



**ENERGIAN HUOLTOVARMUUDEN TURVAAMINEN VENÄJÄN TUONNIN
LOPPUMISEN JÄLKEEN**

**SECURING SECURITY OF ENERGY SUPPLY AFTER THE END OF RUSSIAN
IMPORTS**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

Salla Näriäinen

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Salla Näriäinen

Energian huoltovarmuuden turvaaminen Venäjän tuonnin loppumisen jälkeen

Energiatekniikan kandidaatintyö

2023

38 sivua ja 12 kuvaa

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Avainsanat: huoltovarmuus, energiantuotanto, sähköntuotanto, lämmöntuotanto, maakaasu, energian tuonti

Tässä kandidaatintyössä käsitellään Suomen huoltovarmuutta energian suhteen. Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Sen tavoite on selvittää, millainen Suomen energian huoltovarmuus oli ennen Venäjän energian tuonnin loppumista, sekä esitellä lyhyen ja pitkän aikavälin keinoja huoltovarmuuden parantamiseen.

Energian huoltovarmuus Suomessa oli hyvällä tasolla ennen Venäjän energian tuonnin loppumista. Se perustui hajautettuun energiantuotantoon, erilaisiin energialähteisiin sekä polttoaineiden varmuusvarastointiin. Venäjän hyökättyä Ukrainaan energian tuonti Suomeen lopetettiin. Suomeen tuotiin Venäjältä maakaasua, sähköä, ydinpolttoainetta, hiiltä, öljyä sekä puupolttoaineita. Lyhyen aikavälin keinoja huoltovarmuuden parantamiseen on esimerkiksi maakaasuverkkoon liitettävä LNG-terminaalialus, sähkön ja lämmön kulutusjoustot, energian säästö, hiilen ja öljyn tuominen globaaleilta markkinoilta sekä polttoturpeen varmuusvarastointi. Pitkällä aikavälillä energiantuotanto tulee keskittymään vähäpäästöisiin ja uusiutuviin energialähteisiin. Tällöin huoltovarmuutta voitaisiin parantaa esimerkiksi vahvalla vetytaloudella, uusiutuvien polttoaineiden varmuusvarastoinnilla sekä erilaisten energialähteiden, esimerkiksi maa-, geo- ja hukkalämmön, hyödyntämisellä sekä pienillä, modulaarisilla ydinreaktoreilla.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Salla Näriäinen

Securing security of energy supply after the end of Russian imports

Bachelor's thesis

2023

38 pages, 12 figures

Examiners: Professor Tapio Ranta

Keywords: security of energy supply, energy production, electricity production, heat production, natural gas, energy imports

This bachelor's thesis examines Finland's security of supply in terms of energy. The work is carried out as a literature review. Its goal is to find out what Finland's security of energy supply was like before the end of Russian energy imports, and to present short- and long-term ways to improve security of energy supply.

Security of energy supply in Finland was at a good level before the end of Russian energy imports. It was based on decentralized energy production, various energy sources and fuel backup storage. After Russia attacked Ukraine, the import of energy to Finland was stopped. Natural gas, electricity, nuclear fuel, coal, oil, and wood fuels were brought to Finland from Russia. Short-term ways to improve security of supply are, for example, an LNG terminal vessel to be connected to the natural gas network, electricity and heat consumption flexibilities, energy saving, importing coal and oil from the global market, and safety storage of fuel peat. In the long term, energy production will focus on low-emission and renewable energy sources. In the long term, security of supply could be improved, for example, with a strong hydrogen economy, backup storage of renewable fuels, and utilization of various energy sources, such as ground, geothermal, and waste heat, as well as small, modular nuclear reactors.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

CHP	lämmön ja sähkön yhteistuotanto (Combined Heat and Power)
EU	Euroopan Unioni
GWh	gigawattitunti
IPCC	hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
LNG	nesteytetty maakaasu (Liquified Natural Gas)
TWh	terawattitunti

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Symboli- ja lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	6
2	Huoltovarmuuden tilanne ennen Venäjän tuonnin loppumista	8
2.1	Suomen energiantuotannon rakenne	8
2.2	Kaasupooli.....	10
2.3	Lämpöpooli	12
2.4	Sähköpooli.....	16
3	Lyhyen aikavälin ratkaisut.....	21
3.1	Kaasupooli.....	21
3.1.1	LNG-terminaalilaiva	22
3.2	Lämpöpooli	23
3.3	Sähköpooli.....	23
4	Pitkän aikavälin ratkaisut.....	26
4.1	Kaasupooli.....	26
4.2	Lämpöpooli	27
4.3	Sähköpooli.....	28
5	Johtopäätökset	30
	Lähteet.....	32

1 Johdanto

Venäjä hyökkäsi Ukrainaan helmikuussa 2022. Sen seurauksena venäläisen maakaasun tuonti Suomeen ja EU:n alueelle lopetettiin. Lisäksi myös muun energian tuonti Venäjältä väheni huomattavasti. Erityisesti maakaasun tuonti Venäjältä on ollut merkittävää, sillä Venäjällä on hallussaan noin kolmannes maailman maakaasuvarannoista. Euroopan maista varsinkin Saksa on ollut hyvin riippuvainen venäläisen maakaasun tuonnista. Venäläisen energian tuonnin loppumisen seurauksena energian, varsinkin maakaasun ja sähkön hinnat nousivat jyrkästi Euroopassa vuoden 2022 aikana.

Suomen energian kokonaiskulutuksesta 34 % tuotiin Venäjältä vuonna 2021. Venäjältä tuotiin Suomeen maakaasua, puupolttoaineita, öljyä, ydinpolttoaineita, hiiltä ja sähköä, joten tuontien energia on siis ollut pääasiassa fossiilista. Suomessa ei ole omavaraisesti fossiilisia polttoaineita ja Venäjä on yksi maailman suurimmista fossiilisen polttoaineiden viejistä, joten luonnollisesti Suomeen on tuotu energiaa juuri Venäjältä. Suomeen tuotiin vuonna 2021 maakaasua Venäjältä ja Virosta, mutta myös Virosta tuodusta maakaasusta osa oli lähtöisin Venäjältä. Näin ollen Suomessa käytetystä maakaasusta 92 % oli venäläistä alkuperää. Öljyä tuotiin Venäjältä 51 % ja hiiltä 52 % Suomen tarpeesta vuonna 2021. Riippuvuus venäläisestä energiasta linkittyy siis vahvasti myös riippuvuuteen fossiilisista polttoaineista. (Tilastokeskus, 2022.)

Myös Suomen ilmastotavoitteiden takia Suomen energiantuotannon rakenne on myös muuttumassa. Suomen tämänhetkinen hiilineutraaliustavoite 2035 edellyttää Suomen irtautumista fossiilisista polttoaineista. Hiilineutraaliustavoite näkyy Suomen energiantuotannossa fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisenä ja uusiutuvien polttoaineiden nousuna. Joidenkin uusiutuvien energialähteiden, esimerkiksi tuulivoiman, tuotanto on kuitenkin riippuvaista sääolosuhteista. Se tarkoittaa, että tarvitaan varavoimaloita, jotka voivat tuottaa energiaa silloin, kun uusiutuvan energian tuotanto on alhainen.

Suomen huoltovarmuudesta vastaa Huoltovarmuuskeskus. Energiahuollon tehtävänä on turvata energian saatavuus, huolehtia energiahuoltovarmuuden näkökulman huomioonottamista päätöksenteossa, seurata energiamarkkinoiden vaikutusta huoltovarmuuteen, kehittää huoltovarmuutta sekä varautua häiriöihin. Energian huoltovarmuuden turvaamisen keskeisiä asioita ovat energiamarkkinoiden toimivuus, kotimaisten polttoaineiden käyttö, kehittynyt infrastruktuuri ja logistiikka, hajautettu, useisiin energialähteisiin perustuva energiantuotanto, tekninen toimitusvarmuus, huoltovarmuuskriittisten toimijoiden varautuminen, tuontipolttoaineiden varmuusvarastointi, korvaavat vaihtoehdot vaikeissa saatavuustilanteissa sekä ohjaustoimet ja säännöstely. Huoltovarmuuskeskus jaottelee energiahuollon lämpö-, sähkö-, kaasu- ja polttonestepooliin, ja tätä jaottelua käytetään myös tässä työssä. (Huoltovarmuuskeskus, 2023.)

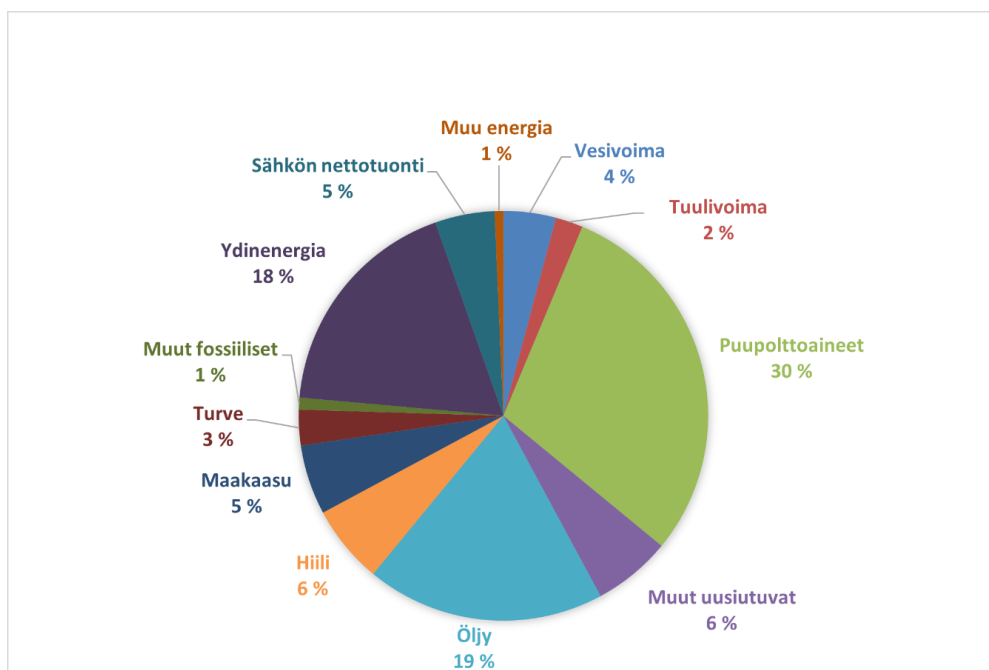
Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten Suomen energian huoltovarmuus toteutuu Venäjän energian tuonnin loppumisen jälkeen. Työn aluksi tarkastellaan Suomen energiantuotannon rakennetta ennen vuotta 2022, jolloin venäläisen energian tuonti lopetettiin. Sen jälkeen työssä esitellään lyhyen ja pitkän aikavälin keinoja Suomen huoltovarmuuden ja energiantuotannon turvaamiseen. Työ on rajattu sähkö- ja lämpö-kaasupooliin työn laajuuden rajaamiseksi. Ulkopuolelle jää polttonestepooli. Lämpösektori rajataan kauko- ja teollisuuslämmön tuotantoon. Energialähteistä käsitellään vain tärkeimmät, esimerkiksi sähköpoolissa ei tarkastella vaikkapa aurinkoenergiaa. Työssä tarkastellaan erityisesti vuotta 2021, koska se oli viimeinen vuosi ennen Venäjän tuonnin loppumista.

2 Huoltovarmuuden tilanne ennen Venäjän tuonnin loppumista

Tässä luvussa tarkastellaan Suomen energiantuotannon rakennetta ja huoltovarmuutta. Energiantuotannon muutoksia tarkastellaan välillä 2011–2021, ja erityisesti tarkastellaan vuotta 2021.

