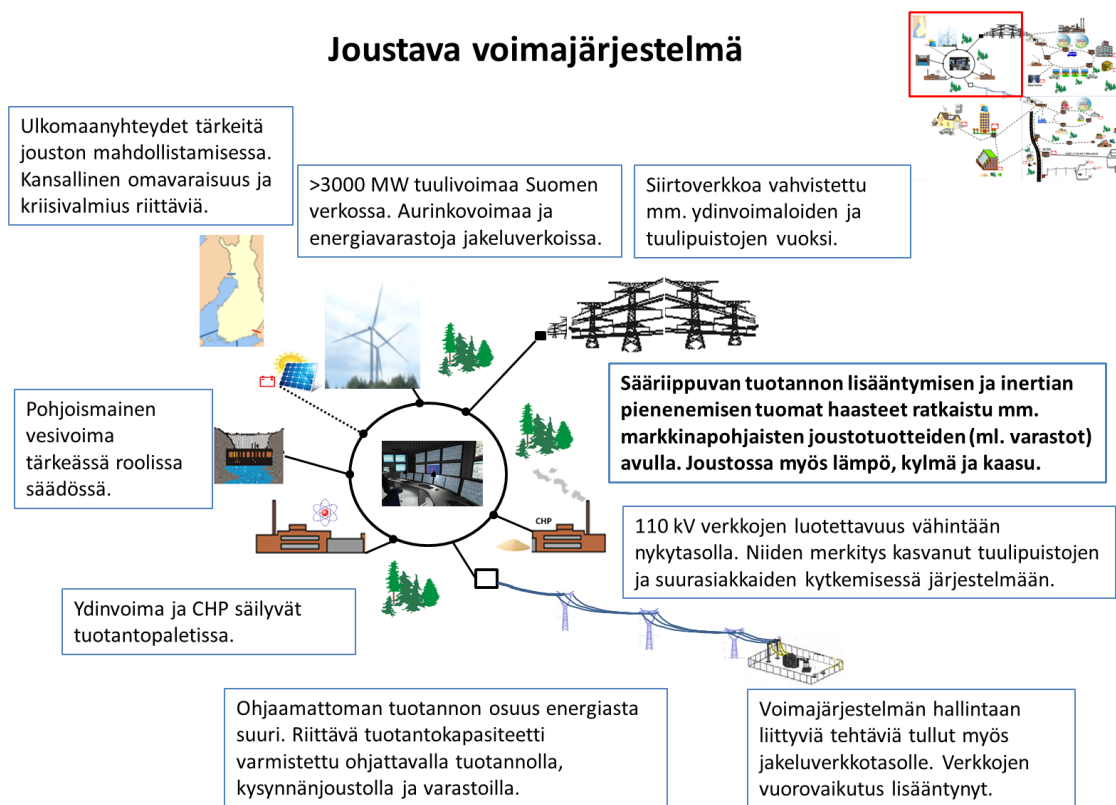


Kuva 12. Visio Suomen sähköjärjestelmästä vuonna 2035

Visiona on toimintavarma, kilpailukykyinen sekä sähkömarkkinoita ja kestävää kehitystä palveleva järjestelmä. Uusiutuvan energian voimakas lisääntyminen on edellyttänyt järjestelmältä joustavuutta, joka on saavutettu älykkään hallinnan ja joustavien resurssien avulla. Kaikkialle ulottuva ICT, toimiva regulaatio ja uudet liiketoimintamallit ovat luoneet tähän mahdollisuudet. Järjestelmän toimintavarmuutta ja kustannustehokkuutta on parannettu myös primääriverkkojen teknologiaa kehittämällä.

4.2 Voimajärjestelmä

Kuvassa 13 on esitetty selitysteksteineen koko sähköjärjestelmää esittävän kuvan lohko, joka koskee lähinnä suurvoimansiirtoa, sähkön tuotantoa ja järjestelmän hallintaa.



Kuva 13. Joustava voimajärjestelmä

Eurooppa on edennyt lähemmäs energiaunionia vuonna 2035. Siirtoverkkoja ja yhteyksiä ulkomaille on vahvistettu. Kansallista omavaraisuutta ja kriisivalmiutta on parannettu.

