

An aerial photograph showing a long, narrow road bridge crossing a large body of water. The bridge is surrounded by dense green forest. The water is a deep blue, and the sky is light blue with some clouds. The bridge has a single lane in each direction and a guardrail.

# Tiekartta ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään

EL-TRAN-konsortion suositukset

Pinja Lehtonen (toim.)

# Tiekartta ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään

## EL-TRAN-konsortion suositukset

---

Pinja Lehtonen (toim.) (1)

Toimitusneuvosto: Pami Aalto (1), Juhani Heljo (1),  
Mikael Hildén (2), Hannele Holttinen (3),  
Pertti Järventausta (1), Juha Kiviluoma (3)  
ja Matti Kojo (1)

Työryhmä: Kalle Aro (1), Tomas Björkqvist (1),  
Pirkko Harsia (4), Jari Ihonen (3), Jari Kaivo-oja (5),  
Kari Kallioharju (4), Jukka Konttinen (1), Juha Koskela (1),  
Kirsi Kotilainen (3), Jyrki Luukkanen (5), Yrjö Majanne (1),  
Fanni Mylläri (1), Sirja-Leena Penttinen (6), Päivi Pulkki (1),  
Anna Pääkkönen (1), Antti Rautiainen (1),  
Ilkka Ruostetsaari (1), Topi Rönkkö (1), Kim Talus (6),  
Seppo Valkealahti (1), Jussi Valta (1), Jarmo Vehmas (5)  
ja Matti Vilkkö (1)

(1) Tampereen yliopisto

(2) Suomen ympäristökeskus

(3) Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

(4) Tampereen ammattikorkeakoulu

(5) Turun yliopisto, Tulevaisuuden tutkimuskeskus

(6) Itä-Suomen yliopisto



ISBN 978-951-38-8758-2

VTT Technology 397

ISSN-L 2242-1211

ISSN 2242-122X (Verkkójulkaisu)

DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T397

Copyright © VTT 2021

JULKAISIJA – PUBLISHER

VTT

PL 1000

02044 VTT

Puh. 020 722 111

<https://www.vtt.fi>

VTT

P.O. Box 1000

FI-02044 VTT, Finland

Tel. +358 20 722 111

<https://www.vttresearch.com>

## Esipuhe

Tämä tiekartta esittelee toimia, joiden avulla Suomea voidaan ohjata kohti ilmastoneutraalia ja resurssitehokasta sähköenergiajärjestelmää. Tiekartta kokoaa yhteen Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittaman EL-TRAN-hankkeen (2015–2021) tutkimustulokset ja esittää niiden perusteella tehdyt suositukset energiasiirtymään, joka on välttämätön ilmastomuutoksen takia.

Tiekartta on laadittu laajaan, monitieteisen tutkimuksen sekä sidosryhmäyhteistyön pohjalta. EL-TRAN-konsortio tuotti kaikkiaan 20 suomenkielistä, sidosryhmille suunnattua ja suosituksia sisältävää analyysia yli sadan tieteellisen julkaisun ohella. Konsortio yhdisti insinööritieteellistä, yhteiskuntatieteellistä sekä oikeustieteen tutkimusta sähköjärjestelmän murroksen ymmärtämiseksi, selittämiseksi ja ennakoimiseksi. Sen osapuolia olivat Itä-Suomen yliopisto, Tampereen yliopisto (ml. Tampereen ammattikorkeakoulu ja Tampereen teknillinen yliopisto), Turun yliopisto ja VTT. Konsortion vuorovaikutuspaneelin tapaamisiin osallistui yli 30 yrityksen, julkisyhteisön tai kansalaisjärjestön edustajaa.

Tämän julkaisun on koostanut EL-TRAN-konsortion tutkijatohtori, YTT Pinja Lehtosen johtama työryhmä vuosina 2020–2021 pidettyjen työpajojen tuloksena. Työpajoissa konsortion tutkijat pohtivat, millaisia ratkaisuja voidaan suosittaa tutkimustulosten valossa ja muotoilivat yli sata suositusta. Suositukset koskevat koko yhteiskuntaa mukaan lukien uusiutuvan energian tuotannon, tieliikenteen, rakennukset, kuluttajien energiantuotannon, sähköverkon kehittämisen sekä kansainvälisen yhteistyön ja viennin mahdollisuudet. Suositukset on kohdennettu sellaisille suomalaisen yhteiskunnan toimijoille, joiden toimintakenttää ne koskevat.

# EL-TRAN



## Lyhenteet

AVI:t	aluehallintovirastot
HVK	Huoltovarmuuskeskus
Luke	Luonnonvarakeskus
LVM	liikenne- ja viestintäministeriö
MMM	maa- ja metsätalousministeriö
OKM	opetus- ja kulttuuriministeriö
PLM	puolustusministeriö
SA	Suomen Akatemia
STUL ry	Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry
TEM	työ- ja elinkeinoministeriö
UM	ulkoasiainministeriö
VM	valtiovarainministeriö
VNK	valtioneuvoston kanslia
YM	ympäristöministeriö

## Sisältö

Esipuhe .....	3
Lyhenteet .....	4
<b>1. Johdanto .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Lisää uusiutuvaa energiaa .....</b>	<b>9</b>
2.1. Suositukset: Tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon lisääminen .....	10
2.2. Suositukset: Päästöjen vähentäminen.....	12
2.3. Suositukset: Bioenergia tulevaisuudessa .....	13
Aiheesta tarkemmin .....	15
<b>3. Ilmastoneutraali sähköistyminen hitsaa energiajärjestelmän osat yhteen .....</b>	<b>16</b>
3.1. Tieliikenne.....	17
3.1.1. Suositukset: Täyssähköautojen määrän lisääminen .....	18
3.1.2. Suositukset: Sähköautojen älykäs lataus ja sen ohjaaminen.....	18
3.1.3. Suositukset: Kaasutankkausverkosto .....	19
Aiheesta tarkemmin .....	20
3.2. Rakennukset .....	21
3.2.1. Suositukset: Rakennusten energia- ja resurssitehokkuus sekä tehontarve ....	21
3.2.2. Suositukset: Rakennusten automaatio, kuorman ohjaus ja kysyntäjousto .....	24
3.2.3. Suositukset: Rakentamisen ja rakennusalan tuet .....	25
3.2.4. Suositukset: Rakennusalan osaamisen kehittäminen.....	25
3.2.5. Suositukset: Rakennusalan tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta sekä tiedontarpeet.....	26
Aiheesta tarkemmin .....	28
3.3. Tuottajakuluttajat.....	29
3.3.1. Suositukset: Tuottajakuluttajuuden edistäminen.....	29
3.3.2. Suositukset: Energiayhteisöt .....	31
3.3.3. Suositukset: Tieto sähkön kulutuksesta .....	32
Aiheesta tarkemmin .....	33
3.4. Verkko.....	34
3.4.1. Suositukset: Verkkoinfrastruktuurin mitoitus ja toimitusvarmuus .....	35
3.4.2. Suositukset: Energiamarkkinoille osallistumisen helpottaminen .....	35
3.4.3. Suositukset: Teho ja tehoreservi verkossa .....	36
3.4.4. Suositukset: Kysyntäjoustop edistäminen järjestelmätasolla .....	37
3.4.5. Suositukset: Sähkön ja sen siirron hinnoittelu .....	37
Aiheesta tarkemmin .....	40

<b>4. Kansainvälinen yhteistyö ja vientimahdollisuudet .....</b>	<b>41</b>
4.1. Suositukset: Pohjoiseurooppalaiset sähköverkot ja -markkinat .....	42
4.2. Suositukset: Suomen vientimahdollisuudet .....	44
Aiheesta tarkemmin .....	46
<b>5. Loppusanat: Onko sähköistymiselle vaihtoehtoja?.....</b>	<b>47</b>
Aiheesta tarkemmin .....	49
Kiitokset.....	50

## 1. Johdanto

Ilmastoneutraalista sähköstä on tulossa energiajärjestelmän kulmakivi. Ilmastoneutraalia sähköä tullaan tarvitsemaan yhä useammalla yhteiskunnan ja talouden sektorilla. Esimerkiksi tieliikenne, rakennusten lämmitys ja teollisuus sähköistyvät. Tiedonkulku sähköenergian tuotannosta ja kulutuksesta yhteiskunnan eri osa-alueilla sekä tiedonvaihto energian varastoinnista sähkönä, kaasuna ja nesteinä mahdollistavat tulevaisuuden älykkään sähköjärjestelmän toiminnan.

Ilmastomuutos ei odota. Siirtymää kohti sähköistä ja ilmastoneutraalia energiajärjestelmää on nopeutettava niin Suomessa kuin maailmanlaajuisesti. Kaikkea ei kuitenkaan tarvitse tehdä kerralla. Siirtymästä voidaan erottaa kolme vaihetta.

**Ensimmäisessä vaiheessa** uusiutuvan energian tuotantoa lisätään voimakkaasti. Koska Suomessa vesivoiman ja bioenergian tuotantoa ei voida enää juuri kasvattaa kestävästi, muodostuu maatuulivoimasta keskeisin resurssi. Sitä täydentävät erityisesti aurinkovoima ja merituulivoima. Siirtymän ensimmäinen vaihe on välttämätön muiden toimien kiihdyttämiseksi. Uusiutuvan energian tuotanto lisääntyy paitsi tarjonnan, niin myös kysynnän mukaan. Kysyntää lisäävät muun muassa palvelinkeskusten kulutus sekä suuryritysten ja pienempien kuluttajien tarve siirtyä fossiilisen energian kulutuksesta ilmastoneutraaleihin ratkaisuihin. Suomessa tämä tuotannon ja kysynnän kasvu on jo hyvässä vauhdissa. Huomio kannattaakin suunnata toiseen ja kolmanteen vaiheeseen, jotka toteutetaan pitkälti rinnakkain.

**Toisessa vaiheessa** sähköä tuotetaan suureksi osaksi säästä riippuvalla tuuli- ja aurinkoenergialla sekä vesivoiman ohella ainakin seuraavat vuosikymmenet myös ydinvoimalla. Sähkön saatavuus pitää turvata kaikissa tilanteissa, vaikka tuotanto on vaihtelevaa – tai ydinenergian tapauksessa joustamatonta. Tähän tarvitaan säädettävää sähköntuotantokapasiteettia, kulutuksen joustavuutta ja energiavarastoja. Kun energiasektorien sähköistys etenee, tulee tarkastella kulutuksen mahdollisuuksia joustaa tarvittaessa myös eurooppalaisten sähkömarkkinoiden kautta sekä energiavarastojen kustannustehokkuutta.

**Kolmannessa vaiheessa** sähkö- ja energiajärjestelmä yhdistyvät sähköistymisen avittamina niin sanotuksi älyverkoksi. Tällaisessa sähköenergian internetissä sähkön tuotanto ja kulutus monimuotoistuvat. Liikenne sähköistyy voimakkaasti. Sähköautojen akut voivat toimia hajautettuna varavoiman lähteenä ja niitä voi ladata edullisesti ajoittain syntyvän sähkön ylituotannon takia. Samalla tavoin sähkön avulla tuotettavat polttoaineet tuovat arvokkaan mahdollisuuden tasata

*Ilmastoneutraalilla sähköllä tarkoitetaan sähköä, jonka tuotanto ei aiheuta ilmastolle negatiivisia vaikutuksia. Sen tuotannon nettovaikutus ilmastomuutokseen on nolla. Netto- eli yhteisvaikutusta määritettäessä otetaan huomioon ilmastoa lämmittävien hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös muita savukaasun komponentteja, kuten aerosolihiukkaset, joita syntyy kaikissa polttoon perustuvissa sähkötuotantomenetelmissä. Nettovaikutukseen lasketaan myös sähköntuotannon aiheuttamat maankäytön muutokset, jotka vaikuttavat säteilyolosuhteisiin (heijastuvuus).*

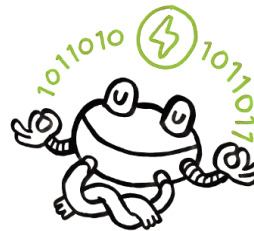


tuotannon vaihtelua – ylitarjontaa voidaan varastoida sähköpoltoaineisiin joko kaasumaisessa tai nestemäisessä muodossa.

Ajoneuvojen ja rakennusten käyttäjistä yhä useampi tuottaa sähköä myös itse esimerkiksi aurinkopaneeleilla, ja myy ajoittain syntyvää ylijäämää muun yhteiskunnan tarpeisiin. Osa sähkökäyttäjistä muodostaa mikroverkkoja, jotka voivat kytkeytyä joustavasti sähköjärjestelmään tai siitä pois. Mikroverkot auttavat ylläpitämään järjestelmän tasapainoa ja vahvistamaan sekä järjestelmän että yhteiskunnan kykyä kestää kriisejä. Myös rakennusten lämmitys sähköistyy. Rakennusten sähkölämmitys joustaa mahdollisuuksien mukaan, jos rakennuksissa on lämpövarastoja tai rinnakkainen lämmitysjärjestelmä. Kaukolämpöverkot toimivat yhä enemmän lämpöpumppujen ja isojen lämpövarastojen avulla. Teollisuuden prosessit sähköistyvät nekin – fossiilista energiaa korvataan sähköllä myös teollisuudessa.

Älyverkko toimii kattojärjestelmänä, joka sitoo sähkön, muun energian ja datan virrat yhteen. Tulevaisuuden sähkömarkkinat yhdistettyinä suojattuihin tiedonsiirtoprotokolliin mahdollistavat energiaa tuottavien ja kuluttavien laitteiden tehokkaan yhteiskäytön. Energiankulutuksen hallinta ja kuluttajien rooli nousevat aiempaa keskeisemmiksi.

## PUHTAAN SÄHKÖN ÄLYVERKKO

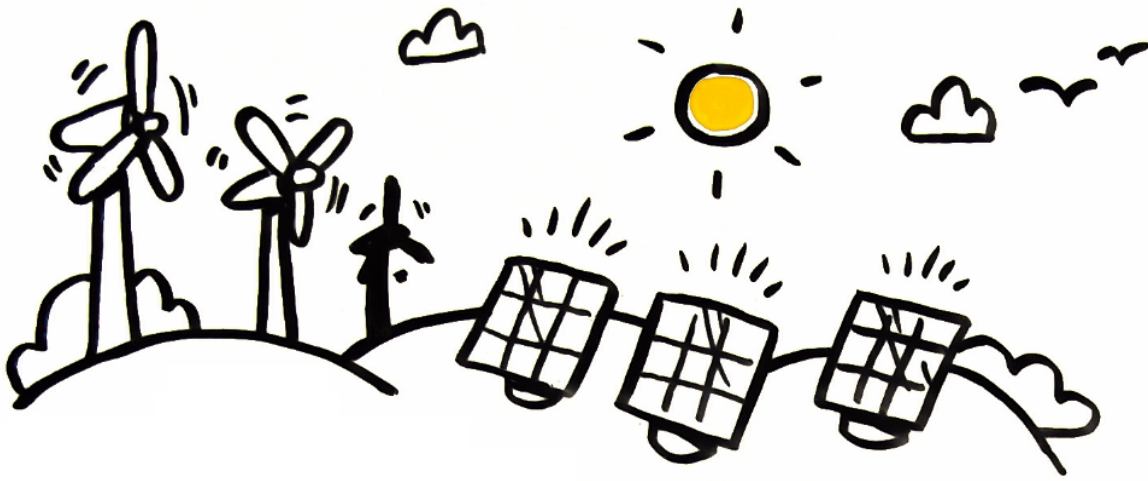


Sähköstä tulee paitsi kaikkialla arkipäiväinen, niin myös yhä strategisempi resurssi. Sähköistyminen lisää sähkön kulutusta, ja uusiutuvaa sähköä tuotetaan suuressa mittakaavassa niin kotimaassa kuin naapurimaissa. Rajat ylittävät sähkömarkkinat kasvavat ja kehittyvät reaaliaikaisemmiksi. Näin tuotannon ja kulutuksen vaihteluita voidaan tasata tehokkaammin yhä laajemmalla alueella. Sähköenergian tuotantoa ja kulutusta koskevaa politiikkaa sekä energiapolitiikkaa ylipäätään koordinoidaan kattavammin Pohjois-Euroopan ja Euroopan unionin tasoilla. Kun horisontissa häämöttää voimakkaasti laajentuva sähkönkäyttö ja tarve joustaviin ratkaisuihin, myös Suomen vientimahdollisuudet sähkön, energiatekniikan ja energiajärjestelmän konseptien sekä hallinnan alueilla laajenevat.

Tarkkaa rajaa energiamurroksen toisen ja kolmannen vaiheen välille ei voida piirtää, eikä se ole tarpeellista. Tässä tiekartassa toista ja kolmatta vaihetta käsitelläänkin yhdessä. Vaikka Suomi ja monet muut maat ovat jo etenemässä siirtymän toiseen ja kolmanteen vaiheeseen, ei vielä ole saatavilla riittävän kattavaa esimerkkiä kolmannen vaiheen älyverkosta ja sen edellyttämistä toimista tai eteen tulevista ongelmista. Kolmannen vaiheen toimia on kuitenkin toteutettu useissa maissa – Suomessa on esimerkiksi lisätty sähköverkkoja koskevaa tietoa ja alettu käyttää älymittareita verkon hallinnassa.

Maailmanlaajuinen teknologian kehitys ja maakohtaiset poliittiset valinnat vaikuttavat yhdessä siihen, millaisin toimenpitein ja missä järjestyksessä liikennettä, rakennussektoria ja teollisuutta sähköistetään sekä miten älyverkkoja kehitetään. Teknologia, politiikka ja sähköntuotannon paikalliset olosuhteet niin Suomessa kuin muualla vaikuttavat myös eri ratkaisujen kustannuksiin.