2.1 Suomen energiantuotannon rakenne

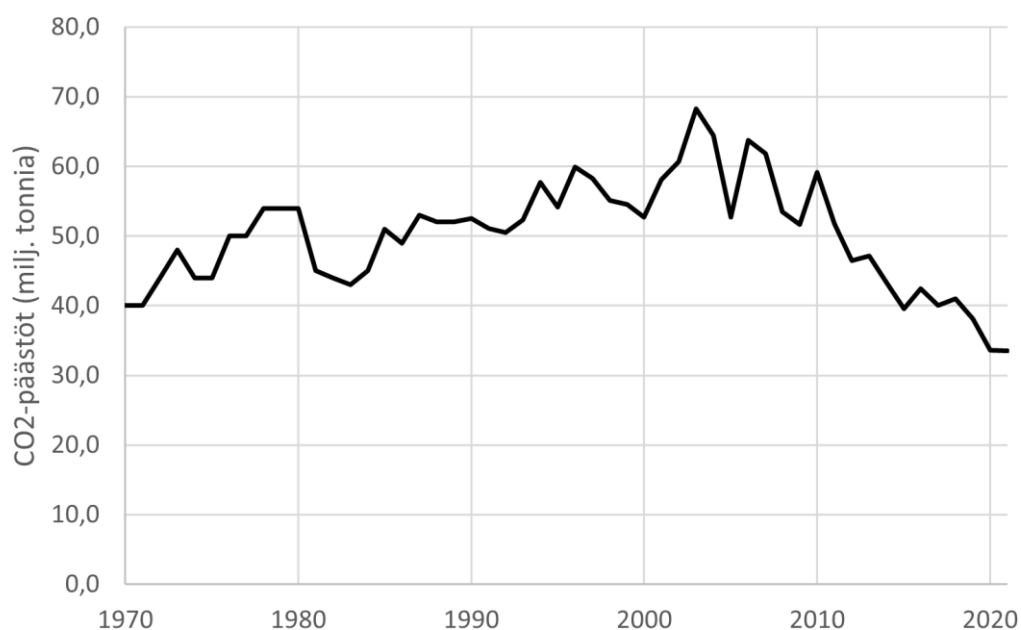
Suomen energiantuotanto ennen Venäjän tuonnin loppumista oli monipuolinen. Huoltovarmuuden kannalta tilanne oli hyvä, sillä Suomella oli käytössään monia, erilaisia energialähteitä, joiden saatavuus oli hyvä. Näin ollen ongelmia sähkön- tai lämmön riittävydessä ei ollut.



Kuva 1. Suomessa kulutetun energian rakenne vuonna 2021. (Tilastokeskus, 2023a)

Vuonna 2021 kulutetusta kokonaisenergiasta suurin osa tuotettiin puupolttoaineilla, öljyllä ja ydinvoimalla (kuva 1). Suurin energianlähde oli puupolttoaineet, joilla tuotettiin 30 % Suomen energiantarpeesta. Öljyllä katettiin 19 % energiankulutuksesta, ja sitä käytettiin pääosin liikennekäytössä. Ydinvoimalla tuotettiin 18 % Suomen energiankulutuksesta. Lisäksi merkittäviä osuuksia katettiin maakaasulla, hiilellä ja sähkön nettotuonnilla.

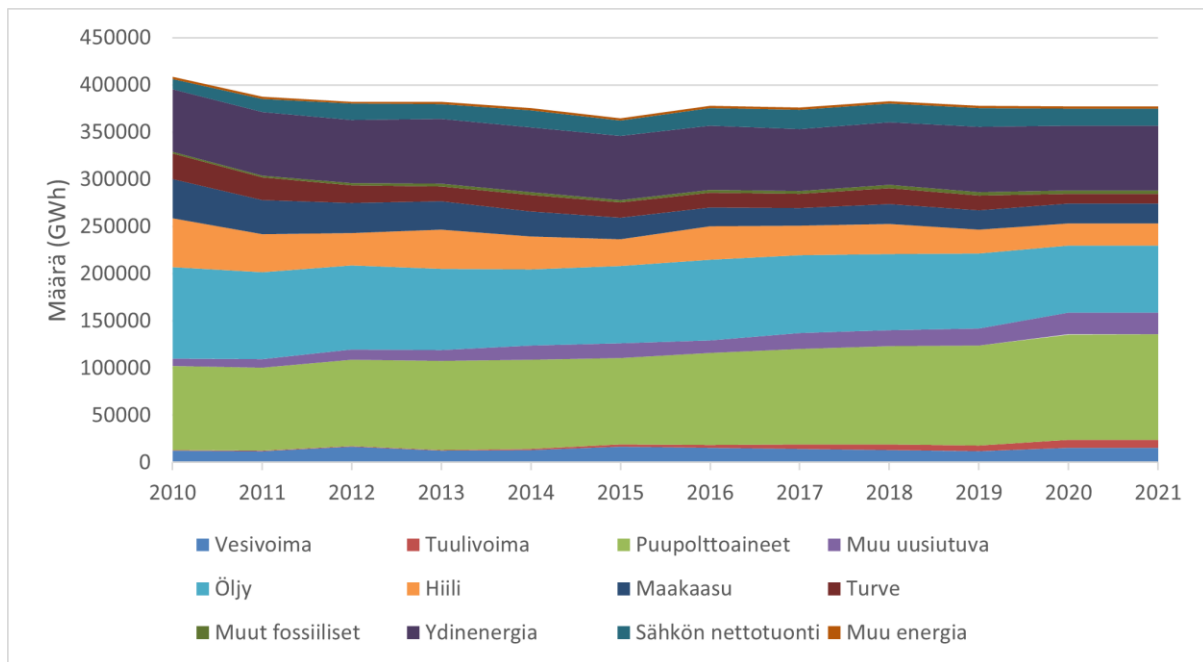
Uusiutuvilla energiamuodoilla tuotettiin vuonna 2021 kulutetusta energiasta 42 %. Merkittävimmät uusiutuvan energian muodot olivat puupolttoaineet, vesivoima ja tuulivoima. Fossiilittomilla energiamuodoilla (uusiutuvat ja ydinvoima) tuotettiin energiasta 60 %. Fossiilisilla polttoaineilla tuotettiin 31 % kokonaisenergiasta. Merkittävimmät fossiilisen energian muodot olivat öljy, hiili sekä maakaasu. Kulutetusta energiasta noin 5 % katettiin sähkön nettotuonnilla ja 3 % turpeella.



Kuva 2. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen energiakäytön CO₂-päästöt vuosina 1970–2021. (Tilastokeskus, 2023e)

Marinin hallituksen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen sen jälkeen. Hallituksen tavoitteena on, että sähkön ja lämmön tuotanto on lähes päästötöntä

2030-luvun loppuun mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022). Tämä tarkoittaa energiasektorin kannalta luopumista fossiilisista polttoaineista ja panostamista vähäpäästöisiin energialähteisiin. Esimerkiksi hiilen käyttäminen energiakäytössä on kielletty 2029 vuodesta alkaen. Erityisesti hiilen ja maakaasun käyttö onkin vähentynyt 2010–2021 välillä (kuva 3). Myös öljyn käyttö on vähentynyt, mutta sen käyttö liikennekäytössä hidastaa öljyn käytön lopettamista. Fossiilisten polttoaineiden käytön päästöt ovat laskeneet merkittävästi 2020-luvulle tultaessa (kuva 2).



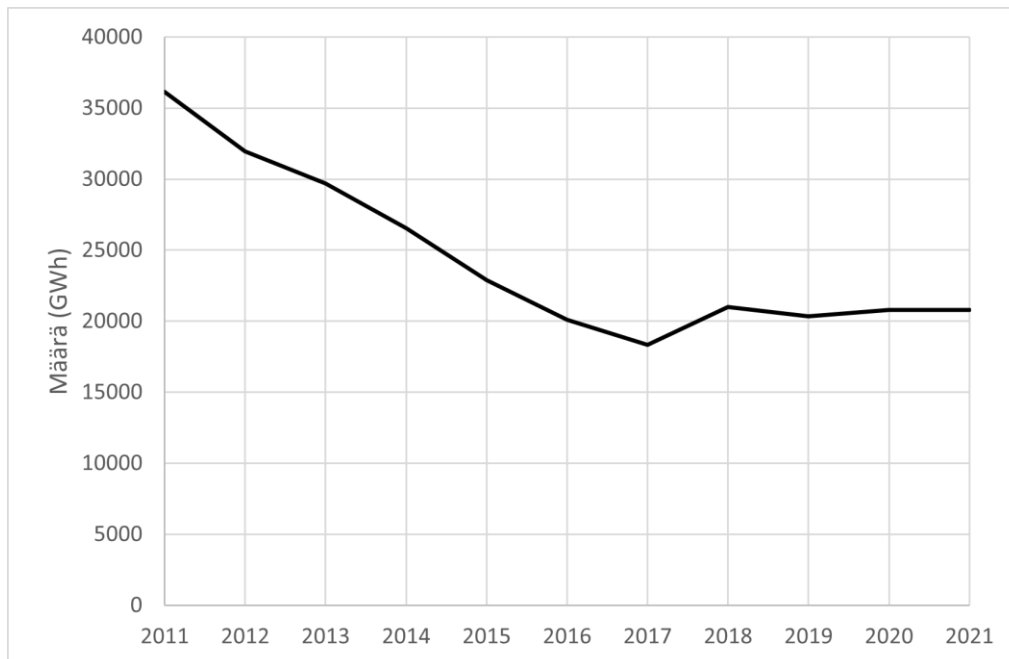
Kuva 3. Suomen energian kokonaiskulutus energialähteittäin 2010–2021. (Tilastokeskus, 2020a)

2.2 Kaasupooli

Suomessa käytettiin maakaasua vuonna 2021 noin 21 terawattituntia (Tilastokeskus, 2023a). Kulutus oli suunnilleen yhtä suurta kuin vuonna 2020. Maakaasua käytetään Suomessa pääosin teollisuudessa, kaukolämmön ja sähkön yhteistuotannossa sekä raskaassa liikenteessä ja merenkulussa (Gasum, 2023). Maakaasua käytetään erityisesti talvella kulutushuippujen

tasaamiseen. Suomessa ei ole omaa maakaasun tuotantoa, joten maakaasua täytyy tuoda Suomeen ulkomailta. Maakaasun hyötynä on sen pienemmät ilmastopäästöt muihin fossiilisiin polttoaineisiin nähden.

Suomeen tuotiin maakaasua Venäjältä ja Virosta vuonna 2021. Maakaasua tuotiin yhteensä 2230 miljoonaa kuutiometriä ja siitä noin 75 % tuli Venäjältä ja noin 25 % Virosta (Tilastokeskus, 2023b). Venäjältä tuotu maakaasu tuotiin Imatran kautta putkiyhteydellä. Maakaasuverkko kattaa osan Etelä-Suomea, mm. Helsingin, Tampereen ja Lahden. Virosta maakaasu tuodaan Suomeen Balticconnector-putkea pitkin, joka valmistui vuonna 2019. Balticconnectorin kautta Suomeen tuleva kaasu on peräisin Latviasta Incukalnsin varastolta, johon kaasua tuodaan Liettuaista Klaipedan LNG-terminaalista tai Venäjältä. Lisäksi maakaasuverkkoon syötetään kotimaista biokaasua. Verkkoon syötettävää biokaasua tuotetaan Suomessa Espoossa, Kouvolassa, Lahdessa ja Riihimäellä. (Gasgrid, 2023b).