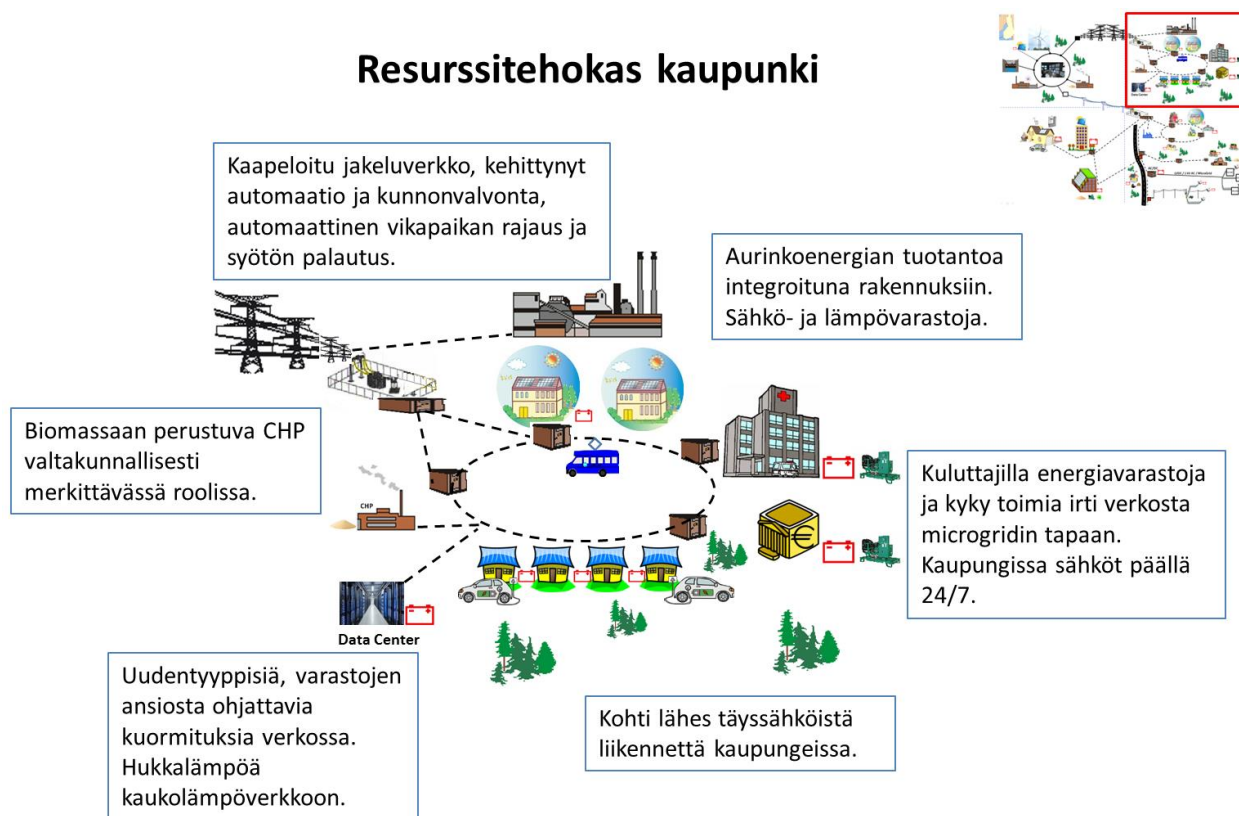
Rakennettava uusi sähköntuotanto perustuu lähes yksinomaan uusiutuvaan energiaan (tuuli, biomassa, aurinko, vesivoima), mutta ydinvoimalla on Suomessa vielä merkittävä rooli. Sähkövoimajärjestelmän inertia on pienentynyt, mutta uusiutuvaa energiaa koskevien järjestelmätekniisten vaatimusten ansiosta järjestelmä on hallittavissa. Sääriippuvan tuotannon vuoksi järjestelmässä esiintyy huomattavia tuotannon vaihteluita, joita varten on kehitetty ratkaisut. Kysynnänjousto sekä keskitetyt ja hajautetut energiavarastot ovat merkittävässä roolissa.

110 kV:n verkoilla on suuri merkitys tuulipuistojen ja suurten asiakkaiden kytkemisessä järjestelmään. Niiden käyttövarmuus on pidetty vähintään nykytasolla.

ICT on kehittynyt huomattavasti, ja tietoliikenne ulottuu kaikkialle. Internet of Things on muuttunut lähes kaikkia laitteita koskevaksi todellisuudeksi, ja siihen liittyvät tietoturvaongelmat on ratkaistu. Uusi- en palvelujen tuottajat hyödyntävät kehittyneitä integroituja tietojärjestelmiä tarjotessaan palveluja kaikille sähkömarkkinoiden toimijoille.

4.3 Kaupungit

Kuvassa 14 on esitetty visio kaupunkien sähköjärjestelmästä.



Kuva 14. Visio kaupunkien sähköjärjestelmästä

Yhä suurempi osa asiakkaiden toimii ja asuu kaupungeissa kaupungistumisen jatkuessa. Kaupunkiverkkojen luotettavuus on parantunut kehittyneemmän automaation ja kunnonvalvonnan ansiosta. Monilla kuluttajilla on lisäksi energiavarastoja ja kyky toimia erillään verkosta.