Tämä tiekartta tarjoaa selkeän reitin murroksen ensimmäisen vaiheen loppuunsaattamiseen sekä askelmerkkejä toisen ja kolmannen vaiheen toimiin. Kaikkia esitettyjä toimia ei tarvitse toteuttaa maaliin pääsemiseksi, mutta lähes kaikkia olisi harkittava huolella. Toisaalta ilman huomattavaa määrää tässä tiekartassa esitettyjä toimia Suomi tuskin pääsee Rinteen ja Marinin hallitusten esittämään tavoitteeseen olla ilmastoneutraali vuonna 2035. Pallo on meillä kaikilla. Edelläkävijöillä on paitsi riskejä, niin myös merkittäviä etuja saavutettavanaan.



## 2. Lisää uusiutuvaa energiaa

Ilmastoneutraali energiasiirtymä edellyttää, että uusiutuvan energian tuotantoa lisätään nopeasti Suomessa ja maailmalla. Koska vesivoiman lisäpotentiaali on rajallinen, tärkeintä on tuottaa enemmän tuuli- ja aurinkovoimaa, joilla pitkälti korvataan fossiilinen energiantuotanto. Maalla tuotettavan tuulivoiman lisääminen vaatii lyhyen aikavälin toimenpiteenä yhdyskuntasuunnittelua, jonka avulla voidaan etukäteen vähentää tuulivoiman haittoja asutukselle ja elinkeinoille. Merellä tuotettava tuulivoima on valtakunnan mittakaavassa vähitellen esiin tuleva kysymys. Toistaiseksi merituulivoiman käynnistäminen näyttäisi vaativan yhdyskuntasuunnittelun lisäksi tukijärjestelmän. Merituulivoiman kustannusten pudotus voi tosin tapahtua ennakoitua nopeammin. Lisäksi maatuulivoiman parhaat sijoituspaikat tulevat ajan myötä hyödynnetyiksi, mikä puskee investointeja merialueille. Aurinkovoiman pientuotantoa erityisesti haja-asutusalueilla voidaan kiihdyttää monipuolisoin keinoin.

Tuleva energiajärjestelmä perustuu pääsääntöisesti sähkөөn. Sähkön tuotanto pystytään vapauttamaan fossiilisista energialähteistä nykYTEKNOLOGIALLA, ja sähkö on ylivoimainen energialähde valtaosaan käyttötarkoituksista. Lämmön saanti tulee kuitenkin ratkaista, sillä tuuli- ja aurinkovoiman tuotannossa ei synny lämpöä. Myöskään ydinvoimaloissa syntyvää lämpöä ei toistaiseksi voida hyödyntää energiajärjestelmän tarpeisiin. Merkittävä osa tarvittavasta lämmöstä voidaan saada sähköllä toimivista lämpöpumpuista. Tarvitaan sekä pieniä, rakennuskohtaisia että teollisen mittakaavan lämpöpumppeja. Lämpöä tulee myös voida varastoida.

Bioenergia on hyvä täydentävä lämmön lähde. Bioenergiaa ei kuitenkaan kannata tuottaa merkittävästi nykyistä enempää, sillä raaka-aineita siihen on rajallisesti. Lisäksi erityisesti biomassan, kuten pellettien ja polttopuiden suora poltto kotitalouksissa heikentää ilmanlaatua paikallisesti ja aiheuttaa sitä kautta terveyshaittoja. Samalla metsien merkitys hiilinieluinä on

suuri ja bioenergian asema hiilineutraalina energialähteenä tulevaisuuden ilmastopolitiikassa epävarma.

Maatalouden ja metsäteollisuuden sivutuotteista valmistettava biokaasu voidaan ottaa nykyistä laajemmin käyttöön raskaan liikenteen siirtymävaiheen ratkaisuna. Sitä voidaan myös hyödyntää uusiutuvan sähköntuotannon vaihteluiden tasaamisessa. Liikenne voi lopulta muodostua bioenergian merkittävimmäksi käyttökohteeksi Suomessa, kun biomassasta tehdyt nestemäiset biopolttoaineet yleistyvät; globaalisti liikenteen ratkaisuksi biopolttoaineista ei tosin ole. Biopolttoaineiden käyttötarkoitukset voivat muuttua, mikäli raskaan liikenteen sähköistäminen tulee akkuteknologian kehityksen myötä ajankohtaiseksi. Pitkän matkan lento- ja laivaliikenne näyttäisi kuitenkin säilyvän polttoainepohjaisena.

Raskaan tieliikenteen sekä meri- ja lentoliikenteen tarpeisiin voidaan sähköistämisen rinnalla teoriassa tuottaa hiilineutraaleja, nestemäisiä polttoaineita uusiutuvan sähkön avulla – joskin nykyteknologialla toteutettuna tämä moninkertaistaa polttoaineiden hinnan. Korkeat investointikustannukset jarruttavat myös kaasumaisten uusiutuvien polttoaineiden käyttöä, ennen kuin päästöjen hinnat ovat riittävän korkeat tai teknologian kehitys tuo kustannuksia riittävästi alas. Euroopassa tullaan kuitenkin panostamaan tilanteen parantamiseen merkittävästi. Uusiutuvaa sähköä voidaan myös varastoida kaasumaiseen muotoon ja tasata näillä varastoilla tuuli- ja aurinkosähkön tuotannon vaihtelua. Polttokennot ovat varteenotettava tulevaisuuden vaihtoehto sähköpolttoaineiden hyödyntämiseen sekä sähköksi että lämmöksi myös pienessä mittakaavassa. Pienet, modulaariset ydinvoimat voivat täydentää perusvoiman ja/tai lämmön tuotantoa jo rakennetun ydinvoiman ohella, mutta niiden käyttöönottoon liittyy suuria kysymyksiä hyväksyttävyydestä sekä käytetyn ydinpolttoaineen varastoinnista.

## 2.1. Suositukset: Tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon lisääminen

1. Maatuulivoiman rakentaminen on saatu hyvin käyntiin, ja tuulivoiman lisääminen hyväksytään Suomessa laajasti. Kehitystä voi kuitenkin jarruttaa heikko paikallinen hyväksyttävyyden, ja sitä tulee parantaa osallistavalla maankäytön suunnittelulla. Tuotannon hajauttaminen myös Itä-Suomeen ja etelärannikolle olisi järkevää. Tarvitaan kuitenkin työtä ja investointeja, jotta tuulivoiman vaikutukset maanpuolustuksen tutkiin saadaan minimoitua. → TEM, YM, PLM, Fingrid, Motiva, Kuntaliitto
2. Merituulivoiman lupaprosesseja on syytä yksinkertaistaa. Tarvitaan myös merituulivoiman testi- ja demonstraatiohankkeita sekä taloudellisia tukia teknologian ja toteutustapojen kehittämiseksi. Tukien tulee olla ennustettavia ja niiden tulee pystyä reagoimaan ajan myötä laskeviin kustannuksiin. Kiinteistöverokysymykset ja verkkoon liittymisen kustannukset tulee ottaa huomioon. Kuten maatuulivoiman kohdalla on havaittu, kiinteistövero on hyvä kuntatason kannustin, jonka avulla tuulivoimahankkeista voidaan hyötyä paikallisesti. Merituulivoiman huomattavan korkeaa kiinteistöveroa tulisi kuitenkin madaltaa ainakin tapauskohtaisesti, jotta hankkeista tulisi kannattavia. → TEM, VM, YM, Business Finland, Fingrid, Energiavirasto
3. Muualla Euroopassa käytetty merituulivoimamalli, jossa järjestelmäoperaattori rakentaa verkon ja sähköaseman merelle ja tuulivoimahanke maksaa verkkoon liittymisen vain sähköasemalle asti, on huomattava tuki hankkeille. Tämän mallin soveltuvuutta Suomen oloihin kannattaa tarkastella. → TEM, Fingrid, Energiavirasto
4. Aurinkovoiman rakentamista tulee lisätä. Sitä on edullisinta tuottaa suurissa voimalaitoksissa. Aurinkovoiman sääntelyn pitää olla mahdollisimman ennustettavaa. Aurinkovoiman tuotantoa tulee edistää muun muassa tutkimus-, kehitys- ja

innovaatiotoimintaa hyödyntävillä testihankkeilla ja osallistavalla yhdyskuntasuunnittelulla. Jos aurinkovoimaa tuetaan taloudellisesti, tukien tulee pystyä reagoimaan ajan myötä laskeviin tuotantokustannuksiin. → TEM, VM, Business Finland, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto

5. Aurinkoenergian pientuotantoa tulee edistää. Suomen kannattaa tarkastella muiden maiden kokemuksia muun muassa netotuksesta (*net metering*) ottaen huomioon sen kustannusvaikutukset muille sähköverkon käyttäjille. Aurinkovoima voi olla osaratkaisu erityisesti haja-asutusalueilla ja sähköverkon ulottumattomissa olevilla alueilla. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto
6. Vaihtelevan tuotannon tasemaksujen suuruutta pitäisi tarkastella niin, että tasemaksut eivät nousisi yksittäisen pientuottajan osalta suuremmiksi kuin tämän järjestelmälle aiheuttamat kustannukset. Jos pientuottajan tasevirhe hyödyttää järjestelmää, pientuottaja voisi hyötyä siitä itse. → Fingrid, Energiavirasto
7. Kun lisätään uusiutuvan energian osuutta, Suomen ei kannata pyrkiä omavaraisuuteen vaan toimitusvarmuuteen. Uusiutuvan energian tuotannon vaihtelua tulee tasata eurooppalaisella sähkökaupalla. Myös pientuotanto parantaa toimitusvarmuutta. → TEM, PLM





## 2.2. Suositukset: Päästöjen vähentäminen

8. Aiheuttamisperiaatteen on toimittava energia- ja ilmastopolitiikan kulmakivenä kasvihuonekaasu- ja ilmansaastepäästöjen vähentämiseksi. → TEM, YM, VNK
9. Vaihtelevan tuotannon suotuisa kustannuskehitys on tehnyt päästöjen vähentämisestä taloudellisesti kannattavaa. Päästötavoitteet vahvistavat ja uudistavat taloutta varsinkin pitkällä aikavälillä. Tärkeintä on antaa selkeitä signaaleja päästövähennysten aikataulusta ja ohjauskeinoista eri sektoreilla. → TEM, VM, YM, VNK
10. Suomen pitää määritellä, mitä energiasektorin osia kehitetään teknologianeutraalisti ja mitä osia ohjauskeinojen avulla. Ohjauskeinoja tulee käyttää kotimaisten teknologioiden ja osaamisen kehittämiseen sekä tukemaan vientiin pyrkiviä ratkaisuja. → TEM, Business Finland, Teknologiateollisuus ry
11. Fossiilisen energian kaikki tuet pitää lakkauttaa. Tuet pitäisi ohjata energiamurroksen teknologiatarpeiden tukemiseen, jotta Suomi hyötyisi energiamurroksesta mahdollisimman paljon. Energian käyttöön liittyviä yritystukia tulisi myöntää energiainnovaatioihin, uusiutuvan energian tuotannon kaupallistamiseen, lämpöpumppujen teknologiseen kehittämiseen, energiatehokkuuden parantamiseen ja energian varastoinnin kehittämiseen. → TEM, YM, VM, VNK, Business Finland, Teknologiateollisuus ry
12. Päästöoikeusmaksujen kansallinen palautusjärjestelmä energiaintensiivisen sektorin yrityksille on lakkautettava, jotta uusiutuvan energian kilpailuasetelma fossiilisten polttoaineiden kanssa tasa-arvoistuu. Suomen tulisi toimia EU:ssa aktiivisesti kansallisten palautusjärjestelmien poistamiseksi ja päästökaupan edelleen tehostamiseksi ja laajentamiseksi. → TEM, YM, VM, UM
13. Bioenergian kasvihuonekaasu- ja ilmansaastepäästöt tulisi ottaa huomioon päätöksenteossa jo nyt. EU-tason lainsäädäntötyö kestävyyskriteerien kehittämiseksi voi vaikuttaa bioenergian käyttöön merkittävästi ja suuressa mittakaavassa. → TEM, YM, UM, VNK

14. On varmistettava, että turvetta tai kivihiiltä biomassan yhteydessä polttavat laitokset poistuvat käytöstä hiilidioksidipäästöjen takia. Silti etenkin suurten kaupunkien ulkopuolella sijaitsevat tuotantolaitokset täytyy pitää toiminnassa käyttökänsä loppuun tai sen lähelle, jotta energiasiirtymän investointikulut eivät nouse kokonaisuudessa kohtuuttoman suuriksi. Näissä laitoksissa käytettävä polttoainesekoitus ja polttoprosessit tulee optimoida mahdollisimman vähäpäästöisiksi. Savukaasujen puhdistuksesta on huolehdittava myös pienissä laitoksissa ja asiaan on suunnattava huomiota myös pienpolton osalta. → TEM, YM
15. Jos biomassaa tai fossiilisten polttoaineiden ja biomassan yhdistelmiä polttavat, yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon laitokset halutaan säilyttää osana kunnallisia energiaratkaisuja joillakin alueilla, tulee huolehtia, että myös pienimmillä yksiköillä on tiukat päästörajat. Laitoksia on ohjattava luopumaan fossiilisista polttoaineista ja polttamaan vain biomassaa asettamalla päästöille hinta. → TEM, YM, UM, Kuntaliitto



### 2.3. Suositukset: Bioenergia tulevaisuudessa

16. Bioenergiaa voi olla perusteltua käyttää edelleen sähköntuotannossa, mutta lähinnä silloin, kun tehon tarve on suurin. Tätä puoltaa bioenergian, erityisesti puupolttoaineiden verrattain helppo varastoitavuus. → TEM, Fingrid, HVK, Kuntaliitto, Bioenergia ry
17. Erityisesti metsäteollisuudessa voidaan jatkossakin tuottaa sähköä ja lämpöä sivutuotteena, ja myydä ”ylijäämä sähköä” markkinoille. Tilanne jatkuu, jos metsäteollisuuden ydintuotteille on kysyntää ja niiden tuotanto on riittävän kannattavaa Suomessa. → TEM, Fingrid, VNK, Bioenergia ry
18. Bioenergian (puun) käyttö kunnallisten tai alueellisten yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon laitosten polttoaineena muuttuu helposti kannattamattomaksi, kun muilla keinoin tuotettua edullista sähköä on paljon saatavilla. Näitä laitoksia on

kehitettävä siten, että ne kykenevät tuotannon joustavaan mukauttamiseen lämpöpainotteiseksi, tai tarvittaessa sähköpainotteiseksi, kun tehon tarve on suurin. Bioenergian ja sähkön perustuvan lämmityksen rinnakkaiselo edellyttää kilpailua vääristövero- ja tariffien poistamista tai tasapainottamista. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto, Bioenergia ry

19. Pitkällä aikavälillä bioenergiaa pitäisi hyödyntää tehoreservissä fossiilisten polttoaineiden sijaan. → Fingrid, HVK, Bioenergia ry
20. Lämmön tuotanto kannattaa sähköistää rohkeasti kunnissa, joissa bioenergiaa ei ole luontaisesti tarjolla. → Kuntaliitto
21. Biokaasuliiketoimintaa pitää tarkastella laajemmin kuin energiantuotantona. Poliitikassa tulee arvottaa biokaasun hyödyt aluetaloudelle, maatalolle, ilmastolle, jätteenkäsittelylle ja sulkeutuville ravinnekierroille. → TEM, YM, MMM, LVM, HVK, AVI:t, Bioenergia ry



## Aiheesta tarkemmin

- Aalto, Pami; Harsia, Pirkko; Heljo, Juhani et al. (2016). [Miten toteutetaan resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraali sähköenergiajärjestelmä?](#) EL-TRAN-analyysi 1/2016.
- Haukkala, Teresa; Holttinen, Hannele; Kiviluoma, Juha et al. (2021). “How Can Society Accelerate Renewable Energy Production?” Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification: Accelerating the Energy Transition](#), s. 79–103. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Lehtonen, Pinja; Toivanen, Pasi; Aalto, Pami et al. (2016). [Resurssitehokkaampi ja ilmastoneutraalimpi energiajärjestelmä, mutta miten? Suomalaiset avaintoimijat vastaavat.](#) EL-TRAN-analyysi 5/2016.
- Muth, Carl Johannes; Aalto, Pami; Mylläri, Fanni et al. (2021). “Globally and Locally Applicable Technologies to Accelerate Electrification”. Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification: Accelerating the Energy Transition](#), s. 25–56. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Toivanen, Pasi; Aalto, Pami; Kojo, Matti et al. (2019). [Bioenergia ilmastonmuutoksen torjunnassa – suomalaisten avaintoimijoiden näkemyksiä.](#) EL-TRAN-analyysi 1/2019.





### 3. Ilmastoneutraali sähköistyminen hitsaa energiajärjestelmän osat yhteen

Kun uusiutuvasti tuotettua sähköä on saatavilla enemmän, sähköistymistä kannattaa kiihdyttää yhtä aikaa monilla yhteiskunnan sektoreilla. Näin sähköistyminen vähitellen ikään kuin hitsaa yhteen energian tuotannon ja sen kulutuksen liikenteessä, rakennuksissa ja muualla.

Runsaasti uusiutuvaa sähköä tuottava ja käytävä energiajärjestelmä tarvitsee toimiakseen monipuolista energian varastointia ja varavoimaa. Suomessa on onneksi saatavilla paljon vesivoiman, bioenergian ja rajat ylittävän sähkökaupan tuomaa energiavarasto- ja varavoimapotentialia. Näin ollen teollisen mittakaavan energiavarastointia ei tarvitse aloittaa tyhjästä, eikä Suomen tarvitse pyrkiä varta vasten rakentamaan uusia energiavarastoja. Sen sijaan on suunnattava katsetta liikenteen, rakennusten ja teollisuuden joka tapauksessa vaatimiin uusiin ratkaisuihin, jotka tarjoavat myös varasto- ja varavoimapotentialia.

Tieliikenteen toimet ovat erityisen kiireellisiä, sillä autokanta uudistuu rakennuskantaa ja teollisuutta nopeammin. Tieliikenteen sähköistymisvaihtoehdot myös kehittyvät nopeasti. Siksi liikennealan toimenpiteet tuottavat verrattain nopeita tuloksia. Samalla herää kysymys ajoneuvojen akkujen liittämisestä sähköjärjestelmään ja sähköistyviin rakennuksiin. Sähkö-, liikenne- ja rakennussektorit kytkeytyvät yhä enemmän yhteen, ja niiden yhteistoimintaa varten kehitetään älyverkkoja.