Kuva 4. Maakaasun käytön kehitys Suomessa välillä 2011–2021. (Tilastokeskus, 2023a)

Maakaasun käyttö on vähentynyt vuosien 2011–2021 aikana 42 % (kuva 4) Syinä on mm. maakaasun veronkorotukset, sen kilpailukyvyyn heikkeneminen sekä käytön vähennys energiantuotannossa. Lisäksi maakaasun hinta nousi rajusti vuosien 2020 ja 2021 aikana.

Syynä oli LNG:n kysynnän lisääntyminen Aasiassa ja Etelä-Amerikassa, mikä vähensi saatavuutta Eurooppaan. Maakaasun riittävydessä ei ole kuitenkaan ollut ongelmia Suomessa. (Energiavirasto, 2021.)

Suomessa on myös kolme LNG:n eli nesteytetyn maakaasun terminaalia, jotka sijaitsevat Porissa, Torniossa sekä Haminassa. Haminan terminaali valmistui keväällä 2022. LNG-terminaaleja ei ole liitetty maakaasuverkkoon Haminan terminaalia lukuun ottamatta. Niiden avulla kaasua toimitetaan paikkoihin, joita ei ole liitetty maakaasuverkkoon. (Energiavirasto, 2021.)

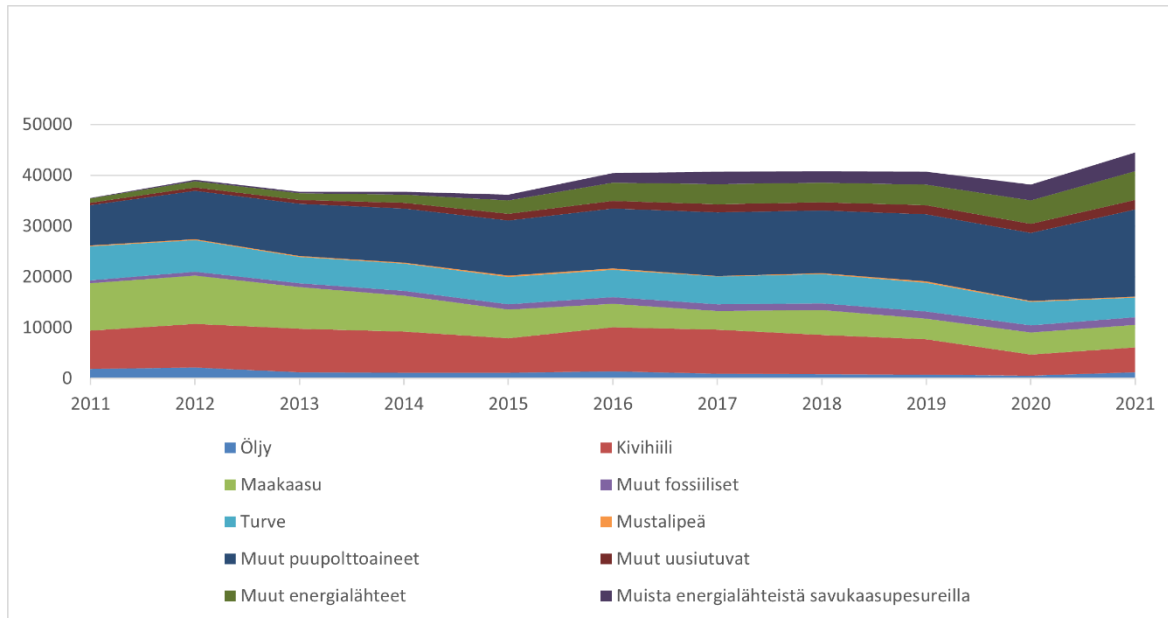
Suomeen tuodaan myös LNG:tä ulkomailta. Vuonna 2021 Suomeen tuotiin 196 000 tonnia LNG:tä, joista suurin osa, noin 73 %, tuotiin Venäjältä. Lisäksi LNG:tä tuotiin Liettuasta (25 %) ja pieniä määriä myös Norjasta (2 %). Toisaalta Suomesta vietiin myös LNG:tä Norjaan ja Ruotsiin. LNG:tä vietiin yhteensä 185 000 tonnia, josta Ruotsiin vietiin 91 % ja Norjaan 9 %. (Tilastokeskus, 2023b).

2.3 Lämpöpooli

Suomen lämmöntuotannossa omavaraisia polttoaineita ovat turve, bioenergia sekä jätteen energiahyödyntäminen. Lämmöntuotannon huoltovarmuus perustuu hajautettuun lämmöntuotantoon, monipuolisiin energialähteisiin sekä tuontipolttoaineiden varmuusvarastointiin. Polttoaineiden varmuusvarastointi on kivihiihlen ja maakaasun osalta 3 kuukautta ja öljyn osalta 2 kuukautta (AFRY, 2021a).

Kaukolämpö on Suomen yleisin lämmitysmuoto. Kaukolämpöä tuotetaan pääosin lämmön ja sähkön yhteistuotannolla (CHP). Vuonna 2021 kaukolämmön tuotanto oli noin 40 TWh. Kaukolämmön polttoaineina on käytetty viime vuosina erityisesti puupolttoaineita, hiiltä,

maakaasua ja turvetta. Puupolttoaineiden osuus vuonna 2021 oli 43 % koko kaukolämmön tuotannosta.



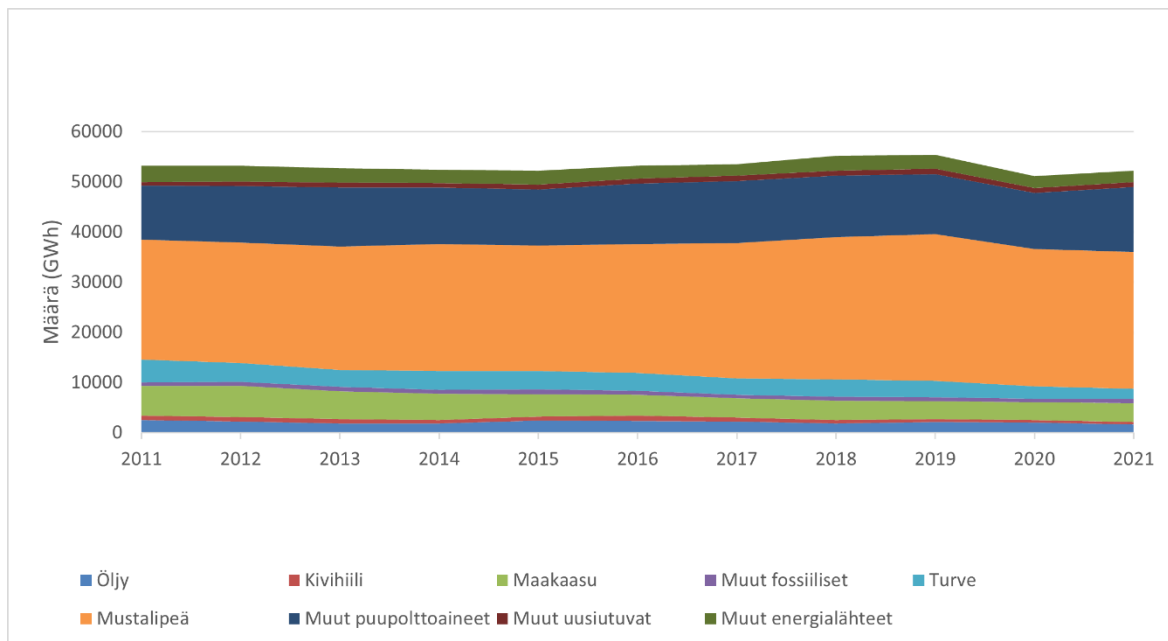
Kuva 5. Kaukolämmön tuotannon energialähteet vuosina 2011–2021. (Tilastokeskus, 2023c)

Kaukolämmön tuotannon energialähteet ovat muuttuneet vuosien 2011–2021 aikana paljon (kuva 5). Suurimpana trendinä 10 vuoden kehityksessä näkyy fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen. Fossiilisten polttoaineiden osuus vuoden 2011 tuotannosta oli 55 %, ja vuonna 2021 enää 29 %. Esimerkiksi maakaasun käyttö laski 2011–2021 aikana noin puoleen, ja öljyn ja kivihiilenkin käyttö noin kolmasosan. Myös turpeen käyttö on vähentynyt noin puoleen. Vuonna 2011 turpeella tuotettiin 19 % kaukolämmöstä ja vuonna 2021 enää 10 %.

Fossiilisten polttoaineiden käyttöä kaukolämmön tuotannossa on korvattu eniten puupolttoaineilla. Jo vuonna 2011 puupolttoaineet olivat yksi tärkeimmistä energialähteistä kaukolämmön tuotannossa, mutta vuonna 2021 niillä tuotettiin jopa 43 % kaukolämmöstä. Vuoden 2011 vastaava osuus oli 23 %. Uusiutuvien polttoaineiden osuus oli kokonaisuudessaan vuonna 2011 24 % ja vuonna 2021 47 %. Myös hukkalämmön hyödyntäminen on noussut isompaan rooliin 10 vuoden aikana, sillä vuonna 2021 kaukolämmön tuotannosta 9 % saatiin muista energialähteistä savukaasupesurien avulla.

Vuoden 2011 vastaava prosenttiosuus oli vain 0,3 %. Kaukolämmön tuotannon trendinä 10 vuoden aikana näkyy myös kaukolämmön tuotannon hienoinen lisääntyminen, sillä 2010-luvun alussa tuotanto oli noin 35 terawattitunnin luokkaa, ja 2020-luvulla tuotanto oli jo noin 40 terawattitunnin luokkaa. Tuotanto kuitenkin vaihtelee vuosittain erityisesti talven lämpötiloista riippuen.

Suomessa tuotetaan teollisuuslämpöä teollisuuden tarpeisiin. Teollisuuslämpöä tuotetaan CHP-laitoksissa, jolloin niillä tuotetaan myös sähköä. Vuonna 2021 teollisuuslämmön tuotanto oli noin 52 TWh.



Kuva 6. Teollisuuslämmön tuotanto energialhteittain 2011–2021. (Tilastokeskus, 2023h)

Energialhteet ovat pysyneet teollisuuslämmön tuotannossa melko samoina vuosien 2011–2021 aikana (kuva 6). Suurin osa teollisuuslämmöstä tuotetaan mustalipeällä ja puupolttoaineilla, joiden käyttö on noussut hieman 10 vuoden aikana. Fossiilisten kivihiilen ja öljyn käyttö teollisuuslämmön tuotannossa ei ole juurikaan laskenut, mutta maakaasun ja turpeen käyttö on. Fossiilisten polttoaineiden osuus on laskenut 27 % osuudesta 17 % osuuteen. Vastaavasti uusiutuvien osuus on noussut 66 % osuudesta 76 % osuuteen. Teollisuuslämmön tuotannon kokonaismäärä on pysynyt melko samana.