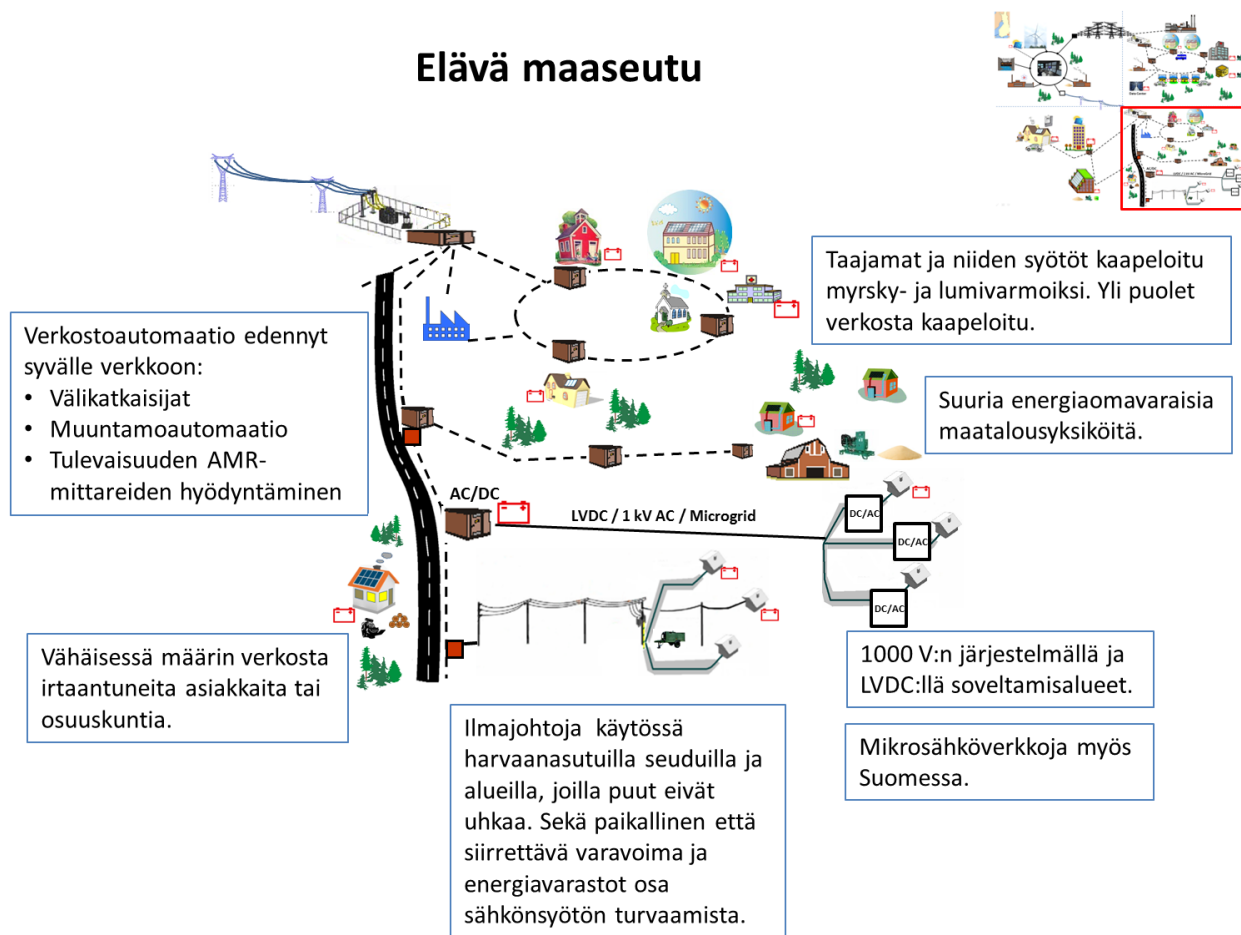
Suuri osa henkilöautojen käyttövoimasta perustuu biopolttoaineisiin ja sähköön. Maassa on kattava julkinen latausverkosto, ja kaupungeissa liikenne on pitkälti sähköistynyt sähköisen joukkoliikenteen lisääntymisen myötä. Kysynnänjoustoa ja hajautettujen resurssien ohjausta hyödynnetään paikallisesti myös jakeluverkon hallinnassa, jotta esimerkiksi sähköautojen latauksen ja lämpöpumppujen aiheuttama kuormitus ei kasvata sähkönjakeluverkon huipputehoja liiaksi.

Uudet kiinteistöt ovat erittäin energiatehokkaita ja pitkälti energiaomavaraisia. Kiinteistökohtaiset energiavarastot ovat yleistyneet aurinkosähköjärjestelmien myötä.

Tehoelektroniikkaan pohjautuvat ja monipuoliset ohjausominaisuudet sisältävät ratkaisut ovat yleisesti käytössä osana sähkönjakeluverkkoja. Niitä hyödynnetään mm. hajautetun tuotannon ja energiavarastojen verkkoonliitynnässä, sähköautojen latauksessa sekä sähköasemien ja muuntamoiden automatisoinneissa. Tämä on mahdollistanut laajamittaisen jännitteen laadun seurannan ja hallinnan.

4.4 Maaseutu

Kuvassa 15 on esitetty visio maaseudun sähköjärjestelmästä.