Yhteiskunnan sähköistyessä sähkön kysyntä kasvaa. Samalla Suomeen visioidaan mittavaa *power-to-X*-teknologioiden liiketoimintaa. Nämä teknologiat muuntavat sähköä toisiin energiamuotoihin. Liiketoimintaa suunnitellaan esimerkiksi vetytalouden alueelle. Myös muut uusiutuvalla sähköllä tuotettavat uudet polttoaineet herättävät mielenkiintoa. Näiden varsin paljon sähköä kuluttavien alojen kehitys edellyttäisi valtavaa määrää edullista uusiutuvaa sähköä. Olisi ratkaistava, miten voidaan turvata riittävä sähkön saatavuus, kun otetaan huomioon lisääntyvä kulutus paitsi yhteiskunnan suoran sähköistymisen alueella, niin myös näillä epäsuoran sähköistymisen alueilla.

Uusiutuvan sähkön koko tuotantopotentiaali tulisi valjastaa, jotta sähköä tuotettaisiin riittävästi kasvavaan kysyntään nähden. Kun tähän mennessä Suomessa on panostettu vanhoja voimalaitoksia korvaaviin keskisuuriin tuulivoimaloihin, lisähuomiota olisi nyt suunnattava myös pientuotantoon vaikkapa aurinkopaneeleilla. Käytännössä muutos tarkoittaisi sitä, että myös julkisten rakennusten ja teollisuusrakennusten pinnoille sijoitettaisiin aurinkopaneeleita. Aurinkoenergian pientuotannossa samoin kuin sen yhdistämisessä eli aggregoinnissa suuremmiksi kokonaisuuksiksi onkin paljon mahdollisuuksia. Yhteiskunta pystyy vauhdittamaan kansalaisten ja pienyhteisöjen ryhtymistä pientuottajiksi eli tuottajakuluttajiksi. Pientuotannon lisäämistä ei ole nostettu Suomen energiapolitiikassa toistaiseksi yhtä tärkeäksi isomman mittakaavan infrastruktuurin kanssa. Koska kokonaisten väestönosien osallistaminen on hidasta, on valintoja syytä alkaa valmistella.

Seuraavaksi esitellään toimia, joita tarvitaan energijärjestelmän murroksen kiihdyttämiseen tieliikenteen, rakennusten, tuottajakuluttajuuden ja verkon näkökulmasta.



### 3.1. Tieliikenne

Henkilöautoliikenteen päästöjä on vähennettävä. Fossiilisia polttoaineita käyttävät autot pitää korvata täyssähköautoilla, jotka hyödyntävät uusiutuvaa energiaa. Suomeen tarvitaan huomattavasti enemmän täyssähköautoja. Autokannan sähköistymistä tulee kiihdyttää, ja koko tieliikennejärjestelmää on muutettava nopeasti. Se onnistuu parhaiten yhdistämällä erilaisia ohjauskeinoja. Sähköistyminen edellyttää, että kuluttajille tarjotaan monenlaisia kannustimia, todennäköisesti myös tuntevia hinta- tai hankintatukia, ja tietoa sähköautoilusta. Näin aikaansaadaan muutos, joka koetaan oikeudenmukaisena. Sähköautoilun yleistymisen vaatii muutoksia verotuksessa, velvoitteissa ja muussa sääntelyssä. Suomen kannattaa hyödyntää muiden maiden kokemuksia toimivista ohjauskeinoista ja kehittää sähköistä liikennettä yhteistyössä Pohjoismaiden kanssa. On myös oleellista, että sähköautot vastaavat tulevaisuudessa paremmin kuluttajien erilaisiin tarpeisiin esimerkiksi kuljettaa vetokoukulla peräkärryä tai asuntovaunua.

Sähköautojen latauksen älykäs hallinta luo merkittävän mahdollisuuden joustoon, jota tarvitaan tasaamaan tuuli- ja aurinkovoiman tuotannon vaihtelua. Jatkossa autojen akut tarjoavat jouston toteutukseen energiavaraston, jota voidaan täyttää ylitarjontatilanteissa ja purkaa kun kysyntää on eniten. Tämä vaatii monilta toimijoilta latausinfrastruktuurin laajentamista ja kehittämistä. Sähköautoja pitää pystyä lataamaan kodeissa, työpaikoilla, kauppakeskuksissa, huoltoasemilla ja parkkipaikoilla. Latausjärjestelmien pitää mahdollistaa teknisesti kaksisuuntainen energiansiirto akkujen ja sähköjärjestelmän välillä. Latausta pitää pystyä ohjaamaan älykkäästi kiinteistö- ja järjestelmätasolla. Jotta sähköautoilijat saadaan

mukaan verkon toimintaan, heidän täytyy saada siitä riittävästi taloudellista hyötyä ja heillä tulee olla mahdollisuus valita, milloin ja kuinka paljon sähköä akusta siirretään verkkoon.

Biopolttoaineita ei kannata käyttää henkilöautoliikenteessä keskipitkällä eikä varsinkaan pitkällä tähtäimellä. Niiden valmistusprosessi käyttää paljon energiaa ja kuluttaa ympäristöä. Siksi on parempi siirtyä sähkөөn käyttövoimana, kuten myös autoteollisuudessa päätellään. Biopolttoaineita ja biometaania voidaan kuitenkin käyttää pidempään niillä liikenteen aloilla, joiden sähköistäminen on hankalinta. Sellaisia ovat laiva- ja lentoliikenne sekä osa raskaasta tieliikenteestä. Pitkällä aikavälillä nämä sektorit osin sähköistetään, ja osin siirrytään käyttämään uusiutuvalla sähköllä tuotettuja kaasumaisia tai niistä nesteytettyjä polttoaineita, mukaan lukien vetyä.

### 3.1.1. Suositukset: Täyssähköautojen määrän lisääminen

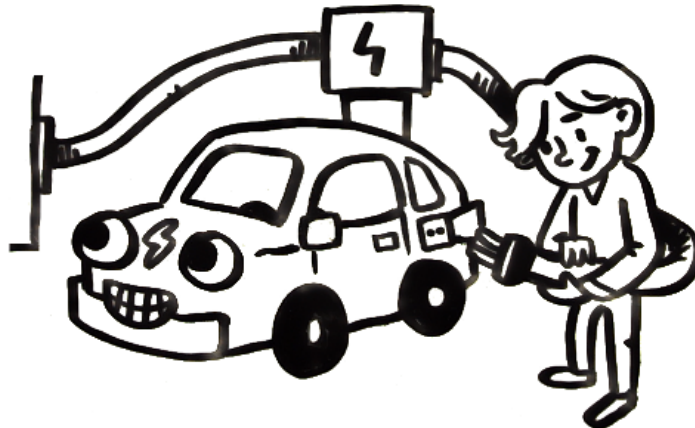
22. Suomen liikennejärjestelmän sähköistymisstrategiaa tulee tarkentaa. Siinä on otettava huomioon koko sähköisen liikenteen arvoketju sähköntuottajista ja autojen maahantuojista erilaisiin palveluntarjoajiin sekä sähköautojen loppukäyttäjiin saakka. Strategiassa tulee ottaa huomioon myös eri osapuolten näkemykset akkujen käytämisestä sähköjärjestelmän joustopotentialina. → TEM, LVM, Fingrid, Energiavirasto, Autoalan keskusliitto, Autoliitto
23. Täyssähköautojen määräaikaista hankintatukea on jatkettava, kunnes elinkustannuspariteetti on saavutettu. Tuen avulla henkilöautokanta saadaan sähköistettyä nopeammin. Myös sähköbusseille ja -pakettiautoille sekä sähköisen logistiikan kehittämiseksi tulee kokeilla tukimekanismeja. → TEM, LVM, Autoalan keskusliitto, Autoliitto
24. Täyssähköautojen nopeaa yleistymistä on edistettävä myös muilla kannustimilla. Bussikaistojen käytön ja maksuttoman pysäköinnin kokeilua voidaan jatkaa, samoin kuin polttomoottoriautojen romutuspalkkiota. Nämä kannustimet voidaan poistaa ajan myötä. → TEM, LVM, Traficom, Kuntaliitto
25. Käytettyjen täyssähköautojen laadunvarmistusta tulee kehittää. → Autoalan keskusliitto, Traficom
26. Kuluttajille on tarjottava tietoa sähköautojen monista hyödyistä polttomoottoriautoihin verrattuna: esimerkiksi liikenteen melu ja terveydelle haitalliset lähipäästöt vähenevät ja sähköautoa on halvempaa käyttää ja huoltaa. Lisäksi tarvitaan ”myyttien murtamista” eli oikeaa tietoa esimerkiksi akkujen toiminnasta talvella ja vetokoukkujen asentamismahdollisuuksista. → Motiva, Traficom, Autoalan keskusliitto

### 3.1.2. Suositukset: Sähköautojen älykäs lataus ja sen ohjaaminen

27. Latausinfrastruktuuria pitää rakentaa lisää. Erityisesti kadunvarsipysäköinnin latausinfrastruktuuri vaatii sekä määräyksiä että tukitoimia. Julkisten latauspisteiden ja -asemien tuet tulee ohjata pika- ja suurteholatausjärjestelmille. → TEM, Kuntaliitto
28. Koko sähköautojen latausteknologian ja -infrastruktuurin arvoketjussa tulee pohtia, miten latauspisteiden dataa hyödynnetään jouston suunnittelussa ja toteutuksessa. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, Autoliitto
29. Kiinteistöihin pitää luoda edellytykset ladata sähköautoja ja ohjata latausta älykkäästi. Kiinteistöjen suunnittelijoita, rakentajia, rakennuttajia ja omistajia tulee kannustaa ja velvoittaa varautumaan sähköautojen lataustarpeeseen tekemällä teknisiä varauksia

rakentamis- ja peruskorjausvaiheissa. → Motiva, RAKLI ry, STUL ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto, Kuntaliitto

30. Täyssähköautojen latausjärjestelmiä on kehitettävä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnalla, jotta akut saadaan sähköjärjestelmän käyttöön tarjoamaan joustoa ja kehitettävät järjestelmät skaalautumaan. Demonstraatiohankkeilla on selvitettävä, millaista akkujen käyttö joustossa olisi kuluttajien näkökulmasta. Kuluttajille tulee tarjota kannustimia antaa akku järjestelmän käyttöön. TKI-tuen saadakseen latausjärjestelmän pitää pystyä kaksisuuntaiseen energiansiirtoon tai kommunikoidaan ylemmän tason järjestelmän kanssa avoimen rajapinnan kautta. Latauksen älykkäässä ohjauksessa tulee ottaa huomioon laajempi kokonaisuus kuin vain latauspaikan (kuten kerrostalon) tehon tarve. Sähköautojen akkuihin liittyviä tärkeitä kehityskohteita ovat myös harvinaisten metallien ja maametallien kiertotalous sekä älykkään sähköverkon tiedonhallinta. → TEM, LVM, Fingrid, Energiavirasto, Business Finland, VNK, Autoliitto, Kuluttajaliitto
31. Koulutuspolitiikassa pitää ottaa huomioon tarve kouluttaa suunnittelijoita ja sähköasentajia, joita tarvitaan sähköautojen latausinfrastruktuurin ja älykkään ohjaamisen suunnittelussa ja rakentamisessa. → OKM
32. Sähköistä tieliikennettä kannattaa kehittää yhteistyössä Pohjoismaiden kanssa, jotta hyödytään maiden erilaisesta osaamisesta. Norja on edelläkävijä sähköisen liikenteen kehittämisessä ja Ruotsilla on kehittynyt autoteollisuus. Suomen ja Tanskan vahvuus taas on osaaminen verkkoautomaation alalla. → TEM, LVM, UM, Fingrid, Traficom
33. Pohjoismaisena yhteistyönä tulee myös kehittää sähköautojen integroimista valtakunnalliseen sähköverkkoon (*Vehicle-to-Grid*, V2G) ja niiden liittämistä kotien älykkäisiin sähköverkkoihin (*Vehicle-to-Home*, V2H). Näistä tulee muodostaa yhteinen näkemys kokeilujen perusteella. → TEM, LVM, UM, Fingrid, Traficom, Energiavirasto



### 3.1.3. Suositukset: Kaasutankkausverkosto

34. Biokaasu voi toimia raskaan liikenteen siirtymävaiheen ratkaisuna – myöhemmin siirrytään esimerkiksi vetyyn. Kaasutankkausverkostoa onkin parannettava erityisesti niin, että se kattaa ainakin tavaraliikenteen runkoyhteydet ja yhteyksien keskeiset risteyspisteet. → TEM, Bioenergia ry, Energiateollisuus ry, LVM

## Aiheesta tarkemmin

- Aro, Kalle; Rautiainen, Antti; Talus, Kim et al. (2018). [Voiko raskas tieliikenne siirtyä biokaasuun?](#) EL-TRAN-analyysi 6/2018.
- Kojo, Matti; Aro, Kalle; Kotilainen, Kirsi et al. (2021). "Policies for Climate Neutral Road Transport". Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification: Accelerating the Energy Transition](#), s. 149–174. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Kojo, Matti; Kotilainen, Kirsi; Rautiainen, Antti et al. (2018). [Miten sähköautopolitiikalla edistetään joustavampaa sähköjärjestelmää?](#) EL-TRAN-analyysi 2/2018.
- Kotilainen, Kirsi; Aalto, Pami; Valta, Jussi et al. (2019). ["From Path Dependence to Policy Mixes for Nordic Electric Mobility: Lessons for Accelerating Future Transport Transitions"](#), *Policy Sciences* 52: 573–600.
- Kotilainen, Kirsi; Haukkala, Teresa; Aalto, Pami et al. (2018). [Sähköautopolitiikat Pohjoismaissa – mitä keinoja Suomi voi hyödyntää?](#) EL-TRAN-analyysi 5/2018.
- Pääkkönen, Anna; Aro, Kalle; Aalto, Pami et al. (2019). ["The Potential of Biomethane in Replacing Fossil Fuels in Heavy Transport – A Case Study on Finland"](#), *Sustainability* 11, 4750.
- Rauma, Kalle; Simolin, Toni; Rautiainen, Antti et al. (2021, forthcoming). "Overcoming Non-Idealities in Electric Vehicle Charging Management", [IET Electrical Systems in Transportation](#).
- Ruostetsaari, Ilkka; Aalto, Pami; Kallioharju, Kari et al. (2016). [Suomalaiset eivät lämpene sähköautoille – miten kiinnostus sytytetään?](#) EL-TRAN-analyysi 6/2016.
- Simolin, Toni; Rauma, Kalle; Järventausta, Pertti et al. (2020). ["Optimised Controlled Charging of Electric Vehicles under Peak Power-Based Electricity Pricing"](#), *IET Smart Grid* 3 (6): 751–759.
- Simolin, Toni; Rauma, Kalle; Rautiainen, Antti et al. (2021). "Foundation for Adaptive Charging Solutions: Optimized Use of EV Charging Capacity", [IET Smart Grid](#).



### 3.2. Rakennukset

Merkittävä osa sähköstä käytetään rakennetussa ympäristössä. Tämän käytön osuus Suomen sähkönkulutuksesta on jopa yli puolet suurimman kysynnän aikaan, kuten kylminä talvipäivinä. Vuositasolla pelkästään koti- ja maatalousrakennuksissa kulutetaan noin neljännes Suomessa käytetystä sähköenergiasta.

Rakennusten lämmitys aiheuttaa huomattavasti erilaisia päästöjä. Lämmönlähteistä yleisin on kaukolämpö, ja vaikka erityisesti bioenergian käyttö kaukolämmön tuotannossa on lisääntynyt paljon, kaukolämmöstä tuotetaan yhä noin 40 % suuripäästöisillä fossiilisilla polttoaineilla tai turpeella. Myös öljypolttimilla tuotettu lämpö aiheuttaa samanlaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Puun ja pellettien poltosta aiheutuu ilmanlaatua heikentäviä päästöjä. Päästöjä voidaan vähentää parantamalla rakennusten energiatehokkuutta ja siirtymällä sähkөөn perustuviin lämmitysmuotoihin, kuten lämpöpumppuihin. Näin vähennetään tarvetta käyttää saastuttavia, fossiilisia energialähteitä kaukolämmön tuotannossa ja tarvetta lämmittää polttopuilla.

Kun rakennuksia lämmitetään yhä enemmän sähköllä, lisääntyy myös ilmastoneutraalisti tuotetun sähkön tarve etenkin kylminä ajanjaksoina. Toisaalta rakennusten sähköistäminen tarjoaa tulevaisuudessa merkittävän lämpövaraston sähköjärjestelmän tueksi rakennusmassan muodossa. Rakennuskanta muodostaakin merkittävän resurssin sähköjärjestelmän kysynnän joustolle. Tämä edellyttää kuitenkin rakennusten automaation ja ohjattavuuden tehostamista kuormien ohjaamiseksi ja rakennusten tehohallinnan edistämiseksi. Hetkellisen energiankäytön hallinnasta tulee vuositason kulutusta merkittävämpää. Lisähaasteen tulevat muodostamaan sähköautojen lataustehot. Rakennusteknisen suunnittelu-, asennus- ja huolto-osaamisen merkitys korostuu, samoin kuin sen kehittäminen koulutuksen avulla. Rakennuskantaa koskevan sähkönkulutustiedon tuottamisesta ja hyödyntämisestä tulee tärkeää erityisesti sähkötehojen osalta.