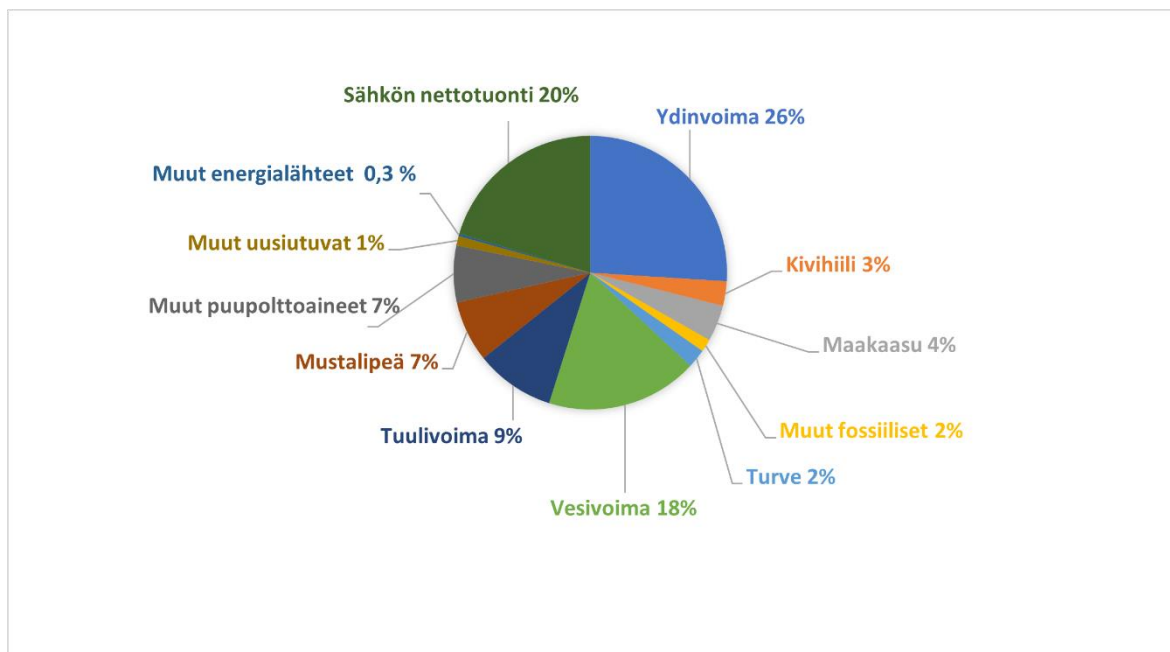
Puupolttoaineet ovat tärkein polttoaine sekä teollisuus- että kaukolämmön tuotannossa. Puupolttoaineina energiantuotannossa käytetään mustalipeää, metsähaketta sekä metsäteollisuuden sivu- ja tähdevirtoja. Teollisuuslämmön tuotannossa tärkein polttoaine on mustalipeä, jota syntyy sellunkeiton sivuvirtana. Metsäteollisuuden muita sivu- ja tähdevirtoja ovat esimerkiksi kuori, erilaiset purut sekä puutähdehake (Luke, 2021). Puupolttoaineiden hyötyjä ovat niiden uusiutuvuus ja pienet ilmastopäästöt. Teollisuus- ja kaukolämmön tuotannossa käytetään paljon omavaraisia puupolttoaineita, mutta niitä myös tuodaan esimerkiksi Baltian maista ja Venäjältä. Erityisesti kiinteiden puupolttoaineiden haittoja huoltovarmuuden näkökulmasta on niiden huono varastoitavuus. Lisäksi kiinteät puupolttoaineet sisältävät paljon vettä, jonka haihduttamiseen menee aikaa. (Huoltovarmuuskeskus, 2021)

Turvetta ei lasketa uusiutuvaksi, eikä myöskään fossiiliseksi polttoaineeksi. Sitä tuotetaan Suomessa omavaraisesti. Turpeen käyttö aiheuttaa kuitenkin suuria ilmastopäästöjä, ja esimerkiksi kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC luokittelee sen päästöt samaan luokkaan fossiilisten polttoaineiden kanssa. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021.)

Fossiilisten polttoaineiden, kuten kivihiilen ja maakaasun, käyttö varsinkin kaukolämmön tuotannossa on vielä suurta. Fossiilisista polttoaineista ei ole Suomessa omavaraisesti, joten niitä tuodaan muista maista. Jo pitkään fossiilisten polttoaineiden suurin tuoja on ollut Venäjä (Tilastokeskus 2023b). Fossiilisilla polttoaineilla on huoltovarmuuden kannalta hyviä ominaisuuksia, kuten hyvä saatavuus globaalisti, pois lukien maakaasu. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden poltto-ominaisuudet ovat esimerkiksi biomassaa paremmat. Fossiiliset polttoaineet aiheuttavat kuitenkin suuria ilmastopäästöjä, eivätkä ne ole uusiutuvia.

2.4 Sähköpooli

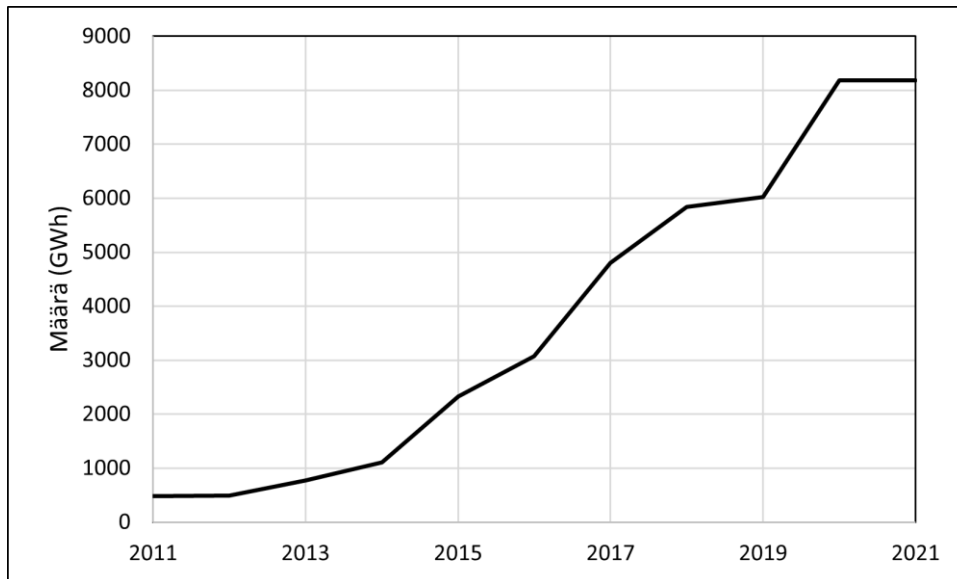
Suomen kokonaissähkönkulutus vuonna 2021 oli 87 terawattituntia. Suomen oma sähköntuotanto vastasi 80 % ja sähkön nettotuonti 20 % kulutuksesta. Sähköä tuotettiin eniten ydinvoimalla, jonka osuus vastasi 26 % kokonaissähkönkulutuksesta (kuva 7). Ydinvoiman lisäksi sähköä tuotettiin paljon vesivoimalla, puupolttoaineilla ja tuulivoimalla. Uusiutuvien osuus Suomen sähköntuotannosta oli 53 % ja fossiilittomien (uusiutuvat ja ydinvoima) 86 %.



Kuva 7. Suomen sähkönkulutuksen rakenne energialähteittäin 2021. (Tilastokeskus, 2023f)

Suomessa tuotetaan ydinvoimaa Loviisassa (2 x 496 MW) sekä Olkiluodossa (2 x 880 MW). Lisäksi Suomeen on valmistumassa Olkiluoto 3, jonka sähköntuotantokapasiteetti on 1600 MW. Ydinvoima toimii sähköntuotannon perusvoimana. Ydinvoiman tuotanto on pitkään pysynyt melko samana, ja se on ollut noin 22 TWh vuodessa. Ydinvoiman etuna on sen vähäpäästöisyys sekä suuri tuotantokapasiteetti. Se on myös huoltovarmuuden kannalta hyvä energialähde, sillä sen tuotanto on vakaata ja sen polttoainetta on hyvin saatavilla. Toisaalta ydinvoiman tuotanto on keskitettynä vain neljään laitokseen, mikä lisää riskejä. Suomeen tuodaan ydinpolttainetta Espanjasta, Ruotsista, Saksasta ja Venäjältä (Tilastokeskus, 2023b).

Ydinvoimasta on ollut poliittisesti kiistelty energianlähde johtuen sen riskeistä suuriin ja vakaviin onnettomuuksiin sekä radioaktiivisesta ydinjätteestä. Toisaalta ydinvoima lisää sähkön omavaraisuutta (Koivulampi, 2015).



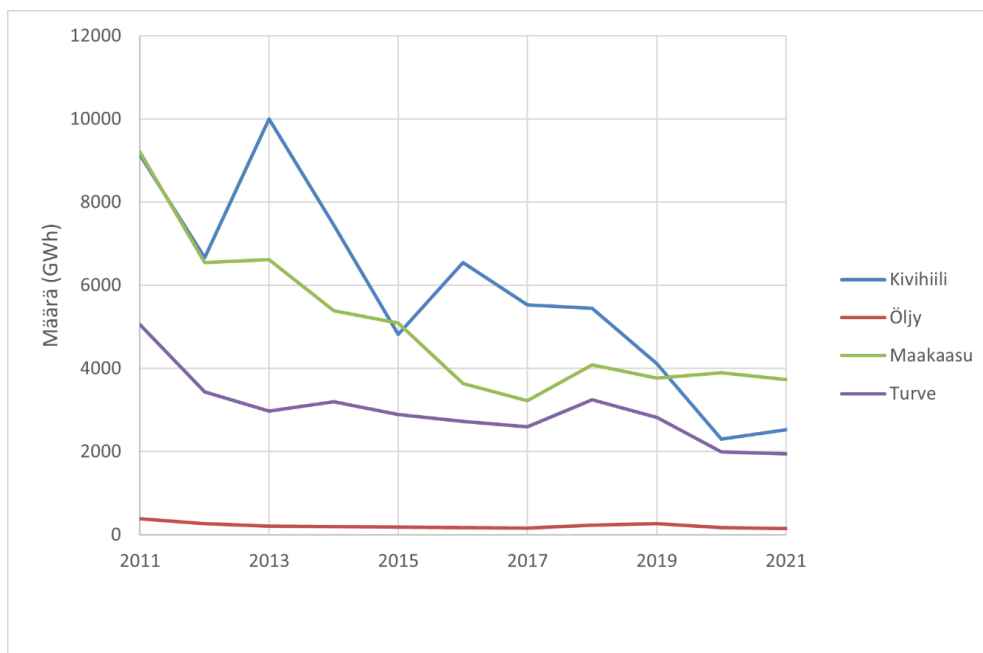
Kuva 8. Tuulivoiman kehitys Suomessa vuosina 2011–2021. (Tilastokeskus, 2023a)

Suomen sähköntuotannossa osuuttaan on nostanut erityisesti tuulivoima (kuva 8). Tuulivoima on kasvanut vuosien 2011–2021 aikana marginaalisesta osuudesta merkittäväksi energialähteeksi Suomen sähköntuotannossa. Sillä on tuotettu viime vuosina noin 8 TWh vuodessa, joka on vastannut noin 12 % Suomen sähkönkulutuksesta. Tuulivoiman vahvuuksia energialähteenä on sen edullisuus ja pienet ilmastopäästöt, mutta tuulivoiman heikkoutena on ehdottomasti sen tuotannon riippuminen sääolosuhteista. Tuulivoimakapasiteetin rakentaminen kohtaa usein myös vastustusta, koska se voi aiheuttaa maisema- ja meluhaittoja.