Kuva 15. Visio maaseudun sähköjärjestelmästä

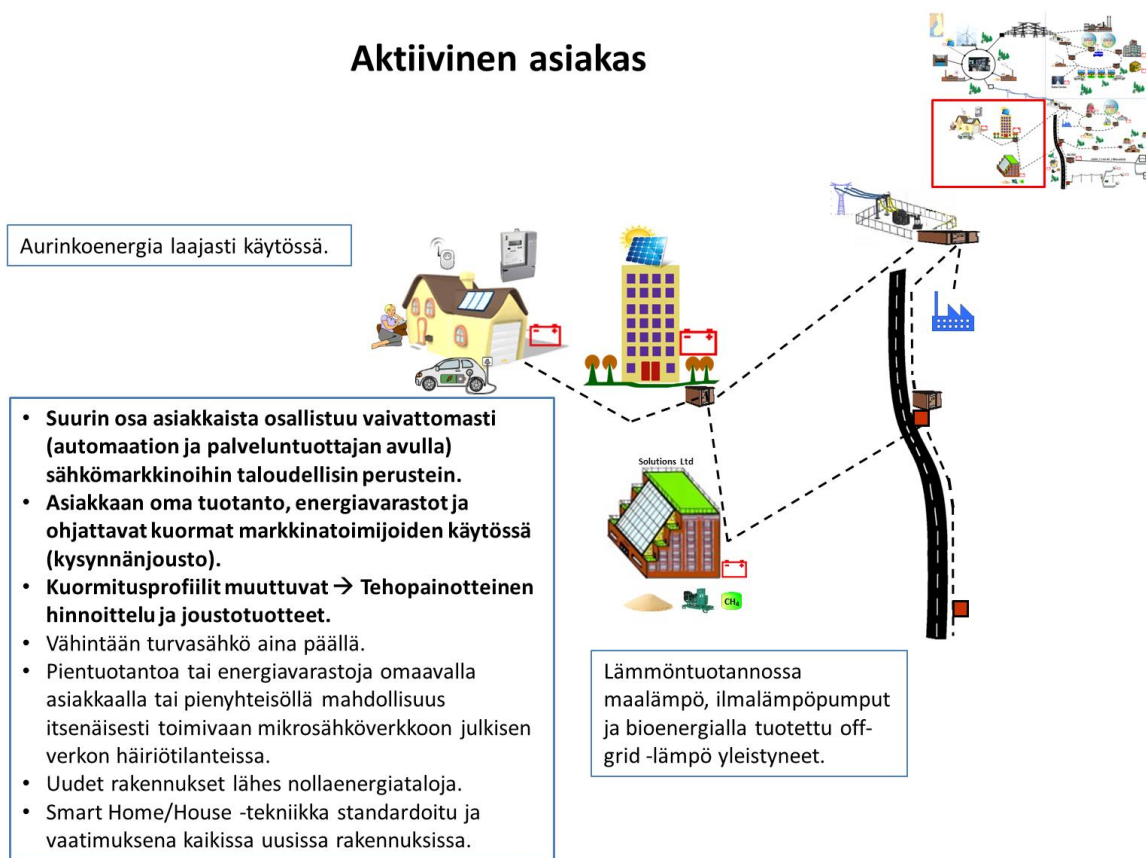
Maaseudun vahvat keskuksat ovat vahvistuneet ja säilyttäneet elinvoimansa. Käyttövarmuuden kannalta jakeluverkkojen merkittävimmät osat, maaseututaajamat ja runkojohtot, on kaapeloitu. Kaapeleiden online-kunnonvalvonta on laajalti käytössä, ja vikatilanteiden hallinta on kehittynyt syvälle verkkoon viedyn monitoroinnin ja suojausten ansiosta. Ilmajohtoja on edelleen käytössä harvaanasutuilla seuduilla ja alueilla, joilla puusto ei aiheuta merkittävää vikaantumiseriskää.

Energiavarastoja, mikrosähköverkkoja ja varavoimaa hyödynnetään sähkönsyötön varmistamisessa, ja regulaatio sallii energiavarastojen hyödyntämisen myös verkkoyhtiöille. Verkon jännitetason hallinnassa hyödynnetään energiavarastoja ja pientuotannon tehoelektronikkaa.

1000 V:n jakelujärjestelmää ja tasasähköjakelua käytetään korvaamaan kevyesti kuormitettuja keskijännitejohtoja. LVDC:tä sovelletaan myös hajautetun tuotannon ja energiavarastojen verkkoon liittämiseksi. On syntynyt omavaraisuuteen pyrkiviä energiaosuuskuntia perustuen taloudellisiin ja kestävästi kehityksen arvoihin. Lähes kaikilla asiakkailla on kuitenkin edelleen yhteys verkkoon.

4.5 Aktiivinen asiakas

Kuvassa 16 on esitetty visio tulevaisuuden aktiivisesta asiakkaasta.



Kuva 16. Visio aktiivisesta asiakkaasta

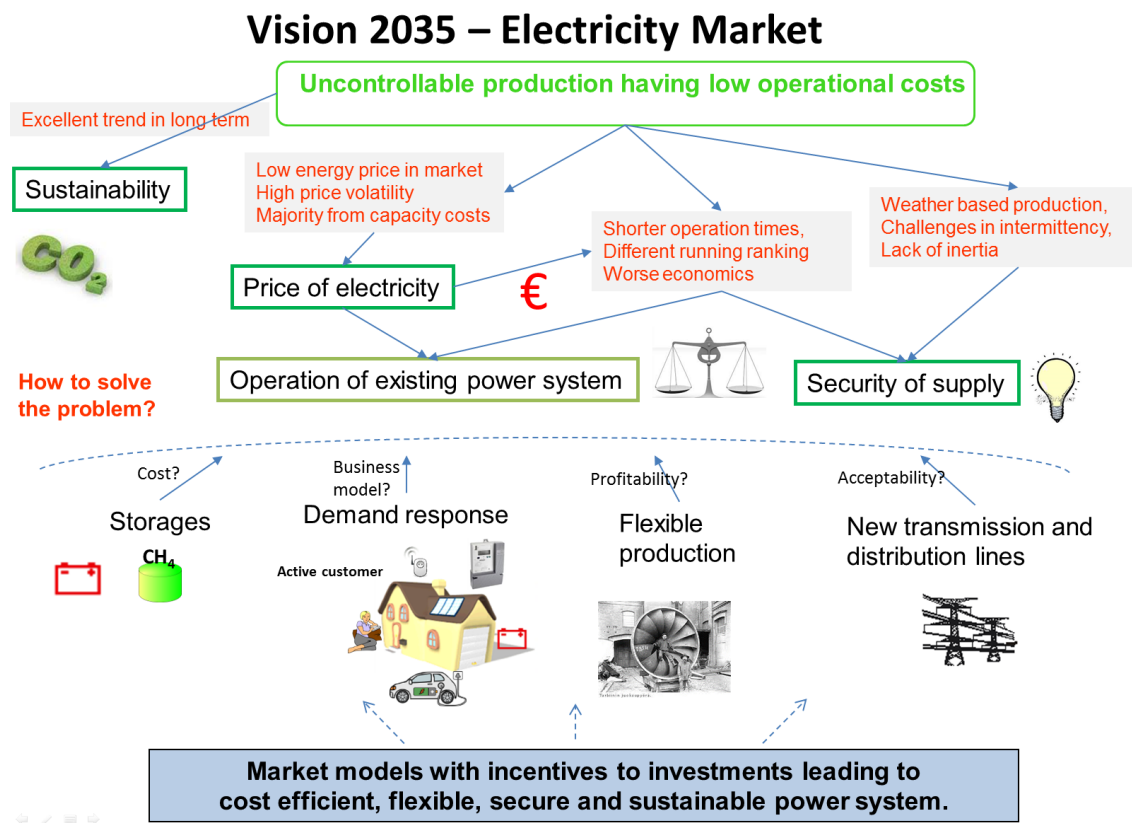
Kuluttajamarkkinat ovat muuttuneet heterogeenisemmiksi ja kuormitusprofiilit ovat muuttuneet. Tuotantoasiakkaita on liittyneenä verkkoon entistä enemmän, ja erityisesti aurinkoenergiaa hyödynnetään laajasti. Energiavarastot ja lämmön tuottaminen lämpöpumpuilla tai bioenergialla ovat yleistyneet. Asiakkaiden ja yhteiskunnan riippuvuus sähköstä on voimistunut, mutta vähintään turvasähkö pysyy jatkuvasti päällä.