### 3.2.1. Suositukset: Rakennusten energia- ja resurssitehokkuus sekä tehontarve

35. Säästösten energiatehokkuusvaatimusten on ohjattava uudisrakennuksia ja merkittäviä korjaushankkeita vähäpäästöisiin kiinteistökohtaisiin energiantuotantoratkaisuihin. Säädöksiä ja niitä täydentäviä ohjeita tulee valmistella laaja-alaisena yhteistyönä. Suunnittelussa mukana tulee olla rakennusten ja energiajärjestelmien suunnittelijoiden sekä ministeriöiden lisäksi entistä enemmän sähkö- ja automaatioalan suunnittelijoita ja toteuttajia (sähkösuunnittelun lainsäädännön kehittämiseen syvennyttään tietolaatikossa alla). → TEM, YM, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto
36. Rakentamismääräysten tulee kannustaa uusien automaatoratkaisujen käyttöön, jotta rakennuksista tulee energia- ja resurssitehokkaita. → YM, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto
37. Rakennusten tehontarve on otettava huomioon valtakunnanverkon ja jakeluverkkojen kehittämisessä. → Fingrid, Energiavirasto
38. Tehon käyttö ja sen ajoittuminen vuorokausi- ja vuodenaikatasolla sekä tehon ohjattavuus ansaitsevat erityishuomiota. Tehontarpeen tulee olla mukana energiaselvityksessä. Dynaamisen (tuntitason) laskennan käyttöä tulisi laajentaa kaikkiin rakennustyyppeihin. Laskennassa on otettava huomioon koko kiinteistön merkittävät tekniset laitteet ja laitteistot sekä niiden sähkötehot ja ohjattavuus. → YM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto
39. Rakennusten tehontarpeen ohjauksessa tarvitaan poikkihallinnollista otetta rakennusten lämmitystapojen sähköistyessä. Nyt rakentamisen ja lämmitystapojen ohjaus on ympäristöministeriön toimialaa ja muovautuu osittain EU-tason politiikan perusteella. Sähköjärjestelmä ja tehontarve taas ovat työ- ja elinkeinoministeriön toimialuetta. Tarvitaan yhteistyötä, jotta saadaan luotua yhtenäinen sääntelykehikko, joka ohjaa rakennusten sähköenergiajärjestelmien suunnittelua ja toteutusta. → TEM, YM, VNK, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto



40. Maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistuksessa on määriteltävä rakennusten energiatehokkuus niin, että se sisältää energian kokonaismäärän ohella energian käyttöprofiiliin sekä tehontarpeeseen ja sähkötehon ohjattavuuteen liittyvät näkökulmat. → YM, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto
41. Kysyntäjoustop edistäminen ja tehohallintaan varautuminen edellyttää myös turvallisuusnäkökohtien huomioon ottamista. Tämä koskee etenkin sähköisen ja verkotetun yhteiskunnan turvallisuutta eli kyberturvallisuutta. → TEM, LVM, Fingrid, Energiavirasto, PLM, Suojelupoliisi, Traficom
42. Uusilla sähkön hinnoittelumalleilla tulee kannustaa tehojen hallintaan. Kun rakentamista ja rakennuksia koskevia säädöksiä valmistellaan, taloudellisuustarkasteluissa pitää ottaa huomioon energian ja tehon hinta eri aikoina sekä skenaariot sähkön siirtohinnoittelun muutoksista aiempaa perusmaksu- tai tehopainotteisemmiksi. → Energiavirasto, Fingrid, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto, Energiateollisuus ry



**Sähkösuunnittelun ja taloteknisen suunnittelun lainsäädännössä tulee ottaa huomioon seuraavaa:**

- a) *Asennettavat ohjausratkaisut ja niiden yhteydessä tehtävät asennusmuutokset tulee dokumentoida.*
- b) *Asennusten ryhmittely on tehtävä ohjattavuuden näkökulmasta. Eri toimilaitteet tulee määritellä ja suunnitella ohjausmahdollisuuksien perusteella. Samaan ryhmäjohtoon ei siis esimerkiksi kytkettäisi laitteita, joita ei saa kytkeä pois ja laitteita, joiden ohjaus on mahdollista.*
- c) *Keskuksissa tulee olla riittävät varaukset ohjausten tarvitsemille kojeille, kuten kontaktoreille ja väyläkomponenteille.*
- d) *Asennustyötä tehtäessä on huolehdittava siitä, että ryhmittelyt ja ohjausjohdotukset ovat toteutettavan ohjausperiaatteen mukaisia.*
- e) *Yllä mainitut toimet antavat hyvän pohjan selvittää, miten tehoihin voidaan vaikuttaa. Laskelman vaatimien lähtötietojen, kuten kojetehojen selvitys edellyttää myös LVI-suunnittelijalta ymmärrystä valittujen ratkaisujen tehovaikutuksesta.*
- f) *Asennustyön aikana, mahdollisten laitevaihtojen yhteydessä tulee tehdä myös selvitys tehovaikutuksesta.*

*Valmiin asennuksen tehokäyttäytymistä tulee seurata esimerkiksi ensimmäisen käyttövuoden ajan, jolloin saadaan tietoa mitoituksen onnistumisesta. Tätä varten pitää luoda käytännön ohjeet siitä, miten automaatio- ja energiatehokkuusstandardeja (SFS 6008-1) sovelletaan.*

### **3.2.2. Suositukset: Rakennusten automaatio, kuorman ohjaus ja kysyntäjousto**

43. Säädöksillä ja ohjeilla tulee varmistaa, että kiinteistöjen sähköverkot ja kiinteistöautomaatio suunnitellaan ja rakennetaan niin, että sähkökuormien ohjaus on mahdollista. → YM, Energiavirasto, STUL ry, RAKLI ry
44. Sähkön kysyntäjoukseen varautuminen tulee liittää osaksi rakentamisen energiatehokkuusvaatimuksia. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi siten, että energiatodistuksen laskenta uudistetaan vastaamaan todellista arvioitua sähkönkäyttöä, jolloin mahdollistetaan sähkökuormien ohjauksen suunnittelu. Toteutuksessa voidaan myös ottaa rakennusten älyvalmiusindikaattori (*Smart Readiness Indicator*, SRI) osaksi energiatehokkuusvaatimuksia. → TEM, YM, Fingrid, Energiavirasto, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto
45. Rakentamisen ohjauksessa tulee kiinnittää huomiota kerrostalokiinteistöjen mittausjärjestelmien uudistamiseen ja kuorman ohjauksen suunnitteluun kiinteistötasolla. Muutokset kiinteistöverkon rakenteisiin tehdään rakennus- ja peruskorjausvaiheissa, sillä ne ovat edullisempia ja helpompia toteuttaa. Tarvitaan taloudellisia ja sosiaalisia kannusteita, joilla rakennuksiin luodaan edellytyksiä hallita kulutusta ja tehdä resurssitehokkaita valintoja. Kiinteistöjen järjestelmiä ja taloudellisia kannusteita pitää kehittää siten, että mahdollistetaan yritysten palvelutarjonta valintojen ohjaamiseksi. → TEM, YM, Fingrid, Energiavirasto, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto

### 3.2.3. Suositukset: Rakentamisen ja rakennusalan tuet

46. Innovaatio- ja kärkihanketukia on suunnattava niin, että niiden avulla kehitetään muun muassa lämpöpumppuja, energian varastointiratkaisuja (esimerkiksi lämmön kausivarastoja), aurinkoenergian käyttöä sekä rakennusten energia- ja tehotehokkuutta. → TEM, Business Finland, VNK
47. Olemassa olevia kaukolämpöjärjestelmiä ei tule suojella erityisin poliittisin toimenpitein. Jos lämpöpumppuratkaisut osoittautuvat kilpailukykyisemmiksi kuin kaukolämpö, pumppujen yleistyminen on hyvä kehityskulku. Kaukolämpöverkon eriyttämistä omaksi liiketoiminta-alueekseen ja lämmön tuotannon sekä varastoinnin avaamista kilpailulle tulisi selvittää myös pitkäaikaisvaikutusten osalta. → TEM, YM, Energiavirasto, Kuntaliitto, VNK
48. Rakentamisen tukijärjestelmiin voitaisiin sisällyttää tehon hallintaan liittyviä vaatimuksia. Esimerkiksi energia-avustuksia voitaisiin kanavoida voimakkaammin lämpöpumppujärjestelmiin, joiden yhteydessä on varauduttu tehojen ohjaukseen ja/tai normaalia suurempaan energian varastointiin. Lisäksi täyteen tehoon mitoitettujen maalämpöjärjestelmien tukeminen voisi olla järkevää. → TEM, YM, Fingrid, Energiavirasto, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto



## ENERGIAVARASTOT

### 3.2.4. Suositukset: Rakennusalan osaamisen kehittäminen

49. Koska rakennusten tehohallinnan tarve kasvaa tulevaisuudessa, tarvitaan lisää teknistä osaamista. Suunnittelu-, asennus- ja huolto-osaamista tarvitaan korjauksissa, ylläpidossa ja uudisrakentamisessa. Osaamista voidaan lisätä opetussisältöjä kehittämällä, koulutus-, tutkimus- ja kehitysrahoituksen avulla sekä yritysten starttirahoituksen kautta. → OKM, YM, TEM, STUL ry, RAKLI ry
50. Koko rakennusalan, isännöitsijöiden ja energiatoimijoiden osaamista ja yhteistyötä on tärkeää kehittää. On pyrittävä kokonaisuuteen, joka olisi tehokas, toimiva ja asukkaiden terveyttä sekä hyvinvointia edistävä. Erityisesti tarvitaan ammattikorkeakoulutasoista järjestelmä- ja palvelumuotoilukoulutusta, jotta syntyy osaamista muun muassa hybridilämmitysjärjestelmien ja niihin liittyvien palveluiden kehittämiseen. Myös talotekniikan hallinnan koulutusta on tärkeää lisätä kiinteistöjen ylläpitäjille. → OKM, YM, STUL ry, RAKLI ry, Energiateollisuus ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto

51. Maankäyttö-, rakennus- ja energiatehokkuuslainsäädännössä tulee tukea taloteknistä kokonaisu suunnittelua ja yhteistyötä edellyttämällä kaikilta osapuolilta samantasoiset kelpoisuudet ja dokumentaatiot koskien myös lupamenettelyjä. Yhtenäiset vaatimukset selkiyttävät toimintakenttää ja kehittävät koulutusta sekä osaamista. Ne myös velvoittavat rakennushankkeeseen ryhtyvää huolehtimaan tarpeellisen asiantuntemuksen hankkimisesta. Talotekniikka tulee nähdä erikoisjärjestelmäkokonaisuutena, jolle tulee nimetä kokonaisuudesta vastaava suunnittelija osana suunnittelu- ja toteutusprosessia. → OKM, YM, Kuntaliitto, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto
52. Kiinteistöjen sähköjärjestelmien asema tulee nostaa samalle tasolle muun erikoissuunnittelun kanssa rakennusten suunnitteluvaatimuksissa. Tämä tulee tehdä ripeästi, jos Suomessa halutaan kehittää Smart City ja Teollisuus 4.0 - lähestymistapoja uskottavasti. → TEM, YM, VNK, Business Finland, STUL ry, RAKLI ry
53. Kuntien rakennusvalvonnan käytäntöjä tulee tutkia ja kehittää valtakunnallisesti. Huomiota tulee kiinnittää siihen, onko kunnissa osaamista vaatia sekä arvioida erityisjärjestelmien suunnitelmia ja suunnittelijoita, joista on säädetty laeissa. → YM, AVI:t, Kuntaliitto, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto

### 3.2.5. Suositukset: Rakennusalan tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta sekä tiedontarpeet

54. Suomen tulisi perustaa ja resursoida ministeriöitä yhdistävä energiapalvelumarkkinoiden kehitys- ja innovaatio-ohjelma. Se toimisi rakennusten energiaparannusten vauhdittajana ja politiikkatoimien koordinaattorina. Ohjelma koordinoisi rakennusten puhtaisiin energiatarkeisiin liittyviä toimintoja eri ministeriöiden hallinnonaloilla. Olennaisia aloja halutun kehityksen vauhdittamisessa ovat muun muassa koulutus, verotus, rahoitus, tuet, tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta, rakentamismääräykset, terveellinen sisäilma, hajautetun tuotannon integrointi lämpö- ja sähkömarkkinoille, sähköajoneuvojen lataus sekä automaatiojärjestelmät. Lisäksi ohjelma tukisi toimivien markkinoiden luomista muun muassa taloyhtiöiden energiaremontteihin. Se edistäisi palvelutarjontaa ja puolueettoman, luotettavan tiedon välitystä eri toimijoille sekä loisi ja vahvistaisi verkostoja muutoksen nopeuttamiseksi. Ohjelman tueksi ja avustuskriteerien kehittämiseksi olisi suositeltavaa perustaa asiantuntijaneeli. → YM, TEM, OKM, VM, LVM, VNK, Business Finland, Energiateollisuus ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto
55. Suomessa tarvitsee tuottaa tietoa siitä, miten ja miksi rakennuskannassa syntyy huipputehotilanteita. Tehoarvioita pitää kehittää yhteistyössä tutkijoiden, viranomaisten ja yritysten kesken niin, että arviot perustuvat rakennusten todelliseen tehokäyttäytymiseen. → YM, TEM, VNK, Fingrid, Energiateollisuus ry, Tilastokeskus, RAKLI ry
56. Säädös- ja ohjevalmistelun pohjaksi tarvittavien uusien laskentamallien tutkimiseen ja luomiseen vaaditaan sähkön kulutustietoja käyttöprofileittain. Nykyisellään tieto on vain verkko- ja energiayhtiöiden käytössä tiukkojen tietosuojavaatimusten vuoksi. Järjestelmä- ja laitevalintojen sekä ohjausratkaisujen vaikutuksista ei ole saatavilla tietoa. Tulisi kehittää malli, jolla energiayhtiöt voidaan velvoittaa tuottamaan avoimia anonymisoituja aineistoja tilastoinnin ja tutkimuksen käyttöön. → YM, TEM, Tilastokeskus, Energiavirasto, Energiateollisuus ry

57. Tilastokeskuksen tulisi kehittää tilastointia yhdessä tutkimuslaitosten, yliopistojen ja korkeakoulujen kanssa niin, että siinä alettaisiin hyödyntää mallinnusta sekä keskitetyn tiedonvaihtojärjestelmän (*datahub*) ja tiedonlouhinnan (*data mining*) tekniikoita. Massadataa (*big data*) tulisi myös hyödyntää ennakoivissa analyyseissä monipuolisemmin. Uudenlaisessa tilastoinnissa olisi hyödyllistä:
- a) voida yhdistää sähköjärjestelmän tehontarpeet ja rakennusten paikkatiedot (rakennusrekisteri)
  - b) antaa sähkön tarjoajille olemassa olevan asiakastiedon lisäksi tietoa rakennuskannasta, jotta sähköjärjestelmä voidaan mitoittaa resurssitehokkaasti
  - c) tarjota tietoa esimerkiksi siitä, miten liittymä mitoitetaan ja miten tietty asuinalue siirretään toisenlaiseen järjestelmään esimerkiksi aurinkovoiman ja maalämmön avulla
  - d) Pohtia haasteita: jos tehontarvetta ja rakennuskantaa koskevia tietoja voidaan analysoida ja mallintaa yhdessä, nousee haasteeksi esimerkiksi asiakkaiden sähkön käytön tottumusten muutos. Asiakkaiden tottumuksiin voi vaikuttaa lämmitysjärjestelmän muuttuminen, hintaohjatun kysynnänjouston yleistyminen tai pientuotannon ja asiakkaiden energiavarastojen (esimerkiksi akkuvarastot) lisääntyminen.
- Tilastokeskus, yliopistot, korkeakoulut, tutkimuslaitokset
58. Sähkötehojen suunnittelun tueksi tulee luoda mittauksiin ja tutkimuksiin perustuvia mitoitusohjeita. Myös taloteknisille järjestelmille tulee luoda yhtenäiset, kattavat suunnitteluohjeistukset. → YM, STUL ry, RAKLI ry

## Aiheesta tarkemmin

- Harsia, Pirkko; Penttinen, Sirja-Leena; Järventausta, Pertti et al. (2017). [Edellytykset kysyntäjouaston toteutumiselle kiinteistöissä](#). EL-TRAN-analyysi 1/2017.
- Kallioharju, Kari; Harsia, Pirkko; Kortetmäki, Aki et al. (2019). [Tehohallinnan haasteet 2000-luvun pientaloissa](#). EL-TRAN-analyysi 3/2019.
- Penttinen, Sirja-Leena; Harsia, Pirkko; Heljo, Juhani et al. (2021). “Electrification and Energy Efficiency in Buildings: Policy Implications and Interactions”. Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification. Accelerating the Energy Transition](#), s. 175–196. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.

### 3.3. Tuottajakuluttajat

Kuluttajista tulee aiempaa aktiivisempia toimijoita energijärjestelmässä. He voivat alkaa tuottaa, varastoida ja myydä sähköä, kun uusiutuvan energian teknologioista tulee edullisia ja älyverkot yleistyvät. Sähköä tuotetaan yhä enemmän uusiutuvilla energialähteillä, joiden tuotanto on usein säästä riippuvaa, eikä sitä voida ohjata kannattavasti kulutuksen mukaan. Järjestelmän tehotasapainon ylläpidossa tarvitaan myös kansalaisten osallistumista: joustavaa kuluttamista ja pientuotantoa. Kuluttajien osallistuminen uusiutuvan sähkön tuotantoon ja kysynnän joustoon vauhdittaa yhteiskunnan sähköistymistä.

Kuluttajien motivoinnissa keskeisiä ovat taloudelliset ohjauskeinot. Pienkuluttajia tulee kannustaa osallistumaan kysynnän joustoon esimerkiksi uusien hinnoittelurakenteiden ja markkinapaikkojen avulla. Kuluttamista voitaisiin ohjata myös tekemällä pörssisähkön hinnan vaihtelut näkyviksi kansalaisille. Pienkuluttajien osallistaminen vaatii lisäksi tiedottamista ja vuoropuhelua. Tämän ohella tarvitaan kansallisia politiikkatoimia, kuten kannusteita ja esteiden poistamista. Keskeisin teknologinen este tuottajakuluttajuudelle on energiavarastoinnin kehittymättömyys. Toisaalta nykyiset etäluettavat energiamittarit tarjoavat jo merkittäviä mahdollisuuksia kuormien ohjaamiseen täysimääräisesti käytettyinä. Samoin mahdollisuuksia on kiinteistö- ja laiteautomaatiossa, joita pitäisi voida hyödyntää laajemmin järjestelmän tasolla.