Vesivoimakapasiteetti on pitkään jo pysynyt samana Suomessa. Vesivoiman hyötyjä ovat sen uusiutuvuus ja omavaraisuus. Vesivoiman haittana on sen vaikutukset kaloille, linnuille ja rantakasvillisuudelle patojen ja veden korkeuden vaihtelujen vuoksi (Energiateollisuus, 2023). Vesivoima on kuitenkin hyvä sähköntuotantomuoto huoltovarmuutta ajatellen, sillä sen tuotantoa voidaan vähentää sääolosuhteissa, joissa tuulivoiman tuotanto on suurta. Vastaavasti tuulivoiman tuotannon ollessa pientä vesivoimaa voidaan ajaa. Vesivoima toimii siis hyvänä

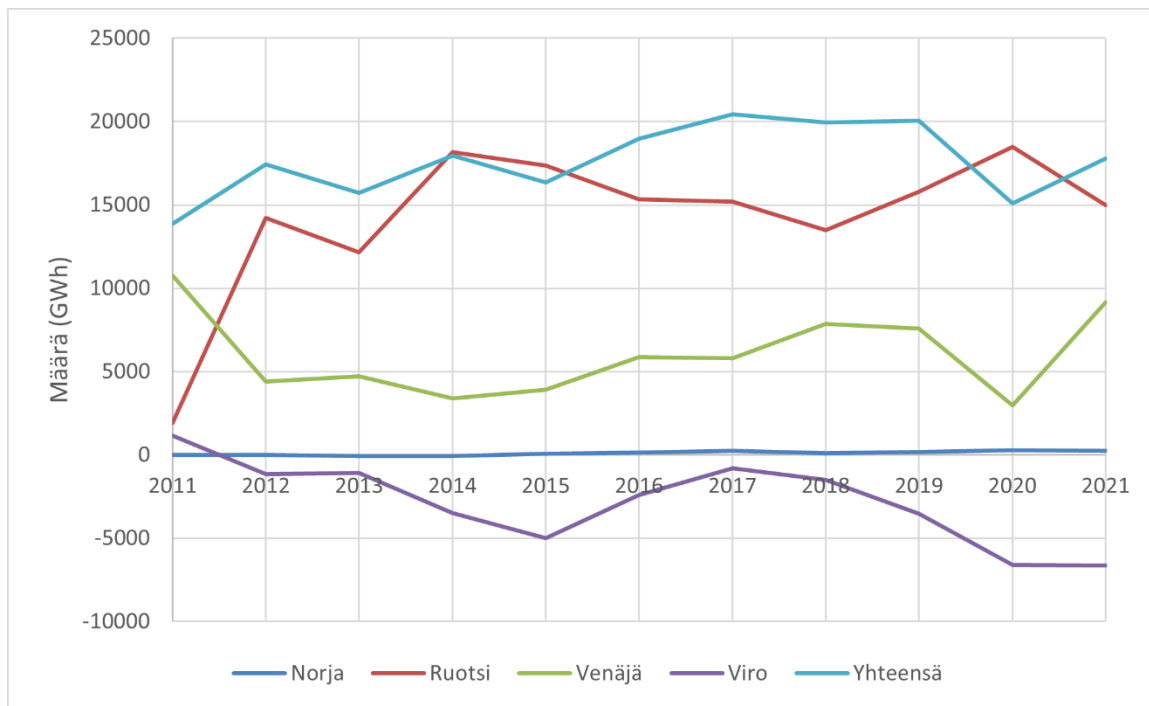
säätövoimana erityisesti tuulivoimaa ajatellen, ja lisäksi vesivoimalla voidaan säätää myös kulutuksen vaihtelua minuuttitasolla. Vesivoiman nykyinen kapasiteetti on noin 3100 MW, josta säätöön kykenevää vesivoimaa on noin 2100 MW. Vesivoimaa ei voida kuitenkaan rakentaa lisää ympäristönsuojelullisista syistä, vaan sen kapasiteetin lisääminen riippuu yksinomaan nykyisten vesivoimaloiden tehokkuuden parantamisesta. Siksi myöskään vesivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta ei ole kasvanut vuosien 2011–2021 aikana. Vesivoiman tuotanto vaihtelee vuosittain noin 4 TWh, ja tuotanto vaihtelee myös vuosien sisällä. Vaihtelu johtuu vuodenajasta, vesitilanteesta ja tuulisuudesta. (Energiateollisuus, 2019.)

Suomessa on tuotettu sähköä paljon myös puupolttoaineilla. Niitä käytetään paljon CHP-voimaloiden polttoaineena, joten niillä tuotetaan sekä lämpöä, että sähköä. Puupolttoaineet ovat uusiutuva polttoaine, joten niiden käytöllä esimerkiksi CHP- ja sähkön erillistuotannossa on pyritty korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Vuosien 2011–2021 aikana puupolttoaineilla on tuotettu noin 10–12 TWh vuodessa, joten puupolttoaineet ovat olleet ydin- ja vesivoiman ohella yksi isoimmista sähköntuotannon energianlähteistä. Vuonna 2021 niiden osuus sähkönkulutuksesta oli 14 %.



Kuva 9. Kivihiilen, öljyn, maakaasun ja turpeen käytön kehitys Suomen sähköntuotannossa vuosina 2011–2021. (Tilastokeskus, 2023f)

Sähköntuotannossa käytetään edelleen myös fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiiltä, öljyä ja maakaasua. Niiden osuus sähköntuotannossa vuonna 2021 oli noin 11 %. Lisäksi turpeen osuus oli noin 3 %. Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käyttö aiheuttaa paljon ilmastopäästöjä, joten niiden osuutta energiantuotannosta pyritään vähentämään. Esimerkiksi kivihiilen käyttö sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineena kielletään vuonna 2029 (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2019). Fossiilisten polttoaineiden osuus Suomen sähköntuotannossa onkin laskenut merkittävästi (kuva 9). Edellä mainituista polttoaineista Suomessa tuotetaan omavaraisena vain turvetta, ja fossiilisia polttoaineita ostetaan Suomeen muista maista. Fossiilisia polttoaineita, pois lukien maakaasu, voi ostaa Suomeen ympäri maailmaa, mutta suurin osa tuodusta kivihielestä ja öljystä on tuotu Suomeen Venäjältä. Fossiiliset polttoaineet ovat siis huoltovarmuuden kannalta omavaraisuutta heikentäviä energianlähteitä, vaikka esimerkiksi kivihieiltä ja öljyä onkin saatavilla ympäri maailman.



Kuva 10. Sähkön nettotuonti Suomeen maittain 2011–2021. Negatiivinen arvo tarkoittaa sähkön vientiä. (Tilastokeskus, 2023b)

Sähkön nettotuonti on Suomelle välttämättömyys. Suomeen on viime vuosina tuotu sähköä pääosin Ruotsista, Venäjältä ja pieni määrä myös Norjasta (kuva 10). Toisaalta Suomi myös vie sähköä Viroon ja myös pieniä määriä Norjaan ja Ruotsiin. Vuonna 2021 sähkön tuonti Suomeen oli 25 TWh, josta Ruotsista tuotiin 61 % ja Venäjältä 37 %. Sähkön vienti oli 6,7 TWh, joka suuntautui lähes kokonaan Viroon. Sähkön nettotuonnin määrä vaihtelee vuosittain omasta tuotannosta riippuen, mutta pääosin sähkön nettotuonti on hieman kasvanut vuosien 2011–2021 aikana.

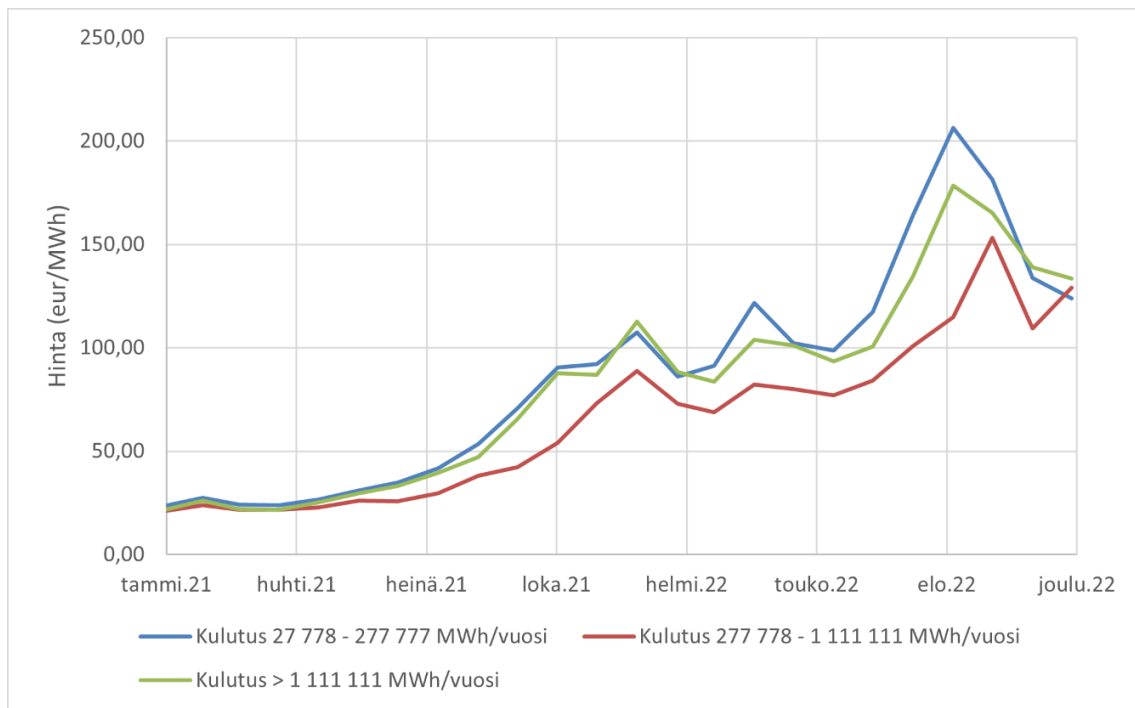
Sähköntuotannossa vuosien 2011–2021 aikana näkyy selkeänä trendinä fossiilisten polttoaineiden käytön lasku ja uusiutuvien energialähteiden käytön nousu. Suomen sähköntuotanto on fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen seurauksena muuttunut omavaraisemmaksi. Huoltovarmuuden kannalta omavaraisuus on hyvä, mutta toisaalta sähköntuotannon muuttuminen aiempaa sääriippuvaisemmaksi aiheuttaa haasteita sähkön huoltovarmuudelle.

3 Lyhyen aikavälin ratkaisut

Tässä kappaleessa käsitellään lyhyen aikavälin ratkaisuja, jotka parantavat energiahuoltovarmuutta. Ratkaisuja käsitellään kaasu-, sähkö- ja lämpöpoolin näkökulmasta.

3.1 Kaasupooli

Ukrainan sodan alkaessa yksi suurimmista kysymyksistä Suomen energiahuoltovarmuutta koskien oli maakaasun saatavuus. Maakaasun tuonti Venäjältä Suomeen loppui 21. toukokuuta 2022 (Gasum, 2022). Itämerellä myös Nord Stream 1 ja 2 -kaasuputket vaurioituivat räjähdyksessä. Maakaasun hinta nousi huomattavasti vuonna 2022 (kuva 11). Korkeimmillaan maakaasun hinta oli jopa kymmenkertainen vuoteen 2021 verrattuna.



Kuva 11. Maakaasun hinta siirtoverkkoasiakkaille (ei sis. veroja) 2021–2022. (Tilastokeskus, 2023d)

Venäjältä tuotiin vuoden 2021 alkupuoliskon (tammikuu-kesäkuu) aikana 963 miljoonaa m³ maakaasua ja vuonna 2022 samalla aikavälillä 417 miljoonaa m³. Maakaasun tuonti laski siis huomattavasti vuodesta 2021. Myös Virosta tuotiin vuoden 2022 alkupuoliskon aikana vähemmän maakaasua, noin 289 miljoonaa m³. Vuonna 2021 vastaavana aikana maakaasua Balticconnectorin kautta tuotiin 387 miljoonaa m³. Myös Viron tuonti maakaasun osalta siis pieneni huomattavasti.