Merkittävä osa asiakkaista on aktiivisia osallistuen kysynnänjoustoon kuormien automaattisella pudotamisella tai akkuvarastoilla. Aggregaattorit kokoavat markkinoilla pienkuluttajia ja -tuottajia suuremmiksi toimijoiksi sähkömarkkinoilla. Pienjänniteverkot muodostavat merkittävän fyysisen markkina- paikan. Tasevastuu on edelleen kaikilla toimijoilla, ja asiakkailla on vain yksi avoin toimittaja. Asiakkailta on mahdollisuus saada kaikki energiaan liittyvät palvelut yhdeltä palveluntarjoajalta. Eri infrapalveluiden (sähkö, vesi, lämpö, kylmä, kaasu) keskinäinen koordinaatio on parantunut, ja niitä on yhdistetty saman yhtiön hallintaan.

Kapasiteettipohjainen hinnoittelu on käytössä joko sellaisenaan tai energiaperusteisen hinnoittelun rinnalla tukkusähkömarkkinoilla, joustotuotteissa (säätö- ja reservimarkkinoilla) sekä jakelu- ja siirto-verkoissa. Kuluttajille on mahdollista joustava osallistuminen laatupohjaiseen hinnoitteluun.

4.6 Sähkömarkkinat

Kuvassa 17 on esitetty ja selitetty visio tulevaisuuden aktiivisesta asiakkaasta.



Kuva 17. Visio sähkömarkkinoista

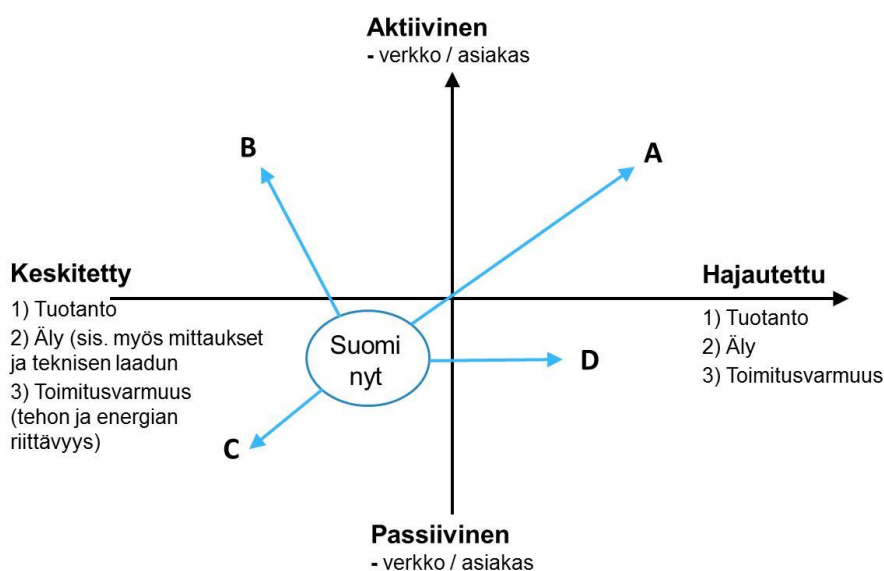
Uusiutuvaan energiaan perustuvan sääriippuvan tuotannon vyöryttyä markkinoille on tarvittu sähkömarkkinamalli, jonka avulla pystytään ylläpitämään tehotasapaino kaikissa olosuhteissa. Tämä malli sisältää esim. seuraavia tekijöitä:

- kannusteet reservitehon ylläpitämiseen
- lisäarvopalveluihin liittyvät veloitteet tuotannolle, esim. keinotekoisen inertian ja jännitteen säädön veloitteet
- kaikkia osapuolia hyödyttävä kysynnänjousto
- energian varastoinnin liiketoimintamallit
- useita markkinoita ja erilaisia tuotteita, kuten reservimarkkinat, Spot-markkinat, säätösähkömarkkinat ja taajuussäätömarkkinat

Markkinatiedonvaihdon määrä ja merkitys ovat kasvaneet, ja Datahub toimii.