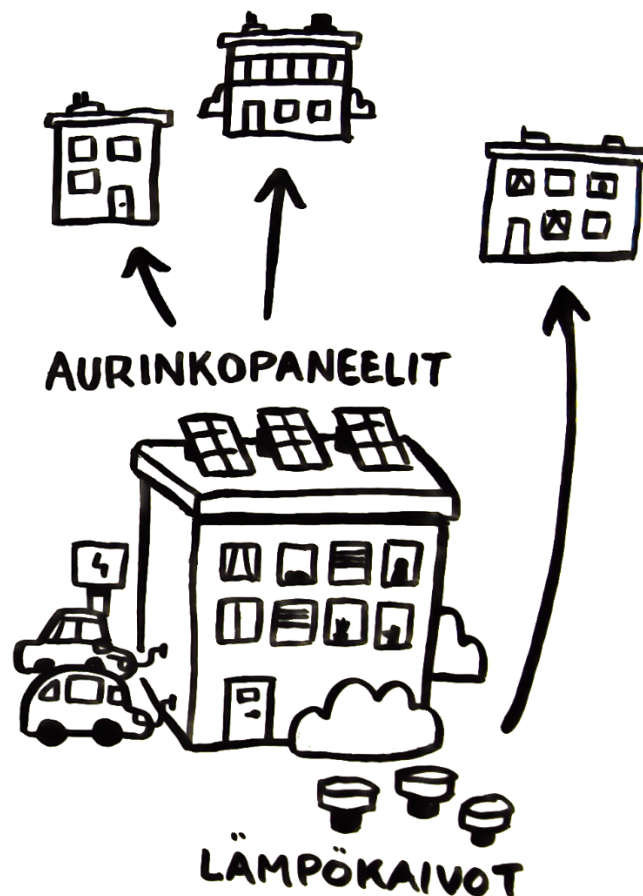
Myös Euroopan unionin sähkömarkkinadirektiivissä (2019/944) yhtenä keskeisenä ajatuksena on kansalaisten roolin korostaminen. Direktiivi määrittelee energijärjestelmään uuden oikeudellisen toimijan, ”kansalaisten energiayhteisön”. Energiayhteisö voi harjoittaa ”tuotantoa, jakelua, toimitusta, kulutusta, aggregointia, energian varastointia, energiatehokkuuspalveluja tai sähköajoneuvojen latauspalveluja tai voi tarjota muita energiapalveluja jäsenilleen tai osakkailleen”.

Sähkömarkkinadirektiivin tavoitteiden edistämiseksi Suomi tarvitsee pidemmällä tähtäimellä selkeän periaatelinjauksen tuottajakuluttajien roolista energia- ja ilmastopolitiikassa. Jos uusiutuvaa sähköä tarvitaan huomattavia määriä myös epäsuoraan sähköistymiseen – esimerkiksi vetytalouden tarpeisiin, uusiutuvien sähköpolttoaineiden tuottamiseen tai uusien kemikaalien, materiaalien tai tuotteiden valmistamiseen – korostuu myös pientuotannon tarve teollisen mittakaavan tuotannon ohella. Pientuotannon lisääminen kasvattaisi myös koko energijärjestelmän kykyä mukautua erilaisiin tilanteisiin ja kestää kriisejä.

#### 3.3.1. Suositukset: Tuottajakuluttajuuden edistäminen

59. Suomen tulee linjata tuottajakuluttajien rooli energia- ja ilmastopolitiikassa selkeästi.  
→ TEM, YM
60. Pienkuluttajille tulee kehittää heille sopivia hinnoittelumalleja ja markkinapaikkoja. Mallien tulee olla yleistajuisia ja niiden tulee kannustaa vähentämään kulutusta sähkön kulutushuippujen aikana. Paikallisten kulutushuippujen aikana voitaisiin käyttää tehotariffia ja valtakunnallisia, pörssisähköpohjaisia sopimuksia. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto
61. Tuntipohjaiset sähkö sopimukset luovat edellytyksiä kysyntäjoustolle. Niihin siirtymistä tulee edistää tiedottamalla kuluttajille niiden hyödyistä. → Energiateollisuus ry, Motiva, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto
62. Pienkuluttajille tulee suunnata enemmän yleistajuista ja helposti saatavilla olevaa energiaviestintää. → Motiva

63. Pienkuluttajien mahdollisuuksia osallistua energiapolitiittisten ratkaisujen valmisteluun tulee lisätä. → TEM, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto, Kuluttajaliitto
64. Jotta aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää kustannustehokkaasti kiinteistöissä, yhteiskunnan pitää kannustaa sijoittamaan akkuvarastoihin siirtymävaiheen aikana, ennen kuin akkuteknologian kustannuspudotus mahdollistaa täysin markkinaehtoisin kehityksen. Akkutilan rakentamiseen tulee kannustaa kiinteistöverotuksen ja rakentamisen sääntelyn keinoin. Akkua varten varattua paloturvallista tilaa ei tulisi laskea rakennuksen pinta-alaan verotuksessa tai rakennusoikeuden käytössä. → YM, TEM, VM
65. Kun aurinkoenergiaa lisätään, kiinteistöjen sähkökäyttöä pitää muuttaa. Esimerkiksi sähkölämmitteisen pientalon vedenlämmitys siirtyisi yöajasta aurinkoiseen aikaan. Tämän toteuttamisessa tarvitaan yritysten palveluita. Alan yrityksille voitaisiin harkita rajallisia ja väliaikaisia tukimekanismeja nopeuttamaan palveluiden kehittämistä. → YM, STUL ry, RAKLI ry, Kiinteistöliitto, Isännöitsijäliitto, Omakotiliitto
66. Sähköverkkoyhtiöt tulisi velvoittaa erittelemään asiakkailleen nykyistä tarkemmin, mistä kustannusosista sähkönjakelun hinta tosiasiallisesti muodostuu. Tämän voisi tehdä sähkömarkkinalain 57 §:n perusteella: avoimuuden ja läpinäkyvyyden lisäämiseksi olisi perusteltua tulkita pykälää siten, että monopoliasemassa olevien jakeluverkkoyhtiöiden pitäisi eritellä esimerkiksi verkkosivullaan, miten sähkönjakelun hinta todellisuudessa muodostuu eri kustannuskomponenteista. → TEM, Energiavirasto





### 3.3.2. Suositukset: Energiayhteisöt

67. Energiayhteisöt ja mikroverkot ovat hyödyllisiä energiajärjestelmälle. Ne edistävät uusiutuvan energian tuotantoa, tarjoavat joustoa, parantavat kokonaisjärjestelmän resurssitehokkuutta ja auttavat sektori-integraation toteuttamisessa. Euroopan unionin sähkömarkkinadirektiivi (2019/944) myöntää kansalaisten energiayhteisöille oikeuden omistaa, perustaa, ostaa tai vuokrata jakeluverkkoja ja hallinnoida niitä itsenäisesti. Jäsenvaltiot voivat myöntää energiayhteisöille oikeuden toimia joko yleisen järjestelmän mukaisina jakeluverkon haltijoina tai suljetun jakeluverkon haltijoina. Suomen tuleekin määritellä energiayhteisöt kansallisessa lainsäädännössä direktiivin mahdollistamalla tavalla ja sitä kautta edistää energiayhteisöjen ja mikroverkkojen syntymistä. Samalla on otettava huomioon vientiliiketoiminnan vaatima teknologiakehitys, sillä energiayhteisöt yleistyvät maailmanlaajuisesti. Energiayhteisöjä tulee tarkastella lainsäädäntötyössä koko energiatoimialan kehityksen kannalta ja niiden määrittelyssä tulee kiinnittää huomiota myös Suomen kansainväliseen kilpailukykyyn ja uuteen vientiliiketoimintaan. → TEM, Fingrid, Energiavirasto
68. Energiayhteisöihin liittyvää lainsäädäntöä ja niiden hallintomalleja pitää kehittää sekä EU-direktiivien että älyverkkotyöryhmän raportin ehdotusten pohjalta. On selvitettävä testihankkeiden avulla, voidaanko laatia uusia tariffirakenteita, jotka kannustaisivat paikallistuotannon omakulutukseen yhtä tonttia laajemmalla alueella hyödyntäen olemassa olevaa jakeluverkkoa. → TEM, Fingrid, Energiavirasto
69. Energiayhteisöjä ja mikroverkkoja kannattaa lisätä myös yhteiskunnan toiminnan turvaamiseksi kriisien aikana. Sähkökriisin kaltaisissa tilanteissa keskeistä on paikallisyhteisöjen ja asiakkaiden oma varautuminen, kuten mahdolliset energiayhteisöjen ja mikroverkkojen saarekekäyttöratkaisut. Energiayhteisöt ja mikroverkot voivat edistää sähköjärjestelmän toimitusvarmuutta kansantaloudellisesti kestäväällä tavalla, ja parantaa samalla paikallista varautumista ja kriisinsietokykyä. Sähkökriisi aiheuttaa monesti ongelmia muun muassa sähköllä toimivalle lämmitykselle, kuten lämpöpumpuille sekä liikenteelle sen sähköistymisen myötä. Energiayhteisöt ja mikroverkot tukevat myös tällaisen sektori-integraation edellyttämää varautumista. → TEM, PLM, Fingrid
70. Energiaratkaisuja, kuten energiayhteisöjä koskevaa lainsäädäntöä tulisi kehittää sektori-integraatiota tukevalla tavalla niin, että energiajärjestelmää tarkastellaan kokonaisvaltaisesti. Tällä hetkellä yksittäisen sektorin lainsäädäntö ja sääntely voivat estää kansantaloudellisesti parhaiden ratkaisujen edistämisen. → TEM, Energiavirasto
71. Energiayhteisöihin liittyvää lainsäädäntöä kehitettäessä tulisi hyödyntää ”sääntelyn hiekkalaatikkomalleja” (*regulatory sandbox*). Niiden kautta voitaisiin edistää kokeilukulttuuria, joka auttaisi löytämään uusia ratkaisuja. Hiekkalaatikkomalleissa hakumenettelyn kautta valitut yritykset pääsisivät kokeilemaan uusia palveluitaan kevennetyillä lupaprosesseilla viranomaisten valvonnassa. → TEM, Fingrid, Energiavirasto
72. Erialaisten energiayhteisöjen suunnittelun, rahoituksen, toiminnan ja sopimuksien parhaista käytänteistä tulee tiedottaa. → Motiva



### 3.3.3. Suositukset: Tieto sähkön kulutuksesta

73. Kulutusta ja kuormia koskevan tiedon tuottamisen ja tilastoinnin tulee olla jatkossa osa energiapoliittista suunnittelua. Suunnittelussa on toistaiseksi keskitytty vuositason energiankäytön kasvuun. Kun tilastointia kehitetään, on syytä yhdistää ilmasto- ja sähkönkulutustilastot massadata-analyyysien keinoin, samalla huolehtien tiedon anonymisoinnista. Näin voidaan käsitellä ilmaston tilassa ja sähkönkulutuksessa havaittuja ääriarvoja joustavasti yhdessä. → TEM, YM, Tilastokeskus, Ilmatieteen laitos, Energiateollisuus ry
74. Yksittäisten kuluttajien sähkönkäytöstä tarvitaan tarkempaa tietoa. Käyttö pitäisi pystyä jakamaan lämmitykseen vaadittavaan energiaan (ja sen joustokykyyn), muuhun välttämättömään sähkönkäyttöön ja ei-välttämättömään sähkönkäyttöön. Tämän tiedon saatavuus rakennusten suunnitteluvaiheessa edistäisi huoltovarmuutta. Esimerkiksi sähkökatkojen aikana turvattaisiin vain välttämätön sähkön tarve. → Tilastokeskus, Energiateollisuus ry, HVK
75. Sähkön vähittäismarkkinoiden keskitetyn tiedonvaihtojärjestelmän (*datahub*) tiedot tulee anonymisoida ja niiden tutkimuskäyttö pitää mahdollistaa. → TEM, Tilastokeskus, Energiateollisuus ry
76. On tuotettava tilastoja siitä, kuinka paljon sähkön eri kulutusmuodot kuluttavat tehona. → TEM, Tilastokeskus, Energiateollisuus ry

## Aiheesta tarkemmin

- Kaivo-oja, Jari; Vehmas, Jarmo & Luukkanen, Jyrki (2021). "Anticipating Future Trends in Energy Transition: Multi-Level Dynamics in Energy Policy Agenda-Setting". Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification. Accelerating the Energy Transition](#), s. 217–246. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Koskela, Juha; Haukkala, Teresa; Aalto, Pami et al. (2019). [Sähkön varastointi edistää aurinkosähkön pientuotantoa](#). EL-TRAN-analyysi 2/2019.
- Kotilainen, Kirsi; Valta, Jussi; Saari, Ulla A. et al. (2021). "From Energy Consumers to Prosumers – How Do Policies Influence the Transition?" Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification: Accelerating the Energy Transition](#), s. 197–216. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Ruostetsaari, Ilkka (2020). "[From Consumers to Energy Citizens: Finns' Readiness for Demand Response and Prosumerism in Energy Policy Making](#)", *International Journal of Energy Sector Management* 14 (6): 1157–1175.
- Ruostetsaari, Ilkka; Kotilainen, Kirsi; Aalto, Pami et al. (2018). [Suomalaiset sähkön käyttäjinä ja tuottajina: valmius kysyntäjoustoon ja omakohtaiseen sähköntuotantoon](#). EL-TRAN-analyysi 4/2018.
- Talus, Kim; Penttinen, Sirja-Leena; Aalto, Pami et al. (2016). [Yksilö energiapolitiikan keskiössä – aurinkoenergian sääntelystä Suomessa](#). EL-TRAN-analyysi 3/2016.

### 3.4. Verkko

Energiajärjestelmän ja yhteiskunnan voimakas sähköistyminen perustuu suureen määrään sääriippuvaa sähköntuotantoa, kun tuuli- ja aurinkovoima yleistyvät. Sähköntuotannon vaihtelevuus edellyttää erilaisia energian varastointi- ja varavoimajärjestelmiä sekä monia muita joustokeinoja. Jo käytettävissä olevien teollisuuden energiankulutuksen joustojen lisäksi tarvitaan järjestelmän eri tasoilla niin energia-, liikenne- kuin rakennussektorinkin joustokeinoja.

Näiden sektorien yhteenkytkentää ja joustokeinojen kokonaisuutta voidaan hallita niin sanotuilla älyverkoilla. Tällaiset älykkäät verkot pystyvät yhdistämään samaan järjestelmään niin sähkön tuotannon suurvoimaloissa kuin hajautetun pientuotannonkin. Järjestelmän kautta hallitaan myös sähkömarkkinoita – sähkön kauppaa ja siihen liittyviä oheispalveluita – sekä energiavarastoja ja energian kulutusta liikenteessä, rakennuksissa ja teollisuudessa. Edistyneen älykkään sähköjärjestelmän hallinta edellyttää investointeja infrastruktuuriin, lainsäädännön ja energiapolitiikan keinojen käyttöä sekä kansalaisyhteiskunnan osallistamista.



### 3.4.1. Suositukset: Verkkoinfrastruktuurin mitoitus ja toimitusvarmuus

77. Toimitusvarmuuden täyttämiseksi verkko on mitoitettava maksimikuormitustilanteen mukaisesti, vaikka keskimääräinen käyttöaste jääkin alhaisemmaksi. Erityisesti harvaan asutuilla alueilla verkon maksimikuormitusta on mahdollista madaltaa aktiivisella verkon hallinnalla, esimerkiksi joustoratkaisuja hyödyntämällä. Sitä kautta verkkoinvestoinnit voivat jäädä alhaisemmiksi. Tiheästi asutuilla alueilla verkon rakentamisessa on pikemminkin varauduttava kuorman nousuun myös siksi, että kaivuusta ja rakennetun ympäristön ennallistamisesta aiheutuu merkittäviä kustannuksia. (Sähkön toimitusvarmuuden tavoitetasoon Suomessa syvennyttään tietolaatikossa alla.) → Fingrid
78. Nykylainsäädäntö sallii enintään kuuden tai 36 tunnin keskeytyksen sähkönjakelussa myrskyistä ja lumikuormista aiheutuviissa vikatilanteissa. Myös laitevioista aiheutuvat keskeytykset tulisi saattaa jakeluverkoille asetettujen toimitusvarmuusvaatimusten piiriin. → Fingrid, Energiavirasto
79. Myös muille ratkaisuille kuin laajamittaiselle maakaapeloinnille tulee luoda tasapuoliset kannusteet täyttää osaltaan toimitusvarmuuskriteerit. Tämä kannattaa toteuttaa verkkoliiketoiminnan valvonnan yhteydessä. Samalla tulee kartoittaa, minne kannattaa rakentaa alueellinen tai paikallinen mikroverkko maakaapeloinnin sijasta. (Mikroverkolla tarkoitetaan tässä teknistä mikroverkkoa, energiayhteisöä tai yksittäisen asiakkaan joustoa.) → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto, Energiateollisuus ry

#### **Sähkön toimitusvarmuuden tavoitetaso Suomen sähköverkossa**

*Toimitusvarmuuden tavoitetaso on määritettävä huolellisesti. Tässä tulee ottaa huomioon*

- a) *siirtomahdollisuudet naapurimaista sekä kysynnän ja tarjonnan kehitys ja epävarmuudet*
- b) *energiapolitiikan muut tavoitteet (muun muassa ilmasto- ja kustannustehokkuustavoitteet)*
- c) *erilaisten tavoitetasojen ja niiden määrittämistapojen vaikutukset toimijoihin*
- d) *tavoitetasojen vaikutukset kulutuksen mahdollisuuksiin joustaa sekä tehostaa joustoja*
- e) *tavoitetasojen juridinen sitovuus ja läpinäkyvyys*
- f) *toimenpiteet tilanteissa, joissa tavoitetasoa ei saavuteta*
- g) *toimitusvarmuus kuluttajille maantieteellisestä sijainnista riippumatta tai riippuen*
- h) *keskeytyksestä asiakkaalle aiheutuvan haitan todelliset kustannukset (optimitason löytämiseksi)*
- i) *eri toimijoiden avoimet ja tarkennetut roolit – toiminnan on oltava kannattavaa, jotta saadaan investointeja*
- j) *millainen tehotasapaino Suomella todellisuudessa on, kun otetaan huomioon jousto- ja varastopotentiaali sekä äärisäätilojen todennäköinen yleistyminen tulevaisuudessa*