Maakaasun tuonnin loppuminen Venäjältä siis laski maakaasun käyttöä Suomessa. Kaasun käytölle on kuitenkin tarvetta varsinkin lämmön ja sähkön yhteistuotannossa sekä teollisuuskäytössä. Suurin lyhytaikainen kaasun riittävyyden varmistamiseksi tehty toimi on kelluva LNG-terminaalilaiva. Lisäksi myös Haminan LNG-terminaalin käyttöönotto parantaa kaasun huoltovarmuutta.

Haminan LNG-terminaali otettiin käyttöön lokakuussa 2022. Se on ensimmäinen suoraan kansalliseen kaasun siirtoverkkoon kytketty terminaali Suomessa (Hamina LNG, 2022). Näin ollen Haminan LNG-terminaaliin voidaan tuoda globaaleilta markkinoilta LNG:tä ja höyrystää suoraan kaasuverkkoon. LNG-terminaalista voidaan höyrystää LNG:tä siirtoverkkoon vuosittain noin 1,7 TWh edestä (Hamina LNG, 2022).

3.1.1 LNG-terminaalilaiva

Suomen valtion omistama kaasun siirtoverkkoyhtiö Gasgrid sekä yhdysvaltalainen Excelebrate Energy solmivat sopimuksen LNG-laiva Exemplarista toukokuussa 2022. Laiva toimii kelluvana LNG-terminaalina, ja siihen mahtuu noin 68 000 tonnia LNG:tä. Sopimuksen kesto on 10 vuotta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, valtionvarainministeriö, 2022.)

LNG-terminaalilaivan sijaintipaikaksi valikoitui Inkoo. Terminaaliin toimitetaan LNG:tä globaaleilta markkinoilta. Terminaalissa ei kuitenkaan käytetä venäläistä maakaasua. LNG höyrystetään terminaalista siirtoverkkoon, ja toimitetaan siten asiakkaille. Laivan vuotuinen höyrystyskapasiteetti on 40 TWh. (Gasgrid, 2023a). Se ylittää Suomen vuotuisen maakaasun

käyttötarpeen, joka oli vuonna 2021 noin 20 TWh (Tilastokeskus, 2023a). Näin ollen maakaasua voidaan toimittaa Balticconnectorin kautta myös Baltian maihin. LNG-terminaalilaiiva on valmis toimituksille tammikuussa 2023 (Gasgrid, 2023a).

3.2 Lämpöpooli

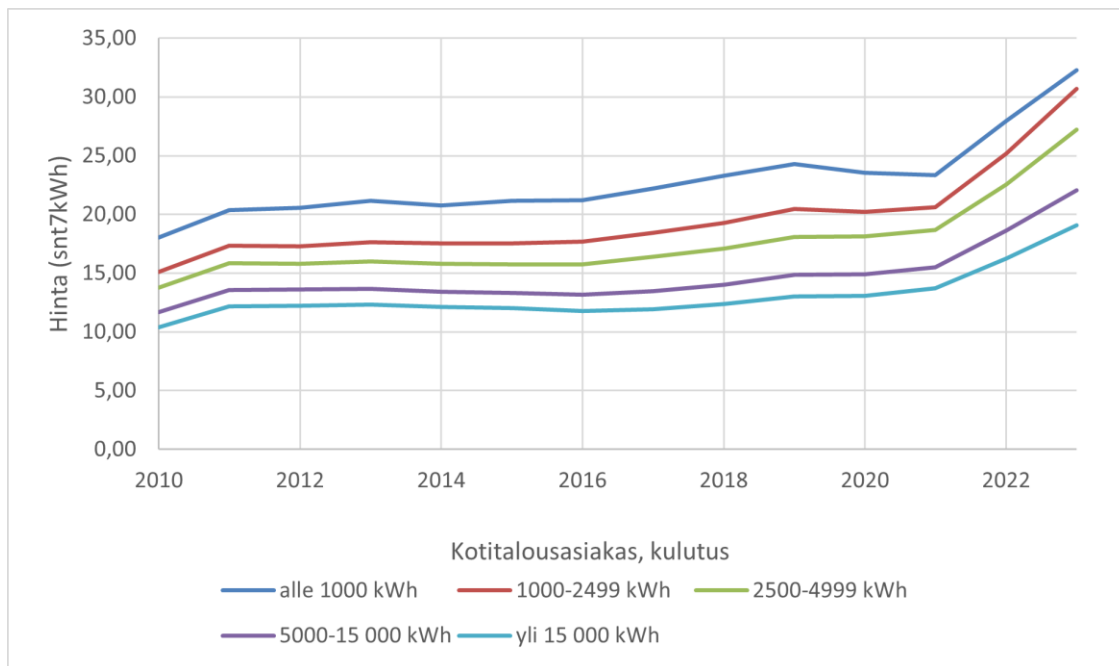
Lämmöntuotannossa huoltovarmuuskriittisiä polttoaineita ovat Venäjältä tuodut polttoaineet, joita ovat fossiiliset polttoaineet, kuten hiili, öljy ja maakaasu sekä niiden lisäksi puupolttoaineet. Lämmöntuotannossa kuitenkin kriittisin polttoaine oli maakaasu, sillä sen tuonnin loppumisen jälkeen maakaasun saanti jäi kokonaan Balticconnector-putken varaan. Muiden Venäjältä tuotujen polttoaineiden saatavuus maailmanmarkkinoilla on yleensä kuitenkin hyvä, joten niitä pystytään hankkimaan muualta. Puulla tuotettavan energian polttoaineena voidaan käyttää myös Suomesta saatua puuta. Lisäksi Huoltovarmuuskeskus perusti Suomeen polttoturpeen varmuusvaraston kesällä 2022. Sen tarkoitus on turvata lämmöntuotanto poikkeusoloissa (STT Info, 2022).

Lyhyen aikavälin toimia lämmöntuotannon huoltovarmuuden parantamiseen ovat siis hiilen ja öljyn ostaminen muualta kuin Venäjältä, LNG-terminaalilaiiva, puupolttoaineiden tuotanto Suomessa sekä polttoturpeen varmuusvarastointi. Lämpöyhtiöiden on hyvä varautua lämmityskauteen esimerkiksi täyttämällä polttoainevarastojaan ja varautumalla mahdollisiin sähkökatkoihin (Huoltovarmuuskeskus, 2023).

3.3 Sähköpooli

Vuoden 2022 sähköntuotanto tammi-syyskuu välillä poikkesi jonkin verran edellisvuodesta. Edellisvuoden vastaavaan aikaväliin verrattuna sähköä tuotettiin enemmän varsinkin tuulivoimalla. (Tilastokeskus, 2023f). Sähkön kulutus oli vuonna 2022 pienempää

edellisvuoteen verrattuna. Sähkön kulutus vaihtelee vuosittain, mutta vuonna 2022 sähkön kulutus laski 6 % edellisvuodesta (Fingrid, 2023b). Sähköntuotannossa varsinkin tuotanto CHP:llä laski paljon. Sen sijaan tuotanto lauhdevoimalla nousi hieman. Sähkön nettotuonti laski myös paljon, joka johtuu todennäköisesti sähkön kulutuksen laskusta ja sähkön tuonin loppumisesta Venäjältä. (Tilastokeskus, 2023f). Sähkön tuonti Venäjältä keskeytettiin toukokuussa 2022 (Hanhinen, 2022). Edellisvuonna sähköä tuotiin Venäjältä 9,1 TWh, joka vastasi 10 % sähkön kokonaiskulutuksesta.



Kuva 12. Sähkön hinnan kehitys 2010–2022 kotitalousasiakkaille. (Tilastokeskus, 2023g)

Sähkön hinnannousu oli yksi puhutuimmista aiheista Suomen mediassa vuonna 2022. Vuonna 2022 sähkön keskimääräinen kokonaishinta kotitalousasiakkaille oli 16–27 snt/kWh riippuen kulutuksesta (kuva 12). Edellisenä vuonna vastaava hintaväli oli 13–23 snt/kWh.

Sähkön huoltovarmuuden lyhyen aikavälin ratkaisuja ovat mm. sähkön säästö, sähkön tuonti Ruotsista, sähkön tuonin korvaaminen omalla tuotannolla sekä viimesijaisena keinona hallitut sähkökatkot. Myös Olkiluoto 3 -voimalan valmistuminen parantaa Suomen huoltovarmuutta sähkön suhteen. Suomen sähkön kantaverkkoyhtiö Fingridillä on myös vapaaehtoinen sähkönjärjestelmän tuki. Se tarkoittaa, että sähköpulan uhatessa Fingrid pyytää käynnistämään

kulutusjoustoja ja generaattoreita, jotka eivät tavallisesti osallistu sähköntuotantoon. Sähkönjärjestelmän tuki vastaa noin 400 MW (Fingrid, 2022).

Sähköpoolissa lyhyen tähtäimen ratkaisuna olisi myös oman sähköntuotannon lisääminen. Olkiluoto 3:n säännöllinen sähköntuotanto alkaa näillä näkymin huhtikuun 2023 alussa (TVO, 2023). Olkiluoto 3 tuo Suomen sähköntuotantokapasiteettiin 1600 MW lisäyksen. Vuonna 2022 tuulivoimakapasiteettia rakennettiin 2430 MW, joka nosti Suomen tuulivoimakapasiteetin 5677 megawattiin. Vuonna 2023 Suomeen on valmistumassa näillä näkymin 1000 MW lisää tuulivoimakapasiteettia (Tuulivoimayhdistys, 2023).

Kriittisin vaihe sähkön huoltovarmuudelle oli talvikausi 2022–2023. Sähkön saatavuudelle pahin skenaario oli tuuleton ja kylmä talvi, jolloin kulutus olisi suurta ja tuulivoiman tuotanto pientä. Talvella sähkön tarve on huomattavasti kesää suurempaa, ja talven huippukulutus on arviolta 14 400 MW. Suomen sähköntuotantokapasiteetti on 11 300 MW, ja tuontisähkön kapasiteetti Ruotsista ja Virosta on 3400–3700 MW. Myös tuontisähkään liittyy epävarmuutta, kuten huoltotauot ja viat tuotannossa tai sähkönsiirrossa (Kangasniemi, 2022). Pahimmat skenaariot eivät kuitenkaan toteutuneet ja esimerkiksi kiertäviä sähkökatkoja ei tarvittu. Talvi oli leuto, kotimainen tuotanto oli luotettavaa ja tuontisähkön saatavuus oli hyvä. Talven kulutushuippu oli vasta maaliskuussa (Fingrid, 2023a).

4 Pitkän aikavälin ratkaisut

Tässä kappaleessa käsitellään pitkän aikavälin ratkaisuja, jotka parantavat energiahuoltovarmuutta. Ratkaisuja käsitellään kaasu-, sähkö- ja lämpöpoolin näkökulmasta.

4.1 Kaasupooli

Maakaasun rooli tulevaisuudessa pienenee fossiilisen energian käytön vähenemisen myötä. Kaasua käyttävä CHP-kapasiteetti pienenee laitosten saavutettua käyttöikänsä. Maakaasun käyttö pienenee merkittävästi jo vuoteen 2030 mennessä ja loppuu vuoteen 2040 mennessä. Rooli tulee olemaan todennäköisesti huipputuotantokäytössä tai sähkön tehoreservijärjestelmässä. (AFRY, 2021b.)