5 Vaihtoehtoisia skenaarioita ja epävarmuustekijöitä

Sähköverkon ja sähköverkkoliiketoiminnan roolia laajemmassa sähköenergiajärjestelmässä tarkasteltiin projektissa myös nelikenttään sijoittuvien mahdollisten tulevaisuusskenaarioiden avulla. Nelikenttään liittyviä akseleita ja niihin liittyviä skenaarioita on esitetty kuvassa 18. Pystysuoralla akselilla muuttuvana tekijänä on verkon tai asiakkaan aktiivisuus, ja vaakasuoralla akselilla tuotannon, älyn tai toimitusvarmuuden keskittyminen tai niiden hajautuminen verkkoon. Akseleille kuvatuista muuttuvista tekijöistä muodostuu useita erilaisia kombinaatioita. Jokin muuttuva tekijä voi myös siirtyä akselilla molempiin suuntiin samassakin skenaariossa, esim. samaan aikaan kun etäluettaviin energiamittareihin lisätään älykkyyttä ja toiminnallisuutta, myös keskitetysti energiamittaustietoja sisältävä Datahub luo uusia mahdollisuuksia toimijoille, jotka tarjoavat energiapalveluja aktiivisille asiakkaille. Vastaavasti keskiteyttyä verkon kautta toteutettua passiivisille asiakkaille yleiset vaatimustasot täyttävää toimitusvarmuutta (esim. keskijänniteverkon runkojohtojen kaapelointi) voi täydentää aktiivisten asiakkaiden omaehtoinen, esim. energiavarastoihin pohjautuva hajautettu ratkaisu.



Kuva 18. Sähköverkon tulevaisuusskenaarioissa tarkasteltu nelikenttä

Seuraavassa on hahmoteltu esimerkinomaisesti kolme erilaista kuvan 18 nelikenttään sijoittuvaa skenaariota, joista viimeinen (B:n ja C:n yhdistelmä) kuvaa parhaiten luvussa 5 esiteltyä visiota:

- Nelikentän suunta **C**, jossa Suomi on Pohjoismaiden ydinvoimamaa: Suomessa investoidaan lisää keskitettyyn ydinvoimaan, vaikka muualla Pohjoismaissa uusiutuva energia on päätuotantomuoto. Tämän seurauksena Suomen aluehinnan volatilitteetti kasvaa. Kun loppuasiukkaat optimoivat kulutustaan vaihtelevan spot-hinnan mukaan vähittäismyyjien ollessa aktiivisia toimijoita, jakeluverkon kuormitushuiput kasvavat. Tämä kasvattaa tarvetta passiivisen jakeluverkon investoinnille, jota myös nykyinen verkkoliiketoiminnan valvontamalli tukee. Tässä skenaariossa tuotanto ja toimitusvarmuus ovat keskitettyjä, ja äly on hajautettu aktiivisille asiakkaille jakeluverkon ollessa passiivinen elementti.
- Nelikentän suunta **D**, jossa asiakkaat irtautuvat verkosta omiksi mikrosähköverkoiksi: Pienimuotoinen uusiutuva tuotanto ja energiavarastot mahdollistavat asiakkaiden omat mikrosähköverkot, jotka voivat irtautua verkosta omiksi saarekkeiksi. Verkkoliiketoiminnan regulaatio ei kuitenkaan mahdollista jakeluverkkoyhtiön aktiivista roolia mikrosähköverkkojen omista-

misessa, operoinnissa ja hyödyntämisessä, jolloin sähköverkko jää passiiviseksi toimijaksi. Tämän suuntainen kehitys haastaa myös nykyisen kaltaisen sähkönmyyntiyhtiön liiketoimintaa. Tässä skenaariossa tuotanto, äly ja toimitusvarmuus toteutuvat enenevässä määrin hajautettuna asiakkaiden ollessa aktiivisia ja jakeluverkon passiivinen elementti.

- Nelikentän suunnat **A ja B, joissa aktiivinen jakeluverkko toimii hajautettujen energiaressurssien (DER) markkinapaikkana**: Pienimuotoinen uusiutuva tuotanto ja energia-varastot mahdollistavat mikrosähköverkot, joiden rakentumisessa ja hyödyntämisessä jakeluverko-yhtiöillä on aktiivinen rooli, jonka verkkoliiketoiminnan regulaatio mahdollistaa. Aggregoidut mikrosähköverkot muodostavat suurempia kokonaisuuksia, jotka luovat uusia liiketoimintamahdollisuuksia sähkön vähittäismyymäljille ja palveluntuottajille osana laajempia energiemarkkinoita. Tässä skenaariossa tuotanto, äly ja toimitusvarmuus ovat tarkoituksenmukaisella tavalla sekä hajautettuja että keskitettyjä asiakkaiden ja verkon ollessa molempien aktiivisia toimijoita.

Työpajoissa tehdyissä ryhmitöissä nousi esiin myös muutama ns. ”hypervisio”, joissa toimialalle tulee uusia toimijoita haastamaan nykyisten toimijoiden liiketoimintaa tai tietotekniikan (mm. tekoäly ja robotiikka) hyödyntämisessä edetään uudelle tasolle:

- *Hypervisio 1*: Maailmanlaajuisesti toimiva operaattori on valjastanut aktiiviset resurssit toimivaksi joustomarkkinaksi omistamatta itse yhtään asetta ja on markkina-arvoltaan yksi maailman suurimmista yrityksistä.
- *Hypervisio 2*: Tekoälyä, virtuaaliodellisuutta ja simulointeja hyödynnetään sekä sähköjärjestelmän operoinnissa että suunnittelussa. Tekoäly ohjaa lähes täysin sähköjärjestelmän toimintaa, ja valvomohenkilökunnan rooli on valvoa tekoälyä. Robotit ja etäohjaus mahdollistavat etäohjatut korjaus- ja huoltotoimenpiteet. Laajennetun sensori- ja ICT-tekniikan avulla luotu virtuaaliodellisuus on palveluhenkilöstön käytössä, jolloin henkilöstöä voidaan informoida reaaliajassa esimerkiksi jännitteisistä johdoista.