### 3.4.2. Suositukset: Energiamarkkinoille osallistumisen helpottaminen

80. Energiamarkkinoille pitää luoda lisää joustoa helpottamalla pienten toimijoiden, kuten aggregaattoreiden osallistumista. Sääntelyn tulee pyrkiä siihen, että kaikki toimijat voivat osallistua kaikille markkinoille. Tarvitaan lisää tutkimusta ja tuotekehitystä, jotta pienet toimijat pääsisivät osallistumaan myös nopeaa toimitusta ja sen varmistusta vaativille markkinoille. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, Business Finland, VNK
81. Erilaisten ratkaisujen kokeilu sähköenergian ja reservien markkinoilla tulee sallia ja siihen tulee kannustaa. Näin löydetään tehokkaimmat toimintatavat. Myyjien roolin on oltava keskeinen. Sekä suurten että pienten toimijoiden ja aggregaattoreiden tulee voida osallistua markkinoille. Uudet, tehokkaat tietotekniset järjestelmät voisivat pienentää osallistumisen kustannuksia. Tällöin myös pieniä tehoja tarjoavat toimijat voisivat osallistua markkinoille suoraan, ilman välikäsiä. Sääntöjen tulee olla samat kaikille ammattimaisesti toimiville tahoille, ja sääntöjen tulee ohjata kokonaisuoptimointiin paikallisen optimoinnin sijaan. Kokeilujen mahdollistaminen edellyttää TKI-toimintaa. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Business Finland, VNK, Energiateollisuus ry
82. Kaukolämpö- ja jäähdytysverkot pitää avata kaikille energian tuottajille sekä kysyntäjoustopuolelta ja varastojen tarjoajille. Liittymisen ja verkon käytön tulee olla kustannusperusteista eli tariffirakenteen tulee vastata kustannusten aiheutumisen rakennetta. → TEM, Energiavirasto

### 3.4.3. Suositukset: Teho ja tehoreservi verkossa

83. Äärisäätilat yleistyvät todennäköisesti tulevaisuudessa. Tämä pitää ottaa huomioon, kun ratkaistaan kulutushuippu- eli tehopiikkiongelmia, kun ennakoita alituotantotilanteita ja kun arvioidaan ääritilanteiden vaikutusta infrastruktuuriin. Pitkän aikavälin aineistot auttavat tässä parhaiten. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Ilmatieteen laitos, Tilastokeskus
84. Kysynnän jousto on jatkossa otettava huomioon huippukulutuksen aikaisen tehotasapainon suunnittelussa. Tässä tulee muistaa kysynnän joustolla aikaansaatavan lyhytaikaisen, esimerkiksi vain muutamien tuntien jouston arvo. Lyhytaikaista joustoa saadaan esimerkiksi kytkemällä lämpöpumppuja pois päältä ja käyttämällä lämpövarastoja. Lisäksi tulee ottaa huomioon esimerkiksi bioenergian ja teollisuuden keskipitkän aikavälin joustot, kuten *power-to-X*-ratkaisujen kyky tarjota viikon tai kahden pituisia joustoja. → TEM, Fingrid, HVK, Kuntaliitto, Bioenergia ry, Metsäteollisuus ry, Teknologiateollisuus ry, Energiateollisuus ry
85. Investoinnit uusiutuviin energialähteisiin lisäävät sähköntuotantoa. Se ei kuitenkaan takaa riittävää tehoa kaikissa tilanteissa. Tästä syystä tehotasapainon arvioimiseen tarvittavia tietoja, kuten tietoja joustoista ja varastoista, tulisi kerätä järjestelmällisesti ja ylläpitää julkisesti Energiaviraston johdolla. → Energiavirasto, Tilastokeskus, HVK, Kuntaliitto, Bioenergia ry, Energiateollisuus ry

### 3.4.4. Suositukset: Kysyntäjoustop edistäminen järjestelmätasolla

86. Kysyntäjoustop tulee edistää tekemällä se joustajalle taloudellisesti mielekkääksi. Tätä varten on perustettava entistä monipuolisemmat joustomarkkinat. Lisäksi on kehitettävä teknisiä valmiuksia, joiden avulla energiaa kuluttavat kohteet ja laitteet saadaan mukaan joustoon. Tarvitaan toimenpiteitä, jotka kehittävät muun muassa reservimarkkinoiden toimivuutta, kohteiden ja laitteiden verkkoliitännävaatimuksia, kulutuksen mittaroinnin vaatimuksia, energiakatselmuksia, jakeluverkkojen mahdollisuuksia hyödyntää asiakkaidensa joustoja, jakeluverkkojen valvontamallia, eri osapuolten tietotasoa, asiakkaiden energiataseen sulkevien mittausten saatavuutta, aikaresoluutioltaan tuntimittausta tarkempien kulutusmittausten saatavuutta, data-analyysseja, vasteiden ennustusta, vakioituja liitännäraja-arvoja, rakennusautomaatiota sekä maiden välistä sähkömarkkinoiden harmonisointia. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, RAKLI ry, STUL ry



### 3.4.5. Suositukset: Sähkön ja sen siirron hinnoittelu

87. Energian määrään perustuva laskutus ei enää riitä. Teho on otettava mukaan kuluttajahinnoitteluun, verkon hallintaan ja sähkömarkkinoille. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry
88. Kun yhteiskunta sääntelee sähkönsiirron hinnoittelua, tulee pyrkiä kohtuulliseen kompromissiin viranomaisvaatimusten ja niistä syntyvien investointitarpeiden välillä. Sijoitetusta pääomasta tulee saada kohtuullinen tuotto. Hintojen on muodostuttava kustannusten pohjalta ja sääntelyn pitää kannustaa tehokkaaseen toimintaan. (Sähköveron kehittämistä pohditaan tietolaatikossa alla.) → Energiavirasto

89. Suuret hintojen vaihtelut kuuluvat tulevaisuuden sähkömarkkinoille. Ne tekevät sekä kulutusjoustosta että sähkövarastoista kannattavia. Tämä puolestaan auttaa tasaamaan kulutushuipputilanteita. Hintavaihteluiden mahdollistamiseksi yhä suuremman osan kuluttajista tulisi ostaa sähkönsä tuntihintaisilla tai muilla vaihtuvahintaisilla sopimuksilla. Sitä voidaan edistää esimerkiksi 'opt-out'-järjestelyillä tai sopimustyyppien hinnoittelulla. Järjestelmän tulisi kuitenkin suojata kuluttajia erittäin korkeilta ajoittaisilta hinnoilta, elleivät he erityisesti halua sopimusta, joka mahdollistaa ne. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, Isännöitsijäliitto, Kiinteistöliitto, Omakotiliitto
90. Sähkön siirron hinnoittelun tulisi olla kustannusperusteista. Kustannuksia aiheutuu verkon rakentamisesta ja ylläpidosta, muttei juurikaan käytöstä. Käytännössä suurimman osan siirtomaksuista tulisi tällöin olla vuosiperusteisia. Kuitenkin jos verkon kapasiteetti ei joinain ajankohtina ole riittävä, pitäisi tätä niukkuutta voida hinnoitella, jotta jakeluverkoissa oleva joustavuus olisi mahdollista saada käyttöön ja siten välttää tai viivästyttää kalliita verkkoinvestointeja. Myös jakeluverkoissa tuotettavaa sähköä tulisi kohdella samoilla perusteilla. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry
91. Energian hinnoittelun uudistuksissa tulee pyrkiä siihen, että sähkön ja lämmön hinnat vaihtelevat päästöjen ja tehontarpeen mukaan. Tätä edesauttavat päästöoikeuksien kallistuminen samoin kuin älykkäät ohjausratkaisut erityisesti uusissa rakennuksissa sekä lämmityskustannusten ajallinen vaihtelu. → TEM, YM, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto, RAKLI ry, STUL ry
92. Energiayhtiöiden tulee luopua kaksiaikatariffeista. Kuluttajille on tarjottava kysyntäjoustoa paremmin edistäviä vaihtoehtoja, ja niistä on tiedotettava riittävästi. Jotta kaksiaikatariffeista voidaan luopua, sähkön vähittäismyyjät ja joustojen aggregoijat tulee ohjata kehittämään tuotteistaan ja työkaluistaan sellaisia, että he tietävät ohjausvasteensa etukäteen. Näin he voivat hyödyntää ohjausvasteitaan kannattavasti, laajassa mittakaavassa ja ilman pelkoa tasevirheiden kasvamisesta. Samalla reservimarkkinoita tulee kehittää kysyntäjoustotuotteille sopivammiksi. Sääntelystä on eniten hyötyä passiivisten kuluttajien aktivoimisessa. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry, Motiva
93. Sähkölämmityksen ohjauksessa tulisi hyödyntää reaaliaikaista hintaohjausta. → TEM, Fingrid, Energiavirasto, Kuntaliitto, Energiateollisuus ry, RAKLI ry, STUL ry
94. Korkeaa energiankulutusta ylläpitäviä rakenteellisia tukia pitää vähentää asteittain. Näitä tukia ovat esimerkiksi energiantensiivisen tuotannon verotuki ja päästökauppatuki. Tukien vähentämisestä seuraavan 'luovan tuhon' kompensoimiseksi voidaan hyödyntää tutkimus-, kehitys- ja innovaatioitoimenpiteitä sekä uudelleen koulutusta. → TEM, YM, VM, Business Finland, VNK



### **Miten sähkövero voidaan kehittää?**

Sähkön loppukäyttäjä maksaa sähköveron sekä siitä perittävän arvonlisäveron sähköverkkoyhtiölle verkkopalvelumaksussaan. Koska sähkövero on luonteeltaan valmistevero, se liittyy käsitteellisesti enemmän sähkön tuottamiseen kuin siirtämiseen, vaikka se peritäänkin verkkopalvelumaksun yhteydessä. Olisi luontevampaa, että vero kohdistuisi sähköenergian myyntiin, eli vähittäismyyjän tuotteeseen, vaikka verotus perustuisikin edelleen kulutetun sähköenergian määrään ja kahteen kiinteään veroluokkaan.

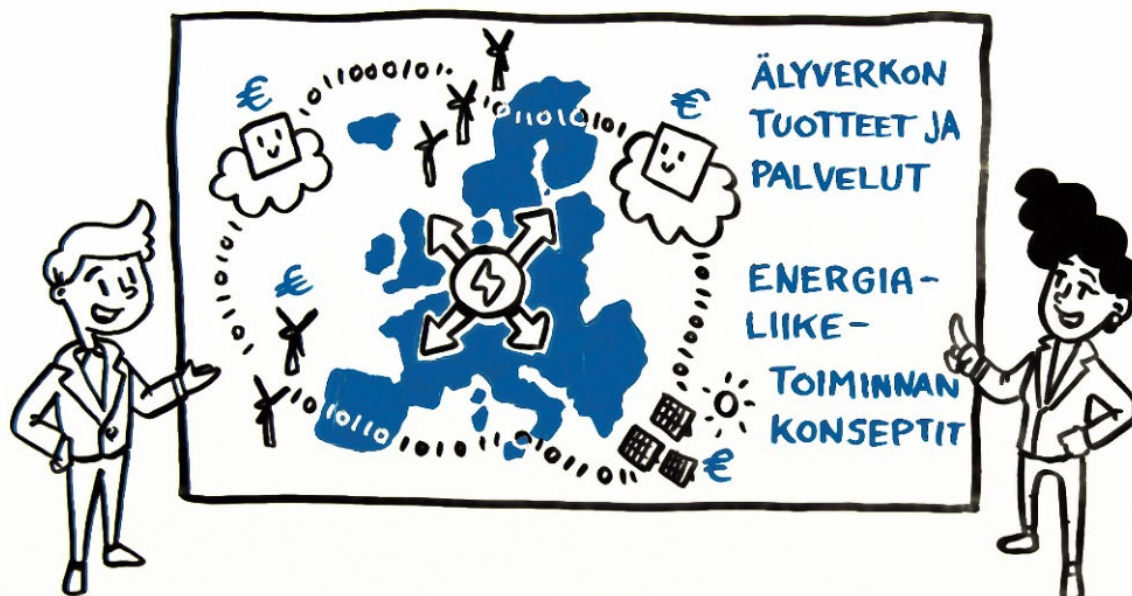
Verotus voitaisiin toteuttaa käytännössä keskitetyn tiedonvaihtojärjestelmän eli datahubin mittausten pohjalta sähkön myyntiin liittyvän laskutuksen yhteydessä. Datahubiin kootaan tulevaisuudessa tuntienenergiamittaukset kaikilta sähkön vähittäismyyjien asiakkailta. Kantaverkkoyhtiö voisi toimia veron kantamisesta vastaavana verovelvollisena. Se keräisi sähkön myyjiltä vakuuden veron perimiseen liittyvän riskin poistamiseksi. Vakuuden toimitettuaan sähkön vähittäismyyjät saisivat oikeuden datahubin mittaustietojen käyttöön toiminnassaan. Samalla olisi mahdollista vaikuttaa kyseenalaisia menetelmiä käyttävien sähkömyyntiyhtiöiden toimintaan sähkömarkkinoilla.

Sähkön vähittäismyyjän tuotteen yhteydessä perittävä sähkövero olisi ymmärrettävämpi ja antaisi paremman kannusteen energiatehokkuuteen. Se myös selkiyttäisi asiakkaille verkkoyhtiön ja sähkön vähittäismyyjän rooleja. Nykyinen verkkopalvelumaksun yhteydessä kerättävä sähkövero on asiakkaiden näkökulmasta hämmentävä. Se kasvattaa verkkoyhtiölle maksettavaa kiinteää summaa, kun taas sähkön vähittäismyyjälle energian käytöstä maksettava summa jää monesti suhteessa hyvinkin pieneksi. Sähkön vähittäismyyjän tuotteessa mukana oleva sähkövero selkiyttäisi myös erilaisten energiayhteisöjen oman sähköntuotannon hyödyntämiseen liittyviä verotuskysymyksiä.



## Aiheesta tarkemmin

- Heljo, Juhani; Harsia, Pirkko; Holttinen, Hannele et al. (2016). [Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa?](#) EL-TRAN-analyysi 7/2016.
- Repo, Sami; Holttinen, Hannele; Björkqvist, Tomas et al. (2021). “Toward Smarter and More Flexible Grids”. Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [Electrification. Accelerating the Energy Transition](#), s. 125–148. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Talus, Kim; Huhta, Kaisa; Aalto, Pami et al. (2016). [Miten sähkön siirtohintoja voidaan korottaa? Kansainvälisen investointioikeuden näkökulma.](#) EL-TRAN-analyysi 2/2016.
- Uski, Sanna; Aalto, Pami; Forssén, Kim et al. (2018). [Mikroverkkojen mahdollisuuksista sähkön toimituksen luotettavuuden parantajana.](#) EL-TRAN-analyysi 3/2018.



#### 4. Kansainvälinen yhteistyö ja vientimahdollisuudet

Suomi pyrkii lisäämään uusiutuvan energian tuotantoa ja kehittämään älykkään, sektorit yhdistävän, ilmastoneutraalin sähköjärjestelmän. Energiamurrosta kiihdytettäessä ei kuitenkaan voi eikä kannata toimia vain valtion rajojen sisällä. Erilaisia energiasiirtymän vaiheita läpikäydessään Suomi on sidoksissa Euroopan ja Pohjoismaiden energiapolitiikkaan ja -markkinoihin. Suomi on osa Euroopan unionin asteittain yhentyviä energiamaarkkinoita, joilla on tarjolla yhä enemmän uusiutuvaa, kohtuuhintaista, pohjoiseurooppalaista sähköä. Sähköntuotanto vaihtelee tulevaisuudessa yhä enemmän sään ja vuodenajan mukaan. Suomen sähköntuotannon ei tarvitse olla joka hetki omavaraista, vaan meidän kannattaa ottaa kaikki hyöty irti yhdyntävistä sähkömarkkinoista ja sähköverkoista. Samalla voimme pitää yllä kohtuullisia valmiuksia toimia kriisitilanteissa. Tätä ilmastoneutraalien sähkömarkkinoiden kehitystä ja yhdyntymistä tukee EU:n vihreän kehityksen ohjelma.

Kun rajat ylittävä sähkökauppa lisääntyy ja sähköjärjestelmien keskinäisriippuvuus kasvaa, kasvavat myös yhteistyön ja ennakoinnin tarpeet. Nykyään valtiot tekevät omat energiapolitiittiset ratkaisunsa ja yritykset päättävät investoinneistaan infrastruktuuriin. Kasvava osuus energiayrityksistä on monikansallisia. Niiden päätökset vaikuttavat yhteisillä markkinoilla tarjotun sähkön määrään ja toimitusvarmuuteen. Kansalliset ratkaisut puolestaan vaikuttavat myös joustoresursseihin, kuten energiavarastoihin ja kulutusjoustoihin. Vaihtelevaa tuotantoa sisältävässä järjestelmässä joustoresursseja tarvitaan entistä

enemmän. Kun sähköistyminen etenee, joustoja on saatavilla myös sektorikytkennän kautta liikenteestä, rakennuskannasta sekä teollisuudesta.