Maakaasun käyttöä maakaasua käyttävissä laitoksissa voitaisiin korvata myös jalostetulla biokaasulla, mutta käytännössä näin ei ole juurikaan tapahtunut. Biokaasun rooli olisi pitkälti liikennekäytössä, ja maakaasua käyttäviin laitoksiin biokaasua tulisi vain pieniä määriä esimerkiksi huippu- ja varatuotantoon. Maakaasun käyttöä tukipolttoaineena kiinteitä polttoaineita käyttävissä kattiloissa voitaisiin ainakin osittain korvata biokaasulla (AFRY, 2021b). Biokaasun tuotanto on nykyisin 1 TWh ja tulevaisuuden tuotantotavoite on 4 TWh, joten biokaasu olisi vain osaratkaisu maakaasun korvaamisessa (Suomen biokierto- ja biokaasu, 2023).

4.2 Lämpöpooli

Sanna Marinin hallituksen tavoite on, että Suomen sähkön- ja lämmöntuotanto on lähes päästötöntä 2030-luvun loppuun mennessä. Tulevaisuudessa fossiilisia polttoaineita korvataan lämmöntuotannossa esimerkiksi polttoon perustumattomilla ratkaisuilla, esimerkiksi lämpöpumppu- ja hukkalämpöratkaisuilla sekä maa- ja geolämmöllä. Mahdollisuutena olisi myös pienet modulaariset ydinvoimalat, joilla voisi tuottaa lämpöä erillis- tai yhteistuotantona (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022.)

Haasteina lämmöntuotannossa tulevaisuudessa on fossiilisten polttoaineiden käytön lopettamisen vaikutus huoltovarmuuteen. Kylmiin talviin varautuminen voi olla haastavaa, sillä esimerkiksi lämpöpumpuilla ei pystytä yleensä lisäämään lämmöntuotantoa kylminä talvipäivinä. Lisäksi fossiilisten käytön lopettaminen tulee nostamaan puupolttoaineiden kysyntää lämmöntuotannossa. Erityisesti kiinteiden puupolttoaineiden, kuten hakkeen ongelmana huoltovarmuuden kannalta on heikko varastoitavuus. Kylmä talvi voisi nostaa puupolttoaineiden käyttöä, ja johtaa saatavuuspulaan ja kohonneisiin kustannuksiin. (AFRY, 2021a.)

Lämmöntuotannon huoltovarmuuden parantamiseen liittyviä pitkän aikavälin keinoja ovat esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden ja puupolttoaineiden varmuusvarastot, kysyntäjoustop, akut sekä sähkökattilat. Puupolttoaineiden ei tällä hetkellä varmuusvarastoida. Niiden kysynnän kasvaminen voi kuitenkin johtaa saatavuuspulaan, joten puupolttoaineiden varmuusvarastointi parantaisi huoltovarmuutta. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden varmuusvarastointi olisi huoltovarmuusmielessä järkevää, jos polttovoimalat säilyvät myös tulevaisuudessa. Kysyntäjoustop ovat toinen keino huoltovarmuuden parantamiseen. Niillä tarkoitetaan energian kulutuksen ajoituksen muuttamista pois kulutushuipuista. Kysyntäjoustopja ei voida kuitenkaan toteuttaa pitkäaikaisissa lämmöntuotannon häiriötilanteissa. (Pöyry, 2019.)

Lämmöntuotannon huoltovarmuutta lisääisi myös kaukolämpöverkossa käytettävät lämpövarastot. Niillä voidaan varautua kulutuksen huipputunteihin varastoimalla kaukolämpöä (Pöyry, 2019). Lämpövarastojen avulla voitaisiin myös vaikuttaa sähköntuotannon huoltovarmuuteen tekemällä pelkästään sähköä CHP-voimalaitoksissa sähkön saatavuuspulatilanteissa. Tällöin kaukolämmön tuotanto voitaisiin hoitaa kaukolämpöakuilla (Koivuniemi, 2014). Lämpövarastojen käyttö on jo melko laajaa Suomen kaukolämpöverkoissa (Pöyry, 2019). Suomen suurin lämpövarasto on tällä hetkellä energiayhtiö Helenillä Helsingin Mustikkamaalla. Se on luolasto, joka on täytetty vedellä. Vettä lämmitetään esimerkiksi jätevesien ja kiinteistöjen hukkalämmöllä (Helen, 2021). Lämpöakkuja voitaisiin käyttää myös sähkön varastointiin, koska sähköakut ovat huomattavasti lämpöakkuja kalliimpia. Sähkön ollessa halpaa sitä voitaisiin varastoida lämmöksi, jota voidaan purkaa lämpönä ja höyrynä (Elstor, 2023).

Sähköä on huomattavasti helpompaa tuottaa päästöttömästi kuin lämpöä, mikä voisi olla yksi ratkaisu lämmöntuotantoon tulevaisuudessa esimerkiksi lämpöpumppuja käyttämällä. Yhtenä vaihtoehtona lämmön huoltovarmuuden kannalta olisivat myös sähkökattilat. Ne ovat esimerkiksi pellettiin ja metsähakkeita käyttäviin kattiloihin verrattuna edullisia investointikustannuksiltaan. Lämmöntuotannon riippuvuus sähköntuotannosta ei ole kuitenkaan hyväksi tilanteille, joissa sähkön ja lämmön huippukulutus osuu samaan aikaväliin. Sähkökattiloiden käyttöä voitaisiin kuitenkin harkita lämmöntuotannon varakapasiteettina. (Pöyry, 2019).

4.3 Sähköpooli

Huoltovarmuuden kannalta keskeinen haaste tulevaisuudessa on sähköntuotannon kasvattaminen. Sähkön kasvava kulutus aiheutuu esimerkiksi liikenteen sähköistymisestä ja sähkön hyödyntämisestä lämmöntuotannossa, mikä vaatii lisää vähäpäästöistä sähköntuotantokapasiteettia. Esimerkiksi Huoltovarmuuskeskuksen Huoltovarmuus 2030-skenaarion mukaan 2030-luvulle tultaessa erityisesti tuulivoiman tuotanto kasvaa merkittävästi

(Pöyry, 2019). Lähivuosina tuulivoimakapasiteetti kasvaa ainakin 1000 MW vuodessa (Tuulivoimayhdistys, 2023).

Suomessa ei ole tällä hetkellä käynnissä uusia ydinvoimahankkeita Olkiluoto 3 -laitoksen valmistumisen jälkeen. Suomessa oli pitkään vireillä Fennovoiman Hanhikivi 1 -hanke, jonka tarkoitus oli rakentaa Pyhäjoelle 1200 MW ydinvoimala. Voimalan toimittajaksi oli valittu venäläinen Rosatom-yhtiö, mutta Ukrainan sodan alkaessa Fennovoima päätti sopimuksen Rosatomin kanssa toukokuussa 2022 (Fennovoima, 2022a). Myöhemmin toukokuun aikana Fennovoima tiedotti Hanhikivi 1:n rakentamislupahakemuksen perumisesta (Fennovoima, 2022b). Ydinvoima on kuitenkin ilmastopäästöiltään puhdas energiamuoto, jota tarvitaan myös tulevaisuudessa. Ydinvoimakapasiteetin lisäys voitaisiin toteuttaa esimerkiksi pienillä modulaarisilla reaktoreilla.

Sähköpoolin huoltovarmuuden kannalta yksi keskeisistä ongelmista on sähköntuotannon vaihtelu, joka johtuu säästä riippuvien uusiutuvien energialähteiden, erityisesti tuulivoiman käytöstä. Se edellyttää sähköntuotannon ja -kulutuksen joustavuutta sähkön riittävyyden varmistamiseksi. Yksi keino sähkön huoltovarmuuden lisäämiseksi on lisäyhteyksien rakentaminen Ruotsiin. Lähivuosina Suomen ja Ruotsin välillä lisätään sähkönsiirtoyhteydellä, jonka kapasiteetti Suomesta Ruotsiin on 900 MW ja Ruotsista Suomeen 800 MW (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2022.)

Suomen energiantuotannon huoltovarmuutta parantaisi myös vahva vetytalous. Vetyä voidaan käyttää monin tavoin esimerkiksi polttoaineena, väliaineena energian varastointiin, raaka-aineena sekä energiankantajana. Vedyn valmistus puhtaasti elektrolyysillä edellyttää puhdasta sähköenergiaa, esimerkiksi tuulivoimaa tai aurinkovoimaa. Vedyn käyttö energian varastoinnissa esimerkiksi tuulivoiman tuotannon joustona edistäisi merkittävästi Suomen hiilineutraaliustavoitteen 2035 saavuttamista. (Valtionneuvosto, 2022.)

5 Johtopäätökset

Tässä kandidaatintyössä pyrittiin selvittämään keinoja parantamaan energian huoltovarmuutta Suomessa Venäjältä tuodun energian tuonnin loppumisen jälkeen. Työssä tarkasteltiin energian tuotantoa ennen Venäjän tuonnin loppumista sekä selvitettiin lyhyen ja pitkän aikavälin keinoja huoltovarmuuden parantamiseen.

Suomen huoltovarmuus oli hyvällä tasolla ennen Venäjän energian loppumista, ja se perustui erilaisiin energialähteisiin, hajautettuun tuotantoon sekä varautumiseen polttoaineiden saannin häiriötilanteissa. Venäjän hyökkäys Ukrainaan kuitenkin katkaisi venäläisen energian tuonnin Suomeen. Venäjältä tuotiin Suomeen maakaasua, öljyä, hiiltä, puupolttoaineita, ydinpolttoaineita ja sähköä.

Lyhyen aikavälin keinoja huoltovarmuuden parantamiseen lämpöpoolin näkökulmasta ovat maakaasuverkkoon liitettävä LNG-terminaalialus, hiilen ja öljyn ostaminen globaaleilta markkinoilta, puupolttoaineiden tuotanto Suomessa sekä polttoturpeen varmuusvarastointi. Sähkön huoltovarmuuden lyhyen aikavälin ratkaisuja ovat sähkön säästö, sähkön tuonti Pohjoismaista, erityisesti Ruotsista, sähkön tuonnin korvaaminen omalla tuotannolla sekä viimesijaisena keinona hallitut sähkökatkot. Myös Olkiluoto 3 -voimalan valmistuminen parantaa sähköpoolin huoltovarmuutta.

Pitkällä aikavälillä Suomen energiantuotanto on muuttumassa. Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähenee ja uusiutuvien energialähteiden käyttö lisääntyy. Se aiheuttaa huoltovarmuudelle haasteita esimerkiksi säästä riippuvan tuulivoiman tuotannon lisääntyessä. Lisäksi myös sähkön kulutus nousee liikenteen ja lämmöntuotannon sähköistyessä. Pitkän aikavälin keinoja huoltovarmuudelle ovat mm. vahva vetytalous, maa-, geo- ja hukkalämmön hyödyntäminen, pienet modulaariset ydinreaktorit, kulutusjoustot sekä sähkön- että lämmöntuotannossa sekä uusiutuvien ja fossiilisten polttoaineiden varmuusvarastointi.

Työn aihe oli laaja, joten huoltovarmuuden parantamisen keinojen tarkastelu jäi pintapuoliseksi varsinkin pitkän aikavälin keinojen osalta. Esimerkiksi vetytalous on hyvin laaja aihe, josta olisi paljon informaatiota tarjolla. Myös huoltovarmuuden tarkastelu ennen Venäjän tuonnin loppumista on laaja aihe, ja paljon mielenkiintoista tietoa jäi selvityksestä pois. Työtä voitaisiin laajentaa myös tarkastelemaan polttonesteitä, joita käytetään Suomessa paljon liikennekäytössä. Lisäksi myös lämmöntuotannon tarkastelua voitaisiin laajentaa kauko- ja teollisuuslämmön ulkopuolelle.