Skenaarioita ja epävarmuustekijöitä, jotka voivat merkittävästi vaikuttaa kehitykseen, ovat esimerkiksi seuraavat asiat:

- Ilmasto- ja ympäristöpoliittisista tai pelkästään taloudellisista syistä johtuen on siirrytty pelkäämään uusiutuvaan energiaan perustuvaan sähköntuotantoon.
- Uusiutuvan energian ja energiavarastojen kannattavuus kehittyy huomattavasti odotettua hitaammin, mistä johtuen muutokset sähkömarkkinoilla ja -järjestelmässä ovat pieniä
- Vetyteknologiassa saavutetaan läpimurto, joka johtaa vetytalouteen
- Energian varastoinnissa syntyy radikaaleja innovaatioita, jotka mullistavat markkinat
- Ydinvoima ajetaan Suomessa tai Ruotsissa tai molemmissa alas
- EU hajoaa, siirrytään kansalliseen sääntelyyn
- Hiilidioksidin talteenottoon ja hyödyntämiseen kehitetään kustannustehokas tekniikka, ja hiilivoima kokee renessanssin
- Puun polttaminen kielletään
- Turve ymmärretään kotimaiseksi ja hitaasti uusiutuvaksi polttoaineeksi
- Omavaraisuus ja kriisivalmius nousevat energiapolitiikan kulmakiviksi.

6 Roadmap 2025

Kuvassa 19 on esitetty jäsentely alueista, joilla tarvitaan tutkimus- ja kehitystyötä vision saavuttamiseksi. Vision ytimessä on aktiivisten resurssien hallinta älykkäässä järjestelmässä. Kuvassa on esitetty myös projektissa kehitetyt hankeideat otsikkotasolla. Hankeideat on kuvattu tarkemmin projektin tuottamassa esitysaineistossa.



Kuva 19. Tutkimus- ja kehitystoiminnan tiekartta

7 Vaikutusanalyysi

Seuraavissa taulukoissa on analysoitu erilaisten muutostekijöiden keskeisimpiä vaikutuksia sähkötoimialalla talouden, käyttövarmuuden sekä yhteiskunnan kannalta. Muutostekijät on jaoteltu yhteiskunnallisiin muutoksiin, tuotannon ja kulutuksen muutoksiin, verkkotekniikan muutoksiin sekä sähkömarkkinoiden muutoksiin.

<i>Yhteiskunnalliset muutostekijät</i>			
Muutostekijä	Talous	Käyttövarmuus	Yhteiskunta
Päästövähennystavoitteet	Lisää investointeja uusiutuvaan tuotantoon. Kannuste energiatehokkuuteen, mikä vaikuttaa volyymeihin.	Pientuotannon lisääntyminen tuo haasteita voimajärjestelmän tehotasapainon hallintaan	Pientää päästöjä, mahdollisuus uuteen vientiliiketoimintaan suomalaisille toimijoille. Kannusteita uusiutuvalle tuotannolle ja energiatehokkuudelle. Mahdollisesti positiivisia vaikutuksia kauppataaseeseen.
Kaupungistuminen	Asiakasmäärän vähentyminen maaseudulla pienentää investointeja mutta kasvattaa maaseutuasiakkaiden yksikköhintoja.	Asiakasmäärän pienentymisellä mahdollisesti vaikutuksia verkon ylläpitoon.	Maaseudun autioituminen ja kaupunkirakenteen tiivistyminen.
Korostuva kriisivalmius	Kustannuksia varautumisesta	Parantaa häiriötilanteen toimitusvarmuutta	Varmistaa yhteiskunnan toiminnan myös kriisitilanteessa.
Kansallinen energia- ja teho-omavaraisuus	Lisää investointeja tuotantokapasiteettiin. Ylikorostuneena voi nostaa sähkön hintaa.	Parantaa kapasiteetin riittävyttä, pienempi tehopulan riski	Vähentää tuontiriippuvuutta, parantaa vaihtotasetta.
Lisääntyvä digitaalisuus sähkötoimialalla	Mahdollisuus kustannustehokkuuden parantamiseen, tarvitaan kuitenkin alkuihastointeja. Mahdollistaa toimijoille uusia tuotteita ja palveluita.	Mahdollisuus käyttövarmuuden parantumiseen; digitalisaatio edesauttaa esim. automaattista vianterotusta ja -selvitystä	Mahdollisuus uuteen (vientiliiketoimintaan).