Tällä hetkellä kansallisista energiaverkoista ja sääntelystä vastaavat viranomaiset koordinoivat kansainvälistä yhteistyötä. Tämän lisäksi tarvitaan kuitenkin laajempi foorumi pohjoismaiseen ja pohjoiseurooppalaiseen yhteistyöhön. Foorumin tulee jäsenistönsä kautta kattaa myös energiapoliittinen strategiatyö, suunnittelu sekä investoinnit infrastruktuuriin. Lisäksi koordinaatiossa tarvitaan joustoon liittyviä liikenteen, rakennusten ja teollisuuden avaintahoja. Työtä tulee tehdä avoimilla suunnitteluvälineillä ja avoimen datan pohjalta. EU-tason koordinointi energiaunionin viitekehyksessä on hyvä lähtökohta, mutta mukaan tarvitaan kaikki pohjoiseurooppalaisen sähköjärjestelmän keskeiset toimijat, mukaan lukien Norja. Energiaunionin kahden vuoden koordinoituväli on myös liian laava.

Energiamurros on maailmanlaajuinen ilmiö. Sen läpikäymisessä tullaan tarvitsemaan paljon osaamista, konsepteja ja teknologiaa. Suomen kannattaakin panostaa ilmastoneutraalin sähköjärjestelmän kehittämiseen niin, että samalla syntyy myös vientiteknologiaa, työpaikkoja ja vientituloja. Suomen kokemusta alueellisten ja kansainvälisten sähköverkkojen, sähkömarkkinoiden sekä energiasaarekkeiden ja -yhteisöjen kehittämisestä kannattaa hyödyntää myös viennissä.

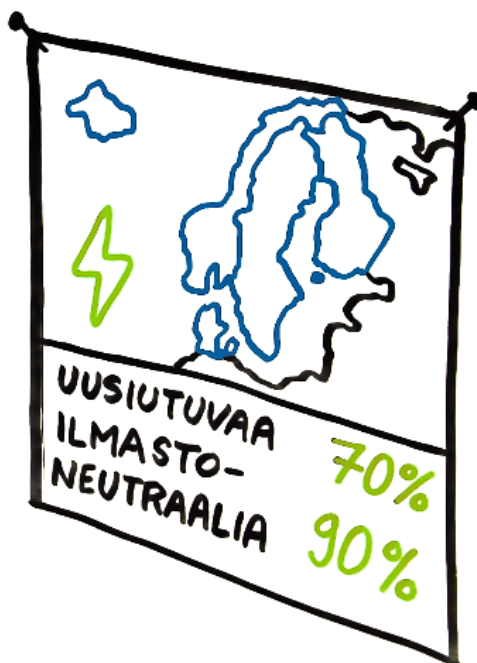
Maailmanlaajuinen energiamurros sisältää paitsi sähkön, teknologian ja raaka-aineiden, niin myös datan virtoja rajojen yli. Energiamurros kytkeytyy näin ollen läheisesti tieto- ja viestintätekniikan murrokseen, jossa alustatalouden toimintamallit ovat keskeisiä. Alustoissa tärkeää on niiden arkkitehtuuri ja siihen kytkeytyvät sovellukset. Alustojen toimivuus perustuu massadataosaamiseen ja massadatan reaaliaikaiseen analyysiin.

Tämän vuoksi Suomessa on syytä panostaa datan saatavuuden turvaamiseen ja tiedon tehokkaaseen hyödyntämiseen. Käytännössä tämä tarkoittaa keinoälyosaamista ja harkittua algoritmien kehitystyötä. Alustatalouden ekosysteemit muuttuvat, ja tätä kehitystä on syytä seurata tarkasti myös Suomessa. Erytisen tärkeitä alueita energiateollisuuden kannalta ovat ”digitaalinen kaksonen” (*Digital Twin*) -sovellukset ja yhteistyörobotiteknikat (*cobot, collaborative robot*) teollisuudessa. Suomi on vuonna 2017 luonut ensimmäisten EU-maiden joukossa tekoälystrategian, johon nyt käynnistettävä Tekoäly 4.0 -ohjelma perustuu. Ohjelmassa tekoälyteknologiat yhdistyvät laajaan joukkoon muita digitaalisia teknologioita, kuten esineiden internet, 3D-tulostus, robotiikka, kvanttilaskenta sekä virtuaalinen ja lisätty todellisuus. Tekoäly 4.0 -ohjelman kytkeytyminen sähköistymiseen ja sen edellyttämään teknologiaosaamiseen on syytä varmistaa Suomessa.

#### 4.1. Suositukset: Pohjoiseurooppalaiset sähköverkot ja -markkinat

95. Suomen tulee tehdä aloite laajapohjaisen pohjoismaisen ja pohjoiseurooppalaisen sähköistymisfoorumin perustamisesta. Foorumin jäseniksi halutaan sähkönsiirron kantaverkkoyhtiöiden ohella viranomaisia ja energiapolitiikasta vastaavia toimijoita. Siihen tulee kuulua myös energiantuotantolaitoksia rakentavia yrityksiä sekä tuotantoa rahoittavia sijoittajia ja sijoitusrahastoja. Foorumin avulla investointeja saadaan ohjattua lupaavimmille alueille, jolloin infrastruktuurista saadaan mahdollisimman ilmastoneutraali ja kustannustehokas. → UM, TEM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry
96. Pohjoismaisen ja pohjoiseurooppalaisen yhteistyö tulee ulottaa kysyntäjousten toteutustapoihin niin sanottujen sektorikytkentöjen alueella. Kysyntäjoustoista tarvitaan pohjoismaisen tason tutkimusta. Niihin liittyen tarvitaan myös yhteisiä testihankkeita ja koordinoitua. Yhteistyön tavoitteena olisi muun muassa kehittää määräyksiä rakennusten energiatehokkuudesta ja rakennusten hyödyntämisestä lämpövarastoina. Lisäksi kehitettäisiin sähkökäyttöisiin ajoneuvoihin perustuvan liikenteen ratkaisuja jousten ja energiavarastojen toteuttamiseksi sekä

kulutushuippujen hallitsemiseksi. → UM, TEM, YM, LVM, Fingrid, Energiavirasto, Energiateollisuus ry



97. Tulevaisuuden ratkaisut tehdään tiedon perusteella. Siksi pohjoismaisessa ja eurooppalaisessa yhteistyössä tulee pyrkiä varmistumaan siitä, että vertailukelpoista tilastotietoa on avoimesti saatavilla kaikille halukkaille. Mittauskohteiden ja mittayksiköiden on oltava vertailukelpoisia myös Norjan osalta. → UM, TEM, YM, Tilastokeskus, Energiateollisuus ry
98. Energiatutkimuksen rahoituksessa on suositettava paitsi uusien ratkaisujen kehittämistä myös monitieteistä, koko yhteiskunnan tarpeet huomioon ottavaa energiaturkimusta sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa. → OKM, SA, Business Finland, VNK
99. Pohjoismaista yhteistyötä kannattaa ohjata suoran sähköistymisen ohella biokaasu- ja "sähköstä kaasuksi" (*Power-to-Gas, P2G*)-ratkaisujen rajat ylittävän toimivuuden selvittämiseen ja edistämiseen. Nämä ratkaisut tarjoavat erityisen arvokasta varastointikapasiteettia, ja Pohjoismailla on näillä alueilla toisiaan tukevaa osaamista. Yhteistyö on tarpeen, sillä Pohjoismaiden väliset erot ovat suuria muun muassa kaasuväylojen osalta. → UM, TEM, MMM, LVM, Luke, Energiateollisuus ry, Teknologiateollisuus ry, Metsäteollisuus ry
100. Sähköistä liikennettä on kehitettävä yhteistyössä Pohjoismaiden kesken käyttäen hyväksi maiden toisiaan täydentävää osaamista. Norjan innostus sähköisen liikenteen kehittämiseen, Ruotsin vahva autoteollisuus sekä Suomen ja Tanskan osaaminen verkkoautomaation alalla antavat hyvät lähtökohdat yhteistyölle. Yhteistyö voidaan ulottaa myös tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaan, joka pyrkii sähköautojen integroimiseen sähköverkkoon (*Vehicle-to-Grid, V2G*) ja niiden liittämiseen kotien älykkäisiin sähköverkkoihin (*Vehicle-to-Home, V2H*). V2G-kysymyksissä tarvitaan verkosta vastaavien viranomaisten sekä verkko-yhtiöiden yhteistyötä. V2H-kysymyksissä yhteistyöhön on saatava mukaan kansainvälisesti

toimiva rakennussektori, jotta toimeenpanosta tulee tehokasta ja nopeaa. → UM, TEM, LVM, OKM, Fingrid, Energiavirasto, Business Finland, SA, Energiateollisuus ry, Autoalan keskusliitto, Teknologiateollisuus ry, RAKLI ry

101. EU:n energiatehokkuustavoitteita voisi tulkita yhteisesti pohjoismaisella tasolla. Tämä vauhdittaisi parannuksia rakentamisen ja peruskorjaamisen energiatehokkuudessa. Parhaita käytäntöjä ja konsepteja voitaisiin kehittää yhdessä, ja yhteispohjoismaisilla markkinoilla toimivat rakennusyhtiöt voisivat ottaa ne käyttöön nopeutetussa rytmissä. → UM, YM, RAKLI ry

## 4.2. Suositukset: Suomen vientimahdollisuudet

102. Pohjoismailla on runsaasti kokemusta alueellisten ja kansainvälisten sähköverkkojen ja sähkökaupan kehittämisestä. Kokemusta on paljon myös uusiutuvaan energiaan ja sähköistymiseen perustuvan energiamurroksen teknologioiden ja ratkaisujen kehittämisestä. Tätä kokemusta tulee vahvistaa ja tarjota aktiivisesti hyödynnettäväksi myös muualla Euroopassa ja maailmassa niin konseptien kuin teknologiainkin osalta. → Business Finland, Energiateollisuus ry, Teknologiateollisuus ry
103. On syytä seurata valppaasti, miten energiapoliittinen keskustelu ja kehitys etenee Venäjällä ja muissa maissa, jotka saattavat vielä suhtautua varauksella uusiutuvaan energiaan ja sähköistymiseen perustuvaan energiamurrokseen. Tämä vaatii myös tieteellistä tutkimusta. Uusia vientimahdollisuuksia voidaan luoda aktiivisesti, ja useita lupaavia markkinoita on jo olemassa Suomen kehitysyhteistyön kumppanialueilla erityisesti Aasiassa ja Afrikassa. Energia-alan koulutusvientä on tärkeä kehitettävä alue, jolla Suomen yliopistoilla ja tutkimuslaitoksilla on paljon mahdollisuuksia. Koulutusvientiä voidaan toteuttaa ilman ilmastoa kuormittavaa lentoliikennettä uusien virtuaalisen ja lisätyn todellisuuden teknologioiden avulla. → UM, OKM, TEM, SA, Business Finland, VNK, yliopistot, korkeakoulut, tutkimuslaitokset
104. Business Finlandin ja ulkoministeriön tulee käydä strategiakeskustelu energia-alan vientimahdollisuuksien edistämiseksi. Business Finlandin startup-tuet voisivat suosia maailmanlaajuisen toimijuuden tavoittelua eli *Born global* -konseptia. Business Finlandin ohjelmien ja Suomen Akatemian perustutkimusrahoituksen välillä on nykyisellään aukko, jota voidaan paikata tutkimusosaamisen viennillä muihin maihin sekä tiedonvaihdolla. Tämä edellyttää innovatiivisten liiketoimintamallien, rahoitusratkaisujen ja ekosysteemien luomista, samoin kuin hankinta-, integrointi- ja palveluosaamista. Yhteistyötä yritysten välillä tulee edistää samalla. → UM, OKM, Business Finland, SA
105. Demonstraatio- ja testihankkeilla voidaan luoda referenssejä konseptien ja teknologisten ratkaisujen vientiin. Tämä edellyttää myös panostusta markkinointiin. Lupaavia vientialueita on muun muassa älykkäiden sähköverkkojen saralla – esimerkiksi verkon havainnointi (*observability*) sekä verkossa olevien laitteiden kontrollointi halutussa paikassa tarpeen mukaan. Lisäksi vientipotentialiaa on älykkäiden kaupunkien ja rakennuksien (*smart cities and buildings*) alalla sekä energiasaarekkeissa ja -yhteisöissä, jotka ovat energia- ja teho-omavaraisia ja hyödyntävät paikallista, uusiutuvaa energiaa. → UM, TEM, YM, OKM, Business Finland, Energiateollisuus ry, Teknologiateollisuus ry

106. Suomen tulee kirkastaa vientipyrkimysten tavoitetaso bioenergian alueella. Tämän sektorin tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimenpiteiden tulee suuntautua nestemäisten biopolttoaineiden kehittämiseen erityisesti lento- ja laivaliikennettä varten. Samalla toimenpiteissä tulee ottaa huomioon sähköllä valmistettavien polttoaineiden kehitys ja kehittäminen. Vientituotteita kehitettäessä tulee muistaa ottaa huomioon EU-tason sääntely hiilinieluista ja puun käytöstä. → UM, MMM, LVM, Business Finland, Metsäteollisuus ry
107. Tarvitaan poliittista keskustelua siitä, kuinka paljon metsäteollisuuden sallitaan laajentua Suomessa: Missä määrin suomalainen metsäteollisuus käyttää kotimaisia raaka-aineita ja missä määrin ulkomaisia? Tuotetaanko sellua vientiin? Mitkä ovat ilmastovaikutukset, mikäli hakkuut siirretään muualle? Mikä on muiden biotuotteiden osuus metsäteollisuuden viennistä jatkossa? → TEM, YM, MMM, VNK, Metsäteollisuus ry
108. Kotimaisten metsien eli puupohjaisen biomassan hallinnoinnissa kannattaa hyödyntää massadataratkaisuja. Näin biodiversiteettiä ja biopääomaa muokkaavia konsepteja, ratkaisuja ja liiketoimintaa voidaan arvioida rationaalisesti ja monipuolisesti. Tällainen työkalu voidaan myös kehittää vientituotteeksi. → UM, TEM, MMM, Business Finland, Metsäteollisuus ry, Teknologiateollisuus ry

## Aiheesta tarkemmin

- Aalto, Pami; Harsia, Pirkko; Heljo, Juhani et al. (2016). [Pohjoismaiden energiapolitiikka 2030: hiilineutraalimpaan energiajärjestelmään osin yhdessä, osin eri polkuja pitkin](#). EL-TRAN-analyysi 4/2016.
- Kaivo-oja, Jari; Kuusi, Osmo; Knudsen, Mikkel Stein et al. (2020). ["Digital Twin: Current Shifts and Their Future Implications in the Conditions of Technological Disruption"](#), *International Journal of Web Engineering and Technology* 15 (2): 170–188.
- Kaivo-oja, Jari; Lauraéus, Theresa & Knudsen, Mikkel Stein (2020). ["Picking the ICT Technology Winners – Longitudinal Analysis of 21<sup>st</sup> Century Technologies Based on the Gartner Hype Cycle 2008–2017: Trends, Tendencies, and Weak Signals"](#), *International Journal of Web Engineering and Technology* 15 (3): 216–264.
- Kilpeläinen, Sarah; Aalto, Pami; Toivanen, Pasi et al. (2020). [Nordic Stakeholder Views on How to Develop the Energy System by 2030](#). EL-TRAN Policy Brief 2/2020.
- Knudsen, Mikkel Stein & Kaivo-oja, Jari (2020). ["Collaborative Robots: Frontiers of Current Literature"](#), *Journal of Intelligent Systems: Theory and Practice* 3 (2): 13–20.
- Knudsen, Mikkel Stein; Kaivo-oja, Jari & Lauraéus, Theresa (2019). ["Enabling Technologies of Industry 4.0 and Their Global Forerunners: An Empirical Study of the Web of Science Database"](#). Teoksessa Uden, Lorna; Ting, I-Hsien & Corchado, Juan Manuel (toim.), *Knowledge Management in Organizations*. Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Knowledge Management in Organizations. Communications in Computer and Information Science volume 1027. Cham: Springer.
- Kuosmanen, Pauli (toim.); Villman, Tero (toim.); Annanperä, Elina et al. (2021). ["From Industry X to Industry 6.0: Antifragile Manufacturing for People, Planet, and Profit with Passion"](#), *Future Watch White Paper 5/2021*. Business Finland and Allied ICT Finland.
- Penttinen, Sirja-Leena; Aalto, Pami & Haukkala, Teresa (2020). [EU Electricity Market Reform and the Adoption of the Clean Energy Package Addressing System Flexibility](#). EL-TRAN Policy Brief 1/2020.
- Talus, Kim; Penttinen, Sirja-Leena; Aalto, Pami et al. (2017). [Energy Union, Renewable Energy and the 'Winter Package'](#). EL-TRAN Policy Brief 2/2017.
- Toivanen, Pasi; Aalto, Pami; Kojo, Matti et al. (2019). [Bioenergia ilmastonmuutoksen torjunnassa – suomalaisten avaintoimijoiden näkemyksiä](#). EL-TRAN-analyysi 1/2019.



## 5. Loppusanat: Onko sähköistymiselle vaihtoehtoja?

Energiapoliittisessa keskustelussa esitetään toisinaan, että vaihtoehtoja uusiutuvaan energiaan perustuvalla sähköistymiselle olisivat esimerkiksi hiilen sidonta ja varastointi, sekä hiilen sidonta ja varastointi yhdistettynä hiilen uusiokäyttöön. Lisäksi puhutaan vetytaloudesta, synteettisistä polttoaineista ja pienistä, modulaarisista ydinreaktoreista.

Hiilen sidontaa ja varastointia (*Carbon Capture and Storage, CCS*) hyödyntävien teknologioiden käyttöä Suomessa rajoittaa luonnollisten geologisten hiilivarastojen puute. Maailman mittakaavassa CCS-tekniikoita ei myöskään voida hyödyntää fossiilisen polttoaineiden energiakäytön jatkamiseen loputtomasti, koska tarvittavia hiilivarastoja ei ole läheskään riittävästi. Hiilen sidonta ja varastointi yhdistettynä hiilen uusiokäyttöön (*Carbon Capture, Utilisation and Storage, CCUS*) puolestaan nojaa energiantuotannossa niin sanottuun tuplainfrastruktuuriin: siinä käytetään ensin resursseja saastuttavan polttoaineen tuottamiseen ja myöhemmin tuon saastuttavan tuotannon aiheuttamien haittojen vähentämiseen hiilen talteenoton ja uusiokäytön infrastruktuureilla ja teknologioilla. CCUS-tekniikat perustuvat epäsuoraan sähköistymiseen eli laajamittaiseen, mieluiten hiilineutraalin sähkön käyttöön hiilen uusiokäytössä syntyvien kemikaalien, materiaalien ja tuotteiden valmistamiseksi. Vaikka CCS- tai CCUS-tekniikat eivät yksinään ratkaise Suomen tai maailman energiaongelmia, niille on useita sopivia, rajattuja käyttötarkoituksia esimerkiksi teollisuuden päästöjen vähentämisessä. Näin ollen ne voivat joissakin maissa olla tärkeä osa ratkaisua.