Lähteet

AFRY. 2021a. Metsähakkeen kysynnän kehitys ja riittävyys Suomessa – raportti työ- ja elinkeinoministeriölle ja Huoltovarmuuskeskukselle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.3.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

https://tem.fi/documents/1410877/53440649/Mets%C3%A4hakkeen+kysynn%C3%A4n+kehitys+ja+riitt%C3%A4vyys+Suomessa_LOPPURAPORTTI.pdf/61b5eaa4-ca1f-2ccd-0922-221326959e41/Mets%C3%A4hakkeen+kysynn%C3%A4n+kehitys+ja+riitt%C3%A4vyys+Suomessa_LOPPURAPORTTI.pdf?t=1620822103773

AFRY. 2021b. Öljy ja kaasu energiantuotannossa tulevaisuudessa – loppuraportti Huoltovarmuuskeskukselle, Öljypoolille ja Maakaasujaostolle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/ff6dd1f7e1a808f1edd7a9a0538cf13fde8ccbbd/oljy-ja-kaasu-energiantuotannossa-tulevaisuudessa-loppuraportti-23.11.2021-1.pdf>

Elstor. 2023. Tietoa meistä. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.4.2023]. Saatavilla: <https://elstor.fi/tietoa-meista/>

Energiavirasto. 2021. Kaasun toimitusvarmuus vuonna 2021. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 27.1.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12722768/Kaasun+toimitusvarmuus+vuonna+2021.pdf/>

Energiateollisuus. 2023. Miksi vesivoima? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavilla: https://energia.fi/energiasta/vastuullisuus/miksi_vesivoima

Energiateollisuus. 2019. Vesivoiman merkitys Suomen energiajärjestelmälle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys_FINALrev1_20190206.pdf

Fennovoima. 2022a. Fennovoima on päättänyt Hanhikivi 1-ydinvoimalan laitostoimitussopimuksen Rosatomin kanssa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2023]. Saatavilla:

<https://fennovoima.fi/2022/05/02/fennovoima-on-paattanyt-hanhikivi-1-ydinvoimalan-laitostoimitus-sopimuksen-rosatomin-kanssa/>

Fennovoima. 2022b. Fennovoima peruu Hanhikivi 1 -ydinvoimalan rakentamislupahakemuksen – keskittyy Pyhäjoen työmaan ylläpitämiseen. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2023]. Saatavilla:

<https://fennovoima.fi/2022/05/24/fennovoima-peruu-hanhikivi-1-ydinvoimalan-rakentamislupahakemuksen-keskittyy-pyhajoen-tyomaan-yllapitamiseen/>

Fingrid. 2022. Vapaaehtoisella sähkönjärjestelmän tuella pyritään ehkäisemään sähkölaitteita. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.3.2023]. Fingrid.fi. Saatavilla:

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2022/vapaaehtoisella-sahkojarjestelman-tuella-pyritaan-ehkaisemaan-sahkopulatilanteita/>

Fingrid. 2023a. Sähköä riitti talvella – leuto talvi ja säästötoimet avainasemassa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.4.2023]. Saatavilla:

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/sahkoa-riitti-talvella---leuto-talvi-ja-saastotoimet-avainasemassa/>

Fingrid. 2023b. Suomalaiset jaksoivat säästää sähkönkulutuksessa tammikuussa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.3.2023]. Saatavilla:

<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/suomalaiset-jaksoivat-saastaa-sahkonkulutuksessa-tammikuussa/>

Gasgrid. 2023a. Gasgridin kelluva LNG-terminaali käyttövalmis kaasutoimituksille. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 28.2.2023]. Saatavilla: <https://gasgrid.fi/2023/01/16/gasgridin-kelluva-lng-terminaali-kayttovalmis-kaasutoimituksille/>

Gasgrid, 2023b. Kaasun siirtoverkosto. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 14.1.2023]. Saatavilla: <https://gasgrid.fi/kaasuverkosto/kaasun-siirtoverkosto/>

Gasum. 2022. Natural gas imports from Russia under Gasum’s supply contract will be halted on Saturday 21 May at 07.00. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 2.2.2023]. Saatavilla: <https://www.gasum.com/en/About-gasum/for-the-media/News/2022/natural-gas-imports-from-russia-under-gasums-supply-contract-will-be-halted-on-saturday-21-may-at-07.00/>

Gasum. 2023. Maakaasumarkkina Suomessa. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.1.2023]. Saatavilla: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/maakaasumarkkina-suomessa/>

Hamina LNG. 2022. Hamina LNG Oy:n terminaali on aloittanut kaupallisen toiminnan. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 23.3.2022]. Saatavilla PDF-muodossa:

<https://www.haminalng.fi/wp-content/uploads/2022/10/HLNG-Kaupallinen-kayttoonotto-tiedote.pdf>

Hanhinen, Hanna. 2022. Venäjä keskeytti sähkön tuonnin Suomeen lauantaina – ei ole ollut suurta vaikutusta, kertoo Fingrid. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.3.2023]. Saatavilla:

<https://yle.fi/a/3-12447025>

Helen. 2021. Mustikkamaan jättimäiset lämpöluolat ovat nyt täynnä vettä. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.4.2023]. Saatavilla:

<https://www.helen.fi/uutiset/2021/ilmastoteko-jalkojemme-alla-mustikkamaan-j%C3%A4ttim%C3%A4iset-1%C3%A4mp%C3%B6luolat-ovat-nyt-t%C3%A4ynn%C3%A4-vett%C3%A4>

Huoltovarmuuskeskus. 2021. Siirtyminen laajaan metsähakkeen käyttöön asettaa haasteita energiahuoltovarmuudelle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavilla: <https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/a/siirtyminen-laajamittaiseen-metsahakkeen-kaytoon-asettaa-haasteita-energiahuoltovarmuudelle>

Huoltovarmuuskeskus. 2023. Energiahuolto. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.3.2023]. Saatavilla:

<https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/toimialat/energiahuolto>

Kangasniemi, Hanna. 2022. Sähköpulan välttämiseksi säästötoimet ovat tarpeen: sähkökatkot silti mahdollisia. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.3.2023]. Saatavilla

<https://www.varmuudenvuoksi.fi/artikkeli/sahkopulan-valttamiseksi-saastotoimet-ovat-tarpeen-sahkokatkot-ovat-silti-mahdollisia>

Karra, Auli. 2023. Kaukolämpöyhtiöt saavat uutta tietoa varautumiseen. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2023]. Saatavilla:

<https://www.varmuudenvuoksi.fi/artikkeli/kaukolampo-pitaa-suomen-lampimana>

Koivuniemi, Antti. 2014. Kaukolämpöakun kannattavuus yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. [Diplomityö]. [Viitattu 29.3.2023]. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. Tuotantotalouden koulutusohjelma. Saatavilla: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/102224/Koivuniemi_Kaukol%C3%A4mp%C3

B6akun_kannattavuus_yhdistetyss%C3%A4_s%C3%A4hk%C3%B6n-
_ja_1%C3%A4mm%C3%B6ntuotannossa.pdf?sequence=2

Koivulampi, Julienne. 2015. Suomalaisten suhtautuminen ydinvoimaan ja energiantuotannon yhteiskunnallisiin riskeihin ja vaikutuksiin – Mikä merkitsee eniten: energia, talous vai ympäristö? [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.2.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/148806/muistiot_52.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pöyry. 2019. Huoltovarmuus energiamurroksessa – raportti Huoltovarmuuskeskukselle. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 29.3.2023]. Saatavilla PDF-muodossa:

https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/files/f4f69b682d52266d80ce67a1228afb06dbf81fc7/huoltovarmuus_energiaturroksessa.pdf

STT Info. 2022. Huoltovarmuuskeskus aloittaa polttoturpeen varmuusvarastoinnin. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.3.2023]. Saatavilla:

<https://www.sttinfo.fi/tiedote/huoltovarmuuskeskus-aloittaa-polttoturpeen-varmuusvarastoinnin?publisherId=3345&releaseId=69944659&lang=fi>

Tilastokeskus. 2022. Venäjältä tuodun energian osuus 34 % energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2021. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 4.11.2022].

Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/cl1xmekvw1pp80buvn1cznxmy>

Tilastokeskus. 2023a. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin 2010–2021.

[Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.3.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12st.px/

Tilastokeskus. 2023b. Energian tuonti ja vienti, paljous, 2011–2021. [Verkkoaineisto].

[Viitattu 21.3.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_13gn.px/

Tilastokeskus. 2023c. Kaukolämmön tuotanto Suomessa 2011–2021. [Verkkoaineisto].

[Viitattu 2.2.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__salatuo/statfin_salatuo_pxt_12b7.px/

Tilastokeskus. 2023d. Maakaasun hinta siirtoverkkoasiakkaille (ei sis. veroja) 2021–2022.

[Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.3.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_12gw.px/

Tilastokeskus. 2023e. Polttoaineiden energiakäytön CO₂-päästöt 1970-2021.

[Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.3.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12z8.px/

Tilastokeskus. 2023f. Sähkön hankinta ja kokonaiskulutus 2011–2023. [Verkkoaineisto].

[Viitattu 24.2.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12sv.px/

Tilastokeskus. 2023g. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin 2010–2022. [Verkkoaineisto].

[Viitattu 24.3.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehi/statfin_ehi_pxt_13rb.px/

Tilastokeskus. 2023h. Teollisuuslämmön tuotanto Suomessa 2011-2021. [Verkkoaineisto].

[Viitattu 14.2.2023]. Saatavilla:

https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__salatuo/statfin_salatuo_pxt_12b8.px/

Tuulivoimayhdistys. 2023. Tuulivoimavuosi 2022: Tuulivoimakapasiteetti kasvoi 75 % ja toi

Suomeen yli 2,9 miljardin investoinnit. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 23.3.2023]. Saatavilla:

<https://tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/tiedotteet/tuulivoimakapasiteetti-kasvoi-75-ja-toi-suomeen-yli-29-miljardin-investoinnit>

TVO. 2023. Olkiluoto 3:n EPR:n koekäyttöä jatketaan maaliskuussa venttiilihuollon

varmistuttua. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 6.3.2023]. Saatavilla:

<https://www.tvo.fi/ajankohtaista/tiedotteetporssitiedotteet/2023/olkiluoto3epnrkoekayttoajatketaanmaaliskuussaventtiilihuollonvalmistuttua.html>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2019. Kivihiilen energiakäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 21.3.2023]. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2021. Turvetyöryhmä – työpäperi. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 5.4.2023]. Saatavilla: <https://tem.fi/documents/1410877/67934370/Turvety%C3%B6ryhm%C3%A4,+ty%C3%B6paperi+30.03.21.pdf/e03ce6ed-5858-c9bb-962f-9c944244e146/Turvety%C3%B6ryhm%C3%A4,+ty%C3%B6paperi+30.03.21.pdf?t=1617109410705>

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2023]. Saatavilla: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Työ- ja elinkeinoministeriö, valtionvarainministeriö. 2022. LNG-terminaalilaivan vuokraus varmistaa kaasun riittävyyttä Suomessa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 28.2.2023]. Saatavilla: <https://valtioneuvosto.fi/-/10623/lng-terminaalilaivan-vuokraus-varmistaa-kaasun-riittavyytta-suomessa>

Valtioneuvosto. 2022. Vetytalous – mahdollisuudet ja rajoitteet. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 30.3.2023]. Saatavilla PDF-muodossa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163901/VNTEAS_2022_21.pdf