Tuotannon ja kulutuksen muutokset			
Muutostekijä	Talous	Käyttövarmuus	Yhteiskunta
Lisääntyvä hajautettu pientuotanto	Vähentyvä energian siirto, kapasiteettipohjaisten hinnoittelurakenteiden tarve verkossa, pitkällä aikajaksolla mahdollisesti keventyvät investoinnit. Pienentyvä volyyymi ja ylijäämä sähköön oston mahdollisuus sähköön myyjällä.	Mahdollisuus keskeyttömään sähkönkäyttöön verkkovikojen aikana, etenkin jos mukana on paikallista varastointia. Tehotasapainon hallinta vaikeutuu.	Muutoksia liiketoimintarakenteissa keskitettyjen ja hajautettujen (maantieteellisesti ja omistuksellisesti) tuotantoresurssien suhteen. Uusiutuva tuotanto pienentää päästöjä.
Tuotannon muuttuvat kustannukset pienentyvät	Peruste kapasiteettiperusteiseen hinnoitteluun. Muutoksia tuotannon ajojärjestyksessä ja siten laitosten kannattavuudessa.	Säätyvän tuotannon kannattavuuden huonontuminen heikentää toimitusvarmuutta.	Muutostarpeita markkinamalleissa.
Sähköautojen yleistyminen	Kasvattaa siirretyn sähkötehon ja -energian määrää. Investointitarpeita latausverkostossa. Ei merkittäviä tarpeita verkon vahvistukselle, jos lataus toteutetaan älykkäästi.	Parantaa käyttövarmuutta, jos akkuja voidaan käyttää varavoimalehteinä.	Pienentää päästöjä, vähentää riippuvuutta tuontipolttoaineista.
Sähkön käytön energiatehokkuuden parantuminen	Pienentää myyjän ja verkko-yhtiön volyymejä. Kannusteena siirtyä kapasiteettipohjaiseen hinnoitteluun.	Pieni vaikutus; parantaa varavoiman riittävyttä häiriötilanteessa.	Energiatehokkuuden parantuminen pienentää primäärienergian tarvetta ja päästöjä kustannustehokkaasti.

Joustava kysyntä	Parantaa järjestelmän joustavuutta kustannustehokkaasti; voi kasvattaa verkon investointitarpeita, mutta yhdistettynä kapasiteettipohjaiseen siirtohinnoitteluun parantaa verkon käyttöastetta, pienentää tuotantokapasiteetin investointitarpeita. Vähentää ostosähkön tarvetta pientuotantoasiakkailla.	Voi parantaa käyttövarmuutta häiriö- ja tehopulatilanteissa.	Parantaa energiajärjestelmän joustavuutta ja edistää uusiutuvaa tuotantoa.
Akkuvarastojen hintakilpailukyvyn parantuminen	Akkuvarastojen yleistymisen vähentää ostosähkön tarvetta pientuotantoasiakkaalla ja vaikuttaa siten verkkoyhtiön ja myyjän volyymeihin. Voi pienentää verkkoyhtiön ja tuotannon kuormitus- huippuja. Myyjä/aggregaattori voi käyttää aggregoituna resurssina joustomarkkinoilla.	Mahdollisuus keskeyttömään sähkökäyttöön.	Edistää pientuotantoa; mahdollisuus käyttää suurempi osa omasta tuotannosta. Lisää energiajärjestelmän joustavuutta.

<i>Muutokset verkkotekniikassa</i>			
Muutostekijä	Talous	Käyttövarmuus	Yhteiskunta
Jakeluverkkojen laajamittainen kaapelointi	Kasvattaa investointikustannuksia, pienentää keskeytys- ja kunnossapitokustannuksia	Parantaa käyttövarmuutta merkittävästi	Vaikuttaa etenkin maaseudun toimintaan; parempi sähköjakelun luotettavuus, mutta korkeampi hinta
Tehoelektroniikan hintakilpailukyvyn parantuminen	Uusia kustannustehokkaita ratkaisuja käyttövarmuuden ja verkon hallinnan parantamiseen; pienentää investointikustannuksia.	Parantaa käyttövarmuutta; esim. LVDC- tai AC-mikrosähköverkko, jota mahdollisuus käyttää saarekkeissa.	Mahdollisuus vientiliiketoimintaan suomalaisille yrityksille.

<i>Muutokset sähkömarkkinassa</i>			
Muutostekijä	Talous	Käyttövarmuus	Yhteiskunta
Regulaation stabiiliuden kasvaminen (8 vuoden regulaatiojakso)	Parantaa verkkoyhtiön talouden ennustettavuutta. Lisää riskejä, jos toimintaympäristö muuttuu ennakoimattomasti.	Regulaatiomallin stabiilius kasvattaa insentiivejä investointeihin	Vähentää regulaation suoria kustannuksia, riskinä epäsuorien kustannusten kasvu.
Yhteispohjoismainen vähittäissähkömarkkina	Operointi monilla eri kielillä erilaisten toimijoiden kanssa (kustannuslisä) Markkina-alueen laajentuminen, kilpailun kiristymisen myyntiyhtiöille	Ei vaikutuksia	Sähkönkaupan keskittymisen. Asiakkaalla maantieteellisesti laajempi markkina-alue.
Kapasiteettimekanismit sähkömarkkinoilla	Ennustettavampi tulonmuodostus kapasiteetin omistajille. Huonosti suunniteltuna voi kasvattaa sähkön hankinnan kokonaiskustannuksia.	Parantaa käyttövarmuutta; pienempi tehopulan riski	Kannusteita tehokapasiteetin varmistamiseen. Huonosti suunniteltuna vaarana markkinahäiriöt ja kaupalliset pullonkaulat sähkönsiirrossa.
Kapasiteettipohjaiset verkkotariffit	Ennustettavampi ja vakaampi tulonmuodostus verkkoyhtiöille, kustannusvastaava hinnoittelu. Kannuste kysyntäjoukseen ja sähkön käytön kokonaistehokkuuteen asiakkaille. Kuormitushuippujen tasoittuminen pienentää verkkoinvestointien tarvetta.	Rajoittaa tehopiikkejä jakeluverkossa, voimajärjestelmän käyttövarmuus paranee	Kustannusvastaava hinnoittelu parantaa sähkön käytön kokonaistehokkuutta.