Energiajärjestelmän mallinnus osoittaa, että kun halutaan eron viimeisistäkin fossiilista polttoaineista, on alettava tuottaa sähköpolttoaineita tai muita kemikaaleja. Vedyn tuottaminen on tämän prosessin ensimmäinen askel ja siten keskeinen. Laajamittaisen vetyinfrastruktuurin kehittämiseen liittyy paljon epävarmuuksia kuljettamisen, kustannusten ja varastoinnin osalta, mutta näitä ongelmia voidaan helpottaa hyödyntämällä ja tarvittaessa muuntelemalla nykyisen maakaasuinfrastruktuurin osia. Vetyä kannattaa todennäköisesti jalostaa metaaniksi ja nestemäisiksi polttoaineiksi, joita on erityisen edullista varastoida. Energiamäärät, jotka kulkisivat tätä reittiä pitkin, olisivat kuitenkin suhteellisen pieniä. Suurin osa energiasta käytetään lämmön, tieliikenteen ja teollisuuden aloilla.

Vetytalous voi perustua kestävästi ainoastaan sähkөөn, joka on tuotettu ilmastoneutraalisti ja mieluiten uusiutuvasti. Vaikka useat fossiilisen energian tuotantoon erikoistuneet yritykset tulevat tarjoamaan markkinoille niin sanottua harmaata (fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa) ja sinistä (fossiilisten polttoaineiden CCUS-käsittelyyn perustuvaa) vetyä, energiaratkaisut Suomessa tai EU:ssa eivät voi kestävästi nojautua näihin. Koska myös energiahäviöt ovat vedyn tuotannossa huomattavia, kannattaa vetyä käyttää pääasiassa rajatuissa, polttoaineen varastointia vaativissa kohteissa, joissa suoran sähkön käyttö on vaikeaa. Paikallinen vedyn tuotanto ja kulutus voi myös tarjota mahdollisuuksia muun muassa metalliteollisuuden päästöjen vähentämiseen. Vetytalouden ohella myös synteettisten polttoaineiden tuotanto tarvitsee paljon edullista, uusiutuvasti tuotettua sähköä. Tämän vuoksi synteettisiä polttoaineita tulisi käyttää vedyn tapaan ainoastaan rajatuissa kohteissa, joissa polttoainetta pitää varastoida ja joita ei voida sähköistää suoraan – ei siis esimerkiksi henkilöautoliikenteessä.

Pienet, modulaariset ydinreaktorit (*Small Modular Reactors*, SMRs) puolestaan tulevat vaatimaan lisensointia ja lupia, ja pahentavat jo hyvin tunnettuja käytetyn ydinpolttoaineen varastointi- ja käsittelyongelmia, vaikka niiden säteilytasot ovatkin matalampia kuin perinteisissä ydinvoimaloissa. Muun muassa tuuli- ja aurinkoenergiaa voidaan tuottaa edullisemmin ja pienemmällä ympäristöjalanjäljellä kuin ydinenergiaa pienreaktoreilla. Siksi näiden reaktoreiden hyödyt sähköntuotannossa jäänevät maailmanlaajuisesti pieniksi. Pikemminkin niistä voisi olla hyötyä paikallisesti esimerkiksi joustavan tehontuotannon tarpeiden tyydyttämisessä, mikäli ne hyväksytään paikallisesti. Näiden joustojen toteutuksessa SMR-reaktorit tosin ovat vain yksi ratkaisu vesivoiman, bioenergian, sähköautojen, kulutusjoustojen, *power-to-X*-teknologioiden ja muiden energiavarastojen sekä rajat ylittävien sähkömarkkinoiden ohella. EL-TRAN-konsortion mallinnuksen perusteella pelkästään lämmön tuotantoon tarkoitettut SMR-reaktorit voisivat ottaa pienen markkinaosuuden vuoteen 2030 mennessä, erityisesti jos sähkönsaanti Venäjältä pienenee vähentäen sähköä käyttävien lämpöpumppujen osuutta lämmityksestä; samoin vuoteen 2050 mennessä, mikäli päästöoikeuksien hinnat ovat verrattain alhaiset. Lämpöpumppu- ja bioenergiaratkaisut olisivat kuitenkin kaikissa tutkituissa skenaarioissa merkittävämpiä kuin SMR-reaktorit.

Edellä käsitellyjä vaihtoehtoja uusiutuvaan energiaan perustuvalla sähköistymiselle ei tule rajoitteistaan huolimatta hylätä, ja moni niistä voi toimia osaratkaisuna. Ne eivät kuitenkaan voi tarjota samoja mittakaavaetuja kuin suora sähköistyminen, jonka on oltava pääasiallinen ratkaisu. Uusiutuvaan energiaan perustuvan sähköistymisen ratkaisut ovat myös jo pidemmälle kehittyneitä, tehokkaampia ja edullisempia. Uusiutuvaan energiaan perustuva sähköistyminen on kaiken kaikkiaanärkevin ratkaisu, kun tavoitteena on muuttaa koko energiajärjestelmä ilmastoneutraaliksi.

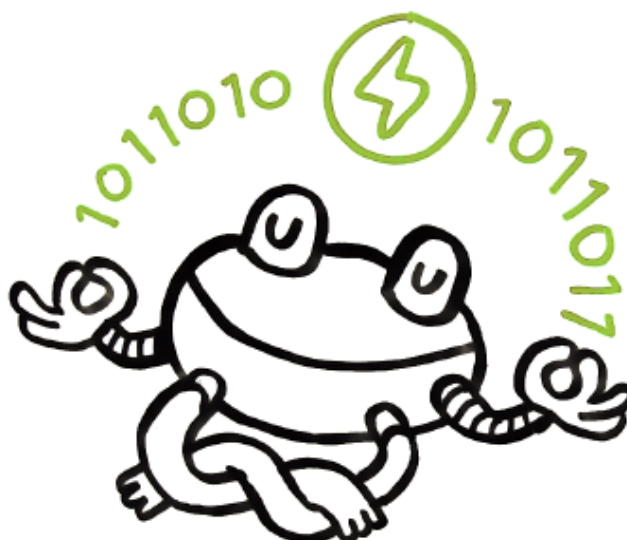


## Aiheesta tarkemmin

- Björkqvist, Tomas; Majanne, Yrjö & Vilkkö, Matti (2021). "How to Combine Various Solutions in a National Context". Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [\*Electrification. Accelerating the Energy Transition\*](#), s. 247–270. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Lehtonen, Juha (toim.); Järnefelt, Vafa (toim.); Alakurtti, Sami et al. (2019). "[The Carbon Reuse Economy: Transforming CO<sub>2</sub> from a Pollutant into a Resource](#)". VTT Technical Research Centre of Finland.
- Muth, Carl Johannes; Aalto, Pami; Mylläri, Fanni et al. (2021). "Globally and Locally Applicable Technologies to Accelerate Electrification". Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [\*Electrification. Accelerating the Energy Transition\*](#), s. 25–56. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Pursiheimo, Esa & Kiviluoma, Juha (2021). "Analysing Electrification Scenarios for the Northern European Energy System". Teoksessa Aalto, Pami (toim.), [\*Electrification. Accelerating the Energy Transition\*](#), s. 271–288. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.

## Kiitokset

EL-TRAN-konsortio kiittää lämpimästi kaikkia sen vuorovaikutuspaneelin tilaisuuksiin osallistuneita asiantuntijoita, joiden panos hankkeeseen oli korvaamaton: Sauli Antila (Caruna Oy), Marja Englund (Fortum Oyj), Tero Era (Fortum Oyj), Tage Fredriksson (Bioenergia ry), Tuomas Harju (Fortum Oyj), Ville Hellman (Omavahti Oy), Timo Holmberg (Rejlers oy), Markku Hyvärinen (Helen Oy), Vesa Hälvä (Elenia Oy), Kenneth Hänninen (Energiateollisuus ry), Tommy Jacobson (CLIC Innovation), Matti Järvinen (Valmet Oyj), Pekka Kalliomäki (Ympäristöministeriö), Tiina Karppinen (Energiavirasto), Jouni Keronen (Climate Leadership Council), Juho Korteniemi (OECD/IEA), Petteri Kuuva (Työ- ja elinkeinoministeriö), Olli-Heikki Kyllönen (Sähkö- ja telealan urakoitsijat ry), Bettina Lemström (Työ- ja elinkeinoministeriö), Martti Luukko (Kuluttajaliitto ry), Sarianna Mankki (Eduskunta), Jussi Matilainen (Fingrid Oyj), Jukka Metsälä (Gasum Oyj), Pasi Muurinen (Tampereen sähkölaitos Oy), Minna Näsman (CLIC Innovation), Mauno Oksanen (Leppäkosken energia Oy), Carita Ollikainen (Valmet Oyj), Tatu Pahkala (Työ- ja elinkeinoministeriö), Vesa Peltola (Motiva), Maarit Pihlajaniemi (Fortum Oyj), Kai Puustinen (Sähkö- ja teleurakoitsijoiden liitto ry), Jouni Pylvänäinen (Elenia Oy), Matti Rautanen (Valmet Oyj), Pekka Ripatti (Energiavirasto), Veli-Pekka Saajo (Energiavirasto), Pia Saari (CLIC Innovation), Pia Salokoski (CLIC Innovation), Kaija Savolainen (Omakotiliitto ry), Jan Segerstam (Empower Oy), Bengt Söderlund (Caruna Oy), Janne Tähtikunnas (Omakotiliitto ry), Heikki Uusitalo (ABB Oy), Matti Vaattovaara (ABB Oy), Julia Vainio (NATO Energy Security Centre of Excellence), Antero Vartia (Eduskunta), Harri Vatanen (Qitec Oy), Satu Viljainen (Fingrid Oyj), Mikko Vähä-Sipilä (Huoltovarmuuskeskus) ja Alexandre Zaitsev (Sähkö- ja teleurakoitsijoiden liitto ry).



Nimeke	<b>Tiekartta ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään</b> EL-TRAN-konsortion suositukset
Tekijä(t)	Pinja Lehtonen (toim.)
Tiivistelmä	<p>Tämä tiekartta tiivistää Suomen Akatemian yhteydessä toimivan Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittaman EL-TRAN-konsortion (2015–2021) työn ilmastoneutraaliin ja resurssitehokkaaseen sähköenergiajärjestelmään siirtymiseksi. Tiekartta erottaa kolme vaihetta tässä energiasiirtymässä, jossa sähköstä tulee asteittain energiajärjestelmän perusta.</p> <p>Ensimmäisessä vaiheessa uusiutuvan sähkön tuotanto kasvaa voimakkaasti. Siitä muodostuu useimmissa maissa keskeisin energiaressurssi olemassa olevien ilmastoneutraalien tai vähähiilisten resurssien kuten vesivoiman, bioenergian ja ydinvoiman rinnalle.</p> <p>Toisessa vaiheessa lisääntynyt sääriippuvan, vaihtelevan sähköntuotannon määrä vaatii lisääntyvää varavoima- ja energiavarastokapasiteettia sekä kulutuksen joustoa myös kansainvälisten energiamarkkinoiden avulla. Näillä keinoilla hallitaan ajoittaisia ali- ja ylituotantotilanteita, ylläpidetään tuotannon ja kulutuksen välistä tasapainoa ja taataan sähköistyvän yhteiskunnan toimintakyky.</p> <p>Kolmannessa vaiheessa liikennesektorin, rakennusten ja teollisuuden energiankäyttö siirtyy yhä enemmän sähköön sektorikytkennän ansiosta. Energiajärjestelmää hallitaan älyverkkojen avulla. Järjestelmään kuuluu sekä pienten tuottajakuluttajien hajautettuja resursseja, kuten energiayhteisöjä ja mikroverkkoja, että keskitettyjä suurten voimalaitosten verkkoinfrastruktuureja tietojärjestelmineen. Ylituotantosähköä voidaan käyttää nestemäisten ja kaasumaisten ilmastoneutraalien polttoaineiden tuotantoon.</p> <p>Suomi on parhaillaan siirtymässä kohti energiasiirtymän toista ja kolmatta vaihetta. Toinen vaihe ei kuitenkaan Suomen tapauksessa ole erityisen dramaattinen maan vesivoima- ja bioenergiaressurssien johdosta, samalla kun rajat ylittävä sähkönsiirtoinfrastruktuuri liittyy maan osaksi pohjoiseurooppalaisia sähkömarkkinoita.</p> <p>Koska yksikään maa ei kuitenkaan toistaiseksi ole täysin siirtynyt kolmanteen vaiheeseen, monenlaisia haasteita on odotettavissa. Tästä syystä tämä tiekartta esittelee yli sata eri toimijoille kohdennettua suositusta uusiutuvan sähköntuotannon lisäyksen jatkamiseksi, näin syntyvien resurssien käyttämiseksi liikenteen ja rakennusten sähköistämiseen, älyverkkojen kehittämiseksi, jatkossa tarvittavan kansainvälisen yhteistyön tukemiseksi sekä energiasiirtymän tuomien vientimahdollisuuksien hyödyntämiseksi teknologian, infrastruktuurien ja konseptien avulla.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8758-2 ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu) DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T397
Julkaisu-aika	joulukuu 2021
Kieli	Suomi, englanninkielinen tiivistelmä
Sivumäärä	50 s. + liitt. 0 s.
Projektin nimi	Siirtymä resurssitehokkaaseen ja ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään (EL-TRAN)
Rahoittajat	Strategisen tutkimuksen neuvosto (STN)
Avainsanat	energiaturros, ilmastoneutraalius, monitieteinen, politiikkasuositukset
Julkaisija	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111, <a href="https://www.vtt.fi/">https://www.vtt.fi/</a>

Title	<b>Roadmap to a climate-neutral electricity system</b> Recommendations of the EL-TRAN consortium
Author(s)	Pinja Lehtonen (ed.)
Abstract	<p>This roadmap summarises the work towards a climate neutral and resource effective electric energy system conducted by the EL-TRAN consortium, funded by the Strategic Research Council at the Academy of Finland during 2015–2021. The roadmap discerns three phases of transition whereby electricity gradually becomes the backbone of the energy system.</p> <p>In the first phase, the supply of renewables-based electricity generation expands significantly, becoming the dominant resource in most countries alongside existing climate neutral or low carbon resources such as hydropower, bioenergy, and nuclear power. In the second phase, the expanded supply of such weather dependent, variable-output electricity requires more back-up and energy storage capacity, as well as demand response via international energy markets to cover for the occasional supply gaps and oversupply situations, and to always ensure balance between production and consumption, thus maintaining the functioning of the electricity-based society.</p> <p>In the third phase, the transport, building and industrial sectors increasingly switch to electricity through sector coupling. The energy system becomes a smart-grid managed network comprising both small, decentralised resources of individual producer-consumers (prosumers) and energy communities such as microgrids, and large-scale centralised resources such as wind, solar and other types of power plants supported by well-developed electricity grid infrastructures and respective systems for managing energy data. Excess electricity can also be used to produce climate neutral fuels in gas and liquid format.</p> <p>Finland is currently transitioning towards the second and third phases of electrification, while the second phase is in the Finnish case far less dramatic than in many other countries owing to the existing hydropower and bioenergy resources and electricity transmission infrastructure linking the country to northern Europe's electricity markets. However, as no country has yet fully reached the third phase of the transition, several challenges remain to be resolved. For this end, this roadmap introduces over a hundred recommendations targeted to actors on how to ensure the continued expansion of renewable electricity supply and electrify the transport and building sectors with this resource, alongside with how to develop smart grids, how to cater for the needs of continued international cooperation, as well as how to benefit from the opportunities for exporting technology, infrastructure and concepts that will concomitantly open up.</p>
ISBN, ISSN, URN	ISBN 978-951-38-8758-2 ISSN-L 2242-1211 ISSN 2242-122X (Online) DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T397
Date	December 2021
Language	Finnish, English abstract
Pages	50 p. + app. 0 p.
Name of the project	Transition to a resource efficient and climate neutral electricity system (EL-TRAN)
Commissioned by	The Strategic Research Council (SRC)
Keywords	climate neutrality, energy transition, multidisciplinary, policy recommendations
Publisher	VTT Technical Research Centre of Finland Ltd P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111, <a href="https://www.vttresearch.com">https://www.vttresearch.com</a>

## **Tiekartta ilmastoneutraaliin sähköenergiajärjestelmään** EL-TRAN-konsortion suositukset

Tämä tiekartta esittelee toimia, joiden avulla Suomea voidaan ohjata kohti ilmastoneutraalia ja resurssitehokasta sähköenergiajärjestelmää. Strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittama EL-TRAN-konsortio (2015–2021) tutki tätä ilmastonmuutoksen takia välttämätöntä energiamurrosta yhdistäen mm. insinööritieteellisiä, yhteiskuntatieteellisiä, oikeustieteellisiä sekä tulevaisuuden tutkimuksen näkökulmia. Monitieteinen yhteistyö tuotti yli sata suositusta, jotka koskevat koko yhteiskuntaa ja jotka on kohdennettu erilaisille yhteiskunnan toimijoille. Tiekartassa suositellaan ratkaisuja mm. uusiutuvan energian tuotannon lisäämiseen, tieliikenteeseen, rakennuksiin, kuluttajien energiatuotantoon, sähköverkkoon ja kansainväliseen yhteistyöhön sekä vientiin.

ISBN 978-951-38-8758-2  
ISSN-L 2242-1211  
ISSN 2242-122X (Verkkajulkaisu)  
DOI: 10.32040/2242-122X.2021.T397